

工學碩士 學位論文

危險物取扱船舶 및 海洋構造物의 安全을
위한 通風設備 設計規程에 관한 研究

A Study on the Design Rules of Safety Ventilation
Systems for Hazardous Vessels and Offshore Units

指導教授 朴命圭

2005 年 2 月

韓國海洋大學校 海事産業大學院

造船海洋建築工學科

權世珉

工學碩士 學位論文

危險物取扱船舶 및 海洋構造物의 安全을
위한 通風設備 設計規程에 관한 研究

A Study on the Design Rules of Safety Ventilation
Systems for Hazardous Vessels and Offshore Units

指導教授 朴命圭

2005 年 2 月

韓國海洋大學校 海事産業大學院

造船海洋建築工學科

權世珉

本 論 文 을 權 世 珉 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함 .

主 審 : 金 正 烈 印

副 審 : 趙 權 回 印

副 審 : 朴 命 圭 印

2005年 2月

韓國海洋大學交

海事產業大學院

<목 차>

표 목 차	iv
그림목차	vi
Abstract	viii
I. 서론	1
1. 연구 배경	1
2. 연구 목적	4
3. 연구 방법	5
II. 위험물 취급선박 및 해양구조물의 적용규정 현황	6
1. 국제표준	7
1.1 IEC Standard	7
1.2 ISO Standard	12
2. 국가별 표준 및 지침	18
2.1 NFPA Standard	18
2.2 API Practice	25
2.3 HSE Guidance	26
3. 선급협회 규칙	29
3.1 DNV Rule	30
3.2 Lloyd's Register Rule	33
3.3 기타 선급협회 Rule	35
4. 함정 관련규격	36
4.1 General specification	36
4.2 Naval ship's technical manual	37
III. 위험방지를 위한 통풍설비의 구성	40
1. 양압 및 음압 통풍설비	40

1.1 고압송풍기	40
1.2 AHU 및 FCU	41
1.3 공급 및 배출 송풍기	42
1.4 기압조절장치	45
1.5 에어락	46
2. 필터설비	47
2.1 필터의 종류	47
2.2 국제규격에 따른 필터의 분류	48
3. 기타 설비	50
3.1 차단댐퍼	50
3.2 경보 및 감시 시스템	51
IV. 설계 및 건조 사례	53
1. 부유식 석유생산설비	53
1.1 일반배치의 특성	55
1.2 위험방지를 위한 통풍설계 요구조건	56
1.3 거주구역 통풍설비의 구성	57
1.4 조종실 통풍설비의 구성	61
2. 해양시추설비	64
2.1 위험구역의 분류	65
2.2 통풍설비의 구성	65
3. 해양구조물 지원선박	68
3.1 위험구역의 분류	69
3.2 위험방지를 위한 통풍요구조건	69
3.3 통풍설비의 구성	69
4. 전투함정	74
4.1 위험구역의 분류	74
4.2 위험방지 대책	74
4.3 통풍설비의 구성	76

4.4 통풍설비의 세부구성	78
V. 고찰 및 향후 발전추세	82
1. 고찰	82
1.1 설계관련 규정에 대한 고찰	82
1.2 선박의 특성별 위험방지 통풍설계방법	85
2. 향후 발전추세	89
VI. 결론	90
참고문헌	92

<표 목 차>

Table 1.1 An example of explosion accident on the ocean	1
Table 1.2 Verified and alleged instances of chemical warfare	3
Table 2.1 Definitions of hazardous area classification in compliance with IEC 60079	8
Table 2.2 Hazardous area classification of offshore units in compliance with IEC 61892	10
Table 2.3 Summary of protective measures to be taken in the event of failure of pressurization	12
Table 2.4 Basis of design for ventilation in compliance with ISO	14
Table 2.5 Mechanically ventilated areas and air velocities	15
Table 2.6 Air suction components of mechanical ventilation	16
Table 2.7 Requirement for control and monitoring functions of ventilation system	17
Table 2.8 Hazardous area classification in compliance with NFPA	19
Table 2.9 Pressurization requirements for enclosures subject to internal release	22
Table 2.10 Minimum enclosure pressure versus dust density	23
Table 2.11 API standards relating to safety ventilation	25
Table 2.12 Basic requirements relating to design of safety ventilation ·	27
Table 2.13 Adequately protective equipment for access openings	28
Table 2.14 Definitions of hazardous area classification in compliance with DNV-OS-A101	32
Table 2.15 The effect of openings and ventilation on hazardous area zone classification for areas with obstructed ventilation ··	32
Table 2.16 Configuration of pressurization equipment for naval ship ·	37

Table 2.17	Types and functions of air lock for naval ship	39
Table 3.1	Detail function of AHU	42
Table 3.2	Axial flow fan selection table	44
Table 3.3	Types of air filter	48
Table 3.4	Filter classification according to the EN filter standards ...	49
Table 4.1	Principal dimensions(approx.) of FPSO in kizomba field	54
Table 4.2	Principal dimensions(approx.) of semi-submersible rig in thunder horse field	64
Table 4.3	Area classification of semi-submersible rig in thunder horse field	65
Table 4.4	Principal dimensions(approx.) of well services maintenance support vessel	68
Table 4.5	Mechanical ventilated compartments	71
Table 4.6	Hazardous areas of naval ship	74
Table 5.1	Typical area classification	83
Table 5.2	Comparison of rules for area classification	83
Table 5.3	Comparison of rules for pressure inside areas	84
Table 5.4	Comparison of rules for air lock	85
Table 5.5	Comparison of safety ventilation systems for vessels to be built in the domestic	86

<그림 목 차>

Fig. 2.1 Hierarchy of classification certificates	29
Fig. 2.2 DNV offshore code approach	30
Fig. 2.3 Method of protection for weather opening	38
Fig. 2.4 Typical configuration of air lock for naval ship	39
Fig. 3.1 Axial type high pressure fan	41
Fig. 3.2 Configuration of AHU	42
Fig. 3.3 Axial and centrifugal fan	43
Fig. 3.4 Pressure regulating device	45
Fig. 3.5 Typical arrangement of air lock	46
Fig. 3.6 Composition of NBC filter for naval ship	48
Fig. 3.7 Typical pneumatic diagram of fire damper	51
Fig. 3.8 Typical alarm and indicator configurations for pressurizing area	52
Fig. 4.1 Configuration of FPSO and support vessel	54
Fig. 4.2 FPSO in kizomba field	55
Fig. 4.3 General arrangement of FPSO in kizomba field	56
Fig. 4.4 Pressurizing unit and air handling unit for living quarters	58
Fig. 4.5 Diagram of AHU for living quarters	59
Fig. 4.6 Fire damper and local control panel	60
Fig. 4.7 Combustible gas detector and Pressure differential device	61
Fig. 4.8 Air lock and HVAC control panel for control module	62
Fig. 4.9 Diagram of AHU for control module	63
Fig. 4.10 Semi-submersible rig in thunder horse field	64
Fig. 4.11 Schematic of ventilation for working area	66
Fig. 4.12 Schematic of ventilation for hazardous area	67
Fig. 4.13 Well services maintenance support vessel	68

Fig. 4.14 Air Handling Unit and re-circulation fan	70
Fig. 4.15 Air lock in working area and accommodation	73
Fig. 4.16 Air lock in engine room	73
Fig. 4.17 Non-hazardous area arrangement of US navy Aegis destroyer	75
Fig. 4.18 General schematic diagram of overpressure equipment for naval ship's accommodation	76
Fig. 4.19 General schematic diagram of overpressure equipment for naval ship's engine room	77
Fig. 4.20 Filter assembly for naval ship	78
Fig. 4.21 An example of 3×3 filter housing for naval ship	79
Fig. 4.22 US Navy type fan coil unit	79
Fig. 4.23 Type I and III air lock for naval ship	80
Fig. 4.24 Pressure control valve and monitoring system for naval ship	81
Fig. 5.1 Relative curve of pressure and wind velocity	87

Abstract

The danger of the accident occurrence for offshore units and support vessels (such as petroleum, petroleum gas and natural gas production facilities) is considerably high, because of hazardous gas, explosive gas, flammable material and so on. Also the importance of the ocean development have been increased recently, and the petroleum development which is buried at the very deep sea have been realized. Then the risk have been enlarged gradually with the scale of the facilities for petroleum production, separation and purification.

Such offshore units and vessels have been applied various regulations such as international standards, rules, practices, etc.

In the case of naval ship, the countermeasure about the nuclear, biological and chemical warfare is desired more.

The equipments to remove such danger is safety ventilation system. However, the technology and regulations about the safety ventilation system are not equipped sufficiently in the domestic.

Therefore this paper arranged the result of the review about the various rules, standards and guidances for safety ventilation systems, and analyzed the example of the vessels to be built.

I. 서론

1. 연구 배경

유전해역에서 천연가스 또는 석유를 시추/생산하는 해양구조물이나 인근 해역을 항해하는 선박은 자동차 운반선, 살물선, 여객선 등 범용 선박에서 발생할 수 있는 구조적 결함, 복원성 상실, 장비 고장, 환경조건(과도, 폭우, 폭설 등) 불량, 충돌 사고 등의 일반적인 위험상황을 포함하여 탄화수소가스 발생, 화재/폭발 사고, 독성물질 오염, 작업자의 질식 등 다양한 위험요소가 추가된다[1,2,3]. 이러한 위험요소들은 대상 선박이나 구조물뿐만 아니라 탑승하고 있는 승조원의 생명에도 치명적인 영향을 미친다.

한 예를 들면, 영국 스코틀랜드 에버딘에서 북동쪽으로 120km 떨어진 해상에서 석유를 생산하던 고정식 해양구조물인 Piper alpha에서 1988년 대규모 폭발사고가 발생하였다. 초기에는 소규모 가스 누출에 의해 폭발하였으나 연속적인 대량 폭발로 22분만에 거대한 해상구조물이 파손되고, 승조원 227명중에서 단지 62명만이 생존하였다.

Table 1.1 An example of explosion accident on the ocean

Offshore unit name	Number of death	Causes
Piper alpha	109	Inhalation of smoke & gas
	11	Drowning
	3	Injured in jumping
	1	Injured by falling object
	4	Injured by falls/blast
	3	Burns
	4	Not determined
	30	Bodied not recovered

위험구역에서 작업하거나 항해하는 선박은 폭발성 또는 인화성 물질이나 가스의 발생 가능성을 제거해야하며, 사고가 발생하더라도 Table 1.1 에서와 같이 대다수 사망사고의 원인이 연기나 가스에 의한 질식에 기인하고 있으므로 통풍, 환기 등 적절한 보호장치를 구성하여 피해를 최소화할 수 있는 설비가 요구된다.

또한 이러한 선박이나 구조물에는 석유시추를 위한 작업설비 및 조종시스템 등 외부 환경에 민감한 전기, 전자장비가 탑재되며, 유해가스, 독성물질 혹은 인화성 기체가 선박 내부로 침입하면 장비의 오작동이나 고장에 의한 피해가 예상된다. 따라서 전 세계적으로 해양개발에 심혈을 기울이고 있는 선진국들은 자국의 해양관련 기관 및 선급협회, 국제기구들과 공동으로 혹은 단독으로 해양구조물이나 위험선박에 대한 표준이나 규격을 제정하여 적용하고 있다.

이에 반해 국내에서는 해양자원개발 및 관련설비개발에 대한 관심과 이해 부족으로 해양구조물이나 지원 선박에 대한 기술력 확보 및 규격 제정에 미온적인 입장을 취하고 있다.

국제규격 또는 선급협회의 규정을 적용받지는 않지만, 함정의 경우에는 인화 및 폭발성 가스뿐만 아니라 생화학가스 및 방사능 낙진 등 화생방무기에 대비한 관련설비의 요구가 더욱 엄격히 적용되어야 하며[4,5], Table 1.2에 서와 같이 최근 중동지역 및 동남아시아지역에서 발생된 분쟁 및 전쟁의 예에서 알 수 있듯이 인체에 극히 위험한 화생방 무기에 대한 위협이 점차 증가되고 있다. 육상에서 뿐만 아니라 해상에서도 작전에 투입되는 전투함정에 화생방전을 대비할 수 있는 설비의 요구 및 개발이 긴박한 상황이다.

Table 1.2 Verified and alleged instances of chemical warfare

	ASIA	AFRICA	EUROPE
1915			Europe
1920	Middle East		USSR
1925	Afghanistan	Morocco	
1930	China		
1935		Ethiopia	Spain
1940	China		
1945	Indo-China		Greece
1950	Israel		
1955	Korea		
1960	China	Algeria	
1965	Indo-China	Rio de oro	
1970	Yemen, Iraq		
1975	Palestine	Angola	
1980	Laos	Rhodesia	
1985	Vietnam	Angola	
	Afghanistan	Ethiopia	
	Cambodia		
	Iran/Iraq		

2. 연구 목적

전 세계의 석유 생산량중 해양에서 생산하는 비율이 현재 약 30%이며, 미발굴된 생산 가능한 석유 매장량의 50% 가까이가 해양에 분포되어 있다. 따라서 향후 해양 석유시추관련 선박의 건조가 급증할 것으로 예상되며[6], 우리나라에서도 최근 울산 앞바다의 천연가스 생산을 시발로 하여 향후 산유국의 대열에 합류할 수 있을 것으로 예상된다[7]. 이러한 국내외의 현실에 비해 전세계 선박 건조량 1위를 차지하고 있는 국내 조선산업에 있어서 해양구조물 및 관련 선박의 안전과 관련된 통풍설계에 대한 자체 기술자료 작성 능력 및 관련규격 제정이 미흡하며, 전투함정과 같이 화생방전에 노출시 인명살상과 직접적인 관련이 있는 보호설비와 이와 관련된 기술력 또한 미국, 유럽 등 선진 해양대국의 규격과 장비에 의존하고 있으므로 우리나라의 대양해군 건설을 위해 관련 기술 확보 및 규격제정이 시급하다. 하지만, 통풍설계와 관련된 기술자료, 해외규격, 선주사 및 조선소별 보유 기술현황 등에 대해 체계적인 검토나 정리가 이루어져 있지 않으며 관련 논문이나 보고서가 거의 전무한 상태이다.

따라서 위험해역을 항해하는 선박, 해양구조물 및 함정의 안전을 위해 적용되고 있는 통풍설비의 구성, 관련 규정, 설계지침에 대해 알아보고 이해하는데 본 연구의 목적이 있으며, 아울러 이와 관련된 분야에 관심이 있거나 설계업무를 하는 사람에게 도움이 되도록 관련 자료를 수집, 정리하고자 한다.

3. 연구 방법

국제기구에서 제정한 표준, 외국 기관에서 제정한 표준과 지침, 주요 선급 협회 규칙, 지침서, 표준서의 현황 및 함정에 대한 설계규정 등을 조사하고, 각각의 세부 내용을 검토한 후 차이점을 파악한다. 그리고 관련 논문, 서적, 탑재장비 제작사의 기술자료를 통해 위험해역을 항해하는 선박이나 해양구조물의 안전과 관련된 통풍설비의 세부 구성과 특성에 대해 알아본다.

국내 조선소에서 건조한 실적선박의 자료를 조선소, 국내외 기고문, 논문 및 인터넷 검색을 통해 조사하여, 선박의 형태 및 용도별 주요 실적선의 현황 및 설비의 사례를 파악하고 관련 규격의 적용방법에 대해 분석 평가한다.

이러한 국내외의 규격 및 표준과 실제 적용사례를 분석함으로써 향후 국내 실정에 적합한 관련 기술 확보방안 및 적용 규격의 제정방안을 도출하고자 한다.

II. 위험물 취급선박 및 해양구조물의 적용규정 현황

외부의 위험환경으로부터 선박 또는 해양구조물의 내부 거주구역 또는 작업구역에 배치된 승조원과 전기장비를 보호하기 위한 관련설비의 필요성은 제2차 세계대전 이후부터 시작되었다. 1950년대 중반에 본격적인 해양석유 및 가스 시추산업이 시작되었으며, 이때 발생하는 인화성, 폭발성 가스에 대한 안전조치의 필요성이 대두되어 관련 연구를 시작하였다.

함정 등 특수선박의 경우에는 1950년대초 서독해군의 전투함정 건조시에 화생방전을 대비한 설비의 필요성이 요구되어 실선에 적용한 사례가 있으며, 1960년대에는 미국 해군에서 정식으로 화생방전에 대비한 함정내부의 보호방법에 대한 의문을 제기하여 본격적인 연구를 시작하였다.

이러한 군수산업에서의 연구토대와 육상의 위험설비에 대한 안전규칙 등을 기반으로 하여, 1970년대 중반부터 해양개발에 뛰어들어 선진국에서는 관련 규정의 제정을 시작하게 되었다[8,9,10,11].

위험설비 및 선박에 대한 규정은 ISO(International Organization for Standardization), IEC(International Electrotechnical Commission) 등과 같은 국제기구에서 제정한 국제표준(International Standards)과 미국의 NFPA(National Fire Protection Association), API(American Petroleum Institute), 영국의 HSE(Health and Safety Executive) 등 해양선진국의 협회나 정부기관에서 제정한 규정과 지침 등을 기반으로 하며, 이러한 국제규격과 지침을 반영한 각 선급협회의 규칙 등이 있다. 우선, 전 세계적으로 영향력있고 관련 설비의 설계시 가장 많이 적용되고 있는 IEC, ISO 등의 국제표준에 대해 알아보고, NFPA, API, HSE 등 각국의 기관에서 제정한 표준 및 지침, DNV, ABS, Lloyd's 등 선급협회 규칙 및 함정 설계규정에 대해 검토한다.

1. 국제표준

1.1 IEC Standard

IEC 국제표준은 각국의 Electrotechnical Committees를 포함하여 전 세계적인 표준제정을 위해 구성된 국제기구인 International Electrotechnical Commission에 의해 제정된 규격이다[8,9].

IEC는 ISO와 협력하여 전기 및 전자분야에 적용되는 관련 규격을 제정하고 있다. IEC 국제표준 중에서 위험지역에서 작업하거나 항해하는 선박에 적용되는 규격은 가스폭발 위험지역에 설치되는 전기, 전자장비에 대한 규격인 IEC 60079규격서와 해양구조물에 탑재되는 전자장비의 설계, 선정, 설치, 유지, 보수 및 운용에 적용되는 IEC 61892규격서가 있다. IEC 60079규격서는 육상, 해상 등 설치 위치에 대한 구분없이 모든 위험지역에 설치되는 장비의 일반적인 요구조건과 정의 위주의 규격서이며, IEC 61892규격서는 해양구조물에 대한 세부 요구조건을 제시한 규격서이다.

특히, IEC 61892규격서는 IMO(International Maritime Organization)에서 제시한 기존 해양구조물의 요구조건들을 충분히 반영하였으며, 선주사, 조선소, 관련기관 등에서 향후 규정 제정시 가이드라인을 제시할 수 있는 표준규격이다. 본 장에서는 IEC 60079규격과 IEC 61892규격에 대해 고찰한다.

1.1.1 IEC 60079

IEC 60079규격서는[8] 위험지역에서 사용되는 장비의 적절한 선정과 설치를 위하여 가연성 가스나 기체의 발생가능성이 있는 위험지역을 분류하기 위한 규격으로서, 안전과 관련된 통풍설비에 대한 내용 위주로 검토한다.

1.1.1.1 위험구역의 분류

일반 대기압 조건하에서 가스나 기체의 형태인 폭발성 물질이 공기와 혼합

된 혼합기체가 대기중에 상존해 있거나, 현존해 있을 것으로 예상되는 구역으로 설비의 탑재, 설치 및 운용에 상당한 주의를 요구하는 구역을 위험구역(Hazardous area)이라고 한다. 본 규격서에는 Table 2.1과 같이 위험구역을 크게 3가지로 분류하고 있다.

Table 2.1 Definitions of hazardous area classification in compliance with IEC 60079

Classification	Definition
Zone 0	폭발성 혼합기체가 계속적으로 상존해 있거나, 또는 오랜 기간 존재하는 구역
Zone 1	폭발성 혼합기체가 정상적인 작업상태에서 발생할 가능성이 있는 구역
Zone 2	폭발성 혼합기체가 정상적인 작업상태에서 거의 발생하지 않거나, 간혹 발생하더라도 단기간 동안만 존재하는 구역

상기의 위험구역분류와 밀접한 관계가 있는 위험가스의 방출등급을 3가지로 구분하고 있으며, 폭발성 가스, 기체 혹은 액체가 방출되는 주기에 따라 연속방출(Continuous grade of release), 1등급 방출(Primary grade of release) 및 2등급 방출(Secondary grade of release) 등의 등급으로 규정하고 있다.

