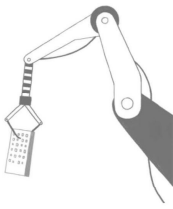
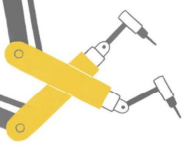


기술동향

우주바이오 (Space Biology)

KISTEP 글로벌R&D혁신센터 이재민
한국과학기술연구원 송대근 · 강경수, 메디맵바이오 장은혁






Contents

 제1장 개요	1
 제2장 기술 동향	5
 제3장 산업 동향	22
 제4장 정책·R&D 투자 동향	29
 제5장 결론	43




제1장 개요

1.1 작성 배경

 우주바이오 분야는 인류가 우주로 진출하기 시작한 이래 끊임없는 연구와 발전을 거듭해 왔으며 1960년대 초기 우주비행의 발달과 함께 본격화

- '47년 미국은 독일에서 입수한 V2 로켓을 발사해 우주에서 노랑초파리의 방사선 피폭 영향을 조사하였으며, 이를 시작으로 다양한 생명체를 활용한 우주바이오 실험을 진행
- 초파리, 포유류, 영장류 등을 활용한 초기 우주바이오 실험은 우주방사선과 무중력 환경이 생물에 미치는 영향에 대한 기초 데이터를 제공하였으며 후속 우주바이오 연구의 기반이 됨

 1960년대 이후 유인 우주탐사가 실현되면서 우주바이오 연구는 우주비행사의 건강 문제와 생물학적 영향에 초점을 두었으며, 우주비행 중의 신체적 변화와 건강 문제에 관한 연구가 활발히 진행

- 1960년대와 1970년대에 걸쳐 舊소련의 우주정거장 살류트(Salyut)와 미국의 우주정거장 스키타랩(Skylab)이 지구 저궤도에서의 생물학적 실험을 위한 중요한 플랫폼 역할 수행
- 1980년대 이후 舊소련이 발사한 미르(Mir) 우주정거장과 최근 다국적 국제우주정거장(ISS¹⁾)에서 이루어진 연구는 우주비행사에게 적합한 훈련과 의료 대책의 마련에 기여
- 2000년대에는 생명과학 기술의 발전과 더불어 미세중력과 우주방사선이 인간에 미치는 영향 뿐만 아니라 미생물 성장, 식물 성장, 동물 발달 등 다양한 생명과학 실험이 진행되어 우주환경이 생명체에 미치는 영향에 대한 이해가 확장
- 최근 우주바이오 연구는 유전자 편집, 암세포 연구, 단백질 결정화 등 다양한 생명과학 연구로 진화하고 있으며, 우주의학 분야에서 새로운 치료법과 획기적인 제약 방법에 대한 인사이트를 제공

1) International Space Station

우주환경에서의 생리학적 변화와 건강 유지에 대한 연구결과는 질병치료, 제약, 식물생산성 향상 등 다양한 의약학 및 생명과학 분야에 응용 가능

- 우주비행 과정에서 발생하는 빠른 노화 및 이에 따른 근골격계 손상과 관련된 연구 결과는 지구에서의 골다공증이나 근육 약화 증상의 치료 방법 개선에 활용

- 미세중력 환경은 단백질을 지상에서보다 더 크고 균일하게 성장하게 하며 단백질 분자 간의 상호작용을 더욱 명확하게 관찰할 수 있는 조건을 제공해, 특정 질병을 표적으로 삼는 효과적인 약물 설계에 활용

※ 미국 바이든 행정부는 암 정복 프로젝트 일환으로 ‘암 내각(Cancer Cabinet)’을 구성하고 ISS의 미세중력 환경을 활용해 혈액암을 포함한 질병의 획기적인 치료법을 개발하겠다는 의지를 표명(‘22.7)²⁾

- ISS에서 실시된 식물 성장 실험을 통해 물 사용을 최소화하면서도 수확량은 최대화하는 식물재배 기술을 개발할 수 있으며, 식물 스트레스 요인에 대한 이해도를 높여 스트레스 저항성이 높은 품종 개발에도 기여 가능

우주바이오 분야는 산업적 잠재력이 높아 민간 참여가 확대될 것으로 예상되며, 우주의학 분야와 더불어 유인 우주탐사의 확대 및 우주여행의 상용화에 따라 우주비행사의 건강과 안전을 보호하는 기술도 중요해질 것으로 예상


- ISS의 퇴역(‘31년 예정) 후 민간이 주도하는 지구 저궤도 정거장이 다수 건설될 예정이며, 해당 시설을 활용할 다국적 제약회사에 의해 우주의학 분야의 수요와 기회는 점차 확대 예상

- 또한, 아르테미스(Artemis) 등 예정된 유인 우주탐사 프로그램과 맞물려 우주환경 영향에 대한 이해뿐만 아니라 장거리 우주비행사의 건강 유지와 행성 탐사에 필요한 식량 및 거주 문제 해결을 위한 연구도 함께 진행

동 브리프에서는 우주경제의 한 축으로 성장 가능성이 높은 우주바이오 분야에 대한 국내외 동향을 살펴보고, 국내 우주바이오 분야의 과학기술적, 산업적 기반 구축을 위한 시사점을 도출하고자 함

2) “우주서 연구하면 ‘암 정복’ 가능”...바이든의 차원 다른 발상”, 2024.7.15., 머니투데이

1.2 기술의 정의 및 범위

 (정의) 미세중력(microgravity)과 우주방사선(cosmic radiation) 환경이 생명체에 미치는 영향과 생명체가 우주환경에 적응하는 과정을 이해하고, 우주에서의 중개 연구(translational research)를 통해 의약학 제품의 제조·생산을 연구하는 학문

- (미세중력 영향 연구) 중력의 영향이 거의 미치지 않는 환경*에서 이루어지는 연구이며, 중력이 생물학적 현상에 미치는 영향을 연구하고 미세중력 공간에 노출된 생명체의 반응 과정을 관찰함으로써 지구 환경과 지구 외 환경에서 생명체의 진화 과정을 이해


* ISS가 위치한 지구 저궤도 고도(약 400km)에서의 중력은 지상에 비해 약 10만 분의 1 수준

- 미세중력 환경에 의한 골밀도 감소의 가속화 등 노화 및 질병 진행 속도를 연구함으로써 관련 질병에 대한 치료법을 개발할 수 있으며, 단백질 결정화 과정에서 중력의 효과를 상쇄시킴으로써 보다 정밀한 구조를 파악할 수 있어 효과적인 의약품 개발이 가능
- 장기적인 우주비행이 우주비행사에 미치는 영향을 이해함으로써 달, 화성 탐사 등 장기 우주 탐사에 필요한 지식 확보가 가능

- (우주방사선 영향 연구) 태양이나 은하계 밖에서 오는 고에너지 입자에 의해 방사선량이 높은 환경*에서 이루어지는 연구이며, 높은 방사선량이 우주비행의 안전과 우주비행사의 건강에 장기적으로 미치는 영향에 대한 이해의 증진을 목적

* ISS에서 노출되는 방사선피폭량은 0.5~1.2mSv/일 수준이며, 지상에서의 피폭량 0.008mSv/일의 약 60~150배 수준

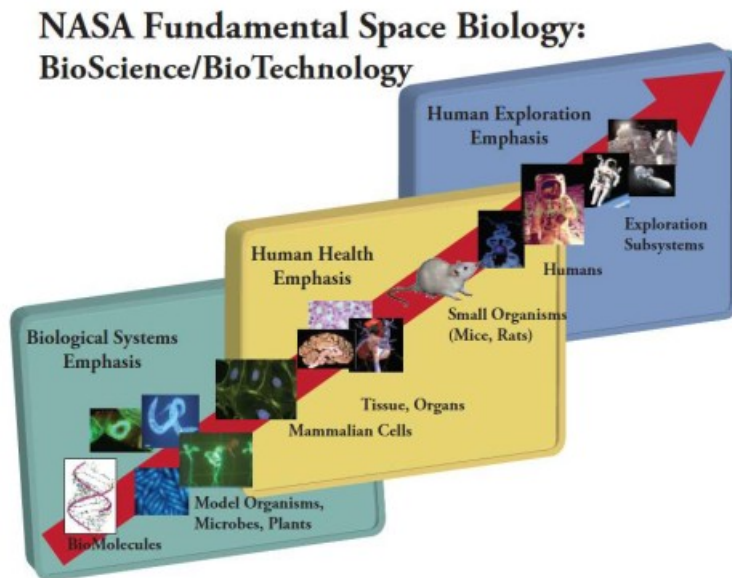
- 우주방사선은 세포를 손상시키거나 유해한 변화를 일으킬 수 있어 이러한 환경이 생명체에 미치는 영향과 생명체가 고방사선 환경에 적응하는 과정을 연구함으로써 극한 환경에서 생명의 진화를 이해하고 나아가 우주비행의 안전성을 확보 가능

 (범위) 동 브리프는 우주바이오 분야 가운데 우주환경에서 인체를 대신한 모델생물의 활용, 우주환경의 이점을 활용한 적용 분야인 우주의학, 우주환경 연구플랫폼이나 이를 모사한 우주바이오 연구 시설·장비에 대해 작성

- (모델생물 활용 연구) 미생물, 세포, 동물, 식물 등 모델생물*을 사용하여 우주환경이 생명체에 미치는 영향을 연구하는 분야이며, 생명과학의 기본 원리를 이해하고 우주환경에서의 생명 유지와 적응 과정의 탐색을 목적

* 생물학적 실험 연구에 적합한 특징을 갖춘 유기체이며, 일반적으로 생식 속도가 빠르고 유전적 조작이 쉬운 장점을 보유. 모델생물로부터 확보한 지식은 인간을 포함한 복잡한 유기체에 적용할 수 있으며, 대장균, 초파리, 예쁜꼬마선충, 설치류 등이 대표적

- 모델생물은 미생물 모델(Microbiology in Space), 세포 모델(Cell and Molecular Biology in Space), 식물 모델(Plant Biology in Space), 동물 모델(Animal Biology in Space) 등 유기체의 종과 복잡성 등에 따라 구분
 - ※ 인간의 지속가능한 우주비행 및 행성탐사에 필요한 식량재배를 위한 우주농업(Space Agriculture) 분야는 식물 모델을 이용한 연구에 포함
- (우주의학) 우주환경에서 인간 생명의 유지, 건강 보호 및 증진이 목적이며, 미세중력 및 극한 환경이 인체에 미치는 영향과 유인 우주탐사 과정에서 발생할 수 있는 의학적 문제의 해결방안을 연구
 - 미세중력이 인체의 약물 반응과 대사에 미치는 영향, 단백질 결정 등을 연구하는 우주 약리학(Space Pharmacology)과 우주 제약(Space Pharmacy)을 포함
- (우주바이오 연구 시설·장비) ISS 등 우주환경에서 생물학적 실험을 위해 사용되는 지구 저궤도 플랫폼과 미세중력이나 우주방사선 환경을 구현하는 지상 장비로 구분
 - 지상 장비는 미세중력과 고방사선 등 우주 고유의 조건을 구현해 지상에서 생물학적 실험을 지원하기 위해 특별히 설계되거나 수정된 기술이 적용된 장비를 포함



[그림 1] NASA가 제시한 우주바이오의 범위. 동 브리프의 모델생물 활용 연구와 우주의학의 범위는 Biological Systems 및 Human Health에 해당하며, 우주바이오 연구 시설·장비 범위는 Human Exploration 범주와 일부 연결(출처: NASA Space Biology 2016-2025)

- ☒ 우주바이오는 실험환경의 제약 등으로 인하여 참여국이 적고 저변이 넓지 않은 기초연구 비중이 높은 분야로써 동 브리프에서는 기술동향을 자세히 다루고, 기초연구에 비해 성숙도가 낮은 산업 및 정책·R&D 동향은 ISS 등 저궤도 플랫폼을 보유한 국가와 국내의 현황을 중심으로 기술

제2장 기술 동향

2.1 모델생물(Model Organisms) 기반 우주바이오 연구

☞ 우주바이오 연구는 제한적인 실험환경에서 수행되므로 종을 대표하는 생물, 즉 모델생물을 활용해 우주환경에서 다양한 기초 및 응용개발 연구를 수행

- 우주바이오 분야는 우주환경이라는 특수한 조건에 노출된 생물체의 변화를 관찰해야 하므로, 지구 저궤도 우주정거장 내 실험장비나 지상에서 구현된 우주환경 모사 장치를 활용
- 모델생물은 전장 유전체 정보, 유전학연구용 돌연변이 집단 확보, 유전학적 조절도구, 분자생물학 및 세포생물학 기법이 확립되어 있어 제한된 조건에서 인체를 대체한 효율적인 연구 진행이 가능하며 우주바이오 분야의 주요 연구수단이자 목적
 - 우주바이오 연구에 활용되는 모델생물은 미생물 모델, 식물 모델, 동물 모델로 구분하고, 대표적인 미생물 모델은 효모, 대장균 등이며, 식물 모델은 벼(외떡잎 식물)와 애기장대(쌍떡잎 식물), 동물 모델은 (비인간)영장류, 설치류, 제브라피쉬, 초파리, 예쁜꼬마선충이 있음
- 최근 우주바이오 분야는 모델생물로부터 우주환경에서 일어나는 생물학적 변화 메커니즘을 이해하는 기초연구 단계를 넘어 우주환경에 적응하고 우주환경의 이점을 활용하는 응용 및 개발연구로 연구 단계를 확장

2.1.1 미생물 모델 연구

☞ 미생물을 활용해 높은 우주방사선량 및 미세중력에 의한 면역력 저하와 미생물에 의한 감염 등의 연구를 수행하며, 우주 미생물학으로도 지칭

- 우주환경에 노출된 미생물의 성질을 탐색하며 1)이차 대사산물의 생산, 2)미생물의 감염성 및 병원성, 3)바이오필름 형성 및 약물 저항성 등의 연구를 진행³⁾
- (이차 대사산물 생산) 미세중력 환경에서 배양한 미생물로부터 상업적 가치가 높은 이차 대사산물을 고효율로 생산하거나 새로운 이차 대사산물을 발견하기 위한 연구들이 진행되고 있으며, 우주환경에서 의약품 제조 측면에서 잠재적 응용 가능성이 높음

3) Bijlani et al. 2021, iScience

- 미국 연구진은 누룩곰팡이속(*Aspergillus*)의 사상균을 이용하여 우주 환경에서의 이차 대사 산물의 생산이 어떻게 변화하는지 조사하였으며, ISS에서 분리한 균주는 기존 균주보다 약 6,000% 향상된 향산화물질을 생산하는 것으로 확인⁴⁾
 - ※ ISS에서 분리한 *Aspergillus nidulans* nkuA 균주와 *Aspergillus niger* 균주에서 향산화 물질의 생산량을 조사한 결과 야생형 균주들보다 안트라퀴논(Anthraquinone)계 색소인 아스퍼티신(asperthycin)과 피라노니그린(pyranonigrin)이 각각 증가한 것으로 조사됨
- (미생물 감염성 및 병원성 연구) 우주환경에서 미생물의 병원성이 강해지는 특성을 활용해 병원성에 영향을 미치는 단백질의 조절 기전을 밝히고 병원균에 의한 감염 위험성을 낮추는 연구가 추진
 - '06년 우주왕복선 아틀란티스에서 진행된 실험을 통해 식중독을 일으킬 수 있는 박테리아인 *Salmonella typhimurium*의 병원성이 지상에서보다 더 강해진다는 것을 확인하였고, 이는 우주환경에 반응하는 주요 조절자로서 RNA 결합을 유도하는 Hfq 단백질이 병원성 단백질의 발현을 증가시킨 것이 원인⁵⁾
 - 해당 연구를 통해 우주비행이 박테리아의 병원성에 미치는 영향을 확인할 수 있었고, 우주 임무 중 감염병 발생 위험을 줄이고 지구상의 병원균 기전을 이해하는 데 중요한 시사점을 제공
- (바이오필름) 항생제 저항성 균주들은 우주의 극한 환경에 적응하기 위해 바이오필름*을 형성 하는데 이러한 균주는 면역력이 저하된 우주비행사의 건강에 심각한 위협요인이므로, 억제 기전을 밝혀 우주비행사의 감염병 발생 위험을 줄이는 연구가 진행⁶⁾
 - * 미생물이 가혹한 환경조건에서 생존하기 위한 생활방식의 하나이며, 다수의 미생물 군집들과 미생물의 산물로 형성되어 고정된 표면에 단단히 부착
 - 독일 연구진은 항생제 저항성 균주의 바이오필름 형성을 억제할 수 있는 ISS의 실내 코팅제를 ISS에 비치한 뒤, 일정 기간 후 이 막으로부터 바이오필름을 형성한 양성균을 측정. 그 결과 바이오필름을 잘 형성한다고 알려진 포도상구균(*Staphylococcus*)속의 미생물들이 코팅제를 처리한 표면에서 바이오필름을 더 적게 만드는 것을 확인
- (국내) 국내 연구진은 해외 연구진들과의 협업을 통해 우주정거장을 활용하거나 연구 인프라의 한계를 극복하기 위해 자체 개발한 우주환경 모사 장치 등을 이용해 미생물 모델 연구를 진행
 - 한림대 연구진은 ISS 외부에서 구현한 화성 모사환경에서 콤부차공생미생물의 메타유전체를 분석함으로써 화성 환경에서의 적응 기전을 밝히는 연구를 수행⁷⁾

4) Romsdahl et al, 2019, Appl. Microbiol. Biotechnol.


5) Wilson et al. 2007, Proceedings of the National Academy of Sciences

6) Sobisch et al. 2019, Front. Microbiol.

7) Lee et al. 2022, J. Microbiol. Biotechnol.

