



융합연구리뷰

Convergence Research Review

융합기술

우주탐사의 역사, 현황, 정책 및 기술개발 동향
주광혁(연세대학교 인공위성시스템학과 교수)

융합정책

여성과학기술인법 개정을 통해 본 여성과학기술인 정책의 변화 방향
주혜정(한국과학기술기획평가원 연구위원)

CONTENTS

- 01** 편집자주
- 03** 우주탐사의 역사, 현황, 정책 및 기술개발 동향
- 33** 여성과학기술인법 개정을 통해 본 여성과학기술인 정책의 변화 방향

융합연구리뷰

Convergence Research Review

2024 November Vol.10 No.11

발행일 2024년 11월 27일

발행인 임혜원

발행처 한국과학기술연구원 미래융합전략센터
02792 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5
Tel. 02-958-4987 | <https://kist.re.kr/fcsc>

펴낸곳 공간기획 Tel. 044-863-0978

편집자주

우주로 향할 대한민국, 미래를 열어갈 융합기술

우주탐사의 역사는 인류의 과학적 탐구와 협력의 결실을 보여준다. 20세기 초, 기계의 힘으로 우주를 처음 관측한 순간부터 그 역사가 시작되었다. 이후, 미국과 소련의 냉전체제 하에서 우주탐사 경쟁이 촉발되었으며, 국제우주정거장과 아폴로 계획을 통해 우주탐사는 국제협력의 상징이 되었다. 21세기 들어, 아르테미스 계획은 지속 가능한 우주탐사를 지향하며 달 탐사와 화성 거주라는 목표를 세웠다. 이와 함께, 심우주 항법, 심우주 통신, 차세대 추진기술, 생명유지장치 및 현지 자원 활용 기술이 발전하였다.

우주탐사 기술에는 탐사선 설계, 우주발사체 기술, 심우주 탐사 및 인류의 생존 기술 등 다양한 분야의 융합이 필요하다. 본 호 기술리뷰에서는 각 기술의 발전 동향과 우주탐사를 실현하기 위한 주요 기술들에 대해 설명하며, 향후 우주탐사 성공을 위한 중요한 요소를 짚어본다.

대한민국은 우주항공청 출범 등으로 우주개발의 미래를 밝히고 있다. 그러나 여전히 정책적 비전과 다학제 연구 부족 등의 과제가 남아 있으며, 이를 효과적으로 풀어나가며 우주선진국으로 도약하길 기대한다.

우수인재 확보와 다양성 증진... 여성과학기술인 육성이 '핵심'

여성과학기술인법은 2002년 제정 이후 여러 차례 개정을 거쳐 여성과학기술인의 지위 향상과 역할 확대를 위한 정책적 토대를 마련해왔다. 특히 2012년과 2018년 개정에서는 경력 단절 지원 확대, 여성과학기술인 채용 촉진, 일·가정 양립 연구 환경 조성 등 실질적인 변화가 이루어졌다.

이 법의 핵심은 여성과학기술인이 능력을 발휘할 수 있도록 다양한 지원을 제공하며, 이를 통해 국가 과학 기술 발전에 기여하는 것이다. 매 5년마다 여성과학기술인 육성지원 기본계획이 추진되며, 최근에는 여성의 질적 성장과 글로벌 경쟁력 강화에 중점을 두고 있다.

본 호 정책리뷰에서는 여성과학기술인법과 그에 따른 정부의 여성과학기술인 육성 정책 동향에 대해 다룬다. 법과 기본계획의 변천 과정에서 성과를 진단하고, 해외 사례와 비교하여 우리나라 여성과학기술인의 지속가능한 성장을 위한 시사점을 도출한다.



융합연구리뷰
Convergence Research Review

2024 November Vol. 10

No. 11



융합기술

우주탐사의 역사, 현황, 정책 및 기술개발 동향

주 광 혁

연세대학교 인공위성시스템학과 교수

우주탐사의 역사, 현황, 정책 및 기술개발 동향

주 광 혁 (연세대학교 인공위성시스템학과 교수)

I. 우주탐사의 역사와 주요국 현황

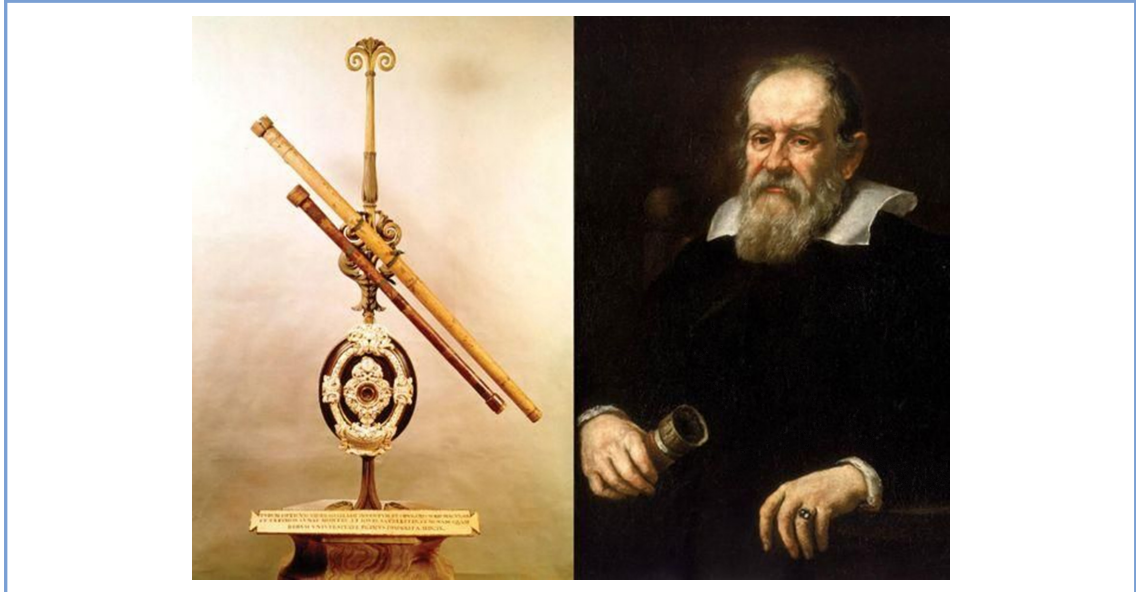
1959년 구 소련이 루나(Luna) 1호를 발사하여 달 착륙을 시도한 이래 달을 비롯한 지구 밖의 천체에 대한 우주탐사를 시작한 지 65년이 된 지금 인류는 아직 외계의 생명체는 발견하지 못하였으나 태양계의 거의 모든 행성을 근접거리에서 탐사하고 빠른 속도로 이동하는 혜성의 표면에 우주선을 착륙시키는 등 괄목할 만한 성과를 이룩하였다. 하지만 현재까지 사람이 외계에 착륙한 곳은 달 뿐이며, 미국의 아르테미스 계획을 비롯하여 여러 나라들이 자국민을 달 또는 화성에 보내 기지를 건설하고 생존할 수 있도록 하는 것을 목표로 우주탐사 경쟁에 각축전을 벌이고 있는 상황이다. 한편, 1990년대 초반에 우주개발을 시작한 우리나라는 정부주도로 수립된 수차례의 우주개발진흥 기본계획에서 달 탐사를 포함한 우주탐사계획을 선언하고 달 탐사 계획을 박근혜정부의 국정과제로 추진하여 2016년 초 공식적으로 달 탐사 프로그램을 시작하여 2022년 세계에서 7번째로 달탐사선을 보낸 나라가 되었다. 2024년 11월에는 우주청이 한국항공우주연구원과 협약을 맺고 한국의 달 착륙선 프로젝트를 공식 착수한 바 있다. 본 기고에서는 우주탐사를 위한 기반기술의 태동부터 뉴스페이스 시대로 대변되는 최근까지의 세계 우주탐사의 역사를 요약하고, 주요 선진국의 우주탐사 정책 및 우주탐사를 수행하기 위해 필요한 주요 핵심융합기술의 특징과 개발방향 등을 정리하였다. 우주탐사 연구개발을 통한 우리나라의 바람직한 미래상에 대한 제언을 덧붙이고자 한다.

1. 우주탐사기술의 태동

1608년 네덜란드의 안경제작업자였던 한스 리퍼쉐이(Hans Lippershey)는 자신이 제작한 렌즈의 성능을 확인하기 위해 볼록렌즈와 오목렌즈의 조합을 이용하여 주위 건물을 바라보다 렌즈간의 거리에 따라 사물이 확대되는 현상을 발견하고 이 원리를 적용하여 인류 최초의 망원경을 발명하고 특허로도 신청하게 된다. 1609년 파두아 대학의 수학교수였던 갈릴레오 갈릴레이(Galileo Galilei)는 공개된 망원경의 디자인을 개량하여 33배 이상의 확대 관측이 가능한 천체망원경(그림 1)을 발명하게 되었다. 천체망원경의 발명은 역사상 최초로 기계를 이용하여 우주를 관측하는 획기적인 전기를 마련하였으며, 갈릴레오의 실험적 연구를 통하여 사람의 눈으로만 보이던 달과 태양계 행성들이 오늘날 알려진 것과 같은 형상을 가졌을 뿐 아니라 태양을 중심으로 회전하며 제각기

다른 운동특성을 보유한다는 사실을 밝혀졌다. 이로 인해 코페르니쿠스, 케플러 등이 제안한 천체역학의 이론적 토대를 검증하는 데 결정적인 기여를 하였으며, 1500년 이상을 지배해오던 지구중심의 세계관(천동설)을 혁명적으로 교체하는 계기를 마련해 주었다. 갈릴레오가 천체망원경에 적용한 기술적 조합은 오늘날까지 천체망원경을 구성하는 원격관측 기술의 근간이 되고 있다. 이후, 20세기 초반에 와서야 로켓기술에서 우주여행의 원리에 이르기까지 이론적 체계가 수립되고 로켓 시제품이 개발되는 등 소련의 치올코프스키와 코롤로프, 독일의 오베르트와 V2 로켓개발을 선도한 폰브라운, 미국의 액체로켓의 선구자 고다드 등 민간인의 우주를 향한 꿈과 비전이 동기가 되어 세계 우주개발 역사의 서막이 열리게 된다.

그림 1. 갈릴레오의 천체망원경

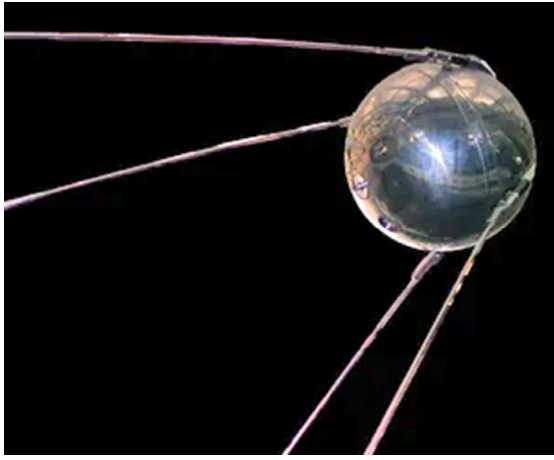


* 출처: wikipedia, Science Museum, London

2. 우주시대의 개막: 미·소 양국의 우주탐사 경쟁

1957년 구 소련의 스푸트닉(Sputnik)(그림 2) 발사를 계기로 시작된 미·소간의 우주탐사 경쟁은 1960년대 들어 달 탐사 경쟁으로 가속화되었다. 미국이 발사한 최초의 달탐사선 파이어니어(Pioneer) 0호가 실패한 반면, 소련은 인류 최초의 달 탐사선인 루나 1호(그림 3)를 발사하여 달 근접비행에 성공하였을 뿐 아니라 루나 3호를 통해 인류 최초로 달의 뒷면을 촬영하는데 성공한다. 소련의 무인 달 탐사선 루나 9호는 미국의 서베이어(Surveyor) 1호(그림 4)보다 앞서 세계 최초로 달 착륙을 하게 된다.

그림 2. 세계최초의 인공위성 Sputnik 1호



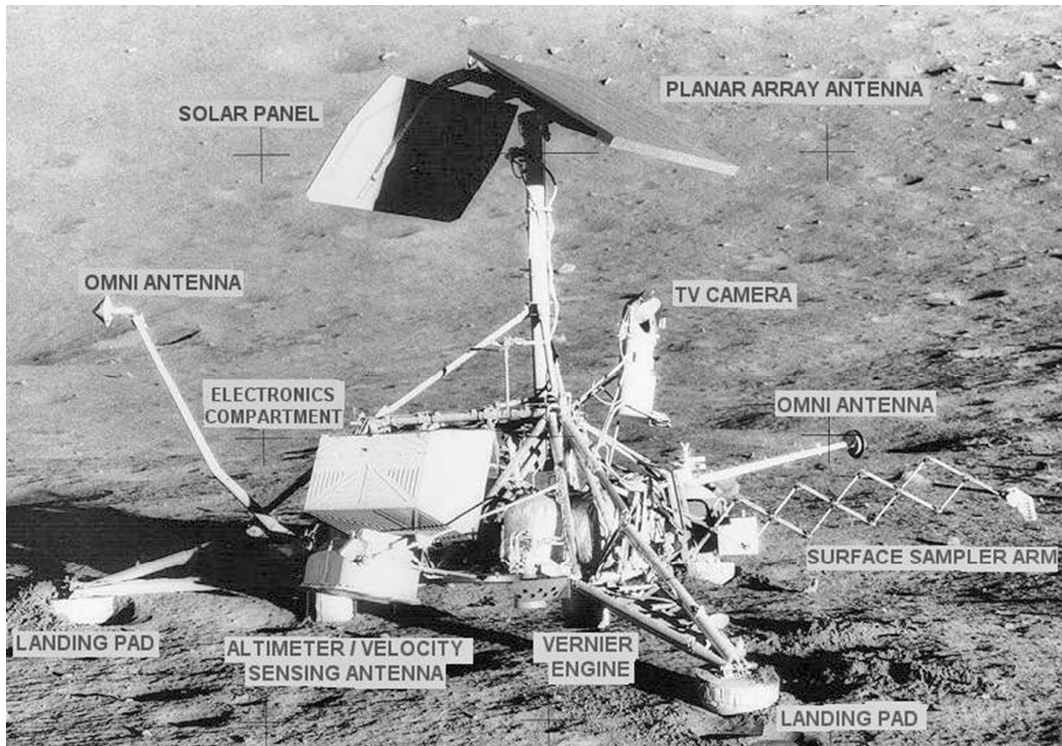
* 출처: Britannica

그림 3. 최초의 달탐사선 루나 1호



* 출처: Britannica

그림 4. 미국 최초 달착륙선 Surveyor



* 출처: NASA

미국은 달 탐사 및 우주비행분야에서 선두경쟁에서 뒤지는 상황이 계속되자 기술을 통한 냉전체제 우위 확보와 국내 정치적 상황의 극복을 위해 현재 화폐가치로 345조에 가까운 예산을 투입한 유인 달탐사 계획인 아폴로

프로그램을 실행하고, 1969년에 인류 최초로 유인 달 착륙에 성공한 이래, 아폴로 11호에서 17호까지 총 12명의 우주인을 달에 착륙하게 하고 엄청난 산업적 사회적 파급을 가져오는 성과를 거두게 된다. 한편, 소련은 유인 달탐사를 포기하는 대신 무인 달 탐사와 우주정거장 개발로 대미 우주경쟁을 지속하게 된다.

1960년대부터 미·소 양국은 태양계 행성탐사도 병행하여 추진하였다. 소련이 프로톤로켓과 소유즈탐사선을 이용해 발사한 존드(Zond) 시리즈중 1호는 금성을, 존드 2호 및 3호는 화성을 Flyby하였다. 화성탐사를 먼저 시도한 소련은 650kg의 무인 탐사선 마즈(Mars) 1M 2기를 '60년에 발사하였으나 궤도진입에는 실패하였다. 이후에도 수차례의 실패를 거쳐 궤도선과 착륙선이 복합적으로 설계된 마즈 2,3호(1971)가 궤도진입은 성공하나 마즈 3호 착륙선만 화성표면에 착륙성공 후 교신이 두절된다. 이후 발사된 마즈 시리즈를 4기도 모두 임무를 완수하지 못하였다. 한편, 소련은 금성에도 무인탐사선 베네라(Venera) 시리즈를 1965년부터 발사해 궤도관측과 착륙을 시도하였으나 실패를 거듭하다가 1970년부터 1981년 사이에 발사된 착륙선 베네라 7호부터 베네라 14호까지 모두 임무에 성공하게 된다. 베네라 7호는 금성표면에 착륙, 23분 동안 지구로 관측데이터를 전송함으로써, 외계행성에 착륙하여 지구로 데이터를 전송한 첫 탐사선으로 기록되었다.

반면, 미국은 1962년부터 1973년까지 수성, 금성, 화성을 탐사하는 마리너(Mariner) 계획을 수립, 10기의 탐사선을 보낸 바 있으며, 7기가 성공리에 임무를 완수하였다. 1962년에 발사된 마리너 2호는 다른 행성에 처음으로 flyby한 탐사선이 되었으며, 마리너 4호는 최초의 화성 flyby를 달성하였다. 1972년에 승인된 Mariner Jupiter-Saturn 계획은 여러 기의 탐사선으로 지구바깥궤도상의 모든 행성을 거쳐 가는 것을 목적으로 제안되었다. 1977년 발사 직전에 명칭을 변경, 보이저(Voyager) 1, 2호를 발사하게 된다. 보이저 1, 2호는 행성탐사 도중에 흑사라도 만나게 될 외계 생명체에 지구의 역사와 문화 및 생명체의 다양성의 기록을 담고 있는 'Golden Record'를 탑재하였다. 현재 보이저 1,2호는 태양계를 벗어나 성간(Inter-Stellar)지역을 비행하고 있으며 인류가 만든 인공물체가 태양계를 벗어난 첫 사례로 기록되었다.

파이어니어(Pioneer) 프로그램도 1958년부터 발사한 파이어니어 0호를 필두로 달 탐사를 포함하여 미국이 주도한 행성탐사 계획이었다. 많은 실패를 거듭한 후에 1960년 발사된 파이어니어 5호는 지구와 금성간의 행성 간 우주를 관측, 행성간 자기장의 존재를 확인하였다. 이어서 1965년부터 발사된 파이어니어 6-9호 (총 4기)는 지구와 태양사이의 궤도를 지나며, 우주기상을 관측하는 네트워크형 탐사선이었으며, 1972년과 1973년에 각각 발사된 미국의 파이어니어 10호와 11호는 각각 목성과 토성을 flyby한 최초의 탐사선이 되었다.

3. 우주정거장과 우주왕복선을 통한 유인탐사

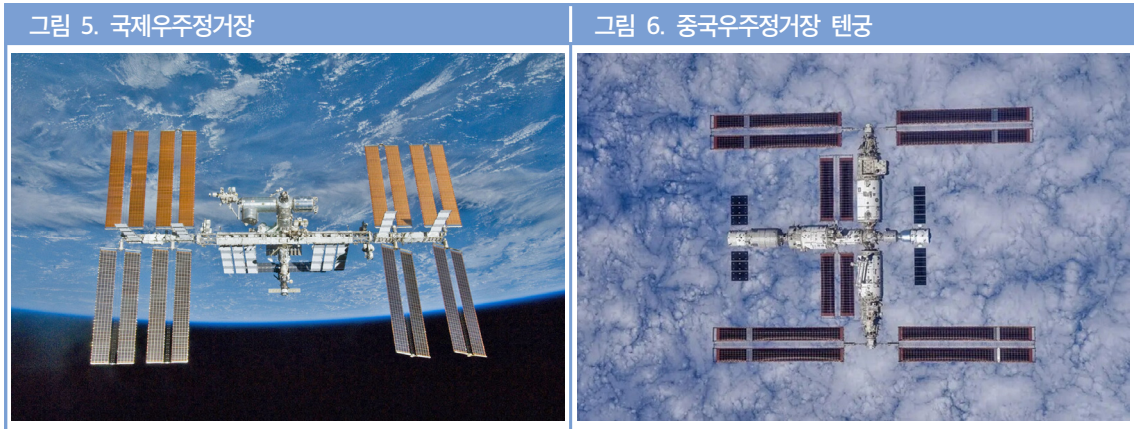
1960년대 우주개발 초기 루나시리즈의 개발을 통한 무인 달탐사에 집중하던 소련은 유인 달탐사를 추진하지 않는 대신 1970년대 들어 소형 우주정거장 건설을 통해 유인 우주탐사의 기반을 마련하고자 하였다. 최초의 우주정거장 살루트 1을 1971년 4월 발사한 이래 1980년대 중반까지 9개의 우주정거장을 발사하여 지구 저궤도상의 유인 우주활동을 이어 나간다. 반면, 미국의 닉슨 행정부는 아폴로 계획의 정지를 결정했지만 지구 저궤도에서의 유인 우주활동의 기반이 되는 아폴로-소유즈 도킹실험, 미국 최초의 우주정거장 스키어립 및

우주왕복선(Space Shuttle) 프로그램 등을 착수하였다. 아폴로 계획에 사용되었던 Saturn로켓시리즈를 이용, 1973년에 우주정거장 스키퍼를 발사하여 1979년까지 운영하면서 미국 우주비행사의 우주거주를 지구 저궤도로 연장하게 된다. 소련과 미국이 건설한 단일 모듈형 우주정거장 살루트 및 스키퍼의 운영을 통해 추후 소련의 다중모듈형 우주정거장 미르(Mir)와 국제우주정거장 건설과 운영의 경험을 축적하게 된다.

1970년대 유류파동을 겪으면서, 경제적인 우주개발을 지향하였던 NASA는 1970년대 후반의 유인우주 분야 활동으로 우주왕복선의 개발에 집중하여 레이건 행정부시절인 1981년부터 공식 운영에 착수하여 우주인 운송뿐 아니라 과학 및 안보위성의 발사에도 활용하였다. 미국의 우주왕복선은 총 5기가 제작되어 1980년 초반부터 30여 년간 130회 이상의 유인수송업무를 수행하였으나, 챌린저호와 컬럼비아호가 각각 임무수행 중에 폭발하는 사고로 승무원 전원이 사망하게 된다. 평균 발사비용이 13억 달러에 이르는 것으로 추산되어 발사비용을 줄이겠다는 목표를 달성하지 못한데다 거듭되는 사고와 고장으로 안전성이 보장되지 못한다는 판단하에 2011년 7월 21일 퇴역하였다.

우주왕복선의 성공적인 운영을 기반으로 1984년 레이건 대통령은 국제우주정거장(International Space Station, ISS) 프로그램의 착수를 승인하였으나 천문학적인 소요예산과 타분야 연구자 및 정부기관의 반대로 인하여 1998년에 이르러서야 ISS의 건설이 본격화되어 유럽, 러시아, 일본, 캐나다가 공동으로 투자하여 2011년에 건설이 완성되었으며 바이든 정부에서는 2030년까지 공식운영할 것으로 공표한 바 있다. 미 의회에 제출된 보고서에 따르면 ISS는 2031년 1월 지구 대기권에 재진입해 불타며 잔해는 '우주선들의 무덤'으로 불리는 남태평양의 섬 '니모 포인트(Point Nemo) 부근에 떨어져 수장될 예정이다. ISS는 2010년 기준으로 1500억 달러(약 180조원)에 이르는 총 비용이 투입되어 지금까지 건설된 단일 구조물 중 가장 비싼 구조물로 알려져 있다. 지구 저궤도 400km고도를 운행하면서 유인우주탐사의 전진기지이자 우주과학실험의 요람이 되었던 ISS는 이제는 국가주도의 우주정거장이 퇴역하고 민간 주도의 우주정거장 건설계획이 현실화되고 있는 실정이다.

한편, 중국은 독자적으로 우주정거장 건설계획을 수립하여 2011년에 텐궁의 건설에 착수, 1차 폐기한 바 있으며, 2021년 4월 텐허 발사로 시작된 우주정거장 텐궁 2단계 건설을 위한 11차례의 발사 임무가 1년 7개월만에 모두 마무리되고 현재 운영중이다.



* 출처: NASA

* 출처: 중국유인우주국

4. 달탐사 러시 및 우주탐사 영역확장시대

'14년 혜성탐사선 '로제타'를 지구로 근접하는 혜성에 보내는데 성공한 유럽은 이미 2000년에 '오로라(Aurora)' 계획을 수립하여 2020년대에 유인달탐사, 2030년대에 유인 화성탐사를 이룬다는 목표로 우주탐사 계획을 수행하고 있다. 이와 병행하여 'Cosmic Vision 2015-2025'을 수립하여 우주과학을 통한 과학적 발견과 소행성 탐사, 태양탐사 등의 프로젝트도 진행하고 있다. 인도도 최근 화성탐사선 '망갈리안'을 발사하였으며 달 착륙선 '찬드라얀 3호'를 성공리에 발사하여 착륙시킨 바 있다. 중국은 이미 7기의 무인 달 탐사선을 보냈으며 차여 4호(착륙선)와 5호(샘플귀환선)를 성공시킨 것은 물론 한번 실패한 화성탐사선의 재도전도 준비하고 있는 것으로 알려져 있다. 중국과 일본, 러시아 등도 모두 2030년대 유인 달탐사의 목표를 표방하며 무인 달 착륙선 시리즈의 개발에 집중하고 있다. 일본은 신기술 접목을 통한 금성, 소행성 등의 탐사를 이미 도전하여 세계의 이목을 집중시킨 바 있으며 각기 다른 소행성에 하야부사-1, 2를 통해 소행성 샘플을 채취하여 귀환하는 성과를 올려 우주탐사 강국으로의 위상을 재확인하였다.

표 1. 세계 우주탐사의 주요 연혁 및 성과

구분	탐사선	국가	유무인	발사일	주요 성과
지구	Vostok-1	소련	유인	1961.4.12	세계 최초의 유인 우주비행 성공
	Friendship-7	미국	유인	1962.2.20	미국 최초의 유인 궤도비행 성공
	Salyut-1	소련	유인	1971.4.19	세계 최초의 우주정거장
	Skylab-1	미국	유인	1973.5.14	미국 최초의 우주정거장
	Space Shuttle	미국	유인	1981.4.12	우주왕복선 컬럼비아호 최초 발사
	Mir	소련	유인	1986.2.19	세계 최초의 복합모듈형 우주정거장
	Space Shuttle	미국	유인	2011.7.21	우주왕복선 공식 퇴역
	ISS	국제	유인	1999-현재	세계 유일의 국제협력 우주정거장
	텐궁	중국	유인	2011.9.29	중국 최초의 우주정거장 발사
	Crew Dragon	미국	유인	2020.5.30	최초의 민간 유인우주선발사-ISS 도킹(5.31)
	Crew Dragon	미국	유인	2024.9.12	세계 최초의 민간인 첫 우주유영 성공

구분	탐사선	국가	유무인	발사일	주요 성과
달	Luna-1	소련	무인	1959.1.2	세계 최초 달 근접 비행
	Luna-9	소련	무인	1966.1.3	세계 최초 달 표면 착륙
	Luna-16	소련	무인	1970.9.13	세계 최초 달 샘플 채취 및 귀환
	Surveyor-1	미국	무인	1966.5.30	미국 최초 달 표면 착륙
	Apollo-11	미국	유인	1969.7.16	세계 최초 유인 달 착륙(1969.7.20.)
	Chandrayaan-1	인도	무인	2008.10.22	인도 최초의 달 탐사선, 극지방 물 발견
	SELENE	일본	무인	2007.9.14	일본 최초의 달 탐사선
	창어-4	중국	무인	2018.12.7	세계 최초 달 뒷면 착륙
	창어-5	중국	무인	2020.11.24	중국 최초 달 샘플 귀환(세계 3번째 국가)
	다누리(KPLO)	한국	무인	2022.8.5	대한민국 최초 달 탐사선(궤도선)
	SLIM	일본	무인	2023.9.7	일본 최초 무인 달 착륙
	IM-1	미국	무인	2024.2.15	세계 최초 민간 달 착륙 성공
	Lunar Gateway	국제	유인	2026-	세계 최초의 달 우주정거장
	화성	Mars-1	소련	무인	1962.11.1
Mariner-4		미국	무인	1964.11.28	미국 최초 화성근접비행(최초 화성사진 전송)
Mars-3		소련	무인	1971.5.28	세계 최초 화성 표면 착륙 성공 (1971.12.2.착륙.)
Mariner-8		미국	무인	1971.5.30	미국 최초 화성궤도 진입(1971.11.13.)
Viking-1		미국	무인	1975.8.20	미국 최초 화성 표면 착륙 성공 (1976.7.20.)
Mars Pathfinder		미국	무인	1996.12.4	세계 최초 화성탐사 로버 표면 착륙 (물 존재 확인, 규산염, 유황 발견)
Mars Odyssey		미국	무인	2001.4.7	화성 물 지도 작성
Mars Express		유럽	무인	2003.6.2	유럽 최초 화성탐사선 (메탄 발견)
MRO		미국	무인	2005.8.12	화성 물 지도 작성
MSL/Curiosity		미국	무인	2011.11.26	화성 물 흔적, 메탄, 철, 마그네슘 발견
망갈리안		인도	무인	2013.11.5	인도 최초 화성 탐사선(2014.9.24. 아시아 최초 궤도진입성공)
Amal (Hope Probe)		UAE	무인	2020.7.19	아랍권 최초 화성탐사선(궤도진입 성공 세계 5번째)
텐윈-1		중국	무인	2020.7.23	중국 최초 화성 표면 로버 착륙 성공(2021.5.15.)
Mars2020/Perseverance		미국	무인	2020.7.30	화성대기에서 산소추출 성공
소행성/ 혜성	Hayabusa-1	일본	무인	2003/2010	소행성 이토카와(S형) 샘플 채취/귀환 운석과 동일한 성분 발견
	Hayabusa-2	일본	무인	2014/2020	소행성 류구(C형)의 샘플 채취/귀환 물방울과 유기물, RNA구성물질 발견 세계 최초 소행성 탐사로버 착륙
	ROSETTA	유럽	무인	2004.3.2	세계 최초 혜성 착륙선
	DAWN	미국	무인	2007.9.27	소행성대에서 가장 질량이 큰 두 물체인 소행성 베스타와 왜행성 세레스를 탐사, NASA최초 이온엔진이용 궤도진입
	OSIRIS-REx	미국	무인	2016/2023	소행성 베누(C형)의 샘플 채취/귀환
	Psyche	미국	무인	2023.10.13	세계 최초 금속형 소행성 16Psyche(M형) 침층 탐사

5. 뉴스페이스 시대의 민간주도 우주탐사

5.1. 뉴스페이스(New Space) 시대의 도래

2000년대 들어 정부와 대기업주도의 우주개발 생태계에서 탈피하여 민간과 중소기업까지 확대되면서 우주탐사를 포함, 우주산업 생태계에 의미 있고 혁신적인 변화가 일어나고 있다. 소위 뉴스페이스(New Space)로 불리우는데, 발사체와 위성 분야의 기술혁신 그리고 산업의 융합으로 우주산업 진입장벽이 낮아지면서 민간투자와 새로운 우주서비스 시장이 폭발적으로 증가하고 있는 현상으로 요약된다.¹⁾ 즉, 뉴스페이스는 민간우주관광과 민간우주탐사, 우주자원채굴, 발사체의 재사용, 소형위성의 군집화, 우주 폐기물 처리 등 상업적 성공가능성에 기반한 새로운 비즈니스 모델로 우주개발의 패러다임 전환을 가져다주어 우주란 공간을 누구에게나 접근가능하고 지속가능한 영역으로 변모시키려는 열망이 구체화된 시대를 의미한다고 할 수 있다.

5.2. 민간우주탐사와 민간우주여행

2020년 5월 30일(미국현지시간) 스페이스X가 미국 플로리다주 케네디 우주센터에서 2명의 NASA 우주비행사를 국제우주정거장으로 이송하기 위한 유인 우주선 ‘크루 드래곤(Crew Dragon)’을 성공리에 발사하였다. 이는 1961년 구소련이 최초의 우주비행사인 유리 가가린을 태운 유인 우주선 ‘보스토크(Vostok)’를 발사한지 60년 만에 인류 역사상 최초의 민간 유인 우주선 시대를 개막한 기념비적인 일로 기록되었으며 국제우주정거장으로의 운송은 모두 민간에게 맡기기로 한 NASA의 Commercial Crew Program(CCP)에 따라 스페이스X는 NASA와 약 3조원대의 운송계약을 한 것으로 알려졌다. 이후 한차례 더 4명의 우주비행사를 유인우주선 리질리언스(Resilience)를 통해 국제우주정거장에 성공리에 운송하고 있다.

2024년 9월 23일 우주탐사기업 SpaceX의 CEO 일론 머스크는 소셜미디어 X를 통해 향후 2년내에 사람이 탑승하지 않은 스타쉽(Starship)을 화성으로 5회 발사하겠다고 선언하였다. 스타쉽을 이용한 무인화성 탐사임무는 궁극적으로 화성에 사람을 보내겠다는 그의 큰 비전의 일부이며 화성탐사선이 사람을 화성에 무사히 착륙시키기 위한 시험비행의 일환으로 이루어 질 예정이다. 이 시험비행 선언의 직접적인 배경에는 2023년부터 시작된 스타쉽의 네 번째 시험발사시도에서 하단을 구성하고 있는 팰컨 헤비로켓의 1단이 성공적으로 귀환하자마자 일론 머스크의 선언이 나왔으며 그 이후 한달간격으로 진행된 5차 6차 시험발사에도 재사용 성공을 거두어 화성시험비행의 실행가능성을 한층 더 높여주고 있다.

1) 안형준 외, 과학기술정책연구원 정책연구 2019-20, “뉴스페이스(New Space) 시대, 국내우주산업 현황 진단과 정책대응, p.23, 2019.

그림 7. 스타쉽 5차 시험발사시 부스터 귀환 장면



* 출처: SpaceX

6. 초소형위성을 이용한 우주탐사 동향

큐브위성이 처음으로 개발된 이후 지난 20여년간 대학이 위성개발의 새로운 주체로 부상함과 동시에 다양한 기관에서 과학연구 및 기술검증의 목적으로 1000기 이상의 개발이 진행되어 왔으나 지구저궤도(LEO)에 국한되어 발사가 진행되어 온 한계를 가지고 있었다. 큐브위성을 포함한 초소형위성이 태양계를 탐사하는데 어려움을 주는 제약요소 중 하나는 서브시스템, 가용한 전력, 심우주통신을 위한 충분한 크기의 RF장비 등의 사이즈 조건(size constraint)이라 할 수 있겠다²⁾. 초소형위성을 이용한 달탐사나 심우주탐사에서는 항법이나 심우주 운영 또한 도전적인 과제이다. 태양계에서 이미 알려진 태양계 행성과 위성을 제외하고 태양계에 존재하는 소행성은 화성과 목성사이의 소행성 벨트와 해양성 근처의 카이퍼(Kuiper) 벨트에 많이 분포하고 있다고 알려져 있는데 80만개가 넘는 (2019년 기준) 소행성은 태양계의 기원과 자원발굴, 지구방어 등에 대한 과학적, 경제적, 전략적 관심이 높아지면서 증가하는 소행성 탐사에 대한 과학계의 요구에 대한 대안으로 초소형위성이 주목받고 있는 실정이다.

초소형위성을 이용하여 심우주탐사 임무를 수행한 최초의 사례는 2014년에 하야부사-2와 함께 발사된 일본 도쿄대학이 개발한 소행성 탐사선 PROCYON이다. PROCYON은 50kg급의 초소형 탐사선으로 하야부사 2호가 정상작동한 것을 확인 후 분리되어 목표 소행성인 2000 DP 107을 향해 가다가 전력 절약을 위해 이온

2) N. Chahat et al., "A Review of CubeSat Antennas: From Low Earth Orbit to Deep Space," IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2019.

엔진의 가동을 잠시 중단하였다가 재시동이 되지 않았고 이후 통신재개가 불가능해져서 실패로 결론지어진 탐사선이다. NASA는 심우주탐사에 있어 초소형위성의 중요성을 직시하고 2016년부터 초소형위성을 심우주탐사에 활용하는 연구지원사업인 PSDS3 (Planetary Science Deep Space SmallSat Study) 프로그램을 도입하게 된다. 2018년에 성공리에 발사된 최초의 심우주탐사용 큐브위성 MarCO (Mars Cube One)는 전개형 X밴드 ReflectArray와 Iris 트랜스폰더를 탑재하여 지구로부터 ~1AU 가량 떨어진 거리에서 실시간으로 NASA의 화성착륙선 InSight가 화성에 진입하고 착륙하기까지의 텔레메트리 데이터를 전송하는 임무를 수행한 바 있다. 또한 2022년에 아르테미스 1호 발사에 Orion 탐사선과 별도로 SLS 상단 어댑터에 장착되어 ArgoMoon, NEA Scout 등 10개의 초소형위성이 달로 가는 궤적에 발사된 바 있으며 MarCO와 같은 큐브위성용 심우주 통신장비를 사용한 것으로 알려진 바 있다. 이와 같이 NASA JPL(Jet Propulsion Laboratory) 등을 중심으로 개발해 온 심우주탐사를 위한 RF통신 전용장비들을 통해 큐브위성을 활용한 심우주 탐사의 범위와 역할이 점차 증가일로에 있다.

표 2. 큐브위성기반의 주요 심우탐사선 최신개발동향

Mission	주관기관	임무 목표	Payloads	크기	발사	궤도	항법	통신
MarCO	NASA JPL	신개념의 심우주통신장비와 항법기술의 심우주검증(확성)위성으로 최초의 초소형위성 심우주미션 확성추록선 InSight에 실시간 통신릴레이	Miniaturized X-band transmitter	6U	InSight Piggyback	Marsflyby	-	ISL-DTE Link
NEAScout	NASA JPL MSFC	Solar Sail 추진을 통한 소행성탐사 기술검증 소행성 1991 VG활영 및 우주상 위치 관측	Foldable HGA, StarTracker	~ m	SLS ESPA	Lunar flyby escape-cruise	Optical Navigation	DTE only
LICIACube	ASI	DART 충돌임무 촬영 및 지구 영상전송 소행성 Dimorphos구성분 관측 및 fly-by	Catadioptric Camera (LEIA) Camera with a RGB Bayer Pattern Filter	6U	DART Piggyback	Ballistic Direct	-	DTE only
M-ARGO	ESA	소행성과의 랑데부 및 물리적특성 및 광물자원분석	DeployableHGA, Multi-spectral Imager, Radiation Monitor	12U	TBD	TBD	Optical Navigation	DTE only
CubeX	NASA Smithonian Harvard/MIT	달의먼들과 하층부 Crust물질의 조사 Pulsar관측기반의 자율항법기술의검증	X-ray Imaging Spectrometer (XIS) Solar X-ray monitor (SXM)	36U	TBD	TBD	Pulsar Navigation	-
APEX	ESA	Daughtercraft to HERA	ASPECT VIS-NIR(500-2500nm) Hyperspectral Imager ACA(Asteroid Composition Analyzer) MAG Magnetometer	6U	HERA piggyback	Direct cruise	Vision Navigation Proximity operations	ISL-DTE Link
Juventas	GOMSpace	Daughtercraft to HERA Characterize the gravity field, internal structure, dynamic properties of Didymoon	Low frequency Radar 3-axis Gravimeter ISLradiolink Visible camera for context	6U	HERA piggyback	Direct cruise	Optical Navigation	ISLto mothership
ArgoMoon	ASI	Artemis-1 주요장면 촬영 및 신기술 심우주 검증	2 Electro-Optic Camera, Range Finder	6U	SLS ESPA	Lunar flyby		DTE only
CAPSTONE	NASA Advanced Space	Lunar Gateway 궤도(Near Rectilinear Halo Orbit) 검증 달 영역에서의위성간 항법서비스기술 검증 심우주탐사를위한 초소형위성 기술검증	Payload flight computer/radio Cislunar Autonomous Positioning System	12U	RocketLab Electron	Ballistic lunar transfer NRHO	Crosslink Radiometric	DTE only

II. 주요국의 우주탐사 정책 동향

21세기 들어 민간기업이 우주탐사를 주도하는 뉴스페이스 시대의 활발한 움직임과 더불어 주요 우주선진국에서는 제각기 우주탐사의 중장기 비전과 단계별 로드맵이 포함된 우주탐사 기본계획을 수립하여 양자 및 다자간 국제협력을 기반으로 우주탐사 프로그램을 진행하고 있다. 또한, 전 세계가 신냉전시대로 불리울 정도로 미국과 중국을 위시하여 동서 진영간의 양분된 국제협력 프레임이 구성되어 우주탐사가 진행되고 있는 측면도 민간기업의 약진과 더불어 우주탐사 분야의 주요 정책적 트렌드라 할 수 있다.

1. 미국의 우주탐사 정책

미국의 우주탐사정책은 역대 대통령이 주도하여 '국가우주정책'을 발표하고 정부의 정책방향과 우선과제를 제시하는 형태로 실현되어 왔다. 미국의 국익을 우선시 하고 미국이 세계 우주개발을 주도하며 평화적 목적의 우주탐사를 지향하는 등 대체적으로 역대 우주정책의 핵심사항의 일관성은 유지하면서도 집권하는 행정부에 따라 목표행성과 추진전략이 변화를 거듭하여 정책적 일관성을 보여주지 못하고 있다. 특히, 트럼프 1기 들어 우주탐사 계획에 민간기업과 국제 파트너국과의 실질적인 국제협력을 강조함에 따라 유인달탐사 재개를 목적으로 하는 아르테미스 계획은 유래없이 다양한 Stakeholder들이 참여하는 우주탐사 프로그램으로 자리매김하고 있다. 현재 임박한 국제우주정거장(ISS)의 운영 종료와 달 국제우주정거장인 루나 게이트웨이 건설, 아르테미스 계획을 통한 달 표면으로의 복귀, 지구과학 우선순위의 재활성화, 우주의 안전과 환경의 유지 등이 미국 우주정책의 핵심 이슈이다.

1.1. Vision for Space Exploration(달탐사)

1960년대와 1970년대 아폴로 계획으로 대표되는 유인 달탐사가 종료된 이후에는 우주왕복선과 국제우주정거장(ISS) 개발을 통한 지구 저궤도의 범위를 벗어나지 못하는 유인우주탐사가 2000년대 초반까지 지속되었다. 아폴로계획 이후 중단되었던 미국의 유인 달탐사 계획은 부시 행정부가 2004년 발표한 우주정책 비전인 'Vision for Space Exploration'을 계기로 아폴로계획 이후에 중단되었던 초대형발사체와 유인탐승모듈, 그리고 달 과학에 대한 연구수행을 골자로 하는 컨스텔레이션 프로그램(Constellation Program)의 일환으로 재개되었다가 오바마 행정부때 취소되었다. 유인탐승을 위한 수송시스템을 개발하는 동안 NASA는 우선 달의 과학적, 지질적 특성을 파악하기 위한 탐색의 일환으로 2009년 달 궤도선 LRO(Lunar Reconnaissance Orbiter)를 발사하여 현재까지 운용 중이다.

