

연구논문

해저거주시설 모사 지상실험모듈 개발 요구사항 분석

이주희[†], 김연규, 이종원

한국항공우주연구원

Analysis of Development Requirements on Simulated Ground Test Module for Underwater Residential Facilities

Joohee Lee[†], Younkyu Kim, Jongwon Lee

Korea Aerospace Research Institute, Daejeon 34133, Korea



Received: July 14, 2022
Revised: July 29, 2022
Accepted: August 2, 2022

[†]Corresponding author :

Joohee Lee
Tel : +82-42-860-2378
E-mail : jhl@kari.re.kr

Copyright © 2022 The Korean Space Science Society. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID

Joohee Lee
<https://orcid.org/0000-0001-8968-0900>
Younkyu Kim
<https://orcid.org/0000-0001-5959-6396>
Jongwon Lee
<https://orcid.org/0000-0002-3778-0720>

요약

지구 저궤도 상에서 운영되는 국제우주정거장, 지구에서 가장 가까운 천체인 달, 2030년대 태양계에서 유 일하게 유인 탐사 대상 행성인 화성 등 지구와 전혀 다른 환경에서 인간이 안전하게 탐사임무와 생활을 유지할 수 있도록 해주는 시스템은 다양하게 있다. 그 중에서도 인간의 가장 기본적인 호흡 유지와 관련해서는 인간의 생명유지용 공기관리시스템이 핵심적인 장치이다. 이러한 공기관리시스템은 우주탐사뿐만 아니라, 인간이 거주하는 지구상의 해저지나 잠수함 등에서도 활용 가능하다. 공기관리시스템은 기본적으로 산소발생 시스템, 이산화탄소 제거시스템, 유해물질 제거시스템 등이 서브시스템으로 구성된다. 본 논문에서는 해저거주공간 플랫폼에서 사용 가능한 공기관리시스템을 개발하기 위하여 지상에서 실험용 공간으로 활용할 지상실험모듈의 개발 요구사항에 대해서 분석하였다.

Abstract

There are various systems that allow humans to safely maintain their space exploration missions and lives in completely different environments, such as the International Space Station, the Moon (the closest celestial body to Earth), and Mars (the only planet in the solar system for manned mission in the 2030s). Among them, when it comes to maintaining the basic breathing of humans, the human life support air management system is a key device system. Such an air management system can be used not only for space exploration but also for undersea bases and submarines on Earth where humans reside. The air management system basically consists of an oxygen generation system, a carbon dioxide removal system, and a harmful substance removal system. In this paper, in order to develop an air management system that can be used in an underwater residential platform, the development requirements of a ground test module to be used as an experimental facility were analyzed.

핵심어 : 생명유지시스템, 공기관리시스템, 해저거주시설, 지상실험모듈

Keywords : life support system, air management system, underwater residential facilities, ground test module

1. 서론

최근 국내에서는 한국해양과학기술원 주관으로 해저공간 창출·활용을 위한 설계, 시공, 운영·관리 기술 개발과 실증을 위한 ‘해저공간 창출 및 활용 기술개발(22-26)’ 연구를 수행 중에 있다. 이를 위해 수심 30 m, 3인, 약 27일 거주 실증을 위하여 Fig. 1의 개념 설계안과 같이 해저공간 플랫폼(platform) 테스트베드(test-bed) 개발을 시작하였다[1]. 이러한 해저공간 플랫폼 개발을 위해서는 수중 구조물 개발, 구조물 기초설계 및 시공 등 신뢰성 높은 구조체 제작 기술이 필요하다. 그리고 이와 더불어 체류자 3명이 27일 동안 거주하기 위한 해저 플랫폼 내부 환경제어, 공기 관리, 물 공급 관리 등과 관련한 환경제어 및 생명유지시스템(environment control and life support system, ECLSS: 생명유지시스템) 또한 필수적인 시스템이고 기술이다. 그리고 이러한 생명유지시스템은 실제 구조물이 제작되기 전에 개발, 시험, 검증을 통해 설치되어야 하므로 생명유지시스템을 검증할 수 있는 해저공간 플랫폼 환경을 모사할 수 있는 지상실험모듈 개발이 필요하다. 이에 본 논문은 이러한 지상실험모듈 개발에 필요한 요구사항 분석하였고, 향후 이 결과를 통해 본 생명유지시스템 및 해저기지 플랫폼의 실제 구현을 위한 설계과정에 활용하고자 한다. 해저거주공간 플랫폼 개발은 2022년 4월부터 한국해양과학기술원에서 총괄기관으로 수행을 하며, 플랫폼 내부의 생명유지시스템 개발은 공동연구 기관인 한국항공우주연구원에서 개발을 수행하고 있다.