연속방출등급은 폭발성 물질이 계속적으로 방출되거나 오랜기간 동안 방출되는 것을 나타내며, 1등급 방출은 장비의 정상적인 작동조건하에서 주기적으로 혹은 가끔씩 위험물질이 발생되는 것을 말한다. 2등급 방출은 장비의 정상적인 작동상태에서 발생하지 않거나, 단기간만 방출되는 것을 나타내며, 방출률(Release rate)은 단위시간당 폭발성 가스, 기체가 발생하는 양을 나타낸다. 폭발성 혼합기체의 존재 가능성과 위험구역의 분류는 방출등급과 통

풍에 따라 영향을 받게 된다.

1.1.1.2 통풍방법

대기중에 방출된 폭발성 가스나 기체는 폭발한계선 이하가 될 때까지 공기중으로 분산이나 확산을 통해 제거할 수 있다. 신선한 공기를 주입하여 폭발성 기체가 방출된 구역 주위의 대기를 배출시키는 것을 통풍이라고 하며, 적절한 통풍은 폭발성 혼합기체의 존속을 방지할 수 있고 위험구역등급에 영향을 줄 수 있다.

통풍은 바람이나 온도차에 의한 자연통풍(Natural ventilation)과 송풍기 등 장비를 이용한 인위적 통풍(Artificial ventilation) 등 2가지로 크게 구분된다. 통풍의 등급이나 통풍량에 영향을 미치는 직접적인 요인은 폭발성 기체의 방출 방식과 방출율이며, 통풍의 방법에 관계없이 풍속과 단위시간당 공기순환량(Number of air change)에 좌우된다. 따라서 위험구역의 적절한 통풍조건은 폭발성 기체의 방출율보다 외기의 공급량이 더 많아야 한다. 통풍량에 따라 위험구역의 등급을 높이거나, 때로는 등급을 낮출 수 있다. 따라서 통풍능력(Availability of ventilation)은 상존하는 폭발성 혼합기체의 양과 위험구역 등급 설정에 직접적인 영향을 미친다.

1.1.2 IEC 61892

IEC 61892규격서는[9] 이동식 및 고정식 해양구조물(Mobile and fixed offshore units)에 탑재되는 전자장비의 설치에 관한 규격으로서, IEC 60079 규격에서 정의한 위험구역 분류 및 통풍방법에 대해 구체적으로 명시한 세부 규격이다.

1.1.2.1 위험구역의 세부 분류

3가지의 위험구역 등급에 대해 이동식 시추설비와 고정식 생산설비로 구분하여 Table 2.2와 같이 각각의 등급별 세부범위를 지정하고 있다.

Table 2.2 Hazardous area classification of offshore units in compliance with IEC 61892

위험구역 등급		세부 분류 기준
Mobile drilling units	Zone 0	-Oil/gas/air 혼합체가 상존하거나 오랜 기간동안 존속하는 가스배출관이나 배출공간 -Drilling mud계통의 밀폐된 탱크나 배관내부의 공간
	Zone 1	-유정과 석유생산 최종단계의 가스 배출관 사이의 머드 순환계통의 밀폐 구역 -Drill floor상하에 위치하고 가스가 방출될 수 있는 가능성이 있는 구역 -Zone 1구역에 인접한 구역 등 석유생산설비가 설치된 구역의 인근에 배치된 부분적으로 밀폐되거나 노천구역
	Zone 2	석유생산설비를 지원하는 장비가 위치한 구역이나 인근 구역 등 Zone 1에 비해 가스방출 위험이 간접적으로 영향을 미치는 구역
Fixed production units	Zone 0	-폭발성 가스나 기체를 생성하는 장비가 있는 구역 -압력용기나 저장탱크가 있는 구역 -지속적이거나 오랜 기간동안 가스를 배출하는 배출관 주위 구역 등
	Zone 1	-저장탱크의 외부, 가스 배출관 인접 구역 -통풍설비가 없는 구역 -연소성 가스를 방출하는 펌프, 압축기 및 기타 유사장비 주위의 구역 등
	Zone 2	-플랜지, 연결부위, 밸브 등의 주위 구역 -배출관 및 안전밸브의 출구에 인접한 구역 -인접한 Zone 2구역으로 통하는 개구가 있는 구역 등

1.1.2.2 통풍 방법

모든 위험구역은 폭발성 기체의 축적을 감소시키기 위해 통풍되어야 하며, 가능하다면 위험구역을 없애거나 위험구역등급을 Zone 0에서 Zone 1, Zone 1에서 Zone 2 등으로 낮추어야 한다. 트인 공간은 공기의 흐름을 충분히 하여 자연통풍이 되도록 해야 하며, 차단막이 있는 노천구역은 갑판, 격벽 또는 천정에 충분한 개구를 내어 자연통풍이 이루어지도록 해야 한다. 밀폐된 구역은 시간당 최소 6회 이상의 환기가 되도록 기계적인 통풍설비가 갖추어져

야 한다.

1) 전자장비 설치구역의 통풍

밀폐된 위험구역의 통풍은 비위험구역과 분리하여 구성해야 하며, 인접한 비위험구역 또는 위험등급이 낮은 구역보다 음압을 유지하도록 인위적인 통풍시스템을 갖추어야 한다.

비위험구역에서 위험구역으로 공기를 공급해야 하며, 위험등급이 높은 구역을 관통하는 통풍관의 내부는 양압(Overpressure)을 유지해야 한다. 밀폐된 위험구역으로부터 방출되는 공기의 배출구는 위험등급이 동등하거나 낮은 구역에 영향을 미치지 않는 노천지역에 위치해야 한다. 밀폐된 비위험구역에 공급되는 공기 흡입구는 위험구역 경계에서 가능한 멀리 떨어진 비위험구역에 배치해야 하며, 위험구역을 관통하는 통풍관의 내부는 양압을 유지해야 한다.

2) 가압에 의해 보호되는 격실의 통풍

위험구역에 위치하며 폭발 가능성이 있는 전기장비는 밀폐시키고 내부를 외부 대기압보다 높은 압력을 유지하도록 해야 하며, 장비의 초기가동이나 전원을 공급하기 전에 내부가 위험하지 않다는 것을 확인하거나 비위험구역으로 판단될 수 있도록 충분한 정화 과정을 거쳐야 한다.

공기공급장치의 입구에는 가스탐지장치가 설치되어야 하며, 만약 가스침입이 감지되면 운용자가 즉시 조치를 취할 수 있도록 육안 또는 청각으로 식별 가능한 경보장치가 작동되어야 한다. 폭발성 기체가 대기중에 25% 이상 존재하는 것으로 감지되면 안전요원이 안전조치를 취하여야 하며, 60% 이상 감지되면 공정과 장비가 자동으로 정지되어야 한다.

외부의 대기보다 최소 25 Pa 이상의 양압이 격실내부에 유지되어야 하

며, 내부에 공기를 소모하는 장비가 설치되어 있으면 공기 공급량에 소모량을 충분히 반영하거나 별도의 공기 공급관을 만들어야 한다.

양압유지 상태를 모니터링할 수 있는 기압 감지센서나 풍량 감지센서를 설치해야 하며, 기압 저하가 발생하면 시각 및 청각으로 인지할 수 있는 경보장치가 작동되어야 한다. 각 위험구역별 압력손실 모니터링에 대한 세부 내용은 Table 2.3과 같다.

Table 2.3 Summary of protective measures to be taken in the event of failure of pressurization

Classification	Electrical apparatus installed		
	Apparatus suitable for Zone 1	Apparatus suitable for use in Zone 2	Apparatus not protected for any hazardous area
Zone 1	No action necessary	Suitable alarm Immediate action to restore pressurization Programmed disconnection of power supplies if the pressurization cannot be restored for an extended period or if the concentration of flammable gas is rising to a dangerous level	Suitable alarm Immediate action to restore pressurization Automatic interruption of the power supplies as rapidly as practicable within a prescribed delay time having regard to the needs of a programmed shutdown
Zone 2	No action necessary	No action necessary	As for Zone 2 apparatus in Zone 1 area

1.2 ISO Standard

ISO 표준 중에서 해양구조물과 위험물을 취급하는 선박에 대한 표준서는 여러 종류가 있으나, 통풍설계의 기준이 되는 표준서는 ISO 15138 Petroleum and natural gas industries - Offshore production

installations - Heating, ventilation and air-conditioning이다[12].

ISO 15138 표준서는 유럽 19개국 규격제정기관간의 연합인 CEN (European Committee for Standardization)에서 제정하여 국제표준화기구인 ISO의 technical committees의 승인을 얻어 국제규격화 되었다. 또한 석유 및 천연가스와 관련된 해양구조물의 통풍설비, 가압시스템, 관련 장비의 설계, 시험평가, 설치 및 운용에 대한 요구조건과 지침을 제공하며, IEC 60079를 참고로 작성되어 위험구역의 분류 및 일반사항은 유사하나 해양구조물에 적용되는 세부 격실별 요구사항 및 적용 장비의 요구사항을 추가적으로 명시하고 있다. 본 장에서는 ISO 15138 표준서와 관련 ISO 표준에 대해 검토한다.

1.2.1 통풍 설계의 개념

안전과 관련된 통풍설비의 설계 개념은 아래와 같이 크게 4가지로 정의되며, 이러한 개념을 기본으로 하여 관련설비의 설계를 수행해야 한다.

- 1) 가압통풍(Pressurizing ventilation)을 이용하여 비위험구역으로 인화성 가스의 유입을 차단
- 2) 충분한 통풍으로 위험구역내에 집중되는 인화성 가스를 분산 및 제거하여 잠재적 위험 방지
- 3) 주전원이 차단되는 비상시에도 통풍이 요구되는 모든 장비 및 격실내의 통풍설비 작동상태 유지
- 4) 위험가스를 통제하여 승조원, 설비 및 시스템이 효과적으로 활동 또는 작동할 수 있는 환경 제공

상기에서 제시한 통풍에 대한 설계개념을 토대로 하여 Table 2.4에서 제시한 요소들을 고려하여 상세설계를 수행한다.

Table 2.4 Basis of design for ventilation in compliance with ISO

순번	설계 고려사항
1	플랫폼의 배치방법 및 구성
2	위험요소의 식별 및 위험구역 등급분류
3	환경조건 파악
4	자연통풍, 기계적통풍 등 통풍방법 선정
5	통풍설비의 조종/통제 방안 선정
6	사용되는 재료, 재질의 선정
7	마진을 고려한 통풍량 계산
8	풍동시험 또는 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 설계검증 및 유효성 파악

1.2.2 위험구역의 분류

위험구역은 Zone 0, Zone 1, Zone 2 등 크게 3가지로 구분되며, 본 표준서의 작성시 참고한 IEC 60079 표준서에서 정의한 내용과 동일하다.

1.2.3 통풍 방법

위험구역이나 비위험구역 등 일정구역에 대해 통풍방법을 선정하기 위해서는 외부의 온도조건, 바람의 영향 등 기상조건에 대한 공기조화 설계부하, 위험구역의 격리방안, 통풍 및 감시시스템의 전주기 소요비용(Life-cycle cost), 승조원의 수, 선체의 구조적 조건, 위험가스의 배출 및 통제방안 등을 고려하여 자연통풍 또는 기계적 통풍 등 적절한 통풍방법을 선정해야 한다.

1.2.3.1 자연통풍

자연통풍을 적용하려면 해당구역의 공기흐름에 대한 시험을 통해 적절한지를 검증해야 하며, 요구되는 풍량을 만족하지 못하면 기계적 통풍장치를 설치하여야 한다. 완벽한 자연통풍 설계를 위해서는 해당 구역이 완전 개방구

역이어야 하며, 외부환경에 대한 보호장치인 웨더루버(Weather louver) 등을 설치해야 한다.

1.2.3.2 기계적 통풍

승조원이 작업하거나 거주하는 구역 및 기계장치가 설치되어 원활히 작동해야 하는 구역에는 적절한 기계적 통풍설비를 구비하여야 하며, 장비고장이나 비상시를 대비한 잉여시스템(Redundancy system)을 보유해야 한다.

기계적 통풍설비를 구비하여야 하는 구역과 요구되는 풍속은 Table 2.5와 같다.

Table 2.5 Mechanically ventilated areas and air velocities

Area		Velocities in duct system	
		Maximum	Preferred
Nonhazardous area	Living quarters	10 m/sec	6 m/sec
	Areas to be in operating during emergency situations	15 m/sec	10 m/sec
	Extract & recirculation in living quarters	7.5 m/sec	5 m/sec
Hazardous area	Auxiliary system area	15 m/sec	10 m/sec
	Drilling area		
	Substructure		
	Areas with contaminated air		

거주구역과 위험구역에 인접해 있는 비위험구역에는 공급 및 배출 공기량을 다르게 하거나 기압조절용 기계식댐퍼(Pressure control mechanical damper)를 사용하여, 외부 구역과의 대기압 차이가 발생하도록 통풍계통을 구성해야 한다. 공기의 흡입구는 가능하면 배출구와 멀리 떨어져 있어야 하며, 비위험구역의 공기는 비위험구역으로 배출되어야 한다. 위험구역 등급에

따라 공기 흡입구에 설치되는 루버, 먼지필터 및 필터의 종류와 사양이 달라지며, 세부 내용은 Table 2.6과 같다.

Table 2.6 Air suction components of mechanical ventilation

Area	Air suction component
Living quarter, central control room, sensitive electrical/control equipment room	Louver and dust filter assembly, Filter(F7 class to EN 779) ^{주1)}
Workshop/store, equipment room, switch room, emergency/temporary living quarter & office	Louver, Filter(F5 class to EN 779)
Generator room, fire pump room, process area	Louver

기계적 통풍을 위한 격벽이나 갑판 관통구에는 반드시 방화댐퍼(Fire damper)를 설치해야 하며, 비상시 작동신호를 받으면 4초 이내에 자동으로 닫힐 수 있어야 한다.

1.2.4 임시 대피장소

위험사고 발생시 작업자의 안전을 확보하기 위한 안전구역인 임시 대피장소(Temporary refuge)를 설치해야 하며, 설계시 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

- 1) 충분한 호흡공기 공급을 위한 공기흡입구의 설치위치 및 수량
- 2) 유입가스 감지의 대응속도 및 통풍설비 정지에 필요한 시간
- 3) 방화댐퍼의 경계 조건
- 4) 위험가스 노출시 작업자에 미치는 영향

주1) 유럽 19개국연합(CEN)에서 제정한 Filter standard
(2.2장 국제규격에 따른 필터 분류 참조)

- 5) 위험상황 발생시 임시 대피장소내에 양압상태 유지
- 6) 위험상황 발생시 통풍설비의 전원공급 조건
- 7) 연기, 위해가스 및 화염의 특성을 고려한 호흡공기 공급 기준
- 8) 휴대용 가스측정기의 위치

1.2.5 통풍설비의 감시 및 통제

안전과 관련된 통풍설비의 각각의 구성품에 대해 작동상태를 감시하고 통제하는 시스템이 설치되어야 하며, 세부 기능은 Table 2.7과 같다.

Table 2.7 Requirement for control and monitoring functions of ventilation system

	Equipment	Control & monitoring function
Controls	All fans	Start & stop
	Standby fans	Run/standby fan selection
	All fire/gas damper	Open & close
Indicators	All fans	Run/stop/tripped
	Filters	Filter dirty condition
	Electric heater, etc	On/tripped
	Fire/gas damper protecting fire-rated bulkheads	Open/close
	Pressurizing area	Loss of pressurization
Alarms	Fan	Tripped
	Electric heater, etc	Tripped
	Pressurizing area	Loss of pressurization
	Fire/gas damper	Operating-mode failure

2. 국가별 표준 및 지침

2.1 NFPA Standard

NFPA 표준은 미국 National Fire Protection Association, Inc.의 기술위원회에서 작성 및 제정하였다[10,11]. 화학가스 환경하에서 작동되는 장비 및 인명에 대한 대표적인 표준서는 NFPA 496 Standard for purged and pressurized enclosures for electrical equipment로서 1967년에 최초 표준서가 작성되었으며, 수차례의 개정을 거쳐 현재의 표준서로 자리 잡았다. 본 표준서는 위험구역의 정의, 분류, 일반적인 요구사항에 대해 규정하고 있으며, 비록 미국기관에서 제정된 표준서이지만 통풍 및 안전설비에 대한 국제 표준 및 각국의 표준 제정시에 기준 또는 참고문서로 사용되는 중요한 표준서이다.

2.1.1 적용 범위 및 목적

NFPA 496은[10] 위험구역으로 분류된 격실에 위치한 전자장비, 위험구역 분류와 상관없이 가연성 기체나 가스의 발생가능구역에 위치한 전자장비, 위험구역으로 분류된 곳에 위치한 조종공간 및 가연성 기체나 가스의 발생가능 구역에 위치한 분석실 등에 적용하도록 규정되어 있다. 폭발위험을 내제한 대기환경이나 외부의 위험요소를 내부로 침입하지 못하도록 정화 및 가압하여 밀폐하는 방법에 대한 기준을 제공하고 있다.

2.1.2 위험구역 분류 및 가압의 종류

인화성가스 및 연소가스의 발생원 및 발생 빈도에 따라 위험구역 등급을 구분하여 분류하고 있으며, 가스에 민감한 전자장비 및 인체를 보호하기 위해 위험구역 등급에 따라 밀폐구역에 대해 적절한 가압을 요구하고 있다.

2.1.2.1 위험구역 분류

NFPA 496에서는 위험구역을 크게 Class I, II와 Division 1, 2 및 Zone 0, 1, 2 등으로 구분하여 Table 2.8과 같이 총 7가지 구역으로 정의하고 있다.

Table 2.8 Hazardous area classification in compliance with NFPA

위험구역 등급	분류 기준
Class I Division 1 구역	-정상적인 장비의 작동상태에서 폭발성 가스가 상존하는 구역 -수리, 보수 또는 누기에 의해 폭발성 가스가 자주 발생하는 구역 -장비의 고장이나 오작동에 의해 폭발성 가스가 집중되는 구역
Class I Division 2 구역	-인화성 액체나 폭발성 가스가 취급 또는 사용되는 구역 -통풍설비의 고장이나 비정상적인 작동시에 위험상황이 발생할 수 있는 구역 -Class I, Division1구역에 접해 있고, 양압설비가 없는 구역
Class II Division 1 구역	-장비의 정상적인 작동상태에서 인화성 먼지가 공기중에 포함된 구역 -장비의 고장에 의해 공정중에 인화성 가스가 발생될 수 있는 구역 -전기적 전도성 물질의 연소성 먼지가 위험상황이 발생할 정도로 상존하는 구역
Class II Division 2 구역	일반적으로 인화성 먼지가 폭발 또는 연소 혼합기체를 생성시킬 만큼 충분하지 않고, 먼지의 축적이 전기장비나 기타 장비의 정상작동에 장애를 줄 만큼 충분하지 않은 구역
Class I Zone 0 구역	-인화성 가스가 포화상태로 지속적으로 상존하는 구역 -인화성 가스가 포화상태로 오랜기간 지속하는 구역
Class I Zone 1 구역	-인화성 가스가 정상적인 운용조건에서 존재할 수 있는 구역 -인화성 가스가 장비의 수리/누기에 의해 자주 발생하는 구역 -공정중에 인화성가스에 의해 장비고장이 발생될 수 있는 구역 -Class I, Zone0구역에 접해있고, 양압설비가 없는 구역
Class I Zone 2 구역	-인화성 가스의 발생하더라도 단시간 동안만 존재하는 구역 -인화성 액체나 가스가 취급되는 구역 -통풍설비의 고장에 의해 위험상황이 발생될 수 도 있는 구역 -Class I, Zone1구역에 접해 있으며, 양압설비가 없을 경우 위험상황이 발생할 수 있는 구역

2.1.2.2 가압의 종류

가압은 인화성 가스나 먼지 등 위험상황을 발생시킬 수 있는 기체나 입자가 보호하고자하는 구역내로 유입되지 못하도록 보호기체를 지속적으로 밀폐 공간에 공급하는 공정을 말하며, 크게 3가지로 구분된다.

- 1) Type X pressurizing : 밀폐보호구역의 등급을 Class I, Division 1구역 또는 Class I, Zone 1구역에서 비위험 구역으로 감소시키기 위한 가압
- 2) Type Y pressurizing : 밀폐보호구역의 등급을 Division 1에서 Division 2구역 또는 Zone 1에서 Zone 2구역로 감소시키기 위한 가압
- 3) Type Z pressurizing : 밀폐보호구역의 등급을 Class I, Division 2구역 또는 Class I, Zone 2구역에서 비위험 구역으로 감소시키기 위한 가압

2.1.3 가압구역의 요구조건

Class I 및 II 구역을 보호하기 위한 요구조건으로서, 가압시스템의 일반적인 요구조건과 가압용 기체, 가압설비의 요구조건에 대해 규정하고 있다.

