

수중연구기지의 피난시설계획에 관한 연구

† 김승일 · 이한석* · 도근영**

† 국립한국해양대학교 대학원 해양건축공학과 공학석사, *㈜상지엔지니어링건축사사무소 연구소장, **국립한국해양대학교 해양공간건축학부 교수

A Study on the Planning of Evacuation Facilities in an Underwater Research Station

† Seung-Il Kim · Han-Seok Lee* · Geun-Young Doe**

† Master of Engineering, Graduate School of National Korea Maritime and Ocean University

*Director of Research Institute, Sangji Engineering & Architects Inc.

**Professor, Department of Architecture and Ocean Space, National Korea Maritime and Ocean University

요약 : 본 연구는 여러 명의 거주자가 장기간 생활하는 수중연구기지에서 화재와 침수 등 재난 발생 시 피난을 위한 피난시설을 계획하는 것이 목적이다. 먼저 수중연구기지과 유사한 수중시설의 사례조사를 통해 수중연구기지의 거주공간 특성과 재난 및 피난 특성을 도출한다. 다음으로 수중연구기지 실내계획안을 바탕으로 재난 발생 시 피난 시나리오를 작성하고 피난경로에 따라 필요한 피난시설을 결정한다. 그리고 건축물과 잠수함 및 수중해비타트의 피난시설기준을 검토하여 수중연구기지 피난시설에 적합한 기준을 정하고 이 기준을 적용하여 피난시설을 계획한다.

핵심용어 : 수중연구기지, 수중주거공간, 재난특성, 피난특성, 피난시설계획, 해양건축

Abstract : This study aims to develop evacuation facilities for use during disasters such as fires and floods at an Underwater Research Station, which houses several researchers for extended periods. Initially, the residential space characteristics and the disaster and evacuation features of the Underwater Research Station are identified through a case study of similar underwater facilities. Subsequently, evacuation scenarios in the event of a disaster are formulated based on the spatial layout of the Underwater Research Station, and the requisite evacuation facilities are determined in accordance with the evacuation routes. Furthermore, by reviewing the standards for evacuation facilities of buildings, submarines, and underwater habitats, we establish suitable standards for the evacuation facilities of the Underwater Research Station and apply these standards in planning the evacuation facilities.

Key words : underwater research station, underwater living space, evacuation characteristics, evacuation facilities, evacuation facility plan, ocean architecture

1. 서 론

지금까지 해양공간 활용은 연안이나 수상공간에 집중됐으나 최근 새로운 생활공간으로서 수중공간 활용이 활발하게 계획되고 있다. 수중호텔, 수중레스토랑 등 수중레저시설의 수요가 증가하고 수중주거나 수중도시에 관한 연구도 진행되며 정부 차원에서도 해저자원과 해양주권확보를 위해 수중연구기지 건설이 추진되고 있다.

사람이 장기간 거주하는 수중시설에는 재난 발생 시 거주자 안전을 확보할 수 있는 피난시설이 마련되어야 한다. 하지만 거주용 수중시설의 공간계획이나 시공방법에 관한 연구가

있을 뿐 피난시설에 관한 연구는 없는 실정이다.

이에 본 연구는 연구원이 장기간 거주하는 수중연구기지에서 화재와 침수 재난 발생 시 피난 및 탈출을 위한 피난시설을 계획하는 것을 목적으로 한다. 본 연구에서 피난시설¹⁾은 수중연구기지 구조체에 통합되어 설계 및 시공되는 피난용 시설물을 대상으로 한다.

연구방법으로 먼저 수중연구기지과 유사한 수중시설의 사례 조사를 통해 거주용 수중시설의 공간 특성과 재해 및 피난 특성을 도출한다. 다음으로 수중연구기지에서 재난 발생에 대한 피난 시나리오를 작성하고 피난경로별로 필요한 피난시설을 정리한다. 그리고 건축물과 잠수함 및 수중해비타트의 피

† Corresponding author : 정희원, wwwme926@g.kmou.ac.kr 051)240-0020

* 중신회원, hansk@sangji21c.co.kr 051)240-0079

** 중신회원, gydoe@kmou.ac.kr 051)410-4583

(주) 이 논문은 “해저거주공간 재난 및 피난 특성 연구”란 제목으로 “2023년 추계학술대회 한국항해항만학회논문집(국립한국해양대학교, 2023.11.2.-3, pp. 74-76)”에 발표되었음.

1) 본 연구에서 피난시설이란 소화설비나 피난설비 등 설비계획에서 결정하는 기계설비를 말하는 것이 아니라 「건축법」 제49조(건축물의 피난시설 및 용도제한 등) 및 「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」 제8조~제12조에서 다루는 피난안전구역, 피난계단, 피난통로, 피난을 위한 출구, 침수방지시설 등을 의미함

난시설기준을 조사하여 수중연구기지의 피난시설에 적합한 기준을 제시하며 이 피난시설기준을 적용하여 구체적으로 피난시설계획안을 작성한다.

수중시설에서 거주자의 피난과 관련된 국내 선행연구²⁾를 살펴보면, Kim(2000)은 지하 및 해저도시에서 발생 가능한 재해를 예상하고 지하 및 해저도시에서 갖추어야 할 소화설비, 피난설비 등의 기본적 조건을 제시하였다. Han et al.(2024)은 해저공간 개발 기술의 활용 방안과 개발 동향에 대해 소개하였다. Lee et al.(2024)은 해저공간에서 안전성과 지속성을 갖춘 상부 플랫폼 기본설계안을 제시하였다. Park et al.(2024)은 해저공간 내 체류자가 안전을 확보할 수 있도록 탈출 프로세스와 필요설비를 제안하였다.

수중거주시설 피난과 관련된 해외 연구로서 Eckenhoff(1984)는 조난 후 실내압이 증가된 잠수함에서 구조방법과 구조시스템의 결함을 분석하고 이를 개선하기 위한 절차 및 훈련의 필요성을 강조하였다. Mole(1990)은 잠수함 구조와 탈출 절차 그리고 이와 관련된 역사적 사건, 생존 전략 및 해군의 구조 기술 발전을 정리하였다. LaPenna(2009)는 탈출캡슐을 이용한 잠수함 탈출을 가장 신뢰성 높은 탈출방식으로 보고 70인승 탈출캡슐을 제안하였다. 한편 수중거주시설 연구는 1960년대에 시작된 수중해비타트연구에 의해 다양하게 진행되었지만 대부분 수중해비타트 규모가 작아서 특별한 피난 관련 연구는 보이지 않는다.

이와 같이 국내 연구는 2022년부터 해양수산부 주관으로 진행 중인 해저공간플랫폼개발에 따라 본격적으로 이루어진 연구들이며 한편 해외 연구는 모두 잠수함에 관한 연구로서 조난 후 탈출 또는 구조와 관련된 연구이다. 이렇듯 국내와 해외 연구동향을 살펴보면 잠수함이 아닌 수중거주시설에서 피난과 관련된 연구는 초기 단계이며 국내 연구가 대부분이다.

2. 수중연구기지의 피난 특성

2.1 수중연구기지의 시설 특성

수중연구기지는 여러 명의 연구원이 장기간 거주하며 수중 생태계 및 해저자원 등에 관해 탐사, 수집, 조사, 분석 등 과학



Fig. 1 Concept of underwater research station
Source : Korea Institute of Ocean Science & Technology(2023)

연구활동을 하는 거주용 수중시설이다. 시설물의 안정성 확보를 위해 해저면에 고정되며 운용 목적에 따라 공간구성은 다르나 연구원이 거주할 수 있는 독립적인 주거공간을 가진다.

거주용 수중시설로서 수중연구기지의 특성을 알아보기 위해 이와 유사한 특성을 가지는 수중해비타트 사례를 조사하였다. 수중해비타트는 1962년부터 1977년까지 미국을 비롯한 세계 17개국이 총 65개를 설치하고 운영하였다. 수중해비타트에는 연구실뿐 아니라 거주공간이 설치되었으며 수중에서 주거 생활이 가능함을 연구하는 것이 설치 이유 중 하나였고 연구 결과 거주용 수중시설의 피난 관련 주요 특성을 정리하면 다음과 같다(Miller and Koblick, 1995).