한국항공우주연구원의 생명유지시스템 연구는 우주탐사 및 해저 활용을 목적으로 공기정화장치, 이산화탄소 제거장치, 산소발생장치 등의 공기관리시스템을 중심으로 연구를 수행 중이며[2], 지상실험모듈은 생명유지 공기관리시스템(산소발생 시스템, 이산화탄소 제거시스템, 온습도 제어시스템 등)을 실제 해저거주공간 플랫폼에 적용하기 전에 이 모듈을 활용하여 시험 및 검증 등 개발을 수행하는데 활용하게 된다. 따라서 우선 지상실험모듈은 공기관리시스템의 시험을 위해 압력 및 기밀 환경, 사용자에 의한 온습도 제어환경, 실험 모듈 내 공기

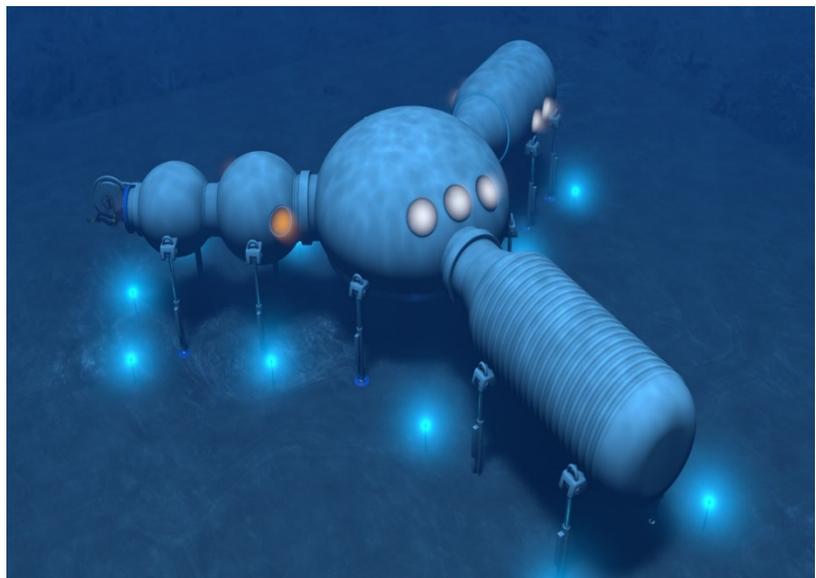


Fig. 1. Conceptual design of test-bed for underwater residential platform [1].

조성, 공조장치 등의 시험 환경을 조성해 주어야 한다. 또한 공기관리시스템의 산소발생 시스템과의 기계적, 전기적 접속을 통해 해저와 유사하게 조성된 환경에서 산소발생시스템에 대한 성능과 신뢰성, 운영 시나리오 도출 등을 위한 시험 공간이 요구된다. 공기관리시스템에서 이산화탄소 제거시스템의 최적 설계를 위하여 해저공간 플랫폼과 유사한 이산화탄소 환경 조성을 위한 이산화탄소 공급장치, 이산화탄소 제거장치용 실험장치의 제작도 필요하다. 지상실험모듈은 내부의 해저공간 플랫폼의 온습도 제어장치의 시제품 등 개발 모델을 적용 가능하도록 하여, 온습도 제어장치의 설계, 운영시나리오 도출 등을 위한 시험 공간도 요구된다. 그리고 해저거주공간 플랫폼에 생명유지시스템을 적용함에 있어 안전 및 긴급상황 등을 고려하여 통합 제어와 운영할 통합운영장치에 대한 시험 및 검증이 가능한 시험 플랫폼도 필요하다.

2. 지상실험모듈 개발 요구사항 개요

지상실험모듈은 향후 해저거주공간 플랫폼이 해저 30 m에 설치되기 이전에 해저 플랫폼에 적용될 생명유지 공기관리시스템을 시험 및 검증하기 위한 모사 환경을 제공하는 시설이다. 따라서 지상실험모듈은 Fig. 2와 같이 공기관리시스템 실험실, 장비실, 제어실 등으로 나뉘지고 각 실은 서로 독립된 환경(공조, 온습도 등)을 제공한다. 전체 실험 모듈은 해저 공간 플랫폼의 거주 모듈을 크기와 동일하게 만드는 것은 불가능하여 3인이 거주가능한 표준화된 크기를 적용하여 실험실이 약 6 m(L) × 2.4 m(W) × 2.4 m(H) 이상 구성되도록 한다. 그리고 장비실과 제어실은 약 6 m 길이로 구성되도록 한다. 지상실험모듈은 내부에서 장비 운영이 가능한 전력과 통신 시스템이 구축되고, 이와 더불어 내부로 물 공급, 공기(가스)가 공급 및 제거가 가능하도록 한다. 외부 재질은 철합금 구조로 제작되고, 실험실은 약 1.2 기압의 가압 환경에서 일정 시간의 기밀유지가 가능하도록 한다. 그 외 각 실 간의 통신장치 구축과 경보기, 카메라, 화재장치, 산소공급기 등의 안전장치가 구축된다.

