

2024
유럽 분야별 연구
및 정책 동향

발간사

기후위기 대응과 디지털 전환이라는 글로벌 흐름 속에서, 유럽은 2024년에도 기술 주권과 전략적 자율성 확보를 위해 핵심 연구개발(R&D) 분야에 대한 정책적 방향 설정과 투자를 적극적으로 추진하고 있습니다.

2023년 기준, 유럽 기업의 R&D 투자 증가율은 9.8%로, 미국(5.9%)과 중국(9.6%)을 앞질러 2013년 이후 처음으로 글로벌 R&D 투자 증가율 1위를 기록했습니다.

이와 같은 성과는 Horizon Europe, EU Chips Act, Net-Zero Industry Act 등 EU 차원의 전략적 연구 프레임워크가 기획 초기 단계부터 실질적으로 작동한 결과로 평가됩니다. 이는 R&D 정책이 기술 혁신과 학술 연구의 촉매제로서 기능하고 있음을 보여주며, 유럽 내에서는 정책·연구·제도 간 통합적 연계 구조가 앞으로 더욱 공고해질 것으로 전망됩니다.

따라서 우리나라가 유럽과의 전략적 협력 강화를 모색한다면, 유럽의 개별 기술 성과뿐 아니라 이를 가능케 한 정책 기획 구조와 연구 생태계에 대한 심층적 이해가 반드시 병행되어야 할 것입니다. 이번 「2024 유럽 분야별 연구 및 정책 동향」 보고서는 이러한 인식을 바탕으로, 우리 정부가 지정한 12대 국가전략기술을 중심으로 유럽의 기술 및 정책 흐름을 연구자의 시각에서 분석·정리한 자료입니다.

한국은 국가 차원의 정책으로 12대 국가전략기술을 선정했으며, KERC는 해당 기술 분야별로 전문성을 갖춘 신진 연구자들로 구성된 KERC 서포터즈를 운영하고 있습니다. KERC 서포터즈는 재유럽 한국인 연구자 및 전문가들로 이루어진 연구자 네트워크로, 유럽의 연구 및 정책 동향을 현장에서 직접 발굴·분석하며, 한·유럽 간 협력 기반 조성에 핵심적인 역할을 수행하고 있습니다.

이번 보고서는 KERC 서포터즈 활동의 일환으로, 유럽의 정책 및 연구 흐름을 깊이 있게 조망하고 정리한 결과물로, 향후 한·유럽 간 연구개발 협력의 실질적인 기반 마련에 기여할 수 있기를 기대합니다.

끝으로, 본 보고서의 집필과 검토에 참여해 주신 모든 KERC 서포터즈 여러분께 깊이 감사드리며, 이 보고서가 국내 연구기관, 산업계, 그리고 정책 결정자들이 유럽의 분야별 기술과 정책을 이해하고, 실효성 있는 협력 전략을 수립하는 데 실질적인 도움이 되기를 바랍니다.

2025년 6월
한-EU연구협력센터 센터장
이대명

2024 유럽 분야별 연구 및 정책 동향

발행인 이대명 센터장

담당자 심희원 연구원

발행월 2025. 6.

발행처 한-EU연구협력센터(KERC)

Rue de la science 14A 1040 브뤼셀, 벨기에

<http://www.k-erc.eu>

+32 (0)2 880 39 05

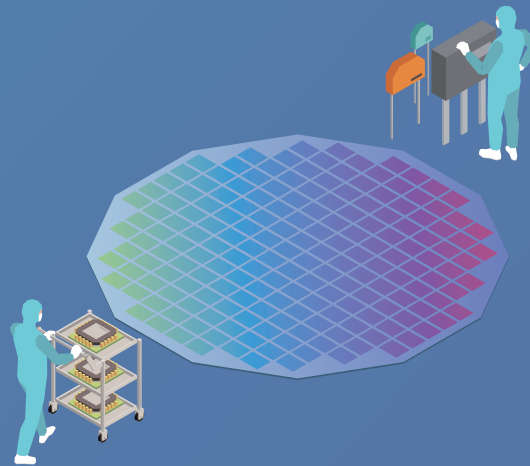
본 자료는 한-EU 연구협력센터(KERC)가 발행한 보고서로, 공개된 정보를 바탕으로 작성되었으며 타인의 지적 재산권을 침해하지 않도록 최선을 다하였습니다. 상업적 혹은 정치적 목적의 이용을 제외하고 누구나 자유롭게 열람·인용·재가공 할 수 있습니다.

1	유럽 반도체 연구 및 정책 동향 _ 오석윤	6
	1. 유럽의 반도체 연구 동향	7
	2. 유럽의 반도체 정책 동향	20
	3. 시사점	23
2	유럽 이차전지 연구 및 정책 동향 _ 김승기	24
	1. 유럽의 이차전지 연구 동향	25
	2. 유럽의 이차전지 정책 동향	30
	3. 시사점	35
3	유럽 자율주행 연구 및 정책 동향 _ 안현섭	36
	1. 유럽의 자율주행 연구 동향	37
	2. 유럽의 자율주행 정책 동향	47
	3. 시사점	52
4	유럽 선진원자력 시스템 · 폐기물 관리 연구 및 정책 동향 _ 김경원	53
	1. 유럽의 선진원자력 시스템 및 폐기물 관리 연구 동향	54
	2. 유럽의 선진원자력 시스템 및 폐기물 관리 정책 동향	59
	3. 시사점	62
5	유럽 첨단바이오 연구 및 정책 동향 _ 이승혜, 연아라	63
	1. 유럽의 첨단바이오 연구 동향	64
	2. 유럽의 첨단바이오 정책 동향	74
	3. 시사점	79
6	유럽 우주 발사체 연구 및 정책 동향 _ 손민	80
	1. 유럽의 우주 발사체 연구 동향	81
	2. 유럽의 우주개발 및 탐사 정책 동향	90
	3. 시사점	98

7	유럽 우주 관측 연구 및 정책 동향 _ 김민재	102
	1. 유럽의 우주 관측 연구 동향	103
	2. 유럽의 우주 관측 정책 동향	111
	3. 시사점	116
8	유럽 수소 저장 운송 연구 및 정책 동향 _ 양한나	118
	1. 유럽의 수소 연구 동향	119
	2. 유럽의 수소 정책 동향	125
	3. 시사점	129
9	유럽 AI 연구 및 정책 동향 _ 이보연	130
	1. 유럽의 AI 연구 동향	131
	2. 유럽의 AI 정책 동향	139
	3. 시사점	143
10	유럽 첨단로봇 제조 연구 및 정책 동향 _ 황준선	144
	1. 유럽의 산업용 첨단로봇 연구 동향	145
	2. 시사점	152
11	유럽 양자정보 연구 및 정책 동향 _ 박기민	153
	1. 유럽의 양자정보 연구 동향	154
	2. 유럽의 양자정보 정책 동향	163
	3. 시사점	167

2024 유럽 반도체 연구 및 정책 동향

작성자 | 오석윤
(반도체 분야 KERC 서포터즈)



유럽은 반도체 기술 혁신과 글로벌 경쟁력 강화를 위한 전략적 투자를 활발히 추진하고 있다. 특히, 극자외선(EUV/XUV) 리소그래피 및 현미경 기술을 중심으로 반도체 공정의 정밀도와 생산성을 높이는 데 주력하고 있으며, 이를 위한 주요 프로젝트들이 다수 진행 중이다.

대표적으로 ASML이 주도하는 EUV Lithography 프로젝트는 2006년부터 시작되어 7nm 이하 미세공정용 리소그래피 기술의 상용화를 실현했고, 향후 3nm 이하 공정에도 응용될 전망이다. 또한, MADEin4 프로젝트는 3D 측정 기술과 데이터 분석을 결합하여 실시간 결함 분석 및 공정 혁신을 도모하고 있으며, XUV Microscopy 프로젝트는 나노미터 수준의 구조 관찰이 가능한 고해상도 현미경 개발을 목표로 한다. 이러한 기술 개발은 XUV 광원 및 고출력 XUV 소스 연구와도 긴밀히 연계된다. 레이저-플라즈마 기술, 고조파 생성(HHG) 기술, 테이블탑 XUV 소스 개발 등이 활발히 진행되며, 이는 반도체 웨이퍼의 고속 고정밀 검사뿐 아니라 생물학적 관찰, 나노구조 연구 등으로 응용이 확장되고 있다. Jena 지역은 Carl Zeiss AG, Fraunhofer IOF 등과 함께 EUV 렌즈 및 검사기술의 중심지로 부상하고 있다.

한편, 유리 기판은 기존 실리콘 기반 패키징의 한계를 극복할 대안으로 주목받고 있다. SCHOTT, OSIM, Fraunhofer 등은 광학 품질 유리를 기반으로 고밀도, 고속, 저열 패키징 기술을 개발 중이며, 이는 향후 광 반도체, 양자컴퓨터, 광통신 기술과의 융합 가능성을 시사한다. 실리콘 포토닉스 기술 역시 AI, 고속 통신, 위성 인터넷 등 차세대 인프라의 핵심 기술로 부상하고 있다.

특히, 전자 기반의 병목현상과 전력 소모를 극복하기 위한 광기반 AI 모델 연구가 활발히 진행되며, 프라운호퍼 IOF, ACP, Leibniz IPHT 등은 실리콘 포토닉스 기술과 인공지능의 융합 가능성을 탐색하고 있다. 더불어, 유럽은 광기반 양자 컴퓨터 기술에서도 선도적 입지를 다지고 있으며, Max Planck Institute 및 QUANTERA 프로젝트를 통해 양자 광자 회로, 얽힌 광자 소스 등 핵심 기술 개발에 집중하고 있다. 이는 상온에서 작동 가능하고 고속 병렬 연산이 가능한 미래 컴퓨팅 기술로 주목받는다.

정책적으로는 Horizon Europe과 EU Chips Act, Chips Joint Undertaking을 중심으로 첨단 반도체 및 광자 기술에 대한 R&D를 적극 지원하고 있다. Horizon Europe은 955억 유로의 예산을 기반으로 다양한 공동 연구 프로젝트를 지원하고 있으며, EU Chips Act는 450억 유로 규모의 투자로 유럽 내 반도체 생산 역량 강화와 기술 자립화를 목표로 한다. 또한, Photonics Partnership은 디지털 전환, 의료, 친환경 기술 등 다양한 분야에 광자 기술을 확산시키기 위한 협력 플랫폼으로 작동 중이다. 이처럼 유럽은 포토닉스를 AI, 양자기술, 고성능 컴퓨팅, 친환경 기술 등 미래 산업의 핵심 기반으로 인식하고, 연구·산업·정책 측면에서 유기적으로 연계하여 전략적 육성을 추진하고 있다. 이를 통해 유럽은 반도체와 포토닉스 산업에서 디지털 주권을 확보하고, 글로벌 경쟁력을 지속적으로 확대해 나가고 있다.

1 유럽의 반도체 연구 동향

1.1 Extreme Ultraviolet(EUV) Lithography(ASML) 프로젝트

진행 시기 및 컨소시엄 구성

- EUV 리소그래피 프로젝트는 2006년부터 ASML에 의해 시작
- 여러 유럽 및 글로벌 반도체 기업, 연구소와의 협력으로 진행 중이며, Fraunhofer 연구소와 같은 주요 연구 기관들이 이 프로젝트에 참여

세부 목적 및 활용 가능성

- 7nm 이하의 반도체 칩을 제조하기 위한 EUV 리소그래피 기술 개발이 주요 목표
- 이 기술은 반도체 제조 공정에서 높은 해상도와 정밀성을 제공하여, 미세한 패턴을 구현하는 데 필수적임

핵심 연구 및 현재 개발 단계

- EUV 리소그래피는 현재 상용화 단계에 도달
- ASML의 기술은 전 세계 반도체 제조업체에서 널리 사용
- 하지만 EUV 광원의 안정성과 비용 효율성을 높이기 위한 추가 연구가 필요

향후 세부 활용 가능성

- 이 기술은 향후 3nm 이하의 공정에서도 활용 가능할 전망이며, 반도체 제조의 최첨단 기술로 자리매김할 것으로 기대

1.2 MADEin4 프로젝트¹⁾

진행 시기 및 컨소시엄 구성

- 2018년에 시작된 이 프로젝트는 유럽 내 다양한 기업과 연구소로 구성
- ASML, Fraunhofer 연구소 등이 주도하며, 반도체 제조 공정의 혁신을 목표로 함

세부 목적 및 활용 가능성

- 3D 메트로로지와 데이터 분석을 결합한 기술 개발을 통해 반도체 생산성을 향상시키는 것을 주요 목적으로 함
- 이 기술은 실시간으로 반도체 공정에서 발생하는 미세 결함을 검출하고 분석할 수 있음

핵심 연구 및 현재 개발 단계

- MADEin4는 현재 초기 단계에서 상용화로의 전환을 준비 중
- 반도체 제조 과정의 정확도와 효율성을 크게 향상시키는 데 기여하고 있음

향후 세부 활용 가능성

- 이 기술은 고해상도 측정 및 데이터 분석을 통해 반도체 제조 공정의 오류를 최소화하고 생산성을 극대화할 수 있을 것으로 기대됨

1) <https://madein4.eu/>

1.3 XUV Microscopy 프로젝트²⁾

◆ 진행 시기 및 컨소시엄 구성

- XUV Microscopy 프로젝트는 2019년부터 독일 Jena를 중심으로 진행 중이며, 유럽 내 여러 연구소와의 협력을 통해 이루어지고 있음

◆ 세부 목적 및 활용 가능성

- XUV를 이용한 고해상도 현미경 기술 개발이 목표
- 이 기술은 반도체 검사와 세포 관찰 등 다양한 분야에서 활용가능

◆ 핵심 연구 및 현재 개발 단계

- 현재 연구 중이며, 세포 관찰과 반도체 검사에 대한 초기 결과가 긍정적으로 평가
- 하지만 더 높은 해상도와 빠른 처리 속도가 요구됨

◆ 향후 세부 활용 가능성

- 이 기술은 나노미터 크기의 구조를 고해상도로 관찰할 수 있는 중요한 도구로 자리 잡을 것으로 기대됨

1.4 극자외선(XUV/ EUV) 광원 연구

● 극자외선 광원의 발전

- (XUV 광원의 기술적 우위) XUV 광원은 10~100 나노미터의 파장을 가지며, 이를 통해 반도체 웨이퍼의 미세한 결함을 고해상도로 검출할 수 있음
- (연구 성과) 독일, 프랑스, 네덜란드 등의 연구소들은 XUV 광원의 효율성을 높이기 위한 다양한 연구를 수행하고 있음. 특히, 네덜란드의 ASML은 이 분야에서 세계적인 선도 기업으로 자리잡고 있음³⁾
- (기술적 도전 과제) XUV 광원의 발전에는 여러 기술적 도전 과제가 따름. 높은 출력을 유지하면서도 긴 수명을 확보하는 것이 주요 과제임

● 고출력 XUV 소스 개발

- (고출력 광원의 필요성) 반도체 검사는 고속으로 진행되므로, 고출력의 XUV 광원이 필요함. 이를 위해 레이저 플라스마 소스 및 하이브리드 소스 개발이 진행 중
- (연구 동향) 최근 연구들은 레이저와 플라스마의 조합을 통해 XUV 출력을 높이고 있으며, 이는 검사 속도를 크게 향상시키는 데 기여하고 있음⁴⁾
- (구체적 사례) 프랑스의 ESRF 연구소는 레이저와 플라스마 기술을 결합한 새로운 형태의 XUV 소스를 개발 중, 이는 반도체 웨이퍼 검사에서 높은 정밀도를 보장함⁵⁾

2) <https://www.physik.uni-jena.de/en/iap/18073/xuv-imaging>3) <https://www.asml.com/en/products/euv-lithography-systems>4) <https://www.iof.fraunhofer.de/en/pressrelease/2023/euv-power-on-laboratory-scale.html>5) <https://www.esrf.fr/>

1.5 반도체 검사 장비 개발

● 첨단 검사 장비

- (검사 장비의 발전) 반도체 검사 장비는 나노미터 크기의 결함을 탐지하기 위해 정밀한 기술이 요구됨. 유럽의 연구소들은 고해상도와 높은 정확도를 제공하는 장비를 개발하고 있음
- (혁신 사례) 독일의 Fraunhofer 연구소는 XUV 기반의 고해상도 검출기를 개발하여 반도체 제조 공정의 품질 관리 강화 추진⁶⁾

● 실시간 검사 시스템

- (실시간 검사 필요성) 반도체 제조 공정에서는 실시간 결함 검출이 중요함. 이를 위해 고속 XUV 검출 기술이 요구됨
- (연구 개발) 유럽의 여러 연구소들은 실시간 데이터 처리와 결함 검출을 결합한 시스템을 개발하고 있으며, 이는 생산성 향상에 크게 기여할 것
- (첨단 알고리즘) 실시간 검사 시스템에는 인공지능(Artificial Intelligence(AI)) 기반의 결함 검출 알고리즘이 포함되어 있음. 이는 결함 검출의 정확도와 속도를 높이는 데 중요한 역할 수행

1.6 Jena의 XUV/EUV 연구

● Carl Zeiss AG

- 1846년 독일 예나에서 설립된 광학기기 제조사로, 네덜란드의 반도체 장비 제조업체 ASML에 XUV(EUV) 렌즈를 공급
- 이 렌즈는 극자외선(EUV) 리소그래피 장비의 핵심 구성 요소로서, 반도체 웨이퍼에 미세한 회로 패턴을 새기는 데 사용되며, 7nm 이하 공정에서 필수적인 기술로 반도체 제조의 정밀도와 생산성을 크게 향상시킴

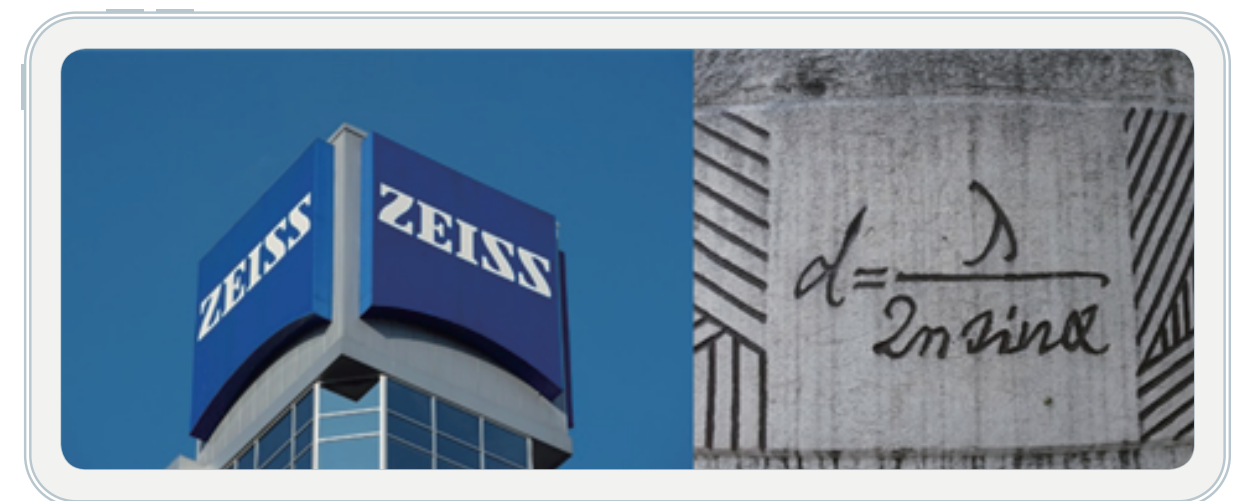


그림 1. Carl Zeiss AG

6) <https://www.iof.fraunhofer.de/en/pressrelease/2023/euv-power-on-laboratory-scale.html>

- Ernst Abbe는 Carl Zeiss의 동료이자 독일의 물리학자로서 광학 이론의 발전에 크게 기여
- 그가 제안한 Abbe의 공식은 광학 해상도를 결정하는 중요한 식으로 현미경의 분해능이 광원의 파장과 개구수치(NA)에 의해 제한됨을 나타내며 고해상도 광학 기기 설계의 기초가 되었음

● Jena에서의 혁신 연구

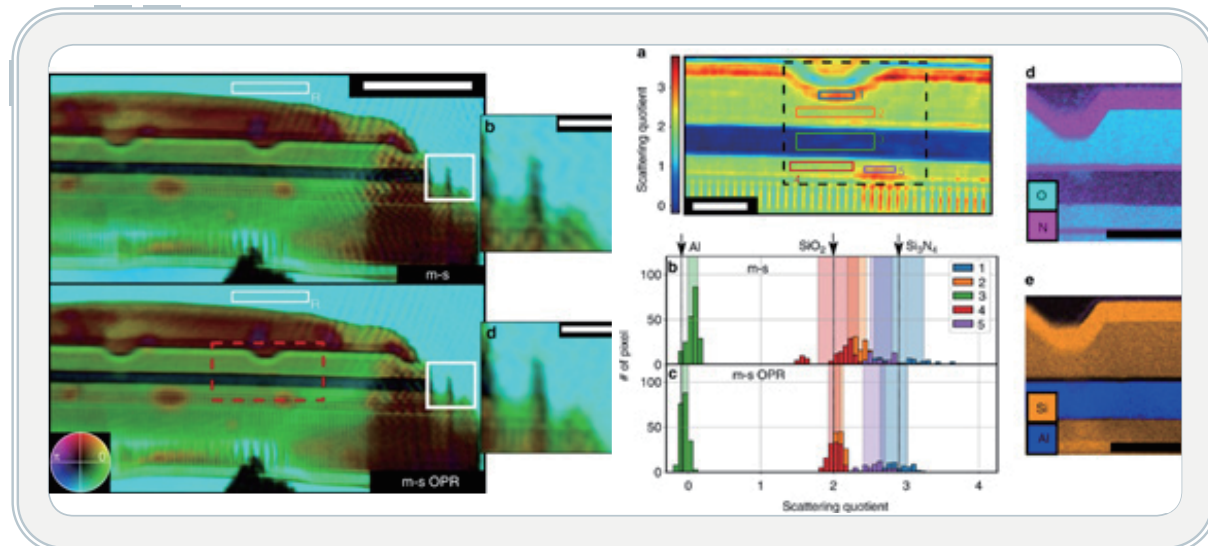


그림 2. Quantitative amplitude and phase imaging EUV of an integrated circuit, Material-specific EUV imaging⁷⁾

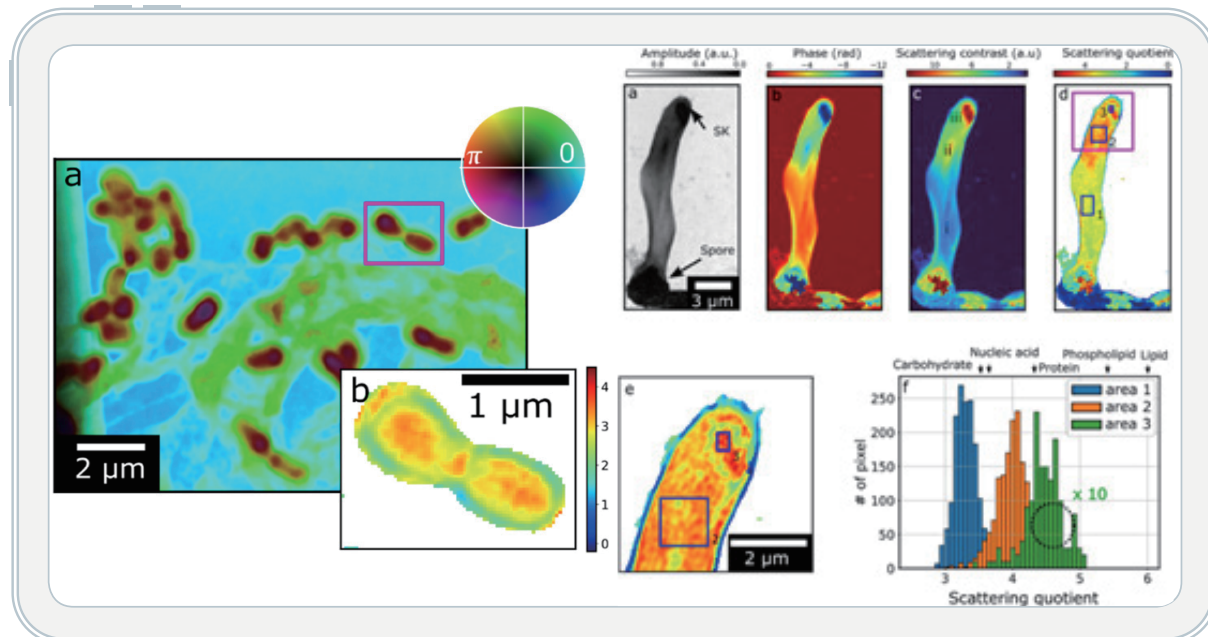


그림 3. High-resolution EUV ptychography reconstruction of E. coli bacteria, High-resolution EUV image of A. nidulans⁸⁾

- **(Jena의 연구 배경)** 독일의 Jena는 광학 및 포토닉스 연구의 중심지로, XUV 및 EUV 광원을 활용한 다양한 연구가 진행되고 있음
- **(반도체 검사 연구)** Jena의 연구 기관들은 XUV 및 EUV 광원을 이용한 반도체 검사 기술을 개발 중이며, 이는 미세 결함 검출과 정확도 향상에 중점을 두고 있음
- **(세포 관찰 연구)** 또한, Jena에서는 XUV 및 EUV를 활용한 세포 관찰 연구도 활발히 진행되고 있음. 이는 생물학적 샘플의 나노미터 수준 구조를 고해상도로 분석할 수 있게 함

● 주요 프로젝트

- **(프로젝트 예시)** Jena의 주요 연구 프로젝트 중 하나는 EU의 Horizon 2020 프로그램의 지원을 받아 진행되고 있는 “XUV Microscopy”임. 이 프로젝트는 XUV를 이용한 고해상도 현미경 기술 개발을 목표로 함
- **(협력 연구)** Jena의 연구소들은 유럽 전역의 다양한 기관과 협력하여, XUV 및 EUV 기술을 반도체 검사 및 세포 관찰에 적용하고 있음. 이는 기술 개발의 시너지를 창출하고 있음

1.7 고조파 생성(High Harmonic Generation, HHG) 및 테이블탑 XUV 소스 개발

● 고조파 생성 기술

- **(기술 개요)** 고조파 생성은 레이저와 물질의 상호작용을 통해 고차 고조파를 발생시키는 기술로, 이를 통해 넓은 스펙트럼의 XUV 빛을 생성할 수 있음
- **(연구 동향)** 유럽의 여러 연구 기관들은 고조파 생성 기술을 통해 고효율 XUV 소스를 개발하고 있으며, 이는 반도체 검사와 생물학적 응용에 중요한 역할을 함⁹⁾

● 2023년 노벨물리학상 수상

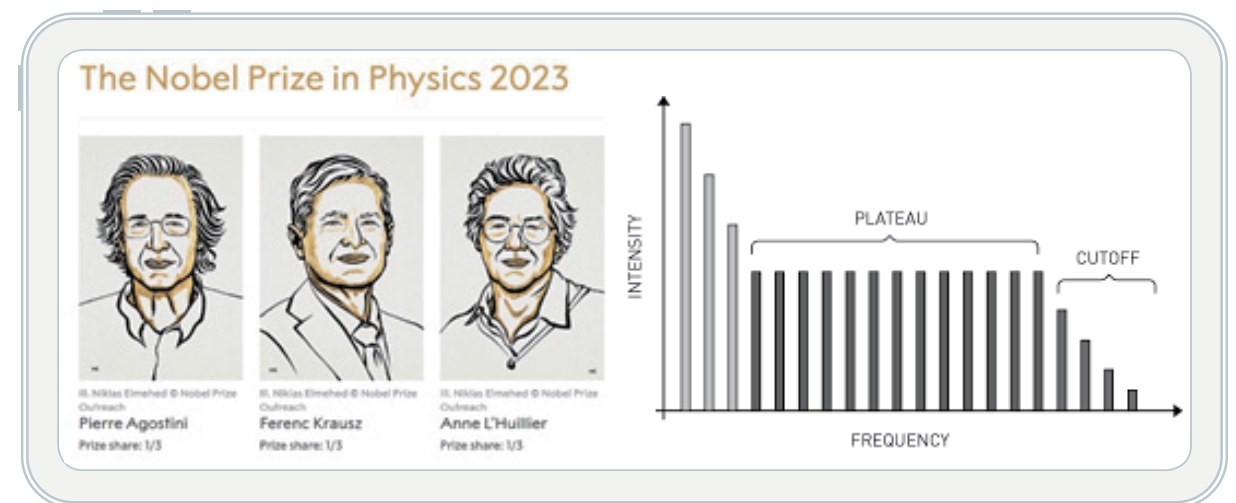


그림 4. 2023년 노벨물리학상 수상자

7) Eschen, Wilhelm, et al. “Material-specific high-resolution table-top extreme ultraviolet microscopy.” Light: Science & Applications 11.1 (2022): 117

8) Liu, Chang, et al. “Visualizing the ultra-structure of microorganisms using table-top extreme ultraviolet imaging.” PhotonIX 4.1 (2023): 6

9) <https://www.iof.fraunhofer.de/en/business-fields/lasers/xuv-laser-sources.html>

- 2023년 노벨 물리학상은 Pierre Agostini, Ferenc Krausz, Anne L'Huillier에게 수여되었음
- 이들은 초단파 레이저 펄스를 생성하고 이를 이용해 물질 내부의 전자 운동을 관찰하는 방법을 개발한 공로로 상을 받았음
- HHG 스펙트럼은 일반적으로 연속적인 저에너지 영역과, 일정한 고에너지 영역(플래토(plateau)), 그리고 급격히 감소하는 컷오프 영역으로 구성됨, 플래토(plateau) 영역의 고조파는 일정한 세기로 나타나며, 이는 실험에서 고에너지 광자를 안정적으로 얻는 데 유리함
- 이 기술은 반도체 검사, 생물학적 세포 관찰, 펄스초 및 아토초 물리학 연구 등 다양한 분야에서 응용되고 있으며, 특히 반도체 제조 공정에서의 미세 결함 검사에 큰 역할을 함

● 테이블탑 XUV 소스

- **(소형화된 XUV 소스)** 테이블탑 XUV 소스는 대형 시설 없이도 실험실 환경에서 XUV 빛을 생성할 수 있는 소형화된 장비를 의미함
- **(연구 성과)** 독일의 Jena를 비롯한 유럽의 연구소들은 테이블탑 XUV 소스 개발에 주력하고 있으며, 이는 연구의 접근성을 높이고, 다양한 응용 가능성을 열어줌¹⁰⁾
- **(응용 분야)** 테이블탑 XUV 소스는 반도체 검사뿐만 아니라, 생물학적 샘플 분석, 나노 구조 연구 등 다양한 분야에서 활용될 수 있음

1.8 유리 기판 연구

● 개요

- **(기존 반도체 패키징의 한계)** 기존 실리콘 반도체 패키징은 AI 시대에 필요한 고성능 컴퓨팅 요구 사항을 충족하는 데 어려움을 겪고 있으며, 특히 반도체의 고밀도화, 고집적화로 인해 열 관리 및 신호 전송 속도에 제약이 있음. 대용량 고속 신호 전송 및 효과적인 열관리를 위해 새로운 패러다임의 반도체 생산 방식이 연구되고 있음. 이에 대한 대안으로 유리 기판을 이용하는 반도체 설계 방식이 전세계적으로 주목받고 있음
- **(유리 기판의 필요성)** 유리 기판은 첨단 패키징 및 광학 응용에 필수적인 소재로 주목받고 있음. 기존의 실리콘 기판과 비교하여, 유리 기판은 낮은 열팽창 계수, 우수한 열적 및 기계적 안정성, 그리고 높은 투명성을 제공하여 더 정밀한 반도체 공정을 가능하게 함. 또한 광학 부품과의 통합을 가능하게 함. 이러한 유리기판의 성장성으로 인해 2023년 시장 규모는 11억 2,622만 달러였으며, 2031년에는 22억 5,209만 달러에 이를 것으로 예상되며, 예측 기간(2024-2031) 동안 연평균 성장률(CAGR)은 9.23%임
- **(기술적 한계)** 하지만 유리 기판은 높은 초기 제조 비용과 복잡한 공정 요구 사항으로 인해 시장 성장에 제약이 있으며 유리 재료의 본질적인 취성은 제조 및 취급에 특별한 주의를 요구함으로 현재 기술적인 제약이 존재
- **(주요연구)** 광학적 품질의 ZIF-62 하이브리드 유리를 이용하여 열 프린팅 방식으로 미세 광학 소자를 제작하는 기술에 대한 연구가 대표적이며, 이러한 기술을 통해 유리기판 위에 광학소자들을 직접 연결할 수 있으며 해당 기술이 발전할수록, 광 반도체, 광 컴퓨터 그리고 양자컴퓨터 영역까지 기술 확장이 가능

10) <https://www.physik.uni-jena.de/en/iap/18040/coherent-imaging-in-the-xuv-and-soft-x-ray>

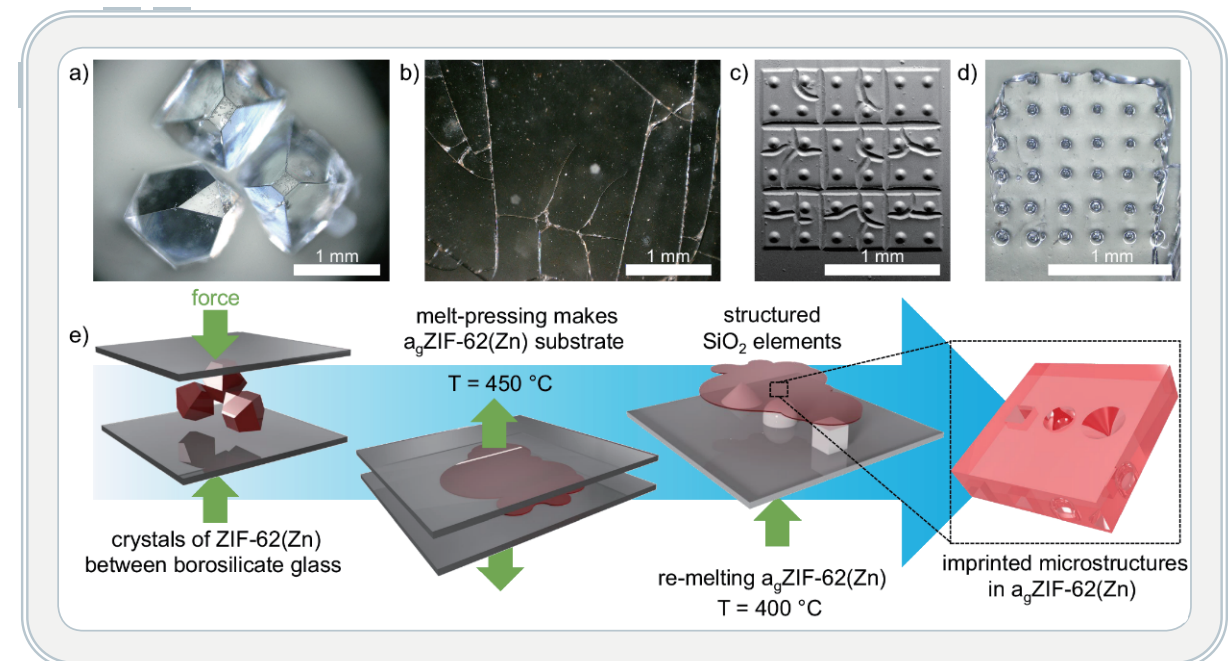


그림 5. (a) ZIF-62 결정 (b) 높은 광학품질의 agZIF-62 조각의 광학 현미경 사진 (c) GP-Silica 수지로 인쇄된 미세 구조의 대표적인 SEM (주사전자현미경) 이미지 (d) 인쇄된 마이크로렌즈가 있는 agZIF-62 기판의 해당 광학 현미경 사진 (e) ZIF-62 결정에서 agZIF-62로 만들어진 인쇄된 마이크로 광학 부품이 입혀진 구조도¹¹⁾

● 관련 연구기관 및 프로젝트

- **(SCHOTT)** SCHOTT는 반도체 산업의 첨단 칩패키징을 위한 유리 기판 수요 증가에 대응하기 위해 적극적으로 투자 및 개발을 진행 중인 독일의 대표적인 소재 전문 기업. 이 회사는 광학 품질 유리를 기반으로한 새로운 유리 기판 생산 기술을 상용화하여 반도체 시장에서의 경쟁력을 강화하고 있음¹²⁾
- **(Otto Schott Institute of Materials Research(OSIM))**¹³⁾ 독일 예나에 위치한 Otto Schott 재료 연구소(OSIM)는 SCHOTT와 밀접한 협력 관계를 유지하며, 차세대 유리 소재 개발과 관련된 연구를 주도하고 있음. OSIM은 특히 광학 및 재료 연구의 선도적인 기관으로 Fraunhofer IOF와도 협력하여 반도체 산업의 요구에 부합하는 유리 기판 및 통합 기술 개발에 기여하고 있음. 이 연구소는 다음과 같은 연구 분야에 집중하고 있음
 - **고품질 광학 유리 개발:** 극도의 투명성과 낮은 열팽창 계수를 가진 유리를 설계 및 최적화
 - **고온 및 극한 환경용 유리 기판:** 고속 통신과 반도체 패키징을 위한 내구성 높은 유리 소재 개발
 - **광소자 및 마이크로 광학 제작:** 초정밀 마이크로 구조화 기술 연구
 - **관련 Horizon Europe 프로젝트**
 - » PhotonicLEAP 프로젝트는 완전 자동화와 확장성이 뛰어난 Photonic Integrated Circuit(PIC) 패키징 및 테스트 기술을 개발. 이 프로젝트는 PIC 생산 비용을 10배 이상 절감하는 것을 목표로 함. PhotonicLEAP은 볼 그리드 어레이(BGA) 설계를 기반으로 혁신적인 표면 실장 기술(SMT) PIC 패키지를 개발하고 있음

11) Smirnova, Oksana, et al. "Micro-optical elements from optical-quality ZIF-62 hybrid glasses by hot imprinting." Nature Communications 15,1 (2024): 5079.

12) <https://www.schott.com/en-gb/news-and-media/media-releases/2023/schott-strengthens-glass-substrate-portfolio>

13) <https://www.osim.uni-jena.de/en>

» PIXAPP 프로젝트는 PIC 패키징 및 조립을 위한 파일럿 라인으로서 비용 절감 및 개발 가속화를 목표로 함. 이 프로젝트는 실리콘 포토닉스 설계 및 패키징을 위한 맞춤형 플랫폼을 제공 및 개발

1.9 실리콘 포토닉스 연구

개요

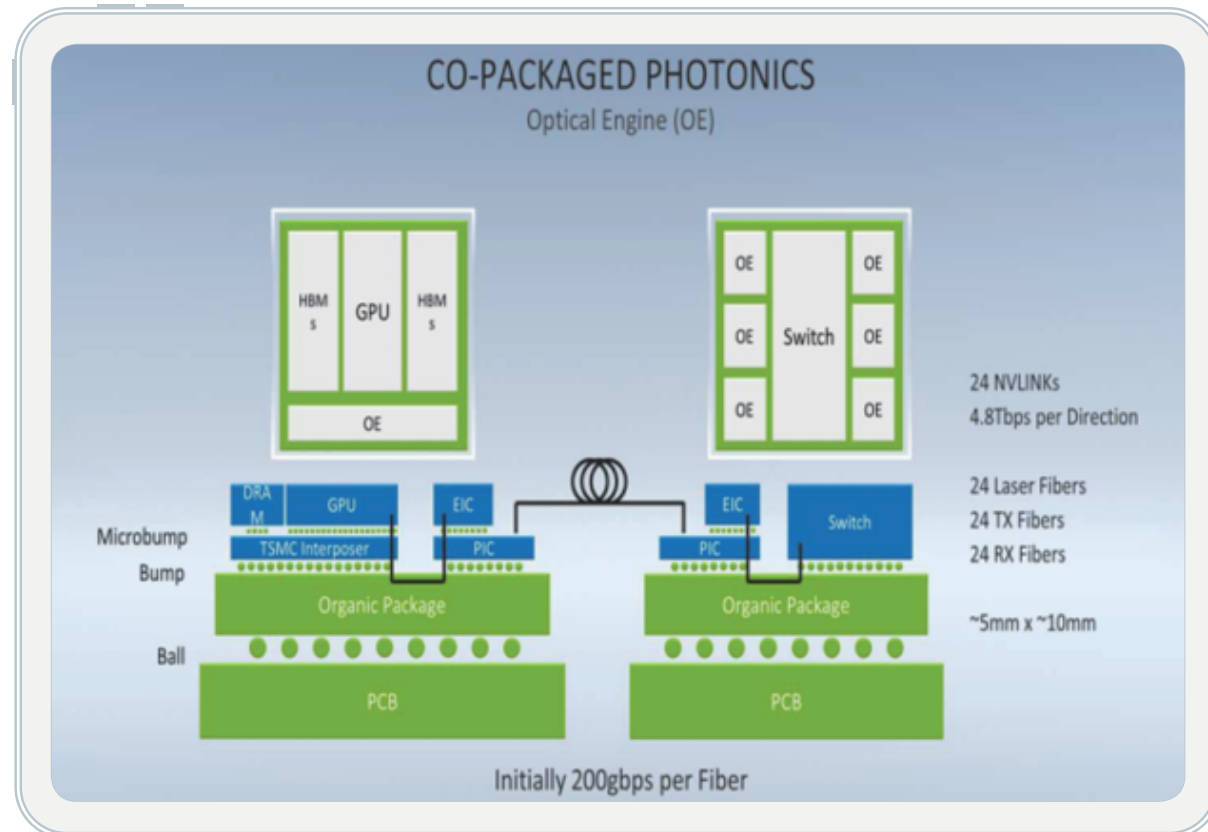


그림 6. 코패키징 포토닉스는 광학엔진(Optical Engine, OE)을 반도체와 같은 다른 부품들과 함께 하나의 패키지에 통합하는 기술임. 이를 통해 전자신호 대신 빛을 이용하여 데이터를 더 빠르고 효율적으로 전송할 수 있음¹⁴⁾

- **(기존 데이터 통신 인프라의 한계)** AI시대의 폭발적인 데이터 수요를 충족하기에 기존 구리 기반의 데이터 통신 인프라는 속도, 대역폭, 전력 소비, 거리 제약 등 여러 한계에 직면해 있음. 또한 통신망이라는 제약을 뛰어넘는 새로운 저궤도 위성 통신의 가능성이 Space X와 같은 우주 인터넷 서비스로 확장되고 있음
- **(실리콘 포토닉스 연구의 필요성)** 기존 통신 인프라의 한계를 극복하고 미래 데이터 통신 인프라의 요구 사항을 충족하기 위해 실리콘 포토닉스 기술은 핵심 기술로 주목받고 있음. 주요 연구 목표는 초고속 데이터 전송, 저전력 광학 소자 개발, 소형화 및 집적화 기술 개발, 신뢰성 및 안정성 확보, 비용 효율적인 제조 기술 개발임. 이러한 성장 가능성에 따라 실리콘 포토닉스 시장은 2024년 27억 달러에서 2032년까지 연평균 성장률(CAGR) 25%로 대폭 성장할 것으로 예상
- **(기술적 한계)** 실리콘 포토닉스 기술은 미래 데이터 통신 인프라의 핵심 기술로 주목받고 있지만, 다음과

14) NVIDIA IEDM 2024 paper

같은 기술적 한계가 존재

- **광원 통합의 어려움:** 실리콘은 간접 천이형 반도체로, 효율적인 광원 구현이 어려움. 따라서 외부 광원을 실리콘 칩에 통합해야 하는데, 이는 기술적으로 복잡하고 비용이 많이 듦
- **소자 성능 및 신뢰성 문제:** 고속 변조기, 광 검출기 등 핵심 광학 소자의 성능 및 신뢰성을 확보하는 것이 중요함. 특히, 고온, 습도 등 극한 환경에서의 안정적인 작동이 요구됨
- **제조 공정의 복잡성:** 실리콘 포토닉스 소자는 기존 CMOS 공정과 호환되지만, 고정밀 광학소자 제작을 위한 추가적인 공정이 필요함. 이는 제조 공정을 복잡하게 하고 생산 단가를 높이는 요인으로 작용함
- **패키징 및 모듈화 기술:** 광학 소자와 전자 소자를 통합하고, 광섬유와 연결하는 패키징 및 모듈화 기술이 중요함. 고밀도, 고성능 패키징 기술 개발이 필요함
- **설계 및 시뮬레이션 도구:** 실리콘 포토닉스 소자 및 시스템 설계를 위한 전문적인 설계 및 시뮬레이션 도구가 부족함. 정확한 시뮬레이션 및 최적화 도구 개발이 필요함

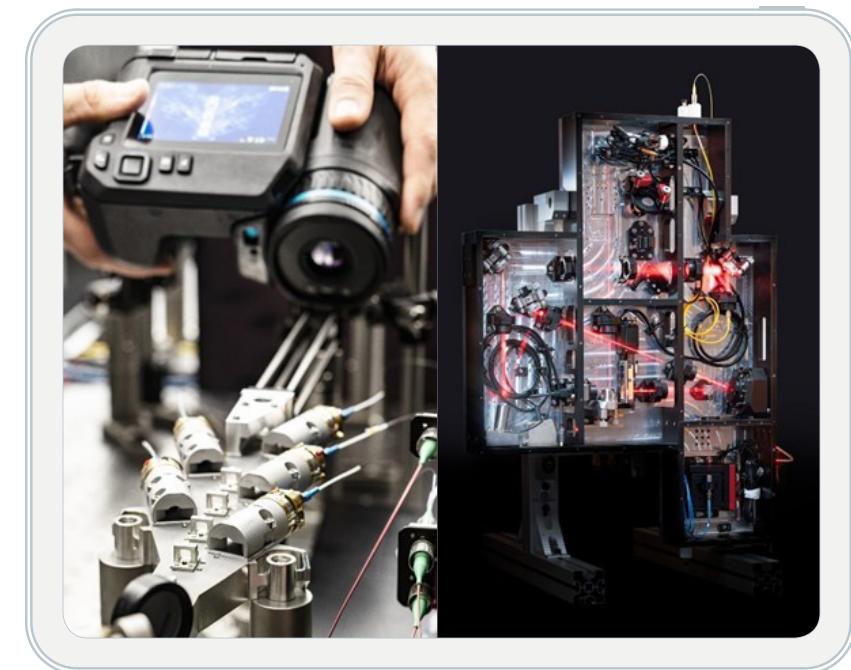


그림 7. (좌) 프라운호퍼(Fraunhofer)IOF에서 개발한 파장 다중화기(WDM)는 위성 간 통신을 향후 더 먼 거리에 걸쳐 더 높은 데이터 전송률을 실현할 수 있게 함. (우) 보정 광학 모듈(adaptive optical module). 위성간 기지국 사이의 데이터 통신시 자유 공간 전송 중 대기 난류로 인해 교란된 파면을 보정함

- **(세계 기업의 연구개발 현황)** TSMC는 차세대 데이터 통신 애플리케이션의 수요를 충족하기 위해 고급 실리콘 포토닉스 파운드리 플랫폼을 개발하였음. 이 플랫폼은 고속 데이터 전송을 위한 핵심 광학 소자의 성능을 향상시키는 데 중점을 두고 있음. 또한, TSMC는 NVIDIA, Ansys, Synopsys, Cadence와 협력하여 실리콘 포토닉스 통합 시스템의 개발을 추진하고 있음. 이러한 협업을 통해 실리콘 포토닉스 기술의 상용화와 성능 향상을 목표로 하고 있음
- **(위성 인터넷 인프라)** 저궤도 위성 인터넷은 전 세계 어디서든 고속 데이터 통신을 가능하게 하여, 특히 무선 인터넷 환경을 위한 필수적인 역할을 담당하고 있음. SpaceX의 스타링크는 위성 간 무선 레이저 송수신 기술을 기반으로 전 세계에 고속 인터넷 서비스를 제공하며 위성을 활용한 데이터 통신의 새로운 지평을 열었음. 이와 같은 기술을 실현하고 발전시키기 위해 프라운호퍼(Fraunhofer) IOF는 유럽우주국

(ESA)과 함께 고출력 파장 분할 다중화기(WDM)를 개발함

- **(주요 연구)** 위성 기반 레이저 통신은 장거리에서도 기존의 케이블 없이 데이터를 전송할 수 있게 함. 위성 간 레이저 통신을 통해 고속데이터 통신을 가능하게 함. 프라운호퍼(Fraunhofer) IOF에서 개발된 파장 다중화기는 향후 더 먼 거리에 걸쳐 더 높은 데이터 전송률 실현을 목적으로 함

● 관련 연구기관 및 프로젝트

- **(SILQUA)** 이 프로젝트는 프라운호퍼(Fraunhofer) IOF가 주도하며, 데이터 센터와 위성 통신을 위한 고성능 광학 칩을 설계하는 데 중점을 둬. 또한 레이저 통신 효율을 높이기 위한 솔루션을 연구하며, 에너지 효율적인 실리콘 포토닉스 기술 개발에 기여하고 있음
- **(아베 광자학 센터(Abbe Center of Photonics, ACP))** ACP는 광학 및 광자학 분야의 기초 및 응용 연구를 수행하고 있으며, 이를 통해 소재 및 광 패키징, 더 나아가 양자기술발전에 기여하고 있음
- **관련 Horizon Europe 프로젝트**
 - Fraunhofer IZM이 주도하는 **H2020 MASSTART 프로젝트**는 차세대 800G 및 1.6T 트랜시버를 위한 새로운 조립 및 테스트 패러다임을 구축하여 온보드 구성을 포함하고 강력하고 저렴한 비용으로 높은 데이터 처리량을 달성하는 것을 목표로 함. 이 프로젝트는 테라비트 시대의 트랜시버 대량 생산에 중점을 둬
 - **INPHOMIR 프로젝트**는 나노 위성 기반 우주 탐색 및 자율 항법과 같은 혁신적인 기술에 필수적인 소형 고효율 감지 장치 개발을 목표로 함. 특히, 이 프로젝트는 근적외선 및 중적외선 파장에서 작동하는 단일 광자 집적 회로(PIC) 빌딩 블록의 경쟁력 있고 독립적인 유럽 공급망을 구축하고자 함
 - **PICABOO 프로젝트**는 인듐 인화물(InP) 기반 광자 집적 회로(PIC) 기술을 활용하여 차세대 광 네트워크를 위한 혁신적인 솔루션을 개발하는 것을 목표로 함. 특히, 이 프로젝트는 메트로 네트워크와 수동 광 네트워크(PON)의 성능을 향상시키고 비용 효율적인 광자 집적 기술을 구현하기 위해 설계되었음. PICABOO는 고속 데이터 전송과 에너지 효율성을 극대화하는 데 중점을 두며, 이를 통해 유럽 내 광자 기술 생태계를 강화하고 글로벌 경쟁력을 확보하고자 함

1.10 실리콘 포토닉스 기반 AI 모델 연구

● 개요

- **(기존 전자 기반 AI 모델의 한계)** 전자 기반 AI 모델은 데이터 처리와 전송 과정에서 높은 에너지 소비와 지연(latency) 문제가 발생함. 특히, 대규모 언어 모델(LLM)과 같은 고성능 AI 워크로드는 데이터 이동이 빈번하여 전력 소비가 급증하고, 데이터 센터의 열 관리 및 확장성에 큰 제약을 초래함. 또한, 전자 기반 시스템은 병렬 처리 효율이 제한적이며, 대규모 데이터를 실시간으로 처리하는 데 한계가 있음
- **(광기반 AI 모델의 필요성)** 광기반 AI 모델은 빛을 이용해 데이터를 처리하며, 기존 전자 기반 시스템 대비 여러 가지 장점을 제공
 - **에너지 효율성:** 광자는 열을 거의 발생시키지 않아 에너지 소비를 크게 줄일 수 있음
 - **고속 데이터 처리:** 광학 신호는 초고속으로 전송 및 병렬 처리가 가능하며, 대규모 데이터 워크로드를 실

시간으로 처리할 수 있음

- **대역폭 증가:** 광학 시스템은 넓은 대역폭을 활용해 더 많은 데이터를 동시에 처리할 수 있음
- **지연 감소:** 데이터 이동이 줄어들어 시스템 지연이 크게 감소함
- **(기술적 한계)** 광기반 AI 모델은 혁신적이지만 몇 가지 기술적 과제도 존재함
 - **제조 및 패키징 문제:** 광학 부품의 정밀한 정렬과 대량 생산이 어렵고 비용이 높음
 - **생태계 부족:** 광기반 시스템 설계와 제조를 위한 표준화된 도구와 산업 협력이 부족
 - **비용 최적화 필요:** 광학 부품의 생산 비용을 낮추는 것이 필수적
 - **하이브리드 통합:** 기존 전자 시스템과의 통합 및 호환성이 기술적 도전 과제
- **(주요 연구)** 광섬유를 활용하여 빛으로 이루어진 신경망을 기반으로 한 AI 시스템 개발. 이 시스템은 전자 회로 대신 빛을 사용하여 AI의 처리 속도와 에너지 효율성을 크게 향상시킬 수 있는 가능성을 보여줌. 이는 기존 전자 신경망의 한계를 극복하며, 미래의 광 기반 AI 기술에 중요한 영향을 미칠 것으로 기대됨

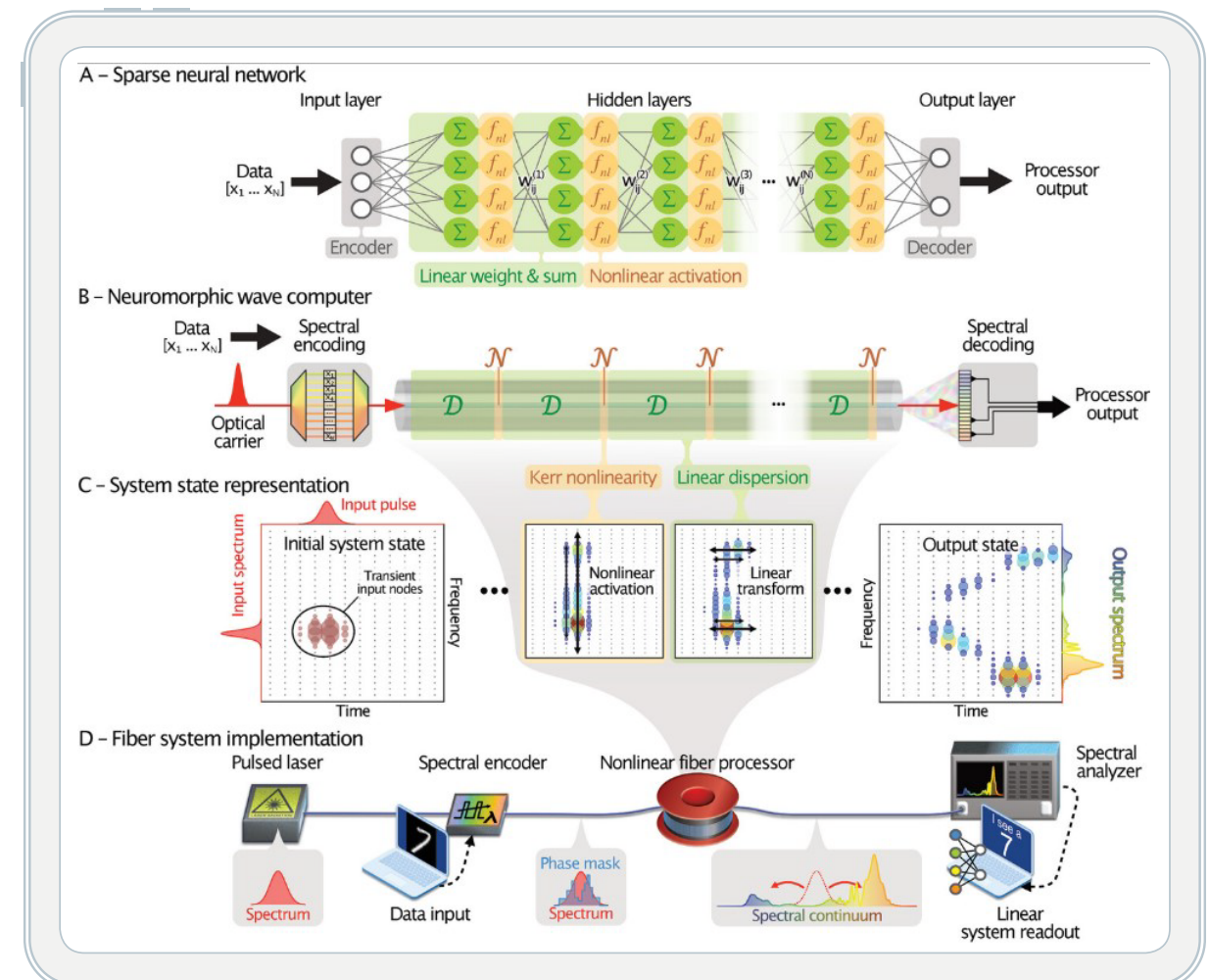


그림 8. 뉴로모픽 파동 컴퓨팅은 신경망처럼 작동하는 시스템을 광섬유를 통해 구현하는 기술. 이 기술은 빛의 특성을 활용해 데이터를 처리하며, 전통적인 전자 기반 컴퓨팅 보다 빠르고 에너지가 효율적¹⁵⁾

15) Fischer, Bennet, et al. Advanced Science 10,35 (2023): 2303835.