- 울산과기대 연구진은 미세중력 모사 환경에서 황색포도상구균(*Staphylococcus aureus*)의 세포막 파괴 항생제에 대한 민감성 증가를 확인⁸⁾

2.1.2 식물 모델 연구

 식물을 모델생물로 활용한 연구는 우주환경에서 식량생산 및 산소 생성과 관련된 연구로서 우주비행사의 생명유지에 필수 분야이며, 우주식물학 또는 우주농업을 포함

- 다양한 식물재배 시스템이나 수확 장치와 같은 농업공학 분야와 접목하여 우주환경이 식물에 미치는 생물학적 영향뿐만 아니라 식물과 미생물의 상호작용* 등의 연구가 진행

* 우주환경에서 식물의 중력인식, 생리학적 반응, 종자번식, 식물병 발생 등

- 크기가 작은 식물 모델인 애기장대(*Arabidopsis*)를 활용한 분자유전학 연구와 오믹스 분석*들이 다수 수행되었으며, 이외에도 다양한 작물을 이용한 우주바이오 실험이 진행

* 특정 유전자의 발현을 개별 조사하는 것이 아닌 생물 내 전체적인 생체분자의 발현을 총체적으로 분석하는 방법. 생물 내 발현된 전체 전사체를 분석하는 전사체 분석(Transcriptomics), 단백질체 분석(Proteomics), 대사체 분석(Metabolomics) 등이 대표적

〈표 1〉 식물 모델을 활용한 우주바이오 국외 연구 사례

국가	연구대상	연구 내용
미국	애기장대	ISS에서 배양된 애기장대의 다양한 스트레스 관련 유전자와 비접힘 단백질 반응(unfolded protein response) 관련 유전자 발현이 지상조건과 비교하여 달라짐을 확인(Angelos et al. 2021)
		지상과 비교하여 ISS에서 발아되어 배양된 애기장대의 전사체와 대사체를 분석하고, 식물이 우주환경 적응 과정에서 조절되는 유전자를 조사(Olanrewaju et al. 2023).
	백일홍	ISS에서 백일홍 식물에 병원성 곰팡이인 덩굴쪄김병균(<i>Fusarium oxysporum</i>)의 감염 과정을 관찰하고 식물병 진단방법을 연구(Haveman et al. 2022)
	상추	ISS에서 상추를 재배하여 미생물 분포와 무기질의 영양학 분석 결과, 우주정거장에서 재배된 상추도 안전하게 식량으로 사용될 수 있음을 확인(Khodadad et al. 2020)
중국	다품종	전 세계에서 수행된 다양한 우주환경에 의한 식물의 반응, 즉 대사, 영양, 공생에 관한 분석 결과 DB를 공개. 애기장대, 순무, 감초의 연구 정보를 포함한 다양한 식물관련 연구정보를 수록(Wang et al. 2023).
	벼	인공위성에서 12.5일간 비행한 벼씨를 지상으로 가져와 발아시킨 후 후대 식물에 미치는 영향과 대사체, 단백질체 변화를 관찰하였으며, 우주비행을 거친 벼에는 우주환경 스트레스에 적응하기 위한 산화스트레스 신호전달 경로 및 에너지대사에 변화가 나타남을 확인(Zheng et al. 2022)
일본	다품종	ISS에서 완두콩, 옥수수를 발아시켜, 지구중력과 비교해 미세중력이 옥신 수송 등 식물호르몬에 미치는 영향을 조사(Yamazaki et al. 2023)

8) Jang et al. 2023, Cells

2.1.3 동물 모델 연구

우주환경에서 생존능력을 가늠하기 위해 인간을 대신하여 동물 모델이 우주선에 탑승했으며, '47년 초파리가 우주환경에 노출된 이후로 다양한 동물*종을 활용한 연구가 수행

* 원숭이, 개, 고양이, 토끼, 쥐, 거북, 개구리, 거미, 물고기 등

- 낮은 안전성과 고비용의 문제를 해결하기 위해 인간을 대신해 다양한 동물이 활용되며, 동물의 생리적, 세포생화학적, 분자생물학적 변화 관찰을 통해 지식을 확보
- 동물 모델을 이용한 연구는 근미래 유인 우주탐사가 본격화 될 때 인간이 우주환경을 개척해 나가는 데 필요한 직접적인 정보를 제공하며, 우주환경에서 위험성 및 안전성 검증, 우주여행 시대에 대비하기 위한 생물학적 대처법, 환경적응 및 이에 대한 원리 규명에 필수적

우주환경에 노출된 생명체의 다양한 반응, 특히, 근육조직, 뇌신경계, 생식 및 발달에 미치는 영향을 연구하는데 동물 모델이 활용

- 동물 모델의 생리학적·형태학적 영향 연구와 함께 최근에는 오믹스 기법을 이용한 mRNA 및 단백질 발현 변화 등 우주환경에 의한 생체반응의 분자유전학적 메커니즘 규명 연구가 활발히 수행
- (예쁜꼬마선충(*Caenorhabditis elegans*)) 사람 유전자의 40% 이상이 보존된 간단한 형태의 모델동물로서, 성충의 크기가 1mm 정도로 매우 작고 세대가 짧아 생체 변화의 관찰에 용이하며, 발생, 세포사멸, 근위축, 노화에 미치는 우주환경의 영향을 평가하는데 적합
 - 미세중력 모사 조건이나 우주정거장에서 배양된 예쁜꼬마선충에 대해 전사체, 유전체, 단백질체 등 멀티오믹스 기법으로 분석한 결과, 예쁜꼬마선충의 근육, 신경전달, 대사관련 유전자 발현이 크게 달라지고 miRNA 등 후성유전학적 변화가 유발됨을 확인⁹⁾

※ 예쁜꼬마선충의 우주환경 노출에 대한 실험(ICE-FIRST, International C. elegans Experiment First)은 '04년부터 ISS에서 진행되었으며, 미국, 일본, 캐나다, 프랑스가 참여

9) Scott et al. 2023, iScience

〈표 2〉 예쁜꼬마선충을 활용한 우주바이오 국내외 연구 사례

국가	연구 내용
미국	우주환경에서 예쁜꼬마선충은 방사선에 노출되어 손상된 세포가 세포사멸(Apoptosis) 과정을 통해 제거됨을 확인, 또한, 근육의 위축, 성장, 운동성, 지방축적의 감소, 인슐린과 TGF- β 신호전달에 미치는 우주환경의 영향을 확인(Adenle et al. 2016)
	ISS에서 키워진 예쁜꼬마선충은 지상과 비교해 신경 및 근육관련 유전자 발현에 차이를 보이며, 근력이 크게 감소(Soni et al. 2023)
일본	ISS의 일본 실험 모듈인 키보(KIBO)에서 예쁜꼬마선충을 배양하여 미세중력에 노출한 경우, 히스톤디아세틸레이즈(hda-4) 발현조절에 의하여 다양한 후성유전학적 변화가 나타남을 확인(Higashitani et al. 2021)
중국	선저우 8호 우주비행 임무에서 예쁜꼬마선충을 미세중력 등 우주환경에 노출하고 DNA 손상복구 유전자 발현이나 조절과 관련된 miRNA 발현의 변화 관찰(Zhao et al. 2023)
대한민국	연세대 우주생명과학연구소 연구팀이 유럽 및 일본 연구진과 협업을 통해 예쁜꼬마선충이 우주비행 중 미세중력환경이 근육 위축을 유발함을 관찰하였고, 이 현상은 clp-1 유전자와 밀접한 연관성이 있음을 확인(Kim et al. 2023)

- (초파리(*Drosophila melanogaster*)) 우주로 쏘아 올려진 최초의 동물 모델이며 우주환경 노출에 의한 신경행동, 노화, 면역, 심혈관, 발달 변화의 관찰에 이용¹⁰⁾
 - 미국 연구진은 ISS에서 한 달간 머무른 초파리의 중추신경계 손상과 스트레스, 대사관련 유전자 발현 변화를 관찰하였으며, 이때 인위적으로 중력 환경을 조성한 경우 중추신경계 손상을 부분적으로 보호할 수 있음을 확인¹¹⁾
 - ※ 미세중력 환경이 면역계에 미치는 영향을 확인하기 위해 ISS에서 초파리의 병원성 미생물 감염 취약성을 분석한 연구도 진행¹²⁾
 - 러시아 연구진은 ISS에서 초파리를 12일간 우주비행 후 16시간 동안 착륙한 뒤 관찰한 결과 대조군에 비해 정자의 운동능력이 20% 정도 유의적으로 감소하였으며, 이때 kinase 효소 저해 약물인 6-(디메틸아미노) 퓨린(6-(dimethylamino) purine) 투여 시 정자 운동능력 감퇴를 회복시킬 수 있음을 확인¹³⁾
- (제브라피쉬(*Danio rerio*) 및 메다카(*Oryzias latipes*) 등 어류) 어류는 배양을 위한 수조 등 특수한 서식환경 조성이 필요해 주로 지상의 미세중력 모사 환경에서 연구되며, 일본 연구진은 ISS에서 메다카의 장기간 우주환경 노출 실험을 진행

10) Iyer et al. 2022, Neurosci. Biobehav. Rev.

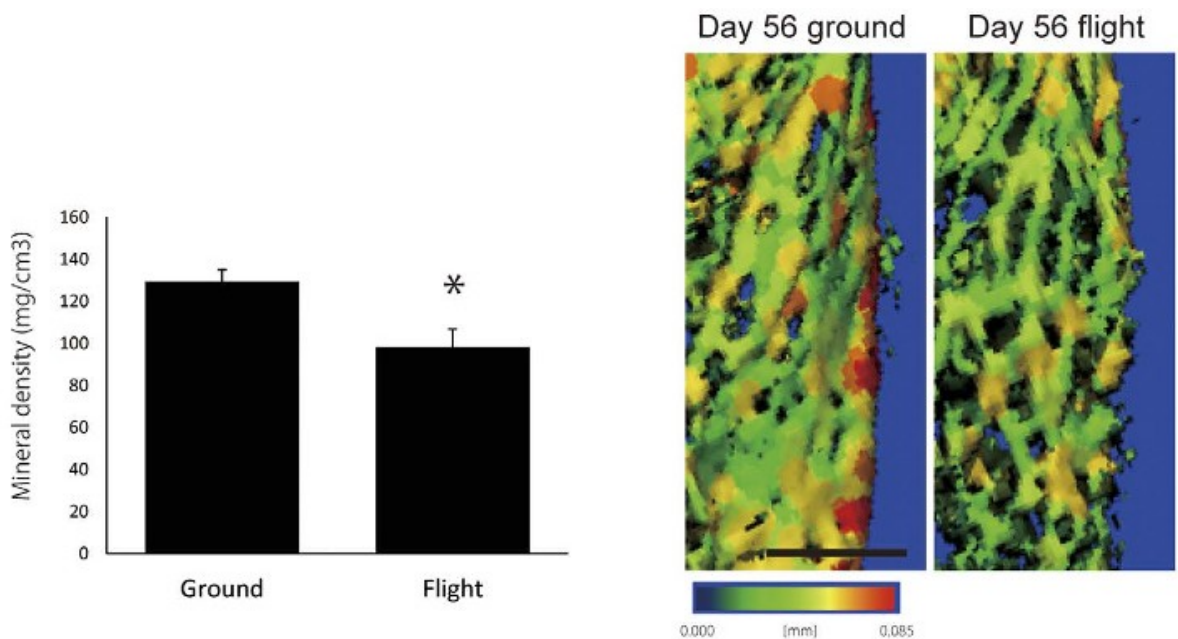
11) Mhatre et al. 2022, Cell Rep.

12) Gilbert et al. 2020, npj Microgravity.

13) Ogneva et al. 2022, Int. J. Mol. Sci.

〈표 3〉 어류 모델을 활용한 우주바이오 국외 연구 사례

국가	연구 내용
캐나다	제브라피쉬가 발달 과정에서 인위적으로 조성된 미세중력에 노출될 경우, 성장이 저해되고, 뼈 형성이 감소하며, 골격 요소의 심한 변형이 나타남을 관찰(Edsall et al. 2014)
일본	ISS에서 배양된 메다카가 거꾸로 밀집한 원을 그리며 유영하는 등 미세중력 환경에 적응하여 독특한 행동을 보이는 것을 확인하였고, 미세중력 상태에서 56일간 장기간 노출 시 인두골과 치아부위 미네랄 밀도의 감소를 관찰(Chatani et al. 2015)(그림2)
중국	제브라피쉬가 미세중력에 노출되었을 때 항바이러스성 선천성 면역반응을 감퇴시켜 바이러스 감염에 취약해졌으며, 이는 면역조절 신호전달 경로 교란에 의해 유발됨을 규명(Zhu et al. 2021)



[그림 2] (좌)지상(Ground)과 ISS(Flight)에서 56일간 배양된 메다카 물고기 인두골의 미네랄 밀도 차이 그래프와 (우)메다카 인두골의 3차원 영상


- (설치류) 포유동물로서 의약학 및 생명과학 연구에 중요하게 활용되고 있는 설치류는 1950년대 처음 우주바이오 실험에 활용되었으며 이후 다양한 연구 프로그램에서 활용

※ 설치류 중 랫드(Rat)보다 크기가 작은 마우스(Mouse)가 많이 활용

〈표 4〉 설치류 모델을 활용한 우주바이오 국외 연구 사례


국가	연구분야	연구 내용
미국	골다공증	Nel-like molecule-1(NELL-1) 단백질은 뼈 형성에 중요한 인자인데, 골밀도 손실을 막는 비스포스포네이트(BP) 약물과 폴리에틸렌글리콜(PEG)로 NELL-1 전달을 최적화한 약물제제(BP-NELL-PEG)는 우주정거장에 9주간 노출된 마우스에서 나타난 골다공증을 효과적으로 치료할 수 있음을 확인(Ha et al. 2023)
	골밀도	4주간 ISS에서 적응한 마우스를 지상조건과 비교하고, 다양한 부위에서 골밀도가 크게 감소함을 관찰(Maupin et al. 2019)
	뇌 유전자 발현	Loma Linda 대학교와 NASA 연구진이 35일간 ISS에 생활한 마우스의 뇌에서 유전자 발현을 조사한 결과, 세포 스트레스, 염증, 세포사멸, 대사와 관련된 유전자 발현이 현저히 변화되었으며, 항바이러스, 활성산소 형성, 세균 면역관련 유전자 발현이 유의적으로 감소하였음을 확인(Holley et al. 2022)
	뇌 단백질 발현	우주환경에 노출된 마우스의 뇌 피질과 해마 부위에서 뇌혈관장벽(blood-brain barrier) 유지에 중요한 치밀결합 단백질인 ZO-1 발현이 크게 감소하였으며, 단백질체 분석 결과, 지상조건과 비교해 우주환경에 노출된 마우스는 뇌혈관 유지, 미토콘드리아 기능, 단백질 수송, 신경구조, 대사관련 단백질이 변화됨을 보고함(Mao et al. 2020)
	장내 마이크로 바이옴	ISS 등에서 37일간 우주비행을 한 마우스에서 장내 마이크로바이옴의 두드러진 변화가 나타남을 밝힘으로써, 우주비행 중에는 장내 미생물분포 및 대사체와 같은 장내 환경변화가 야기됨을 확인(Jiang et al. 2019)
일본	간 손상	ISS에서 30일간 노출된 마우스의 간을 조사한 결과, 인위적으로 지구중력 조건을 조성한 마우스 대비, 글루타치온, 타우린과 같은 황 함유 항산화 물질들이 크게 감소한 사실을 확인하였으며, 우주여행 후 간 손상에 미치는 영향을 보고(Kurosawa et al. 2021)
중국	골다공증	연구진은 식물에 흔히 존재하는 천연화합물인 엘라그산(Ellagic acid)을 미세중력 조건의 마우스에 먹였을 때 골다공증이 효과적으로 완화됨을 확인(Wu et al. 2023)

2.2 우주의학

 우주의학은 우주여행 등 인간이 우주환경에 노출되었을 때의 인체 반응과 이로 인해 야기되는 환경 특이적 질환*에 대하여 연구하고 극복하는 기술을 개발하는 것을 목적으로 하며, 최근에는 우주환경을 활용한 의약품 개발 등의 시도가 진행

* 우주 멀미, 근골격 약화, 심혈관계 질환, 면역력 저하, 우울증 등

2.2.1 우주환경 특이 질환 치료 연구

 미세중력 환경에서 나타날 수 있는 근골격계의 약화, 면역력 저하 등의 질환의 완화를 위한 치료법 및 치료제 개발연구가 진행

- 우주환경에서 흔히 발생하는 질환은 미세중력의 영향에 의한 근골격계 질환, 심혈관계 질환, 면역계 질환 등이며, 미세중력에 의한 근골격계 질환은 지상에서조차 효과적인 치료제가 없어 이를 극복하기 위한 연구들이 다수 진행
- 최근에는 단기 우주비행뿐만 아니라 유인 화성탐사 등 장기 우주비행 시 우주비행사에게 발생할 수 있는 질환에 관한 연구가 진행
 - 미국 연구진은 단기 우주비행에서는 발생하지 않았던 잠복감염된 바이러스의 재활성화 (latent viral reactivation) 등 면역이상 반응이 발생하는 것을 발견하고, 이를 완화하기 위해서는 우주비행사의 지속적인 운동이 필요하다는 점을 과학적으로 증명¹⁴⁾
 - 일본 연구진들은 6개월의 우주비행 동안 우주비행사들에게서 항산화 효소들의 발현이 감소하였음을 확인하였고, 이에 따른 산화 스트레스 증가는 미토콘드리아에 손상을 유발할 수 있음을 확인¹⁵⁾
- 우주환경에서 겪는 우주방사선 과량 노출은 DNA 손상을 일으켜 세포 분열의 저하와 면역 세포의 감소로 이어지고, 결과적으로 우주비행사의 면역력이 저하될 수 있어 병원성 미생물 제어를 통해 이를 예방하려는 연구가 진행

※ 2.1.1 우주바이오 연구 - 미생물 모델에서 자세히 다룸

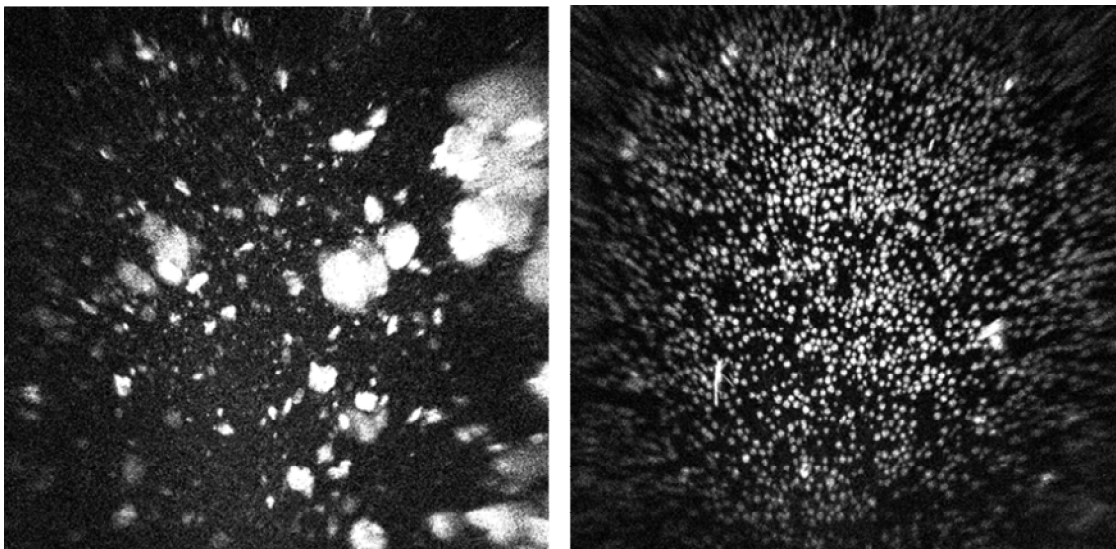
14) Agha et al. 2020, FASEB J.

