

달 남극 탐사 모빌리티 컨셉 디자인 제안

Lunar South Pole Exploration Mobility Concept Design Proposal

한해림*
홍익대학교 산업디자인학과

Hae-Rim Han
Dept. of Industrial Design, Hongik University

이윤서*
홍익대학교 산업디자인학과

Yun-Seo Lee
Dept. of Industrial Design, Hongik University

박기철**
홍익대학교 기계시스템디자인공학과 디자인엔지니어링 교수

Kicheol Pak
Professor, Design Engineering, Hongik University

• Key words: Artemis Program, Lunar Exploration, Lunar Rover, Mobility Design Methodology, Conceptual Design

1. 서론

최근 연구에 따라, 화성에 생명체가 존재할 가능성이 제기되면서 장기적 관점에서 인간 거주 가능성에 대한 논의가 활발히 진행되고 있다. 이에 따라 미국 항공우주국(NASA)은 향후 유인 화성 탐사의 전초기지로서 달을 활용하기 위해 ‘아르테미스(Artemis) 프로그램’을 추진하고 있다¹.

아르테미스는 향후 화성 유인 탐사를 목표로 달을 탐사하는 프로그램으로, 총 4단계의 미션으로 구성되어 있다. 아르테미스 I 미션에서는 달 주위를 공전하는 무인 비행 시험을 시행하였으며, 아르테미스 II 미션에서는 유인 비행 시험을 진행할 예정이다. 이어지는 아르테미스 III 미션에서는 전략적 가치가 높은 달 남극 지역에 유인 착륙 및 탐사 인프라를 구축하는 것을 목표로 한다. 아르테미스 IV 이후에는 달 표면에 구축된 인프라를 기반으로 장기 체류와 지속적인 탐사가 이루어지며, 이를 통해 유인 화성 탐사의 기반을 마련하고자 한다.

앞서 언급한 바와 같이, 아르테미스 III 미션에서는 이러한 목표를 뒷받침할 수 있는 안정적인 인프라를 구축하는 것이 중요하다. 이에 NASA는 달 남극 지역에 후보지를 선정하고, 해당 지역에 현지 자원 활용(ISRU)을 통해 자립적인 탐사 시스템을 구축하고자 한다. 후보지 중 한 곳인 달 남극의 새클턴 크레이터(Shackleton Crater)는 물과 얼음 자원을 보유할 가능성이 높아, 지구와 화성 간 탐사의 중간 기지로 주목받고 있다. 따라서 해당 지역에서의 인류의 안정적인 탐사를 지원하기 위한 인프라 개발이 요구된다².

본 연구는 인류의 원활한 달의 상주 인프라 구축 및 지속가능한 탐사 활동에 있어 가장 중요하게 여겨지는 자산인 로버(Rover)에 주목하였다. 로버는 이동성을 통한 폭넓은 데이터 수집을 가능하게 하며, 원격 탐사와 같은 기능을 통해 인류의 탐사 영역을 확장시킨다³. 1971년 Apollo 15 미션에 투입되었던 달 탐사 로버 LRV는 착륙선으로부터 최대 5km까지 이동하였고⁴, 이는 로버가 투입되지 않았던 Apollo 11 미션에서의 이동거리⁵ 대

비 약 84배 먼 거리를 탐사하였다. 이처럼 이동성은 탐사 범위의 확장과 탐사 효율의 향상에 핵심적인 역할을 한다. 이에 본 연구는 아르테미스 III 이후 예정된 달 남극 지역의 장기 탐사를 지원하기 위해, 달 탐사 모빌리티의 디자인 관점에서 요구되는 주요 설계 요건을 탐구하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 문헌 조사와 사례 분석을 통해 달 환경이 제시하는 물리적 제약 조건과 기술적 고려 요소를 도출하고, 이를 기반으로 달 남극 새클턴 크레이터에서 활동하는 탐사 로버의 컨셉 디자인을 제안하고자 한다.

