

[별지 제5호 서식]

최종보고서 제출양식

겉표지 양식 : (4×6배판(가로19cm×세로26.5cm))

(뒷 면) (옆면) (앞 면)

	달 탐 사 등 우주 탐 사 분 야 국 제 협 력 강 화 를 위 한 특 화 과 제 연 구 과 학 기 술 정 보 통 신 부	과 제 번 호
		연 구 과 제 명 (영문과제명) 연구기관 : 한국항공우주연구원 연구책임자 : 임종빈 2024. 11. 21. 과 학 기 술 정 보 통 신 부

안 내 문

본 연구보고서에 기재된 내용들은 연구책임자의
개인적 견해이며 과학기술정보통신부의 공식견
해가 아님을 알려드립니다.

과학기술정보통신부 장관 ○ ○ ○

제 출 문

과 학 기 술 정 보 통 신 부 장 관 귀하

본 보고서를 “달 탐사 등 우주탐사 분야 국제협력 강화를 위한 특화 과제에 관한 연구”의 최종보고서로 제출합니다.

iris

2024. 11. 21.

연구기관명 : 한국항공우주연구원

연구책임자 : 임종빈

연 구 원 : 남기원

연 구 원 : 윤나영

연 구 원 : 이다현

연 구 원 : 구철희

※ 연구기관 및 연구책임자, 연구원은 실제 연구에 참여한 기관 및 자의 명의임.

요 약 문

과제번호	우주1		연구기간	2024년 3월 29일 ~ 2024년 11월 29일	
과제명	(한글) 달 탐사 등 우주탐사 분야 국제협력 강화를 위한 특화 과제 연구 (영문)Research on specialized tasks to strengthen international cooperation in space exploration including lunar exploration				
연구책임자 (주관연구기관)	임종빈 (한국항공우주연구원)	참여 연구원수	총 6 명	연구비	100,000천원
요약					
○ 미국의 우주탐사 프로그램의 주요 요소를 분석하고 우리나라의 경쟁력 기술 분야를 분석하여 우리나라가 강점 분야로 발전할 수 있는 모빌리티, 네트워크, 원자력 에너지 분야 도출 ○ 장기적으로 달에 기지를 건설하고 지속가능한 운영을 위해서 핵심적으로 요구되는 다양한 모빌리티, 달표면 5G 네트워크, 원자력 전지/발전기 등에 대한 발전 방안 마련 ○ 달 표면 모빌리티 - 중소형 무인 모빌리티를 목표로하여 다양한 활용도(과학임무, 현지자원 임무 등)가 가능하도록 표준 모델화 하여 관련 모빌리티 개발 추진 - CLPS 발사 역량(~100kg) 고려 시 과학 탑재체를 20kg으로 가정하면 차체 70kg급의 모빌리티 체계 개발이 적절함 (총 90kg) ○ 달 표면 5G 네트워크 - 로버와 우주인 단말기의 신호 수신 성능을 높이기 위해 빔 포밍 기술을 적용, 안테나 시스템의 기울기와 방향을 원격으로 제어할 수 있는 기술 적용 ○ 원자력 에너지 - (원자력 전지) 무게 7kg, 전력 5W의 원자력전지 확보 추진 - (히트파이프 우주 원자로) 무게 6,500kg, 전력 100kWth의 원자로 확보 추진					
비공개 사유			비공개 기간		

순 서

I. 추진 배경 및 필요성	1
II. 문투마스 아키텍처 분석	3
III. 아르테미스 프로그램 분석	13
IV. 미국 유인우주탐사 프로그램의 우리의 참여 가능 분야 분석	25
V. 유인우주탐사에 대한 우리의 접근 전략	45
① 문투마스 전략과 연계한 우리의 방향성	45
② 3대 중점 분야 추진 전략(안)	47
③ 3대 중점 분야 연계 전략(안)	74
④ 미국 우주탐사 프로그램 참여 및 기대효과	76
⑤ 추진 체계 및 민/관 참여 역할(안)	78
⑥ 위험 요소 및 대응 방안	81
VI. 결론	85

I. 추진 배경

□ 추진 배경

- (탐사계획 확장) 미국, 중국 등에서 달에서 화성까지 유인 탐사활동을 위한 구체적 계획이 추진되는 등 글로벌 우주탐사 경쟁이 확대
 - 미국은 인류가 화성까지 진출하는 것을 궁극적인 목표로, 아르테미스 계획을 통해 달에 유인기지를 '30년까지 건설할 계획
 - ※ 달의 남극에 베이스캠프 설립, 달 표면 이동차량, 태양열 및 원자력 발전 시스템, 현지 자원활용(ISRU) 시스템 개발 등을 포함
 - 중국, 러시아, 일본, 인도 등 주요 우주개발 국가들은 경쟁적으로 달 및 화성탐사 계획을 추진
- (달 경제 현실화) 대규모 자원이 소요되는 우주탐사에 민간 기업의 협력과 참여가 확대 → 新산업 생태계를 형성할 전망
 - 아르테미스 계획은 달 탐사에 민간 발사체 및 착륙선을 사용*하고, 상업적 달 화물 서비스(CLPS)를 위한 민간 업체 선발**
 - * SpaceX사의 "팰컨 헤비" 발사체 및 "스타쉽" 착륙선 등
 - ** '아스트로로보틱 테크놀로지', '인튜이티브 머신스', '오빗 비욘드' 등
 - 심우주통신, 항법기술, 착륙선 및 로봇 등 관련 우주산업이 부상
 - ※ 달 기지 최초의 통신장비 구축은 핀란드 노키아가 선정되어 NASA와 함께 달에 LTE 이동통신망 구축 계획

- ☞ 민간우주개발(뉴스페이스) 시대에 맞춰 **민간중심·영리목적의 우주기술을 상업화**하고, **개발비용 절감 및 개발기간 단축** 체계 마련 필요
- ☞ 우주항공청 출범을 계기로 **한·미 우주협력** 등을 통한 **민간 중심의 달 탐사 대표(Signature) 프로젝트** 추진 및 **지속 가능한 모델** 구축

□ 추진 필요성

- 급성장중인 미래 달 탐사 시장*에 조기 진입하기 위해 정부 주도의 달 탐사 2단계 프로젝트('24년~'33년, 탐사선 기준 6,285억원)를 추진

* 지구-달 수송, 달 자원활용 등 달 탐사 시장 '20~'40년 약 1,700억 달러(누적) 확대 예상

- 다만, 민간 자본과 첨단기술 역량의 발전으로 우주개발에 대한 민간의 역할이 대폭 확대될 예정
- 우리나라도 뉴스페이스 시대에 대비하여 산업 경쟁력이 높은 분야에 대한 민간 참여를 확대하고, 민간 중심의 우주개발도 병행 추진 필요
 - 특히, NASA는 상용 달 통신 서비스 등에 대한 관심과 구매 의향이 있어 ICT 경쟁력을 바탕으로 민간 중심의 특화과제로 추진 필요

< (참고) 달 통신 서비스에 대한 NASA의 관심 사항 >

- ▶ 달 표면 및 cis-Lunar 사용자(NASA 포함)에게 미래 상용 서비스를 제공 할 수 있는 잠재적 공급자 발굴 및 서비스 구매 희망
- ▶ 미래 통신 네트워크 시스템의 구성요소, 제품 및 기술 등을 제공 할 수 있는 Providers, developers, and integrators 등과 협력 희망

- 달 탐사 등 향후 우주탐사 영역은 유인우주탐사(달기지, 화성기지 등) 중심으로 확장될 것으로 예측되어 이에 대한 우리의 대응 필요
 - 특히, 우리의 타 분야 장점 산업 분야 등과 연계하고 민간이 참여하여 지속가능한 우주탐사에서 독자적인 영역 구출이 필요

- ⇒ 이를 위해 미국의 우주탐사 계획을 분석하여 우리가 참여하여 강점 영역으로 발굴할 수 있는 분야 도출
- ⇒ 향후 달 및 화성 탐사에서 우리나라의 민간 기업이 중심이 되어 강점 영역으로 확보하여 생태계를 주도해 나갈 수 있는 핵심 분야 발굴 및 관련 기술 개발 전략 도출

II. 문투마스(Moon-to-Mars) 분석

□ 문투마스(Moon-to-Mars Architecture) 아키텍처 추진 배경

- (비판) 달 및 화성 유인탐사는 NASA의 오랜 숙원이나, 정권 교체 때마다 계획 수정 또는 무산되는 일이 반복됨
 - 가용한 예산에 맞춰 목표 및 사업 내용이 주기적으로 수정되어, 동력 상실 및 기술 기반 약화 등이 일어남
 - 또한, “왜”하는지 보다 “무엇”을 개발할 것인지에 집중하여, ‘목적 상실’ 및 ‘이해관계자 설득 실패’가 발생
- (개선) 달 및 화성 유인탐사가 여러 정권에 걸쳐 장기적으로 지속 이행되기 위해서는 전략 전환 필요
 - 가치(value)기반의 목적 의식에 기반한 명확한 목표 수립 필요
 - 시스템공학 기반의 체계적 계획 수립 및 유연한 검토 프로세스 필요

□ 문투마스 아키텍처를 통한 변화 방향

- 미국의 우주탐사를 하는 이유를 1)과학의 진보, 2) 영감 및 동기 부여, 3) 국가 전략으로 정의
- (기존) 예산에 맞춰 계획 수정 → (변화) 당초 계획 유지하되, 예산에 맞춰 조정



□ 문투마스(M2M) 아키텍처 주요 원칙

◆ NASA는 우주탐사를 일관되며 응집력 있고, 지속적으로 수행하기 위하여 9가지의 주요 원칙을 제시

① 원칙 1: 국제 협력(International Collaboration)

- NASA가 M2M 아키텍처에서 제시한 공통의 상위 목표를 실현하기 위하여 국제 커뮤니티와 협력
 - 국제협력 파트너들과 상호 이해에 기반하여 우주탐사와 우주 활동·사용을 추구하며 우주개발 선진국뿐 아니라 신흥국들의 참여
- ※ 유럽우주청(ESA)는 아르테미스 I 임무에서 Orion 우주선의 추진부 역할을 하는 European Service Module을 NASA에 제공
- ※ ESA, JAXA, CSA(캐나다)는 게이트웨이 관련 NASA의 핵심 협력 파트너 주체들로 게이트웨이의 핵심 주요 모듈을 제공
- ※ CLPS를 통해 국제 파트너들(유럽, 프랑스, 일본, 인도, 한국, 캐나다, 이스라엘, 스위스 등)과 협력을 추진 중
- ※ 지상시스템, 통신 중계 및 항법 시스템, 달 표면 통신 등의 부문과 관련하여 영국, 이태리, 일본, 뉴질랜드, 호주, 남아프리카공화국 등과 협력 사항을 논의 중
- ※ 요소 기술 개발과 관련하여 국제협력을 추진할 때 주로 TRL 수준이 낮은 기술을 대상으로 함(이러한 기술이 이미 개발 중에 있더라도 NASA는 임무 수행에 다양한 옵션(redundancies)을 확보하기 위하여 다른 주체들과도 공동 개발을 추진함)

② 원칙 2: 산업체와의 협력(Industry Collaboration)

- NASA가 M2M 아키텍처에서 제시한 공통의 상위 목표를 실현하기 위하여 미국 산업체들과 협력

③ 원칙 3: 우주인 귀환(Crew Return)

- NASA가 M2M 아키텍처에서 제시한 공통의 상위 목표를 실현하기 위하여 우주탐사 임무를 수행하는 우주인이 겪을 수 있는 건강 상 악영향을 최소화하고 지구로 안전하게 귀환

④ 원칙 4: 우주인의 과학 임무 시간(Crew Time)

- 우주인이 탐사 임무 기간 동안 과학기술 관련 활동 시간을 가급적 많이 확보
 - 특히 달 탐사와 관련된 단계들에서 다양한 기준 임무를 통한 우주인의 과학기술 활동은 화성 탐사 초기 계획 수립에 핵심적인 역할을 할 것으로 기대

⑤ 원칙 5: 유지 가능성 및 재사용(Maintainability and Reuse)

- 지구로부터의 독립성 강화와 시스템의 장기 유지 가능성, 재사용 및 재활용 역량을 확보

⑥ 원칙 6: 책임있는 사용(Responsible Use)

- 평화적 목적의 우주 사용을 국제적 책무와 행동 원칙에 기반하여 탐사 활동을 수행

⑦ 원칙 7: 상호 운용 가능성(Interoperability)

- 다국적 우주인과의 조화와 다양한 시스템 및 요소들과 관련한 각종 기술, 운용 및 프로세스의 표준과 같은 공통성 및 상호 운용 가능 확보
 - 서로 다른 시스템뿐 아니라 다양한 국가들과 관련되는 문화 요소와 관련해서도 상호 운용 가능성은 매우 중요한 가치로 인지
 - 탐사와 관련한 사전 기반 활동들이 거주, 전력, 모빌리티, 로지스틱스, 로봇틱스, 통신, 그리고 각종 활용 부문에 걸쳐 상호 운용 가능성의 근간을 확보하는데 중추적 역할을 할 것으로 기대
 - 상호 운용성 원칙과 관련해서는 '국제 심우주 상호 운용성 표준(The International Deep Space Interoperability Standards)*'에 관한 연구 수행 중
- * 전 세계의 다양한 기관 및 산업체가 개발하는 시스템과 기술들이 상호 호환 운용될 수 있도록 하는 관련 표준을 마련하는 연구

⑧ 원칙 8: 지구저궤도 활용(Leverage Low-Earth Orbit)

○ 지구저궤도의 우주 인프라를 활용

- 현재 지구저궤도에서는 게이트웨이 관련 기술이 시험/검증 중에 있고, 향후 달과 화성 탐사에 매우 중요한 우주인 건강 관련 연구도 활발히 진행되고 있음

⑨ 원칙 9: 상업 및 우주개발(Commerce and Space Development)

- 미국 산업의 부흥과 혁신 활동을 촉진하기 위하여 우주 경제권을 지구 궤도 밖으로 확장

□ 문투마스(M2M) 아키텍처 구성

- 문투마스 아키텍처는 세그먼트(Segment), 서브 아키텍처(sub-architecture) 및 시스템 요소(Elements)로 구성됨

- 세그먼트는 문투마스의 발전 단계를 의미하는 부분으로 1) 유인 달 탐사 재개 단계(Human Lunar Return), 2) 달 체류 기반 조성 단계(Foundational Exploration), 3) 달 탐사 지속 확대 단계(Sustained Lunar Evolution), 4) 유인 화성 탐사 개시 단계(Human to Mars)로 구성

- 서브 아키텍처는 문투마스 수행을 위한 핵심 분야로 12개로 도출됨

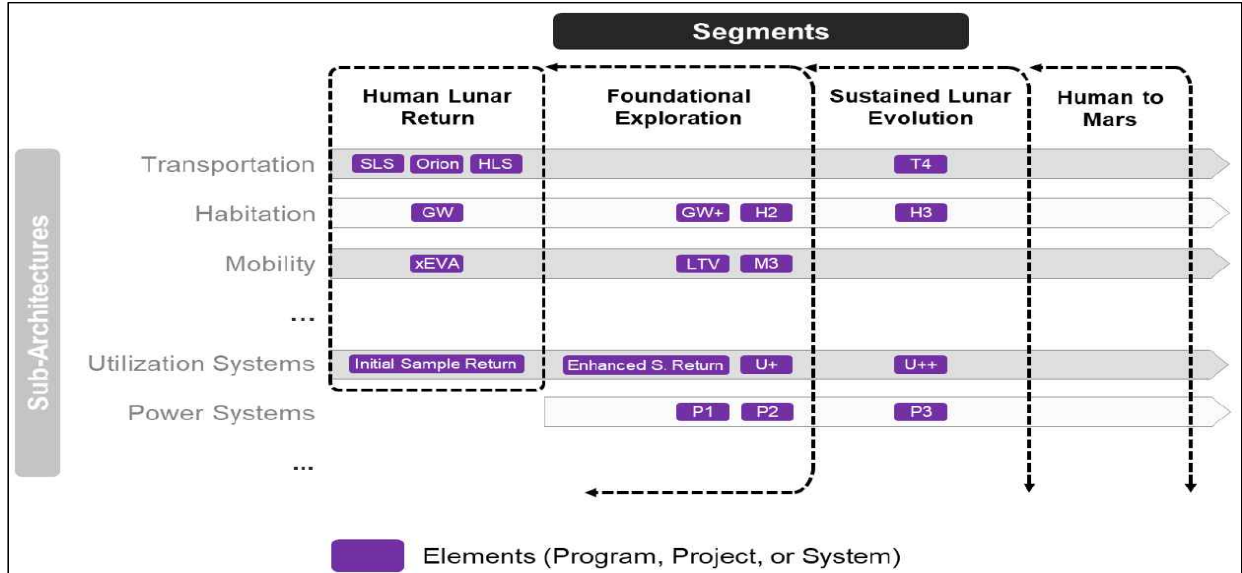
※ 통신·항법 시스템(Communication, Positioning, Navigation and Timing Systems), 주거시스템(Habitation Systems), 유인시스템(Human Systems), 전력 시스템(Power Systems), 물류 시스템(Logistics Systems), 모빌리티 시스템(Mobility Systems), 수송 시스템(Transportation Systems), 탑재체 시스템 (Utilization Systems), 데이터 시스템·관리(Data Systems and Management), 인프라 지원(Infrastructure Support), 현지자원활용(In-Situ Resource Utilization Systems), 자율 시스템 및 로봇틱스(Autonomous Systems & Robotics)

- 시스템 요소는 서브 아키텍처를 구현하기 위해 필요한 관련 하

위 프로그램, 프로젝트 및 시스템 등으로 구성

※ 예) 수송 부분 : SLS, 오리온, HLS(스페이스 X의 스탑쉽) / 주거 : 게이트웨이

< M2M 아키텍처의 네 개의 단계 및 서브 아키텍처 >



□ 문투마스(M2M) 아키텍처 단계별 주요 내용



① 유인 달 탐사 재개 단계(Human Lunar Return, HLR)

- (목표) 시스루나 공간과 달 표면에서의 기초적인 탐사 활동, 지구로의 샘플리턴 임무 등

- 달 탐사 초기의 과학적 지식을 증진시키고 향후 더 발전적인

탐사 단계에서 요구되는 각종 핵심 역량의 기반 확보

※ **아르테미스 임무도 이 단계에 포함**되어 우주인과 필요한 화물 등을 실어 나를 수 있는 시스템들이 검증될 것이고 이 단계에서 시스루나 공간 및 달 궤도에 게이트웨이와 심우주 통신 중계 인프라 등이 배치될 예정

※ 또한, 2명의 우주인을 달에 착륙시키고 이들이 약 6일 이내로 표면에서의 초기 활용(utilization) 임무 후 지구로 안전하게 복귀하는 임무도 포함

5 가지 주요 목표

- 달 남극 지역의 연대기, 구성, 구조를 이해하기 위하여 달 남극 지역을 탐사
- 달 남극 지역 근처의 휘발성 물질 구성 요소 및 영구음영지역의 얇은 위치의 환경을 이해하기 위한 탐사
- 달의 토양을 활용하여 태양의 역사를 분석
- 향후 우주 기상 예측 역량을 확보하기 위한 우주 기상 역학 이해
- 부분 중력 환경에서의 식물, 유기체, 인간의 심리적 반응을 이해

○ **(기준 임무)** HLR 단계의 기준 임무는 두 가지로 제시됨

- 1) 달 표면 초기 유인 기준 임무*, 2) 유인 게이트웨이 및 달 표면에서의 기준 임무**

* 1)지구에서 시스루나 우주 공간으로 우주인과 화물 및 각종 시스템을 수송, 2)달 표면 유인 달 탐사를 위해 시스루나 공간에서 달 표면으로 수송, 3)달 표면에서 우주인의 각종 선외 활동 및 표면 과학 활동, 4)시스루나 공간에서 지구로 우주인과 화물을 수송하는 활동

** 1)게이트웨이에서의 과학활동, 2)우주인, 로봇 시스템, 과학 실험장비들을 달 궤도에 배치, 3)시스루나 공간에서 (준)자동 임무 수행 활동

② 달 체류 기반 조성 단계(Foundational Exploration, FE)

○ **(목표)** HLR 단계에서 초기 달 탐사 과정에서 확보한 역량에 기반하여 진행되며 HLR 단계에서의 각종 시스템 및 운용 임무들을 확장하고 보다 복잡한 달 궤도 및 달 표면 유무인 임무가 FE 단계에서 수행

- 달에서 거주하는 기간도 HLR 단계 대비 늘어나 달 남극 지역의

탐사, 주변 지역 정찰, SLE 단계에서 필요한 기반 인프라의 초기 배치 임무가 포함되고 추후 화성 탐사 시 수행될 임무의 리스크를 낮출 수 있는 화성탐사 유사 활동들도 포함

FE 단계의 주요 과학적 목표

- 달의 연대기, 구성 및 내부 구조에 대한 이해도를 높이기 위하여 달 남극 지역뿐 아니라 달 표면의 다른 주요 위치로의 탐사 범위 확장
- 영구음영지역의 더 넓은 영역을 포함하여 달 남극 지역 전체에 걸쳐 휘발성 물질의 분포, 공급원, 구성을 특징짓고 ISRU 가능성을 탐색
- 지구-태양을 잇는 라인 밖에서의 우주 기상 예측 역량 확보
- 식물, 유기체/계통, 미소 중력/달 중력 상태의 극한 환경에 장기 노출된 우주인의 생리 반응에 대한 특징 파악
- 달 중력 환경에서의 물리적 시스템 및 관련 모델 특성화
- 달 환경에서의 상대성 원리 및 양자 물리학 이론 시험

- FE 단계의 달 인프라 관련 주요 목표인 달 과학 임무를 위한 인프라의 상호 운용성을 확보하기 위해 전력, 통신·PNT, 수송, 모빌리티, 인프라, 활용(utilization)과 관련한 서브 아키텍처의 역량을 필요로 하고 있음

수송 및 거주 관련 주요 목표

- 우주인과 화물을 지구 ↔ 시스루나, 시스루나 ↔ 달 표면 간의 수송
- 우주인이 달 표면, 달 궤도에서 탐사·운용·거주하는 데 필요한 시스템 개발
 - ※ 이 과정에서 화성 유사 활동(Mars analog activities)도 수행
- 우주 공간 및 달 표면에서 우주인이 장시간 머무를 수 있는 거주 시스템을 개발

○ (기준 임무) FE 단계는 현재까지 6개의 기준 임무를 제시

- 1)비가압 모빌리티 기반 탐사 임무, 2)가압 모빌리티 기반 탐사 임무, 3)로봇 기반의 무인 탐사 활동, 4)시스루나 궤도에 위치한 게이트웨이에서의 임무 활동, 5)표면 거주 시스템의 운용 확대, 6)달의 비 극 지역에서의 탐사 활동

③ 달 탐사 지속 확대 단계(Sustained Lunar Evolution, SLE)

- **(목표)** SLE 단계에서는 활용(utilization)과 체류 가능 기간 및 우주인 수, ISRU 생산 역량 강화뿐 아니라 M2M 아키텍처 참여 주체들과의 파트너십과 달에서의 경제 기회가 강조
 - SLE 단계에 관한 연구는 상위 목표와 관련 역량에 대한 구상 정도만 이뤄진 상태로, 활용 사례(Use cases), 기능(Functions), 서브 아키텍처는 개념적 예시 수준으로 논의
- **(기준 임무)** 기준 임무와 운용 개념은 연계성 높은 활용 사례와 기능을 묶어 구성하는 바, 아직 활용 사례와 기능이 도출되지 않은 관계로 SLE 단계에서의 기준 임무와 운용 개념은 아직도 도출되지 않은 상태임
 - ※ 추후 추가적인 연구를 통해 구체화 될 예정