Fig. 2 Underwater habitat(Aquarius)
Source : Courtesy of the NOAA's Undersea Research Center at the University of North Carolina, Wilmington(2008)

① 수중시설의 형태를 결정하는 요소는 수중에서 구조물에 가해지는 최대 압력이며 일반적으로 실린더형과 구(球)형을 사용하고 실린더형이 필요한 체적을 얻는 데 유리하다.

② 수중생활에서 심리적 긴장 완화, 생활의 기쁨, 안전성 확보, 과학적 관찰 등을 목적으로 창문을 설치하는데 형태와 크기는 다양하다. 창문 위치는 창문이 부서지거나 물이 새더라도 실내 전체가 침수되지 않도록 실내공간 가장 높은 곳에 설치하지만 침수 위험에도 불구하고 외부 관찰을 위해 낮은 위치에 설치하기도 한다.

③ 수중시설의 실내에서 호흡용 가스로 공기, 질소와 산소 혼합물, 혹은 헬륨과 산소 혼합물을 사용하며 수심에 따라 호흡용 가스가 달라진다.

④ 수중시설에서는 이산화탄소, 냄새, 미량의 오염물질 등을 제거하는 별도 환기시스템(집진기: scrubber)을 사용한다. 이산화탄소는 재실자의 호흡으로 주로 발생하며 집진기는 크기나 종류가 다양하고 흡착필터나 흡착제통을 주기적으로 교환해 주어야 한다.

⑤ 수중시설에서 온도와 습도 조절을 위해 냉난방시스템이 필수적이며 수증기를 많이 발생시키는 샤워실은 습식 구역(wet area)에 배치하여 주거공간과 분리한다.

⑥ 수중시설에서 음식물 조리과정에서 나오는 가스, 오염물질, 수증기에 대한 처리대책이 필요하다. 또 음용수 저장고는 밸러스트용으로 사용 가능하고 비상시를 위한 물 저장시스템

2) 선행연구는 학술연구정보서비스(RISS), <https://riiss.kr/index.do> 검색을 통해 조사하였음

도 설치한다.

⑦ 수중시설의 취침 공간에서 침대는 화재 시 연소 가능성을 고려하여 매트리스에 방화재료로 된 커버를 씌우며 물침대(water bed)의 경우 무게는 무겁지만 불연성이며 대량의 음용수(담수)를 보관하고 열을 저장할 수 있다.

⑧ 수중시설은 좁은 공간, 부족한 공간(예, 창고 등 보관 공간), 기능적이지 못한 공간구성 등에 의해 생활이 불편하며, 습기 차고, 춥고, 우울한 생활환경이 되기 쉽다.

⑨ 수중시설에는 외부통신시스템을 비롯하여 비상용 통신 시스템을 설치하고 조명은 압력환경 내에서 폭발 가능성을 고려하며 고장이나 훼손 시 새어 나오는 가스(오염물질)를 고려하여 설치한다.

⑩ 수중시설에는 거주자의 수중활동을 위해 잠수복을 갈아입는 곳, 잠수복과 잠수장비 저장소, 공기탱크 충전실, 출입구 등 다이빙 관련 시설과 공간이 필요하다.

⑪ 수중시설에서 가장 위험한 상황은 화재나 침수가 발생한 경우이며 비상시 긴급 대응 프로그램과 이에 따른 피난 및 탈출³⁾을 위한 시설과 설비를 갖춘다.

⑫ 수중시설에는 거주자의 수중활동 후 감압을 위해 감압 시설을 설치하고 비상시 대비 백업 감압시설을 외부 지원기지 혹은 선박에 설치한다.

2.2 수중연구기지의 재난 및 피난 특성

Table 1 Cases of submarine fire and explosion

Name	Date	Cause	Damage	Death	Injured
Leninsky Komsomol	1967. 9.08	Smoking	Damage	39	0
K-8	1970. 4.08	Unknown	Sunk	48	0
Komsomolets	1989. 4.07	Short circuit	Sunk	42	27
HMCS Chicoutimi	2004. 10.05	Electrical fire caused by water entering the hatch	Severe Damage	1	8
Daniil Moskovsky	2006. 9.06	Electrical wiring fault	Severe Damage	2	0
HMS Tireless	2007. 3.21	Explosion due to emergency oxygen system fault	Severe Damage	2	1
Yekaterinburg	2011	Fire whilst alongside, caused during welding	Damage	0	9
USS Miami	2012. 5.23	Deliberately lit	Decommissioned	0	7
Collins Class (unknown)	2012	Fuel leak	Damage	0	0
INS Sindhurakshak	2013	Fire whilst alongside, cause unknown	Sunk	18	0

K-150 Tomsk	2013. 9.16	Fire whilst alongside, caused during welding	Damage	0	15
INS Sindhuratna	2014	Electrical wiring fault	Severe Damage	2	7
HMAS Waller	2014	Unknown	Damage	0	0
Orel	2015	Fire whilst alongside, caused during welding	Damage	0	0
ARA San Juan	2017	Battery room leaked water	Sunk	44	0
Losharik	2019. 7	Unknown	Damage	14	0
			Total	212	74

Source : Depetro, A. et al.(2021), Kim(2022)

수중연구기지는 거주용 수중시설이라는 측면에서 잠수함 및 수중해비타트와 유사한 재난 및 피난 특성을 가진다. 따라서 잠수함 및 수중해비타트에서 발생한 재난 사례 분석을 통해 수중연구기지에서도 발생 가능한 재난 특성을 검토한다.

먼저 잠수함에서 1963년부터 2021년까지 59년간 발생한 사고를 Table 1에서 살펴보면⁴⁾ 내부 화재나 폭발사고 16건이 발생하여 212명이 사망하였고 74명이 부상을 입었다. 화재 발생 원인은 전기 케이블 결선 결함, 축전지 밸브 결함에 의한 가스 누출, 용접 작업 부주의, 축전지실 침수, 축전지 단락 등 다양하다.

또한 잠수함 침수 및 침몰 사고 9건이 발생하여 408명이 사망하였고 2명이 부상을 입었다. 침수 및 침몰 사고에서 사고 건수에 비해 사망자 수가 많은 것은 사고 발생 후 신속한 대응이 없거나 구조가 늦어지면 승조원 전원 사망 가능성이 크기 때문이다.

이외에 충돌, 추락, 질식 등의 사고가 있다. 수상 항해 중 함교에서 작업 중이던 선원들이 높은 파도에 휩쓸려 추락하는 사고가 있으며 잠수함 시험운행 중 할론가스 이용 소화시스템의 오작동으로 승조원이 질식사하는 사고도 있다. 충돌사고는 항해계통의 고장 또는 운용자의 부주의로 수중에서 압초와 충돌하는 경우와 수면으로 부상 중에 항해하는 선박과 충돌하는 경우가 있다.

다음으로 1962년부터 1977년까지 수중해비타트 운영 중에 발생한 사고를 Table 2에서 살펴보면 다이버 잠수장비의 고장 또는 연구원의 부주의로 인한 부상 사고가 잦으며 불완전한 계류로 인해 구조물이 추락하거나 불충분한 벨리스트와 폭풍으로 인해 구조물이 파손된 사례가 있다. 또한 수중해비타트에서 거주자가 약물의 복용이나 일반 집착제 사용으로 인해 문제가 발생했는데 이는 실내 공기압이 주변압 조건이라는 특수한 환경 때문에 발생하였다.

1) 재난특성

이와 같은 사례분석 결과 수중연구기지에서도 발생할 수 있

3) 본 연구에서 피난은 재난을 피해 안전한 곳으로 옮겨가는 것을, 탈출은 재난 시 수중시설물에서 빠져나오는 것을 의미함

4) Depetro, A. et al.(2021), Kim, B. S.(2022)이 제시한 잠수함 안전사고 분석을 인용하고 인터넷과 문헌 조사내용을 추가하여 정리하였음

는 재난 특성은 다음과 같다.

Table 2 Cases of underwater habitat accident

Name	Date	Details of accident
Conshelf II	1963.5.3	Habitat glides down the reef during electrical cable repair work, trapping two electricians inside, safety diver entangled in outer rows and crashed together.
Sealab I	1964.7.7	An aquanaut collides with a structure while working on the 193ft deep seabed, blocking the supply of oxygen as the gas-regulating joint in the oxygen tank closes.
Sealab II		Divers experiencing a crisis of sudden rise due to diving systems or buoyant objects.
Chernomor	1968.7.20	Inadequate ballast and storm caused Habitat to dislocation and damage.
	1968.8	
	1971.9.20	
Helgoland	1976.7	Air pollution due to the use of adhesives under saturated air pressure conditions. Crews show signs of abnormality.
La Chalupa	1973.4	Diver consciousness is lost due to malfunction of the CO ₂ scrubber system.
	1974.5	Helmet problem during dive and return to Habitat.
Hydrolab	1972.11	Complains of abnormalities after taking the usual medication under saturated air pressure.
	1975.4.1	Diver suffers breathing difficulties and faints due to lack of experience in using closed circulation respirator equipment.