2.1.3.1 가압시스템의 일반적인 요구조건

보호밀폐는 보호대상 장비가 작동되는 동안에 주위 대기압보다 최소 25 Pa 이상의 양압상태를 지속적으로 유지해야 한다. 만약, 보호구역내 양압이 유지되지 않을 경우에는 지시기, 경보기, 비상차단(Cutoff) 또는 연동스위치(Interlock switch) 등 운용자가 즉시 행동을 취하거나 폭발위험 장비의 전원을 자동적으로 차단할 수 있는 설비를 갖추어야 한다. 밀폐에 사용되는 재료는 가압조건하에서 손상되지 않는 재질이어야 하며, 가압용 보호기체의 과도한 공급으로 인해 내부 기압이 일정 수준이상 상승하지 않도록 Division 1구

역으로 배출할 수 있는 과압방지용 배출장치(Excess pressure relieving device)가 설치되어야 한다.

이때 사용되는 가압용 보호기체는 근본적으로 외부 물질이나 오염으로부터 안전해야 하며, 인화성 가스의 영향을 받지 않아야 한다. 모든 가압용 보호기체의 공급은 오염을 최소화할 수 있도록 설계하여야 한다.

2.1.3.2 가압설비의 요구조건

가압설비의 종류별로 세부 요구조건을 제시하고 있다.

- 1) Type Z pressurization : 개별 보호밀폐 공간내에서 양압상태의 유지에 실패하면 경보나 전시가 되어야 한다.
- 2) Type Y pressurization : Type Z pressurization의 요구조건을 준용하며, 보호밀폐 구역은 Division 2구역으로 적용된다.
- 3) Type X pressurization : 양압상태의 유지에 실패할 경우에는 보호구역내의 모든 회로로부터 자동적으로 전원차단을 할 수 있는 cutoff switch가 구비되어야 한다.

Table 2.9 Pressurization requirements for enclosures subject to internal release

External Area Classification	Internal Equipment Suitable for	Pressurization Requirements for Limited Release Under Abnormal Conditions	
		No Release Under Normal Conditions	Limited Release Under Normal Conditions
Class I, Div. 1 (Class I, Zone 1)	Class I, Div. 1 (Class I, Zone 1)	None	None
	Class I, Div. 2 (Class I, Zone 2)	Y	Y
	Unclassified	X	X
Class I, Div. 2 (Class I, Zone 2)	Class I, Div. 1 (Class I, Zone 1)	None	None
	Class I, Div. 2 (Class I, Zone 2)	None	Z
	Unclassified	Z	X
Class II	Class I, Div. 1 (Class I, Zone 1)	None	None
	Class I, Div. 2 (Class I, Zone 2)	None	Z
	Unclassified	Z	X
None	Class I, Div. 1 (Class I, Zone 1)	None	None
	Class I, Div. 2 (Class I, Zone 2)	None	Z
	Unclassified	Z	X

2.1.3.3 Class I 구역에서의 가압밀폐 요구조건

Class I 구역내의 밀폐구역이 노출되거나 양압유지에 실패하더라도 밀폐공간 내부를 정화시킬 수 있도록 구성되어야 하며, 일단 정화된 밀폐구역은 양압유지가 지속될 수 있어야 한다.

주밀폐구역내의 격실이나 주밀폐구역에 연결된 인접 밀폐구역은 독립적으로 설계하여야 하며, 내부격실은 주밀폐구역과 연결된 상부, 하부에 위치한 통풍관에 의해 주밀폐구역과 통풍되어야 한다.

Type Y, Z 가압구역은 외부 대기압에 비해 내부 기압이 최소 25 Pa 이상

을 유지하면서 보호기체를 밀폐구역 체적의 최소 4회 이상 순환 통풍할 때까지 보호대상 장비의 전원을 공급하여서는 안된다.

Type X 가압구역은 Type Y, Z 가압구역의 조건으로 통풍을 완료할 때까지 전원공급을 방지하는 시간지연기(Timing device)가 설치되어야 한다.

2.1.3.4 Class II 구역에서의 가압밀폐 요구조건

Class II 구역내의 밀폐구역에 인화성 먼지가 누적될 경우에는 가압하기 전에 밀폐구역을 오픈하여 먼지를 제거해야 하며, 먼지의 밀도에 따른 밀폐구역의 최소 가압조건은 Table 2.10과 같다.

Table 2.10 Minimum enclosure pressure versus dust density

Specific particle Density		Minimum Pressure	
lb/ft ³	kg/m ³	in. H ₂ O	Pa
< 130	< 2083	0.1	25
> 130	> 2083	0.5	125

2.1.3.5 조종공간의 가압 요구조건

가압용 보호기체는 공기를 사용해야 한다. 공기는 근본적으로 오염이나 외부물질에 영향을 받지 않아야 하며, 인화성 기체를 포함하지 않아야 한다. 공기흡입구는 위험구역으로 분류된 구역에 배치해서는 안되며, 송풍기 흡입라인은 유해 또는 폭발성 기체로부터 보호되도록 부식, 기계적 손상으로부터 적절히 보호되고 누기가 발생되지 않아야 한다.

1) 양압통풍 설계시 고려사항

위험구역내에서의 안전한 운영을 위해 격실내 사람의 수, 장비의 종류,

바람의 방향과 석유생산장치(Process units)의 위치와 관련된 조종실의 위치 등을 고려하여야 한다.

2) 양압유지시스템의 요구조건

- 개구가 닫힌 상태에서 조종공간내의 압력이 최소 25 Pa 이상을 유지해야 한다.
- 개구가 개방되면 내부에서 외부로 최소 풍속 0.305 m/sec 이상의 공기흐름이 있어야 하며, 풍속은 모든 개구에서 측정하여야 한다.
- 양압유지시스템은 HVAC 설비에 포함하여 구성한다.
- 조종공간에 공기소모장비(압축기, 후드 등)가 있다면 양압유지시스템에서 요구하는 공기가 충분하도록 공급되어야 하나, 선택적으로 공기 소모장비에 별도의 공기 공급설비를 설치할 수도 있다.
- 양압유지시스템의 작동상태는 송풍기의 공기배출구 끝단부에서 감지되며, 고장 발생시에는 운용자가 상주하는 구역에 경보가 작동되어야 한다.

2.2 API Practice

미국 석유협회인 API(American petroleum institute)에서는 자국내에 설치되는 석유의 정제, 이송 및 보관과 관련된 설비에 대한 표준과 지침을 제정하여 적용하고 있으며, 현재는 국제표준이나 각국의 규격 제정시에 전 세계적으로 활용되고 있다[13,14]. API의 표준서중 석유생산과 관련된 해양구조물의 설계, 설치, 시험평가시에 고려해야할 안전과 관련된 요구조건에 대한 대표적인 표준 및 지침은 Table 2.11과 같으며, API 산하 해양구조물 운용 위원회에서 작성하였다.

Table 2.11 API standards relating to safety ventilation

Standard number	Standard name
RP 14C	Recommended practice for analysis, design, installation and testing of basic surface safety system for offshore production platforms
RP 14G	Fire prevention and control on open type offshore production platforms
RP 14J	Design and hazards analysis for offshore production facilities
RP 500	Classification of locations for electrical installations at petroleum facilities
501	Pressure vessel inspection code: Maintenance inspection, rating, repair and alteration
RP 505	Classification of locations for electrical installations at petroleum facilities classified as class I, Zone0, Zone 1 and Zone 2

API 표준 및 지침서는 NFPA 표준서를 근간으로 하여 위험구역에 대한 분류와 적절한 통풍조건을 요구하고 있어, 일반적인 요구사항은 NFPA 표준서와 동일하며, 석유산업과 관련된 생산, 보관, 이송 설비에 대해 세부적인 요

건을 추가로 명시하고 있다. API 표준서의 안전에 대한 통풍 설계에 대한 요구사항은 2.1항에서 기술한 NFPA 표준서와 유사하다.

2.3 HSE Guidance

HSE offshore installations : Guidance on design, construction and certification은 영국 정부의 Health and Safety Executive에서 제정한 guidance로서[15], 본 논문의 연구배경에서 기술한 영국 Piper alpha 해양 구조물의 폭발사고에 대한 후속조치로 해양구조물 승조원 및 작업자의 안전을 보호하기 위한 요구조건들을 더욱 강화하여 명시하고 있다.

2.3.1 위험구역의 분류 및 장비의 구성

위험구역의 분류 및 장비의 구성은 API 표준과 국제표준을 참고로 작성되어 앞장에서 기술한 타 규격과 동일하다.

2.3.2 통풍설계의 개념

인화성 또는 폭발성 가스에 대해 거주구역, 조종공간, 장비실을 보호할 수 있는 가장 기본적인 장치가 통풍설비이며, 통풍설비에 대한 설계시 고려해야 할 가장 기본적인 요구조건은 Table 2.12와 같다.

Table 2.12 Basic requirements relating to design of safety ventilation

항 목	요구 조건
작업환경	위험구역내에서는 적절한 작업환경 충족을 위한 설비 구성
폭발위험 제거	위험구역내에 발생하는 인화성/위험가스의 분산이나 제거를 위한 설비 구성
비위험구역 보호대책	비위험구역으로 인화성/위험가스 유입방지를 위한 위험구역과 비위험구역간에 일정이상의 기압 차이 유지
과온 방지대책	과도한 온도상승으로부터 승조원, 전자장비 보호를 위한 냉각설비 구성
조종 및 경보	비상시 통풍 조절 및 구역격리를 위한 감시, 경보시스템 구성
기관구역 보호대책	연소기관에 공기 공급/배출설비 및 평시와 비상시에 공기 정화 설비 구성
공기조화	거주구역과 승조원이 상주하는 비위험구역내에 쾌적한 환경 제공을 위한 설비 구성

2.3.3 통풍 설비의 배치

위험구역에 설치되는 통풍설비는 공기보다 가볍거나 무거운 위험가스의 축적을 방지하고, 가스와 열을 제거할 수 있도록 배치되어야 한다. 공기 흡입구는 비위험구역 외부에 배치하고 공기 배출구와 멀리 떨어질수록 유리하며 최소 4.5 m 이상 이격시켜야 한다.

비위험구역의 공기는 위험구역으로 배출되어서는 안되며, 불가피하게 위험구역으로 배출할 경우에는 위험구역의 공기가 비위험구역으로 역류하지 않도록 방지하는 자동설비를 추가하여야 한다.

2.3.4 위험가스 방지 대책

위험구역에 인접한 비위험구역은 인화성 가스나 위해가스의 유입을 방지하기 위해 외부 대기압보다 최소 50 Pa 이상의 양압을 유지해야 한다. 이러한 구역은 정상상태 또는 비상상태에서 출입구가 열리거나 닫혀 있는 상태 모두

양압을 유지할 수 있도록 기압조절용 벤트설비(Pressure relief venting device)를 구비하여야 하며, 출입구가 열려 있을 경우에는 위험등급이 낮은 구역에서 높은 구역으로 지속적인 공기 흐름이 형성되도록 설계하여야 한다. 위험구역에서 비위험구역으로 통하는 출입구는 가능한 설치해서는 안되나 불가피한 경우에는 Table 2.13과 같이 에어락(Air lock)이나 기밀문을 설치해야 한다.

Table 2.13 Adequately protective equipment for access openings

Access opening	Adequately protective equipment
Zone 1 ↔ Zone 2	Air lock or gas-tight self closing door
Zone 2 ↔ Nonhazardous area	
Zone 1 ↔ Nonhazardous area	Double door air lock or upgrade pressure differential (include 100% standby fan)

비위험구역 이외에도 높은 등급의 위험구역과 인접한 위험구역은 최소 50 Pa 이상의 양압을 유지해야하며, 기압 저하가 발생하면 30초 이내에 비위험 구역내의 승조원이 상주하는 격실에 시청각 경보가 작동되어야 한다.

3. 선급협회 규칙

주요 선급협회에서는 석유시추 및 생산설비와 관련된 고정식 해양구조물, 이동식 해양구조물, FPSO, FPS, FSO^{주2)} 등과 유조선, 고압화물 운반선, LNG/LPG 운반선 등의 선박으로 구분하여 안전과 관련된 요구조건을 제시하고 있다.

선박안전과 관련한 선급규정은 Fig. 2.1과 같이 선박건조에 사용되는 재질에서부터 시작하여 사용부재, 시스템에 대한 설계 및 설치 요구조건 등 선박 전반에 대해 규제하고 있다.

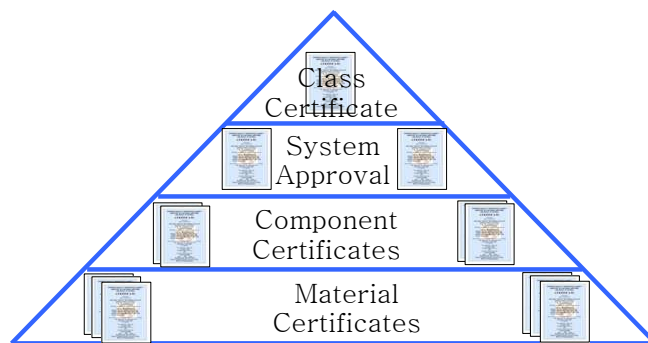


Fig. 2.1 Hierarchy of classification certificates

선체의 구조, 하중조건, 일반배치 조건 등에 대해서는 선박이나 해양구조물의 종류별로 서로 다른 규칙을 적용해야 하지만, 위험구역에 대한 통풍 및 환기 등의 설계 및 설치 요구조건은 각각의 규칙별 내용이 거의 유사하여 각 선급별 대표적인 규칙을 기본으로 하여 일부 차이가 나는 부분을 비교하여 검토한다.

주2) FPSO : Floating production, storage and off-loading

FPS : Floating production and storage, FSO : Floating storage and off-loading

3.1 DNV Rule

노르웨이 선급협회인 DNV(Det norske veritas)에서 제정한 규칙중 위험 구역에서 작업하거나 항해하는 선박에 대한 규칙은 Offshore service specifications(OSS), Offshore standards(OS), Recommended practices(RP) 등 크게 3가지로 구분된다[16,17,18,19].

Offshore service specifications는 해양구조물, FPSO, FSO 등 석유시추/생산과 관련된 설비와 LNG/LPG 등 가스생산설비 등 각각의 선박형태와 종류에 따라 요구되는 기본적인 설계원칙과 절차에 대해 규정하고 있다. Offshore standards는 안전설비, 소화설비, 헬기설비 등과 같이 설계 및 설치시에 적용해야할 세부적인 기술요구조건들을 명시하고 있으며, Recommended practices는 Offshore service specifications 및 Offshore standards에 대한 기술지원문서로 사용된다.

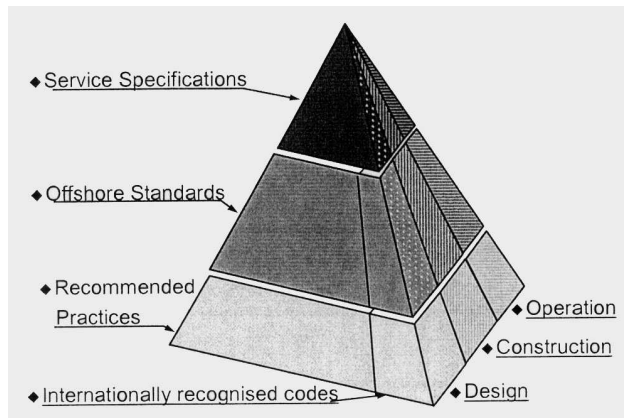


Fig. 2.2 DNV offshore code approach

이러한 DNV의 기술문서 및 규격중에서 위험설비에 대해 직접적이고 세부적인 요구조건을 명시하고 있는 문서는 Offshore standards이며 이중에서 특히 Offshore standard DNV-OS-A101 : Safety principles and

arrangements가 대표적인 표준서이며, 그 외에 이동식 및 고정식 해양구조물의 설치에 대한 세부 규칙이 제정되어 있다.

DNV-OS-A101표준서는 이동식 및 고정식 해양구조물에 모두 적용되며, 설계, 건조, 설치방법 등에 대한 가이드라인을 제시하고 있다[16].

따라서, 해양구조물 설계시 기준이 되는 DNV-OS-A101표준서와 관련된 규칙의 내용중 위험방지를 위한 통풍에 관련된 사항에 대해 검토한다.

3.1.1 일반배치 기준

구조물의 설치 및 배치는 바람의 방향을 고려하여 연기나 가스의 집중을 피하도록 해야 하며, 장비의 배치방법은 다음과 같다.

- 1) 작업구역으로부터 안전 탈출 가능할 것
- 2) 위험구역에 대해 충분한 통풍이 될 것
- 3) 가스가 누출될 경우에는 폭발위험을 최소화할 것
- 4) 소화설비 및 비상대응이 가능할 것
- 5) 정상상태 및 비상상황시 작동/통제 가능할 것
- 6) 화재나 다른 사고의 확산 가능성을 최소화할 것
- 7) 위험한 액체의 방출에 대해 안전 봉쇄 가능할 것
- 8) 작동 시뮬레이션을 계획할 것

3.1.2 위험구역의 분류

위험구역은 위험기체의 발생주기와 잔존기간에 따라 3가지로 구분한다. 기본적인 위험구역에 대한 등급분류는 IEC 60079 표준서와 유사하지만 위험기체의 발생주기를 Table 2.14와 같이 구체적으로 명시하고 있다.

Table 2.14 Definitions of hazardous area classification in compliance with DNV-OS-A101

Classification	Definition	Duration period of explosive gas
Zone 0	폭발성 혼합기체가 계속적으로 상존해 있거나, 또는 오랜기간 존재하는 구역	연속등급방출(Continuous grade source)로 연간 1000시간이상 상존하거나 짧은 주기로 발생
Zone 1	폭발성 혼합기체가 정상적인 작업상태에서 발생할 가능성이 있는 구역	1등급방출(Primary grade source)로 연간 10시간이상 1000시간미만 존재
Zone 2	폭발성 혼합기체가 정상적인 작업상태에서 거의 발생하지 않거나, 간혹 발생하더라도 단기간 동안만 존재하는 구역	2등급방출(Secondary grade source)로 연간 10시간 이하 짧은 기간동안만 존재

위험구역의 등급에 따라 적절한 통풍시스템을 구비해야하며, 각각의 위험구역별 개구, 출입구, 환기조건, 인화성 가스의 방출등급 등에 따라 위험구역의 등급에 영향을 미칠 수 있으며, 세부 사항은 Table 2.15와 같다.

Table 2.15 The effect of openings and ventilation on hazardous area zone classification for areas with obstructed ventilation

Grade of release	Open area with obstructions to ventilation or enclosed area. Both with internal source of release		Enclosed area with no internal source of release, but with opening to external zone	
	Adequate ventilation	Inadequate ventilation	Adequate ventilation	Inadequate ventilation
Continuous, i.e. Zone 0	Zone 0	Zone 0	Zone 0	Zone 0
Primary, i.e. Zone 1	Zone 1	Zone 1	Zone 1	Zone 1
Secondary, i.e. Zone 2	Zone 2	Zone 1	Zone 2	Zone 1

3.1.3 밀폐구역의 양압유지 요구조건

위험가스 유입가능성이 있거나 Zone 1 또는 Zone 2구역에 위치한 밀폐된 비위험구역은 양압을 유지해야 하며, 통풍 설비의 흡입구는 안전한 구역에 배치하여야 한다. 폭발성 기체가 공기흡입구에서 감지되면 경보가 작동되고 위험가스를 차단할 수 있어야 한다.

밀폐된 비위험구역은 외부로 통하는 모든 관통구가 차단된 상태에서 외부 대기압에 비해 항상 50 Pa 이상의 양압을 유지해야하며, 공기의 흐름은 밀폐 구역내에서 외부로 향해야 한다. 양압유지에 실패했을 경우에는 운영자가 상주하는 격실에 경보음이 작동되어야 하며, 이때 밀폐구역으로 인위적인 통행에 의한 기압 저하시 마다 경보음이 울리지 않도록 최대 30초간의 경보음 발생 시간지연을 줄 수 있다.

또한 운영자가 비보호구역으로 통행시 연기나 가스의 침입을 방지하기위해 에어락을 설치해야 한다. 에어락은 기밀격벽과 자동단힘 기밀문(Gas tight self-closing door)으로 구성되며, 이들간의 거리는 최소 1.5 m 이상 최대 2.5m 이내이어야 하며 Zone 2구역으로 분류된다. 에어락에는 인접한 위험구역과 외부에 비해 강제통풍에 의한 양압을 유지해야 한다.

3.2 Lloyd's Register Rule

영국선급협회인 Lloyd's Register에서 제정한 규격중 선박 및 해양구조물의 안전에 관한 규칙은 선박의 종류, 형태 등에 따라 여러 종류가 있으나, 국제규격 및 표준을 채용함에 따라 앞서 설명한 DNV 등 타선급협회의 규칙과 유사하다. Lloyd's Register rule의 내용중 안전과 관련된 통풍설계에 대한 기본요구조건에 [20,21] 대해 검토하고 정리하였다.