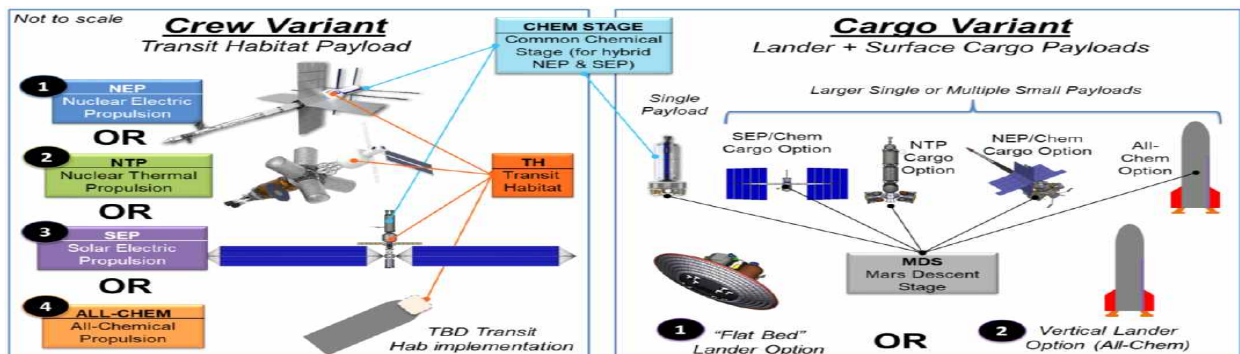
< SLE 단계의 활용 사례와 서브 아키텍처 >

FE 단계의 필요 역량	SLE 단계			
	서브 아키텍처 및 활용 사례 ※ 우측으로 갈수록 발전된 상태를 묘사			활용 사례
. 달 표면으로의 접근 . 모빌리티 . 거주 . 로지스틱스 . 전력 . 제조 . 건설 . 현지자원활용(ISRU) 및 생산	임무 확장을 위한 전력 확보 역량 확대	우주인 수 및 체류 기간 확대	영구적 달 표면 전초기지 마련	체류 기간 및 우주인 수 확대
	더 긴 기간 달 표면에 체류하며 남극 지역 외의 지역까지 탐사	거주지 추가 및 로지스틱스 역량 강화	ISRU 역량 확보 및 우주인 수 수십명으로 확대	
	ISRU 기초 역량 및 달 토양 활용	ISRU 기반 추진제 확보 역량	산업 규모의 ISRU 및 채굴 역량	경제적 기회 확장
	물 및 추진제의 100 단위 양(kg) 확보	물 및 추진제의 1,000 단위 양(kg) 확보	물 및 추진제의 10,000 단위 양(kg) 확보	
	모빌리티 역량 확장	샘플 채취 후 회수 역량 확장	달 표면 전역 접근 역량 확보	과학 역량 강화
	달 남극으로부터 수십~수백 km 범위 탐사	비 극 지역에서 100 단위 양(kg)의 샘플을 채취 후 지구로 귀환	달 표면 전역에서 1,000 단위 양(kg) 자원을 채취 후 달 표면 중앙 본부로 회수 및 지구 귀환	

④ 유인 화성 탐사 개시 단계(Humans to Mars, HM)

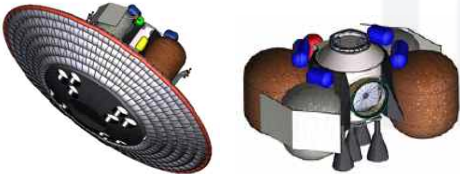
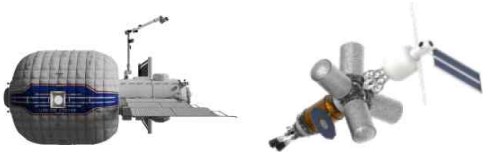
- **(목표)** SLE 단계와 마찬가지로 화성 탐사(HM) 단계에서도 상위 목표의 특징 및 니즈, 활용 사례 및 기능으로의 분해가 아직 이루어지지 않았음
- **(기준 임무)** 화성 탐사 트레이드 연구를 통해 초기 화성 탐사의 성공적 임무 수행을 위한 다양한 임무 요소들이 논의 되고 있음
 - 화성 탐사 임무는 크게 두 가지 시나리오를 기준으로 고려되고 있음
 - ※ 첫 번째는 화성 도달 시간이 상대적으로 빠른 약 2년 정도로 이를 위해 비교적 많은 연료가 필요하고 화성 또는 화성 궤도에서 더 짧은 시간 동안만 머무르는 경우(Opposition-class mission)
 - ※ 두 번째는 3년 이상 소요되며 상대적으로 적은 연료가 필요한 대신 화성 궤도에서 최소 1년 정도 머무르는 경우(Conjunction-class mission)임
 - 초기 화성 탐사에서 가장 핵심적으로 요구되는 역량은 화성에 도달하고 특히 유인 임무의 경우 지구로까지 안전하게 귀환할 수 있는 수송 역량
 - ※ 수송 시스템 관련 트레이드 연구 이전에 우선적으로 고려되어야 할 부분은 지구-화성 간 왕복 이동에 소요되는 시간임
 - ※ 화성탐사 임무에 지구-화성 이동 시간을 어느 정도로 반영하느냐에 따라 우주인의 건강과 관련한 고려사항, 수송 시스템 관련 각종 기술적 요구사항 및 개발 비용 등이 결정

< 화성 탐사 아키텍처 수송 시스템 트레이드 연구 >



- 추후 화성탐사 관련 프로그램·프로젝트가 지속적으로 수행되면서 화성 유인 탐사에 필요한 다양한 요구조건들이 도출될 것으로 전망
- 현 상황에서는 요구조건이 아닌 임무 시나리오 개발 시 고려해야 할 가정 등 NASA가 주도적으로 가이드라인을 제시한 상태

< 화성 탐사 아키텍처 카테고리 및 핵심 결정인자 >

화성 탐사 아키텍처 카테고리	핵심 결정인자
화성 표면 시스템  (예) 표면 전력 / 거주	• Surface Mission Purpose • Number of Crew • Stay Duration • Habitation Strategy • Crew Ingress/Egress Strategy • Mobility Strategy • Communications Strategy • Surface Power • Element Re-use
화성 대기 진입·하강·착륙·이륙  (예) 착륙 시스템 / 이륙 시스템	• Payload Mass • Largest Indivisible Payload Mass & Volume • Orbital Crew Operations • Landing Site • Return Propellant Strategy • Element Re-use • Number of Crew
지구-화성 간 수송 시스템  (예) Transit Habitat / Piloted Crewed Nuclear Thermal Propulsion System	• Total Mission Duration • Mission Mode • Mars Parking Orbit • Number of Crew • Transit Habitation System • Propulsion Technology • Stack Aggregation Strategy/Location • Element Re-use
화성 탐사 우주인 지원 시스템  (예) 상황별 우주복	• Number of Crew • Communications Strategy • EVA Strategy • Logistics Strategy • Crew Systems Strategy

III. 아르테미스 프로그램 분석

□ 아르테미스(Artemis) 사업 개요

- **(목표)** NASA의 유인 탐사 계획으로 '25년*까지 우주인을 달에 착륙시키고, 달 궤도 정거장(게이트웨이) 확보(Phase 1)

* NASA는 기존 '24년까지 인간을 달에 착륙시킨다는 계획을 '25년으로 연기('21.11)

- '20년대 후반까지 달 표면에서의 장기 거주 역량 확보 및 화성 탐사 기반 구축(Phase 2)

- **(사업주체)** NASA 본부(Headquarter) 유인탐사본부(HEOMD)*

* NASA 본부 내 과학본부(SMD), 과학기술본부(STMD)와 협의하여 진행 중

※ (역할 분담) ① 유인탐사본부 : 사업 총괄 및 오리온 유인캡슐, 발사체, 게이트웨이 등 개발, ② 과학본부 : CLPS 사업으로 전략적 과학지식격차(SKG) 해결, ③ 과학기술본부 : 현지자원 활용(ISRU), 연료전지기술 등

- **(예산/기간)** 약 930억 달러(약 117조원)* 소요 예상 / '12년~'25년**

* phase 1 및 일부 phase 2 관련 예산 포함(NASA 감사실 예측, '21.11)

** '아르테미스' 이름의 프로그램은 '17년부터 시작되었지만, 관련 연구개발은 '12년부터 추진(발사체 SLS, 우주선 ORION 등)

- **(구성)** 발사체(SLS), 유인캡슐(Orion), 유인달착륙선(Human Landing System) 개발 등으로 구성되며, 하위 프로그램으로 CLPS, Gateway 등 추진

< 아르테미스 추진 계획(안) >

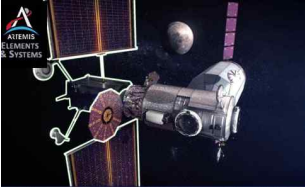
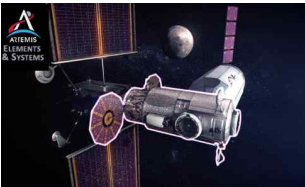
FY	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Exploration Systems Development Mission Directorate			Artemis II (Sep. 2025) Crewed Flight SLS Block 1 / Orion ML1	Artemis III (Sep. 2026) Crewed Flight SLS Block 1 / Orion ML1 HLS Crewed Lunar Demo xEVA Surface Suits		Artemis IV (Sep. 2028) Crewed Flight SLS Block 1B / Orion ML2 L-Hab to Gateway Gateway Logistics Service Sustaining HLS Crewed Lunar Demo xEVA Surface Suits		Artemis V (Mar. 2030) Crewed Flight SLS Block 1B / Orion ML2 ESPRIT to Gateway Sustaining HLS Uncrewed Lunar Demo xEVA Surface Suits	Artemis VI (Mar. 2031) Crewed Flight SLS Block 1B / Orion ML2 Arctoc to Gateway Gateway Logistics Service TBD Sustaining HLS Service xEVA Surface Suits	Artemis VII (Mar. 2032) Crewed Flight SLS Block 1B / Orion ML2 Gateway operations TBD Sustaining HLS Service xEVA Surface Suits Pressurized Rover
Space Operations Mission Directorate	DSN Upgrades (DLEU) Completed DSS-36 [Canberra]	Completed DSS-24 [Goldstone]	DSS-34 [Canberra] DSS-56 [Maui]		Gateway PPEHALO Launch	Gateway PPEHALO Arrival in NPOD	Lunar Exploration Ground Station 1-3 DSS-54 [Madrid]	Ongoing Science, Human Research Program, and Technology Development in LEO (ISS transition to CLD)		
Science Mission Directorate	LRO CLPS Flight Outlines MOXIE, MEDA Mars 2020	ESCAPADE Attempted TO 2-AB TO 2-JM Completed TO 190	TO 20A VIPER HERMES ready for integration ESA Lunar Pathfinder selected for launch AVATAR (Artemis II) TO PRIME-1 Lunar Trailblazer TO CP-11	Artemis II Surface Science Instruments MOX (MEGA/NEP/Super) TO PRIME-1 TO CS-34-1 TO CP-12	LRO continued ops TO CS-06 TO CP-21 TO CP-22	Artemis IV Surface Science Instruments TO CS-46 TO CP-31	TO CP-41 TO CP-42 TO CP-51 TO CP-52 TO CP-61 TO CP-62	Artemis V Surface Science Instruments Artemis LTV Science Instruments	Artemis VI Surface Science Instruments	Artemis VII Surface Science Instruments
Space Technology Directorate	DSOG	CFM SpaceX TP Flight Demo	Surface Robotic Scouts (GARS) TO PRIME-1: DLR, Nasa LTA/G, Comm, IM Deployable Helpper CFM ULA TP Flight Demo PPE SEP qual mission, complete CFM Eia Space TP Flight Demo	CFM Lockheed Martin TP Flight Demo NEP Concept Design	DRACO Demonstration	TO LIFT-1: Lunar Surface Power Demo (i.e., RSC, VSAT, Wireless Charging), Lunar Surface Scaled Construction Demo 1: ISRU Pilot Excavator, ISRU Substrate Demo	SEP qual complete			TO LIFT-2: Lunar Surface Scaled Construction Demo 2: Autonomous Robotics Demo, Deployable Helpper 2, ISRU Substrate Demo 2

< 아르테미스 Phase 1 주요 임무 >

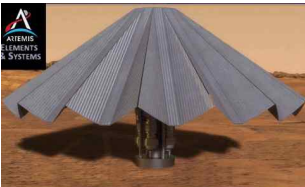
Phase	주요 임무	내용
		2021년, 최초의 상업용 달 페이로드 서비스 전달은 두 기업이 달 표면에 16개의 장비를 전달함으로써 시작될 것이며, 이는 인류 탐험가들을 위한 길을 열어줄 것임
		이 골프 카트 크기의 로버는 달의 넓은 지역에 걸쳐 휘발성 물질(물 포함)의 분포와 농도를 특성화하기 위해 달의 극지방 토양 샘플을 최초로 조사할 것임
		이 작은 위성은 게이트웨이의 궤도인 달의 NRHO(Near Rectilinear Halo Orbit)에 진입하는 최초의 우주선이 될 것임. NRHO에서 이 위성은 예측 모델을 검증하기 위해 새로운 탐색 기술을 테스트하여 궤도에 대한 불확실성을 줄일 것임
		통합 우주 발사 시스템 로켓과 Orion 우주선의 무인 초도 비행은 우주선 성능을 검증하고 거의 화씨 5,000도에서 고속으로 지구 재진입하는 동안 Orion의 Heat Shield를 테스트할 것임
		동력 및 추진 요소(PPE)와 거주 및 물류 전초 기지(HALO)는 게이트웨이의 첫 번째 조각
		10일 간의 유인 테스트 비행에서 NASA 우주비행사들은 지구에서 가장 먼 인간 여행 기록을 세울 것이며, NASA 우주비행사는 심우주 통신, 항법시스템 및 생명 유지 시스템 검증할 것임
		아르테미스 I과 아르테미스 II를 통해 얻은 성과를 기반으로 Orion과 그 우주비행사들은 다시 한 번 달로 여행을 떠날 것이며, 이번에는 최초의 여성과 다음 남성을 달 표면으로 착륙 시킬 것임

< 아르테미스 핵심 임무 요소 >

임무 요소	주요 구성요소	기능
우주 발사 시스템 블록 1 	• 높은 페이로드 질량 및 볼륨 기능 • Orion, 우주비행사 및 자동차를 단일 미션으로 달 근처로 보내는 기능	• 우주 발사 시스템(SLS)은 새로운 심우주 유인 탐사를 위한 로켓 • SLS는 유인 우주선인 Orion을 발사하는 임무 수행
Orion 우주비행선 	• 거주 가능 및 적재량 • ECLSS • 우주비행사 숙소 • 독립적 지침, 내비게이션, 및 컨트롤(GN&C) • 독립 통신 시스템 • 독립 발전 • 독립 열 제어	• Orion 우주선은 우주 발사 시스템에서 발사되도록 설계되었으며 21일(온보드 소모품 포함) 또는 그 이상 동안 4명의 우주비행사를 태울 수 있음(Orion 시스템의 전원을 끌 수 있는 거주 시스템에 도킹된 경우)
탐사 지상 시스템 	• SLS 론치 패드 39B • 크롤러-수송기 • 우주선 어셈블리 건물 • 이동식 발사대 • 랜딩 패드 • 랜딩 런웨이	• 발사체 조립, 운송, 발사 운영 및 우주선의 착륙 시에 필요한 시스템 개발 및 운영
심우주 네트워크 	• 100Mbps 다운링크, 20Mbps 업링크 • 2개의 안테나를 각 DSN 컴플렉스에서 업그레이드: Goldstone, Canberra 및 Madrid • 서비스가 국제 파트너 지상국들과 호환	• DSN(Deep Space Network)의 34미터 서브넷으로 업그레이드하면, 게이트웨이, 휴먼 착륙 시스템 및 기타 아르테미스 우주 시스템에 지속적인 고속 명령 및 원격측정 서비스가 제공 • 이러한 새로운 서비스들은 달에서의 유인 작업을 지원하고, 게이트웨이 및 달 표면에서의 과학 데이터를 전송하는데 활용
상업용 달 페이로드 서비스 	• 종단 간 페이로드 전달 시리즈 • 중소형 페이로드, 처음에는 최대 500Kg • 달에서 과학 기기 및 기술 실증 페이로드 전달	• CLPS(상업용 달 페이로드 서비스)는 달 표면에 중소형 페이로드를 상업적으로 운송하는 서비스 • 주요 과학 및 기술 페이로드를 운송하기 위해 미국 기업을 참여시킴으로써, CLPS는 달 경제 성장을 촉진한다는 NASA의 전략적 목표에 매우 중요
휘발성 물질 조사 극지 탐사 로버 (VIPER) 	• 중성자 분광계 시스템(NSS), 근적외선 휘발성 분광계 시스템(NRVSS), 달 작업 관찰용 질량 분광계(MSolo) 및 TRIDENT 드릴이 탑재 • 주행거리 10km • 100일 미션 기간 동안 달에서의 밤에 탐사제공	• 2023년 달 표면에 운송될 예정이며, 골프 카트 크기의 VIPER(휘발성 물질 조사용 극지 탐사 로버)는 다양한 토양 환경을 샘플링하기 위해 1미터 드릴을 포함한 4개의 과학 장비를 사용하여 수 마일을 돌아다닐 것 • VIPER는 약 100일간의 데이터를 수집하여, 달의 첫 번째 글로벌 수자원 지도를 알리는 데 사용할 것

임무 요소	주요 구성요소	기능
동력 및 추진 요소 	• 지구와의 고이득 통신, 우주 요소 간 통신 및 달 표면 릴레이 • 명령 및 제어 기능 • 12.5kW 전기 추진으로 변환 델타 속도(ΔV) 제공 • 비추진(예: 모멘텀 휠) 및 추진(예: 스러스터) 제어를 통해 자세 유지 • 60kW 이상의 전력 생성 • 게이트웨이 요소에 전원을 전송 • 열 제어 • 과학 및 기술 실증 페이로드 공간 제공	• PPE(동력 및 추진 요소)는 HALO와 통합되어 달 근직선 HALO 궤도로 발사
거주 및 물류 전초 기지 	• 거주가능 및 적재량 • ECLSS 압력 제어 시스템, 모듈 간 환기 • DIMA(분산형 통합 항법 장치) 아키텍처 • 다른 게이트웨이 요소에 대한 전원 연결 • 열 제어 • 우주선 및 달 표면과 통신 제공 • LPGF 및 SORI를 통한 외부 로봇 및 페이로드 지원	• HALO(주거 및 물류 아웃포스트)는 PPE와 통합되고 상업용 우주선에서 근직선 HALO 궤도(Near Rectilinear Halo Orbit)로 발사 • HALO는 우주선을 위한 방사형 및 축방향 IDSS 호환 도킹 포트를 제공
심우주 물류 	• 독립적인 유도, 항법 및 제어 • 독립적인 통신 시스템 • 독립적인 발전 및 열 제어 • 화물 재보급 및 쓰레기 처리 • 최대 5,000kg의 압축식 페이로드/화물 질량 • 1,000~2,600kg의 비압축식 페이로드/화물 질량	• Gateway Logistics Services는 화물, 과학 실험 및 물품을 Gateway로 배송하며, 예로는 샘플 수집 물질 및 우주비행사가 게이트웨이에서 그리고 달 표면에서 탐사하는 동안 필요할 수 있는 기타 품목과 같은 것이 있음 • 또한, 이 Services는 게이트웨이에 부착되어 있는 동안 적재량을 제공하고, 출발 시 쓰레기 처리를 제공
탐사 선외 활동 시스템 	• 높은 모빌리티 압박 의복 • 마더보드 스타일의 패키지로 구성된 휴대용 생명 유지 시스템 • 통합 커뮤니케이션 및 정보학 시스템 • 공통 시스템 서비스 및 지질학 도구 • 우주선 인터페이스 시스템 및 장비	• xEVA(탐사 우주선외 야외활동) 시스템은 달 유영과 우주 유영을 위해 제작 • 우주선 인터페이스 시스템과 장비는 공통 설계를 특징으로 하지만, 아르테미스 캠페인의 여러 요소에 맞게 맞춤 설계 • xEVA는 장기간 서비스 수명을 위해 설계되어 있으며, 대부분의 계획된 서비스 작업에 대해 ISS 테스트의 시스템을 활용

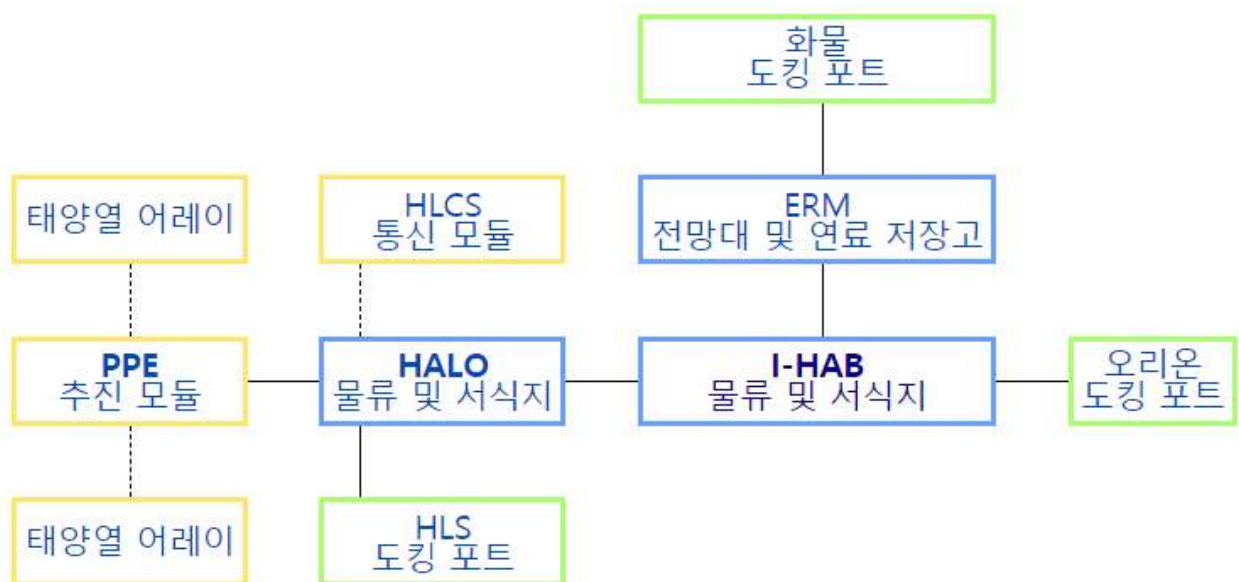
임무 요소	주요 구성요소	기능
유인 착륙 시스템 	- 거주 가능한 볼륨 - 발전 - 에너지 저장 - 추진 (화학적) - 열 제어 - 항공전자 - 통신 - GN&C - ECLSS, 탱크 및 소모품 - EVA 장비/수용 공간	- 휴먼 착륙 시스템(HLS)은 달 표면으로의 하강을 위해 우주비행사가 탑승하는 마지막 우주선이 될 것 - 표면 탐사 후, 우주비행사는 지구로 귀환하기 전에 달 궤도로 다시 상승하기 위해 HLS 이용 - 초기 HLS는 2명의 우주비행사에게 표면 접근을 제공할 것으로 예상되며, 나중에는 더 지속가능한 HLS가 표면에서 4명의 우주비행사를 수용
달 지형 차량 	- 제한된 발전 - 에너지 저장 - 항공전자 - 통신 - EVA/우주비행사 숙소(2명) - 페이로드 적재량 - 원격운영 과학 수용 공간	- 월면 차량 LTV(Lunar Terrain Vehicle)는 2024년 인간의 달 귀환을 위한 지상 운송 시스템 - 우주비행사 여행의 범위를 크게 확장하여, 더 많은 과학, 자원 탐사 및 탐사를 가능하게 함 - 또한, LTV는 원격 조작을 통해 우주비행사가 없는 달 체류기간 동안 과학 임무를 수행하고 소규모 배치 가능한 자산을 원하는 위치로 운송
달 지상국 	18미터 등급 안테나의 글로벌 네트워크 - DSN의 34미터 서브넷과 호환되는 서비스 - 아르테미스 시스템용 추가 용량 - 상용화 가능성	- LGS(달 지상국)은 지속적인 달 탐사로 인해 생성되는 통신 및 추적 서비스에 대한 미래 수요를 충족하는 데 중요한 18미터 등급 안테나 - 아르테미스 로봇을 서비스하고 CLPS, LSSMS, GLS 및 LunaNet과 같은 요소를 지원하려면 추가 용량이 반드시 필요 - DSN의 34미터 서브넷에서 새로운 LGS로 트래픽을 마이그레이션하면, NASA의 행성 과학 미션과 화성 유인 탐사를 위한 DSN 용량 확보 가능 - NASA는 영리 기관이 LGS 서비스를 제공할 수 있는 기회를 추구
LUNANET 	- 네트워크 통신 서비스 - 달 PNT 서비스 - 과학 및 경보 서비스 - NASA, 상업 및 국제 파트너 자산을 수용하도록 설계 - 달 릴레이, 달 표면 및 지구 자산 포함 - 화성 포워드 아키텍처	- LunaNet은 표준, 프로토콜 및 인터페이스의 프레임워크로 구상되며, cis-Lunar 우주에서 NASA 및 기타 파트너를 위한 확장 가능한 통신 및 탐색 네트워크를 지원 - LunaNet은 네트워크 통신, PNT, 과학 및 경보 서비스를 제공하여 원활한 로봇, 과학 및 유인 작업의 기반을 제공 - LunaNet 아키텍처는 달의 남극과 달의 먼 쪽에서 즉각적인 미션 니즈를 충족하고 수요가 증가함에 달 전체에 적용할 수 있도록 확장 가능 - 달에서 사용하는 인터넷

