

공학석사 학위논문

친환경 소화액제의 선박화재  
적용기술 연구

The Application Study for Ship's Fire Fighting System with a  
Next Generation of Fire Extinguishing Agent

지도교수 김 동 혁

2007 년 2 월

한국해양대학교 해사산업대학원

기 계 시 스템 공 학 과

조 동 주

본 논문을 조동주의 공학석사 학위논문으로 인준함.

위원장 공학박사 윤 상 국 (인)

위 원 공학박사 도 덕 희 (인)

위 원 공학박사 김 동 혁 (인)

2007년 2월

한국해양대학교 해사산업대학원

기계시스템공학과

조 동 주

# 목 차

Abstract

사용기호 및 약어

표 목차

그림 목차

## I . 서론

1.1 연구 배경 및 기술동향 .....	1
1.2 연구 내용 .....	2

## II . 소화액제의 현황 및 특징

2.1 소화액제의 현황 .....	3
2.1.1 Halon 과 CO <sub>2</sub> .....	3
2.1.2 고펡창 폼 소화장치(High Expansion Foam) .....	4
2.1.3 Water Mist System .....	7
2.2 친환경 소화액제의 특징 .....	8
2.2.1 안정성(Safety Margin) .....	8
2.2.2 화학적 특성 .....	10
2.2.3 물리적 특성 .....	11
2.2.4 환경적 특성 .....	12
2.2.5 적재 및 운반(Storage & Handling) .....	14
2.2.6 요약 .....	16

### Ⅲ. 친환경 소화액제의 선박 기관실 설치 설계기준

3.1 구성 품	17
3.1.1 Container 와 Container Valve	17
3.1.2 Flexible Hose	21
3.1.3 Container 와 Actuator Valve 연결	22
3.1.4 Pneumatic Release Cabinet	24
3.1.5 Nozzle 과 Cylinder Bracket	25
3.2 설계기준	27
3.2.1 설계관련 규정(Rule) 검토	27
3.2.2 설계를 위한 주요항목 검토	28
3.2.3 용량계산	31

### Ⅳ. 친환경 소화액제의 선박기관실 적용

4.1 기관실 국부구역의 소화장치 적용기술	35
4.1.1 Modular Design	35
4.1.2 Banked Design	42
4.2 실제 적용에 있어서 개선된 사항	50
4.2.1 배관의 선정 및 배열	50
4.2.2 Net Volume 산정	53
4.2.3 Port Loop와 STBD Loop 구성	53
4.2.4 Ceiling이나 Floor구역의 Net Volume포함여부	54
4.2.5 Gas Dangerous 구역의 친환경 소화액제 적용	54

4.2.6 Room Integrity 관련한 고려사항 .....	60
4.2.7 작동상태 확인 .....	61
V. 결론 및 문제점 .....	62
참고문헌 .....	65
감사의 글 .....	66

# The Application Study for Ship's Fire Fighting System with a Next Generation of Fire Extinguishing Agent

Dong-Ju Cho

Department of Mechanical System Engineering  
Graduate School, Korea Maritime University

## Abstract

The new fire extinguishing agent(Novec 1230) has been developed as an alternative to Halon system of which production had already been ceased at the end of 1993, under the agreed regulations made at the Montreal Protocol in November 1992.

It is known that the new agent contains no Bromine(Br) or Chlorine(Cl) and has an Ozone Depleting Potential of zero. This new agent system utilizes one or more storage containers arranged to provide the protected area with a pre-determined quantity of gases.

The reasons why many industries are interested in the new fire extinguishing agent(Novec 1230) can be explained by Ozone Depletion Potential(ODP) and Global Warming Potential(GWP).

It is said that the fire extinguishing agent rapidly extinguishes fire through a combination of heat absorption(main action) and an element of chemical reactions with the flame.

This new fire extinguishing agent is considered as safe for people with large safety margin without environmental pollution. Recently, this has been introduced as fire extinguishing agent for ship's electric spaces and also total flooding fire extinguishing system for engine room.

In this study, practical and empirical guidelines are constructed for further usages of the new fire extinguishing agent following the standard guidelines of the manufacturer. As the practical installation of the new agent system on board, the fire fighting system of the Qatar LNG carrier was tested as a benchmark.

It has been found that the application of new fire extinguishing agent is very similar to Halon systems in general. But, following main design criteria should be considered before actual and detail design of the new fire extinguishing agent.

- Room integrity should be based on the concept of the gas tight door and “A-0” steel bulkhead.
- Damper control of ventilation to each protected space should be considered to have separate air tight concept.
- Modular design or banked design should be selected for the actual design of machinery room layout.

## 사 용 기 호 및 약 어

<i>Noael</i>	:	No Observable Adverse Effect level
<i>Q</i>	:	Quantity [ <i>kg</i> ]
<i>C</i>	:	Design concentration [ % ]
<i>V</i>	:	Enclosure volume [ $m^3$ ]
<i>T</i>	:	Enclosed temperature [ °C ]
<i>S</i>	:	Specific vapour volume [ $m^3/kg$ ]
<i>P</i>	:	Pressure [ <i>bar</i> ]
<i>D</i>	:	Depth [ <i>m</i> ]
<i>H</i>	:	Height [ <i>m</i> ]
<i>ISO</i>	:	International Organization for Standardization
<i>NFPA</i>	:	National Fire Protection Association
<i>GWP</i>	:	Global Warming Potential
<i>ODP</i>	:	Ozone Depleting Potential
<i>ATL</i>	:	Atmospheric Lifetime
<i>SOLAS</i>	:	International Convention for Prevention of Pollution from ships
<i>UL</i>	:	Underwriters Laboratories , USA
<i>USCG</i>	:	United States Cost Guard
<i>SNAP</i>	:	Significant New Alternative Policy
<i>DOT</i>	:	Department of Transport
<i>MSC</i>	:	Maritime Safety Committee
<i>JIS</i>	:	Japanese Industrial Standard
<i>LNG</i>	:	Liquified Natural Gas
<i>LPG</i>	:	Liquified Petroleum Gas

## 그림 목 차

- Fig.1 Schematic diagram of high expansion foam system
- Fig.2 Picture of high expansion foam system flooding
- Fig.3 Working principle of foam generator
- Fig.4 Chemical combination
- Fig.5 Physical properties
- Fig.6 Environmental of footprint comparison
- Fig.7 Storage & handling
- Fig.8 Container valve
- Fig.9 Electric actuator
- Fig.10 Pneumatic actuator
- Fig.11 Flexible hose and fitting
- Fig.12 Example of piping connection
- Fig.13 Multiple container layout
- Fig.14 Pneumatic release cabinet
- Fig.15 Discharge nozzle
- Fig.16 Cylinder bracket
- Fig.17 Modular design 설치
- Fig.18 ISO drawing for modular design
- Fig.19 Schematic diagram of modular design
- Fig.20 Schematic diagram of engine control room (modular)
- Fig.21 Nozzle arrangement of engine control room(modular)
- Fig.22 Actual piping ISO drawing of engine control room(modular)
- Fig.23 Schematic diagram of main switchboard room (modular)

- Fig.24 Nozzle arrangement of main switchboard room (modular)
- Fig.25 Actual piping ISO drawing of main switchboard room(modular)
- Fig.26 Installation of banked design
- Fig.27 Schematic diagram of banked design
- Fig.28 Schematic diagram of engine control room(banked)
- Fig.29 Nozzle arrangement of engine control room(banked)
- Fig.30 Actual piping ISO drawing of engine control room(banked)
- Fig.31 Schematic diagram of main switchboard room(banked)
- Fig.32 Nozzle arrangement of main switchboard room(banked)
- Fig.33 Actual piping ISO drawing of main switchboard room(banked)
- Fig.34 Example of piping layout
- Fig.35 Port loop & Stbd loop
- Fig.36 Schematic diagram of cargo compressor room(modular)
- Fig.37 Nozzle arrangement of cargo compressor room(modular)
- Fig.38 Actual piping ISO drawing of cargo compressor room(modular)

## 표 목 차

Table 1	Environmental of flooding agents
Table 2	Safety of flooding agents
Table 3	No. of cylinders for flooding agents
Table 4	Dimensions for containers
Table 5	Weight requirement per unit volume of protected space
Table 6	Sizing of pipe work

# I. 서론

## 1.1 연구배경 및 기술 동향

현재 기관실 소화 장치로 고정식 CO<sub>2</sub> 소화시스템이 가장 일반적으로 사용되고 있지만, 도쿄협약에 따른 지구온난화지수(Global Warming Potential, GWP), 기관실 전기 장비에 대한 우려 그리고 인간에 대한 안전성(safety margin)을 고려하여 최근 친환경 소화액체에 대한 관심이 증대되고 있다.<sup>(7)</sup>

CO<sub>2</sub> 가스를 소화 목적으로 사용할 경우 그 특징은 질식작용과 냉각작용이다. 즉, 질식작용에 의한 소화란, 불연성 가스인 CO<sub>2</sub> 가스를 불어 넣음으로서 해당 구역 내 공기 중의 산소 농도를 연소한계 이하로 만드는 것이다. 통상 공기 중에는 약 21%의 산소가 존재하나 이 산소가 5-16%가 되면 연소를 계속할 수 없게 된다<sup>(1)</sup>.

냉각 작용에 의한 소화란 CO<sub>2</sub> 가스는 방출 후 즉시 기화하지만 고압 실린더 내에 저장된 CO<sub>2</sub> 가스는 방출 속도가 빠르고 또한 방출시 팽창률이 높으므로 그 기화열과 단열팽창에 따라 주위 온도를 급격히 저하시키는 것이다. 즉, 고정식 CO<sub>2</sub> 소화 장치는 기기 류 및 그 구획을 적시거나 더럽힐 염려가 없고, 기기류 재사용은 통풍 환기에 의해 쉽게 할 수 있고 또 부식성이 없어 일반적으로 기관실 소화 장치로 많이 사용되고 있지만, CO<sub>2</sub> 가스의 단점은 소화 시 인체에 치명적이어서 새로운 소화액체에 대한 도전은 계속되고 있다.

한편, 고폽창 폼 소화장치(high expansion foam)의 등장은 인체에는 치명적이긴 않지만, 전기 장비에 대한 일부 선주사들의 해수오염으로 인한 우려와 불신으로 완전한 의미의 소화액체로는 아직까지는 의문이다.

따라서, 인체에 무해하며 전기 장비에 무해한 친환경 소화액체가 필요한 상황이었는데, 최근 Tyco그룹의 3M사에서 이에 버금가는 소화액체를 개발

하였다. 하지만, 선박의 극히 제한된 곳에서만 적용되어 왔으며, 기관실 전체 구역에 적용 사례는 보고되어 있지 않다.

본 연구에서는 이를 고려하여 선박의 기관실 전체구역에의 적용에 있어서 수반되는 현업에서의 제반사항을 실제적용을 통하여 정리하고자 하며 이를 통한 친환경 소화액제의 선박에의 설치, 적용 및 운용방법을 제시하고자 하는 것을 연구의 목적으로 삼고자 한다.

## 1.2 연구 내용

Halon 가스에서 시작하여 현재의 친환경 소화액제로의 변천사를 정리하여 각각의 특징을 알아보고 선박의 기관실 구역에 적용 시 예상되는 문제점을 검토하여 선박기관실 전체에 적용 시 어떤 문제가 있는지 검토하고자 한다. 최초의 소화액제인 Halon의 경우 오존파괴지수 (Ozone Depletion Potential, ODP)문제로 인하여 1987년 Montreal 협약을 계기로 사용이 규제되었고, 지구온난화지수(GWP)의 규제강화로 사용이 제한될 것으로 예상되어 차세대 친환경 소화액제에 대한 관심은 시대적 대세라 할 수 있다.

친환경 소화액제이면서도 인체에 무해한 안전계수(safety margin)로도 기관실 소화 장치로의 확대 적용이 예상된다. 선박용 소화 장치로 확대 적용할 경우 국제해사기구의 관련 규정(rule) 확인도 필수적이라 이에 대한 검토도 추가 하였다.

선박용 소화 장치로 기관실 국부화재에 적용하는 방법과 과정을 설명하고 시스템의 구성부품 등 작동 원리를 비교 검토하여 결론부에서는 앞으로의 연구 진행 방향과 개선사례 그리고 일부 문제점에 대한 해결책을 제시하고자 한다.

## II. 소화액제의 현황 및 특징

### 2.1 소화액제의 현황

#### 2.1.1 Halon 과 CO<sub>2</sub>

Table 1 과 같이 최초의 소화액제인 Halon 1301의 경우 오존파괴지수(ODP)가 10-16으로 1987년 Montreal 협약을 계기로 현재는 오존파괴지수(ODP)에 영향이 없는 CO<sub>2</sub>가스가 선박용 소화액제로 주로 사용되고 있다.<sup>(7)</sup>

특히 CO<sub>2</sub>가스의 경우 사용 후에 장비 등에 전혀 무해하고 별도의 청소(cleaning)가 필요 없어 가격대비 성능에 누구도 의심치 않는다. 하지만 환경적인 측면에서는 CO<sub>2</sub>가스는 문제가 없지만 인체에 치명적인 단점은 친환경 소화액제에 대한 관심을 유발하고 있다.

Table 1 Environmental of flooding agent

Agent	O.D.P	G.W.P	A.T.L
Halon 1301	10 - 16	6900	~ 65 years
CO <sub>2</sub>	0	1	-
HFC 227 ea (FM200)	0	3800	36.5 years
Hi-ex foam	0	0	biodegradable
Inert gases (Inergen)	0	<1	n/a
NOVEC1230	0	1	3 - 5 days

ODP = Ozone Depletion Potential (오존파괴지수/ Montreal협약)

GWP = Global Warming Potential (지구온난화지수/ 도쿄협약)

ATL = Atmospheric Lifetime (대기에 지속되는 시간)

## 2.1.2 고팽창 폼 소화장치 (High Expansion Foam)

CO<sub>2</sub> 소화 액제를 대체하여 인체에 안전한 소화장치로 고팽창 폼 소화 장치가 개발되었으며, 기관실 구역의 공기를 사용하여 폼과 해수의 혼합으로 700배의 고팽창 폼을 생성하여 기관실을 분당 2m로 채워 질식효과에 의해 소화하는 방식이다. 만약, 소화도중 사람이 있더라도 탈출할 수 있어 생명에는 영향이 없어 대형 유조선, 천연액화가스운반선등의 기관실 소화 장치로 많이 사용되고 있다.

Fig. 1 에서처럼 구동방식은 기관실 밖의 비상소화펌프로부터 해수를 공급받아 폼 룬에 위치한 폼탱크로부터 프로포셔널(mixer)를 통해 2%의 폼과 98%의 해수로 혼합되어 기관실에 설치된 폼 생성기(generator)를 통하여 공기와 혼합되어 고팽창의 폼 거품을 발생하여 기관실 구역을 10분 이내에 주갑판까지 소화하는 방식이다.<sup>(9)</sup>

Fig. 2 와 Fig. 3 에서와 같이 기관실의 공기와 합쳐진 폼 거품은 700배로 팽창하여 전기 장비에 문제가 없는 아주 미세한 폼(거품)에 의한 소화 방식이지만 해수의 포함으로 인한 전기 장비에 대한 선주의 불신은 여전하여, 일부 전기장비실(switchboard room, frequency converter room, engine control room 등)에는 여전히 국부 CO<sub>2</sub>소화시스템을 적용하고 있다.

가격적인 측면에서 고팽창 폼 소화장치는 CO<sub>2</sub>시스템과 비교하여 중량과 장비 가격은 경제적이지만 추가로 설계 변경을 해야 하는 비상소화펌프 그리고 비상발전기의 용량을 증가해야 함으로 대형 유조선이나 천연액화가스운반선에 인체에 대한 안전성 그리고 비용 측면에서 많이 사용하고 있다.