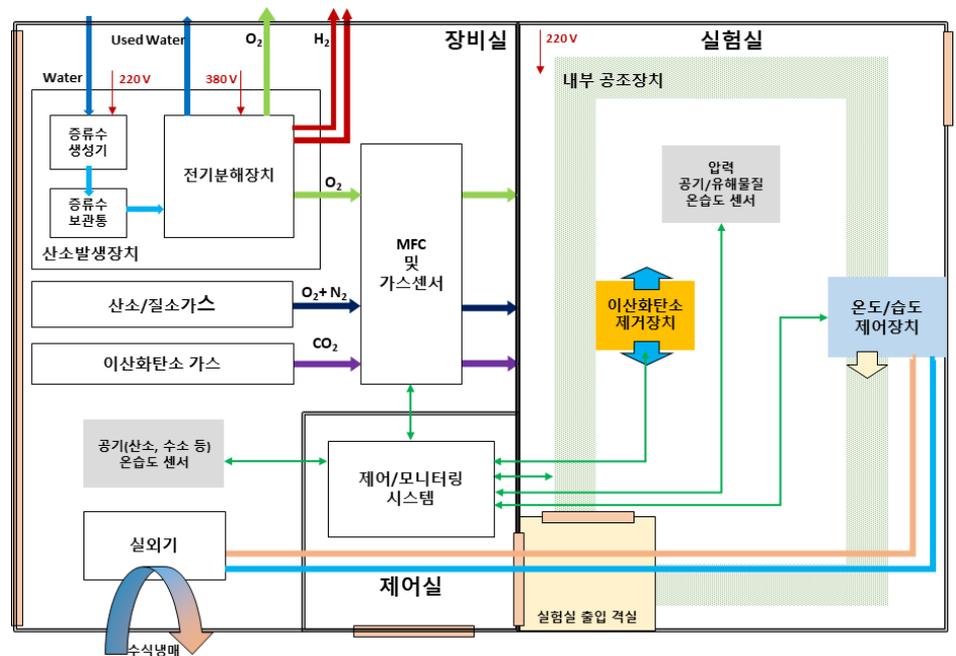


Fig. 2. Conceptual design of ground test module for underwater residential platform.

실험실은 실험자가 머무르며 생명유지시스템의 시험을 수행하는 곳으로 다른 실과 1.2 기압 내외의 환경에서 기밀유지가 되도록 한다. 이를 위해 제어실로 연결되는 문을 이중으로 구성되도록 한다. 그리고 장비실로부터 공급받는 공기(산소, 질소, 이산화탄소 등)에 의해 산소 발생시스템, 이산화탄소 제거시스템, 온습도 제어시스템 등의 생명유지시스템에 대한 데모와 시험을 수행한다. 이를 위해 화재감지와 진압, 실내 안전용 실내마스크 등 안전장치가 필수적으로 구축된다. 장비실은 생명유지시스템 시험을 위해 실험실 내부로 사용자가 원하는 공기를 조성하고 공급하는 공간이다. 이를 위해서 장비실에는 산소발생시스템의 설치와 산소 생산을 위한 물 공급과 배수, 전력 시스템 구축하고, 발생하는 산소는 유량제어기로 공급하고, 수소는 실험 모듈 외부로 배기시켜야 한다. 그리고 별도의 고압 가스(이산화탄소, 산소, 질소) 공급시스템이 구축된다. 이렇게 생성되는 모든 공기는 사용자에게 의해 공기 조성량과 공급량, 속도 제어가 가능한 유량제어기 구축이 요구된다. 제어실은 실험실 및 장비실 내부에 설치되는 생명유지시스템에 대한 시스템 상태를 모니터링(monitoring) 및 제어와 실험실 및 장비실 내부 공기 및 온습도 관련 센서 데이터 취득을 위한 통합제어 및 모니터링 시스템이 구축되어 사용자가 외부에서 전체 시스템을 제어 가능하도록 한다.

3. 지상실험모듈 주요 기능 및 구성

지상실험모듈은 해저 30 m에 설치되는 해저거주공간 플랫폼의 모사환경을 제공하고, 산소 발생 시스템, 이산화탄소 제거시스템, 온습도 제어시스템 등 생명유지 공기관리시스템 각각의 성능시험 및 데모, 각 장비의 복합적 운영/제어, 긴급상황 대처 등 여러 상황에 대한 운영 시험을 위한 테스트베드이다. 따라서, 모듈은 실험환경 조성을 위하여 공기 공급 제어 및 압력 제어, 실험의 안전을 위한 안전장치 등으로 구성된다. 개발하고자 하는 지상실험모듈의 세부적인 기능과 구성은 다음과 같다.

