

기고문

한국의 Artemis 국제공동 유인달탐사 참여를 중심으로 우리나라 심우주탐사 로드맵 제안

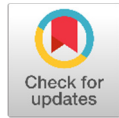
최기혁[†], 김대영

한국항공우주연구원

Suggestion of Korea's Deep Space Exploration Roadmap through Participation to the Artemis International Manned Lunar Exploration Program

Gi-Hyuk Choi[†], Dae-Yeong Kim

Korea Aerospace Research Institute, Daejeon 34055, Korea



Received: January 21, 2022

Revised: February 4, 2022

Accepted: February 7, 2022

[†]Corresponding author :

Gi-Hyuk Choi

Tel : +82-42-860-2217

E-mail : gchoi@kari.re.kr

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

ORCID

Gi-Hyuk Choi

<https://orcid.org/0000-0001-8862-7809>

Dae-Yeong Kim

<https://orcid.org/0000-0002-0409-3262>

요약

한국은 '22년 하반기 한국형발사체(KSLV-2)는 2차 발사를 통해 최종 성공을 앞두고 있으며, 인공위성 개발 능력은 이미 선진국 수준에 도달하였다. 이러한 발사체와 위성 기술 성숙 이후 향후 대한민국의 우주개발은 우주탐사와 우주활용으로, Hardware 기술개발에서 과학기술 임무개발로, 무인우주개발에서 유인우주개발로 패러다임이 전환되어야 한다. 최우선 전략은 국내 우주산업과 관련 국내 산업을 확대하고 고용을 창출하고, 핵심우주기술이 개발되어야 하며, 국민 편익과 안전에 도움이 되는 우주개발이어야 한다. 이를 위해 유인우주개발을 시작해야 하는데, 20년대 글로벌하게 추진될 국제공동 유인 달탐사(Gateway, Artemis)와 '30년대 유인 화성탐사는 한국의 우주산업 외연을 확장시키고 우주기술 수준을 획기적으로 향상시킬 수 있는 절호의 기회이다. 한국의 고유하고 독자적인 과학기술로서 도전적이며 지속적인 임무수행과 Hardware 기여로 참여하는 것이 필요하다. 또한 한국 우주인의 참여는 국민적 관심을 끌고 청소년에 도전정신과 꿈을 심어 줄 수 있으며, 또한 우주선진국으로 진입하는 계기가 되며 국가위상이 높아지는 효과도 기대할 수 있을 것이다. 이를 위해 본 연구에서는 국제공동 Artemis 계획의 현황과 향후 계획을 상세히 조사·분석하였고, 한국의 참여방안을 제시하였다.

Abstract

Korea is near close the success on the indigenous launch vehicle KSLV-2 after the second test launch during the second half of 2022, and the satellite development has been already in the level of advanced country. After the such mature of satellite and launch vehicle technologies, Korea's space development main theme should be 'Space Exploration and Space Application', and paradigm should be changed from 'Hardware' to 'Scientific/Technological Mission', from 'Unmanned' to 'Manned'. Korea's prime space strategy should be the direction of expansion of space industry, creation of employment and secure the key technologies, improvement of convenience and safety of people. For the purpose it is necessary to start 'Manned Space Development' such that participation to 'Artemis and Gateway Program' in 20s' and manned Mars exploration in 30s' which would be carried out by means of global international cooperation,

and which could be a good opportunity to explore the new area of space development and upgrade national technology capability. Taking advantage of this opportunity, it is required for Korea to join the international programs through developing indigenous challenging, sustainable Korean mission and hardware. Also selection of the 2nd Korean Astronaut could draw national attention, especially could give dreams to young generation. Participation to the Artemis program could be the opportunity of entering the major space fairing nation and boosting up national pride. In this study we survey and analyze the Artemis Program in detail, and in conclusion we suggest the strategy of Korea's participation to the Artemis Program.

핵심어 : 아르테미스, 유인달탐사, 심우주탐사, 로드맵, 핵심우주기술, 2차 우주인 선발

Keywords : Artemis, manned lunar exploration, road map, key space technologies, 2nd astronaut selection

1. 서론

경제적 관점에서 우주분야는 3,391억\$ 규모(16)의 거대한 시장으로 현재 한국은 0.8% 점유율 보이는데, 새로운 시장으로 반도체, 자동차, 조선산업 이후의 새로운 도전 산업으로 육성이 필요하다. 전세계 우주시장규모 총 3,391억\$에서 발사체 & 위성 5.7%, 우주탐사 23.2%, 위성활용 서비스 & 장비 71.1%이다. 선진국 우주기관 예산 중 국제우주정거장 관련 운용, 우주실험과 우주인 선발 훈련 포함 예산(17)은 NASA 18.1억\$/9.5%, JAXA 307억¥/20.3%, ESA 6.3억€/11%이고, 선진국 우주기관 우주탐사(달, 화성, 심우주) 예산규모/비중(17)은 NASA 108억 \$/56.6%, JAXA 520억 ¥/33.8%, ESA 8.25억€/14.3%이다. 아울러 선진국 우주기관 우주탐사 중 유인우주탐사 비중(17)은 NASA 80%, JAXA 75%, ESA 50%이다[1-3].

핵심전략 기술 개발 관점에서 우주는 정확하게 멀리 가기 경쟁인 바, 대형 추력 시스템, 정밀 심우주 항법, 자세제어, 대기권 재돌입, 심우주 통신과 에너지 기술 개발이 필요하다. 유인우주기술 개발 시 무인우주기술에서 퀀텀 점프가 가능하다.

대국민 비전 제시를 위하여 우주탐사 특히 유인우주탐사는 국민과 청소년에게 꿈과 도전정신을 심어줄 수 있다. 국제협력 측면에서 '20년대 유인달탐사와 '30년대 유인 화성탐사는 대규모 국제협력으로 한국이 참여하게 되면 우주선진국과의 전략적인 협력으로 우주선진국 그룹의 일원이 되며, 국가위상 제고 효과가 클 것이다.

동북아 지정학적 측면을 고려할 때 중국, 일본, 러시아와 인도는 유인우주개발 선진국들로 이들 국가에 비해 너무 뒤쳐지지 않도록 전략기술로서 유인우주기술을 개발할 필요가 있다. 즉, 중국과 일본에 10년차로 추격할 필요가 있다. 국민 편익과 안전 강화를 위하여 우주개발은 국민안전과 국방안보에 도움이 되는 기술개발이 반드시 포함되어야 한다. '21년 5월 문 대통령 방미시 한국의 과기정통부와 미국의 NASA는 대한민국이 유인 달탐사 아르테미스 약정(Artemis Accord) 추가 참여를 위하여 서명하였다. Artemis 프로그램 참여를 성공적으로 추진하기 위하여 대국민 설득과 예산확보를 위하여 우주탐사 관련 Story 개발이 필요할 것이다.

2. Artemis 유인달탐사 프로그램 추진 현황[4]

2.1 Artemis 유인 국제공동 달탐사 주요 마일스톤

Artemis 프로그램의 1단계는 2025까지 미국의 우주인이 달에 착륙하는 것이다. 이를 위해 '22년 신형 우주발사체(SLS)로 발사되는 오리온 탐사선이 무인으로 달을 선회하고, '24년에는 4명의 우주인이 달을 선회하고, '25년에는 4명의 우주인이 달 주위 우주정거장 Gateway에 도착하여 유인달착륙선(HLS, human landing system)으로 갈아탄 후 여성과 아시아/아프리카계 우주인 2명이 달에 착륙하여 1주일간 활동하게 된다. 1단계에서는 달궤도 유인 우주선, 유인 달착륙선, 비가압식 월면차, 선외활동용 우주복, 소형무인 달착륙선 기술과 시스템이 개발되어 활용될 것이다[1, 2](Fig. 1,2).

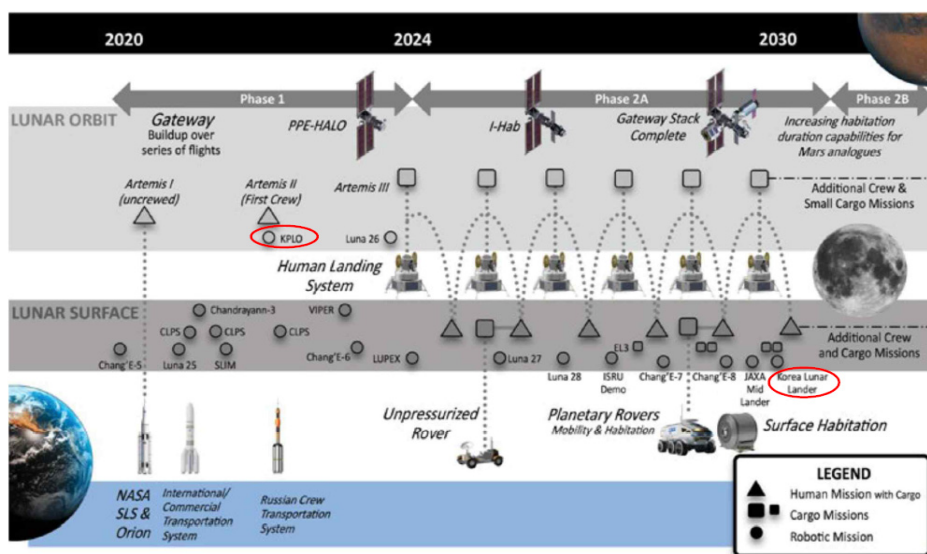


Fig. 1. Milestone of Artemis manned lunar exploration program with Korea/KARI's participation of KPLD ('22, Korea Pathfinder Lunar Orbiter) and KLL ('29, Korea Lunar Lander).

	2020 (Phase 1)	2024 (Phase 2A)	2030(Phase 2B)
달궤도	Gateway(다수의 비행을 통한 건설) Pre-HALO	I-Hab Gateway 구성완료	화성탐사를 대비한 체류기간 증대
달표면	Artemis I (무인) Artemis II (첫 승무원) KPLD Artemis III Luna26	HLS HLS HLS HLS HLS HLS	추가적인 승무원과 소형화물 임무
장어5	찬드라얀3 CLPS Luna25 CLPS SLIM CLPS VIPER 장어6 LUPEX	승무원 & 화물 Luna27 승무원 & 화물 Luna28 ISRU 시연 장어7 승무원 & 화물 장어8 JAXA Mid Lander 한국 착륙선	추가적인 승무원과 화물 임무
	NASA 국제적/상업적 발사체 SLS & Orion 러시아 승무원 수송 발사체	비가압 로버 가압주거 수송자랑 표면주거 모듈	

Fig. 2. Status and plan of Artemis program. HLS, human landing system; I-Hab, international habitat.

2단계(2026~2040)는 지속적인 달착륙을 통하여 월면 탐사활동과 인프라 확대(expanding and building)를 수행하게 된다. 전반부인 2A 단계('26 - '32)에는 달 채류 준비단계로서 달궤도 무인 수송선, 중형 무인 달착륙선(유인 활동 지원 등을 위한 물자 보급용), 다용도 로버, 가압식 월면차, 통신중계 및 전력 인프라, ISRU 검증 플랜트가 개발되어 활용될 것이다. 후반부인 2B 단계('33 - '40)에서는 실질적인 장기체류를 위한 유인거주시설, 재사용 유인 이착륙선, 원자력 전력원, 실용급 현지자원활용(ISRU, in-situ resource utilization)시설이 개발되어 사용될 것이다[1, 2].

3단계(2040~)는 월면 지속 체류 및 활용(sustained lunar opportunities)이 시작되는데, 본격적으로 달에서 장기 거주와 상업적인 활동이 수행된다. 3단계에서는 수 천 Km를 신속하게 이동할 수 있는 착륙지간 장거리 이동용 유인 호퍼(Hopper)가 개발될 것이다[1,2].

2.2 국제우주탐사조정그룹(International Space Exploration Coordination Group, ISECG)의 장기적인 글로벌 탐사 로드맵

ISECG는 미국 NASA의 주도로 2007년에 설립된 전세계 23개 주요 우주기관들의 구속력이 없는 협의체로, 한국항공우주연구원도 참여하고 있으며, 장기적인 국제공동 대형 우주탐사에 대한 정보교환, 전략수립과 로드맵을 작성하고, 이를 위해 정기적인 회의를 갖는다.

2.2.1 주요 목표

Artemis의 중요한 기술적 목표는 유인 이착륙, 화물 수송, 선외 활동, 장거리 이동, 장기 거주, 인체활동, 현지자원활용(ISRU) 검증, 인프라 구축, 과학연구, 대중참여, 상업증진, 국제협력 증진이며, 현재 한국의 기여는 KPLO('22)와 KLL('29)이다.

2.2.2 단계별 시나리오

- (a) 1단계(~2024): 월면 유인 착륙(boots on the Moon)
- (b) 2단계(~2040): 월면 탐사 활동 및 인프라 확대(expanding and building)
- (c) 3단계(2040~): 월면 지속 체류 및 활용(sustained Lunar opportunities)

2.2.3 주요 구성요소(하드웨어 시스템)

- (a) 1단계: 달궤도 유인 우주선, 유인 달착륙선, 비가압식 월면차, 선외활동용 우주복, 소형 무인 달착륙선
- (b) 2A단계: 달궤도 무인 수송선, 중형 무인 달착륙선(유인 활동 지원 등을 위한 물자 보급용), 다용도 로버, 가압식 월면차, 통신중계 및 전력 인프라, ISRU 검증 플랜트
- (c) 2B단계: 유인거주시설, 재사용 유인 이착륙선, 원자력 전력원, 실용급 ISRU 시설
- (d) 3단계: 착륙지간 장거리 이동용 유인 호퍼(Hopper)

2.3 ISECG 의 월면 탐사 단계별 시나리오

2.3.1 1단계(~2025): 월면 유인 착륙(boots on the Moon)

- (a) 미국은 2024년 달 유인 착륙을 목표로 유인 달 탐사 프로그램을 추진 중
- (b) 유럽, 러시아, 캐나다, 일본 등도 이와 연계한 활동에 동참 예정
- (c) 유인 월면 탐사 초기 단계를 구성할 주요 하드웨어 시스템은 다음과 같음
 - 유인 달착륙선, 선외 활동용 우주복, 비가압식 월면차, 소형 무인착륙선/로버

2.3.2 2단계(~2040): 월면 탐사 활동 및 인프라 확대(expanding and building)

- (2A) 달에서의 탐사 활동 및 이동을 위한 최소 역량 확보
 - (a) 유인 수송선/착륙선 이외에도 보급용 무인 수송선/착륙선을 주기적으로 발사
 - (b) 월면차를 이용하여 초기에는 남극 지역에 대한 단기 탐사 수행
 - (c) 월면차의 성능 및 개수 등을 늘려가며, 탐사 영역 및 기간을 단계적으로 확장
 - (d) 남극 이외의 관심 지역 탐사 및 달의 밤 기간(14일) 동안의 생존능력 확보
- (2B) 화성탐사 준비, 장기 체류, ISRU 역량 확보
 - (e) 달 남극 지역에서의 장기 체류 및 ISRU 활동 집중 수행
 - 장기적 인체건강, 활동능력 검증, 현지에서의 식량/식물 재배 역량 등 확보
 - ISRU 실증을 위한 파일럿 시설 구축 및 이를 운용하기 위한 전력원 확보
 - 핵심 하드웨어의 경우, 상이한 방식으로 작동하는 여분의 시스템 확보(백업 차원)
 - (f) 화성 유인탐사에 필요한 역량 및 기술 등을 달에서 사전에 검증

2.3.3 3단계(2040~): 월면 지속 체류 및 활용(sustained Lunar opportunities)

- (a) 지속적이고 활발한 달 탐사 활동을 통해 '월면 경제' 실현
 - 달에서의 기술 검증, 인프라 투자, 정부-산업체-학계 간 파트너십 확대
 - 유인 거주시설의 장기 운영, 달 전역으로 자유로운 이동성 확보, 현지자원활용(ISRU) 시설 실용화, 통신/전력 인프라 확대
- (b) 달 탐사에 대한 접근성 향상 및 비용 감소로, 각국 정부는 화성 등 태양계 내 다른 천체의 탐사활동으로 투자 전환 가능

2.4 모든 단계에서 인류의 지식 확장, 월면 환경의 이용, 상업 활동 증대 필요

각 단계에서 누적된 역량은 궁극적으로 유인 화성탐사라는 ISECG 공동의 장기목표 달성으로 이어질 것으로 기대된다.

2.5 산업체 역량 증대

우주탐사는 지금까지 정부만의 영역이었으나, 최근 들어 민간의 참여가 확대되고 있는데, 정부기관에서 우주탐사 미션에 민간의 수송 서비스를 이용하거나, 민간에서 독자적인 우주탐사 미션을 수행하는 경우 등이 발생하고 있다. ISECG 회원기관들은 민간 상업 주체들의 우주탐사 활동을 환영하며, 이들과의 협력을 통한 신기술 개발 및 비용 절감 등을 기대하고 있다.

2.6 국제공동 달탐사 Artemis 프로그램 주요 목표

Artemis 프로그램 주요 계량적 기술목표는 아래와 같다.

- (a) 4명에 대한 유인 이착륙 실증
- (b) 화물수송 실증은 단기 유인 미션에 1-2톤, 유인착륙선은 9톤 규모
- (c) 선외활동(EVA) 재사용성, 달면지 대응과 기동성 검증
- (d) 누적 10,000 km 장거리 이동능력 실증
- (e) 누적 500일 장기거주 시설의 신뢰성 및 운용절차 검증
- (f) 무중력과 우주방사선 환경 장기체류시 인체건강 및 활동능력 검증으로 화성탐사에도 대비함
- (g) 현지자원활용(ISRU) 실증으로 연간 50톤의 연료 생산
- (h) 300 kW 전력생산과 1 Gps 통신 등 인프라 구축
- (i) 과학연구 성과 창출
- (j) 대중/청소년 참여 소통 증진을 통해 전국민 30% 이상의 동의
- (k) 민간참여/상업 증진
- (l) 국제협력 및 참여 기회 확대로 전세계 100여 개국 이상 참여 목표

2.7 국제공동 달탐사 Artemis 단계별 기술 구성요소

Artemis 프로그램 단계별 Hardware 구성요소는 아래와 같다.

<1 단계: ~2024>

- (a) 달궤도 유인우주선: 지구-달궤도 Gateway간 우주인 수송 역할을 수행하며, Orion 우주선의 경우 4명이 21일간 탑승 가능
- (b) 유인 달착륙선: 달궤도 Gateway에서 달표면으로 우주인 수송, 초기 2인, 최대 4명이 8일간 탑승
- (c) 비가압식 월면차: 선외활동(EVA)을 위하여 우주복을 입은 우주인 2명과 화물을 탑재하여 최소 2 km 주행 가능하고 무인 원격조종도 가능
- (d) 선외활동(EVA)용 우주복: 달표면에서 최대 8시간 활동 지원
- (e) 소형 무인 달착륙선: 10-100 kg 화물을 달표면으로 수송, 과학 및 기술시연도 수행

<2A 단계: 2026-2030>

- (a) 가압식 월면차; 2명의 우주인이 최대 42일간 탑승하면서 600 km 이동
- (b) 달궤도 무인 수송선: 지구에서 달궤도 Gateway까지 2-3.4톤 화물 수송
- (c) 중형 무인 달착륙선: 달 표면까지 1-2톤의 화물 수송
- (d) 통신 중계 인프라: 지구-달궤도 Gateway-달표면 간 통신제공, Gateway를 중계노드로 사용하고, S, X, Ka 밴드와 광통신 사용
- (e) 전력 인프라: 달표면에서 전력 생산과 저장장치로 17 kW 전력 제공

- (f) 다용도 로버: 과학탐사와 현지자원활용(ISRU)을 위해 25-250 kg의 화물을 싣고 2,000 km 이동 가능
- (g) ISRU 검증 플랜트: 실용급 ISRU 시설의 1/100 규모 연료생산(연간 50 kg)

〈2B 단계: 2030-2040〉

- (a) 장기거주 시설: 4명의 우주인이 최대 60일간 생활 가능한 거주 시설
- (b) 재사용 달궤도 유인 이착륙선: 달궤도 Gateway-달표면간 4명이 탑승 가능 이착륙선으로 이륙선은 재사용, 연료는 달표면에서 생산
- (c) 원자력 전력원: 모듈화된 전력 시스템으로 달의 밤 기간 14일 동안 10 kW의 전력 생산
- (d) 실용급 ISRU 시설: 달의 얼음을 전기분해하여 연간 50톤의 연료 생산, 유인 이착륙선에 연료 제공, 채굴과 저장 시설이 포함됨

〈3 단계: 2040~〉

- (a) 착륙지간 이동용 유인 호퍼: 달 표면 착륙지간 이동용 개방형 재사용 월면 이착륙선으로 4명이 탑승 최대 1,000 km 왕복 가능
- 상기 Hardware 중 1단계의 유인달착륙선과 우주복, 2B 단계의 장기 주거시설과 원자력 발전 모듈은 핵심요소로서 NASA가 전담 개발하는 것으로 되어 있다.

3. 한국의 Artemis 참여가능 Item 도출과 국내 기술수준 분석 [5-8]

3.1 한국의 Artemis 참여를 위한 Hardware 선정 기준

위에서 이미 국제협력 대상으로 나타난 여러 Item들과 한국이 독자적으로 개발 가능한 여러 Item들이 있을 수 있다. 그러나 한국의 참여를 위하여 반드시 선행적으로 검토해야 할 조건과 기준들을 제시하였다.

- 1) 우주 핵심기술 여부; 장거리 우주비행 관련, 대용량 추력기 시스템, 심우주 항법, 정밀 자세 제어, 행성 착륙, 대기권 재진입, 랑데부/도킹, 에너지(태양전지, 연료전지, 원자력) 기술 등
- 2) 국제협력 & 국제 커뮤니티 기여 가능성
- 3) 국내 산업화 기여 가능성
- 4) 국민 편익/안전 & 국방 기여 가능성
- 5) 한국형 발사체 사용 가능 여부
- 6) 한국의 관련 기술수준(TRL), 개발기간 & 개발비

3.2 한국의 Artemis 참여 가능 Item 도출과 분석

Artemis 프로그램에 한국이 참여 가능한 여러 Item들을 도출하였고, 상기 기준에 따라 분석을 시행하였다(Fig. 3).

Artemis 참여 후보 Item/ Spec.	우주핵심 기술여부	국제협력 가능성	산업화 가능성	국민안전/ 국방안보 기여	한국형 발사체 사용 여부	국내기술 수준(TRI)/개발시 기/개발비
궤도간 무인 수송선 / 자중 3t, 화물 1t	○	○	○	○	○	4 / '30년 / 5000억
소형 무인 달착륙선 / 자중 2t, 화물 0.5t	○	○	○	○	○	2 / '35년 / 5000억
개방형 승무원 탐사 로버 / 400kg, 자율주행	X	○	○	△	X	6 / '30년 / 1000억
가압형 승무원 로버 / 7t, 1000km 주행	○	○	○	○	X	4 / '30년 / 2000억
유인 달착륙선 부분(전자박스)참여	△	○	○	X	X	6 / '30년 / 1000억
태양 발전 장비 / 20kW	○	○	○	△	X	4 / '30년 / 2000억
행성자원활용(ISRU) 시험설비 / 6t, O ₂ ~2kg/day 생산	△	○	X	X	X	2 / '35년 / 2000억
달궤도 통신 위성 / 1t	○	○	○	○	○	6 / '30년 / 2000억
달표면 주거 모듈 / 4t, 4명 주거	○	○	○	○	X	4 / '30년 / 2000억
행성자원활용(ISRU) 수송 로버	X	○	X	X	X	6 / '30년 / 2000억
행성자원활용(ISRU) 액체 산소 & 수소 생산 시설	X	○	X	X	X	2 / '40년 / 3000억
행성자원활용(ISRU) 액체 산소 & 수소 저장 탱크	X	○	X	X	X	6 / '30년 / 1000억
착륙지간 이동 유인 호퍼	○	○	X	X	○	2 / '40년 / 5000억
달궤면 우주과학 로봇 임무	○	○	○	○	○	4 / '35년 / 2000억
달탐사 한국우주인 양성	○	○	○	○	X	6 / '30년 / 500억

Fig. 3. Analysis of candidates items of Korea's Artemis Participation.

앞에서 제시한 판단기준으로 도출된 Artemis 참여 후보 Item을 분석한 결과, 아래와 같은 Hardware가 한국 참여 유망한 후보로 선정되었다.

- (1) 궤도간 무인 수송선(LTV/OTV, Space Tug)은 전분야에서 적합하며, 특히 다양한 핵심 기술이 포함되어 있음, 자중 3톤, 화물 1톤을 수송하며 화학추력이 일반적이나 최근 절대 추력값은 작지만 비추력이 큰 전기추력기 사용이 늘고 있음, 이 궤도간 수송기술은 향후 화성과 소행성 탐사에서 가장 핵심적인 기술로 활용될 수 있음(LTV, Lunar Transfer Vehicle; OTV, Orbital Transfer Vehicle)
- (2) 소형무인 달착륙선, 전분야에서 적합, 자중 2톤, 화물 500 kg 수송, 레이더/라이다 고도측정기술과 AI를 이용한 장애물 회피기술, 대용량 추력기 기술을 개발해야 하며, 향후 화성탐사와 소행성 샘플리턴에도 핵심적인 기술로서 사용될 것임
- (3) 달 현지자원활용(ISRU) 기술을 이용하여, 달표면에서 얼음을 채취 전기분해하여 산소와 수소를 생산, 산소는 우주인 호흡용으로, 수소는 수소연료전지에 활용하여 전력을 생산하여 달 차량(Lunar Mobility)의 동력원과 주거모듈(Habitat module) 전력, 또한 산소와 수소는 액화하여 지구로 귀환하는 로켓의 연료로도 사용할 수 있음, 국내 수소 에너지 기술에도 활용이 가능함
- (4) 달 차량은 달 탐사의 핵심적인 필수장비로 개방 & 비가압형 소형 협지형 차량(무게 1 t, 2인승, 탑재중량 500 kg, 주행거리 100 km)이 필요함, 동력원은 수소연료전지로 달의 협지형을 달릴 수 있도록 하며, 협지주행능력을 갖추어, 국방안보 기술로도 활용 가능
- (5) 생명/환경유지장치(Environment & Life Support System, ECLSS)는 유인우주선, 주거모듈과 우주복의 핵심기술로서 국민생활에서 미세먼지 제거, 대기중 오염물질 제거, 물정화 등에 사용될 수 있고, 산업과 국방에도 폭 넓게 활용할 수 있음
- (6) 달표면 태양 발전 장비는 국내 신재생 에너지 산업과도 연관이 깊지만, 다만 국민 안전과 국방에 대한 기여가 약함

- (7) 달궤도 통신위성은 모든 핵심기술을 포함하고 있으며, 현재 한국의 역량으로 가장 국내 개발이 용이한 Item임
- (8) 달표면과 지구저궤도에서 로봇을 이용한 과학/산업 우주실험 수행은 New Space 시대 직접적인 비즈니스가 이루어지고 장기적인 우주체류 관련 생명/의학 기초연구를 수행할 수 있음

3.2.1 한국의 우주탐사 로드맵

한국은 Artemis 프로그램 참여와 장기적으로 유인 화성탐사를 위해서는 장기적인 우주탐사 로드맵이 필요한 바, 본 연구에서 이를 제시하였다. 이를 위해 단계적으로 로드맵을 아래와 같이 제시하였다(Fig. 4).

3.2.1.1 20년대(~2030)

20년대에는 기반이 되는 재진입, 심우주항법, 랑데부/도킹 등 우주핵심기술을 개발하고, 2030년까지 달궤도 수송선 시스템 개발과 유인달탐사 시스템의 부분참여(통신, 항법, 생명유지장치 등), 지구저궤도에서 우주산업화를 위한 우주제품 생산 기초연구

3.2.1.2 30년대(~2040)

30년대에는 무인 화물수송 달착륙선을 개발하고, 유인 달기지 건설에 참여, 무인 소형 우주비행기 개발, 화성까지 무인 화물 수송선, 유인 화성탐사 시스템 부분 참여, 우주공간에서 우주제품 시험 생산, 극초음속 무인 비행체 개발

3.2.1.3 40년대(~2050)

40년대에는 유인 화성기지 건설 참여, 유인화성 착륙선 개발, 유인 우주비행기 개발, 극초음속 유인 비행체, 지구저궤도와 달표면에 우주공장을 건설하여 우주제품의 상업적인 생산

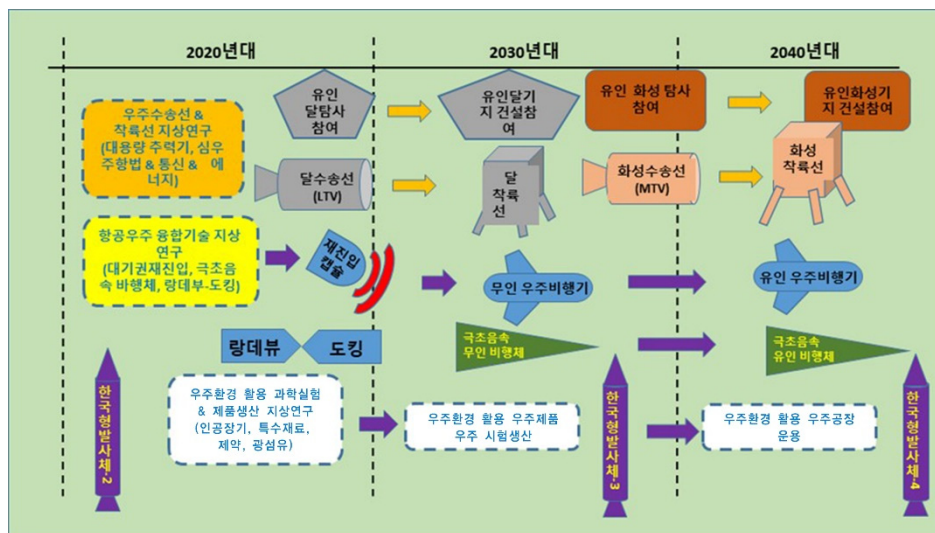


Fig. 4. Road map of long Term Korean Space Exploration.

3.2.2 우주탐사 Story 개발

우주탐사를 수행하는 연구기관 내부에서 명분과 설득력 있는 논리와 전략을 개발, 대국민 설득, 예산 확보를 위한 정부부처, 예산당국과 국회 설득 그리고 해외 국제적인 우주탐사 커뮤니티에 대한 설득과 홍보를 위하여 누구나 듣고 쉽게 이해할 수 있는 이야기(story) 개발이 매우 필요하다.

3.2.2.1 한국 최초 달탐사 Story('22):

달탐사를 통하여 국내 우주개발 기술의 진일보를 이루고, 우주강대국인 주변국(중, 일, 인도)에 비하여 우주개발이 너무 뒤처지지 않게 15년 이내로 추격함, “대형 심우주 안테나, 대형 추력기 기술, 심우주항법 기술 등 심우주탐사 기반기술 개발”

3.2.2.2 무인 달탐사 Story('30):

달탐사 2단계 착륙선 & 지구-달궤도간 화물수송선(Space Tug), “우주기술의 획기적인 진일보”, “본격적인 우주탐사를 통해 우주산업 확대와 일자리 창출”, “한국형 발사체를 이용한 우주탐사 착수”, “우주선진국으로서 국제협력 우주개발 프로그램에 주도적 참여”, “세계우주개발 Top 10 진입”, “중국과 일본 대비 우주기술 10년 이내 추격”

3.2.2.3 Artemis 유인 달탐사 Story('35):

“미래형 우주기술인 유인우주기술 개발로 우주기술의 획기적인 발전”, “새로운 유인우주산업 발걸음을 통해 우주산업 확장 및 일자리 창출”, “향후 10년 전후 2차 한국 우주인을 선발하여 달에 착륙하고, 미래 에너지원인 핵융합발전 원료인 He3, 시험 추출”, “향후 10년 전후 2차 한국 우주인을 선발하여 달에 착륙하고, 달표면에 우주로봇과 우주관측 장비를 설치하여 지구에서 관측이 불가능한 천체관측과 소행성 위험 상시 감시”, “3차 한국 우주인을 선발하여 인류가 행성에서 생존하기 위한 기술로서 현지 물/얼음 자원으로부터 수소를 생산하여 달 차량을 운용하고 전기발전에서 사용하는 수소 에너지 순환체계 구축”, “세계 우주개발 Top 7 진입 & 중국과 일본 대비 우주기술 7년 이내 추격”, 무인 화성탐사 Story('35); 무인 궤도선 & 착륙선, “자주적인 심우주탐사 능력 확보”, “국제 우주과학 커뮤니티에 주도적인 참여와 기여”, “세계 우주개발 Top 5 진입 & 중국과 일본 대비 우주기술 5년 이내 추격”, “한국형 발사체의 심우주탐사 능력 검증 확인”