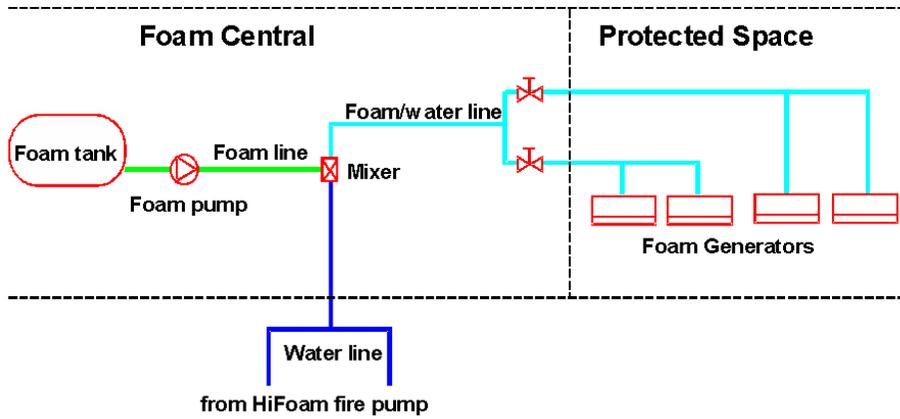
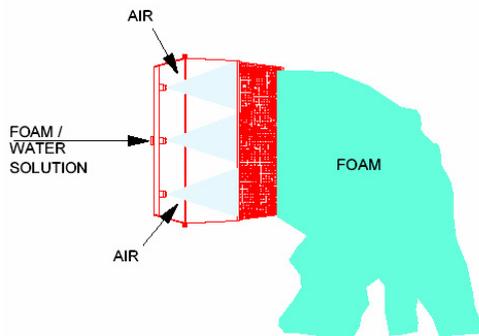


Fig. 1 Schematic diagram of high expansion foam system



Fig. 2 Picture of high expansion foam system flooding



**Theoretical**



**Actual during test**

Fig. 3 Working principle of foam generator

### 2.1.3 Water Mist System

여객선의 경우 기관실 밖의 청수탱크로부터 고압 펌프를 사용하여 기관실에 설치된 분사노즐을 통하여 미세한 안개(mist)입자로 분사되어 주로 여객선의 기관실이나 선실구역의 소화에 이용된다.

스테인레스관을 사용하고 고압으로 인한 설치비 증가 그리고 고가의 장비(고압펌프, 특수노즐 등)로 인하여 일부 여객선의 경우에 적용되고 있다.

그리고 소화 후 장비에 대한 부식이 없고, 청결하여 전기 장비 등에 피해가 없어 사용이 증가하고 있다.

고가의 가격임에도 불구하고 여객선등에 선실 구역과 함께 사용되고 있지만 선급에 승인된 기관실 보호구역의 체적(volume)이 2000m<sup>3</sup>이내로 소형 보호구역에만 사용되고 있다.

2000년 개정된 SOLAS 규칙에 따라 기관실의 고위험 구역에 대한 고정식 국부 소화 장치에도 고압의 water mist system을 사용하는 경우도 있으나 가격의 문제로 특수 분사노즐을 선택한 저압의 물 분사 스프레이(spray) 시스템을 사용하는 경우가 많다.

## 2.2 친환경 소화액제의 특징

### 2.2.1 안전성 (Safety Margin)

소화액제의 인체에 대한 유해성 검토로 사람의 안전을 고려해 최근 관심이 집중되고 있다. 비용의 문제만 해결된다면 당장이라도 모든 분야에 적용 가능하리라 생각한다.

Table 2 에서와 같이 우선 소화 액제별 안전성(safety margin)을 비교하는 방법은 설계시 고려되는 설계농도와 Noael지수 비교로 안전계수(safety margin)가 결정된다. Noael지수는 살아있는 개의 생명에 영향이 없는 상태를 기준으로 결정된 농도(concentration)를 의미한다.<sup>(7)</sup>

즉, Noael지수보다 낮은 사용농도는 그 만큼 더 안전하다 할 수 있다.

FM200이 인체에 치명적이지 않고 전기 장비에 미치는 영향이 없어 고가임에도 일부 특수선박에서 기존의 소화 장치로 각광 받았지만 지구온난화 지수(GWP)영향으로 사용이 급감하고 있고 Inergen도 친환경 소화액제에 비해 가격이 너무 비싸 사용은 줄어들고 있다.

안전성측면에서 친환경 소화액제는 현존하는 소화액제로 가장 효과적임은 의심의 여지가 없다.

Table 2 Safety of flooding agent

<b>Agent</b>	<b>Use Conc.</b>	<b>NOAEL</b>	<b>Safety Margin</b>
Halon 1301	5%	5%	Nil
CO <sub>2</sub>	30%	< 5%	Lethal
HFC 227 ea (FM200)	8.7%	9%	3%
Inert gases (Inergen)	38-40%	43%	7 - 13%
Novec 1230	5.85%	10%	71%

\* Noael : No Observable Adverse Effect Level

### 2.2.2 화학적 특성

Fluorinated ketone의 화학적 구조는 Fig. 4 와 같으며, 친환경적이고, 오존파괴지수(ODP)나 지구온난화지수(GWP)에 문제없고 인체에 무해한 소화액제로 열원을 흡수하는 방식으로 소화하는 화학적 특성을 지닌 친환경 소화액제로 알려져 있다.

C,F,O(carbon, fluorine, oxygen)로 구성된 매우 안정된 구조로 전기 전도성이 0 으로 전기전자장비에 전혀 문제가 없어, 반도체 공장의 소화장치로도 효과적이며 특히, 슈퍼컴퓨터의 냉각(cooling)목적으로 사용될 정도로 모든 산업 분야에서 사용이 확대되고 있다.<sup>(7)</sup>

- 화학식(chemical formula) :  $\text{CF}_3\text{CF}_2\text{C}(\text{O})\text{CF}(\text{CF}_3)_2$
- 분자량(molecular weight) : 316.04 (공기의 10배 정도)
- 비등점(boiling point) @ 1 atm : 49°C
- 증기압력(vapour pressure) @ 25° : 0.4 bar(5.87 psig)

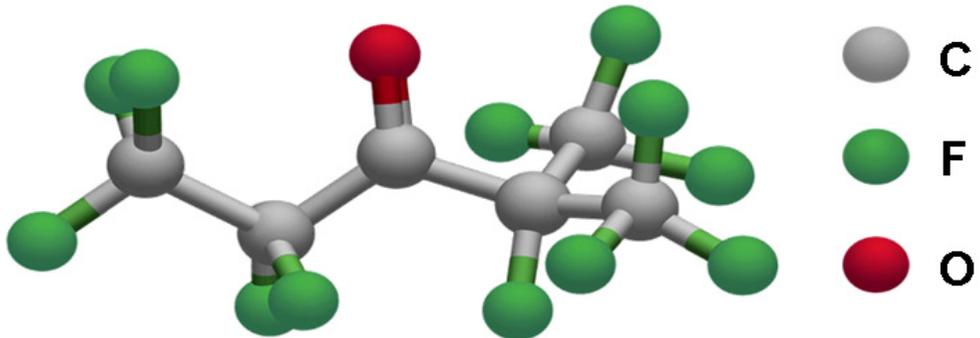


Fig. 4 Chemical combination

### 2.2.3 물리적 특성

상온에서는 액체 상태로 용기에 보관가능하고 용기의 빈 공간에 질소( $N_2$ )가스로 25bar 충전한 후 공기압구동(pneumatic control)으로 구동 밸브(actuator valve)를 작동하여 순간적으로 10초 이내에 노즐을 통해 분사된다.

Fig. 5 와 같이 분사 시 일부는 안개(mist)상태이나 친환경 소화액제의 특성상 곧 바로 가스 상태로 변화한다. 가스 상태로 분사 시에도 증기압(vapour pressure)이 40.4kPa(0.4bar)의 저압으로 보호구역내의 압력 변화는 무시할 정도로 미세하다. 그리고 컴퓨터, 휴대폰과 같은 전자장비도 친환경 소화액체에 잠겨있다 하여도 전기적으로 전혀 문제가 없어 많은 적용이 예상된다.



Fig. 5 Physical properties

## 2.2.4 환경적 특성

오존파괴지수(ODP)가 0이고 지구온난화지수(GWP)가 1인 Novec 1230은 환경적인 측면에서 기존의 Halon, CO<sub>2</sub>, FM200에 비하면 환경에 무해한 화학제품으로 3M사에서 개발한 신개념의 소화액제이다.

비용 측면에서는 FM200보다 비싸지만 Inergen 보다 훨씬 저렴하여 일부 산업용 소화 장치와 고부가가치 선박의 전기장비실 소화 장치로 적용이 확대되고 있다.

Fig. 6 에서 보듯 친환경 소화액제는 오존파괴지수(ODP)가 0이고, 지구온난화지수(GWP) 측면에서는 거의 0(zero)에 가까운 모습을 보여준다. 이는 환경에 미치는 영향이 거의 없어 미래의 소화액제로 각광받게 될 또 다른 이유이다.

현재 지구온난화로 인한 이상 기온 현상은 선진국들로 하여금 지구온난화지수(GWP)를 강제화 할 날도 머지않았다 생각된다. 이는 Halon이 오존파괴지수(ODP) 문제로 퇴출된 사례와 유사하다고 생각된다.

덴마크, 스위스, 오스트리아의 경우 지구온난화지수로 인해 FM200 소화액제의 사용을 금지하고 있고, 노르웨이, EU, 호주 등에서도 FM200의 사용을 금지시키려는 시도가 계속되고 있어 특수선박에 적용하던 FM200을 대신하는 선박용 소화 장치로의 강제 적용이 예상된다.

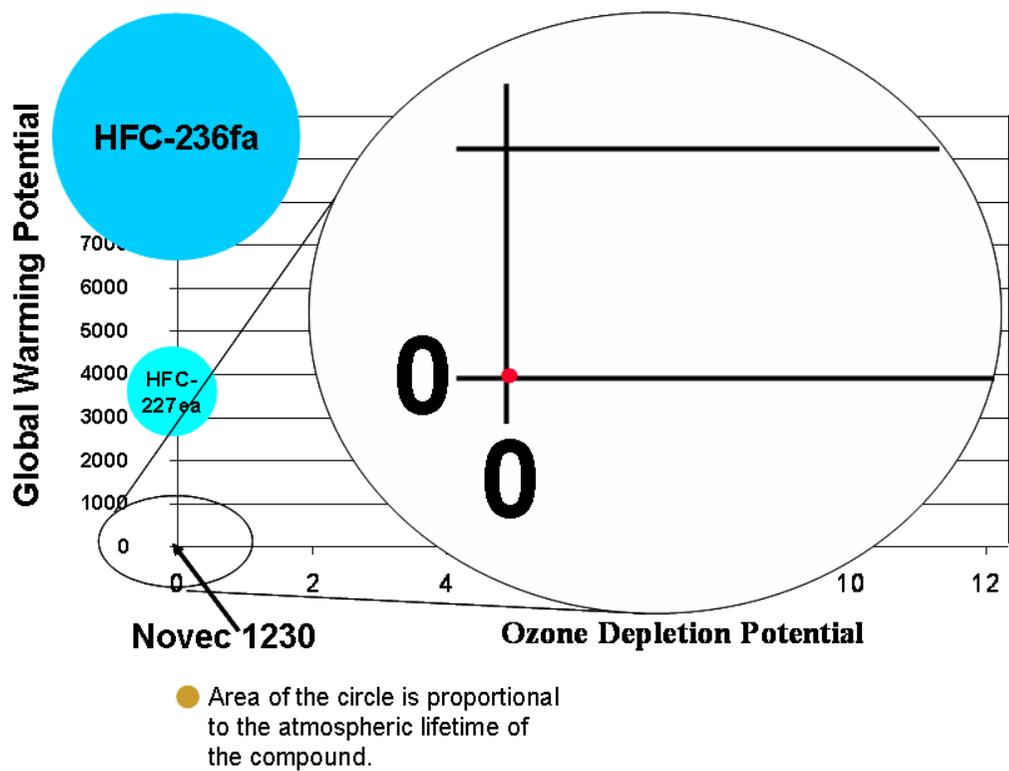


Fig. 6 Environmental of footprint comparison

### 2.2.5 적재 및 운반(Storage & Handling)

친환경 소화약제는 적재 공간 및 운반 측면에서 다른 소화약제 대비 용기수를 비교하면 아래 Table 3 과 같다.

같은 체적의 space에 대한 용기수를 비교하면 CO<sub>2</sub>의 1/4 정도 적재공간이 필요하여 공간(space)측면에서도 유리하다.

운반의 측면에서 친환경 소화약제는 액체 상태로 보관이 가능하고 비등 온도(boiling temperature)가 섭씨 49도이고, 증기압은 무시할 정도로 작아 운반이 용이하다. 저장용기 내 적재(filling)도 중력식(gravity)으로 가능하고 용기에 설계기준으로 정해진 양을 채우고, 25bar의 질소가스로 가압시키면 소화약제의 충전이 완료된다.

Fig. 7 은 친환경 소화약제의 운반 및 적재(filling)방법을 보여주는 사진으로 작업성이 수월함을 알 수 있다. 하지만, 용기 내 가압은 별도의 장치가 필요하고 설계에 맞는 적재(filling)및 가압은 각종 규칙(rule)에 따라 전문 업체에서 수행하는 것이 일반적이다.

Room volume이 500 m<sup>3</sup> 인 machinery 구역의 경우;

Table 3 No. of cylinders for flooding agent

Agent	No. of Cylinder
Halon 1301	1
CO <sub>2</sub> (40%)	8
HFC 227 ea(FM200)	2
Inert Gases(200bar) (Inergen)	15
Novec 1230	2



Fig. 7 Storage & handling

## 2.2.6 요약

가. 차세대 소화액제로 인체에 무해한 안전계수(safety margin)가 다른 소화액제에 비해 월등히 높다.

나. 오존과피지수(ODP), 지구온난화지수(GWP) 등의 영향을 받지 않아 환경적 이슈가 되지 않으며, US EPA(Environmental Protection Agency) SNAP에 등재되어 있는 소화액제이다.

\* SNAP : Significant New Alternative Policy

다. 보관이 쉽고 다루기가 쉽다.

라. 저압의 소화액제로 운반시 위험물로 취급되지 않는다.

마. 소화액제로 각 선급, UL, USCG에 공인되어 있고, 국제표준 ISO 14520에서도 인정한 소화액제이다.

바. 선박용 소화 장치로의 적용은 IMO, MSC 848에 따라 설계 및 테스트되어 현재의 설계기준으로 사용되고 있다.

### Ⅲ. 친환경 소화액제의 선박 기관실 설치 설계기준

#### 3.1 구성품

##### 3.1.1 Container 와 Container valve

용기(container)는 UK DOT(Department of Transportation) 4BW 34.5/ DOT 4BW 500 이나 EC Directive 84/527/ EEC 기준으로 설계, 제작되었고 Halon 용기와 유사하다.<sup>(8)</sup> 보통은 붉은색(red colour)으로 도장되어 있고, 친환경 소화액제가 용기에 저장되면 용기(container)에 구동발브(actuator valve)를 부착하게 되고, 친환경 소화액제를 채우고 나머지 공간을 질소(N<sub>2</sub>)가스로 25bar 충전한 상태에서 용기발브(container valve)가 열리면 노즐을 통하여 친환경 소화액제가 가스 상태로 분사된다.

긴 배출배관은 배출 시간과 관계가 있고 많은 질소가스가 더 필요하여 더 큰 크기의 용기(container)가 필요하게 된다. 최대/최소 충전밀도는 1.2kgs/liter 와 0.5kgs/liter이다.

용기(container)의 크기는 Table 4 에서와 같이 최대 충전중량에 맞는 범위에서 선정되어야 한다. 그리고 Fig. 8 의 용기발브(container valve)는 용기(container)상부에 부착되어 공기압 구동기(pneumatic actuator)나 전기 구동기(electric actuator)로 구성되어 안전 배출발브(safety relief valve), 압력스위치(pressure switch)등이 부착되어 있어 용기 내부의 상태 점검이 가능하다.

Table 4 Dimensions for containers

Container Size (Litres)	Diameter (mm)	Ht to Valve Outlet* (mm)	Tare Weight* (kg)	Min Novac <sup>TM</sup> 1230 Weight* (kg)	Max Novac <sup>TM</sup> 1230 Weight* (kg)	Max Gross Weight* (kg)
8	254	300	15	4	10	26
16	254	499	19	8	21	41
32	254	831	26	16	40	68
52	406	596	44	26	63.5	111
106	406	1020	72	53	127.5	205
147	406	1354	90	73.5	177	274
180	406	1633	106	90	218	332

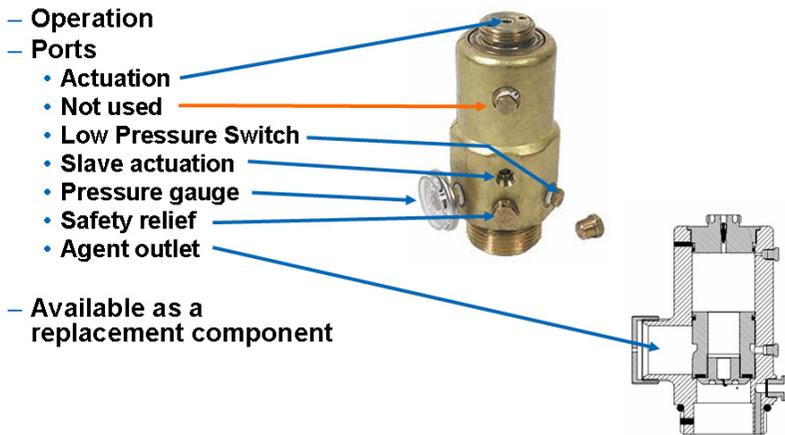


Fig. 8 Container valve

### 3.1.1.1 Electric actuation

Fig. 9 에서와 같이 24 VDC 전원으로 구동하는 전기 구동식 발브는 시스템(system)당 하나의 구동기(actuator)가 연결되어 보통 산업용으로 사용되고 있지만, 전선의 연결로 인해 간단한 설치가 장점이다. 안전구역(safe space)에 설치될 경우 경제성 검토 후 마린용으로의 적극적 사용 검토가 필요하다.