○ 지상실험모듈 제작

〈구조체〉

- 외부는 철합금 구조로 제작되고 전체하중을 견딜 수 있도록 제작
- 지상실험모듈은 공기관리시스템 실험실, 장비실, 제어실로 구성되고, 각 실은 서로 독립된 환경(공조, 온습도 등) 제공
- 전체 크기는 약 12 m(L) × 2.4 m(W) × 2.4 m(H) 내외로 제작하고, 실험실과 장비실은 각각 최소 6 m(L), 4 m(L) 이상이 되도록 구성
- 각 실에 출입구 및 창 등이 구성되도록 함

〈내외부 장치〉

- 지상실험모듈에 최대 20 kW 전력 수용 가능한 전기설비를 구축
- 각 실에 필요한 전원구성, 조명 등을 구성함
- 실내로 산소발생시스템을 위한 물 공급 및 배수 시스템, 온습도 제어장치를 위한 물 순환장치 구축
- 장비실에서 생성된 공기/가스를 실험실로 공급하기 위한 유량제어장치와 지상실험모듈 외부로 배기되는 수소/산소 등의 가스를 위한 장치 구축

〈안전 장치〉

- 각 실 간의 마이크/스피커 등 통신장치, 실내 모니터링 카메라, 화재 감지/진압(스프링 쿨러) 장치, 산소마스크 등 안전장치

○ 실험실 내부 가스 유량 제어 및 압력(기밀) 유지

〈산소발생장치 유량 제어〉

- 산소발생 시스템을 장비실에 설치하여 기계적, 전기적인 접촉을 구축
- 증류수 생산장비에 필요한 수돗물 공급/배수 시스템 구축
- 산소발생 시스템에서 발생하는 산소(2.5 g/min 발생)를 유량 제어기로 연결하고, 발생하는 수소는 실험 모듈 외부의 안전한 공간으로 배기
- 장비실 및 실험실 내부의 산소 및 수소 농도 측정 및 모니터링

〈산소, 질소, 이산화탄소 공급장치〉

- 실험실 내부로 공기(산소 및 질소) 및 이산화탄소 고압가스 구축
- 각 고압가스는 유량제어기로 연결되어 실험실 내부로 공급

〈공기 유량 제어기〉

- 산소발생기 및 고압가스(산소, 질소, 이산화탄소) 공급장치에서 나오는 가스를 유량 제어기로 공급되고 유량제어기를 통해 실험실 내부로 공급
- 실험실 내부에 기본적으로 산소 21%, 질소 79%를 조성된 환경에서 각 가스는 약 수 g/min-수십 g/min 공급 가능하도록 함
- 실험실 내부는 기본적으로 1 atm 수준에서 산소농도 18%~24% 유지

〈실험실 모듈 압력(기밀) 유지〉

- 실험실 모듈 내부 기밀 유지: 최대 1.2 atm까지 가압이 가능하고 가압(1.1 atm) 환경에서 자연 감압속도 0.05 atm/일 이하로 유지
- 압력 센서 설치 및 내부 압력 모니터링

○ 실험실 이산화탄소 제거 제어

〈이산화탄소 제거장치 구축 및 제어〉

- 실험실 내부 이산화탄소 농도는 최대 6,000 ppm 이하로 유지하고, 일반적으로 약 1,000 ppm 정도로 유지
- 이산화탄소 스크러버(scrubber)를 포함하는 카트리지(cartridge)를 개발함
- 각 카트리지에는 3.6 kg/day을 제거 가능한 스크러버가 설치되고, 약 30일 연속 제거가 가능한 카트리지를 제작
- 이산화탄소 카트리지로 입력되는 공기 유량은 3단계로 조절 가능
- 이산화탄소 카트리지는 실험실 내부 공조 장치와 연결 설치

○ 온도 및 습도 제어

〈장비실 및 제어실 온습도 제어〉

- 장비실과 제어실은 일반 에어컨(air conditioner)/히터(heater) 등을 이용한 온습도 제어

〈실험실 온습도 제어〉

- 실험실의 온습도 제어는 물을 이용한 쿨링/히팅 장치 구성
- 실험실 내부는 약 19℃-28℃, 40%-75% 내 유지가 가능한 시스템 구성
- 실험실 내부의 온습도 증가 및 감소 속도는 개발기관과 협의를 통해 개발
- 실험실 온습도 제어장치는 실험실 내부 공조장치와 연결이 되도록 함
- 실험실 온습도 장치의 실외기는 장비실에 설치되고 외부 물의 순환을 통해 냉온조절

○ 실험실 내부 공조장치

〈실험실 공조 제어〉

- 실험실 내부 공조장치는 온습도 제어장치 및 이산화제어장치와 연결
- 실험실 내부 공기 순환을 위한 유량 제어는 최소 3단계 이상 가능하고, 최소 단계의 유량은 실험실 전체의 0.1% 이상되어야 함

○ 통합 제어 시스템 및 환경 모니터링

〈공기질 측정 및 환경 모니터링〉

- 실험실 내부 산소, 질소, 이산화탄소, 휘발성 물질, 미세먼지, 수소 농도 측정 및 이상시 경고로 알림
- 실험실 내부의 압력 측정 및 기밀환경 측정
- 장비실 및 제어실 내부 산소, 수소, 이산화탄소, 질소 농도 측정 및 이상시 경고로 알림
- 지상실험모듈 내부의 온습도 측정 및 이상시 경고로 알림