임무 요소	주요 구성요소	기능
거주 가능한 모빌리티 플랫폼 	• 거주 가능한 공간 • ECLSS • 항공전자 • 통신 • 발전 및 저장 • EVA 슈트 숙소	• HMP(Habitable Mobility Platform; 거주 가능한 모빌리티 플랫폼)은 가능한 여행의 범위를 크게 확장하고 새로운 과학, 자원 탐사 및 탐사를 가능하게 할 것 • 달 HMP는 화성 HMP에 활용될 것
표면 거주지 	• 거주 가능 및 적재량 • EXCLSS • 다른 요소에 대한 전원 패스 쓰루 • 열 제어 • 표면 요소 및 게이트웨이와의 통신 제공 • 외부 로봇 기술 분야 및 페이로드 지원 • EVA 슈트 호환성 또는 에어록	• FSH(Foundation Surface Habitat; 파운데이션 표면 거주지)는 최대 60일 동안 우주비행사가 거주할 수 있는 지속적이고 장기적인 전초 기지를 제공 • FSH는, 상업적/국제적 파트너십을 통해 배송되어, 인간 체류의 연장에 필요한 지원을 제공할 것
달/화성 표면 전력 	• 지상 아키텍처는 착륙선과 함께 제공되는 전력 용량에 따라 다르다. • 추진제 유형 및 이송 전략에 따른 출력 수준 • 달과 화성 공통성 평가 바람직	• NASA는, 달에서의 밤새 지속가능한 운용을 지원하고 화성의 유인 탐사를 지원하기 위해, 최대 10kW의 모듈식 핵분열 동력원을 개발 • 달 표면에서의 단기 시연은 일식 기간 동안 지속적으로 휴면 착륙선, 거주지 및 ISRU 시스템에 안정적인 전력을 제공 • 화성 탐사를 가능하게 하는 전력원으로서의 역량을 확장할 수 있는 성능 시험
달 표면 혁신 이니셔티브 	• 현장 자원 활용 • 핵분열 표면 전력 • 극단적 액세스 • 발굴 및 건설 • 달 먼지 완화 • 극한 환경	• LSII(Lunar Surface Innovation Initiative, 달 표면 혁신 이니셔티브)는 기술 개발 포트폴리오로서, 달에서의 유인 및 로봇 탐사와 화성에서의 미래 작업을 가능 • LSII를 통해, NASA는 주요 기술 장애물을 제거하기 위한 데모를 개발하고 수행 • 이 활동은 NASA 고유의 작업과 민간 파트너십을 통해 실행

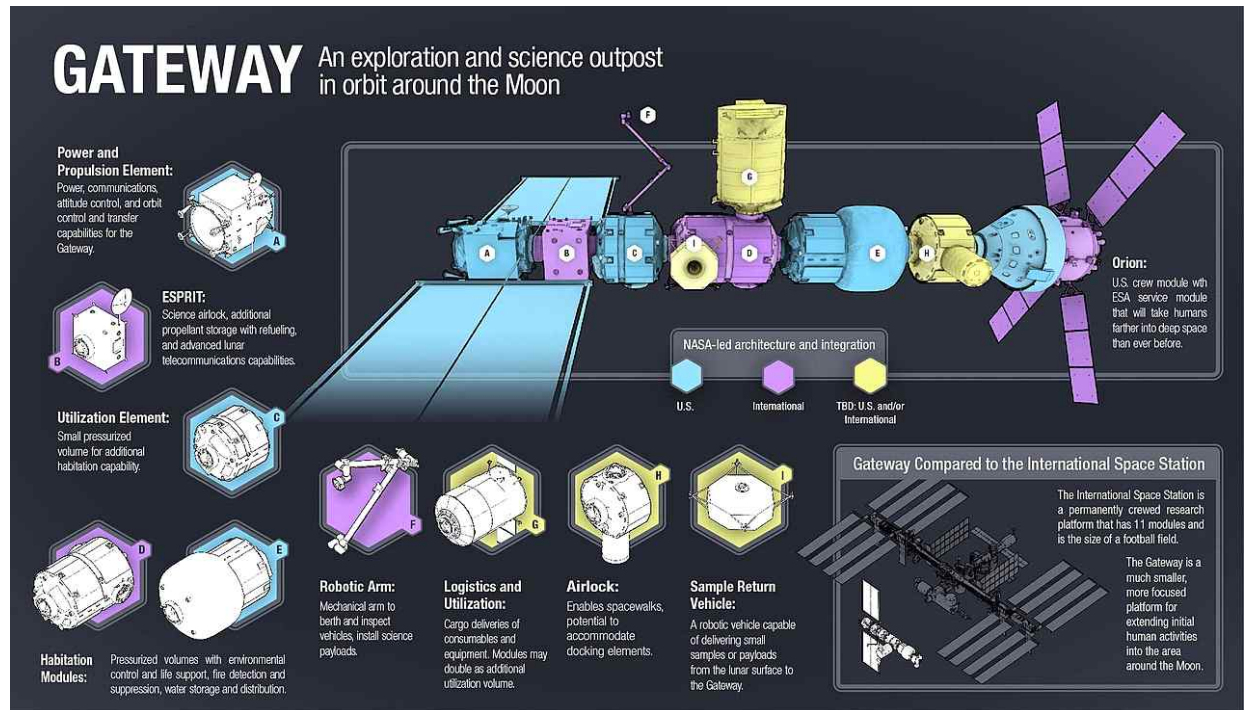
□ 게이트웨이

- 이전에는 Deep Space Gateway(DSG)로 알려졌었으며, NASA의 '18년 제안에서 Lunar Orbital Platform-Gateway(LOP-G)로 변경
 - 게이트웨이 개발에는 미국 NASA , 유럽 ESA, 일본 JAXA 및 캐나다 CSA의 4개 국제 우주 정거장 파트너 기관이 참여 중
- ※ 초기에는 러시아 ROSCOSMOS도 참여할 예정이었지만, 최근 러시아에서 참여하지 않겠다는 의사를 표명(21.1)하며, 현재는 러시아의 참여가 불명확한 상황
- 초기의 게이트웨이는 2024년에 계획된 Artemis 3에 대한 첫 번째 유인 임무를 지원하기 위해 전력 및 추진 요소(PPE)와 거주 및 물류 전초 기지(HALO)의 두 가지 모듈로 구성된 최소한의 미니 우주 정거장이 될 것임
 - PPE와 HALO는 모두 지구에서 조립되어 2024년 11월에 Falcon Heavy로 발사될 예정이며, 9~10개월 후에 달 궤도에 도달 예상
 - ESA와 JAXA의 공헌인 iHab 모듈은 Artemis 4 승무원이 탑승한 Orion 임무에서 SLS Block 1B에 탑재된 탑재체로 발사될 예정

< 게이트웨이 구성 요소(안) >



< 게이트웨이 구성(안) >



□ 계획된 모듈

○ 전원 및 추진 모듈(PPE, power and propulsion element)

- 게이트웨이의 명령 및 통신 센터 역할을 수행하며, 정거장에 전력을 공급할 것임
- NASA는 미국 기업인 Maxar와 3억 7,500만 달러의 확정 가격 계약을 통해 PPE를 개발 중에 있으며, 약 8~9톤 무게를 가짐

○ 물류 및 거주 모듈(HALO, Habitation and Logistics Outpost)

- HALO는 축소된 거주 모듈이나, 충분한 명령, 제어 및 데이터 처리 기능, 에너지 저장 및 배전, 열 제어, 통신 및 추적 기능, 2개의 축 및 최대 2개의 방사형 도킹 포트, 적재 용량, 환경 제어를 제공하는 기능적인 가압 모듈임
- 4명의 우주인이 약 30일 동안 거주할 수 있는 생활 지원 시스템을 갖추고 있음
- 미 Northrop Grumman사에서 개발 중이며, Maxar가 건설 중인 PPE와의 통합하여 2024년 SpaceX Falcon Heavy로 발사 예정

○ 유럽 급유 제공 시스템 및 통신 인프라(ESPRIT)

- ESA는 Thales Alenia Space사와 해당 모듈을 개발하고 있으며, 모듈은 두 부분으로 구성되며 무게는 약 4톤이며 길이는 약 3.91m임
- Halo Lunar Communication System(HLCS)이라고 하는 첫 부분은 미니 스테이션 게이트웨이에 대한 통신을 제공하며, HALO 모듈에 부착되어 발사 예정

- ESPRIT Refueling Module(ERM)이라고 하는 두 번째 부분은 가압 연료 탱크, 도킹 포트 및 작은 창문이 있는 거주 복도를 포함하고 2027년에 발사 예정

□ 제안된 모듈

○ 게이트웨이 물류 모듈

- 연료 보급, 재공급 등을 위한 모듈로 게이트웨이에 보내질 첫 번째 물류 모듈은 캐나다에서 제작할 로봇 팔과 함께 결합될 예정임

○ 게이트웨이 에어 록 모듈

- 선외 활동 및 오리온 우주선의 도킹 등에 활용될 모듈로, 초기에는 러시아에서 담당하기로 하였으나, 현재는 담당 국가 및 기관이 미정인 상태

○ 로봇 팔(Canadarm 3)

- 우주 왕복선의 로봇 팔과 유사한 8.5m 원격 조작 팔로, 캐나다에서 개발

< 주요 건설 일정(안) >

년도	임무 목표	임무명	발사체	유인/무인
2024. 9	Orion MPCV 인도 (승무원, 달 착륙용)	아르테미스 3	SLS 블록 1	유인
2024. 11	동력 및 추진 요소 (PPE) 및 거주 및 물류 전초기지(HALO)	미니 우주 정거장 게이트웨이	팰콘 헤비	무인
2026. 3	오리온 MPCV 및 iHAB 모듈	아르테미스 4	SLS 블록 1B	유인
2026	(제안) 오리온 MPCV 및 물류모듈	아르테미스 5	SLS 블록 1B	유인
2027	에스프리트 연료 보급 모듈(ERM)	아르테미스 지원 임무	-	무인
2027	(제안) 오리온 MPCV 및 물류모듈	아르테미스 6	SLS 블록 1B	유인
2028	(제안) 게이트웨이 스테이션 모듈	아르테미스 지원 임무	-	무인
2028	(제안) 오리온 MPCV 및 물류모듈	아르테미스 7	SLS 블록 1B	유인

□ 아르테미스 과학 전략

○ 우선순위 및 원칙

- 달 또는 달 근처에서 다룰 수 있는 분야 전반에 걸쳐 10년 간의 탐사 목표를 달성
- 경쟁을 통한 선택, 공개 데이터 정책 등을 포함하여 NASA 과학의 표준에 따라 모든 연구를 수행
- 달 표면이나 달 주변에서 Mission of Opportunities 또는 다른 방법을 사용하여 경쟁력 있는 연구를 가능하게 만들

○ (과학 목표) 달은 태양계 과학의 초석으로, 아르테미스 과학 목표는 미국 및 국제 과학 커뮤니티의 우선 순위를 따르며, 아래의 과학 주제를 포함함

- 행성 과정을 이해, 변동성 주기를 이해, 지구-달 시스템의 충돌 역사를 해석, 고대 태양의 기록을 확인, 고유한 위치에서 우주를 관측, 달 환경에서 과학실험 수행, 인간에 영향을 미치는 탐사 리스크 조사

○ (구현 전략) 이러한 과학적 우선순위를 충족하도록 보장하기 위해 NASA의 미션 부서 간에 노력을 조정

- 상업 회사가 달 표면에 전달할 과학 및 기술 페이로드의 개발
- 달 표면에 대한 과학 조사를 확장하고 강화하기 위한 이동성 시스템을 개발
- 추가적인 기회(예: 기기, 로버)를 위해 국제 파트너십을 활용
- SmallSats를 사용하여 달 궤도에서 행성, 태양계, 우주 관측과 관련된 새로운 과학 데이터를 획득

- 과학을 가능하게 하는 게이트웨이 및 Human Landing System과 같은 새로운 인간 탐사 시스템을 사용
- 달 표면에 있는 아르테미스 우주비행사를 위한 과학 미션의 계획 수립을 주도하며, 효과적인 과학 탐사를 수행하는 데 필요한 능력* 개발
 - * 현장 지질학, 샘플 수집 및 귀환, 달 표면/달 근 표면 환경 특성화를 위한 기기 (예: 전자기 간섭, 하전 입자, 중성 미립자), 추운 지역의 접근, 달의 뒷면에 접근
- 과학을 가능하게 하는 구성 요소/센서/기술을 개발하기 위한 기술 성숙도 증대를 위한 방법 창출

□ 아르테미스 달 표면 기술 전략

- (기술 목표) 달 표면 혁신 이니셔티브(Lunar Surface Innovation Initiative, LSII)
 - 달 표면 탐사에 필요한 새로운 기술의 생성을 촉진하고 중대한 시스템 및 구성 요소의 기술 준비를 가속화하기 위한 활동, 경쟁 프로그램, 민관 파트너십의 조합을 통해 구현
- (우선순위) LSII를 통해 NASA의 STMD(우주 기술 미션 부서)는 다음 영역에서 기술 제거할 수 있는 능력을 개발하고 시연
 - 달이나 다른 행성의 몸체에서 발견하거나 제조한 물질을 수집, 처리, 저장, 사용하기 위한 현장 자원 활용 기술
 - 달의 낮과 밤에 걸쳐 지속 가능하고 지속적인 전력을 제공하는 표면 전력 기술
 - 카메라, 태양 전지판, 우주복, 기기와 같은 달 표면 시스템의 분진 위험 요소를 줄이는 분진 완화 기술
 - 시스템이 달 표면 온도 범위에 걸쳐 작동할 수 있도록 돕는 극한 환경 기술

- 인간이나 로봇이 이전에 접근할 수 없었던 달 표면 또는 지하 영역에 효율적으로 접근, 탐색, 탐사할 수 있도록 돕는 극한의 접근 기술
- 저렴하고 자율적인 제조 또는 건설을 가능하게 만드는 굴착 및 건설 기술
- (구현 전략) 달 표면 시연과 관련된 기관의 투자를 더 잘 조정하기 위해 기관 이해 관계자, 기타 정부 기관, 대학, 업계, 국제 파트너와 협력
- NASA는 이러한 협력의 틀에서 아래의 내용을 수행
 - 달 표면 기술 필요성을 식별하고 관련 시스템 및 구성 요소의 준비 상태를 평가하는 작업
 - 달 표면 탐사를 성공하기 위해 요구하는 기술의 개발 및 배치 전략에 대한 권장 사항을 생성하는 작업
 - 정보를 수집하고 기술 인터페이스를 통합하며 결과를 공유하기 위한 중앙 자원을 제공

IV. 우리나라 참여 가능 분야 분석

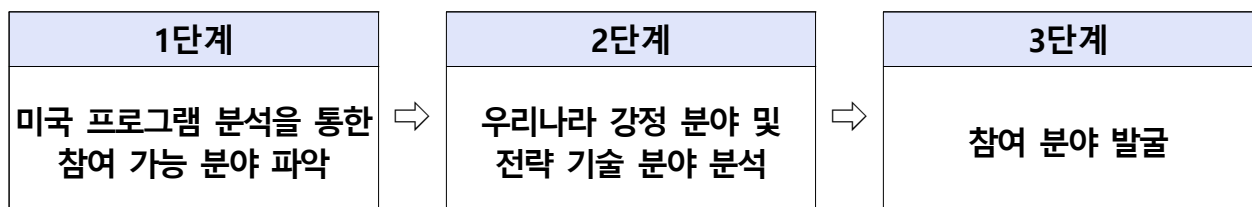
1 국제 우주탐사 참여 분야 도출 전략

- (참여 대상 국제 프로그램) 국제 우주탐사 참여 분야 도출을 위해서, 미국의 우주탐사 프로그램을 대상으로 관련 요소 분석
 - 미국은 달 및 화성의 유/무인 탐사를 실질적으로 이끌고 있으며, 우리나라로 아르테미스 협정 등에 참여함으로써 관련 협력 추진 중
 - 장기적으로 지금의 국제우주정거장과 같이 미국을 중심으로 한 유인 달 및 화성 탐사의 생태계가 구축될 것으로 이와 연계한 우리나라의 우주탐사 전략 및 참여 분야 도출
- (참여 가능 분야 발굴) 미국의 프로그램 중, 우리가 참여할 수 있는 부분을 파악하고, 국내 강점 분야와 연계한 참여 분야 도출
 - 발사체 등 전략적으로 추진되는 부분을 제외하고 강점 분야 발굴 전제에 따라 국내 참여 가능 분야 도출

강점 분야 발굴 전제

- ◇ (전제 1) 우리나라 타 강점 분야와 연계하여 시너지 창출이 가능한 분야를 대상으로 하며, 특히 인프라 분야에 우선을 둠
- ◇ (전제 2) 단기간, 빠르게 기술역량을 확보/구현할 수 있는 분야 대상
- ◇ (전제 3) 장기적으로 우리만의 강점 영역으로 강화/발전하여 관련 분야에서 세계 3위 이내의 역량 국가로 자리 잡을 수 있는 대상
- ◇ (전제 4) 장기적으로 다양한 참여자에게 서비스하여 경제적 이익 창출이 가능할 수 있는 대상

< 국제 우주탐사 참여 분야 발굴 절차 >



2 우리나라 우주탐사 역량 분석

□ 역량분석

- (기술) 우리나라는 그동안의 위성개발 성과를 기반으로 비슷한 기술이 사용되는 우주탐사선 개발에 필요한 기술 확보
- (투자) 우주탐사 사업의 경우 실용성이 큰 위성, 전략성이 큰 발사체 사업에 비하여 정치적/정책적 요소가 사업 추진에 큰 영향을 줌

< 우리나라 우주탐사 분야의 SWOT 분석 >

강점(Strength)	약점(Weakness)
• 위성 개발 기술 확보 • 우수한 IT기술 및 로봇기술로 우주기술과 융합 역량 보유 • 일부 과학임무 분야에서 국제협력 강화 및 국제 인지도 상승 • 출연연에서 ISRU, 우주과학 관련 기술 확보 중	• 정치적 요소, 정책에 좌우 • 예산지원 시점 불일치 및 변동성 큼 • 우주탐사 핵심기술 미확보 • 산·학·연 결집 노력 미흡 • 유인우주탐사 및 대형 국제협력 참여 경험 없음
기회(Opportunity)	위협(Threat)
• 대규모 우주탐사 국제협력 추세 • IT기술과 결합된 위성 기술을 활용하여 선진국과 경쟁 가능 • 기업의 참여가 확대되고 있는 세계적인 추세에서 우주탐사 참여 희망 국내 기업 존재 • 미국 중심의 아르테미스 프로그램에 대한 러시아의 참여 불투명으로 인해 우리가 참여할 수 있는 가능 분야 증가	• 국제협력 프로그램에 대한 UAE 등 신진 국가의 참여 증가 • 국제협력의 빠른 변화에 대응하지 못하면 참여 기회 실기 우려 • 선진국의 민간 기업까지 우주탐사 참여로 기술격차 심화 가능 • UAE 등 신흥 우주개발국들의 화성탐사 추진 등 도전적인 우주개발 지향

□ 시사점

- 세계 주요국은 상당 수준의 자원을 투자하여 우주탐사 활동을 적극적으로 수행 중이나, 우리나라의 투자 규모는 상대적으로 작음
 - 우리나라의 우주탐사 분야 투자액('17. 기준)은 미국의 1/380, 중

국의 1/60, 일본의 1/16 수준이며, UAE에 비해서도 1/2.7 수준

- ◇ (시사점) 우주시대 경쟁력 확보 위해 우주탐사는 선택이 아닌 필수이며, 우리나라도 선도국 활동에 대응해 신속하게 행동해야 함
 - 우주탐사의 가치/필요성에 대한 논리 개발을 비롯한 다양한 형태의 우주탐사 투자 확보 노력이 필요함

- 대규모 투자에 제약이 있을 수밖에 없는 우주탐사 분야에서 투자 대비 효과를 극대화하기 위한 선택과 집중 필요
 - 일본은 소행성 탐사 분야에 집중하여 해당 분야 최고 기술력을 가지게 되었음

- ◇ (시사점) 명확한 비전과 방향성을 도출하고, 이에 근거한 계획과 조직을 갖추어 우주탐사를 수행할 필요 있음
 - 우리나라 우주탐사의 궁극적인 목표/비전을 세우고, 이를 달성하기 위한 단계적 로드맵의 수립이 필수

- 국제우주정거장의 운용 종료('24 예정), 미국의 유인 달탐사에 대한 정책 변화 등과 연계되어 새로운 대규모 국제협력 프로그램 구축 중
 - 대규모 국제 우주탐사 프로그램에 참여할 수 있는 기회가 생겨나고 있으며, 이를 통해 우리나라 우주개발이 도약할 수 있음
- 소행성 자원탐사와 같은 도전적인 분야에서 민간 기업들까지 가세하는 새로운 우주탐사 패러다임이 구축되고 있음

- ◇ (시사점) 역동적으로 변화 중인 우주탐사 분야 최근 추세 (비용/위험 감소 위한 국제 협력, 경제성 중시 등)에 대한 대응을 통한 우리나라의 역량 강화 추진
 - 아르테미스 프로그램에 대한 참여 확대를 통해 국제 사회에서 우주강국의 일원으로써의 역할 확보 추진
 - 국내 민간 기업과 연계를 통한 우주탐사 산업 구축 및 상업적 가치를 동시에 확보할 수 있는 체계 확보

3 미국 프로그램 분석을 통한 참여 가능 분야 파악

□ 아르테미스 프로그램에 대한 우리나라 참여 가능 분야 분석

- 현실적으로 2024년을 목표로 추진 중인 '아르테미스 Phase 1'의 핵심적인 참여는 어려울 것으로 보임
 - 다만, CLPS를 통한 참여를 지속적으로 수행 할 수 있을 것으로 보이며, 심우주 통신 등의 분야에서도 참여 가능
 - 아르테미스 프로그램에 핵심적으로 참여하기 위해서는 '아르테미스 Phase 2'를 대상으로 추진하는 것이 타당
 - 특히, '아르테미스 Phase 2'를 통해 완성을 목표로 하고 있는 '게이트웨이' 및 '달 기지' 건설에는 적극적/주도적 참여 가능
- ⇒ 게이트웨이의 '물류 수송선' 및 '에어락' 등의 핵심 분야에 대한 참여를 통해 글로벌 우주탐사 핵심 국가로 도약 가능

임무 요소	내용	참여 가능 여부	비고
우주 발사 시스템 블록 1	• 높은 페이로드 질량 및 볼륨 기능 • Orion, 우주비행사 및 자동차를 단일 미션으로 달 근처로 보내는 기능	• 참여 가능 부분 없음	미국 주도 발사체 개발 내용
Orion 우주비행선	• 거주 가능 및 적재량 • ECLSS • 우주비행사 숙소 • 독립적 지침, 내비게이션, 및 컨트롤(GN&C) • 독립 통신 시스템 • 독립 발전 • 독립 열 제어	• 참여 가능 부분 없음	현재 미국과 유럽이 참여하여 개발 중
탐사 지상 시스템	• SLS 론치 패드 39B • 크롤러-수송기 • 우주선 어셈블리 건물 • 이동식 발사대 • 랜딩 패드 • 랜딩 런웨이	• 참여 가능 부분 없음	미국 주도로 발사체와 연계하여 개발 중

임무 요소	내용	참여 가능 여부	비고
심우주 네트워크	100Mbps 다운링크, 20Mbps 업링크 2개의 안테나를 각 DSN 컴플렉스에서 업그레이드: Goldstone, Canberra 및 Madrid - 서비스가 국제 파트너 지상국들과 호환	달 탐사선 지상국을 활용하여 참여 가능	
상업용 달 페이로드 서비스	- 중단 간 페이로드 전달 시리즈 - 중소형 페이로드, 처음에는 최대 500Kg - 달에서 과학 기기 및 기술 실증 페이로드 전달	현재 CLPS 참여 중이며, 다음 단계 지속 참여 가능	미국은 지속적인 CLPS를 운영을 계획하고 있어 지속적인 참여 가능
휘발성 물질 조사 극지 탐사 로버 (VIPER)	- 중성자 분광계 시스템(NSS), 근적외선 휘발성 분광계 시스템(NRVSS), 달 작업 관찰용 질량 분광계(MSolo) 및 TRIDENT 드릴이 탑재 - 주행거리 10km 100일 미션 기간 동안 달에서의 밤에 탐사제공	참여 가능 부분 없음	미국 중심으로 이미 개발 중임 (다만, 향후 분광계 등 탑재체 분야 협력 검토 가능)
동력 및 추진 요소 (PPE)	- 지구와의 고이득 통신, 우주 요소 간 통신 및 달 표면 릴레이 - 명령 및 제어 기능 12.5kW 전기 추진으로 변환 델타 속도(ΔV) 제공 - 비추진(예: 모멘텀 휠) 및 추진(예: 스러스터) 제어를 통해 자세 유지 60kW 이상의 전력 생성 - 게이트웨이 요소에 전원을 전송 - 열 제어 - 과학 및 기술 실증 페이로드 공간 제공	참여 가능 부분 없음	미국 기업을 통해 이미 개발 중
거주 및 물류 전초 기지	- 거주가능 및 적재량 - ECLSS 압력 제어 시스템, 모듈 간 환기 - DIMA(분산형 통합 항법 장치) 아키텍처 - 다른 게이트웨이 요소에 대한 전원 연결 - 열 제어 - 우주선 및 달 표면과 통신 제공 - LPGF 및 SORI를 통한 외부 로봇 및 페이로드 지원	참여 가능 부분 없음	미국 기업을 통해 이미 개발 중

임무 요소	내용	참여 가능 여부	비고
심우주 물류	- 독립적인 유도, 항법 및 제어 - 독립적인 통신 시스템 - 독립적인 발전 및 열 제어 - 화물 재보급 및 쓰레기 처리 - 최대 5,000kg의 압축식 페이로드/화물 질량 1,000~2,600kg의 비압축식 페이로드/화물 질량	참여 가능	게이트웨이 등에 대한 지속적인 물류 수송을 위해 필요 현재 미국 기업 및 일본 참여 위성기술 적용 가능
탐사 선외 활동 시스템	- 높은 모빌리티 압박 의복 - 마더보드 스타일의 패키지로 구성된 휴대용 생명 유지 시스템 - 통합 커뮤니케이션 및 정보학 시스템 - 공동 시스템 서비스 및 지질학 도구 - 우주선 인터페이스 시스템 및 장비	우리만의 우주복 개발 추진으로 참여 가능	유인우주탐사를 위한 우리의 우주복 개발
유인 착륙 시스템	- 거주 가능한 볼륨 - 발전 - 에너지 저장 - 추진 (화학적) - 열 제어 - 항공전자 - 통신 - GN&C - ECLSS, 탱크 및 소모품 - EVVA 장비/수용 공간	물류 수송선과 연계하여 주요 파트 참여 가능	예) 전자 장비, 통신, 탱크 분야
달 지형 차량	- 제한된 발전 - 에너지 저장 - 항공전자 - 통신 - EVA/우주비행사 숙소(2명) - 페이로드 적재량 - 원격운영 과학 수용 공간	참여 가능	국내 자동차 기업과 협력하여 참여 할 수 있음
달 지상국	18미터 등급 안테나의 글로벌 네트워크 - DSN의 34미터 서브넷과 호환되는 서비스 - 아르테미스 시스템용 추가 용량 - 상용화 가능성	달 탐사선 지상국을 활용하여 참여 가능	
LUNANET	- 네트워크 통신 서비스 - 달 PNT 서비스 - 과학 및 경보 서비스 - NASA, 상업 및 국제 파트너 자산을	- 달 탐사선 지상국을 활용하여 참여 가능 - 달에서의 인터넷 구축에 참여 가능	국내 IT 기업과 협력하여 우주인터넷 및 달 내비게이션 등 구현 가능

임무 요소	내용	참여 가능 여부	비고
	- 수용하도록 설계 - 달 릴레이, 달 표면 및 지구 자산 포함 - 화성 포워드 아키텍처		
거주 가능한 모빌리티 플랫폼	- 거주 가능한 공간 - ECLSS - 항공전자 - 통신 - 발전 및 저장 - EVA 슈트 숙소	참여 가능	국내 자동차 기업과 협력하여 참여 할 수 있음
표면 거주지	- 거주 가능 및 적재량 - EXCLSS - 다른 요소에 대한 전원 패스 쓰루 - 열 제어 - 표면 요소 및 게이트웨이와의 통신 제공 - 외부 로봇 기술 분야 및 페이로드 지원 - EVA 슈트 호환성 또는 에어록	다른 참여 분야(물류 수송선, 에어락 등)와 연계하여 참여 가능	게이트웨이의 물류수송선 및 에어락 등을 담당하다는 전제하에 참여 할 수 있음
달/화성 표면 전력	- 지상 아키텍처는 착륙선과 함께 제공되는 전력 용량에 따라 다름 - 추진제 유형 및 이송 전략에 따른 출력 수준 - 달과 화성 공통성 평가 바람직	참여 가능	국내 태양광, 원자력, 수소연료전지 기술을 활용하여 참여 가능
달 표면 혁신 이니셔티브	- 현장 자원 활용 - 핵분열 표면 전력 - 극단적 액세스 - 발굴 및 건설 - 달 먼지 완화 - 극한 환경	참여 가능	ISRU 관련 장비 등을 CLPS 임무에 실어서 참여 할 수 있음 표면거주지 개발에 참여한다면 연계 가능
게이트웨이 (추가)	- 태양열 어레이 - 추진모듈 - 통신 모듈 - 물류 및 거주 모듈 - 도킹 포트 - 화물 도킹 포트 - 연료 저장고 - 샘플리턴선 - 에어락	참여 가능	물류 모듈 및 에어락 등에 참여 가능 러시아의 빈자리를 대신하여 참여함으로써 핵심 참여 국가로 발돋움 가능

□ 미국 문투마스/아르테미스 프로그램과 연계한 우리나라 참여 분야

○ 미국의 우주탐사 프로그램을 분석하고 향후 유인우주탐사 등의 활동과 연계하면 주요 임무 요소는 '수송 부문', '거주시설/유인 부문', '통신/에너지 부문', '이동 및 활동 부문'으로 분류 가능

- 수송 부문은 발사체, 유/무인 우주선 등 지구를 벗어나서 달 및 화성 등에 사람 및 물자를 수송하기 위해 필요한 시스템을 의미
- 거주시설/유인 부문은 달 및 화성에서 사람이 장기간 거주하기 위한 궤도 정거장 및 표면 기지와 관련된 시스템을 의미

※ 유인 활동에 필요한 다양한 생명 유지, 우주복 등도 해당 부문에 포함

- 통신/에너지 부문은 달 및 화성에서 유/무인 활동(기지, 모빌리티 운영 등)에 필요한 에너지 공급과 네트워크와 관련된 시스템
- 이동 및 활동 부문은 달 및 화성 표면에서 이동과 다양한 활동(과학임무, 자원활용 관련 등)에 필요한 시스템을 의미

부문	주요 요소
수송	발사체
	무인 수송선 / 유인 수송선
	달/화성 무인 착륙선
	달/화성 유인 착륙선
거주시설	궤도 정거장
	달/화성 표면 거주 모듈
	달/화성 표면 건설 구조물
우주인	헬멧
	선내/외 우주복
통신	지구 지상 시스템
	지구 궤도 시스템
	달/화성 궤도 시스템
	달/화성 지상 시스템
	배터리
에너지	원자력전지
	원자력 발전
	태양광
	태양광
표면이동수단	무인 이동 차량
	유인 이동 차량(가압 / 비가압)
연구 활동	과학 연구 장비
	현지 자원 활용 장비

4 우리나라 타 강점 분야와 연계한 참여 분야 분석

□ 우리나라 타 강점 분야 분석

① 우리나라 신산업정책 전략에 따른 강점 분야

- 지난 2년간 정부는 산업대전환, 업종별 전략, 법령 정비 등 산업 혁신의 기틀을 마련하는 「新산업정책1.0」을 추진
 - ▲투자, ▲인력, ▲생산성, ▲기업성장, ▲글로벌, ▲신비즈니스 등 6개 분야에서 새로운 성장 방정식을 찾는 「산업대전환」 민간 제언
 - ※ 80여명의 전문가들이 약 300일('22.11월~'23.9월)간의 논의를 거쳐 민간 제언 제시
 - 산업 경쟁력 강화를 위한 20개 이상의 업종별·기능별 산업전략 수립

< 【참고】 지난 2년간 업종별·기능별 주요 산업전략 >

구분		주요 전략
업종별 (19)	첨단산업	▶ 반도체 초강대국 달성 전략('22.7), ▶ 이차전지 산업 혁신전략('22.11), ▶ 국가첨단산업 육성전략('23.3), ▶ 이차전지 경쟁력 강화 국가전략('23.4), ▶ 디스플레이 산업 혁신전략('23.5), ▶ 국가첨단전략산업 기본계획('23.5), ▶ 바이오경제2.0 추진방향('23.7), ▶ 첨단로봇 산업 비전과 전략('23.12)
	주력산업	▶ 자동차산업 글로벌 3강 전략('22.9), ▶ 조선산업 초격차 확보 전략('22.10), ▶ 화학산업 경쟁력 강화 방안('22.12), ▶ 탄소복합재 경쟁력 강화 전략('22.12), ▶ 철강산업 발전전략('23.2), ▶ K-조선산업 재도약 지원방안('23.5), ▶ 미래차 전환 및 수출지원 대책('23.5),
	공급망	▶ 새정부 소부장 산업 정책방향('22.10), ▶ K-뿌리산업 첨단화 전략('23.4), ▶ 소부장 글로벌화 전략('23.4), ▶ 산업공급망 3050 전략('23.12),
기능별 (7)		▶ 실용형 新통상 전략('22.5), ▶ 산업기술 혁신전략('22.6), ▶ 수출지역별 특화전략 및 수출지원 강화 방안('22.11), ▶ 산업 AI 내재화 전략('23.1) ▶ 통상환경 변화와 우리의 대응('23.1), ▶ 범정부 수출확대 전략('23.2), ▶ 산업단지 입지 킬러규제 혁파 방안('23.8)

- 정부는 '24년 2월, 그간의 성과를 바탕으로 민간 주도, 시장 기반의 경제성장을 확산시키는 「新산업정책2.0」 제시
 - 신산업정책 2.0에서는 '첨단산업 초격차' 및 '주력산업 대전환' 등을 제시하고 있음

- (첨단산업) 첨단산업 분야로는 '반도체', '이차전지', '디스플레이', '바이오' 분야를 제시
- (주력산업) 주력산업 대전환 분야로는 '자동차', '조선', '철강', '석유화학', '로봇', '섬유' 분야를 제시

② 디지털 심화 시대를 이끌어갈 K-Network 2030 전략

- 네트워크는 디지털 서비스 제공을 위한 필수 기반이며, 산업적 파급력이 큰 국가 기간산업일 뿐만 아니라 국가안보의 핵심 요소
- 그간 정부는 글로벌 환경변화에 대응하여 국가적 전략 수립을 통해 세계 최고 수준의 네트워크 경쟁력*을 확보하고, ICT 강국 전진

* ICT 발전지수 1~2위(ITU, '09~'17년), 국가경쟁력 평가 'ICT 보급' 부문 1위(WEF, '18~'19년)

< 그간의 국가적 전략 수립·추진 현황 >



- 미래 네트워크는 단순한 속도 향상을 넘어 저지연, 공간 확장, 보안 내재화, 에너지 절감 등 기존 한계를 극복하는 새로운 혁신* 요구

* ('30 미래 기술 트렌드, ITU) AI Native, 에너지 효율 향상, 저지연, 보안·신뢰성 향상 등 10대 기술 전망

☞ **디지털 심화 시대**를 뒷받침하고 **네트워크 패러다임 변화**와 **기술패권 경쟁**에 대응하기 위한 **국가적 전략**(신성장4.0 전략과 연계) 수립

- 6G·위성·양자 등 **차세대 네트워크 준비**, **기존 네트워크 고도화** 및 전후방 **네트워크 산업 생태계 활성화**를 위한 미래 비전 및 전략 수립

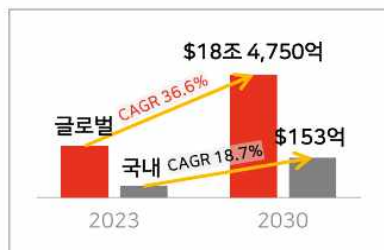
③ 주목해야 할 미래 유망 산업

- 유망산업 분석 보고서*에 의하면 글로벌 경제성장률이 3% 내외에서 유지되는 가운데, 향후 유망산업으로 제시한 AI, 배터리(2차전지), 원전(SMR 중심), 스마트농업, 로봇 산업은 각각 향후 20% 이상 수준의 성장성을 보일 것으로 전망

* 2024년 주목해야 할 산업(삼일회계법인, 2023.12.)

유망산업의 성장성

인공지능(AI)



전기차용 2차 전지



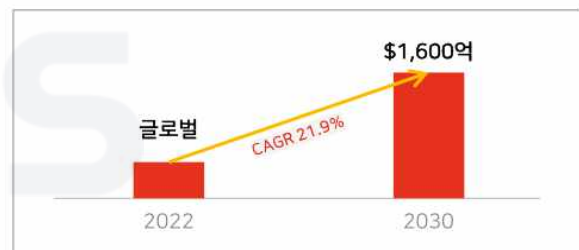
원전(SMR)



스마트 농업



로봇



유망산업 관련 Checkpoint

구분	Checkpoint
인공지능 (AI)	- AI 활용 역량이 향후 국가경쟁력의 핵심 - 생성형AI의 밸류체인 중 'AI모델 기반 응용 서비스 및 어플리케이션'에 집중 - AI반도체 육성을 위한 정부 지원, 규제 완화 및 기업간 협력 필요
배터리 (2차 전지)	- 소재와 부품의 다변화 - 리튬인산철(LFP)와 삼원계(NCM) 배터리간 경쟁 구도 '사용후 배터리'의 리사이클링 인프라 구축
원자력발전	- 탄소중립의 대안으로의 자리매김 - 안전성 확보와 폐기물 처리가 원자력 발전 성장의 전제조건 - SMR의 상용화 속도전
스마트농업	- 글로벌 4대 트렌드(ESG, 디지털, 식량안보, 인구구조)의 해결책 - 신기술 적용과 M&A
로봇	- 구동형 로봇부품이 로봇산업 성장의 핵심 - 대기업과 중소기업간의 win-win 전략 필요 - 협동로봇과 서비스로봇의 성장성에 주목

□ 우리나라 타 강점 분야와의 연계한 우주탐사 참여 분야 분석

- 달 및 화성 탐사의 주요 요소 중에서 인프라 부분에 해당하며, 우리나라 신산업 전략 대상, 미래 유망산업 대상, 그리고 현재의 세계 시장 점유율 높은 산업 부분에 해당하는 요소 도출
- 타 산업 분야와 연계하여 발전가능한 우주탐사 분야는 **통신/네트워크 및 표면이동수단** 분야로 파악됨
- 에너지 분야에서도 타 산업과 연계하여 시너지 창출 및 발전이 가능한 부분으로 **배터리와 원자력** 관련 요소가 나타남

부문	주요 요소	인프라 여부	우리나라 타 강점 분야와의 연계	
			신산업 전략 대상 연관	미래 유망산업 연관
수송	발사체	X	X	X
	무인 수송선	X	X	X
	유인 수송선	X	X	X
	달/화성 무인 착륙선	X	X	X
	달/화성 유인 착륙선	X	X	X
거주시설	궤도 정거장	○	X	X
	달/화성 표면 거주 모듈	○	X	X
	달/화성 표면 건설 구조물	○	X	X
우주인	헬멧	X	X	X
	선내 우주복	X	X	X
	선외 우주복	X	X	X
통신/ 네트워크	지구 지상 시스템	○	○	○
	지구 궤도 시스템	○	○	○
	달/화성 궤도 시스템	○	○	○
	달/화성 지상 시스템	○	○	○
에너지	배터리	○	○	○
	원자력전지	○	X	○
	원자력 발전	○	X	○
	태양광	○	X	X
표면 이동수단	무인 이동 차량	○	○	○
	유인 이동 차량(비가압)	○	○	○
	유인 이동 차량(가압)	○	○	○
연구 활동	과학 연구 장비	X	X	X
	현지 자원 활용 장비	X	X	X

□ 모빌리티의 분류

- (유형에 따른 분류) 달 표면 등에서 사용되는 모빌리티는 무인(가압 및 비가압) 및 유인(가압 및 비가압)으로 분류 가능
- (성능/크기에 따른 분류) 모빌리티는 성능을 구현하기 위한 형태로 '소형-중형-대형'으로 구분 할 수 도 있음
- (활용에 따른 분류) 모빌리티는 용도에 따라 '물자수송-유인수송-과학임무-건설장비-감시·정찰' 등으로 구분할 수 있음

□ 우리나라의 접근 대상

- (유형) 미국 및 일본 등 주요 국가는 유인 달 표면 모빌리티를 중심으로 개발 중으로 우리나라는 이와 차별적으로 무인 모빌리티에 중점
 - 또한, 국내 기술수준 및 투자 역량을 고려하여 상대적으로 접근이 쉬운 비가압 형태의 모빌리티 개발 추진
- (성능/크기) 주요국에서 개발 중인 모빌리티는 유인 수송 등 임무에 필요한 대형 모빌리티 개발이 많은 상황
 - 우리나라는 국내 기술수준 및 투자 역량을 고려하고 상대적으로 다양한 국가에서 참여가 쉬운 소형 모빌리티 개발 추진
- (활용) 한가지 임무가 아닌 다양한 임무에 적용할 수 있는 모빌리티를 목표로 개발 추진
 - 탑재체를 변경하여 '물자수송-과학임무-건설장비-감시·정찰' 등의 다양한 임무를 수행할 수 있는 '멀티 플랫폼' 모빌리티 개발 추진

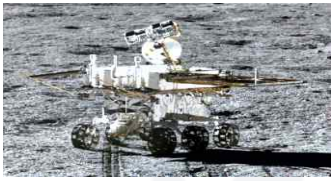
< 단기적/전략적 접근 가능한 모빌리티 형태 >

유형 분류		성능/크기 분류		활용
▶ 무인 - 비가압 : ○ - 가압 : × ▶ 유인 - 비가압 : × - 가압 : ×	+	▶ 소형 : 단기(○) ▶ 중형 : 중기(○) ▶ 대형 : 장기(○)	+	▶ 물자수송 : ○ ▶ 유인수송 : × ▶ 과학임무 : ○ ▶ 건설장비 : ○ ▶ 감시·정찰 : ○



- ◆ 단기적으로 무인(비가압) 소형 모빌리티를 개발하고,
물자수송/과학임무/건설/감시·정찰 등에 활용 가능한 형태로 개발 추진
- 다양한 임무에 적용 할 수 있는 멀티 플랫폼 차체 개발
 - 다양한 임무는 멀티 플랫폼에 탑재되는 탑재 장비를 통해 수행

주요 달 모빌리티 개발 현황

기관	로버명	사진(그림)	임무/사양 등
NASA	VIPER		2023년 말 예정, 남극지 탐사 - 임무기간 100일, 목표거리 20 km, 최대 50시간 1.5m x 1.5m x 2.5m, 450 kg 3종 spectrometer, 최대 1m 드릴시추 - Solar-charged battery, peak power 450W - 최고속도 0.72 kph, 4륜조향, 액티브서스펜션 - 통신 : X-band direct-to-Earth (no relay) over the Deep Space Network - 헤드라이트 시스템(달 영구음영지 탐사)
JAXA/ISRO	LUPEX		2023년 이후 예정, 남극지 3개월이상 탐사목표 - 로버무게 350 kg 수준 - 지중레이더(GPR), 중성자검출기(NS), 근적외선 화상 분광장치(ALIS), 굴착드릴, 로봇암, 채집물 가열 및 분석장치(열중량분석계, 질량분석계, 미량수분계), 표층분압계(월표면 외기권 가스 중 측정)
CNSA	YUTU-2		- 중국의 창어4 달 뒷면 누적 1km 이상 탐사중 - 달 뒷면 최초 착륙 및 최대기간 탐사 기록진행중 1.5m x 1.0m x 1.0m, 140kg (착륙선 1,200kg) - 파노라마 카메라(420 nm-700 nm 스펙트럼 범위, 쌍안경 스테레오 비전으로 3D 이미지 수집), 지질관통레이더(LPR) 30~100m깊이
JAXA/도요타	Lunar Cruiser		2029 예정 pressurized 연료전지 로버 6.0m x 5.2m x 3.8m, 거주공간 13m³, 2~4인 - 임무기간 : 6주간, 목표거리 누적 10,000km - 수소일충전 1,000km 이동 목표, 자율주행기능 - 롤러블 Solar panel, 리튬이온 배터리
CSA (캐나다)	Juno Rover		- 최대 2주간 음영지대 남극지 탐사목표 1.47 m x 1.62 m x 1.53 m, 230kg 150kg 운송가능, 최고속도 4kph 5.1 kWh 리튬이온배터리, Solar panel 4륜구동, 탱크턴
엑스텐드 디자인 (컨셉)	루니아 (Luniaq)		- 탑승인원 : 4명 - 자율 및 원격 조종 가능 - 태양전지판으로 전력을 얻고 고체배터리에 저장 - 특수 투명 알루미늄으로 창문 제작 - 입체 카메라 장착 - 대형 소프트 휠 적용
AUDI/파트타임 사이언티스트	Lunar Quattro		- 루나 엑스 파라이즈 취소로 발사 못함 - 통신 시스템 : 엔비디아 테슬라 GPU - 로버의 사이즈 : 무게 22 kg - 카메라(3D 이미지 획득)와 재료성분 분석 카메라 100W Solar panel, 리튬이온 배터리 - 최고속도 : 3.6kph(전기모터 4개, 콰트로시스템)

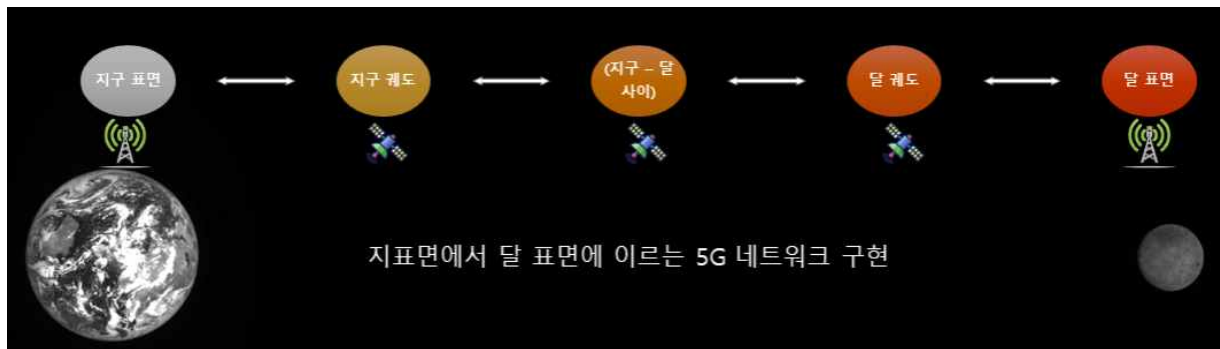
〈출처 : 한국항공우주산업진흥협회〉

2

네트워크

□ 우주 네트워크 구성 요소

- 우주 네트워크는 지구 표면에서의 안테나 시스템, 지구 궤도 통신 위성, 지구와 달 사이의 통신 관련 위성 등 및 달 표면 시스템으로 구성

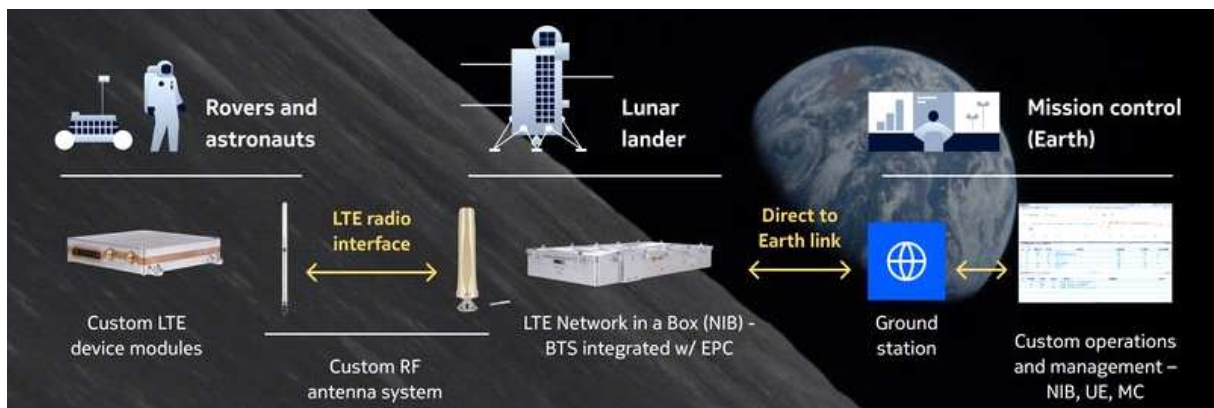
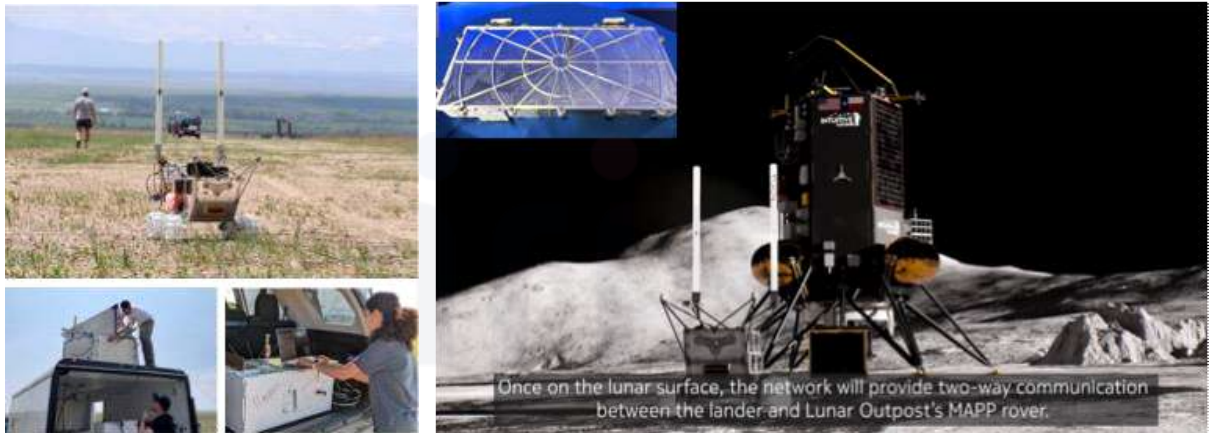


□ 우리나라의 접근 대상

- (지상) 지상에서는 대형 심우주 안테나를 중심으로 통신 체계를 구축하고 있으며, 우리나라 및 미국 등 국가에서 기 확보
 - ⇒ 향후 보완 및 추가될 요소는 정부 주도로 추진 필요(정부 주도 과제)
- (지구궤도) 지구궤도에서 지구 표면과 달을 연결해 주는 시스템은 지구 궤도상의 통신위성 및 항법 위성 등으로 구현 가능
 - ⇒ 관련 시스템은 이미 개발 및 일부 운용 중이며, 대형 예산이 요구되는 분야로 국제협력을 통해 향후 검토 필요(정부주도/장기과제)
- (달 궤도) 달에서 지구로의 통신 및 데이터 송수신을 위해서는 일반적으로 달궤도 상에 이를 수행할 수 있는 궤도선을 운용함
 - ⇒ 관련 시스템은 이미 개발 및 일부 운용 중이며, 대형 예산이 요구되는 분야로 국제협력을 통해 향후 검토 필요(정부주도/장기과제)
- (달 표면) 달 표면의 네트워크 축은 미국의 '루나넷'을 중심으로 노키아에서 참여하여 4G/LTE 구축 추진 중
 - ⇒ 초기 구축 단계이며, 국내 기술력이 높은 분야로, 국내 기업 중심으로 단기간 개발이 가능한 영역으로 접근 가능성 높음

노키아의 달 표면 4G/LTE 네트워크

- ◇ 노키아는 달표면 혁신기술로서 4G/LTE 통신 구축 프로젝트 협력업체로 선정
- ◇ 노키아의 벨 연구소가 주도로 달의 혹독한 환경에서도 건널 수 있도록 설계
 - 시스템은 기지국, EPC(Evolved Packet Core) 사용자 단말 및 전원 공급 장치로 구성
 - 가볍고 콤팩트하게 설계하고, 달 착륙선에 설치되며, 배치 후 자동으로 작동
- ◇ 4G/LTE 네트워크를 통해 Lover 및 Hopper와 통신을 통해 달 표면에서 얼음을 찾는 프로젝트를 수행 예정
 - 2024년 11월에 발사를 앞두고 있으며, 앞서 2023년 7월에 콜로라도 사막에서 모의 실험을 성공적으로 완료



- 4G 달 네트워크가 구축된다면 현재처럼 단순한 무선 통신을 넘어서 달에서 지구와 같이 인터넷이나 문자 등을 보낼 수 있을 것으로 기대
- 달에 있는 우주인이 개인 디바이스를 네트워크에 연결해 각종 앱과 서비스를 이용할 수 있음
- 4G 망을 통해 달 탐사 임무를 맡게 될 로봇, 로버 시스템을 더 효과적으로 활용할 수 있음

□ 에너지 분야

- 우주 에너지 분야에는 태양광, 원자력 및 현지 자원을 활용한 수소 활용 등으로 구분할 수 있음

⇒ 지속가능한 에너지 공급 및 다양한 용도로 활용이 가능한 원자력 에너지가 우주탐사에 상대적으로 더욱 적합함

□ 원자력을 이용한 에너지 확보 종류

- 원자력을 이용하여 에너지를 확보할 수 있는 방법으로는 크게 원자력 전지와 원자로를 들 수 있음
- (원자력전지) 원자력전지에는 동위원소열전발전기 또는 RTG(Radioisotope Thermoelectric Generator)와 베타볼테익(Betavoltaic)전지 혹은 베타전지 등이 존재
- (우주용 원자로) 우주 원자로에는 냉각방식에 따라 액체 금속 냉각 원자로(LMR), 히트파이프 냉각 원자로(HPR), 기체 냉각 원자로(GCR) 가 있음

□ 우리나라의 접근 대상

- (원자력전지) 원자력전지 중에서 우리나라는 달 착륙선에 활용 등을 목적으로 RTG 개발 중이며, 누리호 성능검증위성으로 관련 기술 검증
 - 국내 개별 이력을 기반으로 지속적으로 RTG 개발에 중점 추진
- (우주용 원자로) 다양한 원자로 중에서 국내 기술력을 가지고 있으며, 우주에서 운용의 안정성 등에 장점을 가진 히트파이프 냉각 원자로를 대상으로 하여 개발 추진
 - 히트파이프 원자로는 중대사고가 배제되고, 자율/원격 운전이 가능한 초소형 원자로로 외부 전력 공급이나 중력의 도움 없이 냉각 가능

< 원자로 종류별 장단점 >

	장점	단점
액체 금속 냉각 원자로 (LMR)	-높은 파워를 내기 쉽다 : 냉각재 채널 유로 면적을 크게 증가시키지 않고도 펌프 성능 개발을 통해 냉각 성능 증가(Mass) : 1MWt 이상 원자로에서 질량에서 장점 -LM은 발전계통에 높은 열이송 성능을 가지고 있기 때문에 발전계통 기술만 발달한다면 성능을 극대화 시킬수 있음	-LM의 고체화 및 액체화 문제는 완전한 prototype loop를 통해 시험 하기 전까지는 규명할 수 없음 -시험 복잡성 : 실제 유동 현상 규명은 모든 부품들이 완성되기 전까지는 시험을 할 수 없음 -노심 계측 및 제어 : LM 냉각원자로에 결합되는 추가적인 부품들은 수량과 특이성에서 일반 원자로보다 많은 진단 시스템이 필요 -열교환기 개발 및 결합 : 열교환기 모델 및 제작은 히트파이프 시스템 보다는 간단하지만 실제 운전시 젖음, 배수, 동결 및 해동에 대한 현상을 견딜수 있도록 설계되어야 함 -개발 위험 : LM 냉각 원자로 개념과 관련하여 아직까지 완벽하게 규명 되지 않은 기술적 이슈가 존재
히트파이프 냉각 원자로 (HPR)	-다중성 : HP 원자로는 고유 안전성을 가짐 -온도균질화 : 노심 내부의 온도 편차가 작아서 구조물의 건전성 확보 과도 특성 및 제어 가능 -강제냉각방식이 아니기 때문에 출력을 운전원이 직접 조절할 필요가 없음 -상황에 맞추어 자율적으로 출력 조절이 가능 -검증: 핵연료를 대체하여 히터를 사용하더라도 같은 열 성능의 검증 시험을 수행할 수 있음 -안전성 : HP 원자로 노심은 매우 낮은 공극률을 가지고 있기 때문에 침수에도 강한 장점이 있음	-제조성 : monolith block에 대한 가공 공정, HP, 차폐체 결합 등의 집합체 제작에 대한 계획 대비 시간적 어려움이 발생할 수 있음 -HX(열교환기) bonding : 열전달효과를 증가시키기 위해서 HP와 열교환기 부분에서 thermal bonding 이 필요함 -용접 물질에 대한 신뢰성 확보가 필요
기체 냉각 원자로 (GCR)	-작은 부품수 : LM 원자로 대비 작은 수의 부품이 필요함 -제작성 : 일반적인 원자로 개념을 활용하여 비교적 쉽게 검증이 가능함	-신뢰성 : 일차계통에서의 흐름은 노심 혹은 Brayton 사이클에 영향을 주는 몇 개의 단일사고와 연관되어 있음(누설, 막힘 등) -안전조건 : 우주발사체에 탑재하기 위해선 발사시 사고상황이 최소화되어야 함 -붕괴열 제거 : GC 원자로의 경우 사고시 붕괴열 제거가 어려움 -핵연료 사고 영향 : 핵연료 compact 손상이 유동에 영향을 주어서 원자로 정지가 발생할 수 있음 -핵연료부터 누설은 발전기 계통을 오염시킬 수 있음 -질량 : 일반적으로 LM 혹은 HP 원자로대 대비 상당한 무게가 나감

주요국 우주 원자력 기술 개발 현황

국가 \ 임무	방사성동위원소 발전시스템			핵분열발전시스템			원자력 전기추진	원자력 열추진
	8.5 W	120~200 W	>2 kW	1 kWe	10 kWe	100 kWe		
미국	-	-	●	▲	●	▲	▲	▲
유럽	-	△	-	△	▲	△	-	▲
중국	-	●	-	△	▲	△	▲	-
러시아	▲	●	-	○	●	△	▲	▲
대한민국	○	△	-	△	△	△	-	-

● : 임무 성공 경험 있음, 현재 active program 진행 중
 ○ : 임무 성공 경험 있음, 현재 active program은 존재하지 않음
 ▲ : 임무 성공 경험 없음, 현재 active program 진행 중
 △ : 임무 성공 경험 없음, 현재 기초연구 진행 중

◇ (방사성동위원소발전시스템) 현재 개발된 우주용 표준 동위원소열원 사양 기준으로 구분

- 미국은 60 W 열원 4개로 240 W 표준열원을 만들고, 표준열원 8개로 약 2 kW 열원을 만들어 110 W 원자력전지를 개발하여 표준으로 사용 중

※ 미국에서 우주용으로 개발된 Pu-238 열원은 1 W/60 W이며, 1 W는 전자장비 각 부위의 보온용, 60 W는 원자력전지로 사용

- 우리나라는 8 W 열원 사용을 목적으로 120 mW 원자력전지를 만들어 누리호에 실증하였으며, 현재 200 mW 이상 출력 및 60 W 열원 2개를 이용할 목적으로 6 W 원자력전지 개발 완료

◇ (핵분열발전시스템) 우주용 원자로의 사용 목적에 따라 구분

- 1 kWe는 무인 달탐사 기지 내 탐사장비 상시 전력 공급을 위한 용량
- 10 kWe는 유인 달탐사 기지 내 우주인 1명의 생존용 전력 공급을 위한 용량
- 40 kWe는 유인 달탐사 기지 ISRU를 위한 용량
- 100 kWe보다 큰 원자로의 경우, 대형 핵분열발전시스템으로 분류

V. 유인우주탐사에 대한 우리의 접근 전략

1 문투마스 전략과 연계한 우리의 방향성

◇ 미국의 문투마스 전략과 연계하여 장기적인 관점의 지속가능한 우주탐사 추진 전략을 마련하여 우리의 독자 영역 구축 및 미국과의 협력 체계 확보

- 미국의 문투마스 전략과 연계하여 우리나라도 ‘유인달탐사→유인 화성탐사’로 이어지는 방향성 제시
- 우리나라는 미국의 문투마스 단계별 필요한 요소를 분석하고 이와 연계하여 개발하고 확보해야하는 분야를 선제적으로 추진
- 달 및 화성에 가서 활동하기 위한 기반이 되는 인프라(수송, 거주 등) 구축을 선행하고, 이를 기반으로 다양한 활동(과학연구, 자원확보 등)을 지속적으로 수행하는 단계로 접근

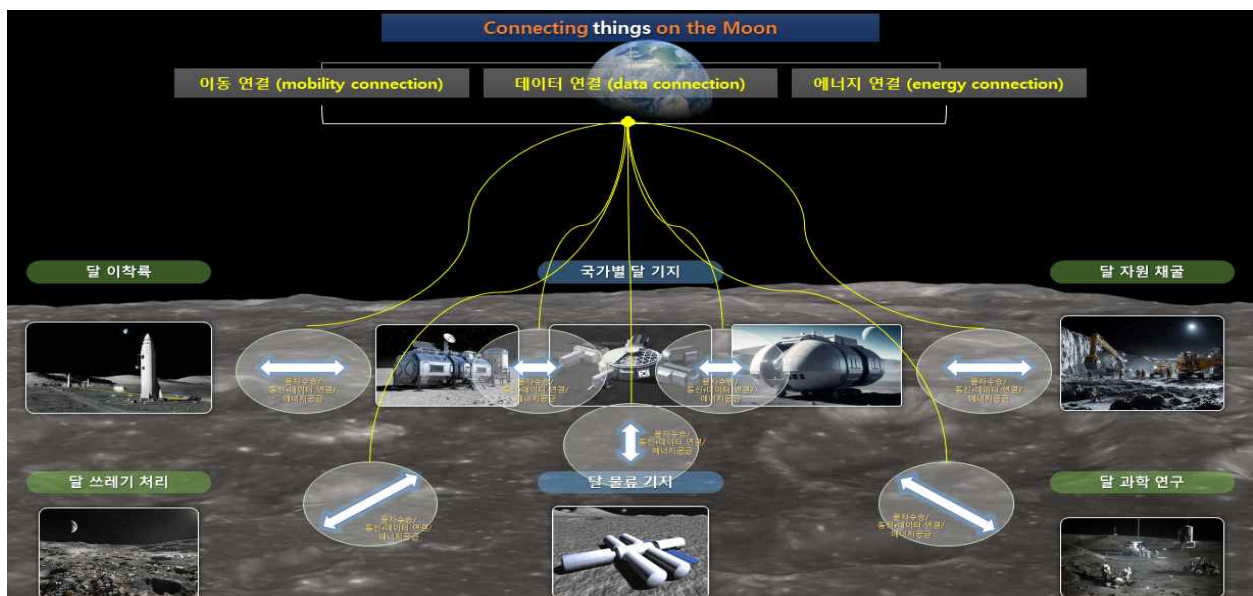


	구축기	완성기	운영기	구축기→완성기→운영기
우리나라 접근 전략	•갈 수 있는 역량, 활동할 수 있는 역량 확보 중점	•임무 수행/활동에 중점(과학임무, 자원탐사/활동 등)	•지속가능한 활동에 중점 •사회적/경제적 가치 창출	•달 탐사 분야의 확장 •화성 탐사만을 위한 역량 분야 선행 개발 추진
	인프라 구축 임무 : 70% 활동 임무 : 30%	인프라 구축 임무 : 40% 활동 임무 : 60%	인프라 구축 임무 : 20% 활동 임무 : 80%	-

□ 달 표면 활동 공간 “연결” 인프라 구축 (Connecting things on the Moon)

- MtoM의 3단계에서는 최종적으로 인류가 달에서 다양한 활동을 지속적으로 추진할 수 있는 생태계를 구축하게 됨
 - 우리나라는 이러한 단계에서 달 표면에서 다양한 공간들을 연결해 줄 수 있는 인프라를 제공하는 국가로서의 지위 확보 추구
- 여러 국가의 ‘달 기지와 기지’, ‘달 착륙 지점과 달 기지’, ‘달 기지와 물류 창고’, ‘달 기지와 달 자원 채굴 및 달 과학 연구 장소’ 등을 연결
 - 유인활동을 지원하는 ‘이동’, ‘데이터’, ‘에너지’를 제공하는 인프라 확보를 달 활동에서 독자적이며, 국제적으로 기여할 수 있는 분야로 선정
- (물류) 달 표면에 구축되고 이용되는 다양한 공간(국가별 기지, 물류 창고, 연구 사이트 등) 사이의 물류를 수송하기 위한 ‘모빌리티’ 제공
- (데이터) 달 표면 다양한 국가들의 기지와 기지의 대용량 데이터 공유 및 유인 달 표면 활동에 필요한 통신을 위한 ‘5G 서비스’ 제공
- (에너지) 달 표면의 다양한 시설 등에 필요한 전기, 열 등 에너지 공급을 위한 ‘원자력 에너지’ 제공

< MtoM 3단계에서 우리나라가 구축하고자 하는 영역(안) >



2 3대 중점 분야 추진 전략(안)

1 3대 분야 목표

- ◇ 타 산업 분야와의 연계성 등을 고려하여 모빌리티, 네트워크(5G), 에너지(원자력) 분야를 중점 추진 3대 분야로 선정
- ◇ 달 탐사에 중점을 두고 3단계까지의 발전 비전 제시
- ◇ 다만, 실질적으로 1단계에서 빠르게 역량을 확보/제공할 수 있는 기술 개발 부분에 집중한 전략 제시
- ◇ 민간이 주도적으로 수행할 수 있는 세부 대상을 선정하여 우선 추진

□ 중장기 단계별 목표(안)

- 문투마스 및 우리나라 발전 방향성 등을 고려하여 달 탐사 중심으로 3대 분야(모빌리티, 네트워크, 에너지)의 장기 발전 목표(안) 제시
- 모빌리티 분야는 미국, 유럽, 일본 등에서 다양한 종류를 개발 중에 있으며, 대부분 대형 및 유인 대상에 집중
 - 우리나라는 이러한 국가와 경쟁 분야가 아닌 독자적인 영역을 파악하여 관련 모빌리티 개발 추진
 - 이에, 중소형 무인 모빌리티를 목표로하여 다양한 활용도(과학임무, 현지자원 임무 등)가 가능하도록 표준 모델화 하여 관련 모빌리티 개발 추진
- 네트워크 분야는 지속가능한 달 표면 및 화성 표면 임무에 있어서 반드시 필요한 인프라 요소로 미국은 LTE 기반으로 구축 중
 - 장기적으로 대용량 데이터 처리 등 안정적 네트워크 서비스를 위해서는 우리나라의 장점인 5G 기술력을 적용한 독자적 네트워크 구현 추진
- 에너지 분야는 태양광 및 원자력이 중요한 요소로 개발되고 있으며, 미국의 경우 태양광 및 원자력 모두 개발 추진 중

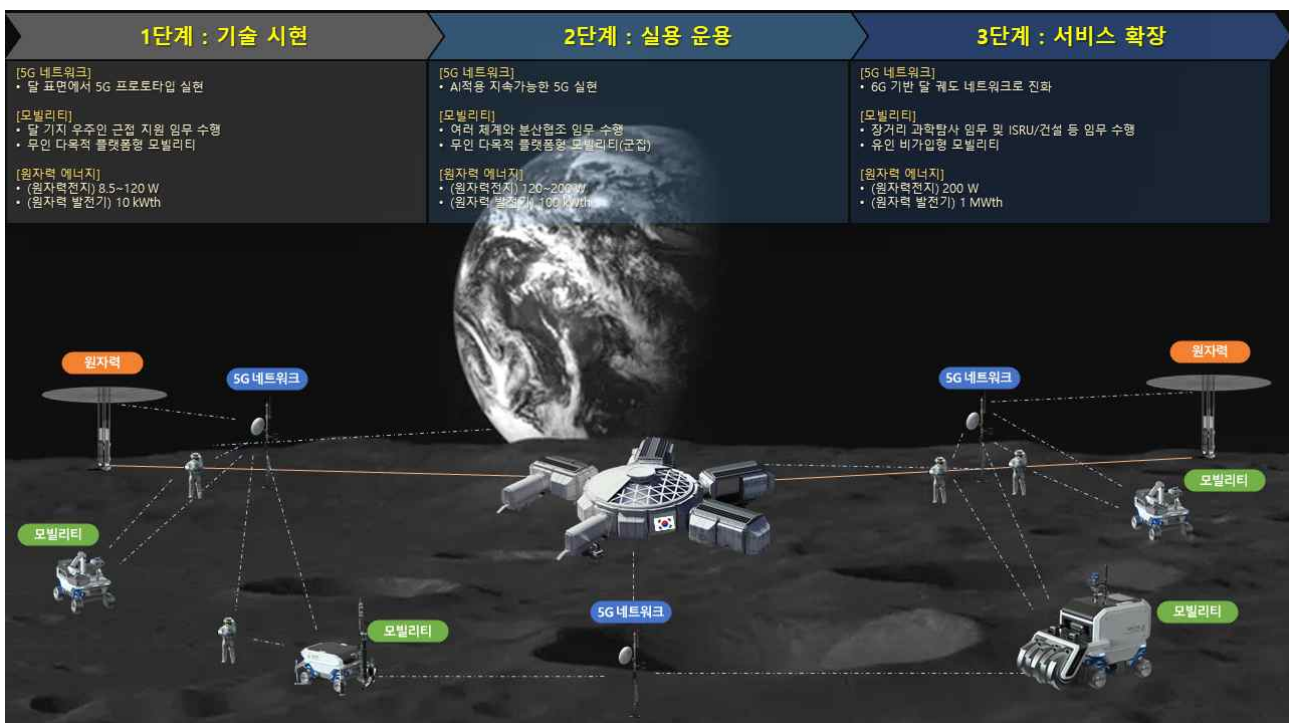
- 미국 이외에 우주에서 원자력 에너지를 구현할 수 있는 국가는 영국 및 우리나라 정도로 파악됨
- 이에 우리나라의 장점을 살려 원자력 에너지 분야(특히, 전지와 발전기 영역)에 대한 개발 추진

< 3대 분야 단계별 목표(안) >

분야		1단계	2단계	3단계
모빌리티		· 4륜 구동 바퀴형 · 차체 무게: 70kg 이내 · 탑재체 무게: 20kg 이내 · 배터리: 연료 전지 · 임무 기간: 1회 충전 시 낮 시간 14일 이상 구동	· 4륜 구동 바퀴형 · 차체 무게: 70kg 이내 · 탑재체 무게: 20kg 이내 · 배터리: 연료 전지 · 임무 기간: 1회 충전 시 낮시간 14일 이상 구동 * 자율 군집 운영 가능	· 4륜 또는 6륜 구동 바퀴형 · 차체 무게: 210kg 이내 · 탑승 인원: 2명 이내 · 탑재 중량: 490kg 이내 · 최대 속도: 약 20km/h · 배터리: 원자력 전지
5G		달 표면에서 5G 프로토타입 실현	AI적용 지속가능한 5G 실현	6G 기반 달 궤도 네트워크로 진화
원자력	전지	8.5~120 W	120~200 W	200 W
	발전기	10 kWth	100 kWth	1 MWth

※ 분야별로 목표 성능을 달성하는 단계에 대한 연도 기준은 다를 수 있음

< 3대 분야 연계 미래 달 표면 구축 모습(안) >

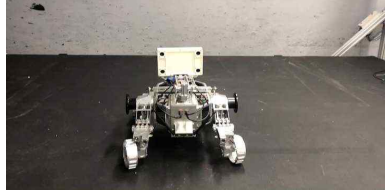
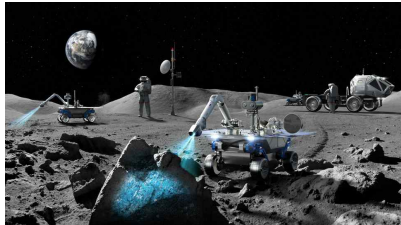


2

모빌리티 분야

□ 국내 역량

- 출연연 및 민간 기업에서 우주 탐사를 위한 소형 로버에 대한 지상 모델을 개발하여 관련 핵심 기술 확보 중

기관	개발 내용	
한국항공우주연구원	○ 행성 탐사용 로버 개발 기초 연구 수행('10~'12) - 8개의 휠이 적용된 주행 장치, 로봇팔, 말단 과학 장비를 적용한 로버 시스템 연구 - 40kg의 무게에 8륜 구동 및 현가장치 적용	
	○ 달 탐사 2단계 선행연구를 통해 이동기능을 구현하여 지상에서 데모를 시연하는 로버 개발모델(DM(development model))을 25kg의 무게로 개발	
한국과학기술연구원	○ (개발 모델) 중량 약 13kg, 4개의 휠 사용 ○ (연구 내용) 원격제어 시험 및 달 중력 상황 주행 성능 검증을 위한 중력 보상 시험 장치 개발	
무인탐사연구소 (민간기업)	○ (Scarab 로버) 2륜, 무게 약 2~5kg, 속도 약 3cm/sec, 최대 150m 이동 ○ (Haetae 로버) 4륜, 무게 약 10~15kg, 속도 약 7cm/sec, 약 400m 이동 ○ 갈퀴 형태와 허니콤 구조의 메쉬 바퀴 적용 연구 진행	
현대차 그룹	○ (컨셉트) 달 표면 전용 소형 자율주행 모빌리티로, 태양광 충전시스템 및 자율주행 기술, 열관리 및 방사능 차폐 장치, 금속 구동 휠 등 적용 ○ (목표) 달 남극부 탐사를 통한 광물 채취, 환경 분석 등 과학 임무 수행 목표 ○ (개발 모델) 최대 중량 70kg 목표, 상부는 달 표면 탐사 기능을 주로 수행하며, 하부는 플랫폼 형태의 구동계로 상부 기능 추가 또는 변경 시에도 활용 가능	

< 국내 우주탐사용 소형 로버 기술 수준 >

구분		'23 기술수준 (TRL)	기술확보방안
Level 1	세부 기술명		
탐사 로버 체계 종합	탐사 로버 통합 기술	3	국내독자
	탐사 로버 품질관리 및 검증 기술	5	국내독자
	탐사 로버 통합 모니터링 및 운영 기술	4	국내독자
로버	달 표면 극한환경 구동기술	5	국내독자
	우주 방사선 차폐 및 경량 고강도 내열 복합구조재 기술	3	국내독자
	고신뢰성 통합 제어부 HW/SW 기술	5	국내독자
	고효율 전력 관리 및 운영기술	5	국내독자
	극한 온도변화 환경의 열 관리기술	3	국내독자
	달 토양 특성을 고려한 휠 및 그라우저 기술	5	국내독자
	저중력 환경의 속도향상 및 힘지급복을 위한 동력조절 기술	5	국내독자
	로버 방진 및 마찰접촉부 기술	4	국내독자
	달 표면 통신 기술	3	국내독자
	로버 상태진단 기술	5	국내독자
	달 표면 주행 환경 및 지형 인식 기술	4	국내독자
	달 표면 이동경로 계획 및 추종 기술	4	국내독자
	시간지연 허용 로버 원격제어기술	5	국내독자
	로버의 저조도 영상 강화 및 절대 위치 추정기술	4	국내독자
	달 모사 고진공 극한 온도변화 환경의 로버 성능검증 기술	5	국내독자
	달 유사지형 및 저중력 주행성능 검증기술	4	국내독자

※ 자료 출처 : 달 착륙선 기획보고서 내용에서 발췌

- (산업역량) 국내 자동차 제조업체의 생산 역량과 관련 기업의 부품 제작 능력 등을 통해 자동차와 유사한 모빌리티 개발 역량 보유

※ 자동차 산업을 기반으로 글로벌 탑 3 수준의 산업역량 및 투자 여력 보유

※ 우리나라 모빌리티 산업 규모는 '23년 생산량 기준 413만 대, 수출액 기준 922억 달러 수준으로 세계 3위권 규모임 (출처: 현대자동차)

※ 우주탐사 분야 접목 사례가 없어 대부분 국내 시장이 제대로 형성되지 않아 산업 기반 미약, 산업 생태계 미성숙 단계임

< 주요 모빌리티 분야별 국내 기술/산업 역량 >

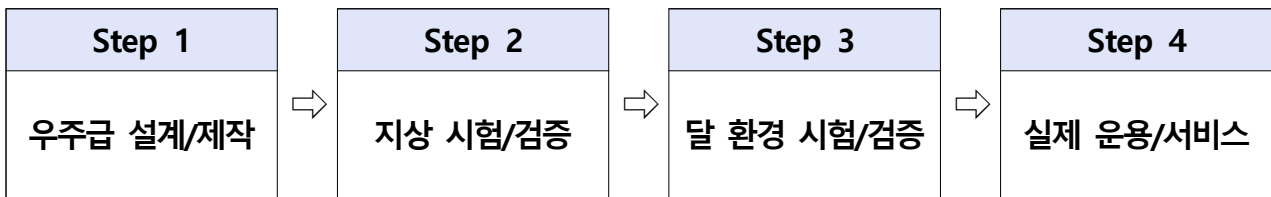
구분	분류 기준	유형	국내 기술 역량	국내 산업 역량
무인	구동 방식	바퀴형 (rolling형)	- 전기차·자율주행차 기술을 통해 바퀴형 구동 시스템에 대한 높은 수준의 기술력 보유 - 전자식 제어 시스템 및 서스펜션 기술 우수, 극한 환경에서의 내구성을 위한 연구도 활발히 진행 중	국내 자동차 제조업체에서 우수한 생산 및 품질 관리 역량 보유, 바퀴형 탐사 로버 개발에 필요한 부품 안정적 공급 가능
		로봇 다리형	- 국내에서는 초기 단계 - 개발 경험 보유, 특히 경량화 및 에너지 효율화 기술 중심 개발 중 - 군사용 로봇 및 재난 대응 로봇 개발 경험 활용 가능	- 산업 기반 미약 - 로봇 다리형 시스템에 필요한 정밀 부품 및 센서 개발에서 강점을 보유하여 관련 산업 성장 중
		호핑형	- 국내에서는 초기 단계 - 드론 기술과 소형 추진 시스템 기술 보유로 관련 연구에 적용 가능성 높음 - 기존 무게 중심 조절 및 추진 제어 기술을 적용하여 발전 가능	- 산업 기반 미약 - 국내 소형 로봇 및 드론 제조업체들 성장 중
		비행형	- 드론 및 무인 항공기(UAV) 기술에서 세계적 수준 역량 보유 - 정밀 제어 및 자율 비행 기술, 배터리 기술, 경량 소재 기술 우수 - 현재 우주 분야 접목 사례는 개념연구 수준임	- 드론 산업 성장 중, 다양한 응용 분야 확장이 가능 - 현재 산업 생태계가 미성숙하였으나, 관련 기술의 상업화 잠재력이 있음
		기타 구동형	- 국내에서는 초기 단계 - 진동형, 연체형 등의 비전통적 구동 방식에 대한 기초 연구 진행 중 - 생체 모방 기술 및 혁신적 구동 메커니즘 연구 수행 중	- 산업 기반 미약 - 초기 단계로 일부 소규모 스타트업들이 연구 참여 중

구분	분류 기준	유형	국내 기술 역량	국내 산업 역량
	용도	표면 탐사용	- 차체 구조 설계, 정밀 센서 및 자율주행 기술 강점 보유 - 고효율 에너지 시스템과 내구성 강화 기술을 통해 극한 환경에서도 장시간 운영이 가능한 로버 개발 가능	- 국내 대기업과 연구소의 협력으로 로버 개발에 필요한 기술·자원 안정적 공급 가능, 상용화 가능성 높음 - 자동차 산업에서 축적된 대량 생산·품질 관리 역량을 바탕으로 로버 양산 및 품질 유지 가능 - 민간 우주 탐사 기업들이 등장하며 표면 탐사 분야에서의 상업화 가능성 확대 중
		채굴용	- 국내에서는 초기 단계 - 지상에서의 자원개발 경험을 토대로 우주 채굴 기술 개발 가능 - 우주공학과 자원 탐사 기술 융합연구 진행 중	- 산업 기반 미약 - 융합연구 등 정부 지원 강화 추세
		운반용	- 대형 운반용 로봇과 물류 자동화 시스템 경험 보유로 개발시 적용 가능 - 자율 주행 기술과 결합한 무인 물류 로버 개발 역량 우수	- 물류 로봇 및 무인 운송 시스템에서 강력한 산업 기반을 보유 - 우주 탐사용 운반 시스템 상업화에 유리
		건설용	- 스마트 건설 기술과 자율 로봇 기술 융합으로 극한 환경에서도 작동 가능한 건설 로봇 개발이 가능 3D 프린팅과 자재 처리 기술에서 강점 보유 - 연구소 단위에서 우주분야 접목을 위한 연구 수행 중	- 건설 및 중장비 산업 기반 보유 - 우주 건설 로봇 시장 진입 잠재력 우수
유인	가압 유무	비가압형	- 견고한 프레임 설계, 내구성 있는 전자 시스템 개발 강점 보유 - 방수 및 방진 기술 등 극한 환경 운용 체계 경험 미보유 - 군사 및 민간에서의 경험을 토대로 한 극한 환경에서의 생존 및 운용 기술 우수	- 국내 대기업과 연구소의 협력으로 로버 개발에 필요한 기술·자원 안정적 공급 가능, 상용화 가능성 높음 - 자동차 산업에서 축적된 대량 생산·품질 관리 역량을 바탕으로 로버 양산 및 품질 유지 가능 - 방위산업과 협력 가능
		가압형	- 가압식 환경 제어 시스템, 생명 유지 장치 개발 등에서 기술적 역량이 필요하나, 경험은 아직 제한적임 - 항공우주 및 방위산업에서 일부 기술 활용이 가능하나, 추가 연구개발 필요	- 가압형 로버의 복잡성과 고도의 기술적 요구로 인해, 현재 산업 기반은 초기 단계임 - 향후 투자 및 연구 필요

□ 기술 확보 전략

- 먼저 우주탐사(달 탐사) 1단계 영역을 대상으로 국내 역량으로 구현할 수 있는 모빌리티 기술 확보 추진
- 국내 기술력을 기반으로 단기간의 검증 시스템을 구현하고 이를 기반으로 단계적으로 실용급 시스템 확보 추진

< 기술력 구현 Step >



- 국내 발사 역량* 고려 시 모빌리티 체계 발사를 위해서는 국제 협력을 통하여 CLPS를 이용하여 발사 필요

* 현재 우리나라에서는 20kg 이상의 탑재체를 달 표면까지 운송할 수 있는 발사 역량 부재

※ 달 착륙선 개발 기획연구에서도 달 착륙선 탑재중량 제한으로 인해 탐사 로버 전체 중량 20kg 이하 수준으로 제한

- CLPS 발사 역량(~100kg) 고려 시 과학 탑재체를 20kg으로 가정하면 차체 70kg급의 모빌리티 체계 개발이 적절함 (총 90kg)

시제품 사양

형상	주요 제원
	▶ 4륜 구동 바퀴형 ▶ 차체 무게: 70kg 이내 ▶ 탑재체 무게: 20kg 이내 ▶ 배터리: 연료 전지 ▶ 임무 기간: 1회 충전시 낮시간 14일 이상 구동

< 모빌리티 주요 구성 요소 및 고려 사항 >

구성 요소	세부 구성 요소	우주급 고려 사항
구조 및 세시	프레임 및 바디	로버의 모든 하드웨어를 통합하며, 외부 충격으로부터 내부 장비를 보호
	서스펜션 시스템	각 바퀴에 독립적인 서스펜션이 장착되어 있어 로버가 다양한 지형에서 균형을 유지
전원 공급 시스템	태양 전지판	태양광을 전기로 변환하여 로버의 시스템을 구동. 일부 로버는 원자력 전지 사용
	배터리	태양 에너지를 저장할 수 있는 배터리 탑재, 밤 시간이나 태양광이 부족할 때에도 작동
이동 시스템	바퀴 또는 궤도	바퀴는 모래, 바위, 경사 등 다양한 달 표면에서 효율적으로 움직일 수 있도록 설계
	구동 모터	각 바퀴에 부착된 전기 모터가 로버를 이동시키며, 각각의 모터는 독립적으로 제어
통신 시스템	안테나	로버가 수집한 데이터를 지구로 전송하고, 지구에서 로버로 명령을 전달
	전송기 및 수신기	신호를 주고받기 위한 장비로, 로버와 지구 간의 통신을 원활하게 유지
컴퓨팅 및 제어 시스템	온보드 컴퓨터	로버의 모든 작업을 제어하는 핵심 컴퓨터로, 센서 데이터를 처리하고, 로버의 이동을 제어하며, 지구와의 통신을 관리
	소프트웨어	로버의 운영 시스템과 과학적 분석, 자율 주행 기능 등을 관리하는 소프트웨어
열 제어 시스템	방열기	로버 내부의 열을 방출하는 장치로, 로버가 과열되지 않도록 관리
	히터	로버의 중요한 구성 요소들이 낮은 온도에서도 정상적으로 작동할 수 있도록 유지
자율 주행 시스템	센서	장애물 회피와 경로 계획을 위해 다양한 센서 사용 (예, 라이다(LiDAR), 자이로스코프, 가속도계 등을 사용해 로버의 위치와 주변 환경을 인식)
	자율 주행 알고리즘	로버가 인간의 개입 없이 스스로 경로를 계획하고, 장애물을 피하며 임무를 수행할 수 있도록 지원

- (구조 및 세시) 우주환경 적합성 검증 및 초고탄성 탄소섬유를 통한 구조 강화
 - 초고탄성 PAN 계열 탄소섬유를 활용해 우주 환경의 진동 및 충격 하중을 견딜 수 있는 프레임 개발
 - 온도, 열주기, 방사선 및 화학적 부식 등을 고려한 우주 적합성 검증 수행
- (전원 공급 시스템) 기존 위성 기술 기반 전원 시스템 활용 및 우주 실증 준비
 - 위성 산업용 배터리와 태양전지를 기반으로 전원 공급 시스템 구축 및 우주환경 실증 목표
 - 추가적으로 원자력 배터리 등 신규 에너지원 적용을 고려하여 장기적 전력 공급 체계 마련
- (이동 시스템) 비정형 지면 대응을 위한 바퀴 및 트랙 설계와 충격 완화 서스펜션 적용
 - 비정형 노면에서의 주행 안정성을 위해 서스펜션 시스템 개발 및 지면 조건에 따른 최적화 추진
 - 바퀴와 다리가 결합된 구동 방식을 연구하여 어려운 지형에서도 원활한 이동 가능성 확보
- (통신 시스템) 고속·대용량 데이터 전송을 위한 통신 네트워크 구축
 - 달 표면의 소형 로버와 지구 간의 중계 통신 시스템 설계 및 대용량 데이터 전송 기술 실증
 - 무지향성 및 지향성 안테나와 고속 통신 모뎀 개발로 우주 환경에서도 안정적인 데이터 통신 제공

- (컴퓨팅 및 제어 시스템) 우주 방사선 내성 및 정밀 위치 제어로 안정적 운용 보장
 - 방사선 내성을 갖춘 CPU와 FPGA 기반의 중앙 제어 시스템을 구축하여 장기 임무 수행 능력 강화
 - 스테레오 카메라 및 라이다 센서 활용으로 정밀한 위치 제어와 장애물 회피 기능을 강화
- (열 제어 시스템) 수소연료전지 기반 보조 열 제어 시스템 및 달 먼지 오염 대응
 - 기본 배터리 열 제어와 함께 수소연료전지를 활용한 보조 열 제어 시스템으로 온도 안정성 확보
 - 달 먼지 오염에 대비한 코팅 및 열광학 물성 보강으로 성능 저하를 방지
- (자율 주행 시스템) 군집 제어 및 장애물 회피 기술로 달 탐사에 적합한 자율성 확보
 - 영상 기반 인지, 딥러닝을 통한 AI 기반 인식 및 경로 계획 알고리즘으로 달 탐사 임무 최적화
 - 군집 임무와 사람-로버 협업을 위한 경로 계획 및 임무 할당 기술 연구 및 우주 환경 실증

□ 운용 및 서비스

- 다양한 과학 탑재체를 탑재하여 시험 등을 수행할 수 있는 체계로 운용
- 또한, 달 기지 및 달 표면에서의 다양한 우주인의 활동에 필요한 장비 수송 등에 근접 지원 로버로 활용
- 시제 개발 및 운용을 통해 성능과 안전성을 확보하고, 표준형 다량

생산을 통한 비용 절감으로 행성 표면탐사 모빌리티 활용 생태계 구현

- (2020년대 후반~) 로버 전개·이동 등 행성 표면 운영 시연

- (2030년대 초~중반) 로버 복수 배치 및 다양한 탑재체 모듈 시연

※ 분산 협조, 반자율주행 기능 시연을 통한 성능 검증 수행

- (2030년대 후반) 로버 10대 배치를 통한 달 모빌리티 인프라 구축 및 자율주행 기능 시연을 통한 성능 검증

□ 시제기 개발 로드맵(안)

○ 기존 국내 역량을 활용하여 단 기간내에 시제기 개발·확보

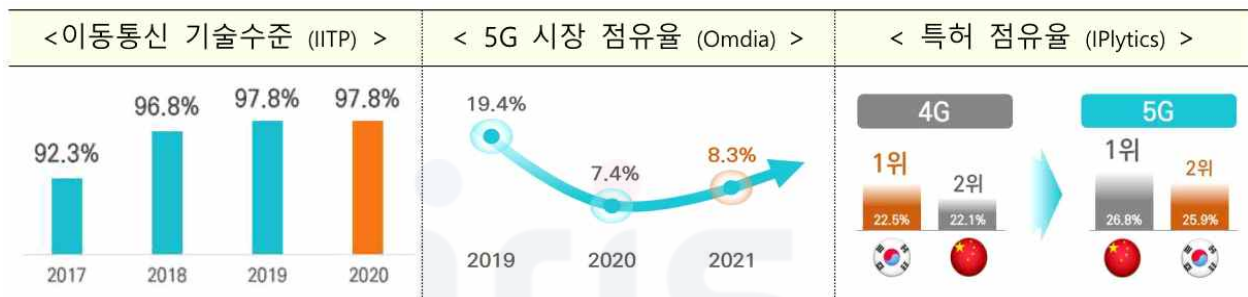
항목	개발 연도										개발비용 예측
	1차	2차	3차	4차	5차	6차	7차	8차	9차	10차	
설계	체계 설계	기본 설계		상세 설계				운영 설계			700 억원 (발사비용 미포함)
제작			엔지니어링 인증 모델 제작								
			열구조 모델 제작								
			주행 모델 제작			비행 모델 제작					
지상시험 및 조립/통합					전기 테스트베드 검증						
					열구조 모델 검증						
					주행 기능/성능 검증			비행 모델 검증 및 로버 통합			
우주실증										운영	

□ 국내 역량

- 국내 네트워크 기술 경쟁력은 지속 향상 중이나 아직 선도국과 격차가 존재하며, 일부 품목에 한정된 경쟁력 보유

※ 최고국(미국) 대비 기술수준(IITP, '20) : 무선 97.8%, 유선 88%, 전파·위성 85.4%, 양자 85.2%

- 특히 이동통신 분야는 꾸준한 투자와 선제적 상용화 노력 등으로 경쟁력을 보유 중이나, 경쟁국·기업의 투자 강화로 추월 위기

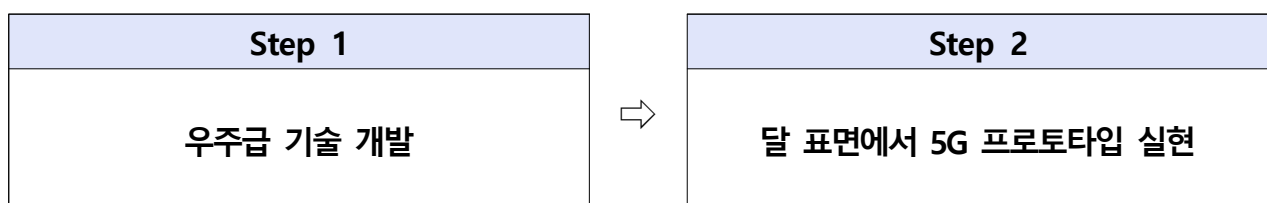


- 우리나라 5G 특허 점유율은 중국 다음 2위로 미국의 우주탐사와 협력이 어려운 중국을 제외하고 우주에서 5G 네트워크 구현 역량 높음

□ 기술확보 전략

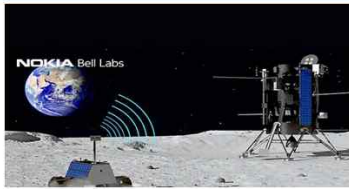
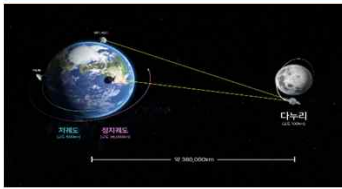
- 먼저 우주탐사(달 탐사) 1단계 영역을 대상으로 국내 역량으로 구현할 수 있는 5G 기술 확보 추진
- 국내 기술력을 기반으로 단기간의 검증 시스템을 구현하고 이를 기반으로 단계적으로 실용급 시스템 확보 추진

< 기술력 구현 Step >



- 달 표면에서의 5G 망 구축 및 운영을 위해 달 표면에서의 환경, 기지국 설치 방법 및 운용 환경을 파악하여 반영할 수 있는 기술 개발

< 달 표면 5G 망 구축을 위한 고려 사항 >

물리적 환경 차이	기지국 무인 설치	운용 환경
 ➢ 산란/반사체가 없는 LOS 환경 ➢ 초저온 환경 (100K) ➢ 초저온으로 white noise 감소(약 40dB) ➢ 지구보다 상대적으로 넓은 셀 반경 ➢ 넓은 커버리지 고려한 RACH 설계 (5km 이상인 경우, TDD 구조 상 RACH 응답 수신 이슈)	 ➢ 무인 환경에서 자동 구축 ➢ 탐색 반경 고려한 넓은 커버리지 ➢ 곡률반경/LOS 고려한 안테나/셀 설계 ➢ 지구통신, 달 표면 통신 분리 ➢ 전력망(송전/배전) 없는 구동	 ➢ 지구에서 원격 운용 ➢ 셀 최적화/장애대응 자동화 필요 ➢ 장애 발생 대비 다중화 구성 필요 ➢ 탐사장비/센서 등 IoT 환경지원 ➢ 탐사를 위한 AI 서비스 지원

시제품* 사양 - 기지국

형상	주요 제원
	▶ Core를 포함하는 기지국 - Electronic unit(가로×세로×높이: 무게) 100×200×300 mm : 10kg - Antenna unit(가로×세로×높이: 무게) 100×200×500 mm : 10kg

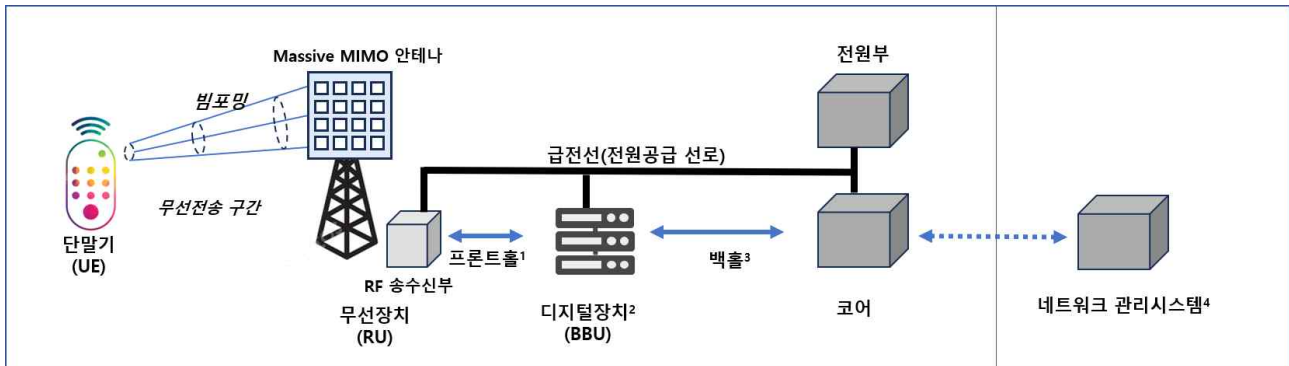
시제품* 사양 - 단말기

형상	주요 제원
	▶ 크기(가로×세로×높이) - 150mm × 90mm × 30mm ▶ 무게 : 총 500 g ※ 내장형 안테나 탑재 기준 무게(외장형 안테나는 형태 변형이 다양하므로 고려하지 않음)

* 시제품은 2030년을 목표로 개발하는 프로토타입을 의미함

① 5G 네트워크 기지국

<기지국 구성도>



주1. 일체형 기지국인 경우, 내부 인터페이스 가능

주2. 세부적으로 Distributed Unit (DU)와 CU (Centralized Unit)으로 구성

주3. 코어-기지국 일체형의 경우, 백홀도 내부 인터페이스화 가능

주4. 네트워크 관리시스템의 경우, 달 현장에서의 네트워크 관리시스템 구축과 지구에서의 네트워크 관리시스템 구축 방안 각각 검토 필요

< 5G 네트워크 기지국 구성 요소 >

구성 요소	세부 구성 요소	설명
안테나 시스템	Massive MIMO (대규모 다중 입출력 안테나)	다수의 안테나를 사용해 동시에 여러 사용자에게 신호를 전송하고 수신할 수 있어 데이터 처리량이나 커버리지 크게 향상
	빔포밍	신호의 전송 방향을 사용자 쪽으로 집중시켜 신호 강도를 높이고 간섭을 줄이는 기술. 이를 통해 사용자는 더 강력하고 안정적인 신호를 받을 수 있음
기지국 장비	무선 장치 (Remote Radio Unit, RRU)	무선 신호의 전송 및 수신을 담당하는 장치. 안테나와 연결되어 있으며, 신호를 디지털 신호로 변환하여 BBU로 전달하거나 반대로 BBU에서 받은 디지털 신호를 아날로그 신호로 변환해 전파로 송출
	디지털 장치 (BBU, Baseband Unit, DU와 CU 통합 구조)	기지국의 데이터 처리 및 제어 기능을 수행하며, 코어 네트워크와의 연결도 담당
	프론트홀	RU와 BBU간 데이터 전송을 위한 인터페이스
5G 코어(UPE, AMF, SMF포함)		데이터 전송, 이동성 관리, 세션 제어 등을 담당
백홀(Backhaul) 연결	유선 백홀	기지국과 코어 네트워크 간의 연결을 담당하는 유선 연결. 광섬유 케이블을 통해 대용량 데이터 전송을 지원
	무선 백홀	이동형 기지국과 코어를 연결하는 것과 같은 경우, 무선 링크를 활용해 코어 시스템과의 연결을 지원 가능. 밀리미터파 대역 전송기술, 위성링크, 레이저 광통신과 같은 다양한 기술 활용 가능.
파워시스템		고효율 전원 공급 장치와 배터리 백업 시스템이 사용
네트워크 관리 시스템		기지국의 상태를 모니터링하고, 문제가 발생할 경우 신속히 대처하며, 네트워크 트래픽을 최적화

- (기지국 안테나 시스템) 5G에서는 데이터 전송 속도와 거리를 향상시키기 위해 Massive MIMO 기술을 적용, 달 표면 환경에서 외부에 노출되는 장치는 온도 변화, 충격, 달 먼지에 견딜 수 있도록 설계
 - 로버와 우주인 단말기의 신호 수신 성능을 높이기 위해 빔 포밍 기술을 적용, 안테나 시스템의 기울기와 방향을 원격으로 제어할 수 있는 기술 적용
- (기지국 장비) 3GPP 5G 표준 무선전송 방식과 주파수 대역을 지원해야 하며, 초기 달 착륙선에는 DU-RU 일체형 시스템 적용
- (프론트홀 연결) eCPRI 기반의 프론트홀 기술을 사용하며, 다양한 제조사의 DU-RU 연동을 위해 Open RAN 기술 적용
 - 달 환경에서는 유선 광케이블 기반 프론트홀 구성이 어려울 수 있어, mmWave나 레이저통신 같은 무선 프론트홀 기술의 설계 및 검증 필요
- (백홀 연결) N1(단말-코어), N2(기지국-ANF), N3(기지국-UPF) 인터페이스 지원
 - 초기 단일 셀 구성 시 기지국-코어 일체형 장비(5G Network in a Box)적용, 기지국과 코어 간 연동을 분리할 경우, 유선 또는 무선 백홀 구성
 - 달 표면에서는 유선 광케이블 구축이 어려워 원거리 무선 백홀 구성이 필요하며, mmWave, 레이저 광통신, RF/마이크로웨이브 등으로 1~10Gbps급 인터페이스 구성
- (파워 시스템) 48V DC와 1kW급 전원을 공급, 코어, Edge Cloud 및 AI 응용 서비스 안정성을 위해 고용량 전원 시스템 적용
 - 달 표면에서 AI 기술을 활용할 경우, GPU 서버 탑재로 추가 전원 적용, 지속적인 전력 공급을 위해 발전시설, 배터리, ESS, UPS 전원 시스템을 구축하고, 정전 시 자동 절전 기능 설계
 - 또한, 로버와 우주인 장치의 전원 공급을 위한 충전 시스템과 무선 충전 기술 적용

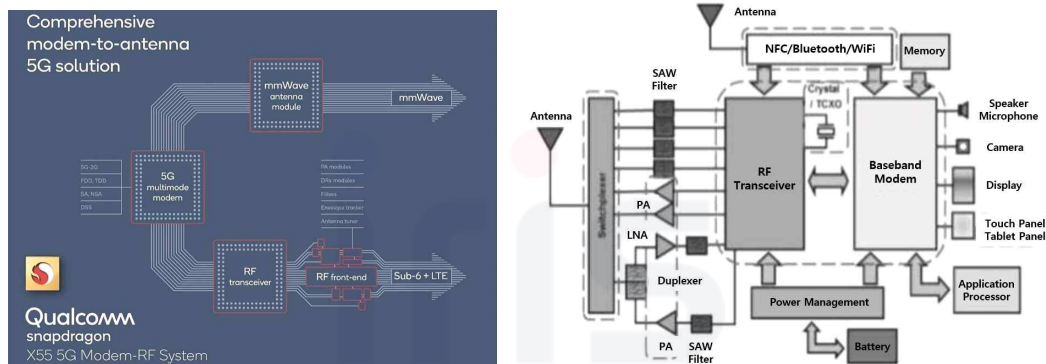
○ (네트워크 관리 시스템) 달 환경에서 5G 네트워크 구축과 연결 시험을 위한 자동화된 설치, 구성, 시험 솔루션 설계

- 기지국, 코어, 서버의 운영관리 시스템(EMS)과 전체 네트워크 관리 시스템이 요구되며, 달에서의 자체 관리와 지구에서의 원격 관리

※ 네트워크 관리 시스템은 Edge Cloud 서버에 구축, 로버와 우주인 단말에서 네트워크 상태를 점검, 지구-달 간 원격 감시 및 제어를 위해 DTN 환경을 고려한 네트워크 관리 인터페이스 설계

② 5G 네트워크 단말기

<5G 네트워크 단말 구성도 예시(Qualcomm 칩셋(좌), 휴대폰 통신 모듈(우)>



< 5G 네트워크 단말기 주요 구성 >

구성 요소	세부 구성 요소	설명
안테나 시스템	5G 안테나	단말기가 Sub-6GHz와 밀리미터파(mmWave) 신호를 모두 송수신할 수 있게 함
	빔포밍	5G 단말기는 빔포밍 기술을 통해 특정 방향으로 신호를 집중. 밀리미터파 대역에서 빔포밍이 중요한 역할
RF 프론트 엔드	전력증폭기(PA)	단말기 송신부의 미약한 신호를 증폭해 안테나를 통해 기지국까지 신호가 도달할 수 있는 단말기의 출력 신호의 전력을 증폭하는 장치
	저잡음증폭기(LNA)	안테나를 통해 수신된 작은 신호를 알맞은 크기로 증폭하는 역할
	듀플렉서	송신 및 수신 신호를 분리하여 수신 및 송신이 동시에 정상적으로 작동할 수 있도록 하는 장치
RF 트랜시버	RF 다운 컨버터	혼합기(Mixer)를 통해 안테나를 통해 수신된 RF 신호 대역의 신호를 IF 대역 혹은 기저대역 신호로 변환하여 모뎀으로 입력하는 역할
	RF 업 컨버터	혼합기(Mixer)를 통해 모뎀에서 출력되는 IF 대역 혹은 기저대역 신호를 원하는 RF 대역 신호로 변환하는 역할
	국부 발진기	송수신 신호의 주파수를 변경하기 위해 혼합기와 함께 사용되는 전자 발진기
5G 모뎀	5G 신호 처리 장치	단말의 데이터 송수신을 위한 채널 부호화 및 복호화, 송수신 신호의 변복조 기능을 하는 장치로 5G 단말기 구성 요소에서 가장 핵심적 역할

- (단말기 안테나 시스템) 달 표면 기기에서 외부로 노출되는 장치
이므로 외부 충격 및 달 먼지 등에 강인하게 동작하도록 설계
※ 단말기가 장착되는 달 표면 기기의 형태에 따라 다양한 형태의 설계가 가능
- (RF 프론트엔드 및 RF 트랜시버) 달 표면 환경에서 안정적으로
동작할 수 있는 부품 적용 및 회로 설계하여 우주급 부품 개발
- (5G 모뎀) 달 표면 환경에서 안정적으로 동작할 수 있는 반도체
회로 설계하여 우주급 부품으로 개발

□ 달표면 5G 통신 운용 및 서비스

- 초기 운용에서는 달 표면의 일부 지역에서만 서비스가 가능할 수 있으나,
단계별로 네트워크를 확장하여 보다 넓은 범위로 커버리지 확장
- 각 단계에서 통신 장비의 내구성, 신뢰성을 향상시키고, 전력 자
립성을 확보하여 장기적인 네트워크 운용 보장
- AI 및 자동화 기술을 통해 시스템이 원격으로 자가 관리될 수 있도록
하고, 통신 장애 발생 시에도 자동 복구 및 안정적인 서비스 제공
- 로버 제어, 탐사 데이터 전송, 우주인과의 실시간 소통 등의 임무
지원, 이를 위한 지연 시간 최소화와 고속 데이터 전송

□ 시제품 개발 로드맵(안)

- 기존 국내 역량을 활용하여 단 기간내에 시제기 개발·확보

항목	개발 연도(Step 1)						개발비용 예측
	2025		2026		2027		
	상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기	
설계							약 150 억원 (1기 기준) ※ 추가 시, 10억원/대 단, 발사비용은 제외
제작							
지상시험							
우주 운용검증					(발사)		

□ 국내 역량

① 원자력전지 : 동위원소열전발전기, RTG

◇ 동위원소열전발전기 관련 달 탐사 전력공급용 RTG 개발 중

- 달탐사 2단계 선행연구를 통해 120 W급 RTG 지상시험모델(DM) 개발 및 10 W급 모의 RTG 누리호 성능검증위성 실증 성공
- 핵심기술인 장수명 열원의 국산화를 위한 연구개발 및 고방열 동위원소 열원의 국제협력을 통한 수급 추진 중

◇ 열전발전소자 관련 미국 NASA에서 개발된 적층형 열전발전소자 및 구성 물질에 대한 원천기술·제조공정 기술 확보 완료

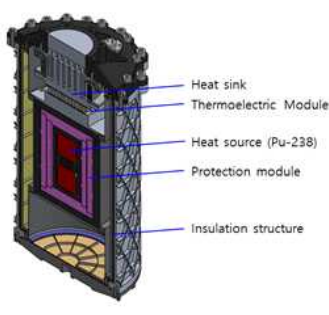
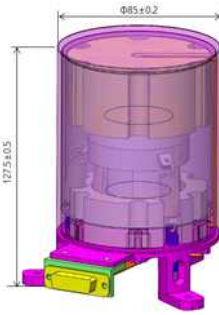
- 500 °C 내외 온도에서의 출력 및 효율, 소자의 소형화 기술은 세계 최고 수준의 기술을 확보
- 열전발전효율 방정식과 이에 따른 효율 최적화 설계법 개발로 세계 최고 수준의 적층형 열전발전소자 설계기술 확보

- 우리나라는 오는 2032년 달 탐사를 목표로 한국원자력연구원에서 탐사선 주요전자장비에 열과 전력을 공급하는 RTG를 개발 중

※ 달은 밤이 14일간 지속되고 온도가 영하 170 °C까지 내려가 달 탐사 시, 탐사선 전자장비의 유지를 위한 열·전력 공급원이 필요

- RTG의 핵심기술 중 장수명 열원의 국산화를 위한 연구개발이 2019년부터 시작되어 우주탐사에 기술 활용이 가능할 것으로 전망
- 달탐사 2단계 선행연구를 통해 러시아 RTG와 동일한 성능인 120 W 열원을 이용한 전기출력 6 W급 RTG 지상시험모델 개발에 성공
- 한국형발사체인 누리호 성능검증위성에 10 W급 모의 동위원소전지를 탑재하여 지구저궤도(700 km 상공)에서 우주실증 및 1년 6개월 장기 성능시험에 성공

< RTG 관련 기술 확보 현황 >

			
120W RTG 지상시험모델	10W 모의 RTG 비행모델		
규격: Ø160 x H294 mm	규격: Ø85 x H127.5 mm		
공급가능 전력/열: 6 W/80 W	공급가능 전력/열: 200 mW/6 W		

< 원자력전지 소형전력장치 기술 수준 >

	구분	'23 기술수준 (TRL)	기술확보방안
Level 1	세부 기술 명		
원자력 전지 적용 환경 분석	사용온도 및 외부 환경영향 분석 기술	5	국내독자
	우주 방사선 손상평가 기술	5	국내독자
원자력 전지 구조체	열제어 구조체 개발 기술	6	국내독자
	구조체 열전달해석 기술	6	국내독자
	내진구조 설계 기술	6	국내독자
	내충격 구조 설계 기술	6	국내독자
열전모듈	열전소자 최적설계 기술	6	국내독자
	열전소자 제작공정 기술	6	국내독자
	열전소자 내구성 향상기술	5	국내독자
소형전력장치 시스템 통합	Pu-238 열원 취급기술	7	국내독자/해외 도입
	사고저항성 보호모듈 개발기술	4	국내/해외협력
	온도/방사선 계측 인터페이스 개발 기술	5	국내독자
	확률론적 안전성 평가(PSA)	4	국내독자

※ 자료 출처 : 달 착륙선 기획보고서 내용에서 발췌

② 우주 원자로

- ◇ 한국원자력연구원은 2019년부터 원자력융복합기술개발사업의 일환으로 히트파이프를 활용한 우주용 원자로에 대한 핵심기술 개발 중
- ◇ 한국과학기술원 및 서울대학교에서 분산전원용 열전도관 냉각 초소형 원자로 개념에 관한 연구 착수

- 한국원자력연구원은 “우주 활용을 위한 전기출력 1~10 kWe 규모 10년 수명의 경량형 원자로 노심 기초/설계 개념” 연구 수행

※ 발사체 탑재를 위해 원자로의 질량 저감 방안 및 발사 사고 시 원자로 안전성을 향상시킬 수 있는 사고 내성 제어 드림 연구

- 2019년부터 한국원자력연구원은 히트파이프를 활용한 우주용 원자로에 대한 핵심기술 개발 과제를 수행 중

- 본 과제를 통하여 기초 설계기술 기반을 확보하였고, 세계 최초 곱힘가공 가능한 소듐 히트파이프의 열이송 성능을 실험적으로 입증

- '23년부터 한국원자력연구원은 한국기계연구원과 공동으로 히트파이프 원자로와 전력변환계통인 스텔링엔진 연계기술 및 원자로 설계·해석 기술 검증에 위한 연구 수행 중

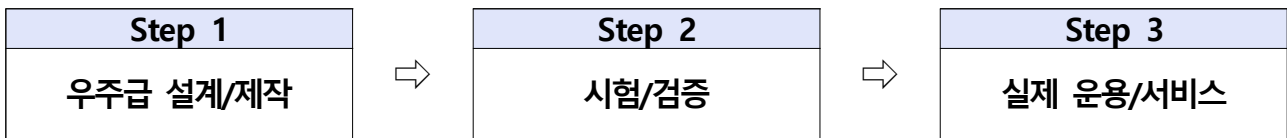
< 원자력연구원의 히트파이프 원자로 형상(안) >



□ 기술 확보 전략

- 먼저 우주탐사(달 탐사) 1단계 영역을 대상으로 국내 역량으로 구현할 수 있는 우주 원자력 기술 확보 추진
- 국내 기술력을 기반으로 단기간의 검증 시스템을 구현하고 이를 기반으로 단계적으로 실용급 시스템 확보 추진

< 기술력 구현 Step >



< 미국과 우리나라 단계별 우주 원자력 기술 로드맵 비교 >

구분		Step 1 ('23~'27년)	Step 2 ('25~'29년)	Step 3 ('30~'34년)
원자력 전지	한국	- 달 탐사용 EQM 개발 - 동위원소 열원 우주선 폭발 및 파편 충돌 안전성 확보	- 극지환경 실증 및 심해환경 실증 - 파편충돌 시험시설 10 W 복사단열 개발	- 달 탐사용 FM 개발(120 W/6 We) - 임무 지역 환경 분석 및 환경 내구성 시험 '32년 달 착륙선에서 원자력전지 전력생산기술 실증
	미국	- Pu-238 열원 자체 생산 재개 (1.5 kg/yr) - 고효율 RTG 활용을 위해 GPHS RTG에 사용되었던 SiGe 열전소자 제조기술 재구축 - 고효율(30% 이상) 스텔링 원자력전지 개발중	- 민간우주탐사 참여로 Pu-238 부족 심화 예상되어 Am-241, Sr-90, Sc-46, Co-60, H-3 등으로 원료 다변화 2027 화성탐사 로버 Rosalind Franklin 발사시 영국의 Am-241 RHU 1개 실증	5 kW 이하 달기지 및 ISRU 소형전력원에 원자력전지 적용 - 토성의 Titan 탐사용 Dragon fly에 MMRTG 적용 (2028 발사, 2036 도착)
히트 파이프 원자로	한국	- 다물리 연계 설계 코드 개발 - 스텔링엔진 검증 시험 및 설계 기술 검증 시험	- 최대 100 kWth 원자로 개념 설계 - 전 노심 모사 히트파이프 집합체 열이송성능시험 - 지상실증을 위한 기술 개발 및 인허가 대비	지상 실증 및 FM 개발
	미국	달기지용 전력 생산 원자로 지상실증시험 및 FM 개발	달 환경 원자로 1년 실증	달 탐사 및 화성유인기지용 원자로 개발

① 원자력 전지

- (달 착륙선 대응) 우리나라는 '30년 초반 달 착륙을 계획하고 있으며, 이때 다양한 임무에 필요한 전력원으로써 원자력 전지 개발
 - 달 착륙선 임무에 연계하여 필요한 사양 및 성능을 도출하고 이에 필요한 요소 기술 등 확보 추진
- ※ 2032년 달 착륙선 계획에 맞춰 Pu-238를 적용한 열출력 8.5 Wth, 전기출력 150 mWe급 열전발전기를 한국원자력연구원에서 개발 중
- (타 임무 대응) 달 표면 활동 등 다양한 우주탐사 영역에서 사용 가능한 표준 사양·성능의 원자력 전지 개발 추진
 - 달 착륙선에 필요한 원자력 전지를 기반으로 다양한 활용도를 가질 수 있도록 기술 요소 확보 추진

시제품 사양 - 원자력 전지(달 탐사용)

형상	주요 제원
	▶ 크기(직경x높이) - Φ160 mm x H300 mm ▶ 무게 : 총 7 kg ▶ 전력 : 5 W ▶ 수명 : 10년

< 원자력 전지(RTG) 기술 요소 및 개발 현황 >

	기술 요소	설명 및 기술 개발 현황
동위원소 열전발전기(RTG)	방사성동위원소 열원(RHU)	• 고방열성 동위원소 열원을 생산하는 국가는 미국, 러시아, 영국 • 열원 구매시 필요한 복잡한 절차 및 기술 존재
	열전소자	• 선박용/산업용 열전발전시스템 실증연구 진행 중 • 미국의 적층형 열전발전소자 및 구성 물질에 대한 원천기술·제조공정 기술 확보
	열원보호 탄소복합재	• 우주선 대기권 재진입 사고시 공력가열에 의해 방사성물질의 대기권 비산 방지 부품 • Pu-238의 120 W급 열원보호 개발 완료
	복사단열 구조체	• 6 W급 RTG 복사단열 개발 완료

- **(방사성동위원소열원)** 우주 생존용으로 사용되는 고방열성 방사성동위원소 Pu-238 및 Am-241이 확보
 - 다만, 이들은 사용후핵연료를 재처리하는 과정에서 확보할 수 있어 한·미원자력협정에 의해 국내 제조 불가
 - 열원 구매시 필요한 인허가 및 절차 수립이 필수적이며 이를 토대로 국제협력을 통하여 열원 확보 계획 중
- **(열전발전소재 및 소자)** 원자력전지용 열전발전소자는 한국전기연구원에서 미국 NASA에서 개발한 적층형 열전발전소자 및 구성 물질에 대한 원천기술·제조공정 기술 확보
 - 특히 500 ℃ 내외 온도에서의 출력 및 효율, 소자의 소형화 기술은 세계 최고 수준의 기술 확보로 보고됨
 - 적층형 열전발전소자 설계기술은 세계 최고 수준의 역량으로 확보하였기에 RTG 개발 시 상기 既 확보한 기술을 활용할 계획
- ※ 최근 열전발전효율 방정식과 이에 따른 효율 최적화 설계법이 국내 연구진에 의해 개발됨
- **(열원보호 탄소복합재*)** 한국원자력연구원에서 Pu-238의 120 W급 열원보호 기술 확보, 이를 적용하여 120 W급 RTG 성능 구현 추진
 - * 우주선 대기권 재진입 사고 시 공력가열에 의해 방사성 물질의 대기권 비산 방지를 위한 부품
- **(복합단열 구조체)** 한국원자력연구원에서 120 W급 RTG 복사단열 구조체 개발을 완료하여 이를 이용할 계획

② 히트파이프 우주 원자로

- 원자력 관련 기존 국내 기술을 최대한 활용하여, 우주탐사에 적합한 성능을 구현할 수 있는 히트파이프 우주 원자로 개발
- 핵연료 등 장기간의 연구개발이 요구되는 요소 기술은 우주용 원자로를 위해 따로 개발하지 않고, 기존 대형경수로 및 소형모듈형원자로 개발 과정에서 입증되거나, 입증 예정인 기술 활용

시제품 사양 - 원자로

형상	주요 제원
	▶ 크기(가로×세로×높이) - 4 m × 6 m × 1.5 m ▶ 무게 : 총 6,500 kg 이하 ▶ 전력 : 100 kWth ▶ 수명 : 10년

< 히트파이프 원자로 기술 요소 및 개발 현황 >

기술 요소	설명 및 기술 개발 현황
발전계통 (Stirling engine)	• 밀폐 공간 안의 작동 기체를 서로 다른 온도에서 두 개의 피스톤 왕복운동으로 압축·팽창시켜 열에너지를 운동에너지로 변환하는 열 기관 • 폭발행정 없이 저소음, 저진동, 친환경성, 낮은 유지비용
방열계통 (Radiator to remove excess heat)	• 남은 열에너지를 외부 방출하기 전 냉각시키기 위한 부품
히트파이프 (Heat Pipe)	• 원자로 노심에서 발생한 고온/고열속의 에너지를 발전계통까지 전달하기 위한 부품
노심 (Core)	• 전력공급에 필요한 열에너지를 발생시키는 물질 • 제조가 어렵고 설계에 필요한 물성치 부족으로 설계 적용을 위해서는 장기간의 연구개발 필요
반사체 (Neutron reflector)	• 더 낮은 핵연료 및 시스템 질량을 이용하여 원자로 임계를 달성하기 위해 결합되는 부품 • 베릴륨(Be) 반사체가 대체 불가능한 재료로 판단 • 조사 데이터가 오래된 제조기술을 기반으로 하여 신규 테스트 및 데이터 필요
감속재 (Moderator)	• 핵분열에 이용되어 중성자 효율을 높이기 위해 사용되는 부품
방사선 차폐 (Radiation Shielded)	• 방사선 소스로 인해 발생하는 기기 손상 및 인간 방호를 위한 부품
제어봉 (Start-stop rod)	• 중성자 독물질을 노심에 물리적으로 삽입/제거하여 원자로 운전 시작하거나 출력조절 혹은 정지를 시키는 부품

- **(발전계통)** 한국기계연구원이 관련 기술을 창의형융합연구개발사업을 통해 개발 중으로 이를 통해 관련 기술을 확보할 계획
 - ※ 전력변환계통인 스텔링엔진은 냉각부가 상온인 경우의 기술은 이미 상용화되어있으나, 우주용 원자로에 적합한 100 °C 이상에 맞춘 기술 개발이 필요
- **(방열계통)** 원자력융복합기술개발사업(2022년 완료)을 통해 방열판 설계 기반 기술 확보를 완료하여 적용 가능한 상태임
- **(소듐 히트파이프)** TRL 4 수준의 기술 확보하고 있어 이를 기반으로 우주급/실용급으로 기술 향상 추진
 - ※ 고온에서 작동되는 소듐 히트파이프를 수작업으로 제작, 열 성능을 실험적으로 입증하여 TRL 4 수준의 기술 확보
- **(노심)** 우주급 확보를 위한 설계에 필요한 재료 물성치 확보 및 제조 기술 개발을 통해 관련 역량 확보 추진
- **(반사체)** 베릴륨(Be) 반사체를 활용할 계획이나 새로운 제조 기술 적용 및 관련 시험 등 수행 예정
- **(핵연료 및 감속재)** 우주용 원자로로 세라믹 핵연료 및 감속재를 사용하기에 관련 기술 국내 개발 추진
 - ※ 우주용 원자로의 핵연료인 고순도저농축우라늄(HALEU) 제조기술은 고속로 및 연구용 원자로용 핵연료 기술을 통해 확보 중
- **(방사선 차폐 및 제어봉)** 설계 및 재료 기술은 기 확보하고 있어 이를 기반으로 우주급 적용 추진
- **(설계기술)** 원자로 설계 및 정상운전/사고 시 성능해석을 위한 기술로 국내 독자 기술 확보하고 있으나 해당 기술의 우주급 검증 등을 추가로 수행 예정

□ 운용 및 서비스

① 원자력 전지 : RTG

- 동위원소열전발전기(Radioisotope Thermoelectric Generator; RTG)는 다양한 우주탐사 모빌리티의 열 및 전기에너지 공급원으로 사용
- RTG의 경우, 이차전지의 수명이 급격히 짧아지는 차가운 심해에서 해양감시용 고정센서 등의 전력원으로 활용 가능

② 우주 원자로

- 달 표면 등에서 작동되는 모빌리티 및 거주 시설 등에 지속적인 전력을 공급하는 에너지원으로 활용
- 대형 유/무인 모빌리티 등에 우주 원자로를 배터리 대신 전기를 공급하는 에너지원으로 활용
- 우주용 원자로의 경우, 원자로의 출력을 확장하여 극지방 및 특수 환경에서 단독 전력을 공급하기 위한 초소형 원자로에 적용 가능

□ 로드맵(안)

① 원자력 전지 : RTG

- 기존 국내 역량을 활용하여 최대한 빠른 시일내에 시제품 개발·확보

< 원자력 전지(달 탐사용) 시제품 개발 로드맵(안) >

항목	개발 연도										개발비용 예측
	1차	2차	3차	4차	5차	6차	7차	8차	9차	10차	
설계	SRR										271 억원 (발사비용 미포함)
제작			PDR		CDR		FRR				
지상시험			EQM				FM				
안전성 평가			사고 모사 해석		사고 모사 시험	PSA					
우주 운용검증								(발사)			

② 우주 원자로

- 기존 국내 역량을 활용하여 최대한 빠른 시일내에 시제기 개발·확보

< 원자로 시제품 개발 로드맵(안) >

항목	개발 연도										개발비용 예측
	1차	2차	3차	4차	5차	6차	7차	8차	9차	10차	
설계	100 kWth 급 원자로 기본설계			지상 실증 원자로 개념 설계		지상 실증 원자로 설계 및 인허가			우주환경 운영 모델 개발 및 설계 기술 검증		900 억원 (출력에 따라 다름, 지상실증 및 인허가 관련 비용 포함, 우주 운용 검증 및 발사비용 미포함)
제작	히트파이프 집합체 제작			모의 노심 집합체 제작		발전계통, 방열판 및 실증 집합체 제작			계통 부품 품질 확보		
	핵연료 및 노심구조물 제조기술 개발			구조물 제작 / 재료 성능 시험		제조 인허가 공정		핵연료 및 실증 구조물 제조			
지상시험		히트파이프 집합체 성능 시험		모의 노심 집합체 시험		발사 환경 부품 테스트		모의 원자로 계통 시험		원자로 지상 실증	
우주 운용검증									(35년 이후) 우주 발사 및 운전 검증		

※ 본 로드맵 일정 및 비용은 추후 원자로 개발 시 수정될 수 있음

3 3대 중점 분야 연계 전략(안)