Fig. 9 Electric actuator

### 3.1.1.2 Pneumatic Actuation

Fig. 10 에서와 같은 공기압 구동식의 원격제어(remote control) 방식의 선박용으로 일반적으로 사용되고 있고, 용기 하나에 공기압 조절식 구동기(pneumatic actuator)가 하나씩 설치되며 최대 11개의 용기(container)에 연결이 가능하다.



Fig. 10 Pneumatic actuator

### 3.1.2 Flexible hose

용기발브(container valve)와 배출배관 (discharge pipe)의 연결에는 고정식 배관보다는 Fig. 11 과 같은 flexible hose를 사용하면 설치 작업이 대단히 쉬워진다. 각각의 연결에는 일반적으로 나사타입의 fitting이 사용되지만 필요에 따라 counter fitting류 공급으로 플랜지 연결도 가능하다.

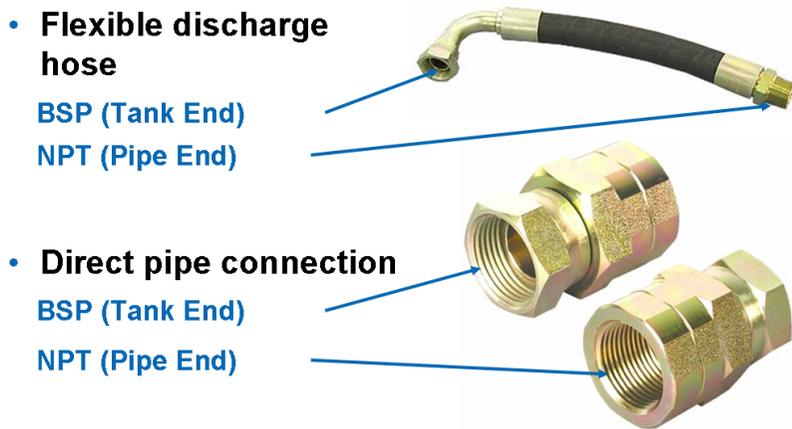


Fig. 11 Flexible hose and fitting

### 3.1.3 Container 와 Actuator Valve연결

용기(Container)와 구동발브(actuator valve)는 Fig. 12 와 같이 fitting으로 배관과 연결 되어있고, 전기 구동기(electric actuator)와 압력스위치(pressure switch)가 연결된 상태를 보여주고 있다.

주용기(master cylinder)의 배출압력을 이용하여 연결용기 (slave cylinders) 구동(activation)을 위해 스테인레스관(SUS tube)나 동관(brass tube)으로 각각의 용기(container)에 Fig. 13 과 같이 연결하여 동시에 여러 개의 용기(container)를 열수(opening)있도록 연결된 상태를 보여주고 있다.

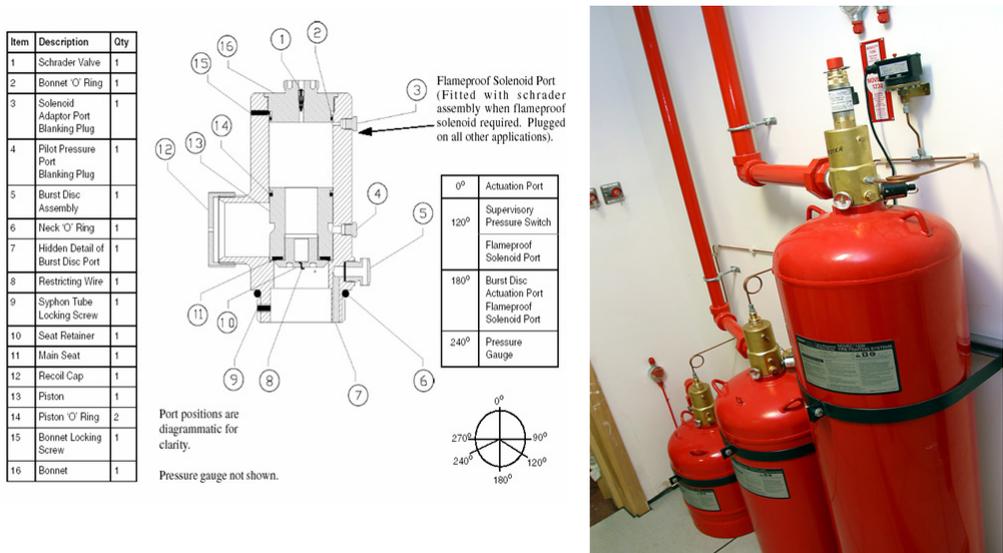


Fig. 12 Example of piping connection

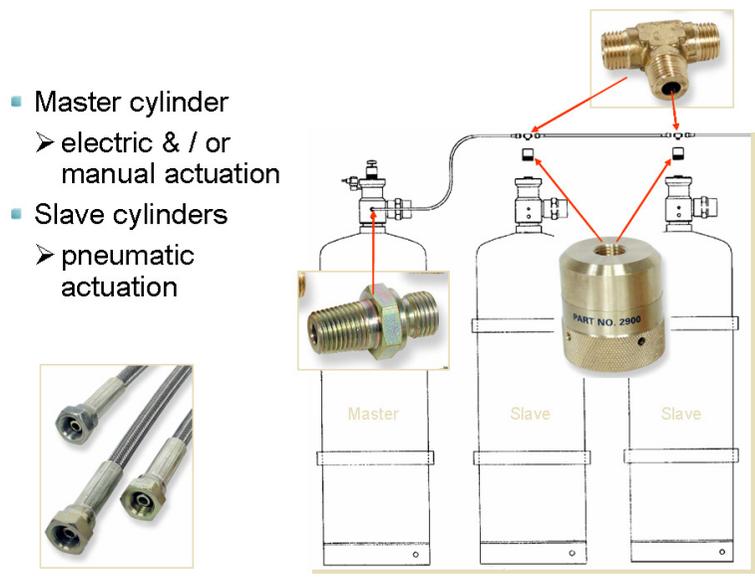


Fig. 13 Multiple container Layout

### 3.1.4 Pneumatic Release Cabinet

Fig. 14 와 같이 두 개의 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)나 질소(N<sub>2</sub>)가스의 구동용기 (pilot cylinder) 와 두 개의 수동조작 밸브(valve handle)로 구성되어 친환경 소화액제의 용기밸브(container valve)를 작동하는 기구로 modular type의 경우 좌현루프(port loop) 와 우현루프(STBD loop)로 구성되어 있다. 좌현루프(port loop)와 우현루프(STBD loop)는 하나의 루프(loop)에 문제가 생기더라도 다른 루프(loop)를 사용할 수 있도록 구성되어 있다. Banked type의 경우 고정식 이산화탄소 소화 장비처럼 하나의 밸브는 주 배출 배관 밸브를, 그리고 다른 하나는 소화액제 용기의 배출 밸브를 열어 주는 방식으로 구성되어 있다.

CO<sub>2</sub> 분사 캐비닛(release cabinet)처럼 조절관(control line)은 기관실 구역은 구리관(copper tube)로 외부구역(open space)에서는 스테인레스관 (tube)를 일반적으로 사용한다.

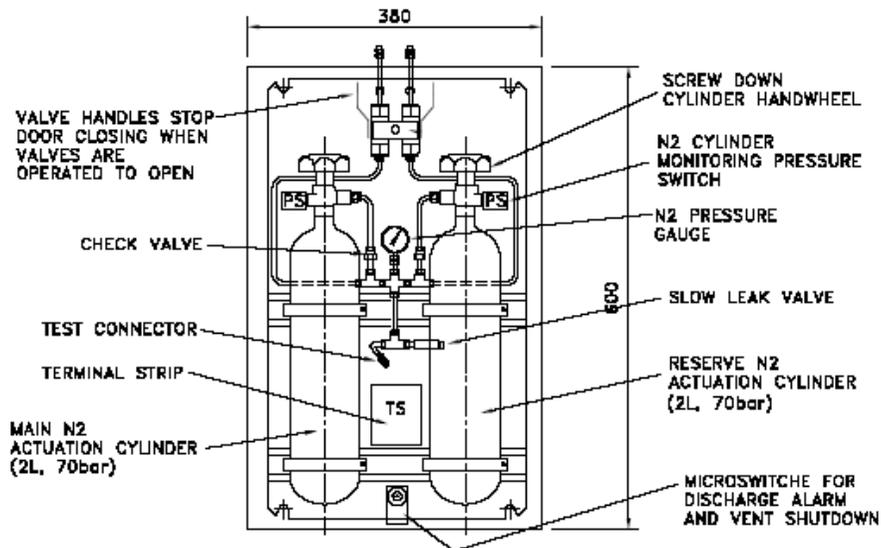


Fig. 14 Pneumatic release cabinet

### 3.1.5 Nozzles 과 Cylinder Bracket

분사노즐(discharge nozzle)의 유형은 Fig. 15 와 같이 180도 와 360도 형으로 분류되고, modular design의 경우 주로 벽에 설치하는 180도 노즐을 사용하고 banked type인 경우 중앙배열이 가능한 360도 노즐을 일반적으로 많이 사용된다.

최대 노즐의 유효 반경은 180도 노즐은 10.9m 이며 보통 구석이나 벽(wall)에 설치하는 것이 일반적이다. 360도 노즐의 경우 유효반경은 6.9m 로 보통 보호구역의 중앙에 설치하여 분사하도록 하고 있다.

각 nozzle당 친환경 소화액체의 최대량은 100kg이며 보호구역내 door위 설치는 피한다.

용기 보호대(bracket)는 Fig. 16 과같이 볼트(Bolt)/너트(Nut) 그리고 두 개의 보호대 판(bracket strap)으로 구성되고 하나의 back channel에 연결된다. 8 ltr의 경우 하나의 용기 보호대(bracket)가 필요하고 그 이상 크기(size)는 2개의 용기 보호대(bracket)가 필요하다.

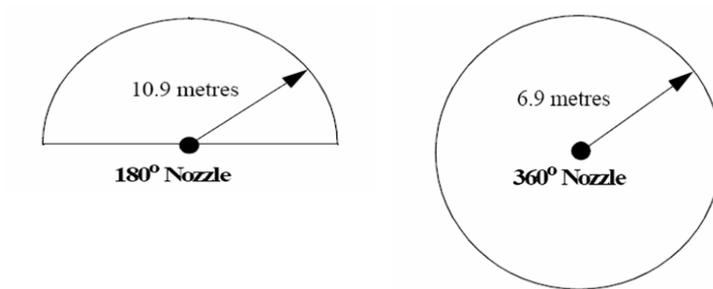


Fig. 15 Discharge nozzle



Fig. 16 Cylinder bracket

## 3.2 설계기준

### 3.2.1 설계 관련 규정(Rule) 검토

국제표준 ISO 14520에는 친환경 소화약제의 일반적 사항들이 언급되어져 있고, 선박(marine)관련 적용부분은 MSC Circular 848에 Halon 1301 소화장치와 유사한 원리들이 친환경 소화액제의 원리에도 동일하게 적용되고 있고, 기관실 구역의 소화 장치는 SOLAS Regulation II-2/7 and II-2/63 (2002년 7월1일 이후, new SOLAS Regulation II-2/10.5.1 and II-2/10.9.1)에 따라 설계되어야 하고 Regulation II-2/5 (new SOLAS Regulation II-2/10.4 , 10.5 그리고 FSS Code Chapter 5)에 따라 기존의 고정식 소화장치와 주요 성능은 같아야 한다.<sup>(5)</sup>

기관실의 다양한 화재에 대한 소화능력은 테스트로 입증되어야 하고 선급에서는 별도의 모형테스트(cup burner test)를 거쳐 형식승인서(type approval certification)을 발행한다.

각국 정부(flag)의 경우 대개는 각 선급인증서(class certification)를 인정하지만 가스위험구역(gases area)에 대하여는 각 선급의 인정 여하에 따라 각국 정부(flag)에서도 특별한 요구 사항 없이 인정해 주는 것이 일반적이다.

Lloyd 선급의 경우 LNG, LPG선의 가스 가스위험구역(gases area) 대한 별도의 모형테스트(cup burner test)를 거쳐 설계농도의 기준을 최근 발행된 형식승인서(new type approval certification)에 반영해 최근 건조되는 LNG 선박에 사용하고 있다.

DNV 선급의 경우도 Lloyd 선급에서 수행한 실험보고서(test report)를 근거로 LNG, LPG선의 화물 압축기실(cargo compressor room)에 대한 설계농도를 Lloyd 선급과 같은 설계기준으로 새 형식승인서(type approval certification)에 반영해 놓았다.

### 3.2.2 설계를 위한 주요 항목 검토

#### 3.2.2.1 설계농도(Design Concentration)

인증기관에서는 모형테스트(cup burner test)로 결정된 최소 소화농도 4.5%를 적용하고 있다. 설계농도는 이 최소 소화농도의 최소 20%이상이어야 하고 최대규모테스트(full scale test)로 입증되어야 한다. 하지만, 설계농도는 최소 소화농도의 30%의 안전계수를 고려하여 결정하는 것이 일반적이다.

Diesel 연료 나 heptane 연료(fuel)의 경우 최소 설계농도는 5.5%가 사용되고 이는 선박의 기관실 소화 장치에 적용 시 설계농도의 기준이 되고 있다.

#### 3.2.2.2 방출시간 (Discharge Time)

친환경 소화액제의 최소 방출시간은 6초이고, 최대 방출시간은 10초 이내로 설계되어야 한다. 이는 Halon의 경우 95%의 설계농도가 10초 이내에 분사되는 것과 유사하다. 즉, 친환경 소화액제의 경우 화재구역에 10초 이내의 짧은 시간에 분사되는 소화 장치로 이해하면 된다.

#### 3.2.2.3 소화액제의 용량 계산

소화액제의 용량은 케이싱(casing)을 포함한 보호구역의 순 체적을 기준으로 설계농도가 결정되고 최소 기대 주위온도에서 계산을 해야 한다. 계산된 소화액제의 용량은 보호구역내 온도가 최소기대 주위온도 보다 낮을 때의 최소설계 농도이하로 떨어져서는 안 된다.

#### 3.2.2.4 보호구역의 순 체적(Net Volume)

보호구역의 순 체적은 소화액제가 도달할 수 있는 전체구역중의 일부 구역을 말한다. 빌지(bilge), 케이싱(casing), 공기저장탱크(air receiver)의 free air 체적은 순 체적에 포함된다. 공기저장탱크(air receiver) 체적은 보호구역에 소화액제가 유입될 때 소화효과에 심각한 영향을 미칠 수 있다. 즉, 시동용 공기저장탱크(starting air receiver)의 용량을 free air로 변환하여 기관실구역 총 중량에 더해야 하거나, 아니면 시동용 공기저장탱크(starting air receiver)의 안전발브(safety valve)의 방출 부를 대기 중으로 방출할 수 있는 설계이면 포함하지 않아도 된다. 이는 고정식 CO<sub>2</sub> 소화 장치와 유사하다.

#### 3.2.2.5 총 체적에서 제외 가능한 구성품

주기관, 보기류, 보일러, 탱크류, 트렁크류 등은 총체적에서 제외 가능하지만 필요 불가결한 것은 아니다.

#### 3.2.2.6 Noael지수 검토

개(dog)를 가지고 실험한 결과 생명에 특별한 영향이 없는 농도의 기준인 "No Observed Adverse Effect Level" 즉, Noael 지수보다 적은 농도가 이용되어야 한다. 이는 어떠한 환경에서도 안전성을 보장해야 하므로 Noael지수보다 적은 농도가 설계농도로 이용됨을 확인하여야 한다.

