

제 171회 KISTEP 수요포럼

〈新세계를 개척하는 전략기술과 자원탐사〉

우주 자원 탐사

미래 인류의 지속가능한 발전과 생존을 위하여

KISTEP
거대공공사업센터

정지훈

2024. 9. 25.(수) 14:00

01 | 이제는 우주경제 시대다

Old Space vs New Space

| 정부 주도의 우주개발 → 민간 주도의 우주개발 |

과거 강대국 간의 군사 목적을 중심으로 정부 주도로 진행되었던 우주개발이
민간이 새로운 시장을 개척하여 경제적 이익을 창출하는 우주산업 영역으로 진화

 Old Space



 New Space 



우주탐사란?

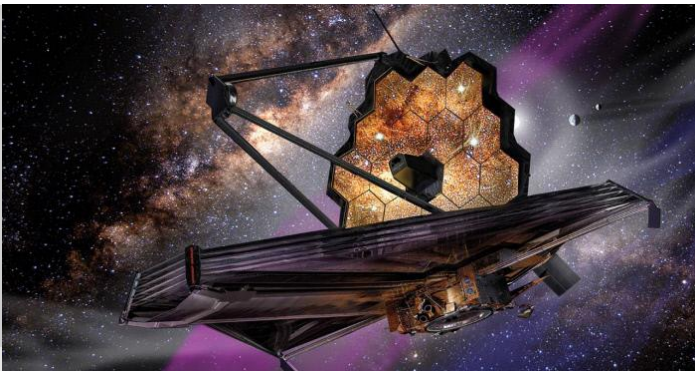
천문학 및 우주과학 연구와 실용적인 목적을 위한 공학기술을 기초로 지구 대기권 밖의 우주공간을 탐사하는 것

- ① 우주에 대한 이해
- ② **자원 채굴**
- ③ 인류의 삶의 터전의 확장

과거 ~ 앞으로도 지속

우주의 이해

- 우리는 어디에서 왔을까?



- ▶ 인류와 태양계, 우주의 기원에 대한 이해를 목적으로 천문학, 우주과학으로 발전

미래 실현 기대

자원 채굴

- 돈이 되는 우주자원



- ▶ 우주 자원의 상업적 활용을 통한 경제적 이윤 추구로 민간 기업의 우주탐사 의욕 증가

Today's Topic!!

머나먼 미래?

행성 이주

- 지구 외의 행성에서 살아가기



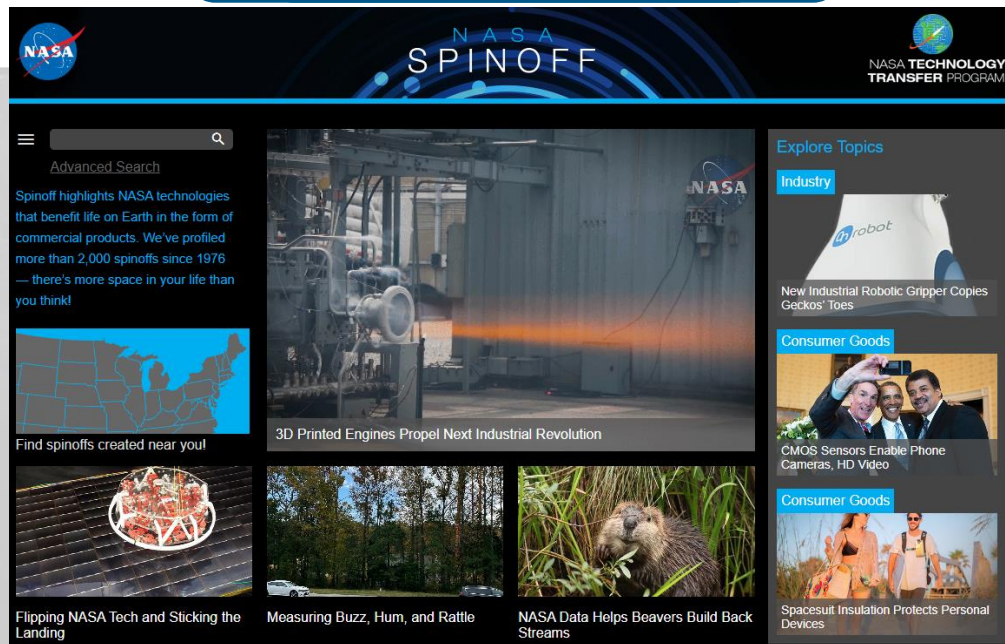
- ▶ 달, 화성에 유인 기지 건설 계획
- ▶ 단순 유인 기지 운영이 아닌, 행성 이주는 수많은 기술적 난제

Q. 우리는 왜 우주로 가야하는가?

[NASA의 탐사 비전] 가장 근본적인 질문 중 일부에 답함으로써 인류에게 가치를 제공하는 데 기반을 두고 있음

“우리는 왜 여기 있고 이 모든 것이 어떻게 시작되었으며, 우리는 혼자인지, 그리고 그 다음은 무엇인지, 그리고 우리는 어떻게 우리의 삶을 더 좋게 만들 수 있는지 알기 위하여 우리는 우주로 나가야 한다.”

우주탐사와 스피노프

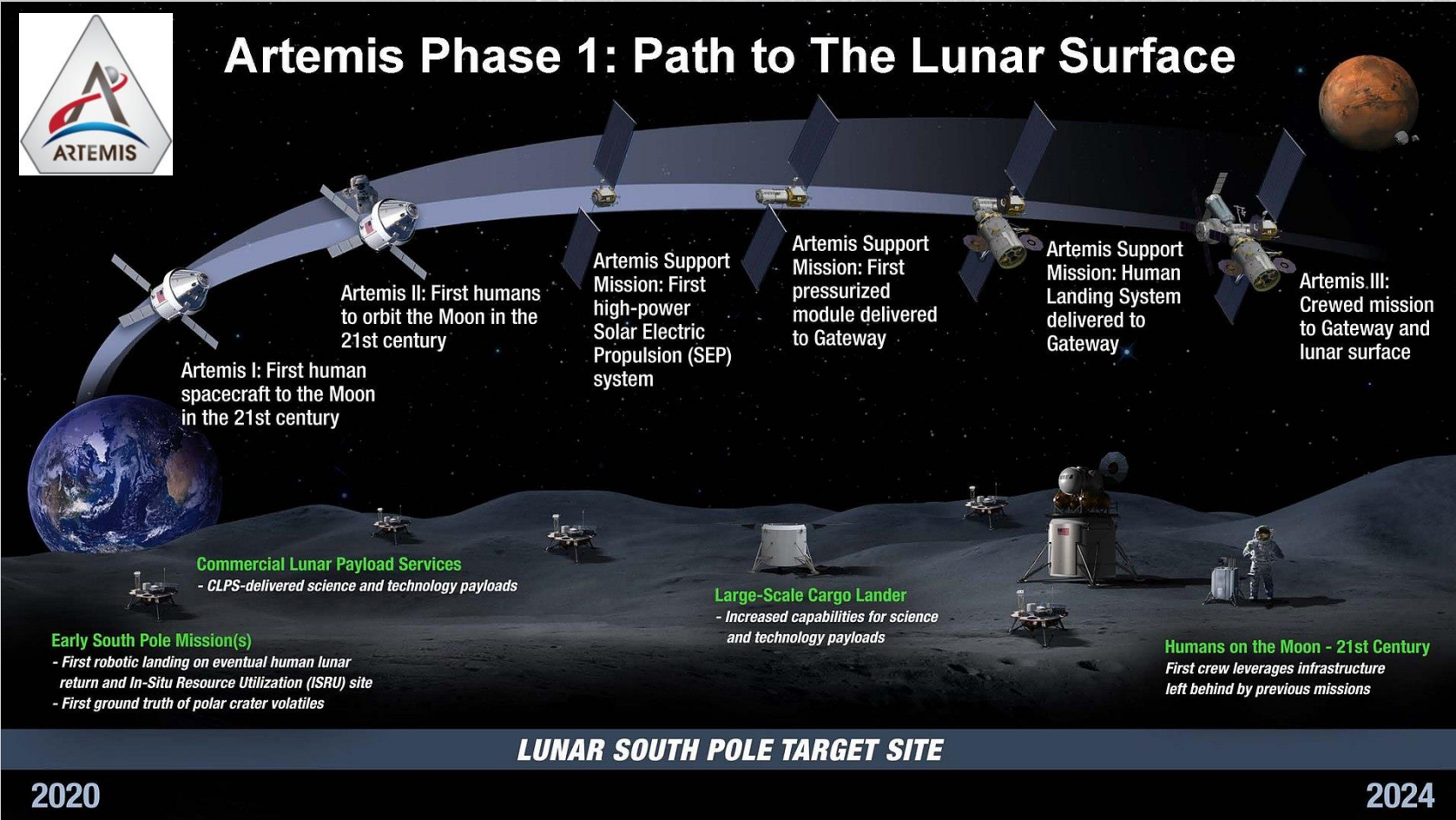


우주탐사로 인해 파생된 수많은 스피노프가 존재

- ▶ 아폴로 계획 시 유인 달탐사를 통해 메모리폼, 동결건조, 진공청소기, 재난용 은박 담요 등 수많은 파생기술 전파
- ▶ 행성간 탐사 목적의 초소형 영상 검출기 개발이 CMOS 센서 기술로 전파
- ▶ 허블우주망원경 개발을 통해 CCD 센서 기술 및 데이터베이스 정리 파이프라인 기술 획득

아르테미스 프로그램

아폴로 계획 이후 반세기 만에 추진되는 달 탐사 프로그램
달 선회 비행을 시작으로 유인 달 선회 비행, 유인 착륙 및 달 표면 탐사 수행



달에서의 장기 거주를 목표

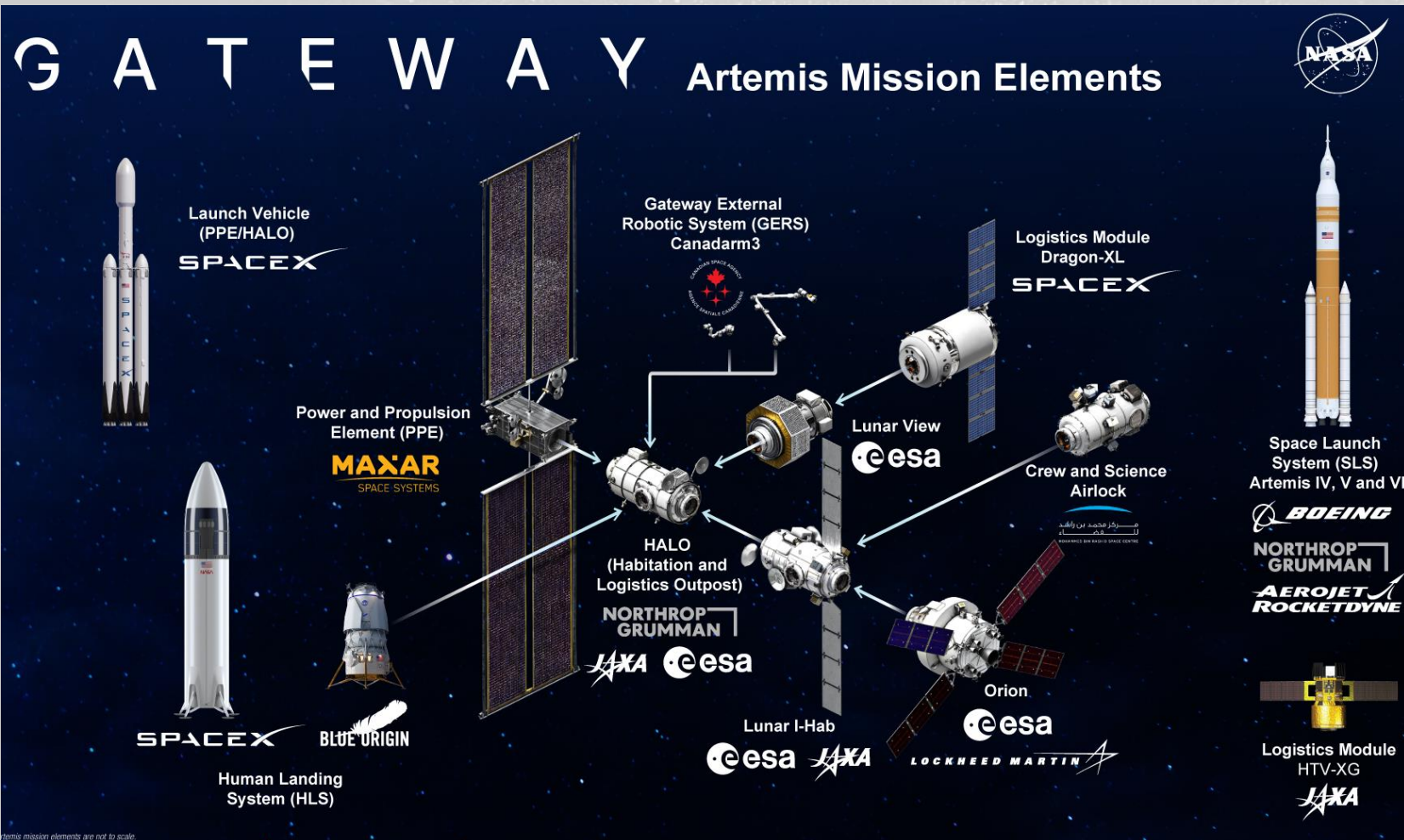
- ▶ 장기 체류에 필요한 시스템 개발
- ▶ 달을 전초기지로 하여 화성 유인탐사로의 확장 및 심우주 탐사 계획을 포함
- ▶ 미국이 주도하고 프랑스, 일본, 한국, 캐나다 등 다양한 국가와의 국제협력을 통해 추진 중
- ▶ 달 탐사 활동의 산업화로 민간 기업의 참여 확대
- ▶ 달궤도 우주정거장인 루나 게이트웨이 건설 계획