3.2.2.4 유인 화성탐사('45):

“우주기술의 획기적인 진일보”, “4차 한국 우주인을 선발하여 인류가 행성에서 생존하기 위한 현지 자원을 활용한 산소와 물 생산”, “한국 우주인이 인류 최대 질문인 외계 생명체 탐사”, “대한민국은 완전한 우주선진국 진입”, “세계 우주개발 Top 3 진입 & 중국/일본과 동등한 우주기술 수준 확보”

4. 결론

본 논문에서는 한국의 국제공동 유인달탐사 Artemis 프로그램 참여를 중심으로 향후 2050년까지 장기적인 유인우주탐사 전략과 로드맵을 아래와 같이 제시하였다. 이를 위해 현재 진행중인 Artemis 프로그램 분석과 국내 우주개발 수준 분석을 비교·검토하였다.

4.1 우주산업 확대 발전

향후 대한민국의 우주발전의 최우선 전략은 우주산업과 관련 국내 산업을 확대하는 방향이어야 하며, 이를 위해 무인 Hardware 개발 중심에서, 위성과 발사체 산업체 이관 후, 임무개발과 유무인 우주개발과 탐사로 패러다임 전환이 필요하다. 국내 위성과 발사체 개발 능력이 성숙하였으므로 이를 활용한 유무인 임무개발과 우주탐사 추진이 필요하며, 특히 '22년 하반기 발사되어 개발이 완료되는 한국형발사체와 기존의 위성기술 활용하는 우주임무 개발이 필요하다.

4.2 국가 우주기술 진일보

'20년대 글로벌하게 추진될 국제공동 유인 달탐사(Gateway, Artemis)와 '30년대 유인 화성 탐사는 한국의 우주기술 수준을 획기적으로 향상시킬 수 있는 절호의 기회로서 한국의 도전적이며 고유하고 지속적인 임무와 Hardware 기여로 참여가 필요하며, 또한 한국 우주인의 참여는 국민적 관심을 끌고 청소년에 도전정신과 꿈을 심어 줄 수 있다. 아울러 우주선진국으로 진입하는 계기가 되며, 국가위상이 높아질 것이 기대된다. 10년, 20년 후 한국이 우주기술과 경제력으로 감당할 만한 도전적인 달/화성탐사 임무 개발과 관련 핵심기술 개발, 그리고 임무 수행을 위한 한국 우주인 참여가 필요하다. 예를 들어 캐나다 로봇팔, 일본의 소행성/화성 위성 샘플 리턴 임무 등이 있다.

4.3 Story 개발을 통한 국가적 공감대 조성

국가 우주발전을 위하여 국민, 산업체와 정부 그리고 국회의 공감대 형성이 필요한 바 획기적인 우주기술 개발과 한국 우주산업의 확대(고용창출)과 같은 결정적인 국가 과학기술, 경제, 국민안전 기여방안 도출이 필요하다. 달탐사 예산확보시(2015) 논리는 “한국 우주기술이 진일보하고 주변국에 너무 뒤떨어지지 않도록” 달탐사를 추진해야 한다는 것이다. 이와 같이 달탐사 임무를 필요성, 전략, 방법을 단순 명쾌하게 이야기(story)로 풀어내는 것이 필요하다. 예를 들어 우주생명/환경 유지장비는 미세먼지, 공해물질, 오염수로부터 국민안전을 보호하고 국방안보에도 활용 가능하다. 달 표면에서 채취한 He3는 인류의 궁극적인 에너지 문제를 해결할 수 있으며, 달에서 얼음을 채굴하여 전기분해로 수소를 생산하여 수소 연료전지를 이용하여 달차량을 운행하고 주거모듈에 전기를 공급하는 수소에너지 순환체계를 달에서 구축할 수 있다.

4.4 국민안전과 국방안보 연계

우주개발과 우주탐사 전략 수립 시 국방과 안보에 활용이, 가능한 발사체 & 대용량 추력기, 초정밀 심우주항법 & 자세 제어, 초장거리 통신, 초저온 극복 시스템, 태양전지 및 동위원소 발전기, 대기권 재진입과 랑데부/도킹, 기술을 포함하는 전략적 핵심 우주기술 개발이 이루어져야 한다.

4.5 민간 참여 확대

우주산업화의 핵심인 New Space 산업 창출을 위하여 저궤도 우주공간에서 미세중력, 초진공, 초저온 환경을 이용한 과학실험, 우주제품 생산과 우주관광 산업화 필요하다. '25년부터 ISS를 민간에게 개방하고, 저렴한 상업 유인우주선이 등장함에 따라, 한국 우주인 (Astronaut & Space Crew)의 양성과 과학·산업기술 임무 개발이 필요하다. 예를 들어 줄기세포 성장을 통한 장기 배양, 신소재와 고성능 반도체, 고성능 광섬유(ZBLAN), 단백질 결정 생산과 제약 등이 유망한 분야이다.

4.6 국가적 통합 협력체계 구축

산학연관/군 융합 협력체계 구축이 필요하다. 국내 우주개발 Player들이 증가하고 있어 기존의 항공우주연구원 외에 다수의 정부 정부부처(과기부, 국방부, 산업부, 중소기업부, 환경부, 기상청, 해양수산부 등), 천문연 등 출연연구원, 대학, 산업체/벤처들이 활발하게 우주개발에 참여하고 있으며 그 Player 수는 계속 늘어날 것이다. 이에 따라 우주청이나 우주전략본부와 같은 중앙 컨트롤 타워인 정부 Governance 조직이 필요하며, 항공우주연구원과 Player들 간의 업무분담이 필요하다. 참여기관은 수행하고자 하는 우주임무(space mission)와 관련된 핵심탑재체를 개발하고, 항공우주연구원은 플랫폼과 핵심기술 개발과 사업 관리를 담당하는 것이다. 유인 우주개발을 추진하기 위해서는 항공우주연구원과 관련 기관들에서 무인 우주개발에서 필요했던 기계와 전자 엔지니어 외에 다양한 과학 및 의학 전문인력을 채용하여 우주임무와 핵심기술 개발 전문가로 육성 필요한데, 예를 들어 우주의학, 생물학지질, 지질학, 재료과학, 제약분야 등이다.

4.7 동북아 지정학적 고려

대한민국의 주변국들인 중·일·러시아·인도는 유인우주개발 선진국들로 이들 국가들은 한반도에서 안보와 경제적 이해가 증첩되기 때문에 이들 이웃 국가들에 비해 너무 뒤쳐지지 않도록 전략기술로서 유인우주기술 개발이 필요한데, 최소 10년 이상의 격차가 벌어지지 않도록 추격하는 것이 필요하다[9].

4.8 전략적 국제협력 강화

NASA 및 해외 우주기관과 협력체계 구축이 필요하다. Artemis 유인 달탐사 협력분야가 결

정되면 NASA와 Working Group을 구성한후, 협력의향서(LOI)를 체결하고, 공동 타당성 연구(feasibility study)를 수행 후 MOU를 체결해야 한다. 이를 통해 미국과의 전략적인 우주협력을 심화하고 유럽 일본과의 우주협력도 강화해야 한다. 이를 통해 우리는 원하는 유인우주탐사 임무를 경제적으로 효율적으로 달성할 수 있으며, 대한민국은 우주선진국 클럽에 가입하게 되어 국내외에 국적 향상의 효과를 얻을 수 있다.

4.9 제2차 우주인 양성 필요

우주인의 선발과 양성은 국가 유인우주개발의 핵심 요소로서 국제적 유인우주탐사 경쟁에서 우주인이 필요하다. 그러나 1차 우주인선발('06-'08)의 교훈을 분석하면, 반드시 국가적으로 장기적인 유인우주개발이 수립되어야 하고 우주전문기관에서 전문가로 육성되고 근무해야 한다. 과기부 주도가 자연스럽지만 New Space 시대에 민간 주도과 우주안보를 위하여 군의 참여도 가능하다.

감사의 글

본 연구는 한국항공우주연구원의 자체연구 '유무인 우주탐사 국제협력 프로그램 참여를 위한 기획연구(KR20110, 기술료)' 사업의 일환으로 이루어졌습니다.

References

1. National Aeronautics and Space Administration [NASA], FY 2017 budget estimate (2017) [Internet], viewed 2021 Feb 17, available from: http://nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/fy_2017_budget_estimates.pdf
2. European Space Agency, ESA budget 2017 (2017) [Internet], viewed 2021 Feb 27, available from: http://esa.int/ESA_Multimedia/images/2017/01/ESA/_budget_2017
3. Japan Aerospace Exploration Agency, Evaluation of FY 2017 Operating Results for JAXA (2018) [Internet], viewed 2021 Feb 17, available from: http://mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsfiles/afieldfile/2019/01/17/1412601_06.pdf
4. International Space Exploration Coordination Group [ISECG], Global exploration roadmap, supplement: Lunar surface exploration scenario update (2020) [Internet], viewed 2021 Aug 8 2020 Oct 23, available from: http://globalspaceexploration.org/wp-content/uploads/2020/08/GER_2020_supplement.pdf
5. Ju GH, Choi GH, Kim BY, Lee JH, Kim YK et al., A study on the research plan for potential participation of international collaboration program of the human and robotic space exploration, Korea Aerospace Research Institute Report, KR20110 (2020, 2021).
6. National Research Council, The Scientific Context for Exploration of the Moon (The National Academies Press, Washington, DC, 2007). <http://nap.edu/read/11954/chapter/1>

7. Neal CR. The Moon 35 years after Apollo: What's left to learn? *Geochemistry*. 69(1), 3-43 (2009). <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2008.07.002>
8. Burns JO, Duric N, Taylor GJ, Johnson SW. Observatories on the Moon, *Sci. Am.* 262, 42-49 (1990).
9. 제3차 우주개발 진흥 기본계획, 과학기술정보통신부 외 관련부처, P18 (2018).

Author Information

최기혁 gchoi@kari.re.kr



런던대(UCL)에서 우주과학으로 박사학위를 1996년 박사학위를 취득한 후, 한국항공우주연구원에서 국제우주정거장 참여, 한국우주인사업 단장(06-'08)과 달탐사 사업단장(15-'16)을 역임하였고, 현재는 재진입 열보호시스템과 저주파 레이더 개발 연구를 수행하고 있다.

김대영 dykim6636@kari.re.kr



공주대학교에서 기계구조로 박사학위를 2017년 취득한 후, 한국항공우주연구원에서 현재는 재진입 열보호시스템 개발 연구를 수행하고 있다.