



วิทยานิพนธ์

การออกแบบและวิเคราะห์ความเหมาะสมระบบป้องกันอัคคีภัย: กรณีศึกษาห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี (สวิตช์เกียร์)

**DESIGN AND ANALYSIS OF SUITABLE FIRE SUPPRESSION
SYSTEM: CASE STUDY IN SWITCHGEAR ROOM 22 kV**

นายอุเทน พรหมอินคำ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมความปลอดภัย

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การออกแบบและวิเคราะห์ความเหมาะสมระบบป้องกันอัคคีภัย: กรณีศึกษา
ห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี (สวิตช์เกียร์)

Design and Analysis of Suitable Fire Suppression System: Case Study in
Switchgear Room 22 kV

นามผู้วิจัย นายอุเทน พรหมอินคำ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ชวลิต กิตติชัยการ, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนนต์ วงษ์เกษม, M.S.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อัจฉกหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การออกแบบและวิเคราะห์ความเหมาะสมระบบป้องกันอัคคีภัย: กรณีศึกษา
ห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี (สวิตช์เกียร์)

Design and Analysis of Suitable Fire Suppression System:
Case Study in Switchgear Room 22 kV

โดย

นายอุเทน พรหมอินคำ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)
พ.ศ. 2550

อุเทน พรหมอินคำ 2550: การออกแบบและวิเคราะห์ความเหมาะสมระบบป้องกันอัคคีภัย: กรณีศึกษา
ห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี (สวิตช์เกียร์) ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
(วิศวกรรมความปลอดภัย) สาขาวิศวกรรมความปลอดภัย โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ, Ph.D. 140 หน้า

ห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี (สวิตช์เกียร์) ของสถานีไฟฟ้าย่อย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นห้องที่มีความสำคัญในการจ่ายกระแสไฟฟ้า หากเกิดเพลิงไหม้ขึ้นจะส่งผลกระทบต่อ กฟภ. และผู้ใช้ไฟ โดยประมาณค่าความเสียหาย กรณีเสียหายน้อยที่สุดประมาณ 1,883,878 บาท และกรณีเสียหายมากที่สุด ประมาณ 18,274,273 บาท งานวิจัยนี้ได้ศึกษาออกแบบระบบดับเพลิงแบบฉีดท่วม ที่เป็นทางเลือกอยู่ 3 ระบบ โดยใช้มาตรฐาน NFPA คือ ระบบดับเพลิงสารสะอาดดับเพลิงประเภทฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125 และ ประเภทก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541 และระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ชนิดความดันสูง โดยระบบดับเพลิง ทั้ง 3 ระบบ มีความเหมาะสมสำหรับการดับเพลิงในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งจัดเป็นเชื้อเพลิง ที่เกิดการลุกไหม้แบบคูกู่ภายใน จากการออกแบบพบว่าระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125 ออกแบบที่ ความเข้มข้น 8 % ต้องใช้ปริมาณสาร HFC-125 จำนวน 267 กิโลกรัม ฉีดให้หมดภายใน 10 วินาที อัตราการไหลของสารอย่างน้อย 26.7 กิโลกรัมต่อวินาที ระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิด IG-541 ออกแบบที่ ความเข้มข้น 34.2 % ต้องใช้ปริมาณสาร IG-541 จำนวน 264 ลูกบาศก์เมตร ฉีดให้หมดภายใน 1 นาที ด้วยอัตราการไหลของสารอย่างน้อย 234.68 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ชนิดความดันสูง ออกแบบที่ความเข้มข้น 50 % ต้องใช้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จำนวน 810 กิโลกรัม ฉีดให้หมดภายใน 7 นาที ด้วยอัตราการไหลของสารอย่างน้อย 115.71 กิโลกรัมต่อวินาที โดย 2 นาทีแรก อัตราการไหลของสาร อย่างน้อย 207.09 กิโลกรัมต่อวินาที

การพิจารณาความเหมาะสมของระบบดับเพลิง โดยเปรียบเทียบจากประสิทธิผลของระบบดับเพลิง ในแง่ความน่าเชื่อถือของระบบ และความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบดับเพลิง พบว่าค่าความน่าเชื่อถือของระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125 มีค่า 0.298 ระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541 มีค่า 0.181 และระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ชนิดความดันสูง มีค่า 0.149 และ ค่าอัตราส่วนผลตอบแทนต่อค่าใช้จ่าย จากกรณีเสียหายน้อยที่สุด และกรณีเสียหายมากที่สุด ของระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125 มีค่า 0.59, 5.76 ระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541 มีค่า 0.20, 1.90 และระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ชนิดความดันสูง มีค่า 0.23, 2.21 ตามลำดับ จึงสามารถสรุปได้ว่าระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125 เป็นระบบที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งในห้องควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี เนื่องจากมีความน่าเชื่อถือดีที่สุด และความคุ้มค่าของการติดตั้งระบบสูงสุด

Uten Prominkam 2007: Design and Analysis of Suitable Fire Suppression System: Case Study in Switchgear Room 22 kV. Master of Engineering (Safety Engineering), Major Field: Safety Engineering, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Assistant Professor Thumrongrut Mungcharoen, Ph.D. 140 pages.

Switch gear room 22 kV is one of the significant distribution room of Provincial Electricity Authority's substation. In case of fire occurrence, the damage to PEA and customer is estimated to be 1,883,878 baht for the least case and 18,274,273 baht for the worst case. This research has studied the design of three types of total flooding fire suppression system, according to NFPA standards, namely halocarbon clean agent system: HFC-125, inert gas clean agent system: IG-541 and high pressure carbon dioxide system. Those 3 systems are appropriated for fire occurrence in switch gear room 22 kV which is the deep seat fire type. It is found that the design of halocarbon clean agent system: HFC-125 with 8 % concentration, requires HFC-125 agent 267 kg with the discharge time of 10 seconds and flow rate of 26.7 kg/s. For the design of inert gas clean agent system: IG-541 with 34.2 % concentration, the quantity of IG-541 of 264 m³ with the discharge time of 1 minute and flow rate of 234.68 m³/min are required. While the design of high pressure carbon dioxide system with 50 % concentration, the quantity of CO₂ 810 kg with the discharge time of 7 minutes and flow rate of 115.71 kg/min are required.

The suitable fire suppression system is selected by comparing the performance of each system according to the reliability and the cost effectiveness. It is found that the reliability of the halocarbon clean agent system: HFC-125, the inert gas clean agent system: IG-541 and the high pressure carbon dioxide system are 0.298, 0.181, 0.149 respectively. The benefit to cost ratio for the least case and the worst case damage of HFC-125 system are 0.59, 5.76 , of IG-541 system are 0.20, 1.90 and of CO₂ system are 0.23, 2.21. It can be concluded that the HFC-125 system is the most suitable system for the switch gear room 22 kV due to the highest reliability and highest benefit to cost ratio.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาเอาใจใส่ ชี้นำแนะแนวทาง ต่างๆ ที่เป็นประโยชน์
อย่างยิ่ง เพื่อที่จะทำให้งานวิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์จาก ผศ.ดร.ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ ประธานกรรมการ
รศ.ดร.ชวลิต กิตติชัยการ กรรมการร่วม อ.ดร.พิชัย กฤษไมตรี ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย และ
รศ.ดร.วิทยา อยู่สุข ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำปรึกษาตลอดจนแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น
จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ อาจารย์อนุชา บวรธรรมรัตน์ อาจารย์พิเศษ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คุณวิรัตน์ วิตะพันธ์ บริษัทนิปปอน เคมิคอล จำกัด และ
คุณพศิน งามวงศ์ชน บริษัทไทโค (ประเทศไทย) ที่ช่วยให้คำแนะนำและช่วยเหลือข้อมูลต่างๆ
ที่เกี่ยวข้อง

ขอขอบคุณ ครอบครัวพรมอินคำ ครอบครัวพฤษทรัพย์ชัย เพื่อนร่วมงาน เพื่อนนิสิต
วิศวกรรมความปลอดภัย รุ่นที่ 5 ทุกท่าน ที่คอยเป็นกำลังใจ และขอขอบคุณการไฟฟ้า
ส่วนภูมิภาคที่สนับสนุนให้ทุนการศึกษา

คุณความดีและประโยชน์ทั้งหมดอันเกิดจากวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่บิดา มารดา
และอาจารย์ทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดความรู้

อุเทน พรมอินคำ
มีนาคม 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ขอบเขตของการวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
การตรวจเอกสาร	5
ข้อมูลทั่วไปของสถานีไฟฟ้าย่อย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	5
ทฤษฎีการเกิดเพลิงไหม้	9
ทฤษฎีเกี่ยวกับการตรวจจับเมื่อเกิดเพลิงไหม้	10
ทฤษฎีเกี่ยวกับการดับเพลิง	15
ระบบดับเพลิงสารสะอาดดับเพลิง	17
ระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide System)	21
การออกแบบระบบดับเพลิง	32
การออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับการเพลิงไหม้ชนิดตรวจจับควัน	53
การวิเคราะห์ความคุ้มค่าของการติดตั้งระบบดับเพลิง	63
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	65
อุปกรณ์และวิธีการ	66
อุปกรณ์	66
วิธีการ	66
ผลและการวิจารณ์	68
ผลจากการศึกษา	68
วิจารณ์	79
สรุปและข้อเสนอแนะ	84
สรุป	84

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ข้อเสนอแนะ	86
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	87
ภาคผนวก	89
ภาคผนวก ก วิธีการคำนวณการออกแบบระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125	90
ภาคผนวก ข วิธีการออกแบบระบบตรวจจับควัน	101
ภาคผนวก ค การประเมินราคา และเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสีย	107
ภาคผนวก ง วิธีการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของระบบดับเพลิงทั้ง 3 ระบบด้วยวิธีแผนภูมิต้นไม้	113
ภาคผนวก จ วิธีการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของการติดตั้งระบบดับเพลิง	133
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	140

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ความเหมาะสมของระบบดับเพลิงกับพื้นที่ป้องกัน	16
2	สารกลุ่มฮาโลคาร์บอน (Halocarbon Agent)	33
3	คุณสมบัติของสารกลุ่มฮาโลคาร์บอน (Halocarbon Agent)	33
4	ระดับความเข้มข้น NOAEL และ LOAEL ของสารกลุ่มฮาโลคาร์บอน	34
5	คุณสมบัติของสาร HFC – 125 (NAF S125)	35
6	ระยะเวลาที่อนุญาตให้มนุษย์อยู่ได้ที่ระดับความเข้มข้นของสาร HFC-125	35
7	แสดงค่าคงที่ปริมาตรจำเพาะของสาร HFC- 125	37
8	ขนาดของถังบรรจุ HFC- 125 (Cylinder Capacity)	38
9	แสดงค่า Atmospheric Correction Factors	39
10	สารกลุ่มก๊าซเฉื่อย	40
11	ข้อกำหนดคุณภาพของสารกลุ่มก๊าซเฉื่อย (Inert Gas Agent Quality Requirement)	41
12	แสดงปริมาตรพื้นที่ป้องกัน (m^3/kg)	43
13	ความเข้มข้นต่ำสุดที่ใช้ในการออกแบบสาร IG-541	43
14	แสดงค่าคงที่ปริมาตรจำเพาะของสาร IG-541	43
15	ขนาดของถัง IG-541 (Cylinder Capacity)	44
16	ระดับความเข้มข้น NOAEL และ LOAEL ของสารกลุ่มก๊าซเฉื่อย	47
17	เวลาในการฉีดสาร IG-541 (สำหรับไฟ class A)	47
18	Flooding Factor สำหรับเพลิงไหม้ที่คอยู่ภายใน	50
19	แสดงขนาดของถังบรรจุก๊าซแบบความดันสูงตามมาตรฐานสากล	52
20	Determination of Pressure for Venting	53
21	ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับควัน	55
22	แสดงสัญลักษณ์ ชื่อและความหมายของโครงสร้างของ Fault Tree Analysis	60
23	แสดงความสัมพันธ์สมการทางคณิตศาสตร์ของ And Gate	61
24	แสดงความสัมพันธ์สมการทางคณิตศาสตร์ของ Or Gate	61
25	แสดงค่าอัตราความเสียหายของอุปกรณ์ต่อปี (Failures/year)	62

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
26	อัตราส่วนผลตอบแทนต่อค่าใช้จ่ายจากการติดตั้งระบบดับเพลิง (Benefit/Cost)	79
ตารางผนวกที่		
ค1	การประเมินราคาการติดตั้งระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอน ชนิดสาร HFC-125 (NAF S125)	108
ค2	การประเมินราคาการติดตั้งระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541	109
ค3	การประเมินราคาการติดตั้งระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	110
ค4	การเปรียบเทียบระบบดับเพลิงทั้งสามระบบ	111

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะสถานีไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	5
2	Block Diagram โครงสร้างสถานีไฟฟ้า (กองออกแบบสถานีไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค)	6
3	ห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี (Switchgear room)	7
4	การจัดวางอุปกรณ์ภายในอาคารควบคุม ตามมาตรฐานของ การไฟฟ้า ส่วนภูมิภาค	7
5	ลักษณะตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี (Switchgear)	8
6	อุปกรณ์ดับเพลิงภายในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี	8
7	แสดงพัฒนาการของการเกิดเพลิงไหม้	11
8	ตัวอย่างวิธีการฉีดท่วมครอบคลุมทั้งห้อง	17
9	แสดงค่าในการระบายความดันจากการฉีดสาร (Carbon dioxide losses through enclosable opening)	51
10	การหาระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับควันชนิดจุด สำหรับพื้นที่ทั่วไป	57
11	ขั้นตอนการทำงานระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125	69
12	ขั้นตอนการทำงานของระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG -541	71
13	ขั้นตอนการทำงานของระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	73
14	แสดงตำแหน่งการติดตั้งของอุปกรณ์ตรวจจับควัน โซน A และ โซน B	74
15	แสดงค่าความนำเชื่อถือของระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125 ตามแผนภูมิต้นไม้	76
16	แสดงค่าความนำเชื่อถือของระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541 ตามแผนภูมิต้นไม้	77
17	แสดงค่าความนำเชื่อถือของระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตามแผนภูมิต้นไม้	78
18	เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการติดตั้งของระบบดับเพลิง	80
19	เปรียบเทียบค่าความนำเชื่อถือของระบบดับเพลิง	81
20	เปรียบเทียบ Benefit / Cost ของระบบดับเพลิง กรณีเกิดผลกระทบน้อยที่สุด	82

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
21	เปรียบเทียบ Benefit / Cost ของระบบดับเพลิง กรณีเกิดผลกระทบมากที่สุด	82
ภาพผนวกที่		
ข1	แสดงพื้นที่ป้องกันเมื่อติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับควัน 2 จุด	103
ข2	แสดงพื้นที่ป้องกันเมื่อติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับควัน 3 จุด	103
ข3	แสดงพื้นที่ป้องกันและตำแหน่งการติดตั้งของอุปกรณ์ตรวจจับควัน โซน A	104
ข4	แสดงพื้นที่ป้องกันและตำแหน่งการติดตั้งของอุปกรณ์ตรวจจับควัน โซน B	105
ข5	แสดงตำแหน่งการติดตั้งของอุปกรณ์ตรวจจับควัน โซน A และ โซน B	106
ง1	Diagram แสดงระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125	115
ง2	แสดงเหตุระบบดับเพลิงสาร HFC-125 บกพร้อม ด้วยแผนภูมิต้นไม้	116
ง3	แสดงค่าความน่าเชื่อถือของระบบดับเพลิง HFC-125 ตามแผนภูมิต้นไม้	120
ง4	Diagram แสดงระบบดับเพลิง IG-541	121
ง5	แสดงเหตุระบบดับเพลิง IG-541 บกพร้อม ด้วยแผนภูมิต้นไม้	122
ง6	แสดงค่าความน่าเชื่อถือของระบบดับเพลิง IG-541 ตามแผนภูมิต้นไม้	126
ง7	Diagram ระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	127
ง8	แสดงเหตุระบบดับเพลิง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ บกพร้อม ด้วยแผนภูมิต้นไม้	128
ง9	แสดงค่าความน่าเชื่อถือของระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตามแผนภูมิต้นไม้	132

การออกแบบและวิเคราะห์ความเหมาะสมระบบป้องกันอัคคีภัย: กรณีศึกษา
ห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี (สวิตช์เกียร์)

**Design and Analysis of Suitable Fire Suppression System:
Case Study in Switchgear Room 22 kV**

คำนำ

สถานีไฟฟ้าย่อย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นแหล่งที่ทำหน้าที่ปรับเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าแรงสูงที่ส่งมาจากกริดไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ก่อนทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าที่เป็นลูกค้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เพื่อใช้พลังงานไฟฟ้าในการดำเนินการต่าง ๆ ดังนั้นการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับในแต่ละครั้ง จึงส่งผลกระทบต่ออย่างมาก ทั้งต่อการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่เป็นความสูญเสียทางตรงคือรายได้จากการขายพลังงานไฟฟ้า และผู้ใช้ไฟฟ้าที่เป็นลูกค้าต้องสูญเสียโอกาสในการดำเนินกิจการ เป็นต้น

จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าหากเกิดเพลิงไหม้ขึ้นภายในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี (สวิตช์เกียร์) จะส่งผลกระทบต่อออกเป็นสองส่วนคือส่วนที่หนึ่งคือผลกระทบในทางตรงต่อการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ในด้านการสูญเสียรายได้จากการขายพลังงานไฟฟ้าและต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนติดตั้งชุดอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูงใหม่ ซึ่งประมาณเป็นค่าใช้จ่ายแล้วเป็นเงินประมาณ 1.4 ล้านบาทต่อชุด (กองออกแบบสถานีไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค) และส่วนที่สองคือ ผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้าที่เป็นลูกค้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งจากข้อมูลการศึกษา อัตราความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับ ในพื้นที่การจ่ายพลังงานไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยทำการประเมินอัตราความเสียหาย 2 ประเภท คือ อัตราความเสียหายต่อหน่วยปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่หายไปเนื่องจากไฟดับ (Interrupted Energy Rate : IER) มีค่า 60.165 บาท/kWh และอัตราความเสียหายต่อครั้งที่เกิดไฟดับ (Interruption Cost Per Event : ICPE) มีค่า 62,723 บาท/ครั้ง (สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) ระบบป้องกันอัคคีภัยจึงถือเป็นเครื่องมือสำคัญในการป้องกันดังกล่าว ซึ่งระบบป้องกันอัคคีภัยมีอยู่หลายประเภท แต่ละประเภทมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและออกแบบระบบที่เป็นทางเลือก สามระบบด้วยกัน คือระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC – 125 ระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อย ชนิด IG – 541 และระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ชนิดความดันสูง โดยใช้มาตรฐาน NFPA

เนื่องจากในอดีตที่ผ่านมาการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคยังไม่มีข้อกำหนดในการติดตั้งระบบดับเพลิงในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี ซึ่งการป้องกันและระงับอัคคีภัยเบื้องต้น จึงใช้วิธีการติดตั้งเครื่องดับเพลิงแบบมือถือ ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันการเกิดเพลิงไหม้ในส่วนที่ถือเป็นแหล่งของการจ่ายกระแสไฟฟ้าไม่ว่าจะเกิดจากสาเหตุใดก็ตาม จึงเป็นเรื่องที่สำคัญ ผู้วิจัย จึงได้ทำการศึกษาการออกแบบและวิเคราะห์ความเหมาะสมระบบป้องกันอัคคีภัยในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี โดยเปรียบเทียบจากประสิทธิผลของระบบดับเพลิงที่พิจารณาจากความน่าเชื่อถือของระบบดับเพลิงแต่ละระบบ และความคุ้มค่าในการติดตั้งของระบบดับเพลิง โดยใช้ทฤษฎีการเกิดเพลิงไหม้ ทฤษฎีการวิเคราะห์โอกาสการเกิดข้อบกพร่อง แบบแผนภูมิต้นไม้ (Fault Tree Analysis) และมาตรฐาน NFPA (National Fire Protection Association) ซึ่งเป็นมาตรฐานสากลที่นิยมใช้กันมากที่สุด เพื่อเสนอเป็นแนวทางสำหรับการจัดทำเป็นมาตรฐานระบบดับเพลิงอัตโนมัติในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี สถานีไฟฟ้าย่อย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคต่อไป

วัตถุประสงค์

การออกแบบและวิเคราะห์ความเหมาะสมระบบป้องกันอัคคีภัยในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี (สวิตช์เกียร์) สถานีไฟฟ้าย่อย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. เพื่อออกแบบและวิเคราะห์ความเหมาะสมในการพิจารณาเลือกติดตั้งระบบดับเพลิงในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี สถานีไฟฟ้าย่อย ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคให้ถูกต้องตามมาตรฐานสากล และมีประสิทธิผล
2. เพื่อนำเสนอเป็นแนวทางปรับปรุง และเป็นข้อมูลประกอบการจัดทำรายละเอียดของข้อกำหนดระบบดับเพลิงในสถานีไฟฟ้าย่อย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีแนวทางการศึกษาออกแบบและวิเคราะห์หาความเหมาะสมในการพิจารณาเลือกติดตั้งระบบดับเพลิง เพื่อป้องกันการเกิดอัคคีภัย ในสถานีไฟฟ้าย่อย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ภายใต้ขอบเขตการวิจัย ดังนี้

1. เลือกพิจารณาออกแบบระบบดับเพลิงที่เหมาะสมต่อการติดตั้งสำหรับห้องอุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์สื่อสารซึ่งเป็นที่นิยมใช้ ได้แก่

1.1 ระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125

1.2 ระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG - 541

1.3 ระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

2. ศึกษาวิเคราะห์ประสิทธิภาพผลของระบบดับเพลิง เพื่อพิจารณาความเหมาะสมในการเลือกติดตั้งระบบดับเพลิงเฉพาะห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี สถานีไฟฟ้าย่อย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ดังนี้

2.1 ข้อเปรียบเทียบความน่าเชื่อถือของระบบดับเพลิง (Reliability)

2.2 ข้อเปรียบเทียบความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบดับเพลิงที่พิจารณาจากอัตราส่วนผลตอบแทนต่อค่าใช้จ่ายจากการติดตั้งระบบดับเพลิง (Benefit /Cost)

3. ใช้มาตรฐานการออกแบบระบบดับเพลิงทั้ง 3 ระบบ ตามมาตรฐาน NFPA

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ระบบดับเพลิงที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี สถานีไฟฟ้าย่อยของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
2. ได้ข้อมูลเพื่อนำเสนอเป็นแนวทางปรับปรุงและประกอบการจัดทำรายละเอียดของข้อกำหนดระบบดับเพลิงในสถานีไฟฟ้าย่อย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้น

การตรวจเอกสาร

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาคำราและทบทวนเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นพื้นฐานความรู้และใช้อ้างอิงในงานวิจัย ดังนี้

ข้อมูลทั่วไปของสถานีไฟฟ้าย่อย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค



ภาพที่ 1 ลักษณะสถานีไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

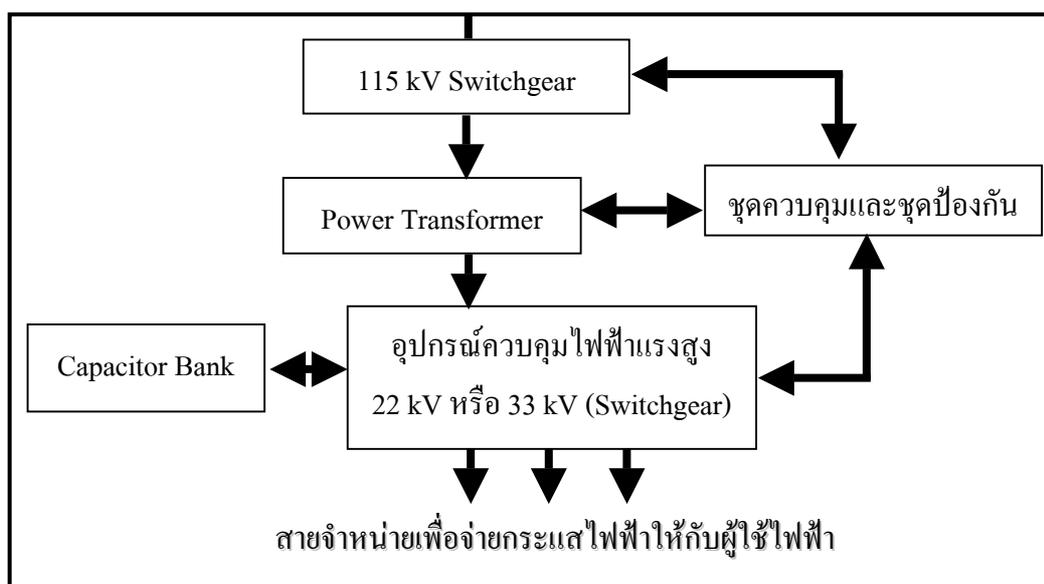
หน้าที่ของสถานีไฟฟ้าย่อย (Substation)

ดังนี้

- เปลี่ยนระดับให้เหมาะสมและรักษาระดับแรงดันให้คงที่ก่อนส่งไปยังระบบอื่น
- เป็นศูนย์กลางในการเชื่อมระบบแรงดันสูงกับระบบแรงดันต่ำเข้าด้วยกันและนำพลังงานไฟฟ้าเข้าหรือออกจากระบบ

- เป็นจุดติดตั้งเครื่องมือวัด อุปกรณ์ตัดตอน อุปกรณ์ควบคุมและป้องกัน
- เป็นจุดเชื่อมโยงระบบสื่อสาร

โครงสร้างของสถานีไฟฟ้า

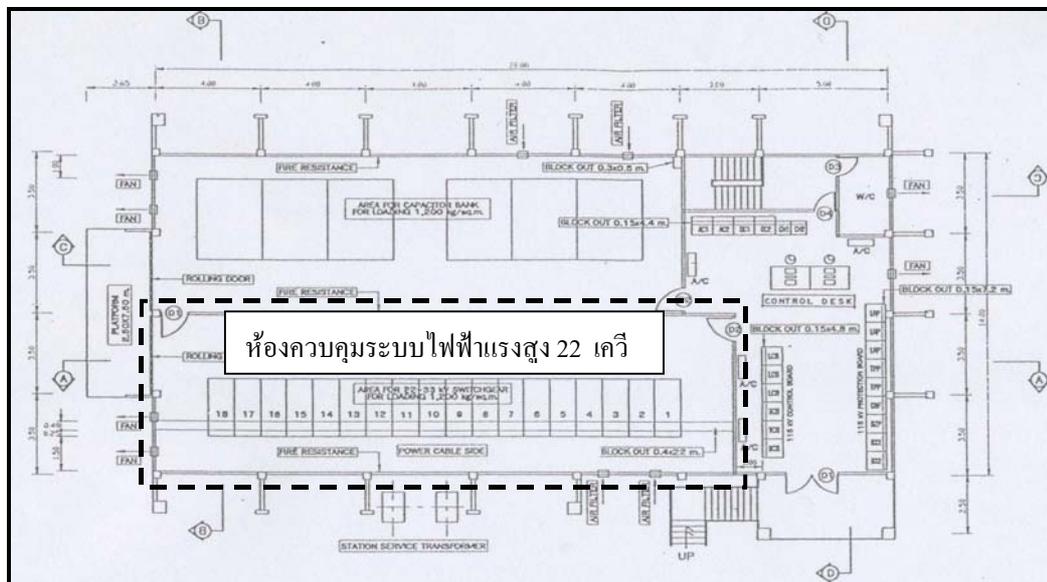


ภาพที่ 2 Block Diagram โครงสร้างสถานีไฟฟ้า (กองออกแบบสถานีไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค)

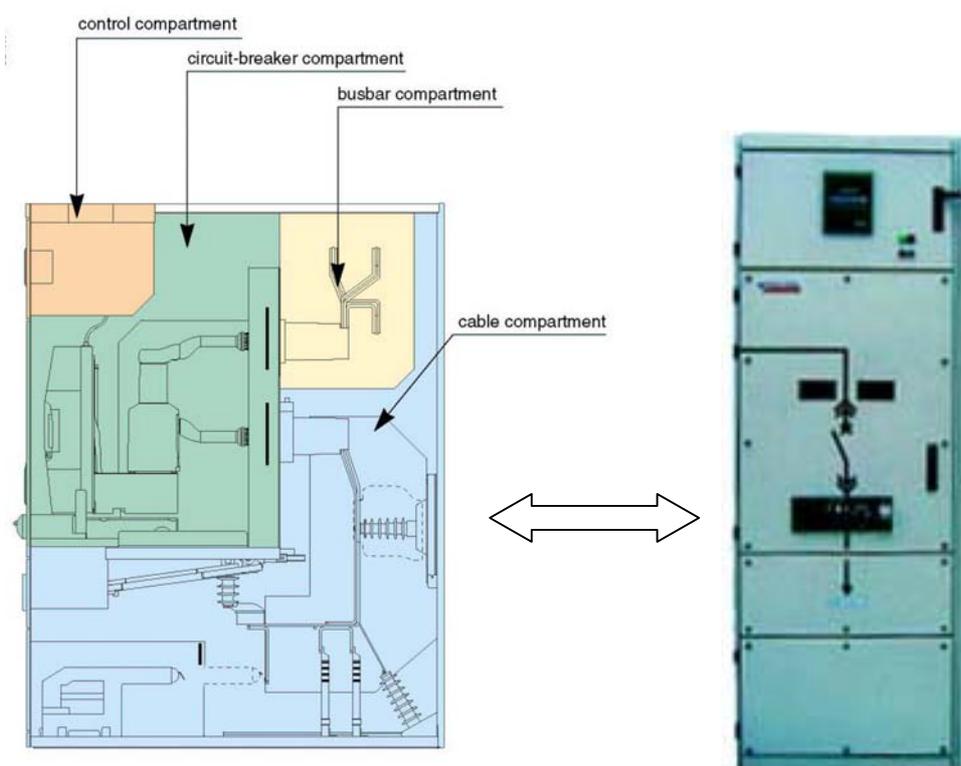
ห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 – 33 เควี (สวิตช์เกียร์)



ภาพที่ 3 ห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี (Switchgear room)



ภาพที่ 4 การจัดวางอุปกรณ์ภายในอาคารควบคุม ตามมาตรฐานของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค



ภาพที่ 5 ลักษณะตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี (Switchgear)



ภาพที่ 6 อุปกรณ์ดับเพลิงภายในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี

ข้อมูลเบื้องต้นของห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี ดังนี้

1. เป็นห้องที่มีอุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ไม่มีพนักงานปฏิบัติงานตลอดเวลาแต่จะมีพนักงานเข้ามาจดบันทึกข้อมูลชั่วโมงละ 1 ครั้ง ๆ ละ 5-10 นาที
2. กว้าง 7 เมตร
3. ยาว 21.5 เมตร
4. สูง 4 เมตร
5. พื้นที่ขนาด 150.5 ตารางเมตร
6. ปริมาตร 602 ตารางเมตร
7. อุณหภูมิต่ำสุดของห้องประมาณ 20 องศาเซลเซียส
8. อุณหภูมิสูงสุดของห้องประมาณ 37.5 องศาเซลเซียส

ทฤษฎีการเกิดเพลิงไหม้

การเกิดเพลิงไหม้เป็นปฏิกิริยาทางเคมีของเชื้อเพลิงและตัวออกซิไดซ์ในสภาพที่เป็นแก๊ส เกิดขึ้นปฏิกิริยาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เมื่อเกิดแล้วก่อให้เกิดผลกระทบต่าง ๆ มากมายทั้งต่อชีวิตและทรัพย์สิน ปฏิกิริยาการเผาไหม้เกิดจากการที่เชื้อเพลิงทำปฏิกิริยาเคมีกับก๊าซออกซิเจนก่อให้เกิดความร้อนและแสงสว่างเป็นปริมาณมาก ปฏิกิริยาการเผาไหม้ต้องการปัจจัย 3 อย่างที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ ได้แก่ เชื้อเพลิง พลังงานความร้อน ออกซิเจน ซึ่งจะทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่องโดยอาศัยปฏิกิริยาลูกโซ่เป็นตัวเชื่อมต่อองค์ประกอบทั้งสามเข้าด้วยกัน เพื่อให้เกิด การลุกไหม้อย่างต่อเนื่อง สิ่งหนึ่งที่สำคัญของความรุนแรงในการลุกไหม้ ได้แก่ ปริมาณก๊าซออกซิเจนถ้าปริมาณของออกซิเจนต่ำกว่า 15 % จะไม่สามารถจุดติดไฟได้ แต่ถ้าปริมาณของก๊าซออกซิเจนที่ 26 % อัตราการเผาไหม้จะเพิ่มเป็น 2 เท่าของสภาพปกติ โดยการแบ่งประเภทของไฟพิจารณาตามประเภทของเชื้อเพลิงที่ทำให้เกิดไฟแบ่งได้ 4 ประเภท ดังนี้ (Ladwig, 1991)

ประเภท A เกิดจากเชื้อเพลิงพื้นฐานทั่ว ๆ ไปจำพวก ไม้ กระดาษ เสื้อผ้า พลาสติก ซึ่งเมื่อติดไฟจะสามารถดับด้วยการทำให้เย็นลง (Cooling) หรือ การชุบน้ำ (Quenching) หรือ สารเคมีแห้งชนิดต่าง ๆ ได้

ประเภท B เกิดจากของเหลวไวไฟ (Flammable and Combustible Liquid) จำพวกสารไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) แอลกอฮอล์ สี สารทำละลาย น้ำมันชนิดต่าง ๆ สามารถดับไฟได้ด้วยการปกคลุม (Blanketing) ทำให้คุกรุ่น (Smoldering) หรือการใช้สารทำลายการเกิดปฏิกิริยา

ประเภท C เป็นไฟที่เกิดขึ้นและมีกระแสไฟฟ้ารวมอยู่ด้วย จึงต้องการสารดับเพลิงที่ไม่นำไฟฟ้ามาทำอันตรายกับผู้ที่ทำการดับเพลิง สามารถดับเพลิงโดยการทำให้อุณหภูมิลดลง หรือการใช้สารทำลายการเกิดปฏิกิริยา

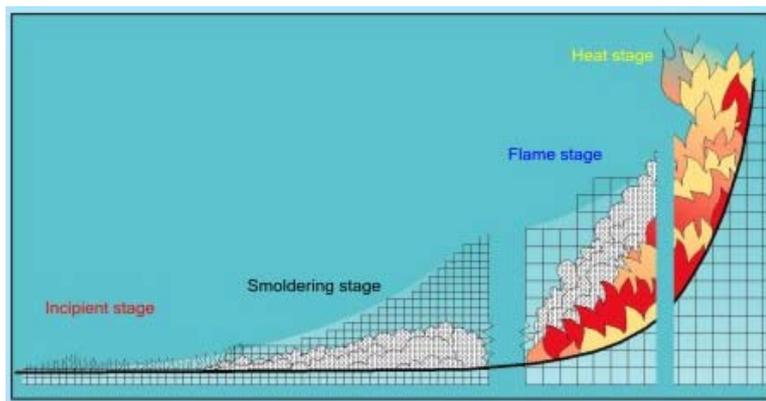
ประเภท D เกิดจากเชื้อเพลิงในกลุ่มโลหะเกิดการติดไฟ ซึ่งต้องการการดับเพลิงด้วยสารเคมีแห้งชนิดพิเศษที่สามารถปกคลุมและทนต่อความร้อนสูงที่เกิดจากเปลวเพลิงของเชื้อเพลิงในกลุ่มนี้

ทฤษฎีเกี่ยวกับการตรวจจับเมื่อเกิดเพลิงไหม้

การตรวจจับเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้เป็นอีกขั้นตอนหนึ่ง ที่สำคัญในการลดความสูญเสียที่เกิดขึ้น อุปกรณ์ตรวจจับต้องพิจารณาตามความเหมาะสมของไฟที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลา โดยพิจารณาจากธรรมชาติของไฟที่มีการพัฒนาจากขนาดเล็ก และลุกลามกลายเป็นเพลิงขนาดใหญ่ได้ภายในเวลาอันรวดเร็ว ซึ่งในแต่ละช่วงการเกิดไฟลักษณะเด่นที่เกิดขึ้นก็จะแตกต่างกันออกไป

พัฒนาการของการเกิดเพลิงไหม้

การเกิดเพลิงไหม้จะเกิดขึ้นตามลำดับเป็น 4 ระยะ ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แสดงพัฒนาการของการเกิดเพลิงไหม้

1. ระยะเริ่มต้น (Incipient Stage) เมื่อวัสดุไหม้ไฟจะสลายตัวและเกิดอนุภาคขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน จำนวนมากซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนที่ยังไม่ไหม้ไฟ ไขมัน และก๊าซต่าง ๆ ในระยะนี้ ยังไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และความเสี่ยงที่เกิดขึ้นน้อย อุปกรณ์ที่ทำงานได้ดี และแม่นยำในช่วงนี้ คืออุปกรณ์ตรวจจับควัน (Smoke Detector) โดยอาศัยหลักการเกิดไอออนไนเซชัน และอุปกรณ์ตรวจจับก๊าซเพลิงไหม้ (Fire Gas Detector)

2. ระยะเกิดควัน (Smoldering Stage) ถ้าการเผาไหม้ดำเนินต่อไปอนุภาคที่สลายตัว จะเพิ่มขึ้นและรวมตัวกันหนาแน่น จนเป็นควันที่สามารถมองเห็นความร้อนจะเพิ่มสูงขึ้น แต่อุณหภูมิยังไม่สูงพอที่จะจุดอนุภาคต่าง ๆ ให้ติดไฟ ในระยะนี้ความเสี่ยงเพิ่มมากขึ้น อุปกรณ์ตรวจจับทำงานได้ดีและแม่นยำในช่วงนี้ คืออุปกรณ์ตรวจจับควัน โดยอาศัยหลักการบดบังไฟฟ้าพลังแสง (Photoelectric Light Obscuration Smoke Detector) และอุปกรณ์ตรวจจับควัน โดยอาศัยหลักการกระจายไฟฟ้าพลังแสง (Photoelectric Light Scattering Smoke Detector)

