



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)
ปริญญา

วิศวกรรมความปลอดภัย

สาขา

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา

ภาควิชา

เรื่อง การประยุกต์การออกแบบระบบดับเพลิงแบบสารสะอาด สำหรับห้อง Inventory
ในห้างสรรพสินค้าเพื่อลดค่าเบี้ยประกันอัคคีภัย

Design of Cleaning Agent Fire Suppression System for Inventory Room to
Reduce Fire Insurance Premium for Shopping Mall

นามผู้วิจัย นายสมมาศ เลิศลักษณ์ธรรยา

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(รศ.ศาสตราจารย์หญิงไทย ศรีนพคุณ, Ph.D.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปราโมทย์ ประजनปัจจนิก, Ph.D.)

กรรมการ

(รศ.ศาสตราจารย์ชวลิต กิตติชัยการ, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนนต์ วงษ์เกษม, M.S.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รศ.ศาสตราจารย์วินัย อากงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ๒๓ เดือน เมษายน พ.ศ. ๒๕๔๙

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประยุกต์การออกแบบระบบดับเพลิงแบบสารสะอาด สำหรับห้อง Inventory
ในห้างสรรพสินค้าเพื่อลดค่าเบี้ยประกันอัคคีภัย

Design of Cleaning Agent Fire Suppression System for Inventory Room to
Reduce Fire Insurance Premium for Shopping Mall

โดย

นายสมมาศ เลิศลักษณ์อรรษา

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

พ.ศ. 2549

ISBN 974-16-1532-9

สมมาศ เลิศลักษณ์ธรรยา 2549: การประยุกต์การออกแบบระบบดับเพลิงแบบสารสะอาดสำหรับ
ห้อง Inventory ในห้างสรรพสินค้าเพื่อลดค่าเบี้ยประกันอัคคีภัย ปรินญาวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย) สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัย โครงการสหวิทยาการ
ระดับบัณฑิตศึกษา ประธานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ธงไชย ศรีนพคุณ,
Ph.D. 103 หน้า
ISBN 974-16-1532-9

การออกแบบระบบดับเพลิงแบบสารสะอาด ชนิด HFC-227 ea เพื่อประยุกต์กับการดับเพลิงในห้อง
Inventory ของอาคารศูนย์การค้าและห้างสรรพสินค้า ซึ่งมีความสำคัญ และความเสี่ยงภัยสูง จะส่งผลกระทบต่อทั้ง
ทางตรงและทางอ้อมต่อการดำเนินธุรกิจในด้านระบบการเงิน การบัญชี และการจัดเก็บสินค้า

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการจัดการความเสี่ยงภัยโดยการโอนความเสี่ยงภัย (Risk Transfer) ไปยัง
ผู้รับประกันภัย ซึ่งต้องใช้ การออกแบบระบบดับเพลิงตามมาตรฐาน NFPA (National Fire Protection
Association) หมายเลขที่ 2001 ฉบับปี ค.ศ.2000 รวมทั้งมีการรับรองคุณภาพของระบบการทำงานและอุปกรณ์
ได้มาตรฐานยอมรับ โดย UL (Underwriters Laboratories) หมายเลขมาตรฐานที่ 2166 ฉบับปี ค.ศ.1999 โดย
สามารถนำมาใช้เป็นส่วนลดค่าเบี้ยประกันอัคคีภัยในแต่ละปีได้ ซึ่งเป็นไปตามหลักเกณฑ์และเงื่อนไข กรมการ
ประกันภัย กระทรวงพาณิชย์

การศึกษารอบคลุมการประเมินจุดคุ้มทุนในการติดตั้งระบบดับเพลิงของอาคารห้างสรรพสินค้า
5 ขนาด โดยเปรียบเทียบกับค่าเบี้ยประกันภัยที่ลดลง พบว่าอาคารขนาดตั้งแต่ ต่ำกว่า 8,000 ถึงขนาดมากกว่า
20,000 ตารางเมตร มีค่าประเมินจุดคุ้มทุนเท่ากับ 3.70, 5.49, 5.33, 6.61 และ 7.54 ปี ตามลำดับ ซึ่งถือว่า
เหมาะสมในการลงทุน ดังนั้นการติดตั้งระบบในห้อง Inventory ทั้ง 52 อาคาร สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายใน
การประกันภัยทั้งสิ้นประมาณ 5,256,200 บาทต่อปี ในอาคารแต่ละขนาดหากมีการพิจารณาปรับปรุงการ
ออกแบบขนาดของห้อง Inventory ให้มีขนาดที่เล็กลงอยู่ในช่วง 36 ถึง 486 ลูกบาศก์เมตร โดยยังสามารถใช้
งานได้อย่างมีประสิทธิภาพก็จะมีผลทำให้ถึงจุดคุ้มทุนเร็วขึ้นอยู่ในช่วง 1.70 ถึง 4.93 ปี แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาถึง
การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆภายในห้อง และค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างรวมทั้งการติดตั้งระบบดับเพลิงใหม่ด้วย



ลายมือชื่อนิติสด



ลายมือชื่อประธานกรรมการ

๑๗, เม.ย. '๕๙

Sommas Lertluk-anya 2006: Design of Cleaning Agent Fire Suppression System for Inventory Room to Reduce Fire Insurance Premium for Shopping Mall. Master of Engineering (Safety Engineering), Major Field: Safety Engineering, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Associate Professor Thongchai Srinophakun, Ph.D. 103 pages.
ISBN 974-16-1532-9

Knowledge of clean agent extinguisher system design has been applied using HFC-227 ea to control a fire accident in inventory room of the shopping mall. This room is very important and has a high risk. In case of fire accident, it would damage by fire accident both direct and indirect impact on interruption for example, account, financial, warehouse, and logistic, marketing including the data of safety and engineering.

This thesis applied the risk transfer concept to minimize the expense of the organization. The design of fire suppression system certified by authorized bodies; NFPA 2001 (National Fire Protection Association), and using equipment or devices qualified by UL 2166 (Underwriter Laboratories) are needed. The above design and using qualified equipment will reduce annual fire insurance premium according to the conditions of department of insurance, ministry of commerce.

This study covered the application of HFC-227 ea fire suppression system in 5 different size of the shopping mall, break even point between the cost of fire insurance premium and the cost of fire protection system investment. The size of the shopping mall were under 8,000 to over 20,000 m² and the break even point were 3.70, 5.49, 5.33, 6.61 and 7.54 years respectively. According to business administration criteria, these break even point have a possibility to invert. The results showed that the company could save 5,256,200 Baht, if the fire protection system was installed owing to the calculation. In addition, if the inventory room is suitable designed and its size is smaller, the break even point will reduce in the range of 1.70 to 4.93 years. This study illustrates the application of safety engineering to the business management.



Student's signature



Thesis Advisor's signature

17, Apr. '06

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดั่งนี้ ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ธงไชย ศรีนพคุณ ที่ได้แนะนำ และควบคุมงานจนสัมฤทธิ์ผล ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปราโมทย์ ประจนปัจจนึก กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก รองศาสตราจารย์ชวลิต กิตติชัยการ กรรมการที่ปรึกษาวิชารอง ที่ให้คำปรึกษาแนวทางที่เป็นประโยชน์แก่วิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ร.ท.วโรดม สุจริตกุล ผู้ประสานงาน NFPA ประจำประเทศไทย คุณธีระ ใจนา บริษัท แมสเทคไฟร์ เอ็นจิเนียริง จำกัด คุณโอภาส โกระวิโยธิน บริษัท แอนตี้ไฟร์ จำกัด และทีมงานซึ่งได้ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวก ถ่ายทอดความรู้และให้คำแนะนำในการออกแบบ ระบบดับเพลิง และข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องในการประกันภัย

ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้สั่งสอนวิชาความรู้มาและเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรม ความปลอดภัย เพื่อนๆทุกคน ที่ได้ให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา

คุณความดีและประโยชน์ทั้งหมดอันเกิดจากวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่บิดา มารดา และ อาจารย์ทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดความรู้ต่างๆเสมอมา

สมมาศ เลิศลักษณ์ธรรยา

มีนาคม 2549

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ.....	(1)
สารบัญตาราง.....	(3)
สารบัญภาพ.....	(5)
คำอธิบายสัญลักษณ์ และอักษรย่อ.....	(7)
คำนำ.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย.....	2
ประโยชน์ของการวิจัย	3
การตรวจเอกสาร.....	4
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
แนวคิดเกี่ยวกับวิธีการจัดการความเสี่ยงภัยและการประกันภัย.....	4
ระบบดับเพลิงแบบสารสะอาด (HFC-227 ea)	9
หลักการเบื้องต้นในการออกแบบระบบดับเพลิง.....	23
กฎหมายและมาตรฐานที่ใช้อ้างอิง.....	35
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	37
อุปกรณ์และวิธีการ.....	38
อุปกรณ์.....	38
วิธีการ.....	38
ผลการศึกษา.....	45
วิจารณ์.....	68
สรุป.....	70
เอกสารและสิ่งอ้างอิง.....	73

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก.....	75
ภาคผนวก ก มาตรฐาน NFPA 2001 ฉบับปี 2000.	76
ภาคผนวก ข ตัวประกอบความเข้มข้นของ HFC-227 ea.....	98
ประวัติการศึกษาและการทำงาน.....	103

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

1	รายการอัตราส่วนลดสำหรับอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยด้านอัคคีภัย.....	7
2	ขนาดพื้นที่ของอาคารแต่ละแบบ.....	45
3	ระยะเวลาที่คนสามารถรับสารดับเพลิง HFC-227ea ที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	49
4	ตัวอย่างขนาดถังบรรจุสารดับเพลิง HFC-227ea	52
5	พื้นที่ครอบคลุมของหัวฉีด.....	53
6	อัตราการไหลของหัวฉีด (หน่วยอังกฤษ).....	54
7	อัตราการไหลของหัวฉีด (หน่วยเมตริก).....	55
8	การประเมินค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบดับเพลิงสารสะอาด HFC-227ea ของห้องแบบที่1	61
9	การประเมินค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบดับเพลิงสารสะอาด HFC-227ea ของห้องแบบที่2	62
10	การประเมินค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบดับเพลิงสารสะอาด HFC-227ea ของห้องแบบที่3	63
11	การประเมินค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบดับเพลิงสารสะอาด HFC-227ea ของห้องแบบที่4	64
12	การประเมินค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบดับเพลิงสารสะอาด HFC-227ea ของห้องแบบที่5	65
13	แสดงผลการคำนวณเบี้ยประกันภัยของอาคารทั้ง 5 ขนาด ซึ่งยังไม่มีติดตั้งระบบดับเพลิง	66
14	แสดงผลการคำนวณเบี้ยประกันภัยของอาคารทั้ง 5 ขนาด หลังจากมีการติดตั้งระบบดับเพลิง HFC-227 ea	67
15	แสดงความสัมพันธ์ของจุดคุ้มทุนในอาคารขนาดต่างๆ ที่จะมีห้อง Inventory ที่เหมาะสม	72

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่

หน้า

ก1	แสดงหน่วยที่ใช้และการแปลงหน่วย.....	79
ก2	สารดับเพลิงใน NFPA 2001.....	80
ก3	ข้อมูลสำหรับสารดับเพลิงสะอาดชนิดฮาโลคาร์บอน.....	83
ก4	เวลาที่คนสามารถรับสารดับเพลิง HFC-125 ได้อย่างปลอดภัย.....	84
ก5	เวลาที่คนสามารถรับสารดับเพลิง HFC-227ea ได้อย่างปลอดภัย.....	84
ก6	เวลาที่คนสามารถรับสารดับเพลิง HFC-236fa ได้อย่างปลอดภัย.....	85
ก7	เวลาที่คนสามารถรับสารดับเพลิง FIC-13I1 ได้อย่างปลอดภัย.....	85
ก8	ความดันใช้งานที่ออกแบบน้อยที่สุด สำหรับท่อของระบบสารดับเพลิง แบบสารสะอาดชนิดก๊าซเฉื่อย.....	91
ก9	ความดันใช้งานที่ออกแบบน้อยที่สุดสำหรับท่อของระบบดับเพลิง แบบสารสะอาดชนิดฮาโลคาร์บอน.....	92
ข1	น้ำหนักของ HFC-227ea ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุตของห้อง.....	99

สารบัญภาพ

ภาพที่

หน้า

1	องค์ประกอบของการลุกไหม้.....	11
2	การดับไฟโดยการตัดองค์ประกอบด้านความร้อน.....	12
3	โครงสร้างโมเลกุลของ HFC-227ea.....	12
4	ลักษณะถึงสารดับเพลิง HFC-227ea.....	14
5	วาล์วสมดุลความดัน.....	15
6	วาล์วเป็นแผ่นไดอะแฟรมโลหะ.....	15
7	ท่อไซฟอนที่อยู่ภายในถัง.....	16
8	ลักษณะของวาล์วก้นกลับ.....	17
9	เครื่องวัดระดับของเหลว.....	17
10	หัวฉีดสารดับเพลิง และแผ่นควบคุมทิศทางสารดับเพลิง.....	18
11	ไดอะแกรมระบบดับเพลิงอัตโนมัติ.....	18
12	แผนควบคุมระบบดับเพลิง.....	19
13	อุปกรณ์ปล่อยสารดับเพลิงด้วยมือ (Manual Release)	19
14	สวิทช์เลือกแหล่งจ่ายสารดับเพลิง.....	21
15	แผนวงจรของตัวหน่วงเวลา.....	21
16	สวิทช์ระงับการทำงาน (Abort Switch).....	22
17	สวิทช์ความดันต่ำ (Low Pressure Switch).....	22
18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในถังบรรจุสารดับเพลิงกับ เปอร์เซ็นต์สารดับเพลิงที่ถูกปล่อยจากถังบรรจุขนาดความดัน 360 psig.....	25
19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเวลาในช่วงที่มีการปล่อย สารดับเพลิงที่ความหนาแน่น 70 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต.....	26
20	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันในท่อกับความหนาแน่นในท่อ.....	27
21	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของสารดับเพลิง กับความดันขณะที่ไหลผ่านระบบท่อ.....	28
22	กราฟแสดงอัตราการไหลจำเพาะสูงสุดในท่อเป็นฟังก์ชันของความดันรวม สำหรับถังบรรจุขนาด 360 psig.....	30

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในถังบรรจุ กับปริมาณสารดับเพลิงที่ปล่อยออก.....	32
24 แสดงการวัดพื้นที่ที่ครอบคลุมของหัวฉีดสารดับเพลิงตามระยะ.....	53
25 แสดงการจัดวางตำแหน่งของหัวฉีด 360°	55
26 แสดงการจัดวางตำแหน่งของหัวฉีด 180°	56
27 แผนผังแสดงระบบการทำงานของระบบดับเพลิง HFC- 227 ea.....	56
28 แผนผังแสดงการติดตั้งถังสารดับเพลิง HFC- 227 ea หัวฉีดสารดับเพลิง (Nozzle) และอุปกรณ์ตรวจจับควัน (Smoke Detector).....	57
29 แสดงการติดตั้ง Alarm Bell, Alarm Horn/Strobe Light, Control Panel, Manual Release Switch and Abort Switch บริเวณหน้าห้อง Inventory.....	58
30 แสดงผังการติดตั้ง หัวฉีด (Nozzle) และอุปกรณ์ตรวจจับควัน (Smoke Detector) ของห้อง Inventory แบบที่ 1	58
31 แสดงผังการติดตั้ง หัวฉีด (Nozzle) และอุปกรณ์ตรวจจับควัน (Smoke Detector) ของห้อง Inventory แบบที่ 2	59
32 แสดงผังการติดตั้ง หัวฉีด (Nozzle) และอุปกรณ์ตรวจจับควัน (Smoke Detector) ของห้อง Inventory แบบที่ 3	59
33 แสดงผังการติดตั้ง หัวฉีด (Nozzle) และอุปกรณ์ตรวจจับควัน (Smoke Detector) ของห้อง Inventory แบบที่ 4.....	60
34 แสดงผังการติดตั้ง หัวฉีด (Nozzle) และอุปกรณ์ตรวจจับควัน (Smoke Detector) ของห้อง Inventory แบบที่ 5	60

คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ

	CONTROL PANEL
	ALARM BELL
	ALARM HORN
	STROBE LIGHT
	ALARM HORN & STROBE LIGHT
	ABORT SWITCH
	MANUAL RELEASED
	MANUAL & ABORT SWITCH WITH COUNTDOWN TIMER DISPLAY
	HFC-227ea CYLINDER
	HFC-227ea PACKAGE
	SMOKE DETECTOR
	HEAT DETECTOR
	FLAME DETECTOR
	HYDROGEN CHLORIDE DETECTOR
	NOZZLE 360° WITH DEFLECTOR PLATE
	NOZZLE 360°
	NOZZLE 180°
	PIPE UP
	PIPE DOWN

คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ (ต่อ)

NFPA	National Fire Protection Association
UL	Underwriters Laboratories
HFC-227ea	Heptafluoropropane ($\text{CF}_3\text{CHFCF}_3$)
NOAEL	No Observed Adverse Effect Level
LOAEL	Lowest Observed Adverse Effect Level
LC_{50}	Lethal Concentration
Q	อัตราการไหล, ปอนด์ต่อวินาที
D	เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ, นิ้ว
L	ความยาว, ฟุต
ρ	ความหนาแน่นของสาร, ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต
P	ความดัน, ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
f	แฟกเตอร์ความเสียหายของท่อ
Q_{nozzle}	อัตราการไหลของหัวฉีด, ปอนด์ต่อวินาที
Code	ค่าชี้บ่งของหัวฉีดสารดับเพลิง (ประสิทธิภาพในการจ่ายสารดับเพลิงของหัวฉีด เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของการไหลของหัวฉีด เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของการไหลในท่อสูงสุด)
$\text{Area}_{\text{pipe}}$	พื้นที่ตัดขวางภายในของท่อส่ง, ตารางนิ้ว
R	อัตราการไหลเฉพาะในท่อสูงสุดตามทฤษฎีที่คำนวณจากความดันรวมปลายท่อ (Total Terminal Pressure) ภายใต้สภาวะความดัน-ความหนาแน่นที่กำหนด, ปอนด์ต่อวินาทีต่อตารางนิ้ว
W	น้ำหนักสารดับเพลิง, ปอนด์ (กิโลกรัม)
V	ปริมาตรของบริเวณที่จะป้องกัน, ลบ.ฟ. (ลบ.ม.)
C	ความเข้มข้นของสารดับเพลิงในบริเวณที่จะป้องกัน (% โดยปริมาตร)
S	ปริมาตรไอก๊าซเฉพาะ, ลบ.ฟ./ปอนด์ (ลบ.ม./กิโลกรัม)

การประยุกต์การออกแบบระบบดับเพลิงแบบสารสะอาด สำหรับห้อง Inventory ในห้างสรรพสินค้าเพื่อลดค่าเบี้ยประกันอัคคีภัย

Design of Cleaning Agent Fire Suppression System for Inventory Room to Reduce Fire Insurance Premium for Shopping Mall

คำนำ

เนื่องจากการเติบโตทางธุรกิจในปัจจุบันมีแนวโน้มค่อนข้างสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในธุรกิจค้าปลีก เช่น ศูนย์การค้า และห้างสรรพสินค้าทำให้มีการดำเนินการปลูกสร้างอาคารต่าง ๆ มากมาย มีการนำเทคโนโลยี เครื่องจักร และระบบเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาใช้ ในปริมาณที่มากขึ้น ตลอดจนจำนวนวัตถุดิบและสินค้าที่มีการทำการผลิตก็มีมากขึ้นเช่นเดียวกัน นั้นหมายถึงมูลค่าทรัพย์สินที่อยู่ในรูปต่าง ๆ นั้นมาอยู่รวมกันมากขึ้น และลักษณะความเสี่ยงภัยก็มีความซับซ้อนมากขึ้น ซึ่งหากเกิดความเสี่ยงภัยใดๆ เกิดขึ้นก็มีโอกาสของความเสียหายตั้งแต่เล็กน้อยไปจนถึงความเสียหายขนาดใหญ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเสียหายที่เกิดจากการเกิดอัคคีภัย ซึ่งในแต่ละครั้งที่เกิดขึ้นแล้วแต่จะเกิดความเสียหายที่ใหญ่หลวง รวมทั้งทำให้เกิดความเสียหายอย่างต่อเนื่องทั้งในด้านทรัพย์สิน ชื่อเสียง ความมั่นคง เป็นต้น

ดังนั้น การนำความรู้ทางด้านการจัดการด้านความเสี่ยงมาเป็นส่วนหนึ่งในการบริหารงานด้านพาณิชย์กรรมและอุตสาหกรรมจึงมีความจำเป็นเป็นอย่างมาก การจัดการความเสี่ยงภัยวิธีหนึ่งคือการโอนความเสี่ยงภัย (Risk Transfer) ไปยังบริษัทรับประกันภัยซึ่งเป็นผู้ที่จะรับประกันความเสี่ยงภัย แต่กระนั้นเองก็ยังมีสถานประกอบการทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่อีกจำนวนไม่น้อย ที่ไม่มีการจัดทำประกันภัยเพื่อคุ้มครองทรัพย์สินที่มีอยู่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประกันอัคคีภัย เนื่องจากไม่ต้องการเสียค่าใช้จ่ายในการประกันภัยที่สูงในแต่ละปีงบประมาณ หรือบางครั้งไม่สามารถหาบริษัทที่จะรับประกันภัยได้ อันเนื่องจากลักษณะภัยหรือตัวแปรอื่นๆ แต่สิ่งหนึ่งที่จะทำให้บริษัทรับประกันภัยยินดีที่จะรับประกันภัย และสามารถลดค่าเบี้ยประกันภัยในแต่ละปีได้คือ การจัดการและจัดเตรียมระบบความปลอดภัยที่ดี เช่นตั้งแต่ การออกแบบการก่อสร้างวัสดุที่นำมาใช้ การติดตั้งระบบสัญญาณเตือนภัย ติดตั้งระบบดับเพลิงมาตรฐานต่างๆ รวมทั้งระบบดับเพลิงชนิดพิเศษ ที่มีสถาบันหรือองค์กรรับรองมาตรฐาน ดังนั้นผู้จัดทำจึงอยากเผยแพร่ความรู้

ในการจัดการความปลอดภัย (Risk Transfer) เพื่อลดค่าเบี้ยประกันภัยในการประกันอัคคีภัย โดยนำความรู้ด้านการออกแบบระบบดับเพลิงชนิดพิเศษ ประเภทสารสะอาด (Clean Agent) มาประยุกต์ให้ผู้สนใจได้นำไปใช้เป็นประโยชน์ต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ในการศึกษาการออกแบบระบบดับเพลิงแบบสารสะอาด HFC-227 ea ของห้อง Inventory ในอาคารห้างสรรพสินค้ามีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อแนวทางในการจัดการความเสี่ยงภัยโดยวิธีการโอนความเสี่ยงภัย (Risk Transfer) ที่อาจเกิดขึ้นในกรณีที่เกิดจากอัคคีภัย ไปยังบริษัทผู้รับประกันภัย
2. เพื่อเสนอแนะแนวทางในการออกแบบระบบดับเพลิงแบบสารสะอาด โดยใช้สาร FM-200 หรือ HFC -227ea ในห้อง Inventory ของห้างสรรพสินค้า
3. เพื่อประเมินและเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบดับเพลิงแบบสารสะอาด HFC-227 ea และค่าใช้จ่ายของเบี้ยประกันอัคคีภัยที่ลดลง เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจลงทุนและเลือกขนาดห้อง Inventory ให้เหมาะสมกับอาคารห้างสรรพสินค้าขนาดต่างๆ

ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีแนวทางในการศึกษาเพื่อออกแบบระบบดับเพลิงแบบสารสะอาด HFC -227ea ในห้อง Inventory ของห้างสรรพสินค้าและการประกันอัคคีภัย ภายใต้ขอบเขตการวิจัยดังต่อไปนี้

1. การออกแบบระบบดับเพลิงแบบสารสะอาด โดยใช้สาร HFC -227ea ในห้อง Inventory ของห้างสรรพสินค้า
2. มาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน NFPA 2001 Standard on Clean Agent Fire Extinguisher System
3. การคำนวณเบี้ยประกันอัคคีภัยเป็นไปตามมาตรฐานพิกัดอัตราเบี้ยประกันอัคคีภัย สมาคมประกันวินาศภัย ประเทศไทย
4. เปรียบเทียบความคุ้มค่าในเชิงธุรกิจระหว่างค่าใช้จ่ายในการลงทุนติดตั้งระบบดับเพลิงดังกล่าวในห้อง Inventory ขนาดต่างๆ และค่าใช้จ่ายในการประกันอัคคีภัย

ประโยชน์ของการวิจัย

หลังจากงานวิจัยได้ดำเนินการเสร็จเรียบร้อยแล้ว พบว่างานวิจัยนี้มีประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับดังต่อไปนี้

1. สามารถเสนอแนะแนวทางในการออกแบบระบบดับเพลิงแบบสารสะอาด โดยใช้ HFC-227ea เป็นสารดับเพลิง
2. แสดงการเปรียบเทียบให้เห็นภาพได้ว่าเมื่อมีการติดตั้งระบบดับเพลิงดังกล่าวจะลดต้นทุนในการจ่ายค่าเบี้ยประกันได้ และให้เกิดความปลอดภัยในระยะยาว
3. เพื่อลดปัญหาการที่ห้างสรรพสินค้าขาดการรับประกันภัย และสร้างภาพลักษณ์ในการลงทุนทางธุรกิจของประเทศไทย
4. ลดภาระของภาครัฐบาลในการที่ต้องเข้ามาับการบรรเทาภัยเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ โดยมีบริษัทรับประกันภัยเข้ามาดูแลและสนับสนุนด้านการเงิน เพื่อฟื้นฟูธุรกิจให้กลับมาดำเนินธุรกิจได้ดังเดิม

การตรวจเอกสาร

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. แนวคิดเกี่ยวกับวิธีการจัดการความเสี่ยงและการประกันภัย

การจัดการความเสี่ยงโดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 4 วิธี

1.1 การหลีกเลี่ยงความเสี่ยง (Risk avoidance) การหลีกเลี่ยงความเสี่ยง สามารถทำได้โดยการพยายามหลีกเลี่ยงงานหรือ สาเหตุที่อาจจะก่อให้เกิดความเสียหายขึ้น เช่น การเกิดอัคคีภัยซึ่งสร้างความเสียหายได้รุนแรง เพราะฉะนั้นการนำวัสดุที่เป็นเชื้อเพลิงหรือสารไวไฟ เข้ามาใช้ในกระบวนการผลิตจึงจะต้องมีการควบคุมปริมาณตามความจำเป็นหรือถ้าเป็นไปได้ก็ควรหลีกเลี่ยงการใช้วัสดุดังกล่าว เพื่อหลีกเลี่ยงความเสี่ยงจากวัสดุนั้นๆ

1.2 การลดความเสี่ยง (Risk reduction) เราอาจจะลดความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้น โดยลดจำนวนครั้ง (Frequency) หรือลดความรุนแรง (Severity) ซึ่งโดยทั่วไปจะกระทำได้ด้วยวิธีดังต่อไปนี้

1.2.1 การป้องกันการเกิดความเสียหาย (Loss prevention) มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายขึ้น การป้องกันเช่นนี้ จะกระทำก่อนที่จะมีความเสียหายเกิดขึ้น เช่น การติดป้ายห้ามสูบบุหรี่ในบริเวณโรงงาน การลดปริมาณสารไวไฟในกระบวนการผลิต เป็นต้น

1.2.2 การควบคุมความเสียหาย (Loss control) มีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุม ความรุนแรงของความเสียหายที่เกิดขึ้น การควบคุมความเสียหายนี้จะกระทำในขณะที่หรือภายหลังจากที่มีความเสียหายเกิดขึ้น เช่น การที่เจ้าหน้าที่ดับเพลิงทำการดับเพลิงที่เกิดขึ้นอย่างทันทั่วทั้งที่ การติดตั้งเครื่องพรมน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ (Automatic sprinkler system)

1.2.3 การแยกทรัพย์สิน (Separation) เช่น การตั้งโรงงานและโกดังไว้คนละสถานที่ เมื่อเกิดเพลิงไหม้ขึ้นที่หนึ่งทีใด โอกาสที่เพลิงนั้นจะลามไปอีกที่หนึ่ง จะเป็นไปได้ยาก ทำให้ลดความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้น

1.3 การรับเสี่ยงภัยไว้เอง (Risk retention) คือ การรับผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากภัยไว้เอง ในบางกรณีเราอาจแบกรับความเสี่ยงไว้เอง โดยตั้งใจหรือไม่ก็ตาม และอาจจะรับไว้ทั้งหมด หรือ บางส่วนก็ได้ ภัยบางอย่างอาจเล็กน้อยจนไม่จำเป็นต้องหาวิธีการจัดการกับความเสี่ยงภัยเช่น ปากกา ดินสอ ซึ่งมีราคาไม่แพงเจ้าของก็ไม่สนใจว่า ทรัพย์สินดังกล่าวจะเสี่ยงต่อการแตกหัก หรือถูกหยิบฉวยไป การที่ผู้เอาประกันภัยรถยนต์เอาประกันภัยรถยนต์แบบมีความรับผิดชอบต่อความเสียหายส่วนแรก ไม่เกิน 1,000 บาท สำหรับ ความเสียหายแต่ละครั้งนี้ ก็ถือว่า ความรับผิดชอบต่อความเสียหายส่วนแรก Deductible นี้เป็นการรับภาระเสี่ยงภัยไว้เองบางส่วนเช่นกัน

1.4 การโอนความเสี่ยงภัย (Risk transfer) เป็นวิธีการจัดการความเสี่ยงภัยที่ได้รับความนิยมมากที่สุดวิธีหนึ่ง ด้วยการโอนความเสี่ยงภัยที่เกี่ยวกับความเสียหายทางการเงิน และความรับผิดชอบต่างๆ ในรูปของการประกันภัย (Insurance transfer) โดยวิธีนี้บุคคลที่มีความเสี่ยงภัยประเภทต่าง ๆ จะโอนความเสี่ยงภัย และความเสียหายทางการเงินที่อาจเกิดขึ้นไปให้บริษัทประกันภัยในรูปของการเอาประกันภัยไว้กับบริษัทประกันภัย ในรูปของสัญญาประกันภัย ซึ่งบริษัทประกันภัยสัญญาว่าจะชดเชยค่าเสียหายที่เกิดขึ้นแก่ผู้เอาประกันภัยสำหรับความเสียหายที่ได้รับการคุ้มครองตามสัญญา การประกันภัยนั้น (ไอออน ริคส์ คอนซัลติ้ง, 2544)

ความหมายและประโยชน์ของการประกันอัคคีภัย

คำว่าประกันภัยตรงกับคำในภาษาอังกฤษว่า Insurance ซึ่งได้มีผู้ให้ความหมายของการประกันภัยไว้หลายนัยด้วยกัน แล้วแต่ว่าจะมองการประกันภัยในแง่ใด ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. การประกันภัย คือการที่คนจำนวนมากได้ตกลงกันที่จะร่วมกันชดเชยหรือแบ่งเบาความเสียหายที่สมาชิกคนใดคนหนึ่งในกลุ่มอาจได้รับ โดยตั้งเป็นเงินกองทุน (Pool) ขึ้น เพื่อทำหน้าที่เป็นคนกลางรวบรวมเงินทุนหรือที่เรียกว่าเบี้ยประกันภัยจากสมาชิกทุกคนเข้าสู่กองทุน และกองทุนจะทำหน้าที่จ่ายเงินจากกองทุนให้แก่สมาชิกผู้ต้องประสบความเสียหาย

2. การประกันภัย คือแผนเฉลี่ยความเสี่ยงภัยร่วมกัน โดยบุคคลจำนวนหนึ่งตกลงกันว่า หากบุคคลในกลุ่มนั้นได้รับการสูญเสียเนื่องจากภัยที่กำหนดไว้ ทุกๆ คนในกลุ่มจะเฉลี่ยค่าสูญเสียให้แก่ผู้ประสบภัย

จากความหมายดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จะเห็นได้ว่าการประกันภัยมิได้หมายความว่า การป้องกันมิให้เกิดภัยขึ้น แต่หมายถึงการให้คำมั่นสัญญาว่าถ้ามีความเสียหายเกิดขึ้นจากภัยแล้ว ผู้ที่ต้องได้รับความเสียหายจะไม่ต้องรับภัยพิบัตินั้นไว้คนเดียว สมาชิกในกลุ่มคนอื่นๆ ก็จะช่วยเหลือให้ผู้ต้องภัยพิบัตินั้นได้กลับคืนมีสภาพเหมือนเดิมเหมือนเมื่อก่อนเกิดภัยขึ้น การประกันภัยจึงน่าจะหมายความว่า การทำให้เกิดความแน่นอนขึ้น เนื่องจากมนุษย์ที่เกิดมาในโลกนี้ต้องเผชิญกับภัยอันเกิดจากไฟไหม้และการถูกรังโรคกรรม คนชั่วบรตต้องเสี่ยงภัยต่อความรับผิดชอบต่อชีวิต ร่างกาย และทรัพย์สินของบุคคลภายนอก ชีวิตต้องเสี่ยงต่ออุบัติเหตุ และภัยอันตรายต่างๆ รวมทั้งโรคภัยไข้เจ็บ และความตาย จึงอาจกล่าวได้ว่าไม่มีใครในโลกนี้จะหนีพ้นจากความเสี่ยงภัยไปได้ การประกันภัยจึงเป็นการจัดความเสี่ยงภัยให้หมดสิ้นไป และทดแทนความไม่แน่นอนทั้งหลายเหล่านั้นด้วยความแน่นอน

ความเสียหายที่สืบเนื่องจากไฟ

หมายถึง ความเสียหายอันเป็นผลต่อเนื่องมาจากไฟไหม้ถ้าเกิดความเสียหายแก่ทรัพย์สินที่ได้เอาประกันอัคคีภัยไว้ ก็ได้รับความคุ้มครองตามกฎหมายประกันอัคคีภัยหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือความเสียหายใดๆ ก็ตามที่เกิดจากไฟ ไม่ว่าจะเป็นทางตรงหรือทางอ้อมก็ตาม ย่อมได้รับความคุ้มครองตามกฎหมายประกันอัคคีภัยทั้งสิ้น สำหรับความเสียหายจากไฟโดยตรงได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สำหรับความเสียหายที่สืบเนื่องจากไฟ หรือความเสียหายทางอ้อม (อัจฉรา และคณะ, 2545)

ส่วนลดสำหรับอุปกรณ์ดับเพลิง

โดยปกติแล้วกรรมการประกันภัยมีนโยบายที่จะจูงใจให้สถานประกอบการต่างๆ ร่วมกันปรับปรุงและป้องกันการเกิดอัคคีภัย ซึ่งจะสามารถลดความเสี่ยงภัย และความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้น แล้วยังมีส่วนที่จะช่วยระงับการเกิดเพลิงไหม้ตั้งแต่เริ่มต้นซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายให้หน่วยงานของภาครัฐที่จะต้องเข้าไปช่วยในการดับเพลิง และลดความสูญเสียโดยภาพรวมของประเทศ โดยกรรมการประกันภัยได้มีการกำหนดอัตราของส่วนลดอุปกรณ์ดับเพลิงต่างๆ โดยมีเงื่อนไขดังนี้ คือ ส่วนลดสำหรับอุปกรณ์ดับเพลิงทุกชนิดเมื่อรวมทั้งสิ้นแล้วตั้งแต่ 7.5% ขึ้นไปจึงมีส่วนลดได้ อัตราส่วนลดสำหรับอุปกรณ์ดับเพลิงทุกชนิดเมื่อรวมทั้งสิ้นแล้วมีอัตราส่วนลดสูงสุดทั้งหมดต้องไม่เกิน 25% (ไม่รวม Sprinkler system)

ตารางที่ 1 แสดงรายการอัตราส่วนลดสำหรับอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยด้านอัคคีภัย ซึ่งเป็น อีกตัวแปรหนึ่งที่สามารถทำให้ค่าเบี้ยประกันภัยลดลงได้เป็นอย่างมาก