● 관련 연구기관 및 프로젝트

- **(Leibniz IPHT)** 독일 예나(Jena)에 위치한 광학 및 광기술 연구소로, 광학 기반 기술을 활용한 혁신적인 연구를 수행하고 있음. 이 연구소는 특히 광자(Photonics) 기술을 활용하여 생명과학, 환경 감지, 양자 기술 및 데이터 통신 등 다양한 분야에서 응용 가능한 첨단 기술을 개발하는 데 중점을 두고 있음. 특히 위 연구와 같이 광섬유 기반 뉴럴 네트워크(DNN) 개발에 주력하며, 실리콘 포토닉스 기술과 AI 시스템의 융합 가능성을 탐구하고 있음. 이 연구는 데이터를 빠르게 처리하고 에너지 소비를 줄이는 데 중점을 두며, 차세대 광학 AI 칩의 개발로 이어질 가능성을 보여줌
- **관련 Horizon Europe 프로젝트**
 - PHOENIX 프로젝트는 차세대 실리콘 포토닉스 기반 광자 집적 회로(PIC) 개발을 목표로 진행되고 있음. 이 프로젝트는 새로운 페로브스카이트 소재(바륨 티타네이트, BTO)와 반데르발스 산화물(VOX)을 활용하여 광신호의 효율적인 제어와 새로운 기능 구현을 목표로 함. 또한, 5G 네트워크, 완전 동형 암호화(Fully Homomorphic Encryption), 심층 신경망(DNN) 추론 및 학습과 같은 고성능 응용 분야에서 PIC 기술의 가능성을 입증하고자 함. 특히, 광학 기반 모델 개발을 통해 전력 소비를 줄이고 성능을 극대화하는 데 중점을 둠

1.11 실리콘 포토닉스 기반 광/양자 컴퓨터 연구

● 개요

- **(기존 전자 기반 컴퓨터의 한계)** 기존의 컴퓨터는 Transistor가 나노미터 영역까지 내려가는 집적도 한계로 인한 양자 터널링 현상과 같은 오류가 발생하기 시작했고, 이로 인한 회로 오작동 및 데이터 손실이 발생하는 한계가 생김. 또한 EUV(Extreme Ultraviolet) 제조 공정의 미세화 한계로 인한 확장성과 반도체 성능 향상의 한계가 발생
- **(광기반 양자 컴퓨터의 필요성)** 광기반 양자 컴퓨터는 빛을 활용하여 데이터를 처리하며, 기존 전자 기반 시스템 대비 여러 가지 장점을 제공
 - **고속 데이터 처리:** Q-bit를 사용하는 시스템으로 전자 기반 컴퓨터 대비 월등한 데이터 처리속도를 보여줌. 병렬 연산에 더 높은 성능을 가지고 있으며 이는 AI 연산 등에 탁월한 성능 기대할 수 있음
 - **높은 에너지 효율:** 빛을 사용하는 시스템으로 전자대비 높은 에너지 성능을 보여줌
 - **기존 광통신 기술 활용:** 광섬유 등 기존 광통신 인프라를 활용하여 시스템 구축 및 확장이 용이함
 - **상온 작동:** 광 기반 양자 컴퓨터는 극저온 환경이 필요 없어 시스템 구축 및 유지 관리가 용이함

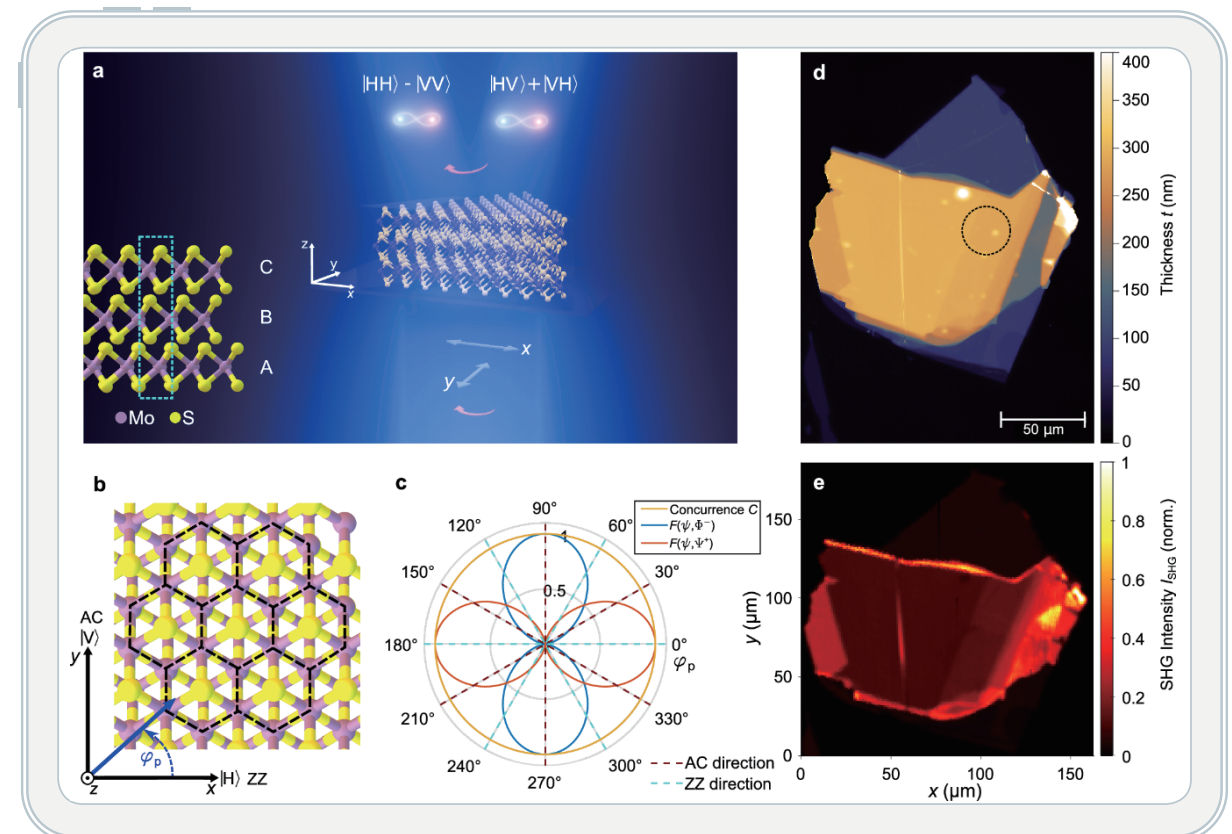


그림 9. 튜닝 가능한 전이 금속 칼코겐화합물 얹힌 광자 쌍 광원(A tunable transition metal dichalcogenide entangled photon-pair source)¹⁶⁾은 2차원 물질인 전이 금속 칼코겐화합물(TMD)을 사용하여 얹힌 광자 쌍을 생성하는 혁신적인 접근 방식을 제시함. 연구진은 TMD의 고유한 광학적 특성을 활용하여 기존 방식보다 훨씬 효율적으로 얹힌 광자 쌍을 생성하는 데 성공함. 특히, 생성된 광자 쌍의 파장과 특성을 정밀하게 튜닝할 수 있다는 점은 양자 광학 시스템의 유연성을 크게 향상시키고, 다양한 응용 분야에 적용 가능성을 넓혔음¹⁶⁾

● 관련 연구기관 및 프로젝트

- **(Max Planck Institute for the Science of Light)** 막스 플랑크 빛 과학 연구소는 빛의 기본적인 특성과 상호작용을 탐구하는 세계적인 선두 연구 기관임. 특히, 양자 광학 분야에서 뛰어난 연구 성과를 보여주며 현대 물리학 발전에 크게 기여하고 있음
- **(QUANTERA UTP4Q)** 이 프로젝트는 마이크로 전사 프린팅 기술을 활용하여 다양한 재료를 통합, 다기능 양/광자 집적 회로(quantum photonic integrated circuits) 플랫폼을 개발하는 것을 목표로 함. 이 프로젝트는 인듐 비소(InAs) 양자점 이미터, 니오브산리튬 변조기 및 스위치, 초전도 검출기를 실리콘 질화물, 도파관 등을 인터포저에 통합하여 서로 다른 기능들을 통합하여 향후 광/양자 컴퓨터의 실현을 목표로함
- **(UTP4Q)** 이 프로젝트는 광/양자 컴퓨터의 실현을 위한 양자 광학 처리의 여러 기능 기술을 실리콘 질화물 도파관 인터포저에 결합하는 핵심 기술 프레임워크로 마이크로 전사 프린팅을 사용함. 이 프로젝트는 다양한 특성을 가진 여러 빌딩 블록을 단일 SiN 도파관 인터포저에 통합하는 것을 최초로 시도 중

16) Weissflog, Maximilian A., et al. Nature Communications 15,1 (2024): 7600.

2 유럽의 반도체 정책 동향

2.1 개요

- XUV 광원을 이용한 현미경 기술과 관련하여 유럽 내 주요 정책은 반도체 산업의 혁신을 촉진하고, 유럽이 글로벌 반도체 시장에서의 경쟁력을 강화하는 것을 목표로 함
- 이러한 기술은 특히 첨단 반도체 제조와 나노기술 분야에서 중요한 역할을 하며, 유럽연합(EU)과 주요 국가들은 관련 Research and Development (R&D) 지원을 지속적으로 확대하고 있음
- 최근에는 유럽 반도체 전략(EU Chips Act)과 Horizon Europe 프로그램을 중심으로 XUV 기술에 대한 연구 지원이 강화되고 있음

2.2 연구 자금 지원

● Horizon Europe 프로그램

- **(프로그램 개요)** Horizon Europe(2021-2027)은 유럽의 주요 연구 및 혁신 프로그램으로, XUV 광원과 관련된 반도체 검사 연구에 상당한 자금을 지원하고 있음. 2021-2027년 동안 약 955억 유로의 예산이 할당되었음
- **(주요 프로젝트)** EUVPLASMA 프로젝트는 고효율 EUV Lithography를 개발하기 위해 150만 유로의 연구비 지원¹⁷⁾
- **(협력 연구)** Horizon Europe은 EU 회원국 간의 협력 연구를 촉진하여, 기술 혁신을 가속화함. 이를 통해 다양한 연구 기관들이 공동으로 XUV 기술을 발전시키고 있음

● Photonics Partnership

- Horizon Europe 내 Photonics Partnership은 유럽 연합(EU)과 광자학 분야 이해관계자 간의 장기적인 협력 관계
- 유럽 내 주요 광자학 기술, 부품 및 시스템의 집중적이고 지속적이며 시너지 효과적인 개발을 촉진, 혁신적인 광자학 기술을 바탕으로 관련한 다양한 부문으로의 신속한 확산을 장려
- 차세대 광 애플리케이션을 위한 핵심 부품, 시스템 및 프로세스 제공을 통해 유럽의 디지털, 녹색 및 건강한 미래를 위한 광자학의 잠재력 극대화
- 핵심 광자학 기술 및 광자학 응용 분야에서 리더십 유지를 통해 유럽의 기술적 주권을 확보하고, 유럽 경제의 국제 경쟁력 강화 및 장기적인 일자리 창출과 번영을 보장
- 가치 창출 변화 대처에 용이한 생태계 형성을 위한 프레임워크를 제공함으로써 유럽의 광자학 산업 경쟁력 강화, 경제 성장 촉진, 기술적 주권 확보 등을 추구

17) <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/projects-details/31045243/802648/H2020>

- 18개국 이해관계자가 참여하며, 총 6억 9천만 유로 예산 지원 예정¹⁸⁾
- **핵심 분야**
 - 디지털 전환 (예: AI, 5G, Industry 4.0 등)
 - 친환경 기술 (예: 저배출 제조 공정 등)
 - 의료 혁신 (예: 암 진단, 의료 영상 등)
 - 첨단 반도체 제조 및 소재

● 유럽연구위원회(ERC) 지원

- **(ERC의 역할)** ERC는 우수한 연구 프로젝트에 대한 자금을 제공하고 있으며, 이는 첨단 기술 개발을 촉진함. 특히, XUV 광원 연구에 집중하는 프로젝트들이 많은 지원을 받고 있음¹⁹⁾
- **(예산 할당)** ERC는 XUV 관련 연구에 약 3억 유로를 투자하여, 혁신적인 검사 기술 개발을 촉진하고 있음
- **(우수 연구 지원)** ERC의 지원을 받은 연구 프로젝트들은 세계적인 수준의 기술 개발을 목표로 하고 있으며, 이는 유럽의 기술 경쟁력을 높이는 데 기여

2.3 산업 정책

● 반도체 산업 육성

- **(정책 배경)** 유럽 연합은 반도체 산업의 경쟁력을 강화하기 위해 다양한 정책을 시행 중. 특히, 반도체 생산 능력을 증대하고, 기술 혁신을 촉진하는 것이 주요 목표
- **(구체적 정책)** 유럽 반도체 연합(European Semiconductor Alliance)은 반도체 기술 발전을 위한 협력 플랫폼을 제공하며, 회원국 간의 협력을 촉진함²⁰⁾
- **(산업 투자)** 유럽연합은 반도체 제조 시설에 대한 투자를 확대하여, 글로벌 반도체 공급망에서의 유럽의 위치를 강화하고 있음²¹⁾

● 연구 인프라 강화

- **(인프라 투자)** 유럽은 연구 인프라에 대한 투자를 확대하여, XUV 광원 기술 개발을 위한 첨단 연구 시설을 구축하고 있음. 이는 연구자들이 최첨단 기술을 활용할 수 있도록 지원함
- **(사례 연구)** 독일의 Helmholtz-Zentrum Berlin은 XUV 광원 연구를 위한 첨단 실험 시설을 운영하고 있으며, 이는 유럽 전역의 연구자들이 활용할 수 있음²²⁾
- **(국제 협력)** 유럽의 연구 인프라는 국제 연구 협력을 촉진하며, 글로벌 연구자들이 유럽의 첨단 시설을 활용할 수 있도록 개방되어 있음

18) <https://www.spie.org/news/european-commission-pledges-480-million-euro-for-photonics>

19) <https://erc.europa.eu/advanced-grants>

20) https://joint-research-centre.ec.europa.eu/index_en

21) <https://www.imec-int.com/en/articles/high-na-euvl-next-major-step-lithography>

22) https://www.helmholtz-berlin.de/forschung/oe/be/operation-accelerator/index_en.html

2.4 EU Chips Act

● 개요

- EU Chips Act는 유럽의 반도체 산업을 강화하기 위한 중요한 정책으로, XUV 및 EUV 기술을 포함한 첨단 반도체 검사 장비와 제조 기술의 연구 개발을 적극 지원
- 특히, XUV 현미경 기술은 EU Chips Act에서 강조하는 핵심 분야 중 하나로, 나노미터 단위의 정밀 검사와 고해상도 이미징 기술을 개발하는 데 초점을 맞추고 있음. 이러한 기술은 차세대 반도체 제조 공정의 정확도를 높이는 데 기여하고, 미세 결함을 빠르게 식별하는 데 필수적임

● XUV 기술 지원

- EU Chips Act는 XUV기술이 유럽 반도체 제조업체에서 빠르게 상용화될 수 있도록 연구 및 개발에 막대한 자금을 지원. 또한, EU Chips Act는 XUV 현미경 기술을 통해 7nm 이하의 공정에서 발생하는 미세 결함을 정밀하게 감지할 수 있는 검사 장비를 개발하는 데 목적을 두고 있음
- 이를 위해 유럽 내 주요 연구 기관과 기업들 간의 협력 프로젝트를 촉진하고, 연구 결과의 상용화 및 시장 진입을 가속화하고 있음. 현재 XUV 기술의 높은 비용과 광원 안정성의 문제를 해결하기 위한 추가 연구가 필요하며, 이를 위한 유럽연합의 지원이 계속되고 있음
- 연구 중 발생하는 기술적 한계를 극복하고, 대규모 생산에 적용할 수 있는 방법이 주목받고 있음

● 연구 프로젝트와 예산

- EU Chips Act는 XUV 현미경 기술을 포함한 연구 프로젝트에 대규모 자금을 할당하여, 유럽이 글로벌 반도체 공급망에서 중요한 역할을 할 수 있도록 하고 있음. 이를 통해 XUV 현미경 기술의 발전이 가속화될 전망
- 약 450억 유로의 예산 중 일부가 XUV 현미경 연구 및 관련 인프라 구축에 사용되고 있으며, 이는 차세대 반도체 제조 기술의 혁신을 이끌고 있음
- 주요 목표는 반도체 검사 공정에서의 고해상도 검사 및 결함 탐지 기술 개발임
- 기술의 복잡성, 비용 문제, 생산성 향상을 위한 추가적인 혁신이 요구됨
- 특히, XUV 기술의 상용화를 위한 인프라 구축과 안정성 확보가 중요한 과제로 떠오르고 있음

2.5 Chips Joint Undertaking(Chips JU)²³⁾

- Chips JU는 유럽 집행위원회와 산업계가 협력하여 반도체 및 관련 기술의 혁신과 개발을 촉진하는 프로그램으로, 2021년에 설립
- 반도체 생태계의 강화를 통해 유럽의 디지털 주권을 확보하는 데 중점을 두며 다음을 주요 목표로 함
 - 유럽 내 첨단 반도체 제조 시설을 개발하고 강화
 - 중소기업(SME) 및 스타트업을 위한 혁신적인 R&I 환경 조성
 - 글로벌 공급망에 대한 의존도를 줄이고 유럽 내 생산 역량 증대

23) <https://www.chips-ju.europa.eu/>

3 시사점

- **(기술 리더십 강화)** 유럽은 XUV 광원을 이용한 반도체 검사 기술의 선도자로 자리매김하고 있으며, 이는 글로벌 반도체 시장에서의 경쟁력을 강화하는 데 기여함
- **(산업 협력 촉진)** 유럽의 다양한 연구 기관과 기업 간의 협력을 통해, 반도체 검사 기술의 혁신이 가속화함. 이는 전반적인 기술 발전에 중요한 역할을 함
- **(지속 가능한 발전)** XUV 기술은 에너지 효율적이고 환경 친화적인 반도체 제조 공정을 가능하게 하여, 지속 가능한 산업 발전에 기여함
- **(정책적 지원 강화)** 유럽의 연구 및 산업 정책은 지속적으로 XUV 기술 개발을 지원할 것이며, 이는 장기적인 경제 성장과 기술 혁신을 촉진함
- 유럽은 포토닉스를 AI, 고성능 컴퓨팅, 양자 기술, 친환경 에너지 등 미래 기술을 견인하는 핵심 기반 기술로 인식하고 있으며, 이에 따라 산업과 연구 양면에서 전략적으로 육성 중
- 특히 광 집적 회로(PIC), 실리콘 포토닉스, 양자 통신용 광원 및 검출기 개발 등은 양자 기술 상용화의 필수 요소로, 포토닉스를 단순한 부품 기술이 아닌 미래 양자 기술 실현을 위한 기반 인프라로 인식하고 국가 차원의 투자와 로드맵 수립이 진행되고 있음
- 유럽은 Photonics Partnership, Chips JU 등에서 공공 예산과 민간 자본이 균형 있게 매칭되는 협력 모델을 적극 추진하고 있음. 이를 통해 포토닉스 및 반도체 기술에 있어 정부 주도의 연구개발 지원에 민간 기업의 전략적 참여를 유도하는 파트너십 기반 투자 구조를 구축
- 유럽은 디지털 주권 확보를 위해 반도체 및 포토닉스 생산 능력을 내재화하고 있음. Chips Act를 통해 첨단 제조시설을 구축하고, 대규모 R&D를 통해 수입 의존도를 줄이려는 전략 채택
- 이를 통해 주요 포토닉스 부품(예: 광소자, PIC, 모듈)의 국산화율 제고 및 대량 생산 능력 확보를 위한 투자를 진행하며, 이를 위해 파일럿 라인 및 생산 테스트베드 구축 중
- 유럽은 포토닉스를 양자 컴퓨팅, 양자 센싱, 양자 통신에 필수적인 기반 요소로 간주하고, 이를 Horizon Europe 등과 연계하여 중장기적으로 지원하고 있음. 양자 기술 로드맵 내에 포토닉스 기술을 명확히 위치시키고, 포토닉스 기반 양자 광원, 광통신 네트워크, 집적 소자 기술 등에 대한 집중적인 지원과 기술 인력 양성을 추진
- Chips JU는 유럽 내 중소기업 및 스타트업이 반도체 및 포토닉스 분야에서 혁신적인 역할을 할 수 있도록 R&I 환경을 조성하고 있음. 이를 통해 스타트업과 중소기업의 생태계 진입 장벽을 낮추고, 초기 기술 검증 및 시장 진입을 위한 실증 프로그램, 펀딩 및 규제 지원 중
- 유럽은 포토닉스 기술을 국방, 의료, 계측, 자동차, 산업 자동화 등 광범위한 분야로 확산하고 있으며, 이는 시장 확대 및 기술 고도화를 동시에 달성하는 전략임. 이를 통해 이중 산업 융합(예: 메디컬, 바이오, 에너지 등)을 장려하여 산업적 파급력을 극대화해야 하며, 이를 위해 크로스오버 기술 지원 프로그램을 도입 중

2024 유럽 이차전지 연구 및 정책 동향

작성자 | 김승기
(이차전지 분야 KERC 서포터즈)



유럽은 친환경 전환과 경제 자립을 동시에 실현하기 위해 이차전지 기술 개발과 정책적 대응을 전략적으로 추진하고 있다. EU 배터리법의 도입을 계기로 유럽은 배터리 소재의 지속 가능성, 고체 전해질 기반 차세대 배터리 기술, 재활용 기술 등을 중심으로 연구를 확대하고 있으며, 이에 따라 배터리 생산 과정 전반에 걸쳐 환경적 영향을 최소화하고 자원 순환을 강화하고자 한다. 특히 리튬, 코발트, 니켈 등 희소금속의 의존도를 낮추기 위한 대체 소재 연구와 함께 고체 전해질을 이용한 전고체 배터리 기술은 높은 안전성과 에너지 밀도로 전기차 및 에너지 저장장치(ESS) 분야에 적합한 미래형 기술로 주목받는다.

독일의 MEET 연구센터, KIT의 FestBatt 프로젝트, 스웨덴 옘살라데 등의 연구기관은 전극-전해질 계면 안정성 확보, 고이온전도성 소재 개발, 프로토타입 제작 등에 중점을 두며 기술의 상용화를 위한 기반을 다지고 있다. 또한, 배터리 수요 증가에 따라 폐배터리 재활용 기술의 중요성도 커지고 있으며, 이를 통해 희귀 금속 회수 및 재사용을 위한 건식·습식 공정 단순화, 병합 발전 기술 등 다양한 접근이 시도되고 있다.

정책적으로는 유럽연합이 원자재 수입 의존도를 줄이고 공급망 자립을 실현하기 위해 기가팩토리 건설, 디지털 배터리 여권 제도 도입, 재활용 의무화 등 강력한 규제를 도입하고 있다. 디지털 배터리 여권은 배터리의 생산부터 폐기까지 전 생애 주기를 추적하고 관리할 수 있도록 하여 공급망의 투명성과 환경 책임을 강화하는 핵심 도구로 작용한다. 이러한 기술·제도적 발전은 유럽산 배터리의 경쟁력을 높이며, 전기차 중심 산업 전환 과정에서 유럽 경제의 새로운 성장 동력으로 부상하고 있다.

하지만 대표 기업인 노스볼트의 경영 악화 사례는 유럽 배터리 산업이 여전히 생산 안정성, 비용 부담, 인프라 부족 등의 구조적 문제에 직면해 있음을 보여준다. 동시에 중국 기업들은 유럽 내 직접 투자를 확대하며 시장 영향력을 강화하고 있어, 유럽은 기술 주권과 산업 자립을 위한 민관 협력 강화와 규제의 유연한 운영이 절실한 상황이다.

결론적으로, 유럽은 이차전지 기술을 통해 친환경성과 기술 주권 확보를 동시에 실현하려는 전략을 추진하고 있으며, 고체 전해질 배터리, 재활용 시스템, 디지털 인프라 구축 등을 통해 글로벌 배터리 시장에서 주도권을 확보하고자 한다. 이러한 흐름은 유럽 내 산업 경쟁력을 높일 뿐 아니라, 전 세계 배터리 생태계에도 지속 가능성과 투명성 중심의 패러다임 전환을 촉진할 것으로 예상된다.

1 유럽의 이차전지 연구 동향

1.1 EU 배터리법 도입이 촉발한 유럽 내 이차전지 연구¹⁾²⁾

● 지속 가능한 배터리 소재³⁾

- 배터리 재료 관련 리튬과 코발트, 니켈과 같은 희귀 금속 사용으로 인한 비용 증가가 문제되고 있는데, 특히 코발트 채굴에서 발생하는 환경오염과 생산과정에서 발생하는 탄소 배출을 줄이기 위한 소재 연구가 중심으로 진행 예정
- EU에서는 2030년까지 리튬, 코발트, 니켈의 재활용 소재 사용 목표 비율을 각각 최소 20%, 40%, 30%로 설정하여 자원고갈을 방지하고 배터리 생산의 지속 가능성을 높이고자 함
- 또한 양극재에서 코발트, 니켈 등 희귀 금속을 망간, 철, 알루미늄 등을 소재로 한 양극재 소재로 대체하는 새로운 양극재 개발을 목표로 자원 고갈 문제를 해결하고 비용 효율성을 높일 수 있는 대안을 연구 중
- 철을 사용한 LiFePO₄(LFP)와 같은 희귀 금속을 사용하지 않거나 LiMn₂O₄와 같은 적은 희귀 금속을 사용하는 소재들을 중점적으로 개발
- 독일 바덴뷔르템베르크(Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg, ZSW) 연구소는 리튬의 삽입과정과 탈리과정 중에 LiNiMnO₄ 결정구조의 변화를 관찰하고 여러 전기화학적 방법을 적용하여 효율적인 충방전 전압을 연구⁴⁾

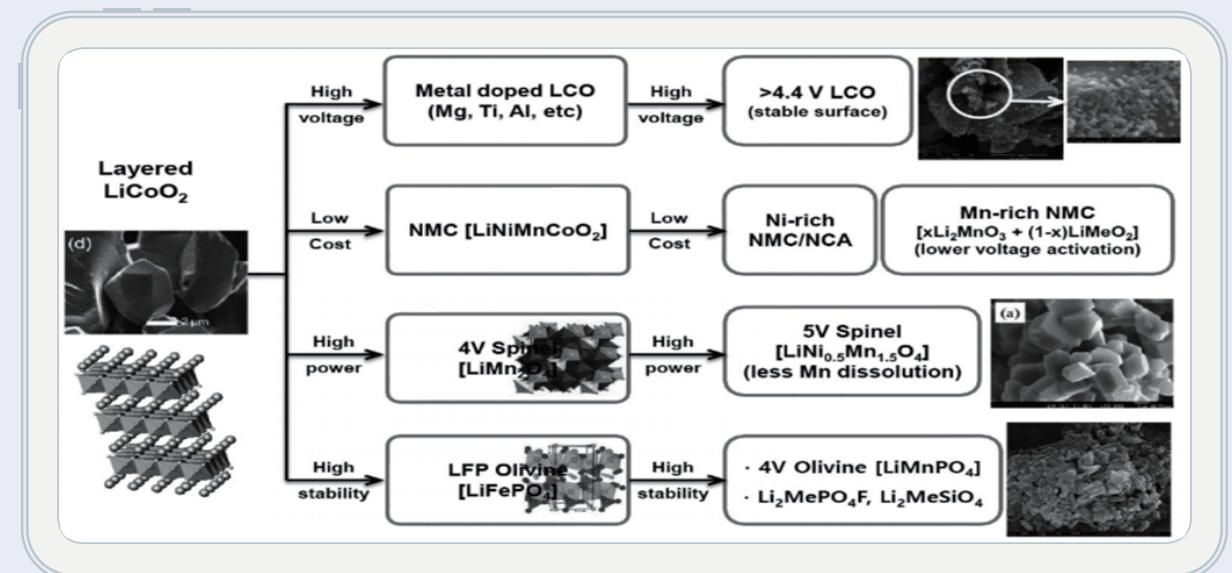


그림 1. 차세대 양극 물질 연구 방향

1) European Commission, (2023), "EU Battery Regulation: Fostering Sustainable and Competitive Battery Value Chains in Europe," <https://ec.europa.eu>

2) The European Battery Alliance (EBA), "Innovations in Battery Technology for a Greener Europe," <https://www.eba250.com>

3) K. Part et al, 20th ISE Topical Meeting (2019)

4) Jobst, Nicola Michael, et al, Journal of The Electrochemical Society 170,2 (2023): 020513

고안정성과 고효율을 갖는 배터리 기술 개발⁵⁾

- 현재 전기자동차(Electric-Vehicle, EV)나 무인기(Drone)와 같은 장치들을 이차전지를 통해 작동시키기 시작하면서 에너지 밀도가 높은 형태의 배터리 소재와 디자인을 요구
- 고속 충전 시 저항으로 인해 온도가 상승하는데 이때 기존 상용화된 액체 전해질은 과도한 열로 분해가 촉진되어 가스를 발생시켜 화재발생 위험이 높음
- 고체 전해질 배터리는 액체 전해질 배터리보다 안전성이 높고 에너지 밀도가 뛰어나므로, 전해질을 고체로 전환함으로써 화재 위험성을 줄일 수 있음
- 고체 전해질 배터리에서의 긴 수명과 더 높은 작동 전압을 제공할 수 있게 개발 중
- 냉각수 혹은 냉각판을 이용하여 배터리를 물리적으로 냉각하는 액티브 쿨링 시스템이나 셀의 소재 혹은 구조 등을 변경하여 자연스럽게 열이 방출되도록 설계하는 패시브 쿨링 시스템과 같은 배터리 열 관리 시스템(Battery Thermal Management System, BTMS)에 대한 연구도 활발히 진행중



그림 2. Batteries Europe/BEPA WG3의 차세대 배터리 전략적 연구 분야 로드맵

배터리소재 재활용 기술 개발⁶⁾

- 배터리를 이용한 장치가 급속히 증가함에 따라 수명을 다한 폐배터리 수가 급속히 증가하게 될 예정
- 배터리 수요가 크게 증가함에 따라 희귀 금속의 비용이 증가했고 폐배터리에서의 금속 회수 기술 중요도가 주목받게 됨
- 유럽 내에서는 건식과 습식공정 과정을 단순화하고 비용을 절감하며 이산화탄소 배출을 줄이는 방향으로 연구가 진행 중

- 재사용과 재활용과정을 따로 분리하지 않고 통합하여 처리과정을 줄이고 비용절감을 위한 새로운 과정을 제시
- 또한 열분해 과정에서 나오는 탄소와 증기를 이용하여 전기에너지를 생산하는 병합발전을 연구 중에 있음
- Horizon 2020 I-BAT 프로젝트는 유체에 잠긴 상태의 냉각 시스템(Immersed Cooling) 개발을 목표로 하고 있으며 고성능 나노유체(Viscoelastic nanofluids)를 이용하여 더 높은 열 플럭스를 처리할 수 있는 방법을 연구 중⁷⁾

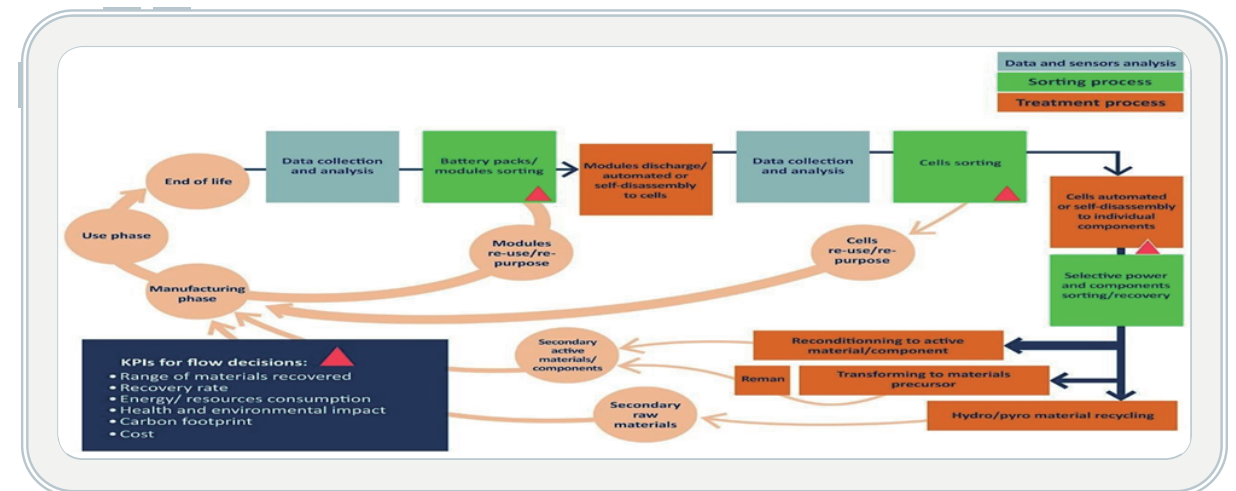


그림 3. 향후 재사용과 재활용 처리과정을 통합한 배터리 리사이클 프로세스

1.2 전고체 배터리와 지속 가능한 배터리 기술

개요

- 유럽에서는 현재 리튬이온 배터리의 지속 가능성, 성능 향상, 재활용 등에 중점을 두고 다양한 연구가 활발히 진행
- 특히, 고체 전해질을 사용하는 전고체 배터리(All-Solid-State Lithium Battery, ASSLB)는 기존 액체 전해질의 안전성 문제를 해결하고 에너지 밀도를 높이기 위한 차세대 기술로 주목받음. 이러한 배터리는 전기차, 드론 등 고에너지 밀도를 요구하는 장치에 적합
- 또한, 유럽연합(EU)은 배터리 생산 시 재활용된 금속의 사용을 의무화하는 등 자원의 순환을 촉진하고 환경적 영향을 최소화하기 위한 정책을 추진. 이를 통해 리튬, 코발트, 니켈 등의 재활용 목표를 설정하고 폐배터리의 수거와 재활용을 강화하여 유럽이 글로벌 배터리 시장에서 경쟁력을 확보하고, 환경 보호와 경제 성장을 동시에 추구하는 방향으로 발전하고 있음을 나타냄

5) Batteries Europe (2023), "Batteries Europe Research and Innovation," <https://batterieseurope.eu>

6) Battery 2030 (2023), "Inventing the sustainable batteries of the future," <https://battery2030.eu/research/roadmap/>

7) I-BAT project., <https://www.horizon2020-ibat.eu/>

● 독일, 뮌스터 대학교(University of Münster), MEET 배터리 연구센터(MEET Battery Research Center)

- MEET 배터리 연구센터는 뮌스터 대학교 내에 위치한 배터리 연구 전문 기관으로, 독일 국가 연구기관인 헬름홀츠 연구소 뮌스터 지부(Helmholtz-Institute Münster)와 협력하여 차세대 배터리 기술 개발에 주력
- 특히, LG에너지솔루션과 함께 프론티어 연구소(Frontier Research Lab, FRL)를 설립하여 리튬-황 배터리 등 차세대 배터리 원천 기술 확보를 위한 공동 연구를 진행⁸⁾
- 프로젝트의 세부 목적 및 활용 가능성으로 전기자동차와 대규모 에너지 저장장치(ESS) 산업에서 활용 가능성이 높은 리튬-황 배터리의 에너지 밀도(Energy Density)와 수명을 획기적으로 개선하고, 황 기반 소재를 활용해 원가 절감과 지속 가능성을 실현하는 동시에 배터리 내 셔틀 효과(Shuttle Effect)⁹⁾를 억제하는 새로운 설계 및 전해질 개발을 추진 중
- 주요 연구
 - 리튬-황 배터리의 에너지 밀도 향상 및 수명 연장
 - 배터리 가격 절감을 위한 새로운 양극재 기술 개발
 - 충전 속도 및 용량 개선을 위한 실리콘 음극재 기술 연구개발을 중점으로 연구 중
 - 전해액 조성 및 전극제조 시 사용하는 슬러리 용매를 친환경소재로 전환하는 친환경공정(Green Process) 개발
- MEET 배터리 연구 센터에서 개발된 리튬-황배터리 기술은 전기차의 주행거리연장, 에너지 저장 시스템의 효율성 향상 등 다양한 분야에서 활용될 수 있고 친환경 공정의 도입을 통해 배터리 제조과정에서의 환경 영향을 줄여 지속가능한 산업 발전에 기여할 것으로 예상

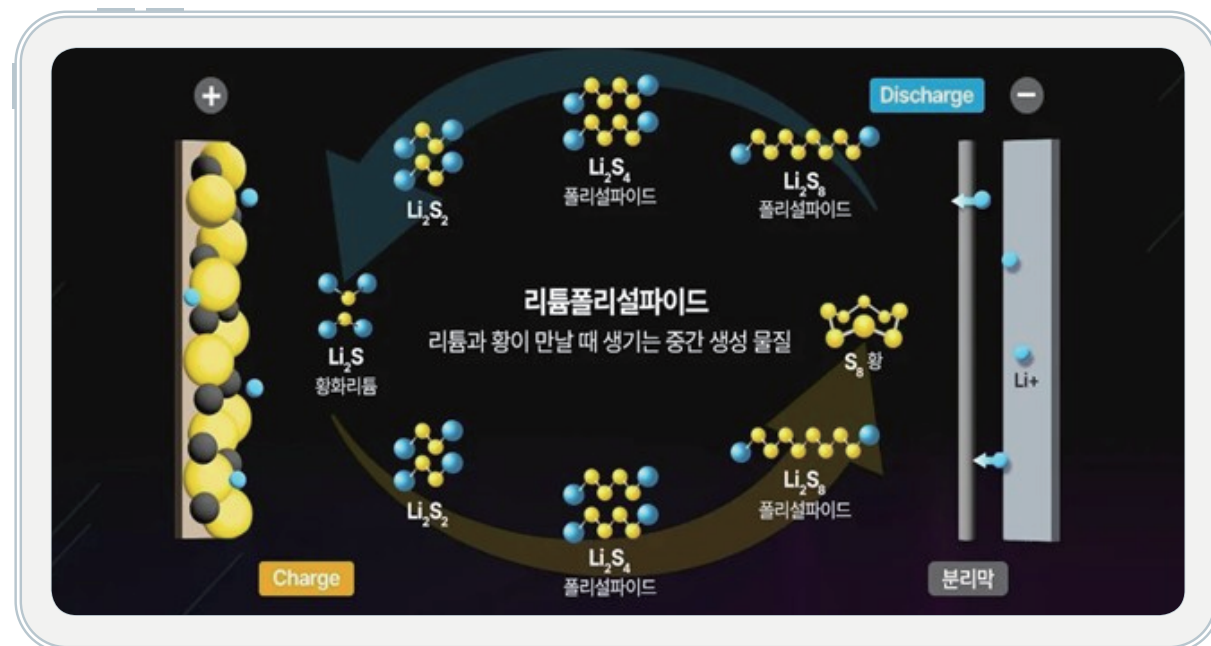


그림 4. 리튬-황 배터리 작동 모식도¹⁰⁾

● 독일, 카를스루에(Karlsruhe)공과대학교(Karlsruhe Institute of Technology, KIT),

에너지저장시스템연구소(Institute for Applied Materials – Energy Storage Systems): FestBatt 프로젝트

- FestBatt는 독일 연방 교육 연구부(BMBF)가 지원하는 고체 배터리 연구를 위한 역량 클러스터로, 2018년에 시작되어 KIT를 포함한 여러 독일 대학과 연구소가 참여하여 고체 전해질 배터리의 기초 및 응용 연구를 진행¹¹⁾
- 주요 목적은 고체 전해질 소재의 개발 및 이를 활용한 전고체 배터리의 성능 향상과 이를 통해 전기차와 에너지 저장 시스템 등에서 안전성과 에너지 밀도를 높인 배터리 기술을 제공하는 것
- 핵심연구 및 현황
 - 고체 전해질 소재 개발: 새로운 고체 전해질 소재를 합성하고 특성을 분석하여 이온 전도도를 향상시키는 연구를 진행 중
 - 전극-전해질 계면 연구: 고체 전해질과 전극간의 계면 저항을 최소화하여 배터리의 효율을 높이는 방법을 탐구
 - 전고체 배터리셀 설계: 고체 전해질을 적용한 배터리셀의 구조를 최적화하여 성능을 극대화하는 연구를 수행 중
- 많은 프로젝트들 중 KIT 연구팀은 Li7La3Zr2O12(LLZO)와 같은 산화물 고체 전해질과 폴리머를 이용한 전해질과 같은 재료 실험뿐 만 아니라 생산 체인 설계와 셀디자인 설계와 같은 생산 연구 등 폭넓은 연구에 참여¹²⁾
- 현재 이 프로젝트는 실험실 단계에서 프로토타입 개발 단계로 진입하고 있으며, 일부 기술은 파일럿 생산을 준비 중에 있음
- 현재 진행상황은 고체 전해질의 이온전도도와 전극과의 계면 안정성 확보가 주요 도전 과제이며 이를 해결하기 위해 다양한 소재 조합과 새로운 제조 공정을 시도중에 있음
- FestBatt 프로젝트의 성과는 전기차배터리의 안전성 향상과 에너지 밀도 증가에 기여할 것으로 예상되며, 향후 대규모 상용화를 통해 유럽의 배터리산업 경쟁력을 강화할 수 있을 것으로 기대

● 스웨덴, 욥살라대학교(Uppsala University),

옹스트롬첨단배터리센터(Ångström Advanced Battery Centre) 연구팀

- 욥살라 대학교의 화학 학부 산하 연구 기관인 옹스트롬 첨단 배터리 센터는 고체전해질을 포함한 차세대 배터리 기술 개발에 주력. 특히, 전고체 배터리의 고체 전해질 소재 개발과 전극-전해질 계면 안정성 향상에 대한 연구를 진행 중
- 프로젝트는 고이온 전도성을 갖는 새로운 고체 전해질 소재의 합성 및 특성 분석, 전고체 배터리의 전극-전해질 계면 안정성 향상을 위한 소재 및 구조 설계, 고체 전해질을 활용한 배터리 셀의 프로토타입 제작 및 성능 평가를 통해 전기차 및 에너지 저장 시스템 등에서 안전하고 고효율의 에너지 저장 장치를 개발하는데 기여하는 것을 목표로 함

11) https://www.gtonline.or.kr/kor/gtbase/all/data/policy/dataView.do?cPage=1&sch_gtbase_cd=&sch_national_cd=&sch_tech_1st_gbn_cd=&sch_tech_2nd_gbn_cd=&searchField=&keyword=&data_sid=232631

12) <https://festbatt.net/en/platforms-and-projects>

8) <https://www.mtnews.net/news/articleView.html?idxno=13739>

9) 충전/방전과정에서생성되는리튬폴리설파이드가전해질로용출(분해)되는현상

10) <https://inside.lgensol.com/>

• 현재 개발 단계

- **고체전해질 소재 개발:** 황화물 및 산화물 기반의 고체 전해질을 합성하고, 그 이온 전도도와 열적 안정성을 평가
- **계면 안정화 기술:** 전극과 고체 전해질 사이의 계면 저항을 최소화하기 위한 코팅 및 계면 공학 기술 개발
- **셀 설계 및 테스트:** 개발된 소재를 활용한 전고체 배터리 셀을 제작하고, 그 전기화학적 성능과 수명의 평가를 중점적으로 연구 중에 있음
- 하지만 고체 전해질의 이온 전도도 향상과 전극과의 계면 안정성 확보가 주요 도전 과제인 만큼 이를 해결하기 위해 다양한 소재 조합과 새로운 계면 공학 기법을 적용한 연구를 진행 중
- 이 연구를 통해 개발된 고체 전해질과 전고체 배터리 기술은 전기차 배터리의 안전성 향상과 에너지 밀도 증가에 대한 기여와 에너지 저장 시스템의 효율성을 높여 재생에너지의 활용도를 증대시킬 것으로 기대