3. ระยะเกิดเปลวไฟ (Flame Stage) ระยะนี้ความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีค่าสูงมากพอที่จะจุด ก๊าซและอนุภาคต่าง ๆ ที่ยังไม่ไหม้ไฟให้ลุกไหม้ขึ้น ทำให้เกิดเปลวไฟและสามารถลุกลามต่อไป ได้ด้วยตัวเองตรงบริเวณที่ยังมีเชื้อเพลิงออกซิเจน อุณหภูมิที่สูงกว่าจุดติดไฟของเชื้อเพลิง ความเสี่ยง ที่เกิดขึ้นอยู่ในระดับปานกลาง อุปกรณ์ตรวจจับที่ทำงานได้ดีคืออุปกรณ์ตรวจจับเปลวเพลิง (Flame Detector)

4. ระยะเกิดความร้อน (Heat Stage) ระยะนี้เป็นระยะสุดท้าย ความร้อนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และยากที่จะดับทำให้เกิดความเสียหายอย่างมาก อุปกรณ์ตรวจจับที่ทำงานได้ดีและแม่นยำในช่วงนี้คืออุปกรณ์ตรวจจับความร้อน (Heat Detector)

วัตถุประสงค์ในการออกแบบระบบตรวจจับเพลิงไหม้

1. เพื่อป้องกันชีวิตของผู้ใช้อาคาร เช่น ผู้ที่อยู่อาศัยในอาคาร พนักงานที่ทำงานในอาคาร พนักงานดับเพลิง เป็นต้น
2. เพื่อป้องกันทรัพย์สินในอาคารและโครงสร้างของอาคารไม่ให้เกิดความเสียหาย
3. เพื่อมิให้การดำเนินธุรกิจหยุดชะงัก ซึ่งอาจทำให้เกิดการสูญเสียโอกาสทางธุรกิจอย่างมหาศาล
4. เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น คิว้นพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ เป็นต้น

ประเภทของอุปกรณ์ตรวจจับ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้เป็นอีกส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญมาก การตรวจจับเพลิงไหม้และแจ้งกับผู้อยู่อาศัยในอาคารได้เร็วก็ลดความสูญเสียที่เกิดจากเพลิงไหม้ได้ ดังนั้นการเลือกอุปกรณ์ตรวจจับเมื่อเกิดเพลิงไหม้ต้องสามารถตรวจสอบได้อย่างรวดเร็ว การเลือกอุปกรณ์ในการตรวจจับต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับการเกิดไฟไหม้ซึ่งเกี่ยวข้องกับวัสดุที่เป็นเชื้อเพลิง อุปกรณ์ตรวจจับเพลิงไหม้ แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. ตรวจจับความร้อน (Heat Detector) ใช้หลักการตรวจจับการเปลี่ยนของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ตรวจจับเพลิงไหม้ที่เอดความร้อนสูงอย่างรวดเร็วและมีควันน้อยได้เร็วกว่าอุปกรณ์ตรวจจับควัน

2. ตรวจสอบเปลวไฟ (Flame Detector) ใช้ตรวจสอบการเกิดเปลวไฟเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ ตรวจสอบเพลิงไหม้ที่เกิดจากการลุกไหม้ของเชื้อเพลิงเหลวได้เร็วที่สุด

3. ตรวจสอบควันไฟ (Smoke Detector) คือ อุปกรณ์ตรวจสอบอนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้ ทั้งสถานะที่มองเห็นและมองไม่เห็น ตรวจสอบเพลิงไหม้ที่เกิดจากการคุตัวช้า ๆ ของเก้าอี้ความร้อน ได้เร็วกว่าชนิดอื่น ๆ แบ่งได้เป็น 2 ชนิด ตามลักษณะการตรวจจับ คือ

3.1 ชนิดไอไอไนเซชัน (Ionization Type) เป็นอุปกรณ์ตรวจจับควัน ประกอบด้วย กล่องที่ภายในมีแผ่นโลหะที่มีขั้วไฟฟ้าต่างกันและมีสารกัมมันตภาพรังสี ซึ่งทำหน้าที่กระตุ้น อากาศภายในกล่องเกิดการแตกตัว ไอออนของอากาศในกล่องจะทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าให้ กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ระหว่างสองขั้ว เมื่อมีควันเข้าไปในกล่องค่าความนำไฟฟ้าของอากาศ จะลดลง กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านจะลดลงด้วย เมื่อกระแสไฟฟ้าลดลงถึงค่าที่ตั้งไว้ อุปกรณ์ก็จะเริ่ม ทำงาน ซึ่งอุปกรณ์ตรวจจับควันชนิดไอไอไนเซชัน สามารถตรวจจับควันที่ประกอบไปด้วย อนุภาคนาขนาดเล็กจากไฟที่เกิดการเผาไหม้ที่หมดจดที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอนได้อย่างรวดเร็ว แต่อาจตรวจจับควันที่ประกอบไปด้วยอนุภาคนาขนาดใหญ่ที่เกิดการลุกไหม้ของเชื้อเพลิงที่คุตัวก่อน ลุกไหม้ได้ช้า

3.2 ชนิดโฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric Type) อุปกรณ์ตรวจจับควันที่สามารถตรวจจับ ควันที่หนาที่บที่เกิดจากการลุกไหม้ของเชื้อเพลิงที่คุตัวก่อนลุกไหม้ได้ดี โดยแบ่งหลักทำงานได้ ดังนี้

3.2.1 หลักการทำงานแบบควันบังแสง (Light Obscuration) ประกอบด้วยแหล่ง กำเนิดแสงที่ฉายลำแสงตรงไปยังอุปกรณ์ไวแสง (Photo Sensitive Device) อุปกรณ์ตรวจจับเริ่ม สัญญาณเมื่ออนุภาคควันที่อยู่ระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับอุปกรณ์ไวแสงบดบังและลดปริมาณแสง ถึงจุดพิกัดที่กำหนด โดยสีของควันไม่มีผลต่อการทำงานของอุปกรณ์ ปกติเป็นอุปกรณ์ตรวจจับ ชนิดจุด สำหรับชนิดเส้น จะตรวจจับควันโดยการฉายลำแสงผ่านบริเวณพื้นที่ที่ต้องการป้องกัน ไปยังอุปกรณ์ไวแสง

3.2.2 หลักการทำงานแบบหักเหแสง (Light Scattering) เป็นอุปกรณ์ตรวจจับควันทันทีจุด ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงและตัวรับแสงเมื่อมีควันทันทีเข้าไปในกล่อง อนุภาคของควันทันทีจะไปบังแสงและหักเหแสง แสงบางส่วนจะไปกระทบกับตัวรับแสงจนปริมาณแสงที่ไปกระทบมากขึ้นถึงค่าที่กำหนดไว้ อุปกรณ์ก็จะเริ่มทำงาน อุปกรณ์ตรวจจับชนิดนี้จะตอบสนองกับควันทันทีได้ไม่น้อยกว่าควันทันทีขาวเนื่องจากควันทันทีขาวสะท้อนแสงได้ดีกว่า

3.2.3 หลักการทำงานแบบหมอกควันทันที (Cloud Chamber) ทำงานโดยการสูดมดิวตัวอย่างอากาศ ด้วยการดูดอากาศจากพื้นที่ที่ต้องการป้องกันเข้าไปในกล่องที่มีความชื้นสูงที่อยู่ในตัวอุปกรณ์ตรวจจับ เมื่ออากาศถูกดูดเข้าไปในกล่องที่มีความชื้นสูงความกดดันอากาศภายในกล่องจะถูกทำให้ลดลงอย่างช้า ๆ ถ้าอากาศที่ถูกดูดเข้าไปมีอนุภาคควันทันทีปนอยู่ด้วยก็จะกลั่นตัวกลายเป็นหมอก ถ้าความหนาแน่นของหมอกสูงถึงค่าที่กำหนดอุปกรณ์ตรวจจับก็จะเริ่มทำงาน

การออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับ

ต้องพิจารณาตามความเหมาะสมของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ขั้นตอนการเกิดไฟ และพิจารณาข้อมูลของห้องที่จะทำการติดตั้งประกอบ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการทำงานที่ดีที่สุด และเพื่อป้องกันการดำเนินงานที่ผิดพลาดของอุปกรณ์ตรวจจับ ต้องมีการตรวจสอบอุปกรณ์ ตามข้อแนะนำของทางบริษัทที่ผลิตและมาตรฐานการออกแบบและติดตั้งระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์

ดังนั้นห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี ซึ่งเป็นห้องที่มีอุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจัดเป็นเชื้อเพลิงที่เกิดการลุกไหม้แบบค้อยู่ภายใน จึงพิจารณาเลือกอุปกรณ์ตรวจจับควันทันทีโฟโตอิเล็กทริกแบบควันทันทีบังแสง ซึ่งเป็นการตรวจจับตั้งแต่ระยะเริ่มต้นของการเกิดเพลิงไหม้สามารถตรวจจับเพลิงไหม้ที่เกิดจากการลุกไหม้ ๆ ของเก้าอี้ความร้อนได้เร็วกว่าชนิดอื่น ๆ และสีของควันทันทีไม่มีผลต่อการทำงานของอุปกรณ์ โดยพิจารณาออกแบบตามมาตรฐานการออกแบบและติดตั้งระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้น

ทฤษฎีเกี่ยวกับการดับเพลิง

การดับเพลิง คือ การหยุดการสันดาปของเชื้อเพลิง โดยพิจารณาการเกิดเพลิงไหม้เป็นหลัก และนำทฤษฎีการเกิดเพลิงไหม้มาตัดแยกองค์ประกอบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นเพื่อควบคุมปริมาณการเผาไหม้หรือทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ทำให้เพลิงไหม้ดับลง

กลไกการดับเพลิง (Extinguishment Mechanisms)

การระงับอัคคีภัยเน้นการตัดองค์ประกอบที่สามารถทำให้เกิดการลุกไหม้ของไฟทั้ง 4 องค์ประกอบ ดังนี้

1. การลดความร้อน (Heat Reduction) ทำได้โดยการฉีดสารดับเพลิงที่มีคุณสมบัติในการดูดซับความร้อนออกไปจากแหล่งเพลิงไหม้และป้องกันเชื้อเพลิงที่อยู่ใกล้เคียงไม่ให้ติดไฟด้วย เช่น ระบบดับเพลิงหัวกระจายน้ำอัตโนมัติ (Sprinkler system) ระบบดับเพลิงแบบหมอกน้ำ (Water mist system) เป็นต้น
2. การแยกออกซิเจน (Oxygen Deprivation) ทำได้โดยการแทนที่ก๊าซออกซิเจนโดยสารอื่นที่ไม่ติดไฟ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สารสะอาดดับเพลิงประเภทก๊าซเฉื่อย เป็นต้น โดยการฉีดก๊าซให้ครอบคลุมบริเวณพื้นที่ป้องกันทั้งหมด ซึ่งเรียกว่าวิธีฉีดท่วม (Total Flooding)
3. การตัดเชื้อเพลิงออก (Fuel Removal) ทำได้โดยการตัดเชื้อเพลิงออกจากเพลิงไหม้นั้น เช่น การปิดวาล์วของท่อก๊าซหรือท่อน้ำมันเพื่อตัดเชื้อเพลิงออกจากบริเวณไฟไหม้ การใช้กำแพงทนไฟเพื่อป้องกันการลามไฟ การทาสีทนไฟหรือน้ำยากันไฟลงบนวัตถุติดไฟ เช่น ผนังไม้ พื้นไม้ เสาไม้ และสายไฟฟ้า เป็นต้น
4. การตัดปฏิกิริยาลูกโซ่ (Breaking of Combustion Chain) เป็นการดับไฟโดยอาศัยสารเคมีประเภทต่าง ๆ เข้าไปยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจน เช่น สารดับเพลิงประเภทฮาโลน สารสะอาดดับเพลิงประเภทฮาโลคาร์บอน และผงเคมีแห้ง เป็นต้น

การเลือกสารเคมีในการดับเพลิง

ต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ประเภทของเชื้อเพลิงและไฟที่เกิดขึ้น
2. มูลค่าของทรัพย์สินที่ต้องการป้องกัน
3. ลักษณะของพื้นที่ที่ป้องกันนั้น ๆ
4. ความสามารถในการดับเพลิงของสารดับเพลิงแต่ละประเภท
5. ความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการใช้สารดับเพลิงนั้น
7. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมภายหลังการดับเพลิง

การเลือกระบบดับเพลิงให้เหมาะสมกับชนิดของเชื้อเพลิงตามประเภทของพื้นที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ พิจารณาตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความเหมาะสมของระบบดับเพลิงกับพื้นที่ป้องกัน

ประเภทของพื้นที่ป้องกัน	อุปกรณ์ตรวจจับที่เหมาะสม	ระบบดับเพลิงที่เหมาะสม
ห้องไฟฟ้า	ควันไฟ	ระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
ห้องครัว	ความร้อน	สารผงเคมีแห้งดับเพลิง
ถังบรรจุน้ำมันเชื้อเพลิงขนาดใหญ่	ความร้อน/เปลวไฟ	น้ำยาโฟมดับเพลิง
คลังสินค้าทั่วไป	ควันไฟ	ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง
พื้นที่ในสำนักงาน	ควันไฟ/ความร้อน	ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง
ห้องพิพิธภัณฑ	ควันไฟ	สารสะอาดดับเพลิง
ห้องเก็บเอกสารสำคัญ	ควันไฟ	ระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
คลังเชื้อเพลิง	ควันไฟ/ความร้อน	น้ำยาโฟมดับเพลิง
ห้องคอมพิวเตอร์	ควันไฟ	สารสะอาดดับเพลิง
ห้องประชุมขนาดใหญ่	ควันไฟ	ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง
หม้อแปลงไฟฟ้าแบบน้ำมัน	ความร้อน	ระบบละอองน้ำดับเพลิง

ที่มา: พิษณุ (2547)

ดังนั้น ห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี สถานีไฟฟ้าย่อย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งไม่มีพนักงานปฏิบัติงานในห้องและเป็นห้องที่มีอุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จัดเป็นเชื้อเพลิง ประเภท C ซึ่งเพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นจะมีกระแสไฟฟ้ารวมอยู่ด้วย จึงต้องการสารดับเพลิงที่มีคุณสมบัติไม่เป็นสื่อไฟฟ้า และระบบดับเพลิงที่เหมาะสมในการดับเพลิงดังกล่าวจึงพิจารณาเลือกระบบสารสะอาดดับเพลิง (Clean Agent) และระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับการเกิดเพลิงไหม้ชนิดตรวจจับควัน เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้น

สารสะอาดดับเพลิงและระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารที่มีความเหมาะสมที่จะใช้สำหรับดับเพลิงที่ติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีมูลค่าสูงและเป็นส่วนสำคัญในการดำเนินการทางธุรกิจ เช่น ห้องคอมพิวเตอร์ ห้องควบคุมระบบการผลิต หรือห้องเก็บทรัพย์สินที่มีมูลค่าสูง เช่น พิพิธภัณฑสถาน โดยไม่ทำให้อุปกรณ์และทรัพย์สินได้รับความเสียหาย ซึ่งเป็นดับเพลิงไหม้ด้วยการแยกออกซิเจนออกจากพื้นที่ป้องกัน โดยการฉีดสารดับเพลิงด้วยวิธีการฉีดท่วมครอบคลุมทั้งห้อง (Total Flooding) ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ตัวอย่างวิธีการฉีดท่วมครอบคลุมทั้งห้อง

ระบบดับเพลิงสารสะอาดดับเพลิง

ระบบสารสะอาดดับเพลิง จะเป็นระบบแบบฉีดท่วมครอบคลุมทั้งห้อง โดยพื้นที่ป้องกันจะต้องมีการปิดล้อมอย่างดี เพื่อป้องกันไม่ให้สารสะอาดดับเพลิงรั่วไหลออกนอกพื้นที่ป้องกัน ในขณะที่ระบบฉีดสารสะอาดดับเพลิงทำงาน และการพิจารณาเลือกใช้ความเข้มข้นของระบบดับเพลิงต้องปรึกษากับผู้ผลิตของสารดับเพลิงนั้น ๆ

ประเภทของสารระคายเคือง

แบ่งได้ 2 ประเภท คือ

1. สารฮาโลคาร์บอน (Halocarbon Agent) เป็นสารระคายเคืองที่มีองค์ประกอบหลักอย่างน้อยหนึ่งสารหรือมากกว่าของสารเหล่านี้ คือ ฟลูออรีน คลอรีน โบรมีน หรือไอโอดีน
2. สารก๊าซเฉื่อย (Inert Gas Agent) เป็นสารระคายเคืองที่มีองค์ประกอบหลักอย่างน้อยหนึ่งสารหรือมากกว่าของก๊าซเหล่านี้ คือ ฮีเลียม นีออน อาร์กอน ไนโตรเจน โดยสามารถใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซผสมเพื่อเป็นสารองค์ประกอบรองได้

ความปลอดภัยต่อชีวิต

อุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยต่อชีวิตจะต้องจัดไว้ตลอดเวลาเพื่อใช้ในการอพยพคน หรือช่วยเหลือคนที่ติดอยู่ภายในที่ป้องกัน สำหรับความปลอดภัยที่ควรพิจารณา คือการฝึกซ้อมเจ้าหน้าที่ ป้ายเตือน สัญญาณเตือนภัย อุปกรณ์ช่วยหายใจ (Self – Contained Breathing Apparatus) แผนการอพยพ และการฝึกซ้อมอพยพคน

คุณสมบัติของสารระคายเคือง

1. จะต้องได้รับการรับรองจากสถาบันที่เชื่อถือได้ และสามารถใช้ในสถานที่ที่มีคนปฏิบัติงานได้
2. ต้องไม่เป็นอันตรายเมื่อเลือกใช้ในปริมาณที่เหมาะสม
3. ต้องไม่ทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ
4. ต้องไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์และทรัพย์สินที่ติดตั้งอยู่ในพื้นที่ป้องกันที่ใช้สารระคายเคืองนั้น

ถังบรรจุสารสะอาดดับเพลิง

1. ถังบรรจุสารสะอาดดับเพลิงและอุปกรณ์ประกอบจะต้องวางอยู่ในตำแหน่งที่สะดวกต่อการตรวจสอบ การทดสอบ และการบำรุงรักษา
2. ถังบรรจุสารสะอาดดับเพลิงจะต้องติดตั้งอย่างมั่นคงใกล้กับพื้นที่ป้องกันนั้น และมีการป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับตัวถังและอุปกรณ์จากสภาวะแวดล้อมและอุบัติเหตุได้เป็นอย่างดี
3. การเติมสารสะอาดดับเพลิงสำหรับถังบรรจุสารจะต้องเป็นไปตามคำแนะนำของผู้ผลิตสารสะอาดนั้น
4. ติดตั้งป้ายหรือทำเครื่องหมายเพื่อบอกชนิดของสารสะอาดที่ใช้ น้ำหนักสารสะอาด น้ำหนักถัง และข้อความสำคัญที่เกี่ยวข้องไว้ที่ตัวสารบรรจุอย่างชัดเจน
5. ต้องติดตั้งชุดลิ้นนิรภัย สำหรับระบายความดันที่เกินกว่าปกติที่กำหนดไว้ในการบรรจุสารสะอาดดับเพลิงและตำแหน่งปล่อยสารสะอาดดับเพลิงออกของลิ้นนิรภัยจะต้องไม่ก่อให้เกิดอันตรายกับคนและพื้นที่ใกล้เคียง

ท่อและอุปกรณ์ประกอบ

1. ท่อ ข้อต่อ และวาล์ว ต้องทำมาจากวัสดุที่แข็งแรง ทนทาน และจะต้องทนความดันใช้งานได้ไม่น้อยกว่าความดันภายในที่เกิดขึ้นภายในถังบรรจุสารสะอาดดับเพลิง ที่อุณหภูมิไม่น้อยกว่า 55 องศาเซลเซียส (130 องศาฟาเรนไฮต์) ของสารสะอาดดับเพลิงนั้น ๆ
2. ระบบท่อและส่วนประกอบของท่อจะต้องทำความสะอาดให้เรียบร้อย ก่อนที่จะติดตั้งหัวฉีดสารสะอาดดับเพลิง (Discharge Nozzle)

หัวข้อสาระอากาศดับเพลิง

1. ต้องทำจากวัสดุทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดี
2. ต้องเลือกมุมการฉีดสารให้เหมาะสม เช่น 360 องศา หรือ 180 องศา เป็นต้น
3. ต้องมีข้อความบอกขนาดของออริฟิซ (Orifice) ผู้ผลิตและชนิดของผลิตภัณฑ์บนตัวหัวฉีดอย่างชัดเจน

ระบบตรวจจับ สั่งการและควบคุม

1. อุปกรณ์ตรวจจับ อุปกรณ์สั่งการอุปกรณ์เตือนภัยและแผงควบคุมจะต้องติดตั้งทดสอบและบำรุงรักษาให้เป็นไปตามมาตรฐานสากล
2. การควบคุมการทำงานของระบบสารอากาศดับเพลิงให้ใช้ระบบตรวจจับและสั่งการอัตโนมัติเท่านั้น
3. ต้องมีระบบตรวจสอบ (Supervisory System) และส่งสัญญาณเตือนให้ทราบถึงการทำงานที่ผิดปกติของอุปกรณ์ในระบบสารอากาศดับเพลิง
4. อุปกรณ์ควบคุมการปลดปล่อยสารอากาศดับเพลิงจากถังบรรจุจะต้องสามารถใช้ได้ทั้งระบบไฟฟ้าและระบบนิวเมติกส์ (Pneumatic) หรือด้วยมือ
5. ต้องมีระบบเตือนภัย ทั้งเสียงและแสงก่อนที่สารอากาศดับเพลิงจะถูกปลดปล่อยออกจากถัง
6. ต้องติดตั้งป้ายแสดงไว้ที่บริเวณประตู ทั้งด้านในและด้านนอกพื้นที่ติดตั้งระบบสารอากาศดับเพลิง

ระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide System)



ระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เหมาะสำหรับการดับเพลิงในพื้นที่ป้องกันที่มีการติดตั้ง อุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หรือทรัพย์สินที่มีมูลค่าสูงและมีความสำคัญต่อการดำเนิน ธุรกิจ โดยระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับทรัพย์สิน ซึ่งปกติพื้นที่ ป้องกันนั้นจะต้องไม่มีคนปฏิบัติงาน โดยขณะฉีดก๊าซจะมีอันตราย ต่อชีวิตเนื่องจากขาดออกซิเจน ในการหายใจและหมอกที่เกิดจากคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้ยากต่อการมองเห็น

คุณสมบัติของก๊าซและระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่มีสีไม่มีกลิ่น ไม่นำไฟฟ้า ดังนั้น จึงเป็นก๊าซที่เหมาะสมกับการดับเพลิง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีน้ำหนักมากกว่าอากาศ 1.5 เท่า โดยหลักการดับเพลิงคือการทำให้ปริมาณของก๊าซออกซิเจนหรือปริมาณไอของเชื้อเพลิงในอากาศ ลดลงจนถึงจุดที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้

ประเภทของระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

แบ่งออกเป็น 2 ระบบ ดังนี้

1. ระบบดับเพลิงด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ชนิดความดันต่ำ (Low Pressure System) โดยการก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ในถังที่มีการหุ้มฉนวนป้องกัน ความร้อนเป็นอย่างดี และ รักษาอุณหภูมิไว้ที่ -18°C (0°F) ความดัน 300 psi (2068 kpa) ตลอดเวลา การใช้ระบบดับเพลิงด้วย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ชนิดนี้มักใช้ในกรณีการออกแบบที่ใช้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นจำนวนมาก หรือมีพื้นที่เพียงพอ โดยปริมาณการบรรจุตั้งแต่ 500 ปอนด์ จนไปถึงมากกว่า 4,000 ปอนด์

2. ระบบดับเพลิงด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ชนิดความดันสูง (High Pressure System) โดยการก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ในถังอุณหภูมิไว้ที่ 21°C (70°F) ความดัน 850 psi (5860 kpa) การใช้ระบบดับเพลิงด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ชนิดความดันสูงใช้ในกรณีการออกแบบที่จะต้องใช้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นจำนวนไม่มาก หรือมีพื้นที่จำกัด โดยปริมาณการบรรจตั้งแต่ 5 ปอนด์ จนถึง 100 ปอนด์

วิธีการฉีดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งระบบความดันต่ำและความดันสูง

จะมีวิธีการฉีดก๊าซเพื่อทำการดับเพลิง ได้ 4 วิธี

1. การออกแบบที่เป็นการฉีดเฉพาะที่ (Local Application) เป็นการฉีดก๊าซผ่านท่อก๊าซ ซึ่งมีการเชื่อมต่อกับถังบรรจุก๊าซและหัวฉีดก๊าซอย่างถาวรไปยังจุดหรือตำแหน่งที่เกิดเหตุเท่านั้น ระยะเวลาในการฉีดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อย่างน้อย 30 วินาที มีการออกแบบได้ 2 วิธี คือ วิธี Rate by Area Method และ วิธี Rate by Volume Method

2. การฉีดท่วม (Total Flooding) ลักษณะของการฉีดก๊าซแบบนี้ จะมีการติดตั้งท่อจ่ายก๊าซเชื่อมต่อกับถังบรรจุก๊าซและหัวฉีดก๊าซอย่างถาวร โดยจะฉีดปริมาณก๊าซที่มีอยู่ทั้งหมดเข้าไปในพื้นที่ที่เกิดเพลิงไหม้ พื้นที่ที่จะฉีดแบบนี้ต้องเป็นพื้นที่ปิดล้อม จะต้องมีกรออกแบบให้มีการฉีดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เต็มปริมาตรของห้องผนังกำแพงจะต้องทนแรงดันที่เกิดจากการฉีดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ตลอดจนช่องเปิดต่าง ๆ จะต้องมีระบบปิดอัตโนมัติ เมื่อระบบทำงานในกรณีที่มีช่องว่างที่อยู่ภายในห้องนั้น จะต้องมีกรคำนวณหาปริมาณก๊าซชนิดเฉยในส่วนที่หัวกระจายผ่านช่องเปิดออกไปนอกพื้นที่ด้วยประเภทของเพลิงไหม้ที่ใช้กับการดับเพลิงแบบนี้อยู่ 2 ประเภท คือ (1) ไฟไหม้ผิว (Surface Fire) จะต้องมีกรฉีดก๊าซให้หมดภายใน 1 นาที นับตั้งแต่ก๊าซเริ่มฉีดจนกระทั่งฉีดหมด (2) ไฟไหม้คูกู่ภายใน (Deep Seated Fire) จะต้องมีกรฉีดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้หมดภายในเวลา 7 นาที แต่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะต้องมีความเข้มข้นที่ 30% ภายในระยะเวลา 2 นาทีแรก นับตั้งแต่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มฉีด และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะต้องถูกกักไว้ในพื้นที่ได้นานไม่น้อยกว่า 20 นาที

3. การฉีดด้วยสายฉีด (Hand Held Hose Lines) เป็นการฉีดสารก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านสายฉีดก๊าซทั้งที่เป็นสายฉีดแบบพันและสายฉีดแบบม้วน ซึ่งมีการติดตั้งท่อจ่ายก๊าซต่อเชื่อมระหว่างถังบรรจุก๊าซและสายฉีดเป็นการถาวรปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะต้องเพียงพอที่จะฉีดได้อย่างน้อย 1 นาที

4. ระบบท่อยืนและถังบรรจุก๊าซเคลื่อนที่ (Standpipe System with Mobile Supply) ท่อจ่ายก๊าซถูกต่อเข้ากับระบบท่อยืน เพื่อเข้าไปเชื่อมกับหัวฉีดก๊าซทั้งที่เป็นแบบการฉีดเฉพาะที่ การฉีดแบบท่วม และผลการฉีดด้วยสายฉีด แต่ท่อจะต่อเข้ากับถังบรรจุก๊าซจะถูกลอยไว้เมื่อมีเหตุเพลิงไหม้เกิดขึ้นจึงจะนำถังบรรจุก๊าซแบบเคลื่อนที่เข้ามาต่อที่ปลายท่อเพื่อจ่ายก๊าซเข้าไปในระบบต่อไป

ข้อพิจารณาในการใช้งานระบบดับเพลิงแบบคาร์บอนไดออกไซด์

มีดังต่อไปนี้

1. เมื่อคำนึงถึงการดับเพลิงที่เกิดกับเชื้อเพลิงประเภท C ซึ่งไม่ต้องการการเกิดการนำไฟฟ้าเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ไฟฟ้าขณะทำการดับเพลิง

2. เมื่อคำนึงถึงความสะดวกของสถานที่ภายหลังการฉีดก๊าซ

3. ชนิดอันตรายและอุปกรณ์ที่เหมาะสมกับการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการดับเพลิงที่เกิดขึ้นมีดังต่อไปนี้

3.1 ของเหลวไวไฟต่าง ๆ

3.2 อุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า สะพานไฟฟ้า อุปกรณ์ตัดไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้า และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

3.3 เครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สโซลีนและเชื้อเพลิงเหลวชนิดอื่น ๆ

3.4 เชื้อเพลิงทั่ว ๆ ไป เช่น กระดาษ ไม้ และเส้นใยผ้า

3.5 ของแข็งติดไฟต่าง ๆ

4. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่สามารถดับเชื้อเพลิง ดังนี้

4.1 สารเคมีที่มีความสามารถผลิตออกซิเจนได้เองเมื่อติดไฟ เช่น Cellulose nitrate

4.2 โลหะติดไฟ เช่น Sodium, Potassium, Magnesium, Titanium, Zircromium

4.3 วัสดุประเภท Metal Hydrides

ความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สิน (Personnel Safety)

การฉีดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อการดับเพลิงนั้น ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สะสมในขณะที่ฉีดก๊าซจะมีอันตรายต่อชีวิตเนื่องจากขาดออกซิเจนในการหายใจและหมอกที่เกิดจากระบบดับเพลิงแบบคาร์บอนไดออกไซด์ จะทำให้ยากต่อการมองเห็นอีกด้วยห้องหรือพื้นที่ที่ใช้ในการติดตั้งถังบรรจุก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะต้องอยู่ใกล้และอยู่ภายนอกพื้นที่ทำการป้องกัน

1. ป้ายคำเตือน (Warning Sign) แผ่นป้ายเตือนควรมีข้อความและติดตั้งในพื้นที่ต่าง ๆ เหล่านี้ คือ

แผ่นป้ายคำเตือนเพื่อใช้ติดตั้งในพื้นที่ที่ฉีดก๊าซ

คำเตือน

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

เมื่อสัญญาณเตือนภัยดังขึ้นให้ออกจากพื้นที่โดยเร็ว

แผ่นป้ายคำเตือนที่ติดตั้งทุก ๆ ทางเข้าของพื้นที่ที่ฉีด

คำเตือน

ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์

เมื่อสัญญาณเตือนภัยดังขึ้น อย่าเข้าไปภายในห้อง

แผ่นป้ายคำเตือนที่ติดตั้งในบริเวณใกล้เคียงพื้นที่หรือห้องที่อาจจะมีการสะสมของก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ที่ฉีดออกมาเป็นปริมาณมาก ซึ่งอาจเป็นอันตรายได้

คำเตือน

ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ที่ฉีดในพื้นที่ใกล้เคียงสามารถสะสมได้ในที่นี้

เมื่อสัญญาณเตือนภัยดังขึ้น ให้อพยพออกโดยเร็ว

แผ่นป้ายคำเตือนที่ด้านนอกของทางเข้าห้องเก็บถังบรรจุก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์

คำเตือน

ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์

ระบายอากาศในพื้นที่ก่อนเข้า

ปริมาณก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์มีความเข้มข้นสูงในพื้นที่นี้ อาจทำให้ขาดอากาศหายใจ

แผ่นป้ายคำเตือนจะต้องติดตั้งในทุกพื้นที่ที่มีการติดตั้งอุปกรณ์สั่งระบบทำงานด้วยมือ

คำเตือน

อุปกรณ์นี้ทำงานจะทำให้ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ฉีด ก่อนใช้อุปกรณ์นี้

จะต้องไม่มีคนอยู่ในพื้นที่นี้

2. ระบบสัญญาณเตือนการฉีดล่วงหน้า (Pre-Discharge Alarm) สัญญาณเตือนการฉีดล่วงหน้าจะมีการฉีดล่วงหน้าให้พอเพียงต่อการอพยพคนในพื้นที่ก่อนที่จะมีการฉีดก๊าซคาร์บอน- ไดออกไซด์เข้าไปในพื้นที่ป้องกัน สัญญาณเตือนภัยแบบใช้เสียงและแบบใช้สายตาจะต้องทำงานเมื่อสัญญาณเตือนการฉีดล่วงหน้าดังขึ้น ยกเว้นในกรณีที่มีการสั่งให้ระบบทำงานด้วยอุปกรณ์มือฉุด

เงิน สัญญาณเตือนการฉีดล้างหน้าจะต้องมีเสียงดังมากกว่า 15 เดซิเบลของระบบเสียงรบกวนรอบข้างพื้นที่ หรือมากกว่าอย่างน้อย 5 เดซิเบล ของระบบเสียงรอบข้างที่ดังที่สุด โดยกำหนดให้เลือกใช้ค่าของระดับเสียงดังที่สุด ซึ่งจะต้องทำการวัดระดับเสียงที่ระดับสูงจากพื้น 1.50 เมตร ภายในพื้นที่ทำงาน สัญญาณเตือนการฉีดล้างหน้าจะต้องมีระดับเสียง 120 เดซิเบล ที่ตำแหน่ง ที่ใกล้ที่สุด ในการได้ยินเสียงและจะต้องมีระดับเสียงไม่น้อยกว่า 90 เดซิเบล ที่ระยะห่าง 3 เมตร

ข้อกำหนด แบบแปลน และการอนุมัติ (Specifications, Plans, and Approvals)

นอกจากข้อมูลเบื้องต้นแล้ว ก่อนการออกแบบข้อมูลเริ่มต้นที่ใช้เป็นฐานข้อมูล ในการออกแบบและคำนวณมีความสำคัญในการพิจารณาเลือกตัวแปรในการออกแบบ โดยมีข้อมูลที่จะใช้ ดังนี้

1. ข้อกำหนด ผู้ทำการออกข้อกำหนดสำหรับการออกแบบเลือกใช้และการติดตั้งระบบดับเพลิงด้วยก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ ต้องเป็นวิศวกรที่มีทักษะความรู้ความเข้าใจระบบนี้เป็นอย่างดี
2. แบบแปลน แสดงการติดตั้งระบบก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ ต้องมีรายละเอียดเพียงพอต่อการประเมินอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้ และสามารถที่จะประเมินความสามารถของระบบได้ด้วยรายละเอียดของแบบแปลนที่จำเป็นต้องมี ดังต่อไปนี้
 - 2.1 วัสดุอันตรายอื่น ๆ ที่อยู่ภายในห้องป้องกัน
 - 2.2 ที่ตั้งของพื้นที่ป้องกัน
 - 2.3 โครงสร้างหรือข้อจำกัดและการแบ่งกั้นของพื้นที่ป้องกันอันตราย
 - 2.4 พื้นที่โดยรอบที่มีผลกระทบต่อการทำงานของป้องกันอันตราย

การอนุมัติการติดตั้ง

เมื่อระบบติดตั้งสมบูรณ์แล้วจะต้องมีการตรวจสอบระบบเป็นครั้งสุดท้าย เพื่อตรวจสอบว่าระบบที่ติดตั้งนี้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง ตามข้อกำหนดที่ได้ออกแบบไว้ การตรวจสอบและทดสอบกระทำได้ ดังต่อไปนี้

1. ทำการตรวจสอบด้วยสายตาเพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ในระบบและพื้นที่ทำการป้องกัน สำหรับอุปกรณ์ท่อก๊าซ อุปกรณ์การทำงาน และหัวฉีดก๊าซ จะต้องมีการตรวจสอบขนาดและตำแหน่ง รวมทั้งอุปกรณ์สังเกติก๊าซด้วยมือและอุปกรณ์เตือนภัยจะต้องมีการตรวจสอบตำแหน่งที่ถูกต้อง สภาพภายในพื้นที่ป้องกันจะต้องมีการตรวจสอบรอยรั่วของก๊าซออกไปภายนอกพื้นที่ซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นของก๊าซไม่ได้ตามที่กำหนดไว้
2. ตรวจสอบป้ายแสดงชื่อและแสดงข้อมูลของอุปกรณ์และถังบรรจุก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ โดยทำการเปรียบเทียบข้อกำหนดในการออกแบบ
3. การทดสอบโดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ เช่น อุปกรณ์ตรวจจับ และอุปกรณ์สั่งระบบทำงาน เป็นต้น
4. การทดสอบด้วยการสั่งงานให้ระบบฉีดก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์เข้าไปในพื้นที่ป้องกันนั้นและจะต้องกระทำการทดสอบการฉีดก๊าซจริงในแต่ละพื้นที่ป้องกัน ในกรณีที่มีการใช้ท่อจ่ายก๊าซร่วมกัน ในกรณีที่มีการใช้ท่อจ่ายก๊าซร่วมกัน ในกรณีที่มีพื้นที่ป้องกันหลาย ๆ พื้นที่

เมื่อมีการติดตั้งระบบก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ใหม่ จะต้องทำการทดสอบอุปกรณ์และสมรรถนะของระบบ เพื่อตรวจสอบว่าอุปกรณ์ทุกชิ้นในระบบทำงานได้อย่างถูกต้องตามที่ได้ออกแบบไว้หรือไม่การทดสอบการทำงานของระบบแบบต่าง ๆ สามารถกระทำได้ ดังต่อไปนี้

4.1 แบบฉีดเฉพาะพื้นที่ (Local Application) ทำการฉีดด้วยปริมาณก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ทั้งหมดตามที่ได้ออกแบบเพื่อป้องกันพื้นที่นั้นผ่านไปตามระบบท่อจ่ายก๊าซ ทำการจับระยะเวลาในการฉีดปริมาณก๊าซทั้งหมดให้มีเวลาตรงตามการคำนวณ และทำการตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์ที่ทำงานด้วยความดันทุกตัวในระบบ