รายการอัตราส่วนลดสำหรับอุปกรณ์การดับเพลิง	อัตราส่วนลด (%)
1.เครื่องดับเพลิงมือถือ (Portable Extinguisher)	2.5
2.ท่อน้ำดับเพลิง (Hydrant)	5
3.ท่อน้ำดับเพลิงขนาดเล็ก (Hose Reels)	5
4.ท่อยืนน้ำดับเพลิง (Wet Riser)	7.5
5.เครื่องแจ้งเหตุเพลิงไหม้แบบอัตโนมัติ (Automatic Fire Alarm)	2.5
6.เครื่องสูบน้ำดับเพลิงแบบเคลื่อนที่ได้ (Mobile Fire Pump)	7.5
7.เครื่องสูบน้ำดับเพลิงติดตั้งประจำ ทำงานแบบ Manual	7.5
8.เครื่องสูบน้ำดับเพลิงติดตั้งประจำทำงานแบบ Automatic	10
9.ท่อน้ำดับเพลิงภายนอก (External Hydrant)	5
10.เครื่องพรมน้ำดับเพลิงไหม้อัตโนมัติ (Automatic Sprinklers)	25-30
11.อุปกรณ์ดับเพลิงประเภทอื่นๆ ที่มีสถาบันหรือองค์กร	ไม่เกิน 10
ที่น่าเชื่อถือรับรองมาตรฐาน	

ที่มา : สมาคมประกันวินาศภัยแห่งประเทศไทย (2545)

อัตราเบี้ยประกันภัย และหลักเกณฑ์การคำนวณ สำหรับการประกันอัคคีภัยทุกภัยที่อยู่ในราชอาณาจักรไทย อัตราที่ชำระเป็นรายปีต่อจำนวนเงินเอาประกันภัยหนึ่งพันบาท (Per Mille) สำหรับใช้ในการรับประกันภัยสิ่งปลูกสร้าง และทรัพย์สินที่เก็บไว้ภายในสิ่งปลูกสร้างนั้นๆ ทั้งหมด (คณะกรรมการประกันภัยทรัพย์สิน, 2545) โดยคำนวณจาก

$$\text{เบี้ยประกันภัย} = (\text{ทุนประกันภัย} \times \text{อัตราเบี้ยประกันภัย}) - (\text{ร้อยละของส่วนลด}) \quad (1)$$

เบี้ยประกันภัย (บาท/ปี) หมายถึง จำนวนเงินที่ผู้เอาประกันภัยหรือเจ้าของทรัพย์สินสัญญาที่จะจ่ายเป็นค่าตอบแทนให้แก่ผู้รับประกันภัย โดยเพื่อให้ผู้รับประกันภัยสัญญาว่าจะชดเชยค่าเสียหายที่เกิดขึ้นกับทรัพย์สินที่เอาประกันภัย ดังในหนังสือสัญญากรมธรรม์ประกันภัย

ทุนประกันภัย (บาท) หมายถึง มูลค่าทรัพย์สินของผู้เอาประกันภัยที่จะมีความประสงค์ให้ผู้รับประกันภัยให้ความคุ้มครองและชดเชยในกรณีที่เกิดความเสียหายจากอัคคีภัย โดยมักจะประกอบด้วย มูลค่าตัวอาคาร มูลค่าสินค้าและวัตถุดิบ มูลค่าเครื่องจักร ตลอดจนเฟอร์นิเจอร์ อุปกรณ์เครื่องใช้ ตกแต่ง ติดตั้ง ทรัพย์สิน

อัตราเบี้ยประกันภัย (Per Mille) หมายถึง พิกัดที่แสดงถึงอัตราเบี้ยประกันอัคคีภัยตามลักษณะความเสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัยในธุรกิจแต่ละประเภท ซึ่งก็จะมีอัตราเบี้ยประกันภัยที่ต่างกัน รวมทั้งมีการพิจารณาถึงลักษณะโครงสร้างของอาคารหรือสิ่งปลูกสร้างประกอบกันด้วยว่ามีลักษณะเป็นเช่นไร คือเป็นสิ่งปลูกสร้างชั้น 1 2 หรือ 3 ดังระบุไว้ในพิกัดอัตราเบี้ยประกันภัย

ร้อยละของส่วนลด หมายถึง ส่วนลดโดยระบุเป็นจำนวนร้อยละของเบี้ยประกันภัย โดยขึ้นอยู่กับสถานที่เอาประกันได้มีการติดตั้งระบบการป้องกันและระงับอัคคีภัยชนิดอาสาความเสียหายจากการเกิดอัคคีภัย โดยส่วนลดของอุปกรณ์ดับเพลิงแต่ละชนิดก็จะแตกต่างกันซึ่งมีระบุไว้ในพิกัดอัตราเบี้ยประกันอัคคีภัย

หลักเกณฑ์ในการพิจารณาสิ่งปลูกสร้างในการประกันอัคคีภัย

สิ่งปลูกสร้างชั้น 1 อาคารที่มีโครงสร้างหลักเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก หรือเหล็กที่มีฉนวนห่อหุ้ม และมีผนังที่ทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก หิน อิฐฉาบปูน 2 ด้าน คอนกรีต บล็อกฉาบปูน 2 ด้าน มากกว่าร้อยละแปดสิบของพื้นที่ผนังทั้งหมด

สิ่งปลูกสร้างชั้น 2 อาคารที่โครงสร้างหลักเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก หรือเหล็กที่มีฉนวนห่อหุ้มและมีผนังที่ทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก หิน อิฐฉาบปูน 2 ด้าน คอนกรีต บล็อกฉาบปูน 2 ด้าน ร้อยละห้าสิบถึงแปดสิบของพื้นที่ผนังทั้งหมด

สิ่งปลูกสร้างชั้น 3 อาคารที่ไม่มีลักษณะตามที่กำหนดไว้ในสิ่งปลูกสร้างชั้น 1 หรือ สิ่งปลูกสร้างชั้น 2 ให้ถือเป็นสิ่งปลูกสร้างชั้น 3

2.ระบบดับเพลิงแบบสารสะอาด (HFC-227ea)

ระบบดับเพลิงแบบสารสะอาดจะใช้สารดับเพลิงสะอาด HFC-227ea ที่มีชื่อทางเคมีว่า “Heptafluoropropane” หรือ เป็นที่รู้จักกันดีในชื่อทางการค้า โดยผู้ผลิต GREAT LAKES CHEMICAL CORPORATION ใช้ชื่อทางการค้า FM-200TM และผลิตโดย DUPONT ใช้ชื่อว่า FE-277TM ซึ่งเป็นผู้ผลิตรายใหญ่มีสูตรทางเคมีคือ $CF_3CH_2CF_3$ และเอกสาร NFPA 2001 ใช้แทนด้วยสัญลักษณ์ HFC-227ea (วริทธิ์, 2546)

HFC-227ea ได้รับการจัดให้เป็นของเหลว ไม่มีสี ในขณะที่เก็บอยู่ในถังแต่เมื่อปล่อยออกมาดับเพลิงจะกลายเป็นก๊าซไม่มีสี ไม่นำไฟฟ้า ไม่ก่อให้เกิดสารตกค้างภายหลังการใช้สาร HFC-227ea ดับเพลิง โดยอาศัยกลไกทางเคมีและฟิสิกส์ร่วมกัน สภาพความเป็นพิษแก่นมนุษย์อยู่ในระดับที่ยอมรับได้เมื่อใช้งานตามที่ระบุไว้โดยหน่วยงานป้องกันสิ่งแวดล้อม EPA (Environmental Protection Agency)

2.1 สมรรถนะของ HFC-227ea

สารดับเพลิง HFC-227ea ที่เก็บอยู่ในถังต้องถูกเพิ่มความดันให้อยู่ในสถานะ Super-pressure ทั้งนี้ เพื่อให้เกิดลักษณะการไหลของสารดับเพลิงที่ให้ผลดีมากที่สุดภายใต้ช่วงอุณหภูมิที่เป็นไปได้ทั้งหมด การอัดเพิ่มความดันให้สารดับเพลิงทำได้โดยการอัดก๊าซไนโตรเจน (N_2) ลงในถังบรรจุสารดับเพลิง ก๊าซไนโตรเจนบางส่วนจะเปลี่ยนไปอยู่สถานะของเหลว ทำให้ปริมาณ

ของเหลวในถังบรรจุเพิ่มขึ้น แต่ส่วนที่เป็นก๊าซจะรวมความดันบางส่วนเข้ากับไอก๊าซของ HFC-227ea เพื่อให้ได้ความดันในระดับที่ต้องการภายใต้การสมดุลที่ 70°F (21°C) แต่ถ้าหาอุณหภูมิเพิ่มขึ้นความดันก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

HFC-227ea เป็นสารดับเพลิงในสถานะก๊าซที่มีประสิทธิภาพสูง ในการทดสอบดับเพลิงที่เกิดจาก Heptane ปรากฏว่าต้องใช้ HFC-227ea ประมาณ 6.5% โดยปริมาตร ความเข้มข้นออกแบบที่น้อยที่สุดซึ่งใช้กับระบบดับเพลิงในห้องปิด (Total Flood Application) ตามที่ NFPA 2001 กำหนดไว้ คือ 7% โดยปริมาตร

HFC-227ea สามารถใช้ได้กับเพลิงไหม้หลายประเภท คือ เพลิง Class A ซึ่งเป็นเพลิงไหม้ที่เกิดกับวัสดุทั่วไป เช่น ไม้ กระดาษ ผ้า และเป็นเพลิงไหม้ในระดับพื้นผิว (Surface-Burning Fire) เพลิง Class B ซึ่งเป็นเพลิงไหม้ที่เกิดกับของเหลวไฟ (Flammable Liquid) เช่น น้ำมัน ทินเนอร์ สี และเพลิง Class C ซึ่งเป็นเพลิงไหม้ที่เกิดกับระบบ และอุปกรณ์ไฟฟ้า (Electrical Fires)

2.2 เกณฑ์กำหนดของ HFC-227ea

HFC-227ea ได้รับการผลิตออกมาให้มีเกณฑ์กำหนด ดังนี้คือ

เนื้อสาร (Mole)	อย่างน้อย 99.6%
ความเป็นกรด (Acidity)	ไม่เกิน 3.0 ppm โดยน้ำหนัก
องค์ประกอบส่วนที่เป็นน้ำ (Water Content)	ไม่เกิน 0.001% โดยน้ำหนัก
อนุภาคตกค้างที่ละลายได้ (Soluble Residue)	ไม่เกิน 0.05% โดยปริมาตร

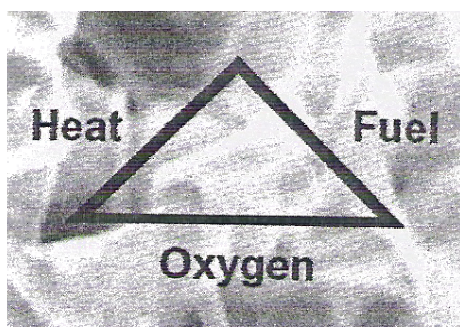
2.3 คุณสมบัติทางกายภาพของ HFC-227ea

ชื่อทางเคมี (Chemical Name)	Heptafluoropropane (CF ₃ CHFCF ₃)
น้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight)	170.03
จุดเดือด (Boiling Point) ที่ 760 mmHg	2.55°F (-16.4°C)
จุดเยือกแข็ง (Freezing point)	-204°F (-131.1°C)
อุณหภูมิวิกฤต (Critical Temperature)	215°F (101.7°C)
ความดันวิกฤต (Critical Pressure)	422 psia (2912 kPa)
ปริมาตรวิกฤต (Critical Volume)	0.0258 ft ³ /lbm (274 cc/mole)
ความหนาแน่นวิกฤต (Critical Density)	38.8 lbm/ft ³ (621 kg/m ³)

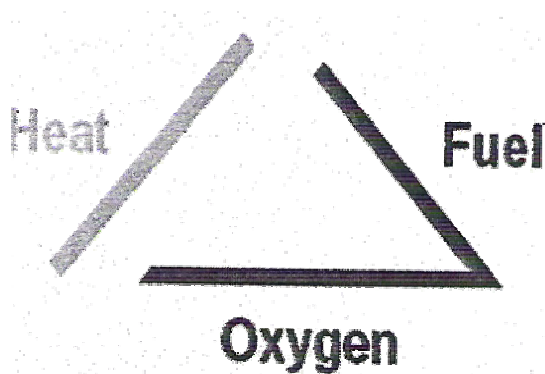
ความร้อนจำเพาะ (ของเหลว) ที่ 77°F (25°C)	0.283 BTU/lb-°F (1.184 kJ/kg°C)
ความร้อนจำเพาะ (ไอ) ที่ 77°F (25°C)	0.1932 BTU/lb-°F (0.808 kJ/kg°C)
ณ ความดันคงที่ หนึ่งบรรยากาศ	
ความร้อนในการกลายเป็นไอ ที่จุดเดือด (Heat at Vaporization, @ Boiling Point)	57.0 BTU/lb-°F (132.6 kJ/kg)
ศักยภาพในการทำลายโอโซน (Ozone Depletion Potential)	0
อายุการคงอยู่ในบรรยากาศโดยประมาณ (Est. Atmospheric Lifetime)	31-42 ปี
LC ₅₀ (ความเข้มข้นที่ทำให้หนูทดลองที่ถูกรุม HFC-227ea เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เสียชีวิตลง 50% ของประชากรทั้งหมด)	> 800,000 PPM

2.4 องค์ประกอบของไฟและหลักการดับไฟของ HFC-227ea

โดยปกติในการติดไฟหรือลุกไหม้ จะต้องประกอบด้วย 3 องค์ประกอบคือ ความร้อน เชื้อเพลิง และออกซิเจนดังภาพที่ 1 เรียกว่า “การสันดาป” HFC-227ea มีกลไกในการดับไฟที่ลูกไฟไหม้ดังต่อไปนี้



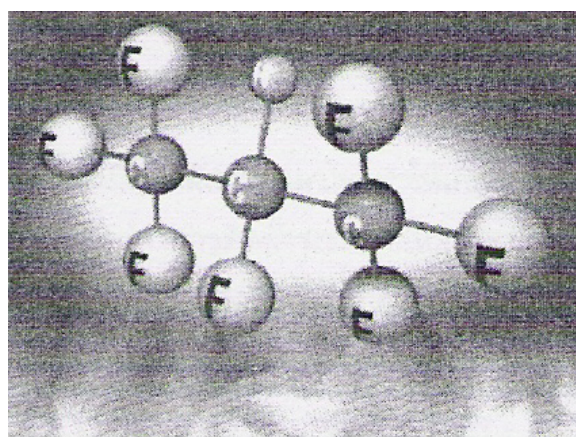
ภาพที่ 1 องค์ประกอบของการลุกไหม้
ที่มา: บริษัท แอนด์ไฟร์ จำกัด (2548)



ภาพที่ 2 การดับไฟโดยการตัดองค์ประกอบด้านความร้อน

ที่มา: บริษัท แอนด์ไฟร์ จำกัด (2548)

ในขั้นตอนของการดับไฟ ทางฟิสกส์ HFC-227ea จะทำให้เกิดความเย็นที่ระดับโมเลกุลของไฟ ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายกับสารทำความเย็นในตู้เย็นโดยทำการถ่ายเทความร้อน โดย HFC-227ea จะทำการเคลื่อนพลังงานความร้อนออกจาก 3 องค์ประกอบดังกล่าว ดังภาพที่ 2 ซึ่งจะทำให้ไฟที่ลุกไหม้ดับลง หรือไม่ให้เกิดการสันดาปอีกต่อไป



ภาพที่ 3 โครงสร้างโมเลกุลของ HFC-227ea

ที่มา: บริษัท แอนด์ไฟร์ จำกัด (2548)

ส่วนสารประกอบของสารเคมี HFC-227ea จะเกิดการทำปฏิกิริยาของสารเคมีเพื่อให้ลูกไฟไหม้ดับลงเช่นกัน จากฐานข้อมูลมากกว่า 70% ของการทดสอบความเป็นพิษ ได้พบว่า HFC-227ea มีความปลอดภัย สามารถใช้ในพื้นที่ที่คนทำงาน ที่ความเข้มข้นของสารนี้น้อยกว่า 9% ได้

2.5 การพิจารณาความปลอดภัยในการใช้ HFC-227ea

HFC-227ea จะไม่ใช้การลดระดับออกซิเจนในการดับเพลิงจึงเป็นทางเลือกความปลอดภัยสำหรับพื้นที่ที่มีคนทำงาน ซึ่งระบบอื่นๆ จะเป็นการไล่อากาศมากกว่า 50% ของพื้นที่ที่ป้องกันหลังจากการฉีด ส่วน HFC-227ea จะเข้าแทนที่อากาศเพียง 7% หลังการฉีดยังทำให้มีออกซิเจนมากพอสำหรับหายใจ

ถึงแม้ว่า HFC-227ea จะเป็นสารที่ไม่เป็นพิษต่อคน ณ ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการดับเพลิง แต่เราก็ควรพิจารณาถึงด้านความปลอดภัยบางประการในการใช้งานสารดังกล่าว

HFC-227ea ที่ฉีดออกมา อาจทำให้เกิดอันตรายต่อคนได้ ทั้งอันตรายที่มาจากธรรมชาติของตัวสารดับเพลิงเอง และทั้งที่เป็นผลผลิตซึ่งเกิดจากการแตกตัวเมื่อสารสัมผัสกับไฟ หรือพื้นผิวที่ร้อน

ความเป็นพิษ

HFC-227ea จะแยกสลายเมื่อสัมผัสกับเปลวไฟ ทำให้เกิดกรดฮาโลเจน (Halogen Acid) ซึ่งเป็นพิษ ดังนั้นต้องทำการติดตั้งระบบให้เหมาะสม และดับไฟได้รวดเร็วเพื่อให้การรวมตัวเป็นกรดฮาโลเจนเกิดขึ้นน้อยที่สุด

เสียง

การปล่อยสารดับเพลิงออกทางหัวฉีดความดันสูงอาจทำให้เกิดเสียงดังพอที่จะทำให้ตกใจได้ แต่โดยปกติจะไม่ก่อให้เกิดการบาดเจ็บหรืออันตรายใดๆ (UL 2166, 1999)

2.7 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับระบบดับเพลิง

2.7.1 ถังบรรจุสารดับเพลิง (Container)

ถังสำหรับบรรจุสารดับเพลิง HFC-227ea เป็นถังความดันที่ทำจากเหล็กซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อใช้เก็บสาร ภายใต้ความดันจนกว่าจะถูกใช้งาน อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาอยู่ระหว่าง 32 องศาฟาเรนไฮต์ ถึง 130 องศาฟาเรนไฮต์ ถังสำหรับบรรจุสารดับเพลิง มีอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ อีก คือ



ภาพที่ 4 ลักษณะถังบรรจุสารดับเพลิง HFC 227 ea

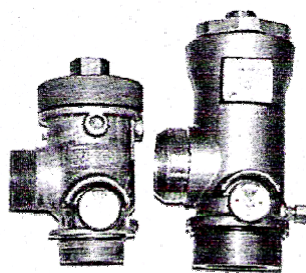
2.7.2 วาล์วปล่อยสารดับเพลิง (Discharge Valve)

วาล์วปล่อยสารดับเพลิงเป็นอุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่ในการปล่อยสารดับเพลิงจากถังบรรจุสารดับเพลิง วาล์วปล่อยสารดับเพลิงแบ่งเป็น 2 ชนิดหลักคือ

1. วาล์วสมดุลความดัน (Differential Valve)

ลักษณะของวาล์วจะมีลูกสูบอยู่ภายใน โดยหลักการจะใช้ความดันเป็นตัวขับเคลื่อน ลูกสูบในสถานะที่วาล์วปิดความดันซึ่งอยู่ระหว่างด้านบนและด้านล่างลูกสูบจะมีค่าเท่ากัน ในสถานะที่วาล์วเปิด ซึ่งเกิดจากการระบายความดันด้านบนของลูกสูบ ก็จะทำให้วาล์วเปิดทันที ตัววาล์วส่วนใหญ่ทำมาจากทองเหลือง

การเปิดวาล์วสามารถทำได้ คือ เปิดแบบอัตโนมัติ โดยนำชุดกลไกที่ควบคุมด้วยสัญญาณไฟฟ้าต่อเข้ากับวาล์วหัวถัง และเปิดแบบใช้ด้ามโยก โดยนำชุดกลไกลักษณะด้ามโยกต่อเข้ากับหัววาล์ว



ภาพที่ 5 วาล์วสมดุลความดัน

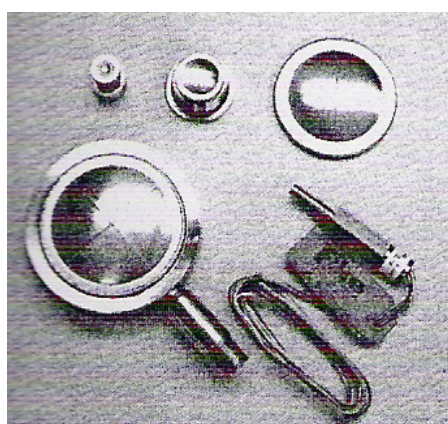
ที่มา: บริษัท แมสเทคไฟร์ เอ็นจิเนียริง จำกัด (2548)

2. วาล์วแผ่นไคอะแฟรมโลหะ (Rupture Disc Valve)

การเปิดวาล์วสามารถทำได้คือ

- เปิดแบบอัตโนมัติ โดยใช้สัญญาณไฟฟ้าไปกระตุ้นที่เรียกว่า Gas Cartridge Actuator (GCA) หรือ Initiator ทำงาน ซึ่งจะอยู่ภายใต้แผ่นไคอะแฟรมโลหะในตัววาล์วซึ่ง GCA หรือ Initiator จะทำให้เกิดความดันมากพอทำให้แผ่นไคอะแฟรมแตก ทำให้สารดับเพลิงถูกปล่อยออกมาหรือ ถ้าอุณหภูมิภายในถังสูงเกินกว่า 160 องศาฟาเรนไฮต์ จะทำให้ความดันภายในสูงถึงระดับทำให้แผ่นไคอะแฟรมโลหะแตกได้เช่นกัน

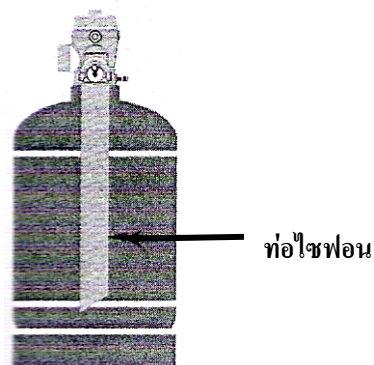
- เปิดแบบใช้มือโยก โดยนำอุปกรณ์ใช้มือโยกต่อเข้ากับชุด Initiator ซึ่งอุปกรณ์มือโยกจะต้องเป็นชนิดพิเศษที่สามารถนำมาใช้กับ Initiator ได้



ภาพที่ 6 วาล์วเป็นแผ่นไคอะแฟรมโลหะ

ที่มา: บริษัท แมสเทคไฟร์ เอ็นจิเนียริง จำกัด (2548)

2.7.3 ท่อไซฟอน (Siphon Tube)



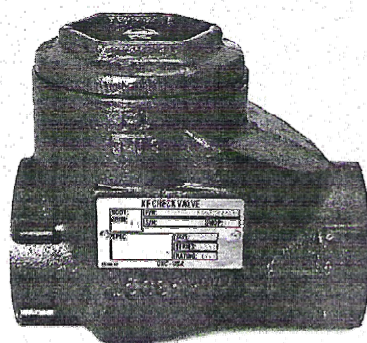
ภาพที่ 7 ท่อไซฟอนที่อยู่ภายในถัง

ที่มา: บริษัท แมสเทคไฟร์ เอ็นจิเนียริง จำกัด (2548)

ท่อไซฟอนจะต่ออยู่กับปลายด้านล่างของวาล์วปล่อยสารดับเพลิง ซึ่งอยู่ภายในถัง หน้าที่ของท่อไซฟอนคือ ช่วยอำนวยความสะดวกในการปล่อยสารดับเพลิงเหลวที่อยู่ในถังที่ตั้งอยู่ทั้งในแนวตั้งขึ้น (หัววาล์วอยู่ด้านบน) หรือแนวนอน ถ้าหากไม่มีท่อไซฟอน ถังบรรจุสารดับเพลิงที่ตั้งอยู่ในลักษณะดังนี้จะปล่อยสารดับเพลิงที่เป็นไอก๊าซออกมาเป็นเวลานาน สำหรับถังบรรจุสารดับเพลิงที่ตั้งอยู่ในตำแหน่งกลับหัว (หัววาล์วอยู่ด้านล่าง) ไม่จำเป็นต้องใช้ท่อไซฟอน

2.7.4 วาล์วกันย้อน หรือ วาล์วกันกลับ (Check Valves)

Check Valves ใช้สำหรับเชื่อมต่อระหว่างระบบหลักกับระบบสำรอง จุดมุ่งหมายของการใช้ Check Valves ก็เพื่อบังคับให้สารดับเพลิงไหลไปยังหัวฉีดสารดับเพลิงเสมอ ไม่ว่าถังจะปล่อยสารดับเพลิงออกมาหรือไม่ นอกจากนี้ถ้าหากมีถังบรรจุสารดับเพลิงใดถูกถอดออก Check Valves จะป้องกันการสูญเสียสารดับเพลิงไปทางปลายด้านที่เปิดเอาไว้ถ้าระบบทำงาน

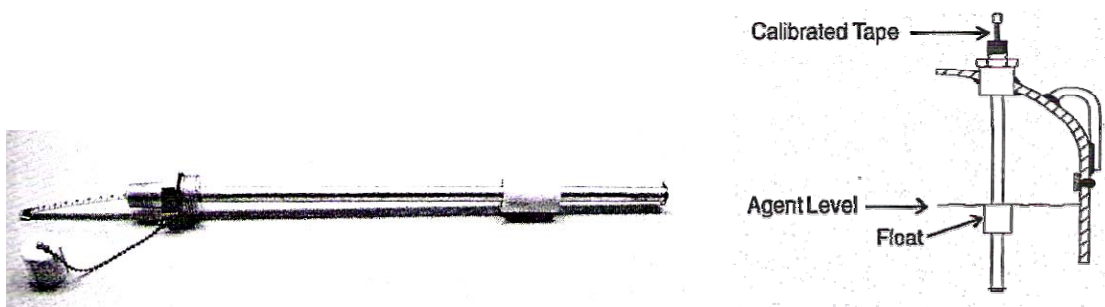


ภาพที่ 8 ลักษณะของวาล์วกันกลับ

ที่มา: บริษัท แมสเทคไฟร์ เอ็นจิเนียริง จำกัด (2548)

2.7.5 เครื่องวัดระดับของเหลว (Liquid Level Indicator)

เครื่องวัดระดับของเหลว จะช่วยในการตรวจสอบน้ำหนัของสารดับเพลิงภายในถังบรรจุที่ใช้งานได้ โดยไม่ต้องเคลื่อนย้ายถังออกจากบริเวณที่ยึดจับเอาไว้

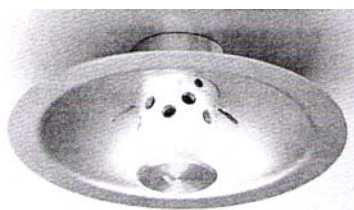


ภาพที่ 9 เครื่องวัดระดับของเหลว

ที่มา: บริษัท แมสเทคไฟร์ เอ็นจิเนียริง จำกัด (2548)

2.7.6 หัวฉีดสารดับเพลิง (Discharge Nozzle)

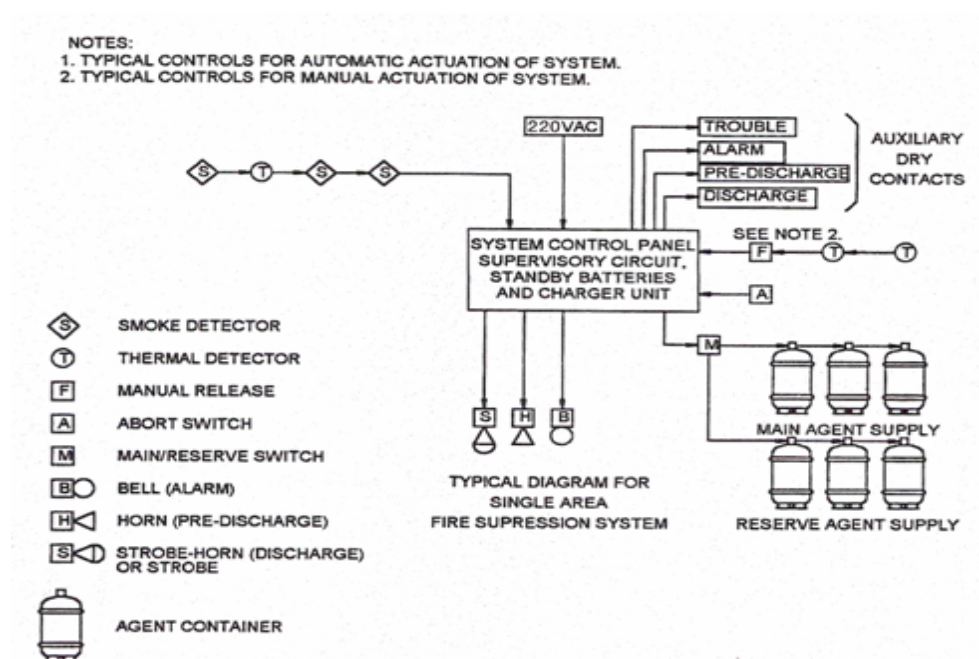
หัวฉีดเป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมการไหลของ HFC-227ea และกระจายสารดับเพลิงไปยังพื้นที่ที่ป้องกันเพลิงไหม้ หัวฉีดสารดับเพลิงถูกออกแบบมาให้สามารถปล่อยสารดับเพลิงภายในเวลาไม่เกิน 10 วินาที ถ้าได้ออกแบบระบบอย่างถูกต้องตามที่คู่มือระบุ หัวฉีดสารดับเพลิงจะทำด้วยวัสดุที่ทนการกัดกร่อน เช่น อลูมิเนียม, เหล็กกล้าไร้สนิม, ทองเหลือง หัวฉีดมีทั้งชนิดกระจายสารดับเพลิงออกไป 180° และ 360°



ภาพที่ 10 หัวฉีดสารดับเพลิง และแผ่นควบคุมทิศทางสารดับเพลิง

ที่มา: บริษัท แมสเทคไฟร์ เอ็นจิเนียริง จำกัด (2548)

2.7.7 ชุดควบคุมระบบดับเพลิง (Actuating Controls)



ภาพที่ 11 ไดอะแกรมระบบดับเพลิงอัตโนมัติ

ที่มา: บริษัท แมสเทคไฟร์ เอ็นจิเนียริง จำกัด (2548)

2.7.8 แผงควบคุม (Control Panel)

แผงควบคุมจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของ NFPA หรือเป็นชุดที่ได้รับการรับรองเพื่อใช้กับวาล์วปล่อยสารดับเพลิงนั้นๆ ในชุดแผงควบคุมจะต้องมีพลังงานแบตเตอรี่เพื่อสำรองพลังงานอย่างน้อยไม่ต่ำกว่า 24 ชั่วโมง และต้องสามารถควบคุมการปล่อยสารดับเพลิงได้ทั้งในระบบอัตโนมัติ และระบบที่ใช้มือ (Manual)



ภาพที่ 12 แผงควบคุมระบบดับเพลิง

ที่มา: บริษัท แมสเทคไฟร์ เอ็นจิเนียริง จำกัด (2548)

2.7.9 วงจรควบคุมการปล่อยสารดับเพลิง (Releasing Circuit)

วงจรควบคุมการปล่อยสารดับเพลิงจะควบคุมถึงบรรจุสารดับเพลิงแต่ละชุดโดยจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับ GCA หรือ Solenoid Value เพื่อเปิดวาล์วถึงบรรจุสารดับเพลิง



ภาพที่ 13 อุปกรณ์ปล่อยสารดับเพลิงด้วยมือ (Manual Release)

ที่มา: บริษัท แมสเทคไฟร์ เอ็นจิเนียริง จำกัด (2548)

- การปล่อยสารดับเพลิงด้วยมือ การสั่งให้ระบบทำการปล่อยสารดับเพลิงด้วยมือทำได้ โดยการดึงก้านสวิตช์ (Electrical Manual Pull Station) หรือสวิตช์กดด้วยมือ (Manual Push Button Switch) อุปกรณ์ทั้งสองประเภทจะเป็นระบบปกติเปิด (Normally Open) ถ้าหากกดหรือดึงสวิตช์ดังกล่าว วงจรควบคุมการปล่อยสารดับเพลิงจะทำงาน

- การปล่อยสารดับเพลิงอัตโนมัติถ้าต้องการให้วงจรควบคุมการปล่อยสารดับเพลิงทำงานโดยอัตโนมัติ ต้องใช้ตัวตรวจจับ (Detector) ซึ่งตามข้อกำหนดของ NFPA ได้กำหนดชนิดตัวตรวจจับสำหรับระบบดับเพลิงไว้ ดังนี้

- * Fixed temperature Thermal
- * Rate of rise thermal
- * Rate compensated thermal
- * Ionization type smoke detector
- * Photo-electric type smoke detector
- * Ultraviolet type detector
- * Infrared type detectors

2.7.10 ชุดควบคุมเพื่อเติม (Optional Controls)

อุปกรณ์ดังต่อไปนี้จำเป็นต้องมีก็ได้ แต่หากมีไว้จะช่วยให้ระบบพื้นฐานทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ชุดควบคุมเพิ่มเติมได้แก่

2.7.11 สวิตช์หลัก/สำรอง (Main/Reserve Switch)

สวิตช์หลัก/สำรอง จะใช้ในระบบดับเพลิงที่มีถังสารดับเพลิงสำรอง หลังจากที่สารดับเพลิงในถังสารดับเพลิงหลักถูกปล่อยออกไปจนหมดแล้ว สวิตช์นี้จะเปลี่ยนไปอยู่ที่ตำแหน่ง “Reserve” เพื่อให้ระบบดับเพลิงยังคงสามารถจ่ายสารดับเพลิงได้ ในขณะที่ถังถูกนำไปเติมสารดับเพลิงใหม่

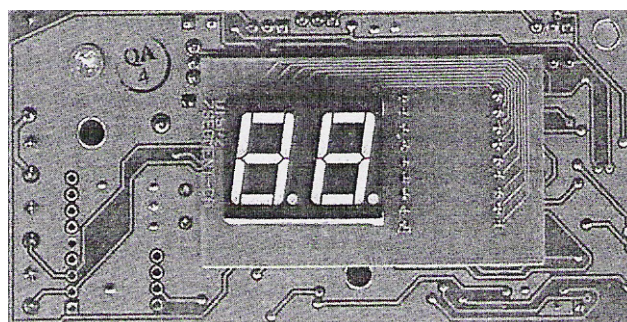


ภาพที่ 14 สวิตช์เลือกแหล่งจ่ายสารดับเพลิง

ที่มา: บริษัท แมสเทคไฟร์ เอ็นจิเนียริง จำกัด (2548)

2.7.12 ตัวหน่วงเวลา (Time Delay)

เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยหน่วงเวลาก่อนการปล่อยสารดับเพลิง สามารถตั้งค่าเวลาการหน่วงได้ตั้งแต่ 0-60 วินาที มักจะใช้เมื่อต้องการให้คนมีเวลาออกไปจากพื้นที่นั้นหรือต้องการปิดอุปกรณ์ที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการดับไฟภายในอาคารก่อนที่จะมีการปล่อยสารดับเพลิงออกไป



ภาพที่ 15 แผงวงจรของตัวหน่วงเวลา

ที่มา: บริษัท แมสเทคไฟร์ เอ็นจิเนียริง จำกัด (2548)

2.7.13 สวิตช์ระงับการทำงาน (Abort Switch)

เป็นอุปกรณ์ที่มักใช้ร่วมกับตัวหน่วงเวลา เมื่อสวิตช์ระงับการทำงานถูกกดจะทำให้วงจรควบคุมสารดับเพลิงไปสั่งปิดวาล์วจนกว่าสวิตช์จะถูกปล่อย เมื่อปล่อยสวิตช์แล้ว การปล่อยสารดับเพลิงจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อแผงชุดควบคุมอยู่ในสถานะสั่งให้ปล่อยสารดับเพลิงเท่านั้น



ภาพที่ 16 สวิตช์ระงับการทำงาน (Abort Switch)

ที่มา: บริษัท แมสเทคไฟร์ เอ็นจิเนียริง จำกัด (2548)

2.7.14 สวิตช์ความดันต่ำ (Low Pressure Switch)

ใช้สำหรับตรวจวัดความดันในถังบรรจุน้ำมันเพลิงให้ถูกต้อง สวิตช์นี้จะถูกต่อเข้ากับวงจร Supervisory Circuit ของชุดแผงควบคุม ถ้าหากความดันต่ำกว่า 285 psig สวิตช์จะอยู่ในตำแหน่งใด ซึ่งจะทำให้แผงควบคุมแจ้งเตือนให้ทราบว่าความดันในถังต่ำเกินไป