### 3.2.2.7 소화액제 분사방법(Release System)

Banked design의 경우 두 개의 분리된 조절관을 통하여 보호구역으로 통하는 주배관의 밸브를 열어주고 다른 하나는 가스저장 용기의 배출밸브를 열어주는 방식으로 기존 고정식 CO<sub>2</sub> 소화 장치와 동일하다.

두 개의 조절밸브에 어느 구역의 화재진압용으로 사용되는지 분명하게 표기되어야 한다.

Modular design의 경우 별도의 배출 분사 밸브(discharge valve)가 없이 용기 구동 밸브(actuator valve)를 열어(opening)주면 바로 분사되는 방식으로 원칙적으로 하나의 루프(loop)면 기능상으로 소화가 가능하다. 하지만, 두 개의 좌현루프(port loop)와 우현루프(Stbd loop)로 구성되어 각각은 친환경 소화 액제 용기밸브(top valve) 즉, 구동기(actuator)를 열어 주는 역할을 한다.

좌현루프(port loop)와 우현루프(Stbd loop)의 의미는 복수 작동(dual operation)을 의미하며 이는 화재로 인한 추가적인 안전조치의 일환이다.

### 3.2.3 용량 계산

친환경 소화액제의 용량계산의 실제 사례를 예로 들어 용량을 계산해 보면 아래와 같다.

#### 3.2.3.1 설계 농도 기준

0°C의 Heptane소화기준에서 노즐분사테스트로 4.2%가 얻어졌고, 여기에 30%의 안전계수(safety factor)를 반영하면 5.5%가 얻어진다. 이는 향후 국제해사기구(IMO)에서 B화재의 경우 5.85%로 변경 예정이지만, 현재는 기관실 화재의 경우 설계농도 5.5%를 적용한다.<sup>(7)</sup>

- 최소(minimum) 5.2% 설계농도: Class A hazards ("A" 화재-목재, 종이)
- 최소(minimum) 5.5% 설계농도: Class B hazards ("B" 화재-기름, 선박)

#### 3.2.3.2 Flooding Factor 선정

최소/최대 온도기준에서 보호구역의 체적에 곱하면 요구되는 친환경 소화액제의 양을 구할 수 있는 계수 즉, flooding factor로 Table 5 에서 구할 수 있다. 즉, 20°C에서 설계농도 5.5%일 때 flooding factor C=0.8097이고, 최저온도 0°C에서의 flooding factor는 0.8765이다.

보호구역의 체적에 이 flooding factor를 곱하면 친환경 소화액제의 양을 구할 수 있다.

Table 5 Weight requirement per unit volume

Temp. (°C)	Specific Vapour Vol (m <sup>3</sup> /kg)	Novec 1230 Weight Requirements of Hazard Volume (kg/m <sup>3</sup> ) Design Concentration (%w/v)												
		5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	10
0	0.0664	0.8765	0.8934	0.9103	0.9273	0.9443	0.9613	1.0470	1.1336	1.2211	1.3096	1.3990	1.4895	1.6734
5	0.0678	0.8588	0.8753	0.8919	0.9085	0.9252	0.9419	1.0258	1.1107	1.1964	1.2831	1.3708	1.4594	1.6395
10	0.0691	0.8418	0.8580	0.8742	0.8905	0.9068	0.9232	1.0055	1.0886	1.1727	1.2577	1.3436	1.4304	1.6070
15	0.0705	0.8254	0.8413	0.8573	0.8732	0.8892	0.9053	0.9859	1.0675	1.1499	1.2333	1.3175	1.4027	1.5758
20	0.0719	0.8097	0.8253	0.8409	0.8566	0.8723	0.8880	0.9671	1.0471	1.1280	1.2097	1.2924	1.3759	1.5458
25	0.0733	0.7946	0.8099	0.8252	0.8406	0.8560	0.8714	0.9491	1.0276	1.1069	1.1871	1.2682	1.3502	1.5169
30	0.0746	0.7800	0.7950	0.8100	0.8251	0.8402	0.8554	0.9316	1.0087	1.0866	1.1653	1.2449	1.3254	1.4890
35	0.0760	0.7659	0.7807	0.7954	0.8103	0.8251	0.8400	0.9148	0.9905	1.0670	1.1443	1.2225	1.3015	1.4622
40	0.0774	0.7523	0.7668	0.7814	0.7959	0.8105	0.8251	0.8986	0.9730	1.0481	1.1241	1.2008	1.2785	1.4363
45	0.0787	0.7392	0.7535	0.7678	0.7821	0.7964	0.8107	0.8830	0.9560	1.0299	1.1045	1.1799	1.2562	1.4113
50	0.0801	0.7266	0.7406	0.7546	0.7687	0.7828	0.7969	0.8679	0.9397	1.0122	1.0856	1.1598	1.2347	1.3872
55	0.0815	0.7144	0.7281	0.7419	0.7558	0.7698	0.7835	0.8533	0.9239	0.9952	1.0673	1.1403	1.2140	1.3638
60	0.0828	0.7026	0.7161	0.7297	0.7433	0.7569	0.7705	0.8392	0.9086	0.9788	1.0497	1.1214	1.1939	1.3413
65	0.0842	0.6911	0.7045	0.7178	0.7312	0.7446	0.7580	0.8255	0.8936	0.9628	1.0326	1.1031	1.1745	1.3195
70	0.0856	0.6801	0.6932	0.7063	0.7195	0.7328	0.7458	0.8123	0.8795	0.9474	1.0161	1.0855	1.1557	1.2983
75	0.0870	0.6694	0.6823	0.6952	0.7081	0.7211	0.7341	0.7995	0.8657	0.9325	1.0001	1.0684	1.1374	1.2779
80	0.0883	0.6590	0.6717	0.6844	0.6971	0.7099	0.7227	0.7871	0.8522	0.9180	0.9846	1.0518	1.1198	1.2581
85	0.0897	0.6489	0.6614	0.6739	0.6865	0.6991	0.7117	0.7751	0.8392	0.9040	0.9695	1.0357	1.1027	1.2388
90	0.0911	0.6392	0.6515	0.6638	0.6762	0.6885	0.7010	0.7634	0.8266	0.8904	0.9549	1.0202	1.0861	1.2202
95	0.0924	0.6297	0.6418	0.6540	0.6661	0.6783	0.6906	0.7521	0.8143	0.8772	0.9408	1.0050	1.0700	1.2021
100	0.0938	0.6205	0.6324	0.6444	0.6564	0.6684	0.6805	0.7411	0.8024	0.8644	0.9270	0.9904	1.0544	1.1846

### 3.2.3.3 친환경 소화액제의 용량계산

실제 계산에서 아래의 용량계산 식(formula)이 사용되고 여기에서 얻어진 친환경 소화액제의 양을 근거로 설계농도를 Noael지수와 비교하여 안전성(safety)정도를 측정한다.

$$Q = \frac{V}{S} \left( \frac{C}{100 - C} \right) \quad (1)$$

Q = Novec 1230 quantity (in Kg)

C = Design concentration (%)

V = Enclosure volume(체적) (cu.m)

S = Specific vapour volume (cu.m/kg)

$$, S = 0.0664 + 0.000274T \quad (2)$$

T = Enclosure temperature (deg. C)

#### Machinery Space (허용 체적감소 97m<sup>3</sup>)

최소온도(minimum temp) = 0°C

최대온도(maximum temp.) = 30°C

총체적(gross volume) = 643 m<sup>3</sup>

순체적(net volume) = 546 m<sup>3</sup> ; (643-97)

공기저장탱크(air receiver)의 free air 체적 = 500 liter

공기저장탱크(air receiver) 수 = 2개

공기저장탱크(air receiver)의 배출부위(vent. release)가 보호구역내에 있다면 별도의 친환경 소화액제가 추가로 요구된다.

허용공기저장탱크(allowable air receivers);

$$\frac{P1 \times V1}{T1} = \frac{P2 \times V2}{T2} \quad (3)$$

온도가 일정하다면,

$$P1 \times V1 = P2 \times V2 \quad (4)$$

P1 = 30bar,

$$V1 = 0.5 \text{ m}^3,$$

$$P2 = 1\text{bar 이라면,}$$

$$V2 = \frac{P1 \times V1}{P2} = \frac{30 \times 0.5}{1} = 15\text{m}^3$$

즉 2개의 공기저장탱크(air receiver)의 체적은  $2 \times 15\text{m}^3 = 30\text{m}^3$

공기저장탱크(air receiver)가 포함된 기관구역(machinery space)의 순 체적은  $546\text{m}^3 + 30\text{m}^3 = 576\text{m}^3$

- 5.5%의 설계농도기준 0°C에서 친환경 소화액제의 양은?
  1. 표 3 에서 flooding factor 는  $0.8765 \text{ kg/m}^3$
  2.  $576\text{m}^3 \times 0.8765 \text{ kg/m}^3 = 504.9\text{kg}$ 의 친환경 소화액제가 얻어진다.
- 4 x 147liter의 용기(container)에 4 x 127kgs의 친환경 소화액제가 필요하다.(508kgs)

#### 3.2.3.4 최대온도에서의 설계농도와 Noael농도 비교

$$C = \frac{WS100}{(V + (WS))} \quad (\%) \quad (5)$$

$$\begin{aligned} C &= (508 \times 0.0746 \times 100) / ((576 + (508 \times 0.0746)) \\ &= 3789.68 / 613.897 = 6.18\% \end{aligned}$$

즉, 최대온도에서 설계농도  $C=6.18\%$ 는 Noael농도 10%보다 낮아 안전성(safety)기준 범위 내에 있어 안전하다.

## IV. 친환경 소화액제의 선박기관실 적용

### 4.1 기관실 국부 구역의 소화 장치 적용기술

앞에서도 언급했듯이 친환경 소화액제의 선박 소화장치에 적용은 각 보호 구역에 modular type이나 bank type으로 설치하고 국부 구역의 주 출입구나 소화통제장소(fire control station)에 분사캐비닛 (release cabinet)을 설치하여 기관실 국부 화재의 소화를 진행하는 것이다.

이를 기관실 전체에 적용하면 필요시 국부소화에도 적용할 수 있고, 기관실 전체에 대해서도 적용할 수 있어 향후 많은 적용이 예상 된다.

#### 4.1.1. Modular Design

Fig. 17 과 Fig. 18 과 같이 친환경 소화액제의 용기(container)가 보호 구역내에 설치되는 설계를 modular design이라 하고 보통 하나의 용기(container)에 두 개의 노즐이 일반적으로 배관에 의해 연결된다.

Modular design의 경우 5/6<sup>th</sup>가스규칙(rule)이 적용되고 이는 용기(container)수나 친환경 소화액제의 양이 증가되는 원인이 되지만 설치 시 배관의 감소, 설치공간의 감소 등 설치 상 많은 장점이 있어 일반적으로 적용이 쉽다.

즉, 5/6<sup>th</sup> 가스규칙(rule)은 6개 이하의 용기(container)에서 하나의 용기가 문제(fail) 되더라도 5/6<sup>th</sup>의 용기로도 요구 설계농도가 분사되어야 한다는 것으로 일반적으로 용기수가 증가된다. 만약 7개 이상의 용기 수에서는 5/6<sup>th</sup> 가스규칙(rule)이 적용되지 않는다.

Fig. 19 는 실제로 3개의 용기가 modular type으로 설계된 도면으로 노즐의 연결상태, 경보 모니터링(alarm monitoring)과 분사 시스템(release system)을 보여 주고 있다.



Fig. 17 Modular design 설치

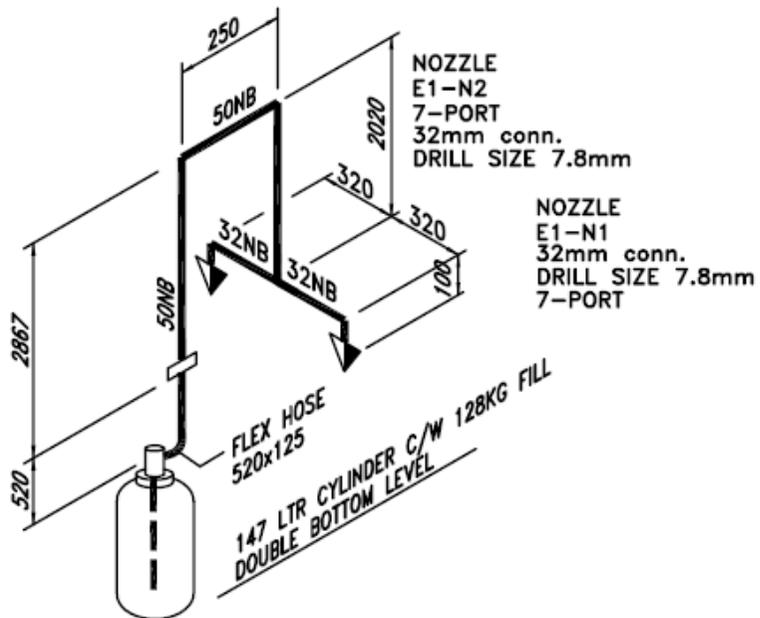


Fig. 18 ISO drawing for modular design

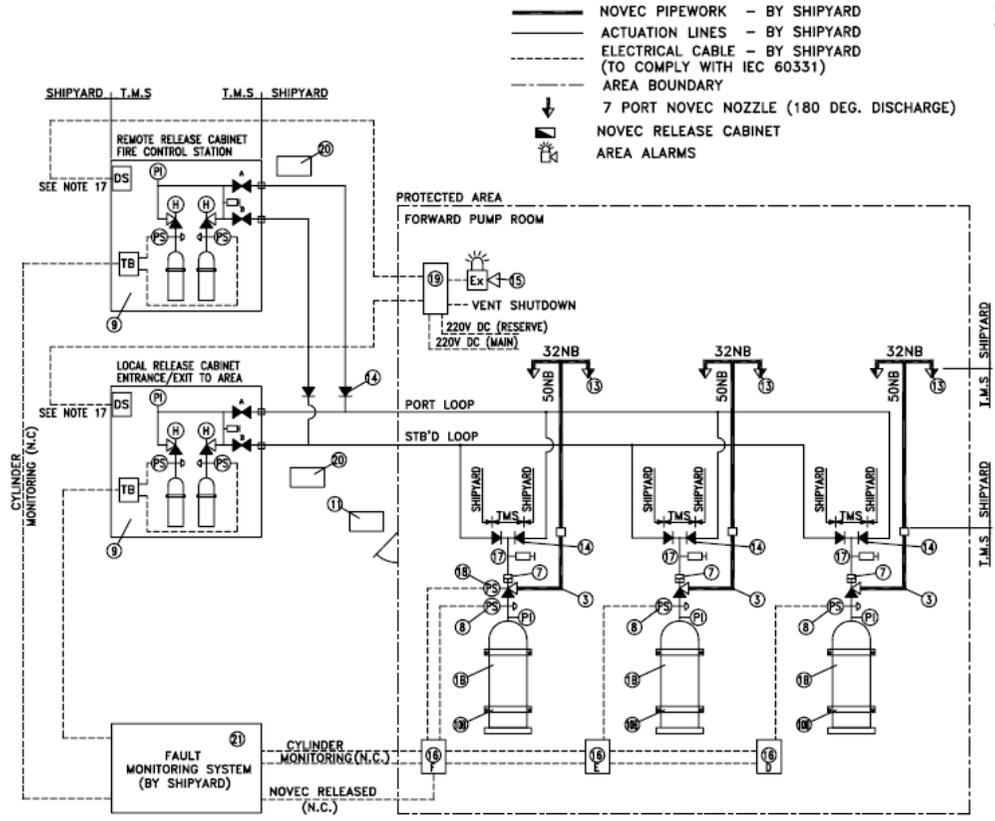


Fig. 19 Schematic diagram of modular design

### 4.1.1.1 Engine Control Room 적용 예

#### a. Calculation

AREA	NETT VOLUME	DESIGN % CONC.	GAS REQ'D AT DESIGN CONC.	5/6th GAS OF DESIGN CONC.	CYLINDER INFORMATION	TOTAL GAS DISCHARGED	N.O.A.E.L. % CONC.	GAS REQ'D FOR NOAEL CONC.
ENGINE CONTROL ROOM	526.19 cu.M (inc 220.15 ceiling void)	5.5% @ 20°C	426.06 KG	355.04 KG	4 x 147 ltr c/w 119kg NOVEC FILL	476 KG	10% @ 50°C	729.93 KG

DESIGN CONC. WEIGHT REQUIREMENT OF HAZARD VOLUME FACTOR = 0.8097  
 N.O.A.E.L. LIMIT WEIGHT REQUIREMENT OF HAZARD VOLUME FACTOR = 1.3872

Table 5 에서 위험체적요소(hazard volume factor)의 설계농도중량 (design concentration weight)는 20°C, 5.5%에서 0.8097기준으로 산정하고, 위험체적요소(hazard volume factor)의 Noel한계중량(limit weight)는 50°C, 10%에서 1.3872 기준으로 산정되었다.