2. 연구 방법

본 연구에서는 달 탐사 모빌리티를 디자인하기에 앞서 고려사항을 파악하기 위해 문헌 및 사례 조사를 수행하였다. 문헌조사의 경우 NASA의 웹사이트 및 공개 문헌을 검토하여 달의 기후, 중력, 대기, 방사선, 레골리스, 지형, 유성체 등 주요 환경적 특징을 분석하였다. 이후 달 남극 새클턴 크레이터가 지닌 특징을 조사하여, 모빌리티 디자인에 영향을 미치는 기술적 제약과 요구조건을 도출하였다. 사례 조사는 기존 연구 및 컨셉 단계에서 제안된 로버 5종을 검토하여, 구동 시스템, 에너지 공급 방식, 탑재 장비 등 외장 특성과 거주 공간의 필수 요소와 기능별 면적, 레이아웃 등 내장 특징을 분석하였다. 앞서 조사된 내용을 바탕으로 디자인 가이드를 도출하였고, 이를 바탕으로 달 남극 새클턴 크레이터 환경에 적합한 로버 컨셉 디자인을 제안하였다.

3. 달 환경 분석

3-1. 달 환경의 특성

달은 대기를 거의 갖지 않으므로 극심한 온도 변화를 겪는다. 적도 지역의 표면 온도는 약 -181°C에서 101°C 사이의 범위를 보이며, 극지방의 기온은 -246°C까지 내려간다⁶. 때문에 열 제어 시스템, 단열재, 전자 부품의 내열성 등 정밀한 설계가 요구된다. 표면 중력은 지구의 약 1/6에 불과하여, 낮은 접지력을 보완하기 위한 소재 선정과 구조적 형상 설계가 필요하다⁷.

또한 보호 대기와 자기장이 없기 때문에 달의 표면은 태양풍

과 방사선에 직접 노출된다. 이러한 환경은 우주비행사와 장비에도 정전기를 발생시켜 차량 전자·통신 시스템에 악영향을 미칠 수 있다⁸.

달 표면은 운석 충돌에 의해 형성된 미세한 레골리스(regolith)로 덮여 있다. 레골리스에는 물과 기타 휘발성 자원이 포함되어 있어 식수, 산소, 추진제 등으로 변환하여 활용할 수 있으며, 이 때문에 레골리스는 향후 현지 자원 활용(ISRU)의 기반이 된다. 반면, 이러한 입자들은 장기간 태양풍에 노출될 경우 정전기를 띠어 장비 마모, 바퀴 오염, 전기 오작동, 시야 차단 등의 문제를 유발한다. 따라서 자원 활용과 더불어 오염 및 마모 방지를 통합적으로 고려한 관리 전략이 필요하다⁹.

지형의 경우 고원(highland)과 바다(mare)로 구분되며, 각 지형은 경사에 따른 특성에서 차이를 보인다. 경사도 분석 결과, 고원의 중앙값은 약 7.5°인 반면, 바다는 대부분 3° 이하로 완만하다¹⁰. 이러한 지형적 특성은 로버 설계에 직접적인 영향을 미치며, 고원에서는 견인력 유지와 안정성 확보를 위한 경사 극복 시스템이 필요하고, 바다에서는 저경사 환경에 적합한 바퀴 형상과 서스펜션 구성이 유리할 것으로 사료된다.

달은 대기층이 없기 때문에 운석 충돌로부터 보호되지 않으며, 평균 속도 12-72 km/s의 유성체가 표면에 충돌할 수 있다. 대부분의 유성체가 1 mm 미만임에도 충돌 시 증기화와 플라즈마 분출로 외벽을 관통해 표면 마모와 구조적 손상을 일으킬 수 있다. 따라서 장기 체류 임무에서는 차량 외부 방어막 설계와 함께 정량적 위험 분석이 선행되어야 할 것이다¹¹.

3-2. 달 남극의 전략적 가치

아르테미스 III 미션의 착륙 후보지 중 하나인 새클턴 크레이터의 영구음영지역(PSR)은 수십억 년 동안 태양빛이 차단된 상태로 유지되어, 극도로 낮은 온도를 보인다. 이러한 환경은 얼음 형태의 수분이 안정적으로 보존될 가능성을 높이며, NASA는 LCROSS와 LRO 임무 등 여러 탐사를 통해 남극 PSR 내에 얼음 형태의 수분이 존재함을 확인하였다. 이 얼음은 전기분해를 통해 산소와 수소로 분리되어 호흡용 산소 및 연료로 활용될 수 있다. 이러한 자원의 현지 조달은 지구로부터의 보급 부담을 크게 줄이며, 장기 탐사 거점의 자립적 생태계를 구축하는 데 필수적이다. 크레이터의 가장자리와 인근 고지대는 달의 축 기울기와 지형적 조건으로 인해 상대적으로 오랜 시간 햇빛이 도달하는 지역이다. 이곳은 태양광 발전 및 에너지 자립 기반 확보에 매우 유리하지만, 극지방의 특성상 태양빛이 수평으로 입사하므로 로버의 태양광 패널은 수직으로 배치해야 한다는 특징을 가지고 있다¹².

이처럼 새클턴 크레이터는 과학적 탐사, 자원 활용, 인프라 구축 가능성을 모두 갖춘 지역으로, 향후 인류의 우주 거주를 실현하기 위한 전략적 중심지로 논의된다.

4. 달 탐사 로버 사례 분석

4-1. 유인 로버의 유형과 특징

유인 로버는 비 가압형과 가압형으로 분류할 수 있다. 비 가압형 로버는 단기 임무 목적으로 사용되며 기밀 구조와 에어록 없이 개방형으로 설계되어 있다. 반면, 가압형 로버는 장기 임무를 지원하기 위해 개발된 차량으로, 우주비행사가 우주복을 착용하지 않고도 내부에서 생활하고 작업할 수 있다. 본 연구에서는 아르테미스 III 미션 이후 장기 유인 탐사 계획이 추진됨에 따라, 장기 탐사 임무에 대응 가능한 가압형 로버를 디자인 대상으로 선정하였다.

가압형 로버 내부에는 생명 유지 장치와 필수 물품을 보관할 수 있는 공간이 갖추어져야 하며, 장기간 폐쇄된 환경에서 생활하는 사용자를 고려한 UX 설계가 필요하다. NASA는 Surface Habitat의 내부 레이아웃을 제안하면서, 거주 공간 내 필수 기능 요소를 정의하고 기능별 권장 최소 면적을 설정하였다. 여기에는 수면, 의료, 운동, 위생, 식사 및 조리, 사회 활동 공간이 포함되며, 기능을 수행하기 위한 권장 최소 면적은 총 14.6m², 1인당 7.3m² 인 점을 확인할 수 있었다¹³.

앞서 조사된 요구사항에 따른 가압형 로버의 디자인적 특징을 파악하고자 5종의 사례(LER, Lunar Cruiser, X-PLOR, PLR 1, PLR 2)에 대해 구체적으로 살펴보았다.

4-1-1. LER (Lunar Electric Rover)

LER은 NASA에서 제안한 차세대 가압형 로버로, 수송인원은 두 명이며 최대 14일간의 임무를 지원한다. 외장 특징으로는 360도 회전이 가능한 12개의 독립 구동 바퀴가 장착되어 험난한 달 지형에서도 원활하게 주행하며, 내장 배터리를 충전하는 태양광 패널을 사용하여 태양광이 부족한 환경에서도 로버를 이용할 수 있다. 또한 우주비행사가 우주복을 입고 내릴 수 있는 슈트 포트 시스템(suitport system)이 차량 외부에 연결되어 있어, 달 먼지가 내부로 유입되는 것을 방지하고 로버의 전체 부피를 절감한다.

LER의 내부는 총면적 10.8 m², 순 거주 면적 8.6 m²이며, 내부는 조종 구역, 작업 및 생활 구역, 수면 구역, 위생 및 화장실 구역, 운동 구역, EVA(Extravehicular Activity) 구역으로 구성되어 있다. 한정된 면적에서 공간 효율을 높이기 위해 수납공간과 주요 장비는 벽면을 따라 배치되었으며, 사생활 보호를 위한 차광·차음 커튼과 신체 활동을 위한 운동 시설도 갖추어져 있다. 이를 통해 제한된 공간 내에서 거주 안정성과 작업 효율성을 확보하기 위한 기능적 설계가 반영되어 있음을 알 수 있다¹⁴.



[그림 1] LER(Lunar Electric Rover) 외장 및 내장.

4-1-2. Lunar Cruiser

Lunar Cruiser는 NASA의 JAXA와 토요타가 개발한 가압형 로

버이며, 두 명의 우주인이 최대 30일 동안 체류할 수 있다. 6륜 조향 시스템을 채택하였으며, 브리지스톤과 공동 개발한 특수 금속 휠을 장착하여 승차감을 향상시켰다. 측면에는 전개식 태양광 패널이 장착되어 있으며, 재생 연료 전지를 활용하여 최대 10,000km의 주행 거리를 제공한다. 또한 자율 주행 기능을 갖추어 승무원 없이도 운행이 가능하다¹⁵.

내부는 EVA 구역과 생활·조종 구역으로 분리되어 있다. 입구에는 에어록이 있으며, 선반형 구조물이 양쪽 벽면에 배치되어 장비 보관 및 EVA 준비용 장치로 활용될 수 있다. 입구를 지나 내부의 벽면에는 경사형 패널 구조의 수납공간이 설치되어 있으며, 중앙에는 조종 및 관측용 좌석과 제어 콘솔이 적용되어 있다. 이러한 공간 구성을 통해 탑승자의 작업 효율성을 극대화할 수 있도록 고려되었다¹⁶.



[그림 2] Lunar Cruiser 외장 및 내장.

4-1-3. X-PLOR

X-PLOR은 아르테미스 미션을 위해 제안된 컨셉 차량으로, 최대 4명의 승무원을 수용할 수 있으며, 차량의 구조는 조종석, 거주 모듈 그리고 화물 또는 모듈의 운반을 위한 로커-보기(Rocker-Bogie) 새시로 구성되어 있다. 휠은 직조 메시 소재의 티타늄 선으로 제작되어 접지력과 견인력을 높였고, 에너지는 연료 전지와 전개형 메커니즘을 적용한 ROSA(Roll-Out-Solar Arrays) 태양광 패널을 통해 공급된다. 또한 NASA의 우주 발사 시스템 SLS Block 1B Cargo의 내부 화물 직경 규격(약 7.5m)에 적합하도록 수직 배치 시 직경 5m × 6m 크기로 설계된 특징을 가지고 있으며, 이는 향후에는 NASA가 민간 기업과 협력하여 달 탐사 장비를 운송하는 CLPS(Commercial Lunar Payload Services)의 운송 체계에 적재할 가능성을 고려하여 운송 체계의 구조에 부합한 설계의 필요성을 시사한다.

로버의 내부는 작업 공간, 사회적 공간, 개인 공간으로 나뉜다. 작업 공간에는 조정석, 과학 연구실, 운동 공간이 배치되어 있으며 사회적 공간에는 주방과 라운지가 마련되어 있다. 개인 공간은 수면 공간, 위생 구역이 포함된다. 모듈러 디자인을 적용하여 임무 성격에 따라 공간을 유연하게 재구성할 수 있다. 또한 라운지와 같은 공동 공간을 통해 사회적 상호작용을 촉진하여 우주 비행사의 심리적 스트레스를 완화하는 등 로버 내부에서의 UX가 고려되었다¹⁷.

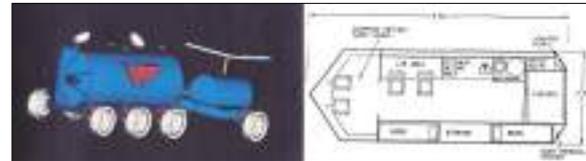


[그림 3] X-PLOR 외장 및 내장.

4-1-4. PLR 1 (Pressurized Lunar Rover 1)

PLR 1은 NASA가 제안한 유인 달 탐사용 가압형 로버로, 길이 7m, 직경 3m의 실린더형 본체와 전력 공급용 트레일러로 구성된다. 트레일러에는 방사성 동위원소 열전 발전기(RTG)가 별도로 탑재되어 장기간 안정적인 전력 공급이 가능하다. 로버 본체에는 6개, 트레일러에는 2개의 유연한 복합 소재 바퀴가 장착되어 접지력과 충격 흡수 성능을 높인다. 이러한 바퀴들은 A자형 알루미늄 서스펜션에 연결되어 최대 1m까지 상하 이동이 가능하며, 험준한 지형에서도 안정적인 주행을 지원한다.

PLR 1의 내부는 조종 구역, 실험·생활 구역, 주방·위생 구역, EVA 구역 등 5개 구역으로 구분되며, 내부 시스템과 장비는 주로 벽면을 따라 배치되어 중앙에 종방향 복도가 형성된다. 이러한 구조는 이동성을 확보하고 생리적·심리적 안정성을 유지하는 것을 돕는다¹⁸.

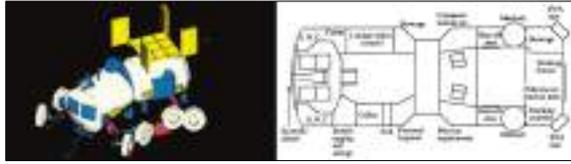


[그림 4] PLR 1 외장 및 내장.

4-1-5. PLR 2 (Pressurized Lunar Rover 2)

PLR 2는 장기 유인 달 탐사용 가압형 로버로, 두 개의 가압 실린더형 모듈이 유연한 통로로 연결된 구조를 갖는다. 각 모듈에는 독립적으로 구동 가능한 8개의 대형 바퀴가 장착되어 있으며, 주행 시스템을 통해 회전 성능을 향상시킨다. 주 전력은 동위원소 발전 시스템(DIPS)에서 공급되고, 보조 전력은 나트륨-황 배터리와 태양광 패널을 통해 확보된다. 또한 로버 상단에는 태양광 패널과 열 방출용 라디에이터가 설치되어 있으며, 과학 실험용 에어록과 다른 기기와의 도킹 장치도 갖추고 있다.

PLR 2의 내부는 조종 구역, 거주 구역, EVA 구역, 작업 전용 구역 등 네 개의 주요 영역으로 구성된다. 이는 로버가 장기 임무 수행에 적합한 공간으로 기능하기 위해서는, 각 구역의 인체 공학적 배치, 시야 확보, 우주비행사의 이동 동선, 다기능성, 심리적 스트레스 완화 등 다양한 요소를 종합적으로 고려해야 함을 시사한다¹⁹.



[그림 5] PLR 2 외장 및 내장.

5. 디자인 가이드라인

앞서 검토한 분석 자료를 종합하여 로버 디자인을 위한 주요 환경 고려사항(기후, 중력, 자기장, 레콜리스, 지형, 유성체) 및 차량의 내·외장 특징(차량 형태, 조향 및 특징, 에너지 공급 방식)을 표로 정리하면 다음과 같다.

[표 1] 달 환경 특성

구분	주요 특성	고려사항
기후 및 중력	극심한 온도 변화 (적도지방 약 -181°C- 101°C 극지방 -246°C)	열 제어 시스템, 단열재 및 전자 부품의 내열성 고려,
	지구의 1/6수준의 표면 중력	접지력 보완
대기 및 자기장	태양풍 및 방사선 노출	차폐내구성 강화
레콜리스	정전기로 인한 오염 문제	장비 오염 및 마모 방지 관리 전략
지형적 특성	고원과 바다의 경사도, 지형 차이	지형별 주행 시스템 차별화
유성체 충돌	마이크로 유성체에 의한 외벽 손상 및 플라즈마 분출	차량 외부 방어막, 정량적 리스크 분석

[표 2] 남극 새클턴 크레이터의 특성

구분	주요 특성	고려사항
기후조건	낮은 태양 고도, 극저온 환경	단열전력 시스템
고지대	장시간 햇빛이 도달해 에너지 확보에 유리	태양광 발전 효율을 위한 패널 배치
영구음영 지역	얼음 형태의 수분 존재	전기분해 에너지 변환 시스템
태양광	태양광이 수평으로 입사	태양광 패널을 수직으로 배치

[표 3] 로버 외장 특징 분석

구분	차량 형태	조향 및 특징	에너지 공급 방식
LER	구형	12개 독립 구동 바퀴,	태양광 패널

	바디	험난한 지형에서도 안정적	충전 배터리
Lunar Cruiser	일자형 바디	특수 금속 휠 6륜 조향, 안정적 주행	전개식 태양광 패널, 재생 연료전지
X-PLOR	타원형 바디	본체 2륜, 로커-보기 6륜, 티타늄 직조 메시 휠, 접지력과 견인력 향상	연료 전지, ROSA태양광 패널
PLR 1	실린더형 바디	본체 6륜, 트레일러 2륜, 유연 복합소재 휠, 접지력과 충격 흡수 향상	RTG (별도 탑재), 보조배터리
PLR 2	실린더형 바디	8개 독립 구동 바퀴, 회전 성능 향상.	동위원소 발전 시스템, 나트륨-황 배터리, 태양광 패널

[표 4] 로버 내장 특징 분석

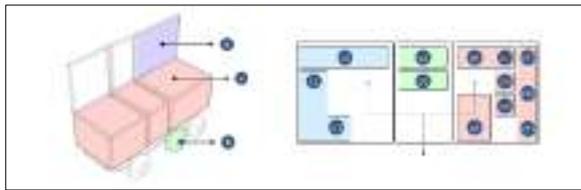
구분	구역 구성	배치 구조 특징
LER	조종 구역, 운동 구역, 작업생활 구역, 화장실 구역, EVA 구역	벽면을 따라 수납 공간 및 주요 장비 배치
Lunar Cruiser	EVA 구역, 생활조종 구역	중앙 조종석관측용 좌석과 제어 콘솔 설치, 입구 에어록 과 벽면 스토리지 배치
X-PLOR	작업 공간, 사회적 공간, 개인 공간	모듈식 설계로 공간 재구성 가능
PLR 1	조종 구역, 실험생활 공간, 주방위생 구역, EVA 구역	벽면 배치 장비, 중앙 종방향 복도 형성
PLR 2	운전 구역, 거주 구역, EVA 구역, 작업 전용 구역	승무원 이동 동선 최적화, 다 기능적 공간 활용

6. 컨셉 디자인 제안

제안한 가이드라인을 바탕으로 달 남극의 새클턴 크레이터의 환경적 요구사항을 반영한 가압형 로버의 컨셉 디자인을 제안하였다. 로버의 크기는 길이 약 8m, 너비 3m, 높이 5m이며, 2명의 우주비행사가 탑승할 수 있다. 상부에는 수직 전개식 태양광 패널이 장착되어 일사량 확보를 극대화하며, 사용하지 않을 때는 수납되어 먼지 퇴적과 물리적 손상을 방지한다(그림 6-a). 이동 방식은 6륜 독립 조향 시스템을 적용하여 극지의 험난한 지형에서도 안정적인 주행이 가능하고(그림 6-b), 경사 지형이나 단차, 장애물 통과할 때에도 원활한 주행 성능과 우주비행사의 안전을 동시에 확보하도록 설계되었다. 내부는

지름 약 3m의 세 개 모듈형 유닛으로 구성되어 있으며 (그림 6-c), 연구 구역, EVA 구역, 조종·생활 구역으로 구분된다. EVA 구역은 중앙에 배치되어 업무 공간과 생활 공간을 물리적으로 분리함으로써, 임무 수행 간 공간적·운영적 독립성을 확보하였다. 또한 내부 공간은 화장실을 통로로 활용하고 주요 요소를 벽면에 배치하여 동선을 최적화하였으며, 우주비행사의 이동성과 심리적 안정감을 높였다.

제안한 컨셉 디자인 의도를 명확히 전달하고 시각화하기 위해 생성형 AI(Generative AI)를 활용하여 초기 컨셉 이미지를 표 6과 같이 제작하였다.



[그림 6] 로버 컨셉 디자인 내부

[표 5] 로버 내부 레이아웃

구역	구분	세부 사항
연구 구역	c1	Storage Rack
	c2	Worktable
	c3	Research Equipment
EVA 구역	c4	Spacesuit Rack
	c5	Dust Removal System
조종생활 구역	c6	Food & Supplies
	c7	Personal Storage
	c8	Seats/Bed
	c9	Toilet/Shower
	c10	Digital Cockpit
	c11	Information Display

[표 6] 로버 컨셉 디자인 외부

디자인	설명
	상부에 수직 전개식 태양광 패널 장착하여 일사량 확보 극대화,
	비작동 시에는 수납되어 먼지 퇴적 및 물리적 손상 방지
	6륜 독립 조향 시스템 채택 극지의 지형에서도 안정적인 주행 가능.

	경사 지형, 단차, 장애물 통과 시에도 기동성 확보.
	차체는 지름 약 3m의 세 개 모듈형 유닛으로 구성
	연구 구역, EVA 구역 공간, 조종생활 구역으로 기능 구분됨
	EVA 구역을 중앙에 배치하여 업무 공간과 생활 공간 분리
	주요 요소를 벽면에 배치하여 동선 최적화

7. 결론 및 한계점

본 연구는 아르테미스 프로그램의 진행에 따라, 화성 유인 탐사를 위한 전초기지로서 달의 전략적 중요성을 재확인하고, 향후 인류의 장기 탐사에 있어 핵심 인프라로 작용할 달 탐사 모빌리티에 주목하였다. 이를 위해 문헌 조사와 사례 분석을 통해 달 환경의 물리적 특성에 따른 디자인적 요구사항을 도출하고, 이를 기반으로 유인 달 탐사 로버의 컨셉 디자인을 제안하였다.

제안된 로버는 달 환경, 특히 남극 지역의 새클턴 크레이터를 중심으로 한 극지 환경적 특성을 반영하여 설계되었다. 외장 디자인은 세 개의 모듈형 유닛으로 구성되어 있으며, 가압 유지에 적합한 원통형 구조를 채택함과 동시에 CLPS 등 운송 시스템을 고려한 최적의 크기를 갖추었다. 에너지원으로는 남극 지역의 일사각 조건에 대응할 수 있도록 수직 전개식 태양광 패널을 적용하였으며, 험지 주행 시 탑승자의 승차 경험 향상을 위해 6륜 독립 조향 시스템을 포함하였다. 내부 공간은 EVA구역, 연구 구역, 조종·생활 구역의 세 모듈로 구분되어, 임무 수행의 효율성과 거주 편의성을 높이도록 계획되었다.

본 연구는 달 탐사 모빌리티 디자인을 수행함에 있어, 환경적 요구조건을 기반으로 한 논리적 설계 접근 방법의 사례로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 문헌 및 사례 분석에 기반한 이론적 접근에 중점을 두었으며, 실제 임무 수행 중 발생할 수 있는 다양한 변수나 기술적 요소에 대한 실증적 검증이 이루어지지 않았다는 점에서 한계를 가진다.

따라서 향후 연구에서는 제안된 디자인의 구현 가능성과 기술적 타당성, 그리고 사용자 경험(UX)에 대한 종합적 평가가 병행되어야 할 것이다. 또한 본 연구에서 제시한 디자인 가이드는 현 시점에서 공개된 NASA 및 기타 항공우주 기관의 자료에 근거하고 있으므로, 향후 추가적인 사례와 새로운 기술적 요구조건이 제시될 경우 이에 따라 수정 및 보완이 필요하다.

참고문헌

- Bhardwaj M., Bulsara V., Kokan D., Shariff S., Frampton E. (1992). Design of a Pressurized Lunar Rover. NAS 1.26: 192033.
- Callie Burke, Robert L., Howard Jr., Paul Kessler. (2022). Internal Layout of a Lunar Surface Habitat.
- Creel K., Frampton J., Honaker K. Moser D. (1992). Pressurized Lunar Rover (PLR). USRA, proceedings of the 8th Annual Summer Conference: NASA Advanced Design Program.
- Gaier, J. R. (2007). The Effects of Lunar Dust on EVA Systems During the Apollo Missions. Technical Memorandum, NASA/TM-2005-213610/REV1. 1710-1720.
- Harry Litaker Jr., Shelby T., Robert Howard Jr. (2010, September 27). Human Habitation in a Lunar Electric Rover During a 14-Day Field Trial. Johnson Space Center.
- Moorhead A., Cooke B., Blaauw R., Moser D. (2019). A Meteoroid Handbook for Aerospace Engineers and Managers. Advances in Space Research, NASA/TM-2019-220142, 13.
- NASA. (2008). Lunar Electric Rover Concept, NASA Facts, NF-2008-10-464-HQ, NASA Headquarters.
- Pappa R., Taylor C., J. Warren, M. Chamberlain, S. Cook, S. (2021). Relocatable 10 kW Solar Array for Lunar South Pole Missions, NASA Technical Report, 5-6.
- Rosenberg M. A., Aharonson O., Head J. W., Kreslavsky M. A., Mazarico E. (2011) Global Surface Slopes and Roughness of the Moon from the Lunar Orbiter Laser Altimeter. Journal of Geophysical Research: Planets, Vol.116, No.E2.
- Kugic A. (2023). X-PLOR: Lunar exploration and habitation
- Kevin, W. (2023, August 25). The Moon's Rugged, Intriguing South Pole [Web log post]. Retrieved from <https://appel.nasa.gov/2023/08/25/the-moons-rugged-intriguing-south-pole/>.
- Kirasich, K. (2022). Artemis Objectives and Building the Path to Mars [Web log post]. Retrieved from https://astronautical.org/dev/wp-content/uploads/2022/08/Glenn_2022_Kirasich.pdf.
- NASA. Artemis. Retrieved from <https://www.nasa.gov/humans-in-space/artemis/#why>.
- NASA Johnson Space Center. (2024). JSC Rovers [Web log post]. Retrieved from <https://www.nasa.gov/reference/jsc-rovers/>.
- NASA National Space Science Data Center (2024). Apollo Lunar Roving Vehicle [Web log post]. Retrieved from https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/lunar/apollo_lrv.html.
- NASA Solar system exploration. Earth's Moon. Retrieved from <https://solarsystem.nasa.gov/moons/earths-moon/by-the-numbers/>
- NASA. Solar Wind on the Moon. Retrieved from <https://science.nasa.gov/moon/solar-wind/>.
- NASA. Using Space-Based Resources for Deep Space Exploration. Retrieved from <https://www.nasa.gov/overview/in-situ-resource-utilization/>.
- NASA. Weather on the Moon. Retrieved from <https://science.nasa.gov/moon/weather-on-the-moon/>.
- National Air and Space Museum. (2024). Small Steps and Giant Leaps: Apollo Lunar Landings [Web log post]. Retrieved from <https://airandspace.si.edu/stories/editorial/small-steps-and-giant-leaps-apollo-lunar-landings>.
- Toyota Lunar Cruiser. (2023). Toyota Lunar Cruiser. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=doYrwPGSr4A>. rover. Diploma Thesis, Technische Universität Wien. 126-166
- Toyota Times. (2020). Toward a Lunar Rover Built with Japanese Craftsmanship. Retrieved from <https://toyotatimes.jp/en/spotlights/jaxa/002.html>.