4.2 แบบฉีดท่วมพื้นที่ (Total Flooding) ทำการฉีดด้วยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดตามที่ได้ออกแบบไว้ ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของปริมาณ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และระยะเวลาในการฉีดก๊าซทั้งหมดรวมทั้งตรวจสอบสภาพการทำงานของอุปกรณ์ทั้งหมดที่ทำงานด้วยความดัน

4.3 แบบสายฉีดด้วยมือ (Hand-Held Hose Line) ทำการฉีดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดเพื่อทดสอบหัวฉีดและรูปแบบของการกระจายก๊าซออกจากหัวฉีด

การตรวจจับ การสั่งงาน และการควบคุม (Detection Actuation Control)

1. การตรวจจับ (Detection) การตรวจจับสามารถที่จะเลือกใช้อุปกรณ์ตรวจจับต่าง ๆ อาทิเช่น อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน (Heat Detector) อุปกรณ์ตรวจจับควันไฟ (Smoke Detector) อุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟ (Flame Detector) ฯลฯ โดยที่อุปกรณ์เหล่านี้จะต้องได้รับการรับรองมาตรฐานของผลิตภัณฑ์จากสถาบันที่เชื่อถือได้

2. ประเภทของการสั่งงาน (Actuation Type) อุปกรณ์ตรวจจับอัตโนมัติที่ใช้ในระบบจะต้องได้รับใบรับรองจากสถาบันทดสอบที่น่าเชื่อถือได้ โดยอุปกรณ์ตรวจจับเหล่านี้อาจใช้วิธีการตรวจจับต่าง ๆ เช่น ความร้อน ควันไฟ เปลวไฟ ไอเผาไหม้ หรืออุปกรณ์ตรวจจับสิ่งผิดปกติอื่น ๆ ระบบจะแบ่งประเภทเป็นอัตโนมัติและแบบมือปกติตามวิธีการสั่งงานดังต่อไปนี้ คือ

2.1 การทำงานแบบอัตโนมัติ (Automatic) เป็นการทำงานของระบบโดยไม่ต้องใช้คนควบคุม

2.2 การทำงานแบบมือปกติ (Manual) เป็นการทำงานแบบนี้จะใช้มือในการสั่งงานผ่านอุปกรณ์ที่ติดตั้งไว้ในตำแหน่งที่อยู่ใกล้เคียงกับพื้นที่ที่ทำการป้องกัน เมื่อกระตุ้นอุปกรณ์เพื่อให้ทำงานจะสั่งงานระบบทำงาน

2.3 การทำงานแบบมือฉุกเฉิน (Emergency Manual) การทำงานโดยใช้มือเปิดกลไกที่ติดตั้งอยู่ใกล้กับอุปกรณ์ควบคุมการทำงานเพื่อสั่งงานให้ระบบทำงาน เช่น อุปกรณ์เปิดหัวถังฉุกเฉิน เป็นต้น

อุปกรณ์ทำงาน (Operating Device)

อุปกรณ์ทำงานรวมทั้งอุปกรณ์ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือวาล์วอุปกรณ์ควบคุม การฉีดและอุปกรณ์ปีดระบบ จะต้องได้รับการรับรองจากสถาบันทดสอบที่น่าเชื่อถือได้ อุปกรณ์ ทำงานด้วยมือ สามารถดึงได้ด้วยแรงไม่เกิน 178 นิวตัน และติดตั้งสูงจากพื้นไม่เกิน 1.20 เมตร จะ ต้องมีการติดป้ายแสดงวิธีการกระตุ้นและบอกหน้าที่ของอุปกรณ์ทำงานด้วยมือ อุปกรณ์เตือนภัยจะ มีหน้าที่เตือนบุคคลไม่ให้เข้าไปในพื้นที่อันตราย โดยมีระยะเวลาในการเตือนนาน

แหล่งจ่ายไฟฟ้า (Power Sources)

แหล่งจ่ายไฟฟ้าหลักที่จ่ายไฟฟ้าให้กับระบบการควบคุมและการทำงานของระบบจะต้องมี กำลังพอและมีความน่าเชื่อถือได้ จะต้องมีการจัดให้มีแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองให้กับระบบ โดยมี แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองจะต้องจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบได้ภายในระยะเวลาไม่เกิน 30 วินาที ภายหลังจาก แหล่งจ่ายไฟฟ้าหลักเสียหรือแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลักจ่ายไฟฟ้าต่ำกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณ ไฟฟ้า ที่ระบบต้องการ อีกทั้งแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองจะต้องมีประสิทธิภาพในการจ่ายกำลังไฟฟ้า อย่างต่อเนื่องให้กับอุปกรณ์ทั้งหมดภายในระบบที่ทำงาน ภายในระยะเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง และต้องสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์จ่ายก๊าซตลอดระยะเวลาการทำงาน ต้องจัดให้มีอุปกรณ์ เตือนด้วยเสียงและอุปกรณ์แสดงผลสำหรับแสดงการทำงานของระบบและสถานะความต้องการ การประจุแบตเตอรี่ อีกทั้งอุปกรณ์เตือนด้วยเสียงจะต้องดังเมื่อมีสัญญาณการสั่งงานอัตโนมัติกับ ระบบ เพื่อให้เจ้าหน้าที่ผู้ควบคุมสามารถตรวจสอบได้อย่างรวดเร็ว

การบรรจุก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide Supply)

1. ปริมาณก๊าซ (Quantities) ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ในการดับเพลิงจะต้อง มีปริมาณเพียงพอในการป้องกันพื้นที่อันตรายที่ใหญ่ที่สุดเท่านั้น หรือกลุ่มของอันตราย (Group of Hazard) ที่ต้องการป้องกันนั้น ๆ

2. การบรรจุซ้ำ (Replenishment) ในการบรรจุก๊าซใหม่ เมื่อมีการฉีดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ออกจากถังบรรจุจะต้องรีบทำการบรรจุก๊าซเข้าไปใหม่ เพื่อให้ระบบมีความสามารถในการป้องกัน อัคคีภัยที่อาจเกิดขึ้นได้ภายในพื้นที่นั้นซ้ำอีก ฉะนั้นถ้าต้องใช้เวลาในการบรรจุก๊าซเข้าไปใหม่ การติดตั้งถังสำรองเพื่อเป็นระบบเสริมก็สมควรพิจารณา

3. คุณภาพของก๊าซ (Quality) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ในการดับเพลิง จะต้องมีความ สมบัติ ดังต่อไปนี้

3.1 ที่สถานะเป็นไอ 99.5 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะ ต้องไม่มีสีหรือกลิ่น

3.2 ที่สถานะของเหลว จะต้องมือน้ำผสมอยู่ไม่เกิน 0.01 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักที่จุด น้ำค้าง 34 องศาเซลเซียส (-30 องศาฟาเรนไฮต์)

3.3 จะต้องมือน้ำผสมไม่เกิน 10 ppm โดยน้ำหนัก

ถังบรรจุก๊าซ (Storage Container)

1. ถังบรรจุก๊าซและอุปกรณ์ประกอบจะต้องติดตั้งอยู่ที่ที่สามารถเข้าไปตรวจสอบ ซ่อมบำรุงและเปลี่ยนถังได้โดยสะดวก

2. ถังบรรจุก๊าซจะต้องติดตั้งอยู่ใกล้กับพื้นที่ที่ฉีดก๊าซ แต่จะต้องไม่ติดถังบรรจุก๊าซไว้ภายในพื้นที่ที่ฉีดก๊าซโดยเด็ดขาด

3. พื้นที่ที่ติดตั้งถังบรรจุก๊าซจะต้องปลอดภัยจากอันตรายของสารเคมี การกระทบ กระทบแแตกและสภาพแวดล้อม

4. เมื่อมีการบรรจุก๊าซใหม่สำหรับถังความดันสูง (High Pressure Cylinder) จะต้องมีการทดสอบโดยการอัดน้ำด้วยความดันเพื่อตรวจสอบสภาพก่อนการบรรจุใหม่ ถ้าถังนั้นมีการติดตั้งนานเกิน 5 ปี

5. ในกรณีถังความดันสูงที่ถังบรรจุก๊าซและติดตั้งมานานถึง 12 ปี นับจากวันที่ ทำการทดสอบครั้งสุดท้าย จะต้องฉีดก๊าซจากภายในถังทิ้งและทำการทดสอบถัง ก่อนที่จะบรรจุ ก๊าซเข้าไปใหม่

6. ถังบรรจุก๊าซทุกถังจะต้องติดตั้งอุปกรณ์ปล่อยความดันฉุกเฉิน โดยที่ขนาดและการต่ออุปกรณ์ให้เป็นไปตามที่ผู้ผลิตกำหนด

7. ขนาดของถังบรรจุก๊าซแบบความดันสูงมีให้เลือกตามมาตรฐานสากล

ระบบการกระจาย (Distribution System)

1. ท่อและข้อต่อ (Pipe and Fitting) ท่อที่ใช้ในระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นท่อเหล็กกล้าหรือท่อเหล็กกล้าชุบสังกะสี ตามมาตรฐาน ASTM A-53 grade A หรือ B ทั้งที่เป็นแบบไม่มีตะเข็บ (Seamless) หรือเป็นแบบแนวเชื่อมไฟฟ้า (Electric Welded) ข้อต่อที่ทำจากเหล็กหล่อขนาด 150 (Class 150) จะไม่อนุญาตให้ใช้ในระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระดับเพลิง

2. วาล์ว (Valve) วาล์วที่ติดตั้งในระบบทุกตัว จะต้องได้รับการรับรองจากสถาบันที่เชื่อถือได้ วัสดุที่ทำตัววาล์วและชิ้นส่วนภายในวาล์วต้องมีความทนทานต่อแรงดันที่เกิดขึ้นในขณะที่วาล์วทำงาน โดยไม่เกิดความเสียหาย

3. หัวฉีดก๊าซ (Discharge Nozzle) ต้องมีลักษณะ ดังต่อไปนี้

3.1 หัวฉีดก๊าซที่นำมาใช้ในระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะต้องได้รับการรับรองจากสถาบันที่เชื่อถือได้

3.2 หัวฉีดก๊าซจะต้องมีการเลือกขนาด Orifice รูปแบบ (Type) และอุปกรณ์ป้องกัน (Shield) ให้ถูกต้องกับขนาดห้องและวิธีการติดตั้งด้วย

3.3 แผ่น Orifice ที่ใช้จะต้องทนทานต่อการกัดกร่อนของสภาวะแวดล้อมของพื้นที่การใช้งาน

3.4 อุปกรณ์จับยึด (Support) หัวฉีดก๊าซจะต้องมีความแข็งแรงและทนต่อแรงกระทำของความดันก๊าซเมื่อหัวฉีดก๊าซทำงาน

3.5 ภายในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการระเบิด หัวฉีดก๊าซที่เป็นโลหะจะต้องมีการต่อเชื่อม หัวฉีดก๊าซกับสายดิน ทั้งนี้รวมทั้งอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ ที่เป็นโลหะภายในระบบด้วย เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดไฟฟ้าสถิตกับอุปกรณ์ต่าง ๆ เหล่านี้

การตรวจสอบและบำรุงรักษาระบบ

ต้องจัดให้มีการตรวจสอบและรักษาระบบให้มีความพร้อมในการใช้งานได้ตลอดเวลา

1. ตรวจสอบระบบและอุปกรณ์ประกอบทั้งหมดโดยอย่างน้อยทุก ๆ 1 ปี
2. ตรวจสอบถังบรรจุก๊าซในระบบความดันสูงจะต้องมีการตรวจสอบน้ำหนักบรรจุภายในถึงทุก ๆ 6 เดือน และถ้าถังบรรจุก๊าซนั้น ๆ มีน้ำหนักลดลงมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักก๊าซสุทธิ จะต้องมีการเติมก๊าซใหม่หรือเปลี่ยนใช้ถังสำรองทันที

การออกแบบระบบดับเพลิง

การออกแบบระบบดับเพลิงสำหรับติดตั้งในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี ซึ่งจัดเป็นเชื้อเพลิงที่เกิดการลุกไหม้แบบคูลอยู่ภายใน ทำการออกแบบระบบดับเพลิงด้วยวิธีฉีดท่วม เพื่อเปรียบเทียบความเหมาะสมระบบดับเพลิง 3 ระบบ โดยใช้มาตรฐาน NFPA ประกอบด้วย ระบบดับเพลิงสารสะอาดดับเพลิง 2 ระบบ คือ ระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125 และระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541 ออกแบบตามมาตรฐาน NFPA 2001 Standard On Clean Agent Fire Extinguishing Systems และระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ชนิดความดันสูง ออกแบบตามมาตรฐาน NFPA 12 Standard On Carbon Dioxide Extinguishing Systems ดังนี้

การออกแบบระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125

สารฮาโลคาร์บอน (Halocarbon Agent) เป็นสารสะอาดดับเพลิงที่มีองค์ประกอบหลักอย่างน้อยหนึ่งสารหรือมากกว่าของสารเหล่านี้ คือ ฟลูออรีน คลอรีน โบรมีน หรือไอโอดีน ซึ่งมีหลายชนิด ดังแสดงตามตารางที่ 2 คุณสมบัติของสารกลุ่มฮาโลคาร์บอนต้องเป็นไปตามข้อกำหนด ดังแสดงตามตารางที่ 3 และการพิจารณาด้านความปลอดภัยของสารกลุ่มฮาโลคาร์บอนตามค่าต่ำสุดของระดับความเข้มข้นของสารซึ่งมีผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์ (LOAEL) และสูงสุด

ของระดับความเข้มข้นของสารซึ่งจะยังไม่มีผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์ (NOAEL) ตามดังแสดงตามตารางที่ 4

ตารางที่ 2 สารกลุ่มฮาโลคาร์บอน (Halocarbon Agent)

ชื่อสาร	ชื่อทางเคมี	สูตรเคมี
FC-2-1-8	Perfluoropropane	C_3F_8
FC-2-1-10	Perfluorobutene	C_4F_{10}
HCFC Blend A	Dichlorodifluoromethane HCFC-123 (4.75%)	$CHCl_2CF_3$
	Chlorodifluoromethane HCFC-22 (82%)	$CHClF_2$
	Chlorotetrafluoroethane HCFC-124 (9.5%)	$CHClFCF_3$
	Isopropenyl-1-methylcyclohexane (3.85%)	
HCFC-124	Chlorotetrafluoroethane	$CHClFCF_3$
HFC-125	Petrafluoroethane	CHF_2CF_3
HFC-227ea	Heptafluoropropane	$CF_3CH_2CF_3$
HFC-23	Trifluoromethane	CHF_3
HFC-236fa	Hexafluoropropane	$CF_3CH_2CF_3$
FIC-1311	Trifluorolodide	CF_3I

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของสารกลุ่มฮาโลคาร์บอน (Halocarbon Agent)

คุณสมบัติ	ข้อกำหนด
Agent purity, mole%, minimum	99.00
Acidity, ppm (by weight HCl equivalent), maximum	3.00
Water content, % by weight, maximum	0.001
Novolatile residues, grams/100 ml maximum	0.050

ตารางที่ 4 ระดับความเข้มข้น NOAEOL และ LOAEL ของสารกลุ่มฮาโลคาร์บอน

Agent	NOAEL (%)	LOAEL (%)
FC-3-10	40.0	>40.0
HCFC Blend A	10.0	>10.0
HCFC-124	1.0	2.5
HFC-125	7.5	10.0
HFC-227ea	9.0	>10.5
HFC-23	50.0	>5.0
HFC-236fa	10.0	15.0

ที่มา: NFPA 2001 (2000)

สารฮาโลคาร์บอน ชนิดสาร HFC – 125 คือสาร hydrofluorocarbon ประเภทหนึ่งมีชื่อทางการว่า Pentafluoroethane ซึ่งมีการจัดอยู่ในหมวดหมู่ของสารดับเพลิงในมาตรฐาน NFPA2001 และ ISO 14520 และมีชื่อสูตรทางเคมีคือ CHF_2CF_3 หรือชื่อทางการค้าเรียกว่า NAF S125 ของกลุ่มบริษัท BOC ได้มีการร่วมมือกับทางบริษัท Safety Hi-tech ซึ่งเป็นผู้ผลิตการดับเพลิงที่รู้จักในนาม BOC FS125 ซึ่งมีคุณสมบัติแสดงตามตารางที่ 5 เพื่อนำมาเป็นสารดับเพลิงที่สามารถทดแทนในส่วนจากระบบ HALON 1301 โดยความหมายของ BOC FS 125 มีที่มาจาก British Oxygen Company Fire Suppression ส่วน 125 คือ ชื่อตัวเลขของสาร HFC-125 โดยเป็นสารที่มีคุณสมบัติไม่เป็นสื่อไฟฟ้า, ไม่มีสภาพเป็นกรดหรือด่างที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อน ไม่มีคราบตกค้าง, ไม่ทำลายชั้นบรรยากาศโอโซน (ODP = 0) มีความปลอดภัยกับมนุษย์ในระดับที่มีการใช้ในการดับเพลิงปกติ และสามารถใช้แทนสาร Halon 1301 ของระบบเก่าที่มีอยู่เดิมได้เป็นอย่างดี เนื่องจากสาร HFC-125 มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับสาร Halon1301 ตามที่มีการเปรียบเทียบจากสถาบันที่ทำการทดสอบระบบดับเพลิง โดยดูจากปริมาณสารที่บรรจุในถังการจ่ายสารเข้าภายในระบบและรูปแบบการกระจายของแก๊ส ที่มีความคล้ายคลึงกันมาก รวมไปถึงเรื่องคุณสมบัติการไหลและความดันไอของสารที่มีค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการดับเพลิงตามมาตรฐาน NFPA 2001 อยู่ที่ 8 % ซึ่งเป็นระดับที่ยอมรับให้ใช้ในพื้นที่ที่มีคนอยู่ได้ ดังแสดงตามตารางที่ 6 โดยสาร HFC-125 สามารถดับเพลิงได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งประเภท A B และ C ที่ได้รับการรับรองจาก Under Writers Laboratories (UL) และ Factory Mutual (FM) สถาบันป้องกันสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา

(The United State Environmental Protection Agency (US.EPA) ได้ตรวจสอบความปลอดภัยในการใช้สารดับเพลิงนี้แล้ว จึงเป็นสารที่ให้ประสิทธิภาพในการดับเพลิงแบบฉีดท่วมได้ดีเยี่ยมปลอดภัยต่อผู้ใช้ หากได้มีการออกแบบและติดตั้งระบบท่อและอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้เป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐาน NFPA 2001

ตารางที่ 5 คุณสมบัติของสาร HFC – 125 (NAF S125)

คุณสมบัติ	ข้อกำหนด
Agent purity, mole%, minimum	99.85
Acidity, ppm (by weight HCl equivalent), maximum	0.15
Water content, % by weight, maximum	0.001

ที่มา: บริษัท นิปปอน เคมิคอล จำกัด (ม.ป.ท.)

ตารางที่ 6 ระยะเวลาที่อนุญาตให้มนุษย์อยู่ได้ที่ระดับความเข้มข้นของสาร HFC-125

HFC-125 Concentration		Maximum Permitted Human Exposure Time (minutes)
% v/v	ppm	
7.5	75000	5.00
8.0	80000	5.00
8.5	85000	5.00
9.0	90000	5.00
9.5	95000	5.00
10.0	100000	5.00
10.5	105000	5.00
11.0	110000	5.00
11.5	115000	5.00
12	120000	1.67
12.5	125000	0.59
13	130000	0.54
13.5	135000	0.49

ตารางที่ 6 (ต่อ)

- หมายเหตุ 1. Data derived from the EPA-approved and peer-reviewed physiologically based pharmacokinetic (PBPK) model or its equivalent.
 2. Based on LOAEL of 10.0 percent in dogs.

ที่มา: NFPA 2001 (2000)

การออกแบบระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125 โดยวิธีการฉีดท่วม มีขั้นตอนการออกแบบ ดังนี้

1. การคำนวณหาปริมาตรของพื้นที่ป้องกัน (Determine the Hazard Volume) หมายถึง พื้นที่ที่หัวฉีดจะสามารถกระจายสารดับเพลิงไปถึงได้ หรือ พื้นที่ที่ตรวจจับ

$$\text{Hazard Volume} = L \times W \times H \quad \text{m}^3 \quad \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ

L แทน ความยาวของพื้นที่ป้องกัน (m)

W แทน ความกว้างของพื้นที่ป้องกัน (m)

H แทน ความสูงของพื้นที่ป้องกัน (m)

การพิจารณาปริมาตรอาจสามารถลดขนาดได้ ถ้าภายในห้องมีปริมาตรของวัตถุอื่นอยู่ โดยสิ่งที่สามารถหักลดปริมาตรของขอบเขตที่จะป้องกัน คือ ปริมาตรของสิ่งทีสารดับเพลิงไม่สามารถแทรกผ่านเข้าไปได้ เช่น เสาค้ำ ท่อหรือช่องที่ไม่ได้เปิดออกสู่บริเวณที่ป้องกัน ยกเว้น สิ่งที่สามารถถูกเคลื่อนย้ายออกไปจากบริเวณพื้นที่ป้องกันได้

2. การคำนวณหาปริมาตรของ HFC- 125 (W)

$$W = (V / S) (C / (100 - C)) \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$S = k_1 + k_2 (T) \quad \dots\dots\dots(3)$$

โดยที่

W = ปริมาตรสาร HFC- 125 (kg)

V = ปริมาตรพื้นที่ป้องกัน (Hazard Volume) (m³)

T = อุณหภูมิต่ำสุดในห้องที่ป้องกันพิจารณา (20 °C)

S = ปริมาตรจำเพาะของสาร HFC- 125 ที่ไอดง (Superheat) (m³/kg)

C = ความเข้มข้นของสาร HFC- 125, ร้อยละ (%) โดยปริมาตรออกแบบที่
ความเข้มข้นที่ 8 % (NFPA 2001 section 3-4.2.2, 3-4.2.4 และ 3-4.2.5)

k₁, k₂ = ค่าคงที่ปริมาตรจำเพาะ ตามที่ระบุในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงค่าคงที่ปริมาตรจำเพาะของสาร HFC- 125

Agent	กรณีเป็น English Unit		กรณีเป็น SI Unit	
	k1	k2	k1	k2
HFC- 125	2.7200	0.0064	0.1825	0.0007

ที่มา: NFPA 2001 (2000)

3. หาจำนวนถังบรรจุสาร HFC- 125 (Number of HFC -125 Agent Cylinders Require)

$$\text{Number of IG -541 Agent Cylinders Require} = \frac{\text{ปริมาตรสาร HFC- 125}}{\text{Cylinder Capacity}} \dots\dots\dots(4)$$

ตารางที่ 8 ขนาดของถังบรรจุ HFC- 125 (Cylinder Capacity)

Cylinder Size (lit)	Fill Range Low (kg)	Minimum	Fill Range High (kg)	Maximum
	48 %		93 %	
26.8	13.0		24.5	
40.2	19.5		37.0	
67.5	32.5		62.0	
75	36.5		69.5	
100	48.5		93.0	
120	58.0		111.5	

ที่มา: บริษัท นิปปอน เคมีคอล จำกัด (ม.ป.ท.)

4. จำนวนปริมาตรสาร HFC- 125 ที่จ่ายจริงให้กับระบบ (W_A)

$$W_A = \text{Number of HFC- 125 Agent Cylinders Require} \times \text{Cylinder Capacity} \dots\dots\dots(5)$$

5. กำหนดหาความเข้มข้นของสาร HFC – 125 ที่อุณหภูมิสูงสุด (C)

$$C = (100W_A S) / (W_A S + V) \dots\dots\dots(6)$$

$$S = k_1 + k_2 (T) \dots\dots\dots(7)$$

โดยที่

W_A = ปริมาตรสาร HFC- 125 ที่จ่ายจริงให้ระบบ (kg)

V = ปริมาตรพื้นที่ป้องกัน (Hazard Volume) (m^3)

T = อุณหภูมิสูงสุดในห้องที่ป้องกัน ($37.5 \text{ } ^\circ\text{C}$)

S = ปริมาตรจำเพาะของสาร HFC- 125 ที่ไอดง (Superheat) (m^3/kg)

C = ความเข้มข้นที่อุณหภูมิสูงสุดของสาร HFC-125, ร้อยละ (%) โดยปริมาตร

k_1, k_2 = ค่าคงที่ปริมาตรจำเพาะ ตามที่ระบุในตารางที่ 7

6. พิจารณาปรับค่าความเข้มข้นของสาร HFC – 125 ที่อุณหภูมิสูงสุด (C_A) ตามปัจจัยจากแรงดันบรรยากาศ (Atmospheric Correction Factor) โดยพิจารณาตามตำแหน่งที่ตั้งซึ่งอ้างอิงจากความสูงเหนือระดับน้ำทะเล ตามตารางที่ 9

$$C_A = C \times \text{Atmospheric Correction Factor} \quad \dots\dots\dots(8)$$

ตารางที่ 9 แสดงค่า Atmospheric Correction Factors

Equivalent Altitude		Enclosure Pressure		Atmospheric Correction Factor
ft	km	psia	mm Hg	
-3,000	-0.92	16.25	840	1.11
-2,000	-0.61	15.71	812	1.07
-1,000	-0.30	15.23	787	1.04
0	0.00	14.71	760	1.00
1,000	0.30	14.18	733	0.96
2,000	0.61	13.64	705	0.93
3,000	0.91	13.12	678	0.89
4,000	1.22	12.58	650	0.86
5,000	1.52	12.04	622	0.82
6,000	1.83	11.53	596	0.78
7,000	2.13	11.03	570	0.75

ที่มา: NFPA 2001 (2000)

7. พิจารณาเปรียบเทียบความเข้มข้นของสาร HFC – 125 ที่อุณหภูมิสูงสุด (C_A) ในด้านความปลอดภัยตามค่าต่ำสุดของระดับความเข้มข้นของสารซึ่งมีผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์ (LOAEL) และสูงสุดของระดับความเข้มข้นของสารซึ่งจะยังไม่มีผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์ (NOAEL) โดยสาร HFC – 125 ต้องมีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 7.5% - 10.0 % ตามตารางที่ 4

8. หาอัตราการไหลของระบบ (System Flow Rate) ซึ่งตามมาตรฐาน NFPA 2001 กำหนดให้เวลาสำหรับการฉีดสาร (Discharge Time) ไม่เกิน 10 วินาที

$$\text{System Flow Rate} = \frac{\text{ปริมาตรสาร HFC- 125 ที่จ่ายจริงให้กับระบบ}}{(\text{W}_A) / \text{Discharge Time (10 วินาที)}} \dots\dots\dots(9)$$

การออกแบบระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541

สารกลุ่มก๊าซเฉื่อย (Inert Gas Agent) เป็นสารสะอาดดับเพลิงที่มีองค์ประกอบหลักอย่างน้อยหนึ่งสารหรือมากกว่าของก๊าซเหล่านี้ คือ ฮีเลียม นีออน อาร์กอน ไนโตรเจน โดยสามารถใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซผสม เพื่อเป็นสารองค์ประกอบรองได้ สารกลุ่มนี้ที่นิยมใช้ในประเทศไทย คือ IG-541 ชื่อสามัญทางการค้าคือ Inergen ตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 สารกลุ่มก๊าซเฉื่อย

สาร	ชื่อทางเคมี	สูตรเคมี
IG-01	Argon	Ar
IG-100	Nitrogen	N ₂
IG-541	Nitrogen (52%)	N ₂
	Argon (40%)	Ar
	Carbon Dioxide (8 %)	CO ₂
IG-55	Nitrogen (50 %)	N ₂
	Argon (50%)	Ar

ที่มา: NFPA 2001 (2000)

กลุ่มสารก๊าซเฉื่อย ได้รับการผลิตออกมาให้มีเกณฑ์กำหนดตามมาตรฐาน NFPA 2001 คุณสมบัติของสารดับเพลิงต้องเป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพที่กำหนดไว้ สารดับเพลิงที่ถูกผลิตและออกแบบมาแต่ละรุ่นควรนำไปทดสอบและรับรองคุณสมบัติต่าง ๆ ต้องมีคุณสมบัติตามที่กำหนดไว้ ตามตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ข้อกำหนดคุณภาพของสารกลุ่มก๊าซเฉื่อย (Inert Gas Agent Quality Requirement)

	IG-01	IG - 100	IG - 541	IG - 55	
Composition, % by volume	Minimum				
	N ₂	-	99.9%	52% ± 4%	50% ± 5%
	Ar	99.9%	-	40% ± 4%	50% ± 5%
Water content, % by weight	CO ₂	-	-	8% ± 1%	-
		Maximum	Maximum	Maximum	Maximum
	0.005%	0.005%	0.005%	0.005%	

ที่มา: NFPA 2001 (2000)

การออกแบบระดับเพลิงสารก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541 โดยวิธีการฉีดท่วม มีขั้นตอนการออกแบบ ดังนี้

1. การคำนวณหาปริมาตรของพื้นที่ป้องกัน (Determine the Hazard Volume)

$$\text{Hazard Volume} = L \times W \times H \quad \text{m}^3 \quad \dots\dots\dots(10)$$

เมื่อ

L แทน ความยาวของพื้นป้องกัน (m)

W แทน ความกว้างของพื้นป้องกัน (m)

H แทน ความสูงของพื้นป้องกัน (m)

การพิจารณาปริมาณอาจสามารถลดขนาดได้ ถ้าภายในห้องมีปริมาณของวัตถุอื่นอยู่ โดยสิ่งที่สามารถหักลดปริมาณของขอบเขตที่จะป้องกัน คือ ปริมาตรของสิ่งที่สารดับเพลิงไม่สามารถแทรกผ่านเข้าไปได้ เช่น เสาค้ำ ท่อหรือช่องที่ไม่ได้เปิดออกสู่บริเวณที่ป้องกัน ยกเว้น สิ่งที่สามารถถูกเคลื่อนย้ายออกไปจากบริเวณพื้นที่ป้องกันได้

2. คำนวณหาค่า Flooding factor (X)

$$X = 2.303 (V_s / S) \text{Log} (100 / (100 - C)) \quad \dots\dots\dots(11)$$

$$S = k_1 + k_2 (T) \quad \dots\dots\dots(12)$$

โดยที่

X = ปริมาตรสารก๊าซเฉื่อย (ที่ 14.7 psia, 70°F) ต่อปริมาตรพื้นที่ป้องกัน (ft³/ft³) (INERGEN agent flooding factor)

V_s = ปริมาตรพื้นที่ป้องกัน (m³/kg) ที่ 21 °C (70°F) ตามตารางที่ 12

T = อุณหภูมิต่ำสุดในห้องที่ป้องกัน (°C)

S = ปริมาตรจำเพาะของสารกลุ่มก๊าซเฉื่อยที่ไอดง (Superheat) (m³/kg)

C = ความเข้มข้นของสาร IG-541, ร้อยละ (%) โดยปริมาตร ตามตารางที่ 13

k₁, k₂ = ค่าคงที่ปริมาตรจำเพาะ ตามที่ระบุในตารางที่ 14

ตารางที่ 12 แสดงปริมาตรพื้นที่ป้องกัน (m^3/kg)

Temperature ($^{\circ}C$)	Specific Vapor Volume (m^3/kg)	Temperature ($^{\circ}C$)	Specific Vapor Volume (m^3/kg)
-10	0.635	50	0.780
0	0.659	60	0.804
10	0.688	70	0.828
20	0.707	80	0.852
30	0.731	90	0.876
40	0.755	100	0.900

ที่มา: NFPA 2001 (2000)

ตารางที่ 13 ความเข้มข้นต่ำสุดที่ใช้ในการออกแบบสาร IG-541

Fuel	Minimum design concentration
Class A Surface	34.2%
Class B	Heptane 40.7%
Class C	34.2%

ที่มา: NFPA 2001 (2000)

ตารางที่ 14 แสดงค่าคงที่ปริมาตรจำเพาะของสาร IG-541

Agent	กรณีเป็น English Unit		กรณีเป็น SI Unit	
	k1	k2	k1	k2
IG-541	9.8579	0.02143	0.65799	0.00239

ที่มา: NFPA 2001 (2000)

3. กำหนดหาปริมาณสารก๊าซเฉื่อย IG -541 น้อยสุดที่จำเป็นต้องใช้ (Minimum Quantity of IG -541 Agent Required)

$$\text{Minimum Quantity of IG -541 Agent Required} = \text{Hazard Volume} \times \text{Flooding factor} \dots\dots\dots(13)$$

4. พิจารณาปรับค่าปริมาณสารก๊าซเฉื่อย IG -541 (Quantity of IG -541 Agent Required) ของแรงดันบรรยากาศ (Atmospheric Correction Factor) โดยพิจารณาตามตำแหน่งที่ตั้ง ซึ่งอ้างอิงจากความสูงเหนือระดับน้ำทะเลตามตารางที่ 9

$$\text{Quantity of IG -541 Agent Required} = \text{Minimum Quantity of IG -541 Agent Required} \times \text{Atmospheric Correction Factor} \dots\dots\dots(14)$$

5. หาจำนวนถังบรรจุสารก๊าซเฉื่อย IG -541 (Number of IG -541 Agent Cylinders Require)

$$\text{Number of IG -541 Agent Cylinders Require} = \frac{\text{Quantity of IG -541 Agent Required}}{\text{Cylinder Capacity}} \dots\dots\dots(15)$$

ตารางที่ 15 ขนาดของถัง IG-541 (Cylinder Capacity)

Nominal Cylinder Size (cu.ft.)	Actual IG-541 Quantity (cu.ft.)
200	205
250	266
350	355
425	429
435	439

ที่มา: Ansul Inergen System (2002)

6. จำนวนปริมาตรสารก๊าซเฉื่อย IG -541 ที่จ่ายจริงให้กับระบบ (Actual Quantity of IG -541 Agent Required)

$$\begin{aligned} \text{Actual Quantity of IG -541 Agent Required} &= \text{Number of IG -541 Agent} \\ &\quad \text{Cylinders Require} \times \text{Cylinder Capacity} \\ &\dots\dots\dots(16) \end{aligned}$$

7. ค่าความเข้มข้นของสารก๊าซเฉื่อยต่อปริมาตรพื้นที่ป้องกันจริงของระบบ (Actual Flooding factor)

$$\begin{aligned} \text{Actual Flooding factor} &= \text{Actual Quantity of IG -541 Agent Required} / \\ &\quad (\text{Hazard Volume} \times \text{Atmospheric Correction Factor}) \\ &\dots\dots\dots(17) \end{aligned}$$

8. หาค่าความเข้มข้นของสารก๊าซเฉื่อย IG -541 ที่อุณหภูมิสูงสุดของพื้นที่

$$C = 100 - (100 / 10^{(X S / 2.303 V_s)}) \dots\dots\dots(18)$$

$$S = k_1 + k_2 (T) \dots\dots\dots(19)$$

โดยที่

- X = ปริมาตรสารก๊าซเฉื่อยต่อปริมาตรพื้นที่ป้องกัน (Actual Flooding factor)
(INERGEN agent flooding factor)
- V_s = ปริมาตรพื้นที่ป้องกัน (m^3/kg) ที่ 21 °C (70°F)
- T = อุณหภูมิสูงสุดในห้องที่ป้องกัน (°C)
- S = ปริมาตรจำเพาะของสารกลุ่มก๊าซเฉื่อยที่ไอดง (Superheat) (m^3/kg)
- C = ความเข้มข้นของสาร IG-541, ร้อยละ (%) โดยปริมาตรที่อุณหภูมิสูงสุด
- k_1, k_2 = ค่าคงที่ปริมาตรจำเพาะ ตามที่ระบุในตารางที่ 14

9. ตรวจสอบค่าความเข้มข้นต่ำสุดและสูงสุดในการออกแบบ ซึ่งการกำหนดความเข้มข้นของสาร IG-541 มีข้อกำหนด ดังนี้

9.1 ใช้ความเข้มข้นต่ำกว่า 43% ตามเงื่อนไขต่าง ๆ ดังนี้

- ก. มีคนอาศัยอยู่ในพื้นที่ป้องกัน
- ข. ระยะเวลาในการอพยพไม่เกิน 5 นาที

9.2 ใช้ความเข้มข้นต่ำกว่า 43% ถึง 52% ตามเงื่อนไขต่าง ๆ ดังนี้

- ก. ไม่มีคนอาศัยอยู่ในพื้นที่ป้องกันในเวลาปกติ
- ข. กรณีมีคนอยู่เวลาในการอพยพไม่เกิน 3 นาที

9.3 ใช้ความเข้มข้นต่ำกว่า 52% ถึง 62% ตามเงื่อนไขต่าง ๆ ดังนี้

- ก. ไม่มีคนอาศัยอยู่ในพื้นที่ป้องกันในเวลาปกติ
- ข. กรณีมีคนอยู่เวลาในการอพยพไม่เกิน 30 วินาที

9.4 ใช้ความเข้มข้นมากกว่า 62% ได้ในกรณีที่ไม่มีคนอาศัยอยู่เท่านั้น

ระดับความเข้มข้นของสารกลุ่มก๊าซเฉื่อยพิจารณาด้านความปลอดภัยตามค่าต่ำสุดของระดับความเข้มข้นของสารซึ่งมีผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์ (LOAEL) และสูงสุดของระดับความเข้มข้นของสารซึ่งจะยังไม่มีผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์ (NOAEL) ตามตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ระดับความเข้มข้น NOAEL และ LOAEL ของสารกลุ่มก๊าซเฉื่อย

Agent	NOAEL(%)	LOAEL(%)
IG-01	43	52
IG-100	43	52
IG-541	43	52
IG-55	43	52

ที่มา: NFPA 2001 (2000)

10. หาระยะเวลาในการฉีดสารก๊าซเฉื่อย IG -541 (Discharge Time) ปริมาณ 95 %
พิจารณาตามตารางที่ 17

ตารางที่ 17 เวลาในการฉีดสาร IG-541 (สำหรับไฟ class A)