아래의 그림은 실제 적용된 계략개통도(schematic diagram),노즐 배치도면 (nozzle arrangement) 그리고 실제 hydraulic calculation에 사용된 배관 입체(ISO)도면을 보여주고 있다.

#### b. 계략개통도(schematic diagram)

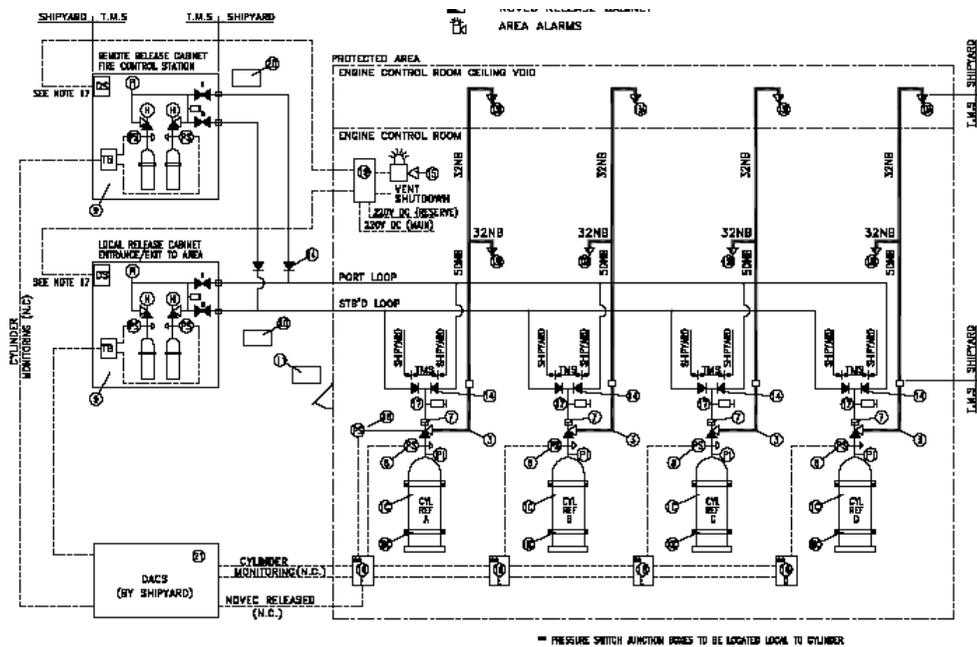


Fig. 20 Schematic diagram of engine control room

c. 노즐 배치도면(nozzle arrangement)

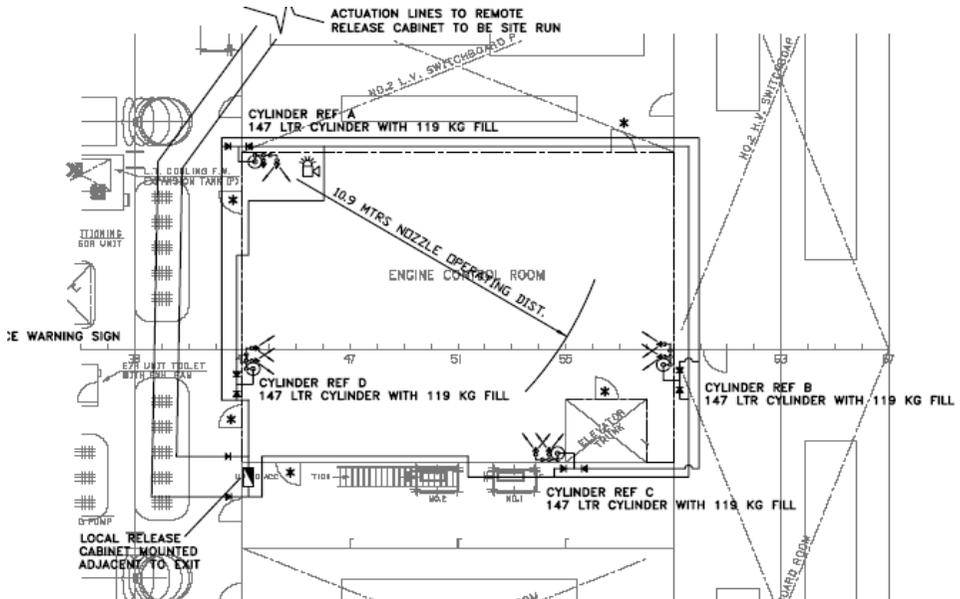


Fig. 21 Nozzle arrangement of engine control room

d. 배관입체도(actual piping ISO drawing)

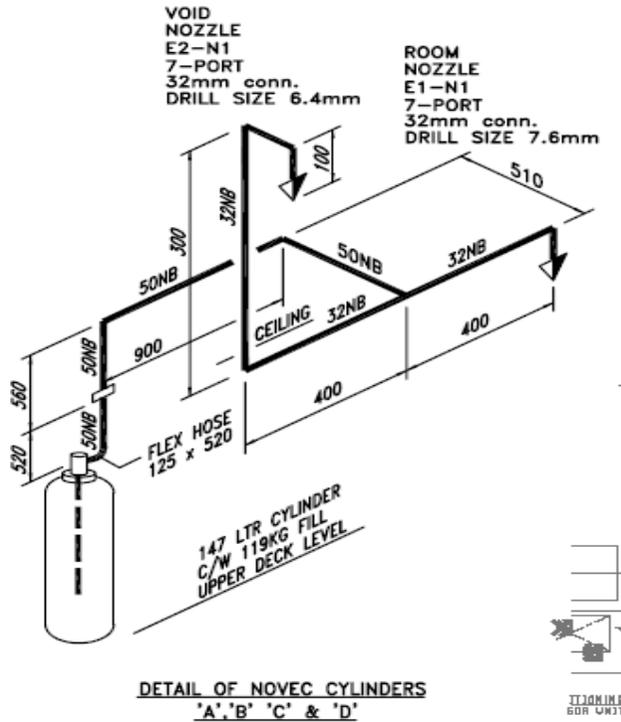


Fig. 22 Actual piping ISO drawing of engine control room

### 4.1.1.2. Main Switchboard Room 에의 적용

#### a. Calculation

AREA	NETT VOLUME	DESIGN % CONC.	GAS REQ'D AT DESIGN CONC.	5/6th GAS OF DESIGN CONC.	CYLINDER INFORMATION	TOTAL GAS DISCHARGED	N.O.A.E.L. % CONC.	GAS REQ'D FOR NOAEL CONC.
No.2 MAIN SWITCHBOARD ROOMS PORT SIDE	745 cu.M	5.5% @ 20°C	603.23 KG	502.69 KG	4 x 180 ltr c/w 168.0kg NOVEC FILL	672 KG	10% @ 50°C	1033.5 KG

DESIGN CONC. WEIGHT REQUIREMENT OF HAZARD VOLUME FACTOR = 0.8097  
 N.O.A.E.L. LIMIT WEIGHT REQUIREMENT OF HAZARD VOLUME FACTOR = 1.3872

Table 5 에서 위험체적요소(hazard volume factor)의 설계농도중량 (design concentration weight)는 20°C, 5.5%에서 0.8097기준으로 산정하고, 위험체적요소(hazard volume factor)의 Noel 한계중량(limit weight)는 50°C, 10%에서 1.3872 기준으로 산정되었다.

아래의 그림은 실제 적용된 계략개통도(schematic diagram),노즐 배치도면 (nozzle arrangement) 그리고 실제 hydraulic calculation에 사용된 배관 입체(ISO)도면을 보여주고 있다.

#### b. 계략개통도(schematic diagram)

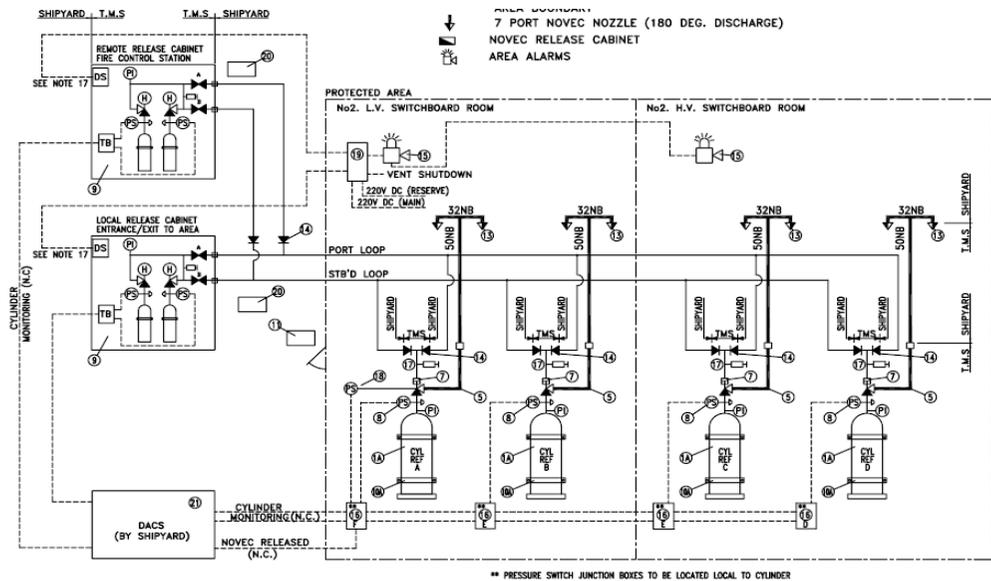


Fig. 23 Schematic diagram of main switchboard room



#### 4.1.2. Banked Design

친환경 소화액제 용기(container)가 보호구역 밖에서 manifold배관으로 연결되어 독립된 구역에 놓이고 배관에 의해 CO<sub>2</sub> 나 FM200의 경우처럼 공기압구동 발브(pneumatic pressure operated valve)를 통해 보호구역으로 가스가 전달되는 방식을 banked design이라고 한다.

Fig. 26 에서와 같이 공기압 구동발브(pneumatic pressure operated distribution valve)가 고려되어야하고 보호구역밖에 별도의 용기 공간의 확보가 필요하며, 때로는 긴 배관이 고려되어 설치비가 증가하는 단점이 있다.

아래 Fig. 27 은 실제 호선에 적용된 banked design의 계략개통도(schematic diagram)를 보여주고 있는데, 분배라인(release line)은 공기압 구동(pressure operated)에 의한 배출배관 발브구동용과 용기 개폐용의 두 라인으로 구성되어있다.



Fig. 26 Installation of banked design

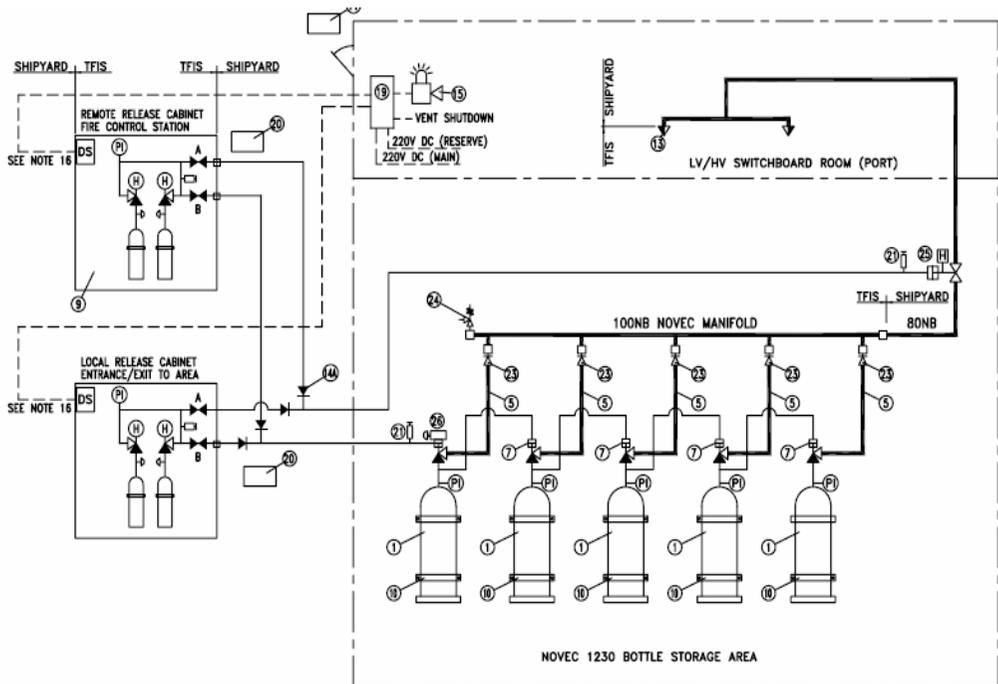


Fig. 27 Schematic diagram of banked design

### 4.1.2.1 Engine Control Room 적용

#### a. Calculation

AREA	NETT VOLUME	DESIGN % CONC.	GAS REQ'D AT DESIGN CONC.	CYLINDER INFORMATION	TOTAL GAS DISCHARGED	N.O.A.E.L. % CONC.	GAS REQ'D FOR NOAEL CONC.
ENGINE CONTROL ROOM (VOID = 85.85m <sup>3</sup> )	295.27 cu.M	5.5% @ 20°C	239 kg	2 x 180 Ltr c/w 120kg NOVEC FILL	240 kg	10% @ 50°C	410.57 kg

DESIGN CONC. WEIGHT REQUIREMENT OF HAZARD VOLUME FACTOR = 0.8097  
 N.O.A.E.L. LIMIT WEIGHT REQUIREMENT OF HAZARD VOLUME FACTOR = 1.3872

Table 5 에서 위험체적요소(hazard volume factor)의 설계농도중량 (design concentration weight)는 20°C, 5.5%에서 0.8097기준으로 산정하고, 위험체적요소(hazard volume factor)의 Noael한계중량(limit weight)는 50°C, 10%에서 1.3872기준으로 산정되었다. 즉, modular type과 유사하지만, 5/6<sup>th</sup> 가스규칙(rule)이 적용되지 않아 적은 수의 용기가 필요하다. 아래의 그림은 실제 적용된 계략개통도(schematic diagram),노즐 배치도면 (nozzle arrangement) 그리고 실제 hydraulic calculation에 사용된 배관 입체(ISO) 도면을 보여주고 있다.