3.2.1 위험구역의 분류

위험구역은 Zone 0, 1, 2 등 크게 3가지로 분류되며, 세부분류기준은 유럽에서 제정한 국제규격인 IEC 60079규격과 영국 정부에서 제정한 HSE 지침서의 방법과 동일하다.

3.2.2 통풍 설계기준

3.2.2.1 일반요구조건

밀폐된 구역에는 기계적인 통풍설비를 갖추어야 하며, 유사시에도 항상 일정한 풍량을 유지할 수 있도록 잉여(Standby)설비를 추가로 배치하여야 한다. 비위험구역은 인접한 위험구역보다 최소 50 Pa 이상의 양압을 유지해야 하며, 석유생산 작업 및 위험작업 구역은 타구역과 독립된 별도의 통풍설비를 갖추어야 한다. 연소가스를 배출하는 장비가 설치되는 구역은 독립된 강제 통풍설비를 갖추고 적절히 밀폐시켜야 한다.

3.2.2.2 위험구역의 통풍

밀폐된 위험구역은 시간당 최소 12번 이상의 환기가 되도록 충분한 용량의 통풍설비를 배치하고 인접한 비위험구역에 비해 최소 50 Pa 이상의 저압(Underpressure)이 유지되도록 시스템을 구성하여야 한다. 필요에 따라서는 위험구역내의 저압 상태를 감시하는 장치와 공기 배출통풍기가 작동하지 않으면 공급통풍기가 작동하지 않도록 연동(Interlock)장치를 추가로 설치하여야 한다.

3.2.2.3 공기흡입 및 배출구

공기 공급시스템의 흡입구는 인화성 가스의 발생구역인 위험구역으로부터 최소 3 m 이상 떨어진 비위험구역에 배치해야 하며, 공기배출구와는 최소 4.5 m 이상 이격시켜야 한다. 공기 흡배기 시스템의 통풍관은 위험등급이 더 높은

구역의 기압보다 높은 양압상태를 유지해야 한다.

3.3 기타 선급협회 Rule

미국선급협회인 ABS(American bureau of shipping)에서 제정한 선박의 안전을 위한 통풍설비에 대한 규칙은 guide for building and classing facilities on offshore installations, rules for building and classing mobile offshore drilling units 등이 있으며[22,23], 자국내의 석유협회(API)와 소방협회(NFPA)의 표준을 참고하여 위험구역의 분류, 통풍 설계기준 등의 주요 내용이 유사하게 작성되었다.

한국선급협회인 KR(Korean register)에서 제정한 관련규칙은 이동식 해양 구조물 규칙이 있으며[24], 세부 내용은 외국 주요 선급협회의 규정과 유사하게 구성되어 있다.

4. 함정 관련규격

함정은 국제표준이나 선급협회의 규칙을 적용받지 않고 각국의 국방부에서 제정한 국방규격이나 사양을 적용받고 있다. 함정 건조시에 참고 및 기준이 되는 표준은 미국 해군에서 제정한 General specification과 설계지침서인 Naval ship's technical manual이다. General specification은 함정건조에 필요한 전반적인 요구조건을 명시하고 있으며, 장비와 시스템에 대한 세부 지침인 Naval ship's technical manual은 설계, 운용, 유지보수에 필요한 기준을 제공하고 있다[4,5].

4.1 General specification

General specification for ships of the united states navy는 미국 해군 산하의 Naval sea system command에서 작성한 사양이다. 본 사양서의 내용중에서 화생방전에 대비한 함정 통풍설계 기준은 민수선박의 안전에 관련된 통풍 요구조건과 유사하나, 양압유지조건 및 설비의 구성요건이 더욱 강화되어 있다[4].

4.1.1 통풍설비의 구성

비위험구역을 보호하기 위한 대책은 외부 대기압보다 500 Pa 이상의 양압을 유지해야하며, 양압 유지를 위한 설비는 Table 2.16과 같이 구성되어야 한다.

Table 2.16 Configuration of pressurization equipment for naval ship

장비명	기능 및 사양
Antiblast valve	핵폭발시 양압설비를 보호 (약 50 kPa의 압력에 견디고 1/1000초안에 작동)
Prefilter	공기중에 포함된 먼지를 제거
Preheater	공기중에 포함된 습기 제거
Dirty side air plenum chamber	프리필터(Prefilter), 화생방 필터의 교체 또는 정비를 위한 공간
화생방 filter	화생방에 의해 오염된 공기를 정화
Clean side air plenum	화생방 필터 정비를 위한 공간
High pressure vane-axial fan	비위험구역의 양압유지를 위한 공기 공급
Precooling coil	공급 공기의 온도 조절

공기공급계통은 에어락을 통한 공기누설량 720 m³/hr, 출입구, 창문, 해치 등을 통한 누설량 85 m³/hr 및 배출 통풍량을 고려하여 비위험구역내부가 외부 대기압에 비해 양압이 유지될 수 있도록 통풍량을 충분히 설계하여야 한다. 비위험구역 내부의 양압을 항상 일정하게 유지하기 위해서 570 ~ 630 Pa의 기압에서 열리도록 설정된 기압조절용 밸브(Pressure control valve)를 사용하며, 과도한 기압 상승을 방지하기 위해 630 ~ 685 Pa의 기압에서 열리도록 설정된 안전장치를 추가로 설치해야 한다.

4.2 Naval ship's technical manual

Naval ship's technical manual은 비위험구역을 보호하기 위해 필요한 장비의 세부적인 사양과 요구조건을 제시하고 있다[5].

4.2.1 통풍설비

통풍설비는 공기공급계통, 배출계통, 기관실 배출계통 등 3가지로 구분된다. 공기공급계통은 함정 외부의 공기를 내부 통풍구역에 공급하거나 함정 내부의 순환공기를 통풍설비로 공급하는 시스템이며, 공기배출계통은 통풍이나 냉난방이 되는 구역의 순환공기 및 내부 공기를 화장실, 취사장, 통로를 통해 외부로 배출하는 계통이다. 기관구역 배출계통은 공급되는 공기량보다 많은 양의 공기를 배출하여 외부 대기압에 비해 음압이 유지되도록 설계한다. 공기흡입구는 외부의 빗물이나 파도가 내부로 침입하지 못하도록 후드형(Hood type), 공기상승형(Airlift type), 습기제거형(Moisture separator type), 버섯형(Mushroom type), 버킷형(Bucket type) 등으로 설계한다.

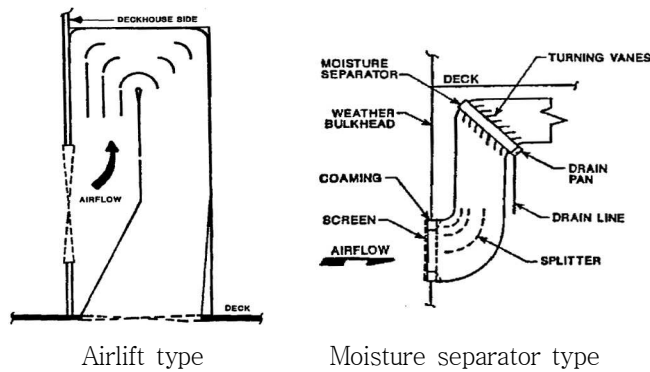


Fig. 2.3 Method of protection for weather opening

4.2.2 에어락

화생방 가스에 오염된 공기가 미세한 양이라도 함정 내부로 유입되면 승조원의 생명에 치명적인 영향을 미치므로 비위험구역에서 위험구역으로 통하는 출입구에는 반드시 에어락을 설치해야 한다. 함정은 상선에서 요구하는 에어락보다 더욱 엄격한 기준을 제시하고 있으며, 에어락 내부에는 비위험구역에서 위험구역방향으로 항상 일정한 공기의 흐름을 형성하여 외부의 공기가 에

어락을 통해 내부로 유입되는 것을 차단하도록 설계된다. 함정용 에어락은 4가지로 구분되며 세부 기능 및 사양은 Table 2.17과 같다.

Table 2.17 Types and functions of air lock for naval ship

Type of air lock	Function	Air sweep
Type I	비위험구역에서 폭로갑판으로 통하는 출입구에 설치	720m ³ /hr
Type II	비위험구역에서 기관실 등 양압이 상대적으로 낮은 구역으로 통하는 출입구에 설치	720m ³ /hr
Type III	비위험구역에서 비위험구역으로 통하는 출입구에 설치하며, 인접 비위험구역이 오염될 경우 type I air lock의 역할을 수행	720m ³ /hr
Pressure lock	단순히 양압유지를 위한 출입구에 설치	없음

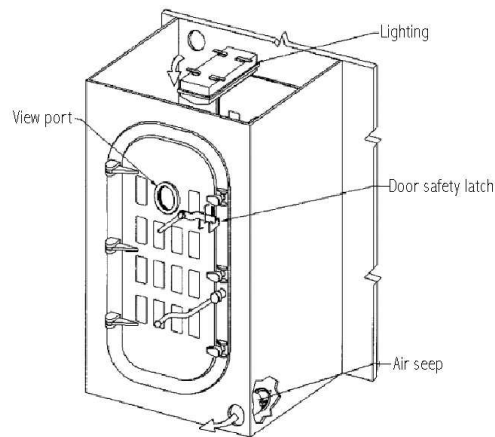


Fig. 2.4 Typical configuration of air lock for naval ship

Ⅲ. 위험방지를 위한 통풍설비의 구성

인화성가스 또는 유독가스가 선박이나 해양구조물 내부로 침입하여 폭발사고, 승조원의 질식, 장비고장 등의 위험상황 발생을 억제하기 위한 통풍설비는 실내를 대기압보다 높은 양압 또는 낮은 음압을 유지하는 설비, 유독가스를 걸러주는 필터설비 및 위험상황이나 통풍 설비의 상태를 파악하는 감시장치 등의 기타 설비로 구성되어 있다[25,26,27,28,29,30].

1. 양압 및 음압 통풍설비

거주구역이나 기관 조종구역 등 승조원이 상시 거주하는 구역을 외부 대기압보다 일정수준 이상의 양압으로 유지하거나 위험구역 내부를 음압으로 유지하는 설비로서, 고압송풍기(High pressure fan), AHU, FCU, 공급 및 배출 송풍기(Supply & exhaust fan), 기압조절장치(Pressure regulating device), 에어락(Air lock) 등으로 구성되어 있다.

1.1 고압송풍기

대기압보다 상대적으로 높은 100 Pa 이상의 양압을 유지하기 위해 사용되는 송풍기로 함정이나 선주의 특별한 요구가 있는 선박에 한해서 적용하고 있다. 송풍기의 종류는 축류형(Axial fan)을 주로 사용하며, 폭발 위험을 감소하기 위해 방폭형(Explosion proof type)의 송풍기를 사용하고 있다. 양압을 유지하고자 하는 구역의 체적, 온도조건, 압력조건 등을 고려하여 적절한 고압송풍기를 선정해야 한다.

고압송풍기는 비위험구역내의 양압 유지를 위해 가장 중요한 장비이며, 따라서 해당 구역의 양압 유지에 필요한 100% 용량으로 비상전원에 연결된 비상개념의 송풍기 1대를 추가로 설치하여야 한다. Fig. 3.1은 100% 용량의

고압송풍기가 2대 설치되어 있는 형상이다.

고압송풍기는 일반적으로 고속 및 고용량으로 소음과 진동이 과다하게 발생하는 경우가 많으며, 소음 및 진동을 감소하기 위해 탄성마운트와 흡음재를 적용한다.



Fig. 3.1 Axial type high pressure fan

1.2 AHU 및 FCU 주3)

선박 및 해양구조물의 내부에 공기조화를 위해 냉방 또는 난방된 공기를 공급하는 장치이다. 고압송풍기를 설치하지 않는 선박은 비위험구역 내부의 양압을 유지하기 위한 공기공급장치의 역할도 동시에 수행하게 되며, 일반적으로 고압송풍기를 적용하는 선박에 비해 상대적으로 낮은 양압(100 Pa 이하)을 유지할 때 사용된다. 대부분의 해양구조물이나 선박에서는 고압송풍기를 설치하지 않고 AHU를 이용하여 양압을 유지하고 있다. AHU는 적용되는 구역의 체적, 풍량 및 요구되는 양압에 따라 성능이 결정되며, 혼합구역에서 급기구역까지 총 8가지 구역으로 구분할 수 있으며 각각의 구역별 기능은 Table 3.1과 같다[27,28]. FCU는 일반적으로 AHU보다 소용량으로 공기 혼합구역이 없이 내부 순환공기만을 이용하여 해당구역 내부의 양압 형성보다는 냉난방 용도로 주로 사용된다.

주3) AHU : Air handling unit, FCU : Fan coil unit

Table 3.1 Detail function of AHU

Sequence	Section	Function
1	Mixing section	Manual damper를 이용하여 요구되는 신선외기와 내부 순환공기의 비를 조절하는 구역
2	Filter section	외기 또는 내부 순환공기에 포함된 먼지를 걸러주는 구역
3	Heating section	증기, 전기, 고온수, 고온유 등을 이용하여 공기를 가열하는 구역
4	Cooling section	냉동기에서 배출된 냉매 또는 냉각수를 이용하여 공기를 냉각시키는 구역
5	Humidification section	증기나 물을 분무하여 건조한 공기를 가습하는 구역
6	Dehydrating section	하절기 냉각코일을 통과하면서 응축된 물이 AHU 내부에 축적되는 것을 방지하기 위한 구역
7	Fan section	Fan을 이용하여 조화된 공기를 배출하는 구역
8	Distribution section	최종적으로 조화 공기를 duct로 공급하는 구역

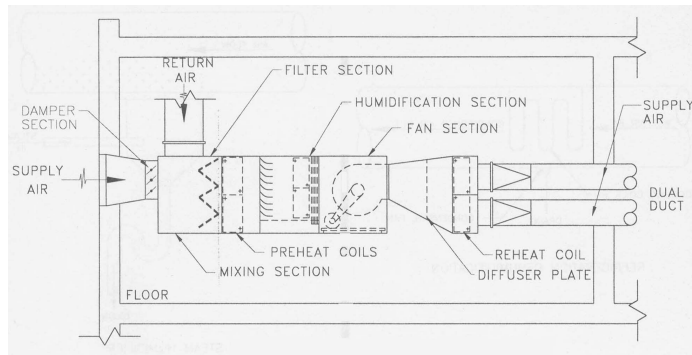


Fig. 3.2 Configuration of AHU

1.3 공급 및 배출 송풍기

공기 공급 및 배출용 송풍기는 기관구역, 발전기실, 배터리실, 페인트 창고,

기타 연소가스 및 위해가스가 배출되는 밀폐된 격실의 통풍이나 필요시 대기압보다 낮은 음압을 유지하기 위해 설치된다. 배출되는 가스의 양, 격실의 체적 및 환기율에 따라 송풍기의 용량이 결정되며, 종류는 Fig. 3.3에서와 같이 축류형(Axial fan), 원심형 송풍기(Centrifugal fan) 등으로 구분할 수 있다. 축류형 송풍기는 소형으로 상대적으로 높은 정압을 낼 수 있지만 소음, 진동이 큰 단점이 있으며, 원심형 송풍기는 정숙한 장점이 있어 거주구역에 주로 사용된다. 공급 및 배출 송풍기는 주로 위험구역에 설치됨에 따라 방폭형(Explosion proof type)의 송풍기를 사용하며, 축류형 송풍기의 선정시 사용되는 정압(Static pressure)과 풍량에 대한 송풍기의 용량과의 관계는 Table 3.2와 같다.

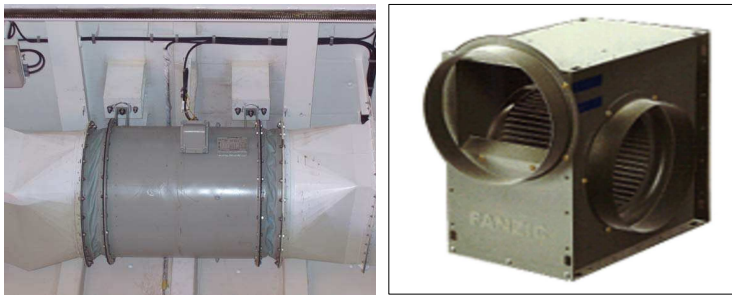
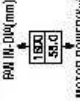

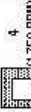
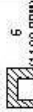


Fig. 3.3 Axial and centrifugal fan

STATIC PRESSURE(mmHg)	AIR VOLUME																								
	1200	1500	1800	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	6000	7000	8000	9000	10000	11000	12000	14000	16000	18000	20000	24000	27000	30000	
120																									
110																									
100																									
90																									
80																									
70																									
60																									
50																									
45	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
40	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
35	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
30	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
25	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
20	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
15	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
10	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315

REMARK

RAIL H. DIM (mm)
 180 180
55 65

MOTOR POWER(kw)
 2
 4
 6

NUM. OF POLES(RPM)
2 (3440 RPM)
4 (1750 RPM)
6 (1180 RPM)

Table 3.2 Axial flow fan selection table

1.4 기압조절장치

외부의 공기를 계속해서 거주구역으로 공급하면 내부의 기압이 과도하게 상승하여 인체 및 전자장비에 악영향을 미칠 수 있으므로, 요구되는 일정한 양압을 항상 유지할 수 있도록 하는 장치가 기압조절장치(Pressure regulating device)이다.

기압조절장치는 비위험구역 내부의 양압이 일정 이상 상승하면 미세한 스프링의 장력이나 하중을 이용하여 밸브를 열거나 닫히도록 하는 기계식 장치(Mechanical device)와 선박 외부와 내부의 기압 차이를 감지하는 기압차 감지기(Pressure differential gauge)에서 발생된 전기적 신호를 이용하여 공기압 또는 전동기로 밸브를 열고 닫도록 하는 공압/전기식 장치(Pneumatic/electrical device)로 구분된다. 기계식 장치는 함정 등과 같이 다수의 비전문 승조원이 유지 및 보수하기가 편리하며 고장발생 확률이 적은 편이나, 공압/전기식 장치에 비해 초기 압력 설정값의 변경이 어렵고 기압조절기능이 취약한 단점이 있다.

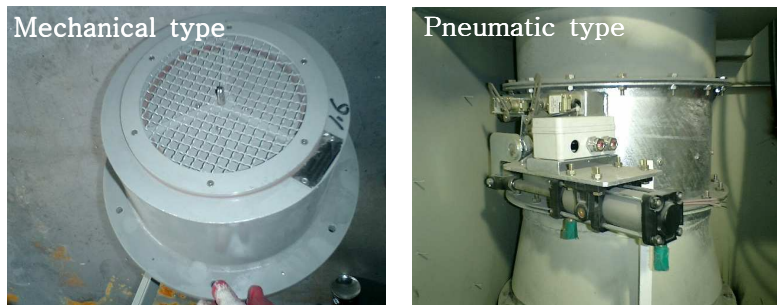


Fig. 3.4 Pressure regulating device

1.5 에어락

에어락은 비위험구역내에 양압을 저하시키지 않고 외부 또는 위험구역으로 출입할 수 있도록 하기 위해 설치되거나, 위험구역내에 설치하여 비상시 승조원이 대피할 수 있는 공간으로 활용된다. 에어락의 기밀문과 기밀문 사이의 간격은 일반적으로 1.5m에서 2.5m 정도로 설계되며[16], 기밀문의 열림 방향은 양압이 유지되는 비위험구역으로 향해야 한다. 에어락의 내부는 인접한 위험구역이나 노천의 대기압보다 높은 양압을 유지해야 하며, 일반적인 배치형상은 Fig. 3.5와 같다.

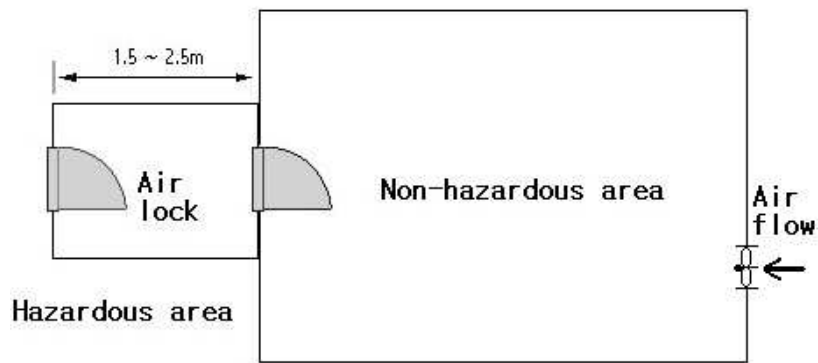


Fig. 3.5 Typical arrangement of air lock

2. 필터 설비

비위험구역으로 공급되는 공기의 흡입구는 위험구역에서 가능한 멀리 떨어진 폭로갑판에 위치하는 것이 원칙이나, 바람의 방향이나 외부의 조건에 따라 인화성가스, 위험가스, 먼지 등이 유입될 가능성이 있다. 이러한 위험에 대비하여 공기를 흡입하는 고압송풍기나 AHU 공기 흡입구측에 필터를 장착하여 가스와 먼지를 걸러주는 역할을 수행한다.