15) Indo et al. 2016, Sci. Rep.

2.2.2 의약품 개발 및 단백질 결정학 연구

미세중력 환경은 단백질 결정이 균질하게 형성되는 데 필요한 최적의 환경으로서, 우주환경에서 의약품의 효율적 개발과 제조를 가능케 하는 중요한 조건

- 미세중력 환경에서 용액 내 입자가 균일하게 분포하는 특성을 활용하여 1)단백질 결정을 균질하게 만들거나, 2)지질 나노 입자 등이 효율적으로 형성되도록 하고, 3)세포나 오가노이드 등을 구에 가까운 형태로 배양이 가능
- 미세중력 환경은 지상보다 단백질 결정 구조가 원활하게 형성되어 단백질 3차 구조를 정밀하게 해석할 수 있다는 점에서 항체약품 개발에도 중요한 환경을 제공
 - 의약품 개발 과정에서는 타겟과 의약품 간의 결합 구조를 규명하는 것이 중요한데, 지상에서는 단백질 결정이 잘 형성되지 않는 경우가 많아 미세중력 환경을 활용한 단백질 결정학 연구는 의약품 개발에서 중요한 역할을 담당할 것으로 기대
 - ※ Merck社에서 개발한 면역항암제 키트루다(Keytruda)는 큰 크기로 인하여 고순도 정제가 어려운 문제를 해결하기 위해 우주의 미세중력 환경에서 결정화를 시도하였으며, 지상과 달리 우주에서 정제한 결정은 매우 균질하게 형성됨을 발견(그림 3)



[그림 3] 지상(좌)과 우주환경(우)에서 형성된 키트루다(Keytruda) 결정 구조. 미세중력 환경에서 제조된 단백질 결정구조의 크기가 더욱 균질(Reichert et al. 2019)

- 일본 연구진은 ISS에서 콜로이드 입자의 특성을 분석함으로써 우주환경에서의 약물 전달체 특성을 연구¹⁶⁾

16) Miki et al. 2023, npj Microgravity

- 양이온 입자와 음이온 입자를 우주환경에서 혼합하여 지상에서의 클러스터링 효율을 비교한 결과, 미세중력 환경에서의 입자 클러스터링이 뛰어난 것을 확인하였고, 이는 약물 전달체 개발 시 미세중력 환경이 중요한 역할을 할 수 있다는 시사점을 제공
- (국내) 한국생명공학연구원은 2015년 일본 우주항공연구개발기구(JAXA¹⁷⁾)와 단백질 결정화 공동연구 수행¹⁸⁾
 - 지상에서 결정화가 이루어지지 않는 단백질을 선별한 후 우주 발사용 결정 성장 상자에 담아 우주에서 결정화가 효율적으로 일어나는지 알아보기 위한 실험 진행
 - JAXA와의 공동연구를 통해 단백질 결정 상자를 ISS의 일본 실험 모듈인 KIBO에 설치하여 단백질 결정화를 시도하였으나 용기의 한계로 인하여 개선 사항을 발견하지 못하였으며, 추후 단백질 결정 성장을 키울 수 있는 상자의 필요성을 제안

2.3 우주바이오 연구 시설·장비

2.3.1 지구 저궤도 기반 연구 시설·장비

- ▣ 우주정거장에서 수행하는 우주바이오 실험의 주요 목적은 장기적인 우주여행에 대비하고 궁극적으로는 타 행성 정착에 필요한 기술을 개발하는 것
 - 지구 저궤도에서 운영되는 우주정거장은 피험체가 실제 우주환경에 직접 노출되었을 때의 반응을 연구할 수 있으며, 지상의 우주환경 모사 장비 대비 장기적인 관찰이 가능하고 전문성을 갖춘 장비를 활용할 수 있다는 장점 보유
 - 다만, 우주정거장의 운영에 참여하거나 독자 정거장을 보유한 국가 이외의 국가에서는 해당 장비에 접근성이 매우 낮거나 고비용을 지불해야 하는 단점 존재
 - 우주정거장은 미세중력 환경에서 생명체의 적응 현상 연구, 식물 재배 최적화를 통한 식량 자급, 미생물의 병원성 발현 현상 연구 등을 직접 수행할 수 있으며, 우주정거장이 폐쇄적이고 협소한 공간임을 감안하여 우주바이오 실험 장치는 소형화 및 모듈화되어 있음

17) Japanese Aerospace Exploration Agency

18) 미래창조과학부, 2015, 우주핵심기술사업보고서

- (다국적) 우주환경 실험을 수행하기 위하여 1998년에 건설을 시작한 국제우주정거장(ISS)은 미국 NASA, 러시아 Roscosmos, 일본 JAXA, 유럽 ESA¹⁹⁾, 캐나다 CSA²⁰⁾가 공동 운영하며, 미국 구역(USOS)과 러시아 구역(ROS)으로 구분
 - ISS의 전반적인 운영을 위한 모듈은 러시아 구역에 장착되어 있으며, 유럽의 콜럼버스(Columbus) 모듈, 일본의 키보(KIBO) 모듈, 미국의 데스티니(Destiny) 모듈 등 우주환경에서의 실험을 위한 모듈은 미국 구역에 장착
- 미세중력 환경에서 우주비행사의 건강 모니터링 등 인체 반응 연구 및 다양한 동식물과 미생물에 대한 연구가 수행되고 있으며, 구조물의 노후화 등으로 인해 2031년 초까지 유지할 것으로 전망
 - 현재까지 ISS에서 생명과학, 물리학, 원격탐사, 기술개발, 교육 분야에서 3,000여 건 이상의 실험이 수행되었고, 생명과학 분야에서는 700여 건의 실험이 40여 개의 실험 장비를 이용해 수행²¹⁾

〈표 5〉 우주정거장에서 사용되는 우주바이오 실험 장비 예시

미세중력 과학 글로브박스 (Microgravity Science Glovebox)	식물 배양 장비 (Plant Culture Box)	PCR 장비
우주정거장에서 다른 구역과 완전히 격리된 밀폐되고 통제된 환경에서 실험할 수 있는 글로브박스. 폭발이나 화재에도 견딜 수 있으며, 범용적인 재료 실험에 사용되고 내구성이 높으며, 우주정거장의 규격에 적합한 설계를 바탕으로 제작	미세중력에서 식물의 배양에 필요한 토양, 물, 빛 등 다양한 요소들을 제어하기 위한 장비. 양액 제어 시스템, 성장 관찰용 카메라, 물, 공기 순환 장치 등을 탑재하여 자동화된 배양 및 데이터 수집 등을 수행할 수 있도록 설계	유전자 증폭에 필요한 PCR 장비는 지상에서 사용되는 크기보다 1/3 정도로 축소된 미니 PCR 장비가 개발. 우주 비행 기간 우주비행사의 유전자 발현 변화와 후성 유전적 변형과 같은 분자 변화를 신속하게 감지 가능
	 <p>탄궁2호에 설치된 식물 배양 장치. (A)전체 이미지, (B)배양 챔버, (C)분해도(출처: Xie et al. 2022)</p>	 <p>ISS에 설치된 미니 PCR (출처: Boguraev et al. 2017)</p>
ISS에 설치된 글로브박스(출처: ESA)		

19) European Space Agency

20) Canadian Space Agency

21) ISS National Laboratory 웹사이트 참고



[그림 4] ISS에서 식물 모델을 이용한 연구에 사용되는 식물배양 장비 Plant Habitat
(출처: NASA)

❖ (중국) 텐궁(Tiangong Space Station)은 중국 유인우주국(China Manned Space Agency)이 독자 건설하고 운영하는 지구 저궤도 우주정거장이며, ISS보다 규모는 작지만 '31년 ISS 운영 종료 후 지구 저궤도의 유일한 우주 정거장이 될 것으로 예상

- 우주환경에서 다양한 생물학 및 물리학 실험 수행을 목적으로 건설되었으며, '21년 4월 첫 모듈이 발사된 이래 추가 실험용 모듈이 탑재되면서 본격적인 실험들이 수행되기 시작
 - 텐궁-2에서 애기장대 씨를 발아시켜 지상의 미세중력 모사 환경과 비교 분석했으며, 우주 환경이 스트레스 반응 유전자 발현을 증가시키고 일주기 리듬 및 성장호르몬 관련 유전자 발현을 감소시키는 영향을 확인²²⁾
 - 텐궁 건설 전 사전 연구로써 선저우 11호 우주비행선에서 살모넬라 엔테리티디스 (*Salmonella enteritidis*)의 항생제 저항성 연구를 통해 우주환경에서 아미카신(amikacin) 항생제에 대한 저항성 증가를 관찰하고 이는 OppA 유전자의 발현 감소에 기인하는 것으로 확인²³⁾

22) Xie et al. 2022, npj Microgravity

23) Zhang et al. 2019, MicrobiologyOpen

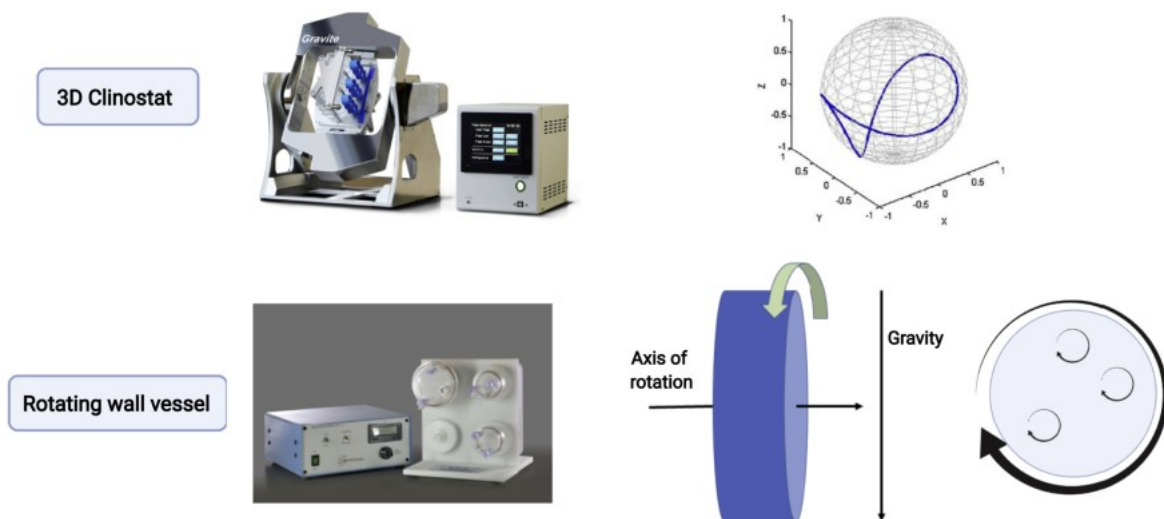
2.3.2 지상 기반 연구 시설·장비

☞ 우주환경 실험에 소요되는 고비용의 문제와 접근 한계 등을 극복하기 위해 지상 기반의 우주환경 모사 장치가 개발

- 지상에서 우주환경과 유사하게 생물체 반응성 예측 연구를 수행하는데 필요한 우주환경 모사 장치는 1)미세중력 모사 장치, 2)고중력 모사 장치, 3)우주방사선을 모사하는 X-선 모사 장치 등으로 구분

☞ (미세중력 모사 장치) 장기 우주비행이 생명체에 미치는 영향을 지상에서 연구 하기 위해 미세중력 환경을 모사하는 장치이며, 중력효과를 제거하기 위해 회전 하거나 중력을 분산하는 방법을 활용

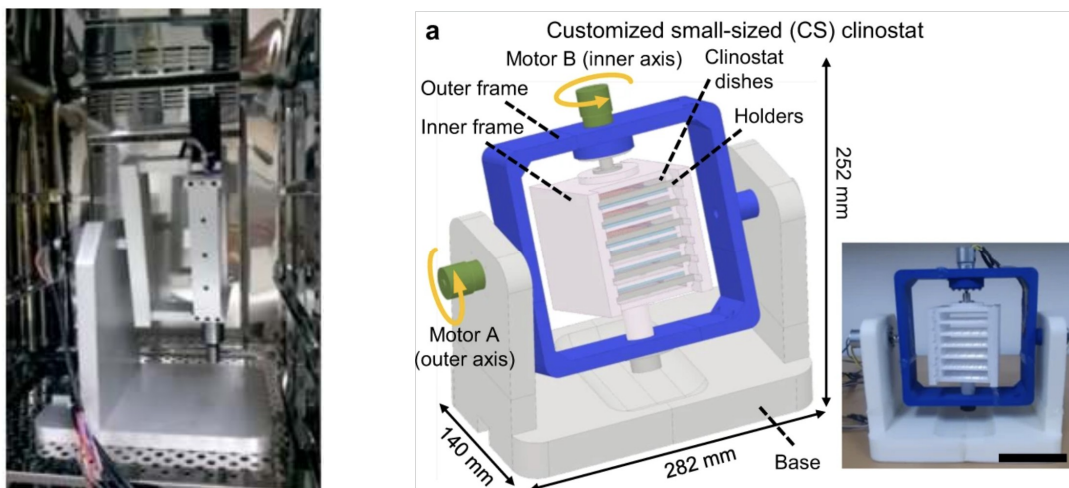
- (식물용 미세중력 모사 장치) 클리노스탯은 식물의 성장에서 중력의 영향을 관찰하기 위해 개발²⁴⁾ 되었으며, 식물을 수평으로 놓은 뒤 회전시킴으로써 중력의 영향을 받지 않도록 고안된 장치
 - * 클리노스탯은 생물학적 시험계에 미치는 지구 중력의 영향을 제거하는 미세중력 상태를 모사하기 위해 고안된 실험 장치이며, 시험체를 지속적으로 천천히 회전시켜, 중력의 방향을 상쇄하고 모든 방향으로 중력을 균일하게 분산(그림 5 참고)



[그림 5] 다양한 종류의 미세중력 모사 장치와 원리. (위)3D 클리노스탯은 3차원 회전을 통하여 지구의 중심으로 향하는 중력의 방향을 분산시키며, (아래)회전형 배양장치(rotating wall vessel)는 중력의 방향과 수직인 축으로 회전시킴으로써 중력의 영향을 상쇄시키는 원리(Bijlani et al. 2021)

24) von Sachs, 1879, Würzburger Arbeiten

- 클리노스탯이 개발된 초기에는 단축 회전을 통한 1차원적인 중력 감쇠효과를 관찰하였다면, 최근에는 3축 회전을 통한 3차원 중력 감쇠 효과를 보는 3D 클리노스탯이 개발
 - ※ 3D 클리노스탯은 다양한 세포배양 실험에 활용되며, 줄기세포의 분화 연구²⁵⁾에서부터, 면역 이상 반응 연구²⁶⁾, 오가노이드 제조 및 이를 이용한 신규 항암제 스크리닝 연구²⁷⁾ 등이 진행
- 국내에서는 '14년 연세대학교에서 국내 최초의 3차원 클리노스탯을 개발²⁸⁾(그림 6)하였으며, 본 장비를 활용하여 한국생명공학연구원과 공동연구를 통해 미세중력이 단백질 결정 형성에 미치는 영향을 확인
- '23년 중앙대학교 연구진이 개발한 소형 클리노스탯²⁹⁾은 3D 프린팅을 이용하여 쉽게 제작이 가능하고 가격이 저렴한 범용성을 가지고 있어 미세중력 연구의 저변을 확대시킬 것으로 기대



[그림 6] (좌)연세대학교에서 자체 제작한 3D 클리노스탯(출처: 한국생명공학연구원, 2014)와 (우)3D 프린팅을 이용해 제작한 소형 3D 클리노스탯(출처: Kim et al. 2023)

- (설치류용 미세중력 모사 장치) 설치류의 뒷다리를 기계 장치로 들어 올려 중력 부하가 감소하도록 모사하는 장치*를 활용해 혈액순환 장애, 근력 감소 등의 영향을 연구하는 장치이며, 우주 비행사에게서 발견되는 근육 위축, 뼈 손실, 심혈관 변화를 유발할 수 있음

* 후지부하 제거 모델(hindlimb unloading model)(그림 7)

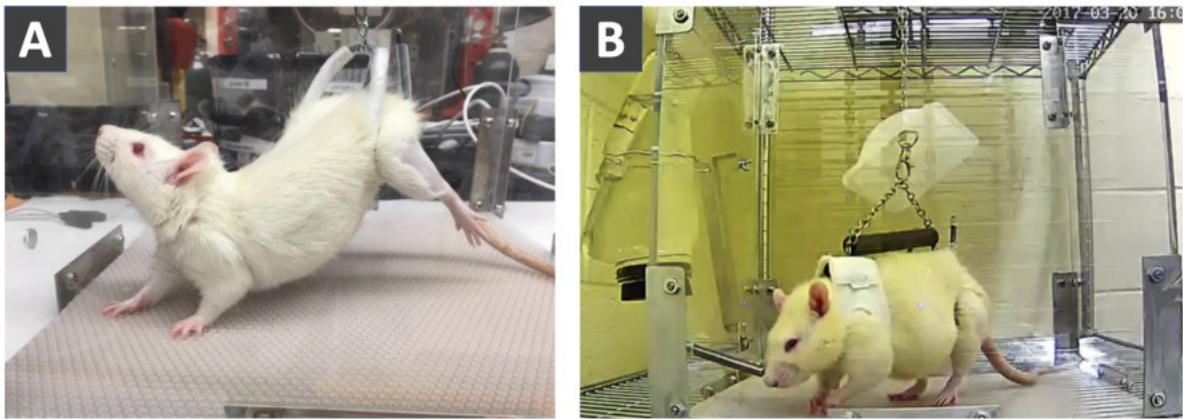
25) Ye et al. 2024, Cell Death Discov., Handwerk et al. 2023, Int. J. Mol. Sci.

26) Moser et al. 2023, FASEB J.