#### b. 계략개통도(schematic diagram)

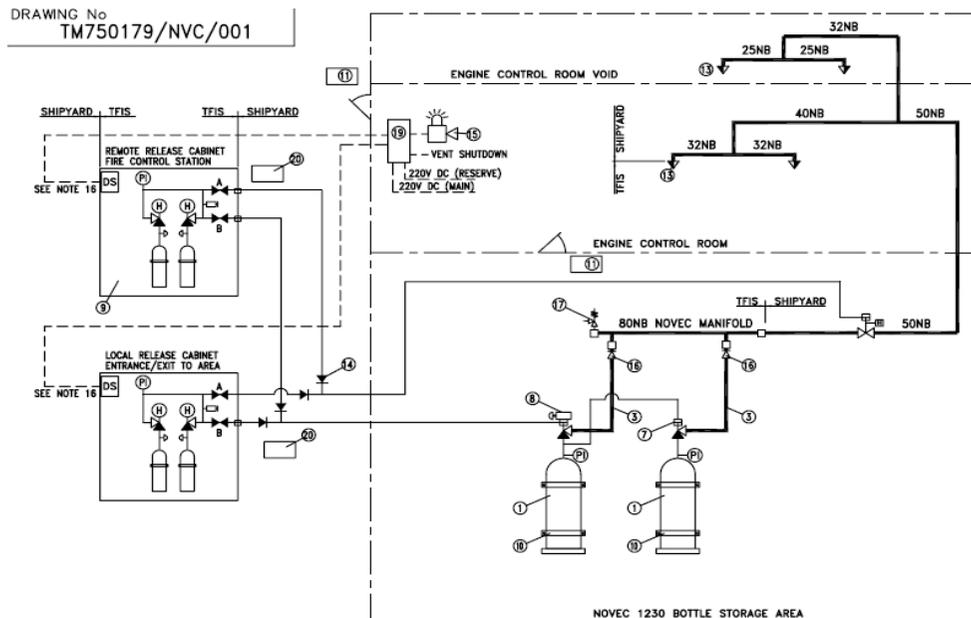


Fig. 28 Schematic diagram of engine control room

c. 노즐 배치도면(nozzle arrangement)

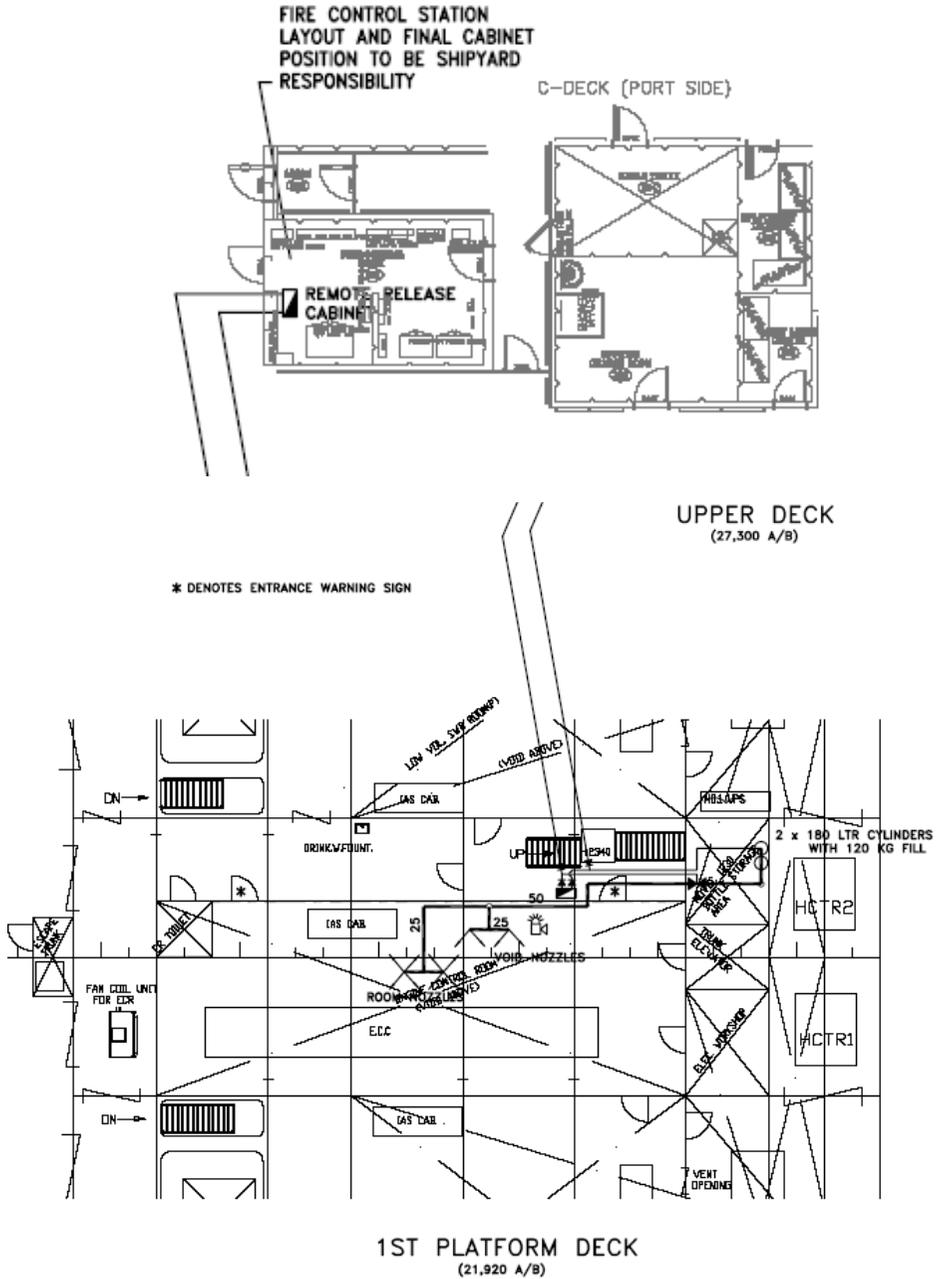


Fig. 29 Nozzle arrangement of engine control room

d. 배관입체도(actual piping ISO drawing)

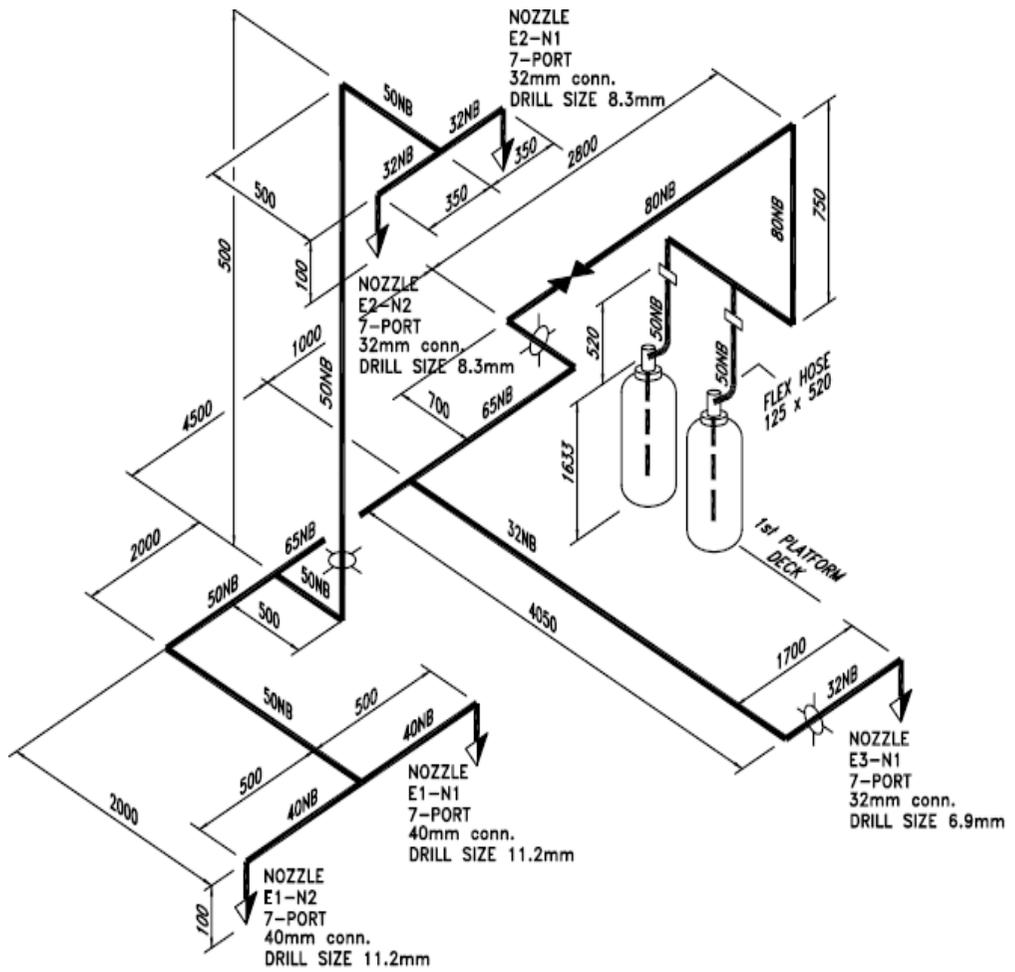


Fig. 30 Actual piping ISO drawing of engine control room

### 4.1.2.2 Main Switchboard Room 적용

#### a. Calculation

AREA	NETT VOLUME	DESIGN % CONC.	GAS REQ'D AT DESIGN CONC.	CYLINDER INFORMATION	TOTAL GAS DISCHARGED	N.O.A.E.L. % CONC.	GAS REQ'D FOR NOAEL CONC.
LV/HV SWITCHBOARD ROOM (PORT)	783.6 cu.M	5.5% @ 20°C	634.5 kg	5 x 180 ltr c/w 129kg NOVEC FILL	645 kg	10% @ 50°C	1087 kg

DESIGN CONC. WEIGHT REQUIREMENT OF HAZARD VOLUME FACTOR = 0.8097  
 N.O.A.E.L. LIMIT WEIGHT REQUIREMENT OF HAZARD VOLUME FACTOR = 1.3872

Table 5 에서 위험체적요소(hazard volume factor)의 설계농도중량 (design concentration weight)는 20°C, 5.5%에서 0.8097기준으로 산정하고, 위험체적요소(hazard volume factor)의 Noael한계중량(limit weight)는 50°C, 10%에서 1.3872기준으로 산정되었다. 즉, modular type과 유사하지만, 5/6<sup>th</sup>가스 규칙(rule)이 적용되지 않아 적은 수의 용기가 필요하다. 아래의 그림은 실제 적용된 계략개통도(schematic diagram),노즐 배치도면 (nozzle arrangement) 그리고 실제 hydraulic calculation에 사용된 배관 입체(ISO) 도면을 보여주고 있다.

#### b. 계략개통도(schematic diagram)

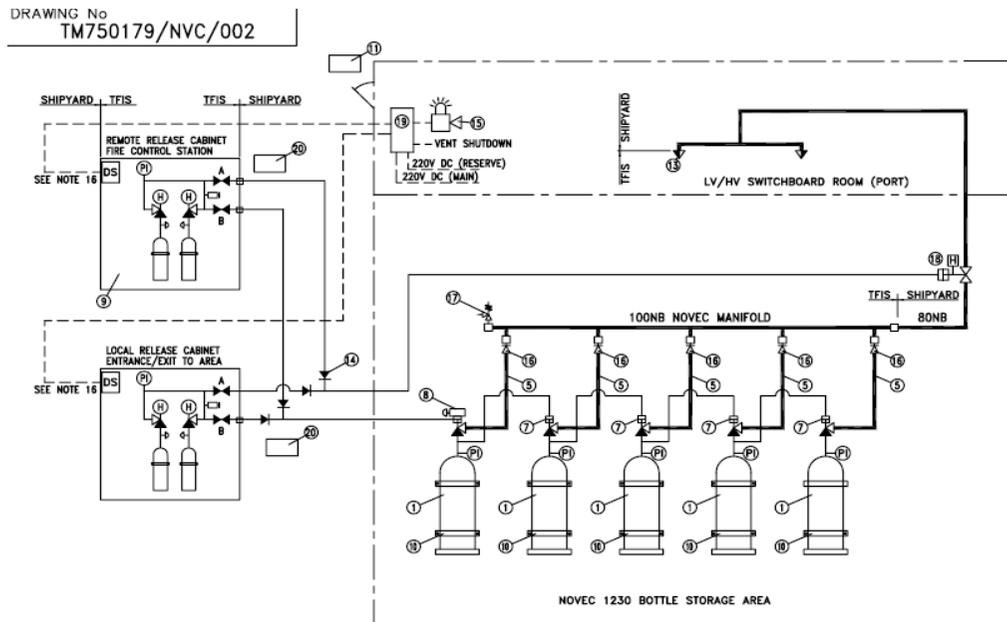


Fig. 31 Schematic diagram of main switchboard room



d. 배관입체도(actual piping ISO drawing)

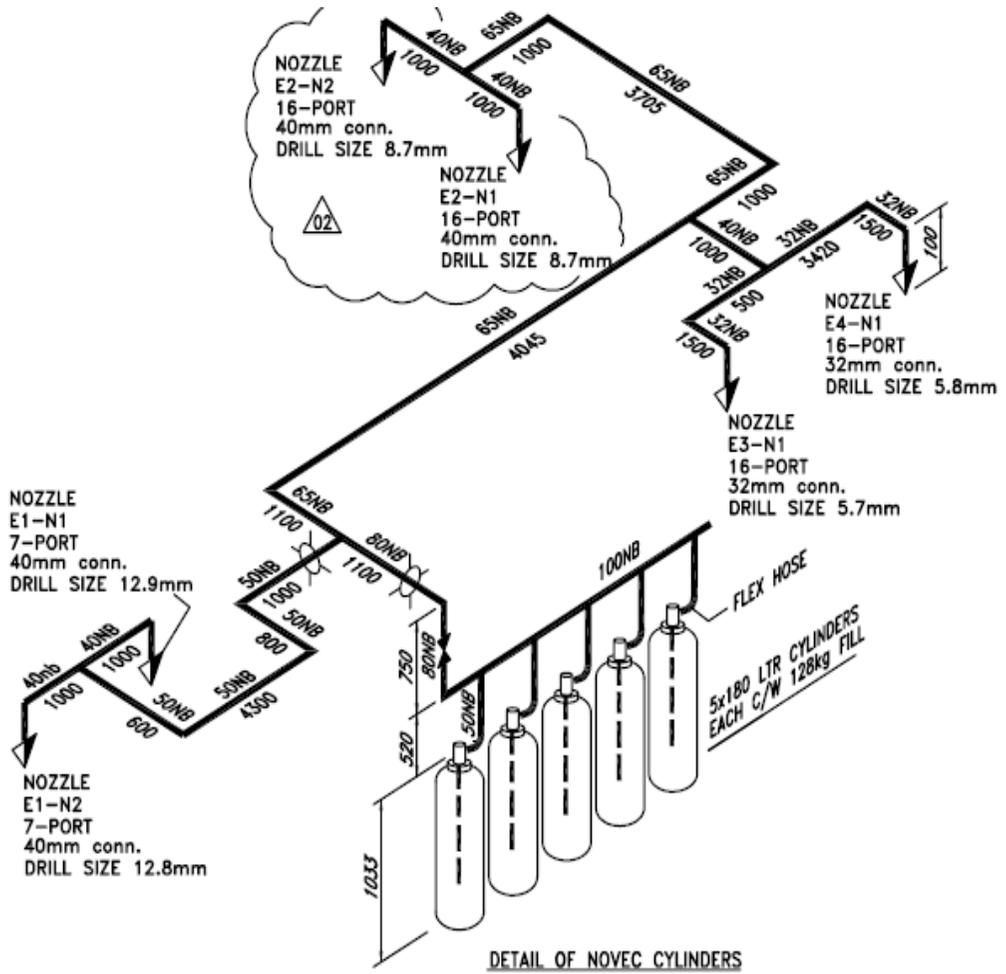


Fig. 33 Actual piping ISO drawing of main switchboard room

## 4.2 실제 적용에 있어서 개선된 사항

### 4.2.1 배관의 선정 및 배열

Table 6 에서와 같이 배관의 크기에 따른 유속은 배관의 유동계산 (flow calculation)에 사용되고 배관선정의 기준이 되고 있다.

즉, 적정유동을 위해 최소유량(minimum flow rate) 이상의 배관을 선정해야하고 최대 유량의 경우 제한은 없지만 선정된 배관에 비해 과도한 유량은 압력손실(pressure drop)의 원인이 된다.

최대 노즐 높이는 1단(single row) 인 경우 4.3m이내 이고 그 이상이면 추가 단의 노즐(nozzle) 배열이 필요하다. 즉, 기관실의 main switchboard room의 경우 천정(ceiling) 부위에 노즐이 추가로 설치될 경우 Fig. 20에서와 같이 2 단의 노즐배열을 하여야 한다.

가능하면 Fig. 34 와 같이 균등 분배가 되도록 배관이 배열되어야 효율적인 친환경 소화액제의 분사가 가능하다.

즉 "TEE"형 배관은 수평으로만 설치되어야 균등분배의 효과가 있어 설치에 유의해야 한다.

친환경 소화액제의 이송로인 배관의 일반적 사양은 도금된 schedule 40 의 black steel pipe가 일반적으로 사용되고 300Ib의 부품(fitting)이 배관의 연결에 사용되었다.

JIS 16K 플랜지의 사용도 가능하고, 유니언(union)의 사용도 가능하지만, 주철관(cast iron)은 적합하지 않고, FM200 소화액제에 사용되는 배관과 동일한 사양으로 생각하면 무난하다.

기준 설계압력은 25bar로 배관의 경우 수압테스트(hyd. test) 압력은 설계압력의 1.5배 적용한 37.5bar로 선급입회 검사를 받아야하고, 설치 후에는 노즐 부착 전 공기주입(air blowing)하여 배관 내부를 최상 조건으로 유지하도록 한다.