Source : Miller and Koblick(1995)

① 수중연구기지의 거주자는 대부분 사고의 원인이 되며 동시에 재난 예방 및 대응의 주체가 된다.

② 수중연구기지에서 재난이 발생할 경우 외부로부터 신속한 구조가 필요하다.

③ 재난이 발생하면 수중연구기지 거주자는 외부 구조를 기다리는 중에 저체온증과 이산화탄소 중독으로 인해 사망하거나 개별 탈출하는 경우 잠수병으로 인해 사망할 수 있다.

④ 수중연구기지의 재난 가운데 화재나 침수 발생 가능성이 크며 화재는 전기 문제, 가스 누출, 용접 작업 부주의 등 다양한 원인으로 발생할 수 있다.

⑤ 실내 침수는 실내압력을 증가시키고 이산화탄소 제거장치 작동을 저하시키며 특히 배터리실 침수는 유독가스를 발생시켜서 실내 대기질을 악화시킨다.

⑥ 화재로 인한 열로 수중연구기지의 구조물 강도가 감소하고 식수나 오수 등을 담은 탱크 손상으로 내부 침수가 발생할 수 있다.

⑦ 수중연구기지에서 화재는 한정된 공기량에 따른 화재형상의 변화 및 수중환경에서 구조체 자연냉각 작용 등 육상 화재와 다른 변수요인을 갖는다(Bohlin and Olofsson, 2012).

⑧ 수중연구기지에서 배관계통 누수나 선체 균열 등으로 인해 침수가 발생할 수 있으며 실내 공기압 저하로 인해 문풍 등을 통한 침수가 발생할 수 있다.

⑨ 수중연구기지는 선박이나 잠수함 충돌, 잠수장비 고장 등으로 인해 재난이 발생할 수 있고 밀폐된 공간에서 소화장비 등의 사용으로 인해 질식사고가 발생할 수 있다.

⑩ 수중연구기지에서 충돌, 구조체 손상, 폭발 등 사고가 복합적으로 발생하고 발생 시 외부로 정보 전달이나 외부에서 구조 활동이 어렵고 오랜 시간이 걸린다.

⑪ 수중연구기지의 재난 시 거주자 개별탈출이 어렵고 피난하더라도 안전성 확보가 불분명하며 밀폐된 시설 특성상 방재설비 작동으로 인한 사고 발생 가능성도 있다.

2) 피난특성

이상의 재난 특성을 고려한 수중연구기지의 피난 특성을 정리하면 다음과 같다.

① 수중연구기지에서 피난은 실내에서 별도의 대피공간으로 이동하는 1차 피난과 수중연구기지를 탈출하여 수면까지 이동하는 2차 피난으로 이루어진다.

② 수중연구기지에서는 거주자 개별탈출과 외부 구조에 의한 탈출 두 가지 모두 가능해야 한다.

③ 수중연구기지의 실내 공기압이 1기압이 아닌 주변압인 경우 2차 피난에 따른 거주자의 잠수병 발생 가능성이 있다.

④ 수중연구기지의 실내 공기압이 1기압인 경우 침수가 발생하면 공기압이 증가하고 거주자가 이러한 상황에 장시간 노출되면 잠수병이 발생할 수 있다.

⑤ 수중연구기지에는 재난 시 외부 구조정이 접속할 수 있는 별도 공간과 시설이 필요하다.

⑥ 수중연구기지에서 거주자가 대피공간이나 탈출구까지 신속하고 안전하게 피난할 수 있는 피난통로 확보가 필요하다.

3. 수중연구기지 피난 시나리오

수중연구기지의 재난 및 피난 특성을 고려하여 필요한 피난시설을 결정하기 위해 탈출 상황과 탈출 방법에 따른 피난 시나리오를 작성하고 이에 따른 피난경로를 검토한다.

1) 탈출 상황





본 연구에서 수중연구기지에서부터 탈출이 필요한 상황은 화재 발생 시 진화가 불가능하거나 배관계통 및 구조체의 균열 등으로 인한 내부 침수 상황으로 설정한다. 또한 수중연구기지서 피난은 1차로 별도 대피공간이나 탈출구로 안전하게 대피하며 2차로 구조잠수정 등을 통한 외부 구조나 개별탈출을 통해 수면으로 부상하여 구조선이나 육지까지 도달한 것을 피난 완료로 본다.

2) 탈출 방법

수중연구기지서 탈출하는 방법에는 Table 3와 같이 긴급부상, 구조잠수정 이용, 탈출캡슐 이용, 비상탈출복 착용을 통한 개별탈출 등이 있다. 이 가운데 긴급부상은 수중연구기지의 계류에 의해 부상이 어려울 수 있으며 긴급부상 시 수중연구기지 형태에 따른 부력의 차이로 구조체 균열 등이 발생해 2차 피해를 볼 수 있고 수면 위 선박과의 충돌 가능성도 존재한다. 또한 탈출캡슐을 이용하는 방법은 잠수함에서 적용된

사례가 러시아 등 일부 국가에 한정되는 등 관련 사례와 자료가 적다. 따라서 현재 수중연구기지에서 재난 발생 시 사용 가능한 탈출 방법은 심해구조잠수정을 이용한 외부 구조와 비상 탈출복 착용을 통한 개별탈출이다.

Table 3 Escape methods

	Image	Detail
Emergency blow		In an emergency, the entire facility floats to the surface by filling the ballast tank with air or dropping heavy objects to lighten the facility's weight.
DSRV		An evacuation space is needed where users can safely evacuate for a long time until they are rescued, and a landing platform that can dock the DSRV (Deep Submersible Rescue Vehicle) is required in the evacuation space.
SRC		Some sections of the underwater facility (Submarine Rescue Chamber (SRC) or Escape Pod) can be separated and escaped in an emergency, allowing safe escape to the surface without external help.
Escape suit		There is a risk of developing diver disease as users wear Escape suits and individually escape underwater through hatches, etc., and a method is needed to safely wait on the surface until the rescue team arrives.

Source : <https://en.wikipedia.org/>, <https://ko.wikipedia.org/>, <https://www.thedrive.com/>, <https://survitecgroup.com/>

3) 피난 시나리오 작성

화재나 침수 발생 시 가능한 피난 시나리오 작성은 5명 연구원이 한 달 동안 거주하도록 계획된 수중연구기지 실내공간 계획안⁵⁾(Han et al., 2022)을 대상으로 한다.

수중연구기지는 연구기능의 메인모듈, 거주기능의 주거모듈, 그리고 메인모듈과 주거모듈을 잇는 연결통로로 구성되며 피난 시나리오 작성을 위한 전제조건은 Table 4와 같고, 피난 활동의 제한조건은 다음과 같다.

Table 4 Prerequisites for evacuation scenario

Prerequisites	Evacuation complete	Rescue completed on the water after escaping from underwater facility
	Facility composition	Main Module, Residence Module, Connecting Passageway
	Escape Trunk (Count)	Main Module(1), Residence Module(1)
	Escape methods	External rescue by DSRV, Individual escape after wearing an escape suit
	Residents	5(Bedroom 1, Livingroom 2, Laboratory 2)
	Evacuation measures	<ul style="list-style-type: none"> Evacuation Room with a DSRV Landing Platform in the Residence Module Wet Porch for individual escape on the Main Module Individual escape is possible after rescue by boarding the DSRV in the Residence Module Evacuation Room or wearing an emergency escape suit. Individual escape is possible using the wet porch after wearing an emergency escape suit in the Main Module Chamber Room.

① 거주자의 피난은 머물고 있는 모듈 내에서 가까운 대피 공간이나 탈출구를 찾아 1차 피난을 실시하고 이것이 힘든 경우에 다른 모듈에 있는 대피공간이나 탈출구로 피난하는 것을 원칙으로 한다. ② 연결통로에서 화재나 침수가 발생하면 통로문이 즉시 닫혀서 침수가 다른 모듈로 진행되지 않는다.