일반적으로 해양구조물이나 상선은 공기흡입구에 가스필터를 설치하지 않고 먼지필터만 설치하며, 추가로 가스탐지기를 설치하여 인화성 가스가 감지되면 비상차단밸브(Shut-off valve)를 닫아 비위험구역 내부로 침투하지 못하도록 하며 특수한 경우에만 가스필터를 적용한다. 하지만 함정은 화생방전이 발발하여도 최소한의 전투력을 보유하여야 하므로 가스필터 및 화생방필터의 장착이 의무화되어 있다[4,5].

2.1 필터의 종류

먼지와 화염은 대개 1 ~ 100 μm , 연기는 0.3 ~ 0.001 μm 의 고체입자를 가지며, 안개와 같은 액체입자는 1 ~ 100 μm 의 크기를 가진다. 따라서 공기 필터는 제거하고자하는 가스나 먼지 입자의 크기에 따라 Table 3.3과 같이 크게 4가지로 분류할 수 있으며, 프리필터(Pre-filter)나 미디엄필터(Medium filter)는 일반적으로 고성능 필터 보호용으로 굵은 먼지를 제거하는데 이용되며, HEPA(High efficiency particulate air) 필터는 0.3 μm 미립자에 대해 99.97% 포집율을 가진 필터이며, ULPA(Ultra low penetration air) 필터는 0.1 μm 이상의 입자에 대해 99.999% 이상의 포집율을 가진 고성능 필터이다[31].

Table 3.3 Types of air filter

Type	Range of particle size	Efficiency (0.3 μ m중량법)	Operating air velocity(cm/sec)
Pre-filter	$\geq 5 \mu\text{m}$	Low(40~80%)	100 ~ 250
Medium filter	$\geq 1 \mu\text{m}$	Medium (30~80%)	Lower than pre-filter
HEPA filter	$\geq 0.3 \mu\text{m}$	High ($\geq 99.97\%$)	1 ~ 6
ULPA filter	$\geq 0.1 \mu\text{m}$	Ultra high ($\geq 99.999\%$)	1 ~ 6

함정에 적용되는 필터는 HEPA 필터 이상의 성능을 요구하고 있으며, 구성은 Fig. 3.6과 같다. 함정은 비위험구역의 체적이 상선에 비해 월등히 넓고 요구되는 풍량이 많아 필터를 병렬로 연결하여 사용한다.

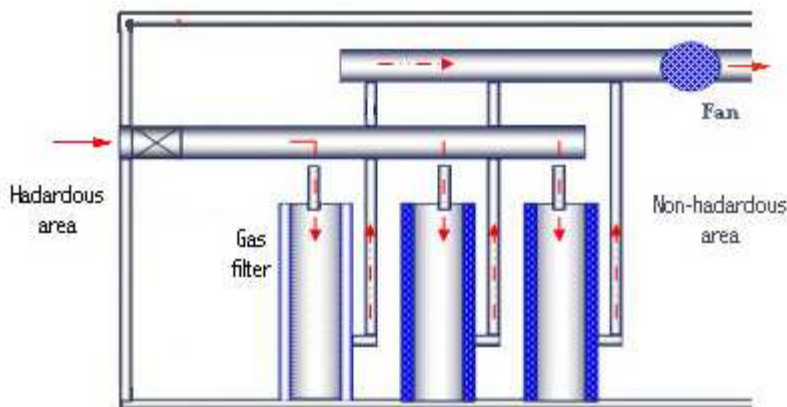


Fig. 3.6 Composition of NBC^{주4)} filter for naval ship

2.2 국제규격에 따른 필터의 분류

유럽 국가의 규격제정기관 연합인 CEN에서는 상용 필터에 대해 필터 표준

주4) NBC : Nuclear, biological and chemical

인 EN 779와 EN 1822를 제정하여 선박 및 산업 전반에 적용하고 있으며, 표준서에서 분류하는 필터의 세부 사양은 Table 3.4와 같다[32,33].

Table 3.4 Filter classification according to the EN filter standards

Standard	Classes	Pressure drop	Type	Standard	Class	Pressure drop	Type
EN 779	G1	40 ~ 60 Pa	Medium efficiency filter	EN 1822	H10	250 Pa	HEPA filter
	G2				H11		
	G3				H12		
	G4				H13		
	F5	60 ~ 140 Pa	Fine efficiency filter		H14	115 Pa	ULPA filter
	F6				U15		
	F7				U16		
	F8				U17		
F9							

고효율의 필터일수록 공급 공기의 압력강하가 크며, 이로 인해 더욱 고용량의 공급 송풍기가 요구된다. 따라서 필터 설계시에는 대상 선박의 용도 및 위험요소 분석을 통해 상기 table의 분류에 따라 가장 적절한 필터를 선정하여 적용하여야 한다.

3. 기타 설비

양압 및 필터 설비 이외의 기타 설비로는 해양구조물이나 선박의 외부에 위험물질이나 가스가 존재하는지를 감지하는 가스감지기와 거주구역이나 기관구역의 화재 발생시 연기 및 열을 감지하는 방화댐퍼 등의 감지장치와 위험상황 발생시 외부나 타격실로 통하는 통풍관이나 개구부를 닫아주는 비상차단밸브, 원격차단댐퍼(Remote control damper), 방화댐퍼 등의 차단설비 및 위험상황을 승조원이 항시 거주하는 조종공간 등으로 통보하는 경보장치 등으로 구성되어 있다.

3.1 차단댐퍼

비위험구역과 위험구역사이 또는 비위험구역 내부의 방화격벽에 설치되는 통풍관에는 방화댐퍼, 비상차단댐퍼 등 차단댐퍼를 설치하여, 위험구역이나 비위험구역 내부에서 발생한 화재나 연기가 인접한 비위험구역으로 전파되는 것을 방지하는 역할을 수행한다.

차단댐퍼는 화재감지거나 가스감지기에 연동되어 전기적인 신호를 받아 자동으로 작동되며, 일반적으로 공압작동방식(Pneumatic operating type)을 사용하고 있다. 댐퍼 작동에 사용되는 압축공기는 Fig. 3.7의 다이어그램과 같이 선박의 고압 공기압축기에서 생성되는 5 ~ 20 bar 정도의 압력을 가진 공급공기를 활용하며, 레귤레이터를 통해 5 ~ 10 bar로 감압하여 댐퍼 작동을 위한 액츄에이터에 공급된다.

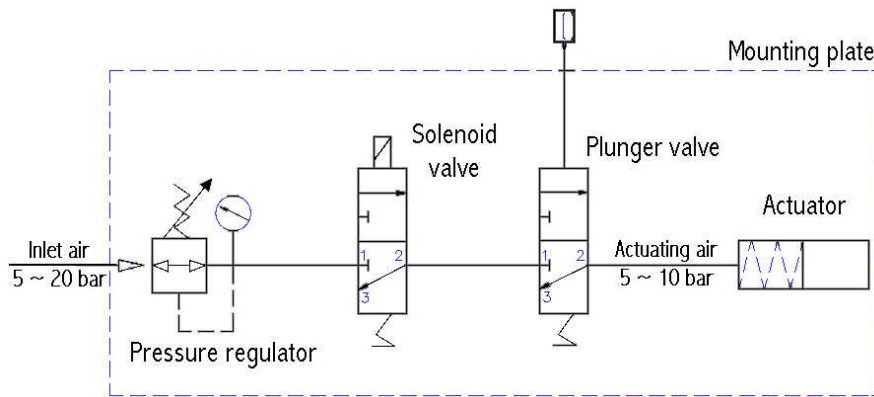
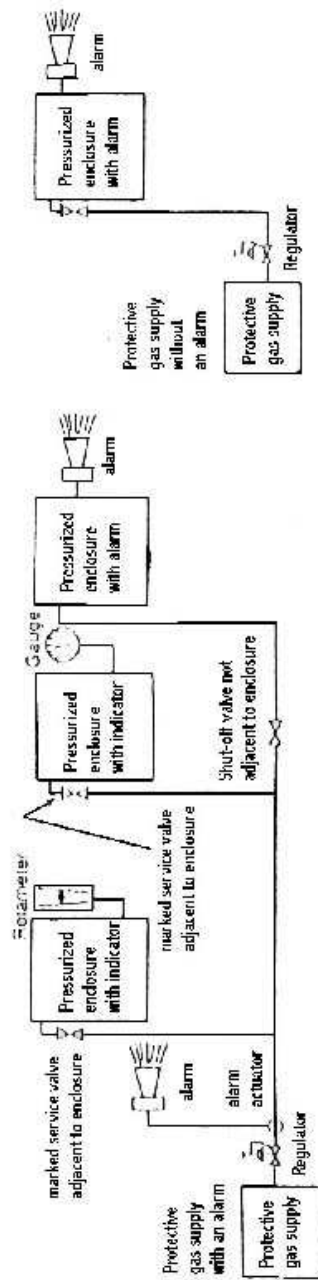


Fig. 3.7 Typical pneumatic diagram of fire damper

3.2 경보 및 감시 시스템

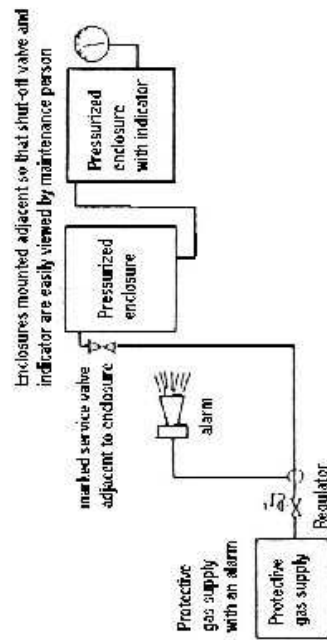
선박이나 해양구조물에 설치되어 있는 안전과 관련된 모든 장비의 작동상태, 고장상태, 비상작동상태 등은 승조원이 상주하는 비위험구역내의 조종실에서 감시, 조종 및 통제가 되어야 하며, 위험상황이 발생하면 시각 및 청각으로 인지할 수 있는 경보장치가 설치되어야 한다.

이러한 역할을 수행하는 경보 및 감시시스템은 가스감지기, 연기감지기, 기압차 감지기 등 감지장치와 송풍기, 기압조절장치, 차단댐퍼 등 작동장치간의 연동신호를 주고받아 비상상황 발생을 억제하거나 비상시에 상호간에 적절히 작동될 수 있도록 한다. 경보 및 감시시스템의 설계방법에 대한 대표적인 예는 Fig. 3.8과 같다.

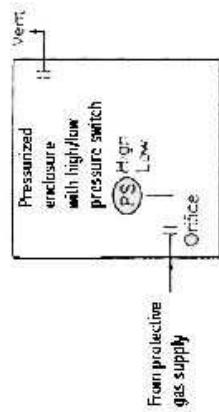


Example 1 : Shows indicators may be used if protective gas supply has an alarm and the snuff-off valve is adjacent to the enclosure.

Example 1 : Shows enclosure alarm can also fulfill requirement for protective gas supply alarm



Example 3 : Shows multiple enclosures can be series purged



Example 1 : Shows enclosure with internal fail-safe, high/low pressure switch arranged to alarm in an attended location that can fulfill requirement

Fig. 3.8 Typical alarm and indicator configurations for pressurizing area

IV. 설계 및 건조 사례

국제규격, 표준 및 선급협회 규칙에 따라 설계 및 건조된 위험물 취급 선박과 해양구조물의 사례에 대해 파악한다.

안전규칙을 적용 받는 선박은 해양에서 석유 또는 가스를 시추하거나 생산하는 해양석유/가스설비, 생산/저장/하역하는 부유식 석유생산설비, 해양시추/생산설비에 작업용 원자재를 공급하는 지원선박 등 해양자원을 생산하는 설비와 위험물을 운반하는 LNG/LPG 운반선, 고압화물 운반선 등의 선박이 있다. 민수용 선박 이외에도 첨단화된 화학전, 생물학전 및 방사능전시 승조원의 인명을 보호하도록 요구되는 함정 등 특수선박이 있으며, 본장에서는 이러한 위험요소를 가지고 있는 선박을 대상으로 II장에 기술한 표준과 규정에 따라 건조된 실제 사례를 검토한다.

1. 부유식 석유생산설비

부유식 석유생산설비(FPSO)는 Fig. 4.1과 같이 해저에 매장된 석유를 생산하면서 저장과 하역을 겸하는 선박으로서, 선박의 하부에는 석유를 저장하는 탱크를 배치하고 상부구조에는 석유를 생산하는 설비를 갖추고 있다. 따라서 석유의 생산, 저장 및 이송 중에 발생하는 인화성 가스와 물질에 노출될 위험이 크며, 작업요원이 거주하는 거주구역 및 조종구역이 위험구역과 인접한 위치에 배치됨으로 폭발 또는 위험가스 침입의 위험이 상존하고 있다.

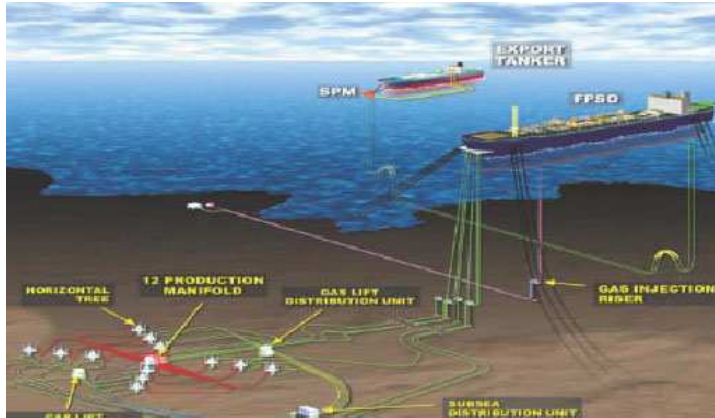


Fig. 4.1 Configuration of FPSO and support vessel

본 논문의 검토대상 FPSO는 미국의 엑슨모빌(Exxon Mobil)사가 발주하고 현대중공업이 건조하여, 서아프리카 앙골라 북서쪽 370km 해상인 Kizomba field에 배치 및 운영되는 선박이다. 적용되는 선급은 노르웨이 선급협회인 DNV(Det norske veritas)이며, 주요 제원 및 형상은 Table 4.1, Fig. 4.2와 같다.

Table 4.1 Principal dimensions(approx.) of FPSO in kizomba field

구 분	사 양
Length overall	285.0 m
Beam	63.0 m
Depth	32.3 m
Light weight	85,000 tonnes
Complement	100 persons



Fig. 4.2 FPSO in kizomba field

1.1 일반배치의 특성

아래의 사항을 고려하여 FPSO의 일반배치가 결정된다.

- 1) 위험구역의 설정과 통풍시스템
- 2) 시스템의 안전에 대한 설비 및 조종장치의 선정
- 3) 화재방지설비 및 소화설비
- 4) 위험시 탈출통로의 배치
- 5) 방화격벽 및 안전구역 설정

일반배치 설계시에 가장 신중하게 고려해야하는 구역은 석유생산설비구역으로서 위험가스를 배출하여 선박의 안전에 큰 영향을 미치는 구역으로 다음의 사항을 고려하여 설계된다.

- 1) 바람의 영향을 고려하여 거주구역과 반대쪽에 배치(거주구역이 선수에 있으면 생산설비는 선미측에 배치)
- 2) 석유생산설비의 접근성, 유지보수 및 작동의 용이성
- 3) 석유저장탱크의 상부에 수평으로 배치하거나 전후부에 수직으로 배치
- 4) 발전설비, 터릿(turret), 디젤기관 등과 격리하여 배치

- 5) 석유생산설비 주위에는 이중격벽 배치
- 6) 석유하역설비와 작업성 고려

Kizomba field에서 운용되는 FPSO의 경우에도 Fig. 4.3(주갑판 상부에 설치되는 생산설비는 제외)에서와 같이 거주구역을 선수부에 배치하고 석유저장탱크 상부에 생산설비와 조종실(Control module)을 독립적으로 배치하며 연소가스가 발생하는 연소타워(Flare tower)를 선미부에 배치하여 위험요소를 감소시켰다.

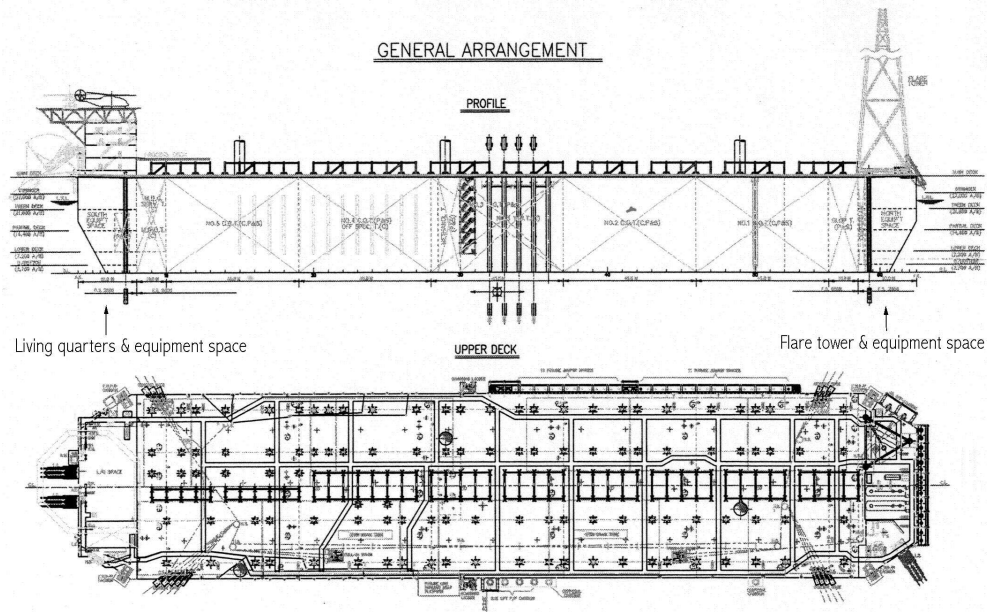


Fig. 4.3 General arrangement of FPSO in kizomba field

1.2 위험방지를 위한 통풍설계 요구조건

화재나 폭발에 의한 위험상황 발생시 거주구역 및 조종공간에 상주하는 승조원의 안전을 확보하기 위해 비위험구역내에 공기조화설비를 통해 외부의

대기압에 비해 상대적으로 높은 양압을 가하며, 이러한 양압을 계속적으로 유지하기 위한 설비와 위험상황에 따른 위험신호 발생, 구역 격리, 통풍 등 관련 설비를 설치하고 있다. 이러한 설비는 선수부에 위치한 거주구역과 탱크상부에 위치한 조종실에 대해 각각 분리 독립적으로 구성되어 있다.

거주구역은 모든 출입구를 닫고 외부 대기압보다 25 Pa 이상의 양압을 유지하며, 위험구역내에 위치한 조종실은 25 Pa 이상의 양압을 유지하고 2개의 출입구가 열렸을 경우에는 내부에서 외부로(비위험구역에서 위험구역으로) 0.3 m/sec 유속으로 공기의 흐름이 생기도록 요구하고 있다.

1.3 거주구역 통풍설비의 구성

거주구역 외부공간은 정상적인 작동상태에서 비위험구역이지만 모든 설비는 class I, division 2의 위험구역에 적합한 요구조건을 만족해야 하며, 거주구역 내부는 비위험구역으로 분류된다. 거주구역에 적용되는 통풍설비는 AHU, 송풍기, 공기공급계통(Make-up air system), 공기배출계통, 조종통제 시스템 등으로 구성된다.

1.3.1 AHU

AHU(Air handling unit)는 거주구역 상부에 설치되어 있으며, 가압장치(Pressurizing unit)와 AHU로 구성되어 있다. 가압장치는 거주구역에서 요구하는 양압을 유지하기 위해 고압 및 대용량의 공기를 AHU로 공급하는 역할을 수행하며, 프리필터(Pre-filter)와 2대의 축류송풍기(1대는 비상용)로 구성되어 있다. 축류송풍기는 거주구역내에 설치된 기압차 감지기와 연동되어 기압 저하가 발생되면 송풍기의 회전수를 높여 더욱 많은 양의 공기를 공급할 수 있도록 되어 있다. AHU는 공기혼합부, 공기필터, 냉각코일, 원심 송풍기, 조종패널로 구성되어 있으며, 필터는 프리필터와 파이널필터(Final filter)의

2중 구조를 취하고 프리필터는 최소 95% 이상의 포집효율을 가지며 압력강하는 최대 90 Pa 이하의 성능을 가진다. 파이널필터는 최소 99.5% 이상의 포집효율을 가지며 압력강하는 최대 90 Pa 이하의 성능을 가지며, 최종적으로는 2 단계의 필터를 통해 6 μ m 입자의 이물질을 99% 이상 제거할 수 있는 성능을 요구하고 있다. 원심송풍기는 2대가 병렬로 배치되어 있으며 1대는 비상용으로 운용된다. Fig. 4.4 및 4.5는 AHU의 외관 및 다이어그램이다.