ภาพที่ 17 สวิตช์ความดันต่ำ (Low Pressure Switch)

3.หลักการเบื้องต้นในการออกแบบระบบดับเพลิง

การออกแบบระบบดับเพลิงสารสะอาด HFC-227ea ให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจ ในหลักการทางวิศวกรรม เช่นการออกแบบระบบท่อ วิธีการคำนวณหาอัตราการไหลในท่อ ฯลฯ และต้องเข้าใจถึงคุณสมบัติ และข้อจำกัดต่างๆ ของสารดับเพลิงเพื่อให้การทำงานของระบบดับเพลิงเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย

ยกตัวอย่างลักษณะที่พึงระมัดระวังของ HFC-227ea คือการแตกตัว และรวมตัวกันเป็นสารพิษ และที่มีฤทธิ์กัดกร่อนเมื่อสัมผัสกับเปลวไฟหรือพื้นผิวที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 1300°F อย่างไรก็ตาม ถ้าหากสารดับเพลิงถูกปล่อยออกมาอย่างรวดเร็วเพื่อดับเพลิงอย่างฉับพลันก็จะช่วยลดปริมาณสารดับเพลิงที่ใช้ดับเปลวไฟให้ต่ำลงได้ ตามข้อกำหนดของ NFPA 2001 เราจะต้องออกแบบให้ 95% ของปริมาณสารดับเพลิง ซึ่งถือว่าเป็นความเข้มข้นที่น้อยที่สุดในการออกแบบจะต้องถูกปล่อยออกมาให้หมดภายใน 10 วินาที ซึ่งการปล่อยสารออกมาอย่างรวดเร็วเช่นนี้ จะทำให้การแพร่กระจายของสารดับเพลิงในพื้นที่ที่เกิดเพลิงไหม้ ทำได้ไม่ดีแต่ปัญหาดังกล่าวจะหมดไปถ้ามีการออกแบบหัวฉีดสารดับเพลิง และระบบท่อได้อย่างเหมาะสม

3.1 ระบบการปล่อยสารดับเพลิง

การส่งสารดับเพลิงจากถังบรรจุสารดับเพลิงไปยังพื้นที่ที่เกิดเพลิงไหม้จะกระทำผ่านระบบท่อซึ่งเชื่อมต่อระหว่างถังบรรจุไปยังหัวฉีดที่ติดตั้งอยู่ในพื้นที่ที่เกิดเพลิงไหม้ ในขณะที่ระบบดับเพลิงทำงาน องค์ประกอบแต่ละส่วน ทั้งถังบรรจุสารดับเพลิง ระบบท่อ และหัวฉีดสารดับเพลิง จะมีหลักการการทำงานดังนี้

3.1.1 ถังบรรจุสารดับเพลิง

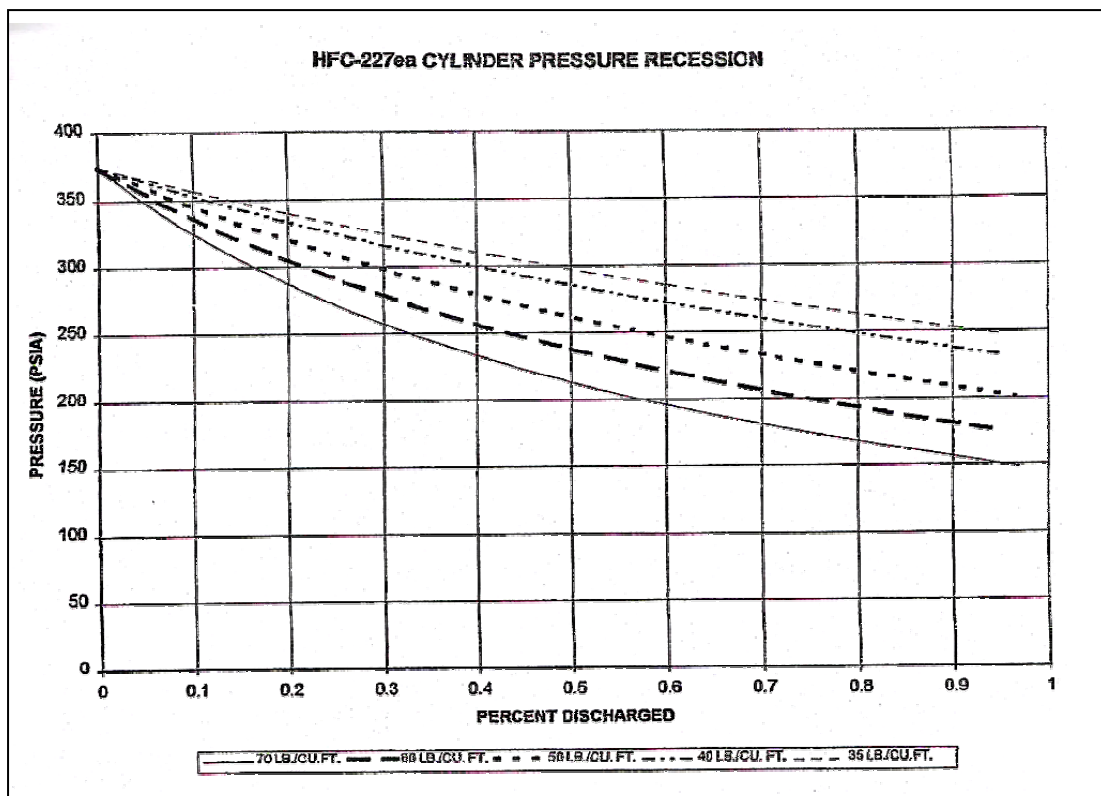
เมื่อระบบดับเพลิงทำงาน สารดับเพลิงจะไหลจากถังบรรจุสารดับเพลิงเข้าสู่ท่อส่ง โดยความดันจากภายในถังบรรจุจะทำหน้าที่ดันของเหลว (HFC-227ea ผสม N_2) ที่อยู่ด้านล่างให้ไหลไปตามท่อ ในขณะที่ความดันในถังบรรจุจะลดลงปริมาตรของไอก๊าซจะเพิ่มขึ้นตามการขยายตัว เมื่อความดันลดลง ก๊าซไนโตรเจนจะแยกตัวออกจากสารผสม (HFC-227ea กับ N_2) และกลายเป็นฟองก๊าซ ฟองก๊าซที่เกิดขึ้นไม่ใช่ก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ แต่จะมีไอก๊าซของ HFC-227ea ปนอยู่ด้วย ส่วนจะมีปริมาณเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับความดันระหว่างสารทั้งสองระหว่างที่มีการปล่อยสารดับเพลิง ของเหลวก็จะเดือด และทำให้เกิดไอก๊าซผสมขึ้นเพื่อรักษาระดับความดันของไอก๊าซ

ภายในถัง มิฉะนั้นแล้วความดันในถังจะลดลงเรื่อยๆ เพราะความดันของก๊าซในถังจะขึ้นอยู่กับ การขยายตัวของก๊าซแต่เพียงอย่างเดียว

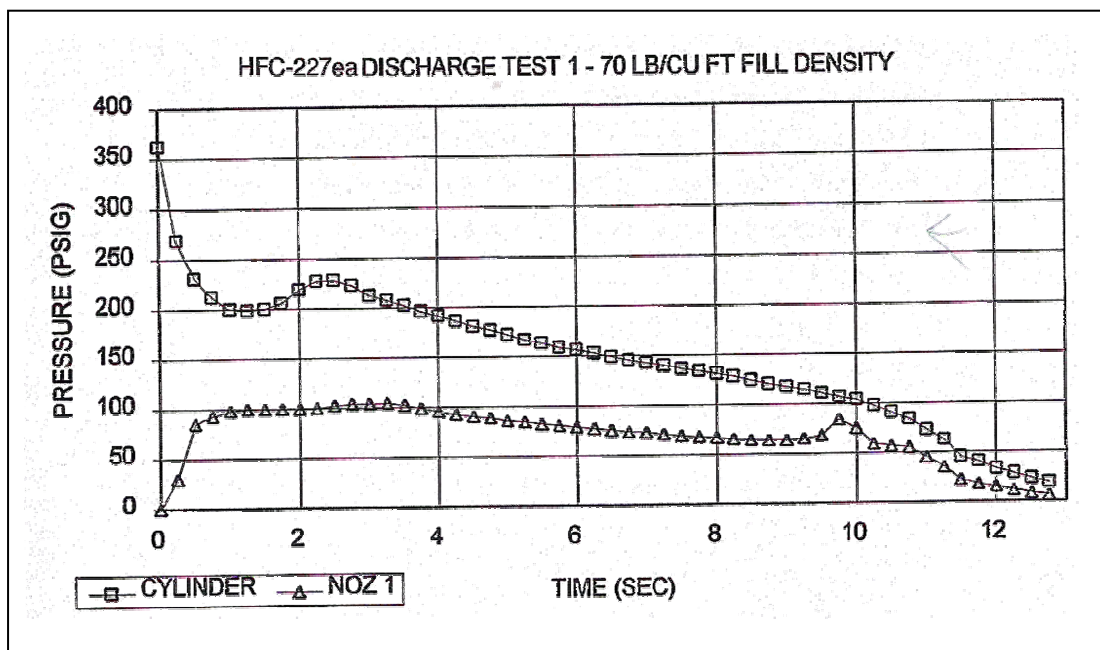
การลดลงของความดันเมื่อคำนวณตามหลักสภาพสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์ระหว่างสาร ดับเพลิงในสถานะของเหลวกับก๊าซในถังบรรจุสารดับเพลิง ความดันจะลดลงตามเส้นตรงในภาพที่ 18 ซึ่งเป็นเส้นตรงสำหรับสารดับเพลิงที่มีความหนาแน่นต่างๆ กัน แต่ในการทำงานจริง ในขณะที่มี การปล่อยสารออกมาอย่างรวดเร็วในช่วงแรก ความดันจะลดลงอย่างมากดังภาพที่ 19 และจะลดต่ำ กว่าเส้นโค้งตามทฤษฎี ทั้งนี้เนื่องจากของเหลวในถังเดือดและกลายเป็นไอก๊าซไม่ทัน แต่เมื่อใดก็ ตามที่สารดับเพลิงในถังเริ่มเดือด และเกิดก๊าซขึ้นมามากแทนแล้ว ความดันก็จะเพิ่มขึ้นไปจน ใกล้เคียงกับความดันตามทฤษฎี จากนั้นความดันก็จะเริ่มลดลงอีกครั้งโดยมีแนวโน้มการลดลง เป็นไปตามเส้นตรง ในภาพที่ 18 ก๊าซที่เกิดขึ้นจากการเดือดในถังบรรจุบางส่วนจะยังคงเหลืออยู่ใน ถัง และมีเพียงของเหลวปริมาณ 92-97% เท่านั้นที่ถูกส่งเข้าสู่ระบบท่อ ทั้งนี้ขึ้นกับความหนาแน่น ในการบรรจุสารดับเพลิงในถัง

3.1.2 ระบบการไหลในท่อ

ในขณะที่ของเหลวไหลผ่านท่อ ของเหลวในถังก็ยังคงเดือดและความดันก็ยังคง ลดลงอยู่ ดังนั้นสารดับเพลิงที่ไหลเข้าสู่ท่อจะมีทั้งสองสถานะคือของเหลวและก๊าซปนกันเรียกว่า Two-phase Flow เนื่องจากปริมาตรของไอก๊าซเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในขณะที่ความดันลดลง ความ หนาแน่นเฉลี่ยของสารดับเพลิงจะลดลงจากเดิมที่มีค่าประมาณ 100% ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุตเมื่อ ออกจากถังเหลือเพียง 20 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุตหรือน้อยกว่า ทั้งนี้ขึ้นกับความดันที่ปลายท่อ ดังนั้น เพื่อรักษาอัตราการไหลให้คงที่ความเร็วในการไหลต้องเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องซึ่งจะทำให้อัตราการ สูญเสียความดันต่อฟุต (Friction Loss per Foot) ที่อัตราการไหลที่ใช้ไม่เป็นเส้นตรงเหมือนกับน้ำ แต่จะแปรเปลี่ยนตามความหนาแน่นของสารดับเพลิงที่ตำแหน่งใดๆ ในท่อ



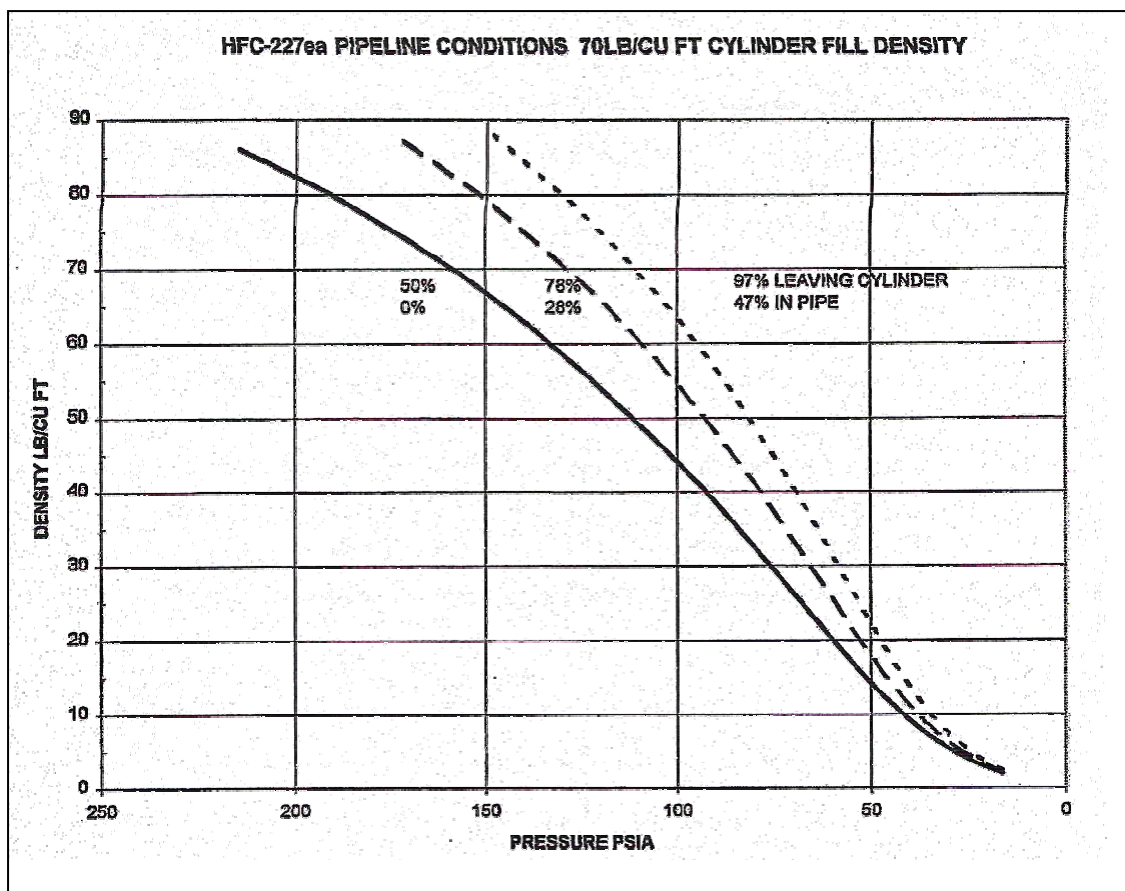
ภาพที่ 18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในถังบรรจุสารดับเพลิงกับ
เปอร์เซ็นต์สารดับเพลิงที่ถูกปล่อยจากถังบรรจุขนาดความดัน 360 psig
ที่มา : NFPA 2001 (2000)



ภาพที่ 19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเวลาในช่วงที่มีการปล่อยสารดับเพลิง
ที่มีความหนาแน่น 70 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต
ที่มา : NFPA 2001 (2000)

3.1.3 ความหนาแน่นในท่อ

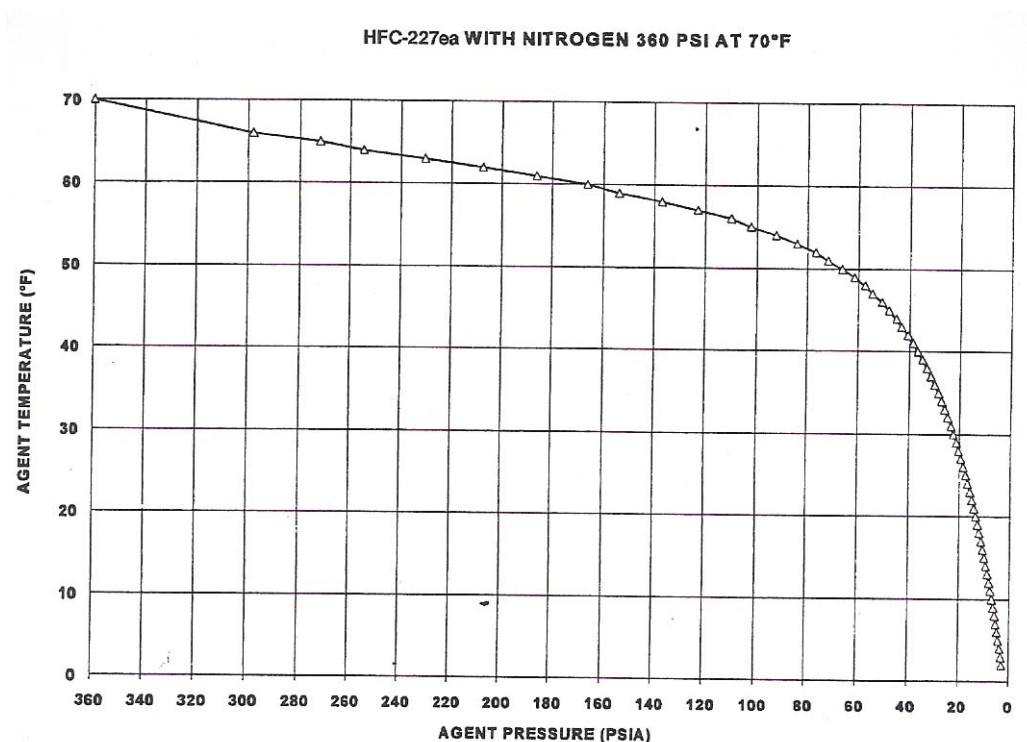
ความหนาแน่นของสารดับเพลิงที่เป็นของเหลวและก๊าซผสมกันภายในท่อสามารถคำนวณได้จากคุณสมบัติของสารดับเพลิงตามหลักเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งอธิบายถึงผลของก๊าซในโตรเจนที่ใช้เพิ่มความดันให้ HFC-227ea ความหนาแน่นของสารดับเพลิงขณะที่ถูกปล่อยออกจากถังบรรจุมักจะมีการเปลี่ยนแปลงเรื่อยๆ ตั้งแต่ตอนที่ระบบดับเพลิงเริ่มทำงาน จนกระทั่งสารดับเพลิงกลายเป็นของเหลวหมดในขณะที่ถูกปล่อยออก โดยความหนาแน่นของสารดับเพลิงในสถานะของเหลวจะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อสารดับเพลิงเหลวส่วนแรกถูกปล่อยออกจากถัง ภาพที่ 20 แสดงเส้นโค้งความหนาแน่น-ความดันที่เพิ่มขึ้นของสารดับเพลิง ที่ปล่อยออกจากถังที่มีความดัน 360 psig



ภาพที่ 20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันในท่อกับความหนาแน่นในท่อ
ที่มา : NFPA 2001 (2000)

3.1.4 อุณหภูมิ

ขณะที่สารไหลออกจากถังบรรจุน้ำไปยังระบบท่อ การลดลงของความดันจะเกิดขึ้น พร้อมกับการลดลงของอุณหภูมิ โดยการลดลงของความดันและอุณหภูมิในถังบรรจุน้ำระดับเพลิง ขนาดความดัน 360 psig ความหนาแน่น 70 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุตในขณะที่มีการปล่อยสารระดับเพลิง สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 21 การลดลงของอุณหภูมินี้ อาจทำให้สารระดับเพลิงภายในระบบท่อนั้น เย็นกว่าอุณหภูมิล้อมรอบได้



ภาพที่ 21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของสารดับเพลิงกับความดัน
ขณะที่ไหลผ่านระบบท่อ
ที่มา : NFPA 2001 (2000)

3.1.5 เวลาเริ่มต้นในการเกิดไอก๊าซ

หลังจากที่วาล์วของถังบรรจุเปิดออก จะมีช่วงเวลาสั้นๆ ที่อากาศที่ค้างอยู่ในระบบท่อ ถูกขับออกมาทางหัวฉีดสารดับเพลิง จากนั้นในขณะที่ HFC-227ea เริ่มไหลเข้าสู่ท่อ ความร้อนจะถูกระบายออกจากท่อจนกระทั่งอุณหภูมิของท่อเท่ากับอุณหภูมิของสารดับเพลิงที่ไหลอยู่ การระบายความร้อนนี้จะเกิดขึ้นมากในช่วงที่เริ่มปล่อยสารดับเพลิงเข้าสู่ระบบท่อ ซึ่งทำให้สารดับเพลิงได้รับความร้อน และกลายเป็นไอก๊าซที่จะไปถึงหัวฉีด โดยทฤษฎีแล้วจะสมมุติให้ไอก๊าซมีอัตราการไหลเพียงแค่ครึ่งหนึ่งของของเหลว ดังนั้นการกลายเป็นไอนี้จึงจะจำกัดอัตราการไหลของ HFC-227ea จนกระทั่งอุณหภูมิของสารดับเพลิงและท่อ เข้าสู่สภาวะสมดุล ช่วงเวลาสั้นๆ ที่มีการปล่อยอากาศ และไอก๊าซออกจากระบบท่อนี้เรียกว่า เวลาเริ่มต้นในการเกิดไอก๊าซ

3.1.6 การไหลของสารดับเพลิง

ในตอนเริ่มต้นของการปล่อยสารดับเพลิง จะเกิดเวลาหน่วง (Time Delay) ระหว่างการเปิดวาล์วถึงดับเพลิงกับเวลาที่สารดับเพลิงในสถานะของเหลวเริ่มถูกปล่อยออกจากหัวฉีด ระยะเวลาหน่วงดังกล่าว เกิดขึ้นเนื่องจากปรากฏการณ์ทางกายภาพ 3 ประการ คือ

- 1) การไหลอากาศที่ค้างอยู่ออกจากระบบท่อ
- 2) เวลาที่ต้องการเพื่อให้คลื่นความดันเดินทางจากถังบรรจุไปยังหัวฉีด
- 3) การกลายเป็นไอของสารดับเพลิงเนื่องจากได้รับความร้อนจากระบบท่อ

ระยะเวลาหน่วงที่เกิดขึ้นที่หัวฉีดแต่ละหัวในระบบที่ไม่สมดุลจะไม่เท่ากัน โดยหัวฉีดที่อยู่ใกล้ถังบรรจุจะปล่อยสารดับเพลิงก่อนหัวฉีดที่อยู่ไกลกว่าหลังจากที่ระบบจะคงที่ จนกระทั่งสารดับเพลิงในสถานะของเหลวชุดสุดท้ายถูกปล่อยออกมาสารดับเพลิงเหลวชุดสุดท้ายนี้จะถูกขับเคลื่อนออกมาโดยก๊าซที่ยังหลงเหลืออยู่ในถังบรรจุจากนั้นระยะเวลาหน่วงของสารดับเพลิงจะเกิดขึ้นอีกครั้งขณะที่สารดับเพลิงเหลวถูกปล่อยออกมาจนหมด และหัวฉีดปล่อยไอก๊าซของสารดับเพลิงออกมาหัวฉีดแต่ละหัวจะปล่อยสารออกมาจนหมดไม่พร้อมกัน โดยหัวฉีดที่อยู่ใกล้จะหยุดปล่อยสารดับเพลิงช้ากว่าหัวฉีดที่อยู่ไกล

3.1.7 การแยกสถานะ

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า สารดับเพลิง HFC-227ea ที่ปล่อยออกมาเป็นของผสมระหว่างของเหลวกับก๊าซ ซึ่งถ้าเป็นการไหลในท่อที่มีขนาดพอเหมาะ ความเร็วของการไหลจะมากพอจนเกิดการปั่นป่วน (Turbulent) ขึ้น ซึ่งจะทำให้ของเหลวและก๊าซผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ แต่ถ้าใช้ท่อที่มีขนาดใหญ่เกินไปเมื่อเทียบกับอัตราการไหลของสาร ความเร็วของการไหลจะน้อยจนอาจเกิดการแยกตัวระหว่างของเหลวกับก๊าซได้ ซึ่งจะทำให้การไหลในท่อที่เกิดขึ้นมีรูปแบบหนึ่งภายใน 2 แบบนี้ โดยที่เราไม่สามารถกำหนดล่วงหน้าได้ คือ

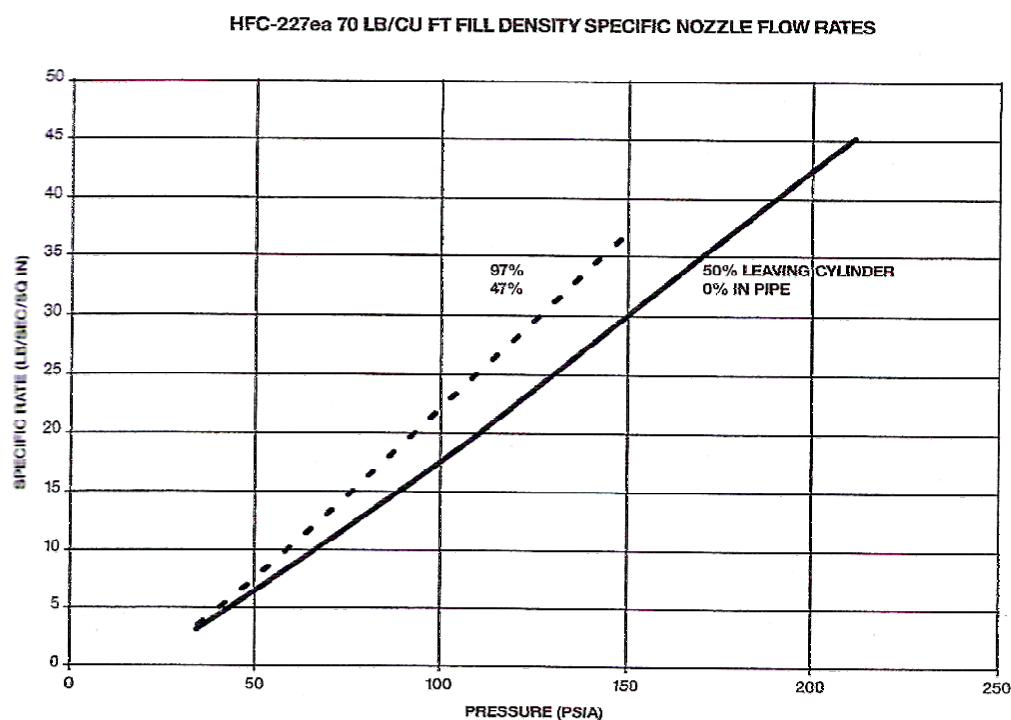
- 1) กลุ่มสารดับเพลิงที่มีส่วนผสมของของเหลวและก๊าซไม่แน่นอน จะไหลผ่านท่อ
- 2) ของเหลวจะไหลอยู่ด้านล่างของท่อ ส่วนไอก๊าซจะไหลอยู่เหนือของเหลว ซึ่งถ้าหากการแยกตัวนี้เกิดขึ้นในท่อสาขาที่เชื่อมต่อกับหัวฉีด การปล่อยสารจากหัวฉีดจะเกิดเป็นระยะๆ และไม่ต่อเนื่อง ทั้งนี้เนื่องจากการไหลของสารดับเพลิงเหลวและก๊าซไม่คงที่

ในการคำนวณอัตราการไหลโดยคอมพิวเตอร์จะใช้แรงเสียดทานภายในระบบท่อซึ่งสมมติให้มีสภาวะการไหลแบบปั่นป่วน

3.2 หัวฉีดสารดับเพลิง

หัวฉีดสารดับเพลิงเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่กระจายสารดับเพลิงไปยังพื้นที่ที่จะดับเพลิง โดยที่อัตราการไหลของหัวฉีดจะขึ้นอยู่กับความเร็ว ความดัน และความหนาแน่นของสารดับเพลิง ส่วนอัตราการไหลผ่านหัวฉีดจะถูกจำกัดโดยปริมาณการไหลที่สามารถไหลผ่านระบบท่อมายังหัวฉีดสารดับเพลิง

3.2.1 การไหลในท่อที่มากที่สุด



ภาพที่ 22 แสดงอัตราการไหลจำเพาะสูงสุดในท่อเป็นฟังก์ชันของความดันรวมสำหรับ

ถังบรรจุน้ำขนาด 360 psig

ที่มา : NFPA 2001 (2000)

อัตราการไหลมากที่สุดที่สามารถเกิดขึ้นที่ความเร็ว ความหนาแน่น และความดันที่กำหนดจะเป็นไปตามกฎของการอนุรักษ์พลังงาน ในภาพที่ 22 แสดงอัตราการไหลจำเพาะสูงสุดในท่อในรูปฟังก์ชันของความดันรวมสำหรับถึงบรรจุนา 360 psig ความหนาแน่นที่ใช้ในการคำนวณนี้เป็นความหนาแน่นเฉลี่ยสำหรับหลายๆ ระบบแล้วเพิ่มตัวแปรเพื่อชดเชยผลของความเร็วเข้าไป ในภาพนี้จะแสดงให้เห็นถึงอัตราการไหลที่มากที่สุดซึ่งอาจเกิดขึ้นจากท่อปลายเปิด ณ ความดันที่กำหนดให้ แต่ความดันลดลง Orifice ที่ติดเข้ากับปลายท่อจะจำกัดอัตราการไหลให้น้อยกว่าอัตราการไหลในภาพนี้

3.2.2 การกำหนดค่าซีบิงหัวฉีดสารดับเพลิง

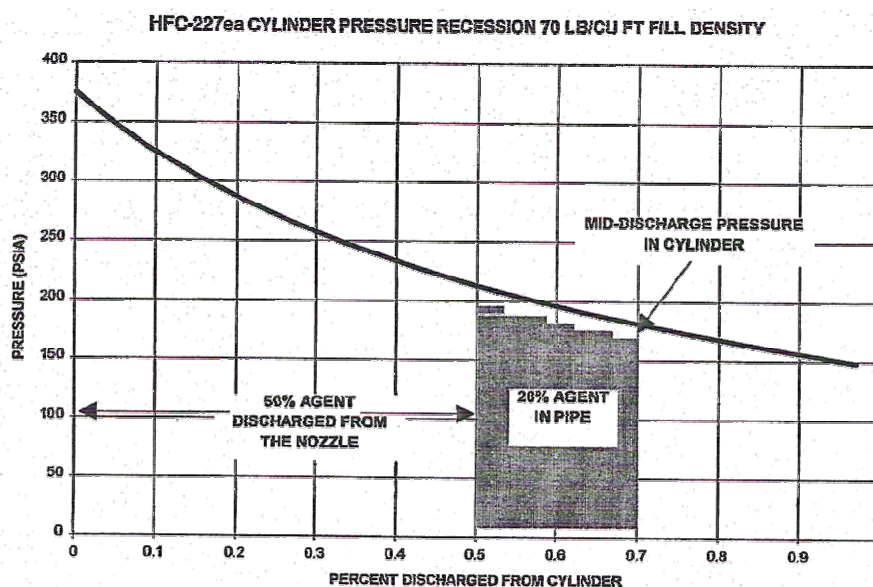
หัวฉีดสารดับเพลิงจะถูกกำหนดค่าซีบิง โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการไหลอย่างสมบูรณ์จากท่อปลายเปิด ดังนั้นอัตราการไหลผ่านหัวฉีดจะอยู่ในช่วง 1-100% ของการไหลผ่านท่อในขณะที่ยังไม่ติดตั้งหัวฉีด

3.2.3 สถานะความดันเฉลี่ย

เนื่องจากสถานะในถังบรรจุนาที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาที่มีการปล่อยสารดับเพลิงนั้น มีผลต่อหัวฉีดสารดับเพลิง ดังนั้น ในการคำนวณจึงต้องใช้สถานะเฉลี่ยแทนอย่างไรก็ตาม ปริมาตรของท่อก็จะมีผลต่อความดันเฉลี่ย ความหนาแน่นเฉลี่ยและความเร็วเฉลี่ยที่หัวฉีดด้วย สถานะเฉลี่ยที่หัวฉีดนี้จะเป็นตัวกำหนดปริมาณและระยะเวลาของการปล่อยสารในแต่ละหัวฉีด

3.2.4 ความดันเฉลี่ยของหัวฉีด

ความดันเฉลี่ยของหัวฉีดจะวัดในขณะที่สารดับเพลิงในสถานะของเหลวถูกปล่อยออกมาครั้งหนึ่ง การลดลงของความดันระหว่างถังบรรจุนากับหัวฉีดจะต้องคำนวณ ณ จุดที่มีการปล่อยสารไป 50% สำหรับความดันในถังบรรจุนาที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในการคำนวณ จะต้องดูจากค่าความดันที่ลดลงระหว่างถังบรรจุนากับหัวฉีด ณ ตำแหน่งที่มีการปล่อยสารดับเพลิง 50% รวมกับปริมาณสารดับเพลิงที่อยู่ในท่อด้วย ยกตัวอย่างเช่น ถ้าหากหัวฉีดปล่อยสารดับเพลิงไปแล้ว 50% และในขณะนั้นในระบบท่อบีสารดับเพลิงอยู่ประมาณ 20% โดยน้ำหนัก ความดันของถังบรรจุนาที่จะใช้ในการคำนวณคือค่าความดัน ณ จุดที่มีการปล่อยสารดับเพลิงไปแล้ว 70% (ภาพที่ 23)



ภาพที่ 23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในถังบรรจุกับปริมาณสารดับเพลิงที่ปล่อยออก

ที่มา : NFPA 2001 (2000)

3.2.5 เวลาที่สารดับเพลิงมาถึง (Liquid Arrival Time)

เวลาที่ใช้นานกว่าสารดับเพลิงเหลวชุดแรกจะไหลจากถังบรรจุไหลมายังแต่ละหัวฉีดเรียกว่า เวลาที่สารดับเพลิงมาถึง (Liquid Arrival Time) เวลานี้จะขึ้นอยู่กับความยาวของท่อระหว่างถังบรรจุกับหัวฉีด และความเร็วของสารดับเพลิงเหลวในท่อ แต่ต้องมีค่าไม่เกิน 1 วินาที

3.2.6 เวลาที่สารดับเพลิงหมด

ขณะที่สารดับเพลิงในสถานะของเหลวชุดสุดท้ายไหลออกจากถังบรรจุไวก๊าซที่หลงเหลืออยู่จะถูกปล่อยตามออกมา ถ้าเป็นระบบที่ไม่สมดุล เวลาที่สารดับเพลิงในสถานะผสมระหว่างของเหลวกับก๊าซจะมาถึงแต่ละหัวฉีด (หรือเวลาที่สารดับเพลิงเหลวจะถูกปล่อยออกจนหมด) จะแตกต่างกัน แต่ไม่ควรต่างกันเกิน 2 วินาที

3.3 กฎการไหลของสารสองสถานะ (Two-Phase Hydraulics)

สมการที่ใช้ในการคำนวณความดันที่ลดลง ของระบบดับเพลิง HFC-227ea มาจากกฎการอนุรักษ์พลังงานพื้นฐาน สมการนี้ถูกกำหนดในภาพที่เหมาะสมต่อการคำนวณการไหลในระบบท่อซึ่งความหนาแน่นของสารที่ไหลมีการเปลี่ยนแปลงอย่างคงที่

3.3.1 สมการการไหลของสารสองสถานะ

สมการการไหลของสารได้มาจากสมการเบอร์นูลลี (Bernoulli's Equation) คือ

$$\text{Pressure Head} + \text{Velocity Head} + \text{Friction Head} + \text{Elevation Head} = 0 \quad (2)$$

โดยปกติการเปลี่ยนแปลงความดันเนื่องจากความสูง (Elevation Head) มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่าอื่นๆ จึงให้ตัดทิ้งออกจากสมการได้ ดังนั้นสมการการไหลจะเหลือแต่เพียง

$$K_1 \frac{Q^2 f}{D^5} dL + \frac{pdP}{144} + K_2 \frac{Q^2 dp}{D^4 p} = 0 \quad (3)$$