③ 또한 수중시설 자체의 긴급부상은 불가능하며 방화구획 및 수밀구획 내에서 화재나 침수 시 방화문과 수밀문이 자동으로 닫히는 구조이다.

수중연구기지에서 재난 발생 시 주거모듈의 침실 및 거실, 메인모듈의 연구공간에 머무는 거주자의 피난 시나리오 및 피난경로는 Table 5와 같이 네 가지로 구성할 수 있다.

Table 5 Evacuation scenarios

	Disaster Situation	User Location	Evacuation Route	Evacuation Facility
Scenario 1	Fire broke out in the kitchen of the Residence Module	Bedroom /Livingroom of the Residence Module	·Bedroom/Livingroom → Corridor → Evacuation Room ·Bedroom/Livingroom → Corridor → Connecting Passageway → Corridor → Chamber Room	Fire door, Escape room, Evacuation guidance hand rail, moon pool, escape trunk, Landing platform
		Laboratory of the Main Module	·Laboratory → Corridor → Chamber Room	Fire door, Evacuation guidance hand rail, Moon pool
Scenario 2	Fire broke out in the Main Machine Room of the Main Module	Bedroom /Livingroom of the Residence Module	·Bedroom/Livingroom → Corridor → Evacuation Room	Fire door, Escape room, Evacuation guidance hand rail, Moon pool, Escape trunk, Landing platform
		Laboratory of the Main Module	·Laboratory → Corridor → Chamber Room ·Laboratory → Corridor → Connecting Passageway → Corridor → Evacuation Room	Fire door, Escape room, Evacuation guidance hand rail, Moon pool, Escape trunk, Landing platform
Scenario 3	Flooding occurred in the Main Module Wet Porch.	Bedroom /Livingroom of the Residence Module	·Bedroom/Livingroom → Corridor → Evacuation Room	Watertight door, Escape room, Evacuation guidance hand rail, Moon pool, Escape trunk, Landing platform
		Laboratory of the Main Module	·Laboratory → Corridor → Connecting Passageway → Corridor → Evacuation Room	Watertight door, Escape room, Evacuation guidance hand rail, Moon pool, Escape trunk, Landing platform
Scenario 4	Flooding occurred in the Connecting Passageway	Bedroom /Livingroom of the Residence Module	·Bedroom/Livingroom → Corridor → Evacuation Room	Watertight door, Escape room, Evacuation guidance hand rail, Moon pool, Escape trunk, Landing platform
		Laboratory of the Main Module	·Laboratory → Corridor → Chamber Room	Watertight door, Evacuation guidance hand rail

시나리오는 실제 건축공간에서 발생 가능한 경우를 선정하되 수중연구기지의 특성에 따라 가장 피해가 클 것으로 예상되는 시나리오를 4개를 선정하였다. 특히 앞서 살펴본 잠수함 사고 사례에서 피해가 가장 컸던 화재와 침수 사고가 시설 내 주요 공간에서 발생한 상황을 가정하였다.

(1) 시나리오 1 : 화재하중이 큰 주방에서 화재가 발생하여 피난하는 경우 피난경로는 Fig. 3와 같다.

① 주거모듈 침실과 거실에 머무는 거주자는 각 공간에서 나와 복도를 거쳐 대피실로 일차적으로 피난한다. 대피실에서 DSRV에 탑승하여 수중시설을 탈출하지만 외부 구조가 늦어지거나 힘들 경우에는 대피실에서 비상탈출복 착용 후 비상탈출구를 통해 개별 탈출한다.

5) 수중연구기지 실내공간계획안은 적정규모와 배치, 그리고 공간구성 초기안으로서 Fig. 3~6과 같음

② 주거모듈에 머무는 거주자가 대피실을 이용할 수 없는 경우 메인모듈 챔버실을 이용하여 피난한다. 챔버실에서 비상탈출복 착용 후 Moon Pool을 통해 탈출한다.

③ 메인모듈 연구공간에 머무는 거주자는 챔버실로 1차 피난한 후 비상탈출복을 착용 후 Moon Pool을 통해 탈출한다.

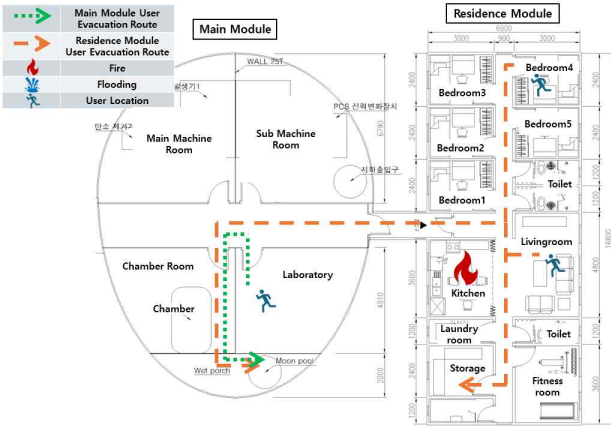


Fig. 3 Evacuation scenario 1

(2) 시나리오 2 : 화재하중이 큰 장비실에서 화재가 발생하여 피난하는 경우 피난경로는 Fig. 4와 같다.

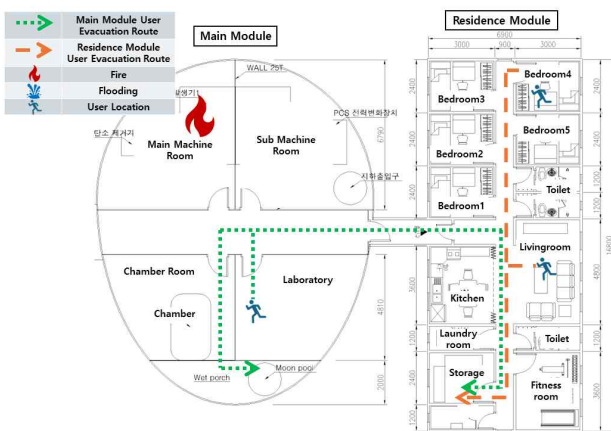


Fig. 4 Evacuation scenario 2

① 메인모듈 연구공간에 머무는 거주자는 메인모듈 챔버실로 1차 피난하고 비상탈출복 착용 후 문풍을 통해 탈출한다.

② 메인모듈 연구공간에 머무는 거주자가 챔버실을 이용할 수 없는 경우 주거모듈 대피실로 1차 피난한다. 대피실에서 DSRV에 의한 외부 구조 혹은 비상탈출구를 통한 개별탈출한다.

③ 주거모듈 침실과 거실에 머무는 거주자는 가까운 대피실로 1차 피난하고 이후 DSRV에 탑승하거나 혹은 비상탈출구를 통해 개별탈출한다.

(3) 시나리오 3 : 문풍을 통해 해수가 메인모듈로 들어와 실내가 침수되어 피난하는 경우 피난경로는 Fig. 5와 같다.

① 메인모듈 연구공간 거주자는 주거모듈의 대피실로 1차 피난하고 DSRV에 탑승하여 탈출하거나 비상탈출구를 통해 개별탈출한다.

② 주거모듈 침실과 거실 이용자는 대피실로 1차 피난하고 DSRV에 탑승하여 탈출하거나 비상탈출구를 통해 개별탈출한다.

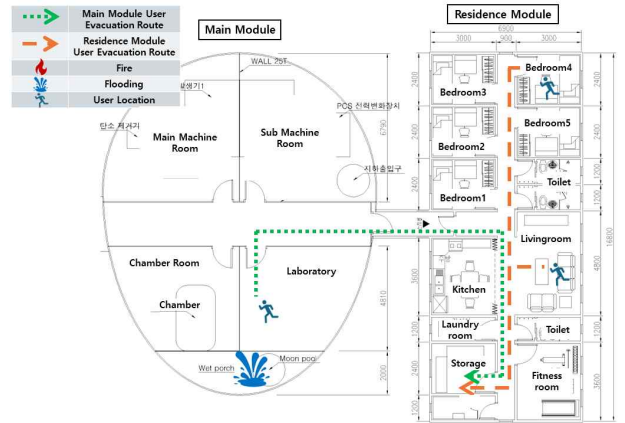


Fig. 5 Evacuation scenario 3

(4) 시나리오 4 : 메인모듈과 주거모듈을 잇는 연결통로에서 누수가 발생하여 연결통로가 급격하게 침수되어 피난하는 경우 피난경로는 Fig. 6와 같다.