□ 3대 중점 분야의 성능 검증 및 구현을 위해 상호 연계

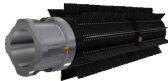
- (모빌리티↔5G) 모빌리티의 통신/제어를 위해 5G 네트워크를 이용하고, 5G 기지국 설치를 위해 모빌리티 이용
 - 5G 기지국을 모빌리티의 탑재체로 설정하여 이동 가능 기지국 구현도 가능
- (모빌리티↔원자력) 모빌리티의 이동 및 작동에 필요한 전기 공급을 위해 원자력 전지 및 원자로 활용
 - 원자로를 모빌리티의 탑재체로 설정하여 이동 가능 원자력 구현도 가능
- (5G↔원자력) 5G 기지국 운용에 필요한 전기 공급을 위해 원자력 전지 및 원자로 활용

			메인			
			모빌리티	5G	원자력	
					전지	원자로
서 포 트	모빌리티		-	-5G 기지국 설치에 모빌리티 이용	-원자력 전지 테스트를 위해 모빌리티 이용	-원자로 설치에 모빌리티 이용
	5G		-모빌리티 탑재체로 5G 기지국 적용	-	-	-
	원 자 력	전지	-모빌리티 에너지원으로 원자력 전지 사용	-5G 기지국 전기 공급 장치로 원자력 전지 사용	-	-
		원자로	-모빌리티 배터리 충전을 위해 원자로 사용 -모빌리티 탑재체로 원자로 사용	-5G 기지국 전기 공급 장치로 원자로 사용	-	-

□ 시제품 연계 개발 전략(안)

○ 3대 분야의 우주용 시제품을 연계하여 개발하는 방안 고려

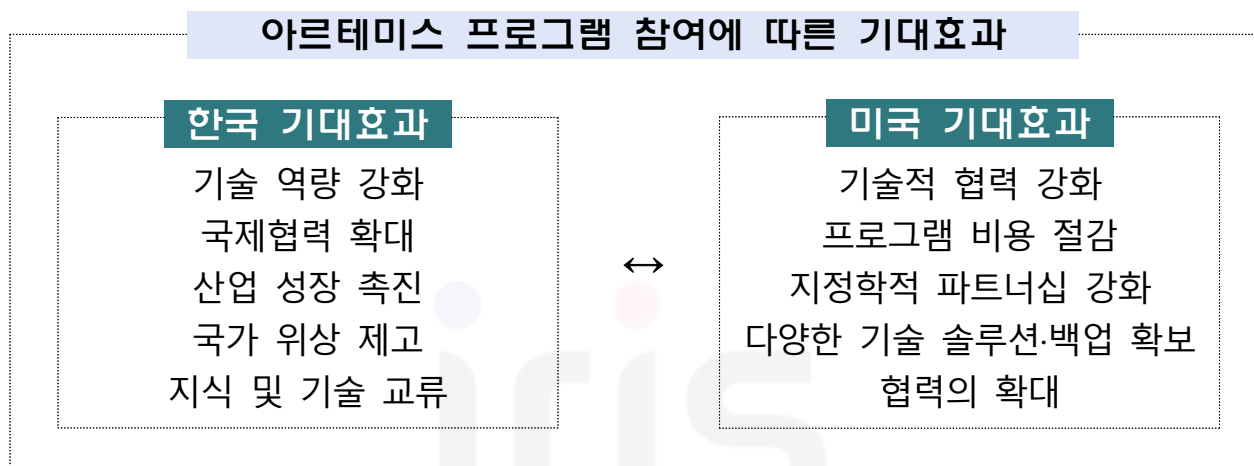
- 모빌리티 시제품과 연계하여 5G 기지국은 모빌리티의 탑재체로 선정하고, 5G 단말기는 모빌리티에 탑재하여 통신 기능 확보
 - 원자력 전지는 모빌리티의 탑재체로 탑재하여 원자력 전지의 성능 및 운용에 대한 시험/검증 수행
- ※ 원자력 전지는 5G 단말기 사용에 필요한 전기 공급을 위한 에너지 장치로 적용하여 성능 검증할 수 있는 방법도 고려
- ‘모빌리티+5G(단말기)+원자력전지’로 구성된 시제품을 2기를 개발하여 일정 거리에서 네트워크 기능 등 검증

	Step 1 ⇨	Step 2 ⇨	Step 3 ⇨	< 연계 시제품 >
5G (기지국+단말기)		무게 - 기지국 : 약 20 kg - 단말기 : 약 0.5 kg		
원자력 전지		크기(직경x높이) - 160 x 300 mm 무게 : 약 7 kg		
모빌리티		무게 - 차체 : 약 70 kg - 탑재체 : 약 20 kg		

4 미국 우주탐사 프로그램 참여 및 기대효과

- ◇ (한국) 주요 분야에 대한 자체 투자를 통해 미국 우주탐사 프로그램 참여
- ◇ (미국) 한국이 개발한 기술이 적용·호환·활용 될 수 있는 기회 제공

□ **(기대효과)** 한국은 기술 역량 강화·국제협력 확대·산업 성장 촉진, 미국은 기술적 협력 강화·비용 절감·지정학적 파트너십 강화 등에 이점



- **(한국 기대효과)** 우주 헤리티지 확보 등 기술 역량 강화, 국제협력 확대, 국가 위상 제고 등 기술적·산업적·외교적 이점 제공
 - 우주탐사 기술 개발 경험이 있는 주요국과의 기술 협력으로 관련 기술 역량의 효율적 강화 및 우주 헤리티지 신속히 확보 가능
 - 미국을 포함한 다양한 국가와의 협력 기회 증대, 향후 글로벌 우주 탐사 네트워크에서 중요한 역할을 맡을 수 있는 토대 마련
 - 신산업 창출로 국내 관련 산업의 성장과 일자리 창출 촉진 기대
 - 성공적 수행 시 국제 무대에서 우주 강국으로서의 위상 제고 가능
 - 미국과의 협력을 통해 최첨단 기술과 연구 방법론을 공유받아, 국내 연구개발 능력 향상 기회로 활용 가능

- (미국 기대효과) 한국의 기술·산업역량을 활용한 신뢰성·안정성 확보, 비용적 이점 및 백업 체계로 인한 리스크 감소 효과 제공
 - 신뢰성·안정성을 보유한 한국의 기술 및 산업역량을 활용하여 아르테미스 프로그램에서의 등 기술적 완성도를 높일 수 있음
 - 한국의 기술 개발과 생산 역량을 활용하여 프로그램 전반의 비용을 절감할 수 있으며, 자원과 인프라를 효율적으로 사용 가능
 - 한국과의 협력을 통해 아시아 지역에서 미국의 영향력을 확대하고, 글로벌 우주탐사에서의 주도권 강화를 위한 동맹국 우호 증대
 - 한국이 제공하는 다양한 기술 솔루션은 아르테미스 프로그램에 다양한 선택지를 제공하며, 프로그램의 성공 가능성 향상 기여
 - 다른 국가들에게도 미국과의 우주 협력이 글로벌 파트너십을 통해 성과를 낼 수 있다는 신뢰성을 증명하여 협력 범위 확대 가능

한국의 모빌리티 참여가 가져올 미국의 이점-예

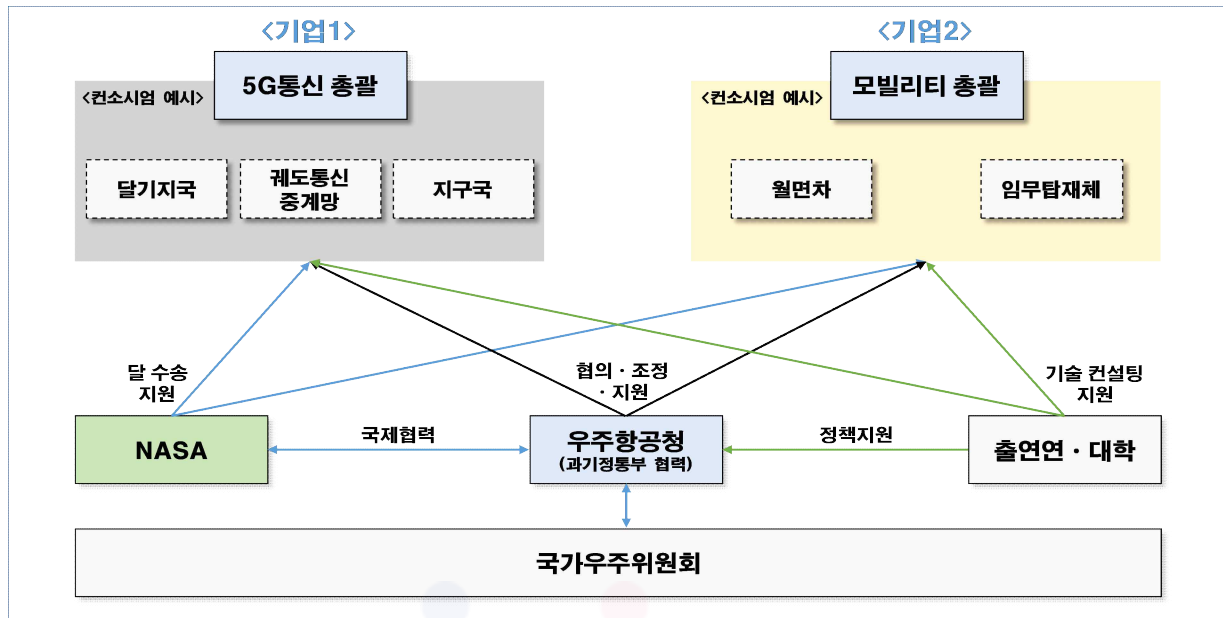
- ◇ 우리나라가 안정적이고 상대적으로 낮은 비용의 달 표면 모빌리티 제공
 - ◇ 아르테미스 협정국들은 낮은 비용으로 자국의 과학연구, 우주과학 연구 등에 필요한 탑재체를 개발하여 우리나라가 제공한 모빌리티 플랫폼에 탑재하여 관련 활동 수행
 - ◇ 이렇게 확대되는 임무들은 미국의 CLPS 사업에 새로운 수요를 창출하여 미국 관련 기업의 매출 등 확대에 기여
- ⇒ 아르테미스 협정국(특히, 우주탐사 예산이 많이 많은 국가)들에게 실제적인 참여/연구 기회를 제공하여 협정국간 상호 신뢰 및 결속력 강화에 기여 할 수 있음



5 추진 체계 및 민·관 참여 역할(안)

□ 추진체계(안)

<추진체계(안)>



- (5G통신총괄기업) 달기지국, 궤도통신중계망, 지구국 등 개발·운영을 위한 산·학·연 컨소시엄 구성 및 민간 중심 달 5G통신 프로젝트 총괄
- (모빌리티총괄기업) 월면차, 임무탐재체 등 개발·운영을 위한 산·학·연 컨소시엄 구성 및 민간 중심 달 모빌리티 프로젝트 총괄
- (우주항공청) 민간 중심 달 탐사 프로젝트 협의·조정, 국가 간 협력 (NASA 등), 민간 부문의 우주산업 육성·지원 등
 - ※ 「전파법」, 「방송통신발전기본법」, 「정보통신 진흥 및 융합 활성화 특별법」 등에 따른 우주통신, 5G/6G, 3GPP 국제표준 등에 관한 업무는 과기정통부(전파국, 통신국 등)와 협력
- (NASA) 글로벌 달 탐사 계획(美 아르테미스 프로그램 등) 총괄·조정, 국내개발 탐재체(달 5G통신·모빌리티 등)의 달 수송 지원 등
- (출연연·대학) 국제협력 과제 발굴 및 구체화 지원 등 정책 지원과 탐재체 체계설계·종합, 우주통신 및 과학기술임무 등에 대한 기술컨설팅

※ 별도 정책연구과제로 추진

□ 프로젝트 수행기간(안)

- (목표시기) 10년 이내 시제기 개발/운용시험 등을 완료하고 서비스 제공
- ※ 美 NASA의 달 탐사 일정 등을 고려하여 국가 간 상호협약의 후 조율 필요
- (개발기간 최소화) 상용기술 활용(Spin-On) 등을 통해 개발기간을 최소화하고, 성능검증 및 우주환경 시험 등 수행
- (달 수송기간 최소화) 사업 초기단계부터 NASA와의 유기적 협력을 통해, 비행모델(FM Model) 개발 직후 최단기간 내 달 수송 일정 확보

□ 자원 분담 및 주요 역할(안)

- (탐재체 개발·운영) 민간 중심 달 탐사 프로젝트를 고려하여, 달 통신·모빌리티 등 총괄기업(또는 컨소시엄)에서 부담 원칙
- 필요시 민간 부문 투자 활성화 매칭 지원 등을 통해 기존 정부 주도 지원 사업과 차별화
- ※ 우주개발 진흥법 제5조(우주개발진흥 기본계획), 제18조(민간 우주개발의 촉진)에 따라 정부는 민간부문의 우주개발·연구개발투자 활성화 및 기업 육성전략을 수립·추진
- (민간 부문) 기존 보유 기술 기반 비즈니스 모델 발굴 및 자체 투자, 민관 공동 투자 영역 제시 등을 통한 기술 상용화 및 시장 진입
- (정부 부문) 중장기 계획 제시 및 사업 추진을 통한 진입 유도, 고위험·고성과 R&D 선제 투자로 국내 생태계 구축의 마중물 제공
- ※ 대기업은 민관 공동 투자 기반 대형 사업 추진 중소기업은 VC 등의 투자 확보를 위한 기술 시연 지원 등 기업 규모, 기술 수준 등 기업의 특성을 고려한 맞춤형 투자 필요
- (달 수송) NASA-과기정통부 간 한·미 국제협력을 통해 美 아르테미스 프로그램의 상업적 달 화물 서비스(CLPS의 NASA 지분) 활용 협의
- 국내 대형 발사체 및 달 착륙선 기술 부재에 따른 달 수송 위험성과

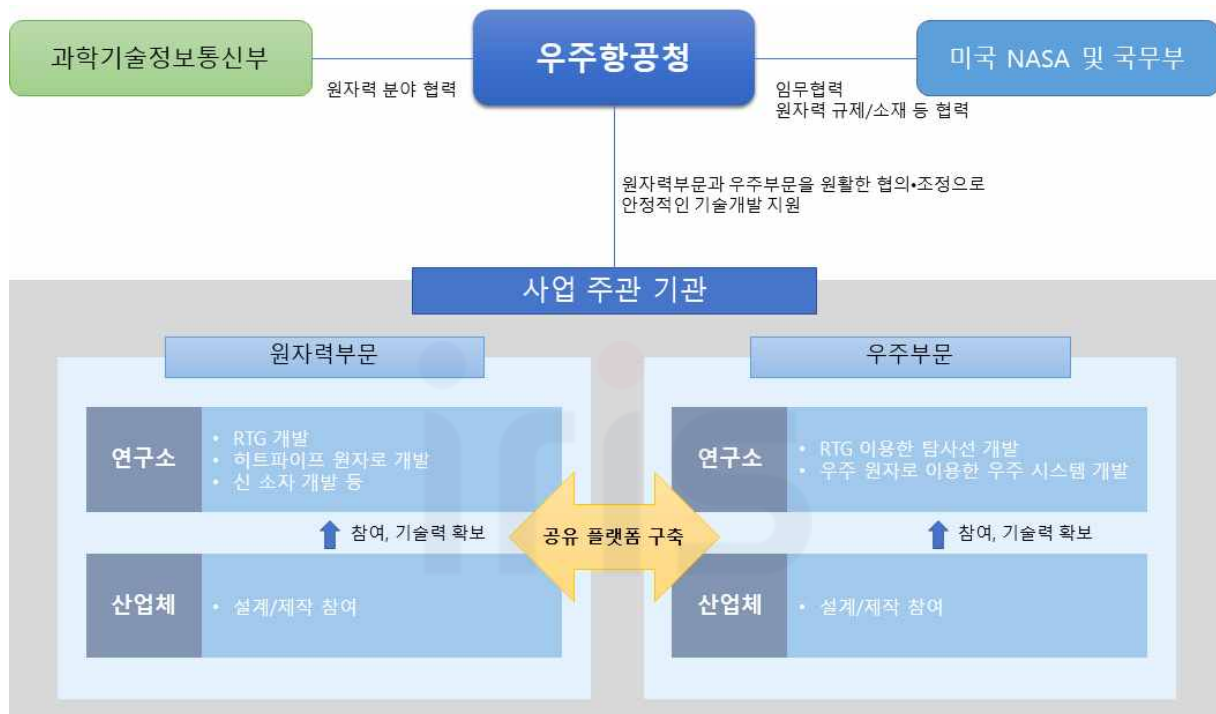
비용을 줄이고, 경쟁력 있는 달 통신·모빌리티 개발 등에 집중

<민간과 정부의 주요 역할(안)>

역할	민간	정부
투자	• 비즈니스 모델 발굴 및 투자 - 민간 보유 우수 기술을 활용한 비즈니스 모델을 발굴하고, 자체 투자 확대 및 민관 공동 투자 영역 제시 • 정부 지원을 통해 확보한 기술에 추가 투자 및 상용화를 통해 산업 성장에 기여	• 정부의 중장기 계획 및 이에 기반한 R&D 투자 확대를 통해 국내 우주 탐사 생태계 구축의 마중물 제공 - 명확한 중장기 계획 제시 및 사업 추진을 통해 민간 기업의 우주산업 진입 유도 및 투자 촉진 - 민간이 투자하기 어려운 고위험·고성과 분야 및 연구 인프라에 선제 투자 ※ 시험발사 등으로 인해 많은 비용이 요구되는 우주기술의 특성상, 지원 대상 기관기업 수가 줄더라도 임계 규모 이상의 예산 지원 필요 - 기업 규모, 기술수준 등 기업의 특성을 고려한 맞춤형 투자 강화 ※ (예시) 대기업·민관 공동 투자에 기반한 대규모 프로젝트 추진 - 스타트업: VC 등의 투자 확보를 위한 기술 시연 지원
국제협력	• 글로벌 기업과의 협력 적극 참여, 해외 시장 진출 - 우주 탐사 경험 보완을 위해, 탐사 경험을 보유한 기관·기업과의 협력 • 정부의 국제 활동에서 지렛대 역할을 할 수 있는 혁신적 기술 개발	• 글로벌 협력 체계 구축을 통해 글로벌 우주탐사 계획 참여 기회 확대 - UN 우주위원회(COPUOS) 등 국제기구 활동 강화, 선도국과의 협력 강화 등을 통해 글로벌 리더십 확보 - 글로벌 우주탐사 계획 참여 확대 및 민간 참여 기회 제공
제도	• 국내 산업 경쟁력으로 활용 가능한 국제 표준 선점 추진 ※ (예시) 로버 플랫폼 - 탑재체간 인터페이스 표준, 심우주 통신 표준 등	• 우주탐사 활성화 지원을 위하여 국내외 제도 개선 추진 - 우주 자원 채굴·이용·소유 관련 국내 법·제도 정비 - ITAR, EAR 등의 美 수출 규정 완화를 위해 미국과 협의 추진

우주 원자력 분야 추진 체계(안)

- ◇ 역량있는 민간기업이 존재하지 않는 우주 원자력 분야는 기존 우주개발 사업과 같이 정부가 주도하는 형태로 추진
- 우주 원자력 특성을 고려하여 미국과의 면밀한 협력 추진
 - 장기적으로 우주 원자력 분야 발전을 위해 국내 참여 기업을 발굴하여 추진



6 위험 요소 및 대응 방안

□ 모빌리티

① 발사 기회 확보(타 분야 동일)

- 미국의 CLPS를 이용하여 개발된 모빌리티의 달 표면에서의 시현/검증을 계획하고 있으나, 적절한 발사 기회를 확보하지 못할 수 있음

② 우주탐사 활성화 지원을 위한 관계 법령 정비 필요

- 우리나라 기업의 국제 우주 자원 시장 참여 전략 수립을 위해 국제법을 기반으로 국내 관련 법률 제정 논의 및 성문화 노력 필요
 - 미국·룩셈부르크·아랍에미리트 등은 우주자원의 소유권을 인정하는 기업 친화적인 법령을 제정하여 자국 투자 유치 유도 등 경쟁 중
 - 우리나라 민간 기업의 투자 촉진과 시장 진입 유도를 위해서는 우주 자원 채굴·이용·소유 관련 국내 법적 인프라 구축 시급
 - ITAR, EAR 등 미국 수출 규정 완화를 위해 미국과 협의 추진 필요

□ 달 표면 5G 네트워크

① 5G 구축 분야 국제 협력의 어려움

- (기술 표준의 차이) 각국의 5G 기술 표준과 주파수 대역이 다를 수 있어 상호운용성 문제가 발생할 수 있으며, 통합된 표준을 만드는 과정에서 충돌 발생 가능성 존재
- (주파수 자원의 제한) 우주에서 사용할 주파수 대역을 두고 각국이 이용권을 주장하거나 분배 문제로 갈등 발생 가능성 존재

② 상업성을 갖춘 시스템 수명 확보를 위한 설계 필요

- (내구성 높은 재료 선택) 우주 방사선, 극한의 온도 변화, 진공 상태 등을 견딜 수 있는 내구성 있는 재료 사용 필요
- (영구 전력 공급망 구축) 태양광 발전, 원자력 전지 및 소형 원자로, 에너지 저장 및 관리 시스템 등을 이용

③ 달-지구를 아우르는 통신망과의 연계 구축 필요

- 달 표면 네트워크 구축은 '달-지구' 사이의 네트워크의 일부로 관련 시스템 구축과 연계하여, 국제협력을 통한 통합 구축 필요

□ 우주 원자력

① 우주 원자력 개발 및 활용을 위한 관계 법령 정비 필요

- 미국 등 타국과의 협력을 위해서는 타국의 관계 법령에 어긋나지 않는 우리나라에 적합한 법령 정비 필요
 - 미국 및 유럽에서는 안전 프레임워크(Safety Framework) 일환으로 원자력 기술을 사용한 발사에 관한 승인 제도가 구비되어 있음
 - 특히 미국의 경우, 우주원자로 운송 및 발사 승인은 목적에 따라 담당 기관*이 달라져 우리나라의 담당 통제 기관을 명확히 할 필요성이 있음
- * 상업적 우주원자로 운송 및 발사 승인 권한은 운수송부(DOT)이며, 과학기술 탐사 목적의 민용 우주원자로 발사 승인은 NASA임

② 원자력 전지의 Pu-238 협력 필수

- 원자력 전지의 원하는 성능을 발휘하기 위해서는 미국 또는 러시아로부터 Pu-238을 공급 받아야 함
 - 하지만, 미국의 Pu-238 협력 가능성은 한-미 정부간 대화 시 매번 거론됐으나 아직 성과를 거두고 있지는 않음

- 만약, 미국으로부터 Pu-238 확보 불가능 시, 대체제인 Am-241를 영국으로 확보가능하며, 이를 적용한 원자력전지 설계 변경 필요



VI. 결론

- 본 연구에서는 미국의 우주탐사 프로그램의 주요 요소를 분석하고 우리나라의 경쟁력 기술 분야를 분석하여 우리나라가 강점 분야로 발전할 수 있는 모빌리티, 네트워크, 원자력 에너지 분야 도출 하였음
- 장기적으로 달에 기지를 건설하고 지속가능한 운영을 위해서 핵심적으로 요구되는 다양한 모빌리티, 달표면 5G 네트워크, 원자력 전지/발전기 등에 대한 발전 방안 마련
- 달 표면 모빌리티
 - 중소형 무인 모빌리티를 목표로하여 다양한 활용도(과학임무, 현지자원 임무 등)가 가능하도록 표준 모델화 하여 관련 모빌리티 개발 추진
 - CLPS 발사 역량(~100kg) 고려 시 과학 탑재체를 20kg으로 가정 하면 차체 70kg급의 모빌리티 체계 개발이 적절함 (총 90kg)
- 달 표면 5G 네트워크
 - 로버와 우주인 단말기의 신호 수신 성능을 높이기 위해 빔 포밍 기술을 적용, 안테나 시스템의 기울기와 방향을 원격으로 제어할 수 있는 기술 적용
- 원자력 에너지
 - (원자력 전지) 무게 7kg, 전력 5W의 원자력전지 확보 추진
 - (히트파이프 우주 원자로) 무게 6,500kg, 전력 100kWth의 원자로 확보 추진
- 이러한 3대 분야는 상호 연계가 가능한 부분으로 이를 반영한 전략을 제시하였으며, 장기적 관점에서 민간이 참여하여 주도적인 역할을

수행할 수 있는 체계를 제시하였음

- 다만, 이러한 3대 분야에 대해 국내 산업 기반 구축 및 기업의 역량 확보/강화를 위해서는 개발 초기에 정부의 지원이 필요
 - 먼저, 기업이 국제협력 기반으로 국가 주도 대형 우주탐사 프로그램에 참여할 수 있도록 우리나라 정부가 미국 정부와의 협력 방법을 도출하고 이를 지원해야 할 것임
 - 또한, 기초 기술 개발 및 발사 기회 제공 측면에서도 일정 부분의 정부 투자 등이 전제되어 기업의 초기 위험 부담을 완화할 수 있는 방안 모색도 필요할 것임