2

유럽의 이차전지 정책 동향

2.1 EU, 원료확보에서부터 규제정비까지의 공급사슬 구축 추진

● 유럽 내에서의 배터리 지역화 및 공급망 강화¹³⁾

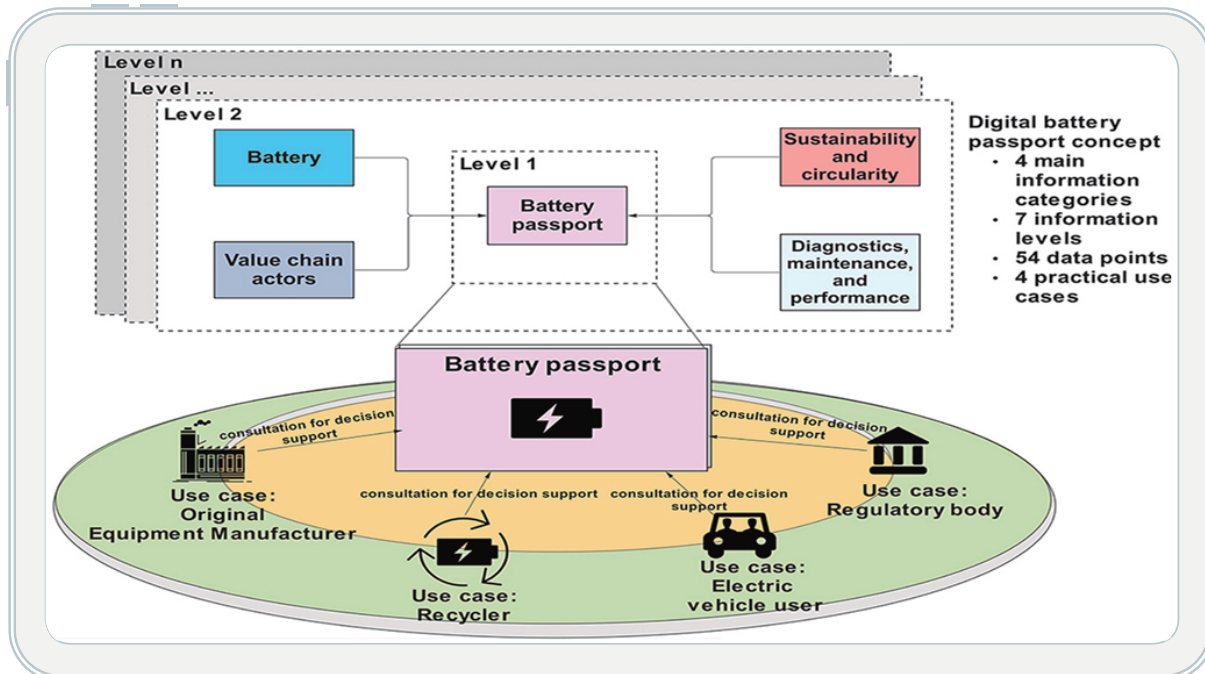


그림 5. 디지털 배터리 여권 시스템을 통한 순환적이고 지속 가능한 발전 모식도

- 기후 변화 대응과 탄소 중립 목표를 달성하기 위해 전기차 보급을 대폭 증가

- 유럽은 그동안 주로 중국, 일본, 한국과 같은 아시아 국가들로부터 배터리와 그 소재들을 수입하였지만, 유럽 내에서 배터리 생산 자립을 하지 못한다면 전기차 산업 전체가 아시아 공급망에 의존할 수밖에 없으므로 장기적으로 경쟁력을 상실할 위험이 있음
- 글로벌 공급망에 의존하지 않고 유럽 내 배터리 생산을 강화하고 있으며, 특히 대용량 저장 장치에 필요한 배터리 생산을 위해 European Battery Alliance(EBA)와 같은 연합체를 통해 유럽에서의 공장 설립과 기술 개발을 지원
- 대형 배터리 생산 공장인 기가 팩토리(Gigafactory) 건설을 가속화하고 있으며 글로벌 시장에서 유럽이 경쟁력을 확보할 수 있도록 지원
- 유럽연합 집행위원회는 프랑스 정부가 15억 유로 규모의 보조금을 대만 배터리 제조회사 프로로지움(ProLogium)에 지급할 수 있도록 승인하고 기가 팩토리를 프랑스 북부 덩케르트에 설립하여 2024년 하반기부터 착공 예정
- 배터리 산업에서 사용되는 리튬, 코발트, 니켈 등 주요 자원은 대부분 아프리카, 아시아 등에서 수입되기 때문에 유럽은 자원 확보를 위한 재활용 기술 개발에 집중
- 배터리의 실 수명 종료 후 재활용 및 재사용을 통해 자원 순환 경제 구축 추진
- 배터리의 생산과 사용 전반을 추적하고 관리할 수 있는 디지털 배터리 여권 시스템(Digital Battery Passport System)을 도입하여 유럽에서 생산된 배터리의 투명성과 지속 가능성 강화 추진
- 디지털 배터리 여권 시스템은 EU배터리법에서 핵심적으로 다루는 전체 수명 주기를 쉽게 파악할 수 있으며 제품의 QR코드를 이용해 재활용된 자원비율과 탄소 발자국 비율을 명시하여 사회적, 환경적 책임을 촉진
- 디지털 배터리 여권 시스템은 2023년 8월부터 점차 도입되고 있으며 실질적으로 2027년 2월 18일부터 적용 예정¹⁴⁾

● 경제적 이익 그리고 순환 경제¹⁵⁾

- 배터리 산업은 고부가가치 산업으로 유럽의 경제성장과 직결
- 기가 팩토리 설립은 대규모 투자와 고용 창출을 가져오며, 탄소중립을 위해 자동차 제조업체들이 전기차 생산라인으로 전환하면서 배터리 산업은 필수적으로 변환되고 이러한 전환 과정에서 경제적 성과 극대화 가능
- 배터리 사업은 독립적인 산업이 아니라 소재 공급, 전기차 제조, 재사용 및 재활용과 같은 연계 산업에서도 새로운 일자리가 창출
- 또한, 혁신적인 산업을 주도하기 위해 R&D 또한 새로운 연구 일자리가 창출되어 유럽 경제 순환으로 기대
- 앞서 기술한 덩케르트의 메가 팩토리의 경우 2030년까지 총 52억 유로를 투자해 3000개의 일자리와 1만 2000개의 간접 일자리를 창출할 것으로 예측¹⁶⁾
- 배터리 수요가 급증하며 친환경, 고성능, 규제 준수라는 강점을 가지고 있는 유럽산 배터리는 큰 경쟁력을 갖추며 유럽 경제 성장의 새로운 원동력으로 나타날 것으로 예상
- 이러한 정책은 유럽에서 생산된 배터리 유럽 내 시장 뿐만 아니라 전 세계로 수출될 가능성도 포함

14) Implementing the EU digital battery passport: Opportunities and challenges for battery circularity, <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/knowledge/implementing-eu-digital-battery-passport-opportunities-and-challenges-battery-circularity>

15) McKinsey & Company, (2021), "Building a European Battery Industry," <https://www.mckinsey.com>

16) Le point, https://www.lepoint.fr/villes/lille-la-revolution-de-l-electrique-17-05-2022-2475858_27.php#11

13) berger,K., Schöggel, J. P., & Baumgartner, R. J. (2022)

2.2 전략적 첨단바이오 정책 목표 및 추진 배경

- EU는 첨단바이오 기술(유전체학, 단백질공학, 합성생물학, 맞춤형의료등)을 글로벌 보건 위기 대응 및 경제 성장, 산업 경쟁력 강화를 위한 핵심 동력으로 인식하고 있음
- 고령화 사회, 만성 질환 증가, 신종 감염병 대응 등 다양한 사회적 요구에 대응하기 위해 첨단바이오 기술에 대한 투자와 지원이 절실함
- 기술 주권과 자율성 강화를 목표로, EU 내부에서 첨단바이오 연구 인프라 구축 및 데이터 공유 체계 확립에 집중하고 있음¹⁷⁾

2.3 유럽의 배터리법과 그 영향

Northvolt의 파산과 EU배터리법 진행의 적신호

- 스웨덴계 Northvolt(노스볼트)는 2024년 11월 미국 법원에 파산보호신청 진행
- 노스볼트는 2015년 피터 칼손과 파울로 세르루티가 테슬라를 떠난 후 설립한 배터리 제조사 SGF 에너지를 기반으로 성장한 기업. 이 회사는 폭스바겐, 골드만삭스, 독일 정부, 유럽연합 등으로부터 150억 달러 이상의 투자를 유치하며 주목받음
- 전기차 시장의 확장과 함께 유럽 내 배터리 공급망을 구축할 핵심 기업으로 기대를 모았지만, 치열한 시장 경쟁과 중국 및 아시아 기업들의 공세 속에서 재정적 어려움을 겪고 있음. 현재 부채 규모는 58억 4,000만 달러에 달하는 것으로 알려짐
- 업계에서는 노스볼트의 위기가 낮은 생산 수율과 배터리 품질 안정성 문제에서 비롯되었다고 분석. 특히 1공장 설비 구축 과정에서 저가의 중국산 장비를 대거 도입한 점과, 대량 생산 경험이 부족했던 점이 주요 원인으로 지적됨
- 이에 따라 생산 과정에서의 안정화가 이루어지지 않으며 지속적인 손실이 발생한 것으로 보임
- 이처럼 현재 유럽의 배터리법을 적용 과정에서 경제적 혹은 정치적 문제가 발생하면서 목표 기간 내에 달성이 어려운 상황
- 재활용 역량 부족:** 유럽은 2030년까지 200만 대의 전기차에 필요한 배터리 소재를 재활용으로 공급할 잠재력이 있지만, 높은 에너지 비용과 재정 지원 부족으로 인해 목표 달성이 어려울 것으로 예상. 현재 EU와 영국의 재활용 역량은 2030년 필요량의 10%에 불과¹⁸⁾
- 또한 배터리 생산 시 탄소 발자국 공개 의무화로 인해, 에너지 믹스에 따라 국가별로 생산 비용에 차이가 발생
- 독일은 재생에너지 비중이 높지만 전체 에너지 믹스에서 화석연료 비중이 상대적으로 높아 배터리 생산 시 탄소 배출량이 높게 계산될 수 있음. 이로 인해 독일에서 생산된 배터리가 다른 국가에서 생산된 배터리 보다 불리하게 평가될 수 있음
- 프랑스, 독일, 스웨덴 등은 유럽 배터리 산업의 경쟁력 강화를 위해 EU 집행위원회에 지원을 촉구. 유럽이 배터리 생산에서 중국에 대한 의존도를 줄이기 위해 관료적 장벽을 낮추고, 승인 절차를 신속하게 진행하며,

17) https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_24_1570

18) <https://www.reuters.com/world/europe/europe-set-miss-potential-battery-material-recycling-2024-12-11/>

재정 지원을 확대할 것을 요구하고 있음¹⁹⁾



그림 6. 노스볼트 개요

어려움 속에서도 진행되고 있는 EU배터리법

- 그럼에도 배터리법은 유럽에서 긍정적으로 나아가고 있음
- 배터리 제조 시 재활용 원료 사용을 의무화함으로써 자원 효율성 및 비용 절감을 위해 코발트, 리튬, 니켈 등 핵심 원자재의 재활용 원료 사용 비율을 높이고자 함. 이를 통해 원자재 수급 안정성을 강화하고, 장기적으로 원자재 비용 절감 효과를 기대
- 초기 배터리법 재활용 원료 사용 비율은 코발트 16%, 리튬 6%, 니켈 6%, 납 85%로 2031년부터 적용되는 수치는 높지 않으나, 2036년부터는 해당 비율이 각각 26%, 12%, 15%, 85%로 상향조정 되어 배터리 생산에서 재활용 원료의 사용이 크게 증가되고 130~240만대의 전기차 배터리 생산을 지원할 수 있는 규모로 예상
- 현재 유럽 내 폐배터리 재활용 설비는 현지 기업이 70%가량 차지. 해외 기업으로는 미국 레드우드 머티리얼즈(레드우드)와 한국 성일하이텍 뿐
- 성일하이텍은 헝가리에 2곳의 폐배터리 재활용 공장을 보유. 제1공장은 연간 1만톤 규모로 배터리 생산 과정에서 나오는 스크랩을 재활용, 제2공장은 전기차 2만대 규모의 폐배터리를 처리하여 총 연간 5만톤의 폐배터리를 재활용 가능²⁰⁾
- 다른 국내 기업들도 유럽 폐배터리 재활용 시장에 진출할 예정. 에코프로는 SK에코플랜트, 폐기물 전문기업 테스와 유럽 시장에 진출한다고 밝힌 바 있음. 이들은 헝가리에 올해 말 준공을 목표로 폐배터리 재활용 공장 설립을 추진
- EU배터리법의 핵심은 배터리 여권(Battery passport)제도로 EU의 환경규제에 부합하는 배터리만 거래가 가능하게 만드는 것임

19) <https://www.reuters.com/technology/france-germany-sweden-urge-eu-battery-sector-push-avoid-china-reliance-2024-11-28/>

20) <https://www.thelec.kr/news/articleView.html?idxno=25993>

- 배터리 여권은 배터리의 생산, 사용, 폐기, 재사용, 재활용 등 전 생애 주기에 걸친 정보를 실시간으로 공유하는 디지털 플랫폼으로 누구나 언제든지 접근할 수 있는 개방형 전자 시스템. 배터리의 투명한 관리와 지속 가능성을 높이는 데 기여할 것으로 기대
- 이 제도는 2020년 세계경제포럼에서 세계 배터리 동맹(Global Battery Alliance, GBA)이 처음 제안한 것으로, 이후 EU가 이를 기반으로 새로운 배터리 규제 초안을 마련하고, 초안은 2024년 3월 유럽의회를 통과
- EU 규제 대상은 용량 2kWh 이상의 산업용 및 자동차용 배터리로, 배터리 여권에는 주요 정보를 상세히 기록해야 함. 여기에는 배터리의 재료 원산지, 탄소 발자국(탄소 배출량을 수치화한 지표), 배터리 내구성, 배터리 용도 변경 및 재활용 이력 등이 포함
- EU의 규제 움직임에 독일과 일본, 중국 등 주요 국가들도 제품 이력 데이터 축적을 통한 '디지털 순환경제' 시스템 구축²¹⁾
- 중국은 2018년부터 '배터리 이력 추적 플랫폼(EVMAM-TBRAT)'을 구축해 전기차 배터리의 재활용 책임·이행 여부를 감독. 중국은 이미 지난해 8월부터 배터리 재사용 분야 기업에 대해 배터리 정보 입력을 의무화해 배터리 이력 정보가 빠른 속도로 축적될 것으로 전망
- 독일은 BMW와 유미코어, 바스프 등 11개 기업은 컨소시엄을 구성해 배터리 정보를 수집·활용하는 '배터리 패스(Battery Pass)²²⁾' 프로젝트에 착수
- 일본은 지난 4월 민간 주도의 배터리 공급망 협의회(BASC)가 EU 배터리 여권과 호환 가능한 '일본식 배터리 공급망 디지털 플랫폼'을 설계해 EU의 배터리 여권 제도 도입에 대응

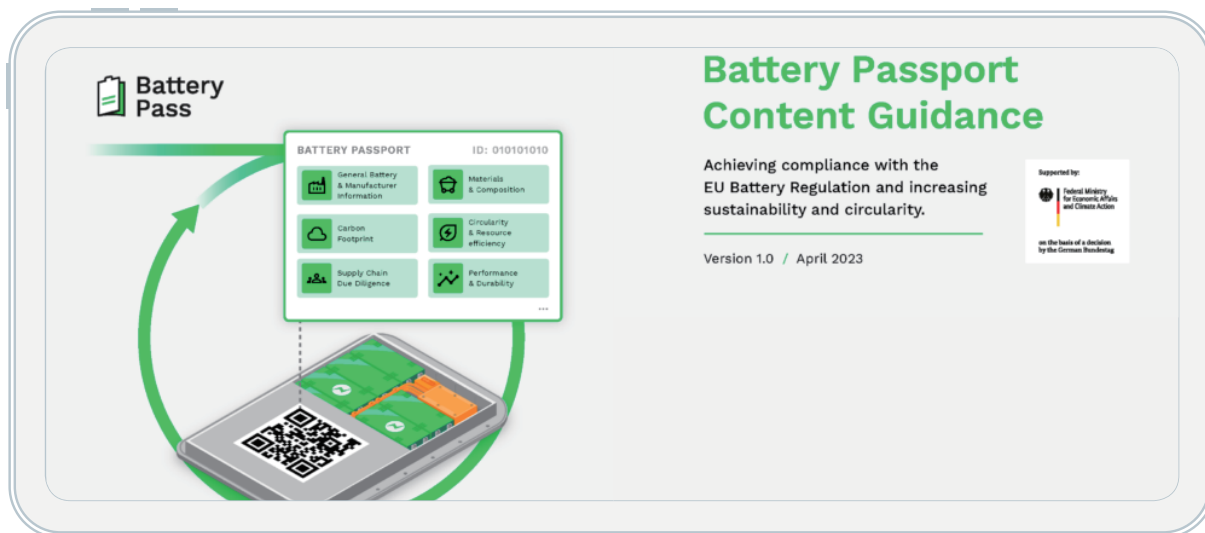


그림 7. 배터리 패스_독일

● 무너진 유럽의 메가플랜트와 중국의 침투

- 노스볼트의 파산 이후, 중국 배터리 기업들의 유럽 시장 진출이 더욱 활발²³⁾
- 세계 최대 배터리 업체 CATL은 헝가리에 73억 유로 규모 배터리 공장을 건설 중. 여기서 그치지 않고 지프, 푸조 등을 소유한 세계 4위 자동차 그룹 스텔란티스와 손잡고 스페인에 41억 유로 규모의 배터리 공장을 추가로 짓는다고 발표
- 최근 고션(Gotion)도 슬로바키아와 모로코에 25억1천400만 유로를 투입해 배터리 공장을 건설한다는 계획을 발표
- BYD 역시 튀르키예에 10억 달러를 투자해 전기차 공장을 설립 중에 있음
- 중국 기업들이 현지 업체와의 협력을 통해 유럽연합 전기차 관세 문제를 돌파하는 전략을 택한 것으로 업계는 보고 있음
- EU는 배터리 공급망 자금자족을 목표로 했으나, 노스볼트 파산으로 계획에 차질이 발생하고 이에 따라 유럽 자동차 제조사들은 중국산 배터리에 대한 의존도가 높아질 것으로 관측

3 시사점

- 유럽의 배터리 자립화를 위한 전략은 전 세계적으로 배터리 자원 확보 경쟁을 촉진할 가능성이 있음
- EU배터리법으로 인한 유럽의 순환경제 모델은 다른 국가들에도 영향을 미치며, 글로벌 배터리 시장에서 친환경 제품 수요가 증가할 것으로 예상됨
- 고체 전해질 배터리와 같은 유럽의 차세대 배터리 기술 개발을 글로벌 배터리 시장에서 기술 경쟁을 가속화할 것임
- 디지털 배터리 여권 시스템과 같이 모든 과정을 추적하고 관리할 수 있는 시스템은 배터리 공급망의 투명성을 강화하고 다른 국가나 기업들이 이를 도입하는 계기가 될 수 있음
- 배터리 산업은 유럽의 친환경 전환과 경제 자립을 위한 핵심 산업으로 자리 잡고 있으나 기업 경쟁력, 규제 환경, 생산 비용 등의 문제로 급변하는 산업 구조에 따른 정책 대응이 요구
- 배터리 여권은 공급망 투명성을 강화하는 핵심 도구가 될 수 있으나 기업의 도입 부담과 데이터 관리 문제 해결이 필요
- 또한, 원자재 출처, 탄소 발자국 등의 정보를 효과적으로 추적하기 위한 디지털 인프라 구축의 중요성이 강조되는 가운데, 중국과 일본은 이미 인프라 구축에 착수
- 유럽 배터리 산업의 대표 기업 중 하나인 노스볼트의 경영악화는 유럽 내 배터리 자급 전략의 취약성을 보여주며, 공공 및 민간 투자의 조화로운 전략수립 필요성 시사

21) <https://www.newspim.com/news/view/20220913000525>22) <https://thebatterypass.eu/>23) <https://zdnet.co.kr/view/?no=20241214154132>

2024 유럽 자율주행 연구 및 정책 동향

작성자 | 안현섭
(첨단모빌리티 분야 KERC 서포터즈)



유럽은 자율주행 기술의 상용화와 경쟁력 확보를 위해 기술개발, 정책정비, 산업 생태계 구축을 포괄하는 전략적 노력을 전방위로 전개하고 있다. 미국과 중국이 자율주행 기술을 선도하는 가운데, 유럽은 ADAS 기반 기술을 중심으로 대중교통 통합 및 도시 교통 최적화를 목표로 한 실증 프로젝트(ULTIMO, SHOW 등)를 통해 차별화된 접근을 시도하고 있다. BMW, 메르세데스-벤츠, 르노 등 주요 완성차 기업들이 각기 다른 기술 수준(L2~L4)을 실험 중이며, Gaia-X와 Catena-X 같은 유럽 데이터 인프라와의 연계를 통해 사이버 보안과 실시간 데이터 처리 역량도 강화하고 있다.

유럽의 다양한 자율주행 프로젝트들은 도시 대중교통 서클에서부터 트럭 주차 문제 해결(SOLP), 경량 전기차 부품 설계(LEVIS), 에코 파워트레인 개발(ECO DRIVE), 정숙하고 고효율적인 트랜스미션 연구(LIVE-I)에 이르기까지 다분야 협력 모델로 추진되고 있다. 특히, KARLI 프로젝트는 인간-기계 상호작용 최적화를 위한 인공지능 기반 시스템을 통해 다양한 자동화 수준에서의 운전자 지원 방안을 제시하고 있으며, 뮌헨의 MCube 클러스터는 도시와 농촌의 이동성 문제를 해결하기 위한 통합 실험 플랫폼을 구축하고 있다.

정책적으로는 EU 집행위가 Horizon Europe 프로그램을 통해 5억 유로 이상의 예산을 투입, 레벨 3·4 차량의 상업화와 데이터 보호 및 공유를 위한 유럽데이터법을 정비하고 있으며, 독일은 2024년 전략 개정과 함께 국가 차원의 조정기구 설립과 규제 간소화를 추진하고 있다. 또한, 독일은 중국과의 기술 협력을 통해 자율주행 및 커넥티드 모빌리티의 공동 표준화를 도모하며 글로벌 수출 경쟁력도 모색 중이다.

한편, 유럽의 자율주행 기술은 하드웨어 기반 역량은 강하지만, 소프트웨어 및 데이터 기반 시스템 통합 역량은 미국, 중국 대비 뒤처지는 한계도 존재한다. 이를 극복하기 위해 유럽은 통합된 인증 체계, 인프라 보급, 사회적 수용성 강화, 공공-민간 간 리스크 공유 구조 마련 등을 병행 추진하고 있다.

결론적으로, 유럽의 자율주행 전략은 자동차 산업의 기존 경쟁력을 바탕으로 안전성과 지속가능성을 중시하는 방향으로 진화하고 있으며, 다층적 실증, 광범위한 정책 조율, 데이터 기반 인프라 강화 등을 통해 글로벌 기술 경쟁에서 주도권을 확보하려는 구체적 노력들이 진행 중이다.

1 유럽의 자율주행 연구 동향

1.1 글로벌 주요 국가의 자율주행 연구 현황

- 미국과 중국은 자율주행 기술의 선도국이며, 중국의 경우 정부의 강력한 지원과 자유로운 데이터 활용 면에서 강점 지님
- EU는 다수의 연구 프로젝트와 ADAS와 연계된 자율주행 심화에 집중하고 있으며, 회원국별 규제 조율에도 많은 노력을 기울임
- 일본과 한국도 자율주행 개발에 적극적이며, 개별적인 규제와 기술 표준화를 통해 상용화에 적극적이라는 점을 특징으로 함

[주요국의 자율주행 연구 현황 및 특징]

국가	주요 연구 및 특징	규제 및 관련 정책	기술적 도전 과제
미국	- 자율주행 트럭, 로보택시 파일럿 프로그램 활발 - 웨이모, 테슬라 등의 선도기업이 주도 - 적절한 기상 환경과 규제 조건을 가진 지역에서 테스트 추진	연방 정부 및 주 정부 차원에서 다양한 규제 존재 하나 일부 주의 경우 상당히 완화된 규제 적용 시도	고성능 하드웨어 개발
중국	- 정부의 강력한 지원과 투자 - 로보택시 상용화에서 두각 - 인공지능 및 데이터 활용 높은 경쟁력	도시별로 규제 상이하나 소비자의 수용도 높음	엣지 케이스 대응을 위한 소프트웨어 개발 및 글로벌 표준에 상응하는 표준
EU	- 다수의 자율주행 연구 프로젝트 추진 - ADAS 기능 규제 강화	UNECE 규정을 기본으로 개별 회원국의 규제 도입 중	국가별 상이한 표준으로 인한 통합 어려움
일본	- 높은 수준의 연구개발 - 완성차 대기업의 참여를 힘입은 L3 자율주행 차량 상용화 추진	독립적인 자율 규제 도입	기술 표준화 및 양산 체제로의 전환
한국	- 완성차 대기업의 적극적인 추진과 정부의 지원을 통한 신속한 개발 역량 - 스마트 시티와 연계된 연구 중심	규제 샌드박스를 통한 신기술 테스트 지원 및 단계적 규제 완화 시도	안전성, 신뢰성 확보와 다양한 조건에서의 실증 테스트 필요

1.2 국가별 대표 실용화 현황(자료원: ADAC¹⁾)

● 미국: 웨이모

구글의 자회사인 웨이모가 미국 샌프란시스코에서 Jaguar iPace 기반 250대 전자동 로봇 택시를 시범 도입한 것이 대표적

- 도로 보수 현장에서 다가오는 차량이나 정지한 차량 같은 복잡도가 높은 운행 상황도 처리할 수 있을 정도의 높은 기술력 선보임
- 그러나 높은 기술 복잡도와 고 비용(시범 차량도 택시와 거의 동일한 요금 지불) 구조 속에서 장기간 보안 취약 없음을 입증해야 하는 숙제 → 2023년 발생한 인명 사고 2건은 높은 신뢰 구축을 위한 초 고도화된 기술 개발의 필요성 지속 제기

● 독일: 완성차 업체 중심

미국보다는 다소 신중하게 개발 중이나 미국의 수준을 빠르게 추격하고자 함

- (BMW) BMW 캠퍼스를 설립, 약 1,700명 전문인력을 통해 초 고도화된 자율주행 소프트웨어 알고리즘 개발에 박차를 가하고 있으며, 실제 교통 환경에서 수집된 데이터 저장을 위해 500페타바이트 용량의 데이터 센터 2기 구축한 바 있음(인류 역사상 기록되고 인쇄된 모든 글자의 5배에 달하는 크기)
- (메르세데스-벤츠) 전 세계 최초로 고속도로 내 완전 자율주행인 드라이브 파일럿 레벨3 사용 승인을 받은 업체, 그러나 최대 60km/h 속도에서만 이 기능 보장
※ BMW도 최신 모델에 한해 연방교통청(KBA)를 통해 130km/h까지 드라이브 어시스턴트 사용을 승인 받았으나 신문이나 핸드폰을 조작하지 않고 도로 주시 필수(레벨2+)
- (폭스바겐) 미국 아르고 AI사와 공동 개발 파트너십을 시도하였으며, 이후 전기차 라인인 ID 시리즈 중 하나인 버즈(Buzz)에 모빌아이에서 제공한 라이다, 레이더, 카메라, 레이저 스캐닝 시스템을 조합한 프로토타입을 테스트 중

● Gaia-X와 Catena-X 와 연계

사이버 공격을 예방하기 위해 트래픽 안전 뿐 아니라 매우 높은 데이터 안전 표준도 보장할 수 있도록 설계되어야 하기 때문에 유럽연합(EU) 데이터 생태계인 Gaia-X와 Catena-X 와 연계 지속적으로 논의 중

- 자율주행 차량은 1분마다 5기가바이트의 데이터를 생성하고 처리하는 것으로 알려짐 → 이는 일반 노트북 15대에 해당하며, 실시간 데이터 기반으로 10초 후의 교통 상황 실시간으로 예측할 수 있는 충분한 데이터 저장·처리 능력 필요

1.3 자율주행 분야 대표 실증 프로젝트

[최근 시작된 유럽연합 내 자율주행 분야 실증 프로젝트]

ULTIMO ²⁾	2023-2026년	약 5,500만 유로
	참여 기관	Fraunhofer IML, NAVYA, DEKRA, TNO 등
SHOW ³⁾	2020-2024년	약 3,600만 유로
	참여 기관	UITP, Siemens, Keolis, Transdev 등
르노-WeRide ⁴⁾	2024년 5월부터	N/A
	참여 기관	Renault, WeRide

• 다양한 도시에 자율주행 셔틀을 배치하여 실험하고, 승객의 경험을 바탕으로 자율주행 기술을 개선하는 데 중점을 둠
• 목표는 대중교통 시스템에 자율주행 차량을 통합하여 효율성과 안전성 증대

• 유럽 전역의 20여 개 도시에서 자율주행 셔틀 및 버스 운영을 통해 도시 교통의 혁신을 꾀함
• 자율주행 대중교통 시스템의 운영 모델을 평가하고 실증하는 것이 목표이며, 이를 통해 환경 친화적이고 효율적인 대중교통 시스템을 구축하고자 함

• 르노 그룹과 WeRide는 2024년 롤랑가로스 테니스 대회에서 자율주행 셔틀 서비스를 시범 운영 예정. 르노의 새로운 전기 미니버스를 기반으로, Level 4 자율주행 기술을 적용함
• 주요 목표는 공공 교통 시스템에서의 자율주행 기술의 실용성과 안전성의 검증

1.4 대표 사례 소개 - KARLI⁵⁾

● 프라운호퍼(Fraunhofer) 광학시스템기술·이미지활용 연구소(Fraunhofer IOSB)와 산업공학연구소(Fraunhofer IAO) 연구팀

콘티넨탈, 포드, 아우디를 포함한 민간 기업, 중소기업, 대학교와 함께 자동차와 운전자가 유기적으로 상호작용할 수 있는 솔루션 개발 중

- 적응형, 반응형, 단계별 상호작용을 위한 인공지능을 의미하는 독일어의 앞자를 딴 KARLI(Künstliche Intelligenz(KI) für Adaptive, Responsive und Levelkonforme Interaktion)로 명명된 이 프로젝트는 자동화 단계 중 2-4 단계와 연동시킬 수 있는 솔루션
- 운전자의 행위를 기록하고 각 수준에 적합한 인간-기계 상호작용 기법을 설계
- 자동화 정도에 따라 운전자는 완전히 도로 상황에 집중하거나 다른 행위를 할 수 있음. 이 경우 운전자는 핸들을 잡기까지 최대 10초가 허용되기도 하고, 어떤 경우에는 전혀 개입이 필요하지 않을 수 있음
- 상이한 사용자 요구사항 및 운전 환경(대개 도로 상황)에 따라 자동화 수준을 결정할 수 있는 능력이 인공지능의 핵심

2) <https://ultimo-he.eu/>

3) <https://show-project.eu/>

4) <https://presse.renault.de/autonomes-fahren-die-renault-group-plant-zeitnah-ein-fahrzeug-mit-level-4-fur-den-offentlichen-verkehr/>

5) <https://www.iosb.fraunhofer.de/en/projects-and-products/karli-adaptive-interaction-autonomous-vehicles.html>

1) <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/ausstattung-technik-zubehoer/autonomes-fahren/technik-vernetzung/aktuelle-technik/>

● 프로젝트가 개발 중인 애플리케이션은 3가지 기능에 방점

- (적절한 수준으로 대응할 수 있도록 운전자에게 경고 또는 정보 제시) 가령 운전자가 도로 상황에 더욱 주의를 요할 경우 행동이 산만해지는 것을 방지하고, 시각, 청각, 촉각의 조합을 적절히 활용할 수 있도록 유도
- (멀미 위험 예상 및 위험 최소화) 20~50%의 운전자가 멀미를 겪을 수 있으며 곡률이 높은 구간을 운행할 때 탑승자의 움직임을 미리 가속도와 일치시킬 수 있는데, 인공지능은 이러한 위험을 미리 알려줌
- (인간-인공지능 간 상호작용 맞춤화) 초 개인화된 상호작용을 지원, 가령 운전자가 도로에 집중하는 경우 간단한 형태로만 정보를 제공. 오직 음성으로만 안내하거나, 시각적인 방식으로만 표시하는 등의 선택적 방안 제공

● 인간의 움직임 파악

이러한 기능의 저변에는 차량 내 외부에 설치된 광학 센서로 내부 상황과 도로 환경 및 이에 적절하게 대응하는 인간의 움직임을 파악하는데 방점

- 데이터 익명화와 높은 수준의 데이터 보호를 보장하고 있으며, 이를 위해 카메라에서 수집된 데이터를 익명화하고 데이터 사용 최소화하여 효과적으로 보호할 수 있도록 설계
- 연구팀은 벤츠 전기차 모델 중 하나인 EQS를 기반으로 실증 테스트 진행 중이며, 2026년에 양산형 버전에서 최초로 기능이 사용될 전망

1.5 LEVIS 프로젝트: 경량형 전기차 설계를 위한 순환형 기법⁶⁾

● 배경 및 필요성

합성 소재(폴리머) 및 하이브리드 소재는 차량 중량을 줄이기 위한 핵심 수단이자 오랜 연구 주제

- 지난 20년간 상당한 진전에도 불구하고, 이를 기반으로 한 소재/부품의 상용되는 소수의 예외를 제외하고는 초소형 특수 모델 또는, 고급 차량에 한정
- 높은 원자재 비용 및 제조 비용, 느린 생산 속도, 그리고 이러한 재료의 신뢰성과 견고성에 대한 우려가 해결되지 않았기 때문

● 개요

유럽연합이 지원하는 LEVIS 프로젝트는 이러한 한계를 극복하고자 제안되었으며, 자동차 부문의 기술 발전과 지속 가능성이라는 두 가지 목표를 실현하고자 함

- 바이오, 재활용 가능 및 재활용 소재 사용 증가, 제품 수명 종료 시 관리를 위한 새로운 기술적 접근 방식 추구

- 생태적 설계 관행을 통합하기 위한 도구와 방법론을 개발하고 환경 및 비용 수명 주기 분석을 수행
- 바이오 자원 및 재활용 탄소 섬유를 사용하여 자동차용 재활용 가능 재료와 구성 요소를 개발하고, 구조적 부품의 수명을 연장하면서 효율적인 분해 및 재료 회수를 가능하게 하는 순환 설계 접근 방식을 도입
- 스케일업을 위해 연구팀은 혁신적인 제조 방법을 도입, 주요 부품에 대한 시연품을 제작, 검증하여 공차 중량을 획기적으로 줄이고자 함

● 연구 내용

구조적 무결성 및 수명 예측을 개선하기 위한 고성능 알고리즘과 소재 분석을 위한 모델링

- 이론적 측면에서 LEVIS는 구조적 무결성을 개선하고 구성요소 수명을 예측하기 위한 고급 시뮬레이션 워크플로우를 시연
- 공정, 재료의 구조 및 특성을 연결하는 다중 규모 모델과 기질 손상에 기반한 강성 저하를 평가하는 피로 모델을 적용
- 연구팀은 열가소성 수지 전이 성형을 위한 공정 시뮬레이션 방법론을 발전시켜 공정 매개변수, 구조적 성능 및 재료 특성 간의 관계에 대한 이해를 획기적으로 향상
- 미시 역학 모델을 통해 복합 재료의 균질화된 기계적, 열적 특성을 계산할 수 있었으며, 이는 구성요소 수준의 시뮬레이션을 위한 매개변수가 되며, 고장 감지를 위한 구조 건전 모니터링 알고리즘도 함께 도입
→ 수치로 본 이점 분해, 재활용 및 새로운 자동차 부품 재사용 방법을 위한 적절한 수명 종료 전략 채택

● 기대효과 및 성과

3가지 부품(서스펜션 컨트롤 암, 배터리 홀딩 세트, 크로스 카 빔)을 통해 전기차 산업에서 경량 소재 통합 시연에 성공

- (기술 혁신) ① 실제 시연품에서 소재 대체를 통한 경량화의 실용성을 입증하여 평균 33%의 무게 감소 달성 ② 원샷 생산 기술 활용한 혁신적인 제조 공정 개발로 생산 비용 절감과 제조 효율성 향상 ③ 자동차 응용에 적합한 새로운 소재 개발 및 검증
- (환경 개선) ① 제품 수명의 모든 단계에서 환경 영향을 최소화하기 위한 에코디자인 원칙 적용 ② 시연품 별 맞춤형 에코디자인 가이드라인 개발 ③ 다중 소재 부품의 최대 85% 재활용성 보장을 위한 수명 종료 전략 수립 ④ 기존 대비 부품 수준에서 지구 온난화 잠재력을 최소 23% 감소시킬 수 있음을 종합적인 수명주기 평가(LCA)를 통해 입증
- (경제적 영향) ① 차량 샤시 및 차체 부품 60% 이상에 LEVIS 기술 적용 가능성 입증 ② 광범위한 시장 적용 가능성과 산업 표준에 대한 상당한 영향력 잠재력 확인

6) <https://greenvehicles-levis.eu/>

● 환경적 이점과 경제적 실현

경량화 기술이 실제 자동차 부품에 성공적으로 적용될 수 있으며, 환경적 이점과 함께 경제적 실현 가능성도 갖추고 있음을 입증

- 수명 주기 비용 분석 결과, 세 가지 시연 모두 벤치마크에 비해 비용이 감소했으며, 그중 두 가지는 20%의 감소라는 프로젝트 목표 달성
- 공차 중량 31% 감소하고 지구 온난화 잠재력이 5.46% 달성
- 에너지 소비율은 5.46% 개선되어 모터 무게를 9kg, 배터리 셀 무게를 16kg 줄임으로써 차량 성능과 에너지 효율성을 동시에 향상

1.6 SOLP 프로젝트: 인공지능 기반 화물차량 주차 공간 확보⁷⁾

● 배경 및 필요성

독일 고속도로(아우토반) 구간 내 졸음 쉼터에 주차 공간 부족은 오랜 문제로 지적

- 규정된 트럭 주차 공간을 찾는 것은 운전자들에게 지속적인 스트레스 요인으로, 주차 공간 부족으로 인해 주차 공간 검색에 너무 오래 걸려 운전 시간 위반, 벌금, 최악의 경우 면허 취소 위험
- 법정 휴식 시간을 반드시 준수해야 하는 트럭 운전자들은 종종 매우 위험한 방식으로 차량을 진입로나 갓길에 주차하는 경우가 있어서 추돌 사고 위험에 노출
 - ※ 독일 화물운송, 물류 및 폐기물 협회(BGL) e.V.의 추정에 따르면, 연방고속도로 주변에 40,000개 주차 공간이 부족하다고 추정

● 개요

독일 연방디지털교통인프라부 mFUND 지원으로 프라운호퍼(Fraunhofer) HHI 연구소는 파트너들과 SOLP(Smart Optimized Lorry Parking) 프로젝트를 통해 이러한 문제를 적극적으로 해결하고자 함

- 트럭 운전자와 운송회사를 위한 AI 기반 예측 시스템을 통해 공공 및 민간 관리 주차 공간에 대한 정보를 제공
- 트럭 운전자들의 주차 공간 검색을 용이하게 하고, 기존 공간을 더 효율적으로 사용하여 사고를 예방하고 고속도로의 교통 흐름을 개선하고자 함

● 연구 내용

기존 접근 방식과 달리, SOLP 추천 시스템은 해당 경로를 정적인 도로 및 주차장 순서로 보지 않고, 교통량, 주차 가능성, 운전 및 휴식 시간의 상호 의존성을 기반으로 잠재적으로 사용 가능한 주차장 도착에 대해 동적으로 예측을 수행

- 시스템은 교통신호등 원칙에 따라 사용 가능한 주차 공간에 대한 정보를 제공
- 빨간색(만석), 노란색(허용된 주차 공간), 초록색(사용 가능한 휴게소)으로 AI 기반 디지털 제안 시스템은 앱이나 차량 내 장치를 통해 운전자에게 경로를 따라 주차장 점유율을 표시
- 예측은 15분 간격으로 갱신되며, AI는 고속도로 네트워크 내 카운터 루프와 주차장의 위치 및 장비, 트래픽 데이터, 텔레매틱스 및 주차장 점유 데이터를 통해 지속적으로 훈련
- 예측을 위해 현재 정보를 분석하고 트럭 운전자의 주행 경로와 실시간으로 연결되어 가용 공간에 대한 예측력을 향상

● 기대효과 및 성과

현재까지의 개발 성과를 토대로 향후에는 선정된 트럭 운전자들이 여러 연방 주에서 파일럿 애플리케이션 테스트 후, 전국적으로 배포할 예정

- 프로젝트 파트너들은 주차장의 더 효율적인 점유와 정체 위험 감소를 기대
- 혁신적인 AI 예측은 주차장 입구에서의 잘못된 주차로 인한 사고를 방지
- 지능형 주차장 검색은 트럭 운전자들의 부담 크게 경감, 즉 법적 휴식 시간을 준수할 수 있는 기회를 제공하고 스트레스를 저감
- 이를 통해 물류 기업들은 더욱 신뢰할 수 있는 배송 계획을 세우고 연료와 비용 절감 가능

1.7 ECO DRIVE 프로젝트: 청정 · 안전 · 저소음 파워트레인⁸⁾

● 배경 및 필요성

EU 2050 기후 중립 목표를 실현하기 위해서는 교통 부문에서 배출 저감 반드시 필요하나, 육상 운송 중 승용차는 EU의 전체 CO2 배출량 약 16% 차지

- 유럽연합은 2035년부터 유럽에서 판매되는 모든 신규 승용차와 밴을 무배출 차량으로만 가능케 하는 법안을 채택하였으며, 전기차 보급은 이 목표 달성에 기여할 전망
- 이러한 배경에서 전기차 시장의 급속한 성장과 함께 소형화된 내연기관, 에코 파워트레인, 하이브리드 파워트레인의 중요성 부각

7) <https://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2024/september-2024/ki-loesung-zeigt-lkw-fahrern-den-parkplatz.html>

8) <https://cordis.europa.eu/article/id/454197-budding-researchers-contribute-to-safer-cleaner-and-quieter-vehicle-powertrains>

● 개요

마리퀴리 액션 프로그램의 지원을 받는 ECO DRIVE 프로젝트는 에코 파워트레인 다이내믹스 테스트 및 시뮬레이션 개발

- 13명의 경력 초기단계 연구원들이 공동 다학제 훈련 및 연구 프로그램에 참여
- 전반적인 목표는 차세대 운송 시스템에서 소음, 진동 및 잡음(Noise, Vibration and Harshness, 이하 NVH) 분야 전문가 양성도 함께 추진

● 연구 내용

연구진이 파워트레인 시스템에서 주목한 현상은 연소시 발생하는 소음, 전기 모터의 불쾌한 소음, 변속기로 인한 NVH, 드라이브 라인의 비틀림 진동

- NVH 분석을 위한 시뮬레이션, 테스트 및 신호 처리 기법, 소형화된 내연기관 엔진 모델, 전기 모터, 획기적인 경량 변속 시스템의 개선 가능성에 주목
- 파워트레인 테스트 장비와 신규 차량을 포함한 실제 산업 환경에 적용
- 또한 이러한 과정에서 유럽 전역에 걸친 탁월한 교육, 에코 파워트레인에 대한 심층 연구, 기업가적 마인드 배양을 위한 중요한 전이 가능한 기술 교육, 미래 자동차 전동화라는 주제를 두루 소화

● 기대효과 및 성과

프로젝트 종료 후, 연구원들은 커리어 전망과 고용 가능성을 크게 개선. 관련 분야 박사과정 수행 또는 산업계 커리어로 전환

- 핵심 기술 개발 이외에도 이러한 형태의 프로젝트는 미래 유럽 자동차 산업을 위한 NVH 엔지니어의 핵심 커뮤니티를 형성한다는 점에서 큰 의의

1.8 LIVE-1 프로젝트: 정숙성, 견고성, 고효율 차량을 위한 경량 트랜스미션⁹⁾

● 배경 및 필요성

지난 수년간 자동차는 안전성과 편의성 향상을 위해 중량이 늘어났지만, 에너지 소비와 온실가스 배출 획기적 절감 필요성 직면

- 모든 부품과 구성요소의 무게를 줄이는 방향으로 관심이 옮겨지는 추세
- 동력 전달에 필수적이지만 차량 중량의 상당 부분을 차지하는 변속 장치(기어박스)가 주된 연구 대상

● 개요

유럽연합이 지원하고 있는 LIVE-1 프로젝트는 자동차 변속 장치의 NVH 문제를 해결하기 위한 학제 간 프로젝트

● 연구 내용

동력 전달 체계 연구를 위한 시뮬레이션과 디지털 트윈 개발

- 기존에 NVH 문제를 해결하는 전통적인 방법은 정적 모델과 기존 소재 중심이었으나, 이는 동력 전달 시스템 내의 복잡한 실시간 상호작용을 정밀하게 이해하는데는 미흡
- 첨단 디지털 트윈 기술과 데이터 기반 시뮬레이션 기법을 사용하여 팀은 다양한 작동 환경에서 NVH 발현 행동을 더 정확하고 동적인 예측 모델을 개발하는데 성공
- 연구팀은 탄소 섬유 강화 중합체 등의 새로운 재료를 가벼운 기어박스 설계에 적용하였으며, 이러한 재료는 기존 금속보다 우수한 특성을 제공하여 강도나 내구성을 희생하지 않고 상당한 무게 감소 실현

● 기대효과 및 성과

연구진은 프로젝트 성과가 지속 가능성과 연료 효율성에 초점을 맞추고 있으며, 이는 온실가스 배출 감소와 저탄소 경제로의 이동이라는 더 넓은 경제적 목표와도 일치함을 강조하였으며, 운전자들이 겪는 NVH 문제를 해결함으로써 운전 관련 스트레스와 피로를 감소

- 동력 전달 시스템의 무게를 줄이고 동적 응답 개선에서 유의미한 결과 보임
- 연구원들은 자기 유변학적 재료와 견인 모터를 액추에이터로 사용하는 능동 및 반능동 진동 제어 시스템을 개발하고 테스트하여 진동 및 소음 수준에서도 상당한 개선 시연
- 그 밖에 기어 메시와 토크 리플과의 상호작용 이해를 위한 테스트 장비도 구축

1.9 뮌헨 모빌리티 클러스터

독일 연방교육연구부는 뮌헨 공대 주도의 통합 모빌리티 클러스터 프로젝트 MCube의 사업 기간을 연장(+3년), 약 1,500만 유로를 지원하기로 결정¹⁰⁾

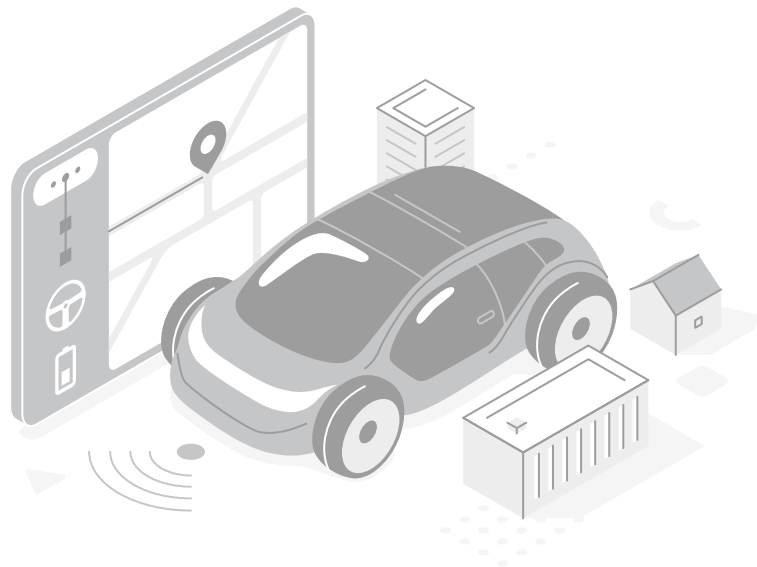
- 지금까지 14개 프로젝트를 중심으로 한 연구, 개발, 실증, 시연 사업이 동시에 추진되었으며 자율 주행, 카셰어링 및 충전 인프라 재고, 임시 실제 실험실에서 도시 생활 공간 모사 등으로 다양
- 2차 사업 기간에 추가(또는 연장)된 9개 프로젝트는 다음과 같음

9) <https://cordis.europa.eu/article/id/452715-lighter-transmission-systems-could-enable-quieter-durable-and-more-energy-efficient-vehicles>

10) <https://mcube-cluster.de/mcube-erneut-vom-bmbf-gefoerdert/>

[MCube 추가 선정 프로젝트 일람]

ComfficientShare 2.0	거주지에서 직접 혁신적인 이동성 솔루션을 제공함으로써 차량 공유 옵션을 확대하여 개인 차량 소유 감소 시도
MobiPionier	도시와 농촌 지역 모두에서 지속 가능한 교통 사용을 촉진하기 위해 모빌리티 예산 및 정책 조합 잠재력 조사
MOSAIQ	녹지와 대체 이동성 옵션을 지능적으로 통합하여 지속 가능하고 살기 좋은 도시 지역 조성
DatSim 2.0	교통 시뮬레이션의 가능성을 확장하여 트래픽에 미치는 모빌리티 혁신 효과 정밀 분석
ASUR	자율적이고 수요 지향적인 이동성 모델(ABM)적용을 통해 농촌 지역의 실질적인 모빌리티 개선
ReFuMoLab_Garching	실제 환경에서 새로운 기술과 이동성 개념을 통합하고 테스트하여 도시 이동성의 미래 청사진 구현하는 리빙랩 프로젝트
WiPa	MCube 클러스터 내 모든 프로젝트를 지원하여 참여 및 커뮤니케이션과 관련된 자문 및 지원 서비스 제공하는 통합 프로젝트
EPURA	MCube 프로젝트에 사업 개발 및 활용 전략을 적용, 광역 도시 지역에서 최대 이익을 창출하도록 보장하는 실용화 프로젝트
ReMIX	모빌리티 혁신의 거버넌스를 개선하고 통합 모빌리티 계획을 위한 모범 사례 개발



2 유럽의 자율주행 정책 동향

2.1 주요 정책 동향

2024년 2, 3분기에 발표된 주요 정책은 다음과 같이 요약됨

[최근 EU와 독일의 자율주행 관련 정책 일람]

실행 또는 제안 주체	2024년 7월	EU 집행위 연구혁신 총국
	호라이즌 유럽 프로그램을 통해 협력적·연결형 자율주행 모빌리티(CCAM)를 위한 5억 유로 투자를 결정하였으며, 이 중 1억 5,900만 유로는 19개 유럽연합 프로젝트에 투입	
	2024년 5월	EU 집행위 모빌리티·운송 총국
	레벨3, 레벨4 자율주행 차량의 상업적 판매를 허용하기 위한 기술 규제 17개를 포함한 광범위한 자동차 안전 규정 개정안 추진 중	
	2024년 5월	EU 집행위
	유럽데이터법 발표를 통해 자율주행차량 데이터 공유와 데이터 보호를 위한 법률 프레임 워크 제시	
	2024년 5월	독일 연방디지털교통부
	자율주행 및 커넥티드 드라이빙을 위한 전략 개정을 통해 인프라, 법률, 연결성, 사이버 보안, 데이터 보호, 사회적 대화 등을 포함한 자율주행 기술 발전과 도입을 통한 구체적 조치 제시	
	2024년 4월	독일 연방디지털교통부
	자율주행 차량의 고도 운행 허가 및 승인 절차와 소유자, 제조사의 의무 등을 상세히 규정	
	2024년 3월	EU공동연구센터(JRC)
	신뢰할 수 있는 인공지능 기반 자율주행차량 안정성 및 사이버 보안 문제 해결을 위한 정책 보고서를 통해 다양한 연구개발 및 도전과제 제시	

2.2 독일-중국 자율주행 분야 협력 추진¹¹⁾

독일 연방디지털교통부와 중국산업정보기술부 장관은 자율주행 및 커넥티드 드라이빙 부문에서 긴밀한 대화와 협력을 위한 공동 선언문에 서명(24.04.16)

- 두 분야는 보다 안전하고 효율적인 모빌리티를 위한 것으로, 독일은 이 기술을 연구실 환경에서 벗어나 실제 환경에 적용하는 중요한 단계에 있음을 언급하여, 공정한 경쟁을 위한 공동 표준 및 규정 개발 중요성을 강조
- 새로운 비즈니스 모델 개발을 위해 상호 데이터 전송이 가능하도록 실질적인 진전을 시도하고자 함