เมื่อ

$$K_1 = 96 / \pi^2 g$$

$$K_2 = 17.6 / \pi^2 g$$

Q = อัตราการไหล, ปอนด์ต่อวินาที

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ, นิ้ว

L = ความยาว, ฟุต

ρ = ความหนาแน่นของสาร, ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต

P = ความดัน, ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

f = แฟกเตอร์ความเสียดทานของท่อ

ในการใช้สมการดังกล่าวต้องมีการกำหนดความสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ของความดันกับความหนาแน่นของสารภายในท่อให้เหมาะสม

3.3.2 ความดันเนื่องจากความเร็ว (Velocity Head)

ถึงแม้ในสมการจะมีพจน์ของการเปลี่ยนแปลงความดันเนื่องจากความเร็วสลับเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของสาร แต่สมการดังกล่าวยังไม่รวมค่าการเปลี่ยนแปลงความดันอันเนื่องมาจากความเร็วที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของการไหล (lb./Sec./in.^2) ได้ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นเมื่อการเปลี่ยนแปลงขนาดท่อ หรือเปลี่ยนอัตราการไหลเนื่องจากเป็นจุดแยกของท่อ สมการต่อไปนี้เป็นสมการของความดันเนื่องจากความเร็วในหน่วย PSI

$$\text{Velocity Head (psi)} = 3.63Q^2 / \rho D^4 \quad (4)$$

3.3.3 อัตราการไหลสูงสุด

จากสมการการไหล ที่ปลายท่อจะมีระยะความยาวเป็นศูนย์ ความดันเนื่องจากแรงเสียดทาน (Friction Head) จึงเป็นศูนย์ ดังนั้นความดัน (Pressure Head) จะแปลงรูปเป็นความดันเนื่องจากความเร็ว (Velocity Head) ทั้งหมดที่ปลายท่อ การหาค่าอัตราการไหลสูงสุดที่ปลายท่อ ภายใต้สภาพความดัน-ความหนาแน่นที่กำหนด จึงทำได้โดยการจัดสมการให้ Pressure Head เท่ากับ Velocity Head

3.3.4 อัตราการไหลที่หัวฉีดสารดับเพลิง

อัตราการไหลของสารจากหัวฉีดสารดับเพลิง สามารถคำนวณได้โดยสมการ

$$Q_{\text{nozzle}} = \frac{\text{Code}}{100} \times \text{Area}_{\text{pipe}} \times R \quad (5)$$

- เมื่อ Q_{nozzle} = อัตราการไหลของหัวฉีด, ปอนด์ต่อวินาที
 Code = ค่าชี้บ่งของหัวฉีดสารดับเพลิง (ประสิทธิภาพในการจ่ายสารดับเพลิงของหัวฉีด เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของการไหลของหัวฉีด เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของการไหลในท่อสูงสุด)
 $\text{Area}_{\text{pipe}}$ = พื้นที่ตัดขวางภายในของท่อส่ง, ตารางนิ้ว
 R = อัตราการไหลเฉพาะในท่อสูงสุดตามทฤษฎีที่คำนวณจากความดันรวมปลายท่อ (Total Terminal Pressure) ภายใต้สภาวะความดัน-ความหนาแน่นที่กำหนด, ปอนด์ต่อวินาทีต่อตารางนิ้ว

ความดันรวมปลายท่อ (Total Terminal Pressure) คือผลรวมของความดันสถิตย์ (Static Pressure) และความดันเนื่องจากความเร็ว

4. กฎหมายและมาตรฐานที่ใช้อ้างอิง

ระบบการป้องกันอัคคีภัยที่ถูกออกแบบและติดตั้ง จะต้องสอดคล้องกับข้อกำหนดในกฎหมาย และในอนาคตกฎหมายจะอ้างอิงมาตรฐานสากลและมาตรฐานของวิศวกรรมแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (ว.ส.ท.) ด้วย เช่น กฎกระทรวงตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร จึงควรทราบว่ากฎหมายและมาตรฐานที่สำคัญมีอะไรบ้าง การปฏิบัติวิชาชีพสถาปัตยกรรมและวิศวกรรม โดยไม่มีกฎหมายหรือมาตรฐานอ้างอิง หากเกิดความผิดพลาด ความรับผิดชอบก็จะตกอยู่กับผู้ประกอบวิชาชีพนั้นแต่เพียงผู้เดียว ในกรณีวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ค้นคว้ากฎหมายและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องมีรายละเอียด ดังนี้

4.1 ประมวลกฎหมายแพ่งและพาณิชย์ บรรพ3 ลักษณะ20 ประกันภัยได้ให้สิทธิและหน้าที่ของผู้รับประกันภัย ผู้เอาประกันภัย และผู้รับผลประโยชน์ โดยครอบคลุมเนื้อหาตั้งแต่การรับประกันภัย จนกระทั่งการเรียกชดเชยค่าสินไหมทดแทน

4.2 พิกัดอัตราเบี้ยประกันอัคคีภัย โดยสมาคมประกันวินาศภัย ซึ่งได้กำหนดอัตราเบี้ยประกันอัคคีภัยในแต่ละธุรกิจ และได้กำหนดอัตราส่วนลดอุปกรณดับเพลิงชนิดต่างๆ เพื่อดึงดูดให้ผู้เอาประกันภัยมีส่วนร่วมในความรับผิดชอบในการบริหารความเสี่ยงภัยของตัวเอง

4.3 พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พระราชบัญญัติฉบับนี้ได้ประกาศใช้เป็นฉบับแรกในปี พ.ศ. 2522 และฉบับที่ 2 ในปี พ.ศ. 2535 เพื่อใช้ควบคุมการก่อสร้างอาคาร โดยมีกรมโยธาธิการ และผังเมือง สังกัดกระทรวงมหาดไทย เป็นผู้รับผิดชอบในการร่างกฎกระทรวง และมีคณะกรรมการควบคุมอาคาร

4.4 พระราชบัญญัติป้องกันและระงับอัคคีภัย พระราชบัญญัติฉบับนี้ประกาศใช้ครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ.2495 แก้ไขเพิ่มเติม ปี พ.ศ.2499 และเป็นกฎหมายว่าด้วยการป้องกันและระงับอัคคีภัยโดยตรง แต่ไม่ค่อยเป็นที่รู้จัก เนื่องจากไม่มีกฎหมายลูกรองรับเหมือนกฎหมายฉบับอื่น เมื่อวันที่ 19 เมษายน.2542 รัฐสภาได้ผ่านร่างพรบ.ฉบับนี้อีกวาระหนึ่ง โดยกฎหมายฉบับนี้ได้กำหนดอำนาจหน้าที่ของผู้อำนวยการดับเพลิง และเจ้าพนักงานท้องถิ่น อำนาจของรัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทย

4.5 มาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (ว.ส.ท.) ได้จัดทำมาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย โดยคณะกรรมการสาขาวิศวกรรมเครื่องกล และฉบับแรกปี พ.ศ.2526 ฉบับล่าสุดแก้ไขครั้งที่ 1 ปี พ.ศ.2545 เพื่อกำหนดมาตรฐานระบบดับเพลิงแบบสารสะอาด โดยคณะกรรมการ จะมีการพิจารณา ปรับปรุงมาตรฐาน เป็นระยะ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน และให้ทันสมัย

4.6 มาตรฐานต่างประเทศที่ใช้อ้างอิงในประเทศไทย มาตรฐานของ National Fire Protection Association [NFPA] ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นมาตรฐานสากล ที่กำหนดมาตรฐาน การป้องกันอัคคีภัย ไว้อย่าง กว้างขวาง และได้รับการยอมรับทั่วโลก

4.7 มาตรฐานการทดสอบ มาตรฐาน ที่เกี่ยวกับการทดสอบที่นิยมใช้กันก็คือมาตรฐาน American Society of Testing Material (ASTM) และ British Standards (BS) โดยสถาบันที่รับทำการทดสอบที่รู้จักกันดีคือ Underwriters Laboratories, Inc. (UL) อุปกรณ์ที่ผ่าน การทดสอบจะถูกพิมพ์ในหนังสือรายการประจำปีที่เรียกว่า UL Listed, Factory Mutual (FM) ซึ่งรับรองมาตรฐาน อุปกรณ์ดับเพลิงในระบบสารสะอาด เป็นต้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Robin (2000) ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการดับเพลิงของเชื้อเพลิงประเภท A ด้วยสารดับเพลิงสะอาด จำพวก Halocarbon agents และ Inert gas agents โดยใช้สารดับเพลิงชนิดต่างๆ พบว่าสารดับเพลิงจำพวก Halocarbon agents สามารถดับไฟที่เกิดจากพลาสติกได้ดี และ จำพวก Inert gas agents จะดับไฟที่เกิดจากไม้ได้ดี และยังสามารถป้องกันการลุกติดไฟซ้ำได้ภายในช่วงเวลา 10 นาที

ศกพลวรรณ (2544) ได้ทำการศึกษาระบบดับเพลิงแบบสารสะอาดโดยเปรียบเทียบให้เห็นได้ว่า ระบบ FM-200 หรือระบบ Inert Gas Agent มีความเหมาะสมในการเลือกใช้เพื่อทำหน้าที่ในการดับเพลิงสำหรับห้องคอมพิวเตอร์, ห้องสมุด, ห้องไฟฟ้า, ห้องชุมสายโทรศัพท์ หรือห้องที่มีอุปกรณ์ราคาแพงทั้งสิ้น โดยที่ระบบ FM-200 จะมีค่าติดตั้งเริ่มต้นถูกกว่าระบบ Inert Gas Agent ประมาณ 20 % แต่มีค่าใช้จ่ายในการที่จะ Refill สารแพงกว่าระบบ Inert Gas Agent ประมาณ 5 เท่า ดังนั้น จึงขึ้นอยู่กับการตัดสินใจเลือกใช้ตามความเหมาะสม

เฉลิมเกียรติ (2539) ได้ทำการวิจัยโดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อหาพิภคอัตรา เบี้ยประกันอัคคีภัยที่เหมาะสม โดยใช้ข้อมูลการรับประกัน อัคคีภัยในเขตกรุงเทพมหานคร ระหว่างปี พ.ศ. 2535-2537 จำนวน 1,707,416 กรมธรรม์ การวิจัยในแต่ละรหัสลักษณะภัย จะทำเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนในการหาอัตราเบี้ยประกัน อัคคีภัย และขั้นตอนในการวัดกลุ่มความเสี่ยงภัย โดย พิจารณาจาก ลำดับชั้นของสิ่งปลูกสร้าง ความเป็นภัยโดดเดี่ยวหรือไม่เป็นภัยโดดเดี่ยว และรหัสภัยนอก วิธีการ ทางสถิติที่นำมาใช้ในการวัดอิทธิพลของแต่ละปัจจัย คือ การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis) เพื่อหาค่าความเสี่ยงภัยในแต่ละระดับ และควรที่จะปรับอัตรา เบี้ยประกัน อัคคีภัยลงประมาณร้อยละ 58.89 และ 5 รหัส ลักษณะภัยควรที่จะปรับอัตราเบี้ยประกันอัคคีภัยเพิ่มขึ้น จากเดิมเฉลี่ยประมาณร้อยละ 9.44 การปรับอัตราเบี้ย ประกันอัคคีภัยให้สอดคล้องกับสภาพ ความเสี่ยงภัยที่ เกิดขึ้นดังกล่าวจะมีผลทำให้ อัตราเบี้ยประกันอัคคีภัย มีความถูกต้องเหมาะสมมากขึ้นกว่าที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังกล่าวเป็นข้อมูลและแนวทางสำคัญในการตัดสินใจเลือกระบบดับเพลิงแบบสารสะอาดชนิด HFC 227ea มาประยุกต์ใช้ในห้อง Inventory ของอาคาร ห้างสรรพสินค้า และเป็นแนวทางในการศึกษาวิธีการโอนความเสี่ยงภัย (Risk Transfer) รวมทั้งการ

ปรับปรุงระบบดับเพลิงให้มีมาตรฐานเป็นที่ยอมรับจากบริษัทประกันภัย ดังที่กล่าวในวิทยานิพนธ์นี้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

1.1 Intel Pentium IV

1.2 CPU 1.4 GHz

1.3 RAM 240 MB

2. โปรแกรมที่ใช้

2.1 โปรแกรมการเขียนแบบ AUTO CAD ใช้ในการเขียนแบบ

2.2 โปรแกรม Microsoft office 2002 ใช้ในการจัดทำเอกสารและแบบช่วยคำนวณ

2.3 โปรแกรม ACD See 7.0 ใช้ในการจัดและตกแต่งภาพ

วิธีการ

1. ศึกษาทฤษฎีและรวบรวมข้อมูล

1.1 รวบรวมข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับห้างสรรพสินค้า และห้อง Inventory เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบระบบดับเพลิง และคำนวณเบี้ยประกันอัคคีภัย

1.2 ศึกษาข้อมูล การออกแบบจากหนังสือ บทความ และมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

2. ออกแบบระบบดับเพลิงโดยสาร HFC-227 ea สำหรับห้อง Inventory ทั้ง 5 ขนาด โดยอ้างอิงตาม มาตรฐาน NFPA 2001

3.ประเมินค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบดับเพลิงโดยสาร HFC-227 ea สำหรับห้อง Inventory ทั้ง 5 ขนาด

4. คำนวณและเปรียบเทียบค่าเบี้ยประกันอัคคีภัยก่อนและหลังที่มีการติดตั้งระบบดับเพลิงโดยสาร HFC-227 ea

5. เปรียบเทียบความเหมาะสมในจุดคุ้มทุนเชิงธุรกิจระหว่างค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบดับเพลิง กับค่าใช้จ่ายเบี้ยประกันอัคคีภัย

6. นำเสนอแนวทางและสรุปผลการออกแบบระบบดับเพลิงโดยสาร HFC-227 ea สำหรับห้อง Inventory ทั้ง 5 ขนาด ที่เหมาะสมสำหรับอาคารทั้ง 5 ขนาด โดยพิจารณาความเหมาะสมกับเบี้ยประกันอัคคีภัย

ในงานวิจัยนี้ มีการคำนวณหลายขั้นตอน และใช้สูตรในการคำนวณหลายสูตร ผู้ทำวิจัยจึงได้ออกแบบเอกสารเพื่อเป็นแบบช่วยคำนวณ ซึ่งแบ่งเป็น 3 ส่วน

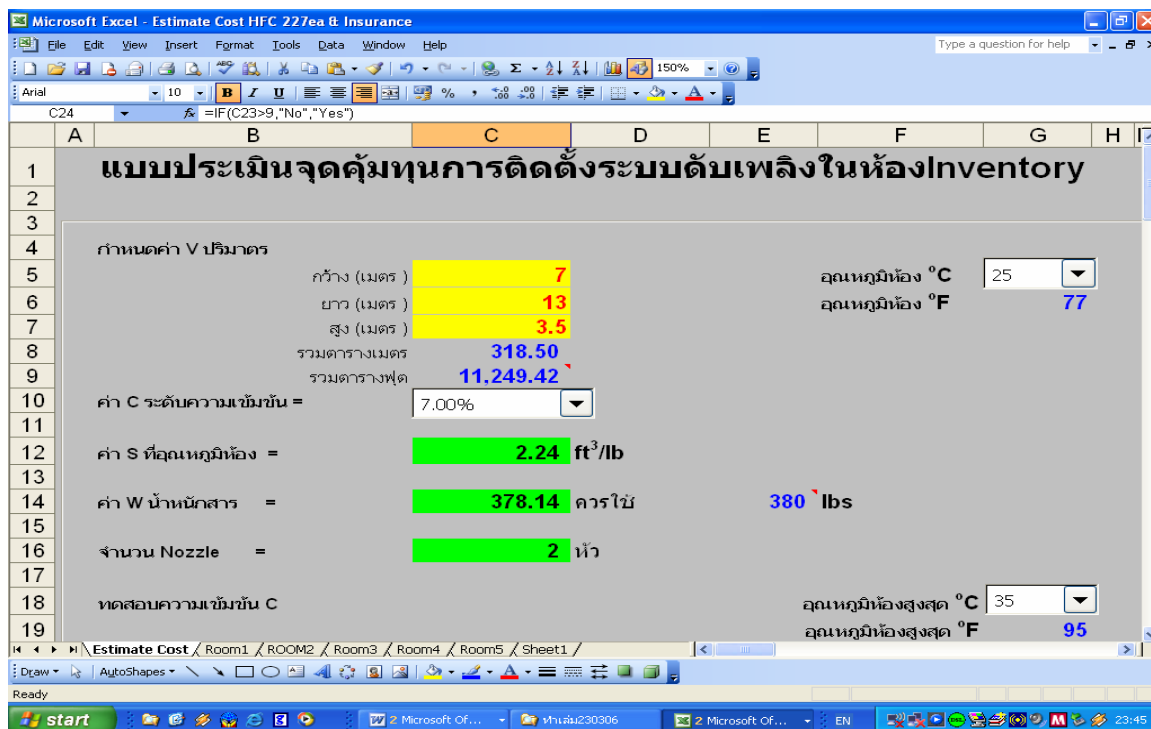
ส่วนแรกจะช่วยคำนวณเกี่ยวกับลักษณะของห้องและรายละเอียดของระบบดับเพลิงที่ควรติดตั้ง ข้อมูลที่ต้องกรอกให้โปรแกรม คือ ขนาดของห้อง ความกว้าง ความยาว ความสูง ค่าอุณหภูมิปกติภายในห้อง และค่าร้อยละความเข้มข้นของสารดับเพลิง ผลลัพธ์ที่ได้ คือ ค่า S ณ อุณหภูมินั้นๆ น้ำหนักสารที่ต้องใช้ และที่แนะนำให้ใช้ตามขนาดที่มีในท้องตลาด จำนวนหัวฉีดที่ต้องติดตั้ง นอกจากนี้แบบช่วยคำนวณในส่วนแรก ยังช่วยคำนวณตรวจสอบระดับความเข้มข้นของสารดับเพลิงที่ใช้ เมื่อเทียบกับอุณหภูมิ สูงสุดของห้อง ว่าเป็นอันตรายหรือไม่ (เกินค่า NOAEL)

ส่วนที่ 2 จะช่วยคำนวณในเรื่องเบี้ยประกันภัย ก่อน และหลังการติดตั้งระบบดับเพลิงที่ โดยข้อมูลที่ต้องกรอก คือ รายละเอียดเกี่ยวกับอาคารที่จะประกันภัย เช่น มูลค่าอาคาร มูลค่าเครื่องจักร มูลค่าสินค้าในอาคาร และอัตราเบี้ยประกันภัย ส่วนการคำนวณหลังการติดตั้งต้องกรอกข้อมูลส่วนลดของการติดตั้งอุปกรณ์ดับเพลิง

ในส่วนสุดท้าย แบบช่วยคำนวณนี้จะนำขนาดของอาคารและเบี้ยประกันภัย มาคำนวณหาจุดคุ้มทุน เพื่อเป็นส่วนประกอบการพิจารณาการออกแบบติดตั้งระบบดับเพลิง

วิธีการใช้แบบประเมินจุดคุ้มทุนการติดตั้งระบบดับเพลิงในห้อง Inventory

1.เปิดโปรแกรม Microsoft Excel และเปิดfileชื่อ Estimate Cost HFC 227ea & Insurance.



Microsoft Excel - Estimate Cost HFC 227ea & Insurance

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help

Formula bar: =IF(C23>9,"No","Yes")

Worksheet: Estimate Cost / Room1 / ROOM2 / Room3 / Room4 / Room5 / Sheet1

Ready

start

แบบประเมินจุดคุ้มทุนการติดตั้งระบบดับเพลิงในห้อง Inventory

กำหนดค่า V ปริมาตร

กว้าง (เมตร) 7

ยาว (เมตร) 13

สูง (เมตร) 3.5

รวมตารางเมตร 318.50

รวมตารางฟุต 11,249.42

ค่า C ระดับความเข้มข้น = 7.00%

ค่า S ที่อุณหภูมิห้อง = 2.24 ft³/lb

ค่า W น้ำหนักสาร = 378.14 คาร์บอน 380 lbs

จำนวน Nozzle = 2 หัว

ทดสอบความเข้มข้น C

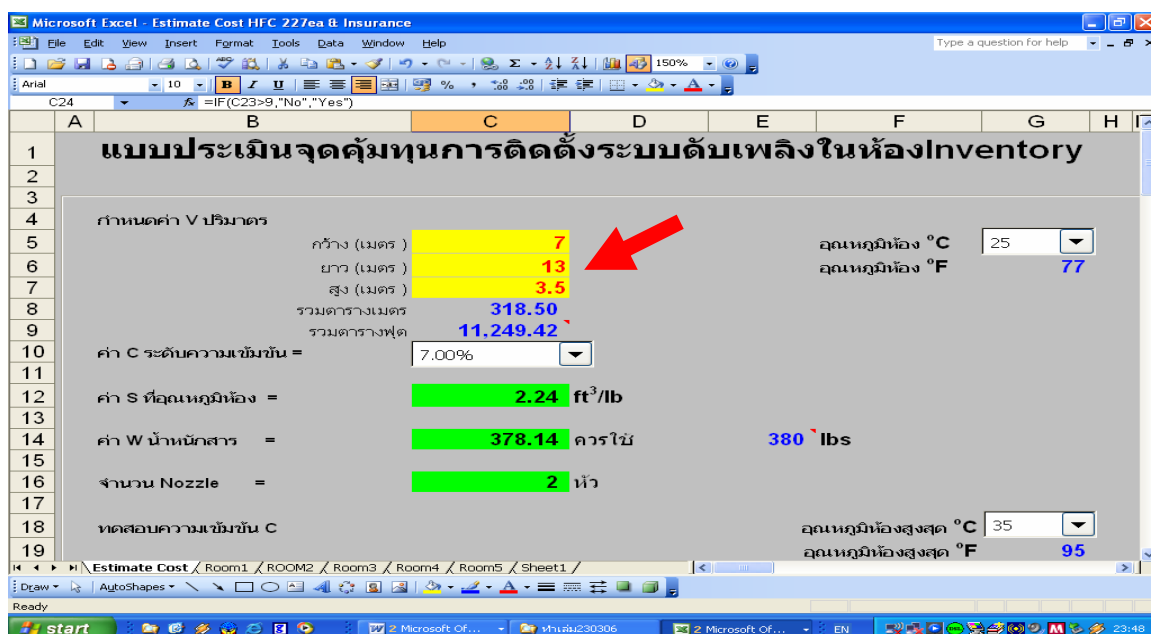
อุณหภูมิห้อง °C 25

อุณหภูมิห้อง °F 77

อุณหภูมิห้องสูงสุด °C 35

อุณหภูมิห้องสูงสุด °F 95

2.ป้อนข้อมูลของปริมาตรห้อง Inventory ในช่องสี่เหลี่ยม โดยมีหน่วยเป็นเมตร



Microsoft Excel - Estimate Cost HFC 227ea & Insurance

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help

Formula bar: =IF(C23>9,"No","Yes")

Worksheet: Estimate Cost / Room1 / ROOM2 / Room3 / Room4 / Room5 / Sheet1

Ready

start

แบบประเมินจุดคุ้มทุนการติดตั้งระบบดับเพลิงในห้อง Inventory

กำหนดค่า V ปริมาตร

กว้าง (เมตร) 7

ยาว (เมตร) 13

สูง (เมตร) 3.5

รวมตารางเมตร 318.50

รวมตารางฟุต 11,249.42

ค่า C ระดับความเข้มข้น = 7.00%

ค่า S ที่อุณหภูมิห้อง = 2.24 ft³/lb

ค่า W น้ำหนักสาร = 378.14 คาร์บอน 380 lbs

จำนวน Nozzle = 2 หัว

ทดสอบความเข้มข้น C

อุณหภูมิห้อง °C 25

อุณหภูมิห้อง °F 77

อุณหภูมิห้องสูงสุด °C 35

อุณหภูมิห้องสูงสุด °F 95

3.ป้อนข้อมูลโดยการเลือกอุณหภูมิของห้อง Inventory ในช่องสีขาวย โดยมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส และป้อนข้อมูลโดยการเลือก ค่า C คือระดับความเข้มข้นในช่องสีขาวย

Microsoft Excel - Estimate Cost HFC 227ea & Insurance

Formula bar: $=IF(CONCATENATE(D5,D6,D7)="",ROUNDUP(C5/9,D)*ROUNDUP(C6/9,D),"Over Size")$

Sheet1: Estimate Cost / Room1 / ROOM2 / Room3 / Room4 / Room5 / Sheet1

Ready

23:52

แบบประเมินจุดคุ้มทุนการติดตั้งระบบดับเพลิงในห้อง Inventory

กำหนดค่า V ปริมาตร

กว้าง (เมตร) 7

ยาว (เมตร) 13

สูง (เมตร) 3.5

รวมตารางเมตร 318.50

รวมตารางฟุต 11,249.42

ค่า C ระดับความเข้มข้น = 7.00%

ค่า S ที่อุณหภูมิห้อง = 2.24 ft³/lb

ค่า W น้ำหนักสาร = 378.14 ควรใช้ 380 lbs

จำนวน Nozzle = 2 หัว

ทดสอบความเข้มข้น C

อุณหภูมิห้อง °C 25

อุณหภูมิห้อง °F 77

อุณหภูมิห้องสูงสุด °C 35

อุณหภูมิห้องสูงสุด °F 95

4.เมื่อป้อนข้อมูลข้างต้นครบสมบูรณ์ แบบประเมินจะทำการคำนวณ และแสดงผลในช่องแถบสีเขียว โดยเป็นค่า S (ปริมาตรจำเพาะ), ค่า W (น้ำหนักสารดับเพลิงที่ใช้) และจำนวนของหัวฉีด(Nozzle)ที่ใช้ภายในห้อง

Microsoft Excel - Estimate Cost HFC 227ea & Insurance

Formula bar: 13

Sheet1: Estimate Cost / Room1 / ROOM2 / Room3 / Room4 / Room5 / Sheet1

Ready

0:01

แบบประเมินจุดคุ้มทุนการติดตั้งระบบดับเพลิงในห้อง Inventory

กำหนดค่า V ปริมาตร

กว้าง (เมตร) 7

ยาว (เมตร) 13

สูง (เมตร) 3.5

รวมตารางเมตร 318.50

รวมตารางฟุต 11,249.42

ค่า C ระดับความเข้มข้น = 7.00%

ค่า S ที่อุณหภูมิห้อง = 2.24 ft³/lb

ค่า W น้ำหนักสาร = 378.14 ควรใช้ 380 lbs

จำนวน Nozzle = 2 หัว

ทดสอบความเข้มข้น C

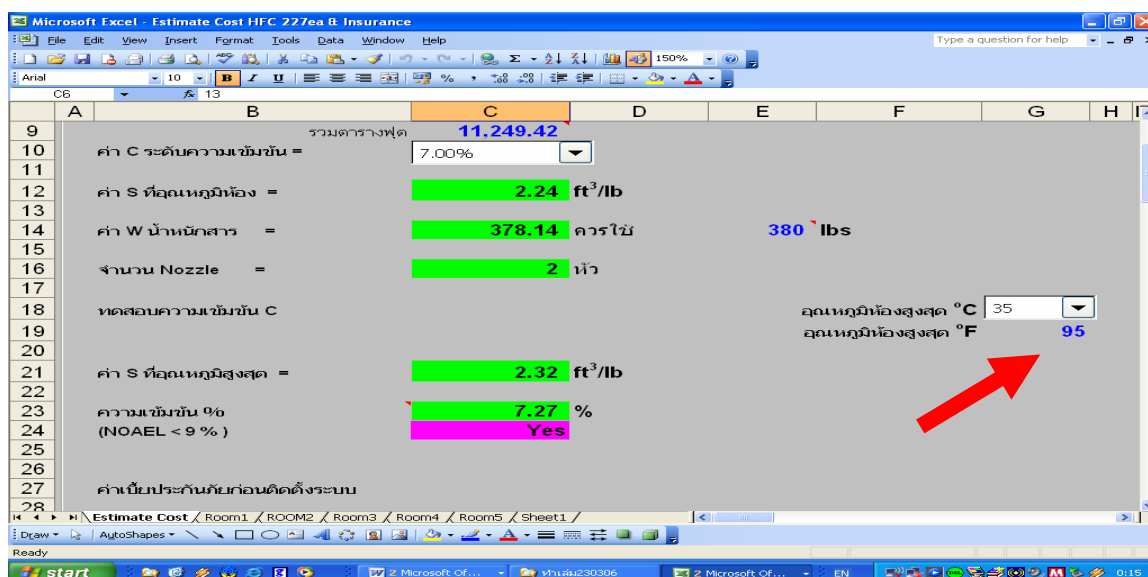
อุณหภูมิห้อง °C 25

อุณหภูมิห้อง °F 77

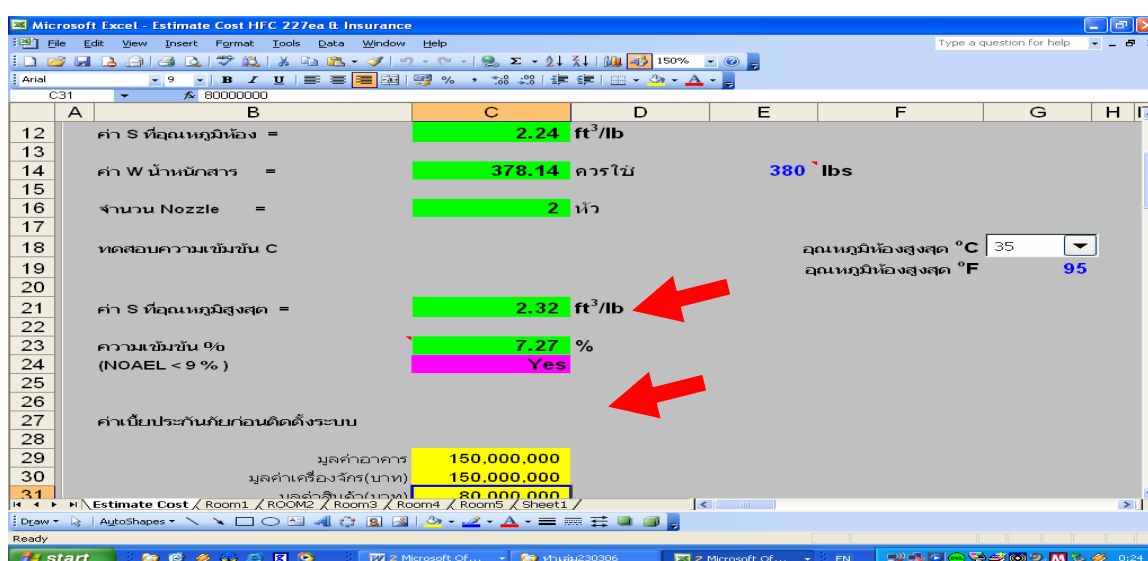
อุณหภูมิห้องสูงสุด °C 35

อุณหภูมิห้องสูงสุด °F 95

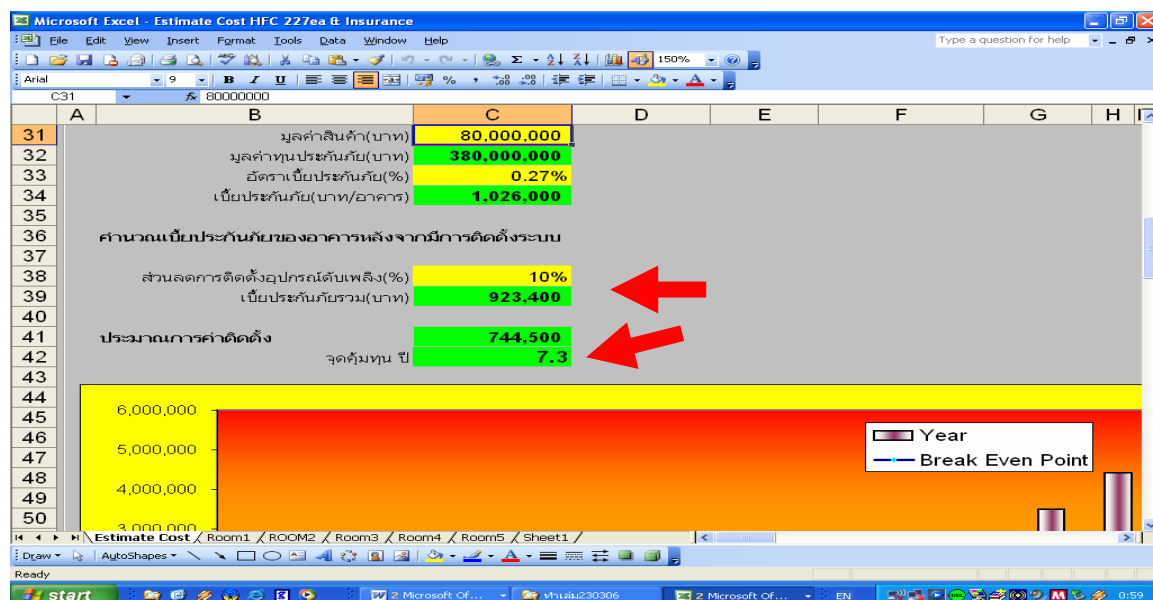
5.ทดสอบความเข้มข้นของสารดับเพลิงภายในห้องให้แน่ใจได้ว่า ความเข้มข้นNOAEL < 9% โดยที่เลือกอุณหภูมิที่ทดสอบ ณ อุณหภูมิห้องสูงสุด เป็นองศาเซลเซียส



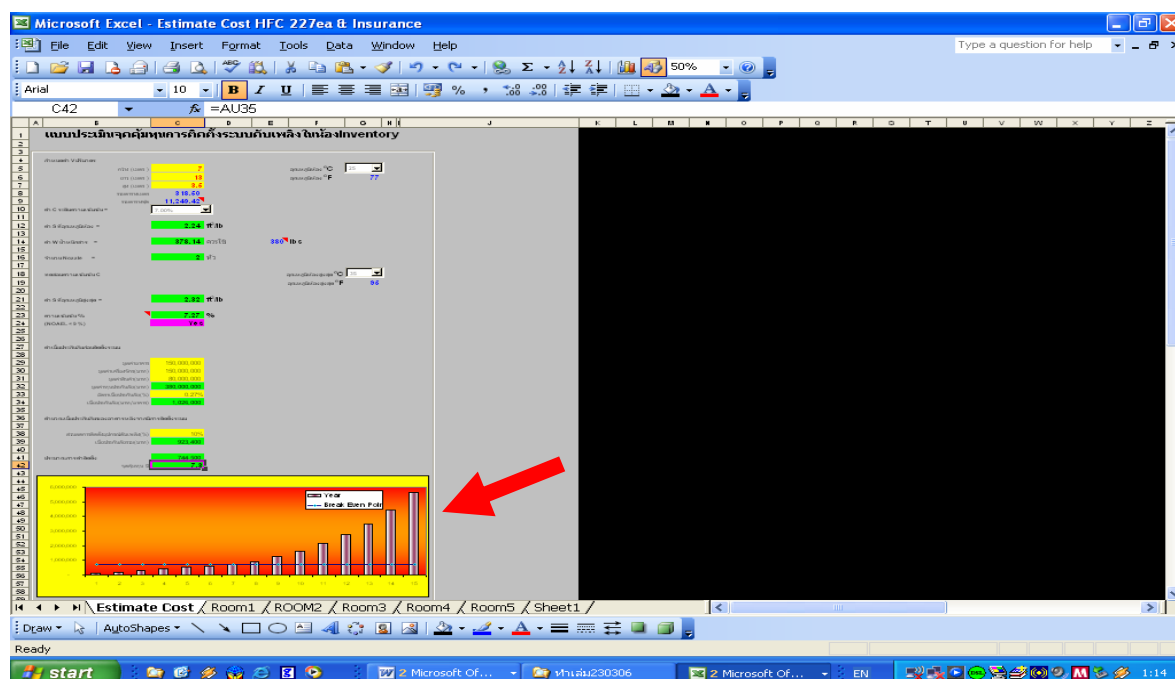
6.แบบประเมินจะคำนวณค่าปริมาตรจำเพาะ และความเข้มข้นของสารดับเพลิง ณ อุณหภูมิสูงสุดโดยที่แสดงในแถบสีเขียว และจะมีการยืนยันถึงความปลอดภัยในการใช้งานโดยที่ความเข้มข้นNOAEL < 9% ที่แถบสีม่วงก็จะแสดง คำว่า Yes ส่วนในกรณีที่ความเข้มข้นNOAEL > 9% ที่แถบสีม่วงก็จะแสดง คำว่า No



9.แบบประเมินจะคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างเบี้ยประกันภัยก่อนและหลังติดตั้งระบบดับเพลิง กับมูลค่าการลงทุนในการติดตั้งระบบดับเพลิง ซึ่งจะออกมาในรูปของความสัมพันธ์ ณ จุดคุ้มทุน