Fig. 4.4 Pressurizing unit and air handling unit for living quarters

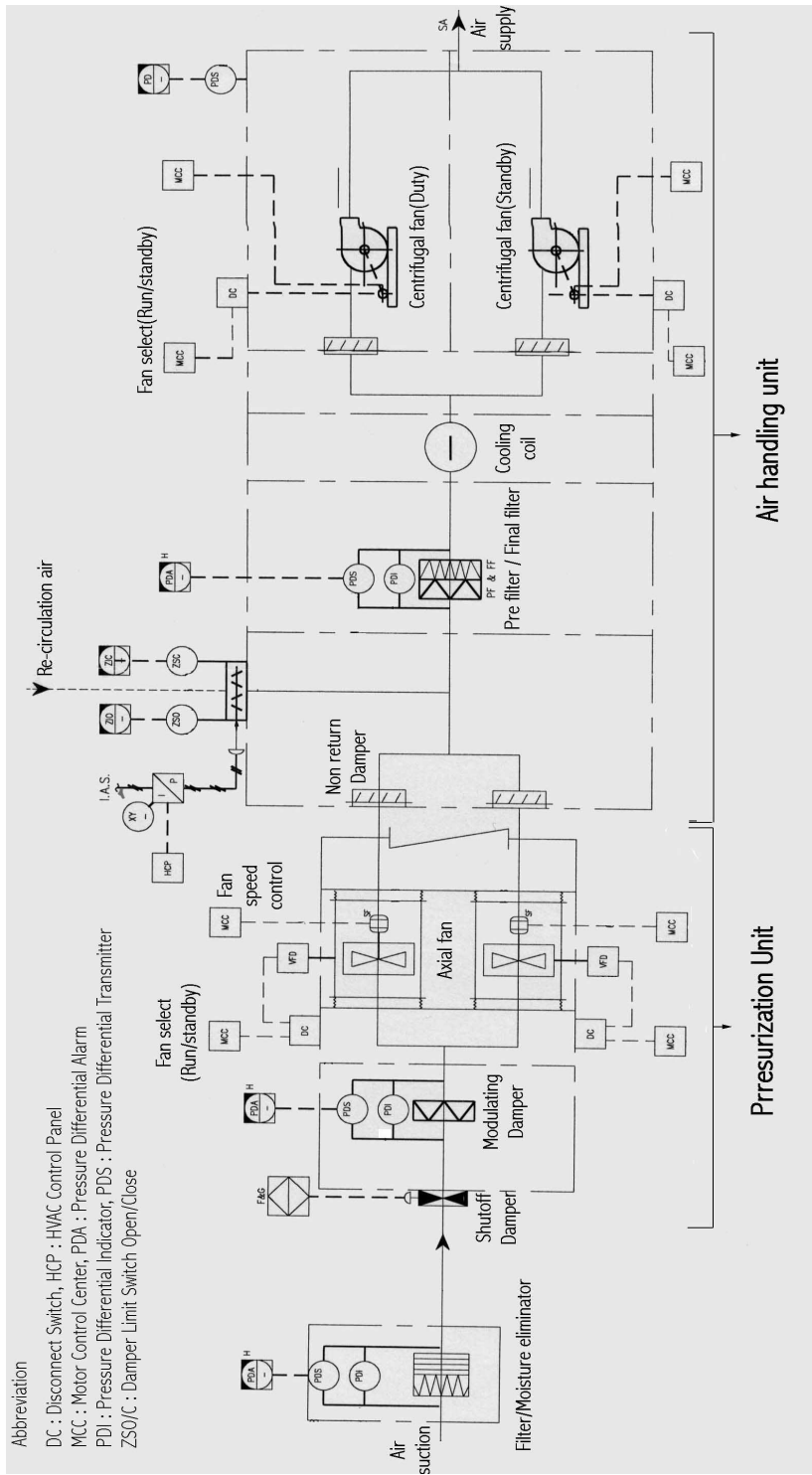


Fig. 4.5 Diagram of AHU for living quarters

1.3.2 공기공급 및 배출용 송풍기

공기공급 시스템은 취사장에 적용되며, 배출 공기량의 85% 용량으로 설계되고, 송풍기의 형식은 원심형을 적용한다. 배출 공기량의 15%는 인접한 거주구역에서 유입되는 공기를 활용하여 취사장에서 발생한 악취가 거주구역으로 침입하지 못하도록 하고 있다. 공기배출 시스템은 화장실, 세탁실, 운동시설, 취사장 등에 적용되며, 취사장에 대해서는 독립적인 배출설비를 구성되어 있다.

1.3.3 방화댐퍼

방화격벽, 바닥, 거주구역의 천정을 관통하는 관통구에는 반드시 방화댐퍼를 설치해야하며, 화재나 가스감지시스템에 의해 고장/잠김/열림 상태가 감지되고 자동 잠금기능을 보유하고 있다. 또한 거주구역내의 양압상태와 연동되어 과도한 기압 증가나 감소가 발생되면 자동으로 열리거나 닫혀 항상 요구되는 일정 양압을 유지하도록 하는 압력조절기능을 보유하고 있다.



Fig. 4.6 Fire damper and local control panel

1.3.4 위험감시 시스템

거주구역의 위험상황은 조종공간에 위치한 감시시스템에 의해 통제되며, 감시패널(Monitoring panel)에는 AHU, 공기공급/배출용 송풍기, 방화댐퍼의 작동 및 상태를 확인하고 원격조종할 수 있다. 위험상태 감지장치는 연기감지기와 가스감지기로 구성되어 있으며, 연기감지기는 AHU의 공기흡입측에 설치되어 연기가 감지되면 AHU의 송풍기를 정지시키고 경보를 울리는 역할을 수행한다. 가스감지기는 공기공급계통에 설치되며 공기중에 연소가스가 20% LEL(Lower explosion limit)이 되면 경보를 울리고 60% LEL이 되면 시스템을 차단시키는 역할을 수행한다. 기압차 감지장치는 거주구역 내부에 설치되며 양압상태를 감시하며 기압의 변동 발생시 감시시스템 및 방화댐퍼로 신호를 보내 적정 양압을 항상 유지할 수 있도록 한다.



Fig. 4.7 Combustible gas detector and Pressure differential device

1.4 조종실 통풍설비의 구성

조종실(Control module)은 석유저장탱크 상부에 위치하며, 생산설비를 조종/통제하는 구역으로 위험구역내에 배치된 비위험구역이다. 따라서 각각의

조종실마다 독립된 통풍설비가 구성되어 있다.

조종실에 적용되는 통풍설비의 구성은 거주구역의 설비와 유사하며, 추가적으로 설치되는 것은 위험구역으로 통행시 내부의 양압이 유지되도록 하기 위한 에어락과 독립된 조종실마다 별도의 시스템 감시패널(System monitoring panel)을 보유하고 있다.



Fig. 4.8 Air lock and HVAC control panel for control module

조종실의 공간은 거주구역에 비해 상당히 협소하므로 별도의 가압장치가 필요 없으며, AHU만으로 요구되는 풍량을 공급하여 양압을 유지하고 있다.

Fig. 4.9는 조종실에 적용되는 AHU의 다이어그램이다.

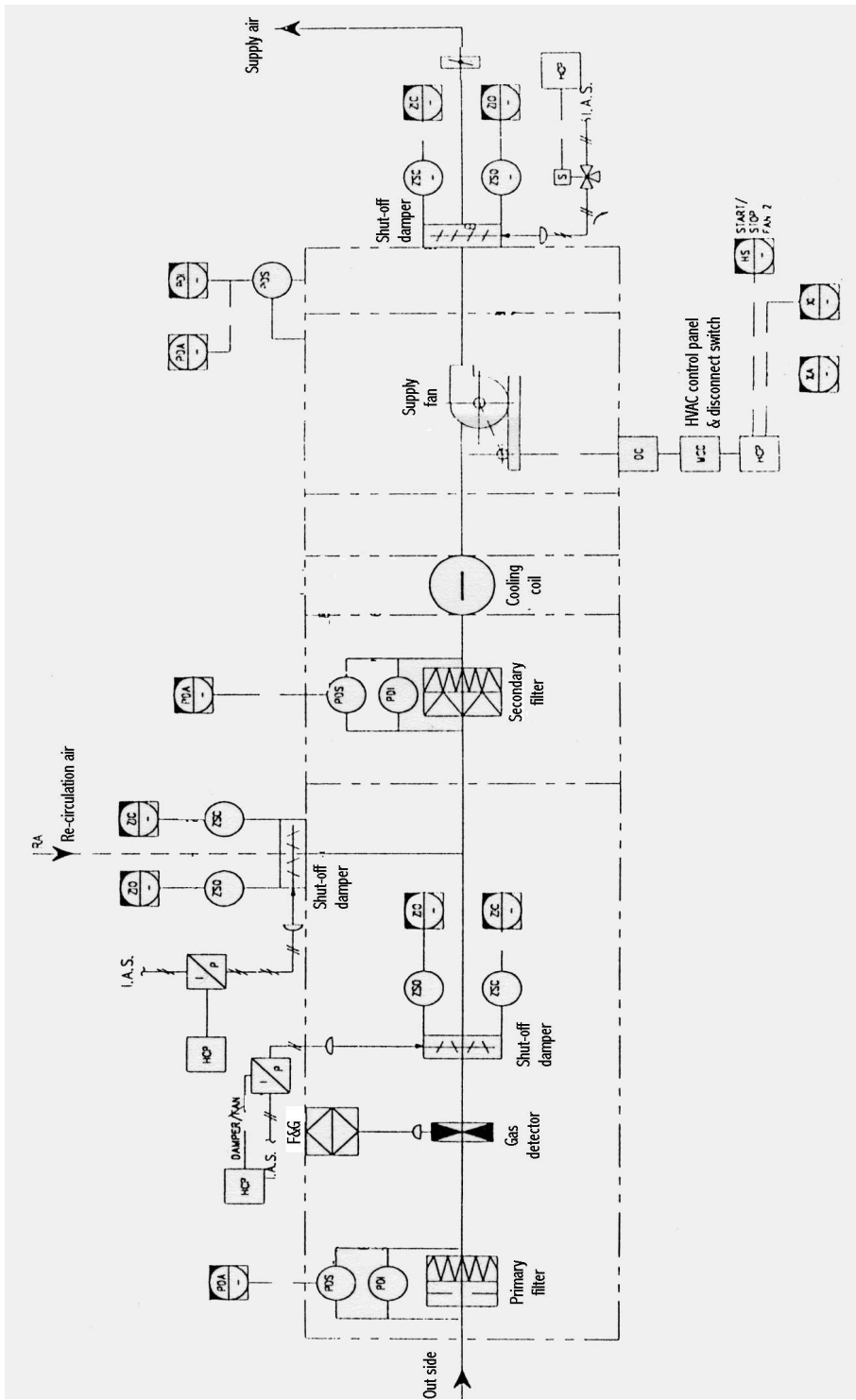


Fig. 4.9 Diagram of AHU for control module

2. 해양시추설비

해저에 매장된 석유나 천연가스를 시추하는 설비인 해양시추선은 잭업 리그(Jack-up rig), 반잠수식 리그(Semi-submersible rig), 시추선(Drill ship) 등 크게 3가지로 구분되며[34,35], 석유 시추시에 발생하는 인화성 가스나 물질에 의해 항상 폭발의 위험을 안고 있는 설비이다. 따라서 위험가스를 배출하거나 거주구역으로 위험가스가 유입되지 못하도록 하는 통풍설비의 설계 요구조건이 매우 엄격하다. 본 논문의 검토대상 석유시추선은 미국의 BP사 (BP America production company)가 발주하고 대우중공업에서 건조하여 멕시코만의 Thunder horse field에 배치 및 운영되는 반잠수식 리그이다. 적용되는 선급은 미국선급협회인 ABS(American bureau of shipping)이며, 주요 제원 및 형상은 Table 4.2, Fig. 4.10과 같다.

Table 4.2 Principal dimensions(approx.) of semi-submersible rig in thunder horse field

구 분	사 양
Length	122.9 m
Width	105.0 m
Height	57.0 m
Weight	58,767 tonnes



Fig. 4.10 Semi-submersible rig in thunder horse field

2.1 위험구역의 분류

시추설비의 구역은 ABS 규격 및 API 표준에서 요구하는 Zone 0, 1, 2 등 3가지의 위험구역으로 분류되었고, 각각의 위험구역별 세부 격실은 Table 4.3과 같다. 위험구역으로 분류된 격실은 외부 대기압에 비해 50 Pa 이상의 음압을 유지해야하며, 비위험구역은 인화성 가스의 유입을 방지하기 위해 대기압보다 최소 50 Pa 이상의 양압을 유지하도록 요구하고 있다.

Table 4.3 Area classification of semi-submersible rig in thunder horse field

Area classification		Room name
Non hazardous area		Living quarters, Mud pump room, HVAC room, Access trunk, Warehouse, Control room, etc
Hazardous area	Zone 1	Subsea equipment room
	Zone 2	Mud pit room, Battery room, Air lock, Liquid mud tank, etc

2.2 통풍설비의 구성

거주구역은 위험구역인 작업구역과 인접하게 위치하고 있어 안전을 위한 통풍설비의 설치가 불가피하다. 따라서 AHU를 이용하여 전 거주구역에 냉난방 및 양압을 유지하기 위한 공기를 공급하고 있으며, 취사장, 화장실 등은 별도의 배출 송풍기를 설치하여 적절한 통풍이 되도록 한다. AHU의 공기흡입구에 설치되는 필터는 EN 779의 class 7 이상을 요구하고, 송풍기는 원심형이 설치되었다.

위험구역내에 위치한 조종공간, 탈출트렁크(Access trunk) 및 작업구역에는 Fig. 4.11과 같이 별도의 독립된 축류형의 공기공급 송풍기를 설치하고,

공기조절 댐퍼(Balancing damper)가 부착된 자연통풍구를 설치하여 내부의 공기가 외부로 빠져 나가도록하여 요구되는 양압을 유지하고 있다.

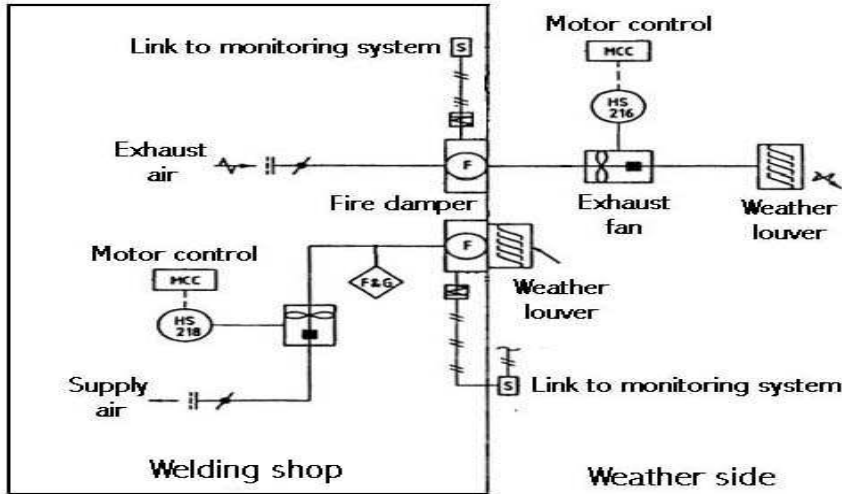


Fig. 4.11 Schematic of ventilation for working area

배터리실이나 펌프실 등 위험가스가 발생할 수 있는 위험구역은 Fig. 4.12와 같이 독립된 축류형의 공급송풍기를 1대 설치하고, 원심형 또는 축류형의 배출송풍기를 2대(1대는 비상용) 설치하여 위험가스를 외부로 배출하고 내부의 기압이 항상 음압을 유지할 수 있도록 구성되어 있다. 이러한 위험구역은 강제통풍 및 강제배출에 의해 격실내부의 기압을 조절하므로, 기압조절용 댐퍼 등 격실내부의 음압조절용 장비가 필요없고 송풍기의 풍량 및 공기조절 댐퍼를 조절하여 통제하고 있다.

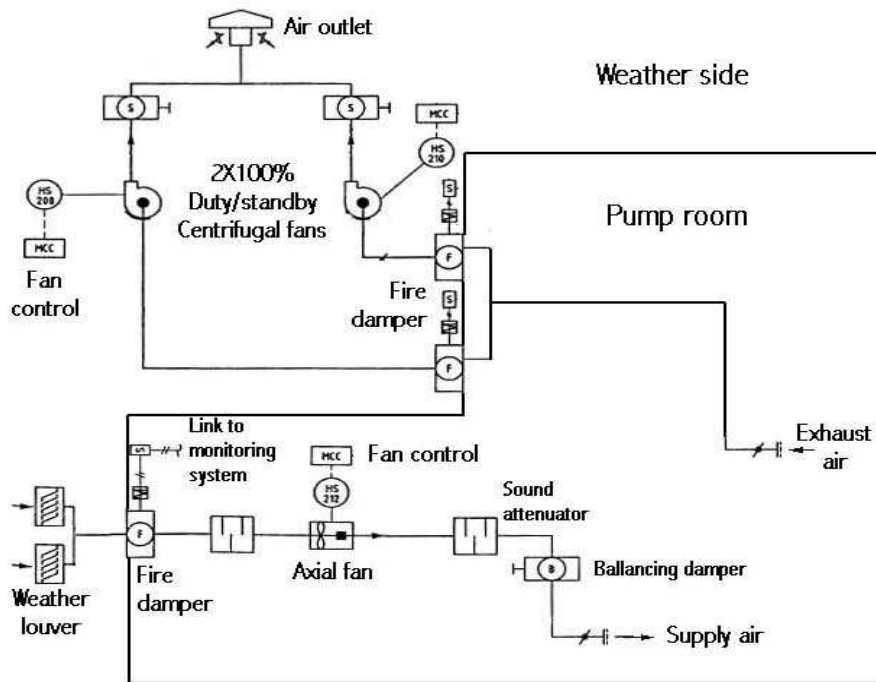


Fig. 4.12 Schematic of ventilation for hazardous area

3. 해양구조물 지원선박

해양구조물 지원선박(Well services maintenance support vessel)은 석유 시추/생산 작업용 진흙, 유지/보수 부품 등을 공급하거나 수리업무를 지원하는 선박으로 유전지역을 주로 항해함에 따라 위험선박으로 분류된다.

본 논문의 대상 선박은 사우디아라비아의 국영석유사인 Saudi Arabian Oil Company가 발주하고 현대중공업에서 건조한 선박으로 주요 제원 및 형상은 Table 4.4, Fig. 4.13과 같으며, 적용되는 선급협회는 미국선급협회인 ABS(American bureau of shipping)이다.

Table 4.4 Principal dimensions(approx.) of well services maintenance support vessel

구 분	사 양
Length overall	75.0 m
Beam	17.0 m
Service speed	13.0 knots
Deadweight	800 tonnes



Fig. 4.13 Well services maintenance support vessel

3.1 위험구역의 분류

인화성 가스 또는 증기가 폭발의 위험에 이를 정도로 축적될 수 있는 구역을 위험구역으로 분류하며, 위험구역으로 분류되는 세부 격실은 다음과 같다.

- 1) 기름 찌꺼기를 보관하는 탱크
- 2) 화물이송 펌프룸(Cargo pump room)
- 3) 기름탱크에 인접한 코퍼댐(Cofferdam)이나 공간
- 4) 하역작업을 하는 선미부의 주갑판이나 상부갑판
- 5) 기름탱크 개구, 펌프룸 개구 및 코퍼댐의 반경 3 m 이내에 위치한 폭로갑판상의 반밀폐구역을 포함한 공간
- 6) 기름탱크로 통하는 통로에서 폭로갑판상부 최대 2.4 m 높이 및 반경 3 m 이내 구역
- 7) 기름탱크로 통하는 파이프라인이 관통하는 밀폐 또는 반밀폐구역
- 8) 양압통풍이 되지 않고 위험구역으로 직접 통행할 수 있거나 위험구역으로 통하는 개구가 있는 공간

3.2 위험방지를 위한 통풍 요구조건

모든 거주구역 및 조종공간은 외부의 대기압보다 50 ~ 100 Pa의 양압을 유지하여 선박 외부에 존재하는 위험가스가 내부로 침입하지 못하도록 하고 있다.