% Concentration	Time (Seconds)	% Concentration	Time (Seconds)
34.2	40	48.5	142
34.5	43	49.0	145
35.0	48	49.5	148
35.5	55	50.0	151
36.0	61	50.5	154
36.5	64	51.0	157
37.0	67	51.5	160
37.5	70	52.0	160
38.0	74	52.5	160
38.5	77	53.0	160
39.0	80	53.5	160
39.5	83	54.0	160
40.0	87	54.5	160
40.5	90	55.0	160

ตารางที่ 17 (ต่อ)

% Concentration	Time (Seconds)	% Concentration	Time (Seconds)
41.0	94	55.5	160
41.5	97	56.0	160
42.0	100	56.5	160
42.5	104	57.0	160
43.0	108	57.5	160
43.5	111	58.0	160
44.0	114	58.5	160
44.5	118	59.0	160
45.0	121	59.5	160
45.5	124	60.0	160
46.0	127	60.5	160
46.5	130	61.0	160
47.0	133	61.5	160
47.5	136	62.0	160
48.0	139		

ที่มา: Ansul Inergen System (2002)

11. หาอัตราการไหลของระบบ (System Flow Rate)

$$\text{System Flow Rate} = (\text{Actual Quantity of IG -541 Agent Required} \times 0.95) / \text{Discharge Time} \dots\dots\dots(20)$$

การออกแบบระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide)

การออกแบบระบบดับเพลิงด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในงานวิจัยนี้เป็นระบบความดันสูงแบบวิธีฉีดท่วมสำหรับเพลิงไหม้ที่คูกู่ภายใน (Deep Seat Fire) เนื่องจากมีความเหมาะสมกับพื้นที่ใช้งานและประเภทของเชื้อเพลิงมากที่สุดซึ่งพิจารณาออกแบบดับเพลิงด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามมาตรฐาน NFPA 12 (Standard on Carbon Dioxide Extinguishing Systems) ดังนี้

1. การคำนวณหาปริมาตรของพื้นที่ป้องกัน (Determine the Hazard Volume)

$$\text{Hazard Volume} = L \times W \times H \quad \text{m}^3 \quad \dots\dots\dots(21)$$

เมื่อ

L แทน ความยาวของพื้นที่ป้องกัน (m)

W แทน ความกว้างของพื้นที่ป้องกัน (m)

H แทน ความสูงของพื้นที่ป้องกัน (m)

การพิจารณาปริมาตรอาจสามารถลดขนาดได้ ถ้าภายในห้องมีปริมาตรของวัตถุอื่นอยู่ โดยสิ่งที่สามารถหักลดปริมาตรของขอบเขตที่จะป้องกัน คือ ปริมาตรของสิ่งกีดขวางที่ไม่สามารถแทรกผ่านเข้าไปได้ เช่น เสาค้ำ ท่อหรือช่องที่ไม่ได้เปิดออกสู่บริเวณที่ป้องกัน ยกเว้นสิ่งที่สามารถถูกเคลื่อนย้ายออกไปจากบริเวณพื้นที่ป้องกันได้

2. การคำนวณหา Volume Factor แบบวิธีฉีดท่วมสำหรับไฟไหม้ที่คูกู่ภายในพิจารณาตามตารางที่ 18 ที่แสดงถึงความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้องการสำหรับการดับเพลิงซึ่งเกิดจากเชื้อเพลิงที่ลุกไหม้คูกู่ภายใน

ตารางที่ 18 Flooding Factor สำหรับเพลิงไหม้ที่คู้ยู่ภายใน

Design Concentration	m ³ /kg CO ₂	kg CO ₂ /m ³	Specific Hazard
50	0.62	1.60	Dry electrical hazards in general (Spaces 0-56.6 m ³)
50	0.75	1.33 (91 kg Min)	Spaces greater than 56.6 m ³
65	0.50	2	Record (bulk paper) storage, duct and covered trenches
75	0.38	2.66	For storages vaults, dust collectors

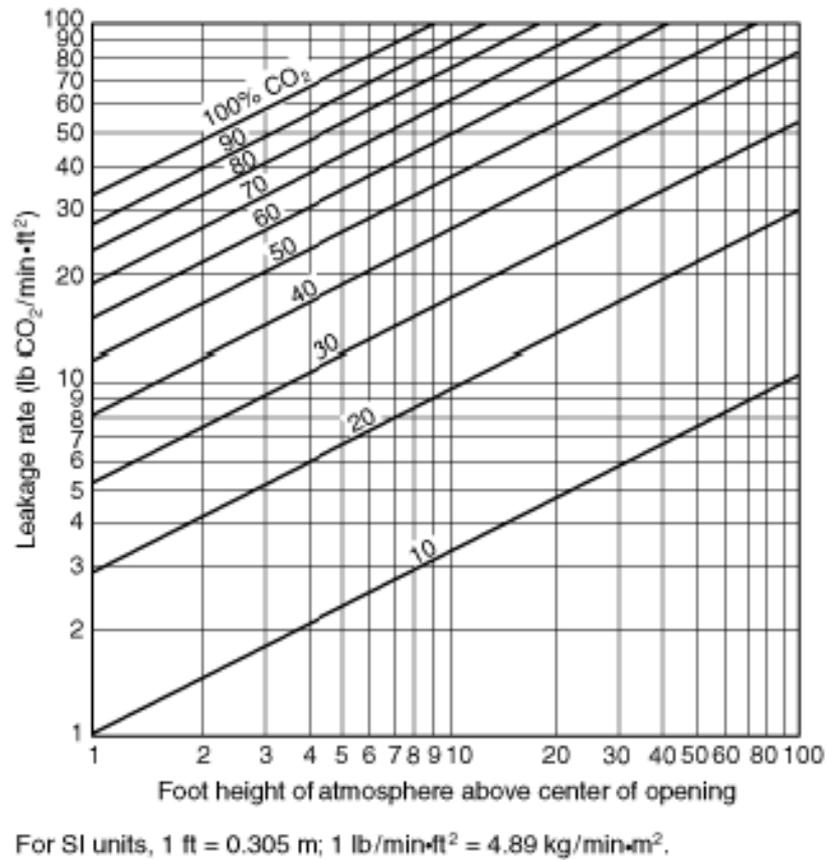
ที่มา: NFPA 12 (2000)

3. การคำนวณหาปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ (Basic Quantity of CO₂)

$$\text{Basic Quantity of CO}_2 = \text{Hazard Volume} \times \text{Volume Factor} \quad \text{kg} \quad \dots\dots\dots(22)$$

4. พิจารณาการชดเชยปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิห้องคาร์บอนไดออกไซด์โดย NFPA 12 กำหนดไว้ว่าถ้าอุณหภูมิห้องมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่า 200°F (93.33°C) หรือต่ำกว่า 0°F ให้เพิ่มปริมาณสารคาร์บอนไดออกไซด์ อันเนื่องมาจากอุณหภูมิ กรณีที่อุณหภูมิห้องมากกว่า 200°F ให้เพิ่มปริมาณสารคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น 1% ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุก 5°F หรืออุณหภูมิห้องต่ำกว่า 0°F ให้เพิ่มปริมาณสารคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น 1% ของอุณหภูมิที่ลดลงทุก 5°F

5. พิจารณาการชดเชยปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ อันเนื่องมาจากการที่ช่องเปิดที่ไม่สามารถปิดได้ ในการคำนวณหาปริมาณสารคาร์บอนไดออกไซด์ จะต้องทราบระยะดังต่อไปนี้ คือ ระยะจากใต้ฝ้า ถึงกึ่งกลางของช่องเปิด และพื้นที่ของช่องเปิด โดยพิจารณาตามภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แสดงค่าในการระบายความดันจากการฉีดสาร (Carbon dioxide losses through enclosable opening)

ที่มา: NFPA 12 (2000)

6. คำนวณหาปริมาณถังของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ในการติดตั้ง (N)

$$N = W / w \dots\dots\dots(23)$$

เมื่อ

N แทน ปริมาณถังของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ในการติดตั้ง (ถัง)

W แทน ปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้

w แทน ขนาดของถังบรรจุก๊าซแบบความดันสูง โดยพิจารณาเลือกจากตารางที่ 19

ตารางที่ 19 แสดงขนาดของถังบรรจุก๊าซแบบความดันสูงตามมาตรฐานสากล

ลำดับ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ขนาดบรรจุ (กิโลกรัม)	2.3	4.5	6.8	9.1	11.4	15.9	22.7	34.1	45.4	54.4
ขนาดบรรจุ (ปอนด์)	5	10	15	20	25	35	50	75	100	120

ที่มา: NFPA 12 (2000)

7. พิจารณาอัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แบบฉีดท่วมสำหรับเชื้อเพลิงที่อยู่ภายใน (Deep Seat Fire) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะต้องถูกฉีดให้หมดภายในเวลา 7 นาที แต่ก๊าซจะต้องมีความเข้มข้นที่ 30 % ภายในเวลา 2 นาทีแรก นับตั้งแต่ก๊าซเริ่มฉีด

การพิจารณาอัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ 2 นาทีแรก กำหนดค่าคงที่สำหรับคุณสมบัติป้องกัน คือ $0.688 \text{ Kg CO}_2 / \text{m}^3$

$$Q_{30\%} = (\text{Hazard Volume} \times 0.688) / 2 \quad \text{Kg CO}_2 / \text{min} \quad \dots\dots\dots(24)$$

การพิจารณาอัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ 7 นาที

$$Q_{7\text{min}} = \text{Quantity CO}_2 / 7 \quad \text{Kg CO}_2 / \text{min} \quad \dots\dots\dots(25)$$

8. การคำนวณพื้นที่ต้องระบายความดัน (Pressure Relief Venting Area) เพื่อป้องกันความเสียหาย เนื่องจากการฉีดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ความดันสูง เข้าไปในห้องปิด

$$X = \frac{Q}{1.3 P^{1/2}} \quad \dots\dots\dots(26)$$

เมื่อ

X = free venting area (in.²)

Q = calculated carbon dioxide flow rate (lb/min)

P = allowable strength of enclosure (lb/ft²)

For SI units, the following equation applies:

$$X = \frac{239 Q}{P^{1/2}} \dots\dots\dots(27)$$

เมื่อ

X = free venting area (mm²)

Q = calculated carbon dioxide flow rate (kg/min)

P = allowable strength of enclosure (kPa gauge) ตารางที่ 25

ตารางที่ 20 Determination of Pressure for Venting

Type Construction	Windage	Pressure	in. Water	psi	kPa-Gauge
Light Building	100 mph	25 lb/ft ²	5	0.175	1.2
Normal Building	140 mph	50 lb/ft ²	10	0.35	2.4
Vault Building	200 mph	100 lb/ft ²	20	0.7	4.8

ที่มา: NFPA 12 (2000)

การออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับการเพลิงไหม้ชนิดตรวจจับควัน

การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับควัน

การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับควัน ตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจจับควันต้องติดตั้งในที่ซึ่งสามารถตรวจจับเพลิงไหม้ได้ง่าย อุปกรณ์ตรวจจับควันทำหน้าที่ตรวจจับควันที่เกิดจากเพลิงไหม้ อุปกรณ์จะมีปฏิกิริยาตอบสนองหรือทำงานเมื่อควันที่เกิดจากจุดต้นเพลิงลอยมากระทบ และเข้าไปยังส่วนตรวจจับของอุปกรณ์ตรวจจับ

1. ตำแหน่งของอุปกรณ์ตรวจจับในแต่ละพื้นที่จึงมีความสำคัญมากในการออกแบบติดตั้ง ควรวิเคราะห์ตำแหน่งที่มีโอกาสเกิดเป็นจุดต้นเพลิงและวัสดุที่เป็นเชื้อเพลิงได้มากที่สุด และวิเคราะห์ทิศทางที่ควันจะกระจายออกจากจุดต้นเพลิง การเบี่ยงเบนทิศทางของควันจากทิศทางลม การระบายอากาศสภาพผิวเพดาน รูปทรง ความสูงหรือจากโครงสร้าง ถ้าเป็นไปได้ควรทำการทดสอบ ที่สถานที่ติดตั้งจริงประกอบเพื่อให้ได้ตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด ระยะห่างที่กำหนดนี้จึงเป็นระยะห่างที่สุดเท่านั้น ในการติดตั้งจริงระยะห่างอาจลดลงได้ตามความจำเป็น โดยอาศัยผลการทดสอบเป็นหลัก ต้องติดตั้งที่เหมาะสมดังนี้

1.1 ต้องมีการป้องกันความเสียหายทางกลที่อาจเกิดขึ้นได้

1.2 ต้องติดตั้งกับ โครงสร้างอาคารให้แข็งแรง ห้ามยึดไว้ด้วยสายวงจร

1.3 ไม่ควรฝังอุปกรณ์ในเพดานหรือผนัง ยกเว้นจะได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษ

1.4 ต้องติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับในทุกพื้นที่อาคาร รวมทั้งบริเวณพื้นที่แขวนหรือเพดาน ปล่องลิฟท์ ช่องบันได ช่องทิ้งของ และบริเวณกักเก็บเชื้อเพลิง เป็นต้น

1.5 ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ที่ผู้ผลิตกำหนดเป็นเพียงระยะมากที่สุดที่ยอมให้ใช้ได้เท่านั้น ในการติดตั้งจริง อาจลดระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ให้น้อยลง เพื่อให้ปฏิกิริยาตอบสนองเร็วขึ้น หรือมีปฏิกิริยาตอบสนองต่อเพลิงไหม้ขนาดเล็กหรือให้ป้องกันทุกส่วนของห้องได้ หรือเพื่อชดเชยปัญหาที่เกิดจากการถ่ายเทอากาศ หรือสิ่งกีดขวางอื่น ๆ

2. ความสูงในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับควัน ความสูงในการติดตั้งอากาศร้อนจากเพลิงไหม้จะถูกส่งไปตามแนวตั้งและจะหยุดลงเมื่ออุณหภูมิของควันเท่ากับอุณหภูมิของอากาศโดยรอบ ดังนั้นในที่ซึ่งมีเพดานสูงจึงมีความจำเป็นในการส่งผ่านควันไปให้ถึงอุปกรณ์ตรวจจับ จึงต้องติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับควันให้ระดับต่ำกว่าส่วนที่มีอากาศอุ่นที่บริเวณระดับหลังคา

2.1 อุปกรณ์ตรวจจับควันชนิดจุด ต้องติดตั้งในระดับความสูงไม่เกิน 10.5 เมตร อุปกรณ์ตรวจจับชนิดจุดที่ติดตั้งที่ฝ้าเพดาน เมื่อติดตั้งแล้วควรห่างจากฝ้าเพดานหรือหลังคาลงมา ระหว่าง 25 มิลลิเมตร ถึง 270 มิลลิเมตร

2.2 อุปกรณ์ตรวจจับชนิดลำแสง ต้องติดตั้งในระดับความสูงไม่เกิน 250 เมตร ถ้าฝ้าเพดานหรือหลังคามีความสูงเกิน 25.0 เมตร ให้ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับควันชนิดลำแสงหลายระดับอุปกรณ์ตรวจจับต้องติดตั้งห่างจากฝ้าเพดานหรือหลังคาระหว่าง 300 มิลลิเมตร ถึง 750 มิลลิเมตร และอาจติดตั้งเพิ่มเติมที่ระดับต่ำกว่าได้

ในสถานที่ซึ่งมีอุณหภูมิใกล้ฝ้าเพดานหรือหลังคา อาจจำเป็นต้องย้ายตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับให้ต่ำลงเพื่อให้การตรวจจับได้ผลแน่นอนกว่า ความสูงต่ำสุดของการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับอาจเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมกับการทดสอบการใช้งานของแต่ละอุปกรณ์ตรวจจับ (การทดสอบใช้วิธี Smoke Test) ซึ่งจำเป็นสำหรับการติดตั้งในสถานที่ที่ต้องการให้มีการป้องกันที่ดี และสถานที่สำคัญ ระยะห่างและความสูงในการติดตั้งที่กำหนดเป็นระยะสูงสุดที่มาตรฐานยอมให้ทำได้ในกรณีที่ต้องการความไวในการตรวจจับสูงขึ้น อาจลดระยะห่างในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับชนิดชนิดลำแสงตัวรับลำแสงต้องระวังไม่ให้ถูกกับแสงแดดโดยตรงหรือแสงจ้ามาก ๆ เพราะจะทำให้อุปกรณ์ทำงานผิดพลาดได้ ระยะห่างจากเพดานหรือหลังคาสำหรับอุปกรณ์ตรวจจับควัน ดังแสดงในตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับควัน

ความสูงที่ติดตั้ง (เมตร)	ระยะห่างจากฝ้าเพดานหรือหลังคาไม่น้อยกว่า (มิลลิเมตร)	
	อุปกรณ์ตรวจจับควันชนิดลำแสง	อุปกรณ์ตรวจจับควันชนิดจุด
3.50	300	25
4.00	300	40
6.00	300	100
8.00	300	175
10.00	350	250
10.50	360	270
12.00	400	-
14.00	450	-
16.00	500	-
18.00	550	-
20.00	600	-

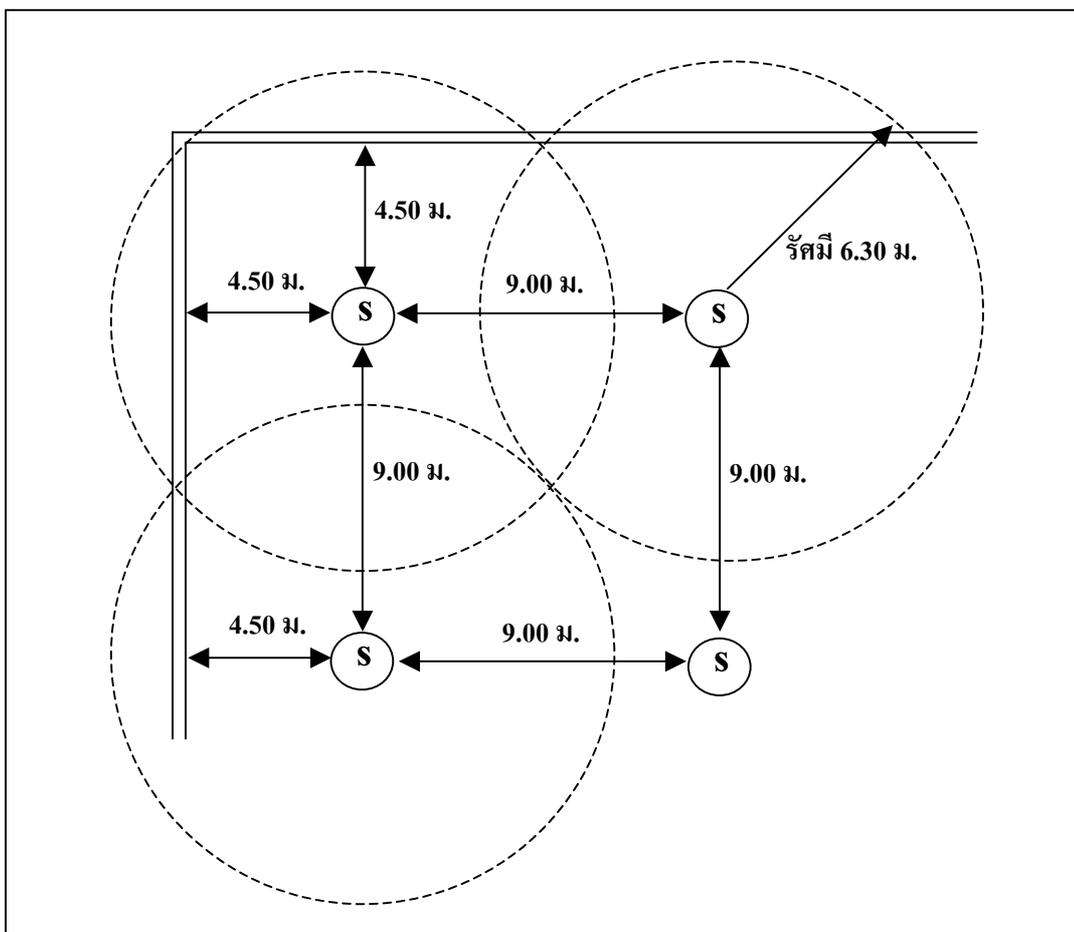
ตารางที่ 21 (ต่อ)

ความสูงที่ติดตั้ง (เมตร)	ระยะห่างจากฝ้าเพดานหรือหลังคาไม่น้อยกว่า (มิลลิเมตร)	
	อุปกรณ์ตรวจจับควันชนิดลำแสง	อุปกรณ์ตรวจจับควันชนิดจุด
22.00	650	-
24.00	700	-
25.00	750	-

ที่มา: การออกแบบและติดตั้งระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้

2.3 ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับควันชนิดจุด อุปกรณ์ตรวจจับควันชนิดจุด เมื่อติดตั้งต้องพิจารณาระยะห่างจากเพดานและระยะห่างจากผนังเพื่อให้อุปกรณ์ตรวจจับทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยพิจารณาดังต่อไปนี้

2.3.1 สำหรับเพดานหรือพื้นผิวราบ อุปกรณ์ตรวจจับต้องติดตั้งให้สามารถตรวจจับการเกิดเพลิงไหม้ได้ทั่วทั้งพื้นที่ที่ต้องการป้องกัน มาตรฐานระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้กำหนดให้มีรัศมีการตรวจจับของอุปกรณ์สำหรับพื้นผิวแนวราบนับจากตัวอุปกรณ์ตรวจจับควัน ไม่เกิน 6.3 เมตร ซึ่งเมื่อเขียนพื้นที่วงกลมให้ครอบคลุมทั่วทั้งพื้นที่สำหรับห้องรูปสี่เหลี่ยมจะได้ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับเท่ากับ 9.0 เมตร ดังนั้นระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับจึงกำหนดไว้ไม่เกิน 9.0 เมตร และระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับกับผนังห้องไม่เกิน 4.5 เมตร สำหรับรูปสี่เหลี่ยมอื่น ๆ ระยะห่างในการติดตั้งอาจเปลี่ยนไปเช่นเดียวกับการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน ข้อสำคัญคือทั่วทั้งพื้นที่ต้องอยู่ในรัศมีการตรวจจับของอุปกรณ์ตรวจจับตัวใดตัวหนึ่ง บริเวณช่องทางเดินที่มีความกว้างไม่เกิน 3.6 เมตร จะได้ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับไม่เกิน 12.0 เมตร และระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับกับผนังปลายทางเดินไม่เกิน 6.0 เมตร



ภาพที่ 10 การหาระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับควันชนิดจุด สำหรับพื้นที่ทั่วไป

2.3.2 ระยะห่างจากผนัง ควันและความร้อนจากการเกิดเพลิงไหม้จะลอยขึ้นด้านบน และขยายออกด้านข้างเมื่อชนเพดาน ตำแหน่งที่เพดานกับผนังต่อเชื่อมกันจะเป็นตำแหน่งที่ อับอากาศอุปกรณ์ตรวจจับต้องติดตั้งให้ห่างจากผนังไม่น้อยกว่า 300 มิลลิเมตร แต่ต้องไม่ห่างจน พื้นระยะตรวจจับของอุปกรณ์ตรวจจับ สำหรับอุปกรณ์ตรวจจับควันต้องติดตั้งห่างจากผนังไม่เกิน 4.5 เมตร บางสถานที่มีการแบ่งกั้นห้องภายหลังที่ก่อสร้างอาคารเสร็จโดยใช้เป็นผนังเบาหรือฉากกั้น สำหรับฉากกั้นที่ติดตั้งไม่ชนเพดานแต่ขอบบนอยู่ห่างจากเพดานไม่เกิน 300 มิลลิเมตร ให้ถือว่าเป็นผนังห้องระยะห่างของอุปกรณ์ตรวจจับจากผนังกันต้องไม่เกิน 4.5 เมตร เช่นเดียวกันสำหรับ ช่องทางเดิน ระยะห่างระหว่างผนังปลายทางกับอุปกรณ์ตรวจจับที่ใกล้ที่สุดต้องไม่เกิน 6.0 เมตร

ในห้องที่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศ การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับต้องหลีกเลี่ยงการติดตั้งในตำแหน่งที่ลมอาจเป่าเบี่ยงเบนทิศทางของควัน ทำให้ควันที่มาถึงอุปกรณ์ตรวจจับเบาบางลงเป็นผลให้ความไวในการตรวจจับลดลง หรือทำให้อุปกรณ์ตรวจจับสกปรกและเกิดการแข็งเหตุผิดพลาดได้ง่ายการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับจึงต้องติดตั้งห่างจากหัวจ่ายลมไม่น้อยกว่า 400 มิลลิเมตร

การตรวจสอบ ทดสอบ และบำรุงรักษา

อุปกรณ์แจ้งเหตุเพลิงไหม้ต้องมีการตรวจสอบและทดสอบทั้งเมื่อทำการติดตั้งแล้วเสร็จ และตามระยะเวลาที่เหมาะสม จุดประสงค์เพื่อให้ระบบใช้งานได้ดีตามต้องการ มีความเชื่อถือได้สูง และอยู่ในสภาพที่พร้อมจะทำงานได้อย่างสมบูรณ์เมื่อเกิดเหตุ การดำเนินการควรเป็นหน้าที่ความรับผิดชอบของเจ้าของอาคาร ผู้ดูแล และผู้ทำการติดตั้ง การดำเนินการต้องทำโดยผู้ที่มีความรู้ ความชำนาญเพราะอุปกรณ์บางตัวมีความซับซ้อน อุปกรณ์บางตัวอาจชำรุดหลังการทดสอบจึงต้องมีความรู้ ความเข้าใจเพียงพอ และมีวิธีการที่เหมาะสม

ภาระหน้าที่และหลักในการดำเนินการ การตรวจสอบ ทดสอบ และบำรุงรักษา ถือเป็นภาระความรับผิดชอบของเจ้าของอาคารหรือผู้ดูแล ที่จะจัดการให้มีการตรวจสอบ ทดสอบ และบำรุงรักษา โดยควรดำเนินการดังต่อไปนี้

1. จัดให้มีผู้รับผิดชอบดูแลในเรื่องการบำรุงรักษาระบบโดยเฉพาะทำการตรวจสอบและทดสอบตามระยะเวลาที่เหมาะสม และทำการบันทึกผลในสมุดบันทึก เพื่อไว้ใช้ประโยชน์ เมื่อต้องมีการซ่อมแซม เมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน การตรวจสอบและทดสอบจะดำเนินการกับทั้งระบบที่มีการติดตั้งใหม่ และระบบที่มีการติดตั้งเพิ่มเติม

2. การตรวจสอบและทดสอบควรแจ้งให้ผู้อยู่อาศัยในอาคารทราบล่วงหน้าทุกครั้ง เพื่อไม่ให้ผู้อยู่อาศัยตกใจจากสัญญาณเตือนต่าง ๆ ที่อาจดังได้ และเกิดความสับสน โดยเฉพาะอาคารที่มีผู้อยู่อาศัยจำนวนมาก อาคารที่มีผู้ป่วย และอาคารที่ต้องรักษาความปลอดภัยเป็นพิเศษ

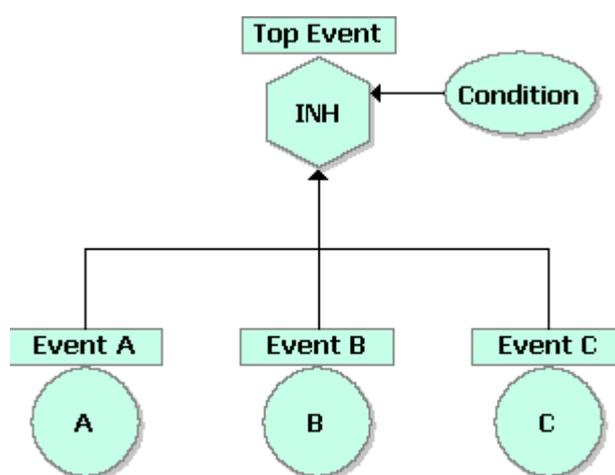
3. การตรวจสอบภายหลังการติดตั้งจะทำให้มั่นใจว่าระบบได้ทำการติดตั้งถูกต้อง ตรวจสอบที่ออกแบบไว้ ปกติการตรวจสอบภายหลังการติดตั้งจะทำโดยวิศวกรหรือช่างที่เป็นหน่วยงานอิสระ หรืออาจเรียกว่าผู้รับรองการติดตั้ง พร้อมทั้งทำรายงานผลการติดตั้งเก็บไว้ การตรวจสอบเหล่านี้รวมถึงการตรวจสอบการเดินสายและติดตั้งอุปกรณ์ด้วยว่าถูกต้องตามมาตรฐานหรือไม่

4. เมื่อตรวจสอบการติดตั้งว่าถูกต้องตามที่ออกแบบไว้แล้ว จะต้องทำการทดสอบการทำงานของระบบและอุปกรณ์ ว่าทำงานถูกต้อง ตรวจสอบหน้าที่ที่ได้ออกแบบไว้ และต้องมีการจดบันทึกการตรวจสอบไว้ด้วย

5. ภายหลังการติดตั้งใช้งานไประยะหนึ่งแล้ว ต้องมีการตรวจสอบและทดสอบอีกตามระยะเวลาที่เหมาะสม เพื่อให้มั่นใจว่าระบบยังคงใช้งานได้ดีเหมือนเมื่อตอนติดตั้งเสร็จ การตรวจสอบและทดสอบนี้จะมีการจดลงในสมุดบันทึกไว้ทุกครั้งและนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบเพื่อหาจุดบกพร่อง เพื่อการบำรุงรักษา เพื่อการป้องกัน ต่อไป

6. ในบางสถานที่ที่อาจเกิดอันตรายจากการทดสอบ ต้องมีการป้องกันที่เหมาะสม

การประเมินความเสี่ยงด้วยวิธีแผนภูมิต้นไม้ (Fault Tree Analysis)



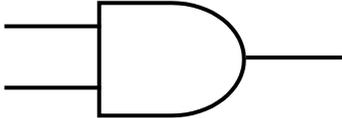
เป็นเทคนิคที่ใช้หามาเหตุและผลที่เกิดขึ้น (Cause and Effect) เพื่อแสดงลักษณะของการเกิดเหตุบกพร่อง หรือการเกิดอุบัติเหตุ (Top Event) หรือเกิดจากเหตุการณ์ใดบ้าง โดยแสดงเป็นแผนภูมิต้นไม้ ซึ่งระบุถึงสาเหตุและขั้นตอนที่นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงหรือข้อบกพร่องภายในระบบ (Intermediate Event) ซึ่งอาจจะเกิดจากสาเหตุย่อยหลาย ๆ สาเหตุ และสาเหตุพื้นฐาน (Basic Event) ที่สนับสนุนการเกิดเหตุย่อยขึ้น การวิเคราะห์จะใช้แอนด์เกต (And Gate) หรือออร์กเกต (Or Gate) เพื่อหาความเชื่อมโยงของสาเหตุต่าง ๆ ที่สนับสนุนให้เกิดความบกพร่องขึ้น โดยหาสาเหตุของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้สาเหตุที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุขึ้นเพื่อหามาตรการป้องกันต่อไป

สัญลักษณ์และความหมายที่ใช้ในการวิเคราะห์วิธีแผนภูมิต้นไม้ ในงานความปลอดภัยในการทำงานได้ถูกพัฒนามาเป็นลำดับ ในบางครั้งผู้ใช้งานอาจจะดัดแปลงให้เหมาะสมกับลักษณะงานที่ตนจะนำไปใช้ ทำให้ในปัจจุบันนี้มีสัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หลายสัญลักษณ์ อย่างไรก็ตามเพื่อให้เนื้อหาอยู่ในขอบเขตที่กล่าวไว้ข้างต้นในที่นี้จะเสนอโครงสร้างและสัญลักษณ์ที่จำเป็นต้องนำมาใช้ และเพียงพอต่อการใช้งานทั้งในด้านคุณภาพและปริมาณ ดังนี้

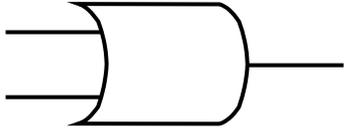
ตารางที่ 22 แสดงสัญลักษณ์ ชื่อและความหมายของโครงสร้างของ Fault Tree Analysis

สัญลักษณ์	ชื่อ	ความหมาย
	AND Gate	เหตุการณ์จะเกิดขึ้นได้เนื่องจากสาเหตุหลายสาเหตุของเหตุการณ์ย่อย
	OR Gate	เหตุการณ์จะเกิดขึ้นได้เนื่องจากสาเหตุใดสาเหตุหนึ่งของสาเหตุใดสาเหตุหนึ่ง เหตุการณ์ย่อย
	Basic Event	เหตุการณ์ย่อยที่เกิดขึ้นได้ตามปกติซึ่งทราบถึงสาเหตุที่เห็น เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ โดยปกติ
	Fault Tree Event	เหตุการณ์ย่อยที่ส่งผลให้เกิดเหตุการณ์ต่อเนื่องจนเป็นเหตุให้เกิดอุบัติเหตุ
	Undeveloped Event	เหตุการณ์ย่อยที่ไม่ต้องการวิเคราะห์หาสาเหตุต่อไปเนื่องจากไม่มีข้อมูลสนับสนุน ต่อไม่ได้
	External Event	เหตุการณ์ย่อยภายนอกหรือปัจจัยภายนอกที่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ต่างๆ

ตารางที่ 23 แสดงความสัมพันธ์สมการทางคณิตศาสตร์ของ And Gate

Failure Probability	Reliability
 AND GATE	
$P = P_1 * P_2$ $P = \prod_{i=1}^n P_i$	$R = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2)$ $R = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i)$

ตารางที่ 24 แสดงความสัมพันธ์สมการทางคณิตศาสตร์ของ Or Gate

Failure Probability	Reliability
 OR GATE	
$P = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2)$ $P = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i)$	$R = R_1 * R_2$ $R = \prod_{i=1}^n R_i$

โดยที่ $R = \exp(-\mu t)$ (28)

เมื่อ R แทน ค่าความน่าเชื่อถือ (Reliability)

μ แทน อัตราการเสียหายต่อปีของอุปกรณ์ (Failure/year)

t แทน เวลาจำนวนปีของความเสียหาย

ที่มา: Crowl and Louvar (2002)

ตารางที่ 25 แสดงค่าอัตราการความเสียหายของอุปกรณ์ต่อปี (Failures/year)

รายการอุปกรณ์	Failures/year
Controller	0.29
Control valve	0.60
Flow Measurement (fluids)	1.14
Flow Measurement (solids)	3.75
Flow Switch	1.12
Gas-liquid Chromatograph	30.60
Hand Valve	0.13
Indicator lamp	0.044
Level Measurement (liquids)	1.70
Level Measurement (solids)	6.86
Oxygen Analysis	5.65
PH Meter	5.88
Pressure Measurement	1.41
Pressure Relief Valve	0.022
Pressure Switch	0.14
Solenoid Valve	0.42
Stepper Motor	0.044
Strip Chart Recorder	0.22
Thermocouple Measurement	0.52
Thermometer Measurement	0.027
Valve Positioner	0.44
Pump Failure	0.026
Valve Failure	0.026
Motor – operated	0.36
Solenoid	0.36
Air – operated	0.036
Check , failure to open	0.036
Relief , failure to open	0.0036

ตารางที่ 25 (ต่อ)

รายการอุปกรณ์	Failures/year
Electrical Hardware	Failures/year
Motor Failure	0.0086
Transformer , open / short	0.0086
Relay Failure to Energize	0.011
Circuit Breakers , Failure to Transfer	0.36
Limit Switch Failure	0.036
Torque Switch , Failure to Operate	0.036
Pressure Switch , Failure to Operate	0.036
Manual Switch , Failure to Operate	0.011
Battery Power Supply Failure	0.0026
Solid State Device failure	0.0086
Diesels , Failure to Start	10.8
Diesels , Failure to Run	8.6
Instrument , Failure to Operate	0.0086
Orifices	0.05
Fire detector	0.09

ที่มา: Louvar (1998); Bentley (1999)

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าของการติดตั้งระบบดับเพลิง

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าของการติดตั้งระบบดับเพลิงทั้งสามชนิด พิจารณาจากอัตราส่วนผลตอบแทนต่อค่าใช้จ่ายจากการติดตั้งระบบดับเพลิง (Benefit/Cost) โดยระบบที่มีค่า Benefit/Cost สูง จะเป็นระบบที่มีความเหมาะสมในการเลือกพิจารณาเป็นอันดับแรก ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการความสัมพัทธ์ ดังนี้ (Louvar, 1998)

$$\text{Benefit / Cost} = R_B / \text{Project Cost} \dots\dots\dots(29)$$

$$R_B = \sum_i R_i^{\text{before}} - \sum_i R_i^{\text{after}} \dots\dots\dots(30)$$

$$R_i = \text{Consequence} \times \text{Probability} \dots\dots\dots(31)$$

$$\text{Probability} = 1 - \text{Reliability} \dots\dots\dots(32)$$

เมื่อ

Benefit / Cost	=	อัตราส่วนผลตอบแทนต่อค่าใช้จ่ายจากการติดตั้งระบบดับเพลิง ซึ่งพิจารณาในระยะ 1 ปี ภายหลังจากการติดตั้ง
R_B	=	ผลตอบแทนที่คาดว่าจะได้รับจากการติดตั้งระบบดับเพลิง
Project Cost	=	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบดับเพลิง
R_i^{before}	=	ค่าเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นก่อนติดตั้งระบบดับเพลิง
R_i^{after}	=	ค่าเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นหลังติดตั้งระบบดับเพลิง
Consequence	=	ค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นกรณีเกิดเพลิงไหม้
Probability	=	โอกาสที่ไม่สามารถป้องกันการเกิดเพลิงไหม้
Reliability	=	ค่าความน่าเชื่อถือของระบบดับเพลิง