10.ผลลัพธ์ในการประเมินจุดคุ้มทุน ยังสามารถประเมินในรูปแบบของกราฟแท่งอีกด้วย ซึ่งข้อมูลทั้งหมดก็จะแสดงออกมาให้อยู่ภายใน 1 หน้ากระดาษและสามารถสั่งพิมพ์ออกมาได้



ผลการศึกษา

1.การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

ในส่วนของห้างสรรพสินค้าซึ่งทำการศึกษานั้นสามารถแบ่งได้ 5 แบบ ตามขนาดของอาคารรวมอาคารทั้งหมด 52 อาคาร ที่จะทำการออกแบบระบบดับเพลิง HFC-227 ea ซึ่งในส่วน ofพื้นที่ที่มีความเสี่ยงและมีผลกระทบเป็นอย่างมากในกรณีที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ภายในห้างสรรพสินค้า คือห้อง Inventory โดยมีการจัดเก็บฐานข้อมูลทั้งหมดของการดำเนินธุรกิจ และสามารถตรวจสอบระบบการทำงานต่างๆภายในสโตร์นั้นๆ เช่น สินค้าคงคลัง การสั่งซื้อและงานขายสินค้า ระบบการจัดเรียงสินค้า ระบบการเงิน ระบบตรวจสอบความปลอดภัยต่างๆ รวมทั้งข้อมูลเครื่องจักร เป็นต้น ในกรณีที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ในห้องดังกล่าวจะส่งผลกระทบโดยตรงกับธุรกิจเป็นอย่างมากทันที โดยอาจถึงขั้นหยุดการทำธุรกิจชั่วคราวเป็นระยะเวลามากกว่าสัปดาห์ซึ่งขึ้นอยู่กับความรุนแรงของความเสียหาย จากการสำรวจพบว่าห้องดังกล่าวมีขนาดที่หลากหลายโดยสามารถแบ่งได้เป็น 5 ขนาดดังจะกล่าวต่อไป

ตารางที่ 2 ขนาดพื้นที่ของอาคารแต่ละแบบ

แบบอาคาร	ขนาดพื้นที่ใช้สอย (ตารางเมตร)	จำนวน (อาคาร)
A	น้อยกว่า 8,000	5
B	8,000 - 10,000	13
C	10,000 - 15,000	16
D	15,000 - 20,000	10
E	มากกว่า 20,000	8

ดังนั้นในการออกแบบระบบดับเพลิงที่เหมาะสมกับห้องดังกล่าวโดยมีสถาบันที่น่าเชื่อถือรับรองประสิทธิภาพของระบบ ทางบริษัทประกันภัย ซึ่งเป็นผู้รับประกันภัยอันเนื่องจากอัคคีภัย จึงให้ความสำคัญเป็นอันมาก รวมทั้งภาครัฐโดยกรมการประกันภัย กระทรวงพาณิชย์ ได้จูงใจให้ผู้ประกอบการได้มีการออกแบบติดตั้งระบบดับเพลิงที่เหมาะสมก็จะสามารถลดค่าเบี้ยประกันอัคคีภัยได้ไม่ต่ำกว่า 10 % รวมทั้งจะช่วยดูแลและปกป้องความเสียหายทั้งชีวิต และทรัพย์สิน

ระบบดับเพลิงด้วย HFC-227ea ควรจะออกแบบและติดตั้งถูกต้องตามความต้องการของรูปแบบและคู่มือการออกแบบ และเป็นตามมาตรฐาน NFPA 2001 (Clean Agent Extinguishing System) ระบบดับเพลิงด้วย HFC-227ea เป็นการใช้ป้องกันบริเวณพื้นที่ที่เป็นพื้นที่ปิด ประเภทของพื้นที่ที่ป้องกันได้ด้วยระบบดับเพลิงด้วย H F C - 2 2 7 e a มีดังนี้

- Electrical and Electronic Hazards
- DATA Processing Facilities
- Telecommunication Facilities
- Storage Rooms-Flammable Liquids and gases. (ห้องเก็บของเหลวและก๊าซไวไฟ)
- High value assets, where the associated down-time would be costly (สินทรัพย์มูลค่าสูง ซึ่งการหยุดทำงานผลิต จะมีความสูญเสียสูงมาก)

ระบบดับเพลิงด้วย HFC-227ea ไม่ควรไปใช้ในเพลิงไหม้ที่เกิดจากวัสดุหรือวัตถุต่อไปนี้

- สารเคมีบางอย่างหรือสารเคมีผสม เช่น เซลลูโลสไนเตรต และ Gun powder ซึ่งสามารถถูกออกซิไดส์ได้ง่ายในอากาศ
 - โลหะที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น ลิเทียม, โซเดียม และ พลูโตเนียม
 - Metal Hydrides ดังเช่น Sodium Hydrides และ Lithium Aluminum Hydrides.
 - สารเคมีที่สามารถสลายได้ด้วยอนุมูลอิสระ เช่น Organic Peroxide และ ไฮดรอกซิล
- (อ้างอิงตามเอกสาร NFPA 2001 Section 1-5.2.5)

2. การออกแบบระบบดับเพลิงสารสะอาด HFC-227ea

ขั้นที่ 1 การกำหนดพื้นที่และปริมาตรของบริเวณที่ต้องการป้องกันเพลิงไหม้

ขั้นตอนแรกในการออกแบบระบบดับเพลิง HFC-227ea แบบ Total Flooding System คือ การกำหนดพื้นที่ และปริมาตรของขอบเขตที่ต้องการป้องกันเพลิงไหม้ พื้นที่จำเป็นในการคำนวณเพื่อกำหนดขอบเขตของการป้องกันเพลิงไหม้ คือ พื้นที่ที่หัวฉีดจะสามารถกระจายสารดับเพลิงไปถึงได้ และพื้นที่ที่ตรวจจับ ปริมาตรของขอบเขตที่ต้องการป้องกันสามารถคำนวณได้จากการคูณความยาว ความกว้าง และความสูงของพื้นที่ แต่อย่างไรก็ตามจะต้องพิจารณาสิ่งอื่นด้วย คือ

- 1) สิ่งที่สามารถหักลดปริมาณของขอบเขตที่จะป้องกันปริมาณของสิ่งที่สารดับเพลิงไม่สามารถแทรกผ่านเข้าไปได้ เช่น เสาค้ำ ท่อหรือช่องที่ไม่ได้เปิดออกสู่บริเวณที่ป้องกันสามารถหักออกจากปริมาณทั้งหมดได้
- 2) สิ่งที่ไม่สามารถหักลดปริมาณของขอบเขตที่จะป้องกัน (วัตถุใดๆ ที่สามารถถูกเคลื่อนย้ายออกไปจากบริเวณที่ป้องกันได้
- 3) สิ่งที่จะเพิ่มปริมาณของขอบเขตที่ป้องกันปริมาณของสิ่งที่เปิดออกสู่ขอบเขตที่จะป้องกันจะต้องถูกเพิ่มเข้าไปในปริมาณรวม เช่น ท่อส่งลม

แต่อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปแล้วปริมาณของขอบเขตควบคุมที่ใช้ในการออกแบบระบบจะคำนวณจากพื้นที่ที่ว่างเปล่าและโล่ง ดังนั้นปริมาณห้องที่ทำการศึกษาทั้งหมดคือ

- ห้องแบบที่ 1 มีขนาดปริมาตร 4x3x3 เมตร เท่ากับ 36 ลบ.ม. หรือ เท่ากับ 1,272 ลบ.ฟ.
- ห้องแบบที่ 2 มีขนาดปริมาตร 6x7x3 เมตร เท่ากับ 126 ลบ.ม. หรือ เท่ากับ 4,450 ลบ.ฟ.
- ห้องแบบที่ 3 มีขนาดปริมาตรเท่ากับ 7x8x3 เมตร เท่ากับ 168 ลบ.ม. หรือ เท่ากับ 5,933 ลบ.ฟ.
- ห้องแบบที่ 4 มีขนาดปริมาตรเท่ากับ 6x13x3 เมตร เท่ากับ 273 ลบ.ม. หรือ เท่ากับ 9,640 ลบ.ฟ.
- ห้องแบบที่ 5 มีขนาดปริมาตรเท่ากับ 9x12x3 เมตร เท่ากับ 486 ลบ.ม. หรือ เท่ากับ 17,163 ลบ.ฟ.

ขั้นที่ 2 การคำนวณปริมาณสารดับเพลิงที่ต้องการ

ขั้นตอนที่สองในการออกแบบระบบดับเพลิงคือการคำนวณน้ำหนักของสารดับเพลิงที่ต้องการเพื่อให้เกิดความเข้มข้นตามที่ต้องการภายในพื้นที่ป้องกันโดยพิจารณาดังนี้

การหาปริมาณสารดับเพลิงที่ต้องการสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$W = \frac{V}{S} \left(\frac{C}{100 - C} \right) \quad (6)$$

เมื่อ W = น้ำหนักสารดับเพลิง lb (kg)
 V = ปริมาตรของบริเวณที่จะป้องกัน $\text{ft}^3 (\text{m}^3)$
 C = ความเข้มข้นของสารดับเพลิงในบริเวณที่จะป้องกัน (%) โดยปริมาตร)
 S = ปริมาตรไอก๊าซจำเพาะ $\text{ft}^3/\text{lb} (\text{m}^3/\text{kg})$

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

เมื่อ $k_1 = 1.885$; $k_2 = 0.0046$; T = อุณหภูมิเฉลี่ย ($^{\circ}\text{F}$) (สำหรับระบบหน่วยอังกฤษ)
 หรือ $k_1 = 0.1269$, $k_2 = 0.005$: T = อุณหภูมิเฉลี่ย ($^{\circ}\text{C}$) (สำหรับระบบหน่วยเมตริก)

แทนค่าในการหาค่า S ที่อุณหภูมิเฉลี่ยของห้องที่ 25°C หรือเท่ากับ 77°F

$$S = 1.885 + 0.0046(77) = 2.239 \text{ ft}^3/\text{lb}$$

แทนค่า S เพื่อหาปริมาณสารดับเพลิง HFC-227ea ที่ต้องการในแต่ละห้อง

$$\text{ห้อง 1; } W = \frac{1,272}{2.239} \left(\frac{7}{100 - 7} \right) = 42.76 \text{ lbs. เพราะนั้นควรใช้สารประมาณ 45.00 lbs.}$$

$$\text{ห้อง 2; } W = \frac{4,450}{2.239} \left(\frac{7}{100 - 7} \right) = 149.59 \text{ lbs. เพราะนั้นควรใช้สารประมาณ 150.00 lbs.}$$

$$\text{ห้อง 3; } W = \frac{5,933}{2.239} \left(\frac{7}{100 - 7} \right) = 199.45 \text{ lbs. เพราะนั้นควรใช้สารประมาณ 200.00 lbs.}$$

$$\text{ห้อง 4; } W = \frac{9,640}{2.239} \left(\frac{7}{100 - 7} \right) = 324.07 \text{ lbs. เพราะนั้นควรใช้สารประมาณ 325.00 lbs.}$$

$$\text{ห้อง 5; } W = \frac{17,163}{2.239} \left(\frac{7}{100 - 7} \right) = 576.97 \text{ lbs. เพราะนั้นควรใช้สารประมาณ 580.00 lbs.}$$

ขั้นที่ 3 การคำนวณหาค่าความเข้มข้นที่อุณหภูมิสูงสุด

จากการเก็บข้อมูลพบว่าอุณหภูมิภายในห้องสูงสุด ประมาณ 35 °C หรือเท่ากับ 95 °F ซึ่งจะใช้เป็นอุณหภูมิอ้างอิงในการคำนวณหาค่าความเข้มข้นสูงสุดของสารดับเพลิงภายในห้องทำงาน การป้องกันพื้นที่นั้นจะต้องพิจารณา คือ พื้นที่ปกติที่มีคนทำงานเช่น Computer room, Clean room เป็นต้น ความเข้มข้นที่ได้ต้องไม่เกิน 9% ตามระดับของ NOAEL (No Observed Adverse Effective Level)

ตารางที่ 3 ระยะเวลาที่คนสามารถรับสารดับเพลิง HFC-227ea ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น	เวลาจำกัดในการรับสาร
9.00%	5 นาที
9.50%	5 นาที
10.00%	5 นาที
10.50%	5 นาที
11.00%	1.13 นาที
11.50%	0.60 นาที
12.00%	0.49 นาที

ที่มา : NFPA 2001 (2000)

$$\text{โดยสูตร } C = \frac{100WS}{V + [WS]} \quad (8)$$

$$S = k1 + k2(T) \quad (9)$$

เมื่อ $k1 = 1.885$; $k2 = 0.0046$; $T =$ อุณหภูมิสูงสุด (°F) (สำหรับระบบหน่วยอังกฤษ)
หรือ $k1 = 0.1269$, $k2 = 0.005$: $T =$ อุณหภูมิสูงสุด (°C) (สำหรับระบบหน่วยเมตริก)

แทนค่าในการหาค่า S ที่อุณหภูมิเฉลี่ยของห้องที่ 35 °C หรือเท่ากับ 95 °F

$$S = 1.885 + 0.0046(95) \\ = 2.322 \text{ ft}^3/\text{lb}$$

แทนค่า S เพื่อหาความเข้มข้นสารดับเพลิง HFC-227ea ในแต่ละห้อง

$$\text{ห้อง 1; } C = \frac{100 \times 45 \times 2.322}{1,272 + [45 \times 2.322]} = 7.59\%$$

$$\text{ห้อง 2; } C = \frac{100 \times 150 \times 2.322}{4,450 + [150 \times 2.322]} = 7.26\%$$

$$\text{ห้อง 3; } C = \frac{100 \times 200 \times 2.322}{5,933 + [200 \times 2.322]} = 7.26\%$$

$$\text{ห้อง 4; } C = \frac{100 \times 325 \times 2.322}{9,640 + [325 \times 2.322]} = 7.26\%$$

$$\text{ห้อง 5; } C = \frac{100 \times 580 \times 2.322}{17,163 + [580 \times 2.322]} = 7.59\%$$

ดังนั้น จากการคำนวณหาความเข้มข้นของสารดับเพลิงที่อุณหภูมิสูงสุดดังกล่าว พบว่า ความเข้มข้นทุกห้องไม่เกิน 9% ซึ่งแสดงว่าสามารถใช้งานได้โดยมีความปลอดภัยต่อชีวิต โดยจะนำค่าปริมาณของสารในแต่ละห้องไปออกแบบการติดตั้งระบบและประเมินราคาต่อไป

ขั้นที่ 4 พิจารณาตัวประกอบความปลอดภัย (Safety Factor)

ปริมาณสารดับเพลิงที่คำนวณได้ต้องคิดจากบริเวณป้องกันที่ว่างเปล่าเพื่อให้ได้ปริมาณความเข้มข้นของสารดับเพลิงในบริเวณป้องกันที่ถูกต้อง อย่างไรก็ตามปริมาณสารดับเพลิงที่ได้นี้ไม่ได้มีการชดเชยอันเนื่องมาจากการรั่วจากช่องเปิด หรือช่องระบายอากาศที่ไม่ได้ปิด ดังนั้นจึงต้องพยายามทำให้มีช่องเปิดน้อยที่สุด หรือปิดและติดตั้งอุปกรณ์ปิดอัตโนมัติ ระบบระบายอากาศ หรือระบบปรับอากาศก็ควรที่จะหยุดทำงาน อย่างไรก็ตามจะยังคงมีการรั่วออกทางขอบประตู หน้าต่าง และรอยแยกอื่นๆ ได้อีก รวมทั้งจะมีปริมาณสาร HFC-227ea ตกค้างอยู่ในถังบางส่วนด้วย

การรั่ว (Leakage) ขอบเขตบริเวณป้องกันควรถูกปิดมิดชิด เพื่อที่จะรักษาระดับความเข้มข้นของสารดับเพลิงเอาไว้ได้นานพอจนกว่าพนักงานดับเพลิงจะมาถึง การเพิ่มปริมาณสารดับเพลิงไม่ได้ช่วยให้สามารถรักษาระดับความเข้มข้นไว้ได้นานขึ้นถ้ามีการรั่วมาก ดังนั้นในการออกแบบระบบดับเพลิงควรพิจารณาถึงการป้องกันการรั่ว ณ จุดต่างๆ เช่น ประตู ผนัง ช่องเปิดต่างๆ ให้ดีเพียงพอ

ขั้นที่ 5 การเลือกถังบรรจุสารดับเพลิงและตำแหน่งติดตั้ง ควรพิจารณาหลายๆ ด้านดังนี้

- 1) ปริมาณสารดับเพลิง : ถังบรรจุสารดับเพลิงที่ใช้ต้องสามารถเก็บสารดับเพลิงที่ระบบต้องการใช้ได้ทั้งหมด
- 2) ชนิดของระบบ : พื้นที่ดับเพลิงหนึ่ง อาจมีการป้องกันเพลิงไหม้โดยใช้ถังบรรจุสารดับเพลิงขนาดเล็กหลายๆ ชุดที่มีหัวฉีดสารดับเพลิงแยกกัน หรืออาจใช้ถังบรรจุสารดับเพลิงขนาดใหญ่ ที่ปล่อยสารดับเพลิงผ่านทางระบบท่อ ที่มีหัวฉีด 2, 4 หัวฉีดหรือมากกว่า
- 3) ความยาวของท่อ : ในระบบดับเพลิงที่มีระบบท่อมามากหรือใหญ่กว่าปกติ อาจจะทำให้เกิดความดันในท่อลดลงขณะปล่อยสารดับเพลิง ของพื้นที่หรือบริเวณที่ติดตั้งระบบใหญ่มาก ในกรณีนี้จะต้องทำการย้ายตำแหน่งถังไปติดตั้งใกล้หรือภายในพื้นที่ที่ติดตั้งระบบ หรืออีกกรณีหนึ่งอาจจำเป็นต้องแยกถังและระบบท่อออกเป็นหลายชุด
- 4) ตำแหน่งที่ตั้งของถัง : ควรมีการพิจารณาพื้นที่ว่ามีขนาดพอเพียงที่จะวางถังขนาดเท่าใด ยกตัวอย่างเช่น ระบบดับเพลิงขนาด 1,300 ปอนด์ สามารถที่จะใช้ถังขนาด 650 ปอนด์ 2 ถัง
- 5) ต้นทุน : จากตัวอย่างในข้อ 4 ถ้ามีพื้นที่เพียงพอควรเลือกใช้ถังขนาด 650 ปอนด์จำนวน 2 ถัง เพราะมีต้นทุนที่ถูกกว่า
- 6) สภาพการวางถังบรรจุสารดับเพลิง : ได้ถูกออกแบบมาให้สามารถวางได้ในแนวตั้ง (วางอยู่ด้านบน) กลั้วหัว (วางอยู่ด้านล่าง) หรือแนวนอน (ทั้งการวางบนพื้นเพดานหรือผนัง) แต่ถึงบางขนาดอาจออกแบบมาให้สามารถวางได้เพียงบางลักษณะเท่านั้น
- 7) ความสะดวกในการบริการ : โดยทั่วไปแล้ว ถังที่มีขนาดใหญ่กว่า จะยังนำออกจากระบบเพื่อการบำรุงรักษา และการบริการต่างๆ ได้ยากขึ้น และตำแหน่งที่ตั้งถังก็ทำให้การบริการทำได้ยากด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 4 ตัวอย่างขนาดถังบรรจุสารดับเพลิง HFC-227ea

ขนาดความจุของถัง	ปริมาณการเติมน้อยที่สุด		ปริมาณการเติมมากที่สุด (ปอนด์)	
	(ปอนด์)	กิโลกรัม	(ปอนด์)	กิโลกรัม
20 ปอนด์ (9.1 กก.)	12	54	21	9.5
35 ปอนด์ (15.9 กก.)	22	10	38	17.2
60 ปอนด์ (27.2 กก.)	37	16.8	64	29
100 ปอนด์ (45.4 กก.)	58	26.3	100	45.4
125 ปอนด์ (56.7 กก.)	73	33.1	127	57.6
215i ปอนด์ (97.5 กก.)	128	58.1	223	101.2
215 ปอนด์ (97.5 กก.)	123	55.8	215	97.5
375 ปอนด์ (170 กก.)	215	97.5	375	170
650 ปอนด์ (295 กก.)	372	168.7	650	296
1000 ปอนด์ (454 กก.)	573	260	1002	454

หมายเหตุ i = ถังที่ตั้งกลับหัว

ขั้นตอนต่อไปคือการเลือกขนาดถังที่เหมาะสม เพื่อเก็บสารดับเพลิงตามปริมาณที่ต้องการ สำหรับป้องกันเพลิงไหม้ในบริเวณพื้นที่ป้องกัน ถึงทุกใบจะต้องเติมสารดับเพลิงด้วยความหนาแน่นอย่างน้อยที่สุด 40 ปอนด์ต่อลบ.ฟ. และสูงที่สุด 70 ปอนด์ต่อลบ.ฟ. ส่วนปริมาณการเติมสารดับเพลิงขึ้นอยู่กับขนาดของถังที่ใช้

ขั้นที่ 6 การพิจารณาเลือกหัวฉีดสารดับเพลิง (Nozzle)

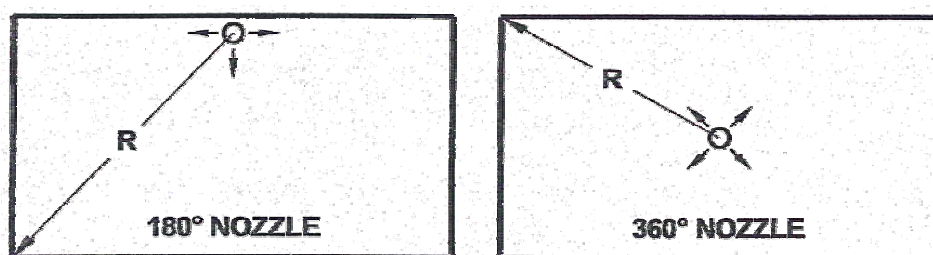
เมื่อทำการคำนวณขนาดถังบรรจุสารดับเพลิงที่จะใช้แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการคำนวณขนาดและจำนวนหัวฉีดสารดับเพลิงที่ต้องการ เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ที่จะป้องกันอย่างทั่วถึง หัวฉีดสารดับเพลิงมี 2 แบบคือ แบบ 360° และแบบ 180° ทั้ง 2 แบบสามารถจ่ายสารดับเพลิงได้ในปริมาณเท่ากัน แต่มีทิศทางในการจ่ายสารและการติดตั้งต่างกัน การเลือกจะใช้หัวฉีดแบบใดขึ้นอยู่กับ

รูปแบบของพื้นที่ที่ติดตั้ง เส้นทางของท่อ ขอบเขตของพื้นที่ที่จะป้องกัน และเส้นทางการกระจายของสารดับเพลิง

พื้นที่ที่ครอบคลุมของหัวฉีดสารดับเพลิงจะขึ้นอยู่กับชนิดของหัวฉีดว่าเป็นแบบ 180° หรือ 360° พื้นที่ที่หัวฉีดสารดับเพลิงสามารถจ่ายสารดับเพลิงครอบคลุมถึงมากที่สุดจะวัดในรูปของรัศมี “R” จากหัวฉีดไปยังมุมของพื้นที่ที่เลี้ยวมุมฉาก ดังภาพที่ 24 หัวฉีดควรถูกติดตั้งอยู่ในแนวกึ่งกลางของพื้นที่ในแนวระนาบ และจะอยู่ต่ำกว่าตำแหน่งที่สูงที่สุด ในบริเวณที่ต้องการป้องกันได้ไม่เกิน 1 ฟุต (0.3 เมตร) สำหรับเพดานที่ต่ำกว่า 2 ฟุต (0.6 เมตร) ต้องติดตั้งหัวฉีดเหนือระดับครึ่งหนึ่งของความสูงจากเพดาน พื้นที่มากที่สุดที่หัวฉีดแต่ละชนิดสามารถจ่ายสารครอบคลุมไปถึง (Maximum Hazard Area Coverage) คือ ดูได้จากตารางที่ 4

ตารางที่ 5 พื้นที่ครอบคลุมของหัวฉีด

ชนิดของหัวฉีด	ระยะ “R”	ระยะความสูง	ระยะ “R”	ระยะความสูง
180°	13.92 เมตร	0.3 - 4.88 เมตร	45 ฟุต 8 นิ้ว	12 นิ้ว - 16 ฟุต
360°	9.04 เมตร	0.3 - 4.88 เมตร	29 ฟุต 8 นิ้ว	12 นิ้ว - 16 ฟุต



ภาพที่ 24 แสดงการวัดพื้นที่ครอบคลุมของหัวฉีดสารดับเพลิงตามระยะ “R”

จำนวนหัวฉีดสารดับเพลิงที่ใช้ต้องเพียงพอที่จะกระจายสารดับเพลิงได้ครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการป้องกันทั้งหมด ในขณะเดียวกันก็ต้องไม่เกินอัตราการปล่อยสารสูงสุดของระบบและข้อจำกัดในการครอบคลุมพื้นที่ด้วย

อัตราการปล่อยสารดับเพลิงของหัวฉีด เนื่องจากหัวฉีดแต่ละขนาดก็มีอัตราการปล่อยสารดับเพลิงสูงสุดและต่ำสุดไม่เท่ากัน ดังนั้น การพิจารณาอัตราการปล่อยสารของหัวฉีดแต่ละหัวจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการเลือกขนาด และกำหนดจำนวนหัวฉีดสารดับเพลิงที่เหมาะสม การคำนวณหาอัตราปล่อยสารของหัวฉีดอาศัยพื้นฐานการคำนวณจากอัตราการไหลของระบบทั้งหมด ซึ่งกำหนดให้ปล่อยสารดับเพลิงทั้งหมดภายใน 10 วินาที ดังนั้น เมื่อทราบปริมาณสารที่ต้องการในแต่ละพื้นที่ ก็สามารถคำนวณอัตราการปล่อยสารของหัวฉีดสารดับเพลิงที่ต้องการได้ จากนั้นจึงค่อยทำการเลือกขนาดของหัวฉีดที่มีอัตราการไหลสูงสุดต่ำสุดครอบคลุมอัตราการปล่อยสารดับเพลิงของหัวฉีดที่คำนวณมาได้

แต่อย่างไรก็ตาม ควรพิจารณาด้วยว่าอัตราการจ่ายสารดับเพลิงของหัวฉีดนั้นเหมาะสมกับลักษณะการใช้งานของพื้นที่หรือไม่ เช่น ถ้าหากพื้นที่ป้องกันเป็นห้องคอมพิวเตอร์ หรือห้องที่มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ก็ควรใช้หัวฉีดที่มีอัตราการไหลสูงสุดประมาณ 17-25 ปอนด์ต่อวินาที เพื่อให้เป่ากระดาษและวัสดุอื่นๆ ปลิวไป ในกรณีที่ห้องดังกล่าวต้องการปริมาณสารดับเพลิงมากๆ ก็ให้ใช้หัวฉีดที่มีอัตราการปล่อยสารน้อยๆ จำนวนหลายตัวแทนการใช้หัวฉีดที่มีอัตราการปล่อยสารสูงเพียงหัวเดียว ในกรณีของโกดังเก็บสินค้า หรือพื้นที่ที่มีเพดานสูงอาจจะใช้หัวฉีดที่มีอัตราการปล่อยสารสูงๆ ได้ ตัวอย่างของขนาดหัวฉีดและอัตราการปล่อยสารสูงสุดต่ำสุด

ตารางที่ 6 อัตราการไหลของหัวฉีด (หน่วยอังกฤษ)

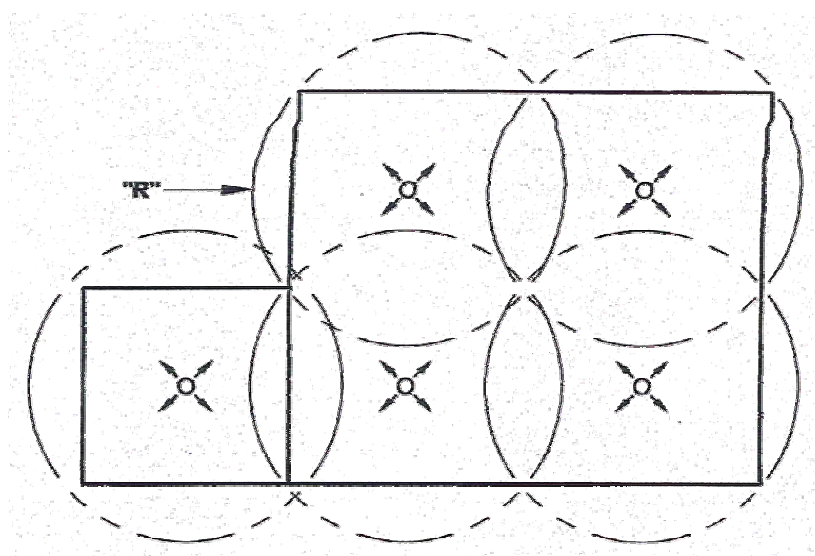
ขนาดหัวฉีด (นิ้ว)	อัตราการไหลต่ำสุด (ปอนด์/วินาที)	อัตราการไหลสูงสุด (ปอนด์/วินาที)
3/8"	0.7	2
1/2"	1	3.4
3/4"	2	6
1"	3.4	8.5
1 1/4"	5.8	13
1 1/2"	8.4	19.5
2"	13	33

ตารางที่ 7 อัตราการไหลของหัวฉีด (หน่วยเมตร)

ขนาดหัวฉีด (มิลลิเมตร)	อัตราการไหลต่ำสุด (ปอนด์/วินาที)	อัตราการไหลสูงสุด (ปอนด์/วินาที)
10	0.32	0.91
15	0.45	1.54
20	0.91	2.72
25	1.54	3.86
32	2.63	5.90
40	3.81	8.85
50	5.90	14.97

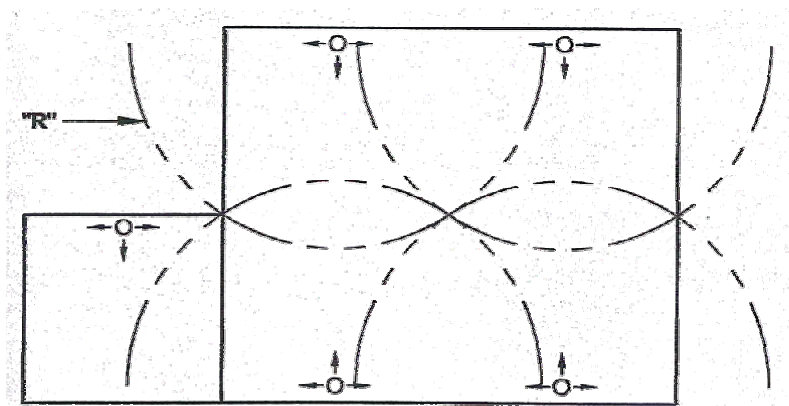
ขั้นที่ 7 การพิจารณากำหนดตำแหน่งของหัวฉีด

โดยทั่วไป หัวฉีดในพื้นที่ป้องกันจะต้องวางอยู่ในลักษณะสมมาตร หรือเกือบสมมาตร ถ้าเป็นหัวฉีดแบบ 360° ต้องวางในแนวตั้งกึ่งกลางตามแนวระนาบ เพื่อกระจายสารไปตามแนวขอบห้อง และไปยังหัวฉีดอื่นๆ ดังภาพที่ 25 หัวฉีดอาจจะอยู่ต่ำกว่าเพดานได้ไม่เกิน 1 ฟุต (0.3 เมตร) โดยวัดระยะจากเพดานถึงแนวศูนย์กลางของรูจ่ายสารดับเพลิง (Orifice)



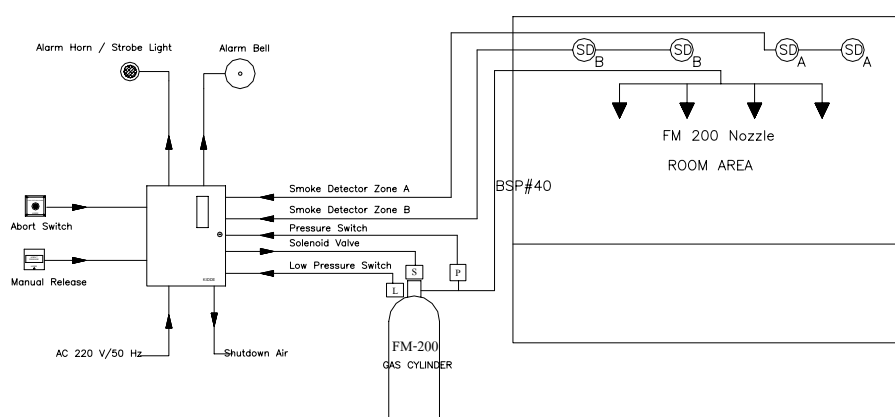
ภาพที่ 25 แสดงการจัดวางตำแหน่งของหัวฉีด 360°

สำหรับหัวฉีดแบบ 180° นั้นถูกออกแบบให้ติดตั้งตามแนวขอบข้างของพื้นที่และจะปล่อยสารดับเพลิงออกมาทางด้านข้างขนานไปกับขอบผนัง และกระจายสารออกไปยังด้านตรงข้ามในแนวตั้งฉากกับขอบผนัง ดังภาพที่ 26 หัวฉีดชนิดนี้อาจจะติดตั้งห่างจากผนังได้ไม่เกิน 1 ฟุต (0.3 เมตร)



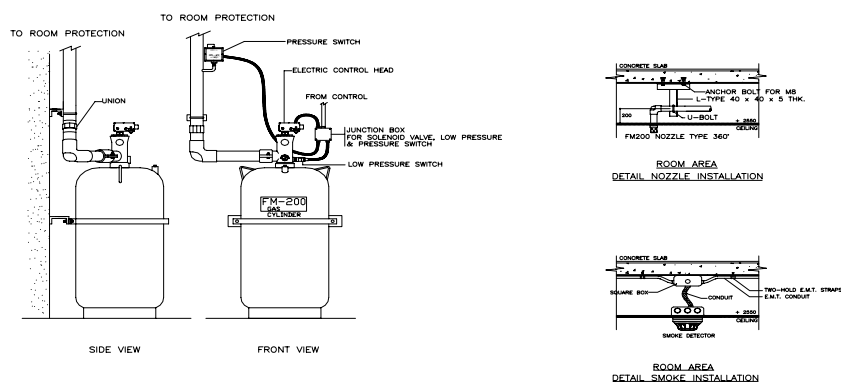
ภาพที่ 26 แสดงการจัดวางตำแหน่งของหัวฉีด 180°

ในกรณีระดับความสูงของเพดานสูงกว่า 16 ฟุต (4.9 เมตร) จะต้องทำการติดตั้งหัวฉีดเป็น 2 ระดับ ในแนวตั้ง โดยความสูงแต่ละระดับจะต้องมีความสูงของหัวฉีดไม่เกิน 16 ฟุต (4.9 เมตร)



ภาพที่ 27 แผนผังแสดงระบบการทำงานของระบบดับเพลิง HFC- 227 ea

ในการติดตั้งระบบดับเพลิงดังกล่าว จะถูกออกแบบให้สามารถดับเพลิงได้ทั้งระบบอัตโนมัติ ซึ่งเป็นผลจากอุปกรณ์ตรวจจับควัน ส่งมายังตู้ควบคุม เช่นเดียวกับระบบควบคุมด้วยมือ (Manual) ที่จะส่งสัญญาณมาที่ตู้ควบคุมนี้เช่นกัน ก่อนที่จะส่งสัญญาณออกไปยังหัวถังเพื่อปล่อยสารดับเพลิงออกมา

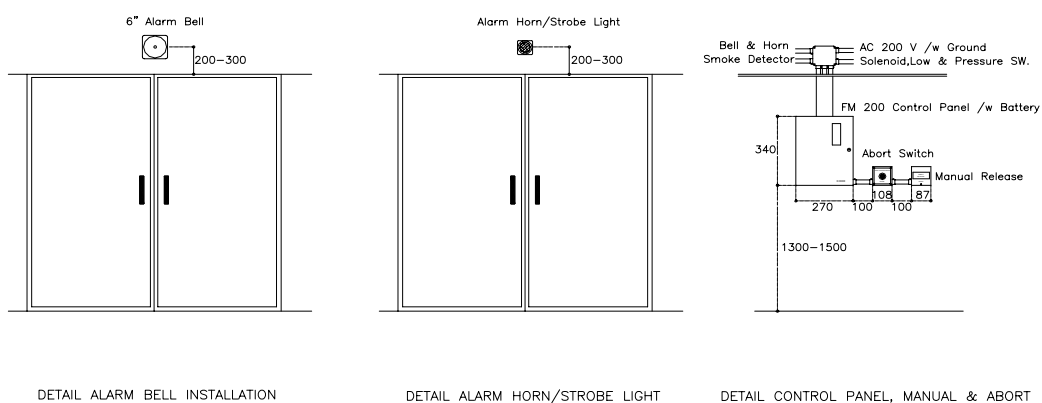


DETAIL INSTALLATION FM-200 EQUIPMENT

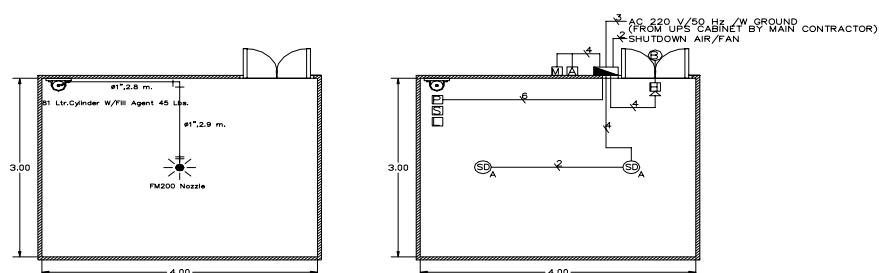
ภาพที่ 28 แผนผังแสดงการติดตั้งถังสารดับเพลิง HFC- 227 ea หัวฉีดสารดับเพลิง (Nozzle) และอุปกรณ์ ตรวจจับควัน (Smoke Detector)

การติดตั้งถังสารดับเพลิง ควรอยู่พื้นที่บริเวณด้านนอกของห้อง เพื่อสามารถควบคุมการใช้งานระบบด้วยตนเองได้ และเพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน เมื่อมีการสั่งฉีดโดยหัวถัง ในส่วนของการติดตั้งท่อส่งสารดับเพลิงจะติดตั้งอยู่บริเวณเหนือฝ้า เพื่อความสวยงามและความปลอดภัยจากการกระแทก ส่วนระบบการตรวจจับควัน จะต้องทำการติดตั้งบริเวณใต้ฝ้า โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน

การติดตั้ง กระดิ่ง (Bell) และสัญญาณไฟ (Strobe light) จะติดตั้งหน้าห้องเพื่อให้ส่งสัญญาณเสียงได้มีประสิทธิภาพ และทำให้ผู้ปฏิบัติงานบริเวณใกล้เคียงสามารถเข้ามาช่วยเหลือได้ทันเวลา ในส่วนของตู้ควบคุม สวิตช์ตัดฉุกเฉิน (Abort switch) และสถานีปล่อยสารด้วยมือ (Manual release station) ก็ควรติดตั้งบริเวณด้านนอกห้องเพื่อความสะดวกและความปลอดภัยในการควบคุมระบบมากยิ่งขึ้น และไม่ควรติดตั้งห่างเกินระยะ 3 เมตร จากหน้าห้อง

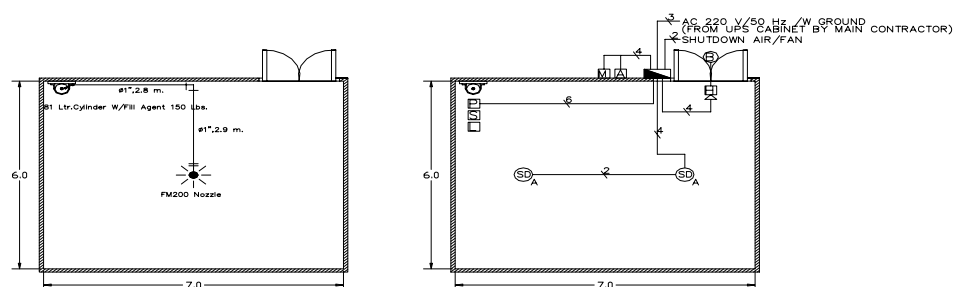


ภาพที่ 29 แสดงการติดตั้ง Alarm Bell, Alarm Horn/Strobe Light, Control Panel, Manual Release Switch and Abort Switch บริเวณหน้าห้อง Inventory



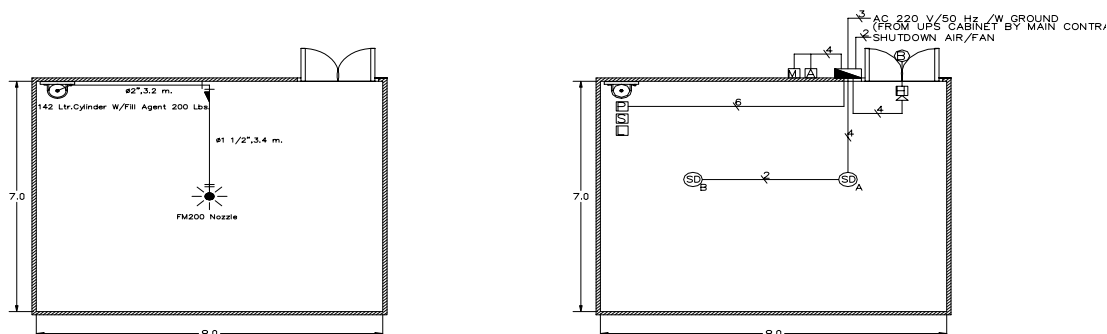
ภาพที่ 30 แสดงผังการติดตั้ง หัวฉีด (Nozzle) และอุปกรณ์ตรวจจับควัน (Smoke Detector) ของห้อง Inventory แบบที่ 1 ซึ่งมีขนาด 4x3x3.0 เมตร หรือ เท่ากับ 36 ลบ.ม.