3.3 통풍설비의 구성

선박 내외부에서 발생하는 위험요소에 대한 방지대책으로 적용되는 통풍설비는 AHU, 기계식 공기배출시스템(Mechanical exhaust system), 기계식 통풍시스템(Mechanical ventilation system), 가스감지 및 경보 시스템 등으로 구성된다.

3.3.1 AHU

AHU는 선박내부의 비위험구역에 냉난방 및 양압을 유지하기 위해 공기를 공급하는 장비로 각 갑판별 1개씩의 독립된 총 5대의 AHU를 배치하고, 전력변환기실(Converter room)과 기관조종실에는 별도의 AHU를 배치하였다. 공기흡입 루버에는 수동으로 개폐가 가능한 댐퍼와 먼지를 걸러주는 EN filter standard의 F7 class 필터를 설치하고, 비위험구역인 선수부에 배치하였다. 조타실을 담당하는 AHU는 외부공기 25%, 내부 순환공기 75%의 비율로 해당 격실에 공급하며, 거주구역을 담당하는 AHU는 외부공기 40%, 내부 순환공기 60%의 비율로 해당 격실에 공급한다. 전력변환기실과 기관조종실을 담당하는 AHU는 외부공기 5%, 내부 순환공기 95%의 비율로 공급하며 100% 용량의 비상용 잉여설비를 추가로 설치하여 비상시에 작동될 수 있도록 설계되었다. 거주구역의 경우에는 해당 격실이 많고 체적이 크므로 내부의 공기를 순환시키기 위한 Fig. 4.14와 같은 별도의 재순환 송풍기(Re-circulation fan)을 설치하여 강제로 공기조화기실로 재순환시킨다.



Fig. 4.14 Air Handling Unit and re-circulation fan

3.3.2 기계식 공기배출시스템

공기조화구역내에 설치된 조리구역, 위생구역, 세탁실, 창고, 작업구역 및 창고, 폐기물 창고 등은 악취가 발생하거나 비위생적이므로 공기 배출시스템

인 고압의 원심송풍기를 별도로 설치한다.

3.3.3 기계식 통풍시스템

위험구역과 비위험구역의 통풍시스템은 별도의 독립된 시스템으로 구성되어 있으며, 위험구역에 인접한 비위험구역은 상대압 50 ~ 100 Pa의 양압을 유지하고 항상 모니터링되며, 공기흡입구는 가스발생지역과 가능한 멀리 떨어진 폭로갑판상의 안전한 공간에 설치되어 있다. 위험구역은 강제 통풍시스템에 의해 시간당 최소 12번 이상 환기된다.

기계식 통풍시스템(Mechanical ventilation system)을 적용하는 격실 및 시간당 환기비율은 Table 4.15와 같다.

Table 4.5 Mechanical ventilated compartments

Compartment	Supply/Exhaust per hour	Guidance air changes
Bow thruster compartment	Supply	to suit permitted temperature rise (or minimum 10)
Engine room	Supply	
Propulsion motor room	Supply	
Emergency generator room	Supply	10
Battery locker	Exhaust	30
Boat, safety, bosun's, CO ₂ stores	Exhaust	10
Heli locker	Exhaust	10
Garbage locker	Exhaust	10
Producing store	Exhaust	10
A/C machinery room	Exhaust	10
Paint store	Exhaust	20

거주구역, 기관조종실 등 비위험구역으로 통하는 출입구, 통풍 관통구 및 기타 관통구는 위험구역의 외부에 배치되어 있다. 위험구역으로 통하는 출입구에는 기밀문 및 자동 잠금장치를 설치하고, 열림방향이 비위험구역으로 향하도록 하여 양압을 유지할 수 있도록 되어 있다.

3.3.4 가스감지 및 경보시스템

가스감지 및 경보시스템(Gas detection and alarm system)은 승조원의 안전을 목적으로 설치되며, 총 24개의 감지기와 조타실의 주패널(Master panel)에 설치된 감시장치로 구성되어 있다. 가스감지기는 탄화수소가스(Hydrocarbon gas)가 20% LEL과 60% LEL까지 집중이 되거나, H₂S가 5 ppm 및 10 ppm이 되면 시각 및 청각경보를 발생하며 감지기가 고장일 경우에도 주패널에 전시되도록 되어 있다.

3.3.5 에어락

선박내의 양압을 유지하면서 외부로 출입할 수 있도록 하기 위해 Fig. 4.15와 같이 노천이나 작업구역으로 통하는 출입구에는 에어락을 설치하고 있다. 노천으로 통하는 출입구의 내측 문은 자동닫힘장치(Self closing device)가 부착된 조이너형식(Joiner type)이며, 노천으로 통하는 외측 문은 기밀 및 수밀문(Air/water tight type)을 설치하고 있다. 또한 선박의 내외부 환경을 파악할 수 있도록 에어락의 문에는 환창(View port)을 설치하였다.



Fig. 4.15 Air lock in working area and accommodation

연소가스 및 위해가스가 발생되는 위험구역인 기관실과 추진전동기실 (Propulsion motor room)에는 위험상황 발생시 작업자의 안전을 보호할 수 있도록 독립된 공기 공급송풍기와 기압조절밸브(Pressure regulating valve)를 배치하여 50 ~ 100 Pa의 양압을 유지하는 대피장소인 Fig. 4.16과 같은 에어락의 일종인 임시대피장소(Temporary refuge)를 배치하였다.

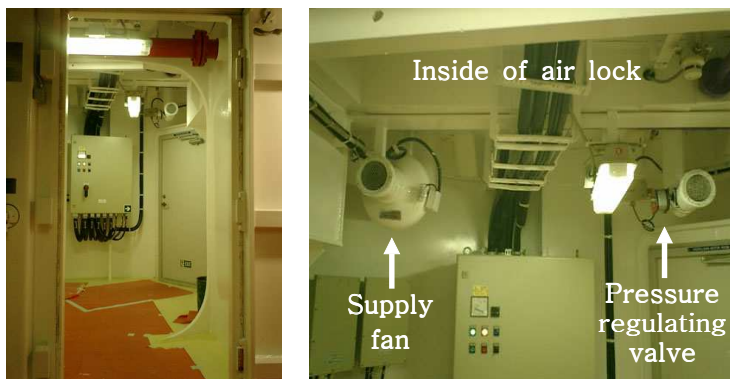


Fig. 4.16 Air lock in engine room

4. 전투함정

화생방전에 대비한 전투함정의 통풍계통 양압유지설비는 승조원의 생존에 직결되는 중요한 항목으로 민수 선박 및 해양구조물보다 더욱 엄격한 요구조건을 만족해야 한다.

4.1 위험구역의 분류

전투함정의 위험구역은 화생방전 발생시 위험에 노출되는 구역으로 승조원이 전투 배치되는 조종공간, 무장통제공간, 탄약창고 및 거주공간 등을 제외한 전 구역을 대상으로 하며, 일반적인 전투함정의 주요 위험구역은 Table 4.6과 같다.

Table 4.6 Hazardous areas of naval ship

	Compartment	Ventilation	
Hazardous area	Heli equipment room	Exhaust fan	
	Heli hangar		
	Heli fire fighting room		
	Heli workshop		
	Heli store/ammunition		
	Battery store		
	CO ₂ room		
	Paint store		Exhaust fan
	Chain locker		
	Boat gear locker		
	Windlass machinery room		
	Deck store		
	Bosun's store		

4.2 위험방지 대책

함외부에 존재하는 화생방 오염물질이 내부로 침입하지 못하도록 거주구역

및 조종구역에는 대기압보다 500 ~ 620Pa의 양압을 유지하며, 함정 전체를 수밀구획격벽에 따라 3 ~ 4개의 독립된 구역(Zone)으로 분리하여 1개 구역이 화생방물질에 의해 오염되어도 나머지 구역에는 영향을 미치지 않도록 하였다. 기관구역은 전투함정의 특징 및 국가별 운용방법에 따라 위험구역으로 분류되거나 비위험구역으로 분류되기도 한다.

기관구역이 비위험구역으로 분류될 경우에는 연소공기 공급 및 연소가스 발생 등 여러가지 문제점이 발생되어 디젤기관, 가스터빈 등 연소기관을 차폐장치(Enclosure)로 완전히 밀폐시키고 별도의 독립된 공기 공급/배출 송풍기를 통해 공기 공급 및 가스를 배출시킨다. 또한 일부 누출된 연소가스가 거주구역으로 침입하는 것을 방지하기 위해 일반 거주구역보다 50 ~ 100 Pa 낮은 400 ~ 450 Pa의 양압을 유지한다. Fig. 4.17은 미국 해군의 최신 예 이지스급 전투함의 비위험구역 배치현황으로 수밀격벽에 의해 4개의 비위험구역으로 분리되어 있다.

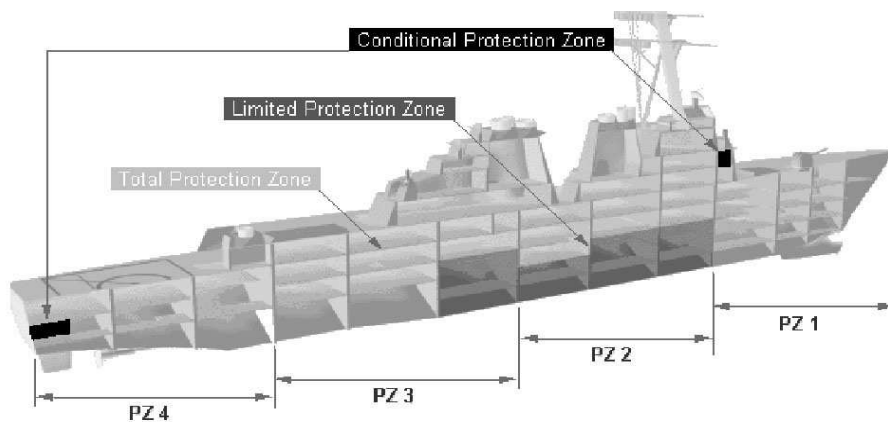


Fig. 4.17 Non-hazardous area arrangement of US navy Aegis destroyer

4.3 통풍설비의 구성

함정의 거주구역 및 기관구역에 대한 통풍설비는 필터, 고압송풍기, 공급용 송풍기, 배출용 송풍기, FCU(Fan coil unit), 에어락, 기압조절밸브, 기압감시 시스템(Pressure monitoring system) 등으로 구성된다. 각각의 장비별 배치는 Fig. 4.18, 4.19와 같으며, 각각 비위험구역별로 독립된 설비를 구성하여 설치한다.

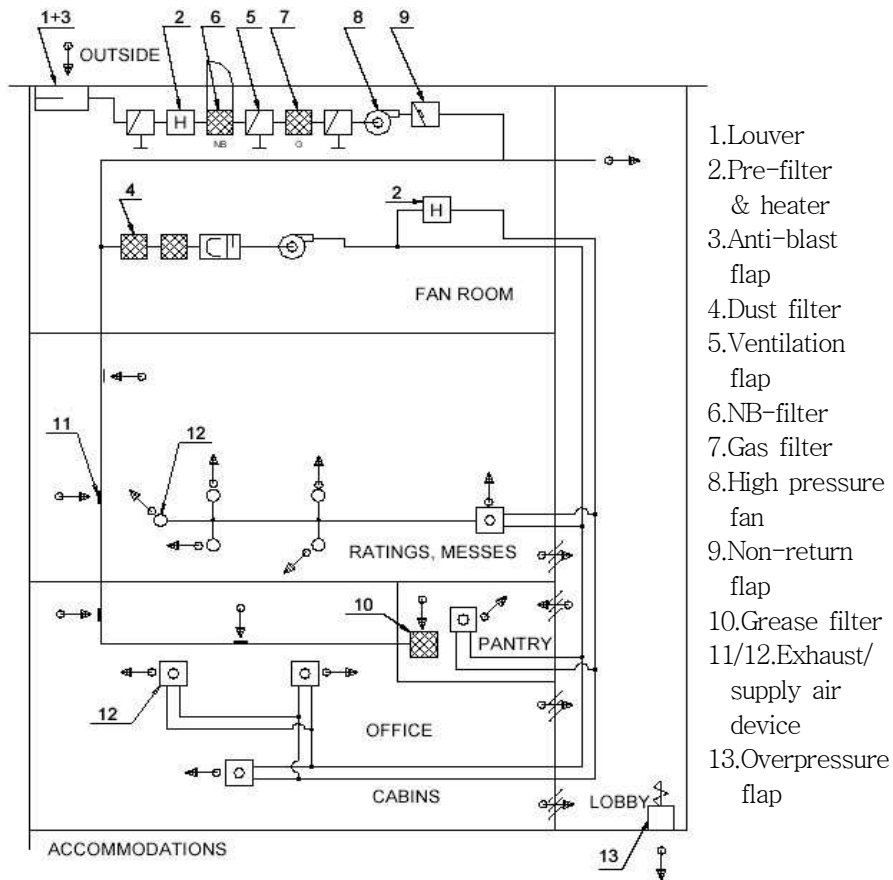


Fig. 4.18 General schematic diagram of overpressure equipment for naval ship's accommodation

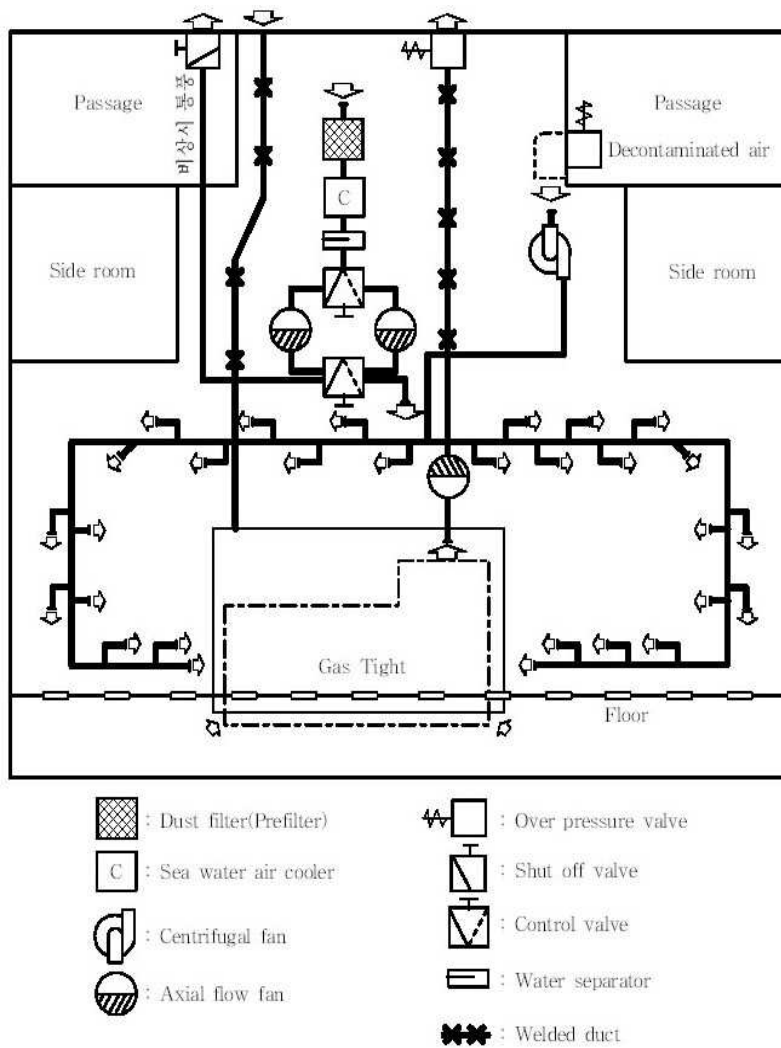


Fig. 4.19 General schematic diagram of overpressure equipment for naval ship's engine room

4.4 통풍설비의 세부구성

4.4.1 필터조립체

필터조립체(Filter assembly)는 과압방지밸브(Anti-blast valve), 프리필터(Pre-filter), 프리히터(Pre-heater), 화생방필터(CBR filter 주5), 고압송풍기, 프리쿨링코일(Pre-cooling coil) 등으로 구성된다. 과압방지밸브는 핵폭발 등 외부에서 발생된 과도한 압력을 막아 필터조립체를 보호하기 위해 설치되며, 일반적인 벤트루버(Vent louver)와 유사한 형태로 외부 압력에 의해 밸브 내부의 날개깃(Vane)이 함정의 내부 방향으로 닫혀 압력을 막아낼 수 있도록 되어 있다. 프리필터는 En 779 standard의 G class 정도의 중간효율 필터(Medium efficiency filter)로 큰 입자의 먼지를 걸러주는 역할을 한다. 화생방필터는 고효율필터(HEPA filter)와 가스필터로 구성되어 있다. 함정 내부에 양압 형성을 위해 공기를 공급하는 고압송풍기는 소음조건에는 불리하지만 대용량에 적용하는 축류형의 송풍기를 사용한다. 프리쿨링코일은 프리히터 및 고압송풍기 모터의 발열에 의한 공급공기의 온도상승을 방지하기 위해 설치되며, 냉수기(Chilled water plant)에서 공급하는 냉수를 이용한 열교환장치(Heat exchange type)를 사용한다.

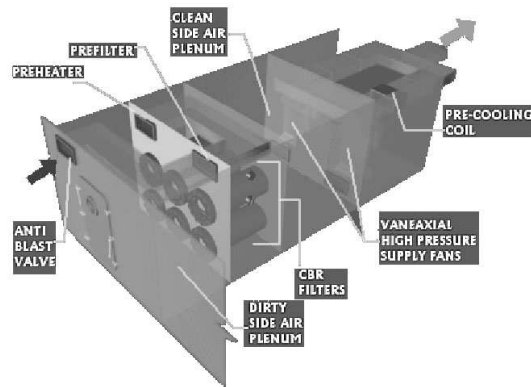


Fig. 4.20 Filter assembly for naval ship

주5) CBR filter : Chemical, biological & radiological filter

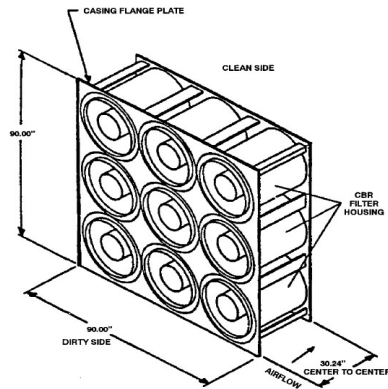


Fig. 4.21 An example of 3×3 filter housing for naval ship

4.4.2 FCU

FCU(Fan coil unit)는 필터조립체로부터 제공되는 고압의 공기와 함정 내부 격실에서 순환되는 공기를 흡입하여 비위험구역의 각 격실에 냉방 또는 난방된 공기를 공급하여 격실 내부온도를 조절하고 양압을 유지하는 장비이다. FCU는 송풍기, 모터, 냉수코일, 먼지필터, 바이패스댐퍼(Internal by pass air damper), 온도조절기 등으로 구성되어 있으며, 내부구조는 Fig. 4.22와 같다.

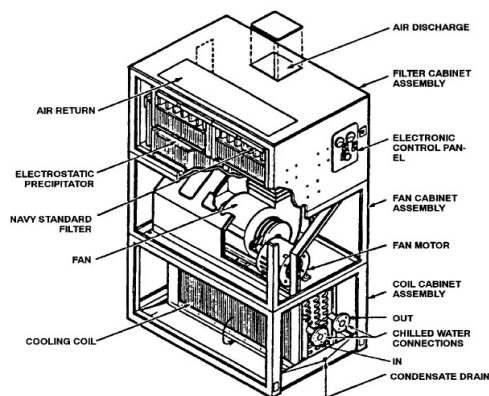


Fig. 4.22 US Navy type Fan coil unit

4.4.3 기계식 통풍시스템

비위험구역내에 위치한 취사장, 화장실, 세탁실 등에서 발생하는 악취를 제거하기 위해 배출 송풍기를 설치하며, 이때 배출되는 풍량을 감안하여 양압이 항상 유지될 수 있도록 공급 풍량을 충분히 제공한다.

기관구역은 평시에는 공급 송풍기와 배출 송풍기를 동시에 가동하여 충분한 통풍이 이루어지도록하며, 화재방전시에는 송풍기를 정지하고 비상차단밸브(Quick close valve)를 닫아 외부로 통하는 개구를 밀폐시킨 후 엔진 차폐장치(Engine enclosure) 내부 송풍기만 가동하여 연소공기를 공급한다.

4.4.4 에어락

함정의 에어락은 비위험구역에서 위험구역으로 통행을 위해 설치되며, 비위험구역에서 위험구역 방향으로 항상 일정한 공기의 흐름을 형성하여 오염된 외부 공기가 함정 내부로 침입하지 못하도록 한다. 실제 함정에 설치된 에어락의 형상은 Fig. 4.23과 같다.