11) <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2024/04/20240416-deutschland-und-china-automatisiertes-und-vernetztes-fahren.html>

UNECE(유엔 유럽경제위원회)와 ISO(국제표준화기구)가 합의한 표준 및 규정에 입각

- 중국의 건설적인 참여는 도로 안전, 국경 간 교통 및 자동차 수출입에 높은 효율을 가져올 전망
- 궁극적으로 독일과 유럽 민간기업의 자동차 및 관련 기술 제품 수출에 긍정적으로 기여할 것으로 기대

2.3 독일: 자율주행 관련 혁신 역량 강화 분석 및 정책 제언¹²⁾

독일 연방경제기후보호부는 솔츠 정부 연정 합의 내용 중 하나인 <자율 주행 및 커넥티드 드라이브 기술 혁신> 목표를 가시화하기 위해 프라운호퍼(Fraunhofer) 산업공학 및 조직 연구소에 의뢰한 연구 보고서 공개(24.02.20)

- 자율 주행 및 커넥티드 드라이브는 정치, 경제, 사회적 관점에서 미래 부문을 대표, 자동차 산업 선도국인 독일은 그 잠재력 최대한 활용 필요성 제기
- 이를 위한 기본적 규제 요건은 충족되었다고 평가되나 실제 구현을 통한 가치 창출과 미래 경쟁력 선점 여부는 미지수
- 레벨2와 레벨3에서 독일 업체들이 주도적인 역할 수행하고 있으나, 레벨4(로봇 택시 및 로봇 셔틀 등) 기반 응용 분야에서는 중국과 미국만이 상용 서비스를 제공

독일이 자율주행 기술력과 응용역량을 확장할 수 있는 국가로서의 위치를 진단하고, 이를 위해 행위자 및 사용 사례 관점을 동시에 논의함과 동시에 아래 2가지 연구 문제로 귀결되는 분야별 조치 및 권장 사항을 도출

- 자율 및 커넥티드 드라이브 시스템 확대를 위해 필요한 기술, 조직, 규제, 표준화, 시장 진출, 가치 창출 관련 과제 발굴
- 독일 자동차 산업이 다른 행위자들과 협력하여 자국을 혁신 선도국으로 자리 매김할 수 있는 방안

보고서는 전문가 설문을 통해 독일 내 행위자들이 관련 기술 시장 및 환경을 다음과 같이 인식하고 있음을 언급

- 소유 vs. 공유 관점 수요 및 비즈니스 기회는 다양, 즉 두 가지 모두 추구
- 레벨4 응용 사례와 관련된 상용화 경험 아직 부족하며 수익성 없음(36%)
- 자율 주행 시스템 승인을 위한 체계 또한 안전하지 않음(29%)

높은 일관성과 통일성 가진 국가 주도 발전 전략(예: 중국)이나 위험 자본에 대한 내성이 높은 대규모 민간 자본에 의존(예: 미국)할 수 없다는 점은 신속한 경쟁력 확보에 제약 요소임을 지적

- 시장 진출에 소요되는 높은 개발 및 통합 비용은 실질적인 가치 창출로의 도약 저해 → 관련 행위자들의 적극적인 투자 대신 소극적 태도 견지

12) <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2024/04/20240416-deutschland-und-china-automatisiertes-und-vernetztes-fahren.html>

(기술 및 시장 현황) 독일 자율주행 시스템, 모빌리티 플랫폼 기술, 차량 제조, 부가가치 서비스 및 인프라 등 핵심 부가가치 분야에서의 혁신 성과는 기업마다 상이

- 국내 자동차 제조업체 및 공급업체의 경쟁력은 대부분 하드웨어에 초점을 맞추고 있으며, 해당 분야 자율주행 및 커넥티드 하드웨어 시스템 영역에서 비교적 강력한 위치를 선점
- 그러나 소프트웨어 및 데이터 기반 모듈, 시스템 통합 역량 부문에서 글로벌 경쟁국 대비 뒤처지며 특히 미국과 중국 테크 기업은 독일 기업보다 훨씬 앞서 있음

[자율주행 및 커넥티드 드라이브 가치 창출 부문 글로벌 수준 비교]

가치 창출 영역	핵심 기술 분야	독일 주요 업체 역량 수준	글로벌 주요 업체 역량 수준
자율 주행 시스템	하드웨어 컴포넌트	중상 (보쉬, 콘티넨탈, ZF, 인피니언, 벡터)	최상 (엔비디아, 퀄컴, 모빌아이, 발레오, 루미나)
	소프트웨어/데이터	중상 (보쉬, 콘티넨탈, ZF, 인피니언, 벡터)	최상 (엔비디아, 퀄컴, 블랙베리, 모빌아이)
	시스템 통합	중상 (보쉬, 콘티넨탈, ZF, BMW, 벡터)	최상 (웨이모, GM, 바이두, 모빌아이, 모셔널)
모빌리티 플랫폼	하드웨어, 소프트웨어, 데이터	중간 (프리카우, 도이체 반, 지역 대중교통 업체)	최상 (바이두, 구글, 우버, 디디, 비아)
EU	자율주행, 커넥티드 드라이브 운영	중간 (베이, 페르라이드, 도이체만, 모이아, 식스트, 마일즈)	상 (바이두, 웨이모, GM, 오토피아, 드라이브유)
자동차 제조	플랫폼, 시스템 제조, 통합, 조립	중간 (폭스바겐, 홀론/벤틀러, ZF, 세플러)	최상 (바이두, 웨이모, GM, 이지마일, Zeekr)
플릿 매니지먼트	수리, 유지보수, 부속 조달 등	중상 (보쉬, 콘티넨탈, ZF, 아우토한델스그루펜)	중상 (엘레멘트, 리스플랜, 홀맨, 힐스)
콘텐츠 및 서비스	엔터테인먼트, 모바일 오피스, 광고, 물류	중하 (4.screen, BMW, 다흐저, DB센커)	최상 (구글, 워치, 마이크로소프트, 아마존)
인프라	지도 데이터, 기지국 통신, 무선 통신, 데이터 통합	중간 (도이체 텔레콤, 보쉬, PTV, 폭스바겐)	중상 (구글맵, 바이두맵, 톰톰, AT&T, 덴소)

이러한 기술 격차와, 자율 주행 서비스 운영 경험 부족에도 불구하고 모빌리티 플랫폼 관점에서는 아직 우수한 위치 점유하고 있으며, 가치 창출 관점에서는 독일 기업이 대체로 중간 정도 수준

- 비즈니스 역량은 전통적 강점을 살려 제조 시스템 및 양산 능력에서 우수하나, 이를 기반으로 한 부가가치 서비스 창출 역량은 취약함을 지적

(도전과제) 자율주행 시스템 구현을 장려하기 위한 제도적 유인책 존재하나 제도 자체가 지나치게 복잡하고 높은 불확실성

- 주로 레벨4 응용과 관련되어 있으며, 상용화 경험 부족, 비즈니스 모델 측면에서 인식된 위험, 기술 및 규제 장애 때문

- 특히 자금 조달 능력과 수익 창출 가능성은 해당 사업에 참여하는 행위자에게 지나치게 높은 위험 요소로 작용
- 또한 선도적인 시도에 대한 보상이 크지 않다는 점은 (무임승차 효과 및 선점자에 대한 각종 불이익) 가치 네트워크의 창출에 저해요소가 되고 이로 인한 교착 상태로 이어짐
- 국내 행위자 중 어떤 주체도 자율 주행 및 커넥티드 드라이브 산업 생태계를 구축하고 시스템적 과제를 극복해야 할 필요성 적음
- 여기에 추가로 높은 시장 성숙도에 대한 기대와, 이에 미치지 못하는 현금 조달 능력 그리고 독일 산업에 대한 신뢰 감소는 부정적인 영향

이를 통해 나열된 17개 취약점을 4개 영역으로 범주화

- **(기술적 과제)** 개별 기술의 미성숙도 보완 및 글로벌 선도력 확보 필요
- **(규제 및 타 영역과의 조화 문제)** 규제 및 승인 절차와 유관 산업과의 유기적 연동 가능성 확실성 부족
- **(시장, 가치창출, 경쟁력 문제)** 실제 응용사례의 확실한 구현을 통한 가치창출 및 글로벌 경쟁력 확보 가능성
- **(사회, 인프라 문제)** 관련 인프라의 신속한 보급, 혁신 기술에 대한 사회 전반의 수용성 이슈 등

이를 토대로 다음과 같은 정부 정책 권고안 제시

- 관련 전략과 조치를 명시적으로 포함한 정부 차원의 의지 표명
- 다양한 응용 사례(유즈케이스) 개발 협력 과정에서 발생할 수 있는 위험 최소화 및 이를 통한 성숙 시장에 근접한 응용 사례 확장 지원
- 자율·커넥티드 주행을 위한 국가 조정 기관(National Coordination Office)을 설립하여 실질적인 장애 요소 파악, 기술 이전 및 조정 역할 수행
- 관료주의적 요소가 없는 국가 단위의 단일 승인 체계 확립
- 불확실성 제거 및 관련 산업 생태계 구축을 위한 적극적인 장애요소 포착 및 극복
- 확장된 응용 사례 적극 도입이 가능한 유럽과 독일 내 조화로운 시장 개발
- 자율·커넥티드 주행 생태계의 근간이 되는 소프트웨어 및 전자 산업을 중심으로 한 혁신국으로서 매력 강화
- 자율·커넥티드 주행 시스템 확장의 근간을 마련할 수 있도록 사회적 대화 지속 추진

2.4 차세대 모빌리티 연구 지원을 위한 호라이즌 유럽 워크 프로그램 Cluster 5¹³⁾

- 유럽연합은 호라이즌 유럽 2023-2024 워크 프로그램의 주요 분야 중 하나인 클러스터5에서 기후 행동, 에너지, 스마트 모빌리티를 포함
 - 2050년까지 유럽 기후 중립 목표 달성을 위한 녹색·디지털 전환 추진을 통해 보다 지속 가능하고 적응력이 우수한 경제, 산업, 사회로 전환을 주된 목표로 설정

- 에너지 효율성과 모빌리티 솔루션을 동시에 발전시키면서도 우려되는 환경 문제들을 해결하는 것을 골자로 함
- 2024년 공모에 배정된 예산은 약 10억 유로

클러스터 5에서 언급한 모빌리티 관련 이니셔티브는 아래와 같음

[호라이즌 유럽 워크 프로그램 클러스터 5 중 모빌리티 관련 분야]

주제	개요	관련 응용 기술
연결·협력·자동화 모빌리티(CCAM)	승객과 화물을 위한 혁신적인 CCAM 기술에 초점을 맞춘 공동 프로그래밍 파트너십	- 사이버 보안이 적용된 차량 내 전자 제어 아키텍처 - 시나리오 기반 안전 보증 기법 - 고성능 주변 환경 인식과 및 의사결정을 위한 인공지능 - 혼합 교통에서의 이기종 행위자 조정
멀티모드 운송·물류	지속가능하고 스마트한 장거리 도심 화물 운송 시스템 개발	- 멀티모드 네트워크 및 교통 관리 최적화 - 화물 운송 탈탄소화를 위한 물류 혁신 기술
청정·경쟁력 있는 운송 솔루션	배출 제로 도로, 항공, 수상 운송 혁신	무배출 구동 및 추진 기술
안전 및 탄력성	운송 안전성 개선과 에너지 의존도 감소	- 커넥티드, 자동화 모빌리티 - 멀티 모드 운송 인프라 및 물류 기술

2.5 독일의 첨단 항공 모빌리티 전략¹⁴⁾

- 독일 연방디지털교통부는 세계 최초로 첨단 항공 모빌리티(Advanced Air Mobility, 이하 AAM) 전략을 발표
 - 아직 상용화되지 않은 드론과 전기 수직 이착륙기(eVTOL) 개발 및 운영의 선도국으로 도약하기 위한
 - 드론과 비행 택시가 항공 모빌리티 부문에서 기술 혁신을 가져오고, 이를 통해 상품과 사람을 위한 새로운 운송 선택지가 됨과 동시에 기후 친화적인 항공의 발전을 위한 핵심 동력으로 삼으려는 비전 제시
- '32년까지 독일 전역에서 AAM 실제 운용, 기술 혁신 선도 및 관련 분야 첨단 기술 일자리 창출, 기후 친화형 항공 발전을 목표로 설정
- (~'26년) 수직 이착륙기와 드론을 위한 테스트 경로(영역) 설정
- (~'28년) 지리적으로 제한된 AAM 구역 지정, 2030년까지 AAM 구역에 지역 교통 체계 편입
- (~'32년) 전국에 운용으로 이어지는 일련의 로드맵 제시하고 이를 위한 6개 실행계획을 정의
 - **(조종 자격 프로그램)** eVTOL 조종을 위한 추가 교육 제공 및 장기적으로 독립적인 VTOL 면허 계획 도입
 - **(인프라 개발)** eVTOL 이착륙을 위한 특수 설비인 버티포트(Vertiport) 구축 및 기존 교통 인프라와 통합
 - **(안전 개념 확대)** 새로운 항공 교통 관리(ATM) 및 무인 교통 관리(UTM) 시스템 도입
 - **(연구 개발 행정)** AAM 기술 역량 강화 및 혁신 촉진을 위한 연구 프로젝트 지원
 - **(규제 프레임워크 조정)** AAM의 안전한 구현을 위한 법적 체계 조정
 - **(투자 촉진)** AAM 이니셔티브를 위한 매력적인 투자 환경 조성

13) https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/cluster-5-climate-energy-and-mobility_en

14) <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/LF/aam-strategie.pdf>

3 시사점

❖ 자동차 산업 패권에 기반한 점진적 시도

- 자율주행 실용화 수준의 솔루션은 전통적인 완성차 업체들의 참여가 필수적인 상황이며, 막대한 자본 투입 또한 민간 부문에서 주도하고 있음
- 기존의 시장 구조를 해치지 않으면서도 최대의 안정성 확보를 통한 인식 확대에 많은 중점을 두고 있음

❖ 다양한 이해관계자의 협력

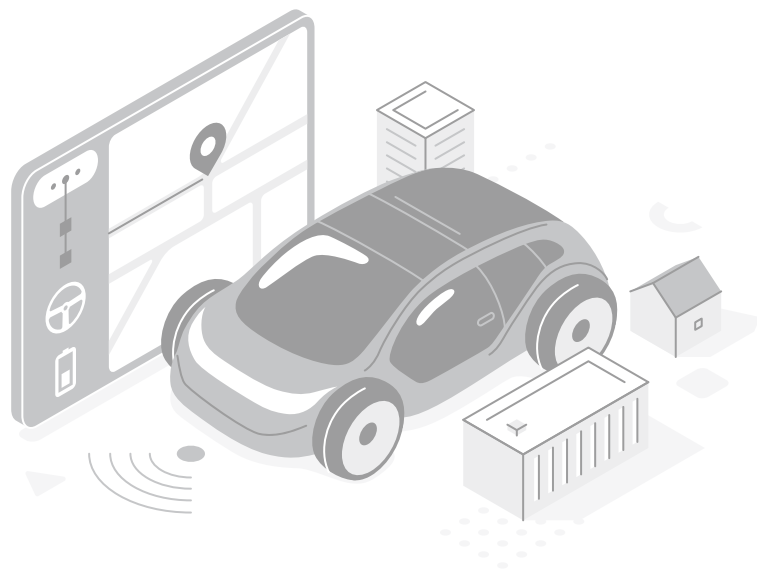
- 대규모 프로젝트들은 다수의 이해관계자들(연구소, 기업, 지방 정부 등)이 협력하여 추진되고 있으며, 이는 자율주행 기술의 발전과 실용화를 위해서는 여러 부문의 협력이 필수적임을 방증

❖ 친환경 및 지속가능성

- 많은 유관 정책과 연구 프로젝트는 환경 친화적이고 지속 가능한 교통 시스템을 구축하는 데 중점(예: 자율주행 셔틀과 버스는 전기차 기반으로 운영되며, 이는 탄소 배출 줄이고 에너지 효율성을 높이는 데 기여한다는 점에 소구)

❖ 표준 및 법규 정비 필요

- 자율주행 기술 도입과 배치에는 표준화된 기술 규격과 법규 정비가 필수적으로, 유럽연합과 각국 정부는 자율주행 기술의 안전성, 데이터 보안, 프라이버시 보호를 위한 법적 프레임워크 마련 중
- 기술의 신뢰성을 높이고, 시장 도입을 가속화하는 데 중요한 역할(최근 개정된 '차량일반안전규정' 및 '유럽데이터법' 도입 등은 대표적 사례)



2024 유럽 선진원자력 시스템·폐기물 관리 연구 및 정책 동향

작성자 | 김경원
(차세대 원자력 분야 KEREC 서포터즈)

유럽은 최근 기후위기 대응과 에너지 안보 확보를 위해 탈원전에서 친원전 기조로 전환하고 있으며, 이에 따라 선진 원자력 시스템 개발 및 방사성폐기물 관리 정책을 전방위로 강화하고 있다. 특히 SMR(소형 모듈 원자로)과 MSR(용융염 원자로) 등 차세대 원자로 기술 개발이 활발히 추진되고 있으며, 핀란드, 프랑스, 스웨덴 등은 사용후핵연료 및 고준위 폐기물의 영구처분시설 건설을 본격화하고 있다.

핀란드의 ONKALO 심층처분시설은 세계 최초로 실제 운영을 위한 시범 단계를 밟고 있으며, 스웨덴은 Forsmark에 처분시설 건설을 허가받았다. 반면 다수의 EU 회원국은 아직 장기 폐기물 관리체계가 미비한 상황이다. 이에 따라 유럽원자력공동체(Euratom)는 회원국에 사용후핵연료 및 방사성폐기물의 전 주기적 관리를 요구하고 3년 주기의 국가 보고서를 통해 관리 수준을 점검하고 있다.

기술 개발 측면에서는 유럽연합과 개별국이 SMR, 고속로, MSR 등 차세대 원자로 기술을 활발히 연구 중이며, 영국, 체코, 핀란드, 이탈리아 등은 실증 및 배치 계획을 세우고 있다. 또한, 독일은 핵연료 실험 장비(KEMS)를 구축해 핵분열 생성물의 거동을 정밀 분석, 프랑스는 원전 해체 과정에서 발생한 오염 구리 전선을 재활용하는 기술을 개발하였다. 영국은 사용후핵연료 저장소의 공간 효율성을 높이는 신행 랙을 도입하고 있으며, 해체조사용 로봇 등의 첨단 기술 적용도 시도되고 있다.

정책적으로는 유럽이 기존 원전과 차세대 원자로를 병행 활용하는 방향으로 에너지 믹스를 재편하고 있으며, EU 차원에서의 Horizon Europe 프로그램, 국가 간 MoU 체결, 국제 공동 연구 등을 통해 협력 기반을 확대 중이다. 스위스는 신규 원전 건설 금지 해제를 추진 중이고, 이탈리아는 원자력 도입 재검토에 착수했다. 유럽 주요국들은 2050년까지 원자력의 비중 확대를 목표로 하며, 다양한 기술과 정책 수단을 활용해 원자력의 지속 가능성, 안전성, 경제성을 동시에 확보하려 하고 있다.

결론적으로 유럽은 차세대 원자력 기술 개발과 더불어 방사성폐기물 처분 기술 및 정책 강화에 주력하고 있으며, 이는 기후중립 달성과 에너지 주권 확보를 위한 핵심 전략으로 자리 잡고 있다. 한국 또한 유럽의 사례를 참고하여 심층처분시설 확보, 국제 공동연구 협력, SMR 배치 전략 등에 적극 대응할 필요가 있다.

1 유럽의 선진원자력 시스템 및 폐기물 관리 연구 동향

1.1 유럽 방사성폐기물 발생 현황 및 전망

● EU

- 2019년 EU 27개국에서 발생한 방사성폐기물은 총 2,334,000m³이며, 전체의 66%는 처분되었고, 34%는 임시 저장 상태임
- 프랑스에서 발생한 방사성폐기물의 부피는 총발생량의 72%를 차지하고, 독일 9.9%, 스웨덴 4.1%, 스페인 2.9% 순으로 방사성폐기물을 발생함
- 초저준위, 저준위 방사성폐기물의 경우 처분된 방사성폐기물이 늘고, 저장 중인 양은 감소하는 것으로 나타났으나, 사용후핵연료, 고준위 폐기물의 경우 현재 처분 가능한 시설이 운영되지 않고 있어 처분되지 않고 발생 국가에서 임시 저장 중임
- 현재 운영 중단이 예정된 원자력발전소 및 원자력 시설로 인해 2030년까지 초저준위 방사성폐기물의 양이 2배로 늘 것으로 예상되며, 다른 종류의 방사성폐기물도 38%에서 73%까지 증가할 것으로 예상
- 중저준위 방사성폐기물 및 사용후핵연료 관리에 있어 현재 운영 중인 처분시설의 부족으로 인해 그 양이 증가하고 있으며, 이를 해결하기 위해 임시 처분시설 및 처분시설을 확보하고자 함

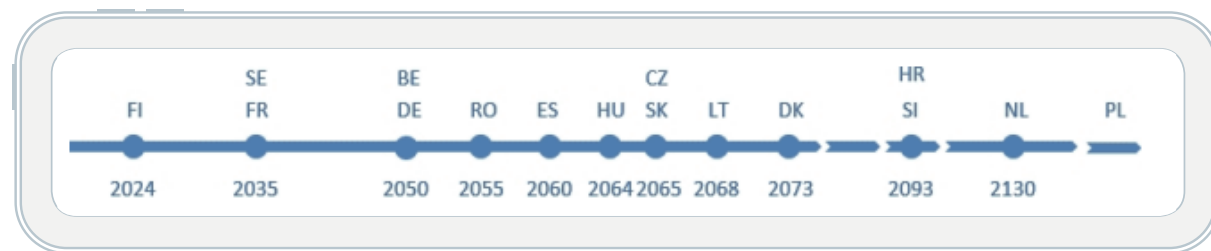


그림 1. EU회원국별 심층 처분시설 운영 개시 계획

● 핀란드

- 2019년 기준 핀란드의 원자력발전소에서 발생한 사용후핵연료는 총 2,261tHM으로 원자력발전소 부지 내 임시 저장 시설에 보관 중임
- 중저준위 방사성 폐기물은 원자력 발전소 부지 내 처분시설에 보관 및 처분하고 있음. 2019년 기준 핀란드에서 보관 중인 저준위 방사성폐기물은 1,691m³, 중준위 방사성폐기물은 1,970m³이며, 각각 6,541m³와 2,117m³의 중저준위 방사성폐기물이 처분됨
- Olkiluoto의 저준위 방사성폐기물 처분 사일로(MAJ 사일로)는 65%, Loviisa의 중준위 방사성폐기물 처분 사일로(KAJ 사일로)는 57%가 채워져 있음
- Loviisa의 저준위 방사성폐기물 보관 시설(HJT 1)은 포화된 상태이며, HJT2와 HJT3는 각각 61%, 16%가 채워져 있음

- Olkiluoto, Loviisa의 원자력발전소 운영 허가 OL3, Hanhikivi 1 원자력발전소의 운영에 따라 2030년에는 약 3,200tHM의 사용후핵연료가 발생할 것으로 예상되며, 2050년에는 약 4,200tHM에 이를 것으로 예상됨
- 2030년, 2050년에 처분될 것으로 예상된 극저준위, 저준위, 중준위 폐기물은 아래 표와 같음

[핀란드 중저준위 방사성폐기물 처분 예상량]

방사성폐기물 종류	2030년 처분 예상량	2050년 처분 예상량
극저준위 방사성폐기물	2,300 m ³	6,900 m ³
저준위 방사성폐기물	8,761 m ³	10,661 m ³
중준위 방사성폐기물	8,278 m ³	9,078 m ³

● 스웨덴

- 2016년 기준 스웨덴에서 발생한 사용후핵연료는 6,758톤으로 모든 사용후핵연료를 습식 방식으로 임시 저장하고 있으며, 중저준위 방사성폐기물은 총 52,800m³가 발생했고 그 중 약 73%인 39,000m³는 처분 되었음
- 2030년, 2050년에 보관 및 처분될 방사성폐기물 및 사용후핵연료의 양은 아래 표와 같음

[2030년, 2050년에 보관, 처분될 방사성폐기물과 사용후핵연료 전망]

방사성폐기물 종류	2030년 예상치		2050년 예상치	
	보관량	처분량	보관량	처분량
극저준위 방사성폐기물	2,000 m ³	52,000 m ³	0 m ³	54,000 m ³
단수명 중저준위 방사성폐기물	30,000 m ³	60,000 m ³	5,000 m ³	140,000 m ³
장수명 중저준위 방사성폐기물	12,000 m ³	0 m ³	10,000 m ³	5,000 m ³
사용후핵연료	9,500 MTHM	0 MTHM	4,000 MTHM	8,000 MTHM

● 프랑스

- 2019년 기준 프랑스에서 발생한 극저준위 방사성폐기물은 396,000m³로 Cires 처분시설에 보관되어 있으며 2028년에 포화될 것으로 예상됨
- 중저준위 방사성폐기물은 로브(L'Aube) 처분시설에 보관 중이며, 2016년 기준 344,918m³의 중저준위 방사성 폐기물이 저장됨
- 고준위 방사성폐기물은 2016년 기준 4,086m³를 임시 저장하고 있으며, 2030년과 2040년에 각각 5,700m³와 6,900의 고준위 방사성폐기물이 발생할 것으로 예상됨

1.2 선진원자력 시스템 연구 동향

● 소형 모듈식 원자로(small module reactor, SMR)

- **(유럽)** 유럽 위원회에서 SMR 개발, 지원 및 상업화를 목표로 납냉각 고속로 2개를 포함한 9개의 SMR 연구 과제를 선정하여 European BWRX-300 SMR(OSGE), Rolls-Royce SMR(Rolls-Royce SMR Ltd), NuScale VOYGR SMR(RoPower Nuclear SA), Thorizon One 프로젝트(Thorizon) 등 SMR을 지원하는 프로젝트를 구성¹⁾
- **(체코)** 체코 원자력 발전소 운영사인 ČEZ가 SMR에 대한 공급업체 선정을 위한 보안 협정을 체코 정부와 체결, 기술 공급업체에 대한 옵션을 설정하고, 2030-2040년 운영을 목표로 45개의 부지 선정 및 투자 모델을 구축²⁾
- **(영국)** Great British Nuclear에서 영국 SMR 프로그램으로써 GE, Hitachi, Holtec, Rolls-Royce SMR, Westinghouse 업체의 SMR을 평가하고 심사하는 협상을 시작하였으며, 투자 결정을 2029년까지 최종 투자 결정을 할 것으로 추진³⁾
- **(한국)** 한국수력원자력 KHNP 중앙연구소에서 i-SMR의 운전 적합성을 검증하기 위한 시뮬레이터 초기 버전을 구축하고 표준 설계를 2025년 12월까지 진행하고 업데이트 작업을 진행해 2027년 상반기에 시뮬레이터를 완성하는 것을 목표로 개발 진행⁴⁾

● 용융염 원자로(Molten Salt Reactor, MSR)

- **(덴마크)** Copenhagen Atomics와 스위스 Paul Scherrer Institute 간 협력 연구 계약을 체결하고 Onion core 원자로 설계를 위한 실험을 진행하여 토륨 용융염 원자로의 설계, 건설, 허가, 운영 및 해체에 있어 검증을 위한 데이터를 확보할 예정⁵⁾

1.3 방사성폐기물 관리 및 핵연료 연구 동향

● (독일) 핵연료에 대한 크누센 방출 질량 분석 장비 구축⁶⁾

- 카를스루에(Karlsruhe)(Karlsruhe)에 핵연료를 사용할 수 있는 크누센 방출 질량 분석(Knudsen Effusion Mass Spectrometry, KEMS) 장비를 구축하여 핵분열 생성물의 거동을 연구
- 정상 조건, 사고 조건에서의 핵연료, 핵분열 생성물의 거동을 평가하고 원전 안전 평가 및 원자로 설계에 필요한 데이터 및 전문 지식을 제공하고 차세대 핵연료 및 사용후핵연료의 처리를 설계하여 사용후핵연료 관리를 개선하는 자료로 활용

- 소형 모듈식 원자로(SMR)의 개발에 있어 용융염을 이용한 핵연료의 성능 및 안전성을 입증하는 자료를 기반으로 향후 차세대 원전에 관한 법령 및 규제에 필요한 정보를 제공

● (핀란드) 온칼로(Onkalo) 사용후핵연료 저장소 시범 운영 시작⁷⁾⁸⁾⁹⁾

- 핀란드 폐기물 관리 회사인 포시바(Posiva)에서 사용후핵연료 저장소에 폐기용 캐니스터를 설치하는 시범 운영 시작
- 430m 깊이의 기반암에서 철-구리 캐니스터, 벤토나이트 완충재, 점토 매립재, 암석의 다중방벽구조로 처분
- 사용후핵연료 없이 모든 시스템과 장비의 공동기능을 테스트하여 실제 최종 처분 작업에 있어 안전한 최종 처분을 검증하는 과정으로 시범 운영 초기 단계 완료
- 3개의 캐니스터 용접 및 비파괴검사를 통해 캐니스터 밀봉의 안정성 및 무결성을 성공적으로 평가

● (프랑스) 폐쇄 원자력 발전소 구리 회수 처리 기술 개발¹⁰⁾

- 프랑스 Veolia에서 오염된 구리 전선 케이블의 피복 플라스틱 코팅을 안전하게 처리하는 기술을 개발
- 오염된 플라스틱 코팅을 제거한 12톤의 케이블에 대한 테스트 결과 구리 전선 심부에 대한 방사능 검사 결과가 안전하며, 재활용 구리 4톤 회수 가능
- 폐쇄된 원자력 발전소의 구리 재활용을 통해 구리 광산에서의 황화구리 추출과 관련한 탄소 배출량을 85% 절감할 수 있으며, 재활용을 통한 구리 자원 순환에 기여

● (영국) 뱀 모양 해체 구역 탐사 로봇 시험¹¹⁾

- 영국 Dounreay 부지에서 뱀 모양의 탐사 로봇 시험을 성공적으로 완수
- 방사선 감지 카메라, 조명, 선량계가 장착된 로봇으로 원자로 내부의 접근이 불가능한 내부 구조에 대한 조사를 통해 해체 전략 수립에 유용한 데이터 획득

● (영국) 사용후핵연료저장소 공간 절약형 랙 설치 적용¹²⁾

- 영국 Thorp 재처리 공장의 첨단 가스냉각로 연료저장소에 공간 절약형 랙을 설치하여 높은 저장 용량 확보
- 무게 7톤, 높이 5.5 m의 스테인리스강 컨테이너로, 기존 랙의 20개의 연료 저장 용량보다 많은 63개를 저장할 수 있으며, 저장 연료 용량을 총 4,000톤에서 6,000톤까지 수용 가능
- 저장물 부식 방지를 위해 pH 값 변경 및 추가 냉각 시설 설치 완료

1) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/first-smr-projects-selected-by-european-industrial-alliance>

2) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/cez-czech-government-agreement-helps-pave-way-for>

3) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/uk-smr-negotiations-begin-with-ge-hitachi-holtec-rolls-royce-smr-and-westinghouse>

4) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/simulator-launched-for-development-of-korea-s-i-sm>

5) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/copenhagen-atomics-enlists-psi-to-validate-reactor>

6) https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/how-testing-materials-high-temperatures-contributes-nuclear-safety-and-carbon-free-future-2024-09-06_en

7) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/trial-run-at-finnish-repository-starts>

8) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/successful-start-to-trial-run-at-finnish-repository>

9) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/test-elements-used-in-trial-run-of-finnish-repository>

10) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/veolia-develops-way-of-recycling-copper-wires-from-nuclear-power-plants>

11) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/slithering-robot-trialed-at-dounreay>

12) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/new-storage-racks-increase-thorp-pond-storage-capacity>

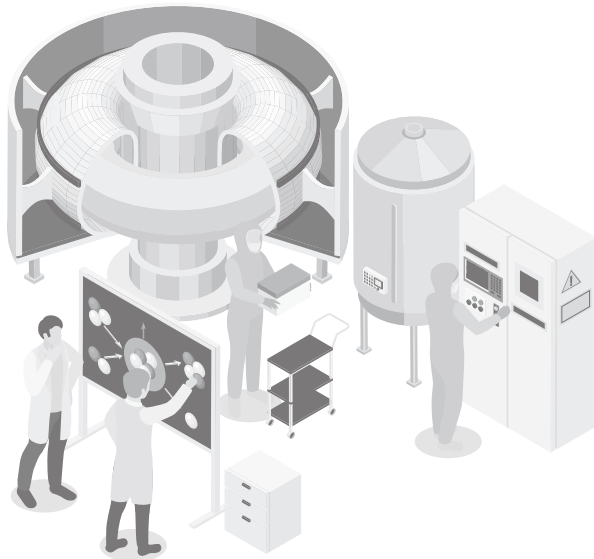
1.4 기타 연구 동향

● (유럽) VERLIFE 지침서 발간¹³⁾

- WWER(water-water energy reactor) 유형의 원자력 발전소의 무결성 및 안정성을 평가하는 가이드라인 VERLIFE 지침을 발표
- 15년간 9개국의 68명의 전문가가 참여해 협업하여 작성되었으며, 가압수형 원자로에 사용되는 지침과 일치
- 원자로 용기 내부, 배관, 지지대 등의 방사선화로 인한 재료의 변형, 열, 충격으로 인한 안정성 평가와 같은 구성요소의 무결성 및 수명을 평가

● (유럽) Open Access 프로젝트, JRC 원자력시설에서의 연구 인프라 프로그램¹⁴⁾

- 유럽연합의 JRC와 DG RTD(Directorate-General for Research and Innovation)의 협력 프로젝트로써, 방사성폐기물의 감소, 원자력에너지 효율성 개선, 핵의학 발전에 기여하는 기술을 개발할 수 있는 Open Access 프로젝트를 시행
- 벨기에 Geel의 EUFRAT 연구실과 GELINA 입자 가속기를 활용한 핵반응, 방사능 및 방사선 연구에 대한 접근 용이
- EUFRAT 연구실에서 Open Access 프로그램으로 교육 및 훈련을 제공하여 EU 회원국의 100명 이상의 연구자가 참여했으며, 그 중 25%의 학생 및 청년 연구자가 참여함
- 네덜란드 Petten의 원자력 시설 및 독일 Karlsruhe의 원자력 시설에서의 연구에 대한 Open Access 프로그램도 진행 중으로, JRC가 시설 사용을 극대화하고 외부 연구자에게 연구의 기회를 제공, 혁신과 개발을 도모



13) https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/verlife-guidelines-ensuring-safety-and-lifetime-nuclear-reactors-2024-10-01_en

14) https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/opening-door-nuclear-technology-tomorrow-2024-06-19_en

2 유럽의 선진원자력 시스템 및 폐기물 관리 정책 동향

2.1 유럽 원자력 공동체(Europäische Atomgemeinschaft, Euratom)

- 유럽 원자력 공동체는 유럽에서의 원자력 산업 및 연구를 조정하고 감독하는 조직으로, 1957년에 설립
- EU 국가 중 20개국에서는 발생하는 방사성폐기물과 사용후핵연료를 자국 영토에서 관리하고 있으며, 방사성폐기물 및 사용후핵연료 운송에 대한 지침에 따라 EU국가 간 수입, 수출, 운송을 할 수 있음
- 모든 EU 국가는 사용후핵연료, 방사성폐기물 관리에 관한 국가 정책 및 프로그램을 수립하고 이행하여야 하며, 모든 유형의 사용후핵연료, 방사성 폐기물에 관한 생성부터 처분까지의 모든 단계에 관리를 요구함
- 2015년 8월부터 3년마다 지침 이행에 대한 국가 보고서를 유럽 원자력 공동체에 제출하고 있으며, 이를 바탕으로 EU 공동체에서의 방사성폐기물 및 사용후핵연료의 현황, 미래 전망에 대한 보고서를 작성함
- 핀란드, 프랑스, 스웨덴의 경우 심층 처분시설의 건설 및 운영에 있어 상당한 진전을 보이고 있으나, 아직까지 중준위, 고준위 방사성폐기물 및 사용후핵연료의 장기 관리에 대한 국가 정책이 시행이 미비한 EU회원국이 더 많음

2.2 핀란드

- 핀란드는 원자력발전소에서 발생하는 방사성폐기물과 사용후핵연료를 핀란드 내에서 영구 처분하는 것을 목표로 1983년 방사성폐기물 관리 연구 및 계획에 대한 정책을 발표했음
- 1994년 사용후핵연료 수출을 금지하는 법 개정이 이뤄졌으며, 1995년 Posiva Oy가 설립되면서 사용후핵연료 처리 및 영구처분을 위한 연구 및 개발을 담당함
- 2000년 Olkiluoto 지역에서 ONKALO 심층 처분 시설 건설을 시작하였으며, 2021년 운영 허가를 신청한 후 2024년부터 운영을 시작할 계획임

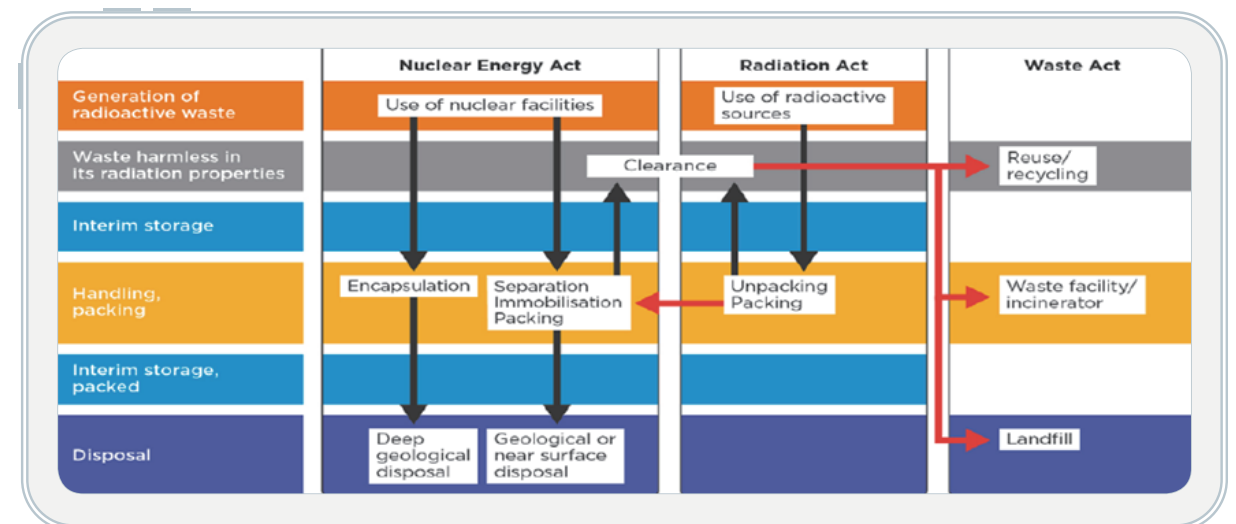


그림 2. 핀란드의 방사성폐기물 발생 및 관리 법안 개요

2.3 스웨덴

- 스웨덴은 원자력 시설의 건설 및 운영에 대한 인허가 및 안전 기준, 방사성폐기물의 안전한 관리와 처분을 규제하는 원자력 활동법을 1984년 제정했으며, 2020년 방사성폐기물 및 사용후핵연료 관리와 관련한 법안을 추가 도입함
- 2018년 방사선 보호법을 제정하여 기존의 방사성 방호 관련 규정을 통합하고 EU BSS(European Basic Safety Standards Directive 2013/59/Euratom)를 반영한 새로운 방사성 방호 기준을 도입
- 스웨덴의 사용후핵연료, 방사성폐기물 처분은 SKB(Svensk Kärnbränslehantering AB, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company)가 담당하고 있으며, 중저준위 방사성폐기물은 SFR 중저준위 폐기물 처분장에서 처분 중임
- 사용후핵연료는 2022년 스웨덴 정부는 Forsmark에 위치한 심층 처분시설의 건설을 허가함

2.4 프랑스

- 프랑스는 1991년 바타이유 법을 채택하면서 방사성폐기물 관리에 대한 구체적인 법적 기반을 마련했으며, 2006년에 제정된 법(No. 2006-739)은 방사성물질 및 방사성폐기물의 지속 가능한 관리를 위한 국가 정책을 설정하고, 방사성폐기물의 양과 유해성을 줄이기 위한 사용후핵연료의 재처리 항목을 포함함
- 2006년 법률에 따라 프랑스는 방사성폐기물 관리를 위해 매 5년마다 국가 계획을 수립하고 있으며, 이를 통해 방사성물질 및 방사성폐기물의 관리에 대한 기존 방법 검토, 연구 및 저장 시설의 필요성 재고, 향후 연구 및 기술을 조직하는 역할을 하고 있음
- 프랑스의 방사성폐기물 관리 및 처분은 Andra에서 담당하고 있으며, 처분시설의 설계 및 운영을 수행하며 방사성폐기물 관리에 대한 책임을 지고 있음
- 방사성폐기물 관리의 안정성을 높이고 국민의 참여를 증진시키고자 2012년, 2016년 주요 관련 법률 및 규정을 개정하였으며, 방사성폐기물 관리에 대한 공론화 절차를 도입

2.5 선진원자력 시스템 정책 동향

● 선진원자력 에너지 정책

- (이탈리아) 2030년 이후 이탈리아에서 원자력발전 프로그램 재개할 가능성에 대한 평가 프로세스를 시작했으며, SMR의 구현 및 지속 가능한 원자력 기술을 기반으로 2050년까지 전력의 22%까지 충당할 수 있을 것으로 계획¹⁵⁾
- (스웨덴, 미국) 원자력에너지 관련 기술의 산업 협력, 기술 개발, 연구 및 혁신을 추진하는 목표로 MoU를 체결해 SMR, 첨단 핵연료 개발, 방사성폐기물 관리, 핵안전 및 보안에 관한 협력 도모¹⁶⁾

- (영국, 미국) EU, 영국, 미국, 한국을 포함한 여러 회원국 간 고속로, 용융염 원자로, 등의 첨단 원자력 기술에 대한 정보 공유 및 자금 조달을 지원하는 제 4세대 원자력 협력 협정을 체결하여 차세대 원자력 에너지 시스템에 대한 연구 개발에 협력을 도모¹⁷⁾
- (EU) 유럽 원자력 동맹 회원국이 유럽 집행위원회(European Commission)에 유럽 저탄소 정책에 있어 원자력 에너지 및 재생 에너지의 기여를 인정하고 EU 공통 전력망 및 전기 시장의 안정을 위해 2024~2029년 기간을 다루는 차기 프로그램에서 원자력 에너지 발전에 대한 지원을 요청¹⁸⁾
- (핀란드, 영국) 핀란드, 영국 간 MoU를 체결해 원자력 에너지 과제, 프로그램, 연구 개발 및 정책과 관련된 양자 간 협력 프레임워크를 구축하고 기존의 원전, SMR을 포함한 기술 포괄 접근 방식을 통해 새로운 원자력 에너지의 배치에 대한 잠재력을 인지하고 협력할 전망¹⁹⁾
- (폴란드, 일본, 네덜란드) 원자력 에너지 부문에서 폴란드-일본 협력에 관한 양해각서를 서명하였으며, 폴란드 원자력규제기관(Poland's National Atomic Energy Agency, PAA)과 네덜란드 원자력규제기관(Authority for Nuclear Safety and Radiation Protection, ANVS) 간 협력 협정을 체결해 원자력 규제 기관에 필요한 기술, 교육 및 정보 협력을 추구²⁰⁾

2.6 방사성폐기물 관리 및 원자력발전소 정책 동향

● 방사성폐기물 관리

- (이탈리아) 이탈리아 원자력 규제기관(ISIN, Ispettorato nazionale per la sicurezza nucleare e la radioprotezione)에서 Ispra 부지에서 발생하는 방사성폐기물의 규제에 대한 처분 절차를 승인하여, 해체 원자로 구역에서 발생하는 시멘트 물질과 200톤이 넘는 금속 폐기물에 대한 방사능 수치를 분석하고 위험이 없음을 보장한 후 처분, 재활용을 할 수 있는 폐기물로 규제할 수 있도록 승인²¹⁾

● 원자력 발전소 정책

- (벨기에) 집행위원회에서 벨기에 원자력 발전소 2기 (Doel 4호기, Tihange 3호기) 수명 10년 연장에 대한 벨기에 국가 지원에 있어 EU 국가 지원 규칙에 부합하는지 심층 조사²²⁾
- (스웨덴) 2035년까지 총 출력 2,500 MWe 이상(대규모 원전 2기 출력)의 원자력 발전소 설치 로드맵에 있어 신규 원자력 발전소에 투자하는 기업에 대한 국가 지원을 제공하는 법안 제안²³⁾
- (스위스) 스위스 정부가 2018년부터 시행된 신규 원자력 발전소 건설 금지령을 해제할 것을 발표해 입법부 수준에서의 원자력에너지법 개정안을 제출해 원자력에너지의 필요성 부각²⁴⁾

17) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/usa-and-uk-sign-civil-nuclear-collaboration>

18) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/alliance-calls-for-support-from-next-european-commission>

19) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/finland-and-uk-to-work-together-under-new-nuclear-energy-pact>

20) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/poland-to-cooperate-with-japan-the-netherlands-on-nuclear>

21) https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/new-clearance-procedure-cut-radioactive-waste-production-decommissioning-activities-jrc-ispra-site-2025-01-10_en

22) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/eu-investigating-belgian-nuclear-extension-financi>

23) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/financing-model-proposed-for-new-swedish-reactors>

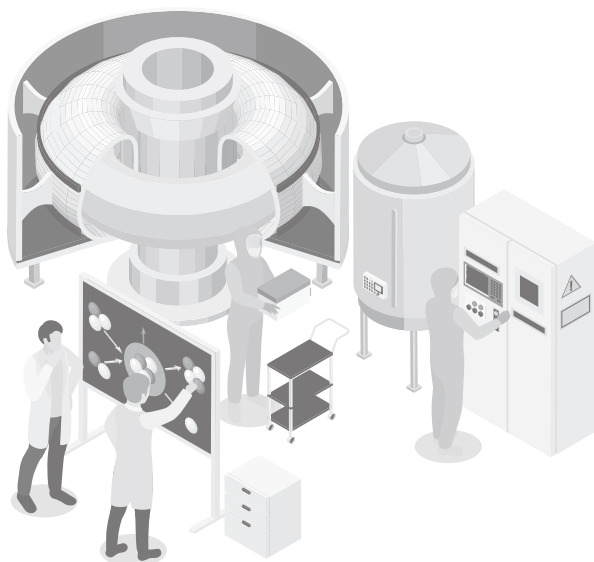
24) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/switzerland-moves-to-remove-ban-on-new-reactors>

15) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/italy-s-electricity-could-be-20-from-nuclear-by-20>

16) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/sweden-usa-agree-to-nuclear-cooperation>

3 시사점

- ❖ 탈원전 기조가 강했던 유럽에서 최근 탄소중립, 안정적인 전력 공급을 이유로 친원전으로 눈길을 돌리며 원자력발전소 운영이 강화될 것으로 전망되고 이에 따라 발생하는 방사성폐기물과 사용후핵연료의 발생은 가속되어 증가할 것으로 예상됨
- ❖ 사용후핵연료 영구처분에 있어 선두 주자로 손꼽히는 핀란드에서도 아직 사용후핵연료를 영구처분하는 시설을 정상 운영하지 못하고 있으며, 스웨덴, 프랑스 또한 2030년 이후를 목표로 건설 및 운영을 진행 중임
- ❖ 사용후핵연료 영구처분에 있어 선두 주자로 손꼽히는 핀란드에서도 아직 사용후핵연료를 영구처분하는 시설을 정상 운영하지 못하고 있으며, 스웨덴, 프랑스 또한 2030년 이후를 목표로 건설 및 운영을 진행 중임
- ❖ 그럼에도 사용후핵연료 처분뿐 아니라 중저준위, 고준위폐기물 처분에 있어 뒤처진 유럽국이 많은 실태이며, 한국에서도 다양한 해외 사례를 통해 심층 영구처분시설 확보를 위한 정책 및 연구를 진행할 필요가 있음
- ❖ IAEA에서 SMR 배치에 대한 지침서를 발간하고, 원자력에너지 용량의 증가에 대해 상향 조정 및 SMR의 차지 비중이 높을 것으로 전망함으로써 SMR, MSR 등의 차세대 원자력에너지에 대한 연구 및 기술 개발에 긍정적인 움직임을 보임²⁵⁾²⁶⁾
- ❖ 양자 간, 다국가 간 협력 및 프로그램을 통해 단순히 한 국가에서만 이루어지지 않고 협력하여 차세대 선진 원자력에너지 기술을 개발하는 추세이며, 기존 원자력에너지도 함께 활용하는 로드맵을 전망
- ❖ 기존에 원전을 반대하는 국가들에서도 저탄소, 친환경 에너지원으로써 원자력발전소를 확장하는 추세를 보이며 원자력에너지에 대해 긍정적으로 지원하는 추세
- ❖ 선진원자력에너지와 더불어 발생할 수 있는 폐기물과 사용후핵연료 처분장에 관한 연구, 기술 개발 및 정책에도 좀 더 세심한 주의가 필요할 것으로 보임

25) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/iaea-updates-smr-guidance-for-newcomer-countries>26) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/iaea-raises-nuclear-growth-projections-with-smrs-taking-growing-share>

2024 유럽 첨단바이오 연구 및 정책 동향

작성자 | 이승혜, 연아라
(첨단 바이오 분야 KERC 서포터즈)



유럽은 개인 맞춤형 의료와 첨단 바이오 기술 분야에서 연구, 정책, 산업 응용을 아우르는 종합적이고 전략적인 접근을 강화하고 있다. 개인 맞춤형 의학은 '개인의 표현형 및 유전자형 특성을 활용하여 적시에 최적의 치료 전략을 제공하고, 질병 위험을 예측하여 예방하는 의료 모델'로 정의되며, 이를 기반으로 2023년 10월 출범한 '유럽 개인 맞춤형 의료 파트너십(European Partnership for Personalised Medicine)'은 정밀 의료 연구를 유럽 전역에 걸쳐 촉진하고 있다. 스위스, 네덜란드, 오스트리아 등에서는 오가노이드 및 튜머로이드 개발을 통한 환자 맞춤형 치료 연구가 활발히 이루어지고 있다.

정책적으로도 유럽은 개인 맞춤형 의료를 지속 가능한 의료 시스템 내에서 환자와 사회 전체의 이익을 증진하기 위한 핵심 전략으로 설정하고, 연구·개발·혁신 및 적용을 전방위적으로 지원하고 있다. 2023년부터 EU PerMed를 통해 유럽 국가 간 협력 체계를 강화하였으며, 오스트리아는 관련 연구센터를 건설 중이고, 영국은 공학 생물학을 위한 20억 파운드 규모의 투자를 발표했다. 첨단 바이오 연구 역시 유럽 전반에서 높은 수준의 연구 역량과 인재를 바탕으로 활발히 진행되고 있으며, 메디컬 밸리(독일), 옥스퍼드 대학교, 카롤린스카 연구소, 막스 플랑크 연구소 등 주요 기관들이 연구와 인재 양성에 기여하고 있다.