ขนาดถังดับเพลิงที่ควรใช้ 60 ปอนด์ จำนวน 1 ถัง หัวฉีดที่ควรใช้ 1 นิ้ว จำนวน 1 หัว
อุปกรณ์ตรวจจับควันที่ควรใช้ 2 หัว แบ่งเป็น 2 โซน



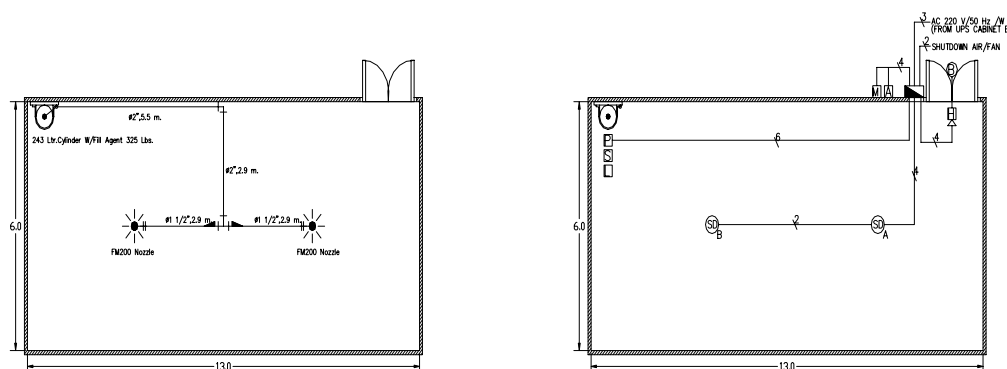
ภาพที่ 31 แสดงผังการติดตั้ง หัวฉีด (Nozzle) และอุปกรณ์ตรวจจับควัน (Smoke Detector) ของห้อง Inventory แบบที่ 2 ซึ่งมีขนาด 6x7x3.0 เมตร หรือ เท่ากับ 126 ลบ.ม.

ขนาดถังดับเพลิงที่ใช้ 215 ปอนด์ จำนวน 1 ถัง หัวฉีดที่ใช้ 1.5 นิ้ว จำนวน 1 หัว อุปกรณ์ตรวจจับควันที่ใช้ 2 หัว แบ่งเป็น 2 โซน



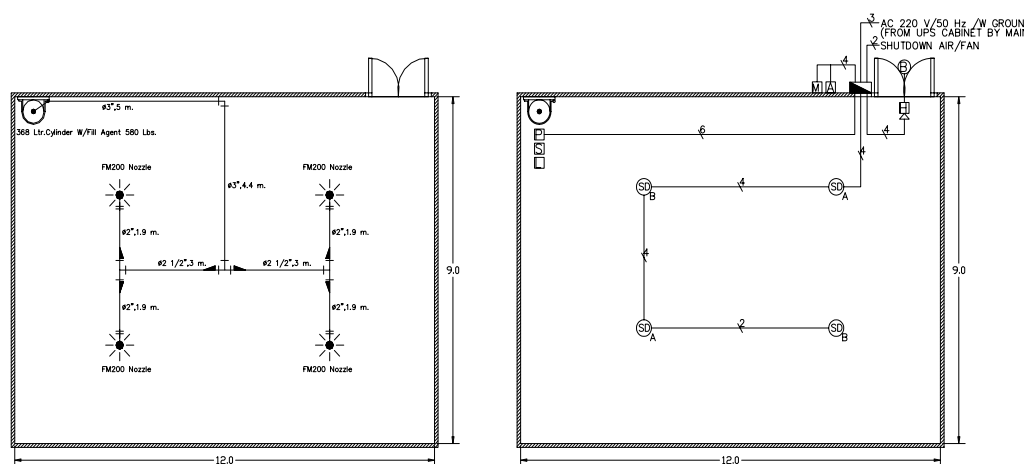
ภาพที่ 32 แสดงผังการติดตั้ง หัวฉีด (Nozzle) และอุปกรณ์ตรวจจับควัน (Smoke Detector) ของห้อง Inventory แบบที่ 3 ซึ่งมีขนาด 7x8x3.0 เมตร หรือ เท่ากับ 168 ลบ.ม.

ขนาดถังดับเพลิงที่ใช้ 215 ปอนด์ จำนวน 1 ถัง หัวฉีดที่ใช้ 2 นิ้ว จำนวน 1 หัว อุปกรณ์ตรวจจับควันที่ใช้ 2 หัว แบ่งเป็น 2 โซน



ภาพที่ 33 แสดงผังการติดตั้ง หัวฉีด (Nozzle) และอุปกรณ์ตรวจจับควัน (Smoke Detector) ของห้อง Inventory แบบที่ 4 ซึ่งมีขนาด 6x13x3.5 เมตร หรือ เท่ากับ 273 ลบ.ม.

ขนาดถังดับเพลิงที่ควรใช้ 375 ปอนด์ จำนวน 1 ถัง หัวฉีดที่ควรใช้ 1.5 นิ้ว จำนวน 2 หัว อุปกรณ์ตรวจจับควันที่ควรใช้ 2 หัว แบ่งเป็น 2 โซน



ภาพที่ 34 แสดงผังการติดตั้ง หัวฉีด (Nozzle) และ อุปกรณ์ตรวจจับควัน (Smoke Detector) ของห้อง Inventory แบบที่ 5 ซึ่งมีขนาด 9x12x4.5 เมตร หรือ เท่ากับ 486 ลบ.ม.

ขนาดถังดับเพลิงที่ควรใช้ 1,000 ปอนด์ จำนวน 1 ถัง หัวฉีดที่ควรใช้ 2 นิ้ว จำนวน 4 หัว อุปกรณ์ตรวจจับควันที่ควรใช้ 4 หัว แบ่งเป็น 2 โซน

3.การประเมินค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบดับเพลิงสารสะอาด HFC-227ea

ตารางที่ 8 การประเมินค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบดับเพลิงสารสะอาด HFC-227ea ของห้องแบบที่ 1

รายการ	รายละเอียดอุปกรณ์	จำนวน (หน่วย)	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)
1	Cylinder and Valve	1	30,000	30,000
2	FM-200 Agents(lbs)	45	1,200	54,000
3	Electric Control Head	1	18,000	18,000
4	Manual Operated Control Head	1	4,500	4,500
5	Discharge Nozzle	1	3,500	3,500
6	Photoelectric Smoke Detector	2	3,200	6,400
7	Alarm Bell	1	1,400	1,400
8	Abort Station	1	3,800	3,800
9	Manual Release Station	1	2,800	2,800
10	Multi- tone Signal with Strobe Light	1	3,200	3,200
11	Cylinder Strap	1	1,700	1,700
12	Gas Released Pressure Switch	1	5,000	5,000
13	Cylinder Supervisory Pressure Switch	1	4,200	4,200
14	Control Panel and Countdown System	1	65,000	65,000
15	Sign Plate	2	250	500
16	Installation	1	30,000	30,000
	· Design and Management			
	· Piping Works (Schedule 40)			
	· Painting and Tools			
	· Wiring			
	· Labor for Installation			
Total				234,000

ที่มา : บริษัท แมสเทคไฟร์ เอ็นจิเนียริง จำกัด

ตารางที่ 9 การประเมินค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบดับเพลิงสารสะอาด HFC-227ea ของห้องแบบที่

2

รายการ	รายละเอียดอุปกรณ์	จำนวน (หน่วย)	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)
1	Cylinder and Value	1	55,000	55,000
2	FM-200 Agents(lbs)	150	1,200	180,000
3	Electric Control Head	1	18,000	18,000
4	Manual Operated Control Head	1	4,500	4,500
5	Discharge Nozzle	1	3,500	3,500
6	Photoelectric Smoke Detector	2	3,200	6,400
7	Alarm Bell	1	1,400	1,400
8	Abort Station	1	3,800	3,800
9	Manual Release Station	1	2,800	2,800
10	Multi- tone Signal with Strobe Light	1	3,200	3,200
11	Cylinder Strap	1	1,700	1,700
12	Gas Released Pressure Switch	1	5,000	5,000
13	Cylinder Supervisory Pressure Switch	1	4,200	4,200
14	Control Panel and Countdown System	1	65,000	65,000
15	Sign Plate	2	250	500
16	Installation	1	45,000	45,000
	· Design and Management			
	· Piping Works (Schedule 40)			
	· Painting and Tools			
	· Wiring			
	· Labor for Installation			
Total				400,000

ที่มา : บริษัท แมสเทคไฟร์ เอ็นจิเนียริง จำกัด

ตารางที่ 10 การประเมินค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบดับเพลิงสารสะอาด HFC-227ea ของห้องแบบที่ 3

รายการ	รายละเอียดอุปกรณ์	จำนวน (หน่วย)	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)
1	Cylinder and Value	1	70,000	70,000
2	FM-200 Agents(lbs)	200	1,200	240,000
3	Electric Control Head	1	18,000	18,000
4	Manual Operated Control Head	1	4,500	4,500
5	Discharge Nozzle	1	3,500	3,500
6	Photoelectric Smoke Detector	2	3,200	6,400
7	Alarm Bell	1	1,400	1,400
8	Abort Station	1	3,800	3,800
9	Manual Release Station	1	2,800	2,800
10	Multi- tone Signal with Strobe Light	1	3,200	3,200
11	Cylinder Strap	1	1,700	1,700
12	Gas Released Pressure Switch	1	5,000	5,000
13	Cylinder Supervisory Pressure Switch	1	4,200	4,200
14	Control Panel and Countdown	1	65,000	65,000
15	Sign Plate	2	250	500
16	Installation	1	45,000	45,000
	· Design and Management			
	· Piping Works (Schedule 40)			
	· Painting and Tools			
	· Wiring			
	· Labor for Installation			
Total				475,000

ที่มา : บริษัท แมสเทคไฟร์ เอ็นจิเนียริง จำกัด

ตารางที่ 11 การประเมินค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบดับเพลิงสารสะอาด HFC-227ea ของห้องแบบ
ที่ 4

รายการ	รายละเอียดอุปกรณ์	จำนวน (หน่วย)	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)
1	Cylinder and Value	1	110,000	110,000
2	FM-200 Agents(lbs)	325	1,200	390,000
3	Electric Control Head	1	18,000	18,000
4	Manual Operated Control Head	1	4,500	4,500
5	Discharge Nozzle	2	3,500	7,000
6	Photoelectric Smoke Detector	2	3,200	6,400
7	Alarm Bell	1	1,400	1,400
8	Abort Station	1	3,800	3,800
9	Manual Release Station	1	2,800	2,800
10	Multi- tone Signal with Strobe Light	1	3,200	3,200
11	Cylinder Strap	1	1,700	1,700
12	Gas Released Pressure Switch	1	5,000	5,000
13	Cylinder Supervisory Pressure Switch	1	4,200	4,200
14	Control Panel and Countdown	1	65,000	65,000
15	Sign Plate	2	250	500
16	Installation	1	55,000	55,000
	· Design and Management			
	· Piping Works (Schedule 40)			
	· Painting and Tools			
	· Wiring			
	· Labor for Installation			
Total				678,500

ที่มา : บริษัท แมสเทคไฟร์ เอ็นจิเนียริง จำกัด

ตารางที่ 12 การประเมินค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบดับเพลิงสารสะอาด HFC-227ea ของห้องแบบที่ 5

รายการ	รายละเอียดอุปกรณ์	จำนวน (หน่วย)	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)
1	Cylinder and Value	1	140,000	140,000
2	FM-200 Agents(lbs)	580	1,200	696,000
3	Electric Control Head	1	18,000	18,000
4	Manual Operated Control Head	1	4,500	4,500
5	Discharge Nozzle	4	3,500	14,000
6	Photoelectric Smoke Detector	4	3,200	12,800
7	Alarm Bell	1	1,400	1,400
8	Abort Station	1	3,800	3,800
9	Manual Release Station	1	2,800	2,800
10	Multi- tone Signal with Strobe Light	1	3,200	3,200
11	Cylinder Strap	1	1,700	1,700
12	Gas Released Pressure Switch	1	5,000	5,000
13	Cylinder Supervisory Pressure Switch	1	4,200	4,200
14	Control Panel and Countdown	1	65,000	65,000
15	Sign Plate	2	250	500
16	Installation	1	65,000	65,000
	· Design and Management			
	· Piping Works (Schedule 40)			
	· Painting and Tools			
	· Wiring			
	· Labor for Installation			
Total				1,037,900

ที่มา : บริษัท แมสเทคไฟร์ เอ็นจิเนียริง จำกัด

4. คำนวณและเปรียบเทียบค่าเบี้ยประกันอัคคีภัยก่อนและหลังที่มีการติดตั้งระบบดับเพลิง

ในการคำนวณเบี้ยประกันอัคคีภัย ตามที่กำหนดไว้ในพิกัดอัตราเบี้ยประกันอัคคีภัยโดยสมาคมประกันวินาศภัยนั้น สามารถคำนวณได้ดังนี้

ตารางที่ 13 แสดงผลการคำนวณเบี้ยประกันภัยของอาคารทั้ง 5 ขนาด ซึ่งยังไม่มี การติดตั้งระบบดับเพลิง

แบบอาคาร	จำนวนอาคาร	มูลค่าอาคาร (บาท)	มูลค่าเครื่องจักร (บาท)	มูลค่าสินค้า (บาท)	มูลค่าทุนประกันภัย (บาท)	อัตราเบี้ยประกันภัย (%)	เบี้ยประกันภัย (บาท/อาคาร)	เบี้ยประกันภัยรวม (บาท)
A	5	64,000,000	90,000,000	80,000,000	234,000,000	0.27	631,800	3,159,000
B	13	80,000,000	110,000,000	80,000,000	270,000,000	0.27	729,000	9,477,000
C	10	120,000,000	130,000,000	80,000,000	330,000,000	0.27	891,000	8,910,000
D	16	150,000,000	150,000,000	80,000,000	380,000,000	0.27	1,026,000	16,416,000
E	8	250,000,000	180,000,000	80,000,000	510,000,000	0.27	1,377,000	11,016,000
รวม	52	664,000,000	660,000,000	400,000,000	1,724,000,000	0.27	4,654,800	48,978,000

จำนวนร้อยละของส่วนลดของการติดตั้งอุปกรณ์ดับเพลิงที่ใช้เป็น ส่วนลดในรายการที่ 4 ของพิกัดส่วนลดอุปกรณ์ดับเพลิงประเภทอื่นๆ ที่มีสถาบันหรือองค์กรรับรองมาตรฐานซึ่งสามารถให้ส่วนลดได้ 10% ดังพิกัดอัตราเบี้ยประกันภัยกำหนด

ตารางที่ 14 แสดงผลการคำนวณเบี้ยประกันภัยของอาคารทั้ง 5 ขนาด หลังจากมีการติดตั้งระบบ
ดับเพลิง HFC-227 ea

แบบ อาคาร	จำนวน อาคาร	มูลค่าทุน ประกันภัย (บาท)	อัตราเบี้ย ประกันภัย (%)	ส่วนลดการ ติดตั้งอุปกรณ์ ดับเพลิง(%)	เบี้ยประกันภัย (บาท/อาคาร)	เบี้ย ประกันภัย รวม(บาท)
A	5	234,000,000	0.27	10	568,620	2,843,100
B	13	270,000,000	0.27	10	656,100	8,529,300
C	10	330,000,000	0.27	10	801,900	8,019,000
D	16	380,000,000	0.27	10	923,400	14,416,000
E	8	510,000,000	0.27	10	1,239,300	9,914,400
รวม	52	1,724,000,000	0.27	10	4,189,320	43,721,800

วิจารณ์

1. การออกแบบติดตั้งระบบดับเพลิงชนิดสารสะอาดในอาคารที่ผ่านการใช้งานมาระยะหนึ่งแล้ว จะต้องมีการตรวจสอบและแก้ไขช่องเปิดต่างๆ เช่น หน้าต่าง ฝ้าเพดาน ประตู ภายในห้อง เพื่อให้แน่ใจได้ว่าเมื่อระบบทำงานห้องนี้ต้องอยู่ในสภาพของระบบปิด (Closed Area) มิฉะนั้นในขณะที่ระบบทำงานโดยการฉีดสารดับเพลิงนั้นอาจมีการรั่วไหลออกไปยังนอกพื้นที่ป้องกันได้ ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการดับเพลิงลดลง และอาจถึงขั้นไม่สามารถดับเพลิงที่เกิดขึ้นได้

2. การออกแบบก่อสร้างอาคารใหม่แต่ละครั้ง หากเราได้มีการทำโครงการศึกษาการติดตั้งระบบดับเพลิง ร่วมกับการจัดพื้นที่ที่มีความเสี่ยงภัยสูง โดยการออกแบบให้บริเวณที่มีความเสี่ยงสูงมีบริเวณที่เหมาะสมก็จะพบว่าสามารถลดค่าใช้จ่ายในระยะยาวลงได้ และก็อาจไม่จำเป็นที่จะต้องมีการลงทุนในระบบดับเพลิงต่างๆ มากเกินความจำเป็นในแง่ธุรกิจ

3. ในการติดตั้งระบบดับเพลิงชนิดที่มีประสิทธิภาพดีเพียงใดก็ตาม แต่ในการเกิดอัคคีภัยแต่ละครั้ง เมื่อระบบดับเพลิงได้ทำงานเราก็จะพบได้ว่าจะต้องมีความเสียหายเกิดขึ้นแน่นอนไม่มากนัก โดยความเสียหายที่เกิดขึ้นมักเกิดจากการทำลายของเปลวเพลิงและควันเป็นส่วนใหญ่ ส่วนความเสียหายจากสารดับเพลิงจะมีอยู่ในอัตราส่วนที่น้อย ดังนั้นวิธีการที่ดีที่สุดเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายขึ้น ควรมีการจัดทำแผนงานและบริหารความปลอดภัยในเชิงป้องกันภัย เพื่อให้เกิดความปลอดภัยมากที่สุด

4. ส่วนในการจัดประกันภัยนั้นก็จะใช่วิธีการหนึ่งที่ใช้ในการบริหารความเสี่ยงภัย โดยโอนความเสี่ยงภัย(Risk Transfer) ไปยัง บริษัทผู้รับประกันภัย ซึ่งสัญญาว่าจะชดเชยค่าสินไหมทดแทนให้ในกรณีที่เกิดความเสียหายจากเพลิงไหม้ในทรัพย์สินที่เอาประกันภัยไว้ซึ่งเป็นการชดเชยความเสียหายทางตรง แต่ในส่วนความเสียหายอื่นๆ ที่เป็นความเสียหายทางอ้อมนั้นจะไม่ได้รับการชดเชยในกรณีที่เรามีได้ขยายความคุ้มครองไปถึง เช่น ความเสียหายต่อการหยุดชะงักของธุรกิจ (Business Interruption) ความเสียหายจากการลุกลามไปบริเวณข้างเคียง ซึ่งนั่นหมายถึงการชดเชยในการละเมิดต่อบุคคลภายนอก(Liability) หรือการเสียชื่อเสียงและความน่าเชื่อถือ ซึ่งล้วนแต่เป็นความเสียหายที่มีมูลค่าสูง ในบางครั้งอาจมีมูลค่ามากกว่าความเสียหายหลักหรือความเสียหายทางตรง

ดังนั้นในการจัดประกันภัยนอกจากการประกันอัคคีภัยแล้วเราคงต้องพิจารณาถึงลักษณะและที่ตั้งของธุรกิจ เพื่อที่จะสามารถจัดประกันภัยให้ครอบคลุมความเสี่ยงภัยให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะประเมินได้

5. แนวทางในการออกแบบระบบดับเพลิงในวิทยานิพนธ์นี้ ยังมีความน่าสนใจที่ผู้ที่สนใจจะนำไปประยุกต์ใช้ในอาคารที่มีลักษณะภัยอื่นเช่น โรงงานต่างๆ ก็สามารถทำได้ แต่จะต้องคำนึงถึงอัตราเบี้ยประกันภัย ซึ่งกรมการประกันภัยได้กำหนดมานั้น เมื่อนำมาคำนวณในเชิงธุรกิจแล้วนั้น อาจจะไม่คุ้มค่าในการลงทุน รวมทั้งนโยบายของบริษัทผู้รับประกันภัยด้วย

สรุป

ในงานวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาและออกแบบเพื่อปรับปรุงระบบดับเพลิงในจุดเสี่ยงภัยของอาคารห้อง Inventory ซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐาน NFPA (National Fire Protection Association) โดยจากการศึกษาได้พบว่าโครงงานดังกล่าวสามารถประยุกต์แนวความคิดด้านวิศวกรรมความปลอดภัยมาช่วยลดต้นทุนในการบริหารองค์กรได้ ซึ่งสามารถสรุปผลได้ คือ

1. จากแนวคิดในการโอนความเสี่ยงภัยไปยังบริษัทผู้รับประกันภัย เราจะต้องมีการปรับปรุงสภาพความเสี่ยงภัยให้ดีขึ้นในระดับที่น่าพึงพอใจ โดยที่เราได้มีการปรับปรุงจุดที่มีความเสี่ยงสูงและมูลค่าสูง ให้มีความเสี่ยงลดลง ทำให้บริษัทผู้รับประกันภัยยินดีที่จะพิจารณารับโอนความเสี่ยงภัยหรือประกันภัย พร้อมทั้งพิจารณาให้ส่วนลดตามข้อกำหนดของสมาคมประกันวินาศภัย เป็นจำนวนร้อยละ 10 ของอัตราเบี้ยประกันภัย ดังนั้นทำให้โครงงานนี้ได้รับประโยชน์คือ มีการปรับปรุงระบบป้องกันอัคคีภัยที่ดีขึ้น และหากเกิดอัคคีภัยจากสิ่งที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ก็แน่ใจได้ว่าจะสามารถบรรเทาความเสียหายได้จากบริษัทประกันภัย

2. นอกจากการลดความเสี่ยงภัยที่ได้ติดตั้งระบบดับเพลิงเพิ่มเติมในอาคารแล้ว ผลประโยชน์ที่ได้อีกในรูปของการลดค่าใช้จ่ายขององค์กรก็คือค่าเบี้ยประกันภัยที่ลดลง ในโครงงานดังกล่าวหากมีการติดตั้งระบบดับเพลิงทั้ง 52 อาคาร จะทำให้สามารถลดค่าเบี้ยประกันภัยได้ทั้งหมด 5,256,200 บาท

3. เปรียบเทียบจุดคุ้มทุนระหว่างค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบดับเพลิงกับเบี้ยประกันอัคคีภัยซึ่งโดยทั่วไปในการตัดสินใจการใช้งานอุปกรณ์ทางวิศวกรรมนั้นควรมีจุดคุ้มทุนไม่เกิน 10 ปี ดังนั้นในโครงงานนี้สามารถคำนวณจุดคุ้มทุนได้ ดังนี้

อาคารแบบ A ค่าเบี้ยประกันภัยลดลงเท่ากับ 63,180 บาท/อาคาร/ปี
 ระบบดับเพลิงที่ใช้ในห้อง Inventory แบบที่ 1 มูลค่าเท่ากับ 234,000 บาท
 ดังนั้นอาคาร A จะถึงจุดคุ้มทุนภายในระยะเวลาเท่ากับ $234,000 / 63,180 = 3.70$ ปี
 ซึ่งยอมรับได้ เหมาะสมในการลงทุน

อาคารแบบ B ค่าเบี่ยงประกันภัยลดลงเท่ากับ 72,900 บาท/อาคาร/ปี
 ระบบดับเพลิงที่ใช้ในห้อง Inventory แบบที่ 2 มูลค่าเท่ากับ 400,000 บาท
 ดังนั้นอาคาร B จะถึงจุดคุ้มทุนภายในระยะเวลาเท่ากับ $400,000 / 72,900 = 5.49$ ปี
 ซึ่งยอมรับได้ เหมาะสมในการลงทุน

อาคารแบบ C ค่าเบี่ยงประกันภัยลดลงเท่ากับ 89,100 บาท/อาคาร/ปี
 ระบบดับเพลิงที่ใช้ในห้อง Inventory แบบที่ 3 มูลค่าเท่ากับ 475,000 บาท
 ดังนั้นอาคาร C จะถึงจุดคุ้มทุนภายในระยะเวลาเท่ากับ $475,000 / 89,100 = 5.33$ ปี
 ซึ่งยอมรับได้ เหมาะสมในการลงทุน

อาคารแบบ D ค่าเบี่ยงประกันภัยลดลงเท่ากับ 102,600 บาท/อาคาร/ปี
 ระบบดับเพลิงที่ใช้ในห้อง Inventory แบบที่ 4 มูลค่าเท่ากับ 678,500 บาท
 ดังนั้นอาคาร D จะถึงจุดคุ้มทุนภายในระยะเวลาเท่ากับ $678,500 / 102,600 = 6.61$ ปี
 ซึ่งยอมรับได้ เหมาะสมในการลงทุน

อาคารแบบ E ค่าเบี่ยงประกันภัยลดลงเท่ากับ 137,700 บาท/อาคาร/ปี
 ระบบดับเพลิงที่ใช้ในห้อง Inventory แบบที่ 5 มูลค่าเท่ากับ 1,037,900 บาท
 ดังนั้นอาคาร E จะถึงจุดคุ้มทุนภายในระยะเวลาเท่ากับ $1,037,900 / 137,700 = 7.54$ ปี
 ซึ่งยอมรับได้ เหมาะสมในการลงทุน

4. แนวทางการออกแบบระบบดับเพลิงโดยสาร HFC-227 ea สำหรับห้อง Inventory ทั้ง 5 ขนาดที่เหมาะสมสำหรับอาคารทั้ง 5 ขนาด ในอนาคต

ในกรณีที่มีการสร้างอาคารหรือห้อง Inventory ใหม่ เราสามารถที่จะปรับเปลี่ยนขนาดห้อง Inventory ให้เหมาะสมเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายลงได้ ซึ่งอาคารแต่ละแบบจะสามารถสร้างห้อง Inventory ให้มีขนาดที่สามารถยอมรับได้ถึงจุดคุ้มทุน ดังผลการเปรียบเทียบดังนี้

ตารางที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ของจุดคุ้มทุนในอาคารขนาดต่างๆที่จะมีห้อง Inventory ที่เหมาะสม

แบบอาคาร	ห้องขนาด 36 ลบ.ม.	ห้องขนาด 126 ลบ.ม.	ห้องขนาด 168 ลบ.ม.	ห้องขนาด 273 ลบ.ม.	ห้องขนาด 486 ลบ.ม.
A	3.70 ปี	6.33 ปี	7.51 ปี	10.74 ปี	16.43 ปี
B	3.21 ปี	5.49 ปี	6.56 ปี	9.31 ปี	14.24ปี
C	2.63 ปี	4.49 ปี	5.33 ปี	7.61 ปี	11.64 ปี
D	2.28 ปี	3.90 ปี	4.63 ปี	6.61 ปี	10.12 ปี
E	1.70 ปี	2.91 ปี	3.45 ปี	4.93 ปี	7.54 ปี

จากผลดังกล่าวทำให้ทราบได้ว่า

อาคารแบบ A เหมาะสมที่จะลงทุนให้มีห้อง Inventory ขนาด 36, 126 และ 168 ลบ.ม. แต่ไม่ควรออกแบบให้ห้องมีขนาดใหญ่ถึง 273 และ 486 ลบ.ม. เพราะจะทำให้จุดคุ้มทุนเกิน 10 ปี

อาคารแบบ B เหมาะสมที่จะลงทุนให้มีห้อง Inventory ขนาด 36, 126 และ 168 ลบ.ม. แต่ไม่ควรออกแบบให้ห้องมีขนาดใหญ่ถึง 273 และ 486 ลบ.ม. เพราะจะทำให้จุดคุ้มทุนเกิน 10 ปี

อาคารแบบ C เหมาะสมที่จะลงทุนให้มีห้อง Inventory ขนาด 36, 126, 168 และ 273 ลบ.ม. แต่ไม่ควรออกแบบให้ห้องมีขนาดใหญ่ถึง 486 ลบ.ม. เพราะจะทำให้จุดคุ้มทุนเกิน 10 ปี

อาคารแบบ D เหมาะสมที่จะลงทุนให้มีห้อง Inventory ขนาด 36, 126, 168 และ 273 ลบ.ม. แต่ไม่ควรออกแบบให้ห้องมีขนาดใหญ่ถึง 486 ลบ.ม. เพราะจะทำให้จุดคุ้มทุนเกิน 10 ปี

อาคารแบบ E เหมาะสมที่จะลงทุนให้มีห้อง Inventory ขนาด 36, 126, 168, 273 และ 486 ลบ.ม. ได้ทุกขนาด เพราะจะทำให้จุดคุ้มทุนของระบบดับเพลิงไม่เกิน 10 ปี

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

คณะกรรมการประกันภัยทรัพย์สิน, 2545.พิกต์อัตราเบี้ยประกันอัคคีภัย กรุงเทพฯ: สมาคมประกันวินาศภัยแห่งประเทศไทย

เฉลิมเกียรติ จรามรบูรพวงศ์, 2539. การวิเคราะห์เชิงสถิติเพื่อหาอัตราเบี้ยประกันอัคคีภัยที่เหมาะสม. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. พาณิชยศาสตร์และการบัญชี (การประกันภัย), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บริษัท แมสเทคไฟร์ เอ็นจิเนียริง จำกัด, 2548. เอกสารประกอบคำบรรยายการออกแบบระบบการป้องกันอัคคีภัย. กรุงเทพฯ

บริษัท แอนด์ไฟร์ จำกัด, 2548. เอกสารประกอบคำบรรยายการออกแบบระบบการป้องกันอัคคีภัย. กรุงเทพฯ

บริษัท ไอออน รีคส์ คอนซัลตัง จำกัด, 2544. เอกสารประกอบคำบรรยายการบริหารความเสี่ยงภัยในธุรกิจประกันภัย. กรุงเทพฯ

พิชญะ จันทรานูวัฒน์, 2547 การป้องกันอัคคีภัยในงานอุตสาหกรรม. ภาควิชาวิศวกรรมความปลอดภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วรวิทย์ อึ้งภากรณ์ และคณะ, 2546. คู่มือออกแบบระบบดับเพลิงแบบอัตโนมัติ. กรุงเทพฯ : บริษัท แอนด์ไฟร์ จำกัด

อัจฉรา ชีวะตระกูลกิจและคณะ, 2545. หลักการประกันภัย. สาขาวิชาวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมราช

National Fire Protection Association 2000. **NFPA 2001 Standard On Clean Agent Fire**

Extinguishing Systems. National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

มาตรฐาน NFPA 2001 สำหรับระบบดับเพลิงแบบสารสะอาด ฉบับปี 2000

ภาคผนวก ก

มาตรฐาน NFPA 2001 สำหรับระบบดับเพลิงแบบสารสะอาด ฉบับปี 2000

1. มาตรฐานทั่วไป

1.1 ขอบเขต

ในมาตรฐานนี้จะกล่าวถึงข้อกำหนดที่ต้องการที่ขึ้นต่ำสำหรับระบบดับเพลิงสารสะอาดในระบบปิด (Total Flooding System) เท่านั้น ไม่ครอบคลุมถึงระบบดับเพลิงที่ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือน้ำ ซึ่งจะระบุไว้ใน NFPA เล่มอื่น