โดยการพิจารณาค่าความเสียหายกรณีเกิดเพลิงไหม้ (Consequence) ภายในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี ที่มีการใช้ในการตัดจ่ายกระแสไฟฟ้า จำนวน 10 ชุด ดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายของชุดอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี (สวิตช์เกียร์) พร้อมค่าติดตั้ง ซึ่งมีค่าประมาณ 1,400,000 บาท / ชุด
2. ค่าเสียโอกาสในการขายพลังงานไฟฟ้าของ กฟภ. โดยพิจารณาจากอัตราความเสียหายต่อหน่วยปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่หายไปเนื่องจากไฟดับ (Interrupted Energy Rate : IER) ซึ่งมีค่า 60.165 บาท/kWh โดยชุดอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี (สวิตช์เกียร์) จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ลูกค้าของ กฟภ. ประมาณ 7,000 kW / วงจร (ชุด)

3. ค่าผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟ โดยพิจารณาจากอัตราความเสียหายต่อครั้งที่เกิดไฟฟ้าดับ (Interruption Cost Per Event : ICPE) มีค่า 62,723 บาท / ครั้ง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิภารัตน์ (2548) ได้ทำการวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงของระบบป้องกันอัคคีภัย ในการพิจารณาเลือกระบบดับเพลิงสำหรับติดตั้งห้องควบคุมระบบไฟฟ้า โดยการออกแบบระบบดับเพลิงสามระบบ คือ ระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-227ea ระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541 และระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้มาตรฐาน NFPA ในการออกแบบ และประเมินความเสี่ยงของระบบดับเพลิงในแง่ความบกพร่องโดยวิธีเพนงูมิตันไม้

ชาญชัย (2548) ได้ทำการออกแบบและเปรียบเทียบระบบป้องกันอัคคีภัย สำหรับติดตั้งในห้องเก็บเอกสาร โดยการออกแบบระบบดับเพลิงสามระบบ คือ ระบบดับเพลิงแบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง ระบบดับเพลิงสารสะอาดดับเพลิงประเภทก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541 และระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้มาตรฐาน NFPA ในการออกแบบ และพัฒนาการใช้ Spreadsheet ช่วยในการออกแบบระบบดับเพลิงทั้งสามระบบ และพิจารณาเลือกระบบดับเพลิง โดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดับเพลิงในเชิงเวลาของระบบดับเพลิง และเชิงค่าใช้จ่ายของการติดตั้งระบบดับเพลิง

ธีรพงษ์ (2547) ศึกษาออกแบบระบบดับเพลิงด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ความดันสูง โดยการฉีดท่วม (Total Flooding System) อ้างอิงตามมาตรฐาน NFPA 12 โดยเลือกระบบดับเพลิงให้เหมาะสมกับพื้นที่หรืออุปกรณ์ที่จะป้องกันการเกิดเพลิงไหม้ และนำข้อมูลทั้งหมดมาทำการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบระบบดับเพลิงด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ความดันสูง เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งานและลดข้อผิดพลาดในการออกแบบระบบดับเพลิง

ปรเมศวร์ (2547) ศึกษาโปรแกรมออกแบบระบบสารสะอาดดับเพลิง โดยพัฒนาความสามารถของโปรแกรมในการออกแบบเพื่อช่วยลดความผิดพลาดทำให้เกิดความรวดเร็ว ในการออกแบบ และถูกต้องตามมาตรฐาน NFPA โดยเลือกระบบสารสะอาดดับเพลิงในการศึกษา คือ ระบบดับเพลิงสาร HFC-227ea (FM-200) และระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer) หน่วยความจำ 256 MB ความจุของ Hard disk drive 40 GB

2. โปรแกรม Microsoft Office 2000

วิธีการ

1. กำหนดปัญหาและขอบเขตการวิจัย

2. ศึกษาทฤษฎีและรวบรวมข้อมูล

2.1 เก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานของห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี ของสถานีไฟฟ้าย่อย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

2.2 ศึกษาตำราและผลการวิจัยและทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการเกิดอัคคีภัย และการป้องกันระงับอัคคีภัย เพื่อเลือกสารเคมีดับเพลิงที่เหมาะสมกับพื้นที่

2.3 ศึกษามาตรฐาน NFPA ในการออกแบบระบบดับเพลิง

3. ออกแบบระบบดับเพลิงด้วยวิธีแบบจืดท่วม (Total flooding) โดยการออกแบบระบบดับเพลิงสารสะอาดดับเพลิงประเภทฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125 และระบบดับเพลิงสารสะอาดดับเพลิงประเภทก๊าซเฉื่อยชนิด IG-541 ออกแบบตามมาตรฐาน NFPA 2001 Standard On Clean Agent Fire Extinguishing Systems และระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ชนิดความดันสูง ออกแบบตามมาตรฐาน NFPA 12 Standard On Carbon Dioxide Extinguishing Systems

4. วิเคราะห์ประสิทธิผลของระบบดับเพลิง ในแง่ความน่าเชื่อถือของระบบดับเพลิง แต่ละระบบด้วยวิธีแผนภูมิต้นไม้ และความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบดับเพลิงจากอัตราส่วนผลตอบแทนต่อค่าใช้จ่ายจากการติดตั้งระบบดับเพลิง (Benefit/Cost)
5. ประเมินผลการวิเคราะห์ประสิทธิผลของระบบดับเพลิงเพื่อเลือกระบบที่เหมาะสม
6. นำเสนอแนวทางและสรุปผลการประเมินระบบดับเพลิง

ผลและการวิจารณ์

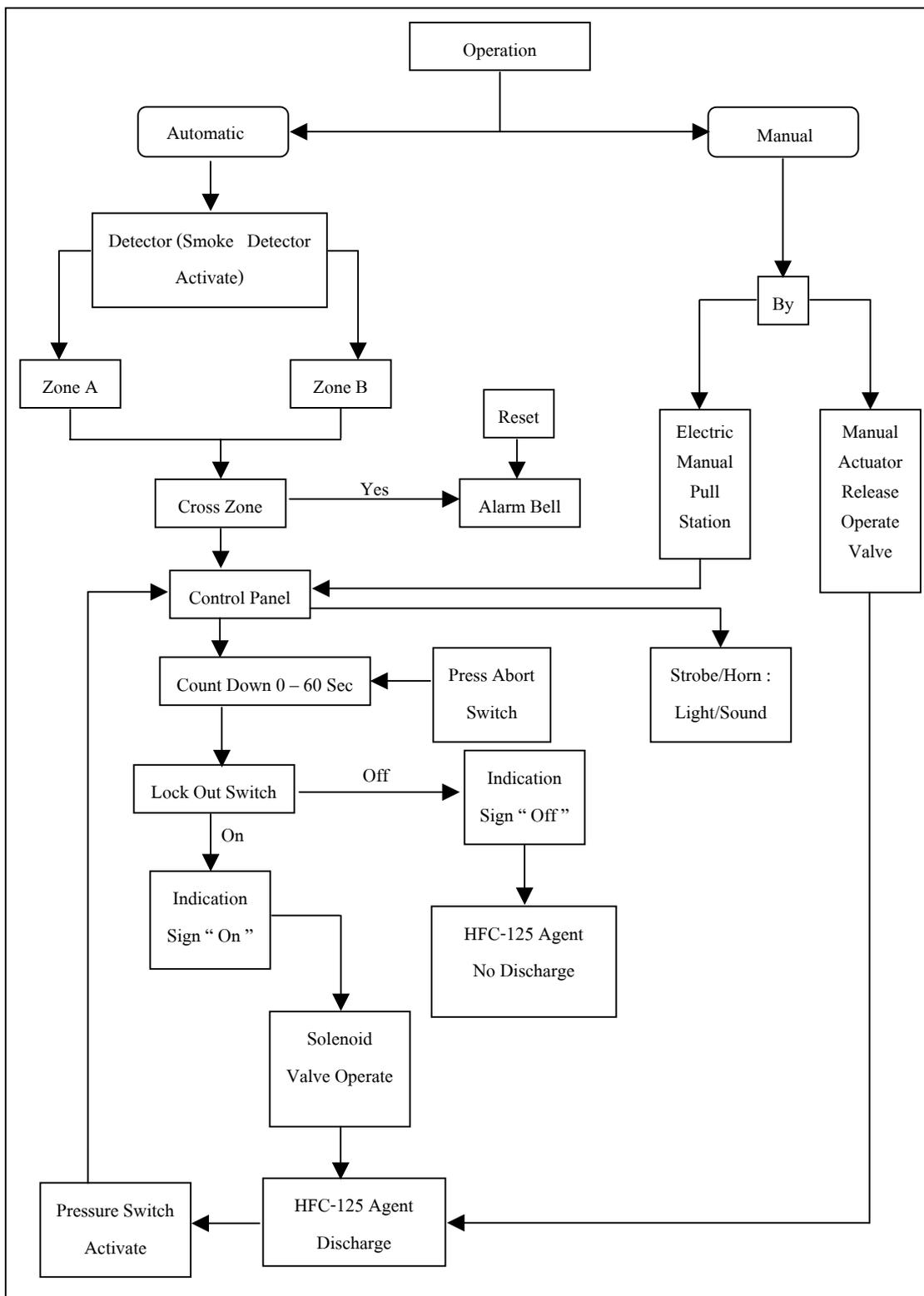
ผลจากการศึกษา

ผลการออกแบบระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC - 125

จากการออกแบบระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125 โดยวิธีการฉีดท่วม ทั้ง 8 ชั้นตอน ออกแบบที่ความเข้มข้น 8 % ต้องใช้ปริมาณสาร HFC-125 จำนวน 267 กิโลกรัม บรรจุในถังขนาด 100 ลิตร จำนวน 3 ถัง โดยบรรจุถังละ 89 กิโลกรัม ฉีดให้หมดภายในเวลา 10 วินาที ด้วยอัตราการไหลของสารอย่างน้อย 26.7 กิโลกรัมต่อวินาที เพื่อทำการระงับอัคคีภัยในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี และออกแบบให้มีการทำงาน ดังแสดงตามภาพที่ 11 โดยการทำงานของระบบดับเพลิงจะแบ่งฟังก์ชันควบคุมการทำงานเป็น 2 ระบบ คือ

ระบบอัตโนมัติ (Automatic System) โดยอุปกรณ์ตรวจจับควัน จะทำหน้าที่ในการตรวจจับการเกิดเพลิงไหม้ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 โซน เพื่อเป็นการตรวจสอบป้องกันการผิดพลาด เมื่ออุปกรณ์ตรวจจับควัน โซนใดโซนหนึ่ง ตรวจพบว่ามีเพลิงไหม้ จะส่งสัญญาณสั่งการให้กระดิ่งดัง เพื่อเป็นการเตือน และเมื่ออุปกรณ์ตรวจจับควันทำงานพร้อมกันทั้ง 2 โซน ระบบจะเริ่มนับถอยหลังจนครบ 60 วินาที โดยที่ Lock Out Switch ไม่ถูกปิดไว้ จึงจะเริ่มทำการฉีดสาร HFC-125 เข้าไปในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี โดยในระหว่างช่วงรอเวลาครบ 60 วินาที หากมีการกด Abort Switch จะทำให้ระบบเริ่มนับเวลาที่รอใหม่

ระบบการทำงานด้วยมือ (Manual System) โดยสั่งการด้วยการดึงสลักกาว์วสาร HFC-125 จะถูกฉีดเข้าไปในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี ทันที แต่ถ้าสั่งการโดยผ่านสวิทช์ไฟฟ้า ระบบจะข้ามขั้นตอนการทำงานของ Abort Switch และการนับเวลาถอยหลัง แต่ยังคงผ่านขั้นตอนของ Lock Out Switch โดยถ้าหาก Lock Out Switch ไม่ถูกปิดไว้ ระบบจึงจะเริ่มทำการฉีดสาร HFC-125 เข้าไปในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี

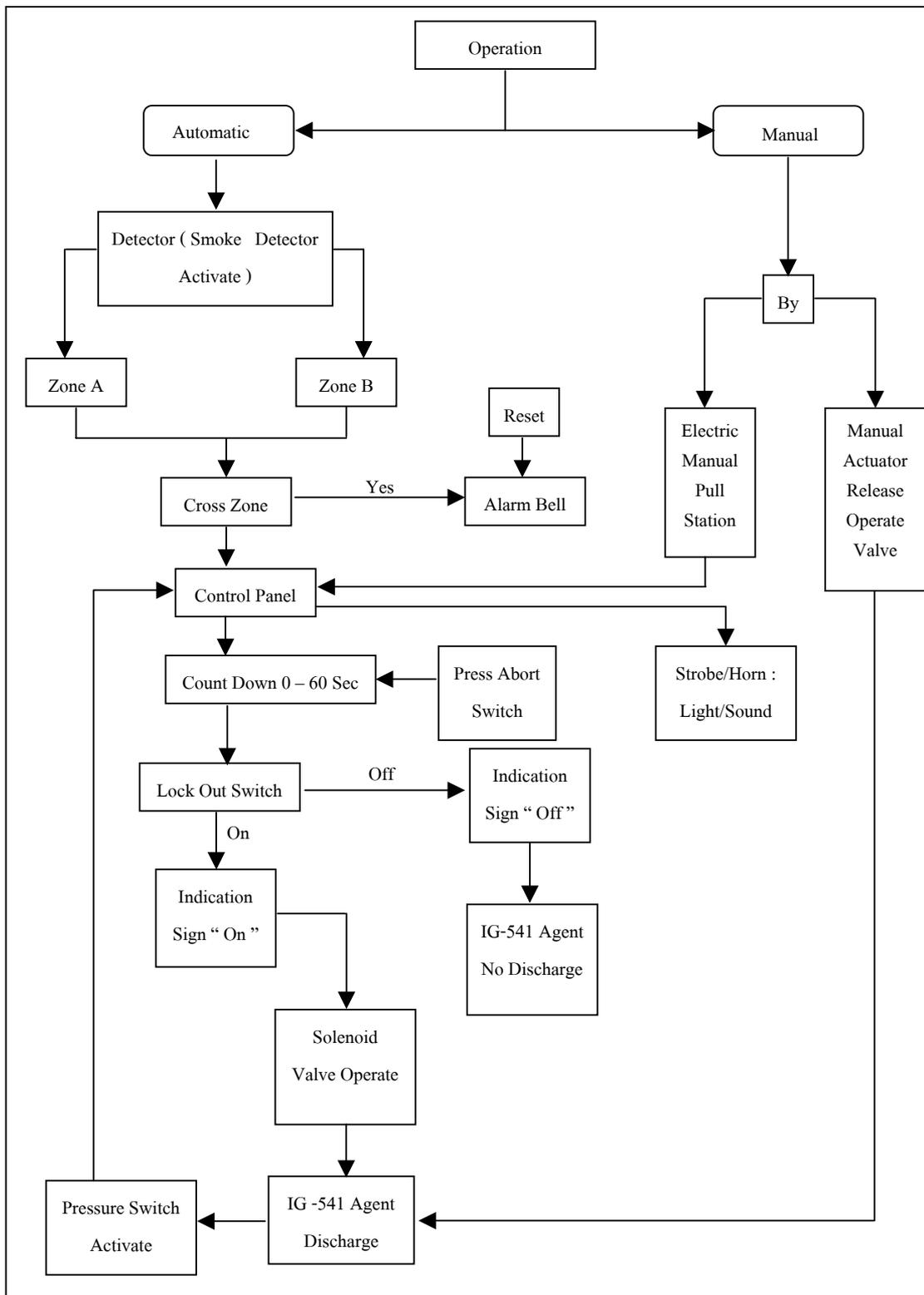


ภาพที่ 11 ขั้นตอนการทำงานระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125

จากการออกแบบระดับเพลิงก๊าซเชื้อชนิดสาร IG-541 ทั้ง 11 ชั้นตอน ออกแบบที่ความเข้มข้น 34.2 % ต้องใช้ปริมาณสาร IG-541 จำนวน 264 ลูกบาศก์เมตร บรรจุนในถังขนาด 12 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 22 ถัง นี้อัดให้หมดภายในเวลา 1 นาที ด้วยอัตราการไหลของสารอย่างน้อย 234.68 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที เพื่อทำการระงับอัคคีภัยในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี และออกแบบให้มีการทำงานดังแสดงตามภาพที่ 12 โดยการทำงานของระบบดับเพลิงจะแบ่งฟังก์ชันควบคุมการทำงานเป็น 2 ระบบ คือ

ระบบอัตโนมัติ (Automatic System) โดยอุปกรณ์ตรวจจับควัน จะทำหน้าที่ในการตรวจจับการเกิดเพลิงไหม้ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 โซน เพื่อเป็นการตรวจสอบป้องกันการผิดพลาด เมื่ออุปกรณ์ตรวจจับควันโซนใดโซนหนึ่ง ตรวจพบว่ามีเกิดเพลิงไหม้ จะส่งสัญญาณสั่งการให้กระดิ่งดังเพื่อเป็นการเตือน และเมื่ออุปกรณ์ตรวจจับควันทำงานพร้อมกันทั้ง 2 โซน ระบบจะเริ่มนับถอยหลังจนครบ 60 วินาที โดยที่ Lock Out Switch ไม่ถูกปิดไว้ จึงจะเริ่มทำการฉีดก๊าซเชื้อชนิดสาร IG-541 เข้าไปในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี โดยในระหว่างช่วงรอเวลาครบ 60 วินาที หากมีการกด Abort Switch จะทำให้ระบบเริ่มนับเวลาที่รอใหม่

ระบบการทำงานด้วยมือ (Manual System) หากสั่งการด้วยการดึงสลักควาล์ว ก๊าซเชื้อชนิดสาร IG-541 จะถูกฉีดเข้าไปในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี ทันที แต่ถ้าสั่งการโดยผ่านสวิตช์ไฟฟ้า ระบบจะข้ามขั้นตอนการทำงานของ Abort Switch และการนับเวลาถอยหลัง แต่ยังคงผ่านขั้นตอนของ Lock Out Switch โดยถ้าหาก Lock Out Switch ไม่ถูกปิดไว้ ระบบจึงจะเริ่มทำการฉีดก๊าซเชื้อชนิดสาร IG-541 เข้าไปในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี



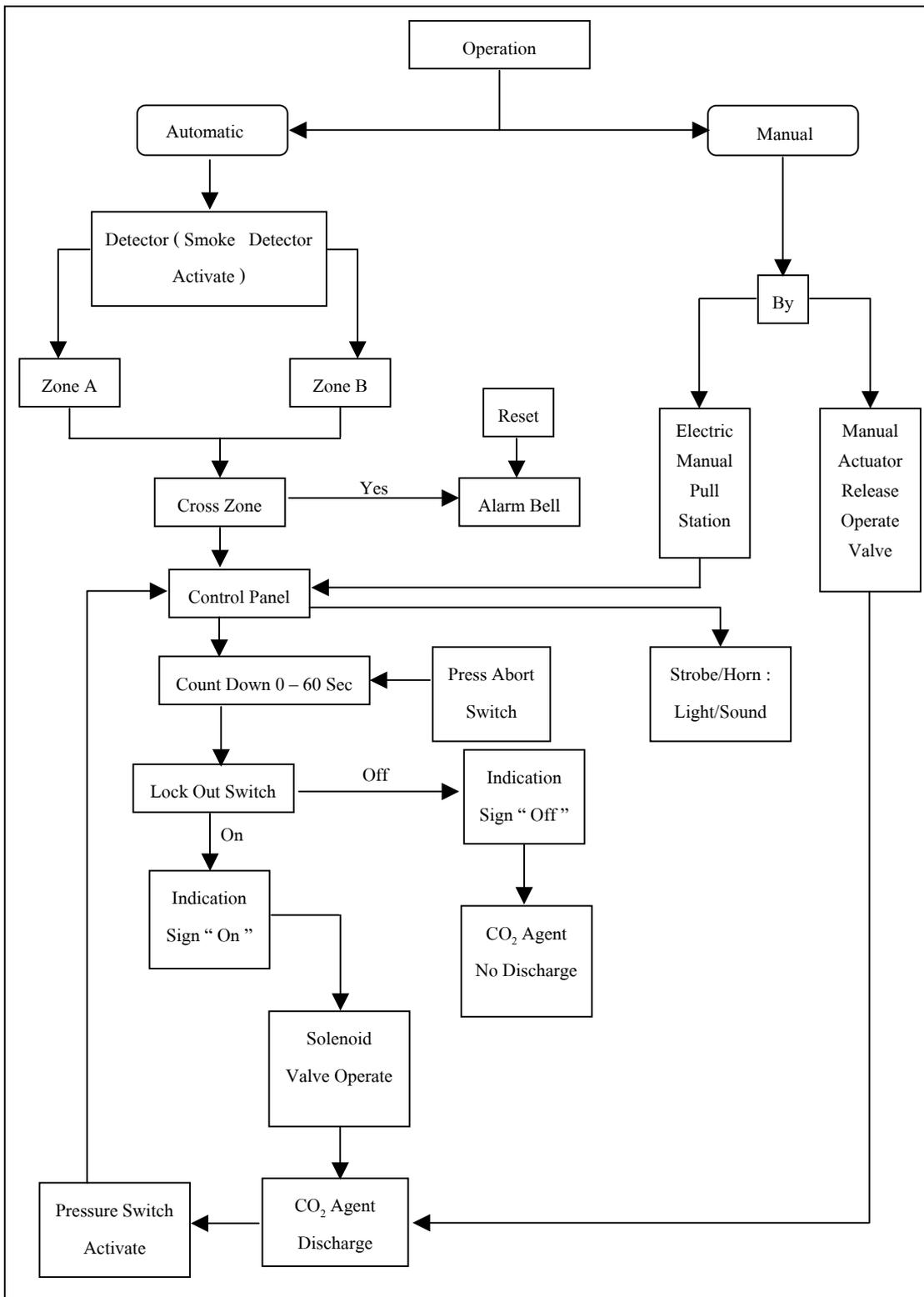
ภาพที่ 12 ขั้นตอนการทำงานของระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541

ผลการออกแบบระบบดับเพลิงด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

จากการออกแบบระบบดับเพลิงของระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้ง 9 ชั้นตอน ทำการออกแบบที่ความเข้มข้น 50 % ต้องใช้ถังขนาด 45 kg จำนวน 18 ถัง ฉีดให้หมดภายในเวลา 7 นาทีด้วยอัตราการไหลของสารอย่างน้อย 115.71 กิโลกรัมต่อนาที โดย 2 นาทีแรกอัตราการไหลของสารอย่างน้อย 207.09 กิโลกรัมต่อนาที เพื่อทำการระงับอัคคีภัยในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี และออกแบบให้มีการทำงานดังแสดงตามภาพที่ 13 โดยการทำงานของระบบดับเพลิงจะแบ่งฟังก์ชันควบคุมการทำงานเป็น 2 ระบบ คือ

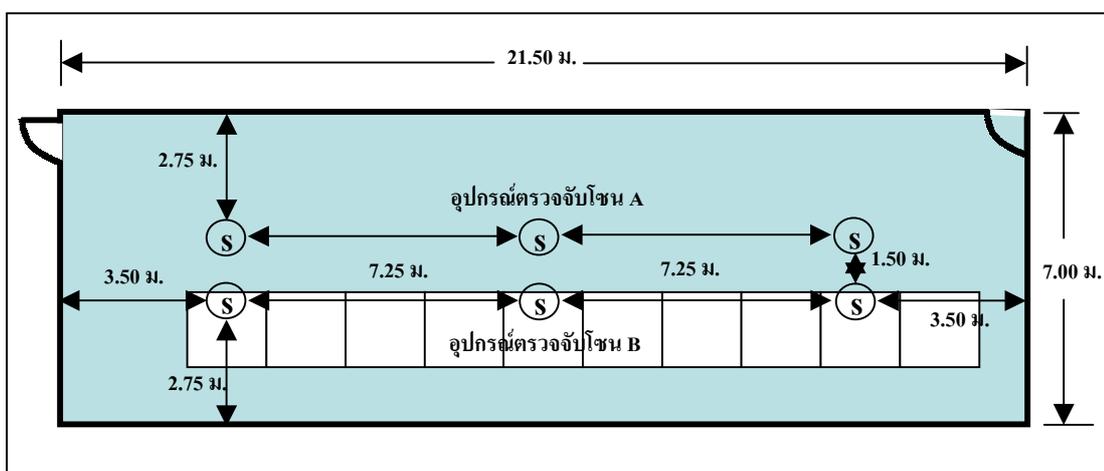
ระบบอัตโนมัติ (Automatic System) โดยอุปกรณ์ตรวจจับควัน จะทำหน้าที่ในการตรวจจับการเกิดเพลิงไหม้ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 โซน เพื่อเป็นการตรวจสอบป้องกันการผิดพลาด เมื่ออุปกรณ์ตรวจจับควันโซนใดโซนหนึ่ง ตรวจพบว่ามีเพลิงไหม้ จะส่งสัญญาณสั่งการให้กระดิ่งดัง เพื่อเป็นการเตือน และเมื่ออุปกรณ์ตรวจจับควันทำงานพร้อมกันทั้งโซน ระบบจะเริ่มนับถอยหลังจนครบ 60 วินาที โดยที่ Lock Out Switch ไม่ถูกปิดไว้ จึงจะเริ่มทำการฉีดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี (สวิตช์เกียร์) โดยในระหว่างช่วงรอเวลาครบ 60 วินาที หากมีการกด Abort Switch จะทำให้ระบบเริ่มนับเวลาที่รอใหม่

ระบบการทำงานด้วยมือ (Manual System) หากสั่งการด้วยการดึงสลักกล้วย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะถูกฉีดเข้าไปในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี (สวิตช์เกียร์) ทันที แต่ถ้าสั่งการโดยผ่านสวิตช์ไฟฟ้า ระบบจะข้ามขั้นตอนการทำงานของ Abort Switch และการนับเวลาถอยหลัง แต่ยังคงผ่านขั้นตอนของ Lock Out Switch โดยถ้าหาก Lock Out Switch ไม่ถูกปิดไว้ ระบบจึงจะเริ่มทำการฉีดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เข้าไปในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี (สวิตช์เกียร์)



ภาพที่ 13 ขั้นตอนการทำงานของระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การออกแบบการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับควันชนิดโฟโตอิเล็กทริกแบบควันบังแสง (Photoelectric Light Obscuration Smoke Detector) สำหรับตรวจจับการเกิดเพลิงไหม้ในห้อง อุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง ต้องใช้อุปกรณ์ตรวจจับควัน จำนวน 3 ตัว และเพื่อป้องกันการดำเนินงานผิดพลาดของอุปกรณ์ตรวจจับควันในการตรวจสอบอีกครั้งก่อนที่ระบบจะทำงาน (Double Check) จึงออกแบบเป็น 2 โซน คือ โซน A และ โซน B จำนวนโซนละ 3 จุด ดังนั้นในการออกแบบต้องใช้อุปกรณ์ตรวจจับควัน ทั้งหมดจำนวน 6 ตัว โดยตำแหน่งการติดตั้งของอุปกรณ์ตรวจจับควัน แสดงตามภาพที่ 14



ภาพที่ 14 แสดงตำแหน่งการติดตั้งของอุปกรณ์ตรวจจับควัน โซน A และ โซน B

ผลการประเมินค่าใช้จ่ายในการติดตั้งของระบบดับเพลิงทั้ง 3 ระบบ

การประเมินราคาในการติดตั้งระบบดับเพลิงสำหรับห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี โดยระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125 ตามตารางภาคผนวกที่ ค.1 ระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541 ตามตารางภาคผนวกที่ ค.2 และระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตามตารางภาคผนวกที่ ค.3 ซึ่งราคาประเมินการติดตั้งของระบบดับเพลิงแต่ละระบบจะรวมถึงราคาการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับควันชนิดโฟโตอิเล็กทริก แบบควันบังแสง สรุปได้ ดังนี้

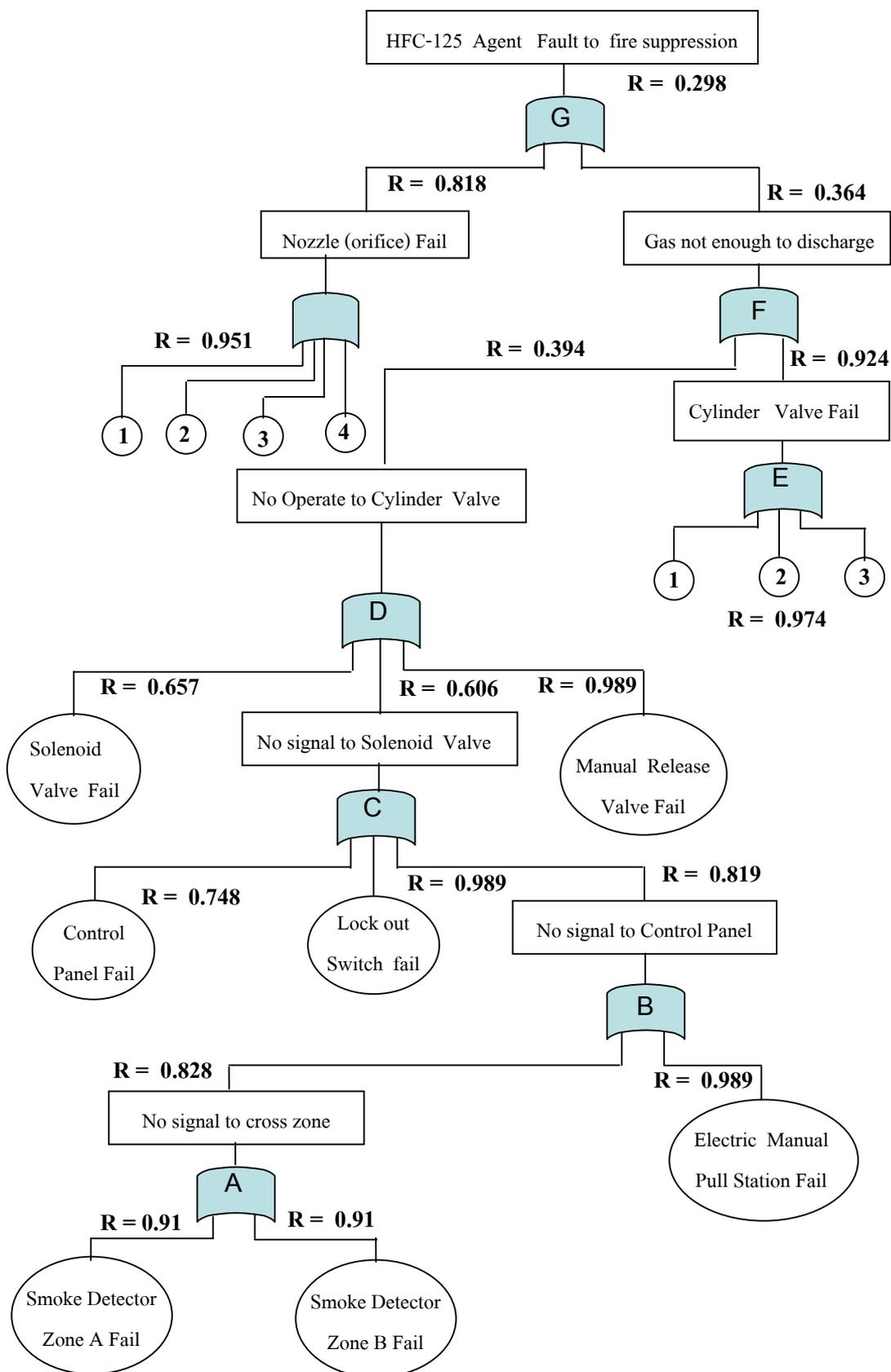
ระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125	คือ 944,700 บาท
ระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541	คือ 1,743,900 บาท
ระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	คือ 1,233,100 บาท

ระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541 มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสูงที่สุดรองลงมาคือ ระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125 มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งต่ำที่สุด

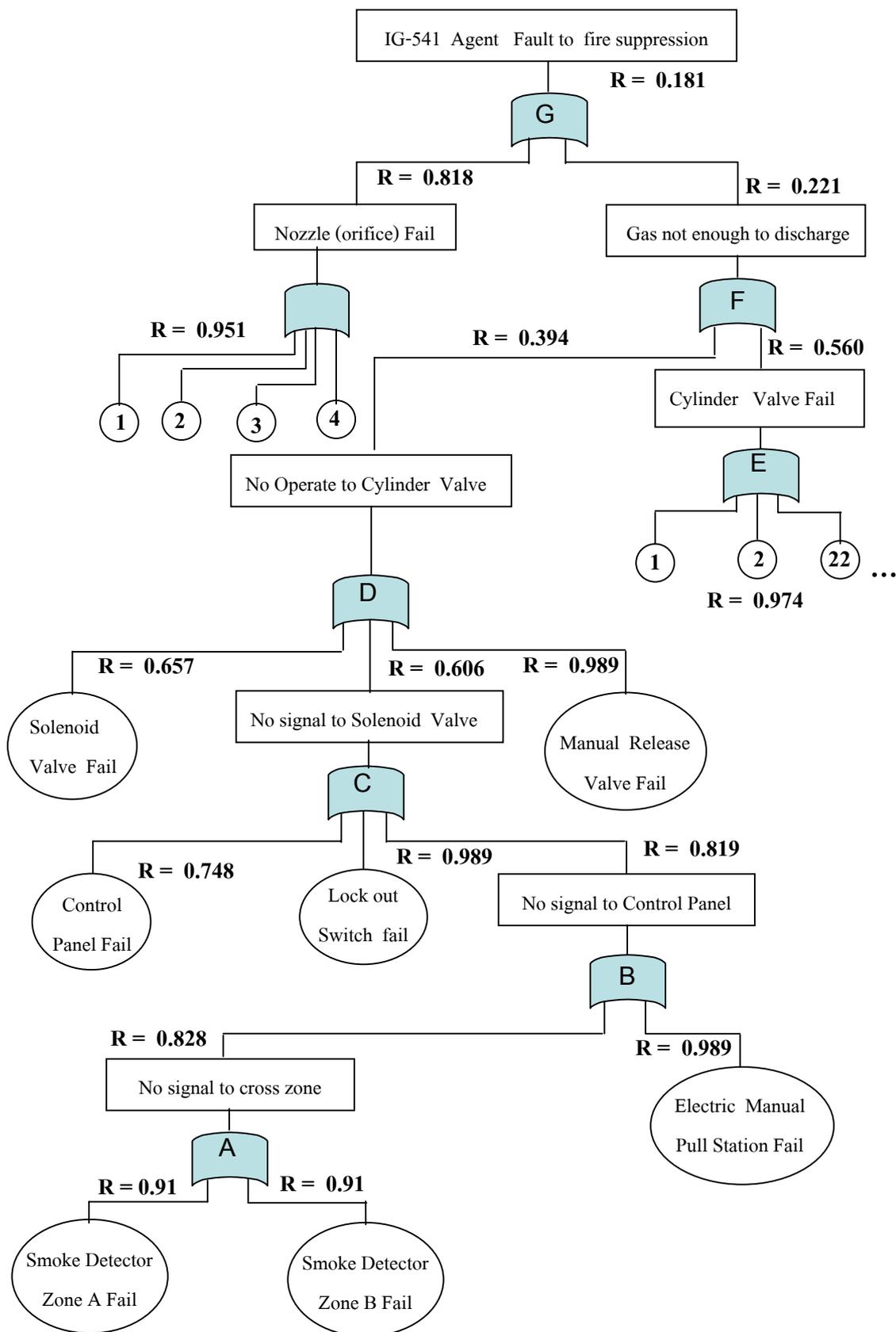
ผลการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของระบบดับเพลิงทั้ง 3 ระบบด้วยวิธีแผนภูมิต้นไม้

ผลการวิเคราะห์ค่าความน่าเชื่อถือ ของระบบดับเพลิงทั้ง 3 ระบบ ด้วยวิธีแผนภูมิต้นไม้ ดังนี้

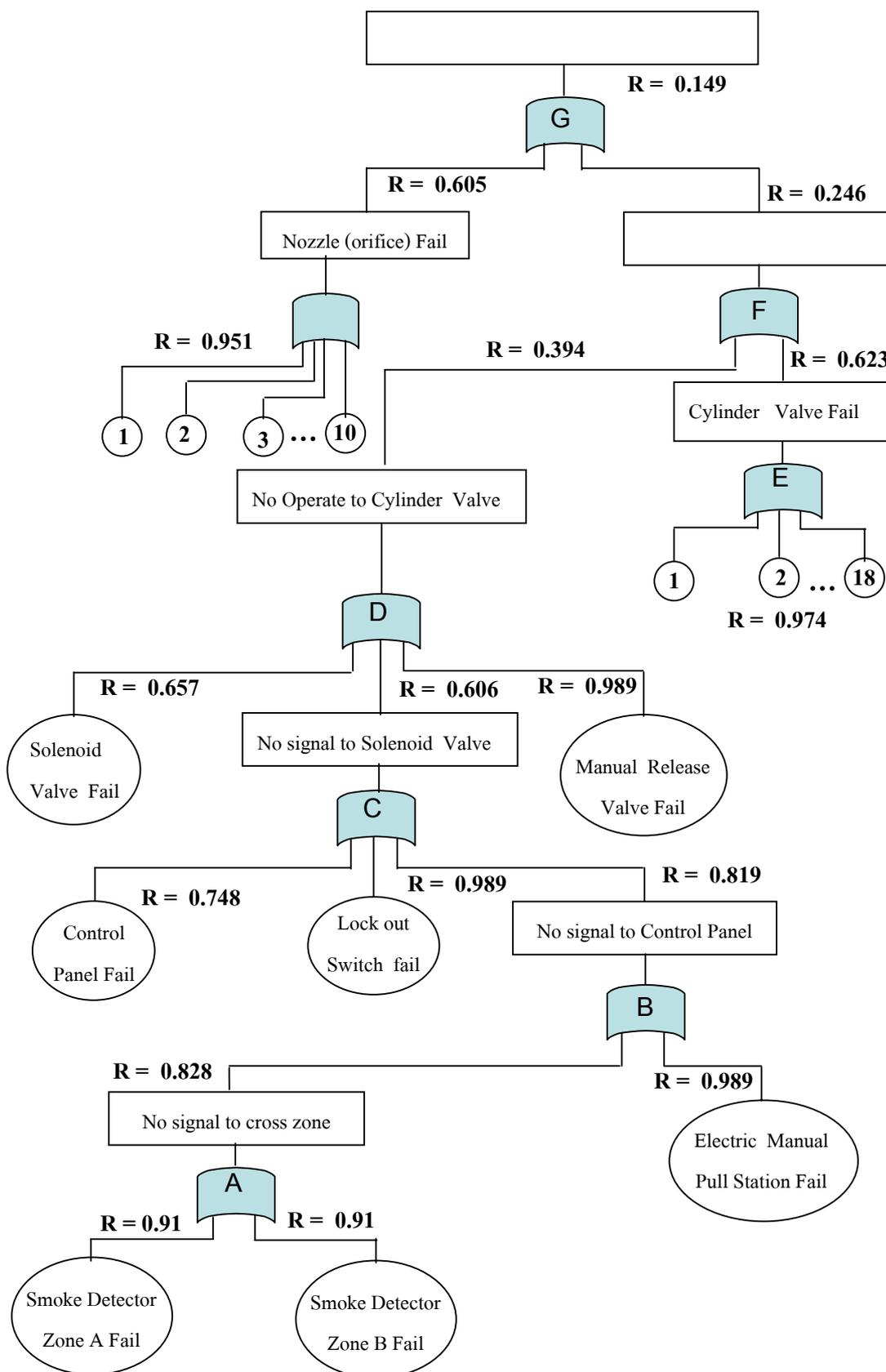
1. ระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125 มีค่าความน่าเชื่อถือของระบบ 0.298 และแสดงค่าตามวิธีแผนภูมิต้นไม้ ตามภาพที่ 15
2. ระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541 มีค่าความน่าเชื่อถือของระบบ 0.181 และแสดงค่าตามวิธีแผนภูมิต้นไม้ ตามภาพที่ 16
3. ระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีค่าความน่าเชื่อถือของระบบ 0.149 และแสดงค่าตามวิธีแผนภูมิต้นไม้ ตามภาพที่ 17