01 주요 우주탐사 프로그램 - 미국

루나 게이트웨이

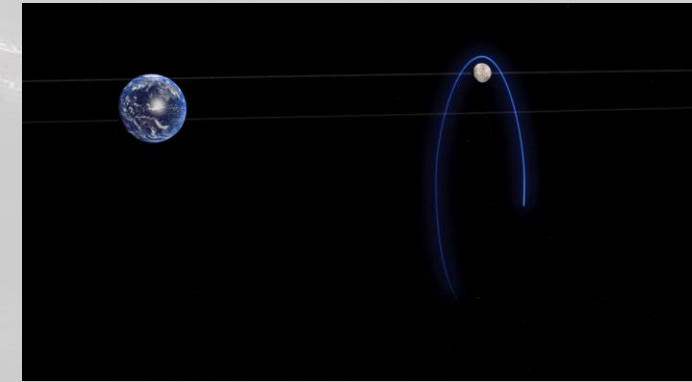
(Lunar Orbital Platform-Gateway, LOP-G)

달 궤도에 투입되는 우주정거장으로 국제우주정거장(ISS)의 후속 아르테미스 4호를 통해 거주모듈(HALO) 투입 후 5호로 추가 모듈 투입 및 조립



달 궤도상의 전초기지

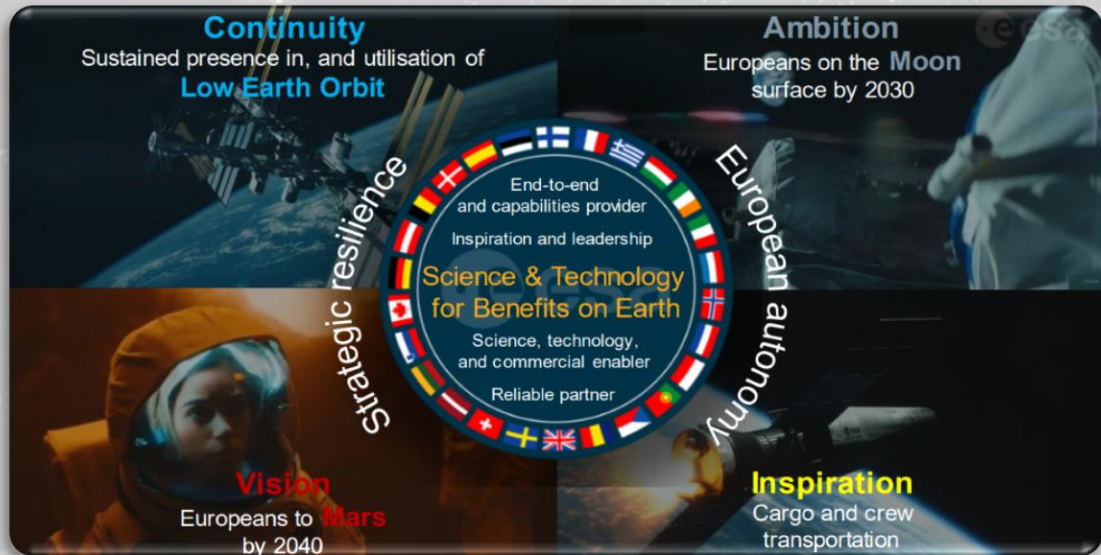
- ▶ 유인 달 착륙을 위한 중간 기착지 및 화성·심우주 탐사를 위한 거점기지
- ▶ 4명의 승무원이 거주할 수 있는 규모
- ▶ 각 모듈별로 유럽(ESA), 일본(JAXA), 미국의 민간기업(SpaceX 등)이 참여
- ▶ NRHO 라는 독특한 공전궤도를 채택 (Near-Rectilinear Halo Orbit)



출처: <https://www.nasa.gov/reference/gateway-about/>

02 주요 우주탐사 프로그램 - 유럽

테라 노바 (Terra Nova 2030+)

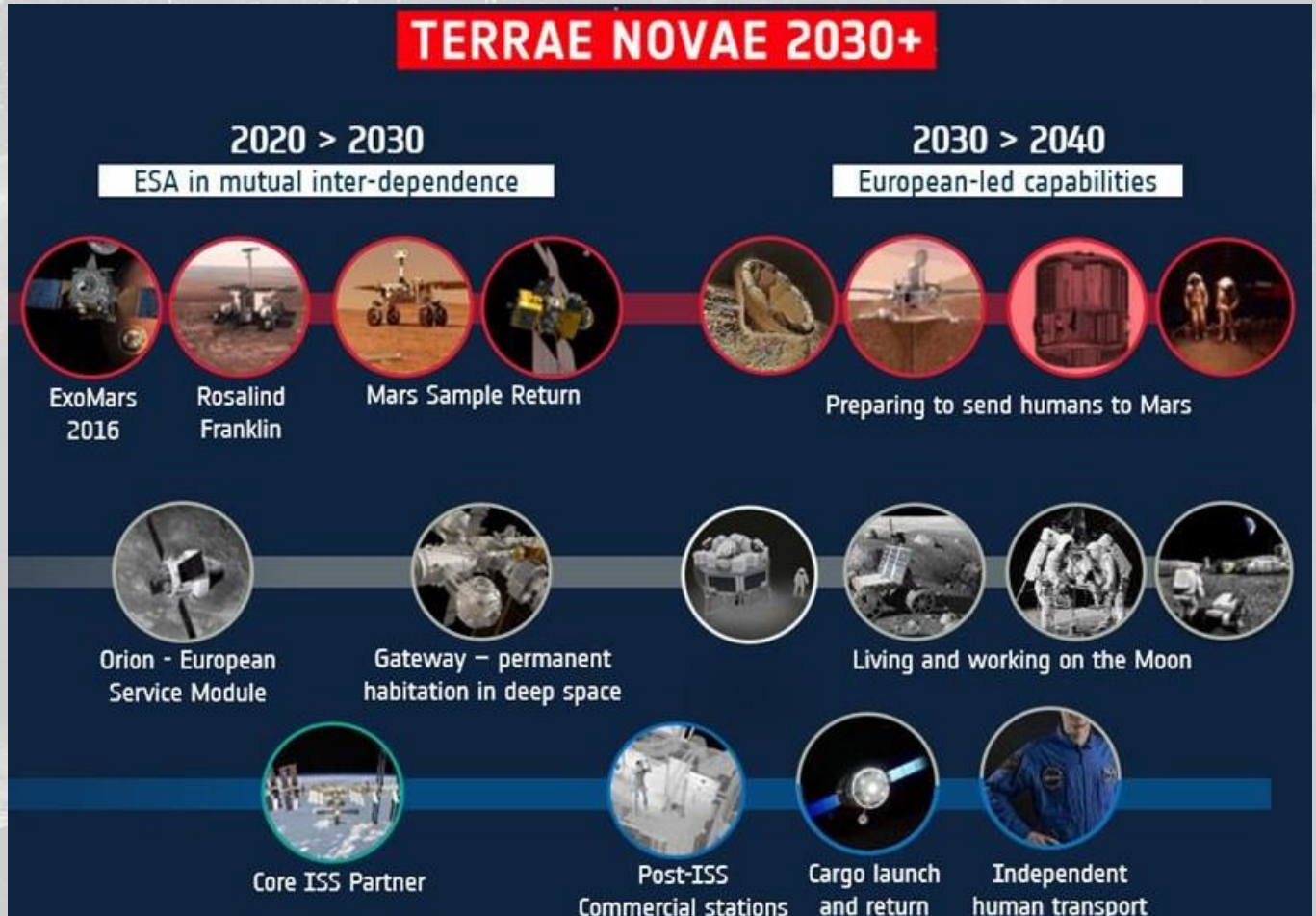


출처: Terra Nova 2030+ Strategy Roadmap

유럽 우주국(ESA)의 우주탐사를 확장하는 프로젝트로 'Terra Nova' 는 라틴어로 '새로운 세계'를 의미

지구저궤도, 달, 그리고 화성을 목적지로

- ▶ (지구저궤도) 국제우주정거장(ISS)의 지속 활용 및 저궤도(LEO)에서의 상업활동 수행
- ▶ (달) 루나 게이트웨이에 거주 모듈(I-Hab) 및 통신·주유 모듈(ESPIRT) 공급, '30년까지 달표면 유인탐사를 목표
- ▶ (화성) 러 연방 우주국(Roscosmos)과 화성탐사 프로그램 엑소마스(ExoMars) 추진 중, '40년 화성 유인 탐사 목표



출처: Terra Nova 2030+ Strategy Roadmap

03 주요 우주탐사 프로그램 - 중국

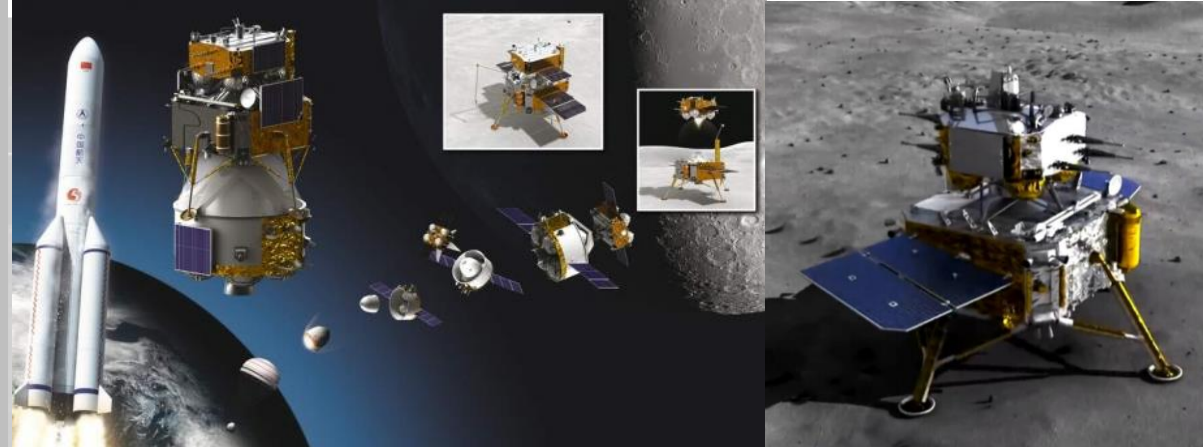
국가항천국

(國家航天局, China National Space Administration)

'30년까지 유인 달착륙을 목표로 하는 달 탐사 계획 발표
달 외에도 화성, 소행성, 목성 등 우주 탐사 계획 수립

창어 계획

Chinese Lunar Exploration Program (CLEP)



중국 최초의 달탐사 프로그램

- ▶ (창어1, 2호) 최초의 달 탐사 및 궤도 임무 수행
- ▶ (창어 3, 4호) 달 표면 착륙 후 무인 탐사차(로버) 투입 성공
- ▶ (창어 5, 6호) 달 표면 샘플 회수 후 지구 귀환 성공

출처: https://www.hani.co.kr/arti/international/international_general/1139217.html
(한겨레 신문, 중국 국가항천국 자료 재구성)



출처: <https://www.segye.com/newsView/20231004518929>(세계일보, 중국 국가우주국 자료 재구성)

우주정거장 및 화성 탐사 성과

- ▶ (우주정거장) 독자 기술로 개발한 텐궁 우주정거장 운영 중
- ▶ (화성) '21년 2월 텐원 1호의 화성 궤도 비행 및 착륙 성공에 이어 탐사 로버 투입 후 화성 표면 탐사 임무를 수행, 이는 미국/구소련에 이은 세계 3번째 화성 착륙 성공 사례임
- ▶ (목성) '29년 목성 탐사선 발사 계획 발표

04 주요 우주탐사 프로그램 – 일본, 인도

- (일본) JAXA(Japan Aerospace eXploration Agency) 주도로 루나 게이트웨이 참여 및 다수의 심우주 미션 계획
- (인도) ISRO(Indian Space Research Organisation) 의 화성탐사,달탐사 성과와 함께 심우주 탐사에 도전

일본

- 소행성 탐사에 독보적 성과



출처: JAXA

- ▶ (소행성) 하야부사 1호가 소행성 이토카와('10년), 2호가 류구('20년) 착륙 및 시료 채취 후 지구로 귀환
- ▶ (달) SLIM(Smart Lander for Investigating Moon)으로 세계 5번째 달착륙 성공('24년)

인도

- 달 착륙 성공을 기반으로 심우주 탐사에 도전



출처: ISRO

- ▶ (달) 찬드라얀 3호가 세계 최초로 달의 남극에 착륙 성공('23년) ※ 달착륙으로는 세계 4번째 기록
- ▶ (화성) 망갈리안 탐사선으로 화성 궤도 임무를 성공적으로 수행('14년)

05 국내 우주탐사 정책 및 추진 현황

<제 4차 우주개발진흥 기본계획('23~'27)>

5대 장기 우주개발 임무 중 첫 번째로 '우주탐사확대'를 선정, 우주경제영토 확장을 위한 독자적 우주탐사 계획 추진

- '32년 달착륙, '45년 화성 착륙을 핵심 목표로 제시
- 국제협력을 통한 유인·정거장·탐사기지 등의 전략적 추진



국내 우주탐사 성과

- 달궤도선 다누리의 성공적 임무 수행

- 감마선 분광기**
달 표면 자원탐사를 위한 감마선 분광측정
- 자기장측정기**
달 생성 원인 연구를 위한 달 주변 자기장 세기 측정
- 영구음영지역카메라**
달 극지방의 영구음영지역 고품질 영상 촬영
- 고해상도 카메라**
달 착륙선 착륙 후보지 탐색을 위한 영상 촬영
- 우주인터넷탑재체**
심우주탐사용 우주인터넷 시험
- 광시야 편광카메라**
달 표면 입자 및 우주선 영향 분석을 위한 편광영상 촬영

한국형 달 궤도선 다누리	자료 : 한국항공우주연구원
목표	달 궤도선 개발역량과 우주탐사 관련 기반기술 확보 및 검증
주관	과학기술정보통신부, 한국항공우주연구원
발사일	2022년 8월
임무기간	2023년 1~12월
투입 예산	약 2367억원
사업기간	2016년 1월 ~ 2023년 3월
임무 내용	달 궤도 안착, 6개의 장비를 활용해 한국형 달 착륙선 및 미국 아르테미스 유인착륙선 후보지 검색 등
총 중량	약 678kg
연료 중량	260kg
크기	1.78×2.09×2.24m
임무 수명	약 1년
운용궤도	달 궤도 100x100km, 경사각 90도

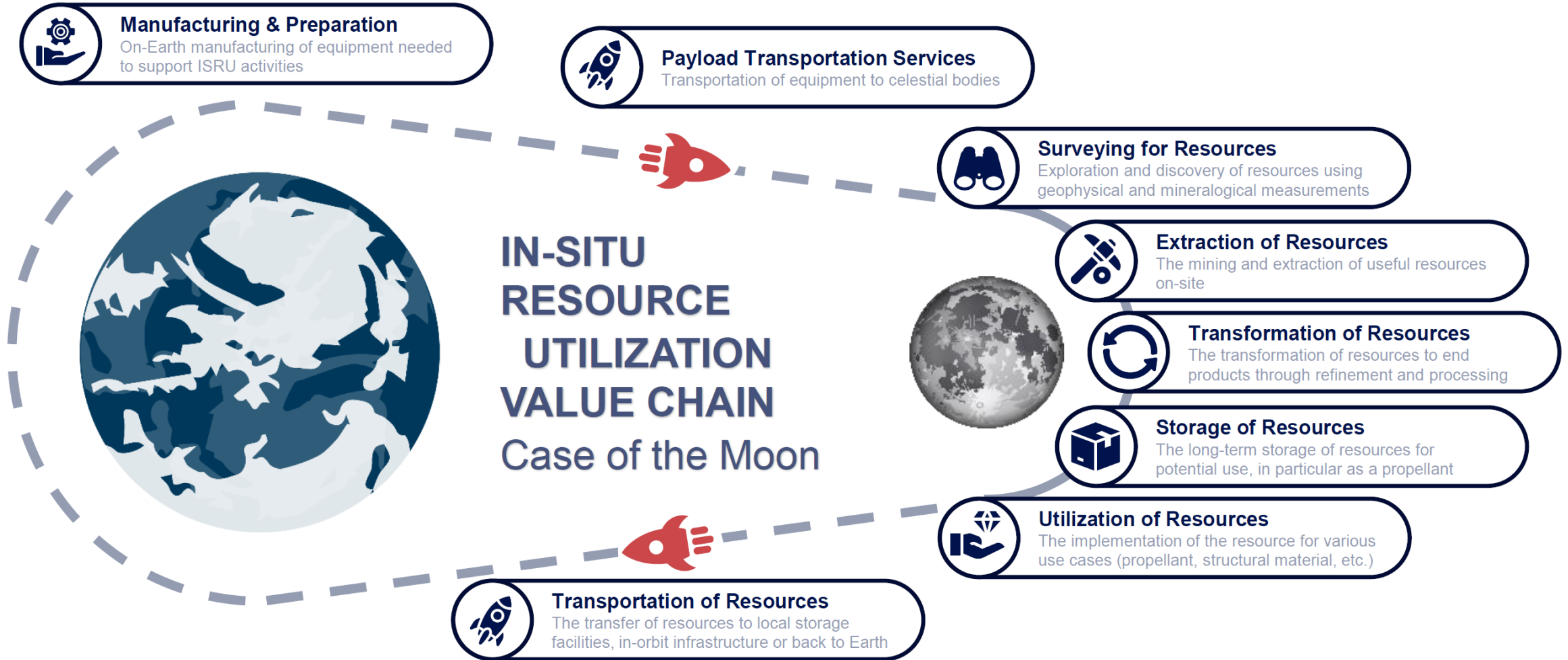
한국의 달탐사 프로젝트

- ▶ (달탐사 1단계) 최초의 달 궤도 임무 수행('22년)
- ▶ (달탐사 2단계) 최초의 달 착륙 임무 수행('32년)

출처: <https://www.fnnews.com/news/202212281821204541>

- 최근 우주항공청 개청('24년 5월)으로 2045년 세계 5대 우주 강국 실현을 위한 교두보 마련
- 장기적인 우주탐사의 비전과 계획을 담은 '우주탐사 로드맵' 발표 예정('24년 하반기)

우주 현지자원활용(In-Situ Resource Utilization, ISRU)





우리는 왜 달에 가야만 하는가?

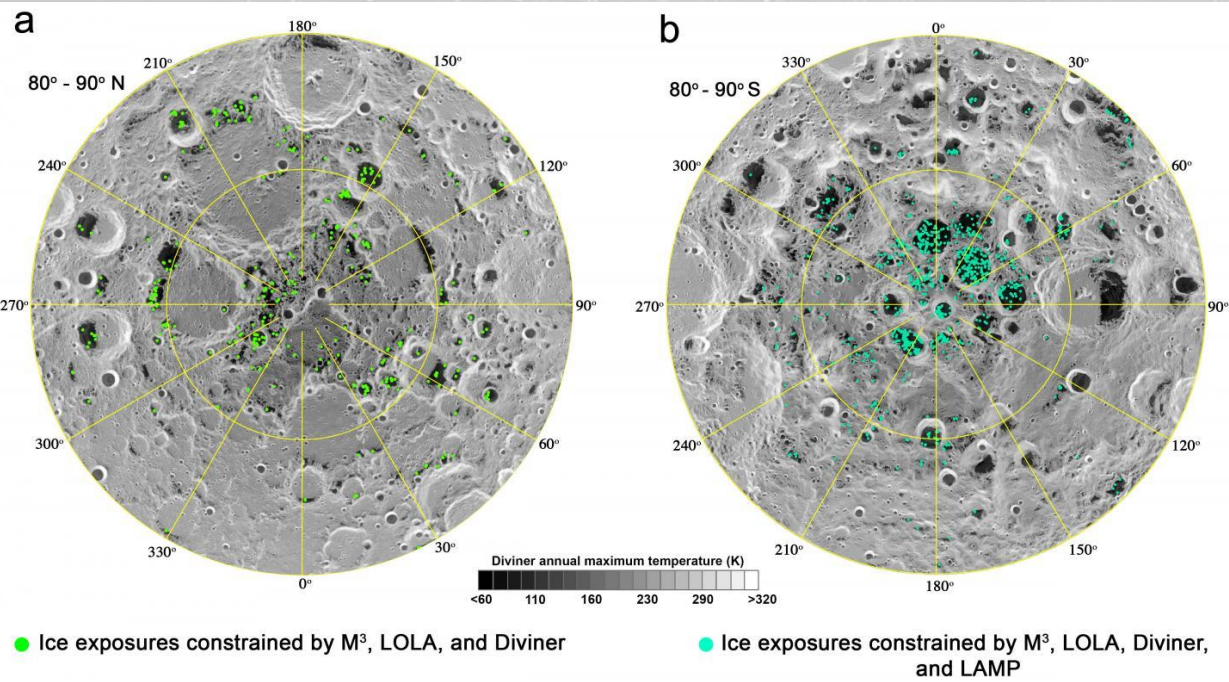
‘자원 과 거점기지’

& 인류의 이주 가능성 확인

출처: <https://www.sciencefocus.com/news/what-does-finding-water-on-the-moon-mean-for-the-future-of-space-exploration>

02 달 자원 탐사

물 : 달의 극 지역에 얼음형태로 존재하는 것으로 추정

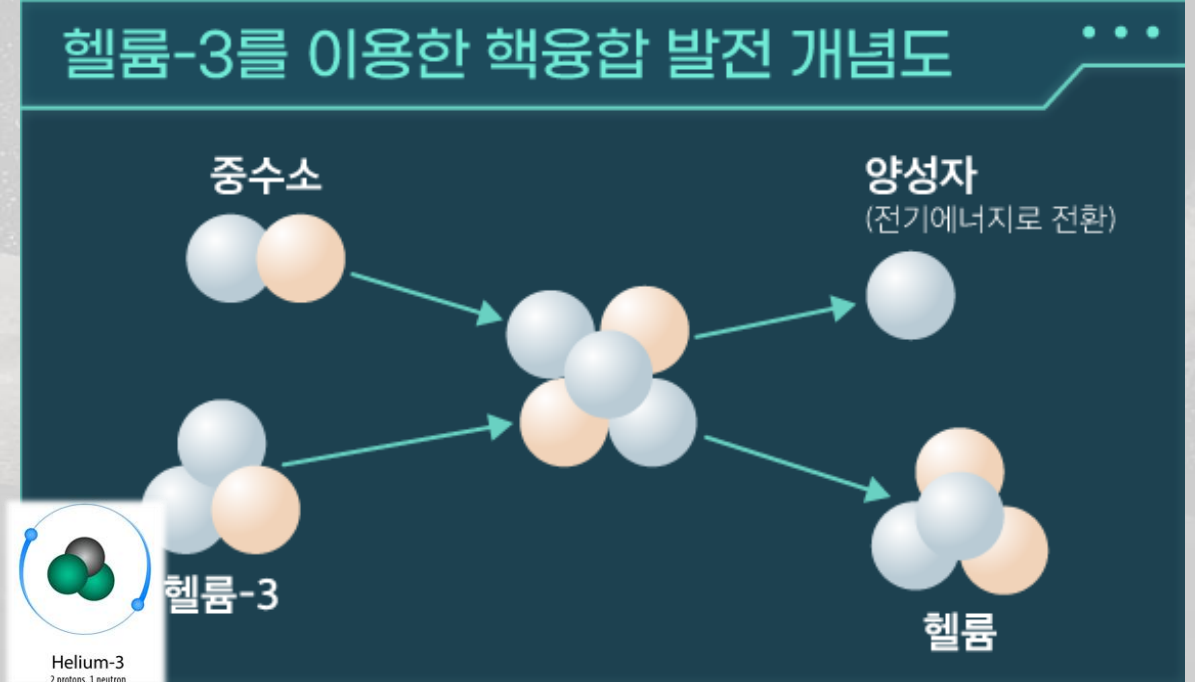


출처: <https://www.rdworldonline.com/scientists-discover-first-direct-evidence-of-surface-exposed-water-ice-on-the-moon>

〈장기적이고 지속가능한 우주탐사를 위한 필수핵심자원〉

- ▶ [무인기지] 로켓 연료, 열조정
- ▶ [유인기지] 생명유지, 식량생산, 방사선 보호

헬륨-3 : 달 표면에 많은 양이 존재하는 것으로 추정



출처: 한국핵융합에너지연구원

〈지속적인 에너지 생성을 위한 핵심자원〉

- ▶ 높은 에너지 효율 및 방사능 물질 미 배출
- ▶ 태양풍 입자로부터 지속적으로 축적되어 고갈 가능성 없음

02 달 자원 탐사

희토류 : 달의 극 지역에 상당량이 존재하는 것으로 추정



출처: <https://m.khan.co.kr/science/aerospace/article/201907282116005#c2b>

〈부가가치가 매우 높은 핵심자원〉

- ▶ 우주운석 등을 통해 유입되며 지구 대기 통과 중 대부분 연소되나, 대기가 없는 달의 경우 유실이 거의 없음
- ▶ 채산성 및 회수 비용을 고려한 경제성 확보가 관건

그 외 금속류 : 철, 알루미늄, 티타늄, 금, 백금 등 존재

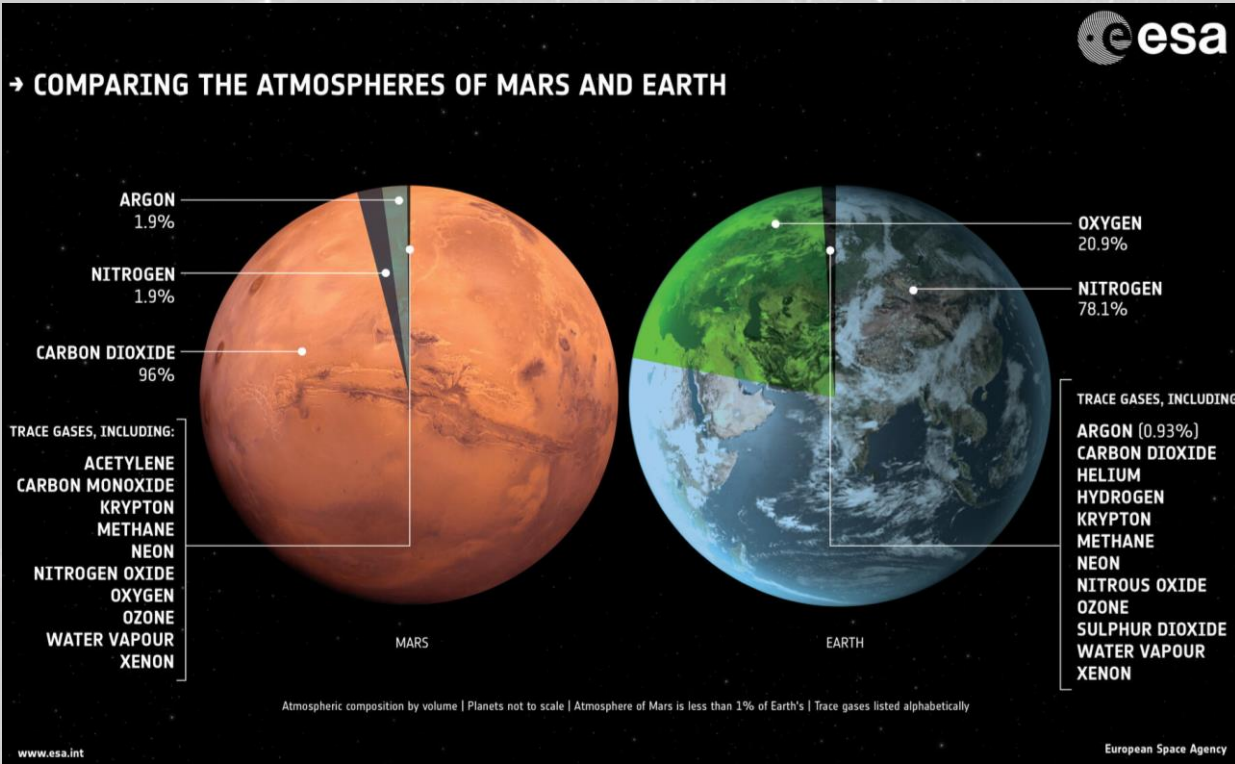
Compound	Formula	Mass fraction	
		Maria	Highland
Silica	SiO ₂	45.4%	45.5%
Alumina	Al ₂ O ₃	14.9%	24.0%
Lime	CaO	11.8%	15.9%
Iron(II)oxide	FeO	14.1%	5.9%
Magnesia	MgO	9.2%	7.5%
Titanium dioxide	TiO ₂	3.9%	0.6%
Sodium oxide	NaO	0.6%	0.6%

출처: 영문 위키피디아

〈현지 자원 활용을 위한 필수 자원〉

- ▶ 부가가치가 높은 희귀 금속의 경우 회수 방안도 고려 필요

화성으로의 이주 가능성은?



출처: <https://www.esa.net>

〈태양계에서 지구와 비교적 가장 유사한 행성〉

- ▶ 현재 진행 중인 화성탐사는 생명체 존재 여부 확인 중심
- ▶ 자원 채굴 보다 유인 거주 가능성 모색에 집중
- ▶ 행성 이주 대상 1호이나 수많은 기술적 난제 해결이 필요

화성의 활용 자원

물

- ▶ 유토피아 평원 지층 속 얼음층 존재 추정, 극지역 점토 광물에서 물 추출 가능성 있음

산소

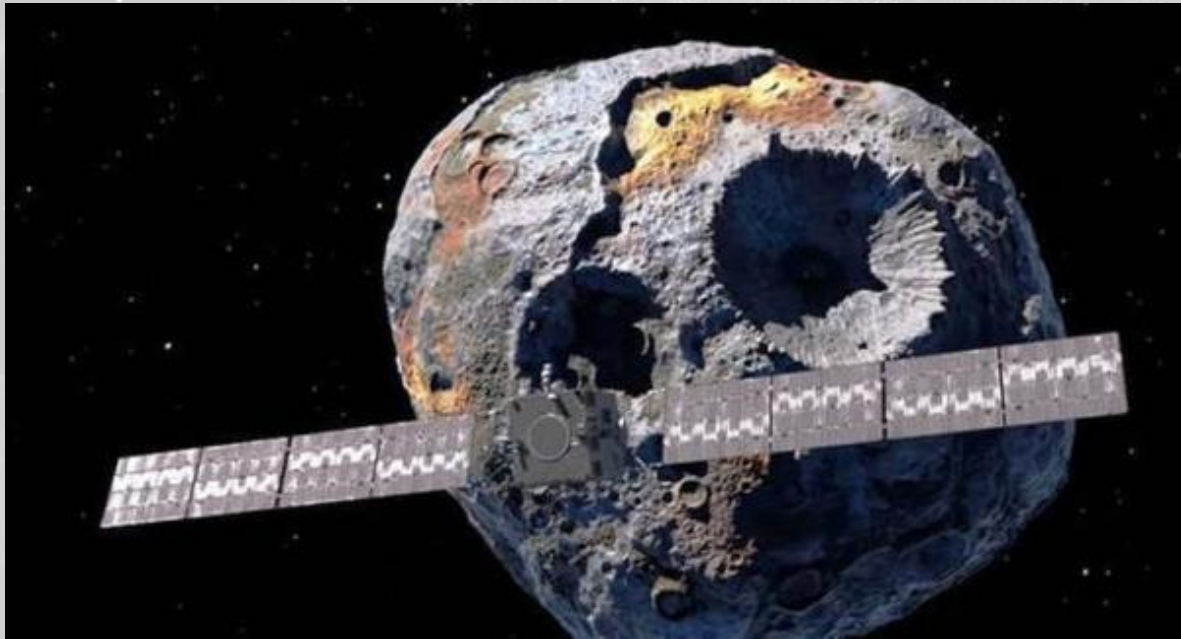
- ▶ 대기 중 이산화탄소로 부터 추출가능

기타 광물

- ▶ 현지 자원 활용을 위한 철·알루미늄·마그네슘 등 추출 가능성 모색

지구 근접 소행성 & 소행성대

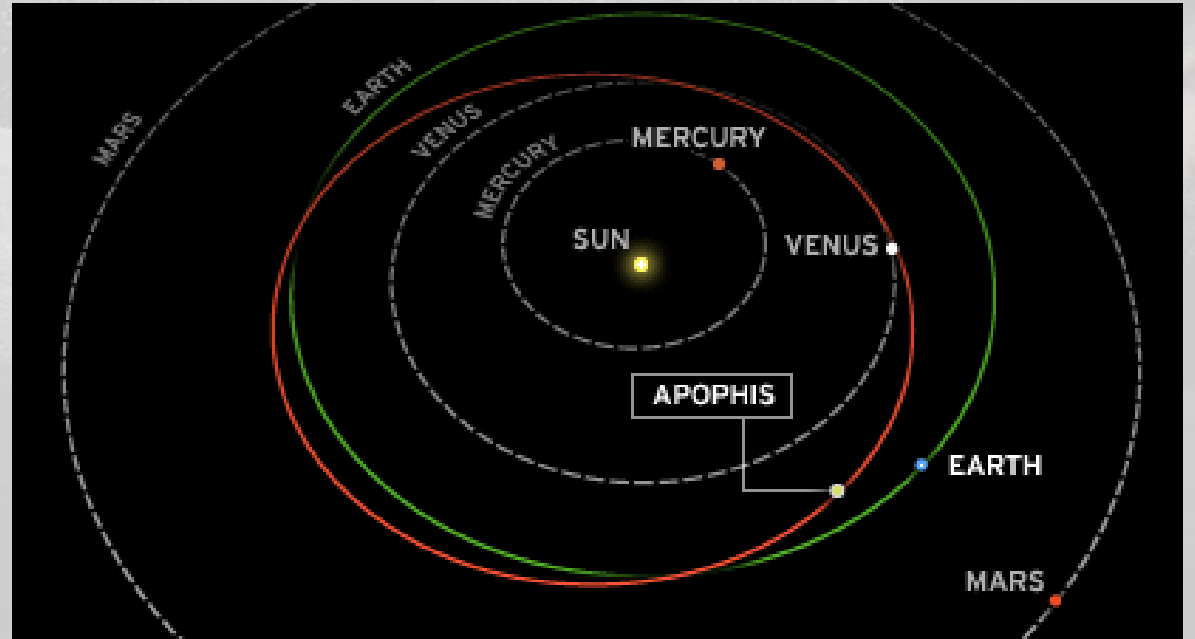
시기별로 지구에서 경제적으로 접근 가능한 소행성을 탐사 대상으로 선정
희소 가치가 높은 광물 자원 확보를 위한 채굴/운반 가능성·경제성 고려



출처: <https://nownews.seoul.co.kr>

〈소행성 프시케 탐사〉

- ▶ '23년 10월 발사, 화성 스윙바이를 거쳐 '29년 8월 도착 예정
- ▶ 철·니켈·금 등의 금속성 소행성(매우 높은 경제적 가치 추정)
- ▶ 자원 탐사(채굴)가 아닌, 행성 핵의 기원 탐구를 목적으로 추진



출처: https://www.daviddarling.info/images/Apophis_orbit.gif

〈소행성 아포피스 탐사〉

- ▶ '29년 4월경 지구 31,000km 까지 접근할 것으로 추정
- ▶ 미국(NASA), 유럽(ESA), 중국(국가항천국) 등이 탐사계획 발표

우주자원탐사의 미래

'...지구의 자원은 언젠가는 반드시 고갈된다'

- 우주자원탐사는 미래 지구 자원의 고갈에 대응할 수 있는 유일무이한 해결책
- 현재의 우주자원탐사 계획은 우주탐사영역을 확장하기 위한 현지자원활용(ISRU) 중심으로 진행 중
 - 달은 현지자원활용을 위한 필수 자원인 물, 에너지원이 상당량 존재하여 전략적 가치가 매우 높음
 - 우주자원의 지구로의 회수는 현지자원활용이 반드시 전제되어야 함(운반 비용 이슈 등)
- 희토류, 희귀금속 등 경제적 가치가 높은 우주자원의 경우 지구로의 회수를 위한 기술적 난제 극복 필요

국내 우주자원탐사의 발전을 위한 제언

- 막대한 비용이 발생하는 초장기 프로젝트이므로 장기적인 비전과 목표를 기반으로 지속적인 투자가 필요
 - 단기적 성과를 확인하기 어려운 영역이므로 지속적인 투자 유지를 위해서는 끊임없는 국민적 관심과 지지를 확보할 필요
- 대규모 국제 우주탐사 프로젝트에 적극적으로 참여하기 위한 국제협력 방안 마련 및 전략적인 접근 필요
 - 우주탐사 로드맵 수립 및 이에 근거한 장기적인 국제협력 전략 수립이 필요

미래 인류와 우주

미래 인류는 지구를 떠나서 살 수 있을까?

미래 인류는 지구에서 계속 살아갈 수 있을까?