1.2 จุดประสงค์

1.2.1 สารดับเพลิงที่อ้างอิงถึงในมาตรฐานฉบับนี้เป็นไปตามข้อกำหนดนานาชาติเกี่ยวกับการผลิตสารดับเพลิงแบบฮาโลน หรือฮาโลเจน (ตามต้นฉบับเป็น Halon) ตามสนธิสัญญามอนทรีออล (Montreal Protocol ซึ่งได้ปรับปรุงเมื่อวันที่ 16 กันยายน ปี ค.ศ.1987 มาตรฐานฉบับนี้ทำขึ้นเพื่อนำมาใช้อ้างอิงและเป็นแนวทางในการจัดซื้อออกแบบ ติดตั้ง ทดสอบ รับรอง บันทึก ใช้งาน และบำรุงรักษาระบบดับเพลิงแบบสารสะอาด ทั้งแบบที่ต้องมีการคำนวณแบบ Pre-Engineer และแบบ Engineer ดังนั้นอุปกรณ์ต่างๆ จะทำงานตามที่กำหนดตลอดอายุการใช้งาน แต่ในขณะเดียวกัน มาตรฐานนี้ก็ไม่ได้ปิดกั้นเทคโนโลยีใหม่ และการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่ทำให้เกิดความปลอดภัยอื่นๆ ที่สูงกว่ามาตรฐานนี้ไม่ได้ระบุไว้

1.2.2 เนื่องจากไม่มีมาตรฐานที่ประกาศออกมาใดๆ ที่จะระบุเกณฑ์ที่สำคัญทั้งหมดในการนำระบบดับเพลิงแบบสารสะอาดไปใช้งาน และเทคโนโลยีของระบบดับเพลิงแบบนี้กำลังอยู่ภายใต้การพัฒนาอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งส่งผลให้ต้องมีการปรับปรุงมาตรฐานนี้เรื่อยๆ

1.3 คำจำกัดความ

คำบางคำที่กล่าวถึงในมาตรฐานนี้ มีการกำหนดความหมายเฉพาะทางเทคนิค เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกัน ดังนี้

1.3.1 ปริมาณการออกแบบน้อยที่สุดที่ถูกปรับ (Adjusted Minimum Design Quantity: AMDQ) คือปริมาณสารที่ออกแบบที่น้อยที่สุด ซึ่งถูกปรับโดยการพิจารณาถึงแฟกเตอร์ในการออกแบบ

1.3.2 ความเข้มข้นของสาร (Agent Concentration) หมายถึง สัดส่วนของสารดับเพลิงรวมกับอากาศ โดยกำหนดเป็นร้อยละเชิงปริมาตร

1.3.3 การยอมรับ (Approved) หมายถึง สามารถยอมรับได้โดยผู้ที่มีอำนาจรับรอง

1.3.4 ผู้ที่มีอำนาจรับรอง (Authority Having Jurisdiction) หมายถึง หน่วยงาน สำนักงาน หรือบุคคลที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการรับรองอุปกรณ์ วัสดุ การติดตั้ง หรือกระบวนการ

1.3.5 ไฟประเภท A (Class A Fire) หมายถึง ไฟที่ลุกไหม้วัสดุทั่วไป เช่น ไม้ ผ้า กระดาษ ยาง และพลาสติกหลายจำพวก

1.3.6 ไฟประเภท B (Class B Fire) หมายถึง ไฟที่ลุกไหม้ของเหลวที่ติดไฟได้ น้ำมัน น้ำมันดิบ จารบี สีนํ้ามัน สารเคลือบเงา และก๊าซที่ติดไฟได้

1.3.7 ไฟประเภท C (Class C Fire) หมายถึง ไฟที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์ไฟฟ้า

1.3.8 สารสะอาด (Clean Agent) หมายถึง สารดับเพลิงในรูปก๊าซหรือกลายเป็นไอได้ง่าย และไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า ซึ่งสารนี้จะระเหยโดยไม่หลงเหลือสิ่งตกค้างเอาไว้บนพื้นผิววัสดุหลังการฉีดใช้งาน

1.3.9 ระยะเพื่อ (Clearance) หมายถึง ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ดับเพลิงรวมทั้งท่อและหัวฉีดสารดับเพลิง และอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่ได้หุ้มฉนวน ซึ่งมีได้ต่อสายดิน

1.3.10 ตัวแปรการออกแบบ (Design Factor: DF) เศษส่วนของปริมาณสารที่ออกแบบที่น้อยที่สุด (MDQ) ที่เพิ่มเข้าไปเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสม เนื่องจากลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์ป้องกันหรือการออกแบบระบบ

1.3.11 ระบบเชิงวิศวกรรม (Engineered System) หมายถึง ระบบที่ต้องการการคำนวณหรือออกแบบ เพื่อกำหนดอัตราการใช้ ความดันหัวฉีด ขนาดท่อ พื้นที่หรือปริมาตรของพื้นที่ป้องกันของแต่ละหัวฉีด ปริมาณสาร จำนวนและชนิดของหัวฉีดและการจัดวางหัวฉีดในพื้นที่กำหนด

1.3.12 ความหนาแน่นในการเติมสาร (Fill Density) หมายถึง เนื้อสารต่อหน่วยปริมาตรของภาชนะ โดยทั่วไปใช้ lb/ft^3 หรือ kg/m^3

1.3.13 ปริมาณสารที่ออกแบบสุดท้าย (Final Design Quantity: FDQ) หมายถึง ปริมาณของสารที่กำหนดจากปริมาณสารออกแบบที่น้อยที่สุด ซึ่งได้รับการปรับโดยพิจารณาถึงตัวแปรการออกแบบ และการปรับความดันแล้ว

1.3.14 สารฮาโลคาร์บอน (Halocarbon Agent) หมายถึงสารที่มีองค์ประกอบพื้นฐานในสารประกอบอินทรีย์ซึ่งมีธาตุฟลูออรีน คลอรีน โบรมีน หรือไอโอดีนอยู่หนึ่งธาตุหรือมากกว่า

1.3.15 สารที่เป็นก๊าซเฉื่อย (Inert Gas Agent) หมายถึง สารที่มีก๊าซฮีเลียม นีออน อาร์กอน หรือไนโตรเจนอย่างใดอย่างหนึ่งหรือมากกว่า เป็นส่วนประกอบพื้นฐาน

1.3.16 รายการกำหนด (Listed) หมายถึงอุปกรณ์ วัสดุ หรือการบริการที่ถูกกำหนดออกมา และจัดพิมพ์เผยแพร่โดยหน่วยงานที่ได้รับการยอมรับจากเจ้าหน้าที่ผู้มีอำนาจรับรอง และผลิตภัณฑ์หรือบริการ เพื่อรักษาช่วงเวลาการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ตามรายการเครื่องมือหรือวัสดุหรือช่วงเวลาการประเมินการบริการ ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานการออกแบบ หรือการทดสอบ และเหมาะสมกับวัตถุประสงค์เฉพาะ

1.3.17 LOAEL (Lowest Observable Adverse Effect Level) หมายถึง ความเข้มข้นต่ำสุดที่สังเกตเห็นผลของความเป็นพิษ หรือผลร้ายทางสรีระได้

1.3.18 ปริมาณการออกแบบน้อยที่สุด Minimum Design Quantity (MDQ) หมายถึงปริมาณสารที่ต้องการเพื่อให้ได้ความเข้มข้นที่ออกแบบน้อยที่สุด

1.3.19 NOAEL (No Observed Adverse Effect Level) หมายถึง ความเข้มข้นสูงสุด ที่ยังไม่สังเกตเห็นผลของความเป็นพิษ หรือผลร้ายทางสรีระได้

1.3.20 พื้นที่ใช้งานปกติ (Normally Occupied Area) หมายถึง พื้นที่ที่ตั้งใจให้เป็นพื้นที่ทำงาน

1.3.21 ระบบ Pre-Engineered หมายถึง ระบบที่มีการกำหนดอัตราการไหลความดันหัวฉีด และปริมาณสารไว้ล่วงหน้า ระบบแบบนี้จะมีข้อกำหนด ความยาวท่อมากที่สุด-น้อยที่สุด ท่ออ่อน (Flexible Hose) จำนวนข้อต่อ จำนวนและชนิดของหัวฉีดที่กำหนดรายละเอียดโดยห้องปฏิบัติการทดสอบ โดยอาศัยพื้นฐานจากการทดสอบไฟที่แท้จริง ข้อจำกัดของพื้นที่ซึ่งระบบดับเพลิงนี้สามารถป้องกันได้จะถูกระบุอยู่ในคู่มือการติดตั้งของผู้ผลิต

1.3.22 ตัวแปรความปลอดภัย (Safety Factor: SF) หมายถึงค่าที่ใช้คูณกับความเข้มข้นของสารดับเพลิง ความเข้มข้นของสารหรือก๊าซเฉื่อย เพื่อกำหนดความเข้มข้นออกแบบที่น้อยที่สุด

1.3.23 ความเทียบเท่าที่ระดับน้ำทะเลของสารดับเพลิง (Sea Level Equivalent of Agent) หมายถึง ความเข้มข้นเชิงปริมาตรของสารที่ระดับน้ำทะเลซึ่งมีความดันของสารเทียบเท่ากับความดันแวดล้อมของสาร ณ ระดับความสูงที่กำหนด

1.3.24 ความเทียบเท่าที่ระดับน้ำทะเลของ O_2 (Sea Level Equivalent of Agent) หมายถึง ความเข้มข้นเชิงปริมาตรของ O_2 ที่ระดับน้ำทะเลซึ่งมีความดันย่อย (Partial pressure) ของ O_2 ตรง

กับความดันย่อยที่สภาวะแวดล้อม (Ambient partial pressure) ของ O_2 ณ ระดับความสูงที่กำหนดพอดี

1.3.25 Super pressurization หมายถึง การเพิ่มก๊าซลงไปจนถึงบรรจุดัชนีเพื่อกำหนดความดันที่ต้องการ

1.3.26 ระบบดับเพลิงแบบปิด (Total Flooding System) หมายถึง ระบบที่ประกอบด้วยแหล่งจ่ายสารดับเพลิงและระบบท่อจ่ายสารที่ออกแบบมา เพื่อให้มีการจ่ายสารดับเพลิงในปริมาณความเข้มข้นที่พอเหมาะกับพื้นที่ป้องกัน

1.4 หน่วยวัด

หน่วยวัดที่ใช้อ้างอิงในมาตรฐานนี้เป็นไปตามหน่วย SI แต่หน่วยลิตรและบาร์ซึ่งไม่ใช่หน่วย SI แต่พบบ่อยใช้ในระบบป้องกันอัคคีภัยสากลซึ่งแสดงการแปลงหน่วยเหล่านี้ไว้ในตารางผนวกที่ 1

ตารางผนวกที่ ก1 แสดงหน่วยที่ใช้และการแปลงหน่วย

ชื่อหน่วย	สัญลักษณ์	หน่วยเทียบ
มิลลิเมตร	mm	1 นิ้ว = 25.4 มม.
ลิตร	L	1 แกลลอน = 3.785 ลิตร
ลูกบาศก์เมตร	m ³	1 ลบ.ฟุต = 0.028317 ลบ.เมตร
กิโลกรัม	kg	1 ปอนด์ = 0.4536 กิโลกรัม
กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	Kg/m ³	1 ปอนด์/ลบ.ฟุต = 16.0185 กก./ลบ.ม
ปาสคาล	pa	1 psi = 6895 Pa
บาร์	bar	1 psi = 0.0689 บาร์
บาร์	bar	1 บาร์ = 10 ⁵ Pa

1.5 ข้อมูลทั่วไป

1.5.1 สารดับเพลิง

สารดับเพลิงที่อ้างอิงถึงในมาตรฐานนี้ต้องเป็นสารที่ไม่นำไฟฟ้า และไม่เหลือสิ่งตกค้างเมื่อเกิดการระเหย สารที่มีคุณสมบัติดังกล่าว และใช้ในมาตรฐานนี้ มีดังตารางที่ ก.2

ตารางผนวกที่ ก2 สารดับเพลิงใน NFPA 2001

สาร	ชื่อทางเคมี	สูตรเคมี
FC-2-1-8	Perfluoropropane	C_3F_8
FC-3-1-10	Perfluorobutene	C_4F_{10}
HCFC Blend A	Dichlorotrifluoroethane	$CHCl_2CF_3$
	HCFC-123 (4.75%)	
	Chlorodifluoromethane	$CHClF_2$
	HCFC-22 (82%)	
	Chlorotetrafluoroethane	$CHClF_2CF_3$
	HCFC-124 (9.5%)	
	Isopropenyl-1-methylcyclohexane (3.75%)	
HCFC-124	Chlorotetrafluoroethane	$CHClF_2CF_3$
HFC-125	Pentafluoroethane	CHF_2CF_3
HFC-227ea	Heptafluoropropane	$CF_3CH_2CF_3$
HFC-23	Trifluoromethane	CHF_3
HFC-236fa	Hexafluoropropane	$CF_3CH_2CF_3$
FIC-131I	Trifluoroiodide	CF_3I
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

ในการออกแบบ ติดตั้ง บริการ และบำรุงรักษาระบบสารสะอาดควรจะปฏิบัติตามข้อกำหนดเทคโนโลยีระบบดับเพลิงแบบสารสะอาดนั้นๆ

1.5.2 การใช้งานและข้อจำกัด

1.5.2.1 ระบบ Pre-Engineered ประกอบด้วยองค์ประกอบของระบบต่างๆ ที่ถูกออกแบบมาเพื่อการติดตั้งตามข้อกำหนดการทดสอบเบื้องต้นที่กำหนดโดยห้องปฏิบัติการทดสอบ ประกอบไปด้วยหัวฉีดพิเศษ อัตราการไหล วิธีการนำไปใช้ การจัดวางตำแหน่งหัวฉีด และระดับความดัน ซึ่งอาจแตกต่างไปจากข้อกำหนดที่ระบุไว้ที่อื่นๆ ในมาตรฐานฉบับนี้ นอกเหนือจากนี้ให้ใช้ตามที่มาตรฐานฉบับนี้ระบุไว้ ระบบควรถูกติดตั้งในพื้นที่ป้องกันภายใต้ข้อจำกัด ที่ระบุโดยห้องปฏิบัติการทดสอบ

1.5.2.2 ระบบดับเพลิงแบบสารสะอาดจะใช้งานได้ภายใต้ข้อจำกัดของมาตรฐานสำหรับเพลิงไหม้ในพื้นที่หรืออุปกรณ์เฉพาะ และในพื้นที่ใช้งานที่จำเป็นต้องใช้สารดับเพลิงที่ไม่นำไฟฟ้า หรือในพื้นที่ที่ต้องการความสะอาดซึ่งไม่ก่อให้เกิดปัญหา

1.5.2.3 ระบบดับเพลิงแบบสารสะอาดในระบบปิด ใช้ในการป้องกันพื้นที่ที่เป็นแบบปิด หรือใช้กับอุปกรณ์ที่มีส่วนปิด ซึ่งสามารถกักเก็บสารดับเพลิงไม่ให้รั่วไหลออกภายนอกพื้นที่ได้ พื้นที่ป้องกันอาจรวมไปถึง

- 1) พื้นที่ที่มีไฟฟ้าหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
- 2) ใต้พื้นยก หรือพื้นที่ปิดอื่นๆ
- 3) ของเหลวหรือก๊าซที่ติดไฟและลุกไหม้ได้
- 4) ทรัพย์สินที่มีมูลค่าสูง
- 5) เครื่องอำนวยความสะดวกด้านการสื่อสาร

1.5.2.4 ระบบสารสะอาดสามารถนำไปใช้ป้องกันและระงับการระเบิดและระงับไฟที่เกิดจากกลุ่มวัสดุในพื้นที่นั้น

1.5.2.5 สารสะอาด อาจจะใช้ไม่ได้กับไฟที่เกิดกับวัสดุดังต่อไปนี้ ถ้าหากไม่ได้รับการทดสอบจนเป็นที่พอใจจากผู้มีอำนาจรับรองระบบ

- 1) สารเคมีบางอย่างหรือสารเคมีผสม เช่น เซลลูโลสไนเตรด และดินปืน ซึ่งเป็นสารที่สามารถถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายในอากาศ
- 2) โลหะที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น ลิเทียม โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม ไททาเนียม เซอโคเนียม และพลูโตเนียม

3) Metal Hydrides

4) สารเคมีที่สามารถสลายได้ด้วยอนุมูล เช่น organic peroxide และ hydrazine

1.5.2.6 อาจเกิดประจุไฟฟ้าสถิตขึ้นกับตัวนำไม่ได้ต่อสายดินในระหว่างที่มีการปล่อยสารดับเพลิงที่อยู่ในรูปของเหลว ตัวนำนี้จะถ่ายประจุไปยังวัตถุอื่นๆ ซึ่งจะทำให้เกิดประกายไฟที่จะทำให้ระเบิดได้

1.5.2.7 เมื่อมีการใช้ระบบดับเพลิงแบบปิด พื้นที่ป้องกันต้องถูกปิดเพื่อป้องกันการรั่วไหลของสารดับเพลิงตลอดเวลา ทั้งนี้เพื่อความเข้มข้นของสารดับเพลิงและช่วงเวลาที่สารดับเพลิงคงอยู่เป็นไปตามกำหนดเมื่อระบบทำงาน

1.5.2.8 ต้องมีการพิจารณาถึงผลของการแยกตัวของสารดับเพลิงต่อประสิทธิภาพในการป้องกันเพลิงไหม้และอุปกรณ์ เมื่อมีการใช้งานสารดับเพลิงแบบสะอาดในพื้นที่ที่อุณหภูมิแวดล้อมสูง

1.6 ความปลอดภัย

1.6.1 อันตรายต่อบุคคล

1.6.1.1 สารดับเพลิงทั้งหลายที่กล่าวถึงไว้ใน NFPA ฉบับนี้ ได้มีการประเมินผลเพื่อเปรียบเทียบกับสุขภาพของคนโดย U.S. EPA SNAP Program

1.6.1.2 สารดับเพลิงชนิดฮาโลคาร์บอน ถ้าไม่จำเป็นแล้ว ควรจะหลีกเลี่ยงการสัมผัสสารสะอาดชนิดฮาโลคาร์บอนหรือผลิตภัณฑ์ที่มีฮาโลคาร์บอนเป็นองค์ประกอบถึงแม้สารดับเพลิงดังกล่าวจะมีความเข้มข้นในระดับที่ยอมรับได้ก็ตาม ต้องมีการกำหนดให้มีการส่งสัญญาณเตือนก่อนปล่อยสารดับเพลิง และต้องมีการกำหนดเวลาเพื่อก่อนที่สารดับเพลิงจะถูกปล่อยออกมา (Time Delay) ก็เพื่อป้องกันไม่ให้คนได้สัมผัสกับสารนี้ นอกจากนี้ควรมีการเตรียมการล่วงหน้าดังต่อไปนี้เพื่อไว้ในกรณีที่มีการป้องกันที่กล่าวไว้ ไม่สามารถทำงานได้

ก. ระบบดับเพลิงแบบฮาโลคาร์บอนที่ถูกออกแบบ และนำมาใช้กับพื้นที่ใช้งานปกติ ควรให้ความเข้มข้นของสารไม่เกินกว่าค่า NOAEL ที่กำหนดไว้ในตารางผนวกที่ 3

ข. ยอมให้ระบบดับเพลิงแบบฮาโลคาร์บอนที่ถูกออกแบบ และนำมาใช้กับพื้นที่ใช้งานปกติ มีความเข้มข้นของสารดับเพลิงเกินกว่าค่า NOAEL ไปจนถึงค่า LOAEL ในตารางผนวกที่ 3 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ย ของความเข้มข้นสูงสุดที่คนจะรับได้โดยไม่เกินเวลาที่กำหนดในตารางผนวกที่4-7

ค. ในพื้นที่ที่ปกติ ไม่มีคนทำงานอยู่ ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวใช้ระบบดับเพลิงแบบฮาโลคาร์บอนที่มีความเข้มข้นเกินกว่าค่า LOAEL (ดูค่าในตารางผนวกที่ 3) และเป็นพื้นที่ที่คนมีโอกาสสัมผัสกับสารดับเพลิง เวลาที่ได้รับสาร ไม่ควรเกินที่กำหนดไว้ในตารางผนวกที่4-7

ง. ถ้าการเคลื่อนที่ไปยังทางออกใช้เวลาเกินกว่า 30 วินาทีแต่ไม่ถึง 1 นาที สารฮาโลคาร์บอนที่ใช้ไม่ควรมีความเข้มข้นเกินกว่าค่า LOAEL ความเข้มข้นของสารที่เกินกว่าค่า LOAEL จะใช้ได้เฉพาะในพื้นที่ที่ไม่ได้ใช้งานเป็นปกติเท่านั้น คนที่อยู่ในพื้นที่นี้ต้องสามารถออกจากพื้นที่ได้ภายใน 30 วินาที และคนที่ไม่ได้สวมชุดและอุปกรณ์ป้องกัน ไม่ควรที่จะเข้ามาในพื้นที่นี้ขณะที่มีการปล่อยสารดับเพลิงนี้

ตารางผนวกที่ ก3 ข้อมูลสำหรับสารดับเพลิงสะอาดชนิดฮาโลคาร์บอน

สาร	NOAEL (%)	LOAEL (%)
FC-3-1-10	40	>40
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
HFC26	50	>50
HFC-236fa	10	15

ตารางผนวกที่ ก4 เวลาที่คนสามารถรับสารดับเพลิง HFC-125 ได้อย่างปลอดภัยที่ความเข้มข้น

HFC-125 Concentration		เวลาที่คนได้รับสาร
% v/v	ppm	(นาที)
7.5	75,000	5.00
8.0	80,000	5.00
8.5	85,000	5.00
9.0	90,000	5.00
9.5	95,000	5.00
10.0	100,000	5.00
10.5	105,000	5.00
11.0	110,000	5.00
11.5	115,000	5.0
12.0	120,000	1.67
12.5	125,000	0.59
13.0	130,000	0.54
13.5	135,000	0.49

ตารางผนวกที่ ก5 เวลาที่คนสามารถรับสารดับเพลิง HFC-227ea ได้อย่างปลอดภัยที่ความเข้มข้น

HFC-227ea Concentration		เวลาที่คนได้รับสาร
% v/v	ppm	(นาที)
9.0	90,000	5.00
9.5	95,000	5.00
10.0	100,000	5.00
10.5	105,000	5.00
11.0	110,000	1.13
11.5	115,000	0.60
12.0	120,000	0.49

ตารางผนวกที่ ก6 เวลาที่คนสามารถรับสารระดับเพลิง HFC-236 fa ได้อย่างปลอดภัยที่ความเข้มข้น

HFC-236fa Concentration		เวลาที่คนได้รับสาร (นาที)
% v/v	ppm	
10.0	100,000	5.00
10.5	105,000	5.00
11.0	110,000	5.00
11.5	115,000	5.00
12.0	120,000	5.00
12.5	125,000	5.00
13.0	130,000	1.65
13.5	135,000	0.92
14.0	140,000	0.79
14.5	145,000	0.64
15.0	150,000	0.49

ตารางผนวกที่ ก7 เวลาที่คนสามารถรับสารระดับเพลิง FIC-13I1 ได้อย่างปลอดภัยที่ความเข้มข้น

FIC-13I1 Concentration		เวลาที่คนได้รับสาร (นาที)
% v/v	ppm	
0.20	2,000	5.00
0.25	2,500	5.00
0.30	3,000	5.00
0.35	3,500	4.30
0.40	4,000	0.85
0.45	4,500	0.49
0.50	5,000	0.35

นอกจากนี้เพื่อรักษาระดับออกซิเจนให้มากกว่า 16% ที่ระดับน้ำทะเล (ระดับต่ำสุดที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อระบบการทำงานของร่างกาย) สารดับเพลิงแบบฮาโลเจนที่ใช้ในพื้นที่ปกติ ไม่ควรมีความเข้มข้นเกิน 24%

1.6.1.3 สารดับเพลิงสะอาดชนิดก๊าซเฉื่อย (Inert Gas Clean Agent) ควรหลีกเลี่ยงการสัมผัสกับสารดับเพลิงชนิดก๊าซเฉื่อย ในบริเวณที่มีออกซิเจนต่ำโดยไม่จำเป็นต้องมีที่กำหนดให้มีการส่งสัญญาณเตือนก่อนปล่อยสารดับเพลิง และต้องมีการกำหนดเวลาเพื่อ ก่อนที่สารจะถูกปล่อยออกมา (Time Delay) ก็เพื่อป้องกันไม่ให้คนได้สัมผัสกับสารดับเพลิงนี้ นอกจากนี้ควรมีการเตรียมการล่วงหน้าดังต่อไปนี้ เพื่อไว้ในกรณีที่เกิดการป้องกันที่กล่าวไว้ไม่สามารถทำงานได้

ก. ระบบดับเพลิงแบบก๊าซเฉื่อย ที่ถูกออกแบบให้มีความเข้มข้นของสารดับเพลิงต่ำกว่า 43% (มีออกซิเจน 12% ที่ระดับน้ำทะเล) สามารถนำมาใช้ได้ เมื่อ

- เป็นพื้นที่ใช้งานปกติที่มีคนทำงานอยู่
- ระยะเวลาที่ได้รับสารดับเพลิงสูงสุดโดยเฉลี่ยไม่เกิน 5 นาที

ข. ระบบดับเพลิงแบบก๊าซเฉื่อย ที่ถูกออกแบบให้มีความเข้มข้นของสารดับเพลิงในช่วง 43-52% (มีออกซิเจน 10-12% ที่ระดับน้ำทะเล) สามารถนำมาใช้ได้เมื่อ

- เป็นพื้นที่ใช้งานปกติที่มีคนทำงานอยู่
- ระยะเวลาที่ได้รับสารดับเพลิงสูงสุดโดยเฉลี่ยไม่เกิน 3 นาที

ค. ระบบดับเพลิงแบบก๊าซเฉื่อย ที่ถูกออกแบบให้มีความเข้มข้นของสารดับเพลิงในช่วง 52-62% (มีออกซิเจน 8-10% ที่ระดับน้ำทะเล) สามารถนำมาใช้ได้เมื่อ

- เป็นพื้นที่ที่ไม่ได้ใช้งานปกติ
- ระยะเวลาที่ได้รับสูงสุดโดยเฉลี่ยไม่เกิน 3 นาที

ง. ระบบดับเพลิงแบบก๊าซเฉื่อย ที่ถูกออกแบบให้มีความเข้มข้นของสารมากกว่า 62% (มีออกซิเจนไม่เกิน 8% ที่ระดับน้ำทะเล) สามารถนำมาใช้ได้เมื่อเป็นพื้นที่ปกติไม่มีคนทำงานอยู่ และเป็นพื้นที่ที่คนไม่มีโอกาสที่จะได้เผชิญกับสภาพขาดออกซิเจน

1.6.1.4 ข้อกำหนดทางด้านความปลอดภัย ควรมีการเตรียมการป้องกันที่เหมาะสม เพื่อให้แน่ใจว่าจะสามารถทำการอพยพได้ทันที และสามารถหลีกเลี่ยงการสัมผัสกับบรรยากาศที่เป็นอันตราย รวมทั้งสามารถช่วยคนที่ติดอยู่ได้อย่างทันทั่วทั้งการเตรียมการดังกล่าว เช่น การฝึกอบรมความปลอดภัยส่วนบุคคล การเตรียมเครื่องหมายเตือน เสียงสัญญาณเตือนก่อนการปล่อยสาร อุปกรณ์ช่วยหายใจแบบบรรจุเสร็จ (Self-Contained Breathing Apparatus: SCBA) แผนการอพยพ และการฝึกอบรมป้องกันอัคคีภัย

นอกจากนี้ควรมีการพิจารณาถึงความเป็นไปได้ ในการเคลื่อนย้ายสารดับเพลิงไปยังพื้นที่ภายนอก ที่อยู่ติดกันภายนอกพื้นที่ป้องกันด้วย

1.6.2 ระยะห่างของอุปกรณ์ไฟฟ้า

อุปกรณ์ทั้งหมดของระบบดับเพลิงต้องไม่ถูกติดตั้งอยู่ใกล้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งาน ในระยะที่ใกล้เกินกว่าระยะห่างที่น้อยที่สุด ตามข้อกำหนดที่อ้างอิงได้ ดังนี้

1. ANSI C2, National Electrical Safety Code
2. NFPA 70, National Electrical Code (r)
3. 29 CFR 1910, Subpart S

ถ้าหากไม่มีการออกแบบระดับฉนวนพื้นฐาน (Basic Insulation Level: BIL) และถ้าใช้ Nominal Voltage เป็นเกณฑ์ในการออกแบบ ให้ใช้ค่าระยะห่างน้อยที่สุดจากแหล่งอ้างอิงนั้น

อุปกรณ์ไปถึงพื้นดินที่เลือกไว้แล้ว ควรดูจาก BIL duty มากกว่าใช้ ค่าจาก nominal voltage ระยะห่างระหว่างส่วนต่างๆ ของอุปกรณ์ไฟฟ้ารวมทั้งส่วนอื่นๆ ของระบบที่มีการใช้งาน และไม่มี การหุ้มฉนวน ไม่ควรมีน้อยกว่าระยะห่างน้อยที่สุดที่กำหนดไว้ สำหรับการหุ้มฉนวนของอุปกรณ์แต่ละตัวในระบบไฟฟ้า

1.7 ตัวแปรทางด้านสิ่งแวดล้อม

เมื่อจะทำการเลือกสารดับเพลิงที่ใช้ในการป้องกันพื้นที่ที่เสี่ยงอันตราย ควรมีการพิจารณาถึงผลของดับเพลิงสารต่อสิ่งแวดล้อมด้วย การเลือกสารดับเพลิงที่เหมาะสมควรพิจารณาดังต่อไปนี้

ก. ผลจากการเกิดอัคคีภัยภายในพื้นที่ป้องกันที่มีผลต่อสภาวะแวดล้อม

ข. ผลจากการใช้สารดับเพลิง ต่อสิ่งแวดล้อม

1.8 ความเข้ากันได้กับสารอื่น

1.8.1 การผสมสารในถังบรรจุเดียวกันสามารถกระทำได้ หากมีการระบุไว้ในระบบ

1.8.2 ไม่ควรใช้ระบบที่มีการปล่อยสารดับเพลิงที่ต่างชนิดกันในเวลาเดียวกันเพื่อป้องกันเพลิงไหม้ในพื้นที่ปิดเดียวกัน

2. องค์ประกอบของระบบ

2.1 การจ่ายสารดับเพลิง

2.1.1 ปริมาณ

การจ่ายสารดับเพลิงหลัก

ปริมาณสารดับเพลิงหลักในระบบอย่างน้อยที่สุด ควรมีให้เพียงพอต่อพื้นที่ป้องกันเดียวที่มีขนาดใหญ่ที่สุด หรือกลุ่มของพื้นที่ที่ต้องการการป้องกันไปพร้อมๆ กัน

การจ่ายสารดับเพลิงสำรอง

ถ้าในระบบต้องมีสารดับเพลิงสำรอง ปริมาณของสารดับเพลิงสำรองต้องมีมากกว่าปริมาณสารขั้นต้นหลายเท่าตามที่เจ้าหน้าที่ผู้มีอำนาจรับรองเห็นว่าจำเป็น

การป้องกันการขัดจังหวะทำงาน

เพื่อให้การฉีดสารดับเพลิงขาดความต่อเนื่อง (จากการจ่ายสารดับเพลิงหลักต่อเนื่องกับสารดับเพลิงสำรอง) ถังบรรจุสารดับเพลิงหลักและถังบรรจุสารดับเพลิงสำรองต้องเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายสารดับเพลิงทั้งสองอย่างถาวร และควรจัดให้สามารถสลับการทำงานแทนกันได้โดยง่าย

2.1.2 การจัดวางถังเก็บสารดับเพลิง

ก. ถังเก็บสารดับเพลิงและอุปกรณ์ต่อพ่วง ควรถูกเก็บ และจัดวางเพื่อให้สามารถทำการตรวจสอบ ทดสอบ เติมน้ำ และทำการบำรุงรักษาอื่นๆ ได้โดยสะดวกและไม่ขัดขวางการทำงานของระบบ

ข. ถังบรรจุสารดับเพลิง ควรตั้งอยู่ในหรือใกล้กับพื้นที่ป้องกันให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

ค. ถังบรรจุสารดับเพลิง ไม่ควรตั้งอยู่ในที่ที่ทำให้ไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากการชำรุดเสียหายเชิงกล มีการสัมผัสสารเคมีอยู่ในสภาพบรรยากาศที่ไม่ดีหรือสาเหตุอื่นๆ ถ้าหากว่าไม่สามารถหลีกเลี่ยงสภาพดังกล่าวได้ ควรหาเครื่องป้องกันหรือหาวิธีป้องกันเอาไว้

ง. ถังบรรจุสารดับเพลิง ควรถูกติดตั้งอย่างปลอดภัยและเป็นไปตามคู่มือการติดตั้งของโรงงานผู้ผลิต และติดตั้งในลักษณะที่ทำให้สามารถใช้งานได้ง่ายหรือชั่งน้ำหนักได้ง่าย

จ. ถังบรรจุสารดับเพลิงต่อเชื่อมอยู่กับท่อร่วม (Manifold) ควรใช้อุปกรณ์อัตโนมัติ เช่น วาล์วกันกลับ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดการรั่วไหลของสาร หรือเพื่อให้เกิดความปลอดภัยส่วนบุคคล ถ้าหากระบบถูกสั่งให้ทำงานในขณะที่ถังบรรจุถูกนำออกไปทำการบำรุงรักษา

2.1.3 ถังบรรจุสารดับเพลิง

2.1.3.1 สารดับเพลิงควรถูกบรรจุในถังบรรจุสารดับเพลิงซึ่งถูกออกแบบมาสำหรับเก็บสารดับเพลิงเฉพาะอย่างภายใต้อุณหภูมิแวดล้อม ถังควรถูกเติมน้ำจนกระทั่งถึงความหนาแน่นของสาร หรือได้ระดับความดันเป็นไปตามกำหนดของผู้ผลิต

2.1.3.2 ถังแต่ละใบควรมีการติดป้ายชื่อหรือเครื่องหมายอื่นๆ อย่างมั่นคงและต้องระบุถึงสิ่งต่างๆ ดังนี้

- 1) ถ้าเป็นถังบรรจุสารดับเพลิงสะอาตชนิดฮาโลคาร์บอน ต้องระบุชื่อของสารดับเพลิง น้ำหนักถังเปล่า หรือน้ำหนักรวม ระดับความดันที่บรรจุของถัง
- 2) ถ้าเป็นถังบรรจุสารดับเพลิงสะอาตชนิดก๊าซเฉื่อย ต้องระบุชื่อสารระดับความดันของถัง และปริมาตรถังเฉื่อย

2.1.3.3 ถังบรรจุสารที่ใช้สำหรับการจัดส่งต้องได้รับการออกแบบถูกต้องตามข้อกำหนดของกรมการขนส่งสหรัฐอเมริกา (DOT) หรือข้อตกลงเกี่ยวกับการขนส่งของแคนาดา (DTC) ถ้าเป็นถังทั่วไปจะต้องถูกออกแบบ ผลิต ตรวจสอบ รับรองและประทับตราอย่างถูกต้องตาม

มาตรฐาน ASME Section VIII ว่าด้วยหม้อไอน้ำถึงความดัน (Boiler and Pressure Vessel Code) สำหรับความดันที่ใช้ในการออกแบบน้ำต้องเหมาะสมกับความดันมากที่สุดที่เป็นไปได้ที่อุณหภูมิ 130°F (56°C) หรือจำกัดอุณหภูมิควบคุมสูงสุด

2.1.3.4 ควรจะมีวิธีชั่งที่เชื่อถือได้ เกี่ยวกับความดันในถังบรรจุความดันสูงชนิดเติมได้

2.1.3.5 สำหรับถังบรรจุสารดับเพลิงที่เชื่อมต่อกับท่อร่วม (Manifold) ต้องเป็นไปตามกำหนด ดังนี้

ก. ถ้าเป็นสารดับเพลิงสะอาดชนิดฮาโลคาร์บอนในระบบดับเพลิงแบบหลายถังบรรจุถังต่างๆ จะปล่อยสารดับเพลิงไปยังทางออกเดียวกัน ถังจะต้องสลับสับเปลี่ยนกันได้ และต้องมีขนาด และมีการบรรจุสารเท่ากัน

ข. ถ้าเป็นสารดับเพลิงสะอาดชนิดก๊าซเฉื่อย จะสามารถต่อท่อทางออกของสารดับเพลิงกับถังบรรจุขนาดต่างๆ กันหลายถังที่เชื่อมต่อกับท่อร่วมอันเดียวกันได้