유럽연합(EU)은 Horizon Europe 프로그램과 같은 정책적 지원을 통해 연구 혁신과 일자리 창출을 촉진하고, 연구개발 세액 공제와 중소기업 지원 프로그램 등을 통해 기업들의 연구 활동을 적극적으로 장려하고 있다. 이를 통해 유럽은 첨단 바이오 산업에서 미국과 대등한 글로벌 경쟁력을 구축하고 있다. 특히, 인공지능(AI)을 활용한 바이오 기술 연구는 유럽의 새로운 강점으로 부상하고 있다. AI를 통해 생물학적 데이터 처리 속도와 정확도를 획기적으로 향상시킴으로써 신약 개발 기간을 단축하고, 유전자 분석과 정밀 의료 연구를 가속화하고 있다. 독일 헬름홀츠 젤트럼 뮌헨, 프랑스 파스티르 연구소, 영국 웰컴 생거 연구소 등이 AI 기반 단백질 설계, 유전자 변이 분석, 디지털 세포 모델링 분야에서 주요 성과를 내고 있으며, EU는 Horizon Europe과 AI4Health 프로젝트를 통해 이들 연구를 적극 지원하고 있다.

더불어, 유럽은 차세대 유전체 분석, CRISPR 기반 유전자 편집, CAR-T 세포 치료, 재생 의학, 3D 바이오 프린팅 등 다양한 첨단 바이오 기술을 활발히 연구하고 있으며, 이를 보건 위기 대응 및 경제 성장의 핵심 동력으로 삼고 있다. 연구 활용과 상용화 촉진, 시장 수요 자극, 규제 간소화, 공공·민간 투자 확대 등 다각적 지원 정책을 통해 유럽은 글로벌 바이오 분야에서의 혁신을 가속화하고 있으며, 이를 통해 신약 개발, 맞춤형 의료, 예방 치료 등 보건 분야의 미래를 선도하고자 하고 있다.

1 유럽의 첨단바이오 연구 동향

1.1 개인 맞춤형 의학 및 세포 치료¹⁾

● 개요

- 개인 맞춤형 의학은 '개인의 표현형 및 유전자형의 특성을 사용하여 적시에 적절한 사람에게 적합한 치료 전략을 조정하고 질병에 대한 경향을 파악하여 시기 적절한 표적 예방을 제공하기 위한 의료 모델'로 Horizon 2020 Advisory Group에 의해 정의되었음
- 이후 개인 맞춤형 의료를 위한 유럽 파트너십(European Partnership for Personalised Medicine)이 2023년 10월에 공식 출범되어 유럽 연구 지역 전반에 걸쳐 정밀 의학 연구를 촉진하고 있음
- 대표적인 연구로는 환자 맞춤형 치료를 위한 약물 테스트의 일환으로 환자 세포 유래의 오가노이드(미니 장기) 및 플랫폼 개발, 암환자 증가에 따른 환자 암세포 유래의 튜머로이드(미니 암) 개발 및 연구가 있음
- 이러한 '환자 맞춤형 의료'를 위한 연구는 유럽 전역에서 활발하게 이루어지고 있으며 스위스, 네덜란드, 오스트리아 등에서 연구 및 사업화와 연구센터 설립이 이루어지고 있음

● Personalized Health and Related Technologies(PHRT) 연구팀 - 스위스

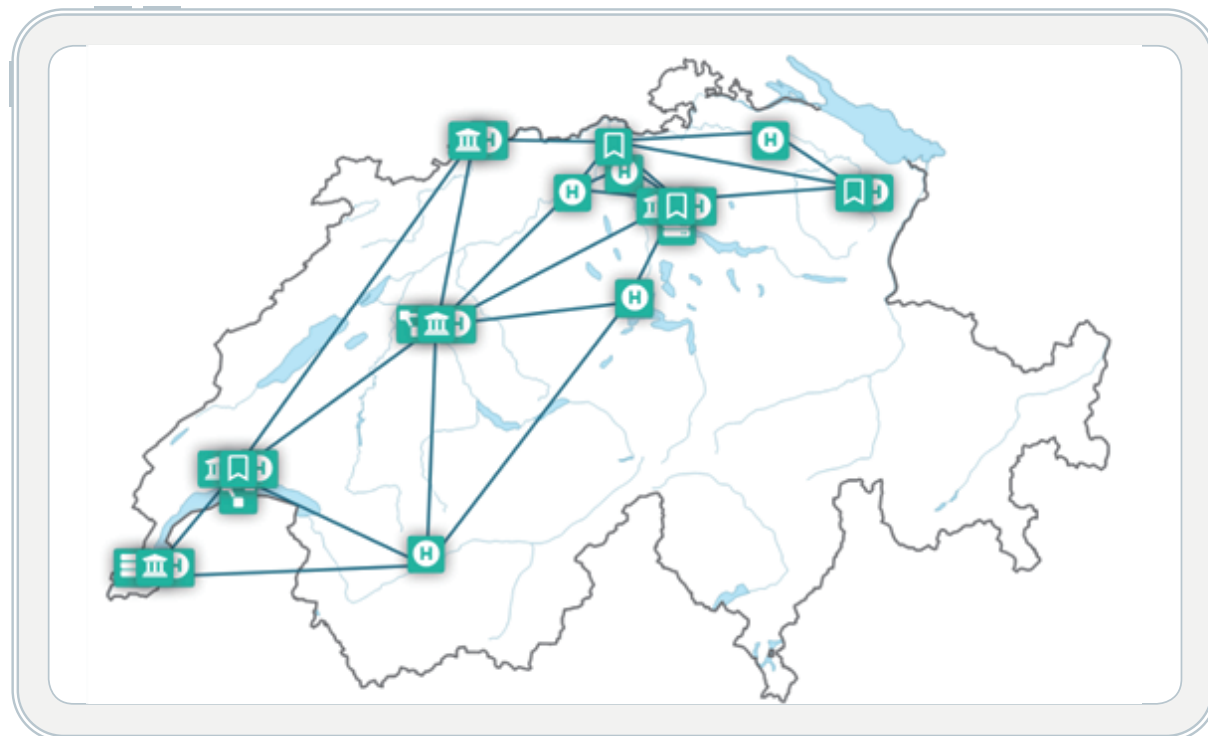


그림 1. RHRT 네트워크

- PHRT는 ETHZ(스위스 취리히 연방공과대학교), EPFL(스위스 로잔 연방공과대학교), PSI(스위스 폴 쉐러 연구소), Empa(스위스 재료과학기술연구소), Eawag(스위스 수리학 및 수질관리 연구소) 및 WSL(스위스 산림·눈·경관 연구소)의 6개 스위스 기관을 포함하는 '개인 맞춤형 의학'으로 생명과학 혁명을 주도하는 것을 목표로 하는 네트워크를 형성한 연구팀임
- 생명과학 연구는 현재 급격하게 변화하고 있으며, 오늘날의 의학은 궁극적으로 '개인 맞춤형 의학'으로 변화되고 있음. 이에 PHRT는 이러한 노력에 최첨단 연구를 기여하는 것을 목표로 하여 스위스 대학, 병원 및 기타 기관, 특히 스위스 개인 맞춤형 건강 네트워크 (SPHN)과 협력하여 2017년도부터 2025년도 까지 1억 스위스 프랑을 투입하여 130개 이상의 프로젝트를 수행 중
- 여러 연구 기관의 개인 맞춤형 의학에 대한 연구 결과 중, 최근 2024년에 Nature 논문에 게재된 연구주제를 아래에 소개함(튜머로이드)
- 이 외에도 오가노이드 및 하반신 마비환자를 다시 걷게 할 수 있는 환자 맞춤형 센서 등의 다양한 연구 활동 진행²⁾

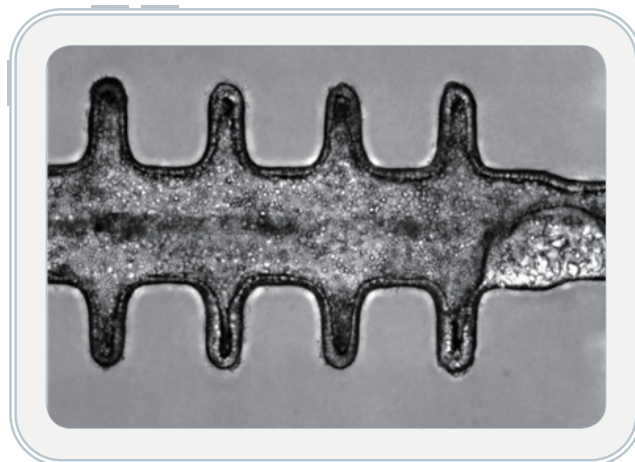
[미니 결장의 개발과 대장암 튜머로이드 연구가 2024년에 EPFL 연구팀에 의해 Nature저널에 발표³⁾]

- 맞춤형 의료는 각 개인의 생리적, 환경적 행동적 특성에 보다 맞춤화된 예측, 예방, 진단 및 치료 솔루션을 개발하는 것을 목표로 하는 비교적 새로운 접근 방식임
- 개개인에 따라 같은 약물에 대한 효과와 부작용이 상이하기 때문에 개인에게 적합한 약물을 찾아 치료할 수 있는 시스템의 도입의 수요가 증가하고 있음
- 특히 '암'은 매년 전 세계적으로 거의 2천만 명에게 영향을 미치는 질환임. 그럼에도 불구하고 잠재적인 항암제의 90% 이상이 임상시험에 실패하는데, 이는 2D 전임상 모델의 심각한 한계로 인해 발생하며, 이러한 모델은 실제 환자 종양 내의 복잡한 환경과 생물학적 과정을 정확하게 모사할 수 없는 한계를 가짐. 따라서 인간의 장기세포를 3D로 유사하게 모방한 오가노이드에서 나아간 환자로부터 얻은 원발성 종양에서 추출한 '종양 유사 오가노이드'라고 불리는 '튜머로이드' 연구가 활성화 되고 있음
- 따라서, 최근 유럽에서 튜머로이드(tumourid, 종양유사체) 연구는 암 연구와 맞춤형 의학에서 중요한 역할을 하고 있음
- 튜머로이드는 환자의 종양조직에서 유래한 3차원 세포 배양 시스템으로, 원래의 종양 구조와 기능을 매우 잘 모방하며, 이 모델은 암 생물학 연구, 약물 스크리닝, 맞춤형 치료법 개발에서 매우 유용하게 사용되고 있음
- 대장암을 모델 시스템으로 하는 이 PHRT 프로젝트의 결과물인 해당 모델은 환자마다 다양하고 복잡한 종양의 특성을 고려한 치료법을 개발하기 위해 개발되어 비효율적이고 비용이 많이 드는 약물과 그 부작용에 대한 노출을 줄일 수 있음

2) Projects – PHRT (sfa-phrt.ch)

3) Spatiotemporally resolved colorectal oncogenesis in mini-colons ex vivo | Nature

1) Homepage – European Commission (europa.eu)

그림 2. 복잡하고 정교한 암 연구 모델: 튜머로이드⁴⁾

● Hubrecht Institute – 네덜란드⁵⁾

- 위트레흐트 연구센터는 오가노이드 기술을 사용하여 인간 장기 모델을 개발하고 있으며, 이 플랫폼을 통해 개인 맞춤형 치료법을 연구하고 있음
- 특히 유전자 편집 기술과 결합하여 오가노이드 플랫폼을 통해 질병의 유전적 원인을 연구하는 데 앞장서고 있으며, 본 연구기관에서는 HUB Organoids 라는 회사를 파생하여 전 세계적으로 확장해 오가노이드 기술을 개발하고 상용화하는 데 중점을 둠

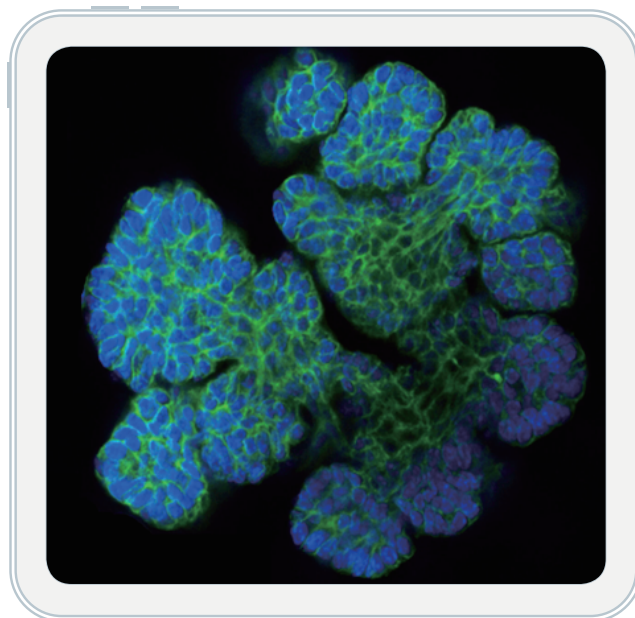


그림 3. 흉선 오가노이드

4) 10 Life Science Trends to Watch in 2024 – Life in the Lab (thermofisher.com)

5) Organoid group (previously Clevers Group) – Hubrecht Institute

[소아 뇌 오가노이드 형성⁶⁾]

- 해당 연구기관은 인간 뇌의 메커니즘을 모방할 수 있는 뇌 오가노이드를 개발하는데 성공하여 2023년도 Nature Communications 저널에 발표함
- 이는 소아 뇌종양의 발생 원인을 찾아내는 질병 모델로 사용할 기초로 사용할 수 있으며, 소아 뇌 암을 위한 환자 개개인의 적절한 모델을 만들기 위한 필수적인 단계임
- 이를 바탕으로 더 복잡하고 정교한 인간의 뇌와 유사한 뇌 오가노이드를 개발하기 위해 노력중임

[흉선 기능을 연구하기 위한 오가노이드 모델 개발⁷⁾]

- 오가노이드 그룹의 연구원들은 흉선을 연구하는데 사용할 수 있는 새로운 오가노이드 모델을 개발하여 2024년 Cell reports에 발표함
- 우리몸의 면역체계는 바이러스와 박테리아와 같은 병원체로부터 우리를 보호하며, 이를 효과적으로 감지하고 제거하기 위해서는 T세포를 포함한 여러가지 유형의 백혈구가 필요함
- 이러한 일을 관여하는 곳이 흉골 뒤에 위치한 작은 기관인 흉선임
- 이러한 연구는 특정 암 치료나 신생아 심장 수술로 인해 발생할 수 있는 흉선 기능이 손상된 환자에게 중요하기 때문에 본 연구는 개개인의 환자의 세포를 이용해 흉선 오가노이드를 만들고 이식을 연구하는 것을 목표로 함

● 차세대 유전자 분석

- 차세대 염기서열 분석(Next-generation sequencing, NGS) 기술 도입 후 유럽의 여러 연구 기관에서 대규모 유전체 데이터 구축 프로젝트 진행
- Darwin Tree of Life(DToL) 프로젝트: 영국 및 아일랜드 내 모든 진핵생물(약 7 만종)의 고품질 참조 유전체 서열을 확보하기 위한 차세대 유전체 분석 연구 프로젝트로 2026년 이후 전체 7만 종의 완전 서열화 지도 완성을 목표
- DtoL 데이터 포털(오픈 액세스)을 통해 연구에 활용되는 종의 시퀀싱 진행 상황을 추적하고 구체적인 정보 탐색 가능⁸⁾
- 공개 데이터베이스 구축을 통해 전세계 연구자들이 접근 가능한 차세대 시퀀싱 자료 제공

● 유전자 편집 연구

- CRISPR/Cas9: 기술을 활용한 유전자 편집 연구가 다수 수행되며, 희귀 질환 및 암치료 타겟 연구에 적용됨
- ERC는 2014년부터 지금까지 24개국에 26억6천만유로를 투자하여 CRISPR/Cas9의 이해 및 활용 분야의 잠재력 탐구를 지원⁹⁾

6) Temporal morphogen gradient-driven neural induction shapes single expanded neuroepithelium brain organoids with enhanced cortical identity | Nature Communications

7) Derivation of functional thymic epithelial organoid lines from adult murine thymus: Cell Reports

8) <https://www.embl.org/news/science/biodiversity-genomic-data-2022/>

9) <https://erc.europa.eu/news-events/news/report-erc-funded-researchers-lead-rapid-use-crisprcas-gene-editing>

- European Commission은 2024년 2월13일 CRISPR/Cas9 기반치료제 CASGEVY™(exagamglogene autotemcel)에 대한 허가를 내림¹⁰⁾
- **CRISPRcombo 프로젝트**: 호라이즌 2020 프로그램 지원 하에 진행되는 다국적 연구프로젝트로 (2020.06.01.-2026.03.31) 자연상태의 CRISPR 배열(native CRISPR assay)을 이용하여 대규모 유전자 스크리닝 기술 개발을 목표로 함
- 유전자간 중복성(redundancy)을 체계적으로 분석하여 복잡한 유전자 네트워크를 분석하고 상호 보완성을 확인함
- 해당기술을 바탕으로 신약개발 및 맞춤형 치료 전략에 응용할 수 있는 기반 마련¹¹⁾

● 세포 치료 연구

- 첨단 바이오 기술을 활용한 대표적인 세포치료는 CAR-T 세포가 주목받고 있음
- 암치료 분야에서 CAR-T 세포기반 환자 맞춤형 면역 세포를 활용하여 암세포를 선택적으로 제거하는 이점을 가짐
- 독일의 Fraunhofer IZI 연구소는 비바이러스벡터를 활용한 CAR-T 세포 제조 공정의 효율성과 안전성을 한 층 더 개선한 새로운 기술 개발 소식을 발표, 생산 비용 절감과 함께 대규모 제조 시 발생할 수 있는 세포 독성을 최소화할 것으로 기대¹²⁾
- 스웨덴 Akademiska ATMP Center는 유럽 최초의 CAR-T 세포 치료 임상 시험을 진행 중이며, 특히 혈액 암 환자 대상 안전성과 초기 효능 평가 결과가 긍정적으로 보고됨¹³⁾

● 재생의학 및 바이오 프린팅 연구

- 고령화라는 글로벌 이슈에 맞춰 유럽 또한 손상된 조직 및 장기 복원, 맞춤형 이식 대체물 개발을 위한 재생 의학의 중요성이 증가함
- 재생 의학 분야에서도 세포와 생체재료를 정밀하게 배치하여 인공조직, 장기를 제작함으로써, 기존 조직 공학의 한계를 극복하는 3D 바이오프린팅 기술이 주목
- 동물 실험을 대체하고 윤리적 · 경제적 부담을 줄이는 동시에, 신약 스크리닝 및 치료 효과 검증에 활용될 잠재력을 보유함
- **네덜란드 University Medical Center Utrecht (UMCU)**: 2021년부터 2025년까지 진행되는 ENLIGHT 이니셔티브의 일환으로 인간 세포로 만든 3D 프린팅 미니어처 칩 개발
- 기존 3D 프린터처럼 노즐을 통해 잉크를 짜내는 방식 대신, 빛을 사용하여 세포가 들어 있는 바이오 잉크를 형상화하는 새로운 3D 프린팅 기법 개발

- 동물 실험의 필요성을 크게 감소시키고 실제 장기와 유사한 인간 오가노이드를 통해 약물 테스트의 정확도가 향상될 것으로 기대¹⁴⁾
- **연구프로젝트 PRISM-LT**: EU와 EIC의 공동 지원 연구 프로젝트로 3D 생체 인쇄 및생체 조직을 위한 적응형 플랫폼 설계 프로젝트¹⁵⁾

1.2 AI 기반 바이오 기술의 발전

- AI(인공지능)는 생명 과학 분야에서 혁신의 중심에 자리 잡으며, 바이오 기술의 새로운 시대를 열고 있음
- 유럽은 AI를 활용한 연구와 정책 지원을 통해 바이오 기술 발전을 가속화하고 있으며, 특히 신약 개발, 유전자 데이터 분석, 단백질 구조 예측 등 다양한 분야에서 큰 진전을 이루고 있음
- 유럽은 세계적인 생명과학 연구 중심지로, AI 기술과의 융합을 통해 바이오 기술 분야에서 글로벌 리더십을 강화하고 있음
- AI는 방대한 생물 데이터를 분석하고 패턴을 찾아내며, 전통적인 연구 방식으로는 해결하기 어려운 복잡한 문제를 해결하는 데 중요한 역할을 함
- 이를 통해 신약 개발 시간 단축, 유전자 분석 효율성 증대, 맞춤형 치료 가능성 확대 등이 현실화되고 있으며, 나아가 희귀 질환 치료법 개발, 정밀 의학 도입 등 의료 혁신을 가속화하고 있음
- 또한, AI는 바이오 연구뿐만 아니라 임상 및 실험 과정에서도 활용되며, 의약품 개발의 비용 절감과 연구의 정밀도 향상에 기여하고 있음
- 이러한 변화는 생명과학 산업의 패러다임 전환을 이끌고 있으며, 미래 의료 및 바이오 경제 발전의 핵심 동력이 될 것으로 전망됨

1.3 연구사례 1 (독일): AI 기반 단백질 구조예측 및 응용¹⁶⁾

- AI는 신약 개발 과정에서 약물 후보 물질 탐색과 임상 시험 성공 확률 예측에서 핵심적인 역할을 하고 있음. 이 연구는 AI의 약물 구조 설계와 유전자 데이터 분석 기술이 결합된 혁신적인 접근 방식으로 주목받고 있음

● 헬름홀츠 젠트럼 뮌헨(Helmholtz Zentrum München) AI for Health 프로젝트

- 동 프로젝트는 2020년에 시작한 프로젝트로 헬름홀츠 젠트럼 뮌헨 내 Computational Health Center 산하 연구소가 주도, 다양한 분야의 연구실(Translational Genetics, Systems Genetics and Machine Learning, AI for Microscopy and Computational Pathology 등)과 협력
- AI를 활용하여 질병의 진행 과정을 예측하고 유전적 요인을 분석하며, 정밀 의학 및 맞춤형 치료를 개발하는 것을 목표로 함

14) <https://projects.research-and-innovation.ec.europa.eu/en/horizon-magazine/3d-printed-living-cells-pave-way-tomorrows-medicine-and-cruelty-free-animal-products>

15) <https://prism-livingtissues.eu/>

16) https://www.helmholtz-munich.de/en/newsroom/news-all/artikel/helmholtz-foundation-model-initiative-funds-two-pioneering-helmholtz-munich-projects?utm_source=chatgpt.com

10) <https://crisprtx.com>

11) <https://cordis.europa.eu/project/id/865973>

12) <https://www.izi.fraunhofer.de/en/press/press-releases/non-viral-vectors-for-car-t-cell-therapy.html>

13) <https://www.akademiska.se/en/forskning-och-utbildning/innovation-akademiska2/atmp-center/past-and-ongoing-atmp-projects/car-t-cells-the-first-clinical-trial-in-europe/>

- 헬름홀츠 협회는 2024년 10월, 헬름홀츠 재단 모델 이니셔티브(Helmholtz Foundation Model Initiative)의 두 번째 공모를 통해 Virtual Cell과 PROFOUND라는 두 개의 선도적인 프로젝트를 선정하여 지원하기로 발표함
- 이 프로젝트들은 AI기반의 기초 모델을 활용하여 단일 세포 생물학과 단백질 설계 분야에서 혁신적인 연구를 추진할 예정

● Virtual Cell 프로젝트

- 디지털 세포 쌍둥이(Digital Twin)와 유사한 세포의 디지털 복제본을 생성하여, 건강과 질병 상태에서 발생하는 복잡한 세포 과정을 심층적으로 이해하고 예측하는 것을 목표로 함
- 고처리량 유전체 시퀀싱, 이미징, 생성적 AI(Generative AI) 등의 최신 기술을 활용하여, 방대한 단일 세포 멀티오믹스 및 공간 데이터를 통합한 멀티모달 기초 모델을 개발
- 이 모델은 세포 상태와 상호 작용을 종합적으로 표현하며, 질병 샘플에 맞게 조정되어 다양한 임상 응용에 활용될 예정
- 헬름홀츠 뮌헨, 막스 델브뤼크 센터(Max Delbrück Center), 율리히 연구소(Forschungszentrum Jülich), 엔비디아(Nvidia) 등이 참여

● PROFOUND 프로젝트

- 단백질의 동적 거동을 예측할 수 있는 AI 모델을 개발하여, 특정 기능을 수행할 뿐만 아니라 시간에 따라 적응하고 진화하는 단백질을 설계하는 것을 목표로 함
- 대규모 분자 동역학 데이터를 통합하여 단백질의 동적 행동을 예측하는 AI 모델을 구축, 이를 통해 동적 효소나 프로그래머블 분자 기계와 같은 혁신적인 단백질을 설계할 수 있음
- 율리히 연구소(Forschungszentrum Jülich)가 주도하며, 헬름홀츠 뮌헨, 헬름홀츠 베를린 센터(Helmholtz-Zentrum Berlin), 헬름홀츠 드레스덴-로센도르프 센터(Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf) 등이 참여

1.4 연구사례 2 (프랑스): 단백질 구조 예측 및 응용¹⁷⁾

- DeepMind의 AlphaFold는 AI를 이용해 단백질 구조를 예측하는 기술로 생물학적 연구를 획기적으로 변화시키고 있음
- 프랑스의 Pasteur Institute는 AlphaFold를 활용해 감염성 질병의 원인이 되는 단백질과 이를 타겟으로 하는 치료제를 설계하는 연구를 진행

● Pasteur Institute AlphaFold

- 2024년 10월 발표된 한 연구에서 파스티르 연구소의 과학자들을 AlphaFold 단백질 구조 데이터베이스를 활용하여 인간 COQ2 효소의 모델을 구축
- 이 모델은 효소의 기질 결합 부위를 예측하는 데 사용되었으며 효소 기능에 대한 심층적인 이해를 제공

1.5 연구사례 3 (영국): AI 기반 유전자 분석과 정밀 의학¹⁸⁾

- 영국의 Wellcome Sanger Institute는 AI기술을 통해 암 및 유전 질환과 관련된 유전자 변이를 분석하고 있음
- 이를 바탕으로 환자 맞춤형 치료법을 설계하고, 정밀 의학 분야에서 중요한 성과를 이루고 있음
- 유럽 전역의 연구자들이 이러한 AI 기반 접근 방식을 활용하여 희귀 질환 치료에 집중하고 있음

● Wellcome Sanger Institute Generative and Synthetic Genomics 프로그램

- 2023년 10월 5일에 공식적으로 시작되어 현재까지 활발히 진행중
- 유전자 변이의 기능적 영향을 예측하고 이해하기 위해 AI 기술과 합성 생물학 기법을 결합하여 유전자 조작과 데이터 분석을 통해 질병의 원인 규명 및 치료법 개발을 지원
- 단일 뉴클레오타이드 수준의 분석: 세포 및 유전체 수준에서 유전자 변이가 미치는 영향을 정밀하게 분석
- 생성 생물학(Generative Biology): AI 기반 모델을 통해 자연적인 생물학적 패턴을 예측 및 시뮬레이션
- 합성 유전체학(Synthetic Genomics): 생물학적 시스템을 설계하고 프로그램을 가능하게 만드는 연구
- 프로그램은 유전체학과 AI의 융합을 통해 암, 희귀 유전 질환, 감염성 질병의 새로운 치료법 개발에 기여하고 있으며, 현재 유전자 편집(CRISPR) 기술 및 AI를 활용한 데이터 분석 툴을 개발 중

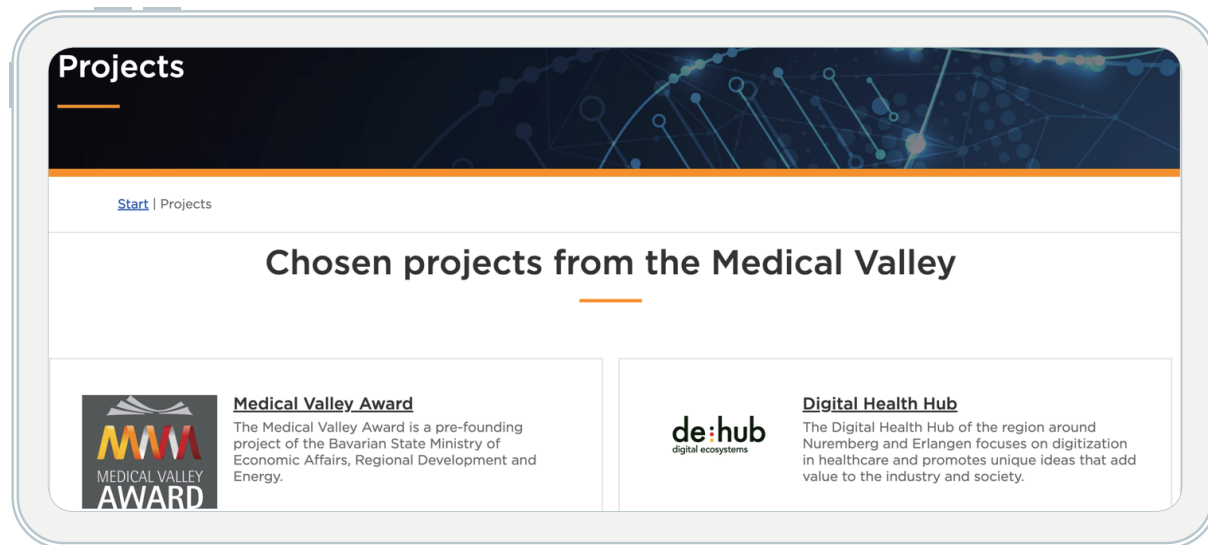
1.6 유럽 바이오 클러스터 형성¹⁹⁾

- 유럽 다수 국가들은 유럽연합을 통해 유럽 내 국가 간 다양한 국제협력이 가능하며, 이를 통해 형성된 복잡한 바이오텍 환경은 바이오 클러스터를 창출
- 유럽의 바이오 클러스터들은 연구, 개발, 생산 및 상업화의 모든 측면에서 혁신을 주도하고 있음
- 클러스터 형성 및 다국가 협력은 유럽 국가들의 연구 예산 규모나 인프라 등의 한계를 보완하는 효율적 도구로 사용

18) https://www.sanger.ac.uk/programme/generative-and-synthetic-genomics/?utm_source=chatgpt.com

19) Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU). (2024). [Medical Valley]

17) https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11047366/?utm_source=chatgpt.com

그림 4. 독일 메디컬 벨리의 프로젝트²⁰⁾

● 독일 메디컬 벨리(Medical Valley, EMN)

- 뉘른베르크-에어랑엔 지역에 위치한 바이오 클러스터로 산업, 연구, 의료 및 정치 분야의 유명한 파트너와 함께 다학제간의 네트워크를 형성
- 다학제적 협력을 통해 혁신을 촉진하는 것을 목표로 연구 개발, 산업 협력, 기술 이전 및 창업 지원 프로그램으로 운영됨
- 현재 의료 공학 제품 및 서비스 분야 40개 이상의 프로젝트를 진행
- Siemens Healthineers, Roche 등의 글로벌 바이오텍 회사의 연구 개발 뿐만 아니라 뉘른베르크-에어랑엔 대학을 중심으로 한 인재 풀 형성에도 기여
- 독일 연방 교육 연구부의 지원을 받아 더욱 활발한 연구 활동으로 확장되고 있으며, 다양한 질병의 예방, 진단, 치료 및 재활에 기여
- 프랑스의 Biotechnica cluster, 스위스의 BioValley 등과 함께 바이오 클러스터의 벤치마킹 모델로 인정받고 있음

● 프랑스 BCF21(French Biocluster for Innovation in Infectious Diseases, BCF21)²¹⁾

- 2023년 5월 16일, 프랑스 정부는 Healthcare Innovation 2030 계획의 일환으로 2030년까지 국가의 의료 시스템을 혁신하기 위해 시작한 전략적 이니셔티브를 발표
- 프랑스 리옹-제롤랑 지역에 위치한 감염병 혁신을 위한 바이오 클러스터인 BCF21은 새로운 병원균과 항생제 내성 해결을 목표로 형성됨
- Healthcare Innovation 2030 계획의 4억 유로 예산 중 5년간 6천만 유로의 초기 자금이 BCF21에 배정되었으며 2024년 7월에 공식적으로 개관

- 개인 맞춤 건강 관리, AI 활용 역학적 감시, 새로운 백신 개발, 진단 전략, 치료 혁신, 바이오 बैं크 활용을 중점으로 둔 6개의 주요 플랫폼을 통해 운영
- 세계적 수준의 병원(HCL, AP-HP 등), 공공 및 사립 학술기관(Institut Pasteur, Claude Bernard Lyon 1 University, Université Paris Cité, Inserm/ANRS EID 등)과 관련 산업계(Biomérieux, Sanofi, Boehringer Ingelheim 등)이 BCF21을 구성하여 공공-민간 파트너십을 육성함
- BCF21은 미래의 팬데믹에 보다 신속하고 효과적으로 대응하기 위해 형성되었으며, 새로운 팬데믹이 발생할 경우 프랑스 정부의 핫라인 역할을 하여 비상 상황에 대한 학계와 산업계의 통합 대응 기대

● 벨기에 플랜더스 바이오 클러스터(flanders.bio)²²⁾

- 벨기에 플랜더스 지역에 위치한 플랜더스 바이오 클러스터는 2004년에 설립되어 20년 전통을 바탕으로 여타 바이오 클러스터보다 많은 348명의 회원을 보유하고 있음
- 벨기에의 공공 및 민간 부문이 협력하여 운영, 운영 주체는 플랜더스 바이오(Bio.be)와 플랜더스 투자 기관(Flanders Investment & Trade)이 맡음
- 유럽의 바이오클러스터 중에서도 첨단 바이오 분야 연구를 중점으로 운영. 300개 이상의 바이오텍 회사 뿐만 아니라 VIB(Vlaams Instituut voor Biotechnologie), KU Leuven(Katholieke Universiteit Leuven) 등의 연구소와 대학도 참여하여 첨단 바이오 기술 분야의 연구 진행

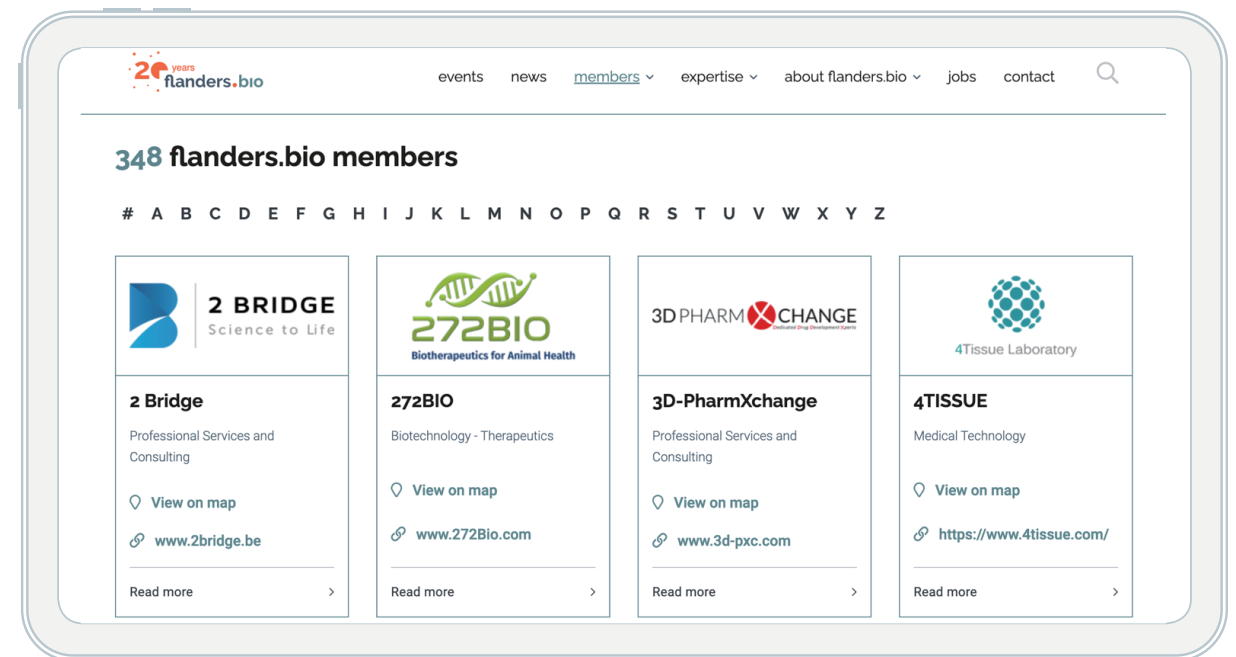


그림 5. 플랜더스 바이오 구성

20) 메디컬 벨리

21) <https://frenchhealthcare.com/creation-of-a-european-cluster-for-emerging-infectious-diseases/>22) <https://flanders.bio/en>

2 유럽의 첨단바이오 정책 동향

2.1 첨단 바이오 정책 방향

● 연구 활용 및 혁신 촉진

- EU 집행위원회는 첨단 바이오 기술(유전체학, 단백질 공학, 합성생물학, 맞춤형 의료 등)이 혁신의 원동력임을 인식하고, 기술 도입 및 확산 과정에서의 병목 현상과 혁신 촉진 요인을 파악하기 위한 연구를 시작
- 신흥 생명공학 및 생물 제조 산업으로의 기술 이전 및 글로벌 리더(미국, 중국 등)와의 비교 분석을 통해 EU의 경쟁력 및 입장을 명확히 하고자 함
- 연구 인프라를 보다 생산적으로 활용하기 위해 산업 생명공학 혁신 및 합성 생물학 가속기(Industrial Biotechnology Innovation and Synthetic Biology Accelerator, EU IBISBA)를 개발. 신뢰할 수 있는 디지털 저장소 및 서비스 네트워크로서의 역할 기대

● 시장 수요 자극

- 바이오 기반 제품의 시장 수요 자극을 위해 석유화학 제품과 비교하여 환경 친화적인 면을 강조하고자 함
- EU 자체적으로 바이오 기반 제품의 성능 및 환경 영향을 평가하여, 양측의 처리가 동등함을 보장
- 라벨링 제도 도입 예정: 바이오 기반 제품의 라벨링을 통해 소비자에게 우수한 환경 프로필을 제공하는 방안 검토

● 규제 경로 간소화

- EU 법률과 그 실행을 더욱 간소화하여 생명공학 혁신 기술의 출시 기간을 단축하고자 함. 혁신 기술의 빠른 상용화를 위해 불필요한 행정적 장애물을 제거하고, 신속한 승인 절차 마련이 요구됨
- EU 집행위원회는 신생 및 중소기업이 EU 시장에 혁신적인 제품 출시 및 경쟁력을 강화할 수 있도록 바이오텍 및 바이오 제조 허브 출범(2025년 1월 30일)
- 바이오 허브를 통해 생명공학 회사들이 이용할 수 있는 EU 자금, 연구 인프라, 리소스 및 지적 재산권 보호 등에 대한 모든 접근을 가능하게 함
- 향후 몇 년 동안 유럽의 건강, 농업, 식품 등을 포함한 바이오 연구에 혁신을 불러일으킬 것으로 기대²³⁾

● 공공 및 민간 투자 촉진

- 생명공학 및 생명 제조업 지원을 위해 호라이즌 유럽을 포함한 광범위한 자본 투자를 계획 중
- EU4Health 프로그램(2021-2027): 44억의 EU 재정 지원을 통해 보다 효과적이고 접근이 쉬운 보건 시스템을 구축하여 장기적인 건강 문제에 기여하고자 함²⁴⁾
- Innovative Health Initiative Joint Undertaking (IHI JU) 프로그램: 건강 분야 혁신을 위한 공공-민간 협력 프로그램, 첨단 바이오 기술을 기반으로 신약 개발, 맞춤 의료 및 예방 치료 솔루션에 집중 투자²⁵⁾

2.2 Horizon Europe 프로그램²⁶⁾ 개요

- 유럽은 전통적 생명과학 연구의 중심지이자 최근 주목받는 첨단바이오 연구 무대로, 다양한 바이오클러스터를 중심으로 한 연구가 진행
- 유럽연합의 Horizon Europe 프로그램은 2021년-2027년 동안 955억 유로의 예산을 배정하여 유럽 내 연구 혁신 및 일자리 창출 등의 효과를 기대
- 이 프로그램은 EU 및 관련 국가 법인이 참여가 가능하며 글로벌 과제 해결을 위한 협력을 용이하게 하는데 그 의의를 둠

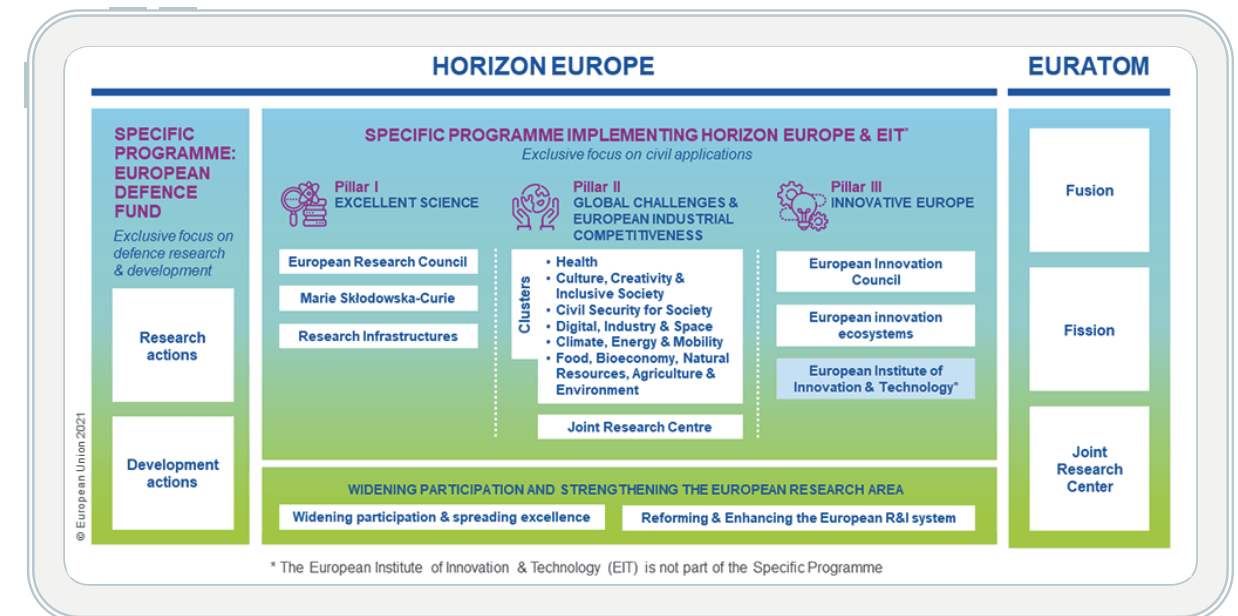


그림 6. Horizon Europe 개요

24) https://health.ec.europa.eu/funding/eu4health-programme-2021-2027-vision-healthier-european-union_en

25) <https://www.ihj.europa.eu/>

26) European Commission, (2024), Horizon Europe

23) https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_25_365

2.3 Horizon Europe 첨단 바이오 관련 주요 연구 과제

● 개인 맞춤 의학(Personalized Medicine)

- 일반 의약품의 한계를 뛰어넘어 효과적인 치료법 제시, 만성 질환 치료 및 인구 고령화로 인한 의료비 증가에 대한 대책
- 환자가 자신에게 가장 효과적인 특정 치료를 통해 시행착오적 치료에 돈을 낭비하지 않는 것이 목표
- Horizon Europe의 Cluster 1(Health)에서는 질병을 예방, 진단, 모니터링, 치료 및 치유를 위한 새로운 지식 창출을 목표, 맞춤형 의료 발전을 위한 다양한 연구 과제를 지원
- Health Data Spaces 프로젝트를 통해 European Health Data Space(EHDS)를 형성, EU 전역에서 의료 서비스 제공을 위한 데이터 교환을 용이하게 함. 회원국은 opt-out을 통해 데이터에 접근하여 맞춤형 의료의 필수 요소인 대량 데이터 접근이 가능
- 개인 맞춤형 치료를 위한 혁신적 접근을 통해 질병 예방 및 치료의 정밀성 상승 기대

● 재생 의학(Regenerative Medicine)

- 건강한 사회를 위한 새로운 도구, 기술 및 디지털 솔루션의 잠재력 활용을 주제로 재생의학 연구 지원
- 재생 의학은 조직 공학, 약물 테스트 등 의학적 응용 분야에 잠재력이 크지만 실제 연구에 활용하기 위한 추가 개발이 필수적인 상황
- 연구 목적의 생체 조직 대규모 생산을 위한 3D 프린팅 기술 개발 목표
- 개인 맞춤 의학과 마찬가지로 Horizon Europe Cluster 1(Health)와 Cluster 2(Industrial Leadership) 내에서 지원됨
- Horizon 2020부터 시작된 EuroStemCell 프로젝트를 통해 중앙 온라인 허브 형성하고 90개의 유럽 연구 파트너를 하나의 플랫폼으로 통합. 3년간 70만 건의 조회수를 기록하며 줄기세포 연구를 위한 강력한 툴킷 제공

2.4 EP PerMed: 개인 맞춤형 의료를 위한 유럽 파트너십²⁷⁾

- EP PerMed는 European Partnership for Personalised Medicine의 약자로 유럽 내 24개 국가와 10개의 유럽지역의 자금 지원 기관 및 연구 기관을 통합하여 2023년 10월에 공식 출범했으며 유럽 전역의 정밀 의학 연구를 강화하는 것을 목표로 함
- 국가 부처 및 자금 지원 기관을 포함한 49개 파트너의 노력을 결합하여 혁신을 촉진하고, 연구 결과를 의료 실무로 이전하고, 개인화된 접근 방식을 통해 의료 결과를 개선하는 것을 목표로 함
- EU와 50개 이상의 국제 파트너가 제공하는 약 3억 7,500만 유로의 총 예산을 통해 EP PerMed는 향후 10년 동안 개인 맞춤형 의료 접근에 크게 지원할 계획임

2.5 Center of Precision Medicine 프로젝트(Eric Kandel Institute – 오스트리아)²⁸⁾

- 유럽 회복 및 복원력 기금 (European Recovery and Resilience Facility)의 기부금으로 비엔나의 Medizinische 대학에 디지털 및 맞춤형 의학을 위한 정밀 의학 센터가 건설되어 2026년까지 완료될 예정임
- 해당 연구센터는 개개인의 환자를 표적화하고 개별적인 방식으로 치료하고 분자 수준에서 질병의 원인을 파악하고 치료하는 것을 목표로 함
- 개인 맞춤형 의료의 연구 개발을 위해 유럽연합(EU)는 해당 프로젝트에 75,000,000 유로를 투자함

2.6 유럽의 첨단 바이오 산업 지원 정책

● 연구 개발 세액 공제²⁹⁾

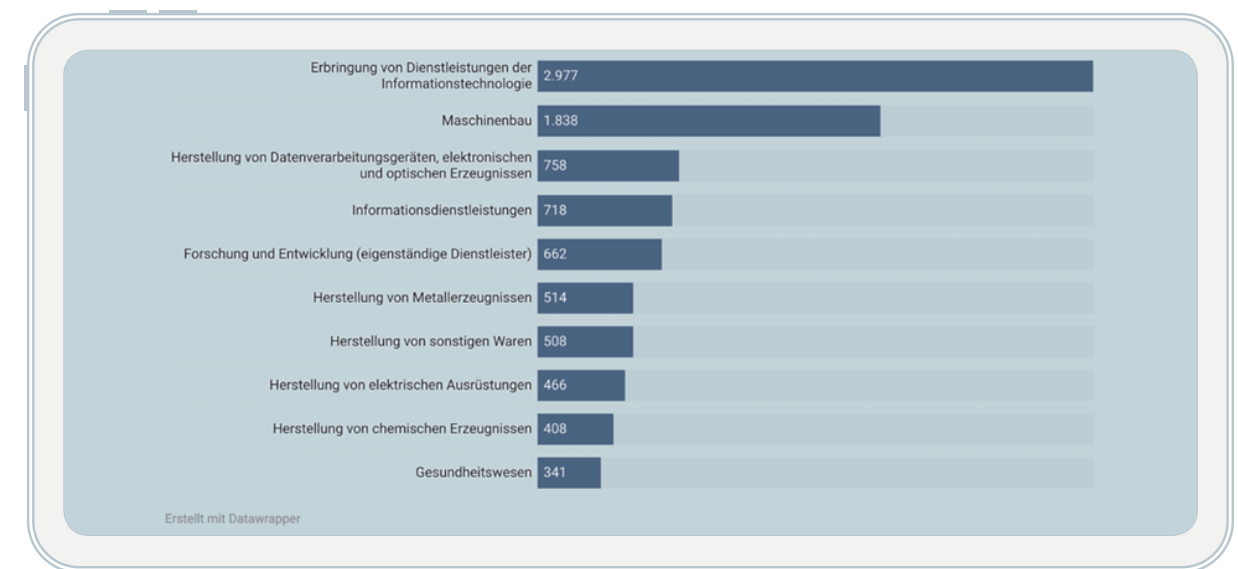


그림 7. 각 분야별 연구공제법(Forschungszulage) 지원률
(컴퓨터 공학 분야의 지원이 압도적인 것에 비해 아직 첨단 바이오 산업은 낮은 지원률을 보임)
(출처: Bescheinigung Forschungszulage 웹사이트)

- 유럽 연합의 연구 개발 세액 공제는 기업들이 연구 활동 및 개발에 투입한 비용의 일부를 세액에서 공제 받을 수 있도록 하는 제도
- 이 제도는 기업들이 보다 경쟁력을 확보하고 연구 개발에 적극적인 투자를 할 수 있도록 지원
- 유럽연합 국가 중에서도 세율이 높기로 유명한 독일의 경우, 연구공제법(Forschungszulage)을 통해 연구 개발을 지원
- 이 보조금은 연간 최대 250만 유로까지 지급되며 회사가 혁신 프로젝트에서 인건비를 줄일 수 있도록 지원
- 첨단바이오를 포함한 생명공학 회사의 경우, 이 수당을 위해서는 생명공학 개발 기술이 현재의 기술 수준을 넘어서는 새로운 생물학적 혁신을 가져오는 것으로 평가되어야 함

28) Center of Precision Medicine – Eric Kandel Institute – European Commission (europa.eu)

29) Banhoek, (2024), Forschungszulage für Biotech-Unternehmen.

27) Home – European Partnership for Personalised Medicine – EP PerMed

- 이 제도를 통해 기업은 경쟁력을 높이는 새로운 기술을 개발하고, 연구자 개인은 숙련된 인력으로서 고용 및 추가 교육의 혜택을 누릴 수 있으며, 장기 프로젝트가 많은 첨단바이오 프로젝트의 특성상 이러한 제도를 통해 지속적인 재정 지원으로 개발을 진전시킬 수 있음
- 이러한 정책 시행을 통해 유전공학, 바이오의약품, 유전자 치료법 등을 포함한 첨단 바이오 기술에 대한 수요가 점차 증가
- 유럽 내 비슷한 바이오 산업 지원 정책으로 네덜란드의 WBSO(Wet Bevordering Speur- en Ontwikkelingswerk) 제도, 프랑스의 Crédit d'impôt Recherche(CIR) 제도 등이 있음

● 유럽 연합의 중소기업 지원 제도³⁰⁾

- 미국과 비교하여 첨단바이오 관련 대기업의 수가 부족한 유럽은 스타트업과 중소기업 지원 제도를 통해 첨단 바이오 산업의 혁신과 성장을 촉진
- 유럽 연합은 각국 정부와 협력하여 다양한 프로그램을 통해 중소기업의 연구 개발과 혁신을 지원하며, 대표적 제도로 Horizon Europe의 SME Instrument 프로그램이 있음
- 이 프로그램은 앞서 언급한 Horizon Europe의 세부 프로그램 중 하나로, 중소기업의 연구 개발에 자금을 지원하며 중소기업이 새로운 기술을 개발하여 시장에 진입하는 과정을 돕는 것을 목표로 함
- Horizon Europe의 또 다른 자금 지원 프로젝트인 EIC Accelerator 제도 또한 혁신적인 스타트업과 중소기업에 연구 개발 자금을 지원



30) European Cluster Collaboration Platform. (2024). H2020 Call for Proposals: SME Instrument.