〈통합 제어 시스템〉

- 유량제어기, 이산화탄소 제거시스템, 온습도 제어시스템, 내부 공조장치 등 주요 장치에 대한 통합 제어
- 지상실험모듈의 기타장비(조명, 전력, 산소마스크, 마이크/스피커, 카메라 등)에 대한 제어

〈안전 모니터링〉

- 지상실험모듈 내부 카메라 설치 및 영상 표시
- 화재감지 및 이상동작 발생 시 경고 기능(LED 및 소리 등)

〈통합 제어 시스템 프로그램〉

- 윈도우 기반 제어프로그램 및 PC와 연동 가능
- GUI 형태로 사용자에게 제공
- 30일 이상의 전체 데이터 저장 가능한 메모리 용량 및 데이터 외부전송 용이

○ 기타

- 지상실험모듈 시험 및 데모를 위한 시험공간(전력 등 포함) 제공 필요
- 사용하는 이산화탄소 스크러버에 대한 공인 안전 증명서 필요
- 사용하는 모든 센서에 대한 공인 성적서 제시 필요

4. 지상실험모듈 개발을 위한 요구사항 상세분석

Table 1은 이전 지상실험모듈[3] 개발 경험과 해저 시스템의 요구사항 문서[4,5]를 참조하여, 해저거주공간 플랫폼 환경 모사 지상실험모듈의 개발을 위한 세부 요구사항 분석결과를 표로 정리한 것이다. 본 요구사항을 만족시키는 하드웨어(설비 및 장치)와 소프트웨어(제어 및 모니터링 프로그램)를 개발하고자 한다. 지상실험모듈은 산소발생시스템 2대(교대로 작동)를 설치하고, 실험이 가능하도록 설계에 반영하여야 한다. 이산화탄소 제거시스템의 카트리지는 시험이 가능한 형태로 별도 개발하며, 지상실험모듈에서 시험 후에 최종 제작에 착수할 예정이다. 그리고 통합제어시스템 개발에서도 안전을 위해 내부 및 외부에서 동시에 제어가 가능하도록 할 필요가 있다.

Table 1. Requirement analysis of simulated ground test module for underwater residential platform

#	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	내용	비고
1	지상실험 모듈	무게			무게는 최대 TBD kg	일반 트레일러로 수송/설치 가능
2		외형	형태		기본적으로 직육면체 형태	
3			크기		외형은 약 12 m(L) × 2.4 m(W) × 2.4 m(H)	3인이 함께 실험가능한 공간
4		전력	전력공급		요구되는 전력은 최대 약 20 kW	
5		외부구조/장치	외벽재질		외부재질은 철합금 재질로 제작	
6			외벽강도		전체하중을 견딜 수 있도록 제작	
7			인터페이스	전력/통신	실내로 전력/통신 등 전기 인터페이스 장치 설치	
8				물	실내로 물 공급 포트 1개, 배수 포트 1개	
9				가스	실내에서 발생한 수소 가스 배출 4개, 산소가스 2개 포트 설치	배출되는 수소 가스는 밖으로 배출
10		실내구조/장치	구조	구성	실험실, 제어실, 장비실로 구성	
11				크기	실험실은 6 m(L) 이상, 장비실 4 m(L) 이상 제작	
12					각 공간은 서로 독립된 환경(공기 조성, 온습도 등)으로 차단됨	
13				실내 벽	실내 벽은 단열 처리	
14					실내 벽은 1 등급 난연재 재료	
15			전력장치	전력공급	메인 전원에서 각실에 요구되는 전력 공급 가능	

Table 1. Continued

#	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	내용	비고
16	지상실험 모듈	실내구조/장치	전력장치	콘센트	적절한 콘센트 배치	
17				조명	각 실 천장에 적절한 LED 배치	산업표준기준 준용
18			통신/데이터	통신장치	각 실 간 명령/데이터 전달을 위한 통신장치 구성	
19				무전력전화	제어실과 실험실 간 무전력 통신 시스템 구성	
20			가스공급		장비실에서 실험실 간 가스공급/배출 및 외부배기용 포트 구성	
21			안전설비/기타	화재감지기	각 실에는 화재 감지기 설치	
22				화재진압	지상실험모듈에는 스프링클러 및 각 실에 소화기 설치	
23				산소마스크	실험실 내 안전을 위하여 산소마스크 3개 이상 설치	
24				카메라	실험실 및 장비실 내부 모니터링용 카메라 설치	
25		실험실	기밀	기밀	실험실 내부는 외부 및 다른 실과 기밀 유지	
26				압력	공급되는 가스에 의한 약 10% 압력 증가에 의한 기밀(압력) 유지	
27				압력유지	가압(1.1 atm)에서 자연 감압속도 0.05 atm/일 이하	외부 1 기압
28				센서	압력 센서(2개 이상) 실험실 내 설치 및 샘플링 1 Hz	
29					압력 센서 오차 1% 이내	
30			공조/온습도		실험실 자체 공조 및 온습도 제어 가능	
31			가스공급		장비실로부터 필요한 가스를 공급받음	
32			환경제어		제어실의 통합제어장치를 통해 내부 환경을 기본적으로 제어	
33					긴급상황을 위한 실험실 내부 제어장치(on/off) 제공	
34			출구	제어실	제어실 연결되는 이중문 설치	최소한의 airlock 기능 구현
35				외부	실험실에서 지상실험모듈 외부로 출구문 설치	긴급사태 발생시
36		장비실	기밀		실험실과 제어실과는 서로 공기적으로 분리됨	