2.1.3.6 อุณหภูมิการเก็บรักษาต้องไม่เกิน หรือน้อยกว่าที่ผู้ผลิตกำหนดไว้ อาจให้ความร้อน หรือให้ความเย็นภายนอก เพื่อรักษาระดับอุณหภูมิของถังบรรจุให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ

2.2 การแพร่กระจายของสารดับเพลิง (Distribution)

2.2.1 ท่อ (PIPE)

ท่อที่ใช้ควรทำจากวัสดุทนไฟที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่ทำให้มีความทนทานเป็นไปตามข้อกำหนดของวัสดุนั้น ถ้าท่ออยู่ในสภาพที่อาจก่อให้เกิดการกัดกร่อนได้ ท่อควรทำจากวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อน หรือต้องมีการเคลือบผิว ความหนาของท่อ ควรคำนวณตามข้อกำหนดของ ASME B31.1 (Power Piping Code) ความดันภายในที่ใช้ในการคำนวณไม่ควรน้อยกว่าค่าที่มากที่สุดของค่าทั้งสองต่อไปนี้

1. ความดันของการเติมสารดับเพลิงปกติในถังบรรจุที่อุณหภูมิ 70°F (21°C)
 2. 80% ของความดันสูงสุดในถังบรรจุสารดับเพลิงที่อุณหภูมิเก็บรักษาสูงสุด
- ต้องไม่น้อยกว่า 130°F (55°C) โดยใช้ความหนาแน่นในการเติมมากที่สุดที่ยอมรับได้ตามข้อกำหนดของผู้ผลิต

นอกจากนี้ ไม่ควรใช้ความดันที่น้อยที่สุดที่ออกแบบน้อยกว่าที่กำหนดในตารางผนวกที่ 8-9 ภายใต้สภาวะที่แสดงในตาราง ถ้าเป็นสารดับเพลิงสะอาดชนิดก๊าซเฉื่อย ควรใช้ตารางผนวกที่ 8 และสารดับเพลิงสะอาดชนิดฮาโลคาร์บอน ควรใช้ตามตารางผนวกที่ 9 ถ้าหากความหนาแน่นในการเติมสารดับเพลิง ระดับความดัน อุณหภูมิการเก็บรักษาที่แตกต่างไปจากที่แสดงไว้ในตาราง ได้รับการยอมรับให้ใช้กับระบบได้ ความดันที่ออกแบบน้อยที่สุดควรถูกปรับให้เท่ากับความดันสูงสุดในถังบรรจุมวลสารดับเพลิงที่อุณหภูมิสูงสุด โดยใช้เกณฑ์การออกแบบตามที่ระบุในข้อ 1. และ 2. ที่กล่าวมาแล้ว

**ตารางผนวกที่ ก8 ความดันใช้งานที่ออกแบบน้อยที่สุด สำหรับท่อของระบบสารดับเพลิงแบบสาร
สะอาดชนิดก๊าซเฉื่อย**

สารดับ เพลิง	ความดันบรรจุนองถัง ที่ 70°F (21°C)		ความดันบรรจุนองถัง ที่ 130°F (55°C)		ความดันออกแบบที่น้อยที่สุดที่ 70°F (21°C)			
					Piping upstream of Pressure reducer		Piping downstream of Pressure reducer	
	psig	kPa	psig	kPa	psig	kPa	psig	kPa
IG-01	2,371	16,347	2,650	18,271	2,371	16,347	975	6,723
	2,964	20,436	3,306	22,778	2,964	20,436	975	6,728
IG-541	2,175	14,997	2,575	17,755	2,175	14,997	1,000	6,895
	2,900	19,996	3,433	23,671	2,900	19,996	1,000	6,895
IG-55	2,222	15,320	2,475	17,065	2,222	15,320	950	6,550
	2,962	20,424	3,300	22,753	2,962	20,424	950	6,550
	4,443	30,633	4,950	34,130	4,443	30,635	950	6,550
IG-100	2,404	16,575	2,799	19,300	2,404	16,575	1,000	6,895
	3,236	22,311	3,773	26,014	3,236	22,311	1,000	6,895

ตารางผนวกที่ ก9 ความดันใช้งานที่ออกแบบน้อยที่สุดสำหรับท่อของระบบดับเพลิงแบบสาร
สะอาคชนิดฮาโลคาร์บอน

สารดับเพลิง	ความหนาแน่นที่ เดิมที่มากที่สุดของถัง บรรจุมสาร(lb/ft ³)	ความดันบรรจุมของ ถังบรรจุมสารที่ 70°F (21°C)	ความดันบรรจุมของ ถังบรรจุมสารที่ 130 °F (55°C)	ความดันบรรจุมของ ถังบรรจุมสารที่ 70°F (21°C)
HFC-227ea	62	150*	247	198
	72	360*	520	416
	72	600*	1025	820
FC-3-1-10	80	360*	450	360
HCFC Blend A	56.2	600*	850	680
	56.2	360*	540	432
HFC 23	54	608.9**	2182	1746
	49	608.9**	1765	1412
HCFC-124	74	240*	354	283
HCFC-124	74	360*	580	464
HFC-125	54	360*	615	492
HFC-125	56	600*	1045	836
HFC-236fa	74	240*	360	280
HFC-236fa	75	360*	600	480
HFC-236fa	74	600*	1100	880

* Superpressurized with nitrogen

** Not Superpressurized with nitrogen

2.2.1.2 ไม่ควรใช้ท่อเหล็กหล่อ ท่อโลหะตามมาตรฐานของ ASTM A 120 หมวด
Specification for Pipe, Steel, Black, and Hot-Dipped Zinc Coated, Welded and Seamless for
Ordinary Uses หรือท่อที่ไม่ได้ทำจากโลหะ

2.2.1.3 ไม่ควรมีการทาสีทับข้อความขึ้นบอกคุณสมบัติที่พิมพ์อยู่บนท่อ หรือไม่ควรลบออก
ก่อนที่จะได้รับอนุญาตจากเจ้าหน้าที่ผู้มีอำนาจรับรอง

2.2.1.4 เมื่อต้องใช้ท่ออ่อน (Flexible Pipe) ท่อขนาดเล็ก (Tubing) หรือท่อผ้าใบ (Hoses) รวมทั้งข้อต่อ ต้องมีการตรวจรับรองวัสดุและอัตราความดัน

2.2.1.5 ภายหลังจากการเตรียมท่อและก่อนจะประกอบ แต่ละส่วนของท่อต้องได้รับการทำความสะอาดภายในโดยวิธีการดูดซับและใช้สารทำความสะอาดที่ไม่ติดไฟที่ เหมาะสม ระบบท่อต้องไม่มีฝุ่นละออง หรือน้ำมันตกค้างก่อนทำการติดตั้งหัวฉีดหรืออุปกรณ์ปล่อยสารดับเพลิง

2.2.1.6 ในส่วนที่มีการวาล์วในตำแหน่งที่นำไปสู่ส่วนปิดของท่อ ส่วนนี้ต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ระบบความดัน หรือวาล์วควรถูกออกแบบให้สามารถป้องกันการดักจับของเหลว ในระบบที่ใช้วาล์วของถังบรรจุแบบที่ทำงานโดยความดัน ควรมีตัวที่ใช้ ระบายการรั่วของถังซึ่งการรั่วนี้จะทำให้ความดันในระบบสูงขึ้นและเป็นสาเหตุ ให้เกิดการเปิดของวาล์วที่ไม่ต้องการ ตัวระบายการรั่วนี้ควรอยู่ในตำแหน่งที่ไม่ ขัดขวางการทำงานของวาล์วถังบรรจุ

2.2.1.7 อุปกรณ์ปล่อยความดันทั้งหมด ควรถูกออกแบบและติดตั้งอยู่ในตำแหน่งที่ไม่ทำให้สิ่งที่ปล่อยออกมาทำให้เกิดการบาดเจ็บ หรือเข้าไปในพื้นที่ป้องกัน

2.3 ข้อต่อท่อ (Pipe Joints)

ข้อต่อท่อแบบอื่นๆ นอกจากแบบหมุนเกลียว เชื่อม บัดกรี บาน อัด หรือหน้าแปลนควรถูกระบุและทำการตรวจรับรอง

2.3.1 ข้อต่อ (Fittings)

2.3.1.1 ข้อต่อ ควรมีความดันใช้งานน้อยที่สุด เท่ากับหรือมากกว่าความดันใช้งานที่น้อยที่สุดที่ออกแบบสำหรับระบบที่มีการใช้อุปกรณ์ลดความดันในระบบท่อจ่ายสาร ดับเพลิง ข้อต่อของอุปกรณ์ควรมีความดันใช้งานน้อยที่สุด เท่ากับหรือมากกว่าความดันสูงสุดในท่อ

2.3.1.1 ไม่ควรใช้ข้อต่อที่ทำจากเหล็กหล่อ ข้อต่อขนาด 150 ปอนด์ ไม่ควรใช้ถ้าหากไม่สามารถแสดงได้ว่าเทียบเคียงให้กับการคำนวณของ ANSI

2.3.1.2 เกลียวทั้งหมดที่ใช้ในรอยต่อหรือข้อต่อควรเป็นไปตาม ANSI B1.20.1 Standard for Pipe, Thread, General Purposes หรือ ISO/IEC Guide 7, Requirements for Standards Suitable for Use for Conformity Assessment เทปพันเกลียว สารประกอบท่อ หรือสารหล่อลื่นเกลียวควรใช้กับเกลียวตัวผู้ของข้อต่อเท่านั้น

2.3.1.3 โลหะผสมที่ใช้เชื่อมและบัดกรีควรมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิสูงกว่า 1000°F (538°C)

2.3.1.4 การเชื่อมควรปฏิบัติตาม ASME ว่าด้วยหม้อไอน้ำและภาชนะความดันใน ส่วนที่ 9 “Qualification Standard for Welding and Brazing Procedure, Welders and Welding and Brazing Operators”

2.3.1.5 เมื่อท่อเล็กที่ทำจากทองแดง เหล็กกล้าไร้สนิม หรือวัสดุอื่นๆ ถูกเชื่อมต่อ เข้ากับข้อต่อชนิดรับแรงกดอัด ความดันและอุณหภูมิของข้อต่อไม่ควรเกินที่ผู้ผลิตกำหนด

2.3.2 วาล์ว (VALVES)

2.3.2.1 วาล์วทุกตัวต้องถูกระบุ หรือรับรองสำหรับการใช้งาน

2.3.2.2 ปะเก็น O-ring วัสดุอุดกันรั่ว และอุปกรณ์วาล์วอื่นๆ ควรทำจากวัสดุที่ สามารถใช้งานกับสารดับเพลิงได้ วาล์วควรได้รับการป้องกันจากความเสียหายเชิงกลและทางเคมี

2.3.2.3 ควรใช้วัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนหรือการเคลือบผิวในบรรยากาศที่อาจ ก่อให้เกิดการกัดกร่อนอย่างรุนแรงได้

2.3.3 หัวฉีดสารดับเพลิง (DISCHARGE NOZZLES)

2.3.3.1 หัวฉีดสารดับเพลิงต้องถูกระบุไว้สำหรับการใช้งานในพื้นที่ที่ต้องการ ป้องกันเกณฑ์ในการระบุควรรวมไปถึงคุณลักษณะการไหล ภาครอบคลุมพื้นที่ ข้อจำกัดความสูง และความดันน้อยที่สุด หัวฉีดสารดับเพลิงควรทำจากวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนของสารดับเพลิงที่ ใช้ และทนต่อสภาวะแวดล้อมที่ใช้งาน

2.3.3.2 ควรใช้วัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนหรือการเคลือบผิวในบรรยากาศที่อาจ ก่อให้เกิดการกัดกร่อนอย่างรุนแรงได้

2.3.3.3 ควรมีการระบุชื่อผู้ผลิต ชนิด และขนาดครุภัณฑ์ของหัวฉีด ไว้อย่างถาวรที่ หัวฉีด

2.3.3.4 ถ้าหากมีโอกาสที่จะเกิดการอุดตันโดยสิ่งสกปรก หรือสารจากภายนอกที่ หัวฉีด ควรมีแผ่นปิด หรืออุปกรณ์อื่นๆ ที่เหมาะสมไว้ โดยที่อุปกรณ์นี้ต้องเปิดได้ เองเมื่อมีการใช้งานระบบ และอยู่ในตำแหน่งที่จะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อคน

2.4 ระบบตรวจจับ สิ่งการทำงาน เตือนภัย และควบคุม (Detection, Actuation, Alarm and Control System.)

2.4.1 ทัวไป

2.4.1.1 ควรมีการติดตั้งระบบตรวจจับ ระบบสั่งการทำงาน ระบบเตือนภัย และระบบควบคุม ควรติดตั้งทดสอบ และบำรุงรักษาระบบดังกล่าวตามที่ระบุไว้ใน NFPA protective Signaling System Standards

2.4.1.2 ควรใช้การตรวจจับอัตโนมัติ หรือระบบสั่งทำงานอัตโนมัติ (ระบบที่ทำงานด้วยมือก็สามารถใช้ได้ ถ้าหากได้รับความเห็นชอบจากผู้มีอำนาจ)

2.4.1.3 วงจรเริ่มสัญญาณ (Initiating) และวงจรสั่งการนิรภัยดับเพลิงควรติดตั้งใน raceway แต่ไม่ควรให้มีวงจรกระแสสลับ (AC) กับวงจรกระแสตรง (DC) อยู่ในรางหรือท่อร้อยสายไฟเดียวกัน

2.4.2 การตรวจจับอัตโนมัติ (Automatic Detection)

2.4.2.1 การตรวจจับอัตโนมัติจะทำงานเมื่อเป็นไปตามวิธีการที่ระบุเอาไว้ หรือเมื่ออุปกรณ์สามารถตรวจจับ และระบุถึงความร้อน เปลวไฟ ควัน ไอจากการเผาไหม้ หรือสภาพอื่นๆ ภายในพื้นที่ที่เกิดอันตราย

2.4.2.2 ควรมีการเตรียมแหล่งจ่ายไฟปฐมภูมิที่เพียงพอและเชื่อถือได้ สามารถสำรองไฟไว้ได้นานอย่างน้อย 24 ชม. เพื่อใช้เป็นพลังงานสำรองในการทำงานของระบบตรวจจับ กระตุ้น เตือนภัย และควบคุมในกรณีที่เกิดระบบไฟฟ้าหลักขัดข้อง

2.4.2.3 ถ้ามีการติดตั้งระบบดับเพลิงระบบใหม่ในพื้นที่ที่มีระบบตรวจจับอยู่แล้ว ต้องมีการตรวจวิเคราะห์อุปกรณ์ตรวจจับ เพื่อให้แน่ใจว่าอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้และสามารถทำงานได้เมื่อเกิดเพลิงไหม้ การวิเคราะห์นี้จะช่วยสร้างความมั่นใจว่าระบบจะทำงานได้เมื่อเกิดเหตุการณ์ไฟไหม้ขึ้น

2.4.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงาน (Operating Devices)

2.4.3.1 อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้เพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ควรจะรวมไปถึงอุปกรณ์ปล่อยสารดับเพลิง หรือวาล์ว ตัวควบคุมการฉีด และอุปกรณ์ตัดการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายนอกหรือช่องเปิดต่างๆ

2.4.3.2 การทำงานควรใช้อุปกรณ์ทางเครื่องกล ไฟฟ้า หรือนิวแมติกส์ ตามที่ได้กำหนดเอาไว้ และควรมีแหล่งจ่ายพลังงานที่เพียงพอและเชื่อถือได้

2.4.3.3 อุปกรณ์ทุกตัวควรได้รับการออกแบบให้สอดคล้องกับการนำไปใช้งาน ไม่ควรหยุดทำงาน หรือเสียหายได้ง่าย โดยปกติแล้วอุปกรณ์ควรถูกออกแบบมาเพื่อให้สามารถทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ -20°F ถึง 130°F (-29°C ถึง 54°C)

2.4.3.4 อุปกรณ์ทุกตัวควรถูกจัดวางตำแหน่ง ติดตั้ง หรือป้องกันในลักษณะที่ไม่ถูกนำไปเกิดความเสียหายจากอุปกรณ์ทางกล เคมีหรืออื่นๆ ซึ่งอาจทำให้อุปกรณ์เหล่านี้ไม่ทำงาน

2.4.3.5 ควรมีอุปกรณ์สำหรับการสั่งให้ระบบทำงานด้วยมือ ซึ่งอาจเป็นการสั่งให้ระบบทำงานทางกล หรือไฟฟ้าเมื่ออุปกรณ์ควบคุมทำการตรวจระดับศักย์ไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองแล้วพบว่ามีสัญญาณแบตเตอรี่ต่ำ การสั่งทำงานอาจทำให้วาล์วที่ใช้ควบคุมมีการปล่อยและกระจายสารดับเพลิง โดยอัตโนมัติในเวลาเดียวกัน

2.4.3.6 ตัวควบคุมการกระตุ้นเตือนด้วยมือแบบปกติ ควรติดตั้งอยู่ในตำแหน่งที่สามารถเข้าถึงได้ง่ายตลอดเวลา รวมทั้งขณะที่เกิดเพลิงไหม้ ตัวควบคุมควรมีรูปลักษณะที่เห็นได้เด่นชัด และทำให้ผู้ใช้สามารถจำได้ว่าเป็นตัวควบคุมสำหรับอะไรการทำงานของตัวควบคุมควรทำให้ทั้งระบบทำงานได้เป็นปกติ

2.4.3.7 ตัวควบคุมด้วยมือไม่ควรจะต้องใช้แรงในการดึงเกินกว่า 40 ปอนด์ (178 N) หรือต้องเคลื่อนที่มากกว่า 14 นิ้ว (356 mm) เมื่อต้องการสั่งให้ทำงาน และควรมีตัวควบคุมระบบการกระตุ้นเตือนด้วยมืออย่างน้อย 1 ตัวที่ติดตั้งอยู่สูงจากพื้นไม่เกิน 4 ฟุต (1.2 m)

2.4.3.8 ในระบบที่มีการปล่อยสารดับเพลิงที่เหลือในถังบรรจุโดยการใช้อัตราการจ่ายจากระบบหรือถังบรรจุสำรอง อัตราการจ่ายและปล่อยสารดับเพลิงควรถูกออกแบบมาให้ปล่อยสารดับเพลิงทั้งหมดในถังบรรจุที่เหลือ

2.4.3.9 อุปกรณ์ทุกตัวในอุปกรณ์เสริมสำหรับการปิดการทำงานของช่องเปิดควรเป็นอุปกรณ์ชุดที่ทำงานร่วมกับระบบดับเพลิง โดยต้องทำงานสัมพันธ์กับระบบดับเพลิง

2.4.3.10 อุปกรณ์ทั้งหมด ควรมีการระบุให้มีการติดตั้งไว้ในพื้นที่ป้องกันเสมอ

2.4.4 อุปกรณ์ควบคุม (Control Equipment)

2.4.4.1 อุปกรณ์ควบคุมทางไฟฟ้า (Electric Control Equipment) ใช้ในการควบคุมอุปกรณ์กระตุ้น และระบบสายต่อเชื่อม และทำให้เกิดการกระตุ้น (ถ้าต้องการ) ควรมีการระบุจำนวน และชนิดของตัวกระตุ้นที่ใช้กับอุปกรณ์ควบคุม รวมทั้งความเข้ากันได้

2.4.4.2 เมื่อใช้อุปกรณ์ควบคุมด้วยลม (Pneumatic Control Equipment) ควรมีการป้องกันความเสียหายทางกล หรือความเสียหายที่เกิดจากการหักพับของท่อลมที่อาจทำให้ลมรั่วไหลได้ ควรระบุจำนวนและชนิดของอุปกรณ์กระตุ้น ซึ่งมีความเข้ากันได้กับระบบควบคุม

2.4.5 อุปกรณ์เตือนภัยและตัวชี้บอกเมื่อปฏิบัติงาน

2.4.5.1 อุปกรณ์เตือนภัยและตัวชี้บอกหรือทั้ง 2 ประเภทจะใช้สำหรับบอกให้รู้ว่ามีการใช้ระบบอยู่ มีอันตรายต่อคน หรือมีอุปกรณ์บางตัวที่เสีย ในกรณีที่มีการเพิ่มจำนวนและตำแหน่งของสัญญาณเตือนและตัวชี้บอกจะมีการตรวจรับรองเสมอ

2.4.5.2 ภายในพื้นที่ป้องกันควรมีสัญญาณเตือนก่อนปล่อยสารดับเพลิงชนิดที่เป็นเสียงหรือแสงไฟที่มองเห็นง่ายเพื่อให้เตือนก่อนที่จะมีการกระทำที่ทำให้ตัวส่งสัญญาณรู้ว่าให้หยุดเตือน และทำงานตามปกติต่อไป

2.4.5.3 โดยทั่วไปแล้ว ไม่ได้มีการแนะนำว่าสวิตช์ระบบการสั่งการปล่อยสารดับเพลิง (Abort Switch) ควรอยู่ตรงไหนแต่ควรจะอยู่ในพื้นที่ป้องกัน และอยู่ใกล้ทางออกของพื้นที่ สวิตช์ระบบการทำงานไม่ควรทำงานถ้าไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้ และควรเป็นชนิดที่แรงดันของการกดสวิตช์คงที่ เช็ดสวิตช์กลับคืนตำแหน่งเดิมด้วยตัวมันเองได้ ในกรณีทั่วไป ตัวควบคุมฉุกเฉินแบบปกติ และแบบทำงานด้วยมือจะข้ามฟังก์ชันการทำงานของ Abort Switch การทำงานของระบบระบบการทำงานจะทำให้ตัวชี้บอกทั้งแบบใช้เสียงและแบบใช้แสงทำงาน และควรมีการระบุวัตถุประสงค์การใช้งานของสวิตช์ระบบการทำงานแต่ละตัว

2.4.5.4 สัญญาณเตือนที่ใช้แจ้งว่ามีอุปกรณ์หรือเครื่องมือบางตัวใช้งานไม่ได้จะต้องมีสัญญาณที่แตกต่างจากสัญญาณเตือนเมื่อมีการทำงาน หรือเมื่อเกิดอันตราย

2.4.5.5 ควรมีป้ายเตือน และป้ายบอกวิธีใช้งานในบริเวณทางเข้า หรือภายในพื้นที่อันตราย

2.4.5.6 การหน่วงเวลา (Time Delay) ในระบบดับเพลิงแบบสารสะอาด ควรจะมีสัญญาณเตือน และช่วงการหน่วงของเวลาก่อนปล่อยสารดับเพลิงนานพอ ที่จะทำให้นอพยพออกจากพื้นที่ได้ ก่อนที่สารดับเพลิงจะปล่อยออกมา แต่ถ้าพื้นที่นั้นเป็นพื้นที่ที่เพลิงไหม้สามารถลุกลามได้รวดเร็ว การหน่วงเวลาอาจทำให้เกิดอันตรายมากขึ้น ก็ไม่ควรมีการหน่วงเวลา

2.4.6 การปฏิบัติการระบบที่ไม่ต้องการ (Unwanted System Operation)

ควรเอาใจใส่ในการตรวจประเมินและตรวจดูตัวแปรต่างๆ ที่อาจทำให้ระบบปล่อยสารดับเพลิงในเวลาที่ไม่ต้องการ

ภาคผนวก ข

ตัวประกอบความเข้มข้นของ HFC-227ea

ภาคผนวก ข

ตัวประกอบความเข้มข้นของ HFC-227ea

ตารางผนวกที่ ข 1 น้ำหนักของ HFC-227ea ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุตของห้อง

Temp (t) deg. F	Specific Vol.-(s) (ft ³ /lb)	HFC-227ea Concentration-C-(% by Volume)										
		7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0
0	1.8850	0.0399	0.0405	0.0412	0.0418	0.0424	0.0430	0.0436	0.0443	0.0449	0.0455	0.0461
10	1.9310	0.0391	0.0396	0.0402	0.0408	0.0414	0.0420	0.0426	0.0432	0.0438	0.0444	0.0450
20	1.9770	0.0381	0.0387	0.0392	0.0398	0.0404	0.0410	0.0416	0.0422	0.0428	0.0434	0.0441
30	2.0230	0.0372	0.0378	0.0384	0.0389	0.0395	0.0401	0.0407	0.0412	0.0418	0.0424	0.0430
32	2.0322	0.0370	0.0376	0.0382	0.0388	0.0393	0.0399	0.0405	0.0411	0.0416	0.0422	0.0428
40	2.0690	0.0364	0.0369	0.0375	0.0381	0.0386	0.0392	0.0398	0.0403	0.0409	0.0415	0.0420
50	2.1150	0.0356	0.0361	0.0367	0.0372	0.0378	0.0383	0.0389	0.0394	0.0400	0.0406	0.0411
60	2.1610	0.0348	0.0354	0.0359	0.0364	0.0370	0.0375	0.0381	0.0386	0.0391	0.0397	0.0402
70	2.2070	0.0341	0.0346	0.0352	0.0357	0.0362	0.0367	0.0373	0.0378	0.0383	0.0389	0.0394
80	2.2530	0.0334	0.0339	0.0344	0.0350	0.0355	0.0360	0.0365	0.0370	0.0375	0.0381	0.0386
90	2.2990	0.0327	0.0332	0.0337	0.0343	0.0348	0.0353	0.0358	0.0363	0.0368	0.0373	0.0378
100	2.3450	0.0321	0.0326	0.0331	0.0336	0.0341	0.0346	0.0351	0.0356	0.0361	0.0366	0.0371
110	2.3910	0.0315	0.0320	0.0324	0.0329	0.0334	0.0339	0.0344	0.0349	0.0354	0.0359	0.0364
120	2.4370	0.0309	0.0314	0.0318	0.0323	0.0328	0.0333	0.0338	0.0342	0.0347	0.0352	0.0357
130	2.4830	0.0303	0.0308	0.0312	0.0317	0.0322	0.0327	0.0331	0.0336	0.0341	0.0345	0.350

ตารางผนวกที่ ข 1 น้ำหนักของ HFC-227ea ป้อนต่อลูกบาศก์ฟุตของห้อง (ต่อ)

Temp (t) deg. F	Specific Vol.-(s) (ft³/lb)	HFC-227ea Concentration-C-(% by Volume)										
		8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8	8.9	9.0	9.1
0	1.8850	0.0468	0.0474	0.0480	0.0486	0.0493	0.0499	0.0506	0.0512	0.0518	0.0525	0.0531
10	1.9310	0.0456	0.0463	0.0469	0.0475	0.0481	0.0487	0.0493	0.0500	0.0506	0.0512	0.0518
20	1.9770	0.0446	0.0452	0.0458	0.0464	0.0470	0.0476	0.0482	0.0488	0.0494	0.0501	0.0506
30	2.0230	0.0436	0.0442	0.0447	0.0453	0.0459	0.0465	0.0471	0.0477	0.0483	0.0489	0.0495
32	2.0322	0.0434	0.0440	0.0445	0.0451	0.0457	0.0463	0.0469	0.0475	0.0481	0.0487	0.0493
40	2.0690	0.0426	0.0432	0.0437	0.0443	0.0449	0.0455	0.0461	0.0466	0.0472	0.0478	0.0484
50	2.1150	0.0417	0.0422	0.0428	0.0434	0.0439	0.0445	0.0451	0.0456	0.0462	0.0468	0.0473
60	2.1610	0.0408	0.0413	0.0419	0.0424	0.0430	0.0435	0.0441	0.0447	0.0452	0.0458	0.0463
70	2.2070	0.0399	0.0405	0.0410	0.0416	0.0421	0.0426	0.0432	0.0437	0.0443	0.0448	0.0454
80	2.2530	0.0391	0.0396	0.0402	0.0407	0.0412	0.0418	0.0423	0.0428	0.0434	0.0439	0.0444
90	2.2990	0.0383	0.0389	0.0394	0.0399	0.0404	0.0409	0.0414	0.0420	0.0425	0.0430	0.0435
100	2.3450	0.0376	0.0381	0.0386	0.0391	0.0396	0.0401	0.0406	0.0411	0.0417	0.0422	0.0427
110	2.3910	0.0369	0.0374	0.0379	0.0384	0.0389	0.0394	0.0399	0.0404	0.0409	0.0414	0.0419
120	2.4370	0.0362	0.0367	0.0371	0.0376	0.0381	0.0386	0.0391	0.0396	0.0401	0.0406	0.0411
130	2.4830	0.0355	0.0360	0.0365	0.0369	0.0374	0.0379	0.0384	0.0389	0.0393	0.0398	0.0403

ตารางผนวกที่ ข 1 น้ำหนักของ HFC-227ea ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุตของห้อง (ต่อ)

Temp (t) deg. F	Specific Vol.-(s) (ft ³ /lb)	HFC-227ea Concentration-C-(% by Volume)										
		9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	9.9	10	10.1	10.2
0	1.8850	0.0538	0.0544	0.0550	0.0557	0.0563	0.0570	0.0576	0.0583	0.0589	0.0596	0.0603
10	1.9310	0.0525	0.0531	0.0537	0.0544	0.0550	0.0556	0.0563	0.0569	0.0575	0.0582	0.0588
20	1.9770	0.0513	0.0519	0.0525	0.0531	0.0537	0.0543	0.0550	0.0556	0.0562	0.0568	0.0575
30	2.0230	0.0501	0.0507	0.0513	0.0519	0.0525	0.0531	0.0537	0.0543	0.0549	0.0555	0.0561
32	2.0322	0.0499	0.0505	0.0511	0.0517	0.0523	0.0529	0.0535	0.0541	0.0547	0.0553	0.0559
40	2.0690	0.0490	0.0496	0.0501	0.0507	0.0513	0.0519	0.0525	0.0531	0.0537	0.0543	0.0549
50	2.1150	0.0479	0.0485	0.0491	0.0496	0.0502	0.0508	0.0514	0.0520	0.0525	0.0531	0.0537
60	2.1610	0.0469	0.0474	0.0480	0.0486	0.0491	0.0497	0.0503	0.0508	0.0514	0.0520	0.0526
70	2.2070	0.0459	0.0465	0.0470	0.0476	0.0481	0.0487	0.0492	0.0498	0.0503	0.0509	0.0515
80	2.2530	0.0450	0.0455	0.0461	0.0466	0.0471	0.0477	0.0482	0.0488	0.0493	0.0499	0.0504
90	2.2990	0.0441	0.0446	0.0451	0.0457	0.0462	0.0467	0.0473	0.0478	0.0483	0.0489	0.0494
100	2.3450	0.0432	0.0437	0.0442	0.0448	0.0453	0.0458	0.0463	0.0469	0.0474	0.0479	0.0484
110	2.3910	0.0424	0.0429	0.0434	0.0439	0.0444	0.0449	0.0454	0.0460	0.0465	0.0470	0.0475
120	2.4370	0.0416	0.0421	0.0426	0.0431	0.0436	0.0441	0.0446	0.0451	0.0456	0.0461	0.0466
130	2.4830	0.0408	0.0413	0.0418	0.0423	0.0428	0.0433	0.0438	0.0443	0.0447	0.0452	0.0457

Temp (t) deg. F	Specific Vol.-(s) (ft ³ /lb)	HFC-227ea Concentration-C-(% by Volume)										
		10.3	10.4	10.5	10.6	10.7	10.8	10.9	11	11.1	11.2	11.3
0	1.8850	0.0609	0.0616	0.0622	0.0629	0.0636	0.0642	0.0649	0.0656	0.0662	0.0669	0.0676
10	1.9310	0.0595	0.0601	0.0608	0.0614	0.0621	0.0627	0.0634	0.0640	0.0647	0.0653	0.0660
20	1.9770	0.0581	0.0587	0.0593	0.0600	0.0606	0.0612	0.0619	0.0625	0.0632	0.0638	0.0644
30	2.0230	0.0568	0.0574	0.0580	0.0586	0.0592	0.0598	0.0605	0.0611	0.0617	0.0623	0.0630
32	2.0322	0.0565	0.0571	0.0577	0.0583	0.0590	0.0596	0.0602	0.0608	0.0614	0.0621	0.0627
40	2.0690	0.0555	0.0561	0.0567	0.0573	0.0579	0.0585	0.0591	0.0597	0.0603	0.0610	0.0616
50	2.1150	0.0543	0.0549	0.0555	0.0561	0.0567	0.0572	0.0578	0.0584	0.0590	0.0596	0.0602
60	2.1610	0.0531	0.0537	0.0543	0.0549	0.0554	0.0560	0.0566	0.0572	0.0578	0.0584	0.0590
70	2.2070	0.0520	0.0526	0.0532	0.0537	0.0543	0.0549	0.0554	0.0560	0.0566	0.0571	0.0577
80	2.2530	0.0510	0.0515	0.0521	0.0526	0.0532	0.0537	0.0543	0.0549	0.0554	0.0560	0.0565
90	2.2990	0.0499	0.0505	0.0510	0.0516	0.0521	0.0527	0.0532	0.0538	0.0543	0.0549	0.0554
100	2.3450	0.0490	0.0495	0.0500	0.0506	0.0511	0.0516	0.0522	0.0527	0.0532	0.0538	0.0543
110	2.3910	0.0480	0.0485	0.0491	0.0496	0.0501	0.0506	0.0512	0.0517	0.0522	0.0528	0.0533
120	2.4370	0.0471	0.0476	0.0481	0.0487	0.0492	0.0497	0.0502	0.0507	0.0512	0.0518	0.0523
130	2.4830	0.0462	0.0467	0.0472	0.0478	0.0483	0.0488	0.0493	0.0498	0.0503	0.0508	0.0513

ตารางผนวกที่ ข 1 น้ำหนักของ HFC-227ea ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุตของห้อง (ต่อ)

Temp (t) deg. F	Specific Vol.-(s) (ft ³ /lb)	HFC-227ea Concentration-C-(% by Volume)										
		11.4	11.5	11.6	11.7	11.8	11.9	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0
0	1.8850	0.0683	0.0689	0.0696	0.0703	0.0710	0.0717	0.0723	0.0793	0.0864	0.0936	0.1010
10	1.9310	0.0666	0.0673	0.0680	0.0686	0.0693	0.0700	0.0706	0.0774	0.0843	0.0914	0.0986
20	1.9770	0.0651	0.0657	0.0664	0.0670	0.0677	0.0683	0.0690	0.0756	0.0823	0.0893	0.0963
30	2.0230	0.0636	0.0642	0.0649	0.0655	0.0661	0.0668	0.0674	0.0739	0.0805	0.0872	0.0942
32	2.0322	0.0633	0.0639	0.0646	0.0652	0.0658	0.0665	0.0671	0.0735	0.0801	0.0868	0.0937
40	2.0690	0.0622	0.0628	0.0634	0.0640	0.0647	0.0653	0.0659	0.0722	0.0787	0.0853	0.0921
50	2.1150	0.0608	0.0614	0.0620	0.0626	0.0633	0.0639	0.0645	0.0707	0.0770	0.0834	0.0901
60	2.1610	0.0595	0.0601	0.0607	0.0613	0.0619	0.0625	0.0631	0.0691	0.0753	0.0817	0.0881
70	2.2070	0.0583	0.0589	0.0595	0.0600	0.0606	0.0612	0.0618	0.0677	0.0738	0.0800	0.0863
80	2.2530	0.0571	0.0577	0.0582	0.0588	0.0594	0.0600	0.0605	0.0663	0.0723	0.0783	0.0845
90	2.2990	0.0560	0.0565	0.0571	0.0576	0.0582	0.0588	0.0593	0.0650	0.0708	0.0768	0.0829
100	2.3450	0.0549	0.0554	0.0560	0.0565	0.0571	0.0576	0.0582	0.0637	0.0694	0.0753	0.0812
110	2.3910	0.0538	0.0543	0.0549	0.0554	0.0560	0.0565	0.0570	0.0625	0.0681	0.0738	0.0797
120	2.4370	0.0528	0.0533	0.0538	0.0544	0.0549	0.0554	0.0560	0.0613	0.0668	0.0724	0.0782
130	2.4830	0.0518	0.0523	0.0528	0.0534	0.0539	0.0544	0.0549	0.0602	0.0656	0.0711	0.0767

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ นายสมมาศ เลิศลักษณ์ธรรยา

เกิดวันที่ 14 พฤศจิกายน พ.ศ. 2513

สถานที่เกิด จังหวัดกรุงเทพมหานคร

ประวัติการศึกษา วท.บ.(เคมีอุตสาหกรรม), สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
(พ.ศ. 2536)

ตำแหน่งปัจจุบัน รองผู้จัดการทั่วไป

ผู้เชี่ยวชาญและที่ปรึกษาด้านการบริหารความเสี่ยงจากอัคคีภัย

ที่ปรึกษาสมาคมผู้ตรวจสอบและบริหารความปลอดภัยอาคาร

สถานที่ทำงานปัจจุบัน บริษัท เอก-ชัยดิสทริบิวชั่น ซิสเทม จำกัด