3 시사점

- EU 내에서 진행되는 다양한 첨단 바이오 연구 프로젝트(예: Darwin Tree of Life, CRISPRCombo 등)가 기초 연구부터 응용 및 상용화 단계까지 폭넓게 전개되고 있음
- 기존에는 여러 국가들로 연구 인프라가 분산되어 있다는 점이 단점으로 작용했다면 현재는 Horizon Europe 등을 기반으로 한 제도적 노력을 바탕으로 국경을 넘어 전 유럽의 인프라를 고루 이용한다는 점에서 유럽 연합이라는 특성이 장점으로 발전
- EU는 기존 바이오 연구/산업 강국인 미국과의 비교 분석을 통해 유럽의 첨단 바이오 분야의 혁신 촉진 필요성을 체감함
- 신흥 첨단 바이오 강국으로 자리매김하기 위해 연구 인프라 확충, 규제 간소화, 생명공학 허브 신설 등의 정책 도구를 도입하여 연구의 신속한 상용화를 지원하고 있음
- 유럽의 첨단 바이오 산업은 유럽 연합과 각 국가 간의 협력을 바탕으로 발전하고 있으며, 매해 추가되는 바이오 산업 지원 제도를 통해 글로벌 과제 해결을 위한 협력을 촉진하고, 다양한 국가와의 연구 협력이 활성화되고 있음
- 강력한 바이오 클러스터와 전통있는 대학 및 연구소의 우수 인재, 유럽 연합의 정책적 지원 등을 통해 유럽은 첨단 바이오 산업에서 미국과 대등한 경쟁력을 갖추기 위해 박차를 가하고 있음
- 세액 공제, 중소기업 지원 등의 제도는 타 국가들이 벤치마킹할 만한 대표적인 기술 혁신 지원 제도로 이러한 유럽 연합의 정책적 노력들이 유럽을 넘어 전 세계를 아우르는 첨단 바이오 산업의 혁신을 가져올 것으로 기대
- EU는 미국, 중국, 한국 등과의 다자간 협력을 통해 첨단 바이오 기술의 국제 표준화 및 데이터 공유 체계를 구축하고 글로벌 공급망 및 시장 접근성에서도 경쟁력을 확보하고자 함
- 이를 위해 EU 국가별 복잡한 규제 및 행정적 장애물을 해소하고 미래 기술 도입과 인재 양성의 필요성이 대두됨
- AI는 방대한 생물 데이터를 분석하여 신약 개발 시간 단축, 질병 예측, 정밀 의학 발전에 기여
- AI 기반 단백질 구조 예측 및 유전자 변이 분석 기술이 연구 효율성을 높이며 맞춤형 치료 가능성을 확대
- 기존의 실험 중심 연구 방식에서 AI를 활용한 데이터 중심 연구 방식으로 전환이 가속화됨
- AI를 활용한 질병 예측, 단백질 설계, 유전자 편집 등의 기술이 발전하면서 맞춤형 치료 및 정밀 의학이 새로운 의료 표준으로 자리 잡을 전망
- 독일, 프랑스, 영국 등을 중심으로 AI와 바이오 융합 연구가 활발히 진행되고 있으며, 국가 주요 연구기관 및 글로벌 기업(Nvidia 등)의 협업 확대로 바이오 기술의 글로벌 경쟁력 확보 추진
- Horizon Europe 등을 통한 AI 기반 바이오 연구가 지속적으로 지원되고 있으며, 향후 AI 기반 정밀 의학 및 신약 개발 연구가 더욱 활성화되어 의료 혁신과 산업 발전 촉진 기대

2024 유럽 우주 발사체 연구 및 정책 동향

작성자 | 손민
(우주항공 분야 KERC 서포터즈)



유럽(EU)은 아리안그룹을 중심으로 저비용 대형 및 소형 발사체 개발을 적극 추진하고 있으며, 특히 친환경 추진제와 엔진 기술 확보에 힘쓰고 있다. 글로벌 우주 추진 분야에서는 미국이 재사용 발사체 기술, 중국이 대형 발사체 기술에서 우위를 점하고 있으나, EU는 프로메테우스(Prometheus) 엔진과 테미스(Themis) 프로젝트를 통해 재사용 발사체 기술과 고효율 추진 시스템을 확보하기 위해 노력하고 있다. 신형 유럽 발사체인 아리안6(Ariane 6)의 첫 비행 성공에도 불구하고, 발사비용 절감과 재사용 기술 도입이라는 과제는 여전히 남아 있다.

유럽우주국(ESA)은 인라이튼(Enlighten) 프로그램을 통해 탄소중립 추진 시스템과 인공지능 기반 엔진 최적화 기술 개발을 추진하고 있으며, 대학을 중심으로 태양에너지를 활용한 친환경 추진 기술 연구도 활발히 진행되고 있다. 이러한 노력은 우주 쓰레기 감소와 같은 지속 가능한 우주 환경 구축을 목표로 한다.

정책 측면에서는, 최근 슬로베니아가 ESA 정회원국으로 가입하고, 유럽연합 집행위원회와 SPACE AISBL 간 협력 양해각서(MOU)를 체결하는 등 유럽 내 우주 산업 생태계 확장과 경쟁력 강화를 위한 움직임이 이어지고 있다. 2024년 ESA는 Agenda 2025 이행 계획을 업데이트하여 지속 가능한 발전과 우주 자산 보호를 강화하고 있으며, 베를린 ILA 항공쇼에서는 항공우주 산업의 녹색 및 디지털 전환을 통한 경쟁력 강화 목표를 명확히 제시했다.

기술 개발 측면에서는 Themis 및 Ariane Next 프로그램을 통해 SpaceX의 Falcon 9과 경쟁 가능한 재사용 발사체 기술 확보를 목표로 하고 있다. 특히 액체 메탄 및 수소 연료 도입을 통한 탄소 감축과 지속 가능한 우주 개발에 주력하고 있으며, 2027년까지 완전 재사용 발사체 기술을 확보할 계획이다. 추가로, H2POWRD 프로젝트를 통해 수소 기반 회전 데토네이션 가스터빈 연구, A-STEAM 프로젝트를 통해 알루미늄-스팀 연소 기반 청정 에너지 기술 개발도 진행 중이다.

아울러, 유럽은 민간 우주 기업의 역할을 적극적으로 확대하고 공공-민간 협력을 강화하여 글로벌 우주 시장에서의 자율성과 경쟁력 확보를 목표로 하고 있다. ESA는 Zero Debris 정책을 통해 우주 잔해 방출을 최소화하고 충돌 예방 기술을 개발하는 등 지속 가능한 우주 환경 조성에도 앞장서고 있다. 아리안6의 성공에도 불구하고, 발사 비용 절감과 재사용 기술 완성이라는 과제를 해결하기 위해 추가적인 연구개발이 절실히 필요한 상황이다.

1 유럽의 우주 발사체 연구 동향

1.1 글로벌 우주 추진 및 발사체 현황

- 우주 추진 및 발사체 기술은 전통적으로 정부 주도로 연구되었으나, 최근 우주 선진국을 중심으로 민간 우주기업의 역할이 확대됨
 - 미국의 스페이스엑스(SpaceX), 블루오리진(Blue Origin) 등은 상업적 우주 발사체를 운용 중이며, 스페이스엑스는 발사체 재사용으로 발사 비용을 크게 절감함
 - 중국의 란젠우주항공은 2023년 세계 최초로 액체 메탄 로켓 발사에 성공
 - 유럽에서는 프랑스의 아리안그룹(ArianeGroup)이 아리안 대형 발사체를 운용 중이며, 이탈리아 아비오(Avio)의 베가 C(Vega C) 소형 발사체는 1회 시험발사에 성공함

[글로벌 우주추진 및 발사체 현황]

국가	주요 연구 및 특징	관련 정책	기술적 도전 과제
미국	- 민간기업 중심의 재사용 가능한 발사체 기술 연구 - 친환경 추진제 연구 - 심우주 탐사용 고효율 추진 시스템	- 상업 우주 활동 장려 정책 - NASA의 Artemis 프로그램	- 완전 재사용 가능한 대형 발사체 개발 - 메탄 엔진 기술의 안정화 - 핵추진 기술의 안전성 확보
중국	- 대형 발사체 기술 - 우주정거장용 추진 시스템 - 달 탐사 발사체 개발	- 우주강국 실현을 위한 장기 계획 - 민간 우주기업 육성 정책	- 재사용 발사체 기술 격차 극복 - 고신뢰성 대형 엔진 개발 - 심우주 탐사용 추진 기술 확보
러시아	- 전통적인 화학추진제 기술 유지 - 핵추진 우주선 개발 연구 - 차세대 Angara 발사체 개발	- 국가 우주 프로그램 지속 - 우주 방위 능력 강화 정책	- 노후화된 발사 인프라 현대화 - 서방의 제재로 인한 부품 수급 문제 - 첨단 재료 기술 개발
EU	- 아리안그룹 중심의 저비용 대형발사체 연구개발 - 스타트업 중심의 소형 발사체 연구 - 친환경 추진제 및 엔진 기술	- 유럽우주청(ESA) 주도의 연구개발 - 회원국 간 협력 강화 정책	- 재사용 발사체 기술 격차 극복 - 비용 경쟁력 확보 - 독자적 유인 우주선 개발
일본	- H3 로켓 개발 및 운용 - 소형 위성 발사체 기술(Epsilon 로켓) - 이온 엔진 등 첨단 우주추진 기술 연구	- 우주기본계획 - 민간 우주산업 육성 정책	- 발사 비용 절감 - 재사용 발사체 기술 개발 - 우주쓰레기 제거 기술
인도	- 차세대 발사체 개발(NGLV)로 30톤 급 페이로드 처리 가능, 재사용 가능한 1단 설계 - Agnibaan 발사체: 3D 프린팅된 반크라이오젠 엔진 사용	- 우주 산업 민간 개방 정책 - 새로운 발사체 프로그램 및 인간 우주 탐사에 중점	- 반크라이오젠 및 메탄 기반 엔진 안정화 - 재사용 발사체 기술 확보 - 인프라 확장 및 민간 참여 촉진

국가	주요 연구 및 특징	관련 정책	기술적 도전 과제
UAE	- 화성 탐사(Mars Hope) 성공 후 심우주 탐사 추진 - UAE 첫 달 탐사 임무 '라시드 로버'	- 우주 탐사 및 인프라 확장 정책, 우주경제 구축 - 다양한 국제 협력	- 고비용 심우주 탐사 기술의 상용화 - 독자적인 발사체 개발 능력 부족으로 인한 의존성 해결
한국	- 한국형발사체 누리호 민간 기술이전 및 고도화 - 소형위성발사체 기술 연구 - 차세대 우주추진 시스템 연구	- 우주항공청(KASA) 설립 및 우주 개발 총괄 - 우주산업 클러스터 조성 계획	- 독자적 우주발사 능력 고도화 - 발사체 신뢰성 향상 - 우주탐사용 추진 기술 확보

✦ 글로벌 우주추진 및 발사체 연구개발 추세는 발사 비용 절감과 우주 쓰레기 감소를 위한 재사용 기술, 친환경 추진 기술에 집중됨

✦ 2023년 글로벌 우주발사체(궤도발사체) 발사 시도 횟수는 총 223회로 전년 대비 20% 성장¹⁾

- 미국이 108건(48%), 중국이 67건(30%)으로 전체 발사의 약 80%를 차지함
- 유럽은 3건에 그쳐 인도의 7건 대비 절반 수준

✦ 2023년 궤도발사체를 통해 발사된 탑재체(object)는 총 2,664개로, 2019년 586개에서 폭발적 성장을 보임²⁾

- 2023년 미국에서 발사된 탑재체 수는 2,166개(81%)로, 유럽에서 발사된 탑재체 수는 단 2건
- 발사된 탑재체의 80% 이상이 지구 저궤도(LEO)를 목표로 하였으며, 이는 스페이스엑스의 스타링크(Starlink) 통신위성의 비중이 큼³⁾
 - ※ 탑재체는 위성, 탐사선, 착륙선, 우주선을 포함하며, 유럽의 위성이 미국에서 발사된 경우 미국 통계 포함

1.2 최근 유럽 친환경 발사체 및 우주 추진 연구개발 배경

✦ 유럽 대형 발사체 연구의 주요 목표 및 과제

- **(발사 비용 절감 및 경제성 확보)** Themis 및 Ariane Next 프로그램을 통해 1회 발사 비용을 30~50% 절감하고, SpaceX Falcon 9과 경쟁 가능한 재사용 기술 확보 추진
- **(재사용 로켓의 신뢰성 및 안정성 검증)** 유럽형 재사용 로켓 개발이 초기 단계로, 기술적 완성도 및 비행 안정성 확보가 핵심 과제
- **(친환경 추진제 도입 및 탄소 배출 절감)** 기존 고체연료 및 독성 화학연료를 대체하는 친환경 추진 시스템 연구 진행
 - ※ ESA는 액체 메탄 및 수소 기반 연료 도입을 통해 탄소 배출 감축 및 지속가능한 우주 개발을 목표로 설정

1) <https://www.spaceworks.aero/recap-of-all-global-launches-for-2023/>

2) <https://ourworldindata.org/grapher/yearly-number-of-objects-launched-into-outer-space>

3) <https://www.spaceworks.aero/recap-of-all-global-launches-for-2023/>

✦ 유럽의 대형 발사체 연구개발은 프랑스 기반 다국적 기업인 아리안그룹이 주도

- 2023년 아리안 5(Ariane 5) 발사체 퇴역 이후, 2024년 7월 9일 아리안 6(Ariane 6) 발사체가 첫 비행에 성공
- 상단 스테이지 고장으로 인해 탑재체 궤도 이송에는 실패
- 아리안 6 발사체의 지구 저궤도 탑재체 발사비용은 kg당 약 5,700달러로 추정되며, 이는 2010년 스페이스엑스 팰컨 9(Falcon 9) 발사비용인 2,600달러보다 두 배 이상⁴⁾

✦ 유럽우주국(ESA)은 발사 비용 절감을 위해 다양한 프로그램을 추진

- 2017년 프로메테우스(Prometheus[®]) 프로그램을 시작, 저비용 발사체 개발을 목표
- 2019년 테미스(Themis) 프로그램을 통해 재사용 발사체 기술 확보를 추진

✦ 2022년 유럽우주국은 탄소중립 및 유럽 우주법 대응을 위해 인라이튼(Enlighten) 프로그램을 시작, 2024년 3월에는 후속 프로그램 인라이튼-EM(Engine Demonstration)을 착수

- ※ 유럽은 배출가스와 독성이 강한 고체 추진 시스템을 대체하기 위해 극저온 엔진을 사용하는 친환경 고성능 추진 시스템에 집중할 계획⁵⁾

✦ 유럽우주국(ESA)은 유럽형 재사용 발사체 기술 확보를 위해 개발을 본격 추진 중이며, 최근 아리안그룹(ArianeGroup)에 규모의 추가 자금을 지원('24.11.21)⁶⁾

- Themis 프로젝트는 2030년대 중반까지 유럽형 재사용 발사체 개발을 목표로 하며, 미국 SpaceX 및 중국 CASC가 선점한 시장에서 유럽의 독자적인 경쟁력 확보를 위한 전략적 사업
- 프랑스 베르농(Vernon) 지역에서 지상 엔진 연소 시험이 진행 중이며, 2025년 홉테스트(Hop-test, 저고도 비행 테스트) 실시 예정⁷⁾
 - ※ 초기 단계에서는 1단 로켓이 약 30~40m 상공에서 이착륙하는 실험을 수행하며, 점진적으로 고도 및 비행 범위를 확장하는 방식으로 연구 진행

✦ 유ESA와 유럽 주요 산업체들은 Themis 프로젝트와 연계하여 차세대 재사용 발사체 개발을 위한 협정을 체결('24.11.21)⁹⁾

- 이번 협정을 통해 Themis 실증 연구의 다음 단계가 공식화되었으며, 연소 시험 이후 다양한 환경에서의 실증 테스트 확대 계획
 - ※ ESA는 Themis 프로젝트 외에도 프로메테우스(Prometheus) 엔진 개발, 테미스-EM(Themis Engine Model) 시험, Ariane Next 프로젝트 등을 병행 추진하여 2027년까지 완전 재사용 발사체 기술을 확보할 계획

4) <https://www.euronews.com/next/2024/07/09/ariane-6-launch-how-to-watch-it-and-why-it-matters-for-europes-space-ambitions>

5) <https://project-enlighten.eu/the-project/>

6) <https://commercialisation.esa.int/2024/11/evolutions-for-reusable-rocket-stage-and-engine-demonstrator-signed/>

7) https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2024/11/Prometheus_engine_for_Themis_flight_model_during_assembly

8) <https://europeanspaceflight.com/esa-shares-rare-update-on-themis-reusable-booster-demonstrator/>

9) https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Future_space_transportation/Signing_secures_next_steps_for_reusable_rocket_demonstrations

1.3 프로메테우스(Prometheus®) 프로그램¹⁰⁾

- 아리안그룹은 발사 비용을 절감하기 위한 아리안 6 발사체의 개선 버전인 Ariane Next 개발에 착수
 - Ariane Next의 핵심인 프로메테우스 엔진은 2015년 아리안그룹과 프랑스 국립 우주센터(CNES)가 연구개발을 시작했으나, 2017년 유럽우주국(ESA)의 FLPP NEO(Future Launchers Preparatory Programme) 사업에 편입됨
 - 프로그램 참여 ESA 회원국:** 오스트리아, 벨기에, 프랑스, 독일, 네덜란드, 스웨덴, 스위스
 - 유럽우주국은 2017년 12월 시범 엔진 개발에 7,500만 유로, 2021년 5월 개선 엔진 사업에 1억 3,500만 유로 규모의 계약을 체결함
- 프로메테우스 엔진은 메탄을 연료로 사용하며, 스페이스엑스 팰컨 9 발사체의 재사용 개념을 차용
 - 2021년 11월 독일항공우주센터(DLR) P5 시험장에서 엔진 시험을 진행¹¹⁾
 - ※ 독일항공우주센터 우주추진연구소는 유럽에서 소형 연소기부터 대형 아리안 발사체 엔진까지 시험할 수 있는 유일한 연구소¹²⁾
- 2023년 4월 아리안그룹은 아리안 6 발사체의 사용 연한을 10년으로 예측하며, 유럽의 새로운 재사용 발사체 도입이 2030년대로 늦어질 것으로 전망, 이에 따라 프로메테우스 도입도 지연될 가능성 있음¹³⁾
- 프로메테우스 프로그램은 테미스(Themis) 프로그램과 연동되며, 인라이트(Enlighten) 프로그램으로 이어질 예정

1.4 테미스(Themis) 프로그램¹⁴⁾

- 스페이스엑스 팰컨 9의 발사 후 재귀환 프로세스를 모방하여 유사한 형태의 재사용 발사체를 개발하는 프로그램
 - 아리안그룹 주도로 유럽우주국(ESA), 호라이즌, 프랑스 Relance 펀딩 참여
 - ※ 참여 회원국: 벨기에, 스위스, 스페인, 프랑스, 헝가리, 네덜란드, 폴란드, 스웨덴
 - 스페이스엑스 재사용 발사체 개발단계와 유사하게, 저고도 상승 후 지상에 착륙하는 홉테스트(Hop-test)를 2022년 목표로 설정
- 2023년 6월, Themis 시험발사체에 프로메테우스 엔진을 결합하여 프랑스 베르농(Vernon) 지역의 Themis 시험대에서 12초 연소 시험을 수행

- 2023년 초 홉테스트를 2024년으로 연기하였으나, 2024년 5월 스웨덴 우주공사(SSC)는 홉테스트를 2025년으로 재연기 발표¹⁵⁾
 - 프로메테우스와 마찬가지로, 차세대 재사용 발사체 도입 계획이 지연되면서 프로그램 진행에 차질 예상

1.5 인라이트(Enlighten) 프로그램¹⁶⁾

- 유럽우주국(ESA)은 탄소중립¹⁷⁾¹⁸⁾ 및 유럽 우주법¹⁹⁾에 대응하기 위해 2022년 11월 아리안그룹을 중심으로 17개의 참가기관이 포함된 컨소시엄을 구성하여 인라이트 프로그램을 시작(총 예산 1,700만 유로)
 - 아리안그룹(ArianeGroup), 아비오(AVIO), DLR, 오네라(ONERA) 등 항공우주 기업과, ALM 및 AI 연구를 수행하는 신생 기업 및 중소기업, 프라운호퍼(Fraunhofer)(Fraunhofer)와 KU 루벤(KU Leuven) 등 연구기관이 참여하여 발사 엔진 비용 절감을 목표로 함
- 우주 접근 비용 절감과 동시에 유럽의 현재 및 미래 우주 운송 시스템의 경쟁력을 강화하기 위한 신기술 개발을 추진
 - (대규모 레이저 적층 제조법 개발)** 기존 제작 방식으로는 불가능한 엔진 구조를 개발하고, 부품 수를 간소화해 엔진 경량화 및 환경오염 저감에 기여
 - (인공지능 도입)** 엔진 작동 시퀀스 최적화, 유지보수 및 점검 효율화, 엔진 시험 관리 등을 통해 엔진 성능을 향상

1.6 인라이트-EM 프로그램²⁰⁾

- 인라이트의 후속 프로그램으로 2024년 3월부터 프로메테우스 엔진을 기반으로 실제 시험 엔진을 개발하는 인라이트-EM(Engine Demonstration) 프로그램이 시작(총 예산 2,000만 유로)
- ESA와 논의 중인 미래 발사체 로드맵은 공통 구성 요소를 기반으로 한 완전 액체추진제 기반 재사용 발사체 제품군을 구상
 - (단기목표)** 인라이트 프로그램에서 개발된 일부 기술을 아리안 발사체의 2단 엔진인 벌케인 2(Vulcan 2) 로켓 엔진에 적용(Horizon 2025)
 - (중기목표)** 벌케인 2 엔진을 프로메테우스-H(PROMETHEUS-H) 엔진으로 교체하여 비용을 5-10배 절감(Horizon 2027+)
 - (장기목표)** 2030년까지 수소 또는 메탄 연료를 기반으로 한 저비용 친환경 재사용 엔진 제품군을 모든 유럽 발사체에 제공

10) <https://press.ariane.group/le-programme-prometheus-pour-un-moteur-europeen-reutilisable/>
 11) <https://www.dlr.de/de/ra/forschung-transfer/projekte/esa-projekte/prometheus-1>
 12) <https://www.dlr.de/de/ra>
 13) <https://europeanspaceflight.com/europe-will-introduce-a-reusable-launch-vehicle-in-the-2030s-says-arianespace-ceo/>
 14) https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Themis
 15) <https://europeanspaceflight.com/themis-reusable-booster-demonstrator-hop-tests-delayed-once-again/>
 16) <https://www.project-enlighten.eu/>
 17) https://www.esa.int/About_Us/Climate_and_Sustainability/The_ESA_Green_Agenda
 18) <https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2050-long-term-strategy>
 19) https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13971-EU-Space-Law-new-rules-for-safe-resilient-and-sustainable-space-activities_en
 20) <https://cordis.europa.eu/project/id/101135156>

❖ 아리안그룹을 중심으로 유럽 전역의 18개 기관이 컨소시엄으로 참가

- ADIRA(포르투갈), AIKO(프랑스), Aerospace Propulsion Products B.V.(네덜란드), AREELIS(독일), ArianeGroup(프랑스/독일), AVIO(이탈리아), AZO(독일), DLR(독일), Edgise(벨기에), ERNEO(프랑스), Fraunhofer IGCV(독일), Fraunhofer ILT(독일), IREPA LASER(프랑스), KU Leuven(벨기에), Laser Cladding Venture(벨기에), ONERA(프랑스), PROEKSPERT(에스토니아), Silicon Austria Labs(오스트리아)

1.7 태양에너지를 이용한 친환경 우주 추진기술 연구

❖ 호라이즌 유럽의 유럽혁신위원회(EIC) 연구자금 지원 프로그램의 일환으로, 2023년 EIC 패스파인더 챌린지 프로그램²¹⁾을 통해 태양에너지를 이용한 우주추진 기술 신규 연구 3건 선정

❖ (S4I2T 프로젝트) 독일 뮌헨 공과대학(TUM) 주관으로 'Solar for Ice to Thrust(S4I2T)' 프로젝트²²⁾가 2024년 9월 1일 시작(총 연구비 400만 유로)

※ 참여기관: EnduroSat AD(불가리아), Universite du Luxembourg(룩셈부르크), Tech Tour Global EOOD(불가리아), Tech Tour Europe SA(벨기에)

- (태양열-전기 물 전기분해 추진) 태양열을 활용해 물을 산소와 수소로 분해하여 추진제로 사용
- (자율 근접/도킹 및 추진제 보충) 궤도 내 급유로 추진시스템 단순화, 발사 질량 감소 및 위성 수명 연장
- (우주 내 물 추출 및 활용) 천체에서 물을 추출하는 기술과 결합하여 자급자족형 우주 이동 인프라 구축, 장기적으로 지구와 독립적인 운영 가능성 제시

❖ (Green SWaP 프로젝트) 이탈리아 피사대학교 주관으로 'Green Solar-to-propellant Water Propulsion (Green SWaP)' 프로젝트가 2024년 10월 1일 시작(총 연구비 400만 유로)

※ 참여기관: TU Delft(네덜란드), Università degli Studi di Torino(이탈리아), KIT(독일), European Research Institute of Catalysis(벨기에), EUROCONSULT SA(프랑스)

- (태양에너지-화학에너지 변환) 태양 에너지를 활용해 물을 과산화수소 및 수소와 같은 추진제로 변환하는 친환경 추진제 생산 기술 연구
- (우주공간 내 생산) 지상에서 개발된 기술을 우주 조건에서 실험, 과산화수소 및 수소의 생산/저장 연구

❖ (E.T.COMPACT 프로젝트) 스페인 마드리드 카를로스 3세 대학교 주관으로 'Compact and Propellant-less Electrodynamic Tether System Based on In-Space Solar Energy(E.T.COMPACT)'프로젝트²³⁾가 2024년 10월 시작(총 연구비 400만 유로)

- (태양전지 모듈 개발) 중량당 출력 비율이 50W/kg 이상인 박막 2단자 탠덤 CIGS/페로브스카이트 태양전지 모듈 개발

- (태양에너지 하베스팅) 금속 테이프 기반 전기역학적 테더(electrodynamic tether)를 활용한 소형 친환경 우주 추진 모빌리티 개발

※ 추진제 없이 태양 에너지로 추진력 생성, 3D 프린팅 호환 고분자 기반 초경량 구조 설계

- (임무 후 처리 및 잔해 제거) 궤도 내 서비스, 우주 예인선 임무 등을 위한 기술 시뮬레이션 진행

1.8 수소 연료 기반 회전 데토네이션 가스터빈 연구²⁴⁾

❖ Hydrogen Rotating Detonation Gas Turbines(H2POWRD) 프로젝트 ('24.10.01)²⁵⁾

- H2POWRD 프로젝트는 4년간 유럽연합 Horizon 프로그램의 지원(총 406만 유로)을 받아 진행되는 수소 기반 회전 폭발 가스터빈 연구 프로젝트로, 차세대 수소 연소 기술 개발을 목표로 함
- RDGT 기술은 고효율과 저탄소 배출을 특징으로 하며, 기존 가스터빈 대비 연료 소비 감소 및 성능 향상 가능성을 탐색함

❖ H2POWRD 본 프로젝트는 독일 베를린 공과대학교(TU Berlin) 주관으로 12개 기관이 참여기관으로 9개 기관이 파트너기관으로 컨소시엄 구성 기초 연구부터 응용 연구, 실제 엔진 테스트까지의 과정을 수행

※ 프로젝트 수행기관: TU Berlin(독일), TU Eindhoven(네덜란드), DLR(독일), ONERA(프랑스), ENSMA(프랑스), CERFACS(프랑스), Safran(프랑스), UNIFI(이탈리아), POLITO(이탈리아), VKI(벨기에), KTH(스웨덴), POLIMI(이탈리아), UNIGE(이탈리아)

- (회전데토네이션 연소 기초 연구) 회전 데토네이션 연소 기술을 가스터빈에 적용하여 연료 효율성 향상 및 온실가스 배출 저감 기술 개발
- (가스터빈 연소실과 터빈 연결부 연구) 회전 데토네이션 연소실과 터빈 간 전이 구간 설계 최적화 및 냉각 기술 연구
- (터빈 블레이드 설계 및 최적화) 회전 데토네이션 연소실 후류 조건에 적합한 공기역학적 터빈 설계 및 성능 평가

1.9 청정에너지를 위한 알루미늄 스팀연소 연구²⁶⁾

❖ Aluminum STEAM combustion for clean energy (A-STEAM) 프로젝트 ('24.10.01)²⁷⁾

- A-STEAM 프로젝트는 5년간 유럽연합 Horizon 프로그램의 지원(총 250만 유로)을 받아 진행되는 알루미늄-스팀 연소 기반 청정 에너지 기술 개발 연구로, 차세대 친환경 연료 기술을 목표로 함

※ Technische Universität Darmstadt(TUD, 독일) 단독 연구임

24) <https://www.h2powrd.eu/>

25) <https://cordis.europa.eu/project/id/101169009>

26) https://www.tu-darmstadt.de/energy-and-environment/forschungsfeld_ee/news_ee/news_ee_details_446784_en.jsp

27) <https://cordis.europa.eu/project/id/101141234>

21) https://eic.ec.europa.eu/news/eic-pathfinder-challenges-2023-results-over-eu150-million-support-cutting-edge-research-projects-key-2024-03-14_en

22) <https://cordis.europa.eu/project/id/101161690>

23) <https://cordis.europa.eu/project/id/101161603>

❖ A-STEAM 프로젝트는 알루미늄과 수증기 반응을 통한 에너지 생성 방식 개발을 중심으로, 이를 통한 탄소중립 에너지 시스템 구축 및 추진체 응용 가능성 연구에 집중

- (알루미늄-스팀 연소 반응 연구) 알루미늄 분말과 수증기 반응을 이용한 에너지 변환 기술 개발
- (우주 및 지상 응용 연구) A-STEAM 기술의 우주 추진체 및 지상용 발전 시스템 적용 가능성 평가
- (친환경 연료 시스템 개발) 탄소 배출 없는 대체 연료로서의 알루미늄-스팀 연소 시스템 최적화

1.10 아날로그 달 시뮬레이션 시설(LUNA) 개소 및 연구 활용²⁸⁾

❖ 유럽우주국(ESA)과 독일항공우주센터(DLR)가 공동으로 운영하는 LUNA 아날로그 시설이 독일 쾰른에 공식적으로 개소됨('24.09.25)²⁹⁾

- ESA의 유럽우주비행사센터(EAC) 인근에 위치한 이 최첨단 시설은 실제 달 표면과 유사한 환경을 조성하여 우주비행사, 과학자, 연구원들이 향후 달 탐사를 대비한 훈련과 실험을 수행할 수 있도록 설계됨
- ESA와 DLR의 협력으로 구축된 본 시설은 달 탐사를 위한 핵심 기술을 시험하고 새로운 우주 탐사 방법을 연구하는 통합 실험장 역할을 수행

❖ LUNA 시설에는 700m² 규모의 레골리스 테스트베드(Regolith Testbed)를 활용하여 달의 토양을 모사한 시뮬레이션 환경에서 탐사 장비 및 우주비행사 활동을 실험³⁰⁾

- ※ 최대 3m 깊이까지 샘플링 및 드릴링이 가능하며, 가변 조명 시스템을 통해 달의 주야간 주기를 재현

❖ Dust Lab 및 Gas Lab에서 달먼지의 거동을 연구하고, 우주비행사 장비 보호 기술을 개발

- 미세먼지로 인한 우주복 및 장비 손상을 최소화하기 위한 보호 소재 및 설계 실험 진행
- ※ DLR의 MUSC(Microgravity User Support Center) 및 GSOC(German Space Operations Center)와 실시간 연결 가능한 통제실을 갖춰 원격 임무 시뮬레이션 가능

❖ FLEXHab(Future Lunar Exploration Habitat) 및 생태 연구 시설에서 우주비행사가 거주하며 작업할 수 있는 달 기지 모델을 구축하여 실제 임무환경과 유사한 조건에서의 생활 연구 수행

- ※ LUNA-EDEN 온실 시스템을 통합하여 달 환경에서 식물을 재배하는 실험 진행

❖ 고도화된 중력 오프로드 시스템을 이용하여 달의 중력(지구 중력의1/6)을 모사하여 탐사 로버 및 우주 비행사의 이동 실험 가능

❖ (LUNA 시설 내 Dust Lab 완공) 달환경에서 발생할 수 있는 먼지 문제를 분석하고, 우주 비행사 및 탐사 로봇이 이를 극복할 수 있는 기술을 개발하는 것이 주요 목표 ('25.01.31)³¹⁾

- 먼지 입자의 물리적 특성과 이동 방식에 대한 연구를 수행하여, 향후 달 기지 건설 및 장기 탐사 임무에 대비

28) <https://www.dlr.de/en/mp/research-and-transfer/projects/luna>

29) https://www.esa.int/Newsroom/Press_Releases/ESA-DLR_lunar_analogue_facility_inaugurated

30) https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2024/09/LUNA_-_Europe_s_Moon_on_Earth

31) <https://luna-analog-facility.de/en/luna-dust-lab-completes/>

❖ (첫 번째 연구 캠페인 개시) LUNA 아날로그 시설에서 첫 번째 실험 캠페인이 시작되었으며, 탐사 로버 및 센서를 활용한 연구 진행('24.11.11)³²⁾

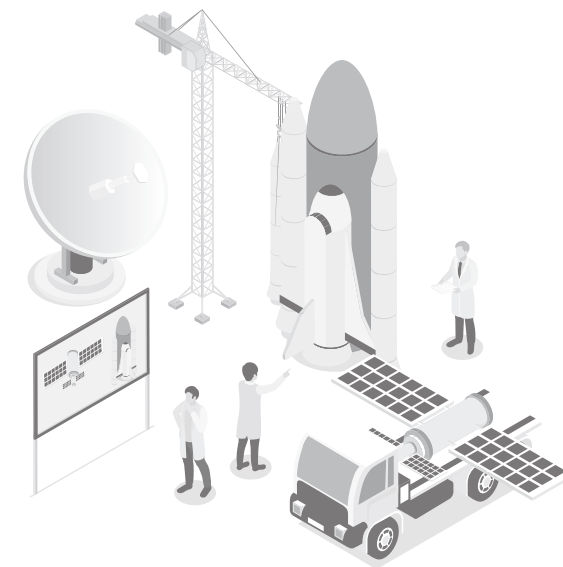
- 다양한 센서 및 탐사 로버가 협력하여 달 표면을 탐색하는 실험을 수행하며, 로버 간의 협업 및 통신 가능성을 검증
- ※ 달 탐사 임무에서 요구되는 자동화 기술과 원격 조작 기술을 시험하여, 실제 임무에서의 적용 가능성 평가

❖ (다중 센서 및 로버 탐사 연구) 탐사 로버와 우주비행사가 협력하여 달 표면을 탐색하는 실험이 진행 중 ('24.12.19)³³⁾

- 다중 센서를 활용하여 달 지형을 정밀 분석하고, 탐사 로버 간의 네트워크를 형성하여 효율적인 탐사를 가능하게 하는 기술 연구
- ※ 향후 달 탐사에서 자동화된 탐사 방식과 인공지능 기반 탐사 기술을 적용하는 기반을 마련할 계획

❖ (지하 자원 탐사를 위한 지질 레이더 실험) TU 드레스덴 공대 전자 및 광공학 연구팀이 DLR의 MUSC와 협력하여 LUNA에서 지하 탐사를 위한 지표 투과 레이더(GPR) 실험 수행('24.11.18)³⁴⁾

- ※ GPR 기술은 전자기파를 이용하여 지질층, 얼음, 암석, 공동(洞) 등을 탐지하는 방식으로, NASA 및 ESA의 화성·목성 탐사 임무에서도 활용된 바 있음
- 이번 실험에서는 ESA의 2028년 ExoMars 로버에 탑재될 WISDOM 레이더 안테나 시제품을 포함하여 다양한 탐사 안테나가 테스트됨



32) <https://luna-analog-facility.de/en/first-campaign-in-luna/>

33) <https://www.dlr.de/en/latest/news/2024/a-swarm-of-sensors-rovers-and-astronauts-explore-the-moon>

34) <https://luna-analog-facility.de/en/in-search-of-hidden-treasures/>

2 유럽의 우주개발 및 탐사 정책 동향

2.1 최근 정책 동향

❖ 우주 추진 및 발사체 연구와 연관된 유럽의 최근 우주개발 및 탐사 정책의 주요 동향은 아래와 같이 요약됨

2024년 4월 19일	ESA와 EU 간의 우주 활용 가속화 협정 체결, 기후 변화 대응, 위기 대응, 우주 자산 보호 등 가속기 이니셔티브 발표
2024년 5월 22일	ESA와 EU 간 정보보안 협정 갱신, 기밀 정보 교환 및 보호 강화
2024년 6월 18일	슬로베니아의 ESA 23번째 회원국 가입 협정 서명, 2025년 정회원국 예상
2024년 6월 3일	ESA Agenda 2025 이행 계획 최신 현황 보고, 60개 행동 중 18개 완료, 37개 진행 중
2024년 6월 6일	항공우주 산업 생태계 전환 경로 발표, 53개 우선 과제 설정, 녹색 및 디지털 전환 로드맵 제시
2024년 6월 18일	ESA 우주 안전 프로그램 보고서 발표, 태양 플레어 감지 위성 Vigil 및 소행성 방어 미션 Hera 진행 상황 강조
2024년 9월 10일	유럽연합과 SPACE AISBL 간 우주 파트너십 양해각서(MoU) 체결, 위성통신, 지구 관측, 우주 운송 분야 협력
2024년 7월 15일	EU 우주 프로그램 성과 및 미래 잠재력 분석 보고서 발표, Copernicus, Galileo 등 데이터 및 서비스 활용 촉진 방안 제시

2.2 우주 활용 가속화를 위한 협력 및 정책 제안³⁵⁾

❖ 유럽우주국(ESA)과 유럽연합(EU)은 2024년 4월 19일, 우주를 통한 지구 생활 개선을 위해 협력하기로 합의

❖ 기후 변화, 자연재해, 인위적 위협 등 글로벌 도전에 직면한 상황에서, 우주는 이를 해결할 수 있는 핵심 기술임

- ESA는 세 가지 '가속기(accelerator)'를 제안하며, 이를 통해 지속 가능성 및 회복력을 증진
 - ※ 녹색 미래를 위한 우주(Space for a Green Future), 신속하고 회복력 있는 위기 대응(Rapid and Resilient Crisis Response), 우주 자산 보호(Protection of Space Asset)

❖ **(녹색 미래를 위한 우주 가속기)** EU의 그린 딜을 지원하며, Copernicus 지구 관측 위성과 Galileo 항법 시스템을 활용해 기후 변화 모니터링 및 감축을 위한 기술 제공

- 2050년까지 유럽을 세계 최초의 기후 중립 대륙으로 만들기 위한 노력을 지원

❖ **(신속하고 회복력 있는 위기 대응 가속기)** 우주 기반 위기 관리 시스템을 구축하여 생명과 재산 보호

- Copernicus 응급 관리 시스템과 Galileo 경고 서비스를 보완하며, 자연 재해나 인위적 재난 발생 시 지상 시스템을 대체할 수 있는 우주 기술 제공

❖ **(우주 자산 보호 가속기)** 유럽의 우주 및 지상 자산을 보호하기 위한 자율성과 안전 보장

- 우주 기상 및 우주 쓰레기 관리를 위한 유럽의 우주 자산 보호 체계 구축

❖ ESA와 EU는 파트너십을 통해 우주 기술을 활용하여 기후 변화, 위기 대응, 자산 보호 등의 문제를 해결할 계획

- 150개 이상의 잠재적 파트너가 이미 참여하며, 기존 우주 기술의 활용 및 새로운 기술 개발을 통해 다양한 산업에 우주 기반 솔루션을 제공할 것임

❖ **(결론 및 의의)** 이번 협정은 ESA와 EU 간 협력을 강화하고, 유럽의 우주 산업 경쟁력을 높이기 위한 중요한 이정표로 평가됨

- ESA와 EU는 공동 목표를 달성하기 위해 지속적으로 협력하고, 관련 이해 관계자들과의 협력을 통해 우주 활용을 가속화할 것

2.3 우주 분야를 통한 경쟁력 강화 분석 및 정책 제안³⁶⁾

❖ 유럽우주국(ESA) 각료급 회의에서 2024년 5월 23일 채택된 <우주를 통한 유럽 경쟁력 강화> 결의안 발표

- 1975년 유럽우주국 설립 협약과 2004년 유럽연합(EU)과 ESA 간의 프레임워크 협정 등 주요 협정 재확인하였고, 우주 기술, 연구, 서비스에서 유럽 우주 산업의 우수성 강조

❖ **(우주와 유럽 경쟁력)** 우주 기술이 유럽의 경제성장과 경쟁력, 자주적 의사결정에 미치는 중요성 강조

- EU, ESA, 회원국의 우주 역량이 유럽의 정책 실행 및 국제 협력, 경제적 이익에 중요한 역할 수행
- Copernicus 서비스를 통한 기후변화 대응, 그린 딜 지원 등 우주의 환경 보호 기여도 설명
- 디지털 전환과의 통합을 통한 산업 비용 절감 및 효율성 증대 가능성 강조

35) https://www.esa.int/About_Us/Corporate_news/ESA_and_the_EU_agree_to_accelerate_the_use_of_space

36) https://www.esa.int/About_Us/Corporate_news/ESA_and_the_EU_resolve_to_strengthen_Europe_s_competitiveness_through_space

❖ **(우주 산업의 도전과제 및 경쟁력 강화)** 비우주 산업과 상호 작용 강화 필요, 우주 데이터와 서비스의 사용자 확대 필요

- 민간 투자와 우주 산업 참여 촉진을 위한 공공 및 민간 부문 간 협력 중요성 강조
- 위험 분담 및 혁신적 금융 지원 모델 필요, 특히 스타트업과 중소기업에 대한 지원 강조
※ 우주 산업의 성장 가능성 확인, 다만 민간 참여는 아직 제한적임

❖ **(유럽의 글로벌 역할 및 우주 정책)** 우주 부문에서 유럽의 전략적 자율성 확보 필요성 언급

- 글로벌 협력 및 신뢰할 수 있는 파트너십 확대를 통해 유럽 우주 산업의 글로벌 시장 진출 기대
- 유럽 경제 보호 및 안전을 위한 우주 시스템의 중요성 강조, 특히 에너지 시스템 보호 및 우주 날씨 모니터링 등

2.4 유럽우주국(ESA) Agenda 2025 이행 계획 업데이트 보고서³⁷⁾

❖ ESA는 2025년까지 세계 선도 우주 기관으로 자리매김하기 위한 아젠다 2025(Agenda 2025) 이행 계획의 최신 상태 보고서 발표('24.06.03)

- 새로운 분석 및 완료된 주요 행동의 '영향과 혜택'을 포함한 두 가지 장 추가

❖ **(HR 관련 변화)** 젊은 인재 영입을 통한 세대교체와 지리적 다양성 증대를 위해 주니어 전문가 프로그램(JPP) 도입하였고, JPP는 전임 직원으로 전환을 위한 경력 개발 및 훈련 프로그램을 시범 운영 중

❖ **(탈탄소화와 지속 가능성)** ESA는ESA Green Agenda(EGA)를 통해 온실가스 배출 46.2% 감축 목표 설정(2030년까지), 유엔 지속가능발전목표(SDG)와 유럽 그린딜에 기여

❖ **(우주 자산 보호)** ESA는 안전과 보안을 강화하기 위한 활동을 확장, 우주 자산 보호 및 우주 교통 관리 표준을 개발 중

- ※ 우주 잔해 제거 및 우주 기상 대응 등의 활동을 포함

❖ **(업데이트 결론 및 의의)** 이번 보고서는 Agenda 2025 이행 상황에 대한 최신 정보를 제공하며, ESA의 목표 달성을 위한 향후 방향을 제시함

- 2025년까지 우주 분야에서의 지속 가능한 발전 및 경쟁력 강화에 대한 구체적 전략을 지속적으로 실행할 예정

37) https://www.esa.int/About_Us/Corporate_news/ESA_identifies_next_steps_to_ensure_its_world-leading_status#:~:text=When%20ESA%20Director%20General%20Josef,implementation%20plan%20of%20Agenda%202025.