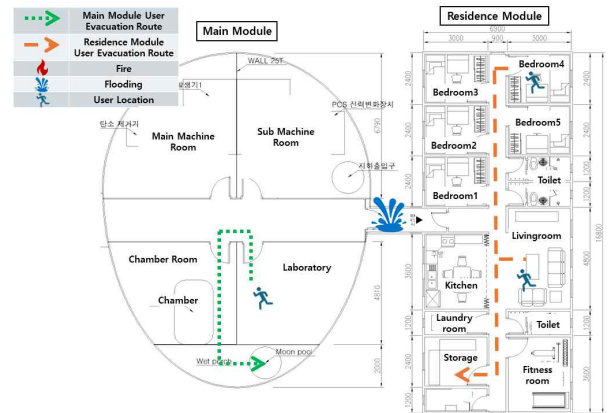


Fig. 6 Evacuation scenario 4

① 주거모듈 침실과 거실에 머무는 거주자는 대피실로 1차 피난하고 DSRV에 탑승하거나 비상탈출구를 통해 개별탈출한다.

② 메인모듈 연구공간에 머무는 거주자는 챔버실로 1차 피난하여 비상탈출복을 착용 후 Wet Porch와 Moon Pool을 통해 탈출한다.

4. 수중연구기지 피난시설계획

4.1 피난시설 및 기준

수중연구기지의 피난시설 및 시설기준을 마련하기 위해 피난 특성이 유사한 건축물과 선박 및 잠수함에 적용되는 피난시설을 검토한다. 수중연구기지는 공간이 폐쇄적이고 피난

이 어렵다는 특성을 가지는데 이는 건축물 지하공간과 초고층 건축물의 특성과 비슷하다. 먼저 지하공간과 초고층 관련 피난 규정을 살펴보면 피난시설에는 방화구획⁶⁾, 비상탈출구⁷⁾, 피난로⁸⁾, 방화문⁹⁾, 피난계단¹⁰⁾, 피난안전구역¹¹⁾ 등이 있다.

한편 선박 및 잠수함에서 피난 경로에 설치된 피난시설로는 주수직구역, 비상탈출구, 대피실, 계단 및 사다리, 탈출로, 수밀문, 피난유도시설, DSRV 연결해치 등이 있다. 주수직구획¹²⁾은 화재나 침수 등 재난 발생 시 재난의 확산을 방지하기 위해 선체를 수직으로 구분한 영역으로서 A급 구획에 의하여 선체, 선루 및 갑판실이 분리된 구역이며 비상탈출구¹³⁾는 화재나 침수 등 재난 발생 시 거주자가 탈출하기 위한 비상구다. 대피실¹⁴⁾은 침수나 화재 등 재난 발생 시 거주자가 구조되기 전 생존기간동안 1차로 피난하는 안전구역이며 비상탈출구 및 DSRV연결해치를 포함한다. 계단¹⁵⁾의 경우 선박 및 잠수함에 서는 직통계단, 피난계단, 특별피난계단과 같은 상세 규정이 존재하지 않는다.

탈출로¹⁶⁾는 선박 밖으로 탈출하기 위해 구멍설비¹⁷⁾에 이르는 갑판 상의 통로이며 수밀문¹⁸⁾은 수밀구획에서의 수밀격벽에 설치된 문이다. 특히 잠수함에서 외부 구조가 필요한 경우 심해잠수구조정(DSRV)과 잠수함의 결합에 필요한 시설이 DSRV 연결해치이며 피난유도시설은 피난을 원활하게 유도하기 위한 피난유도등, 형광띠, 손잡이 등을 의미한다.

지금까지 살펴본 것 같이 건축물과 선박 및 잠수함에서 필요한 피난시설 및 시설기준을 비교·정리하면 Table 6와 같다.

이상에서 검토한 피난경로 그리고 건축물과 잠수함 및 선박 관련 피난시설 및 시설기준을 바탕으로 수중연구기지의 피난시설과 각 시설에 대한 규격, 구조 및 재료 관련 기준을 아래 원칙에 따라 정하였다.

① 수중연구기지는 주거용 수중시설이므로 잠수함 관련 기준을 우선으로 적용한다.

② 잠수함 관련 기준이 없는 경우에는 다음으로 선박 관련 기준을 적용한다.

③ 선박 관련 기준이 없는 경우 혹은 건축물 관련 기준이 선박 관련 기준보다 더 엄격한 경우에는 건축물 기준을 적용한다.

④ 피난시설은 최종피난장소까지 연속성을 가져야 한다. 특히 피난의 시간경과에 따라서 보다 안전성이 높은 피난시설로 순차 이동하는 구성이 필요하다(Murozaki, 2010).

⑤ 피난시설은 피난경로를 따라 구성하며 먼저 어느 한 곳에서 재난이 발생하여도 다른 구역으로 확산되지 않도록 방화구획/수밀구획을 정하고 방화문 또는 수밀문을 설치한다.

⑥ 최종피난장소까지 대피자의 안전한 피난을 위해 피난통로 및 피난계단을 설치한다.

⑦ 수중연구기지 내 최종피난장소는 대피실이며 대피실에서는 구조잠수정 등을 통한 외부구조나 비상탈출복 착용을 통한 개별탈출이 가능해야 하고 이를 위해 DSRV연결해치를 설치한다.

이상의 원칙을 따라 정한 피난시설의 내용 및 기준은 다음과 같다.

1) 방화구획/수밀구획

방화구획은 40m 간격으로 A급 구획¹⁹⁾의 격벽으로 구분하고 특별한 경우 그 길이를 최대 48m까지 확장할 수 있으며 그 면적은 1,600㎡ 이하로 제한한다. 다만 수중해비타트 등 기존 수중시설 사례를 보면 전체 길이가 40m 이하인 경우가 많았다. 이와 같이 전체 길이가 40m 이하인 경우에도 최소 2개의 구역으로 나눌 수 있도록 A급 구획의 격벽으로 구분한다.

6) 건축법 시행령 제46조(방화구획 등의 설치)와 건축물방화구조규칙 제14조(방화구획의 설치기준)에서 방화구획 설치기준이 제시됨
 7) 건축물방화구조규칙 제25조(지하층의 구조)에서 비상탈출구 설치기준을 명시하고 있음
 8) 화재보험협회, 'KFS 100 피난로 기준'과 건축물방화구조규칙 제15조의2(복도의 너비 및 설치기준)에 설치기준이 명시되어 있음
 9) 건축법 시행령 제64조(방화문의 구분)에 방화문 성능이 명시되어 있으며 국토교통부 고시 제2020-44호(자동방화셔터, 방화문 및 방화담뱃피의 기준)에 시설기준이 마련되어 있음
 10) 건축법 시행령 제35조(피난계단의 설치)에서 건축물 용도, 규모에 따라서 직통계단, 피난계단, 특별피난계단의 설치를 규정하고 있으며 건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙 제9조(피난계단 및 특별피난계단의 구조)에 피난계단의 시설기준이 마련되어 있음
 11) 건축법 제50조의2(초고층건축물의 피난 및 안전관리), 초고층재난관리법 제18조(피난안전구역 설치), 초고층재난관리법 시행령 제14조(피난안전구역 설치기준 등), 건축물방화구조규칙 제8조의2(피난안전구역의 설치기준)에서 피난안전구역 설치 및 시설기준을 다루고 있음
 12) 주수직구획은 『SOLAS 해상인명안전협약 2019』, 제2-2장 구조-방화, 화재탐지 및 소화, 32에서, A급 구획은 제2-2장 구조-방화, 화재탐지 및 소화, 2에서 규정하고 있음
 13) 노르웨이 선급 DNV는 잠수함 규정에서 비상탈출구는 압력선체의 CDP(collapse diving pressure)의 1.1배로 설계하고 비상탈출구 내부에 외부와 통신수단, 내부 조명, 공기호흡장치 등을 설치하도록 규정하고 있음
 14) 노르웨이 선급 DNV와 프랑스 선급 BV는 대피실에 비상탈출구 또는 외부 구조장치 연결 해치, 기체관리장치, 산소공급장치, 비상 조명, 비상식량 등을 설치하고 주변 공간과의 경계는 20bar 압력을 견딜 수 있도록 규정하고 있으며 해치는 수압에 의해 닫힐 수 있는 구조로 설계하도록 규정하고 있음
 15) SOLAS에서는 선박 및 잠수함에서 일상 사용 계단을 피난용으로 함께 사용하도록 하고 계단은 승정갑판으로 연결되며 기본적으로 모든 선내 장소에서 최소한 2개 탈출설비(계단 포함)를 설치하고 탈출로에 설치되는 계단은 강재, 알루미늄제 또는 불연성 재료로 하도록 규정하고 있음
 16) 해상안전법 선박설비기준 제48조(거주구역 등의 탈출설비)에서 계획탈출인원에 따라 탈출로의 너비를 규정하고 있음
 17) 구멍설비는 선박 및 잠수함에서 재난 발생 시 안전하게 외부로 탈출하기 위한 구멍정 등의 장비를 말하며 선박안전법 잠수선 기준 제24조(구멍설비)와 DNV(2015), Rules for classification: Naval vessels 등에서 구멍설비 기준을 정하고 있음
 18) 중앙해양안전심판원, 선박수밀문 안전지침서(2023)에서 수밀문 종류, 작동원리, 통행방법, 정비 및 점검사항 등을 정하고 있음
 19) 선박방화구조기준 제2조(정의) 5항에서 "A급 구획"이라 함은 다음 각 목의 요건에 적합한 격벽 및 갑판으로 형성되는 구획을 말한다. 가. 강 또는 이와 동등한 재료를 사용한 것, 나. 적절히 보강된 것, 다. 60분의 표준화제시험이 끝날 때까지 연기와 화염의 통과를 막을 수 있는 것, 라. 불연성재료로 방열시공을 한 것