Table 1. Continued

#	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	내용	비고
37	지상실험 모듈	장비실	온도 제어		장비실 전용 온도 제어장치 설치 및 온습도 센서	
38			제어		제어실의 통합제어장치 또는 수동으로 장비를 제어함	
39		제어실	기밀		실험실과 제어실과는 서로 공기적으로 분리됨	
40			온도 제어		장비실 전용 온도 제어장치 설치 및 온습도 센서	
41			제어		제어실의 통합제어 장치 또는 수동으로 장비를 제어함	
42	장비실 실험장치 (가스공급)	산소발생 장치	접속		산소발생장치가 장비실 내부에 전기적, 기계적 연결	
43			전기	산소생성 장비	3상 380 VAC 10 kW 급의 전원 공급	
44			산소		산소발생장치에서 발생하는 산소를 유량제어기로 전달	산소농도 18%~ 24% 유지
45			안전장치	수소가스 배기	산소발생장치에서 발생하는 수소를 장비실 외부로 배기	
46			증류수생산 장치	전력	증류수 생산장치에 단상 220 VAC 전원	
47		이산화탄소	이산화탄소 압축가스		이산화탄소 압축가스 및 거치대 장비실 설치	압축공기가스 20,000 L(@1 atm)
48			공급	기계접속 인터페이스	이산화탄소 압축 가스에서 유량 제어기로 포트 설치	
49		산소	산소 압축가스		산소 압축가스 및 거치대 장비실 설치	
50			공급	기계접속 인터페이스	산소 압축가스에서 유량제어기로 공급포트 설치	
51		질소	질소 압축가스		질소 압축가스 및 거치대 실험실 설치	
52		공급	기계접속 인터페이스	질소 압축가스에서 유량제어기로 공급포트 설치		
53	산소 + 질소	공기 압축가스		공기 압축가스 및 거치대 실험실 설치		
54		공급	기계접속 인터페이스	공기 압축가스에서 유량제어기로 공급포트 설치		
55	유량제어기	유량제어		공급되는 가스 측정용 MFM 혹은 MFC 장착		
56		유량공급		공급되는 산소, 질소, 산소 + 질소, 이산화탄소의 유량 제어 실험실 내부로 공급		

Table 1. Continued

#	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	내용	비고
57	장비실 실험장치	유량제어기	가스공급	기계접속	장비실에서 실험실 내부로 공급하는 가스 포트 제공	
58	(가스공급)			연결장치	퀵커넥터로 연결	1/4 인치 퀵 커넥터
59		안전	유량공급		설정된 값 20% 이상 공급될 경우, 알람 및 유량제어기 전원 차단	
60			실험실		실험실 내부의 설정값 10% 이상 벗어날 경우, 유량공급 전원 차단	
61			센서	수소	실험실/장비실 내부 수소 농도 측정 및 이상시 알람	
62				산소	실험실/장비실내부 산소 농도 측정 및 이상시 알람	
63				공기	실험실/장비실 내부 공기조성 측정 및 이상시 알람	
64				이산화탄소	실험실/장비실 내부 이산화탄소 농도 측정 및 이상시 알람	
65	이산화탄소 제거 장치 (실험실)	기능			실험실은 이산화탄소 농도 최대 0.006 bar(6,000 ppm) 이하 유지	
66		성능	제거량		3.6 kg/일 & 30 일 연속 제거 가능	10 g/h
67		운영	자동		이산화탄소 센서 평균 분압 0.005 bar 5 분 이상 유지시 자동 동작	
68			수동		사용자에 의해 수동으로 동작 가능	
69		센서	위치/개수		실험실 내부 2 곳과 스크러버 출력부에 이산화탄소 센서 설치	
70		안전	스크러버	밀폐	스크러버 물질 밀폐가 되어 실험실 오염이 되지 않도록 제작	
71				화학반응	스크러버 물질과 이산화탄소 화학반응 인체 안전성 보장	
72			알람	스크러버 출력부	스크러버 출력부 내 이산화탄소 센서 이상신호	이산화탄소 허용범위(0.6%) 초과
73				실험실	실험실 내 이산화탄소 센서 이상신호	이산화탄소 허용범위(0.6%) 초과