ภาพที่ 15 แสดงค่าความน่าเชื่อถือของระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125 ตามแผนภูมิต้นไม้



ภาพที่ 16 แสดงค่าความน่าเชื่อถือของระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541 ตามแผนภูมิต้นไม้



ภาพที่ 17 แสดงค่าความน่าเชื่อถือของระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตามแผนภูมิต้นไม้

ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของการติดตั้งระบบดับเพลิง

ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบดับเพลิงทั้งสามระบบ ซึ่งพิจารณาจากอัตราส่วนผลตอบแทนต่อค่าใช้จ่ายจากการติดตั้งระบบดับเพลิง (Benefit/Cost) โดยแสดง การคำนวณตามภาคผนวก จ แสดงผลตามตารางที่ 26

ตารางที่ 26 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อค่าใช้จ่ายจากการติดตั้งระบบดับเพลิง (Benefit/Cost)

ระบบดับเพลิง	Benefit / Cost	
	กรณีเสียหายน้อยที่สุด	กรณีเสียหายมากที่สุด
ฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125	0.59	5.76
ก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541	0.20	1.90
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	0.23	2.21

วิจารณ์

จากการศึกษาและออกแบบระบบดับเพลิงสำหรับติดตั้งในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี (สวิตช์เกียร์) เป็นการออกแบบด้วยวิธีแบบฉีดท่วม ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสม ในการดับเพลิง สำหรับการเกิดเพลิงไหม้ในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง ที่จัดได้ว่า เป็นแบบเชื้อเพลิงอยู่ภายใน โดยใช้มาตรฐาน NFPA โดยพิจารณาออกแบบระบบดับเพลิงที่สามารถใช้ในการดับเพลิงห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี สามระบบ คือ ระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125 ระบบดับเพลิงสารก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541 ออกแบบตามมาตรฐาน NFPA 2001 Standard On Clean Agent Fire Extinguishing Systems และระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ชนิดความดันสูง ออกแบบตามมาตรฐาน NFPA 12 Standard On Carbon Dioxide Extinguishing Systems

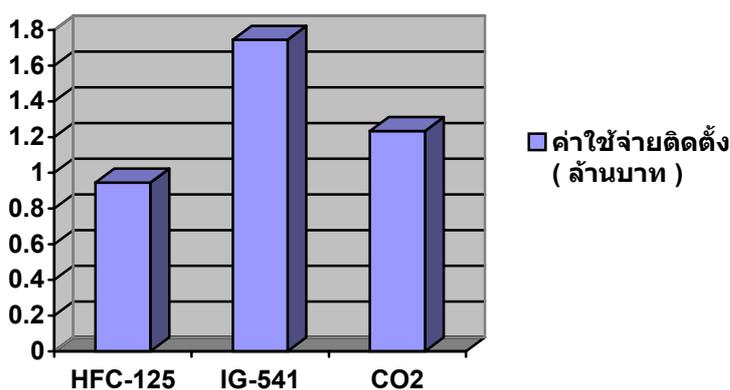
การออกแบบระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125 ออกแบบที่ความเข้มข้น 8 % ต้องใช้ปริมาณสาร HFC-125 จำนวน 267 กิโลกรัม บรรจุนในถังขนาด 100 ลิตร จำนวน 3 ถัง โดยบรรจุนถึงละ 89 กิโลกรัม ฉีดให้หมดภายใน 10 วินาที อัตราการไหลของสารอย่างน้อย 26.7 กิโลกรัมต่อวินาที

การออกแบบระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541 ออกแบบที่ความเข้มข้น 34.2 % ต้องใช้ปริมาณสาร IG-541 จำนวน 264 ลูกบาศก์เมตร บรรจุนในถังขนาด 12 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 22 ถัง ฉีดให้หมดภายใน 60 วินาที ด้วยอัตราการไหลของสารอย่างน้อย 234.68 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

การออกแบบระบบดับเพลิงของระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ออกแบบที่ความเข้มข้น 50 % ต้องใช้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จำนวน 810 กิโลกรัม บรรจุนในถังขนาด 45 กิโลกรัม จำนวน 18 ถัง ฉีดให้หมดภายใน 7 นาที ด้วยอัตราการไหลของสารอย่างน้อย 115.71 กิโลกรัมต่อวินาที โดย 2 นาทีแรก อัตราการไหลของสารอย่างน้อย 207.09 กิโลกรัมต่อวินาที

การออกแบบระบบดับเพลิงทั้งสามระบบพิจารณาเลือกระบบตรวจจับสำหรับการทำงานแบบอัตโนมัติ คืออุปกรณ์ตรวจควันชนิดโฟโตอิเล็กทริก แบบควันบ่งแสงที่เป็นอุปกรณ์จับควันชนิดจุดเป็นอุปกรณ์ตรวจจับ โดยออกแบบติดตั้งเป็น 2 โซนเป็นการตรวจสอบอีกครั้งก่อนที่จะสั่งการให้ระบบดับเพลิงทำงาน เพื่อป้องกันการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์ตรวจจับควัน

การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการติดตั้งของระบบดับเพลิงทั้ง 3 ระบบ พบว่าระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541 มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสูงที่สุด รองลงมาคือระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125 มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งต่ำที่สุด ดังแสดงตามภาพที่ 18

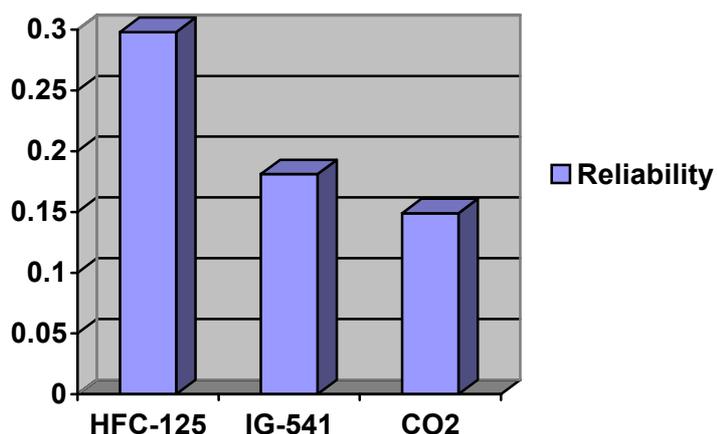


ภาพที่ 18 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการติดตั้งของระบบดับเพลิง

การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของระบบดับเพลิงทั้ง 3 ระบบ ตามตารางภาคผนวกที่ ค4 สามารถสรุป ได้ดังนี้

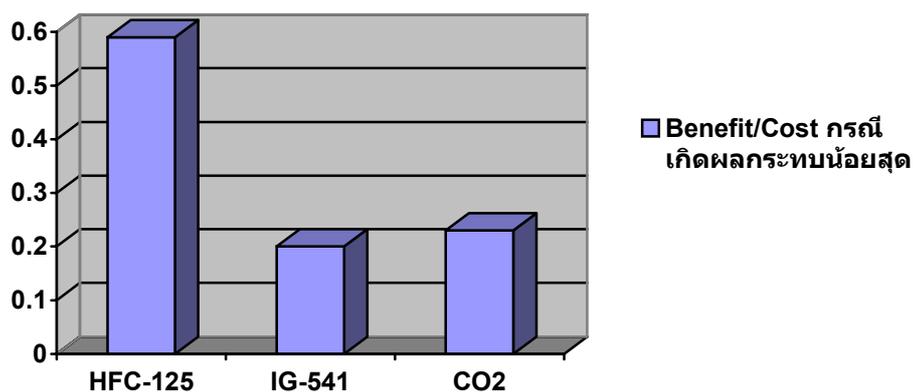
1. ระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541 เป็นสารที่มีความปลอดภัยต่อคนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด
2. ระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541 และระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125 ออกแบบง่ายและการดูแลรักษาง่าย โดยสังเกตจาก Pressure Gauge
3. ระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นอันตรายต่อชีวิตเนื่องจากขาดออกซิเจน ส่วนระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541 และระบบดับเพลิงสาร HFC-125 สามารถสัมผัสกับสารได้ภายใต้ข้อกำหนด (ความเข้มข้นกับเวลา)

การเปรียบเทียบค่าความน่าเชื่อถือของระบบดับเพลิงทั้ง 3 ระบบ พบว่าระบบดับเพลิง ฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125 มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541 และระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าต่ำสุด โดยต่ำกว่าสองระบบแรก ประมาณ 2 เท่า และ 1.21 เท่า ตามลำดับ ดังแสดงตามภาพที่ 19

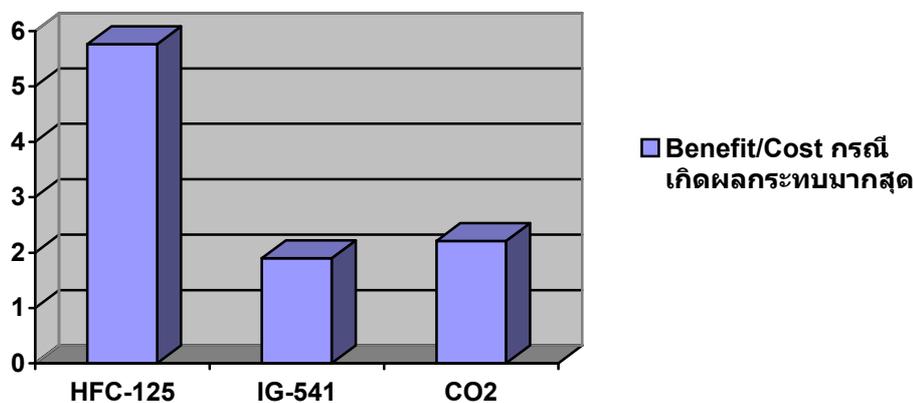


ภาพที่ 19 เปรียบเทียบค่าความน่าเชื่อถือของระบบดับเพลิง

เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบดับเพลิงโดยพิจารณาจากอัตราส่วนผลตอบแทนต่อค่าใช้จ่ายจากการติดตั้งระบบดับเพลิง (Benefit/Cost) ในกรณีเสียหายน้อยสุด และ กรณีเสียหายมากที่สุด สรุปได้ว่าระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125 มีค่า Benefit / Cost สูงที่สุด รองลงมาคือระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541 มีค่าต่ำที่สุด ทั้ง 2 กรณี ดังแสดงการเปรียบเทียบตามภาพที่ 20 และภาพที่ 21



ภาพที่ 20 เปรียบเทียบ Benefit / Cost ของระบบดับเพลิง กรณีเกิดผลกระทบน้อยที่สุด



ภาพที่ 21 เปรียบเทียบ Benefit / Cost ของระบบดับเพลิง กรณีเกิดผลกระทบมากที่สุด

การพิจารณาความเหมาะสมระบบดับเพลิงทั้งสามระบบโดยเปรียบเทียบจากประสิทธิภาพของระบบดับเพลิงในแง่ของความสำเร็จของระบบ และความคุ้มค่าของการติดตั้งระบบดับเพลิง ผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่าระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125 เป็นระบบที่เหมาะสมในการติดตั้งห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี เนื่องจาก เป็นระบบที่มีความน่าเชื่อถือดีที่สุดและความคุ้มค่าในการติดตั้งสูงที่สุด และระบบดับเพลิงดังกล่าวดูแลรักษาง่ายไม่ทำลายชั้นโอโซน โดยต้องกำหนดขั้นตอนการปฏิบัติและฝึกอบรมให้ความรู้ความเข้าใจแก่ผู้ปฏิบัติงาน เพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาและออกแบบระบบดับเพลิงสำหรับติดตั้งในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี ทำการออกแบบด้วยวิธีแบบฉีดท่วม ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมในการดับเพลิงสำหรับการเกิดเพลิงไหม้ในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง ที่จัดได้ว่าเป็นแบบเชื้อเพลิงคอยู่ภายใน โดยใช้มาตรฐาน NFPA โดยพิจารณาออกแบบระบบดับเพลิงสามระบบ คือ ระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125 ระบบดับเพลิงดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541 ออกแบบตามมาตรฐาน NFPA 2001 Standard On Clean Agent Fire Extinguishing Systems และระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ชนิดความดันสูง ออกแบบตามมาตรฐาน NFPA 12 Standard On Carbon Dioxide Extinguishing Systems พบว่าระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125 ออกแบบที่ความเข้มข้น 8 % ต้องใช้ปริมาณสาร HFC-125 จำนวน 267 กิโลกรัม บรรจุในถังขนาด 100 ลิตร จำนวน 3 ถัง โดยบรรจุน้ำหนัก 89 กิโลกรัม ฉีดให้หมดภายในเวลา 10 วินาที อัตราการไหลของสารอย่างน้อย 26.7 กิโลกรัมต่อวินาที ระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541 ออกแบบที่ความเข้มข้น 34.2 % ต้องใช้ปริมาณสาร IG-541 จำนวน 264 ลูกบาศก์เมตร บรรจุในถังขนาด 12 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 22 ถัง ฉีดให้หมดภายในเวลา 1 นาที ด้วยอัตราการไหลของสารอย่างน้อย 234.68 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ชนิดความดันสูง ออกแบบที่ความเข้มข้น 50 % ต้องใช้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จำนวน 810 kg บรรจุในถังขนาด 45 กิโลกรัม จำนวน 18 ถัง ฉีดให้หมดภายในเวลา 7 นาที ด้วยอัตราการไหลของสารอย่างน้อย 115.71 กิโลกรัมต่อวินาที โดย 2 แรกฉีดด้วยอัตราการไหลอย่างน้อย 207.09 กิโลกรัมต่อวินาที แต่ละระบบพิจารณาเลือกอุปกรณ์ตรวจจับควันชนิดโฟโตอิเล็กทริก แบบควันบั้งแสงชนิดจุด เป็นอุปกรณ์ในการตรวจจับการเกิดเพลิงไหม้ ซึ่งออกแบบติดตั้งเป็น 2 โซน ในการตรวจสอบ อีกครั้งก่อนที่จะสั่งการให้ระบบดับเพลิงทำงาน เพื่อป้องกันการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์ตรวจจับควัน

การพิจารณาความเหมาะสมของระบบดับเพลิงสำหรับติดตั้งในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี โดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบดับเพลิงในแง่ความน่าเชื่อถือของระบบ และความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบดับเพลิงซึ่งพิจารณาจากอัตราส่วนผลตอบแทนต่อค่าใช้จ่ายจากการติดตั้งระบบดับเพลิง (Benefit/Cost) ในกรณีเสียหายน้อยสุดและกรณีเสียหายมากที่สุด

พบว่าค่าความน่าเชื่อถือของระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125 มีค่า 0.298 ระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541 มีค่า 0.181 และระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ชนิดความดันสูง มีค่า 0.149 และค่า Benefit/Cost กรณีเสียหายน้อยสุด และกรณีเสียหายมากที่สุด ของระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125 มีค่า 0.59, 5.76 ระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อย ชนิดสาร IG-541 มีค่า 0.20, 1.90 และระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ชนิดความดันสูง มีค่า 0.23, 2.21 ตามลำดับ

จากการพิจารณาออกแบบระบบดับเพลิงสำหรับติดตั้งในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี คือ ระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125 ระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อย ชนิดสาร IG-541 และระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ชนิดความดันสูง แสดงให้เห็นว่า ระบบดับเพลิงทั้งสามระบบสามารถใช้ในการดับเพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นภายในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี หากพิจารณาจากประสิทธิผลของระบบดับเพลิงในแง่ความน่าเชื่อถือและความคุ้มค่าของการติดตั้งระบบดับเพลิง ผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่าระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125 เป็นระบบที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งในห้องควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี เนื่องจากมีความน่าเชื่อถือของระบบดีที่สุดและความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบสูงที่สุด

ดังนั้น การพิจารณาเลือกระบบดับเพลิงที่มีความเหมาะสมสำหรับติดตั้งในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี สถานีไฟฟ้าย่อย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ควรพิจารณาติดตั้งระบบดับเพลิงสารสะอาดดับเพลิงประเภทฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125 โดยออกแบบที่ความเข้มข้น 8 % ใช้ปริมาณสาร HFC-125 จำนวน 267 กิโลกรัม ฉีดให้หมดภายใน 10 วินาที อัตราการไหลของสารอย่างน้อย 26.7 กิโลกรัมต่อวินาที มีฟังก์ชันควบคุมการทำงานเป็น 2 ระบบ คือ ระบบอัตโนมัติ (Automatic System) และระบบการทำงานด้วยมือ (Manual System) ดังแสดงตามภาพที่ 11 พร้อมทั้งติดตั้งระบบตรวจจับเพลิงไหม้ โดยเลือกอุปกรณ์ตรวจจับควันชนิดโฟโตอิเล็กทริก แบบวันบังแสง ชนิดจุด เป็นอุปกรณ์ในการตรวจจับการเกิดเพลิงไหม้ โดยออกแบบติดตั้งเป็น 2 โซน ป้องกันการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์ตรวจจับควัน ดังแสดงตามภาพที่ 14 เพื่อเป็นการลดความสูญเสียที่อาจจะเกิดขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. การออกแบบตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับควันเป็นการพิจารณาออกแบบตามระยะห่างตามมาตรฐานและรัศมีการตรวจจับของอุปกรณ์ เพื่อให้ระบบการตรวจจับการเกิดเพลิงไหม้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น หากการออกแบบติดตั้งมีการวิเคราะห์ตำแหน่งที่มีโอกาสเกิดเป็นจุดต้นเพลิงและวัสดุที่เป็นเชื้อเพลิงได้มากที่สุด และวิเคราะห์ทิศทางที่ควันจะกระจายออกจากจุดต้นเพลิง การเบี่ยงเบนทิศทางของควันจากทิศทางลม การระบายอากาศสภาพผิวเพดาน รูปร่าง ความสูง หรือจากโครงสร้าง ถ้าเป็นไปได้ควรทำการทดสอบที่สถานที่ติดตั้งจริงประกอบเพื่อให้ได้ตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด
2. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าของการติดตั้งระบบดับเพลิง ซึ่งพิจารณาค่าใช้จ่ายจากการติดตั้งระบบดับเพลิง เพื่อให้ได้ผลการเปรียบเทียบที่ชัดเจนมากขึ้น หากมีการพิจารณาค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบบำรุงรักษา และการเติมสารเคมีในระยะเวลาการพิจารณาที่มากขึ้น เช่น 5 ปี เป็นต้น
3. การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของระบบดับเพลิงเป็นการพิจารณาจากข้อมูลของความบกพร่องต่อปีตามชนิดของอุปกรณ์ระบบดับเพลิง เพื่อให้ได้ผลการเปรียบเทียบที่ชัดเจนมากขึ้น หากการวิเคราะห์สามารถใช้ข้อมูลความบกพร่องต่อปีของอุปกรณ์ระบบดับเพลิงตามขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้งานจริง
4. การพิจารณารายละเอียดข้อกำหนดของระบบดับเพลิง ควรมีการกำหนดคุณสมบัติของชุดอุปกรณ์ระบบดับเพลิง เช่น ระบบท่อ ข้อต่อ วาล์ว หัวฉีด เป็นต้น โดยให้เป็นไปตามมาตรฐานสากลหรือได้รับการรับรองจากสถาบันที่เชื่อถือได้
5. เมื่อทำการติดตั้งระบบดับเพลิงสารสะอาดดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125 ในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี แล้ว ควรมีการกำหนดขั้นตอนการปฏิบัติให้แก่งานฝึกอบรมให้ความรู้กับพนักงานเรื่องการดูแลรักษา และการแก้ปัญหาในเบื้องต้น
6. ออกแบบระบบสั่งการทำงานของระบบดับเพลิง ให้เชื่อมต่อกับระบบระบายอากาศ เพื่อสั่งการให้ระบบระบายอากาศหยุดการทำงานเมื่อระบบดับเพลิงทำการฉีดสารเพื่อระงับอัคคีภัย หลังการติดตั้งควรมีการประเมินความเสี่ยงของระบบดับเพลิง และควรมีการเก็บสถิติความเสียหายของอุปกรณ์ของระบบดับเพลิง เพื่อเป็นข้อมูลจริงในการปรับปรุงผลวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือ หรือเพื่อวางแผนในการบำรุงรักษาระบบดับเพลิง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

คณะกรรมการร่างมาตรฐานความปลอดภัยด้านอัคคีภัย 3002 ประจำปี 2543-2544, 2545.

ม.ป.ป.มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์,
กรุงเทพฯ.

ชาญชัย ศาสนะประดิษฐ์. 2548. การออกแบบและเปรียบเทียบระบบป้องกันอัคคีภัย
กรณีศึกษาห้องเก็บเอกสารของบริษัทพรอดเตอร์ แอนด์ แกมเบิ้ล แมนูแฟคเจอร์ริง
(ประเทศไทย) จำกัด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เชียรพงษ์ ศรีสกุล. 2547. การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบระบบดับเพลิง
ด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ความดันสูง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์

ปรเมศวร์ เพชรทองด้วง. 2547. โปรแกรมออกแบบระบบสารสะอาดดับเพลิง. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พิชญะ จันทรานูวัฒน์. 2547. การป้องกันอัคคีภัยในโรงงานอุตสาหกรรม. ภาควิชาวิศวกรรม
ความปลอดภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลือชัย ทองนิล. 2544. การออกแบบและติดตั้งระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้. สมาคมวิศวกรรมสถาน
แห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ.

วิภารัตน์ โพธิ์จี. 2548. การวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงของระบบป้องกันอัคคีภัย
กรณีศึกษาห้องควบคุมของบริษัทบางกอกคริสตัล จำกัด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2544. อัตราความเสียหายเนื่องจากไฟดับ.
ม.ป.ท., กรุงเทพฯ.

Ansul Inergen System. 2002. **Design, Installation, Recharge and Maintenance Manual.** n.p.

Bentley, J.P. 1999. **Reliability & Quality Engineering.** Second Edition, Addison Wesley
Longman, England.

Crowl, D.A. and J.F. Louvar. 2002. **Chemical Process Safety: Fundamentals with
Applications.** Second Edition, Prentice Hall PTR, New Jersey.

Ladwig, T.H. 1991. **Industrial Fire Prevention and Protection.** Van Nostrand
Reinhold, New York.

Louvar, J.F. and B.D. Louvar. 1998. **Health and Environmental Risk Fundamentals with
Applications.** Volume 2. Prentice Hall PTR, New Jersey.

National Fire Protection Association. 2000. **NFPA 12 Standard On Carbon Dioxide
Extinguishing Systems.** National Fire Protection Association, Quincy,
Massachusetts.

National Fire Protection Association. 2000. **NFPA 2001 Standard On Clean Agent
Fire Extinguishing Systems.** National Fire Protection Association, Quincy,
Massachusetts.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการคำนวณการออกแบบระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125

วิธีการคำนวณการออกแบบระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125

การออกแบบระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125 โดยวิธีการฉีดท่วม สำหรับดับเพลิงในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี สามารถออกแบบ ได้ดังนี้

1. การคำนวณหาปริมาตรของพื้นที่ป้องกัน (Determine the Hazard Volume)

$$\begin{aligned}\text{Hazard Volume} &= 21.5 \times 7 \times 4 \quad \text{m}^3 \\ &= 602 \quad \text{m}^3\end{aligned}$$

2. การคำนวณหาปริมาตรของ HFC- 125 (W)

พิจารณา ปริมาตรจำเพาะของสารกลุ่มก๊าซเฉื่อยที่ไอคง (S)

$$\text{จาก } S = k_1 + k_2 (T)$$

$$\text{เมื่อ } k_1 = 0.65799, k_2 = 0.00239, T = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{จะได้ } S = 0.1825 + (0.0007 \times 20)$$

$$= 0.1965$$

พิจารณา ปริมาตรของ HFC- 125 (W)

$$\text{จาก } W = (V / S) (C / (100 - C))$$

$$\text{เมื่อ } S = 0.1965, V = 602 \text{ m}^3, C = 8$$

$$\text{จะได้ } W = (602 / 0.1965) (8 / (100 - 8))$$

$$= 266.40 \text{ kg}$$

3. หาจำนวนถังบรรจุสาร HFC- 125 (Number of HFC -125 Agent Cylinders)

จาก Number of IG -541 Agent Cylinders Require = ปริมาตรสาร HFC- 125 /
Cylinder Capacity

เมื่อ ปริมาตรสาร HFC- 125 = 266.40 kg โดยเลือกขนาดถังบรรจุตามตารางที่ 8
ขนาด 100 lit ที่สามารถ บรรจุได้สูงสุด 93 kg

$$\begin{aligned} \text{จะได้ Number of IG -541 Agent Cylinders Require} &= 266.41 / 93 \\ &= 2.87 \text{ ถัง} \end{aligned}$$

ดังนั้น ต้องใช้ถังบรรจุสาร HFC -125 ในถังบรรจุขนาด 100 lit จำนวน 3 ถัง โดยบรรจุถังละ $266.41 / 3 = 88.81 \text{ kg}$ พิจารณาบรรจุในถัง (Cylinder Capacity) 89 kg ต่อถัง ซึ่งคิดเป็นอัตราการบรรจุ $89/100 = 89 \%$ ของขนาดถังบรรจุ

4. คำนวณปริมาตรสาร HFC- 125 ที่จ่ายจริงให้กับระบบ (W_A)

จาก $W_A = \text{Number of HFC- 125 Agent Cylinders Require} \times \text{Cylinder Capacity}$

เมื่อ Number of HFC- 125 Agent Cylinders Require = 3 ถัง, Cylinder Capacity = 89 kg

$$\begin{aligned} \text{จะได้ } W_A &= 3 \times 89 \\ &= 267 \text{ kg} \end{aligned}$$

5. คำนวณหาความเข้มข้นของสาร HFC – 125 ที่อุณหภูมิสูงสุด (C)

พิจารณา ปริมาตรจำเพาะของสารกลุ่มก๊าซเฉื่อยที่ไอคง (S)

$$\text{จาก } S = k_1 + k_2 (T)$$

$$\text{เมื่อ } k_1 = 0.65799, k_2 = 0.00239, T = 37.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ } S &= 0.1825 + (0.0007 \times 37.5) \\ &= 0.20875 \end{aligned}$$

พิจารณา ความเข้มข้นของสาร HFC – 125 ที่อุณหภูมิสูงสุด (C)

$$\text{จาก } C = (100W_A S) / (W_A S + V)$$

$$\text{เมื่อ } S = 0.20875, V = 602 \text{ m}^3, W_A = 279 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ } C &= (100 \times 267 \times 0.20875) / ((267 \times 0.20875) + 602) \\ &= 8.48 \text{ \%} \end{aligned}$$

6. พิจารณาปรับค่าความเข้มข้นของสาร HFC – 125 ที่อุณหภูมิสูงสุด (C_A) ตามปัจจัยจากแรงดันบรรยากาศ (Atmospheric Correction Factor) โดยตำแหน่งที่ตั้งของห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี (สวิตช์เกียร์) พิจารณาตามที่ตั้งของประเทศไทย ตามตารางที่ 9 จะได้ Atmospheric Correction Factor ~ 1

$$\begin{aligned} \text{จาก } C_A &= C \times \text{Atmospheric Correction Factor} \quad \% \\ \text{จะได้ } C_A &= 8.48 \times 1 \quad \% \\ C_A &= 8.48 \quad \% \end{aligned}$$

7. พิจารณาเปรียบเทียบความเข้มข้นของสาร HFC – 125 ที่อุณหภูมิสูงสุด (C_A) ในด้านความปลอดภัยตามค่าต่ำสุดของระดับความเข้มข้นของสารซึ่งมีผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์ (LOAEL) และสูงสุดของระดับความเข้มข้นของสารซึ่งจะยังไม่มีผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์ (NOAEL) โดยสาร HFC – 125 ต้องมีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 7.5% - 10.0 % จากการคำนวณในการดับเพลิงห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี (สวิตช์เกียร์) ต้องใช้ค่าความเข้มข้นของสาร HFC – 125 ในช่วง 8% - 8.48% ซึ่งไม่เกินค่า NOAEL ดังนั้นจึงสามารถใช้ในการดับเพลิงได้อย่างปลอดภัย

8. หาอัตราการไหลของระบบ (System Flow Rate)

$$\begin{aligned} \text{จาก System Flow Rate} &= \text{ปริมาตรสาร HFC-125 ที่จ่ายจริงให้กับระบบ} \\ &\quad (W_A) / \text{Discharge Time (10 วินาที)} \\ \text{จะได้ System Flow Rate} &= 267 / 10 \quad \text{kg / sec} \\ &= 26.7 \quad \text{kg / sec} \end{aligned}$$

วิธีการคำนวณการออกแบบระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG - 541

การออกแบบระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541 โดยวิธีการฉีดท่วม พิจารณาการออกแบบ ได้ดังนี้

1. การคำนวณหาปริมาตรของพื้นที่ป้องกัน (Determine the Hazard Volume)

$$\begin{aligned}\text{Hazard Volume} &= 21.5 \times 7 \times 4 \quad \text{m}^3 \\ &= 602 \quad \text{m}^3\end{aligned}$$

2. คำนวณหาค่า Flooding factor (X)

พิจารณา ปริมาตรจำเพาะของสารกลุ่มก๊าซเฉื่อยที่ไอคง (S)

$$\text{จาก } S = k_1 + k_2(T)$$

$$\text{เมื่อ } k_1 = 0.65799, k_2 = 0.00239, T = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned}\text{จะได้ } S &= 0.65799 + (0.00239 \times 20) \\ &= 0.706\end{aligned}$$

พิจารณา Flooding factor (X)

$$\text{จาก } X = 2.303 (V_s / S) \text{ Log } (100 / (100 - C))$$

$$\text{เมื่อ } V_s = 0.709, S = 0.72013, C = 34.2$$

จะได้

$$\begin{aligned}X &= 2.303 (0.709 / 0.706) \text{ Log }_{10} (100 / 100 - 34.2) \\ &= 0.419\end{aligned}$$

3. คำนวณหาปริมาณก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG - 541 น้อยสุดที่จำเป็นต้องใช้ (Minimum Quantity of IG - 541 Agent Required) จะได้

$$\begin{aligned}\text{Minimum Quantity of IG - 541 Agent Required} &= 602 \times 0.419 \\ &= 252.238 \quad \text{m}^3\end{aligned}$$

4. พิจารณาปรับค่าปริมาณก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG -541 ของแรงดันบรรยากาศของประเทศไทย ใช้ค่า Atmospheric Correction Factor ~ 1 ดังนั้น จะได้

$$\begin{aligned}\text{Quantity of IG -541 Agent Required} &= 252.238 \times 1 \text{ m}^3 \\ &= 252.238 \text{ m}^3\end{aligned}$$

5. หาจำนวนถังบรรจุก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG -541 โดยพิจารณาเลือกขนาดถังบรรจุก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG -541 12 m^3 (425 ft^3) จะได้

$$\begin{aligned}\text{Number of IG -541 Agent Cylinders Require} &= 252.238 / 12 \text{ ถัง} \\ &= 21.02 \text{ ถัง}\end{aligned}$$

ดังนั้น จะต้องใช้ ก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG -541 ในขนาดถังบรรจุ 12 m^3 ทั้งหมด 22 ถัง

6. กำหนดปริมาตรก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG -541 ที่จ่ายจริงให้กับระบบ จะได้

$$\begin{aligned}\text{Actual Quantity of IG -541 Agent Required} &= 22 \times 12 \text{ m}^3 \\ &= 264 \text{ m}^3\end{aligned}$$

7. กำหนดค่าปริมาตรก๊าซเฉื่อยชนิดสาร ต่อปริมาตรพื้นที่ป้องกันจริงของระบบ

$$\begin{aligned}\text{Actual Flooding factor} &= 264 / (602 \times 1) \\ &= 0.439\end{aligned}$$

8. หาค่าความเข้มข้นของสารก๊าซเฉื่อย IG -541 ที่อุณหภูมิสูงสุดของพื้นที่

$$\begin{aligned}\text{จาก} \quad S &= k_1 + k_2 (T) \\ \text{เมื่อ} \quad k_1 &= 0.65799, \quad k_2 = 0.00239, \quad T = 37.5 \text{ }^\circ\text{C} \\ \text{จะได้} \quad S &= 0.65799 + (0.00239 \times 37.5) \\ &= 0.748 \text{ m}^3/\text{kg}\end{aligned}$$

พิจารณา ความเข้มข้นของก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG -541 ที่อุณหภูมิสูงสุด (C)

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad C &= 100 - (100 / 10^{(XS / 2.303Vs)}) \quad \% \\ \text{เมื่อ} \quad V_s &= 0.709 \text{ m}^3/\text{kg} , \quad S = 0.748 \text{ m}^3/\text{kg} , \quad X = 0.439 \\ \text{จะได้} \\ C &= 100 - (100 / 10^{(0.439 \times 0.748 / 2.303 \times 0.709)}) \\ &= 37.06 \quad \% \end{aligned}$$

9. ตรวจสอบค่าความเข้มข้นต่ำสุดและสูงสุดของก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG -541 ในการออกแบบ จะได้ ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG -541 34.2 % และ ค่าความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG -541 37.06 % ซึ่งจากระดับของช่วงความเข้มข้นสารก๊าซเฉื่อย IG -541 เมื่อพิจารณาจากค่าต่ำสุดของระดับความเข้มข้นของก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG -541 ซึ่งมีผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์ (LOAEL) และค่าสูงสุดของระดับความเข้มข้นของก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG -541 ซึ่งจะยังไม่มีผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์ (NOAEL) จากตารางที่ 21 จะทำให้สามารถมีคนอาศัยอยู่ในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี ได้โดยใช้ระยะเวลาในการอพยพไม่เกิน 5 นาที

10. หาระยะเวลาในการฉีดก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG -541 ปริมาณ 95 % พิจารณาตามตารางที่ 17 จะใช้เวลาในการฉีด 64.12 วินาที

11. หาอัตราการไหลของระบบ

$$\begin{aligned} \text{System Flow Rate} &= (264 \times 0.95) / (64.12 / 60) \\ &= 234.68 \text{ m}^3 / \text{min} \end{aligned}$$

วิธีการคำนวณการออกแบบระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การออกแบบระบบดับเพลิงด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ระบบความดันสูงแบบฉีดท่วม สำหรับเชื้อเพลิงที่อยู่ภายใน (Deep Seat Fire) พิจารณาออกแบบ ได้ดังนี้

1. การคำนวณหาปริมาตรของพื้นที่ป้องกัน (Determine the Hazard Volume)

$$\begin{aligned} \text{Hazard Volume} &= 21.5 \times 7 \times 4 \text{ m}^3 \\ &= 602 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

2. การคำนวณหา Volume Factor พิจารณาจาก ตารางที่ 18 จะได้

Specific Hazard คือ Dry electrical hazards in general Spaces greater than 56.6 m³
 ดังนั้น Volume Factor = 1.33 kg CO₂/m³ และ Design Concentration = 50 %

3. การคำนวณหาปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ (Basic Quantity of CO₂)

$$\begin{aligned} \text{Basic Quantity of CO}_2 &= 602 \text{ m}^3 \times 1.33 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3 \\ &= 800.66 \text{ kg CO}_2 \end{aligned}$$

4. พิจารณาการชดเชยปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิห้องคาร์บอนไดออกไซด์ มีค่า 0 เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของห้องมีค่า 17.5 องศาเซลเซียส

5. พิจารณาการชดเชยปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ อันเนื่องมาจากการที่ช่องเปิดที่ไม่สามารถปิดได้ มีค่า 0 เนื่องจากไม่มีช่องเปิด

6. คำนวณหาปริมาณถังของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ในการติดตั้ง (N)

$$\begin{aligned} N &= (800.66 + 0 + 0) / 45 \\ &= 17.79 \text{ ถัง} \end{aligned}$$

ดังนั้น ต้องใช้จำนวนถังในการบรรจุ 18 ถัง และจะได้ปริมาณก๊าซที่ใช้งานจริง

$$\begin{aligned} (\text{Quantity CO}_2) &= 18 \times 45 \text{ kg CO}_2 \\ &= 810 \text{ kg CO}_2 \end{aligned}$$

7. พิจารณาอัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

พิจารณาอัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ 2 นาทีแรก

$$\begin{aligned} Q_{30\%} &= (602 \times 0.688) / 2 && \text{Kg CO}_2 / \text{min} \\ &= 207.09 \text{ Kg CO}_2 / \text{min} \end{aligned}$$

พิจารณาอัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ 7 นาที

$$\begin{aligned} Q_{7 \text{ min}} &= 810 / 7 && \text{Kg CO}_2 / \text{min} \\ &= 115.71 \text{ Kg CO}_2 / \text{min} \end{aligned}$$

8. การคำนวณพื้นที่ที่ต้องระบายความดัน (Pressure Relief Venting Area)

$$\begin{aligned} X &= \frac{239 \times 115.71}{2.4^{1/2}} && \text{mm}^2 \\ &= 1,7851.03 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

ดังนั้น ต้องออกแบบพื้นที่สำหรับระบายความดันเมื่อมีการทำงานของระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ขนาดพื้นที่อย่างน้อย 1,7851.03 mm²

9. การออกแบบป้ายคำเตือน (Warning Sign) แผ่นป้ายเตือนมีข้อความและติดตั้งในพื้นที่ต่าง ๆ พิจารณาได้ ดังนี้

9.1 แผ่นป้ายคำเตือนเพื่อใช้ติดตั้งในพื้นที่ที่ฉีดก๊าซ

คำเตือน
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
เมื่อสัญญาณเตือนภัยดังขึ้นให้ออกจากพื้นที่โดยเร็ว

9.2 แผ่นป้ายคำเตือนที่ติดตั้งทุก ๆ ทางเข้าของพื้นที่ที่ฉีด

คำเตือน
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
เมื่อสัญญาณเตือนภัยดังขึ้น อย่าเข้าไปภายในห้อง

9.3 แผ่นป้ายคำเตือนที่ติดตั้งในบริเวณใกล้เคียงพื้นที่หรือห้องที่อาจจะมีการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ฉีดออกมาเป็นปริมาณมาก ซึ่งอาจเป็นอันตรายได้

คำเตือน
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ฉีดในพื้นที่ใกล้เคียงสามารถสะสมได้ในที่นี้
เมื่อสัญญาณเตือนภัยดังขึ้น ให้อพยพออกโดยเร็ว

9.4 แผ่นป้ายคำเตือนที่ด้านนอกของทางเข้าห้องเก็บถังบรรจุก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

คำเตือน
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
ระบายอากาศในพื้นที่ก่อนเข้า
ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความเข้มข้นสูงในพื้นที่นี้ อาจทำให้ขาดอากาศหายใจ

9.5 แผ่นป้ายคำเตือนจะต้องติดตั้งในทุกพื้นที่ที่มีการติดตั้งอุปกรณ์สั่งระบบทำงาน
ด้วยมือมีข้อความดังต่อไปนี้

คำเตือน

อุปกรณ์นี้ทำงานจะทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ฉีด ก่อนใช้อุปกรณ์นี้
จะต้องไม่มีคนอยู่ในพื้นที่

ภาคผนวก ข**วิธีการออกแบบระบบตรวจจับควัน**

วิธีการออกแบบระบบตรวจจับควัน

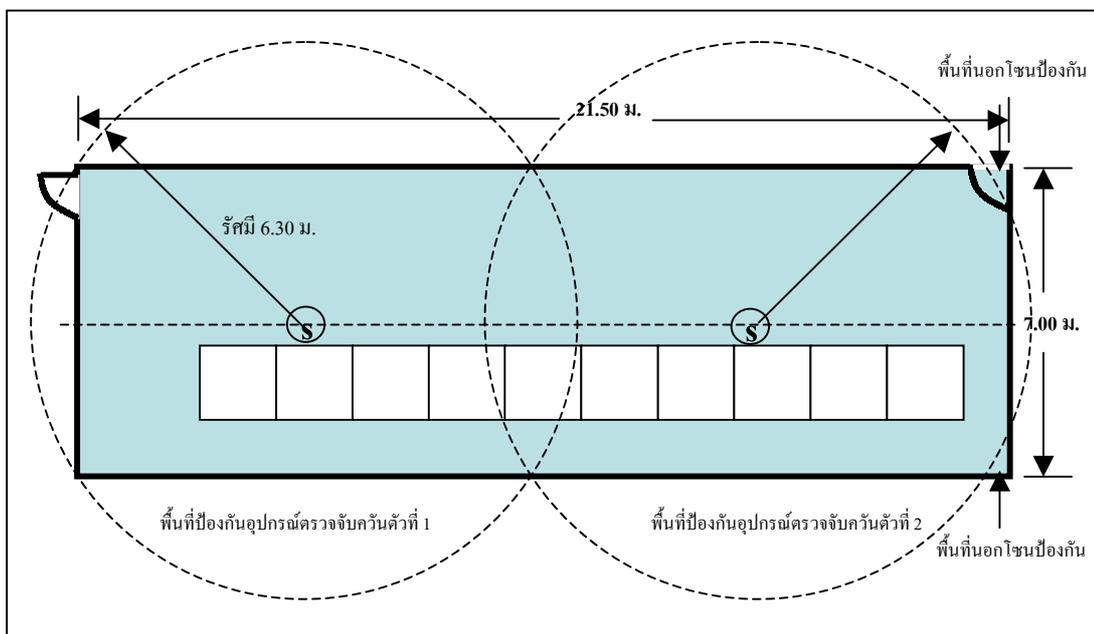
ห้องชุดควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงมีลักษณะเป็นเพดานพื้นผิวราบ ซึ่งมีความยาว 21.5 เมตร ความกว้าง 7 เมตร และสูง 4 เมตร พิจารณาเลือกอุปกรณ์ตรวจควันชนิดโฟโตอิเล็กทริกแบบควันบั้งแสง ที่เป็นอุปกรณ์จับควันชนิดจุด มีระยะฉายรัศมีของพื้นที่ป้องกันไม่เกิน 6.3 เมตร ซึ่งพิจารณาออกแบบ ได้ดังนี้

$$1. \text{ จำนวนของอุปกรณ์ตรวจจับควัน} = \frac{\text{พื้นที่ของพื้นที่ป้องกัน}}{\text{พื้นที่การป้องกันของอุปกรณ์ตรวจจับควัน}}$$

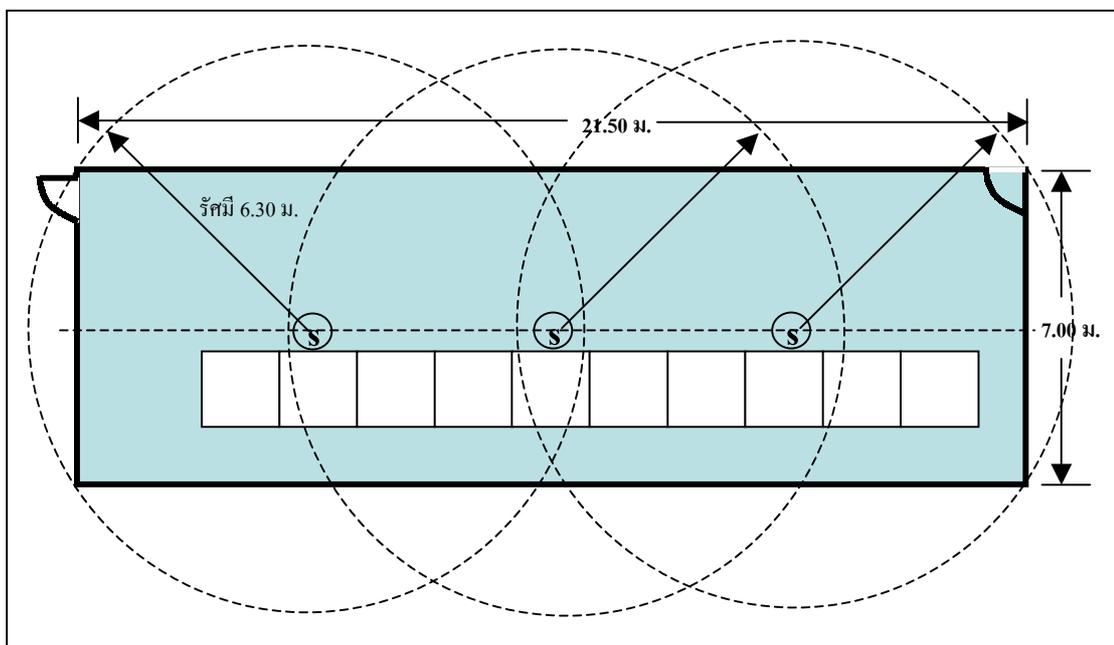
$$\begin{aligned} \text{เมื่อ พื้นที่ของพื้นที่ป้องกัน} &= 21.5 \times 7 \\ &= 150.50 \text{ m}^2 \\ \text{พื้นที่การป้องกันของอุปกรณ์ตรวจจับควัน} &= (22/7) \times 6.3^2 \text{ m}^2 \\ &= 124.74 \text{ m}^2 \\ \text{จะได้ จำนวนของอุปกรณ์ตรวจจับควัน} &= 150.50 / 124.74 \text{ ตัว} \\ &= 1.21 \text{ ตัว} \end{aligned}$$

ดังนั้น ต้องใช้อุปกรณ์ตรวจจับควันจำนวน 2 ตัว

2. พิจารณาการติดตั้งจริง ตามจำนวนที่คำนวณได้ตามขั้นตอนที่ 1 จะเห็นว่ายังมีพื้นที่ที่อยู่นอกโซนป้องกันของอุปกรณ์ตรวจจับควัน ตามภาพผนวกที่ ก1 จึงต้องพิจารณาเพิ่มจำนวนอุปกรณ์ตรวจจับควันเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ป้องกันจะได้ดังภาพผนวกที่ ข2

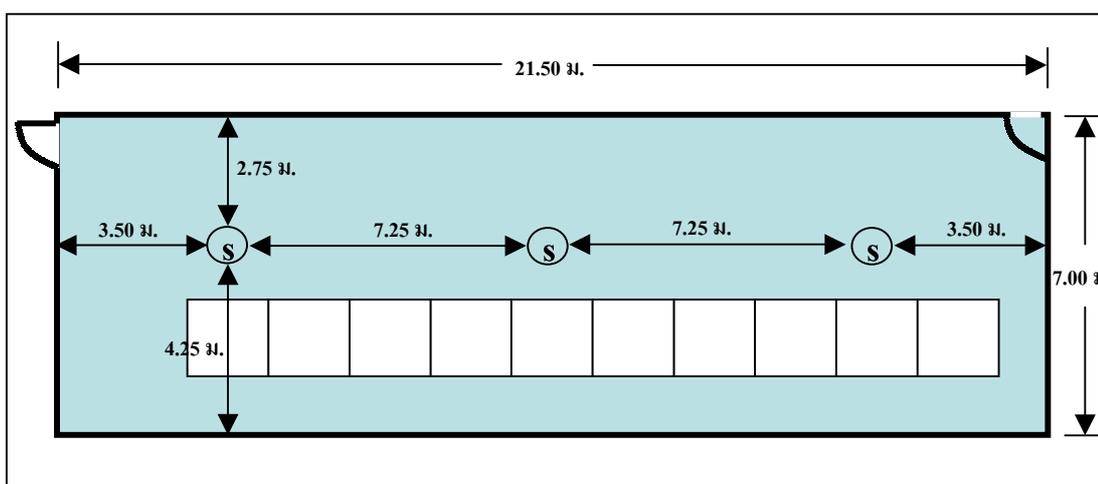
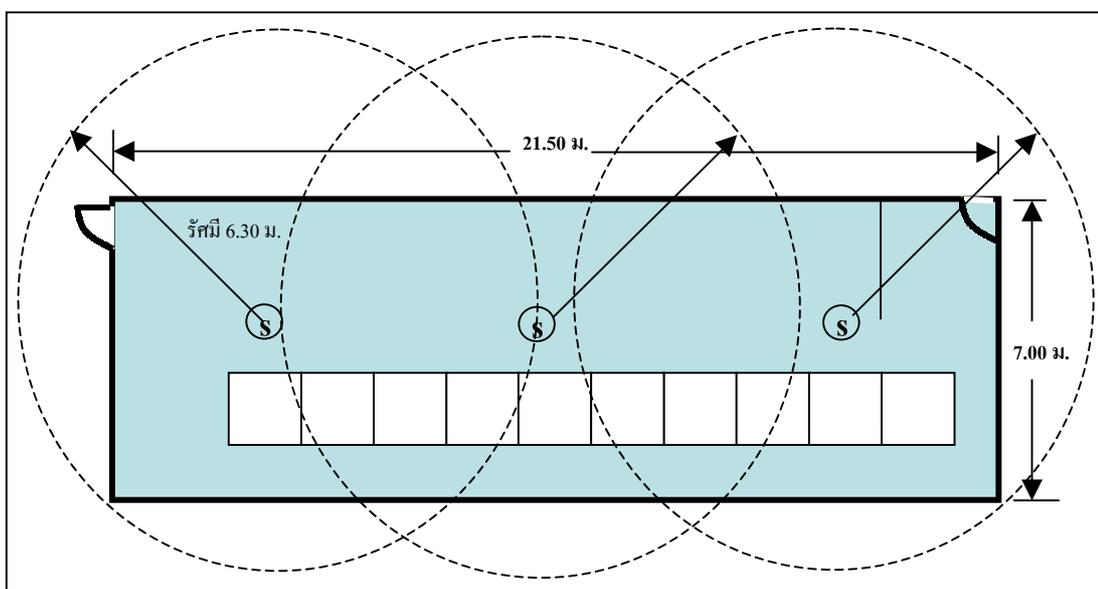


ภาพผนวกที่ ข1 แสดงพื้นที่ป้องกันเมื่อติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับควัน 2 จุด

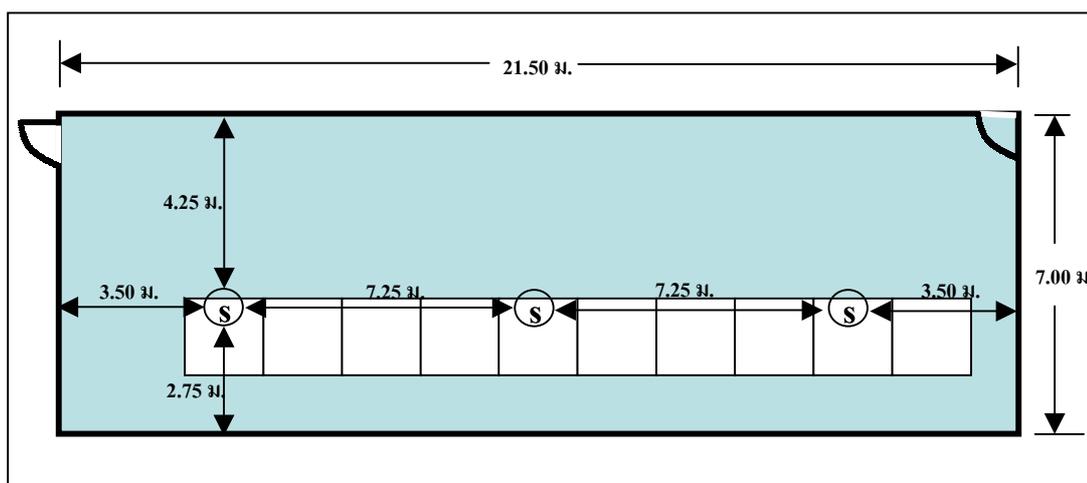
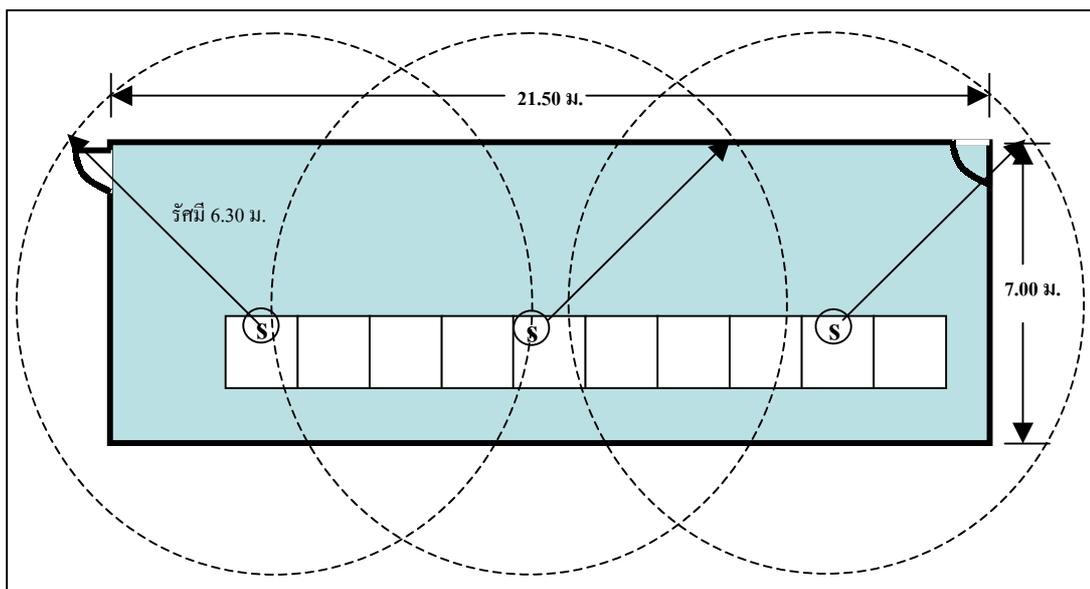


ภาพผนวกที่ ข2 แสดงพื้นที่ป้องกันเมื่อติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับควัน 3 จุด

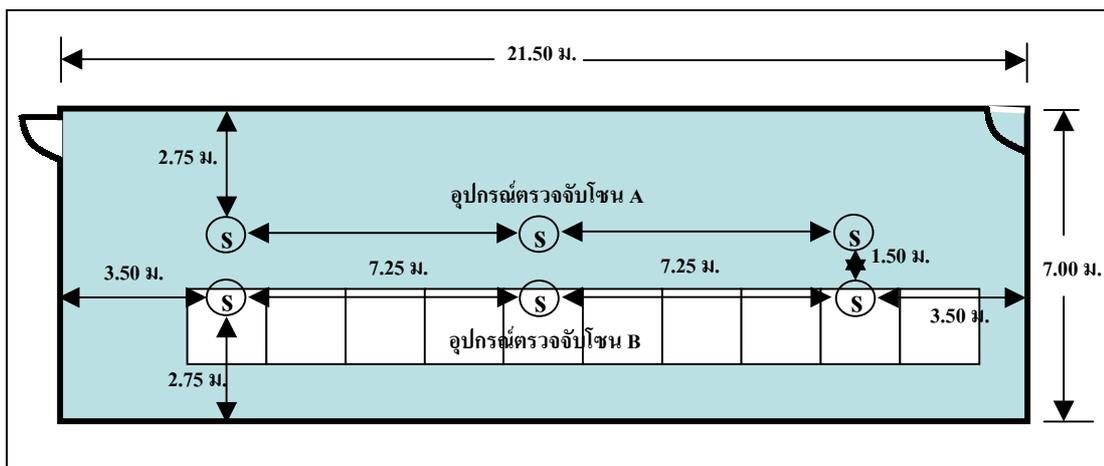
ดังนั้นการออกแบบการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับควันในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง ต้องใช้อุปกรณ์ตรวจจับควัน จำนวน 3 ตัว และเพื่อป้องกันการดำเนินงานผิดพลาดของอุปกรณ์ตรวจจับควันในการตรวจสอบอีกครั้งก่อนที่ระบบจะทำงาน (Double Check) จึงออกแบบเป็น 2 โซน คือ โซน A และ โซน B จำนวนโซนละ 3 จุด ดังนั้น ในการออกแบบต้องใช้อุปกรณ์ตรวจจับควันชนิดโฟโตอิเล็กทริก แบบควันบังแสง (Photoelectric Light Obscuration Smoke Detector) ทั้งหมดจำนวน 6 ตัว โดยตำแหน่งการติดตั้งของอุปกรณ์ตรวจจับควัน โซน A แสดงตามภาพผนวกที่ ข3 โซน B ตามภาพผนวกที่ ข4 และ โซน A รวมกับ โซน B ทั้งแสดงตามภาพผนวกที่ ข5



ภาพผนวกที่ ข3 แสดงพื้นที่ป้องกันและตำแหน่งการติดตั้งของอุปกรณ์ตรวจจับควัน โซน A



ภาพผนวกที่ ข4 แสดงพื้นที่ป้องกันและตำแหน่งการติดตั้งของอุปกรณ์ตรวจจับควัน โซน B



ภาพผนวกที่ ข5 แสดงตำแหน่งการติดตั้งของอุปกรณ์ตรวจจับควัน โซน A และ โซน B

ภาคผนวก ค

การประเมินราคา และเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสีย

การประเมินราคา และเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสีย

ตารางผนวกที่ ค1 การประเมินราคาการติดตั้งระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125
(NAF S125)

Equipment Cost	Unit	Price
1 Cylinder 100 Lt filled with NAFS 125 89 kg	3	636,000.00
2 Discharge Nozzle	4	12,000.00
3 Cylinder Accessories	3	15,000.00
4 Solenoid Actuator	1	5,500.00
5 Pnuematic Actuator	2	9,000.00
6 Pnuematic Manual Actuator	1	4,800.00
7 Rigid Hose 1 1/2"	3	10,800.00
8 FSP Control Panel	1	30,000.00
9 Photoelectric Smoke Detector	6	9,600.00
10 Alarm Bell	1	1,000.00
11 Alarm Horn and Strobe Light	1	5,500.00
12 Manual Releasing Switch	1	3,000.00
13 Abort Switch	1	3,000.00
14 High Pressure Switch	1	4,500.00
Sub Total		749,700.00
Installation Cost		
1 Piping Work	1	100,000.00
2 Electrical Work	1	70,000.00
3 Overhead Cost and Commissioning Cost	1	25,000.00
Total		944,700.00

ที่มา: บริษัท นิปปอน เคมีคอล จำกัด (ม.ป.ป.)

ตารางผนวกที่ ค2 การประเมินราคาการติดตั้งระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541

Equipment Cost		Unit	Price
1	Cylinder 12 m ³ filled with INERGEN	22	1,254,000.00
2	Discharge Nozzle	4	14,000.00
3	Cylinder Accessories	1	15,000.00
4	Pilot Cylinder HF Electric Actuator	1	15,000.00
5	Pilot Cylinder Booster	1	11,000.00
6	Discharge Lever and Hook up	2	16,000.00
7	Flexible Hose with check	22	88,000.00
8	2" Pressure Reducer	1	8,800.00
9	FSP Control Panel	1	30,000.00
10	Photoelectric Smoke Detector	6	9,600.00
11	Alarm Bell	1	1,000.00
12	Alarm Horn and Strobe Light	1	5,500.00
13	Manual Releasing Switch	1	3,000.00
14	Abort Switch	1	3,000.00
15	High Pressure Switch	1	7,000.00
16	Cylinder Rack	1	18,000.00
Sub Total			1,498,900.00
Installation Cost		Unit	Price
1	Piping Work	1	150,000.00
2	Electrical Work	1	70,000.00
3	Overhead Cost and Commissioning Cost	1	25,000.00
Total			1,743,900.00

ที่มา: บริษัท นิปปอน เคมิคอล จำกัด (ม.ป.ป.)

ตารางผนวกที่ ค3 การประเมินราคาการติดตั้งระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Equipment Cost		Unit	Price
1	CO2 Cylinder 68Lt. filled with CO ₂ 45 kg.	18	810,000.00
2	Discharge Nozzle	10	25,000.00
3	Solenoid with Manual Actuator	2	15,000.00
4	Flexible with Check Valve	18	81,000.00
5	FSP Control Panel	1	30,000.00
6	Photoelectric Smoke Detector	6	9,600.00
7	Alarm Bell	1	1,000.00
8	Alarm Horn and Strobe Light	1	5,500.00
9	Manual Releasing Switch	1	3,000.00
10	Abort Switch	1	3,000.00
11	High Pressure Switch	1	7,000.00
12	Cylinder Rack	1	18,000.00
Sub Total			1,008,100.00
Installation Cost		Unit	Price
1	Piping Work	1	130,000.00
2	Electrical Work	1	70,000.00
3	Overhead Cost and Commissioning Cost	1	25,000.00
Total			1,233,100.00

ที่มา: บริษัท นิปปอน เคมิคอล จำกัด (ม.ป.ป.)

เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสีย ของแต่ละระบบ

ตารางผนวกที่ ค4 การเปรียบเทียบระบบดับเพลิงทั้งสามระบบ

รายละเอียด	สารฮาโลคาร์บอน (HFC-125)	สารก๊าซเฉื่อย (IG-541)	สารคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)
ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม			
ศักยภาพในการทำลายชั้นโอโซน (Ozone Depletion Potential: ODP)	0	0	0
ศักยภาพที่ทำให้โลกร้อนขึ้น (Global Warming Potential: GWP)	3,800	0	1
การสะสมในชั้นบรรยากาศ	28.2 ปี	0	0
ผลกระทบต่อชั้นบรรยากาศ	Toxicity, Acid Rain	-	-
ความเป็นพิษต่อคน			
สารที่เกิดจากการสลายตัว	HF (Hydrogen Fluoride)	ไม่มี	CO ₂
ค่าสูงสุดของระดับความเข้มข้นของสารซึ่งไม่มีผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์ (NOAEL)	7.5 %	43 %	-

ตารางผนวกที่ ค4 (ต่อ)

รายละเอียด	สารฮาโลคาร์บอน (HFC-125)	สารก๊าซเฉื่อย (IG-541)	สารคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)
ค่าต่ำสุดของระดับความเข้มข้นของสารซึ่งจะมีผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์ (LOAEL)	10 %	52 %	-
การเกิด Thermal Shock	เกิด	ไม่เกิด	เกิด
การทดสอบในคน	ไม่มี	มี	ไม่มี
อันตรายต่อคน	สามารถสัมผัสกับสารได้ภายใต้ข้อกำหนด	สามารถสัมผัสกับสารได้ภายใต้ข้อกำหนด	เป็นอันตรายต่อชีวิตเนื่องจากขาดออกซิเจน
การฉีดสารดับเพลิง			
เวลาที่ใช้ในการฉีด	10 วินาที	60 วินาที	7 นาที
การเกิดหมอกควัน	เกิด	ไม่เกิด	เกิด
ระยะเวลาที่มีสารอยู่	น้อยกว่า 10 นาที	มากกว่า 30 นาที	มากกว่า 30 นาที
อุณหภูมิที่ลดลง	ประมาณ 0 – 3°C	ประมาณ 15°C	ประมาณ 0 – 3°C
การตรวจสอบและการบริการหลังการขาย			
การตรวจสอบปริมาณสารเคมี	ตรวจสอบง่ายโดยสังเกตจาก Pressure gauge	ตรวจสอบง่ายโดยสังเกตจาก Pressure gauge	ค่อนข้างยุ่งยากเนื่องจากต้องชั่งที่ตลับเพลิง

ที่มา: บริษัท ไทโค อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด (ม.ป.ป.)

ภาคผนวก ง

วิธีการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของระบบดับเพลิงทั้ง 3 ระบบด้วยวิธีแผนภูมิต้นไม้

วิธีการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของระบบดับเพลิงทั้ง 3 ระบบด้วยวิธีแผนภูมิต้นไม้

ความน่าเชื่อถือ หมายถึง อุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบของระบบไม่เกิดความบกพร่องแล้วส่งผลให้ระบบเกิดความเสียหาย

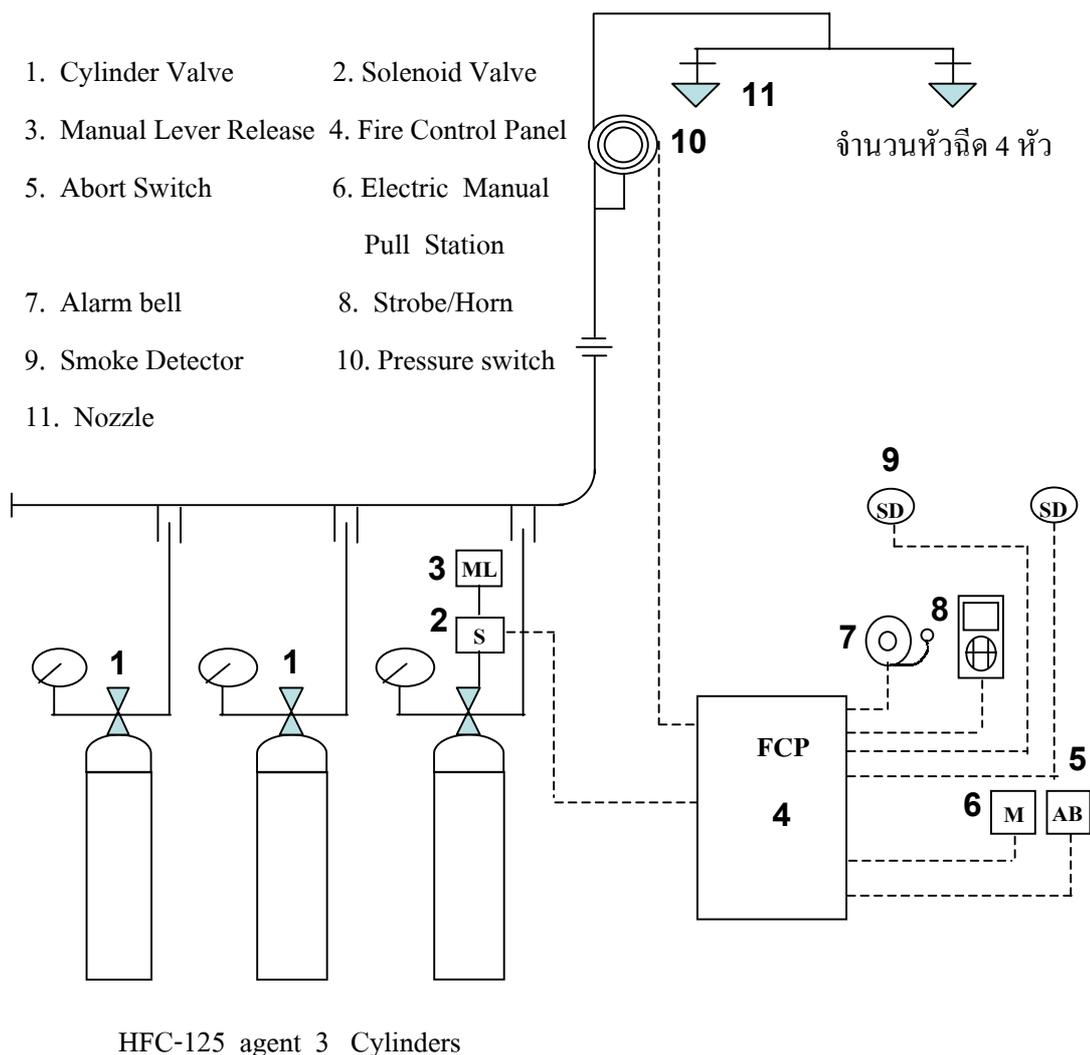
การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของระบบดับเพลิงทั้ง 3 ระบบด้วยวิธีแผนภูมิต้นไม้ของระบบดับเพลิงทั้ง 3 ระบบ มีขั้นตอน ดังนี้

1. สร้าง Diagram แสดงการทำงานของระบบดับเพลิงทั้ง 3 ระบบ โดยระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125 ตามภาพผนวกที่ ง1 ระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541 ตามภาพผนวกที่ ง.4 และระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ ตามภาพผนวกที่ ง7

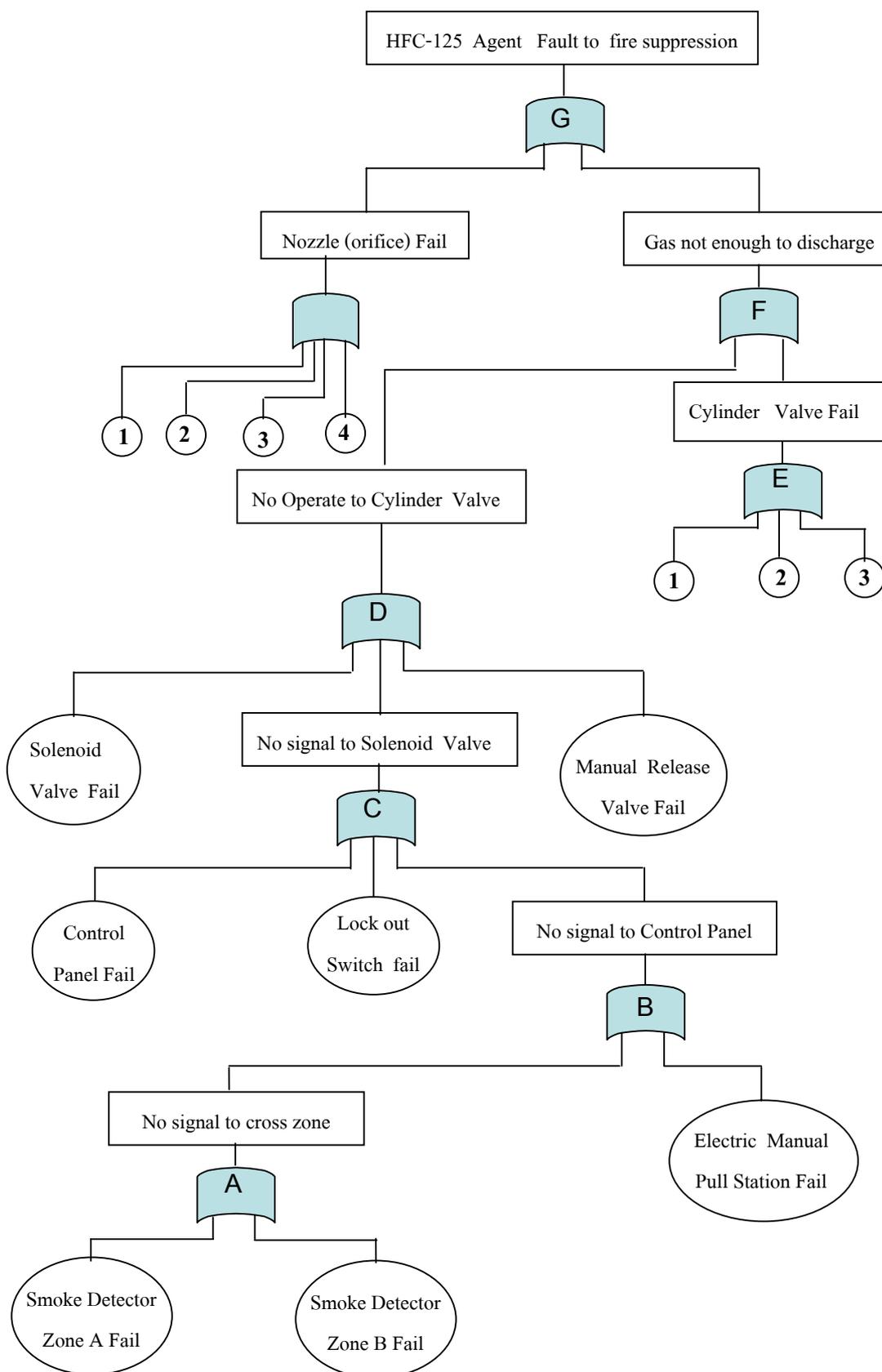
2. แสดงสาเหตุที่ทำให้ระบบดับเพลิงบกพร่องด้วยวิธีแผนภูมิต้นไม้ตามความสัมพันธ์โครงสร้างตารางที่ 22 ระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125 ตามภาพผนวกที่ ง2 ระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541 ตามภาพผนวกที่ ง5 และระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ ตามภาพผนวกที่ ง8

3. คำนวณค่าความน่าเชื่อถือของระบบดับเพลิงของทั้ง 3 ระบบ โดยอาศัยสมการทางคณิตศาสตร์จากการเขียนความสัมพันธ์ของเหตุการณ์ด้วย And Gate และ Or Gate ตามตารางที่ 23 และ 24 ตามลำดับ โดยใช้ข้อมูลอัตราความเสียหายของอุปกรณ์แต่ละชนิดต่อปี (Failures/year) ตามตารางที่ 25

4. เปรียบเทียบค่าความน่าเชื่อถือ ของระบบดับเพลิงทั้ง 3 ระบบ



ภาพผนวกที่ ๑1 Diagram แสดงระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125



ภาพผนวกที่ ๒ แสดงเหตุระบบดับเพลิงสาร HFC-125 บกพร้อม ด้วยแผนภูมิต้นไม้

การคำนวณค่าความน่าเชื่อถือ ของระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125

$$\text{จาก } R = \exp(-\mu t)$$

เมื่อ R แทน ค่าความน่าเชื่อถือ

μ แทน อัตราการเสียหายต่อปีของอุปกรณ์

t แทน เวลาจำนวนปีของความเสียหาย

1. ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง A (R_A)

Smoke Detector อัตราการเสียหายต่อปี (μ) = 0.09 failure/year

$$R_1 \text{ และ } R_2 = 0.91$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง A } (R_A) &= R_1 \times R_2 \\ &= 0.91 \times 0.91 \\ &= 0.828 \end{aligned}$$

2. ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง B (R_B)

Electric Manual Pull Station อัตราการเสียหายต่อปี = 0.011 failures/year

$$R_1 = 0.989$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง B } (R_B) &= R_A \times R_1 \\ &= 0.828 \times 0.989 \\ &= 0.819 \end{aligned}$$

3. ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง C (R_C)

Control Panel อัตราการเสียหายต่อปี = 0.290 failures/year

$$R_1 = 0.748$$

Lock Out Switch อัตราการเสียหายต่อปี (μ) = 0.011 failures/year

$$R_2 = 0.989$$

$$\begin{aligned}
 \text{จะได้ ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง C } (R_C) &= R_B \times R_1 \times R_2 \\
 &= 0.819 \times 0.748 \times 0.989 \\
 &= 0.606
 \end{aligned}$$

4. ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง D (R_D)

$$\text{Solenoid Valve อัตราการเสียหายต่อปี} = 0.420 \text{ failures/year}$$

$$R_1 = 0.657$$

$$\text{Manual Lever Release อัตราการเสียหายต่อปี} = 0.011 \text{ failures/year}$$

$$R_2 = 0.989$$

$$\begin{aligned}
 \text{จะได้ ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง D } (R_D) &= R_C \times R_1 \times R_2 \\
 &= 0.606 \times 0.657 \times 0.989 \\
 &= 0.394
 \end{aligned}$$

5. ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง E (R_E)

$$\text{Cylinder Valve อัตราการเสียหายต่อปี} = 0.026 \text{ failure/year}$$

$$R_1, R_2, R_3 = 0.974$$

$$\begin{aligned}
 \text{จะได้ ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง E } (R_E) &= R_1 \times R_2 \times R_3 \\
 &= 0.974 \times 0.974 \times 0.974 \\
 &= 0.924
 \end{aligned}$$

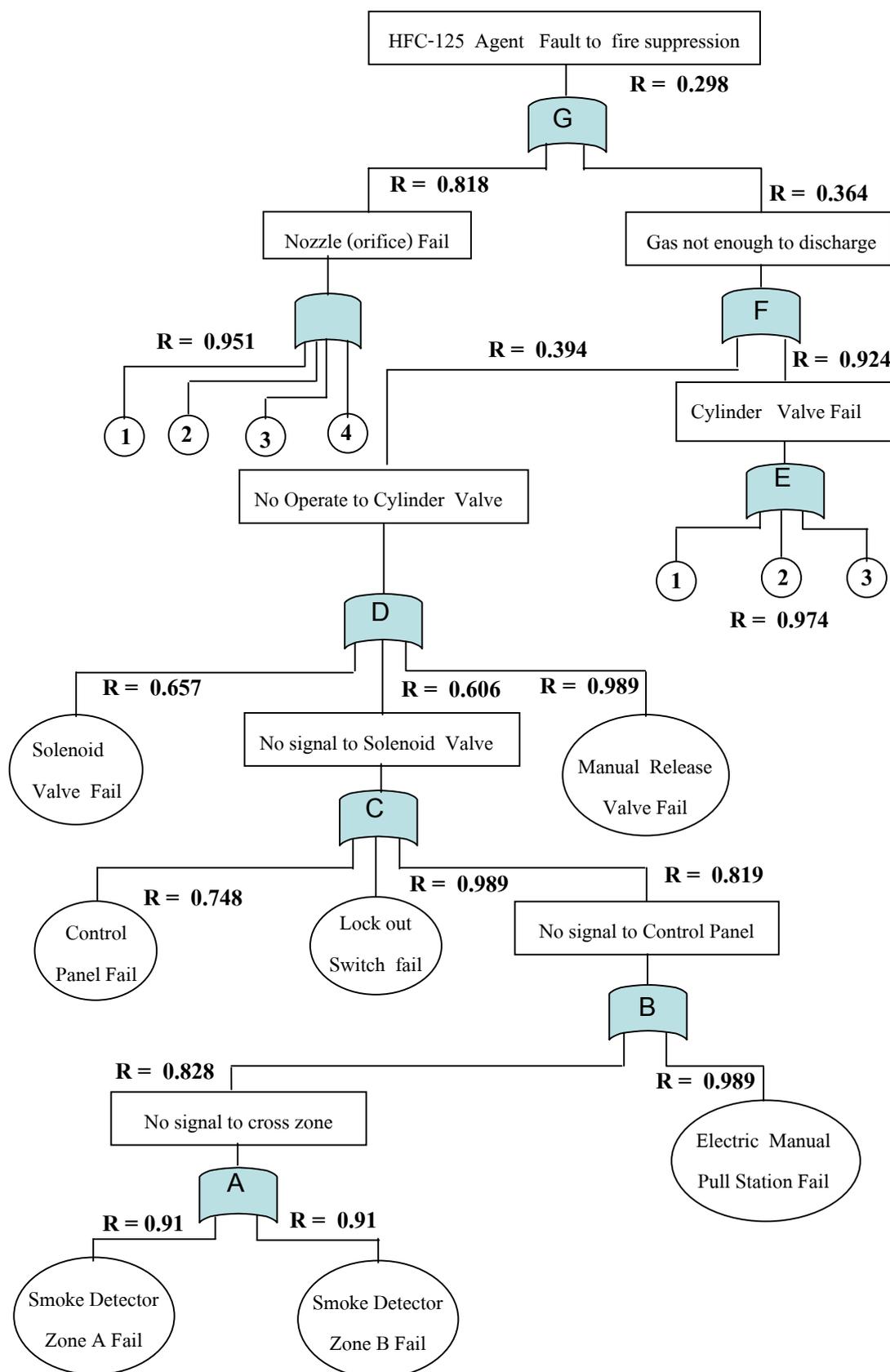
6. ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง F (R_F)

$$\begin{aligned}
 \text{จะได้ ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง F } (R_F) &= R_D \times R_E \\
 &= 0.394 \times 0.924 \\
 &= 0.364
 \end{aligned}$$

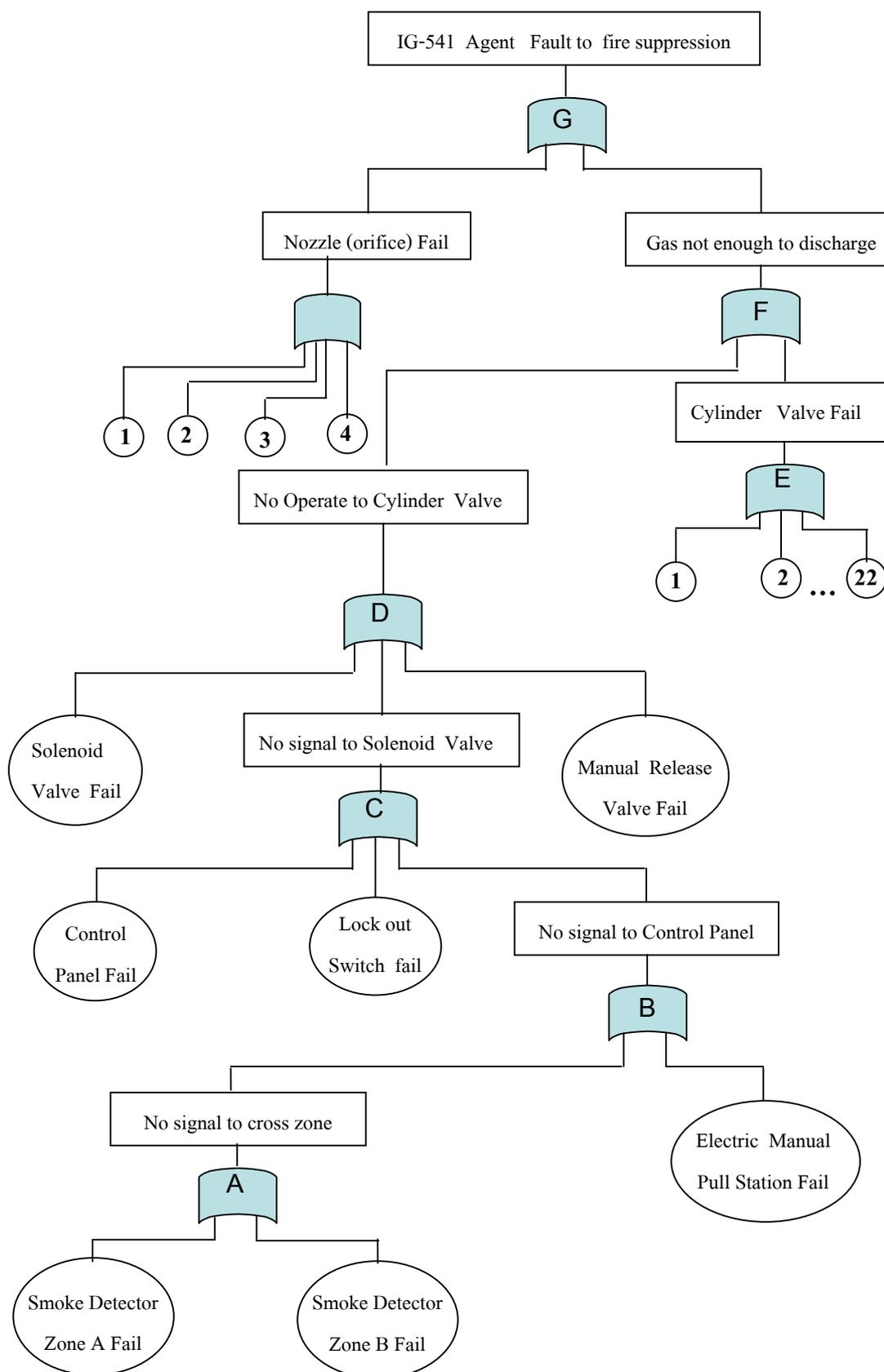
7. ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง G (R_G)

$$\begin{aligned}
 \text{Nozzle (orifice) อัตราการเสียหายต่อปี} &= 0.05 \text{ failure/year} \\
 R_1, R_2, R_3, R_4 &= 0.951 \\
 R &= (0.951)(0.951)(0.951)(0.951) \\
 &= 0.818 \\
 \text{จะได้ ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง G } (R_G) &= R_E \times R \\
 &= 0.364 \times 0.818 \\
 &= 0.298
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ค่าความน่าเชื่อถือของระบบดับเพลิงฮาโลคาร์บอนชนิดสาร HFC-125 คือ 0.298 และแสดงค่าความน่าเชื่อถือของระบบดับเพลิง HFC-125 ตามแผนภูมิต้นไม้ ดังภาพผนวกที่ 3



ภาพผนวกที่ 3 แสดงค่าความน่าเชื่อถือของระบบดับเพลิง HFC-125 ตามแผนภูมิต้นไม้



ภาพผนวกที่ ๓5 แสดงเหตุระบบดับเพลิง IG-541 บกพร้อม ด้วยแผนภูมิต้นไม้

การคำนวณค่าความน่าเชื่อถือของระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541

จาก $R = \exp(-\mu t)$

เมื่อ R แทน ค่าความน่าเชื่อถือ

μ แทน อัตราการเสียหายต่อปีของอุปกรณ์

t แทน เวลาจำนวนปีของความเสียหาย

1. ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง A (R_A)

Smoke Detector อัตราการเสียหายต่อปี (μ) = 0.09 failure/year

$$R_1 \text{ และ } R_2 = 0.91$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง A } (R_A) &= R_1 \times R_2 \\ &= 0.91 \times 0.91 \\ &= 0.828 \end{aligned}$$

2. ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง B (R_B)

Electric Manual Pull Station อัตราการเสียหายต่อปี = 0.011 failures/year

$$R_1 = 0.989$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง B } (R_B) &= R_A \times R_1 \\ &= 0.828 \times 0.989 \\ &= 0.819 \end{aligned}$$

3. ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง C (R_C)

Control Panel อัตราการเสียหายต่อปี = 0.290 failures/year

$$R_1 = 0.748$$

Lock Out Switch อัตราการเสียหายต่อปี (μ) = 0.011 failures/year

$$R_2 = 0.989$$

$$\begin{aligned}
 \text{จะได้ ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง C } (R_C) &= R_B \times R_1 \times R_2 \\
 &= 0.819 \times 0.748 \times 0.989 \\
 &= 0.606
 \end{aligned}$$

4. ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง D (R_D)

$$\begin{aligned}
 \text{Solenoid Valve อัตราการเสียหายต่อปี} &= 0.420 \text{ failures/year} \\
 R_1 &= 0.657 \\
 \text{Manual Lever Release อัตราการเสียหายต่อปี} &= 0.011 \text{ failures/year} \\
 R_2 &= 0.989 \\
 \text{จะได้ ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง D } (R_D) &= R_C \times R_1 \times R_2 \\
 &= 0.606 \times 0.657 \times 0.989 \\
 &= 0.394
 \end{aligned}$$

5. ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง E (R_E)

$$\begin{aligned}
 \text{Cylinder Valve อัตราการเสียหายต่อปี} &= 0.026 \text{ failure/year} \\
 R_1, R_2, \dots, R_{22} &= 0.974 \\
 \text{จะได้ ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง E } (R_E) &= (R_1)(R_2)(R_3)\dots(R_{22}) \\
 &= 0.974^{22} \\
 &= 0.560
 \end{aligned}$$

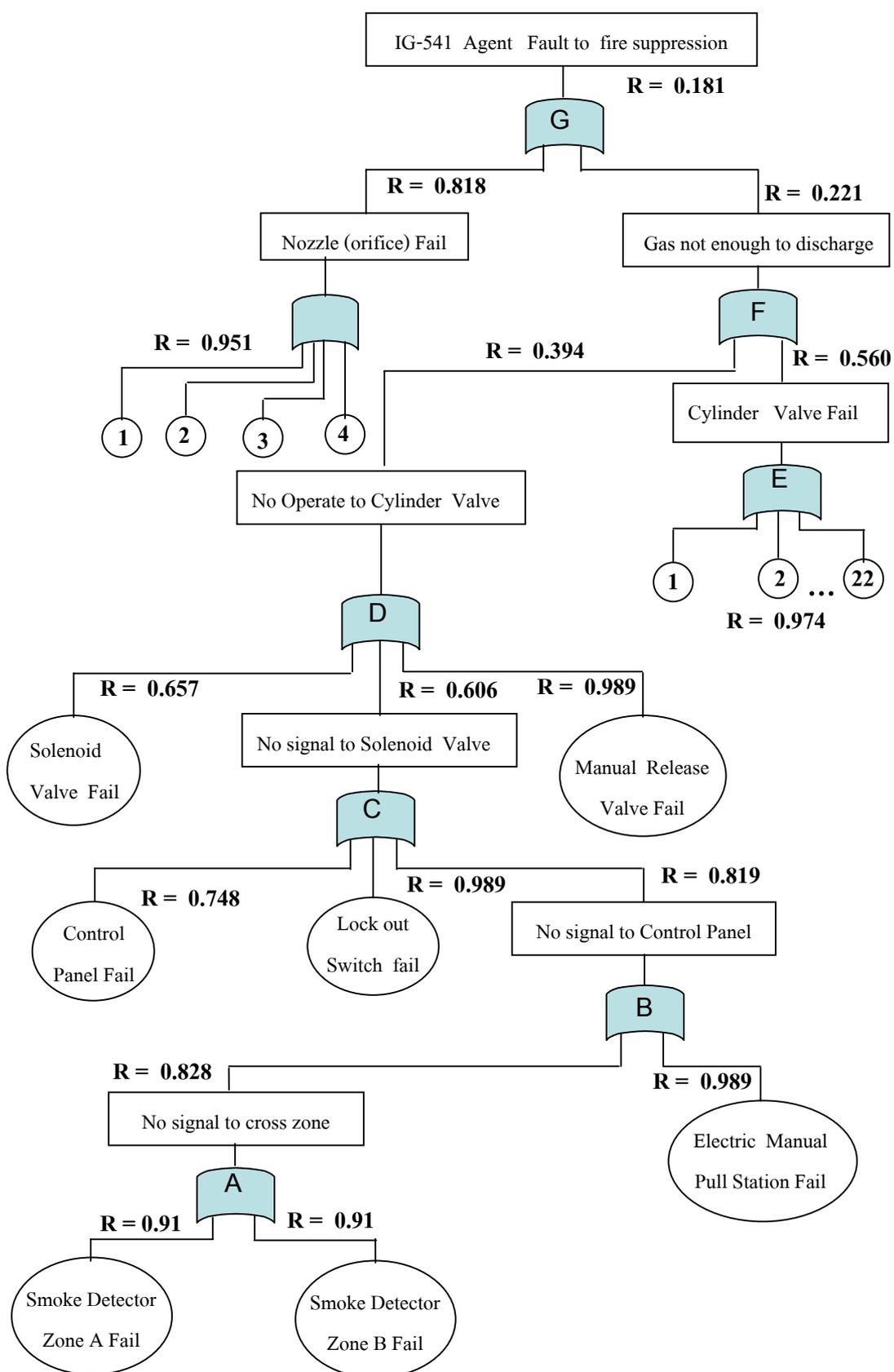
6. ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง F (R_F)

$$\begin{aligned}
 \text{จะได้ ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง F } (R_F) &= R_D \times R_E \\
 &= 0.394 \times 0.560 \\
 &= 0.221
 \end{aligned}$$

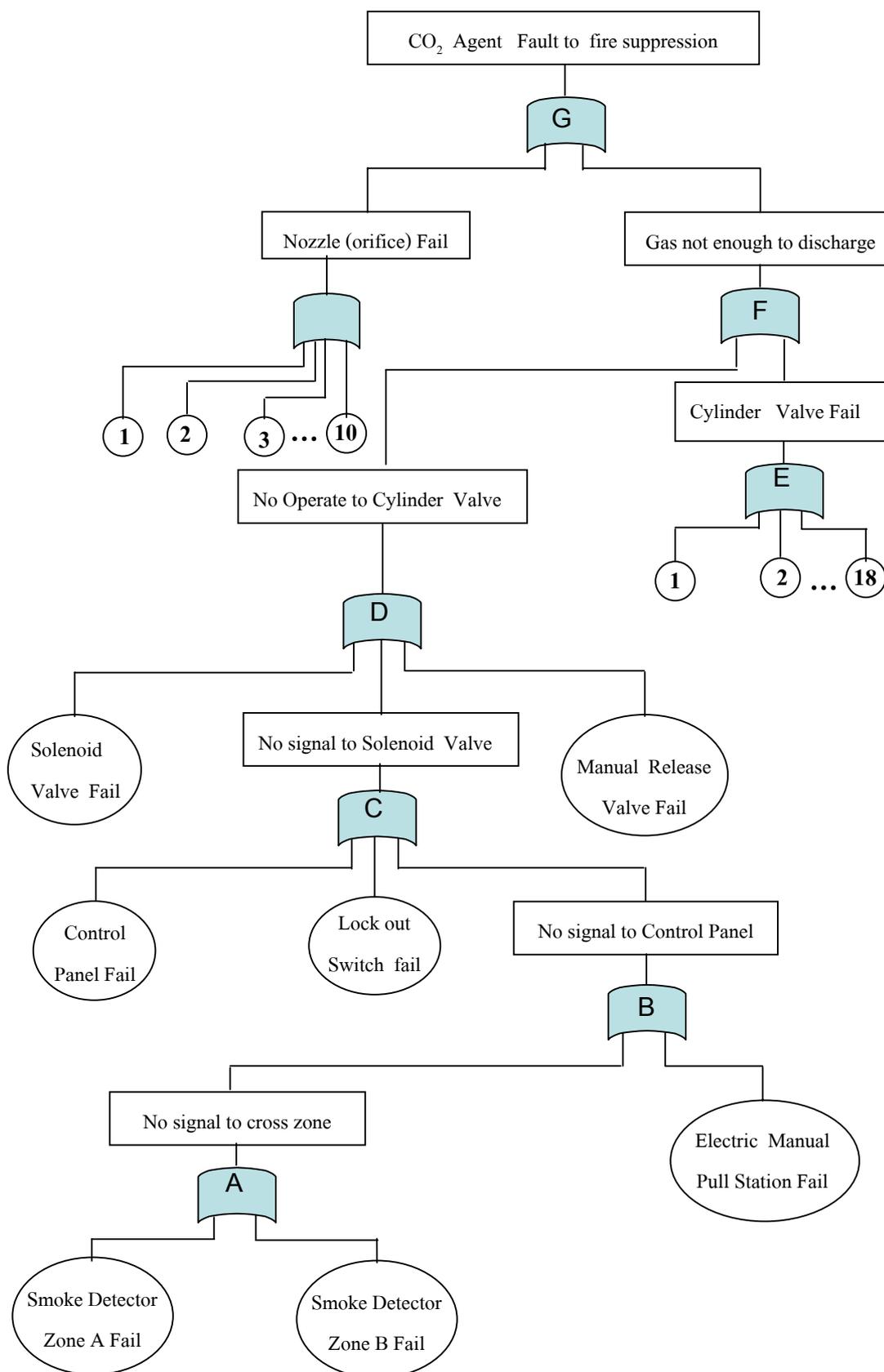
7. ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง G (R_G)

$$\begin{aligned}
 \text{Nozzle (orifice) อัตราการเสียหายต่อปี} &= 0.05 \text{ failure/year} \\
 R_1, R_2, \dots, R_4 &= 0.951 \\
 &= (0.951)(0.951)(0.951)(0.951) \\
 &= 0.818 \\
 \text{จะได้ ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง G (R_G)} &= R_F \times R \\
 &= 0.221 \times 0.818 \\
 &= 0.181
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ค่าความน่าเชื่อถือ ของระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541 คือ 0.181 และแสดงค่าความน่าเชื่อถือของระบบดับเพลิง IG-541 ตามแผนภูมิต้นไม้ ดังภาพผนวกที่ ง6



ภาพผนวกที่ ๖ แสดงค่าความน่าเชื่อถือของระบบดับเพลิง IG-541 ตามแผนภูมิต้นไม้



ภาพผนวกที่ ๓๘ แสดงเหตุการณ์ระดับเพลิง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ บกพร้อม ด้วยแผนภูมิต้นไม้

การคำนวณค่าความน่าเชื่อถือ ของระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

จาก $R = \exp(-\mu t)$

เมื่อ R แทน ค่าความน่าเชื่อถือ

μ แทน อัตราการเสียหายต่อปีของอุปกรณ์

t แทน เวลาจำนวนปีของความเสียหาย

1. ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง A (R_A)

Smoke Detector อัตราการเสียหายต่อปี (μ) = 0.09 failure/year

$$R_1 \text{ และ } R_2 = 0.91$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง A } (R_A) &= R_1 \times R_2 \\ &= 0.91 \times 0.91 \\ &= 0.828 \end{aligned}$$

2. ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง B (R_B)

Electric Manual Pull Station อัตราการเสียหายต่อปี = 0.011 failures/year

$$R_1 = 0.989$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง B } (R_B) &= R_A \times R_1 \\ &= 0.828 \times 0.989 \\ &= 0.819 \end{aligned}$$

3. ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง C (R_C)

Control Panel อัตราการเสียหายต่อปี = 0.290 failures/year

$$R_1 = 0.748$$

Lock Out Switch อัตราการเสียหายต่อปี (μ) = 0.011 failures/year

$$R_2 = 0.989$$

$$\begin{aligned}
 \text{จะได้ ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง C } (R_C) &= R_B \times R_1 \times R_2 \\
 &= 0.819 \times 0.748 \times 0.989 \\
 &= 0.606
 \end{aligned}$$

4. ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง D (R_D)

$$\begin{aligned}
 \text{Solenoid Valve อัตราการเสียหายต่อปี} &= 0.420 \text{ failures/year} \\
 R_1 &= 0.657 \\
 \text{Manual Lever Release อัตราการเสียหายต่อปี} &= 0.011 \text{ failures/year} \\
 R_2 &= 0.989 \\
 \text{จะได้ ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง D } (R_D) &= R_C \times R_1 \times R_2 \\
 &= 0.606 \times 0.657 \times 0.989 \\
 &= 0.394
 \end{aligned}$$

5. ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง E (R_E)

$$\begin{aligned}
 \text{Cylinder Valve อัตราการเสียหายต่อปี} &= 0.026 \text{ failure/year} \\
 R_1, R_2, \dots, R_{18} &= 0.974 \\
 \text{จะได้ ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง E } (R_E) &= (R_1)(R_2)(R_2)\dots(R_{18}) \\
 &= 0.974^{18} \\
 &= 0.623
 \end{aligned}$$

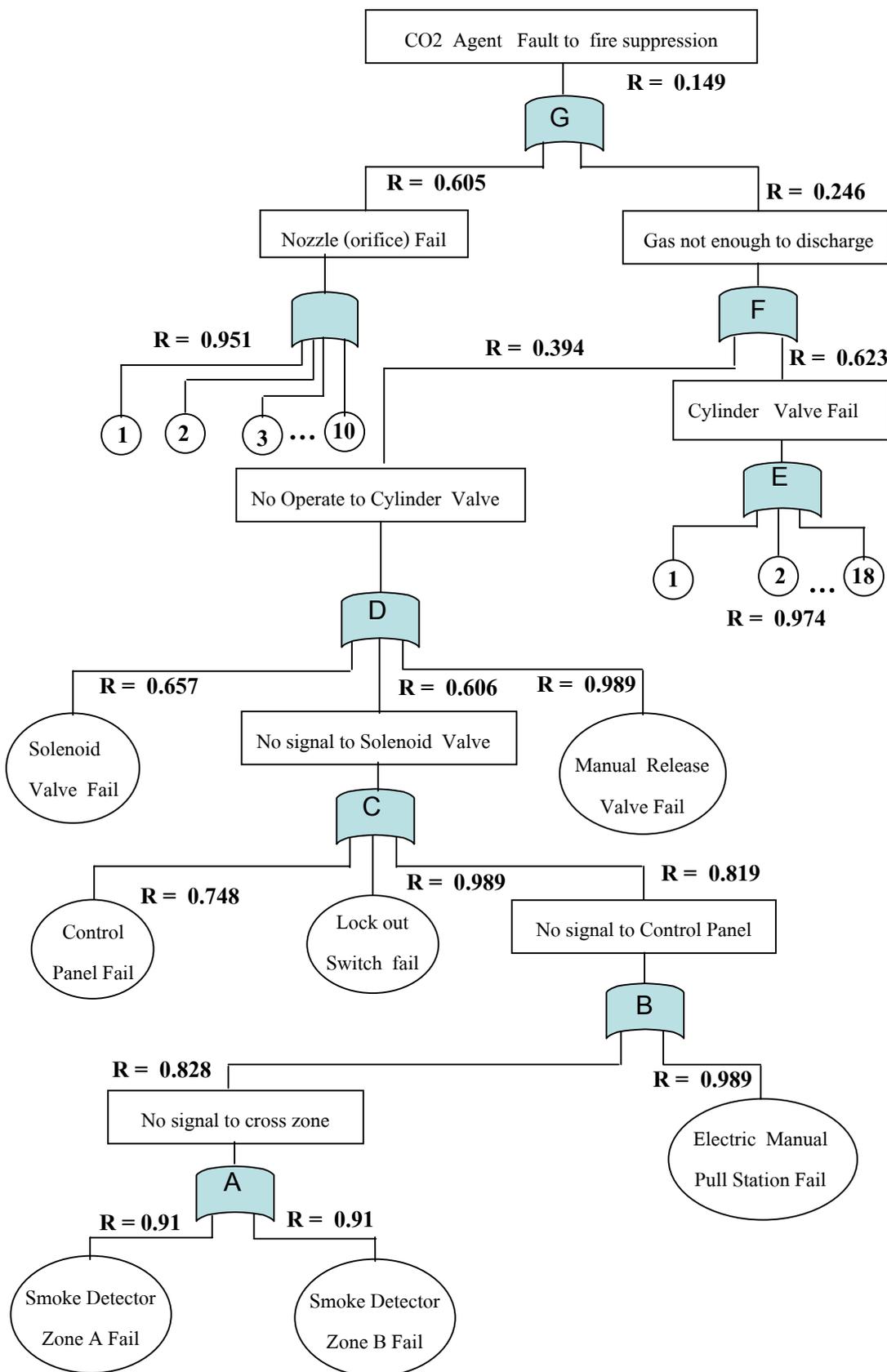
6. ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง F (R_F)

$$\begin{aligned}
 \text{จะได้ ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง F } (R_F) &= R_D \times R_E \\
 &= 0.394 \times 0.632 \\
 &= 0.24
 \end{aligned}$$

7. ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง G (R_G)

$$\begin{aligned}
 \text{Nozzle (orifice) อัตราการเสียหายต่อปี} &= 0.05 \text{ failure/year} \\
 R_1, R_2, \dots, R_{10} &= 0.951 \\
 R_1 &= (0.951)(0.951)\dots(0.951)_{10} \\
 &= 0.605 \\
 \text{จะได้ ค่าความน่าเชื่อถือ ที่ตำแหน่ง G } (R_G) &= R_E \times R_1 \\
 &= 0.246 \times 0.605 \\
 &= 0.149
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ค่าความน่าเชื่อถือ ของระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คือ 0.149 และแสดงค่าความน่าเชื่อถือของระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามแผนภูมิต้นไม้ ดังภาพผนวกที่ 9



ภาพผนวกที่ ๑๙ แสดงค่าความน่าเชื่อถือของระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตามแผนภูมิต้นไม้

ภาคผนวก จ

วิธีการวิเคราะห์ความคุ้มทุนของการติดตั้งระบบดับเพลิง

วิธีการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของการติดตั้งระบบดับเพลิง

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าของการติดตั้งระบบดับเพลิงทั้งสามชนิด ซึ่งพิจารณาจากอัตราส่วนผลตอบแทนต่อค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบดับเพลิง (Benefit/Cost) จากสมการ

$$\text{Benefit / Cost} = R_B / \text{Project Cost}$$

$$R_B = \sum_i R_i^{\text{before}} - \sum_i R_i^{\text{after}}$$

$$R_i = \text{Consequence} \times \text{Probability}$$

$$\text{Probability} = 1 - \text{Reliability}$$

เมื่อ

Benefit / Cost	=	อัตราส่วนผลตอบแทนต่อค่าใช้จ่ายจากการติดตั้งระบบดับเพลิง ซึ่งพิจารณาในระยะ 1 ปี ภายหลังจากการติดตั้ง
R_B	=	ผลตอบแทนที่คาดว่าจะได้รับจากการติดตั้งระบบดับเพลิง
Project Cost	=	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบดับเพลิง
R_i^{before}	=	ค่าเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นก่อนติดตั้งระบบดับเพลิง
R_i^{after}	=	ค่าเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นหลังติดตั้งระบบดับเพลิง
Consequence	=	ค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นกรณีเกิดเพลิงไหม้
Probability	=	โอกาสที่ไม่สามารถป้องกันการเกิดเพลิงไหม้
Reliability	=	ค่าความน่าเชื่อถือของระบบดับเพลิง

โดยการพิจารณาค่าความเสียหายกรณีเกิดเพลิงไหม้ (Consequence) ภายในห้องอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี ที่มีการใช้ในการตัดจ่ายกระแสไฟฟ้า จำนวน 10 ชุด ดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายของชุดอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี (สวิตช์เกียร์) พร้อมค่าติดตั้ง ซึ่งมีค่าประมาณ 1,400,000 บาท / ชุด

2. ค่าเสียโอกาสในการขายพลังงานไฟฟ้าของ กฟภ. โดยพิจารณาจากอัตราความเสียหายต่อหน่วยปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่หายไปเนื่องจากไฟดับ (Interrupted Energy Rate : IER) ซึ่งมีค่า 60.165 บาท/kWh โดยชุดอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี (สวิตช์เกียร์) จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ลูกค้าของ กฟภ. ประมาณ 7,000 kW / วงจร (ชุด)

3. ค่าผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟ โดยพิจารณาจาก อัตราความเสียหายต่อครั้งที่เกิดไฟฟาดับ (Interruption Cost Per Event : ICPE) มีค่า 62,723 บาท / ครั้ง

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบดับเพลิงแต่ละระบบได้แบ่งการพิจารณาค่าความเสียหายกรณีเกิดเพลิงไหม้ (Consequence) เป็น 2 กรณี คือ กรณีเสียหายน้อยสุด (Least Case) และกรณีเสียหายมากที่สุด (Worst Case) สามารถพิจารณา ได้ดังนี้

1. ผลรวมค่าความเสียหายกรณีเกิดเพลิงไหม้ กรณีเสียหายน้อยสุด (ชุดอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี จำนวน 1 ชุด) ดังนี้

1.1 ค่าใช้จ่ายของชุดอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี (สวิตช์เกียร์) พร้อมค่าติดตั้ง 1 ชุด ซึ่งมีค่าประมาณ 1,400,000 บาท

1.2 ค่าเสียโอกาสในการขายพลังงานไฟฟ้าของ กฟภ มีค่า $60.165 \times 7,000 = 421,155$ บาท / ชั่วโมง

1.3 ค่าผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟเมื่อไฟฟาดับ 1 ครั้ง มีค่า 62,723 บาท

ดังนั้น ผลรวมค่าความเสียหายกรณีเกิดเพลิงไหม้ กรณีเสียหายน้อยสุด

$$\text{มีค่า } 1,400,000 + 421,155 + 62,723 = 1,883,878 \text{ บาท}$$

2. ผลรวมค่าความเสียหายกรณีเกิดเพลิงไหม้ กรณีเสียหายมากที่สุด (ชุดอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี ซ้ำชุดทั้งหมด 10 ชุด) ดังนี้

2.1 ค่าใช้จ่ายของชุดอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี พร้อมค่าติดตั้งจำนวน 10 ชุด มีค่าประมาณ 14,000,000 บาท

2.2 ค่าเสียโอกาสในการขายพลังงานไฟฟ้าของ กฟภ. มีค่า $60.165 \times (7,000 \times 10)$
= 4,211,550 บาท

2.3 ค่าผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟ มีค่า 62,723 บาท

ดังนั้น ผลรวมค่าความเสียหายกรณีเกิดเพลิงไหม้ กรณีเสียหายมากที่สุดมีค่า
 $14,000,000 + 4,211,550 + 62,723 = 18,274,273$ บาท

การคำนวณหาความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบดับเพลิงแต่ละระบบ ซึ่งพิจารณาค่าความเสียหายกรณีเกิดเพลิงไหม้ในกรณีเสียหายน้อยสุด และกรณีเสียหายมากที่สุด แสดงได้ดังนี้

1. ระบบดับเพลิงสารฮาโลคาร์บอนชนิด HFC-125 ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง 944,700 บาท ค่าความน่าเชื่อถือของระบบ 0.298

พิจารณา Benefit / Cost กรณีเสียหายน้อยที่สุด (1,883,878 บาท)

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } R_i^{\text{before}} &= 1,883,878 \times (1 - 0) \\ &= 1,883,878 \\ R_i^{\text{after}} &= 1,883,878 \times (1 - 0.298) \\ &= 1,322,482.36 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_B &= 1,883,878 - 1,322,482.36 \\
 &= 561,395.64 \\
 \text{Benefit / Cost} &= 561,395.64 / 944,700 \\
 &= 0.59
 \end{aligned}$$

ดังนั้น Benefit / Cost ของระบบดับเพลิงสารฮาโลคาร์บอนชนิด HFC-125 กรณีเสียหายน้อยที่สุด มีค่า 0.59

พิจารณา Benefit / Cost กรณีเสียหายมากที่สุด (18,274,273 บาท)

$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อ } R_i^{\text{before}} &= 18,274,273 \times (1 - 0) \\
 &= 18,274,273 \\
 R_i^{\text{after}} &= 18,274,273 \times (1 - 0.298) \\
 &= 12,828,539.65 \\
 R_B &= 18,274,273 - 12,828,539.65 \\
 &= 5,445,733.35 \\
 \text{Benefit / Cost} &= 5,445,733.35 / 944,700 \\
 &= 5.76
 \end{aligned}$$

ดังนั้น Benefit / Cost ของระบบดับเพลิงสารฮาโลคาร์บอนชนิด HFC-125 กรณีเสียหายมากที่สุด มีค่า 5.76

2. ระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิด IG-541 ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง 1,743,900 บาท ค่าความน่าเชื่อถือของระบบ 0.181

พิจารณา Benefit / Cost กรณีเสียหายน้อยที่สุด

$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อ } R_i^{\text{before}} &= 1,883,878 \times (1 - 0) \\
 &= 1,883,878 \\
 R_i^{\text{after}} &= 1,883,878 \times (1 - 0.181) \\
 &= 1,542,896.08 \\
 R_B &= 1,883,878 - 1,542,896.08
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 340,981.92 \\
 \text{Benefit / Cost} &= 340,981.92 / 1,743,900 \\
 &= 0.20
 \end{aligned}$$

ดังนั้น Benefit / Cost ของระบบดับเพลิงสารก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541 กรณีเสียหายน้อยที่สุด มีค่า 0.20

พิจารณา Benefit / Cost กรณีเสียหายมากที่สุด (18,274,273 บาท)

$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อ } R_i^{\text{before}} &= 18,274,273 \times (1 - 0) \\
 &= 18,274,273 \\
 R_i^{\text{after}} &= 18,274,273 \times (1 - 0.181) \\
 &= 14,966,629.59 \\
 R_B &= 18,274,273 - 14,966,629.59 \\
 &= 3,307,643.41 \\
 \text{Benefit / Cost} &= 3,307,643.41 / 1,743,900 \\
 &= 1.90
 \end{aligned}$$

ดังนั้น Benefit / Cost ของระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อยชนิดสาร IG-541 กรณีเสียหายมากที่สุด มีค่า 1.90

3. ระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง 1,233,100 บาท ค่าความน่าเชื่อถือของระบบ 0.149

พิจารณา Benefit / Cost กรณีเสียหายน้อยที่สุด (1,883,878 บาท)

$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อ } R_i^{\text{before}} &= 1,883,878 \times (1 - 0) \\
 &= 1,883,878 \\
 R_i^{\text{after}} &= 1,883,878 \times (1 - 0.149) \\
 &= 1,603,180.18 \\
 R_B &= 1,883,878 - 1,603,180.18
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 280,697.82 \\
 \text{Benefit / Cost} &= 280,697.82 / 1,233,100 \\
 &= 0.23
 \end{aligned}$$

ดังนั้น Benefit / Cost ของระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กรณีเสียหายน้อยที่สุด มีค่า 0.23

พิจารณา Benefit / Cost กรณีเสียหายมากที่สุด (18,274,273 บาท)

$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อ } R_i^{\text{before}} &= 18,274,273 \times (1 - 0) \\
 &= 18,274,273 \\
 R_i^{\text{after}} &= 18,274,273 \times (1 - 0.149) \\
 &= 15,551,406.32 \\
 R_B &= 18,274,273 - 15,551,406.32 \\
 &= 2,722,866.68 \\
 \text{Benefit / Cost} &= 2,722,866.68 / 1,233,100 \\
 &= 2.21
 \end{aligned}$$

ดังนั้น Benefit / Cost ของระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กรณีเสียหายมากที่สุด มีค่า 2.21

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายอุเทน พรหมอินคำ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	27 มิถุนายน 2520
สถานที่เกิด	จังหวัดเชียงราย
ประวัติการศึกษา	วศบ.(ไฟฟ้ากำลัง) มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ตำแหน่งปัจจุบัน	วิศวกร ระดับ 5
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค