

달기지 벽체구성개념 도출을 위한 해외기술조사

안호상

한국건설기술연구원 건축에너지연구소

Technical Review of Habitat Shell Concept for Lunar Habitat Construction

Hosang Ahn

Department of Building Energy Research, Korea Institute of Civil engineering and building Technology

요약 `22년 12월에 수립된 제4차 우주개발진흥기본계획(안)에 따라 `23년부터 `27년까지 5개년 동안의 분야별 추진 세부 정책 및 사업에 대한 방향과 목표가 제시되었다. 이에, 한국건설기술연구원은 연구원 주요 사업으로 '유인 우주기지 건설 핵심기술 협력 개발' 사업을 시작하였고, 주요 연구 내용으로 유인 우주기지 건설에 필요한 건설계획의 수립부터, 유인 탐사의 가장 기본이라고 할 수 있는 생존환경의 확보를 위해, 기지 방호막 건설기술, 기지벽체개념 및 구성방안, 태양 에너지 활용 및 실내 환경 유지설비를 포함하고 있다. 그 중에서도 달에서 유인 탐사 시 필수 생존 환경조건이라고 할 수 있는 온도, 습도, 기압, 산소농도 등의 조건을 확보하고, 유지하는데 있어, 가장 기본이 되는 기지 구성벽체의 개념과 세부 구성을 위해, 기존 NASA, ESA 등 우주선진국에서 제시된 달 탐사 유인기지의 개념과 관련기술에 대해 조사 및 정리를 하였고, 이를 바탕으로 한국형 유인 달기지 건설을 위한 벽체 개념 및 세부 구성(안)에 대한 방향을 제시하고자 한다.

Abstract The Fourth Basic Plan for Space Development and Promotion released in December 2022 presented a direction and aims for policy and projects in the coming 5 years beginning in 2023. To implement this basic plan in the construction field, the Korea Institute of Civil engineering and Building Technology has launched a new research project, "Human Exploration Base Construction Core Technology Development," which deals with a basic construction plan for technologies required to secure survival environment conditions. It covers details from the basic base protection to the base shell concept, solar energy utilization, and heat, ventilation, and air conditioning (HVAC). Temperature, humidity, internal air pressure, and oxygen concentration are essential for human survival in a lunar environment and can be secured by a wall configuration concept. Previous research was investigated, especially reports by NASA and ESA, to find directions research on how to configure a habitat wall as a multi-layered shell to construct a Korean lunar base and secure essential conditions including temperature, humidity, radiation protection, air pressure, and so on.

Keywords : Lunar Base, Habitat, Multi-layered Shell, Wall Configuration, Human Exploration, Survival

본 논문은 한국건설기술연구원 2023년 주요사업 '유인 우주기지 건설 핵심기술 협력 개발' 연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Hosang Ahn(KICT)

email: hahn@kict.re.kr

Received October 24, 2023

Revised November 28, 2023

Accepted December 8, 2023

Published December 31, 2023

1. 서론

우주탐사에 대한 인류의 열망은 구 냉전시대 미국과 소련의 패권 경쟁에서 촉발되어, 1957년 구 소련의 스푸트니크 1호(러시아어: Спутник-1)가 인류 최초로 유인 로켓 발사에 성공하고, 1969년 미국항공우주국(NASA: National Aeronautics and Space Administration, 이하 NASA)의 아폴로 11호가 달에 착륙하면서 가시화되었다. 이후 유럽우주국(ESA: European Space Agency, 이하 ESA), 인도우주연구기구(ISRO: Indian Space Research Organization, 이하 ISRO), 일본 우주항공연구개발기구(JAXA: Japan Aerospace eXploration Agency, 이하 JAXA), 중국국가우주국(CNSA: China National Space Administration, 이하 CNSA)등 국가기관을 중심으로 추진되던 각국의 우주항공기술 연구개발 및 군사목적의 발사체, 인공위성 발사로부터, 최근에는 군비경쟁의 이념대결에서 벗어나 기존 국가차원의 연구개발, 탐사용 위성 발사뿐만 아니라, 스페이스엑스(Space X), 블루오리진(Blue Origin), 버진 갤럭틱(Virgin Galactic) 등 민간기업의 상업적 활용 요구에 따른 민간통신, 기상관측, 재해용발사체, 우주관광 서비스 등의 방향으로 확장되는 등, 세계 우주산업 및 개발 환경은 급속히 변하고 있다. 우리나라에서는 지난 1993년 고체추진 과학관측로켓(KSR-I: Korea Sounding Rocket-I, 이하 KSR)이 시험발사에 성공한 이후, 1996년 수립된 제1차 우주개발중장기기본계획에서 우주산업을 세계 10위권으로 하는 성장 목표가 제시되었으며, 이에 따라 1999년 아리랑 1호가 최초로 발사되었다[1]. 또한, 2002년 액체추진과학로켓(KSR-III)가 시험발사에 성공하고, 제2차 우주개발중장기기본계획에 따라, 2005년까지 한국형 발사체 나로호(KSLV-I: Korea Space Launch Vehicle-I, 이하 KSLV)를 러시아와 공동 개발하는 계획이 수립되었다. 하지만, 미국, 러시아와의 갈등, 계약변경 등의 내·외부적인 문제로 인해 발사체 개발의 중단, 재개를 반복하며 2009년, 2010년 연이은 실패 이후, 2013년에 이르러서야 드디어 발사에 성공하게 된다[2]. 2010년 최초 수립, 2013년 수정된 한국형발사체 개발계획에 따라, 저궤도 실용위성 발사체로 개발된 누리호(KSLV-II)는 21년 1차발사 실패, 22년 2차발사로 최초 성공, 23년 3차발사의 성공에 이르게 된다[3]. 2022년 12월 발표된 제4차 우주개발진흥기본계획에서는 기존의 우주발사체, 위성개발 위주의 개발에서 벗어나 민간 역할의 확대, 신 우주산업의 창출, 우주탐사의

본격화 등을 주요 목표로 제시하고, 세부적으로는 2030년 우주 무인수송 능력의 확보, 2045년 유인수송능력의 확보를 목표로 두고 있다[4]. 이를 위해서는, 미래 유인 우주 탐사시대를 대비하고, Fig. 1에서 제시된 5대 우주개발 미션처럼 개발기간이 최소 20~30년이 걸리는 장기 프로젝트임을 감안할 때, 지금이 유인 우주기지에 대한 개념을 도출하고 향후 개발 방향에 대해 설정을 위한 적기라고 할 수 있다. 세부적으로는 유인 우주 탐사기지에 대한 개념과 탐사 인원수와 목적에 따른 규모 설정, 이와 상응하는 필요 기능의 정립, 관련 기초시험을 통한 검증 등이 필요하며, 이를 바탕으로 한 우주기지 개념 구상도는 달과 화성 위주로 각국의 목적에 따라, 미국, 유럽, 러시아, 중국 등에서 제시되고 있다. 특히 미국에서 제시한 아르테미스 계획(Artemis program)에는 2021년 한국이 참여하기로 약정한 바 있어, 이 계획에서 설정하고 있는 우주탐사의 단계별 목적과 시기적으로도 연계되며, 우주 유인기지 본연의 목적에도 부합하도록 기지의 형태 및 구성체제에 대해 고려되어야 한다[5]. 이에 본 연구에서는 유인 우주 탐사기지에 대한 기존 사례에 대해 분석하고, 유인 탐사를 위해 필수적으로 확보되어야 하는 기본 생존 환경조건에 대해 정리하였다. 이를 기반으로 기지 체제를 어떻게 구축하는 것이 기능적인 관점에서 생존 환경조건 확보가 가능할지에 대해 분석하여, 유인 기지개념의 형태와 개발방향에 대해 제시하고자 한다.

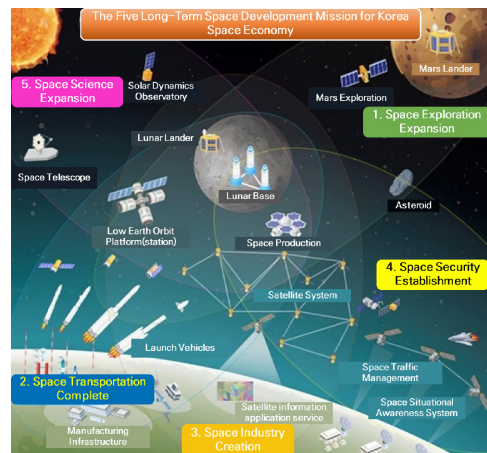


Fig. 1. Five long-term space development missions

2. 연구방법 및 내용

2.1 문헌조사

기존의 연구 및 개발동향은 구글 및 구글스칼라(www.google.com, scholar.google.com) 사이트에서 주요 키워드를 입력하여 검색하는 방식으로 수행되었다. 우주기지는 크게 자원탐사 및 중간기점 역할로서의 달기지와 유인 거주를 위한 화성기지로 크게 나눌수 있다. 이에 따라 주요 키워드로 'lunar habitat', 'NASA habitat', 'lunar base', 'moon base', 'lunar outpost', 'habitat shell', 'habitat design'을 선택하고 이에 따라 검색 결과를 정리하였다. 추가로 유인 우주 탐사에서 가장 기본 생존환경이라고 할 수 있는 기지 내부의 온·습도, 산소, 기압, 조도 등을 확보함에 있어 주요 위협요인이자 우주 환경인자인 방사(radiation), 극한온도(extreme temperature), 고진공(high vacuum), 저중력(low gravity)에 대해 살펴보고, 이 중에서도 우선 조건으로 방사 및 극한온도 조건으로부터 구조물과 사람을 보호하기 위한 기지의 형태 및 벽체 개념과 구성에 대해 조사 및 분석을 하였다.

2.2 우주 환경조건

Fig. 2에서 보이는 바와 같이 우주 환경에서 큰 위협 요인 중 하나는 우주 방사이다.

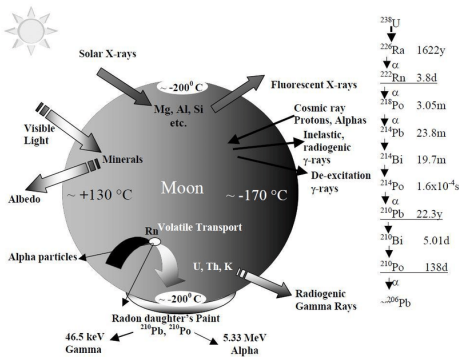


Fig. 2. Radiation events on the lunar surface [6]

달환경은 지구와 다르게, 대기가 없는 고진공 상태에, 지구의 1/6 수준의 중력 및 지구의 1% 정도의 약한 자기장 등으로 인해 태양으로부터 방사되는 은하 우주방사선(GCR: Galactic Cosmic Ray, 이하 GCR), 태양입자이벤트(SPE: Solar Particle Event, 이하 SPE)에 의한 다양한 고에너지 입자 물질, 엑스선, 감마선 등의 방사선이 그대로 달 표면에 도달하게 된다[6].

또한, Fig. 3에서 나타난 것처럼, 달 자전축의 기울기, 공전주기의 영향으로 지구와 다른 14.5일 정도의 낮과

밤의 주기, 위도에 따른 변화 등으로 달 표면의 온도변화가 -150°C 에서 $+150^{\circ}\text{C}$ 정도에 이를 정도로 온도 및 온도편차가 크다[7]. 따라서, 이러한 방사와 극한의 온도편차를 극복하는 것이, 달 환경에서 유인 탐사를 위한 생존 환경을 확보함에 있어 가장 중요하다.

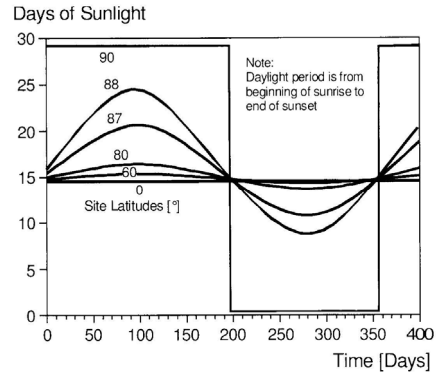


Fig. 3. Days of sunlight on the lunar surface by site latitude [7]

2.3 기지 형태

아래 Fig. 4에서 정리된 바와 같이, 기지의 형태는 크게, 착륙지 및 착륙지 이외 지역으로의 이동 여부에 따라, 고정형과 이동형으로 나뉘며, 연속 탐사기간 및 동시에 얼마나 많은 인원이 탐사에 참여하는지에 따라 나뉘게 된다.

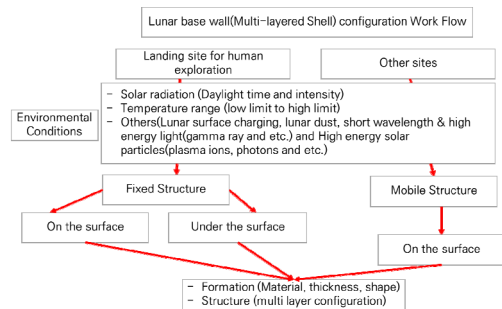


Fig. 4. Lunar habitat structure and shell design flow

주로 30일 이상 연속탐사의 경우 방사 환경에 대한 노출, 온도변화의 극복, 에너지공급 등의 문제를 고려할 때 고정형 기지가 주된 형태로 고려되고, 1~2명의 인원이 단기간에 이동이 필요한 탐사를 진행할 때 이동형 기지를 고려하게 된다[8]. 이러한 기지 개념의 구상 및 세부 형태에 대한 고민은 미국 NASA에서 주로 진행되었고, 앞서 제시된 우주 환경에서 생존환경을 확보하고, 이 중

에서도 내부압력의 유지와 외부 충격의 최소화라는 관점에서 형태로는 구형(sphere), 실린더형(cylinder), 환상, 도넛형(torus)과 구축 방식으로는 모듈형(modular), 팽창형(inflatable) 구조가 최우선으로 고려되었다[9].

2.4 형태별 특징

기지의 형태는 앞서 언급한 대로, 구형등 형태를 모듈형이나 팽창형으로 건설하느냐에 따라 분류할 수 있는데, 형태별 특징은 아래 Table 1에서 정리한 바와 같다.

기지 형태에 대한 구상은 미국 NASA, 유럽 ESA를 필두로 이와 연계된 호주, 일본, 인도와 더불어 러시아, 중국 등의 국가에서 이뤄지고 있다. 특히 미국은 1960년대 아폴로 프로젝트와 더불어 초기 유인달 착륙 개념에 대해 다수의 프로젝트에서 제시한 바 있고, 1990년대부터는 유인 탐사에 필요한 인원수에 따른 구조물의 크기, 형태, 종류와 이를 구현할 구조물의 연결 방법, 소재에 이르는 구체적인 설계(안)에 대해 제시하고 있다[14].

Table 1. Permanent lunar surface habitat structure

Type	Advantages	Disadvantages	Ref.
Permanent Surface Rigid modular or Inflatable	Optimal for internal air pressure control	Hard to connect airlock floor separation required	[10]
	Easy to configure multi layered shell for protection	Fabric shell require additional support Vulnerable to external damage and leakage	[11]
	Airlock Integration East Separation by function	Thick wall required to withstand internal air pressure	[12]
	No excavation Relatively regolith covering	Airlock and Docking relatively hard to connect	[13]

이러한 유인 달탐사기지의 형태로는 구형(sphere), 실린더형(cylinder), 환형(torus) 등이 있으며, 구축방법에 따라 알루미늄을 활용한 금속구조물 또는 공기공급에 따른 팽창형 방식으로 구분되며 이를 반영한 여러형태의 우주기지의 개념설계는 Fig. 5에서 제시된 바와 같다. 초창기에 발사체에서 모듈로 실어서 달 표면에 착륙 후 기지로 활용하는 형태로부터(a, b), 금속제 모듈 또는 팽창형 모듈의 배치 이후 월면토로 외부를 덮어서 보호하는 형태(c, e), 착륙모듈과 상부에 팽창형 모듈을 설치하여 활용하는 형태(d), 달 표면이나 달 지중에 구조물 일부를 팽창형 반구형, 구형 구조물로 설치하고 외부를 월면토로 덮어서 보호막으로 활용하는 형태(g, h)로 진화했다.

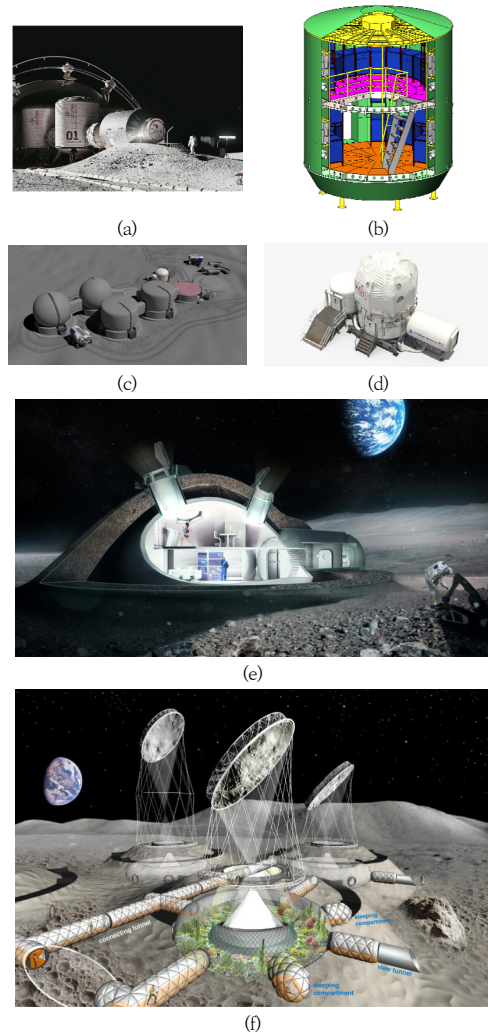


Fig. 5. lunar habitat concept structures (a) Hard cylinder type module habitat (b) two story lab module (c) Regishell (regolith spray coated multi layer shell) habitat (d) inflatable loft module on mobile base (e) hybrid of 3D printed modules and an inflatable structure (f) Inflatable Moon Habitat with greenhouse

이때 가장 중요한 기준은 기지 건설을 위한 각종 자재의 공급 및 극한 우주 환경에서의 건설, 시공방법, 활용 및 유지관리 등에 대한 용이성이다. 형태에 따라 구형 구조물은 모든 방향으로 동일한 압력이 가해진다는 점에서, 내부 공기압의 유지가 상대적으로 쉽다. 이 중에서도 팽창형(inflatable) 구형 구조물은 태양방사, 운석 충돌 등의 다양한 우주 환경조건으로부터 기지벽체 외부의 보호 및 기지 내부 탐사인원의 생존환경을 확보하는 데 필요한 내부 공기압, 온습도, 산소 등을 조절하는 데 필요

한 벽체를 섬유, 금속, 폴리머 등 다양한 소재와 다층구조(multi layered)로 구성하여 대응이 용이하고 충격에 따른 외부 파손이나 누기 등 상황의 유지관리 또한 쉽다는 장점을 가진다[11].

Table 2. configuration of shell materials by habitat type

Type	Configuration	Material	Characteristic	Ref.		
Permanent Surface	Inflatable Sphere	Regolith+Inflatable structure+ Rigid structure	regolith+aluminum+foamglass	East protection and construction	[14]	
		Large, small bags interconnection	silicone coated Vectran fiber+ Vectran fiber multi abrasion layers	protection impact on landing	[15]	
	Modular Cylinder	Liner layer, Bladder layer, Restraint layer	Nomex fabric and Kevlar felt Kevlar and Vectran fabrics	passively maintain the temperature	[16]	
		MMOD protection layer, and Thermal protection layer	urethane coated Nylon, Cepac® HD200 Nextel with open cell polyurethane foam and a Kevlar fabric rear wall	protect surface material's damage impact protection		
			thin sheets of Nylon reinforced, double aluminized Mylar® film	loading carrying component		
	Inflatable loft	Half dome	MLI(multi layered insulation), Reflective foil+Insulation+Reflective foil+Insulation+Reflective foil	Vectran/Kevlar fabric +urethane+rubber	radiation reflective+radiation transfer	[17]
			Cylinder Inflatable	Multi layered pressure bladder, Thermal insulation, Micrometeorite secondary ejecta(MMSE) protection	Basically nylon layer+fiberglass layer+polyethylene, modulated for each functionality:	fire-resistance, internal pressure distribution restraint, radiation shield
				Radiation/MMOD: MLI: 5-7 thin film Webbing: Vectran fiber	radiation protection/MMOD attenuation MLI Pressure load distribution (Restraint Bladder-Gas retention, webbing)	[19]

하지만 구형 내부의 공간을 바닥 면적대비 체적으로 환산 시 상대적으로 낭비되는 공간이 많고, 체적의 최대 활용을 위해 필연적으로 층을 구분해야 한다는 단점이 있어 층을 만들고 하중을 분산하기 위한 추가적인 내외부 지지구조물이 필요하며, 외부 진공 환경에서 기지 내부로 들어올 때 급속한 압력차이를 완화하기 위한 장비인 에어락(airlock)의 설치가 상대적으로 어렵다는 단점이 있다[10].

실린더형 타입은 구형 구조물에 대비하여 상대적으로 구조물 내부 공간 구성이 쉽고, 고 외부 진공 환경에서 기지 내부로 들어올 때 급속한 압력 차이를 완화하기 위한 장비인 에어락(airlock)의 설치가 상대적으로 쉽다는 장점이 있다[12]. 이 중에서, 본 연구에서 주안점으로 다루고 있는 생존환경확보라는 기능적 측면에서는 구형과 팽창형이 가장 적합한 것으로 나타났다. 추가로 달 환경의 극한 조건을 고려할 때, 달 기지는 지표면(surface) 또는 지하(underground)에 고정형(permanent), 이동형(relocatable) 방식으로 건설되느냐에 따라, 월면토의 하중, 기지 외부의 온도편차, 월면토-기지 간 열전달, 방사 노출시간(exposure time) 등을 사례별 차이점이 추가로 고려되어야 한다.

2.5 형태별 벽체 구성 및 생존조건 확보 방안

기지의 형태에 따라 벽체(wall 또는 shell)를 구성하는 방식이나 재료는 다를 수밖에 없다. 주로 팽창형 구조물의 경우, 내부 공기압 레벨(level)의 확보 및 유지를 위해 공기의 공급과 이에 상응하는 팽창 및 압력 유지를 위해 견고한(rigid) 재료 보다는 유연한(flexible) 재료를 사용하게 된다. 이에 기지 형태에 따른 벽체의 종류 및 사용 재료는 위 Table 2에 정리된 바와 같다. 이때 벽체를 구성할 때 고려되는 기능적 주안점으로는 내부 공기압에 대한 유지, 외부 미세 운석(MMOD: Micro Meteorite Orbital Debris, 이하 MMOD) 이나 미세 운석에서 발생하는 이차 배출 입자(MMSE: Micro Meteorite Secondary ejecta, 이하 MMSE)로부터 기지 표면보호 및 충격 방지(impact protection), 태양광의 적절한 활용을 위한 반사층(reflective layer), 외부 온도변화로부터 단열(thermal insulation), 화재방지(fire-resistance), 외부 무게의 지탱/loading carrying), 내부표면 발열(interior surface heating)로 내부결로 방지(water condensation protection) 등의 요구 성능을 충족하기 위해 주로 여러 층(multi layered)으로 구성됨을 알 수 있다[a, b, c, d, e]. 이때 활용되는 소재는 Fig. 6에서

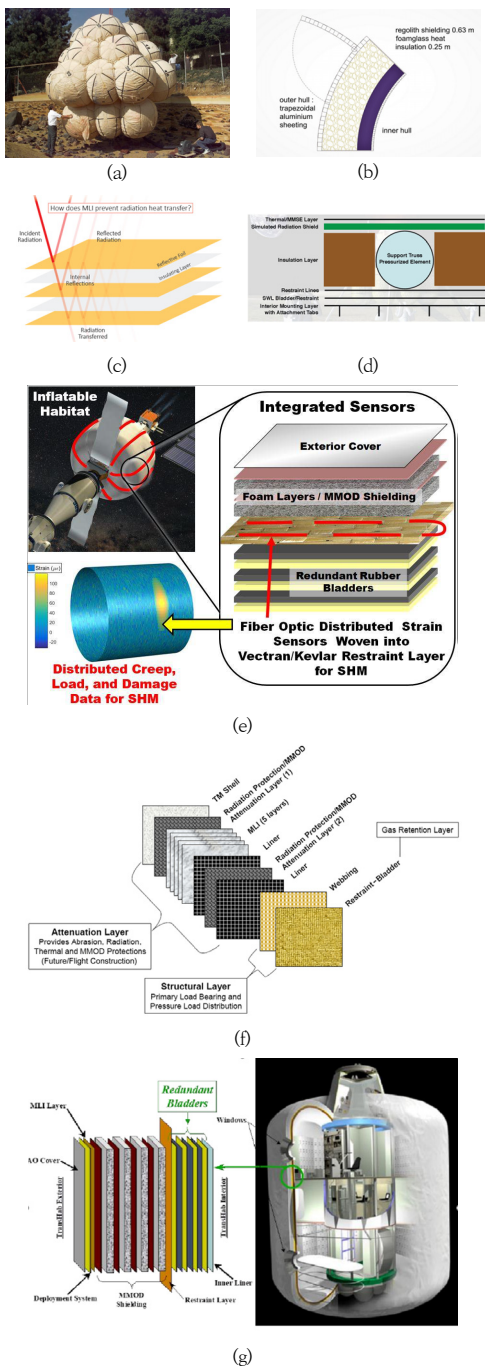


Fig. 6. Shell configurations of lunar habitat (a) landing impact protection shell (b) regolith covered inflatable habitat (c) multi layered thermal insulation (d) envelope layers cross section (e) integrated multi layers of inflatable habitat module (f) shell of expandable habitat (g) TransHab Shell layers

보이는 바와 같이, Vectran®, Kevlar®, Nomex®, nylon 등의 섬유를 기반으로 우레탄(urethane), 실리콘(silicone) 등의 코팅 소재의 적용 및 다수의 섬유를 그물망 형태로 짜는 구성, 다층으로 배치, 층간 빈 공간(empty space)의 확보로 외부 충격의 방지 및 내부 공기압의 분산 및 유지 등의 성능을 충족하고 있다.

2.6 벽체 구성 방안

앞서 언급된 기지의 형태, 형태에 따른 벽체의 구성을 고려하고, 기지 운영의 목적에 따라 동시에 얼마나 많은 인원이, 연속적으로 얼마나 오랜 기간동안 업무를 수행할 것인가에 대한 정의가 필요하며, 이에 따라 기지의 규모, 형태, 벽체 구성방안 도출의 순서로 의사결정이 진행되어야 한다.

이러한 세부적인 내용에 대한 기술적 의사결정은 지난 1990년 NASA의 보고서에서 제시된 바 있으며, 이를 기초자료로 활용하여 아래 표 3과 같이 유인 우주기지의 형태와 벽체 구성 방안의 참고 기준에 대해 정리하고자 한다[20]. 기존 문헌의 기지 개념 설정 계획부터 형태, 재료, 공법, 구조 선정을 위한 기초계산 결과, 설계 요소, 기타 내의 기준으로 정리하였다. 가장 중요한 미션의 목표는 장기 임무수행을 위한 달 표면의 고정형 기지로 설정하였으며 이때 연속 임무 기간은 90일로 최대 4명까지 동시수행 가능한 기지의 규모로 정하였다.

이는 달의 낮과 밤의 주기가 대략 29일 정도임을 고려하여 3번의 임무 주기 달성, 태양방사에 따른 고에너지 입자, 방사선, 극한 온도편차에 따른 우주인의 총노출량, 노출시간 등을 참고하여 설정하였다[21]. 이를 반영할 때, 기지의 구조는 팽창형 구조에 내부 지지구조체는 트러스 형태로 알루미늄 또는 RFP 등 무게와 강도 등 구조 계산에 따른 소재의 요구 하중을 수용할 수 있는 소재가 적합하다. 기지의 규모는 대략 중심 지름이 16미터이고 최소 3층에서 5층 규모의 층으로 구성되며, 거주공간 수평층의 하중 계산 기준은 20.8lbs/ft², 실험공간은 8.33lbs/ft²으로 한다[20]. 이때 추가적인 고려 사항은 탑재체에 운송 가능한 팽창형 모듈의 크기, 무게가 선정되어야 하며, 달 표면에서의 팽창형 모듈의 크기 및 무게가 상기 제시된 규모가 적절하다고 판단된다. 본 연구에서는 팽창형 모듈을 본 탐사기지(main base) 개념에 우선하여 선정하였지만, 향후에는 활용 목적에 따라 모듈별 거주지, 피난처, 에너지, 산소 등 공급시설 등으로 세분화하여 접근해야 할 것이다. 이에 따라 추가적인 내부 공간의 환기 용량, 유인 활동에 따라 수반되는 추가적인

결로 발생 예방책, 모듈 간 연결 및 조립기술 등에 대해서도 세부적인 방법의 도출이 필요하다.

Table 3. Design considerations for lunar human exploration habitat

Mission	Time and member	Shell configuration and materials	Engineering Criteria 2 airlocks
Permanent	90 days 2 ~ 4 crew members	Outer shell as pressure withstanding layer in inflatable materials	Sphere with 5 floors in 16m diameter diameter of floors from the 1 st to 5 th (11m, 14.6m, 15.9m, 15.4m, 12.9m)
		Internal structure as supporting vertical and parallel layers in rigid metal, RFC or other light weight-heavy loading composite materials	floor load: 20.8 lbs/ft ² in moon load experimental area load: 8.33 lbs/ft ² in moon load
Inflatable with rigid internal support	Others	Shell structure	Design factors
	Ventilation volume, Water condensation protection Connection & assembly method	Both inflatable and deflatable to easily carry and with less weight and volume Truss type as the optimum structure	Assembly pre-assembly size post-assembly size crew number number of hard loading points structure independence Structure purpose: habitat, experiments, shelter, supply and etc

3. 결론

본 연구에서는 관측장비, 위성 등 탑재체와 이를 발사할 발사체 이후의 달 탐사 단계에서 고려하는 유인 달 탐사에 필수인 유인 달 탐사기지의 개념과 이를 위한 벽체 개념 도출을 목적으로 기존 미국, 유럽, 일본 등의 연구 개발 사례를 살펴보고 이에 대한 방향에 대해 아래와 같이 제시하였다. 달 기지를 건설하기 위해서는 1)달 표면 환경에 대한 이해, 2)달 표면 건설 위치에서의 태양방사, 극한 온도편차 등의 위협요인에 대한 분석, 3)미션 목적

에 따른 기지 형태(고정형, 이동형 구조물, 금속제 또는 팽창형 모듈)를 결정하고, 미션 기간 및 탐사 인원을 고려한 규모의 선정, 4)형태와 규모에 따른 부위별 하중, 방사 보호, 온도편차 극복을 위한 구조, 소재, 환기, 결로 방지 등 기초계산자료, 5)기지의 기본 생존환경 확보를 위한 벽체 형태 및 소재의 선정, 6)최종 기지 형태, 이에 따른 내부구조 및 공간 배치 확정의 단계로 진행되어야 할 것이다.

References

- [1] J. Hwang, "Current address of Satellite and rocket development in Korea", Science & Technology Policy, No.176, pp.3-15, 2009.
- [2] H. Hong, K. Kim, "Bayesian Reliability Estimation of a New Expendable Launch Vehicle", Journal of Korean Society for Quality Management, Vol 42, pp. 199-208, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.7469/JKSQM.2014.42.2.199>
- [3] J. Lim, H. Ahn, "The meaning of Successful launch of KSR-III and policy challenges for leaping to advanced country in space sector, SPREC Insight, Space Policy Research Center, Vol 12, June 2023.
- [4] Ministry of Science and ICT, 4th Basic Plan on Space Development and Promotion, Feb. 2023.
- [5] <https://www.space.com/europe-help-build-gateway-moon-space-station>
- [6] A. Jablonski, D. Showalter, "An Introduction to AIT Requirements for Lunar Systems and Structures", Conference: Earth & Space 2017, April 2016.
- [7] B. Payyappilly, M. Sankaran, "Design framework of a configurable electrical power system for lunar rover", 4th International Conference on Power, Control & Embedded Systems (ICPCES), Allahabad, India, pp. 1-6, 2017.
DOI: <https://10.1109/ICPCES.2017.8117660>
- [8] A. Neduncheran, U. Guven, R. Chandra, D. Notnani, Dhananjay, M. Paul, U. Nangalia, "Conceptual Design and Development of Lunar Mobile Habitat for Exploration of Moon", Conference: European Planetary Science Congress, Sep. 2018.
- [9] M. Schenk, A. Viquerat, K. Seffen, and S. Guest, "Review of Inflatable Booms for Deployable Space Structures: Packing and Rigidization", Journal of Spacecraft and Rockets, pp. 762-778, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.2514/1.A32598>
- [10] M. Roberts, "Inflatable Habitation for the Lunar Base". LPI Contributions, NASA Conf. Publ. No. 3166 652. pp. 249-253, 1988.
- [11] M. Cohen, "Selected precepts in lunar architecture",

4th COSPAR scientific assembly, 2002.

- [12] V. Vrakking, G. Jian, D. Schubert, "Design of a Deployable Structure for a Lunar Greenhouse Module". 43rd International Conference on Environmental Systems: Vail, Colorado, July, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2013-3352>
- [13] M. Peroni, "Solenoid Moon-Base Concept". AIAA SPACE and Astronautics Forum and Exposition, pp. 2017-5205, Sep. 2017.
DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2017-5205>
- [14] W. Grandl, C. Böck, "An Initial Lunar Camp combining rigid structures with inflatable elements", Public Full-text, pp.1-8, April 2020.
<https://www.space.com/24326-pathfinder-air-bags.html>
- [15] O. Ohanian, M. Davis, J. Valania, B. Sorensen, M. Dixon, M. Morgan, D. Litteken, "Embedded Fiber Optic SHM Sensors for Inflatable Space Habitats", AIAA Ascend 2020, pp. 2020-4049, November 2020.
DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2020-4049>
- [16] Concept group Insulon Technology. Vacuum Super Insulation with High Temperature MLI. url: [Vacuum Super Insulation | High Temperature Multilayer Insulation \(MLI\) \(conceptgroupplc.com\)](http://www.insulon.com/Vacuum-Super-Insulation-High-Temperature-Multilayer-Insulation-MLI) (accessed Oct. 2, 2023)
- [17] M. Capua, D. Akin, K. Davis, "Design, Development, and Testing of an Inflatable Habitat Element for NASA Lunar Analogue Studies", AIAA 41st International Conference on Environmental Systems, pp. 2011-5044, July 2011.
DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2011-5044>
- [18] G. Valle, D. Litteken, T. Jones, "Review of Habitable Softgoods Inflatable Design, Analysis, Testing, and Potential Space Applications", AIAA Science and Technology Forum and Exposition pp. 2019-1018, Jan. 2019.
DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2019-1018>
- [19] E. Cameron, J. Duston, D. Lee, "Design of internal support structures for an inflatable lunar habitat". No. NASA-CR-189996. 1990.
- [20] K. Kennedy, M. Cerimele, "Habitation and Human Systems for the 90-Day Study". NASA Publication JSC-24398. NASA (1990).

안 호 상(Hosang Ahn)

[정회원]



- 1997년 3월 : 한양대학교 재료금속공학부 (재료금속공학석사)
- 2007년 5월 : 미플로리다대 재료공학부 (재료공학석사)
- 2011년 12월 : 미어번대 재료공학부 (재료공학박사)

• 2012년 2월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 건축에너지연구소 연구위원

〈관심분야〉

건축환경소재, 건물에너지, 우주기지, 환경모니터링