Table 1. Continued

#	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	내용	비고
74	이산화탄소 인터페이스 제거 장치 (실험실)	공조장치			이산화탄소 스크러버 카트리지를 내부 공조장치 내 설치	
75			데이터		이산화탄소 센서 데이터와 원격제어부 연결	
76			전기		이산화탄소 센서 및 스크러버 카트리지 전원	
77	온습도 제어 (실험실)	기능			지상실험모듈 항온항습	
78		성능	온도범위		지상실험모듈 19℃~28℃ 내에서 ±1℃를 유지, 1℃ 단위 제어	
79			온도 제어 속도		온도 증가 속도 TBD℃/h, 온도 감소 속도 TBD℃/h	
80			습도범위		습도 범위 40%~75% 내 유지, 1% 단위 제어	
81			습도 제어 속도		습도 증가 속도 TBD %/h, 습도 감소 속도 TBD %/h	
82		동작	쿨링	방법	냉매 냉각을 통해 열 교환식	냉매: 물
83				장치	압축기, 응축기, 증발기, 팽창밸브 등의 장치가 요구에 맞도록 사양설계	
84			제습		기본적으로 쿨링 기능에 포함 또는 별도의 장치를 구성	사람의 호흡, 기타 활동에 습도 증가
85			히터		화재 등 안전사항을 고려한 시스템	
86		센서	개수/위치		온도/습도 센서 2개 이상 구성하고, 사용자 접근이 용이	
87			정확도/ 샘플링시간		온도 1℃ 단위, 습도 1% 단위 표시 및 샘플링 시간 약 1 Hz	
88		인터페이스	전력		온습도 제어장치를 운영가능한 전력 공급	
89			제어명령		사용자가 지상실험 모듈 내부에서 제어 가능	
90			데이터		온습도 데이터 외부로 1 Hz 이상 전달	
91			냉매공급		냉매(물) 공급장치 연결	
92			제습		발생한 실내 수증기 배출장치 연결	

Table 1. Continued

#	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	내용	비고
93	공기질 모니터링	센서	수소		실험실 내부 수소 농도 측정 및 이상시 알람	
94	(실험실)		산소		실험실 내부 산소 농도 측정 및 이상시 알람	
95			공기		실험실 내부 공기조성 측정 및 이상시 알람	
96			휘발성 물질		휘발성 물질 농도 측정 및 이상시 알람	
97			미세먼지		먼지 농도 측정 및 이상시 알람	
98	공조 (실험실)	내부 공조기능			내부의 공기 순환을 위한 공조장치 제어가 가능	
99		내부 공조 순환 주기 성능	순환 주기		온습도 제어장치 및 이산화탄소 제거장치와 동기화, 사용자에게 의한 운영	
100			순환 속도		미정(3단계 이상 제어 가능)	
101		내부공조 장치	펌프		순환 용량에 적절한 펌프 설치	
102			팬		순환 용량에 적합한 크기 설정	
103			센서		유량 센서 구성	
104		공조	전력		전력공급	
105		인터페이스	제어명령		실험모듈 내부 및 외부에서 제어	
106			데이터		공조 유량 데이터 모니터링	
107	원격 제어장치	기능			별도의 제어실에서 장비제어, 데이터 취득, 모니터링 가능	
108	(제어실)	측정	압력		실험실 내부의 압력 모니터링 및 이상(1.2 atm 이상)시 가스공급 차단	
109			밀폐		실험실 가압 조건에서 밀폐환경(가압 자연감소) 모니터링	
110			공기(질소/ 산소)		실험실 내부 질소 및 산소 농도 등 공기조성 모니터링 및 공기공급 차단	
111			수소		실험실 내부 수소 농도 모니터링 및 산소발생기 전원 차단	
112			이산화탄소		실험실 내부 이산화탄소 농도 모니터링 및 이산화 탄소 공급 전원 차단	

Table 1. Continued

#	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	내용	비고
113	원격	측정	온도		실험실 내부 온도 모니터링	
114	제어장치	(제어실)	습도		실험실 내부 습도 모니터링	
115	유해물질			실험실 내부 5대 휘발성 유기화합물 가스 모니터링		
116	먼지			실험실 내부 미세먼지 모니터링		
117	장치제어		이산화탄소 제거장치	이산화탄소 모니터링	이산화탄소 제거장치 가스 출력부 이산화탄소 농도 모니터링	
118			카트리지	스크러버 카트리지 사용량 모니터링		
119			유량	입력 유량 팬 제어		
120			유량제어기	모니터링	유량제어기로 입력 및 실험실로 나가는 가스의 유량 및 속도 모니터링	
121			제어		유량제어기로 입력 및 실험실로 나가는 가스의 유량 및 속도 제어	
122			온도제어부		실험실 온도 모니터링 및 온도 설정	
123					온도 자동 제어 및 매뉴얼 제어 가능	
124					장비실/제어실 내부 및 특정 고온장치/장비 온도 모니터링	
125			습도제어부		실험실 습도 모니터링 및 습도 설정	
126					장비실/제어실 습도 모니터링	
127					습도 자동 제어 및 매뉴얼 제어 가능	
128			내부공조 장치		내부공조 유량 3 단계 이상 제어	
129			기타		내부 조명, 전력, 마이크/스피커, 카메라 등 제어	
130			안전	카메라	실험실 및 장비실 내부 모니터링 카메라 영상 표시	
131				알람기능	이상동작 발생시, 알람 기능(LED & 소리)	

MFM/MFC, mass flow meter/controller.