1.2. Augustine Report(화성탐사-소행성포획)

2009년 오바마 행정부가 집권하면서 유인달탐사계획의 타당성을 조사하는 Augustine 위원회를 구성하여 당시 2020년에 달 귀환을 목표로 하고 있던 부시행정부의 유인 달착륙계획을 과다예산과 개발일정의 지연을 사유로

달에 가지 않는 대신 바로 화성으로 가는 유인탐사 계획을 추진하도록 권고하는 소위 Augustine 보고서³⁾를 발간하게 된다. 2010년 오바마 행정부는 5년간 지속되었던 컨스텔레이션 프로그램을 취소하고 2025년까지 근지구 소행성, 2030년대 중반까지 화성에 우주인을 보내는 계획으로 선화한다. 2012년 이와 관련된 제반 유무인 우주탐사기술을 14개의 분야로 나누어 수립한 우주기술개발로드맵을 중심으로 우주핵심기술개발을 진행하고 있으며 이후 10여년에 걸쳐 2차례 이상 수정되어 우주탐사 핵심기술개발을 진행해오고 있다. 이와 병행하여 4개의 우주과학분야(지구과학, 행성과학, 천체물리 및 태양물리)로 나누어 10년마다 과학분야의 우선순위와 로드맵을 수립, 이를 NASA의 우주탐사 계획에 반영하고 있다. 오바마 행정부 8년간 유인 화성탐사 계획 및 근지구 소행성 탐사계획의 진척도가 부진하자 2020년대에 지구에 근접하는 소행성을 포획하여 달 근처의 궤도에 안착시킨 다음, 우주인을 보내어 화성탐사를 대비한 착륙훈련의 장을 마련하는 ARM(Asteroid Redirect Mission)계획을 2013년 제안하여 추진하다가 실현가능성은 낮고 소요예산은 예상치를 상회하여 2017년에 공식취소되고 만다.

1.3. 아르테미스 계획(달탐사)과 Moon-to-Mars Architecture(달-화성탐사 연계)

아르테미스 계획은 미국이 인류를 달에 거주시키겠다는 아폴로 계획과는 차별화된 목표 아래 유인 탐사와 우주기지 건설 등을 골자로 하는 미국 NASA의 유인탐사 프로그램이다. 과거 미소간의 패권경쟁의 일환으로 독자적으로 추진했던 아폴로 프로그램과는 달리 아르테미스 계획은 NASA가 주도하는 가운데 아르테미스 협약을 맺은 세계 30여 개국과 민간 우주 기업들이 대규모 컨소시엄을 이루어 추진하는 글로벌 유인탐사 프로그램이다.

부시 행정부(공화당)의 '달탐사 재개' 기초를 이어 받아 트럼프 행정부 1기 집권 초기인 2017년 12월 트럼프 대통령의 우주정책명령 1호(SPD-1)를 서명하면서 공식 착수된 아르테미스 계획은 초대형발사체 SLS, 유인탐사선 오리온(Orion), 달 우주정거장 루나게이트웨이, 우주인훈련 및 유인탐사관련기술 등은 NASA 주도하에 민간기업과 공동으로 개발하고, 유인달착륙시스템, 민간달착륙배달서비스(CLPS), 및 달 표면탐사 모빌리티 지원 등은 주로 민간기업과의 협력으로 진행하고 있다.

NASA는 아르테미스 계획의 일환으로 개발되고 있는 유무인 탐사기술을 화성탐사에도 연계하고 심우주에서 인간이 주도하는 장기적인 과학적 발견에 필요한 요소를 정의하며, 기관, 업계, 학계, 국제 사회의 전문가들과 협력하여 유인 탐사를 위한 청사진을 지속적으로 발전시켜 인류가 달, 화성 및 그 너머로 향하는 길을 제시하기 위해 Moon-to-Mars Architecture라는 정책적 개념을 제안하였다. 2022년 발표한 'Moon-to-Mars Objectives' 문서에는 달/행성과학, 태양과학, 인간/생명과학, 물리 및 물리과학, 응용과학, Science-Enabling, 달 인프라, 화성인프라, 수송 및 거주, 운영 등 10개의 항목으로 나누어 달과 화성에서의 탐사 목표가 정의되어 있다. CLPS가 안정화돼 달 이동이 활성화하면 이후엔 달을 거점 삼아 화성에 진출하는 '문투마스(Moon to Mars)' 미션이 시작된다. 문투마스는 아르테미스를 통해 달에 먼저 인류를 보낸 뒤 인류가 달 우주정거장과 달

3) Review of US Human Spaceflight Plans Committee, Seeking a Human Spaceflight Program Worthy of a Great Nation Oct 2009.

지상 기지에 거주하면서 지구에서는 불가능한 실험을 통해 화성 탐사에 필요한 데이터와 노하우를 확보하고 이를 바탕으로 화성 유인탐사 목표를 달성하겠다는 NASA의 계획이다.

2023년 NASA는 이 계획 실행을 위한 로켓, 탐사선, 유인착륙시스템, 달 우주정거장 개발, 임무 통합, 리스크 관리 등의 업무를 관장하는 ‘문투마스 프로그램 오피스’를 신설했다. 문투마스 성공 시점은 2040년 전후로 잡고 있다.

NASA는 2040년까지 우주비행사뿐만 아니라 미국의 일반인도 달에 거주할 수 있도록 주택단지를 건설하겠다는 계획을 세우고 있는 것으로 알려졌다.

표 2. 미국 우주탐사 분야 주요 우주정책

제목	공표연도	통신
The Vision for Space Exploration	2004	부시 행정부의 달탐사 재개를 위한 탐사의 원칙 및 비전 선포
NASA Authorization Act	2005	달탐사 재개를 위한 Constellation Program의 NASA의 법적 추진 근거
National Space Policy of USA	2010	오바마 행정부의 우주탐사 원칙: 달탐사 대신 화성탐사로 목표 전환하는 추진근거
SPD-1 (달탐사 재개)	2017	오바마정부의 국가우주정책(대통령정책훈령-4호, 2010)을 수정, 달 표면과 화성으로의 지속 가능한 복귀를 지시 (아르테미스 계획의 추진근거)
SPD-2 (우주산업화)	2018	우주산업화를 위한 지원조직을 창설하고 우주비행물체 발사 및 원격탐사 규정 간소화 등 상업적 우주활동을 용이하게 하도록 관련 규정개정을 지시
SPD-6 (우주원자력추진)	2020	과학, 국가안보 및 달/화성 탐사를 위한 우주원자력 및 추진기관연구의 활성화와 국제협력을 통한 개발 및 활용을 장려
우주자원에 관한 행정명령	2020	UN 달 조약(Moon Agreement, 1979) 탈퇴, 외기권 우주조약(Out Space Treaty, 1966) 준수 및 우주자원의 상업적 탐사 및 복구, 활용을 재확인
아르테미스 협정 (Artemis Accord)	2020	외기권 우주조약 준수 재확인 및 평화적 우주탐사를 위한 국제협력 원칙 마련
Cis-Lunar 과학기술 전략	2022	시스루나 공간(지구-달사이 공간)에서의 향후 활동 목표 개요

* 출처: 한국과학기술기획평가원 (2023)

2. 유럽의 우주탐사 정책

유럽은 유럽우주기구(ESA)를 중심으로 수립된 우주탐사 정책에 의해 우주탐사 계획을 공동으로 추진하는 것이 일반적이나 유럽내 주요 우주선진국인 프랑스, 독일, 영국, 이탈리아 등은 자국의 우주개발계획이나 우주개발 로드맵을 별도로 수립하여 우주탐사를 병행하기도 한다.

2.1. AURORA Program과 COSMIC Vision

Aurora Program은 2001년에 수립된 ESA의 유인탐사계획으로 지구 너머에 생명체의 흔적이 있을 가능성이 있는 물체를 조사하기 위해 무인 우주선과 유인 우주비행을 사용하여 태양계 탐사를 위한 유럽의 장기 계획을 수립하고 실행하는 것을 목표로 하고 있다. Aurora Program은 2001년 EU 연구협의회와 ESA 협의회가 승인한

유럽의 우주 전략의 결과물로 수립되었다.

이와 병행하여 ‘Cosmic Vision 2015–2025’을 수립하여 우주과학을 통한 과학적 발견과 소행성 탐사, 태양탐사 등의 프로젝트도 진행하고 있다. 행성 형성과 생명기원과정, 태양계가 탄생의 비밀과 움직이는 원리와 과정, 우주의 기본적 물리 법칙, 우주는 어떻게 형성되고 무엇을 만들었는지 등을 밝혀내는 것이 이 계획의 주요임무이다. NASA의 과학탐사 프로그램 추진방식과 유사하게 실제 태양계 탐사임무를 개별 프로젝트 예산의 규모에 따라 S와 M, L로 유형을 나누어 추진하도록 규정한 것이 주목할 만 하다.

2014년 ESA의 장관급 협의회에서 합의된 네 가지 전략적 목표를 담은 유럽의 우주탐사 전략2014에 대한 결의안을 채택하였다. 네가지 목표는 과학, 경제, 글로벌 협력 및 대중 영감 분야에 속하며, 우주 탐사를 모두의 이익을 위한 활동으로 만드는 유럽의 가치를 대표하도록 제시되었다.

2.2. Terrae Novae 2030+

ESA는 New Space시대를 맞아 2040년까지 1조달러의 우주경제규모를 예상하며 우주로부터 오는 혜택을 유럽이 단결하여 도전해야 하는 미래 계획과 현재 지향해야 할 행동지침이 필요하다는 인식을 바탕으로 5개의 우선순위를 내용으로 하는 ESA Agenda 2025를 2021년에 발표하였다: (1) ESA-EU의 관계 강화 (2) 그린, 디지털 상업화 촉진 (3) 안전과 보안을 위한 우주개발 (4) 중요한 프로그램 문제해결 (5) ESA 변혁의 완성

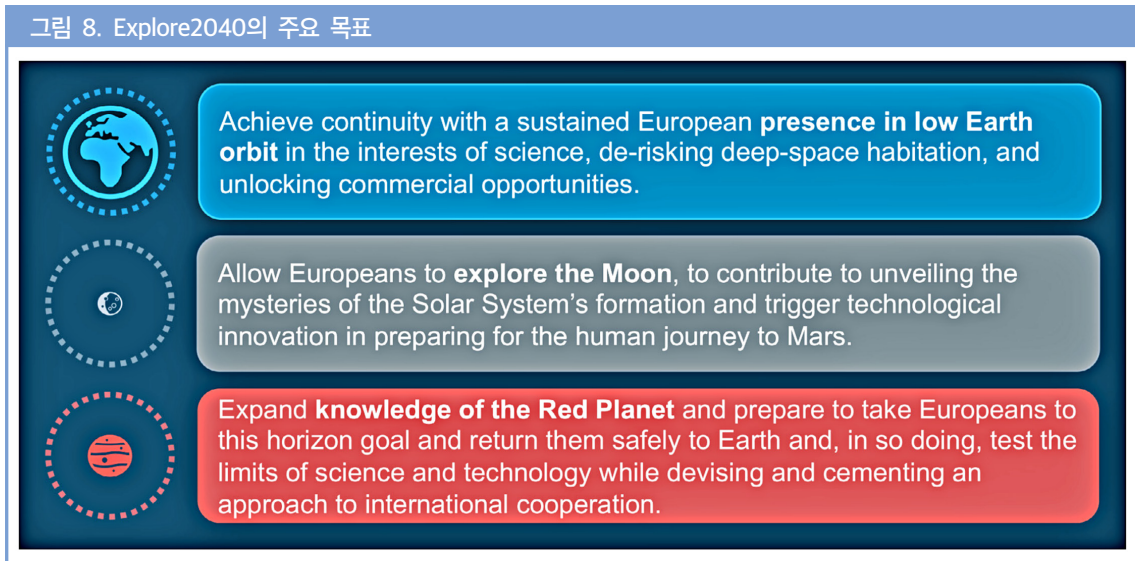
ESA Agenda 2025와 보조를 맞추기 위하여 ESA는 우주탐사전략을 재정비한 Terrae Novae 2030+ Strategy Roadmap을 발표하고 (1) ISS 이후 시대의 유럽의 지속적인 입지를 위해 저지구 궤도에서 새로운 기회를 창출 (2) 2030년대 지속 가능한 달 탐사를 위해 2030년까지 유럽인의 최초 달 표면 탐사를 달성 (3) 유럽이 화성에 대한 최초의 유인 임무의 일부가 되도록 준비하는 상위목표를 수립하였다.

2022년 11월 개최된 장관급 ESA 위원회에서도 달 탐사의 다음 단계를 준비하기 위해 저궤도에서 유럽인의 장기적인 존재를 보장하며, 표면 탐사 및 최종 인간 화성 임무를 향한 중간 단계를 계획한다는 유럽 우주탐사의 기본 원칙을 승인하였다.

2.3. Explore 2040

ESA는 녹색 미래를 위해 우주를 발전시키고 우주탐사에서 결정적인 조치를 취하고 유럽의 우주 접근을 보장하는 동시에 더욱 경쟁력 있는 차세대 발사체를 향한 패러다임 전환을 준비하여 왔다. 또한 프로그램 운영방식의 현대화를 추구함과 동시에 최첨단 기술을 개발하면서도 민간기업으로 개발의 무게중심을 이전하는 노력을 취하고 있다. ESA의 새로운 비전과 방향성을 논의하기 위해 2023년 11월 22개 ESA 회원국 대표와 EU의 대표가 모여 세비야 2030 우주정상회담을 개최한 바 있으며, 본 회담 결의안에 대한 조치로 기존의 우주탐사 전략을 수정한 것이 Explore2040 우주탐사전략이다.

그림 8. Explore2040의 주요 목표



* 출처: ESA

3. 우리나라의 우주탐사 정책

3.1. 우주개발진흥기본계획 및 우주탐사로드맵

우리나라의 우주개발계획은 우주개발진흥법에 따라 수립되는 우주개발진흥기본계획이 근간이 된다. 2007년 6월에 발표된 제1차 우주개발진흥기본계획에는 우주탐사에 대한 언급이 없었으나 이를 보완하는 성격으로 2007년 11월에 발표된 우주개발사업 세부실천로드맵에서 우리나라 달탐사 계획에 대한 타임라인이 처음으로 선언적으로만 언급되었다. 2012년에 발표된 제2차 우주개발진흥기본계획에도 달탐사 계획에 대한 타임라인이 일부 수정되었다. 2013년 박근혜정부가 출범하고 달탐사 계획이 본격화되어 예비타당성 조사를 거쳐 공식 승인되었으며, 이후 제3차를 거쳐 2022년 수립된 제4차 우주개발진흥기본계획에서는 우주탐사가 별도의 챕터로 분류되어 우주과학 및 유무인탐사에 대한 계획이 수립되는 수준으로 발전하였다. 2024년 5월 27일 우주항공청(이하 우주청)이 신설됨에 따라 우주기본계획과 우주법에 대한 관리권한이 우주청으로 이관되었으며, 현재 우주항공청주도로 대한민국 우주탐사로드맵 수립 작업을 진행 중이다.

III. 우주탐사를 위한 핵심기술

우주탐사를 실현하기 위한 기술은 크게 탐사선(또는 우주선) 설계기술과 탐사선을 대상 천체로 보낼 우주발사체 기술, 외계 천체에서의 인류의 지속가능적 생존기술 등으로 구분할 수 있다. 우주탐사선 설계기술은 사람의 탑승여부에 따라 탐사선의 기본 임무수행에 필요한 본체(버스) 및 탑재체기술에 더하여 우주인이 탐사선 안에 체류하기 위한 생명유지장치 및 편의시설 설계기술이 포함되며, 우주발사체의 경우 목표 행성을 가기 위한 임무궤도로 탐사선을 투입할 수 있는 능력을 가진 발사체 추진시스템의 개발이 필수적이다. 달 또는 화성에 사람이 착륙하여 거주할 경우, 우주인의 지속가능한 체류를 위한 생명유지장치 및 우주기지의 설계 및 건설기술과 자원채굴과 에너지인프라 및 우주농업 등 현지자원활용 및 생존 기술 등이 포함된다. 본 논문에서는 심우주탐사를 위한 주요 핵심기술의 특징과 발전동향 등을 소개한다.

1. 탐사선 설계기술

1.1. 심우주 항법기술(Deep-Space Navigation)

태양계 행성을 탐사하기 위해서는 정밀한 임무궤도 설계에 기반하여 지구에서 출발하여 목표 행성에 도달하기까지 탐사선의 항법정보 취득을 위한 심우주항법기술은 필수적인 핵심기술이다. 심우주 항법정보를 취득하기 위한 기존 방법은 주로 지상 기반 라디오 전파추적을 기반으로 한다. 최근 들어 Si기술기반의 자율형 심우주 항법기술에 대한 연구와 실제 임무적용이 활성화되고 있는 바, 이것은 지상 기반에 대한 의존도를 감소시킬 뿐 아니라 지성 운영자의 개입없이도 장기간 지속가능한 자율적 탐사선 운영이 가능하며 복잡한 심우주 통신네트워크의 운영 비용을 크게 절감하는 장점이 있다.

자율성(autonomy)을 확보해 줄 수 있는 심우주 항법기술은 다양하게 개발되어 왔으며, 온보드에서 취득한 데이터의 사용여부에 따라 자율성 여부가 구분되며 크게 광학카메라 영상판독기법을 이용한 광학항법(Optical Navigation), 지상국-위성, 위성-위성간 전파를 이용하는 Radiometric Navigation, 미리 알려진 행성의 위치를 상대적으로 판독하여 위치정보를 획득하는 Pulsar Navigation 등이 있으며, 별 기반의 광학항법, Corsslink Radiometric 항법, Pulsar Navigation 등이 자율성을 확보해 줄 대표적인 심우주 항법기술로 알려져 있다(그림 참조).⁴⁾

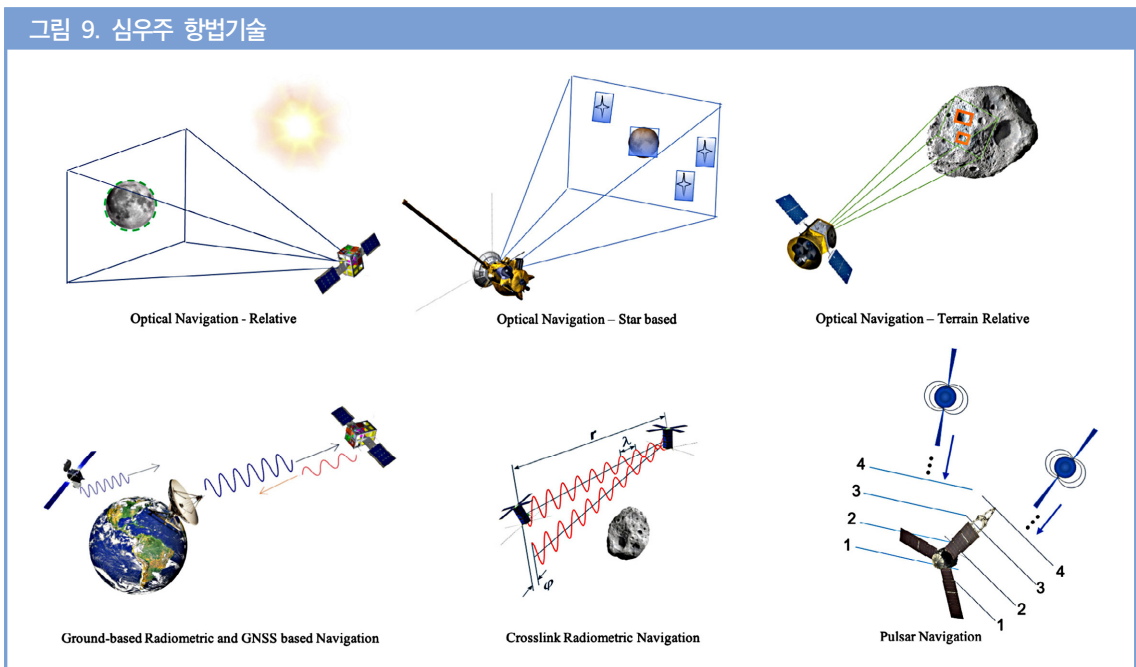
광학 기반 항법시스템의 원리는 자연체를 원거리 또는 근거리에서 촬영한 이미지로부터 물체 또는 물체의 위치에 해당하는 하나 이상의 시선(LOS) 벡터를 제공한다. 카메라의 관성 포인팅 방향은 프레임의 별에서 얻을 수가 있으며 이러한 이미지의 연속은 계속적인 시선 벡터를 제공하여 비선형 최소제곱 필터에 입력되면 우주선의 위치와 속도를 추정할 수 있다. 광학항법의 정확도는 카메라 시스템 매개변수, 대상 물체까지의 거리, 영상촬영주기, 대상물체의 천문력에 대한 지식 등에 의해 좌우된다. 1998년에 발사되어 심우주를 탐사하며

4) E. Turan, S. Speretta, and E. Gill (2022). Autonomous Navigation for Deep Space Small Satellites: Scientific and Technological Advances, Acta Astronautica, 193, 56-74.

Borrelly 혜성을 관측하고 2005년에 성공리에 임무를 종료한 NASA의 Deep Space 1 (DS-1)은 영상항법과 이온엔진을 포함한 12가지의 도전적인 신 기술을 시험한 최초의 심우주탐사선이다. 광학항법을 사용하였던 마리너(Mariner) 시리즈나 화성 바이킹 탐사선, 보이저 1,2호 등의 경우에도 광학카메라 기반의 영상항법과 지구 지상국과의 전파교신을 통한 거리측정방식을 조합하여 심우주탐사선의 항법정보를 취득하는 것이 일반적이었다. 최근까지 소행성 등으로 발사되었던 대다수 심우주 탐사선이 영상항법을 기본으로 채택하고 있다.

X선 Pulsar Navigation 기술은 빠른 속도로 회전하는 중성자별(Pulsar)에서 방출되는 주기적인 X선 신호를 이용하여 하나의 장비로 펄스의 시간과 도착 방향을 추정하여 탐사선의 상태를 추정한다. 지상 무선 펄서 타이밍 배열 및 공간 X선 타이밍 데이터러를 기반으로 하는 펄서 시간 척도는 통합된 PNT(위치, 항법, 시각)를 보완하는 중요한 요소이며, X선을 소스로 하는 X선 중성자별기반 항법기술인 Pulsar Navigation은 광학항법에 비해 심우주 탐사선의 장시간 고정밀 자율 항법을 달성하는 가장 유망한 기술로 평가받고 있다. 1980년대 초반에 심우주안테나를 이용한 기존 심우주항법의 대안으로 제안된 Pulsar Navigation은 2017년 국제우주정거장에서 실험을 한 NICER(Neutron Star Interior Composition Explorer)/SEXTANT (Station Explorer for X-ray Timing and Navigation Technology) 임무는 Pulsar를 이용하여 10km RSS 위치 오류를 달성할 수 있음을 보여주었다. 이에 앞선 2016년 중국 CAST는 Pulsar Navigation의 우주검증 전용으로 설계된 XPNAV-1을 발사하였다.

그림 9. 심우주 항법기술



* 출처: E. Turan, S. et al. (2022)

1.2. 진입, 하강, 착륙기술(Entry, Decent, Landing, EDL)

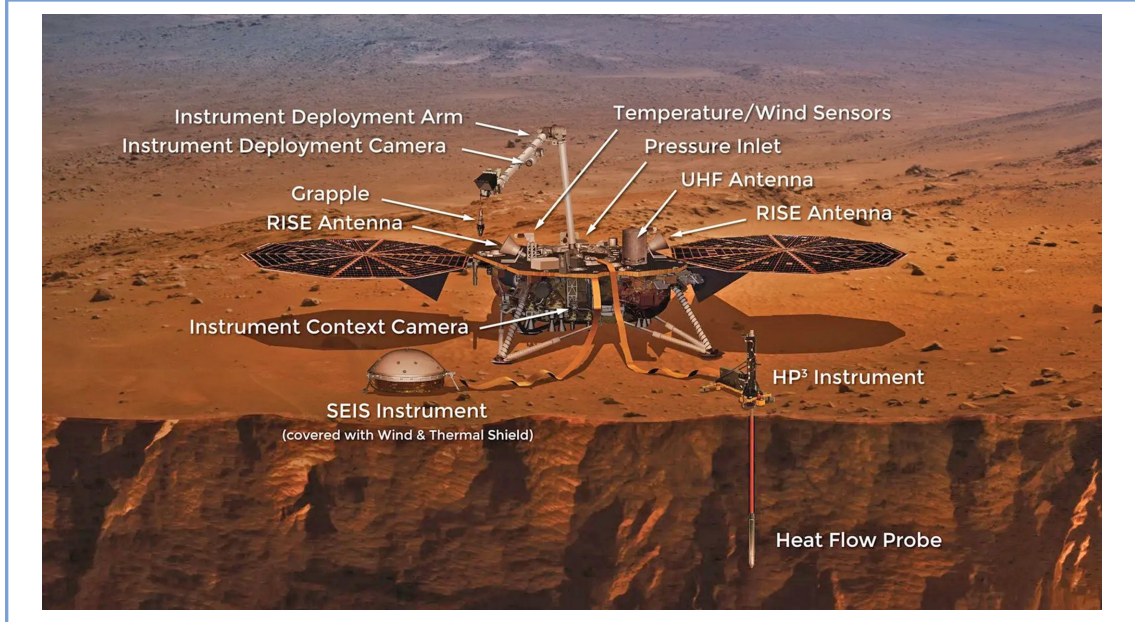
NASA와 ESA는 달, 화성 및 기타 행성 착륙기술을 확보하기 위해 우주기술로드맵에 EDL 기술을 별도로 분류, 탐사선의 이착륙 기술을 개발 중이다. 대기가 존재하는 행성권 진입 시에나 샘플을 채취 후 지구로 귀환할 경우 대기권과의 마찰을 극복할 수 있는 열적 보호시스템이 필수적이며, 이 기술은 대륙간유도무기 기술과도 관련이 있어, 주요 우주선진국에서 관심을 갖고 개발하는 기술 중 하나이다. 하강과 착륙 시에 필요한 유도항법제어기술로 ALHAT(Autonomous Precision Landing & Hazard Detection and Avoidance Technology)을 들 수 있다. 1960년대에도 착륙기술은 있었으나 수동에 의존하거나 착륙지 정보의 실시간 피드백에 의한 능동적이고 자율적인 방법은 아니었다. 2005년 달탐사 재개를 선언한 NASA는 달 착륙을위한 신기술을 개발하게 되었는데, 그 기술 중 유도항법분야의 기술로 대표되는 것이 ALHAT이다. 위험을 탐지하는 센서의 개발과 지형 맵핑 및 착륙지 선정, 자율위험회피 기능 구현 등을 내용으로 당초 개발 목표이던 TRL 6 수준을 대부분 달성, NASA Johnson Space Center에서는 Morpheus 라는 행성 착륙선 시험모델에 ALHAT시스템을 장착하여 실제 지상비행시험을 통해 그 성능을 입증한 바 있다. 이 기술은 여러 방향으로 진화하여 MSL, Mars2020 및 InSight 등 화성착륙을 위한 탐사선이나 다른 태양계 행성의 무인탐사선의 자율 착륙에 활용되고 있다.

1.3. 심우주 통신기술(Deep-Space Communication)

심우주로 비행하는 탐사선의 경우, 지구와의 안정적인 통신을 위해 NASA 또는 ESA가 이미 구축한 지상의 심우주통신 네트워크(Deep-Space Network, DSN) 또는 유럽우주추적네트워크(ESA's Tracking Station Network, ESTRACK)를 이용하는 것이 필수적이며 탐사선 본체 플랫폼에서도 심우주에서 정밀 지향이 가능하고 다량의 데이터를 전송하기 위한 고이득 안테나와 효율적인 데이터 전송을 위한 트랜스폰더의 설치는 필수적이다. 심우주탐사를 위한 초소형위성이나 소형 행성착륙선 플랫폼에는 소형경량의 송수신장비와 더불어 발사전에는 작은 사이즈로 장착했다가 임무궤도에 진입해서는 먼 거리에서도 충분한 신호를 감지할 수 있는 크기의 안테나를 구현하는 전개형 안테나(Deployable Antenna)를 적용하려는 연구개발이 활발히 이루어 지고 있다. 초소형 위성과 같은 플랫폼에 제한된 안테나는 고이득을 제한하며 안테나의 전개 메카니즘이 더해질 경우 이득은 증가할 수 있다. 즉 초소형위성보다 더 크게 안테나의 크기가 전개될 수 있으면 이득이 보통 16dBi까지 도달할수 있으며 안테나 어레이를 사용할 경우 이득은 더 증가할 수 있다. Reflectarray의 경우 이득이 48dBi까지 확대될 수 있어 큐브위성을 이용한 심우주임무에 활용될 수 있다. 안테나 어레이는 단일 요소의 안테나에 비해 지향하는 방향으로 방사패턴과 다른 요소들을 효과적으로 조합하여 전반적으로 고이득을 제공한다. NASA JPL은 Ka밴드 레이다와 Mesh 타입의 0.5m 초경량 전개형 Ka밴드 안테나를 우주환경에서 검증하여 TRL(Technology Readiness Level) 수준을 상향시키기 위한 6U급 RainCube위성을 2018년 ISS를 통해 성공리에 발사하여 큐브위성 플랫폼에 레이다 탑재체의 실현가능성을 검증한 바 있다. 2018년에 화성에 착륙한 NASA의 무인탐사선 InSight도 고이득 데이터 수신을 위해 전개형안테나를 채택한 사례이다. 대부분의 초소형위성에 주 통신장비는 라디오 트랜시버이며 위성항법용 수신기가 궤도결정을 위한 위치정보를 제공하는 것이 일반적이나 이 두가지

장비는 심우주 임무에는 적합하지 않다. 초소형위성의 심우주 수행능력을 확장하기 위하여 NASA JPL은 기본적인 심우주 항법기능과 통신기능을 갖춘 큐브위성용 1세대 IRIS 심우주 트랜스포더의 개발과 함께 Interplanetary Nanospacecraft Pathfinder in Relevant Environment (INSPIRE) 미션⁵⁾을 발굴하였다. 이후 화성탐사선 MarCO와 아르테미스-1에서 발사된 큐브위성에 적용되었다.

그림 10. 전개형 안테나를 채택한 화성착륙선 InSight



* 출처: NASA

1.4. In-Space Propulsion (탐사선 추진기술)

화성을 포함한 태양계 행성에 가는 방법 중 화학 추진 방식은 지금까지 가장 성능이 입증된 방식으로 우주발사체에서 분리된 탐사선이 목표 행성까지 비교적 빠르게 이동시킬 수 있는 장점이 있는 반면, 연료로 인한 임무의 전체 기회비용이 증가한다. 일반적으로 탐사선이 화성에 도달하기까지 최소 6개월이상 소요되기 때문에 고비용 구조를 개선하여 아르테미스 계획의 유인 화성탐사나 민간기업이 지향하는 우주여행을 활성화하기 위해서는 연료중량대비 추진효율이 높아 우주비행시간의 절대적인 감소가 가능한 전기추진방식의 탐사선 추진기술이 주목을 받고 있다. 화성탐사 실현을 위해 NASA가 주력했던 기술중 하나는 Solar Electric Propulsion (SEP)이다. 이는 태양전지로부터 얻어진 전기를 이용하여 기존 화학식 추진시스템에 비해 10배 정도 연료가 적게 소모되는 전기추진시스템을 지칭한다. NASA는 2015년에는 수 년간 작동이 가능한 12.5 kW의 Electrostatic Hall Thruster의 개발에 성공한 바 있다. SEP는 유무인 탐사선에 활용될 수 있을 것으로 기대하여

5) A. Klesh et al., "INSPIRE: Interplanetary Nanospacecraft Pathfinder in Relevant Environment," Proceedings of AIAA SPACE Conf. and Expo., 2013, pp.1-6.

한때 추진했던 소행성 포획임무인 ARM(Asteroid Redirect Robotic Mission)에 총 40kW까지의 성능을 시험하려 했으나 2018년 예산감축으로 인해 취소된 바 있다. 최근 들어 유럽에서도 무인화성탐사선의 임무를 위해 2톤 탐사선 기준으로 400kg 이하의 연료중량만으로도 1년을 비행할 수 있는 수준의 연구가 진행되고 있다.⁶⁾

한편, NASA의 12개 차세대 탐사기술에 선정되어 Ad Astra사가 개발 중인 초전도 자석에 의한 플라즈마 발생을 이용하는 VASIMIR(Variable Specific Impulse Magnetoplasma Rocket, 가변 비추력 자기플라즈마 로켓)(그림)은 여러 종류의 탐사선 전기 추진 시스템 중 하나로 불활성 추진제를 이온화 및 가열하고 플라즈마를 형성하며 플라즈마 팽창을 가속화하기 위해 전파를 사용하여 추력을 생성합니다. VASIMR 엔진은 높은 추력, 낮은 비추력의 화학 로켓과 높은 비추력의 전기 추진 사이의 격차를 해소할 수 있는 능력을 갖춘 것으로 평가받고 있습니다. VASIMR 엔진은 탐사선의 지구-화성간의 편도여행시간을 기존의 화학추진시스템보다 10배 정도 빠른 39일로 단축이 가능하다는 목표하에 200kW급(5N, Isp=5,000s)의 로켓엔진 개발에 성공한 바 있어 우주탐사와 우주여행에 혁신을 가져올 수 있는 기술로 평가받고 있으나 본격적인 상용화가 계속적으로 지연되고 있는 실정이다. 그럼에도 불구하고, 2023년 9월에 발표된 Zion Market Research⁷⁾에 따르면 전 세계 VASIMR 엔진 시장 규모는 예측 기간 동안 CAGR 10%로 성장하여 2022년 550억 달러 규모에서 2030년까지 770억 달러에 이를 것으로 예상한다고 발표하여 여전히 해당기술의 성장가능성을 주목받고 있다.

그림 11. VISIMR 엔진 개념도 및 시장전망



* 출처: ZION Market Research (2023)

6) M. Casanova, et al., Feasibility Study of a Solar Electric Propulsion Mission to Mars, Acta Astronautica, Jan 2024.

7) ZION Market Research, VASIMR (Variable Specific Impulse Magnetoplasma Rocket) Engine Market, 2023.

<https://www.globenewswire.com/news-release/2023/09/15/2744098/0/en/VASIMR-Variable-Specific-Impulse-Magnetoplasma-Rocket-Engine-Market-Size-to-Surpass-77-Billion-by-2030-Zion-Market-Research.html>

2. 우주발사체 및 추진 기술

2.1. SLS (Space Launch System)

아르테미스 계획의 일환으로 달 및 화성으로의 유인탐사를 실현하기 위해 NASA는 SLS로 불리는 초대형 발사체를 개발 중이며 2022년 아르테미스 1호로 명명된 한 차례의 시험비행을 통해 유인탐사선 오리온(Orion)을 달 궤도에 투입하고 일정기간 달 궤도를 선회한 후에 지구로의 귀환에 성공함으로써 SLS발사체의 기본 성능을 검증하였다. SLS는 우주시대 개막이후에 인류가 개발했던 로켓 중 가장 큰 로켓이며, 아폴로 계획을 실현하는데 사용되었던 Saturn-V 로켓보다 규모와 추진력에 있어서도 세계 최고이다. 아르테미스 1호 시험비행에서는 사람이 탑승하는 대신 오리온 탐사선에는 마네킹을 탑재하였으며 ESPA라 불리는 발사체의 어댑터에는 달탐사를 위한 초소형 위성을 11기 탑재하여 달의 영역을 탐색하는 임무를 수행한 바 있다. SLS는 저궤도 기준으로 투입중량이 130톤이며 직경 8.4m에 2단으로 구성되어 있고, 액화수소/액화산소를 연료로 사용하는 230톤급 Aerojet/Rocketdyne RS-25 엔진 4기를 1단에 채택하고 있으며, 발사비용만도 회당 5억 달러가 소요될 것으로 추산하고 있다.

3. 생존 및 지속가능 기술

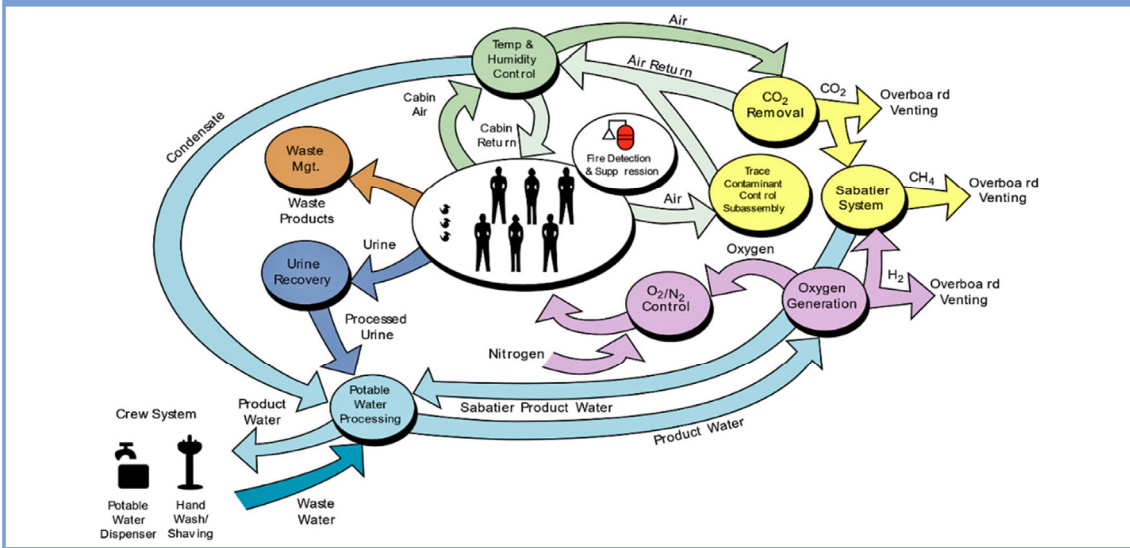
유럽의 'Moon Village'나 미국의 아르테미스 계획과 같이 우주선진국이 우주탐사의 궁극적인 목표로 삼고 있는 인류의 생존을 위한 거주지 확보와 지속가능한 생명유지기술의 개발에도 노력을 기울이고 있다. NASA와 ESA에서는 달이나 화성표면에 거주지 건설을 위한 건설재료 현지조달을 통한 제작기술, 3-D 프린터를 이용한 우주 거주지의 건설자동화와 관련된 기술도 활발히 연구되고 있으며 우리나라에서도 한국건설기술연구원에서 우주건설을 위한 시험인프라 구축, 현지자원활용을 이용한 우주건설재료 및 우주건설시공기술 및 유인우주기지 개념설계에 관한 연구개발을 10여년전부터 진행해오고 있으며, 한국지질자원연구원에서도 현지자원활용을 위한 자원탐사장비 개발에 주력하고 있다.

3.1. 생명유지시스템기술(Environmental Control & Life Support System, ECLSS)

생명유지시스템은 인간이 우주에서 생존하기 위해 필요한 공기, 물, 압력, 온도 등의 최소한의 환경을 유지시켜 주어 안전하게 활동할 수 있도록 하는 장비를 말한다. 우주개발 초기인 1960년대부터 유인우주임무를 위한 탐사선 머큐리(Mercury), 제미니(Gemini), 아폴로(Apollo), 등과 우주정거장인 스카이랩, ISS등에 설치되어 기술의 발전을 이루어 왔다. 여전히 달, 화성과 같은 우주 환경에서 운영하기에는 최적화되어 있지 않아 아르테미스 계획의 일부로 진행중인 달 기지건설에 필수적으로 설치될 생명유지시스템을 별도로 개발중에 있다. 일반적으로 생명유지시스템은 자급자족이 가능한 완전한 폐루프 구조가 아닌 관계로 인간의 생명유지에 필요한 물, 산소, 질소 등을 지속적으로 보급해주어야 한다. 이러한 문제의 해결을 위해 현지자원활용기술을 접목하기 위한 노력이 이루어지고 있다. 현지자원활용 기술은 달, 화성 등에 존재하는 행성 자원을 활용하여 물이나 산소와 같은 자원을 추출, 생성하는 기술을 말한다. 이를 통해서 자원의 보급을 최소화할 수 있다. 미국의 아르테미스

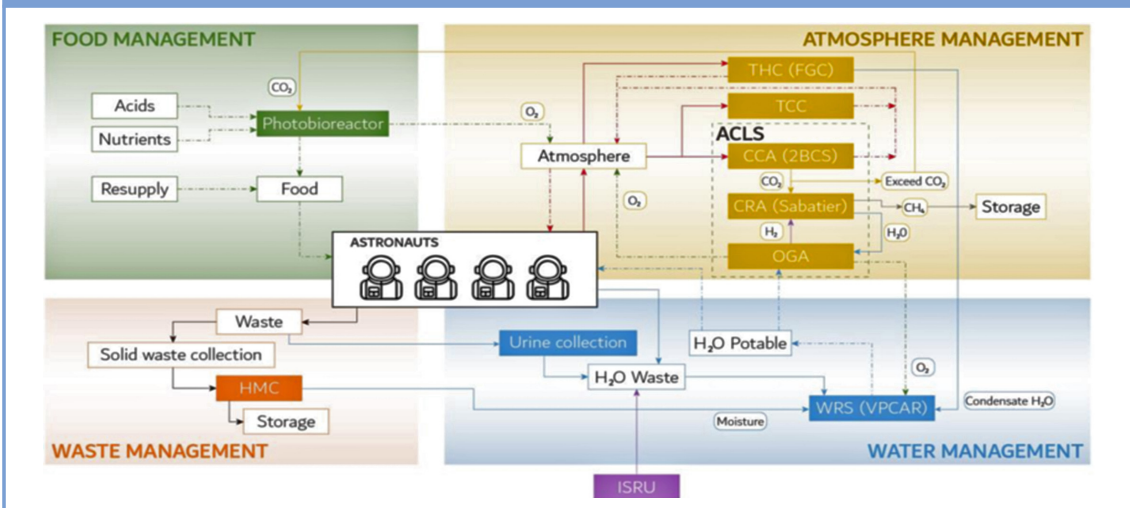
프로젝트에서 달의 남극을 착륙지로 선정하였는데, 이는 달 남극의 표토에 존재하는 얼음 형태의 물을 추출하고 정제하여 우주인에서 물과 산소를 공급하기 위해서다. 또한, 생명유지시스템과 현지자원을 활용한 수소와 메탄 등의 로켓 엔진 개발 연구가 이루어지고 있다. 이뿐만 아니라, 화성 유인우주탐사는 현재의 생명유지시스템을 공기 75%, 물 98%의 폐루프 시스템으로 바꾸어야 하는데, 이를 위해 2020년, MOXIE(mars oxygen ISRU experiment) 미션을 통해 화성 대기의 주성분인 이산화탄소를 이용하여 산소를 생성하는 기술에 대한 연구가 수행되고 있다.

그림 12. ISS에서의 ECLSS 시스템 개념도



* 출처: NASA

그림 13. ECLSS 구성 개념도



* 출처: Acker, D. et al. (2022)

3.2. 우주건축 및 우주건설기술(Space Architecture & Space Construction)⁸⁾⁹⁾

우주기지 건설을 위해서는 건설재료가 필요한데 지구에서부터 달까지 운반하려면 천문학적 비용이 소요되기 때문에 달 현지에서 조달 가능한 자원을 활용하여 건설재료를 생산할 수 있는 기술 개발이 필수적인 상황이다. 이를 위해 한국건설기술연구원에서는 마이크로파 소결 기술을 통해 달 현지 자원인 월면토(Lunar Regolith)를 고형화하여 건설재료로 활용하기 위한 연구를 수행하고 있다. 자체 제작한 인공월면토(KLS-1)는 마이크로파 소결 방법을 통해 1080℃ 이상의 온도에서 치밀화되어 인공월면토 소결체가 생성되며 소결온도가 증가함에 따라 소결체의 밀도와 압축강도가 증가 된다. 달의 극심한 온도 변화에 따른 건설재료의 반복적인 수축과 팽창은 구조물의 균열을 발생시킬 수 있기 때문에 달 기지 건설에 사용되는 모든 재료들의 열팽창 특성이 매우 중요하다. 마이크로파 소결 방법으로 제조된 인공월면토 소결체의 열팽창계수는 달 표면 온도와 유사한 범위(-100~200℃)내에서 약 $5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 수준이며, 실제 월석의 열팽창계수와 유사한 것을 확인하였다. 또한, 가열-냉각-재가열 후에도 인공월면토 소결체의 열팽창계수가 큰 변화를 보이지 않아 달의 극심한 온도변화 하에서도 마이크로파로 소결된 인공월면토 소결체가 높은 열 저항을 가진 것을 확인하였다. 인공월면토 소결체를 달 기지 건설재료로 활용하기 위해서는 균질성 검토도 필요한데 재료의 공극률 분포를 기반으로 균질성을 평가하는 연구를 병행하고 있는 동시에 현재 건설재료로서의 활용도를 높이기 위하여 인공월면토 소결 블록을 제조하고 있으며, 마이크로파 소결 기술을 실제 달의 고진공 환경에 적용하기 위해 마이크로파 진공 소결 장비를 구축하여 소결 실험을 수행할 계획이다. 현재 추진중인 달 착륙선 프로그램에 적용하여 소형 마이크로파 진공소결장비 제작을 통한 달 표면에서의 기술검증을 목표로 하고 있다.

3.3. 현지자원활용기술(In-Situ Resource Utilization)

우주에서의 생존과 현지생존에 필요한 자원을 지구로부터 운송해오는 노력과 비용을 절감하기 위해, 현지자원의 활용은 필수적이다. ISRU (In-Situ Resource Utilization)기술은 목적지 정찰, 탐사기술, 자원채취기술, 자원처리 및 생산기술, 생산 및 보관, 건설 및 에너지 인프라 구축기술 등으로 나뉘어 개발되고 있다.

대표적인 ISRU 구현 프로젝트는 드릴, 물발생장치, 자원현장분석기 등 자원채취 및 현장활용을 위한 장비를 달 남극에 보내어 향후 달 탐사와 화상탐사의 ISRU 기능의 실용성을 검증하기 위한 NASA의 VIPER Mission (‘24 중단)과 PRIME-1 임무라 할 수 있다.

ISRU와 관련된 개념정립과 기술연구는 2000년 중반부터 NASA를 중심으로 시작되어 10여년 이상을 기초연구 차원에서 지속해오다 최근 아르테미스 계획이 본격화되면서 체계적인 연구개발체제와 기술개발 프로젝트를 구축하고 달과 화성에서의 검증 및 실용화를 위한 VIPER, PRIME-1 등의 탐사선 임무를 수행하고 있다. 유럽, 일본은 물론, UAE, 멕시코 등 우주신흥국과 민간기업까지 가세하여 ISRU에 특화된 기술개발과 탐사임무 발굴이 진행 중이다. ISRU는 탐사지에서의 자원의 검색 및 확인, 채굴과 처리 및 양산에 이르는 자원개발과정에서부터

8) 한국건설기술연구원 홈페이지 연구분야 소개(www.kict.re.kr)

9) 신휴성, 달기지 건설을 위한 달 현지자원 활용기술, Construction Technology Review Ssangyong, 2023.

생산재 및 소비재의 2차적 생산과 에너지 및 통신 등의 인프라 구축을 통한 서비스 생태계 구축을 아우르는 종합적인 행위이며 하드웨어나 운영을 포함하는 개념이다. 이는 지구에서의 자원생산과 활용 및 인프라 구축과의 유사성이 매우 높으나 달이나 화성 등의 자연환경과 자원의 분포에 따라 그 가능성과 한계가 주어져 공통점과 차이점을 지니게 된다.

우주탐사에 있어 지구를 떠나는 개념과 유사한 ISRU의 목적은 우주자원을 장비화하고 활용하여 장단기 우주탐사의 규모와 비용 및 위험을 현저하게 감소시키고 실현 가능하게 하는 재화(products)와 서비스를 창출하는 것이다. ISRU는 태양계 및 외계행성을 탐사하는 지속가능한 유무인 탐사 프로그램을 구현하는 열쇠가 될 수 있다.¹⁰⁾ ISRU는 스스로 존재할 수 없으며, ISRU의 생산물과 운영 서비스를 사용하는 사용자나 소비자에게 반드시 연결되어야 유효할 수 있다. ISRU의 과정을 통해 최종 생산물을 효율적으로 획득하기 위해서는 모빌리티, 생산품의 저장 및 운송, 전력공급, 작업자 및 로봇에 의한 운영 및 정비 등 복합적인 요소가 6가지 과업을 유기적으로 지원하는 체계가 뒷받침되어야 한다.

NASA 자료에 의하면 최종생산품 획득과 인프라 구축을 위한 ISRU 세부과업이나 산출물은 표 5와 같이 6가지의 카테고리로 분류할 수 있다.¹¹⁾

표 5. ISRU의 과업요소별 분류

Task	Sub-Task / Outcome
목적지 탐색 및 자원 평가 Destination Reconnaissance & Resource Assessment/Prospecting	<ul style="list-style-type: none"> • 물리/화학적 특성, 광물분포, 물/휘발성물질, 지형, 지질 및 환경에 대한 평가 및 맵핑 • 자원분포지도, 3차원 지형도
자원 획득, 분리 및 준비 Resource Acquisition, Isolation & Preparation	<ul style="list-style-type: none"> • 대기구성성분획득수집 및 드릴링, 채굴, 운반 및 조종에 의한 토양 및 물질 수립 (처리전단계) • 토양수집후 분광계에 의한 자원현지분석
자원 처리 및 소비재 생산 Resource Processing / Consumable Production	<ul style="list-style-type: none"> • 화학반응, 열, 전기 및 생물학적 변환을 통해 획득자원과 중간산출물을 처리하여 소비재 또는 건설과 제조용 공급원료 생산 • 임무용 소비재(연료, 생명유지용 공기, 연료전지용 촉매제 등), 건설재료
현지 제조 In Situ Manufacturing	<ul style="list-style-type: none"> • 공급원료로부터 대체부품, 복합생산품, 기계, 통합시스템을 생산 • 생활용 소비재, 건축자재
현지 건설 In Situ Construction	<ul style="list-style-type: none"> • 현지자원으로부터 생산된 재료를 이용한 토목공학, 인프라 구축, 구조물 건설 • 방사선 보호막, 착륙전용활주대, 도로, 주거시설
현지 에너지 In Situ Energy	<ul style="list-style-type: none"> • 현지 추출재료를 사용한 전기, 열, 화학, 원자력 에너지의 생산과 저장 • 태양전지, 축열 및 발전시스템, 화학전지, 원자력전지

10) G. Sanders et al. NASA In-Situ Resource Utilization (ISRU) Capability Roadmap Final Report, 2005.

11) G. Sanders, et al., NASA Plans for In-Situ Resource Utilization (ISRU) Development, Demonstration, and Implementation, COSPAR 2022.

IV. 결론 및 제언

본 논문에서는 인류가 발명한 기계에 의해 처음으로 우주관측을 시작한 이래 우주탐사에 동기를 부여한 과학자들로부터 2차 세계대전이후 미국과 소련의 냉전체제하에서 촉발된 우주탐사경쟁과 이후 우주의 평화적 이용을 위한 국제협력의 노력을 병행한 국제우주정거장 구축 및 운영과 아폴로 계획이후 다시 인류의 달착륙과 거주, 나아가 화성거주를 실현하여 지속가능한 우주탐사를 지향하는 아르테미스 계획에 이르기까지의 역사적 배경과 주요국 위주의 우주탐사 동향을 살펴보았다. 아울러, 미국, 유럽 및 우리나라를 중심으로 우주탐사 정책의 변화와 법적 근거 등에 대해 정리해 보았다.

우주탐사를 실현하기 위한 기술은 크게 탐사선(또는 우주선) 설계기술과 탐사선을 대상 천체로 보낼 우주발사체 기술, 외계 천체에서의 인류의 지속가능적 생존기술 등으로 구분할 수 있다. 심우주탐사를 위한 주요 핵심기술 가운데 심우주항법, 심우주통신, VASIMIR엔진을 비롯한 차세대 추진기술의 특징과 발전동향 등을 기술하였으며, 우주에서의 인류생존을 위한 생명유지장치 및 현지자원활용기술에 대한 개념과 개발현황을 소개하였다.

2021년 5월 과학기술정보통신부 장관이 아르테미스 협정에 서명하고 2022년에 달탐사선 다누리를 성공적으로 발사하여 세계적으로 우주탐사의 역량을 인정받고 있는 우리나라는 2024년 5월 27일 우주항공청을 새롭게 출범시키며 우주개발과 우주국제협력을 위한 국내 우주개발 거버넌스를 재정비함과 동시에 우주선진국으로서의 도약을 꿈꾸고 있다. 그러나, 아르테미스 협정에 서명하고 미국과의 달탐사 협력을 선언한지 3년이 지났음에도 불구하고 가시적인 협력방안이 제시되어 이행되고 있는 협력과제가 미미하며, 2024년 11월 공식착수할 달 착륙선 개발사업은 달의 임무목표와 착륙지를 정확히 설정하지 못한 상태이며, 달 착륙 이후에 지속가능한 달탐사계획에 대한 비전은 명확히 선언된 바가 없는 실정이다. 아울러 2024년 12월을 기준으로 선진국의 사례와 같이 우주탐사에 집중된 우주탐사 계획과 정책이 전무하고 심우주탐사를 위한 다학제 융합의 우주핵심기술 개발의 노력이 미미한 실정이다 또한 우주탐사의 과학적 근거 마련을 위한 우주과학의 저변확대와 연구지원 및 미국의 LEAG와 같은 달탐사 커뮤니티 조성이 시급한 과제이다. 우주탐사는 과학기술의 거의 모든 분야가 협력하여 이루어내어야 할 인류의 숙원사업이자 기술융합의 결집체인만큼 미국이 주도하는 아르테미스 계획 참여를 기회로 삼아 우리나라도 명실상부한 우주선진국의 면모를 갖추기를 희망한다.

저자소개 주광혁 (Gwang-hyeok Ju)

• 학력

텍사스A&M대학교 항공우주공학 박사
서울대학교 학사/석사

• 경력

現) 연세대학교 인공위성시스템학과 교수
前) 한국항공우주연구원 미래기술연구소장

참고문헌

〈국내문헌: 가나다순〉

- 1) 과학기술부, 우주개발사업 세부실천로드맵, 2007.
- 2) 관계부처 합동, 미래 우주경제 로드맵 이행을 위한 제4차 우주개발진흥기본계획, 2022.
- 3) 신휴성, 달기지 건설을 위한 달 현지자원 활용기술, Construction Technology Review Ssangyong, 2023.
- 4) 안형준 외, 과학기술정책연구원 정책연구 2019-20, “뉴스페이스(New Space) 시대, 국내우주산업 현황 진단과 정책대응, p.23, 2019.
- 5) 임종빈, 주요국의 우주정책 트렌드 변화와 시사점, KISTEP 이슈분석 238호.
- 6) 정서영, 글로벌 우주탐사 현황 및 전망, 항공우주산업기술동향 16권 2호, 2018.
- 7) 주광혁, 국내외 우주탐사 프로그램 및 관련 기술의 개발현황, 한국항공우주학회지, 44권 8호, 2016.
- 8) 주광혁, 민간주도의 우주탐사, 과학과 기술, 2021년 3월호.
- 9) 최남미, 유럽의 달 탐사 계획 분석과 한국 우주탐사 전략 수립의 시사점 탐색, 한국항공우주학회 2022년도 춘계학술대회, 2022.

〈국외문헌: 알파벳순〉

- 1) A. Klesh et al., “INSPIRE: Interplanetary Nanospacecraft Pathfinder in Relevant Environment,” Proceedings of AIAA SPACE Conf. and Expo., 2013, pp.1-6.
- 2) Acker, D., Gutierrez, E., Pippert, A., et al. (2022), DIANA-Dedicated Infrastructure and Architecture for Near-Earth Astronautics, Paper ICES-2022-188, 51st International Conference on Environmental Systems.
- 3) N. R. Augustine et al., Report of the Advisory Committee on the Future of the U.S. Space Program., submitted to the Administrator of NASA, 1990.
- 4) E. Turan, S. Speretta, and E. Gill (2022). Autonomous Navigation for Deep Space Small Satellites: Scientific and Technological Advances, Acta Astronautica, 193, 56-74.
- 5) ESA, Cosmic Vision: Space Science for Europe 2015-2025, BR-247, 2005.
- 6) ESA, ESA Agenda 2025.
- 7) ESA, Terrae Novae 2030+ Strategy Roadmap, 2022.
- 8) ESA, The Aurora Programme: Europe’s Framework for Space Exploration, 2001.
- 9) G. Sanders et al., NASA In-Situ Resource Utilization (ISRU) Capability Roadmap Final Report, 2005.

참고문헌

- 10) G. Sanders et al., NASA Plans for In-Situ Resource Utilization (ISRU) Development, Demonstration, and Implementation, COSPAR 2022.
- 11) M. Casanova, et. al., Feasibility Study of a Solar Electric Propulsion Mission to Mars, Acta Astronautica, Jan 2024.
- 12) NASA, The Vision for Space Exploration, 2004.
- 13) National Space Policy of the United of America, 2010.
- 14) Review of US Human Spaceflight Plans Committee, Seeking a Human Spaceflight Program Worthy of a Great Nation Oct 2009.
- 15) Zion Market Research, VASIMR (Variable Specific Impulse Magnetoplasma Rocket) Engine Market, 2023.

〈기타문헌: 마지막순서(홈페이지주소 등)〉

- 1) <https://www.globenewswire.com/news-release/2023/09/15/2744098/0/en/VASIMR-Variable-Specific-Impulse-Magnetoplasma-Rocket-Engine-Market-Size-to-Surpass-77-Billion-by-2030-Zion-Market-Research.html>
- 2) <https://www.kict.re.kr/> 한국건설기술연구원 홈페이지 연구분야 소개



융합연구리뷰
Convergence Research Review

2024 November Vol. 10

No. 11



융합정책

여성과학기술인법 개정을 통해 본 여성과학기술인 정책의 변화 방향

주 혜 정

한국과학기술기획평가원 연구위원

여성과학기술인법 개정을 통해 본 여성과학기술인 정책의 변화 방향

주혜정 (한국과학기술기획평가원 연구위원)

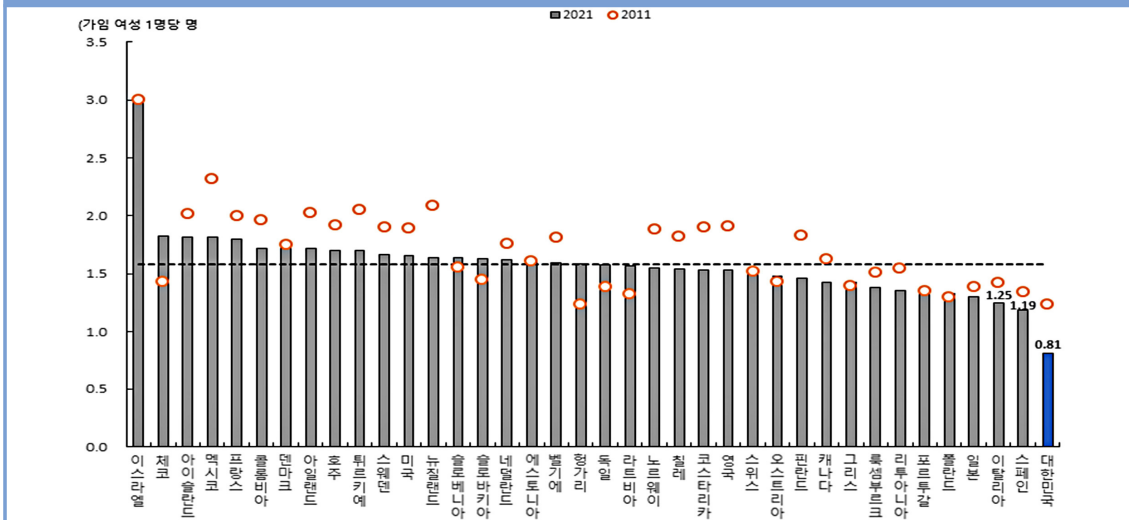
I. 서론

1. 인구감소시대 여성과학기술인 정책

1.1. 여성과학기술인 정책의 새로운 부상

저출산과 고령화의 심화로 전 세계에서 인구구조가 가장 크게 변화하고 있는 우리나라는 생산연령인구와 유소년인구는 급격하게 감소하고 고령인구는 급격히 증가하고 있다. 15~64세 생산연령인구는 2022년 3,674만 명에서 2030년에 3,417만 명, 2072년에는 1,658만 명 수준으로 감소할 것으로 전망된다. 총인구 대비 생산연령인구 구성비는 2022년 71.1%에서 2030년에 66.6%, 2072년에는 45.8% 수준으로 감소할 것으로 보인다(전민엽, 2024).

그림 1. OECD 회원국의 합계출산율 비교, 2011, 2021



* 출처: 통계청 통계개발원(2024.5.30.), 한국의 사회동향 2023, <https://kostat.go.kr/asdk>

생산가능인구 감소로 인한 경제성장의 정체 속 단기간 출산율을 반등시킬 수 없는 상황에서 여전히 충분히 활용되지 못하는 고령층과 여성의 활용 강화 방안이 현실적인 대안으로 논의되고 있다. 특히 과학기술 인력 양성의 차원에서 정책적 지원 대상으로 여겨졌던 여성과학기술인의 성장과 활용 정책에 대해서는 변화하는 환경에 맞춰 그 간의 성과를 평가하고 향후 나아갈 방향에 대해서 새롭게 검토해 볼 필요가 있다.

코로나 이후 재택근무의 확산, 디지털 전환으로 인한 SI와 같은 신기술의 도입은 전면적으로 도입된 근무방식의 변화, 접근가능한 신산업과 직종의 변화와 연계되면서 특히 전문화된 교육이 필요한 여성과학기술인에게 새로운 기회가 될 수 있을지 혹은 불평등의 심화를 가져올 것인가에 대해 다양한 연구가 진행되고 있다(오은진 외, 2023; IMD, 2024; 윤지소, 2024; 안혜연, 2021).

특히 여성과학기술인 정책은 일반적 여성이 겪는 생애주기 상의 경력단절과 같은 문제를 해결해야 하는 여성정책 영역이면서 동시에 수월성 중심의 전문적 과학기술 인력 정책이 교차하는 특수성과 복잡성을 지니는 영역이다(조은설, 2020; 엄미정, 2012; 강민아 외, 2008).

최근 오랜 노력을 통해 통과된 여성과학기술인 육성 및 지원에 관한 법률(이하 “여성과학기술인 법”)의 개정 내용과 이에 기반해 신규 수립된 제5차 여성과학기술인 육성·지원 기본계획을 되짚어 보며, 여성과학기술인 정책의 최근 이슈 변화와 앞으로 나아갈 방향에 대해서 살펴보고자 한다.

1.2. 최근 국내외 여성과학기술인 관련 주요 동향

1.1.1. 기술 진보에 따른 신산업과 일하는 방식의 변화

본격적인 디지털 전환으로 인한 산업과 일자리의 변화, 심각하게 체감되고 있는 전 세계적인 기후 위기, 코로나 팬데믹 이후 가정과 일의 양립과 관련된 일하는 방식과 인식의 변화 등 경제·사회적으로 인류는 복잡한 변화에 직면해 있다. 특히 로봇 대체 가능성이 높은 자동화 고위험군의 일자리는 코로나의 직접적 타격을 입었는데(송상윤·김하은, 2021) AI 기술의 빠른 진보는 이런 트렌드를 더욱 강화해 나갈 것이다.

여성과학기술인이 마주한 현실도 매우 복잡적이다. 긍정적인 측면에서는 디지털 전환과 시기술의 발전은 교육 접근성을 높이고, 단순 업무의 일자리를 줄이고 디지털 역량을 갖춘 전문 인력의 확대를 요구하고 있고 전문지식을 갖춘 인력에 대한 수요가 확대되면서 원격 근무와 같은 다양한 형태의 근무를 수용하게 되었다. 그러나 한편에서는 코로나 팬데믹 동안 재택근무가 확대되면서 증가된 돌봄노동에 대한 부담이 오히려 여성의 경력 유지를 저해하고, IT 기술의 발달이 사이버 괴롭힘이나 성별고정 관념의 확산과 같은 상황을 야기시켰다. 전통적으로 여성이 가정 내 육아 및 가사노동에 더 많은 시간을 소비해왔고, 급작스럽게 도입된 유연한 근무 환경의 영향은 남녀와 경력 단계에 따라 동일하게 적용되지 않았다(윤지소, 2024; UNIDO, 2021; Gabster et al., 2020, Emanuel et al., 2024).

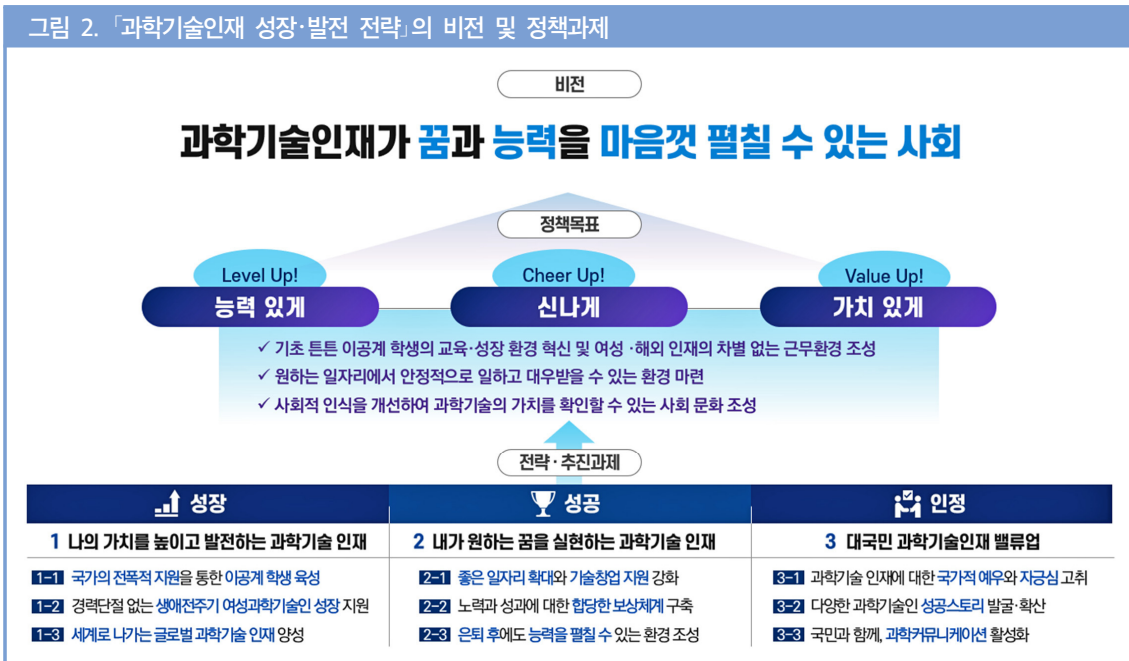
이런 변화에 대응하여, 우리나라 여성과학기술인 정책은 어떤 방향으로 나아가야 하는지를 논의하기에 앞서 우리나라 과학기술 인력 정책의 최신 이슈 및 주요 동향을 먼저 살펴보자.

1.1.2. 국내 과학기술인재 관련 정책 동향

최근 몇 년간 과학기술 인력정책에 있어서도 국가 간 기술패권, 인구감소가 가장 큰 화두로 등장하였다. 지정학(地政學)이 아닌 기정학(技政學)이라는 용어가 사용될 정도로 국가적으로 미래 핵심 기술의 확보와 이를 위한 글로벌 수준의 인력 육성·확보가 중시되고 있다. 이에 우리나라는 근본적인 R&D 생태계 개혁을 위해 2023년 발표된 「윤석열 정부 R&D 혁신방안」에서 국가적 전략기술, 세계 최초·최고, 기초연구 거점 확충을 추진하면서 과기인력의 관점에서도 국가 전략분야에 글로벌 수준의 인력 양성·활용, 특히 젊은 연구자에 대한 지원이 강조되었다(관계부처 합동, 2023).

또한 산업부의 산업·에너지 투자전략 및 제도혁신 방안(24.01.18)의 인재양성 부분에서도 미래 세대가 세계적인 연구자로 성장하도록 지원 강화를 제시하며, 특히 첨단산업 현장 수요에 기반한 고급인재 양성에 역량 집중하고자 함을 제시하였다(산업부, 2024). 교육부도 산업교육 및 산학연 협력 시행계획(24.07.15)에서 미래/지역특화산업 분야 인재양성, 시장 중심의 기술사업화 체계 혁신, 글로벌 창업활성화로 지역일자리 창출 등의 과제를 제시하였다(교육부, 2024).

그림 2. 「과학기술인재 성장·발전 전략」의 비전 및 정책과제



* 출처: 과기정통부(2024.9), 「과학기술인재 성장·발전 전략」 보도자료

가장 최근 발표된 과학기술인재 성장·발전 전략(2024)에서도 기술패권시대 국가 미래를 책임지는 핵심 자원으로 과학기술 전문인력의 중요성을 강조하면서 특히 과학기술인력의 양적 부족의 대응과 질적 수준 향상을 제시한 바 있다. 특히 중점과제 중 성장 부문에서 경력단절 없는 생애 전 주기 여성과학기술인 성장 지원(1-2)을 주요 정책과제로 포함하였다. 그 내용은 여성인재 전주기 양성 체계를 구축하고, 육아·연구 병행이 가능한 근무 환경

조성을 통한 경력단절 방지 및 과학기술분야 성인지 문화 확산을 추진하는 것이다(과기정통부, 2024).

그러나 최근의 R&D와 과학기술 인력을 둘러싼 정책 방향은 국가적 기술패권 확보를 위해 전략 분야, 글로벌 수준, 최고 우수 인력 확보에 강조점을 두고, 변화하는 산업 수요와 공동화되는 지역산업 생태계를 중시하고 있다. 여성과학기술인 성장 지원 과제가 인력 정책 중 하나로 포함된 것은 의미있으나 전체 과학기술 정책이 목표하는 바와 여성과학기술인력 정책의 변화 방향이 정합성있게 매칭되어 실제 의도하고자 한 효과를 거둘 수 있을지에 대해서는 검토가 필요하다. 일반적인 이공계 여성 인력의 양적 확대 정책이 좀 더 정교하고 실질적인 전주기 양성 체계 구축으로 변화하기 위해서 그 동안 어떤 노력이 있었는지, 앞으로는 어떤 점에 좀 더 중점을 두어야 하는지를 우리나라 여성과학기술인 법과 기본계획의 변화를 통해 살펴보고자 하자.

II. 우리나라 여성과학기술인 법·정책의 발전 과정

1. 여성과학기술인 법과 여성과학기술인

1.1. 법의 제정 및 개정

여성과학기술인 육성 및 지원에 관한 법률(이하 “여성과학기술인법”)은 2002년 제정된 이후 여성 과학기술인의 지위 향상과 인력 활용 확대를 목표로 하는 대표 법률로 여러 차례 개정되었다. 1990년대부터 여자대학 대상 연구기반 확충을 위한 사업 등이 소규모로 추진되기는 했지만, 과학기술분야 여성인력에 대한 사회적 논의의 본격적 확산 계기가 된 것은 이 법의 제정 이후라고 볼 수 있다(윤빛나리 외, 2018; 충남대 국가정책연구소, 2017; 조은설, 2020). 여성과학기술인 지원만을 위한 별도의 법령을 갖추고 있다는 것은 정책 추진을 위한 체계적 토대를 갖추고 있는 것으로 평가되고 있다. 2002년 12월 여성과학기술인 법, 2003년 7월 여성과학기술인 육성 및 지원에 관한 법률 시행령이 제정되고, 이에 기반해 2004년 이후 5년마다 여성과학기술인 육성·지원 기본계획(이하 기본계획)이 수립·시행되는 체계를 갖추게 되었다.

여성과학기술인 지원법은 “여성과학기술인의 양성·활용 및 그들에 대한 지원 시책을 마련하고, 여성과학기술인이 그 자질과 능력을 충분히 발휘할 수 있도록 지원함으로써 여성의 과학기술 역량 강화와 국가의 과학기술발전에 이바지하는데 그 목적이 있다”고 그 목적을 밝히고 있다. 여성과학기술인 지원법이 정부조직 개편과 같이 타법에 의한 개정을 제외하고 내용상으로 크게 개정된 해는 2012년과 2018년으로, 개정의 주요 내용은 아래와 같다(법제처 국가법령정보센터; WISSET 홈페이지).

2012년에는 정책 추진의 기반을 다지기 위한 개정이 주로 이루어져, 실태조사 실시 시기를 ‘매년’으로 구체화하고, 국가·지자체의 적극적 조치의 평가 결과에 따라 ‘행정적·재정적 지원’을 할 수 있도록 구체적인 근거를 마련하고, 경력 단절 사유에 임신·출산·육아 이외의 ‘가족구성원 돌봄’을 추가하고, 취업·재취업을 위한

지원에 교육·훈련 이외의 지원이 가능하도록 '교육·훈련 등'으로 확대하였다(법제처 국가법령정보센터; WISET 홈페이지).

2018년에는 보다 적극적인 조치를 위하여 여성과학기술인 '담당직원'을 '담당관'으로 격상하고, 여성과학기술인 채용 촉진, 여성과학기술인의 지위 향상, 일·가정 양립 연구 문화 환경 조성, 그 밖에 여성과학기술인을 위한 지원 등 구체적인 업무를 제시하였다. 또한 적극적 조치의 내용에서도 대상 기관을 과학기술 분야의 연구기관 및 이공계대학 등으로 명시하고, 기존 채용목표비율 및 직급별 승진목표비율 외에 '재직목표비율'을 신설하였다. 여성과학기술인에 대한 지원을 연수, 연구활동에서 '교육, 훈련·연구'로 확대하고 국가 및 지방자치단체의 여성과학기술인의 국제협력 촉진을 위한 국제공동연구 및 학술교류 사업 등의 지원을 명시하였다(법제처 국가법령정보센터; WISET 홈페이지).

표 1. 여성과학기술육성 및 지원에 관한 법률 주요 제·개정 현황

시행연도	제·개정 이유	주요 내용
1990년대 말	-	<ul style="list-style-type: none"> 과학기술 분야에서 여성 관련 논의가 부각되기 시작 <ul style="list-style-type: none"> - 1995년 'UN 세계여성회의' 북경선언 - 1998년 APEC 과학기술각료회의 '성과 과학기술' 의제 - 1998년 대통령 직속 여성특별위원회 출범 - 1999년 세계과학회의 여성 과학참여촉진 이슈
2001년	「과학기술기본법」 제정	<ul style="list-style-type: none"> 과학기술기본법 제24조의 여성과학기술인의 양성에 관한 조항에서 여성과학기술인 지원정책을 처음으로 언급 - 과학기술부가 '여성과학기술인 양성 및 활용방안' 발표, 국공립 과학기술 연구기관 여성과학기술인 채용목표제 도입
2002년	「여성과학기술인 육성 및 지원에 관한 법률」 제정	<ul style="list-style-type: none"> 김대중 정부의 정책 기조와 맞물려 정부 정책 전반에 여성이 강조되었고, 이것이 곧바로 여성과학기술인을 대상으로 하는 법률 제정으로 이어짐
2012년	여성과학기술인 양성·활용을 위한 정책의 시행과정에서 여성과학기술인 취업 지원에 관한 근거를 마련하여 우수한 여성인력의 과학기술분야 진출기회를 확대하고, 과학기술 인적자원으로 활용할 수 있도록 하려는 것임	<ul style="list-style-type: none"> 6조(실태조사) - '실시'에서 '매년 실시'로 구체화 11조(적극적 조치) - '행정적·재정적 지원'이라는 문구 추가하여 국가-지자체가 행정-재정 지원할 수 있는 근거 마련 13조(취업 및 재취업) - 제목을 '재취업 등 교육훈련'에서 '취업·재취업 지원'으로 개정하고, 임신·출산·육아 외에 가족구성원 돌봄도 경력단절 조건에 포함
2018년	여성과학기술인의 국제협력력을 촉진하기 위하여 (국가 및 지방자치단체) 국제공동연구 및 학술교류 사업 등을 지원할 수 있도록 하고, (중앙행정기관의 장 등)은 이 법에 따른 권한의 일부를 기관 또는 단체에 위탁하는 경우 업무 수행에 필요한 경비를 출연 또는 보조할 수 있도록 함으로써 여성의 과학기술 역량 강화에 이바지하려는 것임	<ul style="list-style-type: none"> 담당관 지위 격상(12조): 담당직원에서 담당관으로 명칭변경, 담당관 업무 법률*에 강조 * 여성과학기술인 채용 촉진, 여성과학기술인의 지위 향상, 일·가정 양립 연구 문화 환경 조성, 그 밖에 여성과학기술인을 위한 지원 업무 적극적 조치의 재직목표비율 신설(제11조): 기존 채용목표비율 및 직급별 승진목표비율 외 재직목표비율까지 관리범위 확장, 적극적 조치의 여성진출 분야를 연구기관 및 이공계 대학 등으로 명시 여성과학기술인에 대한 지원 영역 확대(제10조): 여성과학기술인의 경비지원을 연수, 연구활동에서 교육, 훈련·연구로 확대

* 출처: 국가법령정보센터 및 한국여성과학기술인육성재단(WISET) 홈페이지; 박은혜 외(2020)에서 오현정 (2015) 재인용 종합·정리

1.2. 여성과학기술인 육성·지원 기본계획

여성과학기술인 육성·지원을 위한 주요 정책은 5년마다 수립된 기본계획을 통해서 보다 구체적으로 추진되었다. 여러 연구가 분석하고 있듯이 여성과학기술인 정책은 이공계 분야 여성의 양적 인력양성을 위한 이공계 분야로의 진학 촉진에서 시작하여, 점차 종합적인 육성-성장-인프라로 체계를 갖추고, 고급인력, 경력개발, 양성평등, 일·가정 양립 등 그 주제와 범위, 접근법이 확대되어 나가고 있다. 기본적으로 법과 계획에 의한 체계적인 정책 수립·추진을 통해 여성과기인 관련 예산과 사업을 확보하고, 양적 성장을 이루었으며, 여성과학기술인지원센터(현, 한국여성과학기술인육성재단)라는 중요 수행 주체도 갖추게 되었다. 특히 3차 기본계획 이후에는 여성과기인 정책이 단순히 국가적으로 필요한 인적자원 확보에서 벗어나 보다 적극적으로 양성평등과 성장, 여성친화적 환경 등의 가치를 포함하고자 제도적인 목표를 제시하며 문화의 변화를 추진하였다. 꾸준히 여성과학기술인의 양성에서 활용과 질적 성장으로 정책 초점이 변화하였고, R&D지원, 글로벌 진출, 여성 리더 확대, 경력단절 방지와 이를 실현하기 위한 국가적 차원의 추진과제 발굴·실행으로 논의를 확대해 나가고 있다(권정현, 2021; 윤빛나리 외, 2018; 조은설, 2020; 곽은혜 외, 2020)

표 2. 제1차~4차 여성과학기술인 육성지원 기본계획 목표 및 추진전략

시기	기본계획	특징
2004년	「제1차 여성과학기술인 육성지원 기본계획 (2004~08)」 수립 - 여성과학기술인 지원을 위한 정책기반 마련	[목표] 여성의 과학기술분야 진출 촉진을 통한 과학기술인력 활용 극대화, 여성과학기술인의 역량제고를 통한 과학기술경쟁력 강화, 여성과학기술인의 발전잠재력 확충 및 지위 향상, 지역 여성과학기술인 활용을 통한 과학 기술 균형발전 촉진 [추진방향/전략] 여학생의 이공계 진학·진출 촉진을 위한 적극적 조치 추진, 여성과학기술인의 자질향상을 위한 교육·훈련 강화, 대국민 홍보 강화, 관계부처·지자체와의 협력강화, 민간단체 및 기업의 참여 유도
2009년	「제2차 여성과학기술인 육성지원 기본계획 (2009~13)」 수립 - 고급 여성과학기술인 확대, 여성과학기술인 육성·활용을 위한 활동기반 강화	[목표] (육성) 고급 여성과학기술인 확대, (활용) 여성과학기술인 활용 촉진, (인프라) 여성과학기술인 육성·활용 기반 구축 강화 [추진방향/전략] 여학생의 이공계분야 진출 촉진, 고급 여성과학기술인 인재의 전략적 양성, 여성과학기술인 친화적 일자리 창출, 여성과학기술인 경력개발촉진 및 활용다변화, 여성과기인 연구·사회환경 개선
2014년	「제3차 여성과학기술인 육성지원 기본계획 (2014~18)」 수립 여성과학기술인 정책이 추구해야 할 가치 (역량·도전, 균형, 다양성)를 설정하고 종합 전략 제시	[목표] (역량·도전) 이공계 여학생 취업률, 연구책임자 비율 제고 등, (균형) 과학기술R&D분야 여성일자리 창출, 40대 여성과기인 경제활동 참가율 제고, (다양성) 여성과기인 보직자 비율 제고, R&D젠더분석 가이드라인 개발·적용 [추진방향/전략] 우수한 여성인재의 유입/활용 촉진, 여성과기인의 글로벌 경쟁력 제고, 여성과기인을 위한 좋은 일자리 확충, 과학기술일자리의 생활친화성 강화, 양성이 조화로운 과학기술 환경 조성
2019년	「제4차 여성과학기술인 육성지원 기본계획 (2019~23)」 수립 여성과학기술인의 질적 성장과 과학기술 분야 양성평등 실현 유입·성장 강조	[목표] 여성과기인의 질적 성장과 과학기술 분야 양성평등 실현 유입·성장 촉진, 제도·문화 혁신 [추진방향/전략] 미래 신산업 수요에 대응한 전략적 인력 유입·양성촉진, 여성과학기술인의 과학기술혁신·글로벌 역량 제고, 과학기술인으로서의 지속성장을 위한 경력개발·이음 확대, 과학기술분야 젠더혁신 체계 구축

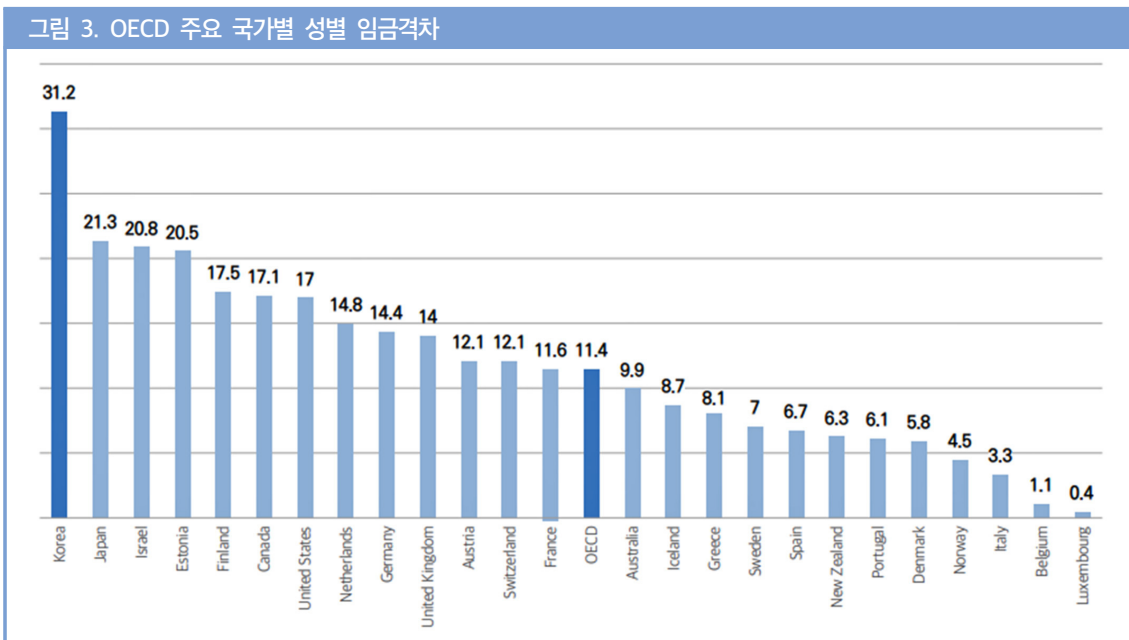
* 출처: 윤빛나리 외(2018); 곽은혜 외(2020)에서 오현정(2015) 재인용, p.10.

1.3. 기존 법/정책의 성과와 한계

여자 대학생의 이공계 진출 지원에서 출발해 점차 역량강화, 경력 성장과 직장 내 고위직 진출, 양성평등 문화를 강조하는 방향으로 변화 양상을 정리했는데, 정책이 목표한 성과를 얼마나 달성하고 있는가를 확인하기 위해서 우리나라 여성인력의 활용현황 등에 대한 국제 비교를 잠시 살펴보자.

우리나라는 OECD 국가들 간 비교에 있어서 성별 임금격차가 가장 큰 국가로 나타난다. 학령기 여성의 이공계 진학을 강화하기 위한 노력뿐만 아니라 교육 훈련을 통해 양성된 여성 과학기술인이 실제 지속적이고 안정적인 일자리에 전 생애동안 충분한 활약이 가능한가라는 질문이 점점 더 중요해지는 이유이다.

그림 3. OECD 주요 국가별 성별 임금격차



* 출처: 윤지소(2024)에서 OECD(2024), Gender wage gap, <http://www.oecd.org/en/data/indicators/gender-wage-gap.html> 재인용
주: 남성 중위임금이 100일 때 여성과의 격차(2022년도 기준)

OECD는 성별 임금 격차의 원인을 같은 기업 내에서 유사한 숙련도를 갖추었음에도 업무와 책임 분배 상 차이를 가져오는 견고한 유리천장과 주요 저임금 기업·산업에 여성 노동자가 집중돼 있는 점을 들며 우리나라 경제성장에 있어 양성평등에 대한 정책적 투자를 강하게 권고하였다(OECD, 2017; 한국조세재정연구원, 2023).

지속적인 이공계 분야 진학과 상위 학위 취득을 지원하더라도 고학력 여성의 확대에 맞춘 고용 환경의 개선이 뒷받침되지 않으면, 역설적으로 생산성 높은 여성 인력의 미활용에 따른 경제적 손실은 더 커질 수도 있다. 특히 개인에게는 생애소득 상실분이 출산 및 양육에 따라 포기해야 할 기회비용으로 여겨질 수 있기 때문에 지속적으로 일할 때 얻을 수 있는 잠재소득과 실제소득 간 차이가 커질수록 경력단절을 회피하고자 하는 유인이 강해져 만혼 및 저출산 심화로 이어질 가능성이 높다(조선주, 2014). 반대로 여성이 출산을 하더라도 경제적 불이익을 받지 않는 사회일수록, 여성의 경제활동참가율과 소득, 출산율이 모두 높아질 수 있다(조덕상·한정민, 2024).

또한 여성이 육아 등을 이유로 경제활동 중단 후 다시 일하려 해도 사회적으로 비우호적인 상황에서 결국 경력단절 여성은 자신의 전문분야가 아닌 현재의 경제활동을 대체할 일자리를 찾거나 심각한 경우 비경제활동 인력으로 잔류하는 선택을 할 수밖에 없다. 특히 대졸 여성들의 경우 경력단절 이후 재취업을 희망하더라도 기대 소득이 낮을 때 이런 상황이 발생되기 쉽다(황수경·권혜자·김인선, 2006; 정혜주 외, 2019). 여성과학기술자들은 대표적으로 장기간의 교육·훈련 투자가 필요하며, 기술진보의 속도가 빨라 한 번 뒤처지면 복구에 상당한 노력이 필요한 분야이기 때문에 실제로 이런 특징을 나타낸다.

일반적으로 여성의 경력단절에 출산, 육아 등이 가장 큰 원인이며, 30~40대 고용률이 현저히 저하되었다 회복되는 M자형 경력곡선을 보이지만, 과학기술분야의 경우 기술적·업무적 특성으로 인해 경력단절 후 복귀가 거의 없는 L자형 경력곡선을 나타낸다. 여성과학기술인력이 대개 고학력의 전문직인 점을 감안할 때 그만큼 인적자본 투자의 손실이 큰 분야라 할 수 있다(권정현, 2021; 정혜주 외, 2019; 이화진, 2018).

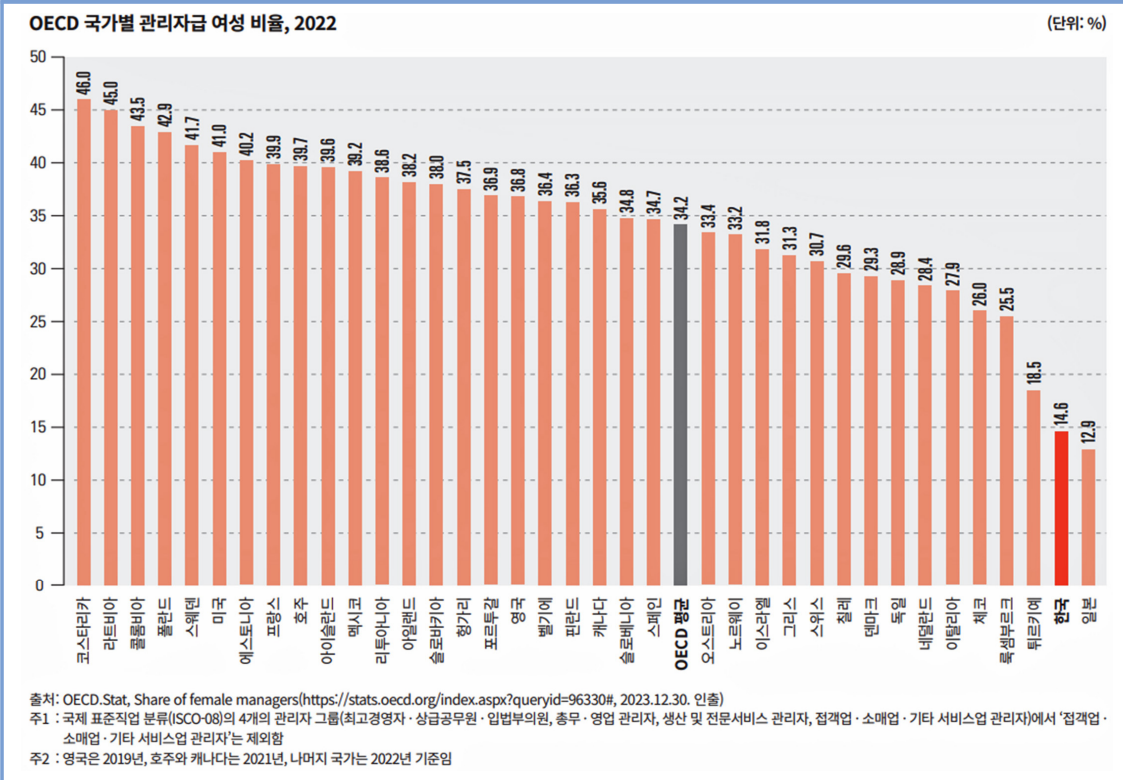
표 3. 여성과학기술인과 경력단절여성 비교

구분	여성과학기술인	경력단절여성
정의 키워드	이학(理學)·공학 분야 연구직·기술직	임신·출산·육아 경제활동 중단 취업희망
관련법률	2001년 과학기술기본법 2002년 여성과학기술인 육성 및 지원에 관한 법률	1998년 남녀고용평등법 2008년 남녀고용평등과 일가정양립지원법 개정 2008년 경력단절여성 등의 경제활동촉진법
관련 부처	과학기술정보통신부, 산업자원부	여성가족부, 고용노동부
사업 주체	한국여성과학기술인지원센터 미취업 및 경력단절 여성과학기술인을 위한 권역사업(충청, 호남제주, 대경강원, 동남권)	여성새로일하기센터 (전국 150개, 2017년 기준)
관련 사업	2001년 WISE 사업 2003년 '여성과학기술자상' 신설 2004년 5년마다 기본계획 수립 2004년 WATCH 21(산업자원부), WIST(과학기술부) 2006년 WIE(교육과학기술부) 2011년 WISSET 통합 2012년 경력복귀 지원 사업	2006년 여성인력개발종합계획 수립, 여성 인력개발협의회 구성·운영 2009년 여성새로일하기센터 사업 시작(여성가족부) 2009년 여성고용지원센터 사업(고용노동부)
공동 사업	서울과학기술여성새로일하기센터 2014년 여성가족부로부터 서울과학기술여성새로일하기센터 지정	
사업 내용	경력개발, 일자리 지원 경력 성장 단계별 마음준비, 목표설정, 취업준비 등	직업상담, 직업교육훈련, 취업연계, 취업 후 사후관리
고용률 특징	L자형 곡선	M자형 곡선
경력단절 원인	제한적 고용기회, 남성 대비 적은 소득, 비정규직화, 가사 및 자녀양육 책임, 준비 및 기술 부족, 자신감 부족, 근무환경	

구분	여성과학기술인	경력단절여성
	단순 재취업 아닌 원래 경력복귀 희망 빠른 기술 변화로 재진입 어려움 지식 습득 재교육 부재 실험실 유해환경	-

* 출처: 이화진(2018), 빅데이터 분석을 활용한 여성과학기술인, 경력단절여성에 대한 특성 연구, p.21.

그림 4. OECD 국가별 관리자급 여성 비율, 2022

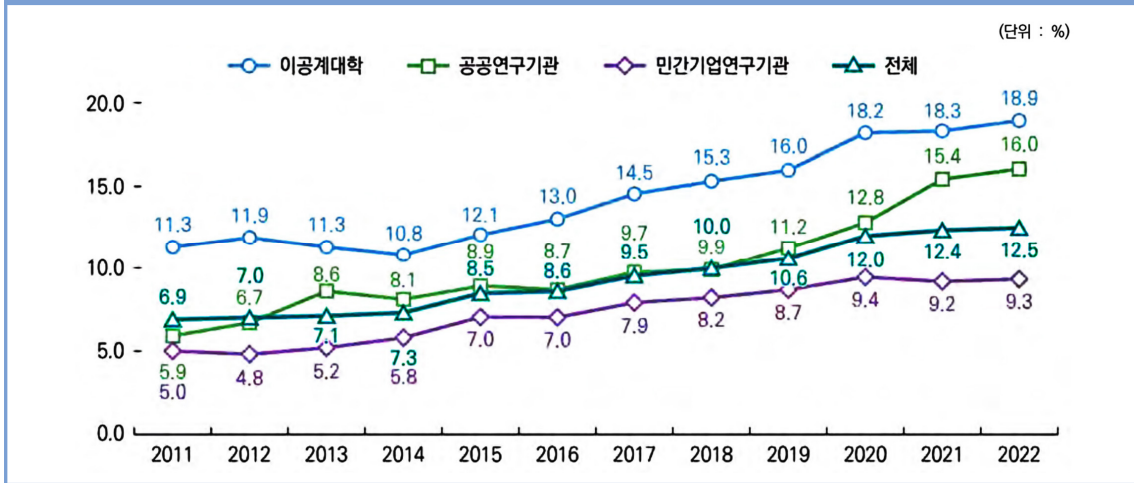


* 출처: 통계청 통계개발원(2024), 한국의 SDI 이행보고서 2024, p.51.

또한 여성 리더십에 있어서도, 국제노동기구(International Labour Organization, ILO)에서 제공하는 정부와 입법부, 민간기업 영역을 총합한 OECD 국가의 여성 관리직 비율을 보면 코스타리카(46.0%), 리트비아(45.0%), 콜롬비아(43.5%), 폴란드(42.9%), 스웨덴(41.7%), 미국(41.0%), 에스토니아(40.2%) 등이 40% 이상의 높은 수준을 나타낸다. 반면 한국은 14.6%로 OECD 평균인 34.2%의 절반에도 미치지 못하며 일본과 함께 최하위 수준에 머무르고 있다(통계청 통계개발원, 2024).

2022년도 여성과학기술인력활용 실태조사 보고서에서도 과학기술연구개발인력 관리자 중 여성비율은 지속적으로 상승세를 보이고는 있지만, 전체 여성 인력 중 여성보직자의 비중은 12.5% 수준으로 대략이 18.9%로 가장 높고, 민간기업연구기관이 9.3%로 가장 낮게 나타났다(WISET, 2024).

그림 5. 기관유형별 과학기술연구개발인력 관리자 중 여성비율 추이(2011-2022)



* 출처: WISET, (2024), 2022년도 여성과학기술인력활용 실태조사 보고서.

2000년대 초반 시행한 여성과기인법과 기본계획이라는 법·정책적 토대를 바탕으로 우리나라는 여성과학기술인의 양적 확대를 지속적으로 이루었다. 여학생의 이공계 유입 확대, 이공계 30~40대 여성과학기술인의 경제활동참가율 증가 등 여성과학기술인의 성장 기반이 확대된 성과도 있었다. 하지만 국가 전략적 투자 분야, 신규 일자리의 확대 분야인 공학계열 여학생의 진학은 여전히 저조하며 중장기 인력수요가 높은 분야에 충분히 공급되지 못하는 현상이 지속되고 있다(안혜연, 2021). 더욱 심각하게는 과학기술분야 여성 경력단절 비율이 높고 리더급 성장이 부진하며 역량 발휘를 위한 여건이 여전히 부족하다. 특히 R&D분야 여성일자리 정규직 비중이 낮고 보직자, 대형 연구과제 책임자 비중 등에 낮다는 점에서 전주기적인 여성과학기술인 성장 발전 정책 실현에 대한 현장 체감도는 여전히 낮은 수준으로 평가된다(권정현, 2021).

3. 여성과학기술인 관련 해외 정책 동향

3.1. 주요국의 여성과학기술인 정책 방향

최근 전 세계가 동시에 겪고 있는 인구감소와 인재 확보 경쟁 속에서 여성과학기술인의 성장과 활약을 지원하기 위해 최근 새롭게 제시된 화두는 무엇이며, 어떤 이슈가 논의되고 있는지 주요국을 중심으로 살펴해보도록 하자.

3.1.1. 미국의 STEM 분야 여성과학기술인 정책

미국은 STEM 분야에서 인종, 여성을 포함하여 포용성과 다양성을 촉진하기 위해 연방 차원의 다양한 프로그램과 법안을 운영 중인데, 대표적인 원칙이 백악관 산하 국가과학기술위원회(NSTC)가 2021년 발간한 STEM 분야 다양성 및 포용성 제고를 위한 가이드라인 보고서(Best Practices for Diversity and Inclusion in STEM Education and Research: A Guide by and for Federal Agencies)에서 제시되었다. 흥미로운 점은 단순 소수자의 권익 보호 관점이 아니라 STEM 분야 다양성 및 포용성의 증대가 조직의 혁신 및 생산성을

향상하고, 미래 노동력의 창의적 역량 극대화, 더 건전한 의사결정, 더 나은 문제해결능력을 통해 미국의 과학기술 리더십 지속에 기여한다는 관점을 강조하고 있다는 점이다(지세윤, 2022; NSCT, 2021).

또한, 반도체과학법(CHIPS and Science Act, 22)과 같은 대표적인 국가적 전략·첨단기술 지원 전략에 STEM분야 ‘다양성 및 포용성 관련 조항’을 마련하고 기관에 가이드라인을 배포·시행함으로써 이후의 국가적 투자가 지원되는 주요 사업별, 기관별 정책 추진에 있어 중요한 토대를 마련하였다.

표 4. STEM 인력 다양성 및 포용성 제고를 위한 핵심 권고사항

구분	주요내용
접근성	- 각 기관에서 STEM분야 교육 및 직업 프로그램에 대한 경로 접근방식을 개발하여 다양한 진입점을 제공하고 참가자가 다양한 생애주기 단계 및 수준에서 학업 성취 및 연구 전문성을 쌓을 수 있도록 지원
접근성	- 각 기관에서 제공하는 STEM 프로그램에 대한 접근 및 참여에 대한 장벽을 규명하고, 타 기관 및 전문 조직과 협력하여 이를 줄이거나 제거하는 전략을 개발
채용 목표	- STEM 인력의 다양성 제고를 위한 채용 및 유지 노력과 관련하여 측정 가능한 목표를 설정하고 모니터링 할 것
경력발전 계획/리더십	- STEM 분야에서 과소대표되는 그룹의 경력성장에 방해가 되는 요인을 제거하기 위한 경력발전 계획을 수립하고, 리더십 교육훈련 기회를 제공
암묵적 편견 교육	- 암묵적인 편견이 채용, 승진, 성과평가, 교육 및 리더십 기회 등에 어떻게 영향을 미치는지에 대한 인식을 높이기 위해 관리자 대상 무의식적 편견 교육을 제공
채용	- 연방 STEM 인력의 다양성 제고를 위해 기존의 ‘채용 및 특별 요율 급여* 전문기관’을 이용할 것 * 특별 요율은 경쟁이 매우 치열하고 정부가 직원을 모집 및 유지하기 어려운 것으로 간주되는 특정 직종 및 위치에서 지급되는 급여로, 일반적으로 STEM 관련 직종을 대상으로 함
채용/재직 불평등 해결	- 채용, 재직 등에 있어 불평등 문제를 해결하기 위해 기관 차원에서 유망하고 새로운 관행을 채택하는 등 변화를 시도
일과 삶의 균형	- 일과 삶의 균형을 위한 기관 차원의 노력을 확대할 필요

* 출처: 지세윤(2022), p.4. 구분은 저자 추가.

최근 미 공학 한림원(National Academy of Engineering, 2024)의 공학분야에서의 다양성, 형평성, 포용성 이슈를 다룬 the Bridge 가을호(The BRIDGE: ENGINEERING a Diverse Future)에서는 STEMM(Science, Technology, Engineering, Math, and Medicine) 분야 여성과 관련해 경력발전과 공식적인 채용 목표에서 나아가 유지, 발전, 복지 상 불평등을 개선하려는 리더의 시그널링, 멘토링에서 한 발 나아간 조직 내 구성원들의 불이익 집단을 지지하는 동맹관계(allyship) 같은 다차원적이고 장기적인 노력의 필요성을 강조하였다. 조직이 DE&I(다양성, 형평성, 포용성)를 장려해도 여성의 유지, 의미 있는 승진, 권한 부여가 부족하다면 이는 명시된 가치와 행동 사이의 연결 고리 단절을 의미하며, 비우호적인 업무 환경, 가족 의무의 열악한 수용, 성희롱, 임금 격차, 편향된 직무 및 임명, 업무 평가의 다양한 접근 방식 등이 STEMM 분야에서 여성의 ‘누수 파이프라인(leaky pipeline)’을 야기하는 요인이라고 분석하였다(Murrell & Allen, 2024).

3.1.2. 유럽연합(EU)의 여성과학기술인 정책

EU는 연구 및 혁신(R&I)의 성별 차원의 강화 뿐 아니라 성 평등 개선을 위한 여러 성공적인 프로그램을 시험해왔다. 다양한 성 평등 관련 프로젝트에 대한 재정 지원, 유럽혁신위원회(EIC)의 혁신 분야 여성 코칭 및 리더십 지원, 다양한 어워즈, 연구 및 혁신 분야의 성 평등 모니터링 보고서 등이 그것이다. 최근에는 유럽연합 집행위원회(EC)에서 호라이즌 유럽(Horizon Europe) 연구 프로그램의 모든 지원자에게 제도적 성평등 계획(Gender Equality Plan)을 마련하도록 하여, 연구기관 및 대학의 성평등 추진을 위한 구조적 변화 시스템을 마련하도록 유도하고 있다. 이는 공정한 대표성 및 경력 발전 경로 형성을 목표로 하여 유럽 전역의 지속 가능한 제도 변화를 주도하기 위한 핵심 도구이다(Science Business, 2024; EC, 2024).

STEM 분야 여성 대표성 개선을 위한 다양한 정책과 이니셔티브 중 어린 소녀들의 호기심을 촉진하고 STEM을 발견하도록 돕는 환경 조성 노력 중 대표적인 것이 'Girls Go Circular' 프로그램이다. 2020년 유럽혁신 기술원(EIT)이 론칭해 STEM분야 다양성을 증가시키고 친환경 및 디지털 전환 가속화 지원을 도모해온 'Girls Go Circular' 교육 프로젝트를 유럽집행위원회(EC)는 2027년까지 4만 명의 STEM분야 여성 인재 양성을 목표로 하는 확장 계획을 발표('22.12)한 바 있다. STEM분야 성 격차 해소 및 다양성 증진은 유럽의 탈탄소화의 가속화와 긴밀하게 연계된다(지세윤·정효림, 2023). 또한 뛰어난 여성 혁신가를 장려하기 위한 여성 혁신가상(the Women Innovators Prize) 수여를 통해 획기적인 아이디어로 실생활에 영향을 끼친 여성을 조명하고 있다(EC, 2024).

전문가들은 다음 단계로 의도적 설정을 넘어 지속적인 변화를 가져오는 목표 지향적인 방안이 필요하다고 지적하는데, 대표적으로 유럽여성총장협회(EWORA) 인터뷰와 엘스비어(Elsevier)의 논문 분석을 토대로 발간한 「READY TO BREAK THE GLASS CEILING?(우리 천장 깰 준비가 되었는가?)」(2024) 보고서에서 FP10(차기 연구혁신 프레임워크 프로그램)을 통해 유럽의 성평등 목표를 실현할 수 있는 6가지 제언을 제시하고 있다(Science Business, 2024).

첫째, EU 차원에서 다른 분야, 기관, 경력을 가진 다양한 여성 롤모델을 제시해야 한다. 둘째, 여성은 평가 단계에서 동일한 기회가 필요하다. 성별을 비롯한 다양성 장려를 위해 FP10은 연구 평가에서 익명성(anonymity)을 허용해야 한다. 평가자의 무의식적인 편견을 배제하여 지원서에서 뛰어난 아이디어에만 집중할 수 있다. 셋째, FP10을 고려하여 EU는 과학자의 평가 방법을 재고해야 한다. 정책 인용, 다학제적 연구, 미디어와 대중 대상 과학 홍보 등 다양한 사회적 영향 지표에 여성 참여 연구의 기여도가 높다는 증거가 있지만, 전통적인 지표는 여성의 업적을 간과하는 경향이 있다. 넷째, 리더십 문화는 전통적인 특성과 다른 스킬셋(skillset)을 보유한 여성 리더에게 공간을 제공해야 한다. 이를 위해 리더십 과정은 공감과 경청 등 보다 포용적인 스킬의 중요성을 인식하고 관련 접근 방식을 채택해야 한다. 다섯째, 호라이즌 유럽 지원자에게 성평등 계획을 필수로 한 것은 중요한 첫걸음으로 이제 EU는 전용 자금과 실질적인 메커니즘을 통해 계획이 지속 가능한 구조적 변화(sustainable structural changes)로 이어질 수 있도록 이행을 지원해야 한다. 마지막으로 전문가 네트워크를 구축할 수 있는 기술과 자신감을 갖춘 여성의 지원을 통해 고위직 후보로서의 여성 가시성을 높일 수 있다(Science Business, 2024).

3.3.3. 독일과 일본의 여성과학기술인 정책

독일과 일본의 여성정책과 관련해서는 최신 관련 정책기관의 동향 분석 사례를 두 가지 정도 추가하고자 한다. 독일 연방정부는 2021년 세 번째 성평등 보고서의 주제를 ‘디지털 성평등’으로 채택해 디지털 경제 안에서 남녀의 동등한 기회 실현을 위한 과제 설정, 성평등한 디지털화의 설계 등을 추진하였다. 특히 독일 디지털 산업 내 여성 비율이 16%로 낮은 점에 주목하여 독일 연방 교육연구부는 MINT(수학, 정보통신, 자연과학 공학) 분야 여성 지원과 직업교육/훈련과정에서 관련 직업군 일자리 연계에 주력하였다. 대표적인 이니셔티브인 ‘Komm mach MINT(민트하자)’는 여성이 학교나 회사 등에서 MINT 교육에 적극적으로 참여하고 네트워크를 맺을 수 있는 다양한 프로그램을 지원했다. ‘이니셔티브 고정관념에서 벗어나기(Initiative Klischeefrei)’를 통해 여성의 IT 회사 진출, 과학 및 기술, 컴퓨터 분야 전공, 직업 훈련 참여를 조기에 지원하고 성별 고정 관념에서 벗어나 직업 선택을 하도록 장려하였다. ‘이니셔티브 여성 기업(Frauen unternehmen)’을 통해 여성 창업가에 대한 지원금 확대와 여성 롤모델 확대를 위해 노력하고 있다(채혜원, 2021).

또한 STEM 분야 여성 졸업생 비율이 OECD 38개국 중 최하위(평균 31%에 비해 일본은 18%)를 기록한 일본도 대학, STEM 분야에서 여학생 입학 할당량 증대 노력을 기울이고 있다. ‘YAMADA SHINTARO D&I’ 보고서에 따르면, 일본은 40개 이공계 대학을 중심으로 여성비율이 낮은 STEM 분야 활성화를 위해 여성 지원자 할당제를 시행했는데 도입 이후 공학부의 여학생 비율이 8년간 10~15% 상승하였고 '23년 이후에 21개 교에서 추가 도입하였다. 일본 교육부에서는 공학 전공 여학생을 더 많이 확보하기 위해 2023년 입학전형 시행 지침에서 ‘다양한 배경을 가진 사람을 대상으로 선발’이라는 새로운 입학전형 시행 지침을 발표하였다. 이와 관련하여 일본 공과대학은 남학생 비중이 절대적으로 높아('23년 5월 기준, 대학생 중 여학생 비율은 46%이나, 공학부는 16%, 이학부는 28%에 머뭇) 다양성과 혁신적 아이디어가 부족하다는 평을 듣고 있는데 이것이 반도체와 조선업 등 세계를 선도하던 일본 산업이 부진하게 된 원인으로 지목되었고, 이공계 분야에서의 구성원의 다양성 부족 문제로 이어지게 되었다는 진단이다(한국과학창의재단, 2024)

주요국 모두 지속적인 노력을 통해 젊은 여학생의 과학 흥미 유발, 이공계 진학, 과학기술 연구분야 참여, 학술적 성과가 확대되고 중요한 프로그램이나 기관 운영에 다양성·포용성을 위한 지침이나 계획이 포함되는 방향으로 변화되었다. 흥미로운 점은 실질적으로 생산성 향상, 새로운 혁신, 기후변화 대응, 디지털 전환과 지속가능한 성장에 있어 다양성과 포용성이 중요한 요소로 작용한다는 점이다. 여성의 참여가 단지 윤리적인 문제만이 아닌 실질적인 차원에서 인구 감소 시대에 중요한 인력자원이며 지속가능하며 혁신적인 문제 해결방안을 찾아낼 수 있는 새로운 원천임을 인식시키려 하고 있다.

최근 여성과학기술계가 새롭게 제기하는 제언들은 모두 공식적인 채용이나 할당 목표만큼이나 여성의 사회 진출을 바라보는 후속 세대에게까지 실질적인 인식 변화를 가져올 수 있도록 다채로운 경로의 여성 리더십을 확보하고, 실질적인 구조적 변화를 연계시키는 노력을 강조하고 있다. 어린 학생부터 호기심에 기반한 STEM 분야의 적극적 유인을 강화하고, 특히 디지털이나 기후변화와 같은 신규 일자리와 연계된 공학분야로의 진출을 유도하며, 여성의 경력 경로의 누수를 막기 위해 편견을 배제한 평가 체계, 여성의 기여를 인정하는 다차원적 평가 방식, 다양한

롤모델과 멘토링, 동맹관계(Allyship)의 구축, 가족과 일의 양립이 가능하게 하는 유연하고 우호적인 환경 등이 점점 더 중요한 이슈로 등장하게 되었다.

4. 최신 여성과학기술인 정책 변화의 주요 내용 및 의의(WISET)

4.1. 여성과학기술인법의 최신 개정

과기계의 흐름과 수요를 반영하여 우리나라 여성과학기술인법 일부 개정안이 2024년 1월 국회 본회의를 통과하여 7월부터 본격적으로 시행되게 되었다. 핵심적인 변화는 일·생활 균형 지원, 직급별 보직 목표 비율, 여성과학기술인 경력단절 예방 지원이 법적인 명확한 근거를 갖추게 되면서 실행력을 담보할 수 있게 되었다.

첫째, 여성과학기술인의 일·생활 균형을 지원하는 법적 근거를 마련하였다. 기본계획에 포함되어야 하는 여성과학기술인의 일·생활균형에 관한 사항과 지역 여성과학기술인의 지원에 관한 사항 조문이 신설됨으로써 명확한 법적 근거를 마련함으로써 지역여성과학기술인과 여성과학기술인의 일과 생활 균형을 지원하는 사업을 본격적으로 추진할 수 있게 되었다.

둘째, 여성과학기술인의 적극적 조치 범위가 확대되었다. 직급별 보직(관리자) 목표 비율을 신설하는 개정을 실시하였다. 여성과학기술인 고용의 질과 대표성 비율을 동시에 높이기 위해서 기존에 없던 직급별 보직 목표 비율이 신설되었다.

셋째, 여성과학기술인의 경력단절 예방 지원을 위한 법적 근거를 마련하였다. 여성과학기술인의 경력단절 예방에 관한 조문을 신설하여 임신·출산·육아와 가족구성원의 돌봄으로 여성과학기술인이 연구활동을 중단하지 않도록 법적으로 지원할 수 있게 되었다. 가능한 지원사업으로는 여성과학기술인의 대체인력 지원사업, 여성과학기술인의 경력유지를 위한 육아와 가족구성원 돌봄 지원사업, 여성과학기술인의 일·생활균형을 위한 조직·사회문화 개선사업 등이 있다(WISET, 2024).

표 5. 2024년 여성과학기술인 육성 및 지원에 관한 법률 주요 개정 내용

시행연도	제·개정 이유	주요 내용
2024년	여성과학기술인 육성 및 지원에 관한 기본계획에 여성과학기술인의 여성과학기술인의 일·생활 균형 지원에 관한 사항 등이 포함되도록 하고, 국가 및 지방자치단체가 과학기술분야 연구기관 및 이공계대학 등에 대하여 여성과학기술인의 직급별 보직목표 비율을 설정할 수 있도록 하며, 과학기술분야 연구기관 및 이공계대학 등의 장이 인사행정을 위한 위원회의 구성에 관하여 특정 성별이 10분의 7을 초과하지 아니하도록 제한하는 등의 적극적 조치를 할 수 있도록 하는 한편,	<ul style="list-style-type: none"> • (4조) 여성과학기술인 육성·지원에 관한 기본계획 포함사항 수정 <ul style="list-style-type: none"> - 최근 정책수요를 반영하여 '여성과학기술인의 일·생활 균형 지원에 관한 사항' 및 '지역 여성과학기술인의 육성에 관한 사항' 신설 • (10조) 여성과학기술인 연구활동 지원 문항추가 및 지원범위 확대 <ul style="list-style-type: none"> - 대통령령으로 정하는 기준을 충족하는 '기업부설연구소'에서 교육이나 훈련·연구 활동을 할 수 있도록 지원범위 확대 - 국제적 역량을 강화하기 위해 '해외연수 활동'에 대한 지원근거 신설 • (11조) 적극적 조치*범위확대 및 제도 실효성 강화 <ul style="list-style-type: none"> * 과기연구기관 대상 매년 채용·재직·승진자의 일정비율 이상을 여성으로 하도록 권고

시행연도	제·개정 이유	주요 내용
	<p>여성과학기술인이 임신·출산·육아와 가족구성원 돌봄 등을 이유로 연구활동을 중단하지 아니하도록 지원사업을 실시할 수 있도록 하고, 한국여성과학기술인육성재단 및 한국여성과학기술인 지역지원센터의 설립 등에 관하여 규정하는 등 현행 제도의 운영상 나타난 일부 미비점을 개선·보완함</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 여성고용의 질적수준 증대 및 대표성 비율 제고를 위해 '직급별 보직(관리자)목표 비율'을 설정할 수 있도록 적극적 조치 범위 확대 • (12조) 여성과학기술인 담당관 제도* 추진체계 강화 <ul style="list-style-type: none"> * 과기연구기관에 담당관 지정, 일생활 균형 연구문화 환경 조성, 여성 지위향상 등 업무 수행 - 기관내 담당관 활동 및 업무 협력 추진체계인 전문위원회 설치 근거 신설 • (13조의2) 여성과기인의 경력단절 예방 지원사업 추진근거 마련 <ul style="list-style-type: none"> - 여성과학기술인이 임신·출산·육아와 가족구성원의 돌봄 등의 이유로 연구활동을 중단하지 아니하도록 여성과학기술인의 연구환경에 맞는 지원사업을 할 수 있도록 법적 근거를 명확히 마련 • (14조) 한국여성과학기술인육성재단*의 법적 설립근거 마련 <ul style="list-style-type: none"> - '13.1월 법인 설립, '17.1월 기타공공기관 지정, '21.6월 기관 명 변경(지원센터→육성재단) • (15조) 여성과학기술인 육성·지원 관련 재원 조달범위 확대 <ul style="list-style-type: none"> - 동법에서 정하는 여성과학기술인 육성·지원 관련 사업비의 전부 또는 일부를 예산 또는 기금의 범위에서 지원하도록 재원 조달범위 확대

* 출처: 국가법령정보센터 및 한국여성과학기술인육성재단(WISET) 보도자료(24.1.9).

여성과학기술인법의 제정 이후 내용 상의 가장 큰 변화는 일·생활 균형 지원을 공식적인 주요 목표로 삼아 기본계획 수립의 주요 내용으로 포함한 것이다. 또한 기업부설연구소에서의 교육·훈련, 국제적 역량 강화를 위한 해외연수 등 여성과학기술인 경력개발에 보다 실효성 있는 지원의 범위를 확대하고, 여성 리더십의 확대와 여성 고용의 질적 제고를 위해 여성 직급별 보직 목표 비율 등을 설정할 수 있도록 적극적 조치의 범위를 확대하였다. 성문화된 조항들의 변화로 실질적인 정책 수립 시 법에 근거한 보다 체계적인 권고와 추진이 가능해졌다는 점에서 매우 고무적인 변화로 볼 수 있다.

4.2. 제5차 여성과학기술인 육성·지원 기본계획('24~'28)

법의 개정과 연계되어 새롭게 2024년 8월 「제5차 여성과학기술인 육성·지원 기본계획」의 수립도 완료되었다. 개정된 법에 기반해 여성과학기술인의 일·생활 균형 지원에 관한 사항과 지역 여성과학기술인의 육성에 관한 사항이 필수 포함사항으로 추가되었다. 계획의 수립 과정에서 공식적인 자문위원회의 구성·운영 뿐만 아니라 범국민 설문조사 및 타운홀미팅 등 다양한 이해관계자의 수요를 반영하기 위한 노력을 기울였다.

특히 5차 기본계획의 보완 방향에 우수 여성인재 이공계 유입 촉진을 위해 초등단계로 확장된 STEM 교육 강화, 경력복귀 지원에서 경력단절 자체를 방지하는 적극적인 경력유지 정책으로 전환, 신산업 분야 및 국제사회에서 활약할 여성인재 양성에 주력, 다양성·형평성·포용성(DE&I) 및 젠더혁신 문화 확산 노력을 추가하였다 (과기정통부, 2024).

그림 6. 제5차 여성과학기술인 육성지원 기본계획 목표 및 추진전략



* 출처: 과학기술정보통신부 (2024), 「제5차 여성과학기술인 육성·지원 기본계획(안) (’24~’28)」

이를 통해 도출된 비전은 ‘여성과학기술인과 함께 열어가는 대한민국의 지속가능한 미래’로 STEM 분야 여성인재 조기발굴 및 유입 촉진, 여성과학기술인 지속 활약 기반 확충, 유망기술 분야 여성인재 참여 및 국제협력 강화, 포용적 문화확산 및 사회적 기여 확대의 4대 전략에 따른 12개 과제를 제시하였다.

이번 기본계획에서는 실제 수요에 기반해 지속가능한 전 주기 여성 과학기술인력의 성장과 진로 연계, 경력단절 없는 연구와 참여, 여성 대표성 제고 및 다양한 여성 리더 확보, 신산업·유망기술 분야의 여성 인재 진출, 지역 핵심산업과 글로벌 경쟁력 확보, 실효성 있는 포용적 문화 확산과 여성의 사회적 기여 확대 등 기존 기본계획의 과제 보다 한 단계 더 나아가거나 구체성을 강화하는 노력을 보여주고 있다(과기정통부, 2024).

III. 정리 및 시사점

지금까지 우리나라 여성과학기술인을 지원하기 위한 정책의 변화 과정을 법과 기본계획이라는 체제를 통해서 살펴보았다. 기본적인 정책 기반을 닦는 것에서부터 시작해 이공계 진학 확대라는 양적인 성장을 거쳐, 인프라·제도와 문화적 요인, 좀 더 명확한 목표치를 제시하는 적극적 조치, 지원 방안의 구체화와 확대 등으로 점점 더 변화하는 모습을 확인할 수 있었다. 우리나라 여성 과학기술인이 처한 상황적 문제들을 진단하고 해결하기 위한 방향성을 살펴보면, 주요국에서도 역시 쉽게 해결하기 어려워 어려움을 겪는 분야로 상당 부분 유사함을 알 수 있었다. 그러나 국제 비교에서 나타나듯 가장 큰 성별 임금 격차와 낮은 관리직 비율 등 우리나라 여성과학기술인의 지속가능한 성장을 위해 직면한 현실의 벽은 더욱 공고하게 여겨지는 것도 사실이다. 경력단절이 발생하는 더욱 근본적인 이유는 노동시장의 성차별적 관행, 장시간 근로문화 및 조직문화, 고용형태의 유연화로 인한 고용의 불안정성 등 구조적인 문제들이기 때문에 단편적인 방안이나 일시적 지원이 아닌 여성 과학기술인의 상황에 맞는 통합적인 정책이 제시되지 않는 한 해결하기 쉽지 않다(한지영, 2015).

인구의 감소로 역량을 갖춘 모든 인재를 활용하기 위해서는 여성을 포함해 다양한 인재가 활약할 수 있도록 심화되고 있는 혐오와 배제를 완화하고, 국가 전략적 추진 방향에 맞춰 수요가 많고 신성장 분야로 여성 인재를 유인·지원하는 구조적 변화가 중요하다. 과학기술 분야 인력의 특성 상 한 번 경력이 단절되면 복귀하기 어려운 상황에서 특히 일·생활 균형 지원과 경력단절 예방을 위한 법적 근거 마련과 기본계획에서 주요 과제로의 설정은 여성과학기술인들이 임신, 육아, 가족 돌봄 등으로 인해 연구 활동의 중단을 예방하는 데 있어서 큰 진전임은 분명하다. 디지털 전환과 탄소중립사회 실현과 연계해 지속적으로 과학기술 분야에서 활약할 수 있는 환경을 마련하는 것은 다양성과 창의성을 증진시키고, 고학력 전문 여성 인력에 투입된 자원을 충분히 활용하며, 국가 경제와 생산성 측면에서도 매우 합리적인 선택임을 지속적인 정책의 전개 과정과 효과성 분석을 통해서 정착시켜야 할 것이다.

결국 실질적인 법과 정책의 실행력을 제고하기 위해서는 지속적인 이행 계획과 성과 점검이 뒤따라야 하며, 이에 따른 유연한 정책 변화도 고려해야 한다. 또한 오랫동안 굳어진 관행과 문화를 변화하기 위해서는 단기적인 조치에 머무르지 않고 장기적인 관점에서 지속적인 관심과 투자, 다양한 성공사례와 실패사례의 공유와 확산이 필요할 것이다.

엘라 F. 워싱턴의 지적처럼 “DEI는 윤리적일 뿐 아니라 효율적이기 때문에 더 절실하다.”

저자소개 주혜정 (Hye Jung Joo)

• 학력

고려대학교 행정학 석사/박사
고려대학교 불어불문학(부: 행정학) 학사

• 경력

現) 한국과학기술기획평가원 연구위원
前) Simon Fraser University 방문연구원
前) 한국과학기술기획평가원 전략연구실장
/인재정책센터장

참고문헌

〈국내문헌〉

- 1) 강민아·박영일·손주연·김희정·김둘순, (2008), 「여성과학기술인 육성정책의 종합평가에 관한 연구」, 한국과학기술기획평가원.
- 2) 곽은혜 외, (2020), 여성과학기술인 지원정책의 고용효과, 한국노동연구원.
- 3) 권정현, (2021), 여성과학기술인력 육성·지원정책 분석: 다차원 정책분석 모형을 활용하여, 「인문사회21」.
- 4) 송상윤·김하은, (2021), 코로나19의 상흔: 노동시장의 3가지 이슈, 「BOK 이슈노트」, 2021-18, 한국은행.
- 5) 안혜연, (2021), 포스트 팬데믹 시대, 여성과학기술인과 미래 일자리, 「젠더리뷰」, 2021년 여름호.
- 6) 엄미정, (2012), 여성과학기술인력정책 현황, 제348회 과학기술정책포럼: 과학기술, 여성, 리더십을 말한다 시리즈 II 발표자료.
- 7) 엄미정, (2018), 여성과학기술 정책의 정체성과 여성과학기술단체의 역할, 「여성과총 이슈브리프」 3호.
- 8) 오은진 외 (2023), 「신산업·신기술 분야 여성유입 촉진 및 일자리 미스매치 해소방안 연구」, 여성가족부.
- 9) 윤빛나리, 박진서, 이준영, 안세정, (2018), 뉴스 데이터를 활용한 여성과학기술인 이슈 및 지원정책 연구, 「한국기술혁신학회 2018년도 추계학술대회 논문집」.
- 10) 윤지소, (2024), 글로벌 전환기 속 성평등 정책의 미래: OECD 성평등 포럼의 논의내용을 중심으로, 「KWDI Brief」, 91.
- 11) 엘라 F. 워싱턴 (2023), 『다정한 조직이 살아남는다』, (원제) The Necessary Journey, 이상원 역, 도서출판 갈매나무.
- 12) 이화진 (2018), 빅데이터 분석을 활용한 여성과학기술인, 경력단절여성에 대한 특성 연구, 2018 STEPI Fellowship.
- 13) 전민엽, (2024), 인구변화가 가져올 미래 사회의 모습, 「KOSTAT 통계플러스」 2024년 가을호.
- 14) 정혜주·민윤경·변보경, (2019), 대졸 여성의 경력 유형화를 통한 경력단절 해소 방안 연구, 「여성연구」, 100(1).
- 15) 조선주, (2014), 「여성 경력단절의 사회적 비용 조사」, 국회예산정책처 연구용역사업 보고서.
- 16) 조덕상·한정민, (2024), 여성의 경력단절 우려와 출산율 감소, 「KDI FOCUS」, 132.
- 17) 조은설, (2020.6), 여성과학기술인 관련 이슈변화와 정책적 대응성에 관한 연구, 「한국공공관리학보」, 34(2).
- 18) 지세윤, (2022), STEM분야 인력 다양성 제고를 위한 주요국의 동향 및 시사점: 미국, 영국을 중심으로, 「WISET 정책이슈브리프」, 22-5호.

참고문헌

- 19) 지세윤·정효림 (2023), STEM분야 여성 인력 양성 프로그램 ‘Girls Go Circular’ 유럽 전역으로 확장: 유럽집행위원회(EC), 과학기술인재정책 동향브리프, 2023-6호.
- 20) 채혜원, (2021.6.30), 성평등한 디지털 세계 구축을 위한 독일 정부 이니셔티브, 한국여성정책연구원 국제동향, <https://www.kwdi.re.kr/research/fttrandView.do?p=1&idx=127897>.
- 21) 충남대학교 국가정책연구소, (2017), 「4차 산업혁명에 대비한 여성과학기술인력 육성·지원 정책」.
- 22) 황수경·권혜자·김인선, (2006). 「고학력 경력단절 여성의 재취업을 위한 맞춤형 직업훈련 지원연구」, 서울: 교육인적자원부.
- 23) 한국여성과학기술인육성재단, (2024), 「2022년도 여성과학기술인력활용 실태조사 보고서」.
- 24) 한국여성과학기술인육성재단, (2024.1.9.), 보도자료: 여성과학기술인법 일부개정안 국회 본회의 통과.
- 25) 한국조세재정연구원, (2023.7), OECD Economic Outlook 2023, 「국제기구 보고서 요약」, 2023-4.
- 26) 한지영, (2015), 여성의 경력단절예방 및 경제활동촉진을 위한 법제도 개선방안: ‘경력단절예방 및 경제활동촉진법’을 중심으로, 「젠더법학」 6(2).
- 27) 한국과학창의재단, (2024-04-17), STEM 분야에서 여학생 입학 할당량 증대 노력, 한국과학창의재단 동향리포트 <https://www.kosac.re.kr/menus/248/boards/459/posts/39860?brdType=R&thisPage=1&bbIdx=39860&brdCodeValue=&searchField=&searchText=>
- 28) 관계부처 합동, (‘23.11.27), 「윤석열 정부 R&D 혁신방안」.
- 29) 교육부, (‘24.07.15), 「산업교육 및 산학연 협력 시행계획」.
- 30) 과기정통부, (2024.9), 「과학기술인재 성장·발전 전략」.
- 31) 산업부, (‘24.01.18), 「산업·에너지 투자전략 및 제도혁신 방안」.
- 32) 통계청 통계개발원, (2024.5.30.), 한국의 사회동향 2023, <https://kostat.go.kr/asdk>
- 33) 통계청 통계개발원, (2024), 「한국의 SDI 이행보고서 2024」.
- 34) 통계청. 장래인구추계: 2022~2072년.

참고문헌

〈국외문헌〉

- 1) Gabster, Brooke Peterson, Kim van Daalen, Roopa Dhatt, Michele Barry, (2020), Challenges for the female academic during the COVID-19 pandemic, 「The Lancet」, 395(10242).
- 2) Murrell & Allen, (2024), Enhancing Diversity, Equity, and Inclusion through Mentorship and Allyship for Career Advancement and Retention of Women in STEM, 「Fall Bridge on Engineering a Diverse Future」, 54(3), National Academy of Engineering.
- 3) European Commission, (2024.2.11.), We still need more women in science, STATEMENT/24/732.
- 4) Emanuel, Natalia, Emma Harrington, and Amanda Pallais, (2024. 6. 11), Research: How Remote Work Impacts Women at Different Stages of Their Careers, 「Harvard Business Review」, <https://hbr.org/2024/06/research-how-remote-work-impacts-women-at-different-stages-of-their-careers>.
- 5) OECD (2017.10.4.), The Pursuit of Gender Equality: An Uphill Battle.
- 6) Science Business, (2024), READY TO BREAK THE GLASS CEILING? Six ideas for Europe to better support gender-balanced leadership in research, A Science|Business special report June 2024.
- 7) UNIDO (2021), The COVID-19 crisis and digital transformation: what impacts on gender equality?



융합연구리뷰

Convergence Research Review



이 보고서는 2024년 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 작성되었음.

(2023M3C1A604340012)



융합연구리뷰

Convergence Research Review