2.5 유럽우주국(ESA) Agenda 2025 이행 계획 업데이트 보고서³⁸⁾

❖ 2024년 6월 6일, 베를린 ILA 항공쇼에서 유럽연합 집행위원회는 항공우주 산업 생태계 전환 경로를 발표
※ 항공우주 산업의 녹색 및 디지털 전환을 지원하고, 회복력과 경쟁력을 강화하기 위한 로드맵

❖ **(주요 내용 및 목표)** 53개 우선 과제를 설정하고 지속 가능한 경쟁력, 규제 강화, 현대적 인프라, 기술 개발, 투자 자금 조달 등 다양한 주제 다룸

- 단기, 중기(2030년까지), 장기(2040년까지) 행동 계획으로 나뉘어 실행

❖ **(협력과 사회적 측면 강조)** 산업계, EU 회원국, 연구기관, 학계 및 시민들이 참여한 공동 창작 과정의 결과물
• 사회적 차원과 혁신에 중점을 두며, 녹색 및 디지털 전환을 통한 경제적 안정성 확보 목표

2.6 슬로베니아 ESA 23번째 회원국 가입 예정³⁹⁾

❖ 슬로베니아 유럽우주국(ESA) 협약에 대한 가입 협정 서명('24.06.18)

- 파리에서 열린 서명식에는 슬로베니아 총리 Robert Golob와 ESA 국장 Josef Aschbacher, 슬로베니아 정부 고위 관료 및 ESA 관계자들이 참석
※ 2025년 협정 만료 후 정회원국 신청 가능

❖ **(슬로베니아-ESA의 협력 역사)** 슬로베니아는 2008년 최초 협력 협정 체결 이후 지속적으로 ESA와 협력
• 2016년 준회원국, 2020년 강화된 협정, 2025년 만료 후 정회원국 신청 예정

❖ **(슬로베니아 우주 산업)** 슬로베니아는 40개 이상의 중소기업을 포함한 성장하는 우주 산업을 보유

- ESA의 Vega 로켓으로 발사된 Skylabs Trisat-R 위성 등 혁신적인 소형 우주 기술 개발 주도
- 인간 건강 연구 분야에서도 활발한 활동을 하고 있으며 Planica에 ESA 연구시설 운영 중

❖ 가입 절차가 완료되면 슬로베니아는 공식적으로 ESA의 23번째 회원국이 될 예정이며, ESA 회원국 가입으로 슬로베니아는 우주 과학 및 기술 프로그램에 참여 기회 확대

38) https://defence-industry-space.ec.europa.eu/commission-launches-transition-pathway-resilient-sustainable-and-digital-aerospace-industrial-2024-06-07_en

39) https://www.esa.int/About_Us/Corporate_news/Slovenia_to_become_ESA_s_23rd_Member_State

2.7 우주 파트너십 양해각서(MoU) 서명⁴⁰⁾

- 유럽연합 집행위원회와 SPACE AISBL 간 '유럽 글로벌 경쟁력 우주 시스템을 위한 협력 파트너십 양해각서 (Memorandum of Understanding for the "Space Partnership")' 서명('24.09.10)
 - Horizon Europe 프로그램의 일환으로 우주 산업의 경쟁력 강화를 목표로 하며, 우주 공급망 전반을 아우르는 연구 우선순위 설정을 통해 혁신 가속화 및 EU 우주 시스템의 시장 진입 시간 단축
- 2025년부터 Horizon Europe 프로그램에 민간 부문 참여 확대 예정이며, EU는 위성통신, 지구 관측, 우주 운송 분야에 1억 유로 지원, 민간은 1억 2천만 유로의 현물 기여 예상
 - S.P.A.C.E AISBL은 Eurospace, SME4Space, ESRE, EASTRO, EASN 등으로 구성된 협회로, 유럽의 우주 산업 발전을 위해 협력
- (기대효과)** 기술 혁신 촉진 및 상업화 강화, 유럽의 자율성 증대와 디지털화, 기후 변화 대응, 보안 등 주요 EU 정책 지원
 - 새로운 협력 모델로 민간과 학계, 연구 기관이 공동으로 참여해 유럽 우주 부문의 리더십 확보

2.8 13대 유럽연합 집행위원회 구성에 따른 영향

- 2024 유럽의회 선거에 따라, 신임 방위·우주 유럽연합 집행위원으로 리투아니아 출신 안드리우스 쿠빌리우스(Andrius Kubilius)⁴¹⁾가 배정되었으며, 최근 연설을 통해 유럽 우주 산업의 전략적 중요성과 향후 정책 방향을 제시함⁴²⁾⁴³⁾
 - 독자적인 우주 역량 확보 및 글로벌 경쟁력 강화를 위한 유럽 차원의 공동 대응 필요성 강조
 - 유럽 우주기술 혁신, 방위산업과의 연계, 민간 우주산업 활성화를 위한 정책적 지원 촉진
- (유럽 우주 산업의 경쟁력 강화)** 유럽의 우주 경쟁력을 유지하기 위해 대규모 투자와 정책적 지원이 필요하며, 이를 위해 EU 차원의 장기 전략 추진 강조⁴⁴⁾
 - Galileo, Copernicus, IRIS² 등 주요 우주 인프라 지속 개발 및 활용 확대
 - 독자적 우주 발사 역량 확보를 위한 발사체 산업 발전 및 연구개발(R&D) 강화
 - 민간 우주기업과의 협력 확대를 통해 유럽 우주산업의 자율성 및 경제적 이점 확보

40) https://defence-industry-space.ec.europa.eu/signature-memorandum-understanding-space-partnership-space-association-2024-09-10_en

41) https://commission.europa.eu/about/organisation/college-commissioners/andrius-kubilius_en

42) https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/speech_25_333

43) https://defence-industry-space.ec.europa.eu/commission-unveils-strategic-access-space-initiatives-17th-european-space-conference-2025-01-28_en

44) https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/speech_25_313

◆ (우주와 방위산업의 연계 강화) 유럽의 안보와 방위를 위해 우주기술 활용이 필수적⁴⁵⁾

- 위성 기반 감시·통신·항법 시스템 강화를 통한 유럽의 방위 역량 증대
- NATO 및 EU 방위산업과 협력하여 군사적 활용성을 고려한 우주기술 개발 추진
- 유럽 우주산업과 방위산업 간 시너지 창출을 위한 제도적·재정적 지원 확대

◆ (유럽의 우주 정책 비전) 유럽이 우주 분야에서 글로벌 리더십을 유지하기 위해 민간 투자 확대, 법·제도적 개선, 공공-민간 협력 강화를 강조⁴⁶⁾⁴⁷⁾

- 유럽 차원의 통합적 우주 전략 마련 및 혁신적인 우주 프로젝트 활성화
- 우주기술 개발을 통한 기후변화 대응, 경제 성장, 안보 강화 등의 다각적 목표 설정

2.9 2023-2024 Horizon Europe 우주관련 프로젝트 지원 결과

- 유럽연합(EU) 집행위원회는 2023-2024년 Horizon Europe의 우주 관련 공모(Call for Proposals) 결과를 발표하고, 28개 연구 프로젝트를 선정함⁴⁸⁾
 - 총 7,600만 유로 규모의 연구비를 유럽 건강 및 디지털 집행기관(HaDEA) 및 EU 우주 프로그램 기구(EUSPA)를 통해 지원
 - ※ 선정된 프로젝트는 지구 관측, 유럽 위성항법 시스템(EGNSS), 보안 통신 등 다양한 우주 연구 분야에서 혁신 촉진
 - 선정된 프로젝트의 약 1/3이 스타트업 및 중소기업(SME)으로 구성되었으며, 전체 예산의 30% 할당
 - 2021-2027년 총 19억 유로 규모의 예산이 우주 관련 연구 프로젝트에 배정될 예정이며, 연평균 2억 7,000만 유로 투입 계획

2.10 지속 가능한 우주 운송

- 유럽우주국(ESA)은 2030년까지 우주 환경 보호를 위한 Zero Debris 목표를 수립하고, 우주 잔해 생성을 방지하기 위한 Zero Debris 이니셔티브 추진⁴⁹⁾
- 2025년 1월 15일, ESA는 Zero Debris 기술 안내서를 발표하여 구체적인 기술 개발 과제 및 6대 핵심 기술 제시
 - ※ 해당 문서는 ESA 및 협력국들이 공동으로 설정한 Zero Debris 현장의 목표를 달성하기 위한 기술적 로드맵으로 활용

45) https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/speech_25_296

46) https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_25_376

47) https://defence-industry-space.ec.europa.eu/eu-space-programme-more-satellites-and-new-services-underway-2025-01-30_en

48) https://defence-industry-space.ec.europa.eu/space-research-28-projects-selected-part-horizon-europe-space-related-calls-proposals-2024-11-20_en

49) https://www.esa.int/Space_Safety/Technological_to-do_list_to_reach_Zero_Debris_created

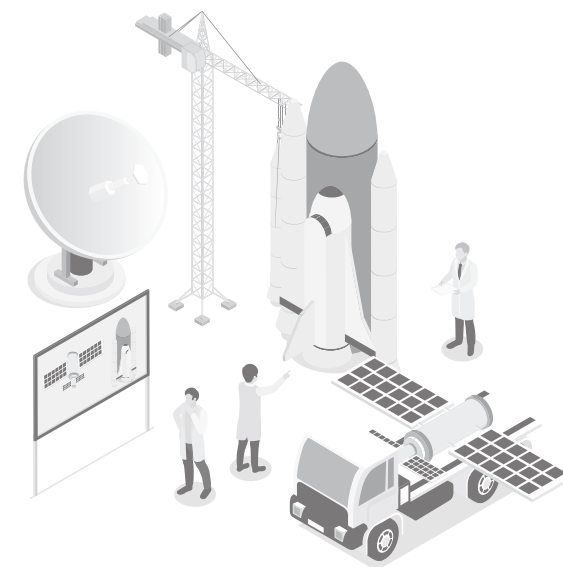
- 모든 규모(소형 입자부터 로켓 본체까지)의 새로운 우주 잔해 방출 방지
- 충돌 및 위성 분해로 인한 2차 잔해 생성을 예방
- 우주 교통 감시 및 조정 능력 향상, 소형 잔해 추적 기술 개발
- 임무 종료 후 저궤도(LEO) 및 정지궤도(GEO)에서 신속한 위성 제거 기술 개발
- 대기 재진입 시 지상 피해 방지 및 환경 영향을 최소화하는 기술 개발
- 우주 잔해가 대기 및 천문 관측에 미치는 영향을 연구하고 대응책 마련

Zero Debris 정책은 ESA의 우주 지속 가능성 확보를 위한 전략적 접근으로, 유럽 및 글로벌 우주 기업들의 기술 개발 방향성에 영향을 미칠 것으로 예상

2.11 EU 우주 정책 현황 보고서 ('24.11.06)⁵⁰⁾

- (아리안6 첫 비행 성공)** 2024년 7월 9일, 유럽의 신형 중대형 발사체 아리안6 (Ariane 6)이 성공적으로 첫 비행을 수행하며 EU의 독자적인 우주 접근 역량을 회복
 - 2023년 아리안5(Ariane 5) 퇴역 이후 수개월간 미국 민간 발사체에 의존했던 상황에서, ESA는 아리안6 개발을 통해 발사 비용 절감 및 재사용 기술 도입을 추진 중이나, 여전히 비용 경쟁력 확보가 주요 과제로 남음
- (우주산업의 주요 흐름과 EU의 대응 방향)** 최근 글로벌 우주산업에서는 △민간 주도의 우주경제 확대 △위성 및 발사체 증가에 따른 궤도 혼잡 △안보 및 군사적 활용 증가로 인한 경쟁 심화가 주요 흐름으로 나타남
 - 이에 따라 EU는 공공-민간 협력 강화를 통해 경쟁력을 확보하고, 전략적 자율성을 유지하기 위한 정책적 대응을 추진 중
- (EU 경쟁력 강화를 위한 정책 방향)** 우르줄라 폰 데어 라이엔(Ursula von der Leyen) EU 집행위원장은 2024-2029 정치 지침에서 우주를 EU 경쟁력 강화를 위한 핵심 분야로 강조
 - NATO와의 협력을 통해 전략적 자율성을 확보하고, EU 우주법(EU Space Law) 제정을 통해 공통 규제 체계를 마련할 것을 제안
 - (유럽 우주 경제 및 투자 현황)** 2018년 기준, EU GDP의 10%가 위성항법 신호 활용에 기반을 두고 있으며, 유럽 우주 기업들은 약 62,000명의 인력을 고용
 - ※ 이 중 지구관측 분야에서만 14,000명 이상 근무
 - GNSS(위성항법 시스템) 기기 시장은 지속적으로 성장하고 있으나, 아시아-태평양 지역에서의 시장 점유율 확대를 위한 전략 마련이 필요
 - 2023년 EU 및 회원국의 총 우주 투자액은 117억 유로로, 미국(660억 유로), 중국(180억 유로) 대비 현저히 낮아 공공 투자 확대 및 민간 참여 촉진이 요구됨

- (우주 발사체 경쟁력 강화를 위한 전략)** ESA 및 아리안그룹은 재사용 발사체 기술(프로메테우스, 테미스 프로그램) 개발을 추진 중이나 일정이 지연되고 있음
 - 아리안6의 1kg당 발사 비용은 SpaceX의 Falcon 9 대비 두 배 이상 높아 가격 경쟁력 확보가 시급한 상황
 - 또한 유럽 내 일부 국가들이 ESA에 가입하지 않아 통합된 정책 추진이 어렵다는 점이 한계로 작용
- (우주 인프라 보호 및 안보 전략)** 2023년 발표된 EU 우주 안보 및 방위 전략을 통해 EU는 우주 기반 인프라 보호의 필요성을 강조하며, 위성 해킹, 전자기 방해 등 사이버 위협 대응을 위한 전략적 조치 마련을 추진
 - 군사 및 민간 통합 위성통신 시스템 IRIS²를 구축하여 2027년까지 290개 위성을 배치할 계획
- (향후 정책 및 규제 개선 방향)** 2021-2027 EU 우주 프로그램(총 예산 148억 유로)이 추진 중이며, Galileo(위성항법), Copernicus(지구 관측), EGNOS(항법 보정), SSA(우주 감시 및 추적), GOVSATCOM(정부 위성통신) 등의 프로그램을 포함
 - 2024년 9월 EU 우주법 초안 발표가 예정되어 있으며, ESA 및 EU 집행위원회는 탄소중립 및 AI 기반 엔진 최적화를 포함한 우주 산업 전환 전략을 공동 추진할 계획
- (국제 협력 및 민간 투자 확대 필요)** 미국 및 중국 대비 낮은 연구 개발(R&D) 투자 규모를 극복하기 위해 EU 회원국 간 공공 투자 확대가 필수적
 - 이를 보완하기 위해 민간 스타트업 지원을 위한 CASSINI 프로그램(10억 유로 규모)을 운영 중
 - 글로벌 시장에서의 경쟁력 강화를 위해 전략적 우주 외교 및 국제 협력을 더욱 확대할 필요성이 제기됨



50) [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI\(2024\)766236](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI(2024)766236)

3 시사점

3.1 최근 유럽의 우주 추진 및 발사체 연구동향에 대한 시사점

❖ 유럽의 우주 발사체 및 추진 기술의 전환

- 유럽은 친환경적이고 지속 가능한 우주 발사체 개발에 중점을 두고 있으며, 아리안 6 발사체 및 재사용 가능한 발사체 기술을 통해 발사 비용을 줄이고 경쟁력을 강화하려는 노력을 지속 중임
- 발사체 재사용 기술 및 친환경 추진 기술에서 미국이나 중국과 비교하여 격차가 존재하지만, 유럽우주국(ESA)은 다양한 연구 프로그램(프로메테우스, 테미스, 인라이튼 등)을 통해 이 격차를 줄이려 하고 있음

❖ 다국적 협력과 민간 참여 확대

- 유럽의 우주 추진 연구는 다양한 회원국 및 민간기업이 참여하는 다국적 협력체계를 통해 이루어지며, 특히 발사체 재사용 및 탄소중립 추진 기술 개발을 목표로 민간 부문의 참여가 필수적임
- 이탈리아, 프랑스, 독일 등 주요 국가와 민간 스타트업이 적극적으로 연구에 참여하고 있음

❖ 글로벌 경쟁력 강화 및 환경 지속 가능성

- 유럽은 미국과 중국에 비해 발사체 발사 빈도 및 탑재체 수에서 현저히 뒤처지고 있으나, 저비용·친환경 추진체 개발을 통해 글로벌 경쟁력을 강화할 수 있는 기회를 모색 중임
- 탄소중립 목표 달성을 위한 친환경 추진 기술 개발이 유럽 발사체 연구의 중요한 축을 이루고 있으며, 물을 추진제로 사용하는 혁신적인 연구들이 활발히 진행되고 있음

❖ 우주 법규 및 정책 정비 필요

- 유럽연합은 자체적인 우주 법규와 발사체 관련 규제 정비가 필요하며, 탄소중립과 같은 환경 규제를 반영한 새로운 법적 프레임워크 마련이 시급
- 발사체 개발 및 운용의 신뢰성을 높이기 위해서는 기술 표준화와 법적 장치 마련이 필수적임

❖ 유럽 대형 발사체 연구의 방향성과 과제

- 유럽은 Themis 및 Ariane Next 프로그램을 통해 발사 비용 절감 및 재사용 로켓 기술 확보를 목표로 하고 있으며, SpaceX Falcon 9과 경쟁 가능한 기술 개발에 주력하고 있음
- 유럽형 재사용 로켓 개발이 초기 단계로, 신뢰성 및 비행 안정성 확보가 핵심 과제이며, 이를 위한 실증 연구가 활발히 진행 중임
- 친환경 추진 시스템 연구를 병행하여 기존 화학연료를 대체할 수소 및 메탄 기반 연료 도입을 추진하며, 탄소 배출 저감 및 지속 가능한 우주 개발을 모색 중임

❖ 다국적 협력과 민간 부문의 역할 강화

- ESA를 중심으로 유럽 주요 국가 및 민간 산업체가 차세대 발사체 연구 협력을 강화하고 있으며, 이를 통해 Themis 프로젝트 및 Prometheus 엔진 개발을 병행 추진 중임
- 독일, 프랑스, 이탈리아를 포함한 유럽 각국의 연구기관 및 기업들이 연구 개발에 참여하고 있으며, 재사용 발사체 및 친환경 추진 기술 확보를 위해 민간 부문이 중요한 역할을 수행하고 있음

❖ 친환경 추진 기술과 지속 가능한 에너지 연구

- 유럽연합의 Horizon 프로그램 지원을 통해 H2POWRD 및 A-STEAM 프로젝트와 같은 차세대 친환경 추진 기술 연구가 지속적으로 선정되어 진행되고 있음
- 수소 연료 기반 회전 데토네이션 가스터빈(RDGT) 연구는 기존 가스터빈 대비 연료 효율을 향상시키고 탄소 배출을 저감할 가능성을 탐색하고 있음
- 알루미늄-스팀 연소 기술(A-STEAM)은 탄소 배출 없는 대체 연료로서 연구되고 있으며, 우주 추진체 및 지상용 발전 시스템에 응용될 가능성을 모색 중임

❖ 우주 탐사 및 시뮬레이션 연구 확대

- ESA와 독일항공우주센터(DLR)가 공동으로 운영하는 LUNA 아날로그 시설이 개소되어, 향후 달 탐사를 대비한 다양한 실험이 수행될 예정임
- LUNA 시설에서는 탐사 로버 및 우주비행사의 협력 연구, 달 지형 분석을 위한 다중 센서 실험, 지하 자원 탐사를 위한 지질 레이더 실험 등이 진행되며, 실질적인 달 탐사 기술 개발을 위한 테스트베드 역할을 수행하고 있음
- 중력 오프로드 시스템을 활용하여 탐사 로버 및 우주비행사의 이동 실험이 가능하며, 향후 달 기지 건설 및 장기 탐사 임무를 대비한 연구가 지속될 전망임

❖ 우주 정책 및 법규 정비 필요성

- 유럽연합은 발사체 개발 및 재사용 기술 확산을 위한 법적 프레임워크를 마련해야 하며, 친환경 추진 기술 도입을 위한 정책적 지원이 요구됨
- 우주 이력 보완하기 위해 민간 스타트업 지원을 위한 CASSINI 프로그램(10억 유로 규모)을 탐사 및 자원 활용을 위한 규제 정비가 필요하며, 달 탐사 및 장기 우주 임무에 대비한 법적 및 기술적 표준화가 필수적임
- 지속 가능한 우주 개발을 위해 환경 규제를 반영한 새로운 법적 장치를 마련하고, 국제 협력을 강화하여 글로벌 경쟁력을 확보해야 함

3.2 최근 유럽의 우주개발 및 탐사 정책에 대한 시사점

❖ 우주 활용 협력의 확대 필요성

- 유럽우주국(ESA)과 유럽연합(EU)은 우주 기술을 활용해 기후 변화, 재난 대응, 자산 보호 등 다양한 글로벌 도전을 해결하려 하고 있으며, 이는 유럽의 우주 활용을 가속화하는 데 중요한 역할을 할 것으로 보임
- 녹색 미래를 위한 우주 기술, 위기 대응 시스템, 우주 자산 보호는 단순히 기술적 진보뿐만 아니라 글로벌 도전 과제 해결에 기여하는 핵심 요소

❖ 경쟁력 강화를 위한 정책과 민간 부문 참여 촉진

- 유럽은 우주 산업 경쟁력 강화를 위한 정책적 노력을 강조하고 있으며, 민간 투자와 협력을 통해 우주 산업의 성장을 도모하고 있으며, 이를 기반으로 디지털 전환과 환경 보호에 기여하며 경제적 이익을 창출할 수 있음
- 비우주 산업과의 상호작용 강화, 민간 부문 참여 촉진, 혁신적 금융 지원 모델 도입 등이 필요한 과제로 제시되고 있음

❖ 글로벌 파트너십과 자율성 확보

- 유럽 우주 산업의 자율성을 확보하고 글로벌 경쟁력을 강화하기 위한 파트너십이 강조되고 있으며, 신뢰할 수 있는 국제 협력도 중요한 요소로 부각
- 유럽의 경제 보호와 안전을 위한 우주 시스템의 중요성이 커지고 있으며, 에너지 시스템 보호 및 우주 날씨 모니터링 등이 주요 과제로 제시되고 있음

❖ 미래지향적 우주 정책과 지속 가능한 발전

- ESA의 Agenda 2025와 같은 장기적 우주 정책은 지속 가능한 발전과 경쟁력 강화를 목표로 하고 있으며, 탈탄소화와 지속 가능한 우주 자산 보호에 중점을 두고 있음
- 이를 통해 유럽은 우주 산업에서의 선도적 위치를 확보하고, 장기적으로 녹색 및 디지털 전환을 지원하는 전략을 구체화할 예정

❖ 우주 자율성 확보 및 글로벌 경쟁력 강화

- 유럽연합(EU)과 유럽우주국(ESA)은 독자적인 우주 역량 강화를 위해 우주 인프라 및 발사체 기술 확보를 추진 중이며, 이를 통해 글로벌 우주산업에서의 자율성을 확대하려는 전략을 지속적으로 추진
- 아리안6의 성공적인 첫 비행을 계기로 발사 비용 절감 및 재사용 기술 개발을 가속화할 필요성이 있으며, SpaceX와 같은 경쟁사 대비 가격 경쟁력을 확보하는 것이 핵심 과제

❖ 공공-민간 협력 강화 및 투자 확대 필요

- 유럽 우주산업의 지속 성장을 위해 민간 부문의 참여 확대가 필수적이며, 이를 위한 정책적 지원과 혁신적인 금융 지원 모델이 필요
- 현재 미국 및 중국 대비 EU의 우주산업 투자 규모가 낮은 상황에서, 연구개발(R&D) 투자 확대 및 스타트업 지원을 위한 프로그램 운영이 요구됨
- CASSINI 프로그램과 같은 민간 스타트업 육성 정책을 지속적으로 추진하여 민간 혁신을 촉진하고 글로벌 시장에서의 경쟁력을 확보해야 함

❖ 우주와 방위산업 연계 강화 및 안보 전략 수립

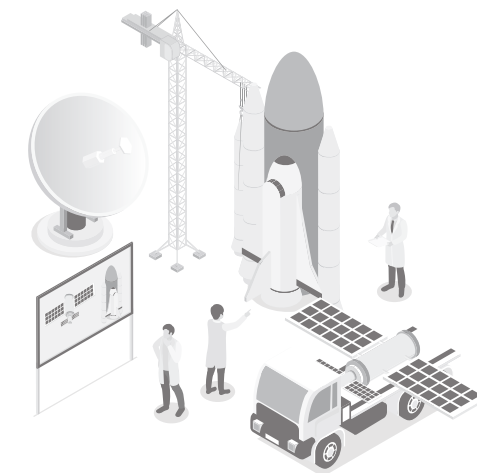
- 위성 기반 감시, 통신, 항법 시스템을 통한 안보 역량 강화를 위해 NATO 및 EU 방위산업과의 협력 필요성이 증대
- EU 우주 안보 및 방위 전략을 기반으로 사이버 위협 대응, 위성 보호, 군사 및 민간 통합 위성통신 시스템(IRIS²) 구축 등을 체계적으로 추진해야 함

❖ 지속 가능한 우주 개발 및 규제 정비 필요

- ESA의 Zero Debris 정책을 바탕으로 우주 환경 보호를 위한 국제 협력을 확대하고, 우주 교통 관리 및 잔해 제거 기술 개발을 강화해야 함
 - ※ Zero Debris 정책은 기술이 성숙되는 경우 신규산업 진입을 위한 기술 장벽으로 작용할 수 있음
- 유럽의회 선거로 지연된 EU 우주법(EU Space Law) 제정을 통해 우주산업의 법·제도적 틀을 정비하고, 지속 가능한 우주 개발을 위한 정책적 방향성을 명확히 할 필요

❖ 국제 협력 확대 및 글로벌 시장 대응 전략 필요

- 글로벌 우주산업의 급속한 성장 속에서 EU는 미국, 중국 등과의 경쟁에서 기술적 우위를 확보하기 위해 국제 협력을 확대해야 하며, 전략적 우주 외교를 적극 추진할 필요
- 아시아-태평양 지역 등 신흥 시장에서 EU 우주산업의 시장 점유율을 확대하기 위한 전략적 접근이 필요하며, 이를 위해 글로벌 기업과의 협력 및 투자 유치가 중요



2024 유럽 우주 관측 연구 및 정책 동향

작성자 | 김민재
(우주항공 분야 KERC 서포터즈)



유럽은 우주 관측 연구와 정책에서 과학적 탐구와 전략적 이익을 균형 있게 추구하는 방향을 보이고 있다. 유럽우주국(ESA)은 외계행성 탐사, 다중 파장대 관측, 중력과 검출, 태양계 탐사 등 다양한 분야에서 PLATO, ATHENA, LISA 같은 대형 프로젝트를 추진하며 우주 과학의 최전선에서 활동하고 있다. 동시에, 우주 기상 예측 서비스 개발과 ClearSpace-1 미션을 통한 우주 쓰레기 제거 등 실용적 측면에서도 적극적인 노력을 기울이고 있다.

지구 관측 및 기후 변화 대응 분야에서는 Copernicus 프로그램이 확장되면서 Sentinel-6과 CO2M 위성 등을 통해 해수면 변화와 온실가스 배출을 정밀하게 모니터링하고 있다. Earth Explorer 미션의 Biomass와 FORUM 프로젝트는 산림 바이오매스 측정과 원격외선 복사 분석을 통해 기후 예측 모델의 정밀도를 높이고 있으며, Digital Twin Earth와 인공지능 기반 데이터 분석 플랫폼 개발로 실시간 데이터 처리 능력도 강화되고 있다.

우주 탐사에서는 EL3 착륙선 개발과 NASA와의 Artemis 프로그램 협력을 통해 달 탐사 역량을 확대하고 있으며, ExoMars 프로젝트 재구성과 Mars Sample Return 미션을 통해 화성 샘플 귀환 기술도 고도화되고 있다. Hera 미션은 소행성 충돌 실험 후 우주 방어 기술을 발전시키는 데 기여하고 있다.

우주 환경 보호와 안전을 위한 활동도 활발하다. ClearSpace-1을 통한 우주 쓰레기 제거 실증과 SSA 시스템, EU Space Traffic Management 이니셔티브를 통해 충돌 위험을 줄이고 지속 가능한 우주 환경 조성을 추진하고 있다. 아리안6(Ariane 6) 발사와 THEMIS 프로그램의 재사용 로켓 개발, IRIS2 위성군 구축 등 우주 기반 기술 개발도 병행되고 있으며, 우주 로봇틱스와 자율 시스템 연구를 통해 위성 수명 연장과 우주 쓰레기 감소에도 기여하고 있다.

국제 협력 면에서도 유럽은 NASA, JAXA, 인도, 일본 등 다양한 국가와 협력을 강화하고 있으며, Copernicus 데이터의 오픈 액세스 정책을 확대해 공공 및 민간 부문 모두에 활용 기회를 넓히고 있다. ESA와 EU는 연구 예산을 지속적으로 늘리며 민관 협력을 통한 연구와 산업 육성에도 힘쓰고 있다.

앞으로 유럽의 우주 산업은 민간 기업의 참여가 더욱 확대되고, 재사용 로켓과 인공지능 기반 데이터 처리 기술 발전을 통해 탐사와 운영의 효율성이 높아질 전망이다. 동시에, 우주 쓰레기 관리와 관련 규제가 강화되며 지속 가능한 우주 활동을 위한 기반이 더욱 견고해질 것으로 예상된다.

1 유럽의 우주관측 연구 동향

1.1 유럽우주국(ESA)

- 유럽우주국(European Space Agency, ESA)은 유럽의 우주관측 연구를 주도하는 핵심 기관으로, 22개 회원국의 협력을 바탕으로 다양한 우주 미션을 계획하고 실행
 - 1975년 설립 이후, 우주 과학, 지구 관측, 통신 및 항법, 유인 우주비행 및 로봇틱 탐사, 발사체 개발 등 다양한 분야의 연구 진행

Cosmic Vision 2015-2025

- 우주의 조건, 태양계의 작동 원리, 우주의 근본 물리 법칙, 생명과 행성의 기원 등 네 가지 주제와 관련한 대형, 중형, 소형 미션들로 구성된 우주 과학 연구 장기 계획

Cosmic Vision 프로그램 후속 계획 수립 착수

- 2025년 이후 우주 과학 연구 장기 계획 수립을 위한 과학자 커뮤니티 의견 수렴 시작
- 예정된 ESA 과학 프로그램의 다음 캠페인은 2035년부터 2050년까지 운영되는 우주 과학 임무를 다루는 Voyage 2050(2021년 6 월 Voyage 2050 계획 공식 발표¹⁾)
- 해당 계획에는 현재 3개의 대형급 임무와 6 ~ 7개의 중형급 임무, 그리고 소규모 임무 및 기회 예정

1.2 지구 관측 분야

Copernicus 프로그램 확장²⁾

- Sentinel-6 위성:** Jason-CS/Sentinel-6 Michael Freilich 미션의 일환으로 전 지구 해수면 높이를 측정. 최신 고도계 기술을 통해 1cm 이내의 정밀도를 확보, 기후 변화로 인한 해수면 상승 및 지역별 변화 모니터링이 진행 중. 2024년 하반기부터는 데이터의 실시간 처리 및 분석 시스템이 강화되어, 해양 및 기후 연구에 중요한 역할을 수행 중
- CO2M(Copernicus Carbon Dioxide Monitoring) 미션:** 도시 및 산업단지의 이산화탄소 배출을 정밀하게 측정할 수 있도록 설계된 위성으로, 2025년 발사를 목표로 현재2024년 하반기에 활발한 준비 단계에 있음(정확한 날짜는 미공개). 대기 중 온실가스 농도 변화를 세밀하게 파악해, 기후 변화 대응 및 정책 수립에 기여할 예정

1) <https://sci.esa.int/web/director-desk/-/voyage-2050-sets-sail-esa-chooses-future-science-mission-themes>

2) <https://www.eoportal.org/satellite-missions/copernicus-sentinel-6-michael-freilich>
https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Europe_s_carbon_dioxide_monitoring_mission_elevated_to_the_power_of_three

ESA의 Earth Explorer 미션³⁾

- **Biomass 위성**: 2023년 발사 이후, 2024년 하반기부터 본격적 과학 운영 단계에 진입하여 P-밴드 SAR(합성개구레이더) 기술로 전 지구 산림 바이오매스 양을 정밀하게 측정. 탄소 순환 모델의 개선과 산림 보전 정책에 중요한 데이터를 제공하고 있음
- **FORUM 미션(Far-infrared Outgoing Radiation Understanding and Monitoring)**: 지구 원격외선 복사를 측정하여 기후 모델의 정확도를 높이는 것을 목표로 하는 새로운 위성 미션으로, 현재 상세 설계 단계에 있음. 2024년 하반기 설계 최종 검토와 기술 시연 단계에 돌입, 발사 후 기후 예측 정확도 향상에 기여할 전망

데이터 처리 및 활용⁴⁾

- **AI/ML 기반 데이터 분석 플랫폼**: 2024년 하반기 ESA는 페타바이트 규모의 지구 관측 데이터를 실시간으로 처리할 수 있는 AI 및 머신러닝 기반 플랫폼을 구축 중. 데이터의 자동 분류, 이상 징후 감지, 예측 모델 업데이트 등에 활용되어, 연구자와 정책 결정자들에게 신뢰성 높은 정보를 제공 예정
- **Digital Twin Earth 프로젝트**: 지구 시스템의 디지털 복제본을 구축하여 기후 변화 시나리오의 시뮬레이션 및 예측을 가능하게 하는 이 프로젝트는, 2024년 하반기에 특히 도시 및 해안 지역 모델링 능력이 강화됨. 지역 맞춤형 대응 전략 수립에 큰 도움이 되고 있음

1.3 우주 탐사 분야

태양계 탐사 확대

- **(BepiColombo)** 수성의 내부 구조, 표면 구성, 자기장 관측 등을 목표로 현재 수성으로 향하고 있으며, 2025년 도착 예정
- **(JUICE(JUpiter ICy moons Explorer))** 목성과 그 위성 탐사를 목표로 2023년 4월에 발사되어 2031년 목성계에 도착할 예정. 현재 약 1년간의 초기 운영 데이터 분석을 시작하였으며, 목성 자기장 및 목성 위성들의 초기 관측 결과 공유 예정⁵⁾
- **(ExoMars)** 화성의 지질학적 특성과 생명체 존재 가능성을 연구⁶⁾

달 탐사⁷⁾

- **ESA European Large Logistic Lander (EL3)**: ESA가 주도하는 독자적인 달 착륙선 개발 프로젝트로, 1.5톤 규모의 화물을 달 표면에 운반할 수 있는 능력을 목표로 함. 현재 상세 설계 검토 단계에 있으며, 2028년 발사를 목표로 2024년 하반기에는 기술 검증 및 프로토타입 테스트가 수행 중

- **Artemis프로그램 참여**: ESA는 NASA와의 협력을 통해 European Service Module(ESM)을 제작 중. Artemis 2호와 3호에 탑재될 ESM은 유인 달 탐사의 핵심 요소로, 2024년 하반기 생산 라인 가동 및 품질 검증이 진행

화성 탐사⁸⁾

- **ExoMars 로버 미션**: 러시아와의 협력 중단 이후 재구성된 ExoMars 프로젝트는, 2024년 하반기 NASA와의 새로운 협력 체계하에서 개발되고 있음. 기존 과학 장비를 유지하면서도, 혁신적인 착륙 시스템 도입으로 화성 표면 탐사의 효율성을 높이고 있음
- **Mars Sample Return 미션**: ESA가 담당하는 Earth Return Orbiter는 화성에서 채취한 샘플을 안전하게 지구로 복귀시키기 위한 핵심 역할을 수행. 2024년 하반기 기술 시연 및 통합 시험을 통해 미션의 성공 가능성을 높이고 있음

소행성 탐사

- **(Hera 미션)** NASA의 DART 임팩터 실험 후 충돌한 디모르포스 소행성을 집중 조사하는 Hera 미션은, 현재 비행 모델 조립과 지상 테스트가 병행. 2024년 말까지 모든 시스템 테스트를 완료함. 향후 미션이 시작되면 이를 통해서 소행성 내부 구성 및 물리적 특성을 정밀하게 분석할 예정
- **(CHEOPS(CHARacterising EXOPlanet Satellite))** 2019년 12월에 발사된 이후 알려진 외계행성 특성에 대한 정밀 연구를 수행 중인 CHEOPS는 항성을 지나가는 행성에 의한 별빛의 미세 변화를 측정하여 행성의 정확한 크기 측정 가능
- **(PLATO(PLANetary Transits and Oscillations of stars))** 2026년 발사 예정으로, 지구와 유사한 외계 행성 탐사를 목적으로 하며, 26개의 소형 망원경을 사용하여 넓은 영역의 하늘을 관측하며, 수십만 개의 별을 동시에 모니터링할 수 있음
- **(ARIEL(Atmospheric Remote-sensing Infrared Exoplanet Large-survey))** 2029년 발사를 목표로 개발 중이며, 약 1000개 이상의 외계행성 대기를 관측하여 그 구성을 분석할 예정

다중 파장대 관측 기술 연구

- **(XMM-Newton)** X선 관측을 위해 1999년에 발사되었으며, 20년 이상 운용되며 중성자별, 블랙홀, 은하단 등 고에너지 천체 현상을 관측
- **(Herschel Space Observatory)** 적외선 관측을 위해 2009년부터 2013년까지 운용되었으며, 은하의 형성과 진화, 항성과 행성계의 탄생 과정 등을 연구하는 데 큰 기여
- **(INTEGRAL(INTERNational Gamma-Ray Astrophysics Laboratory))** 감마선 관측을 위해 2002년 발사되어 현재까지 운용 중이며, 우주에서 가장 격렬한 현상들을 관측
- **(ATHENA (Advanced Telescope for High-Energy Astrophysics))** 2030년대 초반 발사를 목표로 개발 중인 X선 우주 망원경으로, 현존하는 X선 망원경보다 100배 이상 큰 유효 면적을 가질 예정이며, 우주 초기의 초대질량 블랙홀 연구, 우주 대규모 구조의 형성 과정 연구 등에 활용될 예정

3) https://www.esa.int/esatv/Videos/2024/10/BIOMASS_mission_overview_and_status

4) <https://destination-earth.eu/event/esa-digital-twin-earth-components-open-science-meeting/>

5) https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Juice/Juice_s_first_year_in_space_it_s_real_now

6) <https://www.gov.uk/government/publications/announcement-of-opportunity-2024-exploration-science/announcement-of-opportunity-2024-exploration-science>

7) <https://www.gov.uk/government/publications/uk-space-agency-corporate-plan-2022-25/updated-may-2024-delivery-timeline>

<https://blogs.esa.int/orion/2025/01/24/powering-artemis-in-2024/>

8) <https://www.space.com/nasa-esa-join-forces-exomars-rover-rosalind-franklin>

중력과 관측 기술 개발 연구

- (LISA(Laser Interferometer Space Antenna)) 2034년 발사를 목표로 우주 기반 중력과 관측소를 개발 중. LISA는 서로 250만km 떨어진 세 개의 우주선으로 구성되며, 이들은 레이저 간섭계를 형성하여 중력파를 검출하여 초대질량 블랙홀의 충돌, 극단적인 질량비의 쌍성계, 우리 은하의 조밀한 쌍성계 등을 관측할 수 있을 것으로 전망

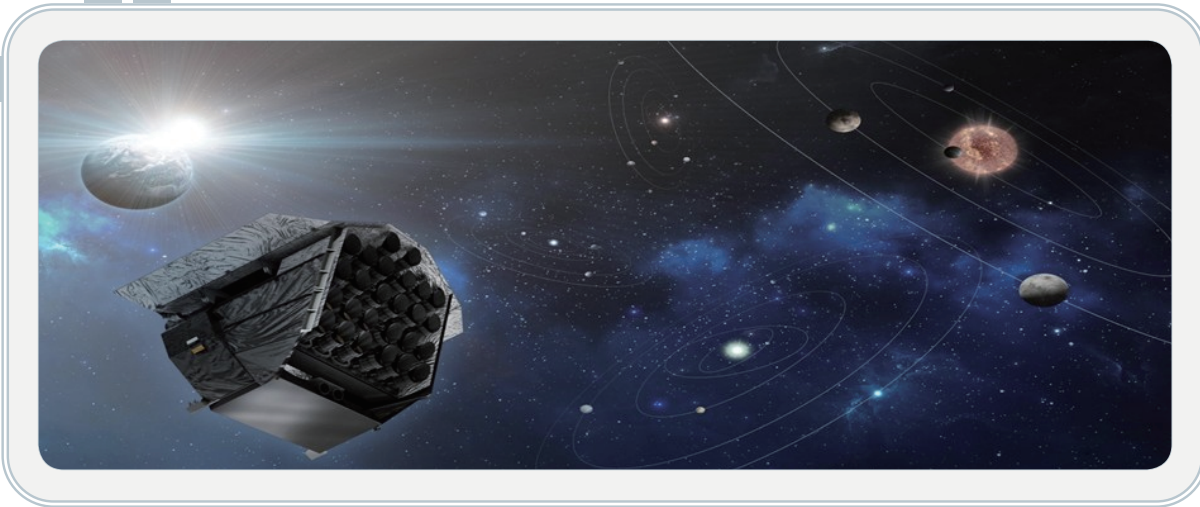


그림 1. PLATO Mission의 상상도

1.4 우주 쓰레기 관리 및 우주 안전

ClearSpace-1미션⁹⁾

- 세계 최초의 능동적 우주 쓰레기 제거 실증 미션인 ClearSpace-1은, 2026~2028년 발사를 목표로 기술 개발이 진행 중. 2024년 하반기에는 최종 시제품 제작과 궤도 내 테스트 준비 단계가 강화되었으며, Vega 로켓 상단부의 특정 우주 쓰레기를 대상으로 포획 및 제거 기술을 시험함

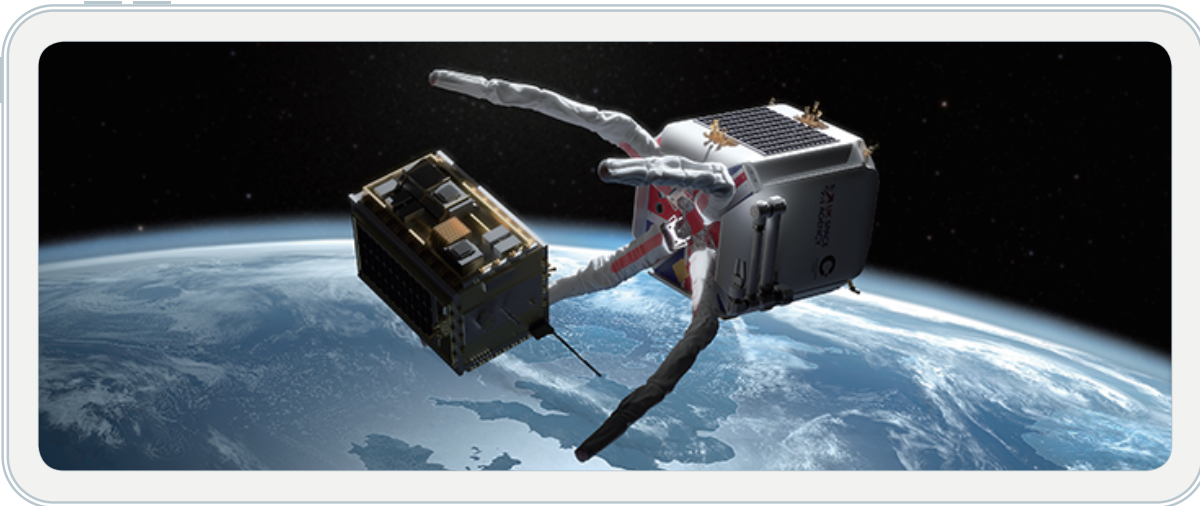


그림 2. 우주쓰레기를 해결하기 위한 ClearSpace1 미션 상상도

9) <https://clearspace.today/clearspace-1-mission-changes-in-response-to-space-debris-collision-to-go-leaner-faster-and-safer/>

- 2024년 2분기에 독일 브레멘의 OHB SE가 위성 버스를 제공하고 시스템 통합 및 발사를 주도, 스위스의 스타트업 ClearSpace는 랑데부 및 근접 작전, 임무의 새로운 쓰레기 목표물 포착, ESA의 On-Board Autonomy-1(Proba-1) 위성 및 지구 대기권 재진입 프로젝트 감독을 맡을 예정임을 발표¹⁰⁾
※ 로봇 팔이 장착된 우주선을 사용하여 실제 우주 쓰레기를 포획하고 지구 대기권으로 끌어들여 소각시키는 과정을 시연할 예정

Space Situational Awareness(SSA)

- ESA는 광학 및 레이더 센서를 결합한 새로운 우주물체 추적 시스템을 구축하고 있음. 2024년 하반기에는 특히 저궤도 물체의 실시간 추적 능력을 추가함. 우주 충돌 위험을 줄이는 동시에 우주 환경 안전성 확보에 기여하고 있음

우주 교통 관리

- EU Space Traffic Management 이니셔티브: 증가하는 우주 활동에 대응하기 위해, 유럽은 우주물체 간 충돌 위험을 최소화하고 지속 가능한 우주 활동을 보장하기 위한 통합 관리 체계를 마련하고 있음. 2024년 하반기에는 국제 협력과 정보 공유 시스템 구축이 본격화되어, 각국 우주 기관과의 협력 네트워크가 강화되고 있음

1.5 우주 기반 기술 개발

차세대 발사체¹¹⁾

- Ariane 6: 유럽의 우주 접근성을 크게 향상시킬 차세대 발사체인 Ariane 6는 2024년 하반기(7월) 첫 발사를 시작으로 상업 운용을 시작함. ESA는 동시에 저비용 및 재사용 발사체 기술개발을 목표로 THEMIS프로그램을 진행 중. 비용 절감과 발사 빈도 향상을 위한 핵심 기술이 시연 중

위성 통신

- IRIS2(Infrastructure for Resilience, Interconnectivity and Security by Satellite) 프로그램: 유럽의 독자적인 보안 통신 위성군 구축을 목표로 하는 IRIS2는 2024년 하반기 상세 시스템 설계를 완료하였고 차세대 위성 네트워크의 핵심으로 자리매김할 예정. 군사 및 민간 분야에서의 안전한 데이터 전송 및 통신이 보장될 전망

우주 로봇틱스 및 자율 시스템

- 궤도상 서비스 기술과 자율 우주 시스템 연구가 2024년 하반기에 가속화되고 있음. 위성의 수명 연장, 우주 쓰레기 저감 및 미래 유인/비유인 탐사 미션의 효율성 향상에 기여할 것으로 기대. 최신 로봇틱스 기술을 적용한 자율 정비 시스템이 시험 운영 단계에 돌입하였으며, 향후 상용화 가능성이 높아지고 있음

10) <https://spacenews.com/major-changes-approved-for-clearspace-1-mission/>

11) https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Ariane/Ariane_6_joint_update_report_16_September_2024

❖ 우주 망원경 기술 혁신

- (ATHENA(Advanced Telescope for High-Energy Astrophysics)) 2030년대 초반 발사를 목표로 개발 중인 X선 우주 망원경으로, 현존하는 X선 망원경보다 100배 이상 큰 유효 면적을 가질 예정이며, 우주 초기의 초대질량 블랙홀 연구, 우주 대규모 구조의 형성 과정 연구 등에 활용될 예정

1.6 기후 변화 대응 연구

❖ 온실가스 및 대기 모니터링

- CO2M 위성군: 도시 및 산업단지의 이산화탄소 배출을 정밀 모니터링하는 CO2M 위성군은, 2024년 하반기에 최신 센서 기술을 적용한 테스트 운영을 마치고 정식 운영 준비에 돌입. 동시에 메탄 배출 감시를 위한 새로운 센서 개발도 병행되고 있어, 대기 중 온실가스 농도에 대한 전반적인 모니터링 능력이 크게 향상되고 있음

❖ 극지방 및 빙하 관측

- CryoSat 후속 미션: 2024년 하반기 유럽은 극지방 빙하의 두께와 변화량을 측정하는 CryoSat 후속 미션을 계획 중. 향상된 레이더 고도계를 통해 기존 오차 범위($\pm 10\text{cm}$)를 더욱 줄이는 것을 목표로 함

❖ 기후 예측 및 모델링

- (Solar Orbiter) 2020년 2월에 발사되어 태양의 극지방을 포함한 전체적인 모습을 관측하고 있으며, 태양풍의 발생 메커니즘, 태양의 자기장 생성과 변화, 코로나 질량 방출(CME) 현상 등을 연구
- (SWARM) 2013년에 발사된 세 개의 위성으로 구성되며, 지구 자기장을 정밀하게 측정
- 유럽기상센터(ECMWF)의 기후 예측 모델은 2024년 하반기, 최신 데이터와 AI 기반 분석 기법을 도입 하여 48시간 이상 장기 예보의 정확도를 높이고 있음. 이를 통해 기후 변화에 따른 재난 예측 및 대응 전략 수립에 필수적인 정보를 제공

1.7 국제 협력 및 정책 동향

❖ EU-ESA협력 강화¹²⁾

- 새로운 프레임워크 협약을 통해 EU와 ESA 간 협력이 2024년 하반기에 더욱 강화됨. 특히 우주 교통 관리, 기후 변화 대응, 그리고 우주 안전 분야에서 공동 연구 및 기술개발 프로젝트가 확대

❖ 국제 파트너십 및 다자간 협력¹³⁾

- NASA, JAXA, 인도 등 주요 우주 기관과의 협력이 지속적으로 확장되고 있음. 달 및 화성 탐사 분야에서 기술 교류뿐 아니라, 우주 쓰레기 관리와 우주 기반 기술개발 등 다양한 영역에서 다자간 협력 체계가 구축되고 있음

12) https://italiaue.esteri.it/en/news/dalla_rappresentanza/2024/12/enhancing-space-cooperation-in-the-eu-28-11-2024/

13) https://www.esa.int/About_Us/Corporate_news/JAXA-ESA_Joint_Statement_on_Next_Big_Cooperations

- 최근 국제 워크숍과 공동 연구 세미나 등이 다수 개최되어, 우주 정책 및 기술 발전에 관한 정보 공유와 공동 대응 전략 수립이 활발히 진행되고 있음
- 일본 우주항공연구개발기구(JAXA)와는 BepiColombo 미션을 공동으로 수행하고 있으며, 이 외에도 중국, 인도, 러시아 등 다양한 국가의 우주 기관과 협력 관계유지
- 전통적인 파트너와의 협력을 강화하는 동시에, 우리나라, 인도, 아랍에미리트 등 신흥 우주 국가들과의 협력도 확대할 것으로 예상

❖ 학제간 연구 확대

- (Gaia) 인공지능과 빅데이터 기술을 활용하여 약 20억 개의 항성에 대한 위치, 거리, 운동, 밝기 등의 데이터를 수집·처리·분석하여 우리 은하의 상세한 3D 지도를 작성할 수 있게 되었으며, 은하의 형성과 진화에 대한 새로운 통찰 확보
- (SAGA(Security And cryptoGrAphic mission)) 우주에서의 양자 암호 통신 기술을 개발 추진. 이론적으로 해킹이 불가능한 완벽한 보안을 제공할 수 있어, 미래의 통신 보안에 혁명을 가져올 것으로 기대
- (ExoMars) 화성의 생명체 존재 가능성 탐사, 국제우주정거장에서 다양한 생물학 실험 수행 등을 통해 우주 환경이 지구 생명체에 미치는 영향을 연구하고, 우주 여행이 인체에 미치는 영향을 파악

1.8 연구 예산 및 지원 현황

❖ ESA 및 EU 예산 배분¹⁴⁾

- 유럽우주국(ESA)의 2024년 예산은 약 77억 9천만 유로로 책정되었으며, 이는 전년 대비 10% 증가한 금액임. 2025년 예산은 총 76억 8천만 유로로 잠정 승인되었으나, 일부 회원국의 추가 기여가 예상되어 최종 예산은 증가할 것으로 보임
- 2025년 주요 프로그램별 예산은 지구 관측(Earth Observation) 33.6%, 항법(Navigation) 12.5%, 통신(Connectivity and Secure Communications) 10.6%, 우주 수송(Space Transportation) 9.8%, 인간 및 로봇 탐사(Human and Robotic Exploration) 7.8%, 기타 프로그램 25.7%로 배분
- 이러한 배분은 2024년에 비해 지구 관측 분야의 비중이 증가하고, 인간 및 로봇 탐사와 우주 수송 분야의 비중이 감소한 것을 보여줌

❖ EU 우주 프로그램 및 Horizon Europe

- Horizon Europe 프로그램을 통해 신생 우주기업 및 혁신 프로젝트에 대한 연구 지원이 확대되고 있음. 2024년 하반기에는 특히 민간 투자와 연계한 우주 산업 활성화, 상업화 촉진 프로그램이 본격 시행. 다양한 국가 및 기관과의 공동 투자 모델이 도입되고 있음

14) https://europeanspaceflight.com/esa-council-approves-initial-e7-7b-2025-budget/?utm_source=chatgpt.com

[Horizon Europe 내 우주 프로그램 예시]

- 초기 지구, 화성 및 금성을 외계행성으로 연구(EASE): 고급 수치 모델과 JWST 데이터와 결과를 통해 태양계 밖의 거주 가능성에 대한 중요한 통찰력을 얻고 외계 행성 탐사의 미래를 이끌 수 있을 것으로 기대
- 유럽의 우주, 항공 및 지상 도구들이 긴급 대응 요원을 지원하는 프로그램(European space, aerial and terrestrial assets supporting first responders' operations): EU가 자금을 지원하는 EUSATFINDER 프로젝트는 긴급 상황에서 위성 시스템을 사용하여 응급 구조대를 지원하고 시민의 복지를 향상시킬 수 있는 확장 가능한 통합 솔루션을 제공할 예정

1.9 향후 전망

❖ 상업화 및 민간 참여 확대

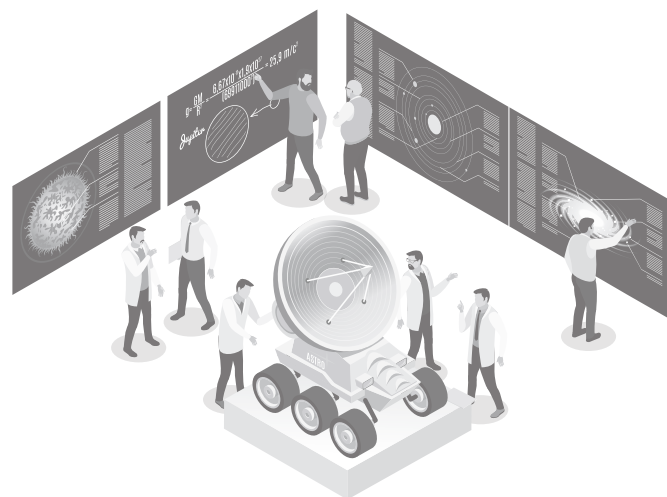
- **NewSpace 생태계의 발전:** 유럽 내에서의 민간 기업의 우주 활동 참여가 증가하면서, 소형 위성 제작, 우주 서비스 및 데이터 분석 시장이 빠르게 성장할 것으로 전망. 2024년 하반기에도 이미 수많은 스타트업과 민간 기업이 초기 상업 미션을 준비 중에 있으며, 향후 수년 내에 우주 산업 전반에 걸친 혁신을 기대

❖ 기술 발전 및 비용 절감

- **재사용 발사체 및 AI 기술 발전:** 재사용 발사체 기술의 성숙과 AI 및 빅데이터 분석 기술의 도입은 우주 접근 비용을 지속적으로 낮추고, 탐사 및 위성 운영의 효율성을 극대화할 예정. 2024년 하반기 기술 시연 결과들은 이러한 기술 발전이 실용화 단계에 접어들고 있음을 보여주고 있음

❖ 지속 가능한 우주 정책과 환경 보호

- **친환경 우주 활동:** 우주 쓰레기 저감, 친환경 추진제 개발, 그리고 지속 가능한 우주 교통 관리 체계 구축이 앞으로의 주요 정책 과제로 자리 잡고 있음. 국제 협력을 바탕으로 한 환경 보호 정책과 기술개발이 2024년 하반기부터 본격 시행되며, 우주 환경 보존과 미래 세대를 위한 지속 가능한 우주 활동이 더욱 강조될 예정



2 유럽의 우주 관측 정책 동향

2.1 유럽의 전략적 우주 관측 정책: 과학, 안보, 경제의 융합과 지속가능한 우주

❖ '유럽을 위한 우주 전략'(2016) 발표

- 사회와 EU 경제를 위한 우주 이익 극대화
- 글로벌 경쟁력 확보 및 혁신적인 유럽 우주 부문 육성
- 유럽의 자율성 강화 및 우주에 대한 안전한 접근과 사용 보장