Fig. 4.23 Type I and III air lock for naval ship

4.4.5 기압조절 및 감시 시스템

함정 내부의 양압이 620 Pa 이상 과도하게 상승하면 스프링 장력 또는 모터에 의해 자동 작동되는 밸브가 열려 설정된 양압이 항상 유지되도록 하는 장치가 기압조절밸브(Pressure control valve)이다. 함정 내부의 양압 상태는 국부(Local)에 설치된 압력계와 기관조종실에 설치된 원격감시패널(Remote monitoring panel)에 의해 감시되며, 설정된 압력 이하로 떨어지면 시각 및 청각 경보를 발생하여 승조원이 통제할 수 있도록 설계되었다.



Fig. 4.24 Pressure control valve and monitoring system for naval ship

V. 고찰 및 향후 발전추세

1. 고찰

II장에서 검토한 규정에 대해 각각의 특성 및 차이점을 분석하고, IV장에서 파악한 해양구조물 및 선박 건조사례를 토대로 선박의 특성별 위험방지 통풍 설계방안에 대해 고찰한다.

1.1 설계관련 규정에 대한 고찰

위험설비의 설계요구조건에 대한 규정은 II장에서 살펴본 국제규격과 선급협회규정 등이 있으며, 대부분의 선급협회규정은 NFPA, IEC, API 등 육상용 설비를 바탕으로 제정된 규정을 토대로 하여 작성되었다. 따라서, 해양구조물과 관련 선박에 대한 요구조건을 명시한 많은 규정들이 있지만 전반적인 내용은 거의 유사하며, 세부 요건중에서 선박의 용도 및 형태, 국가별 특징 등에 대한 일부 요건만이 상이한 특징을 가지고 있다.

1.1.1 위험구역의 분류

인화성가스, 연소가스 등으로부터 장비나 인체를 보호하기 위한 적절한 대책 수립을 위해 선박이나 해양구조물의 격실이나 갑판을 위험발생 가능성을 토대로 분류하고 있다. 위험구역의 분류는 규정에 따라 일부 차이는 있지만, Table 5.1과 같이 3가지의 Zone으로 크게 구분되며 각각의 규정별 특징은 Table 5.2와 같다.

Table 5.1 Typical area classification

분류		정 의
위험 구역	Zone 0	위험가스가 상존하거나, 오랜기간 존재하는 구역
	Zone 1	위험가스가 정상적인 작업조건하에서 발생 가능한 구역
	Zone 2	위험가스가 정상적인 작업조건에서는 거의 발생하지 않거나, 발생하더라도 단기간 동안만 존재하는 구역
비위험구역		인체나 장비에 유해한 가스가 발생하지 않는 구역

Table 5.2 Comparison of rules for area classification

	국제규격		국가별 표준			선급협회 규칙			함정 규정
	IEC	ISO	NFPA	API	HSE	DNV	LR	ABS	미해군 사양
위험 구역 분류	Zone 0,1,2	Zone 0,1,2	Zone 0,1,2 (Class, Division 으로 세분화)	Zone 0,1,2 (Class, Division 으로 세분화)	Zone 0,1,2	Zone 0,1,2 (위험가스 잔존시간 명시)	Zone 0,1,2	Zone 0,1,2	위험구역, 비위험 구역

유럽에서 제정된 IEC 및 ISO 표준, HSE 규정, Lloyd's 선급규칙은 세부 분류방법에는 약간의 차이가 있지만 분류기준은 동일하며, NFPA 표준, API 지침과 같이 미국에서 제정된 규정은 3가지의 위험구역 분류기준에 Class I, II와 Division 1, 2를 추가하여 세분화하고 있다. 함정은 인체에 치명적인 화생방 무기에 대한 방어를 위해 구역을 분류하며 위험구역, 비위험구역의 2가지로 구분하고 있다.

1.1.2 통풍설계기준

위험상황 발생을 방지하기 위한 통풍 방법은 자연통풍과 기계적 통풍으로 구분되며, 구역의 위험등급이나 밀폐정도에 따라 적절한 통풍방법을 선정하여야 한다. 일반적으로 비위험구역은 인접한 위험구역이나 외기의 대기압보다 높은 양압을 유지하도록 통풍설비를 구성하여 위험가스가 유입되지 않도록 방지하며, 위험구역은 음압을 유지하여 해당구역 내에서 발생된 위험가스가 타 구역으로 전달되지 못하도록 설계를 한다.

Table 5.3 Comparison of rules for pressure inside areas

	국제규격		국가별 표준			선급협회 규칙			함정 규정
	IEC	ISO	NFPA	API	HSE	DNV	LR	ABS	미해군 사양
위험 구역	미규정	미규정	미규정	미규정	미규정	-유지	-50Pa	-유지	미규정
비위험 구역	+ 25Pa	+ 유지	+ 25Pa 또는 + 125 Pa	미규정	+ 50Pa	+ 50Pa	+ 50Pa	+ 유지	+ 500 Pa

+ : overpressure, - : underpressure

Table 5.3과 같이 해당구역의 양압이나 음압의 정도는 규정에 따라 일부 차이가 나며, 위험구역의 안전을 위해서는 음압의 유지보다 내부 공기를 외부로 배출하고 외부의 신선한 공기를 내부로 공급하는 비율, 즉 환기율이 더욱 중요하므로 대부분의 규정에서 음압 요구조건을 규정하지 않고 있다. 밀폐된 위험구역에 대한 환기율은 규정에 따라 세부방법의 차이는 있으나 일반적으로 시간당 최소 12회 이상의 환기를 요구하고 있다.

1.1.3 에어락 기준

에어락은 비위험구역내의 양압을 저하시키지 않고 위험구역으로 통행하기 위해 설치되며, 규정에 따른 설계기준은 Table 5.4와 같다.

Table 5.4 Comparison of rules for air lock

	국제규격	선급협회 규칙			함정 규정
	ISO	DNV	LR	ABS	미해군 사양
설치 위치	비위험구역과 위험구역 사이의 출입구				
Door 사이거리	미규정	1.5~2.5m	미규정	미규정	미규정
Door type	Gas tight, self-closing	Gas tight, self-closing	Gas tight, self-closing	Gas tight, self-closing	Gas tight, manual quick acting
기타 사항	거주구역내 temporary refuge 설치 ¹⁾	-	-	-	air sweep 유지 ²⁾

1) 화재나 사고발생시 승조원의 대피장소

2) 문이 닫힌 상태에서도 항상 720m³/hr의 풍량 유지

에어락에 적용되는 출입문에 대한 요구조건은 국제규격, 선급협회 등 상선에 적용되는 규정에서는 자동단힘기능을 요구하고 있으나, 미해군 규정은 단순하지만 고장발생 가능성이 적고 피탄 충격에도 견딜 수 있도록 하기 위해 기밀 수동문을 요구하고 있다. 또한 함정은 배수량에 비해 거주구역이 차지하는 면적이 크기 때문에 공간배치가 까다로워 에어락의 크기가 제한될 수밖에 없다. 따라서 출입문사이의 최소거리 제한을 두고 있지 않으며, 일반적으로 1 m 내외로 설계를 하고 있다.

1.2 선박의 특성별 위험방지 통풍설계방법

국제규격이나 선급협회의 규칙을 기준으로 통풍설계를 하여야 하나, IV장에서 검토한 바와 같이 설계 대상선박이나 해양구조물의 특성을 감안하여 기준을 강화하거나 일부 변경하여 적용하고 있다.

IV장에서 검토한 실적선박의 비위험구역에 대한 안전과 관련된 통풍설비의 특성은 Table 5.5와 같다.

Table 5.5 Comparison of safety ventilation systems for vessels to be built in the domestic

	FPSO	Semi-submersible rig	Offshore unit 지원선박	Naval ship
조선소	현대중공업	대우중공업	현대중공업	대우중공업
Owner	엑슨모빌사	BP사	사우디 국영회사	해군
선급협회	DNV	ABS	ABS	-
운용해역	서아프리카	멕시코만	중동지역	-
양압조건	25 Pa	50 Pa	50 ~ 100 Pa	500 Pa
가압설비	Pressurizing unit	AHU	AHU or Fan	High pressure fan
Fan type	Axial fan	Centrifugal fan	Centrifugal fan	Axial fan
양압조절 장치	Fire damper, pressurizing unit	Fire damper	Pressure regulating valve (pneumatic type)	Pressure regulating valve (spring type)

Kizomba field에서 운용되는 FPSO는 작업자 및 운용요원이 100명 이상으로 일반 선박에 비해 상대적으로 승조원의 수가 많고 거주구역의 면적이 넓어 비위험구역 보호를 위한 공기 공급량이 많다. 따라서 AHU만으로 요구되는 풍량을 만족시킬 수 없으므로 고압송풍기의 역할을 수행하는 가압장치 (Pressurizing unit)를 AHU의 공기 흡입측에 추가로 설치하였다. 또한 가압

장치, 기압차 감지기, 방화댐퍼가 상호 연동되어 에어락을 통한 승조원의 출입으로 격실내 기압이 저하되면 방화댐퍼를 닫고 가압장치의 송풍기 속도를 높여 기압을 상승시켜 준다.

멕시코만에서 운용되는 반잠수식 리그(Semi-submersible rig)는 AHU와 방화댐퍼 만으로 비위험구역의 양압을 조절하며 유지한다. 해양구조물 지원 선박은 평상시에는 일반 선박과 동일한 환경에서 항해하며, 석유시추선에 접근할 경우에만 위험가스에 노출되어 비위험구역에 양압을 유지하는 특성이 있다. Table 5.5에서와 같이 비위험구역에 대한 양압 기준은 선박의 특성에 따라 상이하며, 대상 선박이나 해양구조물이 작업하는 해역의 환경조건을 고려하여 설계를 수행해야 한다. 출입구 개방, 공기 흡입 및 배기구, 기타 개구부는 격실내부에 유지되는 양압 이상의 압력으로 맞바람이 불면 외부의 위험가스가 내부로 침입할 수 있으므로, 선박의 전진속력에 대한 바람의 상대속도를 계산하여 양압 조건을 선정해야 한다.

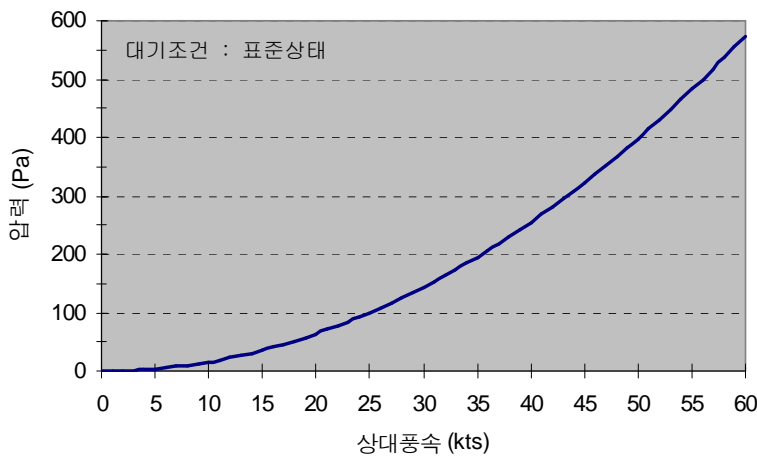


Fig. 5.1 Relative curve of pressure and wind velocity

Fig. 5.1은 맞바람(상대풍속)에 대한 비위험구역을 보호하기 위해 요구되는 압력(양압) 곡선으로 국제규격 및 선급협회 규칙에서 요구하는 25 ~ 50 Pa의 양압은 12.5 ~ 17.5 knots (6.4 ~ 9 m/s), 함정에서 요구하는 500 Pa의 양압은 56 knots (28.8 m/s)의 상대풍속을 견딜 수 있는 압력이다. 따라서 위험구역을 향해하는 선박은 최대속력과 맞바람의 풍속을 고려하고, 해양구조물은 설치해역의 통계자료를 활용한 연간 최대풍속을 고려하여 양압 유지 조건을 결정해야 할 것이다.

지금까지 검토한 비위험구역에 대한 보호대책인 양압 및 통풍 설계에 필요한 고려사항을 종합해 보면 아래와 같이 요약할 수 있다.

- 1) 격실별 탑재장비의 특성 및 작업자의 상주유무를 고려하여 위험등급 설정
- 2) 설계대상 선박의 최대속력과 바람의 상대 속력 검토
- 3) 위험가스 유입시 해당 격실의 승조원과 장비에 미치는 영향 검토
- 4) 장기 체류하는 승조원의 인체에 영향을 미치지 않도록 내부의 양압 조건 설정
- 5) 공기 흡배기구는 외부 환경의 영향을 받지 않는 비위험구역에 배치
- 6) 배출된 공기가 흡입되어 발생하는 교차오염을 방지하도록 설계
- 7) 비위험구역의 공기 공급계통 및 위험구역의 공기 배출계통은 100 % 용량의 비상용 잉여설비 추가 배치
- 8) 격실 소음기준 및 환기율을 고려하여 기계적 통풍설비의 형식과 용량을 선정

2. 향후 발전추세

국내의 석유시추 및 생산산업은 올해부터 본격생산에 착수한 동해 천연가스전을 시발로 하여 국내외 해양에서 탐사 또는 발굴된 석유 매장량이 약 5.9억 배럴에 육박하고 있으므로 한국석유공사, SK(주) 등 국내기업의 석유시추/생산설비 발주가 기대된다. 또한 최근 중국 조선소들의 원유운반선, 컨테이너선 등 범용선박에 대한 수주물량이 급증하고 있어 국내 조선소들은 FPSO, 시추선 등 고부가가치의 해양구조물에 대한 건조비중을 더욱 높여 나갈 것으로 예상되고 있다[36].

국외의 석유산업은 현재 육상 플랜트에서 생산되는 석유의 비중이 전체 생산량의 70% 이상을 차지하고 있지만 점차 고갈로 인해 규모가 축소되고 있으며, 해양에서 생산되는 석유의 비중이 더욱 증가하고 있다[6].

따라서 해양 석유 시추 및 생산과 관련된 설비와 선박의 건조 물량이 급증할 것으로 기대되며, 관련 기술의 발달로 해서 1,000 m 이상의 심해에 매장된 석유의 생산이 본격화됨에 따라 석유시추설비의 규모가 더욱 커지고 안전과 관련된 문제가 더욱 큰 이슈로 대두되고 있다.

이러한 국내외 환경에 따라 해양개발과 관련된 설비의 설계기술 및 해양사고 예방을 위한 해양구조물과 선박에 대한 위험성과 운전성의 체계적인 분석/평가 기술인 HAZOP(hazard and operability study)기술능력이 급격히 향상될 것으로 기대된다[37].

VI. 결론

위험물 취급선박이나 해양구조물의 안전에 관련된 다양한 규정을 검토하고, 국내에서 건조된 실적 선박의 적용사례를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 선박이나 해양구조물의 작업환경이나 해상상태를 고려하여 통풍 및 양압 설계조건을 선정해야 하며, 천연가스 등 가연성이 매우 큰 가스를 생산, 저장하는 설비는 비위험구역에 대한 양압 통풍조건을 현행 규정에서 요구하는 25 ~ 50 Pa에서 함정에 적용하고 있는 500 Pa로 상향 조정하여 위험 가능성을 최소화할 필요가 있다.
- 2) 해양구조물에는 대형 폭발사고에 대비하여 위험상황에서도 신선한 공기를 지속적으로 공급할 수 있도록 공기 흡입구에 가스필터를 장착하고 양압조건을 더욱 강화한 임시대피장소(Temporary refuge)를 거주구역 및 기관구역내에 추가로 배치할 필요가 있다.
- 3) 안전과 관련된 설비의 중요도에 따라 차등 적용하는 충격등급(Shock grade)을 제정하고 해당 설비는 충격시험(Shock test)을 만족하도록 하여, 폭발사고가 발생하여도 안전설비는 원활히 작동될 수 있도록 하는 규정 제정이 요구된다.
- 4) 해양선진국에서 제정한 안전과 관련된 규정과 함정 등 특수선박에 적용되는 규정을 참고로 하여, 산업안전법 및 해사 관련법규에 국내 실정에

적합한 해양구조물의 안전규정을 추가하고, 선급협회 규칙 및 설계지침서의 제정이 시급하다.

지금까지 본 논문에서 연구한 안전과 관련된 통풍설계의 규정, 실적선박의 자료 및 결론을 토대로 이와 유사한 설계분야의 기초자료로 활용될 수 있기를 기대한다.

참고 문헌

1. 문재동 외 4, "석유화학공업 종사자의 유전독성 위험성 평가", 대한산업의 학회지, 제10권 제1호, pp.53 ~ 60, 1998
2. 진상준, "가스시설에 대한 위험성 평가 및 신뢰도 분석", 건국대학교 석사학위논문, 2001
3. 고찬수, "해저석유개발에서 유류 누출 사고시 오염범위 평가에 관한 연구", 서울대학교 석사학위논문, 1989
4. Naval Sea System Command, "General Specifications for Ships of The United States Navy, Section 512, Heating, Ventilation, and Air Conditioning(Surface Ships)", 1995
5. Naval Sea System Command, "Naval Ship's Technical Manual, Chapter 510, Heating, Ventilation, and Air Conditioning Systems for Surface Ships", 1999
6. 박광환, "Offshore 석유 구조물의 종류 및 향후 전망에 관한 연구", 울산대학교 석사학위논문, 2002
7. 이명훈, "한국 남부대륙붕 제IV-1광구에서의 한계가스전의 산정", 한양대학교 석사학위논문, 1989
8. International Electrotechnical Commission, "IEC 60079 Electrical Apparatus for Explosive Gas Atmospheres", 1995
9. International Electrotechnical Commission, "IEC 61892-7 Mobile and Fixed Offshore Units-Electrical Installations-", 1997
10. The National Fire Protection Association, Inc., "NFPA 496 Standard for Purged and Pressurized Enclosures for Electrical Equipment", 1998
11. The National Fire Protection Association, Inc., "NFPA 90A Standard for The Installation of Air Conditioning and Ventilating Systems",

12. International Organization for Standardization, "ISO 15138 Petroleum and Natural Gas Industries-Offshore Production Installations-Heating, Ventilation and Air-conditioning", 2000
13. American Petroleum Institute, "API 14C, Recommended Practice for Analysis, Design, Installation, and Testing of Basic Surface Safety Systems for Offshore Production Platforms", 1998
14. American Petroleum Institute, "API 500, Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installations at Petroleum Facilities Classified as Class I, Division 1 and Division 2", 1997
15. Health and Safety Executive, "Offshore Installation : Guidance on Design, Construction and Certification", HMSO, London, 1992
16. DNV, "DNV-OS-A101, Safety Principles and Arrangements", 2001
17. DNV, "DNV-OSS-101, Rules for Classification of Offshore Drilling and Support Units",
18. DNV, "DNV-OSS-102, Rules for Classification of Floating Production and Storage Units",
19. DNV, "DNV-OSS-101, Rules for Classification of Fixed Offshore Installations", 1989
20. Lloyd's Register, "Rules and Regulations for The Classification of Mobile Offshore Units", 1996
21. Lloyd's Register, "Rules and Regulations for The Classification of Fixed Offshore Installations", 1995
22. ABS, "Guide for Building and Classing Facilities on Offshore Installations", 2000
23. ABS, "Rules for Building and Classing Mobile Offshore Drilling Units", 2001
24. KR, "이동식 해양구조물 규칙", 2004
25. 박명규 외 5, "박용의장", 청문각, pp.303 ~ 326, 1993
26. 박명규 외 7, "선박의장", 동명사, pp.350 ~ 368, 2000

27. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc.,
"Industrial Ventilation, 23rd Edition", ACGIH, Ohio, pp.4-1 ~ 7-20,
1998
28. 손부순 외 7, "산업환기-이론과 실제-", 동화기술, pp.157 ~ 194, 2001
29. 이정희, "산업환기공학", 원창출판사, pp.83 ~ 116, 2000
30. 이재성 역, "공조시스템의 최적설계", 도서출판 한미, pp.182 ~ 218,
2003
31. 서석청, "HEPA, ULPA Filter의 특성에 대하여", 공기조화·냉동공학회,
제15권, 제2호, pp.15 ~ 34, 1986
32. European Committee for Standardization, "Filter Standard EN 779",
2002
33. European Committee for Standardization, "Filter Standard EN 1822",
2000
34. Angus Mather, "Offshore Engineering-An Introduction", Witherby &
Co. Ltd, London, pp.130 ~ 140, 1995
35. P. A. Frieze 외 2, "Marine and Offshore Safety", Elsevier,
Glasgow, pp.363 ~ 376, 1984
36. 한국산업기술재단, "선박 기술로드맵", 산업자원부, 2002
37. 장서일, "공정 위험성 평가에 의한 안전투자 평가방법의 개발-가스 공급
설비 대상으로-", 명지대학교 박사학위논문, 2001