구역별 각 실은 실의 종류와 위치, 인접하는 실의 종류 등에 따라 A-60~B-0등급으로 구분하여 해당 실의 격벽과 바닥 및 천정에 선박방화구조기준에 맞는 재료를 사용한다.

Table 6 Comparison of evacuation facility standards

		Size	Structure and Materials	Reference standard	
1	Fire / watertight compartment	Ship / Submarine	<ul style="list-style-type: none"> Divided by A-class partition walls at 40m intervals, expandable up to 48m in length, less than 1,600m² in area 	<ul style="list-style-type: none"> Depending on the type of room in each area, the location of the room, the type of adjacent room, etc., it is classified into grades A-60~B-0 and materials suitable for the bulkhead and deck of the room are used 	Ship Fire Protection Structure Standards Chapter 1 Article 2
		Building	<ul style="list-style-type: none"> Below the 10th floor: Division within 1,000 square meters of floor area (3,000 square meters of floor area if sprinklers or similar automatic fire extinguishing equipment is installed) 11th floor or higher: Each division within 200 square meters of floor area (600 square meters if sprinklers or similar automatic fire extinguishing equipment is installed) If the walls and half of the interior are finished with non-combustible materials: Each division within 500 square meters of floor area (1,500 square meters if sprinklers or similar automatic fire extinguishing equipment is installed) Sections on each floor 	<ul style="list-style-type: none"> The surrounding space and boundaries are structured to withstand 20 bar pressure an access door, able to withstand design pressure of refuge compartment and arranged such as flooding sea water pressure will press the door on refuge compartment bulkhead Install two air breathing devices with lighting inside 	Article 46 of the Enforcement Decree of the Building Act, Article 14 of Building Fire Protection Structure Rule
2	Evacuation room (Escape Trunk)	Ship / Submarine	<ul style="list-style-type: none"> Maximum number of users can be accommodated Maximum door width 1,200mm Minimum door width 500mm The number and location of hatches are determined considering the total size, number of passengers, operational status, and rescue facilities 	<ul style="list-style-type: none"> The surrounding space and boundaries are structured to withstand 20 bar pressure an access door, able to withstand design pressure of refuge compartment and arranged such as flooding sea water pressure will press the door on refuge compartment bulkhead Install two air breathing devices with lighting inside 	Bureau Veritas(2016), DNV(2015)
		Building	<ul style="list-style-type: none"> (Number of occupants on the upper floor of the evacuation safety zone × 0.5) × 0.28m² More than 2.1m in height Effective opening width of 0.75m or more Effective opening height of 1.5m or more 	<ul style="list-style-type: none"> Internal finishing materials are non-combustible materials Division with fire-resistant structure 	Article 8-2 of Building Fire Protection Structure Rule, Article 25 of Building Fire Protection Structure Rule
3	evacuation stairs	Ship / Submarine	<ul style="list-style-type: none"> Stair width of 800mm or more Install handrails on both sides of stairs 	<ul style="list-style-type: none"> Steel, aluminum or non-combustible materials Installed inside an enclosed area formed by a class A compartment 	International Maritime Organization(2019)
		Building	<ul style="list-style-type: none"> Effective entrance width of 0.9m or more Stairs and landing effective width of 1.5m or more Stair effective height of 2.1m or more 	<ul style="list-style-type: none"> Fire resistant structure Finish with non-combustible materials Install 60+ fire door 	Article 34 of the Enforcement Decree Of The Building Act . Article 35 of the Enforcement Decree Of The Building Act . Article 8 of Building Fire Protection Structure Rule

4	Corridor	Ship / Submarine	<ul style="list-style-type: none"> Minimum width of 700mm or more 	<ul style="list-style-type: none"> Finish with non-combustible or flame retardant material. 	Article 48 of the Ship Equipment Standards, Maritime Safety Act
		Building	<ul style="list-style-type: none"> Minimum ceiling height of 2.03 m or more (maintained at least 2/3 of the total ceiling area) 	<ul style="list-style-type: none"> Make a fire-proof compartment with a wall that is fire-resistant for at least 1 hour. 	Korean Fire Protection Association(2018). Standard for Means of Egress
5	Fire door	Ship / Submarine	<ul style="list-style-type: none"> In the A-class fire door of the escape route, an opening of 150 mm in width and 150 mm in height is installed when the door is closed to allow passage of the fire hose 	<ul style="list-style-type: none"> Fire doors and door frames should be made of steel or other equivalent materials Class A fire door (prevents smoke and flame from passing through until the 60-minute standard fire test is over) Only one person can open and close the bulkhead from either side 	Article 12 of Ship Fire Rescue Standards
		Building	<ul style="list-style-type: none"> Door width and height each less than 2.5m 	<ul style="list-style-type: none"> 60 minutes+fire doors (60 minutes or more to block smoke and sparks, 30 minutes or more to block heat) 	Article 21 of the building fire protection rules
6	Watertight door	Ship / Submarine	<ul style="list-style-type: none"> Max width: 1,200 mm Min. width: 500mm Minimum width for divers entering and leaving: 600 mm 	<ul style="list-style-type: none"> Switchgear using powermanual control Must be able to open from both sides Installed so that it is seated under pressure Remains closed as usual 	Article 18 of ship compartment standards, DNV(2015), Rules for classification: Naval vessels
		Ship / Submarine	<ul style="list-style-type: none"> Install fluorescent strips or emergency lights to mark escape routes at a height of 30 cm or less on the deck on all escape routes (including stairs and entrances) 		International Maritime Organization(2019)
7	Evacuation guidance hand rail etc.	Ship / Submarine	<ul style="list-style-type: none"> Top handle height 0.8 to 0.9 m, bottom handle height around 0.65 m Handle diameter 3.2cm~3.8cm The distance between the wall and the handle is 5 cm or more 	<ul style="list-style-type: none"> Install easily recognizable evacuation information facilities (evacuation huts/passageway guide lights, guide signs, guide lines, etc.) continuously on evacuation routes 	Seoul Universal Design Center(2022), Seoul Universal Design Guidelnes, pp. 236-275

2) 대피실

대피실은 A급 구획의 벽과 바닥 및 천정으로 구분하고 내부 마감재료는 불연재료로 하며 비상탈출구 또는 구조정 연결 해치, 기체관리장치, 산소공급장치, 위험기체 제거장치, 비상등, 의약품, 비상식량, 식수와 쓰레기봉투, 출입문, 급수전, 예비전원에 의한 조명설비, 통신시설, 배연시설, 재난관리 설비 등을 설치한다.

DSRV연결해치는 내부를 불연재료로 마감하고 압력선체 CDP(Collapse Diving Pressure)의 1.1배로 설계하며 내부 조명과 함께 공기호흡장치 2개를 설치한다(DNV, 2015).