27) van Niekerk et al. 2023, Cells

28) 한국생명공학연구원, 2014, 마이크로중력 환경을 활용한 우주바이오융합연구 과제보고서

29) Kim et al. 2023, npj Microgravity



[그림 7] 랫드를 이용한 후지부하 제거 모델(Hindlimb Unloading Model)(출처: Mortreux et al. 2019)

- 플라스미노겐(Plasminogen)이 결핍된($Plg^{-/-}$) 마우스와 일반 마우스를 후지부하 제거 모델에 20일간 노출한 후 후지 근육량을 측정된 결과 $Plg^{-/-}$ 마우스에서 더욱 심한 근육 감소가 관찰되어 플라스미노겐이 근육보호에 중요한 역할을 담당함을 확인³⁰⁾
- 미세중력에서 근육 감소를 예방하기 위한 일환으로 후지부하 제거 마우스에게 유익균 배양액을 먹였을 때 유익균 배양액을 먹이지 않은 그룹보다 근육 감소를 줄이며 장내 균총 다양성도 증진되었다는 사례가 보고³¹⁾
- (인체용 미세중력 모사 장치) 인체실험용 미세중력 모사 장치는 주로 우주비행사들의 훈련을 위해 개발 및 활용되며, NASA의 존슨우주센터의 ARGOS* 미세중력 모사 장치가 대표적
 - * Active Response Gravity Offload System
 - ARGOS는 특정 객체나 사람을 공중에 부양시키고 실제 실험자의 무게를 부분적으로 또는 완전히 상쇄시켜 미세중력이나 부분중력 조건까지 다양한 중력 환경을 모사
 - 우주비행사의 우주 걷기 훈련, 새 우주장비 시험, 우주선 내에서의 움직임 연구 등에 활용하고, 인간의 생리적 반응이나 다양한 우주 임무 시나리오를 연구하는 데 사용

30) Ohira et al. 2024, J. Appl. Physiol.

31) Shama et al. 2024, Life Sci. Space Res.



[그림 8] NASA 존슨우주센터에 설치된 미세중력 모사 장치 ARGOS를 활용한 우주비행사 훈련 모습
(출처: NASA)

☒ (고중력 모사 장치) 고중력 모사는 우주비행이나 다른 행성의 탐사과정에서 겪을 수 있는 중력 조건을 지상에서 모사하기 위해 설계되었으며, 회전운동이 만들어 내는 원심력을 활용한 모델이 널리 사용

- 미국, 유럽 등 우주 선진국은 우주선의 발사 또는 지상 착륙 시 나타나는 고중력 환경의 영향을 연구하기 위하여 고중력 모사 장치를 개발하여 사용
 - 인체용 고중력 모사 장치(그림 9)는 원심분리 원리를 이용하여 사람을 고중력에 노출시키고 이를 견딜 수 있도록 훈련하는 것을 목적으로 제작
- ※ 우주여행이 상품화되면서 일반인을 대상으로 고중력 노출 훈련이 진행되는 사례들이 증가하고 있으며, 앞으로 우주여행 수요자들을 대상의 고중력 모사 실험을 통한 인체 반응 연구가 늘어날 것으로 예상



[그림 9] 인체용 중력 부하 장치(출처: 독일 DLR)

- 인체를 비롯하여 소동물, 세포 등에 적용이 가능한 다양한 크기로 개발되어 활용되고 있으며, 3D 클리노스탯에 원심분리 기능을 탑재하여 고중력을 모사할 수 있도록 구현하고 있는 제품도 개발
 - ※ 일본 야마모토社は 미세중력과 고중력을 모두 모사할 수 있는 세포 배양용 3D 클리노스탯을 개발



[그림 10] 미생물, 식물, 소동물에 적용 가능한 1.22 미터 반경의 고중력 모사 장치(출처: NASA)

☞ (우주방사선 모사 장치) 우주 스트레스 환경의 주요 요소인 우주방사선을 모사하기 위한 장치(그림 11)로서 주로 고에너지 입자인 X-선을 사용하고, 동물 모델을 대상으로 우주방사선이 인체에 미치는 영향에 관해 연구를 수행

- 최근 미국과 폴란드 연구진은 방사성 동위원소 및 X-선 조사 장치를 이용하여 설치류를 방사능에 노출시킨 후 염색체 손상의 지표로써 DNA 메틸화(methylation)를 확인
 - 더 나아가 우주비행사들의 DNA 메틸화 패턴(methylation pattern)과 비교를 통하여 우주방사선에 의한 DNA 손상 정도를 예측할 수 있는 근거를 마련³²⁾
- 우주방사선에 대한 인체의 직접적인 영향에 관한 연구는 주로 우주비행사 대상의 관찰조사로 진행



[그림 11] 소동물용 방사선 조사 장치(출처: 인하대학교 의과대학연구소)

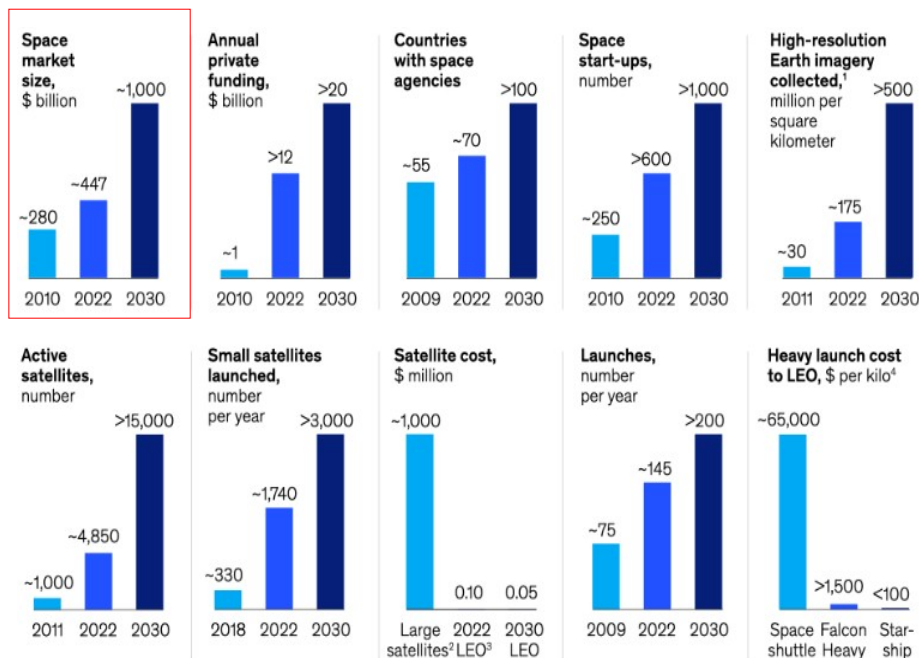
32) Perdyan et al. 2024, Sci. Rep.

제3장 산업 동향

3.1 글로벌 우주바이오 산업 동향

글로벌 우주산업은 상업 목적의 우주활동 증가와 민간기업 참여의 확대로 '30년 까지 우주산업의 연평균 성장률(CAGR)은 약 7%로 예측되며, 우주탐사의 수요 증가는 우주바이오 산업 성장의 밑거름이 될 것으로 전망

- 우주산업은 '10년 2,800억 달러에서 '22년 약 4,470억 달러로 성장하였으며, '30년까지 1조 달러까지 성장할 것으로 전망(그림 12)



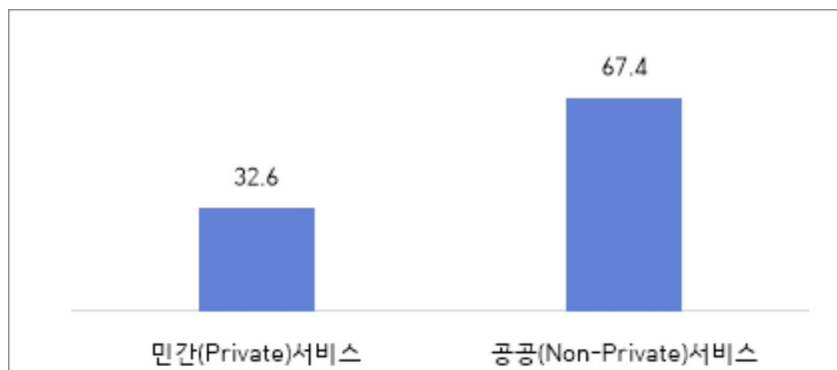
[그림 12] 세계 우주 관련 산업의 장기적 성장 전망(출처: McKinsey & Co.)

- 각국의 우주탐사 및 유인 우주비행의 안전에 대한 수요 증가는 글로벌 우주바이오 산업이 성장하는 데 기폭제 역할을 할 것으로 예상

※ 글로벌 우주탐사 산업은 '23년 23억 달러에서 꾸준히 성장해 '32년에는 33억 달러로 확대될 것으로 전망되며, 특히, 지난 10년간('13-'22) 투자된 저궤도 및 행성탐사 규모(143.5억 달러) 보다 향후 10년간('23-'32) 투자 규모가(234.6억 달러) 약 63.5% 증가할 것으로 예상³³⁾

우주바이오의 대표적인 활용 분야인 우주의학과 우주농업의 시장은 '23년 약 49억 달러 수준이며, 추후 성장세를 고려할 때 향후 9년간 CAGR 11%를 기록할 것으로 예상

- 우주의학 시장은 '23년 약 7.7억 달러에서 '30년 16억 달러로 연간 약 11% 성장이 예상되고³⁴⁾, 우주농업 시장은 '22년 약 47억 달러에서 '32년 115억 달러로 연간 약 11% 성장할 것으로 전망³⁵⁾
- 지리학적 측면에서 북미 지역이 우주의학 시장의 가장 큰 점유율을 차지할 것으로 예상되며, 주요 유형 부문으로는 민간(Private) 서비스보다 국가 또는 정부기관 대상의 공공(Non-Private) 서비스 분야에서 약 2배 이상 점유율을 차지



[그림 13] '23년 유형별 글로벌 우주의료 시장 점유율(%)

(출처: Coherent Market Insights)

그간 우주바이오 산업은 각국 정부 투자에 기반해 우주환경 실험 플랫폼을 보유한 정부기관과 관련 시설에 접근할 수 있는 소수 기업만이 참여하였지만, 우주환경의 이점에 대한 이해도가 높아지면서 사업화 성과를 만드는 기업이 다방면에서 등장

- (우주의학) 우주환경이 인체에 미치는 영향부터 미세중력의 특성을 활용한 약물개발과 제조 분야의 사업모델을 활용하는 기업이 등장하고 있으며, 주요 업체는 SpacePharma社, Angiex社, ICECUBES社, Merck社, MEDES社 등(표 6)

※ 최근 미국의 우주제약 스타트업인 Varda Space Industries社는 제약 모듈인 위제바고-1호(W-1)를 이용해 지구 저궤도에서 항바이러스제 리토나비르(Ritonavir)를 합성하고 지상에서 회수하는 데 성공(24.4)³⁶⁾











33) Euroconsult, Prospects for Space Exploration, 2023

34) Coherent Market Insights, Global Space Medicine Market Size and Share Analysis

35) 해당 통계는 우주에서의 식량생산 시스템, 식량생산에 필요한 우주정거장 건설 등 제반 산업을 모두 포함, Market Research Future, Space Agriculture Market Research Report

- (우주농업) 우주에서 작물 재배 및 생명 지원 시스템을 연구 및 개발하는 캐나다의 Orbital Farm社, 제한된 공간에서 식물 재배 기술을 개발해 우주비행체 내 환경에 적용하는 연구를 진행하는 미국의 AeroFarms社 등이 있음(표 6)


〈표 6〉 우주의학 및 우주농업 분야 주요 기업

우주의학		우주농업	
기업명 및 상표	주요 BM 소개	기업명 및 상표	주요 BM 소개
	우주환경에서 DNA 손상 연구부터 세포 배양 및 중력과의 상관성 연구 수행		Universal Food 프로젝트를 위한 부지개발 및 농장 운영
	우주에서 항체약물 접합체기반 항암제(ADC) 개발 수행		우주에서의 자급자족 식량 시스템 구축 ※ 우주에서 최초로 육류 배양 성공
	미세중력 공간 제공을 통한 R&D 수행		ISS에서 음식을 구울 때 사용하는 최초의 오븐 제작
	우주에서 항암제 키트루다 생산 및 공정개발 연구 수행		우주 기반 농업용 시스템을 개발 및 제조하는 Techshot 인수
	지상-우주 간 원격진료 연구 및 임상연구 수행		우주에서 유익한 미생물 군집을 통한 식물재배

- (우주바이오 플랫폼) 우주비행체 내 응급 수술이나 진단 장비 개발을 위한 우주의학 장비 기업이 나타나고 있으며, 미 Nanoracks社 등은 우주비행 중 의료 및 생물학 실험을 위한 장비 및 시스템을 개발 및 제공

- 우주비행의 특성상 다양한 직군이 탑승할 수 없어 비전문인력이 의료행위를 수행해야 하는 한계를 극복하기 위해 지상과의 교신을 통한 원격 의료행위가 시도

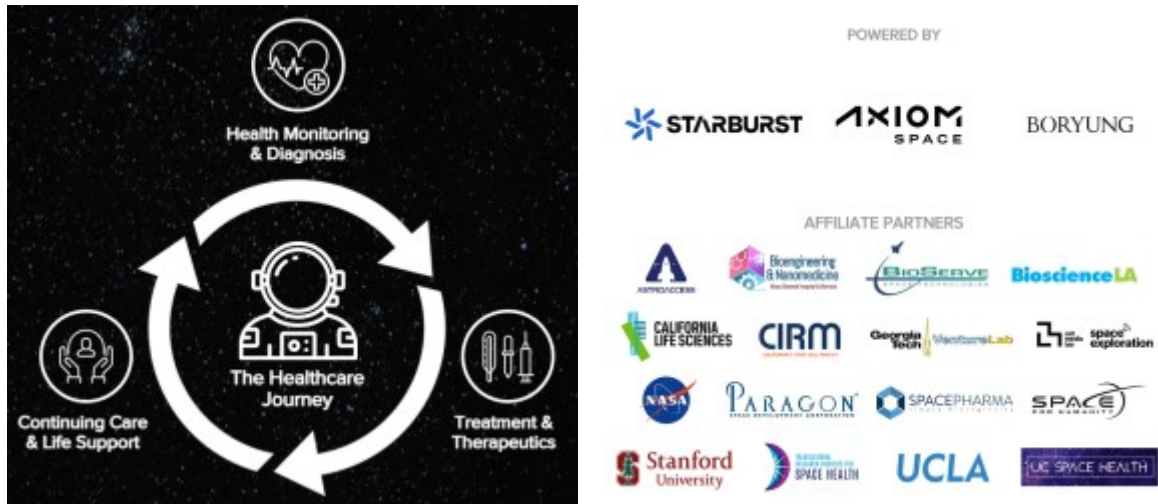
※ 미국 의료용 로봇 개발업체 Virtual Incision社는 의료용 로봇 SpaceMIRA를 개발하고 고무로 된 모의조직을 이용해 지상과 ISS 간 원격 수술 시연에 성공. 다만, 지상에서의 신호 수신에 0.85초 지연이 기록되어, 응급 상황에서의 대처 방안이 과제로 남음³⁷⁾

 최근 우주의 극한조건을 활용해 우주바이오 혁신을 탐색하고 상업적 우주와 생명과학의 교차점에서 실행가능한 비즈니스 구축을 모색하는 국제행사*가 개최

* Care in Space(CIS) Challenge 2022, Humans in Space(HIS) 2023

36) ““우주 신약 시대 신호탄”...美스타트업, 우주에서 약 생산 후 지구 귀환 성공”, 2024.4.2., 동아일보

37) 지구 의사가 원격 조종해 우주에서 사상 첫 수술. 2024.2.14., 조선비즈



[그림 14] 2022 우주 케어(Care in Space) 챌린지 목표 및 관련 참여 기관(출처: Care in Space)

- 우주 케어(CIS), 우주 인류(HIS) 행사는 우주의학 분야*의 기술적 진보를 목적으로 미세중력이 신약 개발 속도, 의료 기기 개선, 재생 의학 및 생명 과학의 발전에 미치는 영향을 가장 잘 활용하는 기업을 선정 및 지원하는 경쟁 프로그램을 운영

* 의료 데이터 관리, 진단, 생명 유지 시스템, 우주환경 내 제약, 정신건강, 모니터링, 물리적 치료, 경미 의료, 재생 의학, 합성생물학 등

- 선정된 기업의 일정 지분에 투자하고 우주 전문 투자사인 Starburst社의 엑셀러레이터 프로그램에 참여 자격을 제공

<p>딥 스페이스 바이올로지 Deep Space Biology</p> <p>AI와 빅데이터 기반, 장기간 우주 활동에 발생할 수 있는 생체 신호들을 예측하고 발견할 수 있는 연구용 플랫폼 개발</p>	<p>나노 파마솔루션스 Nano PharmaSolutions</p> <p>물리적 증식법을 이용, 약물의 용해도를 높여 분용성 약물에 대한 생체 이용률을 높이고 약물 섭취법을 다각화</p>
<p>어드밴스드 텔레센서스 Advanced TeleSensors</p> <p>NASA 제트추진연구소에서 합동으로 개발한 주파수를 이용, 특별한 접촉 없이 실시간 심장 및 호흡 모니터링 제공</p>	<p>바이보 헬스 ViBo Health</p> <p>멀티 스케너로 개인만의 대사 정보를 수치화해 개인의 건강 예측을 설계하는 스마트 건강 추적기 개발</p>
<p>마엘린-에이치 Myelin-H</p> <p>미 FDA에서 인공 받은 신경 센서와 AI 기반 분석 소프트웨어를 활용, 원격 신경질환 모니터링 및 진단 시스템을 구축</p>	<p>엑스토리 Xtory</p> <p>허강 현실과 대화형 장치를 통해 위축되고 스트레스를 받을 수 있는 우주에서 심리적 연도감 제공, 정신 건강 모니터 플랫폼 구축</p>

[그림 15] 2022 우주 케어 챌린지 우승 기업(출처: Care In Space)

3.4 국내 우주바이오 산업 동향

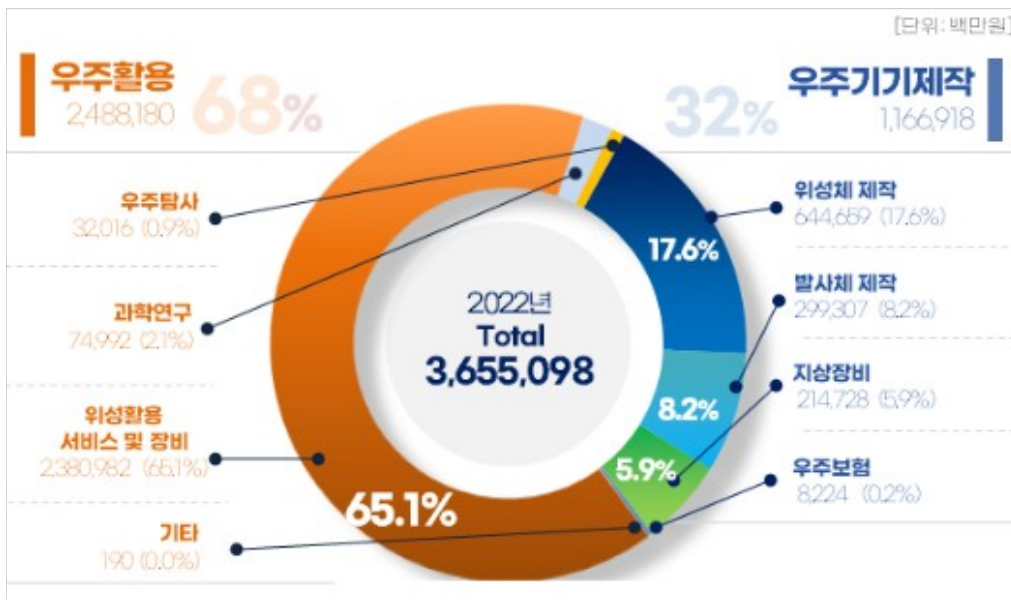
☞ 국내 우주산업은 정부 주도의 발사체, 위성, 우주탐사 분야의 투자 규모가 증가하면서 해당 사업에 참여하는 기업의 참여 규모도 증가 추세

- '13년부터 '22년까지 국내 우주산업 활동규모는 2.4조 원에서 3.6조 원으로 약 1.5배 증가



[그림 16] 국내 우주산업 규모 추이(출처: 2023 우주산업 실태조사)

- 대다수의 우주산업 활동은 매출액이 높은 위성활용 서비스 및 장비 분야에서 나타나며, 우주 활용 분야인 우주탐사 및 과학연구 분야는 우주산업 전체의 약 3% 수준



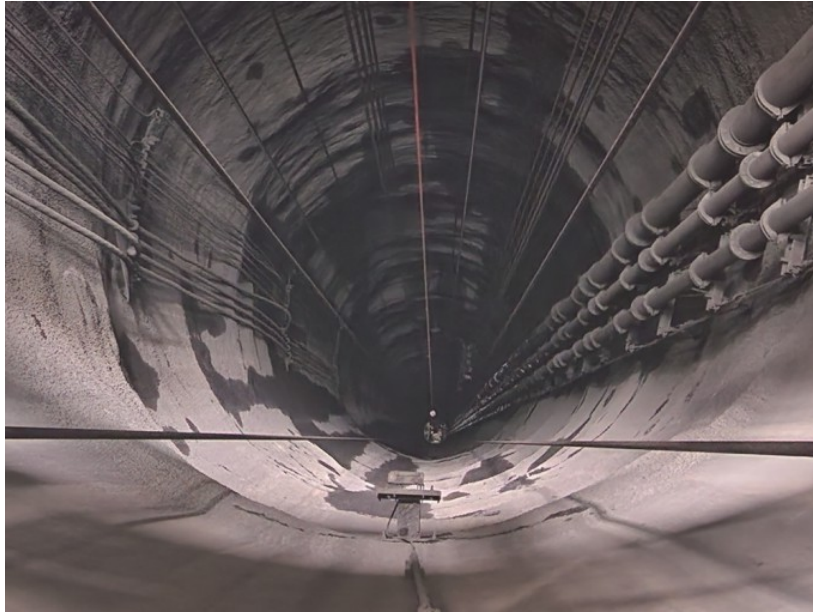
[그림 17] 국내 세부 분야별 우주산업 규모 및 비중(출처: 2023 우주산업 실태조사)

☞ 국내 산업계는 위성활용, 과학연구 등 전통적인 우주활용 분야에 비해 우주 바이오에 관심이 낮았지만, 최근 국내 일부 제약사를 중심으로 우주의학 산업에 관심이 높아지면서 관련 분야 투자뿐만 아니라 의약품 개발까지 추진

- 보령社は 우주 헬스케어 스타트업을 발굴·지원하는 ‘Care in Space’, ‘Humans in Space’ 프로그램 운영을 주도하고, ISS를 대체해 세계 최초의 상업용 우주정거장을 건설할 Axiom Space社에 '23년 약 6,000만 달러(약 770억 원)를 투자
 - 보령社は CIS와 HIS에서 인공지능(AI), 확장현실(XR) 등 정보기술(IT)을 활용해 고립된 환경에서 우주비행사의 건강을 모니터링하고 관리하는 사업모델을 발굴하고 투자
 - ※ CIS에서 선발된 미국의 우주 헬스케어 스타트업 Xtory社는 XR를 이용해 우주비행사의 정신 건강을 관리하는 플랫폼을 개발 중이며, 우주비행사의 가족을 3차원 가상현실로 구현하고 우주 비행사가 우주에서도 가족들과 대화하거나 상호작용하며 외로움과 스트레스를 관리하는 것을 목적
- 엔지켐생명과학社は '21년 우주방사선의약연구소(GCR-MRI)을 설립하고 우주방사선 치료제 개발 추진
 - ※ 우주방사선의약연구소는 인체건강에 영향을 미치는 우주방사선, 미세중력 환경, 우주 미세먼지로 부터 인류건강을 지키기 위한 목적으로 설립되었으며, 인류가 우주에 안전하게 거주하고 우주에서 건강을 유지하기 위한 솔루션 제시를 목적
 - 우주방사선 및 급성방사선 치료제 개발을 위해 NASA TRISH(우주건강증개연구소)와 미국 국립보건원(NIH) 등과 공동연구를 수행하고 신약후보 물질(EC-18)을 공개³⁸⁾
 - ※ EC-18은 미국 특허청으로부터 급성방사선증후군(ARS) 치료제 특허 등록을 허가받았으며, 미국 식품의약국(FDA)에서 ARS에 대한 희귀의약품으로 지정³⁹⁾
 - NASA HRP(Human Resource Program) 연구 프로그램에 참여하여 NASA 우주방사선 치료제 연구과제에도 선정
- '21년도에 설립된 국내 우주바이오 스타트업인 스페이스린텍社は 미세중력 모사 장치인 수직낙하 드롭 타워를 설치하고 우주의학 연구 및 제약을 위한 플랫폼 구축
 - ※ 강원도 정선군의 지하실험실 ‘에미랩’으로 향하는 600m 깊이의 수직 갱도를 무중력 실험장으로 활용하고 수직낙하 장치를 설치
 - 수직낙하 드롭 타워를 이용해 항암 면역세포치료제 실험을 포함한 다양한 의생명 연구를 진행하고 Merck社 등 해외 제약회사의 실험 결과와 유사한 사례 발굴 추진
 - 지구 저궤도 우주환경을 활용한 우주의학 연구를 위해 현재 국내 우주발사체 기업 페리저 에어로스페이스社와 함께 우주의학 실험장치를 저궤도로 이송하기 위한 공동연구 진행

38) 엔지켐생명과학, 美 뉴욕헬스포럼 참가...‘우주방사선 치료제’ EC-18 소개. 2021.3.19., 매일경제



39) EC-18 화합물은 면역조절제로서 PRR(Pattern Recognition Receptor) 즉 TLR4를 포함한 TLRs와 특정 GPCR을 매개로 세포 내 이입, 엔도솜 의존(Endosome dependent) 신호의 재생 촉진자, PETA(Pattern Recognition Receptor Endocytic Trafficking Accelerator)라는 독특한 작용 메커니즘을 지닌 신약 후보 물질



[그림 18] 암흑물질 관측 실험실인 '예미랩'으로 이어지는 600m 깊이 수직 갱도에 설치된 '드롭 타워'


제4장 정책·R&D 투자 동향

4.1 글로벌 우주바이오 정책 동향

-  최근 ISS 공동 운용 국가는 ISS 임무 종료('31 예정)에 대비하고 정부-민간 역할이 조정된 새로운 지구 저궤도 플랫폼을 활용하는 연구 방식의 전환에 초점을 둔 정책을 수립
 - 미국, 러시아, 유럽, 일본, 캐나다가 '98년부터 공동 운용 중인 ISS는 제한된 기술적 수명이 가까워짐에 따라 '31년까지 운용 후 해체될 예정이며, 각국은 지속적인 우주바이오 연구를 위한 정책을 마련
 - ISS의 퇴역 이후 민간이 주도하는 상업용 우주정거장 건설이 예정됨에 따라 ISS를 운용하던 각국 정부는 향후 민간 우주정거장을 활용, 민간 서비스 구매 방식을 통해 우주바이오 연구를 수행하려는 정책적 전환을 시도
-  중국은 독자 우주정거장인 텐궁(Tiangong)을 확장하면서 추가 건설된 우주실험 모듈에서 대규모 우주바이오 실험을 준비하고, 향후 협력국가를 유인하기 위한 도구로 활용

4.1.1 (미국) NASA는 미래 주요 연구 방향에 우주바이오 연구를 통해 해결하고자 하는 핵심 과학적 질문을 명시하고 연구수행 방안을 구체화

※ 현재 NASA의 우주바이오 분야가 명시된 정책은 BPS Decadal Survey 2023-2032, NASA Science 2020-2024, NASA Space Biology Science Plan(2016-2025)로 대표

-  (BPS Decadal Survey 2023-2032^{*40}) 행성 유인탐사에 대비해 우주에서의 적응, 거주, 여행 과정에 수반되는 생물학적 현상에 대한 이해도 증진을 권고하고, 목표 달성에 필요한 국가 정책방향을 제안

40) NAS, Thriving in Space: Ensuring the Future of Biological and Physical Sciences Research: A Decadal Survey for 2023-2032, 2023

* NASA의 요청에 따라 미국국립과학원(National Academy of Sciences)이 출간하며, 향후 10년간 생물학 및 물리학 분야(BPS) 연구 방향 및 수행해야 할 권고 사항에 따라 과학임무의 우선순위를 결정

- 미국국립과학원은 우주바이오 분야에서 향후 10년 동안 포괄적인 전략과 비전을 구현하기 위해 ‘우주 적응’, ‘우주 거주 및 여행’, ‘우주에서의 현상 탐구’를 NASA가 지원해야 할 연구 주제로 제안(표 7)
- 향후 달 및 화성으로의 탐사 등에 앞서 미세중력 환경과 행성에서의 인간 활동 및 거주에 수반되는 핵심 연구주제를 제시하고 해결 필요성을 강조

〈표 7〉 Decadal Survey 2023-2032에 제시된 BPS 분야 핵심 과학적 질문

테마	핵심 질문
우주 적응 (Adaptation to Space)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 유기체가 우주로 오가는 과정에서 생존하고 지구 밖에서 번성하는 데 필요한 생물학적 메커니즘에 미치는 우주환경의 영향은 무엇인가?♣ ▶ 유전적 다양성과 생물의 역사가 우주환경에 대한 생리적 적응에 미치는 영향은 무엇인가?♣ ▶ 우주환경은 유기체 간의 상호작용을 어떻게 변화시키는가?♣
우주 거주 및 여행 (Living and Traveling in Space)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 우주환경이 여러 세대에 걸쳐 성장, 발달, 번식에 미치는 중요한 영향은 무엇인가?♣ ▶ 지속 가능하고 기능적인 외계 서식지를 만들기 위해 생물학적 시스템과 비생물학적 시스템을 통합하는 데 어떤 원칙이 적용되는가?♣ ▶ 장기적이고 지속적인 인간 및 로봇 우주 탐사를 위해 외계 환경에서 발견되는 물질의 식별, 추출, 처리 및 사용하게 하는 원리는 무엇인가?♣ ▶ 우주환경에서 유체의 거동을 지배하는 관련 화학적 및 물리적 특성과 현상은 무엇인가?
중력이나 지상의 한계에 가려진 현상 탐구 (Probing Phenomena Hidden by Gravity or Terrestrial Limitations)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 유기체가 주변 환경의 물리적 특성과 중력을 포함한 가해진 기계적 힘을 감지하고 반응하는 메커니즘은 무엇인가?♣ ▶ 연성 물질과 활성 물질을 포함한 물질의 구조와 기능을 구성하는 기본 원리는 무엇인가? ▶ 평형과는 거리가 먼 시스템의 행동을 지배하는 기본 법칙은 무엇인가? ▶ 입자 물리학, 일반 상대성 이론, 양자역학 등 우주에서만 수행할 수 있는 실험을 통해 발견할 수 있는 새로운 물리학은 무엇인가?

♣ 우주바이오와 관련된 핵심 질문

- 또한, 해당 조사에서 NASA는 연구 캠페인을 추진하기 위해 타 연방기관 및 민간과 파트너십을 구축하고 협력해야 하며, 특히, 장기간 지속 가능한 우주환경을 조성할 수 있는 시스템(예. BLiSS*) 구축을 요구

* Bioastronautics and Life Support Systems

- 연구에서 도출되는 데이터의 저장, 분석, 보급을 지원하기 위한 개방형 공유 컴퓨팅 인프라(CI)에 대한 투자를 지속적으로 확대할 것을 제안하며, 국제 생물 자원 CI에서 접근 및 재사용이 가능하도록 GeneLab* 지속 유지 요청

* Open Science 기반의 NASA의 생물학 데이터베이스

- 특히, ISS 이후를 대비해 NASA가 우주바이오 연구를 수행할 수 있는 플랫폼에 대한 접근성을 높이고 자금 확보 기회를 높이도록 권고

- ISS를 대체할 상업용 우주정거장 건설에 대비*해 1)민간과 협력 확대, 2)민간/정부 간 역할을 조정, 3)연구 규정, 데이터 보안, NASA의 임무 수행을 위해 맺을 계약 지침 등을 선제적으로 개발하고 대외적 공개를 권고

* NASA는 CLD Program(Commercial Low Earth Orbit Development Program)을 통해 ISS를 대체할 민간 소유의 상업용 지구 저궤도 플랫폼을 지원. 민간이 주도하는 우주산업의 시장을 키우고 NASA의 고유 임무를 민간 서비스 구매를 통해 수행하는 것이 목적이며, Axiom Space社, Blue Origin社, Starlab社가 참여

(NASA Science 2020-2024*) 우주의 상업화 방향을 반영해 NASA의 전략을 수정하고 인간 지식의 확장 등 NASA 고유 임무와 민간 주도의 우주활동을 장려하고 지원하는 NASA의 역할을 제시

* NASA의 과학임무를 담당하는 Science Mission Directorate(SMD)에서 발간하며, NASA가 추진할 연구 정책 및 방향을 정의⁴¹⁾

- NASA의 과학 리더십을 유지하기 위한 우선순위 4요소*를 제안하고, ‘탐험과 과학적 발견’의 세부전략에 균형 잡힌 포트폴리오를 구성하면서 우주바이오 연구 방향을 제시

* Exploration and Scientific Discovery(탐험과 과학적 발견), Innovation(혁신), Interconnectivity and Partnerships(상호 연결성 및 파트너십), Inspiration(영감)

- 우주에서 더 멀리 여행하고 더 오래 머물기 위한 인간, 식물, 동물에 미치는 스트레스 요인의 복합적인 영향 이해, 장거리 탐사를 위한 보급품의 현지 제작 등에 대한 연구 추진
- 해당 내용은 SMD 산하 생물학 및 물리학 디비전(Biological and Physical Science Division)에서 수행하는 연구의 방향성에 반영되어 구체화

- NASA는 지구 저궤도에서의 연구 수요를 예측하고 대비하기 위한 백서를 발간하고 주기적으로 업데이트⁴²⁾

- ISS 임무 종료 이후 NASA가 상업용 민간 우주정거장으로부터 원하는 수요, 우주바이오 분야에서 수행하고자 하는 연구 분야, 연구 횟수, 연구장비 등이 명시되어 있어 미래 NASA가 우주바이오 분야에서 추구하는 연구 방향을 확인 가능

(NASA Space Biology Science Plan 2016-2025*) 지상 혹은 ISS에서 3~6개월 이상의 장기 연구를 통해 생명체에 미치는 미세중력의 영향을 이해하기 위한 다수의 과제를 제안

* BPS Decadal Survey(2011)에서 제안한 연구 질문과 우선순위를 바탕으로 '16년부터 10년에 걸쳐 NASA가 이끌어갈 우주바이오 연구 방향을 정의⁴³⁾

41) NASA, Science 2020-2024: A Vision for Scientific Excellence, 2nd update, 2023

42) NASA, Forecasting Future NASA Demand in Low-Earth Orbit, 2018

- NASA가 우주바이오 분야의 비전을 제시하고, 비전을 추구하기 위한 테마를 5개로 구분해 테마별 주요 목표를 설정
 - (비전) 우주 응용과 지구 생명체의 개선을 위한 과학적 지식 기반을 확장하고, 새로운 지식 탐구를 통해 장기 우주탐사 과정에서 생물학적 영향을 예측하고 공학적 위험 감소에 기여
 - (주요 목표) Decadal Survey에서 제시한 권고 사항을 달성하기 위해 우주바이오를 5가지 과학 테마로 구분하고 목표 및 주요 연구 계획을 제시(표 8)