5. 요약

본 논문에서는 2022년 4월부터 '해저공간 창출 및 활용 기술개발(22-26, 해수부)' 사업의 일환으로 인간이 체류할 해저거주공간 플랫폼 모사 지상실험모듈 개발을 위한 주요 요구사항 분석을 수행한 결과를 기술하였다. 본 요구사항 분석에 따라 생명유지 공기관리시스템을 설치하고 사전 실험을 수행할 지상실험모듈 제작을 수행할 것이다. 지상실험모듈은 향후 해저거주공간 플랫폼이 해저에 설치되기 이전에 해저 플랫폼에 적용될 생명유지 공기관리시스템을 시험 및 검증하기 위한 모사환경 제공 시설로써 공기관리시스템 실험실, 장비실, 제어실 등으로 구성된다. 향후 제작될 지상실험모듈의 하드웨어와 소프트웨어의 기능 및 성능시험도 이루어질 예정이며 시험 통과 후, 지상실험모듈을 활용한 공기관리시스템의 사전 실험이 진행될 계획이다. 실험 결과를 바탕으로 해저거주공간 플랫폼에 실제 설치할 산소발생 시스템, 이산화탄소 제거시스템, 공기중 유해물질 제거시스템, 온습도 제어시스템 등의 설계 및 제작이 향후 이루어질 예정이다. 본 연구의 해저공간 플랫폼 공기관리시스템은 국제우주정거장 (ISS)과 같이 밀폐된 환경에서 인간의 거주에 필요한 환경제어와 생명유지를 위한 시스템 (ECLSS, Environment Control and Life Support System)[6]과 거의 유사한 기능과 성능을 요구한다. 이에 본 연구는 향후 우주정거장, 유인 로버, 달 및 화성 기지 등 인간의 거주에 필요한 생명유지시스템 개발에 활용 가능할 것이다.

감사의 글

본 연구는 해양수산부 “해저공간 창출 및 활용 기술개발(과제번호 20220364)” 사업의 연구비 지원으로 한국항공우주연구원에서 수행(해저공간 플랫폼용 생명유지 공기관리시스템 개발, 과제번호 GR22240) 되었습니다.

References

1. Han TH, Park JK, Choi JH, Lee, BJ, Lee JH, et al., Development of underwater space resource creation technologies: plan of research and development, Korea Institute of Ocean Science & Technology (2022).
2. Lee JW, Kim YK, Lee JH, Development trends of life support system for the manned space exploration, J. Space Technol. Appl. 1, 85-103 (2021). <https://doi.org/10.52912/jsta.2021.1.1.85>
3. Choi GH, Han SH, Kim HD, Lee JH, Kim JW, et al., Research on aerospace core technology based on artificial intelligence and metal 3D printing technology, Korea Aerospace Research Institute, Report V60-V61 (2022).
4. 한국선급, 잠수선 규칙 잠수선 규칙 적용지침 (2021).
5. American Bureau of Shipping, Rules for building and classing underwater vehicles, system and hyperbaric facilities, American Bureau of Shipping (2021).
6. NASA, Environmental control and life support system (ECLSS), Face Sheet (2017) [Internet], viewed 2022 Aug 20, available from: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/g-281237_eclss_0.pdf

Author Information

이 주 희 jhl@kari.re.kr



2013년 우주과학 박사학위를 취득하였으며, 1998년부터 현재까지 한국항공우주연구원 위성우주탐사체계설계부에서 책임연구원으로 재직 중이다. 주요 연구 분야는 유인 우주 실험, 임무 설계 및 시스템 개발 연구, 달 및 행성 과학 분야의 임무 개발 및 탑재체 분야에 대한

연구 등이다.

이 종 원 ljw21c@kari.re.kr



2014년 기계공학 석사학위를 취득하였으며, 2014년부터 현재까지 한국항공우주연구원 위성우주탐사체계설계부 선임연구원으로 재직 중이다. 유인우주 시스템의 설계/해석/실험 등의 분야에 대한 연구를 수행 중에 있다.

김 연 규 ykkim@kari.re.kr



2022년 항공우주 박사학위를 취득하였으며, 2004년부터 현재까지 한국항공우주연구원 위성우주탐사체계설계부에서 선임연구원으로 재직 중이다. 유인우주 시스템 및 행성탐사 로버 시스템 최적 설계 등의 분야에 대한 연구를 수행 중에 있다.