비상탈출구를 포함하는 대피실에 적용할 만한 크기에 대한 기준이 명확하지 않아 비상탈출구 사례²⁰⁾ 치수를 참고하여 너

20) Ryack, B. L. et al.(1970)의 p. 6 Fig. 4. Diagram of the Submarine Medical Research Laboratory Escape Trunk Simulator 참고

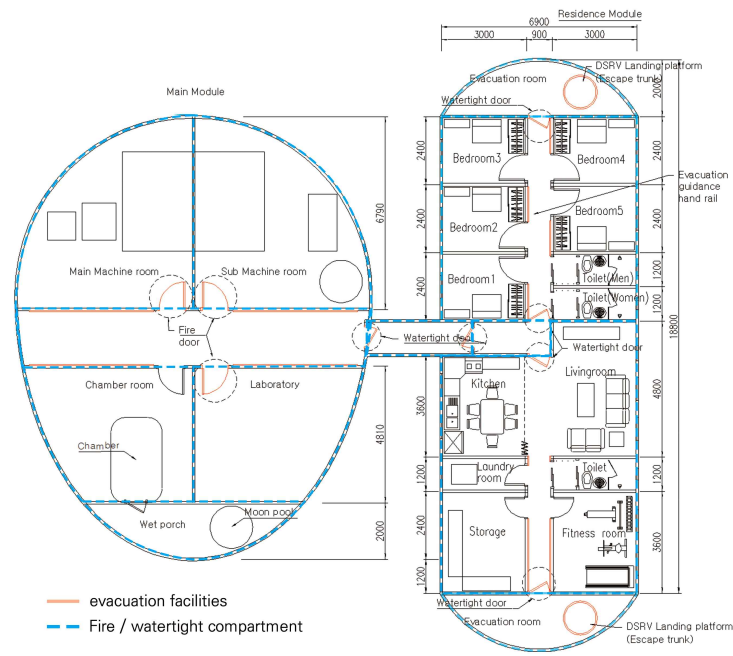


Fig. 7 Plan of evacuation facilities in underwater research station

비 1,700mm, 높이 2,000mm를 최소기준으로 한다.

3) 피난계단

피난계단은 출입구 유효너비 900mm 이상, 계단 및 계단참 유효너비 1,500mm 이상, 계단 유효높이 2,100mm 이상, 내화구조에 불연재료로 마감하고 60+급 방화문을 설치하며 계단은 강제, 알루미늄제 또는 불연성 재료로 한다.

4) 피난통로

대피공간이나 비상탈출구까지 연결되는 피난통로의 너비는 700mm 이상, 천장 높이는 2,030mm 이상으로 하고, 1시간 이상 내화성능의 벽으로 방화구획을 만든다.

피난통로는 직접적이고 연속적이어야 하며 화재, 침수, 수중시설의 기울어짐에 대해 기능을 잃지 않아야 하고 화재, 침수, 연기의 확산에 기여하지 않아야 한다.

5) 방화문

방화문은 A급 방화문²¹⁾으로 하고 방화문에 소화호스의 통과를 위하여 문이 닫힌 상태에서 가로 150mm, 세로 150mm의 개구를 설치하는데 해당 개구의 폐쇄장치는 A급 방화문과 동등한 내화성능을 가져야 한다.

6) 수밀문

수밀문은 수직 또는 수평으로 움직이며 최소너비는 500mm(잠수부가 출입하는 경우 600mm), 최대너비는 1,200mm 이하여야 하며 전력이나 유압 등의 동력을 사용하여 문을 개폐하기 위한 설비를 갖춰야 하며 문의 어느 쪽에서든 손으로 개폐할 수 있어야 한다(Korea Maritime Safety

Tribunal, 2023)²²⁾.

7) 피난유도시설

탈출로에는 바닥에서 300mm 이내 높이에 연기가 가득한 위급한 상황에서도 쉽게 인지(시각 및 청각 정보) 가능한 형광띠 또는 피난유도등을 설치하고 상단과 하단에 손난간(Hand rail) 또는 손잡이를 설치한다. 상단 손잡이는 높이 800~900mm, 하단 손잡이는 높이 650mm 내외로 설치하고 손잡이 직경 3.2cm~3.8cm, 벽과 손잡이 사이 간격은 50mm를 확보한다(Seoul Universal Design Center, 2022)²³⁾.

4.2 피난시설계획

앞에서 정한 피난시설 및 시설기준을 수중연구기지 실내공간계획안에 적용하여 피난시설계획을 Fig. 7과 같이 실시하였다.

- ① 주거모듈에서 대피실 위치를 주거모듈 양 끝에 배치하여 각 실에서 2방향 피난이 가능하도록 기존 주거모듈 평면을 수정하였다.
- ② 주거모듈이 2개의 수밀구역이 되도록 A급 구획의 격벽으로 구획한다.
- ③ 수중연구기지에서 화재위험이 큰 연구공간, 메인장비실, 서버장비실의 출입문에는 방화문을 적용한다.
- ④ 침수 시 1차 피난을 위한 챔버실과 대피실의 문은 수밀문을 적용하였으며 침수에 취약한 메인모듈과 주거모듈의 연결통로 출입문도 수밀문을 계획한다.
- ⑤ 피난통로에는 손잡이와 형광띠 등 피난유도시설을 계획

21) 선박방화구조기준 제12조(A급구획에 있어서의 개구)에서 A급방화문의 시설기준이 제시됨
 22) 중앙해양안전심판원, 선박수밀문 안전지침서, 2023 참고
 23) 서울특별시 유니버설디자인센터(2022), 서울시 유니버설디자인 적용지침, pp. 236-275 참고

하여 화재 연기로 시야 확보가 어려운 상황에서도 안전하게 대피할 수 있도록 한다.

⑥ 대피공간과 이어지는 피난통로의 너비는 최소너비(700mm)보다 크게(900mm) 하여 원활한 피난이 가능하게 한다.

⑦ 대피실 내 들어갈 비상탈출구 사례²⁴⁾의 규모를 참고하여 주거모듈 양 끝에 각각 9m² 넓이의 대피실을 계획한다.

이상에서 제시한 피난시설계획을 수중해비타트, 수중호텔, 그리고 잠수함의 피난시설 및 피난계획과 비교하여 살펴보면, 먼저 유일하게 사용 중인 수중해비타트 Aquarius의 피난시설은 Fig. 8과 같이 Moon Pool을 중심으로 Main lock 바닥과 Entry lock 천정에 탈출용 해치를 설치하여 두 방향으로 피난 경로를 확보하고 있다.

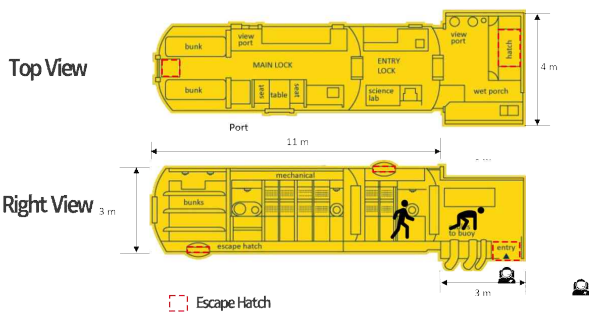


Fig. 8 The aquarius's escape hatches

한편 수중호텔 Poseidon Undersea Resort에서는 Fig. 9와 같이 수상-수중을 운행하는 승객용 및 화물용 엘리베이터를 주 피난시설로 활용하고 이와 더불어 각 객실 천정에 탈출용 해치를 설치하여 두 방향 피난경로를 확보하고 있다.

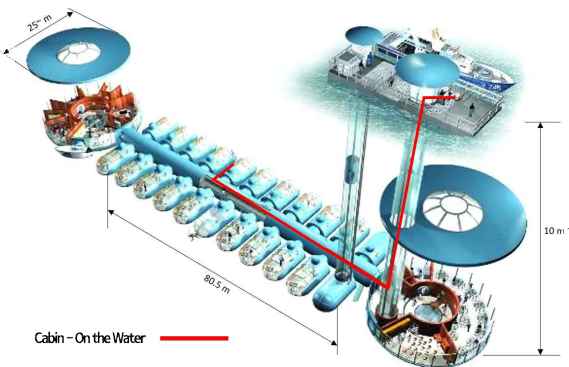


Fig. 9 The poseidon undersea resort's escape route

잠수함에서는 앞서 언급했던 Table 3의 탈출방식을 사용하며 주로 개별탈출과 DSRV 이용 탈출방식을 채택하고 있다. 그러나 잠수함에서는 비상탈출구(Escape Trunk)가 설치된 한 개의 해치를 통해 탈출이 이루어지며 전투를 위한 잠수함 특성상 실질적으로 한 방향 피난경로만 확보된다.