Table 6 Sizing of pipe work

Determine Pipe & Layout - based on flow rate

Flow Rate (Kg/Sec)		Estimated Pipe Size
Minimum *	Maximum **	
0.5	1.4	15mm (1/2")
0.9	2.5	20mm (3/4")
1.6	3.9	25mm (1")
2.7	5.7	32mm (1 1/4")
4.1	9.1	40mm (1 1/2")
6.4	13.6	50mm (2")
9.1	24.9	65mm (2 1/2")
13.6	40.8	80mm (3")
24.9	56.7	100mm (4")
54.4	136.1	150mm (6")

\* Minimum values are required for flow calculation purpose  
 \* Maximum values will need to be reduced on larger pipe work system

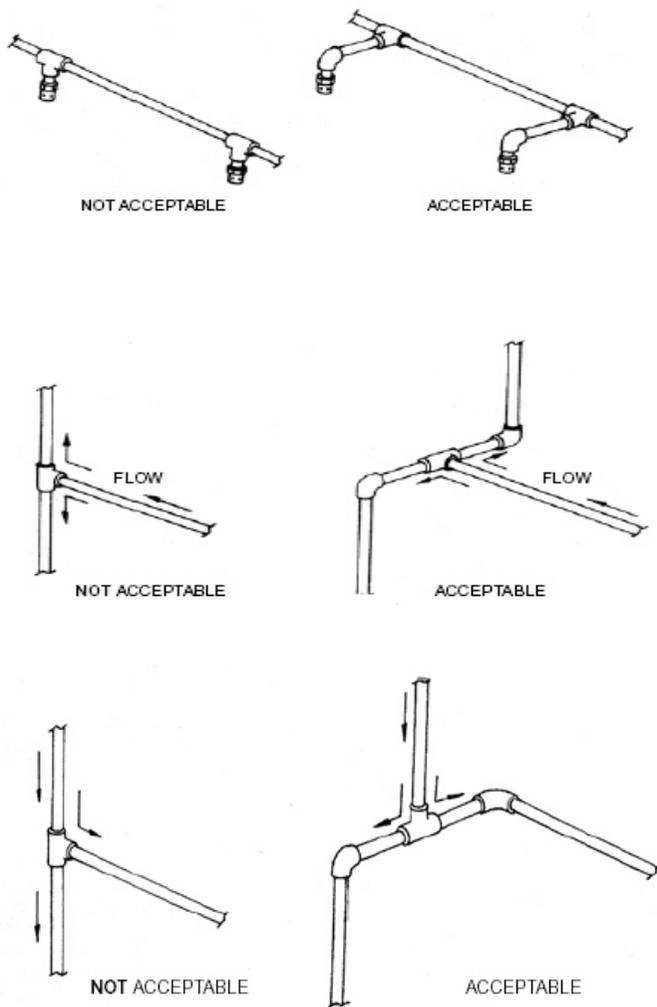


Fig. 34 Example of piping layout

#### 4.2.2 Net Volume 산정

보호 구역의 순체적(net volume)은 친환경 소화액제 설계의 주요 기준의 하나로, 감소(deduction) 가능한 항목은 선체에 직접 제작된 hull tank, 주요 고형체(solid)의 주(major) 기기류 등이 제외 가능하나 일반적으로 " Rule of Thumb" 법칙으로 총체적(gross volume)의 15%를 감한 체적을 순체적(net volume)으로 사용하여 소화액제의 양을 계산 하였다.

#### 4.2.3 Port loop 와 STBD loop 구성

Modular design의 경우 분사캐비닛(release cabinet)의 이중 작동(dual operation)의 의미에서 Fig. 35 와 같이 좌현루프(port loop)와 우현루프(stbd loop)로 구성되어 있는데 보호 구역 내에서 좌현루프(port loop)와 우현루프(stbd loop)를 명확히 구별하여 배열하여야 한다. 이는 화재로 인한 추가적인 안전 조치의 일환으로 고정식 CO<sub>2</sub>시스템의 분사 방법과 다른 방법으로 주의하여야 한다.

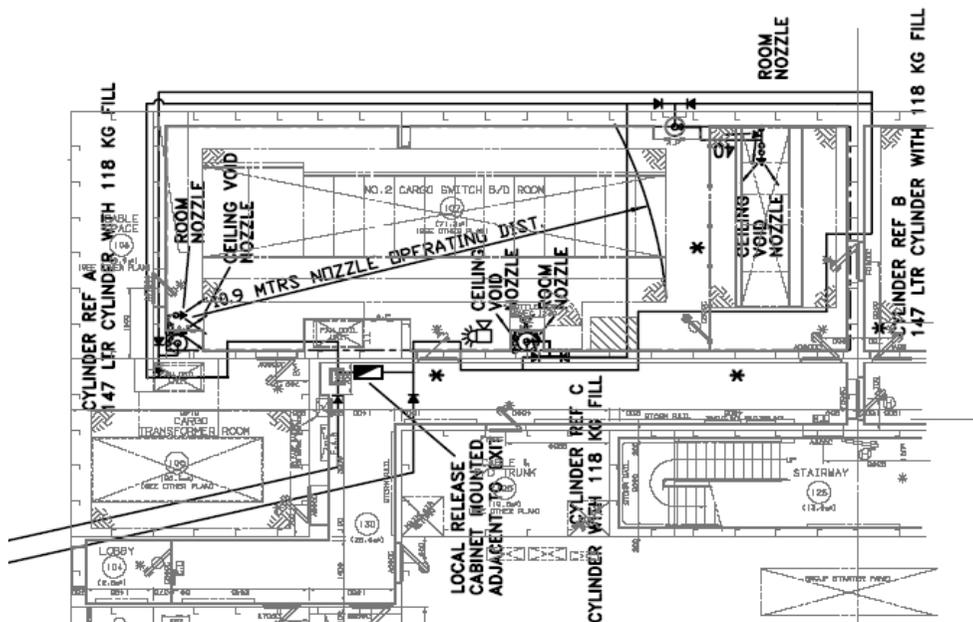


Fig. 35 Port loop and stbd loop

#### 4.2.4. Ceiling 이나 floor 구역의 Net Volume 포함여부

일반적으로 산업용(Industrial)에서는 바닥(floor)나 천정(ceiling) 구역에 대하여 격벽에 의하여 구분되지 않는 한 국부구역의 화재로 인하여 바닥(floor)나 천정(ceiling)구역에 화재가 전이되므로 이 구역에 대해서도 국부구역과 같은 flooding factor를 적용해야 한다.

선박 기관실의 경우 바닥(floor)은 없고, 천정(ceiling)의 경우 전선과 배관의 통과구역으로 사용되고, A-0 기준의 steel 격벽으로 완전분리 되었다면 국부구역의 체적에서 제외될 수 있지만, 그렇지 못하면 고가의 친환경 소화액제의 증가로 초기비용의 증가를 가져온다. 즉, 경제적인 설계를 하려면 A-0 기준의 steel 격벽을 적극적으로 검토해야 한다.

#### 4.2.5 Gas Dangerous 구역의 친환경 소화액제 적용

Total flooding의 소화장치로 적용시 기관실 구역과 pump room에 대하여 최소 설계농도(diesel fuel) 5.5%로 각 선급의 승인을 받아 사용하고 있지만, LNG선(liquefied natural gas carrier)의 화물구역(cargo area)인 compressor room 구역의 경우 20°C 운전(operating) 조건에서 최소 설계농도는 7.2% 로 Lloyd 선급의 경우 형식승인이 되어 있다. 이는 설계농도의 변경으로 친환경 소화액제의 증가가 예상되고 전기장비의 경우 방폭형 설계를 고려해야 한다.

LPG선(liquefied petroleum gas carrier)의 화물구역(cargo area)인 compressor room 구역의 경우 20°C 운전(operating) 조건에서 최소 설계농도는 6.5% 로 Lloyd 선급에서 형식승인이 되어 있다. 기타 선급의 경우 Lloyd 선급의 테스트 기준으로 동일 설계농도의 적용이 예상된다.

#### 4.2.4.1 Cargo compressor room 친환경 소화액제 적용 사례

##### a. Calculation

AREA	NETT VOLUME	DESIGN % CONC.	GAS REQ'D AT DESIGN CONC.	5/6th GAS OF DESIGN CONC.	CYLINDER INFORMATION	TOTAL GAS DISCHARGED	N.O.A.E.L. % CONC.	GAS REQ'D FOR NOAEL CONC.
CARGO COMPRESSOR ROOM	1546 cu.M	7.2% @ 20°C	1668.76 KG	N/A	10 x 180 ltr c/w 167kg NOVEC FILL	1670 KG	10% @ 50°C	2144.61 KG

DESIGN CONC. WEIGHT REQUIREMENT OF HAZARD VOLUME FACTOR = 1.0794  
 N.O.A.E.L. LIMIT WEIGHT REQUIREMENT OF HAZARD VOLUME FACTOR = 1.3872

Table 5 에서 위험체적요소(hazard volume factor)의 설계농도중량 (design concentration weight)는 20°C, 7.2%에서 1.0794기준으로 산정하고, 위험체적요소(hazard volume factor)의 Noael한계중량(limit weight)는 50°C, 10%에서 1.3872기준으로 산정되었다. 즉, modular type이지만, 용기수가 6개 이상으로 5/6<sup>th</sup> 가스규칙(rule)이 적용되지 않아 적은 수의 용기가 필요하다.

아래의 그림은 실제 적용된 계략개통도(schematic diagram),노즐 배치도면 (nozzle arrangement) 그리고 실제 hydraulic calculation에 사용된 배관 입체(ISO) 도면을 보여주고 있다.

이는 설계농도 기준 변경으로 친환경 소화액제와 용기수의 증가 외에는 기관실 국부 소화시스템과 매우 유사하다. 작동 방법은 전기장비의 경우 방폭형 설계를 고려하여야 한다는 점 외에는 기관실에 적용된 사례와 같은 방식이 적용되었다.

b. 계략개통도(schematic diagram)

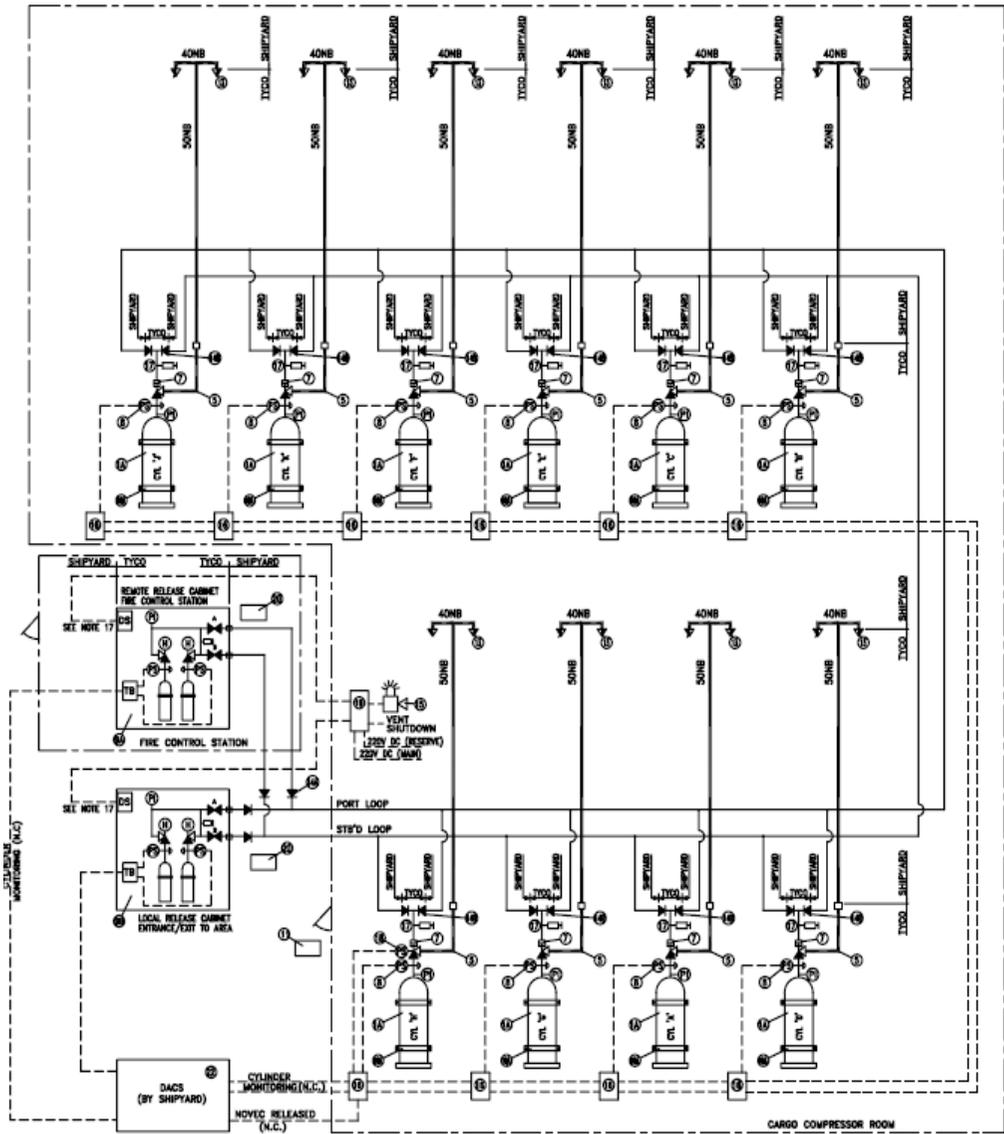


Fig. 36 Schematic diagram of cargo compressor room

c. 노즐 배치도면(nozzle arrangement)

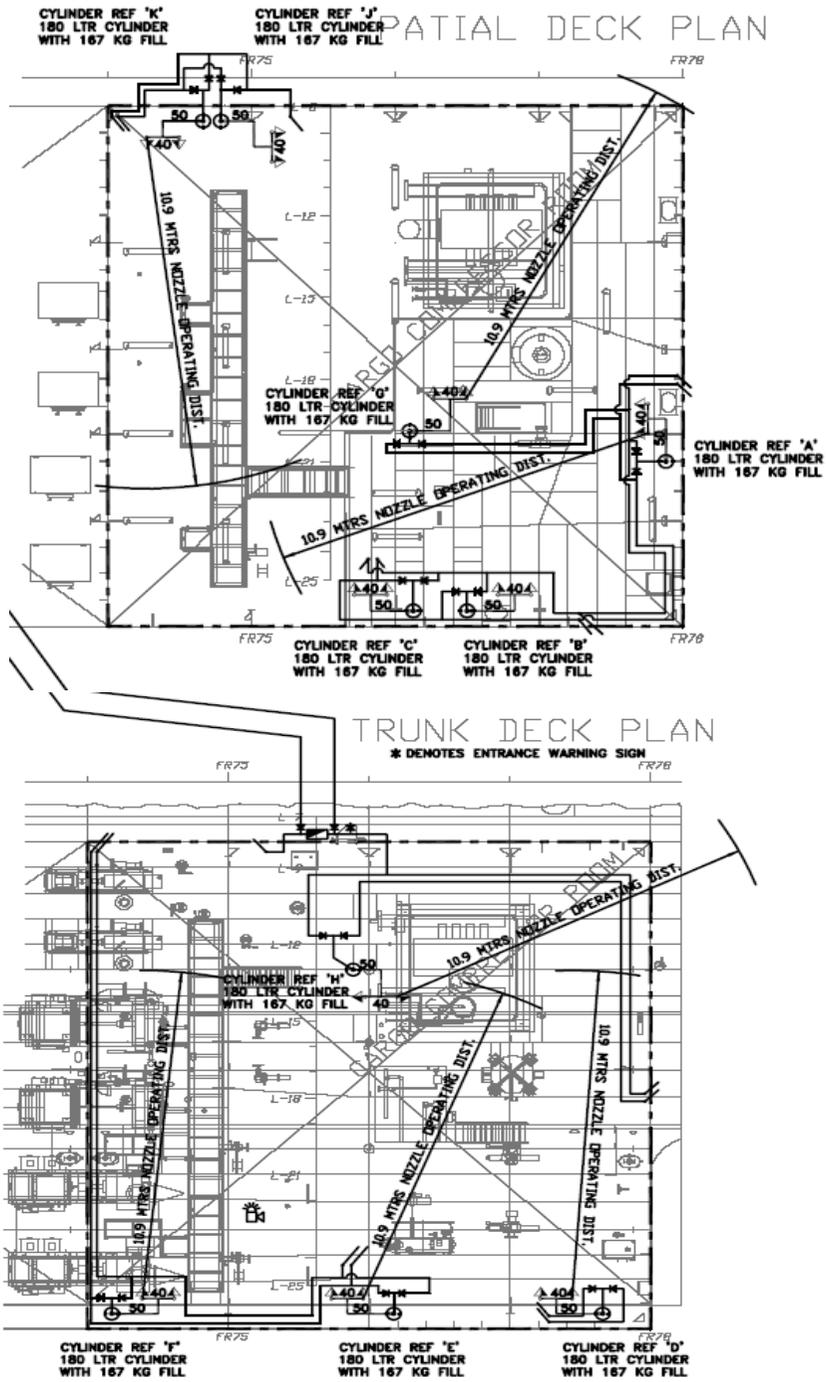
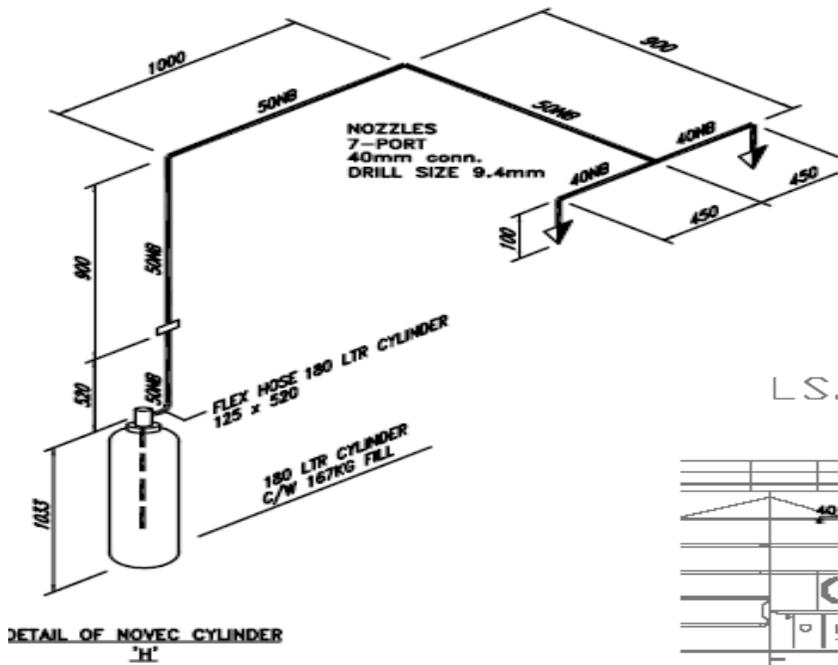
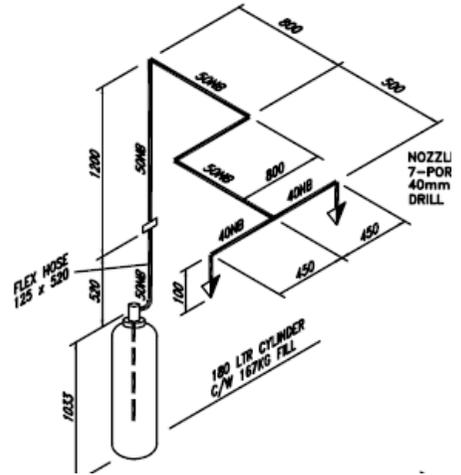
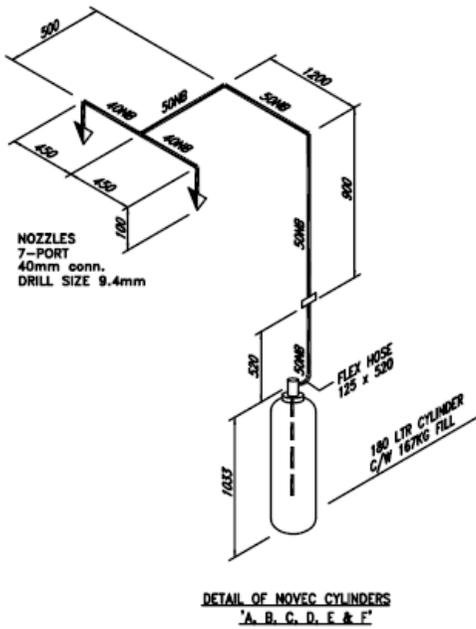