〈표 8〉 NASA Space Biology Science Plan 2016-2025에 제시된 핵심 추진 분야 및 목표

테마	목표 및 주요 연구 계획
미생물학 (Microbiology Element)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 우주비행이 미생물의 생명, 과정 및 커뮤니티 역학에 미치는 영향을 파악 <ul style="list-style-type: none"> - 미세중력의 만성 스트레스 환경에서 미생물의 장기간, 다세대 성장 영향 조사 - 우주비행이 바이러스 및 미생물 병원체 역학에 미치는 영향 조사 - ISS에 존재하는 미생물 개체군의 존재 파악 및 장기간의 우주비행에 참여하는 승무원 건강 위험도를 예측
세포 및 분자 생물학 (Cell and Molecular Biology Element)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 우주환경이 세포 및 분자 수준에서 생명체에 미치는 영향을 파악 <ul style="list-style-type: none"> - 우주비행에 영향을 받거나 반응하는 세포 내 기능과 생화학 및 생물학적 과정을 이해 - 중력 및 우주 환경에 대한 세포 감지 및 반응의 주요 영향요인 파악 - 체외 기반 줄기세포 연구를 통한 우주 환경에서의 세포 분화, 조직 발달, 재생을 이해
식물 생물학 (Plant Biology Element)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 실험을 통해 우주비행 환경에서의 식물 및 미생물의 성장과 이러한 환경에 대한 생리적 반응을 이해 <ul style="list-style-type: none"> - 식물이 분자 수준에서 전체 수준까지 우주비행에 적응하는 대응 방법 탐색 - 식물의 중력 감지 메커니즘에 대한 이해 향상 - 미세중력에서 리그닌 감소에 따라 식물의 탄소 농축 메커니즘 혹은 물 사용 효율의 개선에 의한 생산성 향상 여부 평가
동물 생물학 (Animal Biology Element)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 동물이 우주비행 환경과 중력 변화에 적응하는 데 사용하는 기본 메커니즘을 이해하고, 인간의 우주탐사와 지구에서의 인간 건강에 영향을 미치는 생물학적인 문제 해결을 가속화해 우주비행 적응에 대한 기초 지식을 제공 <ul style="list-style-type: none"> - 미세중력이 근골격계에 미치는 영향에 대한 이해 - 우주비행과 지구에서의 노화 사이의 퇴행성 변화의 기본 메커니즘을 분자 수준에서 규명 - 미세중력 환경과 면역 반응 사이의 관계에 대한 이해 - 미세중력이 심장 기능 구조와 유전자 발현에 미치는 영향 이해 - 우주비행의 스트레스로 유도된 유전자 발현의 장/단기 변화 이해
발달, 번식, 진화 생물학 (Developmental, Reproductive and Evolutionary Biology Element)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 유전적 및 후성유전적 요인이 환경과 상호작용하여 중력 의존적 과정을 형성하는 방법과 이러한 요인이 다음 세대에 걸쳐 침투하는 영향에 대한 기초 정보를 제공 <ul style="list-style-type: none"> - 중력이 세포, 조직, 식물, 동물의 단일 세대 혹은 다세대에 걸친 분화 메커니즘에 미치는 영향 규명

4.1.2 (유럽) 유럽우주국(ESA)은 미래 연구 로드맵⁴⁴⁾에 ISS와 후속 플랫폼에서 진행될 미래 우주과학 연구의 전략적 목표에 대해 정의하고 우주바이오 추진 방향 제시

☞ (ESA Future Research 로드맵) 총 10개의 미래 우주과학 연구주제에서 우주 바이오는 총 5개 분야에 걸쳐 서술되어 있으며, 미세중력과 우주방사선의 영향에 관한 연구 방향 제시

- (ROADMAP 6) 생물학적 과정, 세포, 유기체에 미치는 중력의 영향에 대한 이해(Understanding the Impact of Gravity on Biological Processes, Cells and Organisms)
 - 변화된 중력 환경에 대해 반응을 일으키는 유기체의 근본적인 세포 메커니즘의 감지 및 특성화하기 위한 주요 과학적 목표와 질문을 설정(표 9)하고, 이러한 현상이 우주탐사에 미치는 영향에 대해 연구

〈표 9〉 ESA 미래 연구 로드맵 : Roadmap 6에서 제시한 주요 연구 주제

ROADMAP 6	주요 연구 주제
생물학적 과정, 세포, 유기체에 미치는 중력의 영향에 대한 이해(Understanding the Impact of Gravity on Biological Processes, Cells and Organisms)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 중력이 세포의 구조와 중력에 미치는 영향 ▶ 중력 변화가 세포/조직 수준에서 동물과 인간 시스템에 미치는 영향 ▶ 중력이 독립적인 요인 혹은 우주 환경 내 다른 요인과 결합하여 식물에 미치는 영향 ▶ 우주비행 조건이 미생물 및 마이크로바이옴에 미치는 영향 ▶ 다양한 생물학적 시스템에서 미세중력 적응과 관련된 분자 네트워크에 대한 통합적인 시각

- 특히, ROADMAP 6의 목표 달성을 위해 원심분리기, 임의 위치 측정기, 공중부양 자석, 낙하탑, 포물선 비행 등 지상 장비를 활용한 미세중력 시뮬레이션을 강화하고, 준궤도(suborbital) 플랫폼과 ISS 접근성 확대 필요성을 강조
- (ROADMAP 7) 열악한 환경의 생명 지원(Supporting Life in Hostile Environments)
 - 지상과 우주에서 통제된 환경에서 식물 생산성을 이해하고 생물 재생 시스템에서 식물과 먹이사슬 내 다른 유기체 간의 상호작용에 관한 연구

44) ESA, Roadmaps for Future Research : A redefinition of strategic goals for future space research on the ISS and supporting research platforms(2016-2024), 2016

〈표 10〉 ESA 미래 연구 로드맵 : Roadmap 7에서 제시한 주요 연구 주제

ROADMAP 7	주요 연구 주제
열악한 환경의 생명 지원 (Supporting Life in Hostile Environments)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 재배/환경 요인 및 공간 요인(예: 중력 변화, 이온화 방사선 및 압력)이 기본 미생물 및 고등 식물 프로세스에 미치는 영향을 이해 ▶ 생명의 거주 조건과 한계에 대한 이해 ▶ 생명 신호에 대한 이해

- (ROADMAP 8) 중력 감소에 대한 생리적 적응의 이해 및 예방(Understanding and Preventing Physiological Adaptations to Reduced Gravity)
 - 장시간 우주비행이 우주비행사의 건강과 수행 능력에 미치는 영향에 대한 지식 확대, 효율적인 대응책 개발, 비행 후 지상 환경에 대한 재적응 촉진에 관한 연구

〈표 11〉 ESA 미래 연구 로드맵 : Roadmap 8에서 제시한 주요 연구 주제

ROADMAP 8	주요 연구 주제
중력 감소에 대한 생리적 적응의 이해 및 예방 (Understanding and Preventing Physiological Adaptations to Reduced Gravity)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 심장, 폐 및 신장 ▶ 근골격계 ▶ 면역계 ▶ 영양 및 신진대사

- (ROADMAP 9) 중력 감소, 고립, 감금에 대한 심리적·신경 감각적 적응(Psychological and Neurosensory Adaptations to Reduces Gravity, Isolation and Confinement)
 - 고립과 감금의 부정적인 영향으로부터 우주비행사를 보호하기 위해 비행사 집단 결속력, 수행 능력, 우주비행사의 웰빙을 촉진하거나 위협하는 요인에 관한 연구

〈표 12〉 ESA 미래 연구 로드맵 : Roadmap 9에서 제시한 주요 연구 주제

ROADMAP 9	주요 연구 주제
중력 감소, 고립, 감금에 대한 심리적·신경 감각적 적응(Psychological and Neurosensory Adaptations to Reduces Gravity, Isolation and Confinement)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 신경과학 ▶ 심리학

- (ROADMAP 10) 태양계 유인 탐사에 미치는 우주방사선의 위험(Cosmic Radiation Risks for Human Exploration of the Solar System)
 - 우주비행 임무 중에 우주비행사가 합리적으로 달성 가능한 낮은 방사선에 노출(ALARA*)되도록 하여 허용할 수 있는 방사선 위험 내에서 유인 탐사를 가능하게 하는 데 필요한 연구
- * As Low As Reasonably Achievable

〈표 13〉 ESA 미래 연구 로드맵 : Roadmap 10에서 제시한 주요 연구 주제

ROADMAP 10	주요 연구 주제
태양계 유인 탐사에 미치는 우주방사선의 위험 (Cosmic Radiation Risks for Human Exploration of the Solar System)	▶ 방사선의 생물학적 효과 ▶ 방사선 물리학

SciHab, Science and Habitability⁴⁵⁾) ESA에서 ISS 이후 시대를 준비해 수립 중인 지구 저궤도 활용 개념이며, 향후 민간이 운영하는 지구 저궤도 플랫폼과 서비스 이용 시 활용할 프로토콜

※ SciHab은 ESA의 유인 및 로봇틱스 탐사 프로그램인 Terra Novae의 일부이며, 지구 저궤도 활용을 지속 유지하기 위해 기초과학(Science)과 거주(Habitation)의 모든 서비스를 제공하는 것을 목표

- 미세중력, 인체 생리학, 우주 제조 분야 등 지구 저궤도 활용에 대한 유럽 내 수요가 증가하고 있으며, 이를 충족하기 위해 ESA는 ISS 활용과 ISS 이후의 시점에 대한 계획을 수립
- 저궤도 서비스를 통한 전략 요소기술*의 확보를 위한 SciHab은 개방형 플랫폼 형태로서, 민간이 구축할 지구 저궤도 플랫폼과 협력하고 상업적 목적의 민간 참여를 지향


* 참여국가와 상업용 이용자의 수요가 예상되는 기술이며, 우주 제조 및 재활용 시설, 위성 발사 시설, 궤도상 서비스 및 연료 재배급, 생명체 유지 시스템, 로봇틱스와 AI, 우주 태양전력 시설, 화성 여행 기술, 의료용 어플리케이션 등을 포함



〈그림 19〉 SciHab 개념도 : Terra Novae 프로그램의 일환으로서, 지구 저궤도 활용 계획에 반영될 핵심 서비스, 원칙, 전략 요소를 구체적으로 제시하고 있음

45) ESA, The SciHab concept, 2021

4.1.3 (일본) JAXA는 ISS의 자국 모듈인 KIBO의 활용 전략⁴⁶⁾에 미세중력을 이용한 우주의학 연구 방향과 ISS 퇴역 이후 산업계 참여를 전제로 한 우주 환경 활용 방안을 제시

 (KIBO 활용 전략) KIBO 모듈에서 추진할 우주바이오 연구 주제를 설정하면서 약물 설계, 노화 연구, 세포 배양 등 우주의학 분야에 집중

1. 약물 설계 지원 플랫폼(Drug-design Supporting Platform)

- 해당 분야에서 JAXA가 축적한 글로벌 우위 기술 및 노하우를 단계적으로 민간 서비스 사업자에게 이전하고, 학술적·산업적 파급력이 크고 결정화가 어려운 주제에 대한 KIBO 활용을 촉진하여 성과 극대화
- 국책과제 기반 과학연구의 성과 창출 및 국가가 지향하는 신약개발 지원, 건강 장수 사회 실현에 기여하기 위해 정부의 보건의로 전략에 대한 구조 분석 측면의 지원을 제공

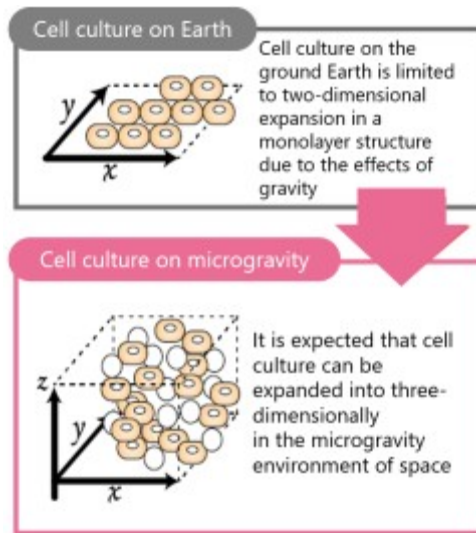
2. 노화 연구 지원 플랫폼(Aging Research Supporting Platform)

- 작은 동물을 이용한 실험을 지속해 인간의 노화와 관련된 생체 변환 메커니즘을 규명하고 관련 질병 제어 방안을 개발하는 데 기여
- 우주인의 지원 없이도 소형으로 운영이 가능한 자동화·자율 시스템을 개발하여 ISS 퇴역 후에도 실험쥐를 활용한 임무를 계속 수행

3. 새 실험 플랫폼 구축을 통한 KIBO 활용 다각화(Diversify KIBO Utilization through Establishment of New Platforms)

- 미세중력 환경에서 3D 배양 기술을 개발할 수 있는 플랫폼을 구축하고 세포 의료 관련 실험을 수행하며 재생 대상 장기 확대 및 고기능성화에 대한 KIBO 유효성을 실증(그림 20)
- 기술이 확립되고 효과가 입증되면 전략적 테마로 설정하고 다른 3D 장기 배양 연구로 적용 범위를 확대

46) JAXA, KIBO Utilization Strategy, 2020



[그림 20] 지상에서 배양되는 세포(2D, 위)와 미세중력 환경에서 배양되는 세포(3D, 아래)의 차이
(출처: KIBO Utilization Strategy, 2020)

활용 전략에는 ISS 종료 시점 전후의 KIBO 활용 방안과 민간의 활용을 촉진하기 위한 목표가 제시

- ISS의 퇴역 이전까지 ‘기술 실증/기술 축적 플랫폼’, ‘학술/과학 연구 플랫폼’, ‘상업 활동 플랫폼’으로서 KIBO를 지속적이고 효과적으로 활용
- ISS 퇴역 이후 민간이 우주환경의 운영과 활용을 책임지고 궤도상 서비스를 제공하는 상황을 목표로 하며, KIBO 운영·활용을 통해 구축된 우주바이오 등 저궤도 실험 서비스를 JAXA 및 산업계로 이관하여 우주환경 활용을 확대·발전시키는 것을 목표

4.1.4 (중국) 독자 건설한 지구 저궤도 우주정거장 텐궁 2호를 활용하여 우주바이오와 관련된 실험을 추진⁴⁷⁾

(Space White Paper) 최근 텐궁에 연결된 우주실험 모듈*을 우주비행 장기 임무에 투입해 대규모 과학실험을 수행하고, 텐궁을 적극 활용해 해외국가와 협력을 강화

* Wentian(问天), Mengtian(梦天)

- 중국은 텐궁 우주정거장 뿐만 아니라 창어 달 탐사선, 텐원 1호 화성 탐사선 등 다양한 우주 환경에 배치한 우주바이오 실험 플랫폼을 활용해 줄기세포 및 재생 의학 등 실험 수행⁴⁸⁾

47) Space White Paper, China's Space Program: A 2021 Perspective, 2022

48) "China's Space Program in 2023: Taking Stock", 23.12.13., The Diplomat

- 중국은 우주정거장을 활용해 각 국가와 미세중력 조건을 이용한 우주과학실험을 공동 수행하고 우주분야 협력 관계를 강화
 - ESA와 감마선 폭발 편광 편광 모니터링 연구 진행, 프랑스와 미중력 환경에서 우주의학 연구 공동 수행하는 등 텐공을 해외 국가와 중국 간 우주협력에 적극 유인하는 플랫폼으로 활용

4.2 국내 우주바이오 정책 및 R&D 투자 동향

4.2.1 (정책) 우주 분야 최상위 계획인 제4차 우주개발진흥 기본계획은 우주바이오 분야를 기본계획의 핵심 아젠다인 우주경제의 일부로 인식

※ 기본계획은 비전 달성을 위해 5대 장기 우주개발 미션*과 핵심 임무 요소를 제시하였으며, 2개의 전략**을 통해 임무를 달성하고자 함

* 1. 우주 탐사 확대, 2. 우주 수송 완성, 3. 우주 산업 창출, 4. 우주 안보 확립, 5. 우주 과학 확장

** [전략 1] 우주경제 기반 구축, [전략 2] 첨단 우주기술 확보

제4차 우주개발진흥 기본계획은 우주경제 글로벌 강국 실현을 위해 설정한 '3. 우주산업 창출 임무'의 핵심 임무 요소 중 하나로 우주 생산*을 제시

* 미세중력 환경에서 재료 및 의약품 등 생산

- 기존 정부 정책에서 다루지지 않았던 우주바이오는 최근 상업적, 과학적 잠재력이 높은 분야로 주목받으면서 국내 우주산업 정책의 일부로 인식하기 시작
- 특히, 제4차 우주개발진흥 기본계획에는 우주산업 창출을 위해 현재 국내 역량은 부족하지만 민간 수요를 바탕으로 국제협력에 기반한 우주바이오 분야의 기술적 역량 확보를 추진⁴⁹⁾
 - '30년까지 민간과 정부가 유기적으로 협력하여 세계적 수준의 민간주도 우주산업 생태계를 구축하고 '45년까지 우주산업을 국가 주력산업으로 육성하고자 하며, 이를 위해 핵심 임무 요소 중 하나로 우주 생산을 제시
 - 우주 생산 역량 확보를 위해 (단기)민간 수요를 반영한 전략을 마련하고, (중기)국제협력 기반 우주정거장 및 지상 모사 환경 기술을 시연하며, (장기)상업우주정거장 및 저궤도 위성을 이용한 생산을 통한 신시장 진출을 모색

49) 제4차 우주개발진흥 기본계획(2022.12)

또한, 기본계획은 5. ‘우주과학 확장 임무’의 핵심 임무 요소로서 지구의 과학 발전 혁신*을 제시하고 우주바이오 연구 진흥을 추진

* 우주에서의 기초과학(생명, 화학, 의학, 농업 등) 연구

- 지구 저궤도에서 수행할 기초과학 연구 분야로 우주바이오를 주목하고 있으며, 관련 역량을 확보하기 위해 임무 발굴과 장기적인 우주과학 연구 프로그램 도입
 - 지구의 과학발전 혁신 임무 달성을 위해 (단기)기초과학 연구 사업을 마련하고, (중기)우주 정거장의 독자 모듈 등을 활용해 시험을 수행하며, (장기)유인우주프로그램과 연계해 지구궤도, 달궤도, 달 표면 등에서 시험을 확장

기본계획의 장기 우주개발 미션에서 제시한 우주바이오 기술 확보를 위해 국제협력 확장과 우주탐사 역량 강화 전략을 추진

- (국제협력 확장) 우주바이오 분야의 기술 확보를 위해서는 ISS 활용이나 유인 우주활동이 필수 이므로, ISS, 유인 우주활동 프로그램 등 대규모 국제 공동사업 우주개발 계획에 추가적 참여 기회 확보를 추진

〈표 14〉 제4차 우주개발진흥 기본계획에 제시된 참여가능한 국제 우주개발 사업 예시

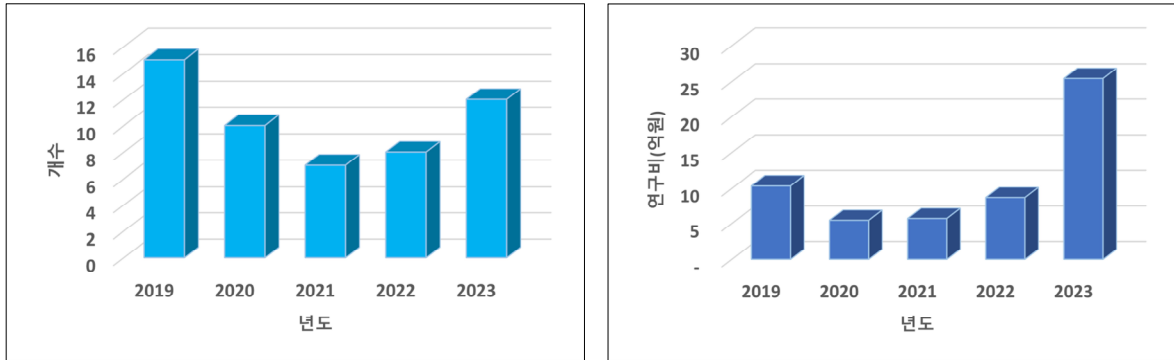
사업 예시	주요 내용
우주정거장	▶ 정거장 모듈 개발 등 우주정거장의 건설 ▶ 정거장을 활용한 미소중력 실험 등 연구개발
유인 우주활동	▶ 우주인 훈련 프로그램·인프라 공동 개발 ▶ 우주의학 공동연구, 유인 우주임무 공동 발굴 등

- (우주실험·생산) 우주에서의 실험과 연구를 지원하기 위한 우주실험 연구지원사업을 '24년 부터 추진할 계획을 제시
 - 우주에서 실험 및 시연이 필요한 바이오, 의학, 농업 분야 등에서 연구과제를 발굴('24~)하고 직접 실험이 가능한 플랫폼의 독자 개발이나 국제협력을 통한 우주실험 모듈 확보('25~)를 목표

4.2.2 (R&D 투자) 국내 우주바이오 R&D는 과제 단위에서 단편적으로 진행되었으나, 우주경제의 부상과 우주바이오의 성장 가능성이 높게 인식되면서 저궤도 위성을 활용하거나 해외 공동연구를 추진하는 등 본격적인 투자 시작

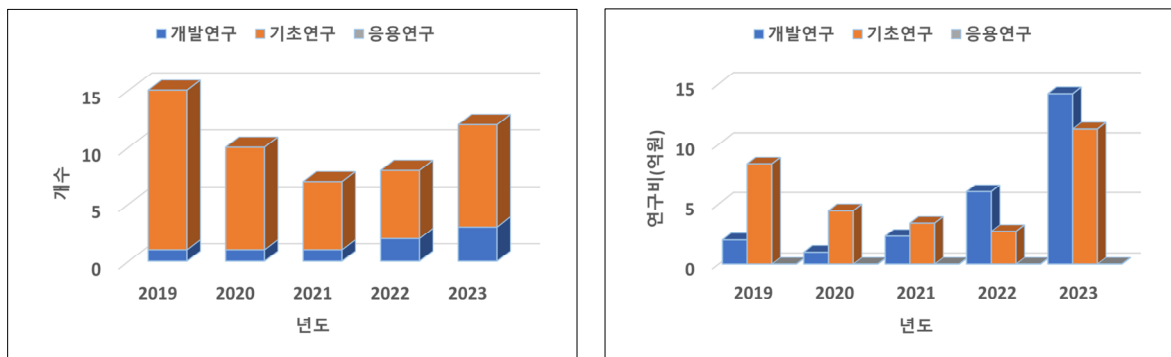
- (R&D 규모) 우주바이오 분야는 최근 5년 간('19~'23) 총 52개 과제에 56억 원이 투자되어 전체 우주 분야 투자 대비 규모가 작으며, 기초연구 비중이 높고 대학교 주도의 연구가 대부분을 차지

- '23년 기준 우주 분야 정부R&D 투자는 약 8,386억 원⁵⁰⁾이며, 우주바이오 분야는 전체 우주 분야 투자의 약 0.3%를 차지
 - (연구개발비) 최근 5년 간 연평균 10.4개 과제에 11.1억 원이 투자되었고, 과제당 평균 1.1억원 수준으로 대부분 소규모 과제로 추진
- ※ 정부 R&D 규모별 과제 개수 및 비중 : 5천만원 이하(24개, 46.2%), 1억 원 이하(41개, 78.8%), 1억 원 초과(11개, 21.2%)



[그림 21] 최근 5년('19~'23)간 우주바이오 분야 정부 R&D 과제 개수 및 투자 규모

- (연구개발단계) 국내 우주바이오 분야 정부 R&D는 기초연구의 비중이 과제개수 기준으로 84.6%(44개)에 달하며 전반적으로 연구 생태계가 조성되는 단계
 - 최근 연구개발비가 증가한 개발연구는 우주환경 실험 플랫폼 연구 등이 포함되어 향후 유인탐사에 활용할 수 있는 성과가 기대
- ※ 개발연구 예시) 귀환형 자동화 멀티 플랫폼 기반 우주 재생 의학 연구 위성체 개발(과학기술정보통신부), 중형 위성 탑재 바이오 캐비닛(줄기세포 바이오 3D 프린팅 및 3차원 세포 배양 시스템)(과학기술정보통신부)

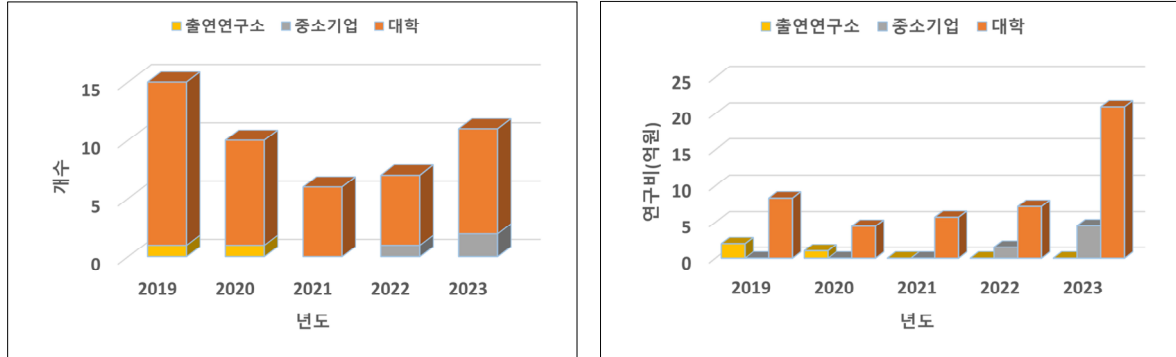


[그림 22] 최근 5년('19~'23)간 우주바이오 분야 정부 R&D 연구개발단계별 과제 개수 및 투자 규모

50) 과학기술자문회의 공공우주전문위원회 소관 우주사업 기준

- (연구개발주체) 우주바이오 분야 정부 R&D는 대부분 대학이 수행(연구비 46.6억 원 기준 94.2%)하며, 최근 우주바이오 분야에 스타트업이 참여*하기 시작

* ‘저궤도 위성 기반 우주의학 연구플랫폼 개발’(중소벤처기업부) 과제는 우주의학 및 제약 전문 스타트업인 스페이스린텍社⁵¹⁾가 주관



[그림 23] 최근 5년('19~'23)간 우주바이오 분야 정부 R&D 연구개발주체별 과제 개수 및 투자 규모

☞ (주요 R&D 과제) 우주, 바이오, 기초연구, 중소기업 소관 부처 중심으로 연구가 진행 중이며, 우주환경이 유기체에 미치는 영향을 이해하는 연구 수요가 증가

- (과학기술정보통신부) STEAM연구사업 내 ‘귀환형 자동화 멀티 플랫폼 기반 우주 재생 의학 연구 위성체 개발’ 과제 등을 통해 우주의학 연구를 위한 인공위성 기반 플랫폼 개발 추진
 - 한림대 춘천성심병원은 우주환경에서 발생할 수 있는 질병 치료용 우주약품을 개발하기 위한 위성 플랫폼을 제작하고, 이를 다시 회수하여 재사용할 수 있는 상용화급 플랫폼 개발을 목표('23~'27)
 - ※ 플랫폼은 '27년 발사 예정이며, 우주환경에서 암세포를 배양하고 항암제 반응성을 분석하고 회수된 후 지상에서 정밀 유전자 분석을 통해 암세포, 미세중력, 약물 간 기전을 밝힐 계획⁵²⁾
 - 또한, 차세대 중형위성에 탑재해 지구 저궤도 환경에서 바이오 3D 프린터를 구현하고 줄기세포의 3차원 배양 시스템 개발을 목표로 바이오 캐비닛 개발 과제를 수행('21~'27)
- (보건복지부) 글로벌연구협력지원사업 내 ‘한-미 우주의학 국제공동연구’ 과제를 선정하고 우주의학 분야 핵심기술 확보를 위해 NASA와 공동연구 추진⁵³⁾
 - 인하대학교 우주항공의학센터와 미 NASA 산하 TRISH는 ‘우주 환경으로 유발된 뇌 인지 기능 저하 극복을 위한 국제공동연구’를 진행할 예정('23~'24)⁵⁴⁾

51) 스페이스린텍 홈페이지(spaceliintech.com)

52) “우주에서 암세포 배양·항암제 효과 분석…국내 첫 시도”, 2023.7.26., 동아사이언스


53) 2023년도 제2차 보건의료기술연구개발사업 신규지원 대상과제 통합 공고 RFP

54) “인하대병원 우주항공의학센터, 나사(NASA) 산하조직과 공동연구 시작”, 2023.8.14., 헬스조선


- (중소벤처기업부) 창업성장기술개발사업(TIPS) 내 ‘저궤도 위성 기반 우주의학 연구플랫폼 개발’ 과제를 지원하고 지구 저궤도 위성체에서 바이오 실험과 의약품 생산 솔루션에 대한 연구 추진
 - 스페이스린텍社는 지상에서 미세중력을 구현할 수 있는 드롭타워를 개발하고, 미세중력에서 우주의학 실험 및 생산 환경을 제공하는 저궤도 위성체 기반의 플랫폼 개발을 목표('23~'26)

제5장 결론

5.1 요약 및 정리

 1950년대 이후 인류의 우주활동이 증가하면서 우주환경은 인류가 이해하고 적응하는 영역으로 인식되었고, 우주바이오는 생명체가 우주환경에 적응하는 과정을 연구하는 분야로서 우주활동을 위한 필수 학문

- 우주바이오는 미세중력과 고방사선 환경에 노출되었을 때 인간 등 생명체의 생물학적 변화를 이해하고 우주비행과 유인 우주탐사에 필요한 사전 지식을 제공하는 분야로서, 인간이 우주로 진출한 이래로 발전을 거듭
- 우주환경은 지구 생명체에게 작용하는 중력 등 지상의 조건이 제거된 환경으로써 인체 질환의 새로운 치료법을 개발하거나 의약품 개발·제조 효율성을 높이는 데 최적의 환경을 제공

 우주바이오는 우주환경의 독특한 환경조건에서 생명과학 현상을 연구하는 분야이며, 우주환경 적응을 위한 모델생물 활용 연구, 우주환경의 이점을 활용한 우주의학 연구, 우주바이오 연구 시설 및 장비로 범위를 구분

- (모델생물 기반 연구) 생명체가 우주환경에 노출되었을 때 나타날 수 있는 단기·장기 적응 반응을 관찰하기 위해 우주바이오 분야는 위험성이 낮고, 多세대 간 유전적 효과를 빠르게 확인할 수 있으며, 비용이 상대적으로 낮은 모델생물을 주로 활용
- (우주의학) 우주환경이 미생물의 병원성과 감염성에 미치는 영향을 분석하여 새로운 항생제와 백신 개발에 중요한 지식을 확보하고, 동물 실험을 통해 근골격계 질환, 면역계 이상 문제 등을 해결하기 위한 새로운 치료법과 의약품을 개발하는 연구를 진행
- (우주바이오 시설·장비) 우주바이오 연구는 미세중력과 고방사선 환경이라는 특수한 조건을 갖춘 지구 저궤도 우주정거장을 활용하거나 클리노스텝 등 지상에서 우주환경을 모사한 장치를 개발 및 고도화하고 이를 활용

☞ 선도국은 우주정거장을 우주바이오 연구의 핵심 플랫폼으로 활용하고 있으며, 정부 주도로 운영하는 우주정거장을 향후 민간주도 방식으로 전환해 우주바이오 지식의 확장과 산업적 파급효과를 촉진하는 정책을 수립

- 우주정거장은 우주 선도국의 전유물로서 참여국이나 협력 국가만이 활용할 수 있는 플랫폼이라는 점에서 우주바이오 지식과 산업의 확장이 제한적이라는 한계
- 다국적 우주정거장인 ISS는 과도한 운영 비용, 시설 노후화 등의 사유로 운영 종료 시점('31)이 제시된 상황이며, 미국의 Axiom Space社 등 민간업체가 정부의 지원을 바탕으로 후속 우주정거장 개발을 담당할 것으로 전망
- 우주바이오의 잠재력을 인지하고 혁신적 연구성과를 사업모델로 연결하려는 기업이 점차 늘어나고 있으며, 향후 상업용 우주정거장의 건설로 접근성이 개선되면 우주환경과 생명체에 대한 이해도 향상과 함께 우주바이오가 우주산업의 한 축이 될 것으로 예상

☞ 국내 우주바이오 분야는 대학 연구진에 의해 우주환경 모사 장치를 활용한 모델 생물 기반의 지상 연구를 주로 수행하며, 정부는 우주 분야 최상위 계획에 과거 대비 진보된 전략을 명시하고 우주바이오의 과학기술적, 상업적 가치 창출 도모

- 국내 연구진은 미세중력 모사 환경에서 모델생물을 이용해 우주바이오 관련 지식을 축적하고 있으며, '25년 발사될 차세대중형위성 3호에는 우주바이오 실험용 바이오 캐비닛이 탑재되어 지구 저궤도 기반의 우주바이오 연구가 처음으로 진행될 예정
- 정부는 우주바이오를 과학기술적 확장성이 크고 향후 유인탐사 추진을 위한 필수 분야로 인식하기 시작하였고, 우주경제의 한 부분으로 관련 분야 육성을 위해 R&D 투자와 국제협력 수단을 활용

5.2 시사점

☞ 최근 우주에서의 국가 간 치열한 경쟁과 우주의 상업적 활용의 증가는 우주 산업의 성장을 촉진하는 주요 원동력으로 작용하고 있으며, 우주바이오 분야에서도 유사한 추세가 나타나고 있어 해당 산업의 급격한 성장이 기대

- 해외에서는 민간기업이 우주바이오 기술의 상용화를 위해 사업모델을 발굴하고, 기술혁신을 통해 우주 적응 및 우주 활용 분야에 다양한 솔루션 개발을 시도하면서 우주바이오 기술은 우주 분야뿐만 아니라 바이오 분야의 신규시장 창출에도 기여

- 우주바이오 기술은 우주의학과 우주농업 분야에서 응용 가능성이 매우 높아 우주바이오 분야와 밀접한 우주탐사와 우주여행의 상업화와 연계되면 새로운 비즈니스 기회가 나타날 것으로 기대
- 특히, 우주바이오는 우주공학, 우주과학, 의생명공학 등 다양한 학문이 융합된 다학제적 성격이 크므로, 연계된 분야 시장의 성장에 따라 우주바이오가 우주산업에 미치는 경제적 파급효과가 클 것으로 전망


정부는 국가 우주 거버넌스를 재편하면서 우주과학과 우주탐사의 범위를 확대하고 향후 유인탐사 추진을 고려해 국내 기반 산업을 활용해 우주바이오 분야에 과감하고 선제적인 투자가 필요

- 우주항공청 설립('24.5)과 맞물려 우주과학 및 우주탐사 범위에 유인 우주탐사와 우주의학을 포함하고 관련 분야 수요 확대에 대비, 국내 우주바이오 연구에 선제적 투자와 생태계 구축에 나설 필요
 - 우주탐사 선도국은 유인 우주탐사에 필수적인 정보를 확보하기 위해 장기간 우주바이오 연구를 통해 경험을 축적하고 지구 저궤도, 달, 화성 등의 유인탐사를 위한 제반 역량을 구축
- 우리나라는 발사체와 인공위성 개발 중심의 우주산업과 제약 중심의 바이오산업 생태계가 형성되어 있으므로, 두 산업의 융합을 통해 우주바이오 기술 역량을 빠르게 축적 가능
 - 국내 우주기기 분야에서 발사체와 인공위성 분야는 타 분야 대비 기술성숙도가 상대적으로 높아 독자적인 우주활용이 가능한 수준이므로 지구 저궤도를 활용한 우주바이오 연구 및 사업모델을 위한 기반 기술은 기 확보
 - 현재 국내 바이오 분야에서는 마이크로바이옴 연구가 활발히 진행되고 있으며, 국내산업의 강점을 살려 우주환경에서의 미생물학 연구 수요를 발굴하면 향후 우주바이오 분야 경쟁력을 빠르게 확보할 것으로 예상

지구 저궤도 플랫폼에 대한 접근성 개선은 우주바이오 연구 확산의 필수조건이라는 점에서 향후 ISS 운영 종료와 이어지는 상업용 우주정거장 건설을 국내 우주바이오 연구 및 산업 생태계의 기회로 활용 필요

- 최근 발사체 비용의 하락, 소형위성의 대중화 등 우주활용 비용이 하락하면서 지구 저궤도의 접근성이 증가하고 있으므로, 향후 상업용 우주정거장이 건설되면 저궤도 접근의 문턱은 더욱 낮아져 우주환경 활용 기회는 증가할 전망

- 현재 추진 중인 해외 상업용 우주정거장 개발에 직간접적 참여를 타진하면서, 필요 기술과 수요 기술을 미리 탐색하고 우주바이오 연구와 산업 진흥을 위한 실효성 있는 전략 수립이 요구
- 국내에서도 우주바이오 연구를 위한 플랫폼 개발을 장기적으로 추진하고, 단기적으로 유인 탐사와 우주의학 분야에서 필요한 국내 수요를 기반으로 위성에 탑재가능한 바이오 모듈, 지상 기반 모사 장치의 개발에 투자함으로써 국내산업 기반을 마련 필요

 **앞으로 신시장 창출이 기대되는 우주바이오 분야에 대해 바이오기업과 더불어 우주기업의 관심이 높아질 것으로 예상되므로, 정부는 두 분야 간 융합을 시도하고 혁신적인 사업모델 발굴 지원 필요**

- 그간 국내 우주기업은 공공수요로 제기된 발사체 및 인공위성과 관련 정부 R&D 사업을 기반으로 성장하였지만, 기업의 지속성과 확장성을 위해 신규 사업모델을 발굴해야 하는 시점에 도달
- 우주바이오 분야는 기존의 우주수송 수단뿐만 아니라 우주바이오 실험을 위한 첨단 장비가 필요한 분야로서 정부는 분야 간 연계를 통해 신규시장 창출과 사업모델 확장의 기회로 활용하고 우주산업 생태계의 성장을 도모 필요
- 또한, 우주바이오 분야는 인간 노화과정에 대한 이해를 높이고, 근감소증, 면역교란, 신경계 이상 등 퇴행성 질환에서 새로운 접근 방식의 신약이 개발될 수 있으므로 생명과학 분야에서도 다양한 사업모델 발굴을 시도 필요
 - 미생물, 식물, 동물이 우주환경에 적응하는 과정에서 생산하는 다양한 대사체는 천연물 유래 의약품 소재와 생리활성 후보물질 발견으로 이어질 수 있음
 - 미세중력이 식물의 생리적 반응 및 발달에 미치는 영향과 우주 임무를 수행하는 동안 신선한 식량을 생산할 수 있는 최적의 재배 방법에 관한 연구는 지구상의 제한된 자원 상황에서도 식량 생산성을 증가시키는 혁신적인 기술로 활용 가능

참고문헌

문헌자료

- Bijlani et al., 2021, Advances in space microbiology, iScience.
- Romsdahl et al., 2019, International Space Station conditions alter genomics, proteomics, and metabolomics in *Aspergillus nidulans*. Appl. Microbiol. Biotechnol.
- Wilson et al., 2007, Space flight alters bacterial gene expression and virulence and reveals a role for global regulator Hfq, Proceedings of the National Academy of Sciences.
- Sobisch et al., 2019, Biofilm Forming Antibiotic Resistant Gram-Positive Pathogens Isolated From Surfaces on the International Space Station, Front. Microbiol.
- Lee et al., 2022, Metagenome-Assembled Genomes of *Komagataeibacter* from Kombucha Exposed to Mars-Like Conditions Reveal the Secrets in Tolerating Extraterrestrial Stresses. J. Microbiol. Biotechnol.
- Jang et al., 2023, *Staphylococcus aureus* Sensitivity to Membrane Disrupting Antibacterials Is Increased under Microgravity, Cells.
- Angelos et al., 2021, Relevance of the Unfolded Protein Response to Spaceflight-Induced Transcriptional Reprogramming in *Arabidopsis*, Astrobiology.
- Olanrewaju et al., 2023, Integrative transcriptomics and proteomics profiling of *Arabidopsis thaliana* elucidates novel mechanisms underlying spaceflight adaptation. Front. Plant Sci.
- Haveman et al. 2022, Diagnosing an Opportunistic Fungal Pathogen on Spaceflight-Grown Plants Using the MinION Sequencing Platform. Astrobiology.
- Khodadad et al. 2020, Microbiological and Nutritional Analysis of Lettuce Crops Grown on the International Space Station. Front. Plant Sci.
- Wang et al., 2023, Database of space life investigations and information on spaceflight plant biology, Planta.
- Zheng et al. 2022, The Memory of Rice Response to Spaceflight Stress: From the Perspective of Metabolomics and Proteomics. Int. J. Mol. Sci.

- Yamazaki et al. 2023 Comprehensive analyses of plant hormones in etiolated pea and maize seedlings grown under microgravity conditions in space: Relevance to the International Space Station experiment "Auxin Transport". *Life Sci. Space Res. (Amst)*.
- Scott et al., 2023, *Caenorhabditis elegans* in microgravity: An omics perspective, *iScience*.
- Adenle et al. 2009, Review of the results from the International *C. elegans* first experiment (ICE-FIRST). *Adv. Space Res.*
- Soni et al., 2023, Spaceflight Induces Strength Decline in *Caenorhabditis elegans*, *Cells*.
- Higashitani et al. 2021, Histone deacetylase HDA-4-mediated epigenetic regulation in space-flown *C. elegans*. *npj Microgravity*.
- Zhao et al., 2023, Microgravity alters the expressions of DNA repair genes and their regulatory miRNAs in space-flown *Caenorhabditis elegans*. *Life Sci. Space Res. (Amst)*.
- Kim et al., 2023, Comparative Analysis of Muscle Atrophy During Spaceflight, Nutritional Deficiency and Disuse in the Nematode *Caenorhabditis elegans*. *Int. J. Mol. Sci.*
- Iyer et al., 2022, Multi-system responses to altered gravity and spaceflight: Insights from *Drosophila melanogaster*. *Neurosci. Biobehav. Rev.*
- Mhatre et al., 2022, Artificial gravity partially protects space-induced neurological deficits in *Drosophila melanogaster*. *Cell Rep.*
- Gilbert et al., 2020, Spaceflight and simulated microgravity conditions increase virulence of *Serratia marcescens* in the *Drosophila melanogaster* infection model. *npj Microgravity*.
- Ogneva et al. 2022, Sperm of Fruit Fly *Drosophila melanogaster* under Space Flight. *Int. J. Mol. Sci.*
- Edsall et al., 2014, An assessment of the long-term effects of simulated microgravity on cranial neural crest cells in zebrafish embryos with a focus on the adult skeleton. *PLoS One*.
- Chatani et al., 2015, Microgravity promotes osteoclast activity in medaka fish reared at the international space station. *Sci. Rep.*
- Zhu et al., 2021, Attenuation of Antiviral Immune Response Caused by Perturbation of TRIM25-Mediated RIG-I Activation under Simulated Microgravity. *Cell Rep.*
- Ha et al., 2023, Bisphosphonate conjugation enhances the bone-specificity of NELL-1-based systemic therapy for spaceflight-induced bone loss in mice. *npj Microgravity*.
- Holley et al., 2022, Characterization of gene expression profiles in the mouse brain after 35 days of spaceflight mission. *npj Microgravity*.

- Mao et al., 2020, Spaceflight induces oxidative damage to blood–brain barrier integrity in a mouse model. *FASEB J.*
- Maupin et al., 2019, Skeletal adaptations in young male mice after 4 weeks aboard the International Space Station. *npj Microgravity.*
- Jiang et al., 2019, Reproducible changes in the gut microbiome suggest a shift in microbial and host metabolism during spaceflight. *Microbiome.*
- Kurosawa et al., 2021, Impact of spaceflight and artificial gravity on sulfur metabolism in mouse liver: sulfur metabolomic and transcriptomic analysis. *Sci. Rep.*
- Wu et al., 2023, Ellagic acid inhibits CDK12 to increase osteoblast differentiation and alleviate osteoporosis in hindlimb–unloaded and ovariectomized mice. *Phytomedicine.*
- Chiao et al., 2005, Ocular Examination For Trauma; Clinical Ultrasound Aboard The International Space Station, *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care.*
- Agha et al., 2020, Exercise as a countermeasure for latent viral reactivation during long duration space flight, *FASEB J.*
- Indo et al., 2016, Changes in mitochondrial homeostasis and redox status in astronauts following long stays in space, *Sci. Rep.*
- Reichert et al., 2019, Pembrolizumab microgravity crystallization experimentation. *NPJ Microgravity.*
- Miki et al., 2023, Clustering of charged colloidal particles in the microgravity environment of space, *npj Microgravity.*
- 미래창조과학부, 2015, 우주핵심기술사업보고서 – 마이크로중력 환경을 활용한 단백질 결정성장 연구
- Xie et al., 2022, Molecular Basis to Integrate Microgravity Signals into the Photoperiodic Flowering Pathway in *Arabidopsis thaliana* under Spaceflight Condition. *Int. J. Mol. Sci.*
- Boguraev et al., 2017, Successful amplification of DNA aboard the International Space Station, *npj Microgravity.*
- Zhang et al., 2019, Increased growth rate and amikacin resistance of *Salmonella enteritidis* after one–month spaceflight on China's Shenzhou–11 spacecraft, *MicrobiologyOpen.*
- von Sachs, F. G. J. R., 1879, Über Ausschliessung der geotropischen und heliotropischen Krümmungen während des Wachstums. *Würzburger Arbeiten.*
- Ye et al., 2024, Conserved mechanisms of self–renewal and pluripotency in mouse and human ESCs regulated by simulated microgravity using a 3D clinostat, *Cell Death Discov.*
- Handwerk et al., 2023, Simulating Space Conditions Evokes Different DNA Damage Responses in Immature and Mature Cells of the Human Hematopoietic System, *Int. J. Mol. Sci.*

- Moser et al., 2023, Differential effects of hypergravity on immune dysfunctions induced by simulated microgravity, FASEB J.
- van Niekerk et al., 2023, A Novel NCI-H69AR Drug-Resistant Small-Cell Lung Cancer Mini-Tumor Model for Anti-Cancer Treatment Screening, Cells.
- 한국생명공학연구원, 2014, 그룹연구활성화사업 - 마이크로중력 환경을 활용한 우주바이오융합연구
- Kim et al., 2023, Customized small-sized clinostat using 3D printing and gas-permeable polydimethylsiloxane culture dish, npj Microgravity.
- Bijlani et al., 2021, Advances in space microbiology, iScience.
- Ohira et al., 2024, Plasminogen deficiency exacerbates skeletal muscle loss during mechanical unloading in developing mice, J. Appl. Physiol.
- Shama et al., 2024, Enhancing microbial diversity as well as multi-organ health in hind-limb unloaded mice. Life Sci. Space Res. (Amst).
- Mortreux et al., 2019, Mimicking a Space Mission to Mars Using Hindlimb Unloading and Partial Weight Bearing in Rats, J. Vis. Exp.
- Perdyan et al. 2024, Chromosomal positioning and epigenetic architecture influence DNA methylation patterns triggered by galactic cosmic radiation. Sci. Rep.
- McKinsey & Co. "The role of space in driving sustainability, security, and development on Earth," May 19, 2022
- Coherent Market Insights, Global Space Medicine Market Size and Share Analysis, 2023
- Market Research Future, Space Agriculture Market Research Report, 2024
- Euroconsult, Prospects for Space Exploration, 2023
- 과학기술정보통신부, 2023 우주산업 실태조사, 2024
- NASA, Thriving in Space: Ensuring the Future of Biological and Physical Sciences Research: A Decadal Survey for 2023-2032, 2023
- NASA, Science 2020-2024: A Vision for Scientific Excellence, 2023
- NASA, Forecasting Future NASA Demand in Low-Earth Orbit, 2018
- NASA, Space Biology Science Plan 2026-2025, 2016
- ESA, Roadmaps for Future Research : A redefinition of strategic goals for future space research on the ISS and supporting research platforms(2016-2024), 2016
- ESA, The SciHab concept, 2021,
(https://esamultimedia.esa.int/docs/HRE/RD12_SciHab_Concept_November_2021.pdf)
- JAXA, Kibo Utilization Strategy, 2020

- The State Council Information Office of the People's Republic of China, Space White Paper, China's Space Program: A 2021 Perspective, 2022
- 관계부처, 제4차 우주개발진흥 기본계획, 2022
- 2023년도 제2차 보건의료기술연구개발사업 신규지원 대상과제 통합 공고 RFP

사이트

- ISS 장비,
<https://www.nasa.gov/mission/station/research-explorer/search/?#q=&i=&p=&c=Biology&g=&s=&a=>
- 고부하중력 장비, <https://www.dlr.de/me/en/desktopdefault.aspx/tabid-1755/>
- 고중력 모사장비,
https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2015/03/hgrfmo-fs-16apr2020_01_0.pdf
- 우주방사선 조사장치, <https://medicalseience.inha.ac.kr/medicalseience/12380/subview.do>
- 보령, <https://boryung.co.kr/ko/space/cis>
- 저궤도 수요 백서,
https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2022/05/forecasting_future_nasa_demand_in_low-earth_orbit_revision_two_-_quantifying_demand.pdf
- 스페이스린텍, <http://spaceliintech.com>

기사

- “우주서 연구하면 ‘암 정복’ 가능”...바이든의 차원 다른 발상”, 2024.7.15., 머니투데이
- “지구 의사가 원격 조종해 우주에서 사상 첫 수술”, 2024.2.14., 조선비즈
- “엔지켄생명과학, 美 뉴욕헬스포럼 참가...‘우주방사선 치료제’ EC-18 소개”, 2021.3.19., 매일경제
- “China’s Space Program in 2023: Taking Stock”, 2023.12.13., The Diplomat
- “우주에서 암세포 배양·항암제 효과 분석...국내 첫 시도”, 2023.7.26., 동아사이언스
- “인하대병원 우주항공의학센터, 나사(NASA) 산하조직과 공동연구 시작”, 2023.8.14., 헬스조선
- “우주 신약 시대 신호탄”...美스타트업, 우주에서 약 생산 후 지구 귀환 성공”, 2024.4.2., 동아일보

| 저자 소개 |

이재민

한국과학기술기획평가원 연구위원

Tel: 043-750-2445 E-mail: bakbear@kistep.re.kr

송대근

한국과학기술연구원 선임연구원

Tel: 033-650-3658 E-mail: dsong82@kist.re.kr

강경수

한국과학기술연구원 책임연구원

Tel: 033-650-3657 E-mail: kskang@kist.re.kr

장은혁

메디맵바이오 상무

Tel: 031-751-2103 E-mail: ehchang@medimabbio.com

| 편집위원 소개 |

전승수 연구위원

정지훈 연구위원

김종란 연구위원

최충현 부연구위원

한국과학기술기획평가원 사업조정평가본부

Tel: 043-750-2609 E-mail: chchoi@kistep.re.kr

※ 본 KISTEP 기술동향브리프의 내용은 필자의 개인적 견해이며, 기관의 공식적인 의견이 아님을 알려드립니다.

[KISTEP 브리프 발간 현황]

발간호 (발행일)	제목	저자 및 소속	비고
112 (24.01.08.)	무기발광 디스플레이	진영현·오세미 (KISTEP)	기술주권
113 (24.01.12.)	2022년 우리나라와 주요국의 연구개발투자 현황	이새롬·한웅용 (KISTEP)	통계분석
114 (24.01.12.)	2022년 우리나라와 주요국의 연구개발인력 현황	이새롬·한웅용 (KISTEP)	통계분석
- (24.01.22.)	KISTEP Think 2024, 10대 과학기술혁신정책 아젠다	강현규·이민정 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제357호)
- (24.01.25.)	국가연구개발 성과분석 프레임워크 개발 및 적용	박재민·문해주·김수민·박서현 (건국대학교) 이호규(고려대학교) 강승규(한국조달연구원)	이슈페이퍼 (제358호)
115 (24.01.25.)	세계경제포럼(WEF) Global Risks 2024 주요 내용 및 시사점	이미화 (KISTEP)	혁신정책
116 (24.01.25.)	기후변화와 기후 지구공학	정의진·임현 (KISTEP)	미래예측
117 (24.01.26.)	단백질 구조예측 및 디자인	전수진·한민규 (KISTEP)	기술동향
- (24.01.29.)	신약개발 분야 정부 R&D 현황과 효율성 제고 방안	송창현·엄익천(KISTEP) 김순남(국가신약개발사업단) 이원희(유한양행)	이슈페이퍼 (제359호)
- (24.01.31.)	반도체 분야 정부연구개발투자의 효과성 분석과 개선방안	김준희·엄익천(KISTEP) 오승환(경상국립대학교) 전주경(한국특허기술진흥원)	이슈페이퍼 (제360호)
118 (24.02.01.)	인공지능이 변화시킬 미래 연구수행 모습	이상남 (KISTEP)	미래예측
119 (24.02.13.)	EU 인공지능(AI) 규제 현황과 시사점	강진원·김혜나 (KISTEP)	혁신정책
- (24.02.15.)	'생성형 인공지능' 시대의 10대 미래유망기술	박창현 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제361호)

발간호 (발행일)	제목	저자 및 소속	비고
- (24.02.29.)	과학기술 전공자 취업 현황 분석 및 시사점	이정재·박수빈·이원홍 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제362호)
120 (24.03.07.)	국가R&D 국외수혜정보 보고 제도 주요 내용 및 시사점	황인영·정정규 (KISTEP)	혁신정책
121 (24.03.19.)	2022년 한국의 과학기술논문 발표 및 피인용 현황	김용희 (KISTEP)	통계분석
122 (24.03.20.)	브렉시트(Brexit) 이후 영국의 과학기술 동향	임현지·이가원·홍미영 (KISTEP)	기술동향
123 (24.03.27.)	'과학기술협력에 관한 격년 보고서(2022년 NSTC ISTC)'의 이행사항 점검 결과와 시사점	도계훈·강진원·김혜나 (KISTEP)	혁신정책
124 (24.04.01.)	호라이즌 유럽(Horizon Europe)의 연구데이터 정책과 시사점	이민정·송창현 (KISTEP)	혁신정책
125 (24.04.01.)	안전·신뢰 AI	구본진 (KISTEP)	기술주권
- (24.04.04.)	토픽모델링-회귀분석 기반의 투자 포트폴리오 분석 및 예측	오건웅·홍미영 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제363호)
126 (24.04.08.)	2022년도 세계 R&D 투자 상위 기업 현황	김용희 (KISTEP)	통계분석
127 (24.04.15.)	2022년 신약개발 정부 R&D 투자 포트폴리오 분석	김종란 (KISTEP)	통계분석
- (24.04.24.)	바이오 클러스터 운영체계 개선을 위한 효율화 방안 연구	김주원·김종란 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제364호)
128 (24.04.25.)	비만치료제(Anti-Obesity Drugs)	김주원·이민정 (KISTEP)	기술동향
129 (24.05.07.)	새로운 경제 시대를 위한 성장의 질적 측정 - The Future of Growth Report 2024-	김용희·변영호 (KISTEP)	통계분석
130 (24.05.14.)	2024년 미·일 정상회담의 의미와 시사점	강진원·김혜나 (KISTEP)	혁신정책
131 (24.05.16.)	일본 CRDS 「과학기술·혁신정책의 세계적 흐름」 보고서의 주요 내용 및 시사점 - 전략적 자율성 및 과학기술외교·인재확보를 중심으로 -	정여진 (KISTEP)	혁신정책

발간호 (발행일)	제목	저자 및 소속	비고
- (24.05.30.)	인구구조 변화 대응을 위한 과학기술혁신 정책 방향	오현환, 김유신, 주혜정, 배용국, 김지홍, 김효재, 이충현, 오서연, 김인자, 박수빈, 기지훈 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제365호)
132 (24.05.30.)	OECD 『변혁적 과학기술 혁신 정책 아젠다』의 주요 내용 및 시사점	주혜정 (KISTEP)	혁신정책
133 (24.06.03.)	감염병 백신·치료	한민규 (KISTEP)	기술주권
134 (24.06.05.)	우주바이오(Space Biology)	이재민(KISTEP) 송대근·강경수(KIST) 장은혁(메디맵바이오)	기술동향