이와 같이 수중해비타트, 수중호텔, 잠수함의 피난시설과 비교하면, 수중연구기지는 수중호텔과 같이 독립적인 주거공

간을 가지므로 모든 거주공간에서 비상시 최소 두 방향 피난 경로를 확보하도록 피난시설과 피난경로를 계획한다. 한편 수중해비타트 Aquarius의 경우에는 수중연구기지보다 시설 규모가 작아서 피난시설이 간단하고 두 방향 피난경로가 명확한 특성이 있다. 또한 잠수함은 군사적인 목적으로 거주성이 결여된 공간 특성으로 인해 피난탈출구가 한 곳에 집중되어 있으며 탈출 관련하여 많은 연구와 경험이 축적되어 있다.

따라서 본 연구에서 수중연구기지의 피난시설 및 피난경로를 계획하기 위해 수중공간에서 피난 및 탈출 관련 기준이 이미 설정되어있는 잠수함의 기준을 우선으로 적용하였다. 다음으로 잠수함과 달리 독립적인 주거공간을 가진 수중호텔의 피난경로를 고려하여 수중연구기지의 모든 거주공간에서 두 방향 피난이 가능하도록 계획하였다. 또한 수중해비타트의 단순하고 명확한 피난경로를 고려하여 수중연구기지의 피난경로 또한 거주자에게 명확하게 인지되도록 계획하였다.

이와 같이 본 연구에서 제기한 수중연구기지 피난시설 및 피난경로계획은 수중주거시설의 피난 관련 연구나 적용기준이 없는 상황에서 수중해비타트, 수중호텔, 잠수함 등 유사시설의 기준과 계획사례를 검토하고 수중연구기지의 공간구성 및 활용 특성을 고려하여 독창적으로 만들어졌다는 점에서 차별성이 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 본격적인 수중연구기지의 실내공간설계에 대비하여 피난시설과 시설기준을 마련하고 이를 이용하여 수중연구기지 실내공간계획안을 대상으로 구체적으로 피난시설 계획을 실시하였다. 본 논문의 주요 연구결과는 다음과 같다.

첫째, 수중연구기지와 유사한 주거용 수중시설 분석을 통해 수중연구기지의 시설 특성을 조사하였다.

둘째, 잠수함 및 수중해비타트 재난사례를 조사하며 주거용 수중시설의 재난 및 피난 특성을 파악하였다.

셋째, 수중연구기지에서 탈출상황과 탈출방법에 의한 피난 시나리오를 작성하고 피난경로에 따라 피난시설을 도출하였으며 잠수함 및 선박 그리고 건축물 관련 기준을 검토하여 피난시설의 규격, 구조 및 재료에 대한 시설기준을 정하였다.

넷째, 앞서 정한 피난시설 및 시설기준을 바탕으로 수중연구기지 실내공간계획안을 대상으로 구체적인 피난시설계획을 실시하였다.

본 논문은 주거용 수중시설인 수중연구기지 방재계획을 위한 기초연구로서 향후 피난 시뮬레이션 및 실험을 통해 피난 경로 및 피난시설에 대한 구체적인 평가 및 검증이 이루어지고 이에 따른 종합적인 피난계획의 수립이 필요하다.

24) Ryack, B. L. et al.(1970)의 p. 6 Fig. 4. Diagram of the Submarine Medical Research Laboratory Escape Trunk Simulator 참고

후 기

본 논문은 해양수산부(해양수산과학기술진흥원)의 “해저공간 창출 및 활용 기술개발 (20220364)”의 연구비 지원에 의해 작성되었음.

References

- [1] ABS(2021), Rules for Building and Classing Underwater Vehicles, Systems and Hyperbaric Facilities 2021. pp. 220-228.
- [2] ABS(2022), Guide for Enhanced Fire Protection Arrangements 2022. pp. 1-36.
- [3] Bohlin, S. and Olofsson, A.(2012), “Fire safety on board submarines - Crew interventions”, Lund University, Bachelor’s Dissertation. pp. 18-19.
- [4] Bureau Veritas(2016), Rules for the Classification of Naval Submarines. pp. 471-526.
- [5] Courtesy of the NOAA’s Undersea Research Center at the University of North Carolina, Wilmington(2008), Aquarius habitat on the dock during maintenance, https://www.researchgate.net/figure/Aquarius-habitat-on-the-dock-during-maintenance-Image-provided-courtesy-of-the-NOAAs_fig2_5582112.
- [6] Depetro, A., Gamble, G., Moinuddin, K.(2021), “Fire Safety Risk Analysis of Conventional Submarines” Applied Sciences, Vol. 11, No. 6, p. 2631.
- [7] DNV(2015), Rules for classification: Naval vessels, pp. 139-156.
- [8] Eckenhoff, R. G.(1984), Pressurized Submarine Rescue, Naval Submarine Medical Research Laboratory.
- [9] Han, T. H., Choi, J. H., Lee, B. J., Lee, H. S., Jang, Y. K., Kim, S. H. and Jeon, G. Y.(2022), “Development of Underwater Space Resource Creation Technologies Annual Report”, Korea Institute of Marine Science & Technology Promotion. pp. 20-29.
- [10] Han, T. H., Park, J. K., Choi, Y. J., Park, B. and Roh, M.(2024), “Analysis of Underwater Space Development Trend and Utilization”, Congress on Disaster Management and Science 2024, p. 31.
- [11] International Maritime Organization(2019), SOLAS Consolidated Edition.
- [12] Kang, Y. H.(2013), “A Study on Architectural Planning of Floating Residential Building”, National Korea Maritime & Ocean University, Graduate School, PhD Dissertation.
- [13] Kim, B. S.(2022), “A study on securing fire safety of lithium-ion battery system for submarine application”, Korea University, Graduate School of Management of Technology, PhD Dissertation. pp. 29-35.
- [14] Kim, E. J.(2000), “Suggestions for Disaster Prevention Facilities in Underground/Underwater City”, Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 1, No. 2, pp. 42-48.
- [15] Korea Maritime Safety Tribunal(2023), Safety Guidelines on Ship Watertight Door.
- [16] Korea Institute of Ocean Science & Technology(2023), Design of the Korean undersea platform, <https://www.kiost.ac.kr/kor.do>.
- [17] Korean Fire Protection Association(2018), Standard for Means of Egress.
- [18] LaPenna, J. J.(2009), “Surfacing rescue container concept design for trident submarines”, Massachusetts Institute of Technology, Department of Mechanical Engineering, Master’s Dissertation. pp. 23-40.
- [19] Lee, B. J., Chung, H., Lee, S. R., Bae, S. W., Nam, K. H. and Kim, H. J.(2024), “A Study on the Basic Design of Underwater Space Upper Platform”, Congress on Disaster Management and Science 2024, p. 38.
- [20] Miller, J. W. and Koblick, I. G.(1995), Living and working in the sea(2nd ed.), Five Corners Publications, pp. 141-227.
- [21] Mole, D. M.(1990), Submarine Escape and Rescue: An Overview, Submarine Development Group One. pp. 8-29.
- [22] Murozaki, Y.(2010), Modern Architectural Studies: Architectural Disaster Prevention and Safety, Seowoo Press, pp. 137-142.
- [23] Park, J. K., Choi, S. I. and Han, T. H.(2024), “Emergency Escape of Underwater Platform Residents”, Congress on Disaster Management and Science 2024, p. 44.
- [24] Ryack, B. L., Rodensky, R. L. and Walters, G. B.(1970), “Human Factors Evaluation of Submarine Escape: IA. Individual and Group Escape with the British Submarine Escape Immersion Suit and The Steinke Hood under Conditions of Side and Tube Egress”, Naval Submarine Medical Research Lab, p. 6.
- [25] Seoul Universal Design Center(2022), Seoul Universal Design Guidelines, pp. 236-275.

Received 12 June 2024

Revised 02 July 2024

Accepted 29 July 2024