Fig. 37 Nozzle arrangement of cargo compressor room

d. 배관 입체도(actual piping ISO drawing)



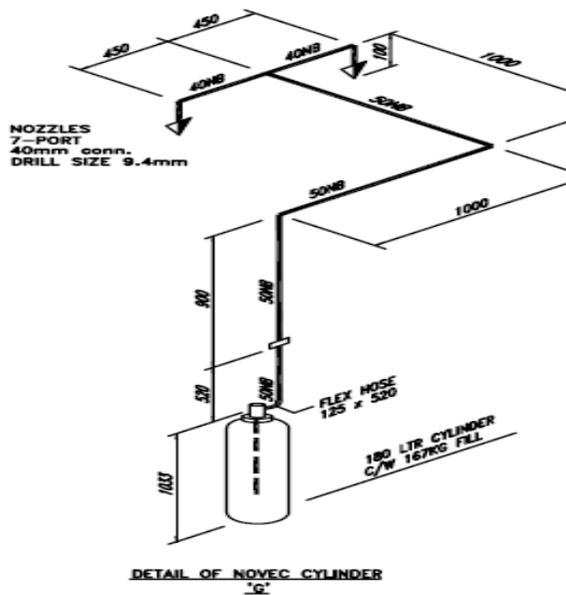
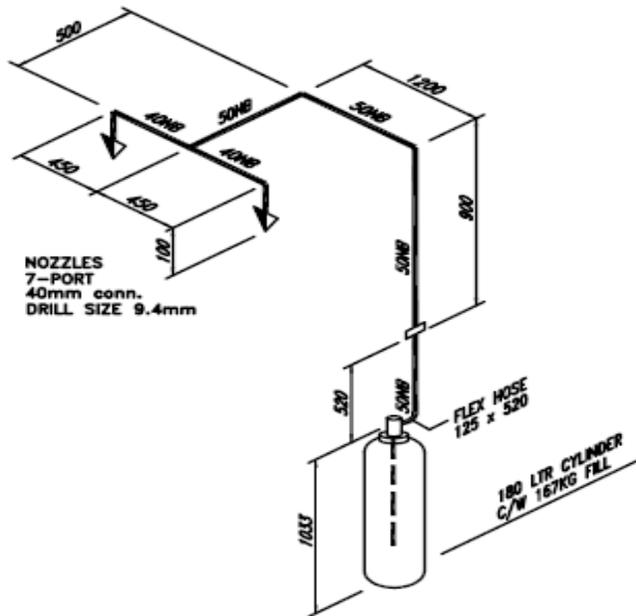


Fig. 38 Nozzle arrangement of cargo compressor room

#### 4.2.6 Room Integrity 관련한 고려사항

ISO 14520과 NFPA 2001에서는 room integrity관련 작동상태 확인 단계에서 요구하지만 그 외에는 강제 사항은 아니다. room integrity 테스트는 10분 동안 보호구역내에 소화액제가 충분히 남아 있는지에 대한 테스트로 보호 구역이 steel 격벽에 자동 닫힘(self closing)이 고려된 문이 설치되어 있다면 별도의 테스트는 필요 없다. 명확한 요구 사항은 아니지만 A0의 보온(insulation)등급으로 설계되었다면 room integrity테스트는 필요 없다. 초기 단계에서 최소한의 설계 보완으로 room integrity를 적용하지 않도록 설계하는 것이 경제적 측면에서 유리하다. 만약에 추가로 room integrity 테스트를 하게 되면 별도의 테스트 장비가 필요하고 별도의 보강 작업이 요구되므로 생각보다 많은 추가 비용과 추가 노무비가 소요되어 초기 설계가 대단히 중요하다 할 수 있다.

#### 4.2.7 작동상태 확인

CO<sub>2</sub>가스에 의한 분사방식(pneumatic release system)으로 운전상태(operation)확인과 경보(alarm),비상정지(shutdown)에 대해 확인하는 것으로 아래와 같이 수행하였다.

- a. 공기압 조절발브(pneumatic actuators)들의 용기(container)와 분리
- b. 테스트용 구동용기(pilot cylinder)에 의한 공기압 조절관(pneumatic activation tube)의 압력으로 인한 압력스위치(pressure switch)의 작동(operation) 확인으로 경보(alarm)와 신호(signal) 상태 확인
- c. 공기압 테스트 장비(Pneumatic test kit)의 호스(hose)와 작동관(actuation tube)의 연결 후 기밀(tight)상태 확인
- d. 테스트장비(Test kit)의 배출압력(outlet pressure)은 4 bar로 조절압력(regulating pressure)유지
- e. 테스트용기(test container)를 4bar로 유지하고 10초 동안 발브를 잠근 후 공기압 조절발브(pneumatic actuators) 와 압력스위치(pressure switch)의 트립(trip)상태 확인
- f. 추가 60초 후 공기압 조절관(pneumatic actuation line)의 압력감소가 10%이내 임을 확인
- g. 10%이상의 압력감소 시 누수 점(leakage point)점검 및 추가 정정 후 재 테스트 실시하여 10%이내 압력감소 확인
- h. 테스트 장비(test kit)와 activation line의 분리 전 최종으로 33bar의 압력 유지하여 60초 후 압력감소가 10%이내임을 재확인
- i. 테스트 장비(test kit)에 연결된 선(line)을 분리하고 정상의 연결 상태로 복원하여 시스템(system) 준비상태로 설정하면 작동상태가 정상적임을 확인할 수 있었다.

## V. 결론 및 문제점

최근 도교협약에 따른 지구온난화 방지를 위해 그리고 인체에 해가 없는 장점을 가진 친환경 소화액제는 최근 Qatar LNG project에서처럼 고가임에도 불구하고 설치를 고려하는 선사가 증대되고 있다.

LNG선박에 최초로 적용된 설계기준을 검토하였고 향후 적용하고자 하는 이들에게 계략적인 정보와 경제적인 최적의 설계를 위한 조건을 찾아보고 시행착오를 없애고자 친환경 소화액제의 선박 기관실 국부 화재에 대한 소화 장치 이용 경험을 기준으로 검토해 보았다.

본 연구에서 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. Modular type과 banked type의 구분으로 경제적인 측면에서 유리한 형식을 선정할 수 있었다. 일반적으로 modular type이 banked type과 비교하여 전체적인 설치비용 측면에서 경제적임을 알았다. 하지만, modular type적용이 어려운 국소구역의 화재에는 banked type을 고려해야 한다.
2. 안전성(safety) 측면에서 보호구역의 최대 상승 온도에서 Noael 지수가 10% 농도에서의 지수보다 적으면 안전성(safety)측면에서 인체에 무해하다.
3. 배관의 배열에서 균등 분배가 되도록 수평에서 "T"자 형 연결을 하여야 하고 배관을 너무 길게 하면 질소 양이 증가되어 용기(container)의 크기를 키워야 할 수 있어 배관의 정확한 설계 및 배열을 하여야 하는 것으로 나타났다.
4. 보호구역에 친환경 소화액제 방출 후 최소 15분까지 보호구역의 압력이 유지되도록 격벽, 문, 창문 그리고 환기 구역에 대한 damper를 닫을 수 있어야 친환경 소화액제의 완전한 소화가 가능하다. 만약, 보호구역의 격벽 설계 시 충분한 기밀(air tight)이 만족되지 않는다면 작동상태 확인 시 room integrity 테스트를 별도로 하여야 하는 커다란 문제가

생길 수 있음이 지적되었다.

향후 연구과제는 친환경 소화액제를 기관실 전체구역 소화장치로 설계될 경우 많은 경우의 수가 발생할 수 있지만 원칙적으로 위의 기본적인 참고 사항들을 적용하고 노즐, 배관 배열 그리고 기관실과 외부와 연결되는 구역에 대한 격벽설계에 대한 연구가 수행되어야 한다.

최근 Lloyd선급에서 LNG선의 화물구역(cargo area)에 대해서도 관련 적합 테스트를 시행하여 적용 설계농도를 제시하였듯이 이는 화물 구역에도 친환경 소화액제의 적용 가능성을 보여주는 예로 볼 수 있다.

범용선이든 LNG와 같은 특수선이든 간에 기관실 전체구역에 친환경 소화액제의 적용 시 아래와 같은 문제점에 유의하여 설계하여야 한다.

1. 다른 소화액제도 마찬가지지만 소화 중 어떻게 완전한 의미의 기밀 (air tight)를 적용하느냐는 그리 쉽지 않다. 기존의 격벽 구조에서 최대한 기밀을 유지하기 위한 방법을 강구해야 한다. 특히 casing 구역의 통풍기실(vent room)의 경우 정확한 검토가 필요하다.
2. 친환경 소화액제를 기관실 전체 구역에 적용 시 banked type과 modular type을 적절하게 분배하여 최저의 비용으로 최대의 효과를 낼 수 있는 방법을 선정해야 한다. 즉 대형 보호구역의 경우 modular type이 5/6<sup>th</sup>가스규칙 미적용으로 유리하고 소형의 경우 반대로 banked type이 일반적으로 유리하다. 하지만 기관실 배치도 작성 전 어느 형식을 적용할 지 미리 충분히 검토되어야 한다.
3. 특히 casing 구역과 공기조화 장치의 통풍조절장치(ventilation damper)의 정확한 설계로 기밀(air tight)를 최우선으로 고려하여야 하고, room integrity 테스트에 대해서는 반드시 선급과 미리 협의하여 추가 비용이 발생하지 않도록 하여야 한다.

전기 전도성이 0 으로 전기, 전자장비에 직접 분사되어도 전기 장비에 전혀 무해하여 슈퍼컴퓨터실(super computer room)이나 반도체 공장의 소화 장치로 널리 사용이 실용화 되는 것으로 보아 앞으로 경쟁력 있는 소화액제로의 적용 및 확대는 산업 전분야로 확대될 수 있을 것으로 기대 되고 이에 본 연구가 미력하나마 설계의 기본이 되어 활용 가능하리라 믿어 의심치 않는다.

## 참 고 문 헌

- [1] International Convention for Safety of Life at Sea (SOLAS) 1974 as modified by the protocol of 1978 and all its subsequent amendments
- [2] International Convention for Prevention of Pollution from Ships (MARPOL), 1973 (Annex I, IV, V & VI (Reg. 12, 13, 14 & 16)), as modified by the protocol of 1978
- [3] International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (IGC Code)
- [4] DNV requirement for the notation of F-AMC (Additional Fire Protection) (2006)
- [5] DNV Type Approval Certificate for NOVEC 1230 Fire Protection System (2006-07-10)
- [6] Lloyd Register Type Approval Certificate for Fixed Gas Fire Extinguishing System (NOVEC 1230) (2006-04-18)
- [7] Tyco Marine Technical Document for Novec 1230 (2005)
- [8] ANSUL Technical Document for Novec 1230 (2005)
- [9] Unitor Technical Document for Fire Extinguishing System (2006)
- [10] Kidde Marine Novec 1230 Fire Suppression System, Data sheets (2005.11)
- [11] 김동혁, 1995 “음향공명관식 열 냉동기의 최적설계를 위한 수치 모사 및 설계인자분석”, 공기조화냉동공학 논문집 제7권 제2호
- [12] 김동혁, 1998, “열구동 공명관식 열음향 냉동기 개발”, 한국과학재단 연구결과 보고서 KOSEF 과제번호 961-1006-045-2
- [13] 진창렬, 2005, “스피커 구동 열음향 냉동기의 제작 및 성능평가”, 한국 해양대학교 공학석사 학위논문

## 감사의 글

사랑하는 많은 사람들과 인연이라는 끈을 맺어온 모든 분들에게 감사드립니다. 어느덧 3년이라는 산업대학원에서의 시간이 지나 새로운 가능성과 자신감으로 오늘의 저를 있게 하고 저와 함께한 분들이 있었기에 행복하였음을 느낍니다.

본 논문을 지도해 주시고 학문의 길과 방향에 대해 항상 아낌없는 깨우침을 주신 김동혁 교수님께 진심으로 감사의 마음을 전합니다. 아울러 바쁘신 와중에도 귀중한 시간을 내시어 논문심사를 해주신 윤상국 교수님과 도덕희 교수님, 또한 대학에서의 학문적 성취를 위해 아낌없는 지도와 관심을 보여주신 정형호 교수님, 이영호 교수님, 기관학부 조권희 교수님께 머리 숙여 감사드립니다.

대학원 생활을 하면서 도와준 많은 분들에게도 감사드립니다. 바쁜 생활에서도 언제나 격려와 용기를 준 열공학 실험실 선.후배님들 특히 상훈, 창렬, 두원에게 다시 한 번 감사를 드립니다. 그리고 대학원 생활을 처음부터 끝까지 할 수 있도록 항상 용기를 주신 삼성중공업, 한진중공업, STX조선 그리고 유니토크리아의 직장 동료 선후배님들에게 감사의 인사를 드립니다.

지금 이 순간까지도 항상 말없이 못난 저를 지켜봐 주시고 믿어주신 아버님, 어머님, 그리고 장인, 장모님, 말없이 힘이 되어준 소중한 사람 wife, 은미 그리고 사랑스럽고 귀여운 자녀 소영, 정운에게 감사의 말과 사랑을 전하고 싶습니다.