❖ 안보와 방위를 위한 유럽 우주 전략에 관한 공동 커뮤니케이션 (2023) 발표¹⁵⁾

- 우주 위협에 대한 이해 공유, EU 우주 시스템 및 서비스의 탄력성과 보호 강화: 우주 위협에 대한 대응, 보안 및 방위를 위한 우주 활용, 우주 내 책임 있는 행동을 위한 파트너십 구축 등에 초점을 맞춤
- 연간 우주 위협 환경 분석 준비, EU 우주법 제안, 정보 공유 및 분석 센터 설립, 우주 도메인 인식 서비스 개발 등을 다룸
- 다자간 포럼 참여 강화, 미국과의 협력 심화, NATO 및 다른 파트너 국가들과의 교류 확대를 목표로 우주 기술의 이중용도 개발, 우주와 국방 분야 간 시너지 효과 창출, 우주 및 국방 스타트업 지원 등을 계획

2.2 EU-ESA 우주 정책 협력 강화

❖ EU - ESA 기본 협정 체결 20주년

- ESA는 20년이 넘는 기간 동안 유럽 우주 분야에서 EU와 긴밀한 파트너 관계를 유지해 왔으며, 올해 2분기는 2004년 5월 28일 첫 번째 기본 협정이 발효된 이후 두 기관이 협력한 지 20주년이 되는 해
※ 두 기관은 권한 범위가 다르고 회원국도 다르며 서로 다른 규칙과 절차가 적용되지만 우주에서 유럽의 미래를 확보한다는 공동 목표를 향해 함께 노력하는 강력한 파트너십을 형성
- ESA 액셀러레이터에 관한 협력 협정 체결: 기후 변화, 디지털화, 위기 대응 및 중요 인프라 보호와 같은 중요한 글로벌 과제를 해결하기 위해 우주를 활용하는 데 힘을 합친다는 ESA와 EU간의 협정 체결¹⁶⁾
- 2024년 상반기 회의에서 우주 교통 관리 시스템 개발 로드맵 논의, 우주 정책 조정 및 공동 프로그램 검토

❖ Copernicus 프로그램 확장 계획 수립¹⁷⁾

- 기후변화 모니터링 강화를 위한 신규 위성 추가 검토
- 데이터 활용도 제고를 위한 AI 기반 분석 플랫폼 개발 추진

15) https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_160116) https://www.esa.int/About_Us/ESA_history/20th_anniversary_of_the_EU_ESA_Framework_Agreement17) https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/earth-observation-new-strategic-agenda-ri-enable-copernicus-programme-evolution-2024-05-15_en

2.3 지구 관측 분야

❖ Copernicus 프로그램 및 데이터 활용 확대

- 유럽연합(EU)과 ESA는 Copernicus 프로그램을 통해 수집된 데이터를 정책 결정에 적극 활용하는 방향으로 개편 중. 2024년 하반기부터 Sentinel-6의 해수면 데이터가 기후 정책과 연계되며, 온실가스 감시를 위한 CO2M 미션이 강화됨
- 유럽은 공공 데이터 접근성을 높이기 위해 Copernicus 데이터를 오픈 액세스(Open Access) 방식으로 제공하는 정책을 확산. 이와 함께, 민간 및 학계와의 협력을 통한 실시간 데이터 활용 사례가 늘어나고 있음

2.4 우주 탐사 분야

❖ 달 및 화성 탐사 정책 방향

- ESA는Artemis 프로그램의 일환으로 ESM(European Service Module) 제작을 지속하며, EL3(European Large Logistics Lander) 프로젝트를 장기적인 달 탐사 로드맵에 포함 시킴
- NASA의 Artemis 프로그램 참여에 따른 European Service Module(ESM) 제공 정책은, 유럽 내 우주 산업 경쟁력 강화를 목표로 한 국제 협력 모델의 대표적 사례로 자리매김 하고 있음. 해당 정책은 인력 및 기술 지원, 비용 분담, 리스크 관리 등에 관한 세부 지침을 포함
- ExoMars 로버 개발은 NASA와의 협력 재구성으로 재정비되었으며, 화성 샘플 귀환 미션(Mars Sample Return)과의 연계 강화 시도

2.5 우주 쓰레기 관리 및 우주 안전

❖ 우주 환경 보호 및 규제 강화

- 2024년 하반기, 유럽위원회는 우주 쓰레기 감축을 위한 정책적 규제 마련. ClearSpace-1 미션을 통해 기술적 검증을 거쳐 상업 미션에 적용할 법적 토대를 마련 중임
- SSA(Space Situational Awareness) 시스템 확장 및 Space Traffic Management(SpaceTM) 체계 정비. 국제 파트너십을 통한 정보 공유 확대

2.6 우주 기반 기술 개발

❖ 차세대 발사체 및 통신 기술 투자

- 정책 지원 및 산업 육성: Ariane 6와 THEMIS 프로그램 관련 정책은 차세대 발사체 기술의 개발과 상업 운용 촉진을 목표로 하고 있음. 2024년 하반기, 유럽은 재사용 기술과 비용 절감을 위한 세제 지원, 연구개발 보조금, 민간 투자 촉진 정책 등을 도입하여 우주 접근성을 대폭 향상시키고 있음
- 인증 절차 및 안전 기준: 신규 발사체에 대한 안전 인증 절차와 국제 안전 기준을 정비하여, 상업 운용 전 단계에서 기술적, 규제적 리스크를 최소화하는 정책이 마련

2.7 우주 안보 정책 강화

❖ 우주 상황 인식(SSA: Space Situational Awareness) 능력 향상을 위한 투자 확대

- 지상 관측 시설 확충 및 우주 기반 감시 위성 개발 착수
- EU 회원국 간 SSA 데이터 공유 체계 구축 추진¹⁸⁾

❖ 우주 쓰레기 발생 방지를 위한 가이드라인 제정(2023년 11월 발표)¹⁹⁾

- “Zero Debris approach”: 2030년까지 지구와 달 궤도에서의 쓰레기 발생을 크게 제한하는 것을 목표로 하는 '제로 쓰레기 접근법'을 채택하여 향후 모든 미션, 프로그램 및 활동에 적용
- 우주 쓰레기 저감을 위한 지침 및 정책, 그리고 국제 협력 강화 방안 마련

❖ 우주 교통 관리 시스템(Space Traffic Management, 이하 STM)개발 추진

- 위성 간 충돌 위험 실시간 모니터링 및 경보 시스템 구축
- 우주 물체 궤도 데이터베이스 구축 및 STM 공유 체계 마련²⁰⁾

❖ 우주 사이버 보안 강화

- 우주 시스템 대상 사이버 공격 대응 체계 마련²¹⁾
- 우주 데이터 보안 강화를 위한 가이드라인 제정

2.8 우주 산업 육성 정책

❖ New Space 기업 지원 확대

- ESA Business Incubation Centres 추가 설립(2024년 내 5개소 신설 목표; 현재 유럽 내 총 80여 개²²⁾)
- 우주 기술 스타트업 대상 펀딩 프로그램 확대(연간 1억 유로 규모)
- 상업화 촉진을 위한 정부 주도 프로젝트에 민간기업의 참여 확대 추진

❖ 우주 데이터 활용 촉진 정책 수립

- Copernicus 데이터 기반 신규 서비스 개발 지원²³⁾
- 우주 데이터 접근성 향상을 위한 클라우드 인프라 구축 계획 수립

18) <https://www.euspa.europa.eu/eu-space-programme/ssa>19) https://www.esa.int/Space_Safety/Space_Debris/Mitigating_space_debris_generation20) https://defence-industry-space.ec.europa.eu/eu-space/space-traffic-management_en#:~:text=STM%20therefore%20aims%20at%20keeping,competitiveness%20of%20the%20EU%20industry.21) <https://www.euspa.europa.eu/eu-space-programme/eu-space-and-security>22) <https://commercialisation.esa.int/2022/11/scaleup-programme-innovate-element-esa-bics-and-the-%CF%86-labnet/#:~:text=They%20have%20good%20connections%20with,related%20innovation%20and%20business%20activities>23) <https://dataspace.copernicus.eu/#:~:text=Copernicus%20is%20the%20European%20Union's,our%20planet%20and%20its%20environment.>

❖ 우주 활동의 지속가능성 확보

- 친환경 발사체 개발 Ariane 6, Vega-C 등 새로운 발사체 개발 시 환경 영향을 최소화하는 기술을 적용²⁴⁾
- 우주 자원 활용 연구 달과 소행성의 자원을 활용하는 기술 개발을 통해 지속가능한 우주 탐사를 준비
- 우주 태양광 발전 연구 우주에서 태양 에너지를 수집하여 지구로 전송하는 기술 개발을 장기적인 과제로 추진

❖ 우주 분야 인재 양성 및 대중 관심 제고

- STEM 교육 지원 학교에서의 우주 관련 교육 프로그램을 지원하고, 교사 훈련 프로그램을 제공
- 대중 참여 프로그램 시민 과학(Citizen Science) 프로젝트²⁵⁾를 통해 일반 대중이 우주 연구에 참여할 수 있는 기회를 제공하며, 우주비행사 프로그램, 새로운 우주비행사 선발을 통해 우주에 대한 대중의 관심 유도

2.9 국제 협력 확대

❖ Artemis 프로그램 참여 본격화

- 유럽 우주인의 달 착륙 참여를 위한 NASA와의 협력 협정 체결
- Gateway 건설에 필요한 주요 모듈 개발 착수²⁶⁾(ESA-NASA Artemis Cooperation Agreement, 2024)

❖ 인도, 일본 등 아시아 국가들과의 협력 강화

- 인도와의 공동 화성 탐사 미션 기획 논의 시작
- 일본 JAXA와 소행성 탐사 기술 공동 개발 협약 체결²⁷⁾

2.10 연구 예산 및 지원 현황

❖ ESA 및 EU 예산 배분 정책

- **중기 예산 전략:** 2025년 ESA 예산은 총 76억 8천만 유로로 책정되었으며, 각 분야별 정책적 우선순위에 따라 배분됨
- **예산 집행의 투명성 강화:** 법적·제도적 장치를 통해 예산 집행의 효율성과 투명성이 보장되며, 성과 평가 및 피드백 체계를 구축하여 지속적인 정책 개선이 이루어지고 있음

❖ EU 우주 프로그램 및 Horizon Europe

- **민관 협력 및 지원 정책:** 2024년 하반기에는 Horizon Europe 프로그램을 통한 민간 투자와 연계한 우주산업 활성화 정책이 본격 시행되어, 유럽 우주 산업의 국제 경쟁력 강화에 기여하고 있음

2.11 향후전망

❖ 상업화 및 민간 참여 확대

- **NewSpace 촉진 정책:** EU 및 ESA는 민간 기업의 우주 진출 장벽을 낮추기 위해 규제 완화, 세제 혜택, 기술 지원 및 창업 보조금을 포함한 종합 정책을 추진하고 있음. 2024년 하반기부터 이러한 정책이 본격적으로 시행되어, 소형 위성, 우주 서비스 및 데이터 분석 분야에서 민간 참여가 가속화될 전망

❖ 기술 발전 및 비용 절감

- **혁신과 효율성 증대:** 재사용 발사체, AI 기반 데이터 처리, 자율 시스템 기술 등에 대한 정책 지원은 기술 혁신과 동시에 우주 접근 비용 절감을 목표로 하고 있음. 정부는 관련 연구개발 보조금, 기술 인증 절차 간소화, 민간 협력 강화를 통해 유럽 우주 산업의 경쟁력 향상에 집중하고 있음

❖ 지속가능한 우주 정책과 환경 보호

- **친환경 우주 활동 촉진:** 최신 정책 프레임워크는 우주 쓰레기 저감, 친환경 추진제 개발, 그리고 국제 협력을 통한 지속가능한 우주 교통 관리에 중점을 두고 있음. 2024년 하반기부터는 우주 환경 보호 관련 법령과 규제가 강화되어, 우주 활동 전반에 걸쳐 환경적 지속 가능성을 확보하는 방향으로 정책이 전개되고 있음



24) https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Ariane/Ariane_6_designed_with_sustainability_in_mind

25) <https://eu-citizen.science/projects?keywords=Astronomy>

26) https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Exploration/Gateway

27) <https://www.isas.jaxa.jp/en/missions/spacecraft/developing/hera.html>

3 시사점

- ❖ 유럽의 새로운 우주 안보 및 방위 전략은 글로벌 우주 환경의 변화와 증가하는 지정학적 위협에 대응하기 위한 포괄적인 접근을 보여주고 있음
- ❖ **다양한 우주 관측 프로그램 추진:** 외계행성 탐사(CHEOPS, PLATO, ARIEL), 다중 파장대 관측(XMM-Newton, INTEGRAL, ATHENA), 중력파 관측(LISA), 태양계 탐사(BepiColombo, JUICE, ExoMars) 등 다양한 우주 관측 프로그램을 동시에 추진 중. 이를 통해서 우주 과학의 다양한 분야에서 선도적인 위치를 유지하려는 유럽의 노력을 보여주며, 종합적인 우주 연구 접근법의 중요성을 시사함
- ❖ **통합적 우주 전략 수립의 필요성:** 유럽은 우주 위협에 대한 이해부터 대응, 활용, 국제 협력에 이르기까지 포괄적인 접근을 취하고 있음. 특히, 우주 위협에 대한 체계적인 분석과 평가 시스템을 구축하고, 이를 바탕으로 한 대응 전략을 수립 중. 또한 우주 안보 강화와 경제적 기회 창출 사이의 균형을 추구하고 있는 유럽은 변화하는 글로벌 우주 환경에 대응하여 포괄적이고 미래지향적인 우주 전략을 수립 중임
- ❖ **우주 환경 보호 및 지속가능성 확보:** 유럽은 우주 쓰레기 저감, 우주 자원의 지속 가능한 이용, 우주 환경 보호 등에 관한 정책과 기술 개발을 강화하며 우주에서의 책임 있는 행동을 강조하고 있음. 유럽은 우주 안보, 우주 상황인식, 우주 법, 우주 기술 등 다양한 분야의 전문가를 양성하기 위한 교육 프로그램을 확대하며 우주 분야의 전문 인력 수요 증가를 위해서도 노력하고 있음
- ❖ **산업 생태계 육성과 학제간 연구 확대:** New Space 기업 지원, 우주 데이터 활용 촉진, 민간 참여 확대 등을 통해 우주 산업 생태계를 육성하고 있음. 학제간 연구를 통해 인공지능, 빅데이터 기술을 우주 연구에 접목시키고 있으며 이는 우주 산업의 경쟁력 강화와 새로운 연구 방법론의 도입이 중요함을 보여줌
- ❖ **국제 협력 확대와 장기 계획 수립:** NASA, JAXA 등 전통적인 파트너와의 협력을 강화하는 동시에, 신흥 우주 국가들과의 협력도 확대하고 있음. 또한 Cosmic Vision 프로그램의 후속으로 Voyage 2050 계획을 수립하는 등 장기적인 우주 과학 연구 계획을 마련 중. 이는 우주 개발의 국제 협력 중요성과 함께 장기적인 비전과 계획 수립의 필요성을 시사함
- ❖ 2024년 하반기 유럽 우주관측 연구 및 정책 동향은 기술 발전과 정책 지원, 국제 협력의 균형 있는 발전을 보여주며, 향후 우주 및 기후 변화 대응, 경제적 파급 효과, 글로벌 거버넌스 강화 등 다양한 측면에서 중요한 시사점을 제공하고 있음. 이러한 노력이 성공적으로 결실을 맺을 경우, 유럽은 우주 및 기후 분야에서 선도적 위치를 확고히 하고, 전 세계적으로 모범적인 사례를 창출할 것으로 예상
- ❖ **기술과 정책이 상호 보완되는 체계적 발전:** Copernicus 프로그램과 Sentinel-6, CO2M 미션 등은 단순한 관측 데이터를 넘어, 기후 변화 대응 정책의 기초 자료로 활용되며 데이터 개방과 민·관 협력을 통한 실시간 모니터링 시스템 구축으로 이어지고 있음. 이러한 노력은 단기적인 기후 대응뿐 아니라, 장기적인 지구 환경 보존 전략 수립에 필수적임. 정부와 ESA, EU가 데이터 공유와 안전한 관리 체계를 강화하면서 투명한 정보 활용 및 국제 협력의 새로운 모델을 제시하고 있음

- ❖ **우주 탐사 부문에서의 정책적 지원은 기술 혁신과 국제 경쟁력 제고를 동시에 도모:** European Large Logistics Lander(EL3)와 Artemis 프로그램 연계 정책은 유럽이 달 및 우주 탐사의 핵심 기술을 확보하기 위한 전략적 선택임을 보여주고 있으며 달 착륙선 개발과 유인 탐사 기술은 앞으로 우주 자원 활용, 상업적 우주 관광, 장기적 우주 거주 계획 등으로 파급 효과를 가져올 전망. 화성 탐사 및 소행성 조사 미션 역시, 우주 탐사의 다변화와 위험 관리 체계 마련을 통해 우주 산업 전반에 안정성과 혁신성을 부여할 것으로 기대
- ❖ **우주 쓰레기 관리 및 우주 안전 관련 정책은 지속 가능한 우주 환경 구축을 위한 필수 과제:** ClearSpace-1 미션과 SSA 시스템, EU Space Traffic Management 이니셔티브를 통한 정책적 대응은 우주 쓰레기 문제 및 충돌 위험을 줄이는 데 집중되어 있으며, 국제 표준화와 법적 기준 마련을 통해 전 세계 우주 활동의 규범 확립에 기여하고 있음. 이는 미래의 우주 산업이 안전하고 지속 가능하게 발전하기 위한 선제적 조치로 평가
- ❖ **우주 기반 기술 개발 및 위성 통신, 재사용 발사체 기술 등은 경제적 비용 절감과 기술 경쟁력 향상을 동시에 달성하고자 시도:** Ariane 6와 THEMIS 프로그램, IRIS2 위성 통신 프로젝트 등은 유럽의 독자적인 기술 역량을 강화하며, 민간 우주 산업의 활성화를 위한 제도적 지원과 예산 배분 정책이 뒷받침되고 있음. 이러한 정책은 신생 우주기업의 성장과 New Space 생태계 확산에 중요한 촉매제로 작용할 것으로 보임
- ❖ **기후 재난 대비와 정책 수립에 중요한 역할을 하는 기후 변화 대응 연구:** EU와 ESA의 협력 강화, ECMWF의 기후 예측 모델 개선, CO2M 위성군의 온실가스 감시 등은 기후 재난 대비와 정책 수립에 중요한 역할. 기후 변화로 인한 해수면 상승, 극지방 빙하 변화, 대기 오염 문제 등은 전 세계적 이슈로 대두되고 있으며, 이에 대한 과학적 근거 제공과 실시간 대응 체계 구축은 정책 결정자와 연구자 모두에게 필수적임. 이러한 정책적 움직임은 국가 간 협력을 넘어 글로벌 기후 정책의 표준 마련에도 긍정적인 영향을 미칠 것임
- ❖ **국제 협력 및 다자간 파트너십 강화:** NASA, JAXA, 인도, 러시아 등 주요 우주 기관과의 협력을 통해 기술 교류와 공동 연구, 데이터 공유가 활발하게 이루어지고 있으며, 이를 바탕으로 글로벌 우주 거버넌스 체계가 점차 확립되고 있음. EU와 ESA 간 새로운 프레임워크 협약은 정책, 기술, 예산 집행 등 전반적인 분야에서 일관된 협력 모델을 제시하며, 이러한 국제 협력 체계는 우주 정책의 신뢰성과 지속 가능성을 높이는 데 크게 기여할 것으로 평가됨
- ❖ **연구 예산 및 지원 정책의 투명성 강화와 민·관 협력 확대:** ESA 중기 예산 및 Horizon Europe 프로그램을 통한 재정 지원, 민간 투자 유도, 기술 인증 절차 간소화 등의 정책은 유럽 우주 산업의 경쟁력을 제고하고, 미래 우주 시장의 확장을 견인할 전망. 이를 통해 단기적인 연구 개발뿐만 아니라, 장기적 기술 혁신과 산업 생태계 안정 구축이라는 두 가지 목표를 동시에 달성할 수 있을 것으로 기대. 이들은 향후 우주 산업 발전의 지속가능성을 보장하는 중요한 요소임

2024 유럽 수소 저장 운송 연구 정책 동향

작성자 | 양한나
(수소 분야 KERC 서포터즈)



2024년 현재 유럽에서는 수소를 중심으로 한 다양한 연구와 프로젝트가 활발히 추진되고 있다. 특히 재생가능 에너지로 생산한 잉여 전기를 활용하여 물을 전기분해해 수소를 생산하고, 이를 메탄으로 변환하여 저장하는 기술이 주목받고 있다. 이러한 기술들은 지역 내에서 재생가능한 수소를 직접 생산하고 소비하는 클러스터를 구축하는 데 기여하고 있으며, 탄소 중립 달성을 위한 핵심 기반으로 작용하고 있다.

수소 저장 방법으로는 고체 기압 저장, 액화수소 저장, 금속 수소화물 저장, 화학적 수소 저장, 유기 화합물 저장 등이 개발되고 있다. 각 저장 방법은 장단점이 뚜렷하여 하나의 방식이 독점적으로 사용되기보다는 용도와 조건에 따라 선택적으로 활용될 것으로 전망된다. 또한, 수소 운송 분야에서는 기존 천연가스 파이프라인을 활용하는 방안이 연구되고 있으나, 수소취성 문제와 누출 방지를 위한 기술적 과제가 여전히 남아 있다.

철강 산업에서도 수소 기술이 중요한 혁신으로 떠오르고 있다. 수소를 이용해 철광석을 환원하는 방식은 기존의 탄소 기반 고로 제철 공정보다 이산화탄소 배출을 크게 줄일 수 있다. 이를 위해서는 대규모 재생에너지 인프라 구축과 함께 기존 제철 공정의 수소 환원 전환이 필수적이다.

수소 연료전지 분야에서는 효율성과 내구성을 개선하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 고성능 촉매 개발과 더불어, 백금 사용량을 줄이기 위한 저비용 대체물 연구도 중요한 과제로 다뤄지고 있다. 수소 생산 기술로는 알칼리 전해조, 양성자 교환막 전해조, 고온 전해조 등 다양한 방식이 개발 중이며, 이산화탄소를 활용해 수소를 생산하거나 합성 메탄, 액체 연료로 전환하는 연구도 이루어지고 있다.

유럽은 2030년까지 재생가능한 수소 10백만 톤을 생산 및 수입한다는 목표를 세우고 있으며, 이를 달성하기 위해 관련 법제화와 대규모 투자를 적극 추진하고 있다. 수소차 보급을 촉진하기 위한 정책과 지원도 강화되고 있으며, 전반적으로 수소 경제 활성화를 위한 노력이 가속화되고 있다. 이러한 다양한 연구와 정책들은 탄소 중립과 지속 가능한 에너지 전환을 목표로 하여, 에너지 안보 강화와 경제적 기회를 창출하는 데 크게 기여할 것으로 기대된다.

〈Key words〉 수소저장, 그린수소, 친환경에너지, 탄소중립, 수소 운송

1 유럽의 수소 연구 동향

1.1 수소 저장

- 유럽에서는 잉여 전기를 수소로 저장하는 연구와 프로젝트를 진행하고 있으며 야간 등 전력 수요가 낮은 시간대에 생산된 잉여 전기를 효율적으로 저장하는 것을 목표로 함

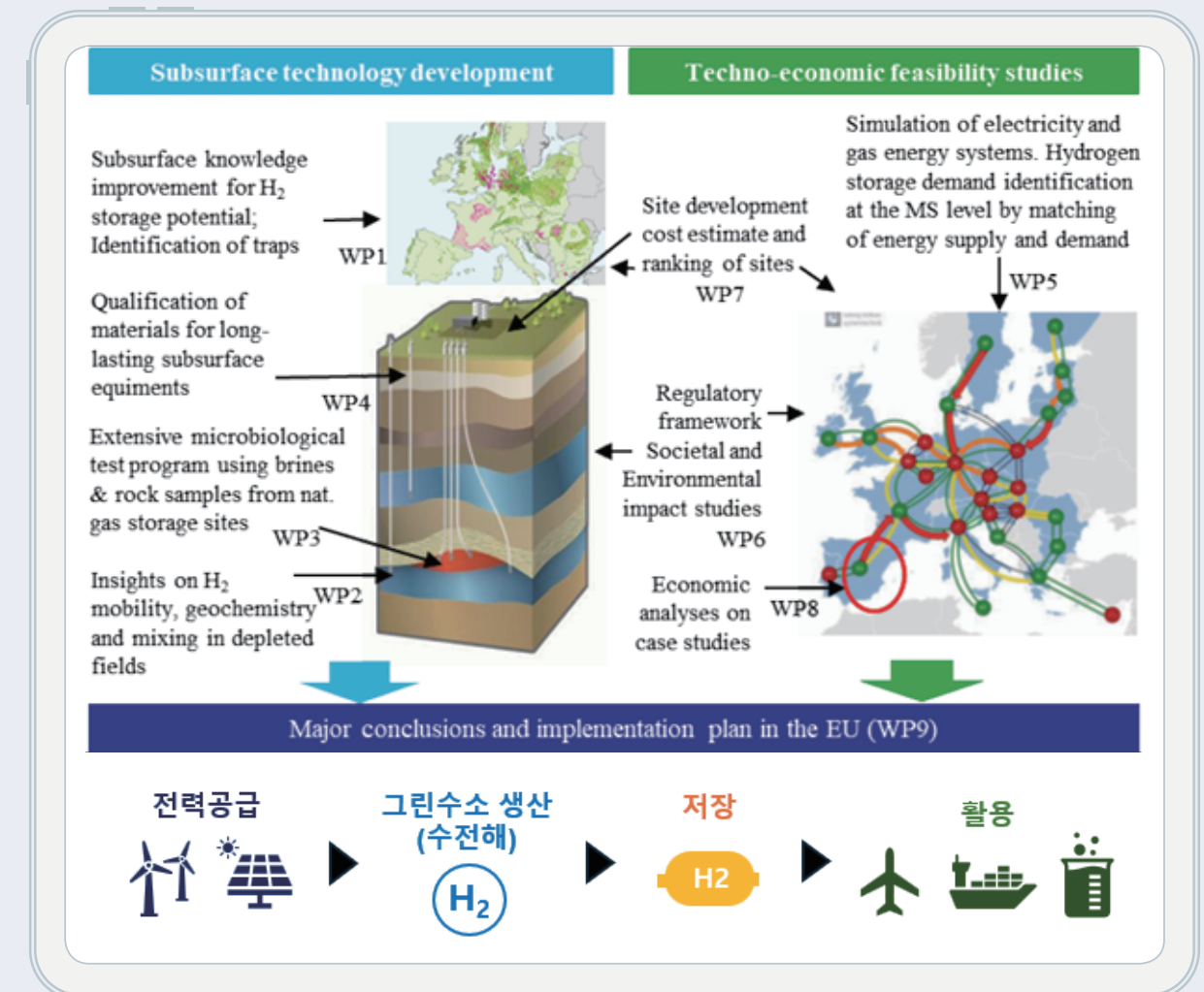


그림 1. EU의 수소 생산, 저장 및 활용 계획(출처: Hystories 공식 사이트)

Eco 프로젝트

- 재생 가능한 에너지를 활용해 전기 분해를 통해 물에서 수소를 생산하고, 이를 메탄으로 변환하여 저장하는 기술을 개발함
- 고체 산화물 전기 분해 셀(SOEC)을 사용하여 전기에서 수소와 일산화탄소를 생산하고, 이를 촉매 과정을 통해 합성 메탄으로 변환하여 효율성을 높이고 CO2 배출을 줄임
- 이 기술은 기존의 천연가스 인프라를 활용하여 대규모 저장 및 분배가 가능하게 함

Hydrogen Valleys 프로젝트

- 수소 밸리 프로젝트를 통해 지역 내에서 재생 가능한 수소를 생산하고 이를 현지에서 소비하는 클러스터를 구축
- 현재 유럽 전역에 걸쳐 50개 이상의 수소 밸리가 건설 중이거나 운영 중임

Hystories(Hydrogen Storage in European Subsurface) 프로젝트

- 이 프로젝트를 통해 고갈된 가스 또는 유전 및 대수층과 같은 다공성 저장소에 수소를 저장할 수 있는 가능성을 분석
- 수소 저장을 위한 지하 기술을 개발하는 데 중점을 두었고 여기에는 다양한 지질 형성물에 수소를 저장할 때의 생물학적 및 지구화학적 영향을 평가하고 유럽 전역에서 이러한 저장에 적합한 부지를 식별하는 작업이 포함됨
- 수소 저장 시설에 사용되는 재료에 대한 수소의 영향을 평가하는 것이 주요 기술적 과제 중 하나였고 여러 강종에 대한 수소취성 및 부식 영향을 조사하고, 안전하고 내구성 있는 수소 저장 인프라를 구축하기 위한 적절한 재료를 결정하기 위한 테스트를 수행
- 미래의 지하 수소 저장 및 운송 네트워크는 일반적으로 개발하는 데 10년이 걸리는 인프라 자산이므로 계획, 사회적 수용성 및 재정적 안정성이 필요한데, Hystories는 이러한 배포 결정에 직면하게 될 정부 및 업계의 의사 결정권자에게 정보를 제공하기 위한 통찰력을 개발

독일 Etzel 수소 저장 동굴 개발

- Gasunie와 Stora는 에너지 컨퍼런스 E-World 수소저장동굴 개발계획 발표
- 최대 1 TWh의 수소 총 용량을 가진 다중 공동 저장시설을 개발하고 운영하는 것을 목표로 작년 1월부터 파일럿 프로젝트 H2CAST에서 테스트 진행

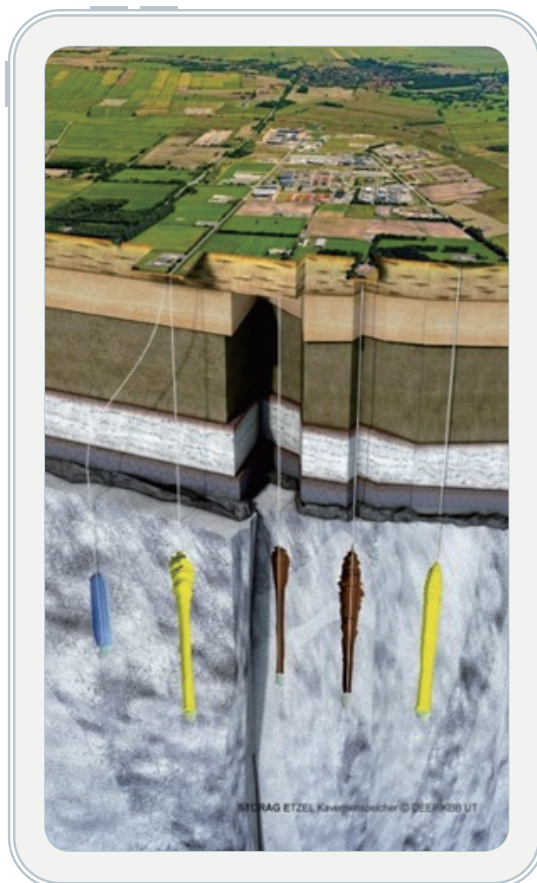


그림 2. 수소 저장 동굴 시뮬레이션

1.2 수소저장방법

- 현재 유망한 수소 저장 방법에는 고체 기압저장, 액화수소저장, 금속 수소화물 저장, 화학적 수소저장, 유기화합물 저장이 있고 특정 용도와 조건에 따라 장단점이 있으므로 하나의 방법이 채택되기보단 수소 경제의 성장과 함께 지속적으로 발전될 것으로 예상
- 운송과 같은 이동성이 중요한 분야에서는 고압 기체 저장과 액화 수소 저장이, 장기간 저장과 안정성이 중요한 분야에서는 금속 수소화물과 화학적 수소 저장이 주로 사용될 수 있으며, 유기 화합물 저장 기술은 기존 인프라를 활용할 수 있다는 장점이 있어 점점 주목받고 있음

구분	고압 기체 저장 (Compressed Hydrogen Gas Storage)	액체 수소 저장 (Liquefied Hydrogen Storage)	금속 수소 화물 저장 (Metal Hydride Storage)	화학적 수소 저장 (Chemical Hydrogen Storage)	유기 화합물 저장 (Liquid Organic Hydrogen Carriers, LOHC)
원리	수소를 고압 상태(350 또는 700 bar)로 저장하는 방식	수소를 극저온 상태(-253 °C)로 냉각하여 액체로 저장	금속 합금이 수소와 반응하여 수소화물을 형성하고 필요시 수소 방출	화학 물질과 결합하여 수소를 저장	액체 유기 화합물이 수소와 결합하여 수소를 저장, 필요시 화학반응을 통해 수소 분리
특징	✓ 빠른 충전 및 방출 가능 ✓ 높은 압력으로 인한 두꺼운 저장 탱크 필요, 탱크 비용 ↑	✓ 기체 상태보다 더 높은 에너지밀도를 가지므로 운송 및 저장 효율성 ↑ ✓ 비용 ↑ ✓ 복잡한 냉각 시스템 필요	✓ 낮은 압력에서 수소를 저장할 수 있어 안전함 ✓ 수소의 충전 및 방출이 비교적 쉬움 ✓ 반응속도 ↓ ✓ 가격 ↑	✓ 에너지 밀도 ↑ ✓ 운송 및 저장이 쉬움 ✓ 수소를 추출하는 과정에서 독성 물질 필요	✓ 에너지 밀도 ↑ ✓ 안전함 ✓ 반응속도 ↓ ✓ 유기 화합물의 재활용 필요

그림 3. 수소 저장 방법

1.3 수소 운송

유럽 수소 백본(European Hydrogen Backbone, EHB)

- 기존 천연가스 파이프라인을 수소 운송용으로 전환하는 것이 신설 파이프라인보다 경제적이거나 대부분의 파이프가 수소취성에 취약한 마르텐사이트상을 가지고 있기 때문에 코팅, 슬리브 및 케이싱 등의 해결책이 연구되고 있음
 - ※ 수소취성이란 수소가 금속 표면에 흡수되어 금속의 기계적 특성을 저하시키는 현상을 말함
- 수소의 작은 분자가 파이프라인 재질을 통해 누출되는 것을 방지하기 위한 연구도 진행 중임
- 2030년까지 약 28,000 km, 2040년까지 53,000 km의 수소 파이프 라인을 구축을 목표로 함

AquaDuctus

- 북해의 해상 풍력 발전소에서 독일로 그린 수소를 운송하는 400km 길이의 파이프라인으로 고압직류 송전(HVDC) 시스템보다 비용 효율적인 운송 방법으로 평가됨

❖ West Macedonia 파이프라인

- 그리스에 있는 파이프라인으로 초기에는 천연가스를 운송하지만, 향후 100% 수소를 운송할 수 있도록 설계되었으며, 고압에서 수소를 안전하게 운송할 수 있는 고강도 강철 파이프라인으로 구축

1.4 수소 관련 학회

❖ E-World Energy & Water

- 유럽에서 가장 큰 에너지 산업 관련 무역 박람회 및 학회 중 하나로 에너지 및 물관리 분야에서 혁신적인 기술과 서비스를 보이는 플랫폼임

❖ European Hydrogen Energy Conference(EHEC)

- 유럽에서 가장 큰 수소 에너지 학회 중 하나로 수소 분야의 전문가, 연구자, 업계 리더를 한자리에 모아 수소 기반 기술의 최신 진전, 혁신, 개발 사항을 공유할 수 있는 플랫폼 제공

❖ International Conference on Metals and Hydrogen

- 금속과 수소의 다양한 측면(수소-미세 구조 상호작용, 수소감지 등) 간의 연관성에 대한 경험을 공유하고 교환할 수 있는 환경 제공

❖ European PhD Hydrogen Conference(EPHyC)

- 수소 관련 연구 주제를 연구하는 EU 기반 박사 연구자를 위한 컨퍼런스로 네트워킹을 통한 피드백, 협업 옵션, 잠재적인 학제 간 연결 및 연구 동기를 발견할 수 있는 기회를 제공
※ 박사과정 학생들만 참여할 수 있으며 무료로 진행됨

1.5 철강 산업의 수소 환원 제철 기술

- ❖ 전통적인 탄소 기반 환원제인 철광석 대신 수소를 사용하여 철광석을 환원시키면, 수소는 철광석의 산소와 결합하여 물을 생성하면서 이산화탄소 배출을 획기적으로 줄임

- ❖ 이 기술은 대량의 수소를 필요로 하며, 이를 경제적으로 생산하려면 재생에너지 기반의 그린 수소 생산 인프라 구축이 필수. 또한, 고로 기반 제철 공정을 수소 환원 공정으로 전환하기 위한 기술 개발과 투자도 요구됨

❖ 유럽 주요 수소 환원 제철 프로젝트

- 스웨덴의 SSAB, LKAB, Vattenfall이 공동으로 추진하는 HYBRIT 프로젝트¹⁾는 세계 최초로 화석 연료를 사용하지 않는 철강 생산을 목표로 함. 새로운 철 제품인 스펀지 철은 화석 가스를 사용한 철보다 훨씬 우수한 특성을 가지고 있음
- 독일은 SALCOS 프로젝트²⁾를 통해 수소 기반의 직접 환원 철 생산을 추진함. 이 프로젝트는 단계적으로 수소 사용 비율을 늘려 2050년까지 탄소 중립을 달성하는 것을 목표로 함
- 스웨덴의 H2 Green Steel³⁾은 북부 스웨덴에 대규모 수소 기반 제철소를 건설하고 있으며 이 시설은 연간 500만 톤의 무화석 철강을 생산할 계획임

1) <https://www.hybritdevelopment.se/en/>

2) <https://salcos.salzgitter-ag.com/en/index.html>

3) <https://stegra.com/>

1.6 전해조 연구

- ❖ 전해조는 물을 수소와 산소로 분리하는 장치로, 재생 수소 생산의 핵심 기술임

- ❖ 주요 전해조 기술로는 알칼리 전해조(AEL), 양성자 교환막 전해조(PEM), 고온 전해조(SOEC)등이 있으며, 현재 알칼리 전해조와 PEM전해조가 주로 사용됨

- ❖ 전해조의 효율성 향상과 안전성 확보를 위해 핵심 부품인 전극 촉매, 내식성 소재, 고전도성 멤브레인 등에 사용되는 희귀금속과 특수 소재의 안정적인 공급과 대체 소재 개발이 중요

❖ 유럽 주요 전해조 연구

- 프랑스와 독일 정부의 지원을 받아 에어리퀴드와 지멘스 에너지가 대규모 PEM전해조 프로젝트 생성⁴⁾
- 미국의 Cummins inc.는 유럽의 Hy2Tech 프로그램의 지원을 받아 벨기에 오벨 공장에서 PEM 전해조 제조 용량을 4GW로 확장할 예정⁵⁾
- 스페인의 여러 연구기관 연구진이 공동으로 양극에 희토류 원소인 이리듐을 사용하지 않는 수전해조 개발 성공, 사이언스 저널게재⁶⁾

1.7 이산화탄소 포집·활용 및 저장(CCUS)

- ❖ 이산화탄소와 수소를 결합하여 합성 메탄(Synthetic Methane)이나 합성 액체 연료를 생산하는 기술 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 재생 가능한 전력을 이용한 수소 생산 기술도 개발되고 있음

- ❖ 유럽은 이 기술들의 효율성과 경제성을 높이기 위해 수소 생산과 CCUS기술의 연계를 강화하는 연구를 진행중⁷⁾

1.8 수소 연료전지 기술 개발

❖ 연료 전지 효율 및 내구성 향상 연구

- 고성능 촉매 개발, 백금 기반 촉매의 비용 절감을 위한 저가형 대체물(니켈, 코발트, 철 기반 촉매)연구

❖ 내구성 향상연구

- 연료 전지의 주요 구성 요소(전해질막, 전극, 분리판)의 장기 안정성 개선 및 전해질막의 열화 방지 기술 개발

❖ 운전 조건 최적화

- 저온 및 고온 환경에서의 연료 전지 성능 최적화 연구, Start-Stop 반복에도 성능 저하를 방지하는 운영 기술 개발

4) <https://www.airliquide.com/stories/hydrogen/pem-electrolyzers-produce-renewable-hydrogen-how-does-it-work>

5) <https://hydrogen-central.com/cummins-scaling-belgium-electrolyzer-manufacturing-capacity-1-gigawatt-through-ipcei-support/>

6) https://www.netzeronews.kr/news/articleView.html?idxno=1214&utm_source=chatgpt.com

7) https://www.ft.com/partnercontent/eni/advancing-technologies-that-put-carbon-to-good-use.html?utm_source=chatgpt.com

❖ 차세대 연료 전지 기술 연구

- 고체산화물 연료전지(SOFC)의 상용화를 위한 소재 및 시스템 개선
- 저온형 연료전지(PEMFC)개선
- 수소 운송 및 저장이 쉬운 암모니아 기반 연료 전지 개발
- 유럽연합 주관의 '미라넷3(M-era.Net 3)' 프로그램을 통해 오스트리아 기술 연구소(AIT)와 프랑스 국립 과학연구센터(CNRS)와 독일 프라운호퍼(Fraunhofer) 연구소등이 수소 연료 전지개발을 위한 공동연구를 진행 중, 이번 컨소시엄에서는 한국의 에너지기술연구원도 참여

	수소차	전기차
		
동력원	수소 연료 전지	배터리 전기 모터
연료	수소(연료 전지에서 전기생성)	전기(배터리에서 저장된 전기 사용)
충전/충전소	수소 충전소에서 수소 충전(3-5분)	전기 충전소에서 전기 충전(몇시간 소요)
주행거리	약 500-700 km	약 250-500 km
배출물	물	없음
환경 영향	수소 생산에 따라 환경 영향	전기 생산 방식에 따라 다름
에너지 효율	상대적으로 낮음(전기 변환 과정에서 손실)	높음(직접 전기사용)
장점	빠른 충전시간, 긴 주행거리	높은 에너지 효율, 충전소 확장
단점	수소 충전소 부족, 수소 생산 비용문제	긴 충전시간, 배터리 용량제한

그림 4. 수소차와 전기차 비교⁸⁾

- ❖ 수소 충전소에는 일반적으로 액체수소(LH2)또는 기체수소(H2) 형태로 저장이 되며 충전 시는 고압기체로 변환되어 충전됨(승용차 70 MPa, 버스35 MPa)
- ❖ 고압 저장 용기로 구성되어 있는 수소차의 연료탱크는 충전자가 노즐을 차량에 연결하면 자동으로 압력 및 온도를 감지하여 3-5분내에 충전됨
- ❖ 충전 시간을 단축하기 위해 고속 충전 기술이 연구되고 있으며 트럭, 기차, 항공기용을 위해 100 MPa 초고속 충전 시스템이 활발히 연구 중, 데이터 기반AI를 이용하여 최적 충전소 배치를 위한 네트워크 최적화 연구 중
- ❖ 수소차는 빠른 충전시간과 긴 주행거리를 장점으로 가지고 있으므로 버스 및 트럭분야에서 선호됨

8) <https://bacancysystems.com/blog/hydrogen-vs-electric-cars>

2 유럽의 수소 정책 동향

2.1 전략적 프레임워크 및 정책 개발

❖ REPowerEU 계획

- 러시아의 우크라이나 침공으로 인해 발생한 어려움과 세계 에너지 시장의 혼란에 대응하여 유럽 위원회는 러시아의 화석 연료 수입을 단계적으로 폐지하는 계획을 수립
- 2030년까지 재생 가능 수소 1천만 톤 생산 및 1천만 톤 수입 목표
- 수소 생산, 수송, 사용, 수입 관련 법적 프레임워크 강화

❖ 유럽 수소 은행의 파일럿 경매

- 유럽 수소 은행은 2022년 유럽 및 글로벌 수소 생산을 위한 투자 보안 및 비즈니스 기회를 창출하기 위해 출범한 금융수단
- 이 시설의 주요 목표는 재생에너지 공급을 EU 수요에 연결하고 초기 투자 문제를 해결함으로써 세계적으로 수소 가치 사슬에 대한 민간 투자를 촉진하는 데에 있음
- 2024년 첫 파일럿 경매에서 132개 프로젝트 입찰 유치, 7개 프로젝트 선정, 총 1.5GW 전해조 용량 커버
- 주요 산업에서 10년간 약 158만 톤 재생 가능 수소 생산 계획

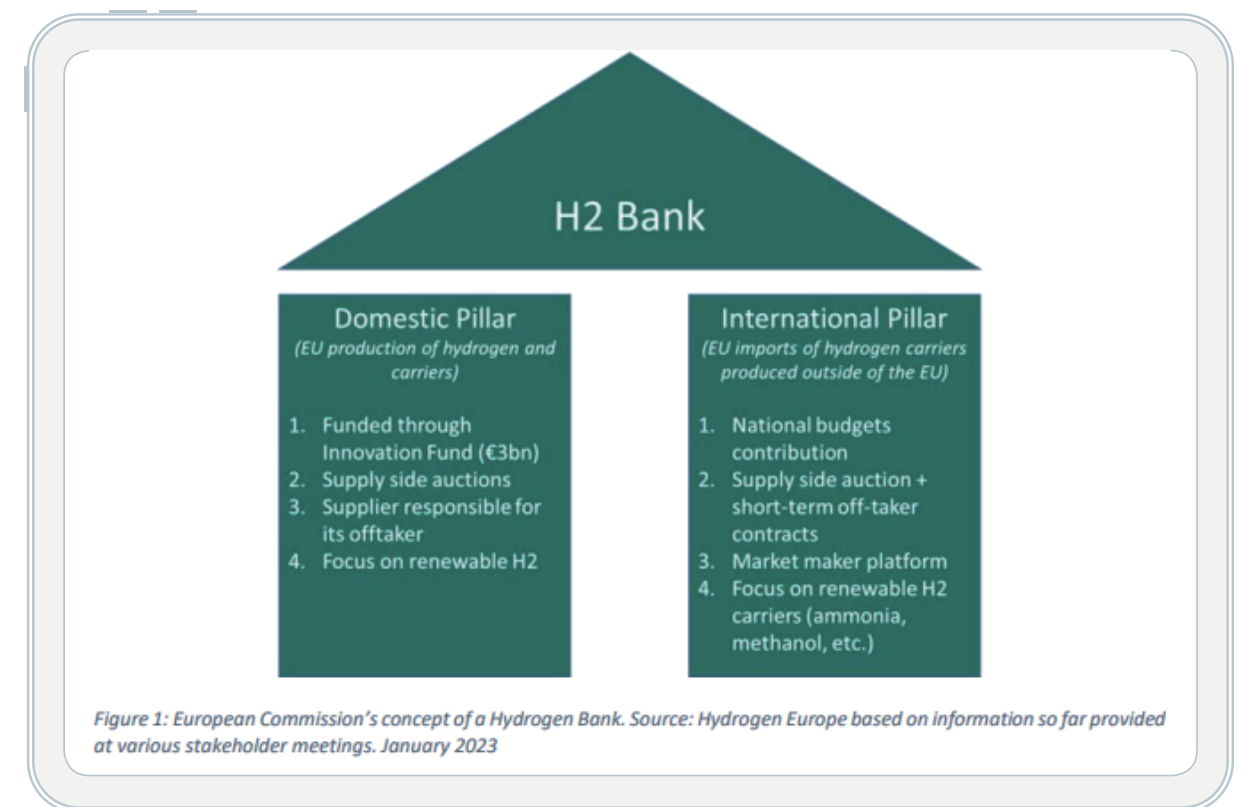


그림 5. 유럽 수소 은행 개요

❖ 중요 공공 유럽 프로젝트(IPCEI)

- Hy2Tech, Hy2Use, Hy2Infra, Hy2Move 등의 프로젝트를 통해 수소 기술 가치 사슬 전반에 걸쳐 혁신적인 기술 개발 및 인프라 구축 지원

❖ 재생 에너지 지침(RED2 & RED3)

- RFNBOs: 비생물학적 기원의 재생 가능 연료에 대한 조건 명확화
- 재생 가능 전기에서 공급되도록 보장하는 규칙 제정

❖ Alternative Fuels Infrastructure Regulation(AFIR)

- 2030년까지 도로 차량용 수소 충전소 구축
- Trans-European Network – Transport(TEN-T) 경로를 따라 공공 접근 가능한 수소 충전소 배치

2.2 수소 관련 연구비 지원

- ❖ 유럽연합은 수소 산업 육성을 위한 정책을 경쟁적으로 추진 중이나 우크라이나 전쟁으로 인한 에너지 부족과 경제 불황으로 인해 투자 계획이 일부 지연되고 있음
- ❖ 미국 트럼프 2기 정부가 수소 경제 강화를 예정했고 중국이 풍부한 자원과 압도적 규모의 내수시장으로 시장을 확대 중인 상황에서 유럽도 발맞춰 따라갈 것으로 기대

		
	유럽연합	미국
수소 경제 강화를 위한 정책 방식	청정 수소 생산과 탈탄소화 목표를 중심으로 수소 경제 강화	수소 생산을 위한 기술 개발과 수소 에너지 상용화 촉진
수소 생산 방식	그린 수소	블루 수소
주요 초점	재생 가능 에너지를 통한 청정 수소 생산, 탄소 배출 제로 목표	화석 연료 기반 수소생산과 수소 연료전지 활용
정책 지원 및 투자	대규모 재정 지원과 탄소 배출권 거래제, 수소 인프라 구축 지원	세제 혜택과 투자 유인책 제공, 전통 에너지 산업과의 연결 중심
수소 인프라 구축	수소 파이프라인, 충전소 등 수소 인프라 구축 및 강화	연료전지 자동차와 관련된 인프라 지원, 저탄소 수소 생산에 집중
기술 개발	그린 수소 전기분해 기술, 수소 저장 및 운송 기술 개발	블루 수소 기술, 탄소 포집 및 저장(CCS)기술 개발
국제 협력 및 파트너	글로벌 수소 시장 리더십 추구, 북아프리카 및 중동과 협력	국내 수소 산업 강화, 일부 국제 기술 협력
수소 생산 목표	2030년까지 연간 10백만 톤의 그린 수소 생산 목표	블루 수소 확대, 천연가스를 기반으로 한 저탄소 수소 생산

그림 6. 2025년 유럽과 미국의 수소 정책 비교⁹⁾

9) https://www.fnnews.com/news/202501221037545942?utm_source=chatgpt.com

- ❖ 독일은 그린 수소 생산을 촉진하기 위해 전력 부과금을 면제하고, 33개국과의 협력을 통해 그린 수소 수입 전략을 수립, 북아프리카의 청정 수소 프로젝트와 중부 유럽의 수소 센터를 연결하는 4000m의 수소 파이프라인 네트워크 개발에 참여 중¹⁰⁾
- ❖ 스페인은 국가의 재생 에너지와 녹색 수소로의 전환을 가속화하는 것을 목표로 23억 유로 규모의 자금 조달 패키지 발표, 이 패키지는 녹색 수소 생산 및 소비, 재생 에너지 가치사슬, 에너지 커뮤니티, 혁신적인 재생 에너지프로젝트에 초점을 맞춤¹¹⁾
- ❖ 오스트리아와 이탈리아는 북아프리카 청정 수소 프로젝트와 중부 유럽의 수소센터를 연결하는 4,000km의 수소 파이프라인 네트워크 개발에 참여 중¹²⁾
- ❖ 영국 정부는 에너지 안보 전략의 일환으로 2억4천만 파운드 규모의 '넷 제로 수소 펀드(Net Zero Hydrogen Fund, NZHF)'를 설계하여 저탄소 수소 생산을 지원하고 있음¹³⁾

2.3 유럽의 수소충전 인프라

- ❖ 유럽의 수소 충전 인프라는 각국의 정책과 투자에 따라 지속적으로 확장되고 있음

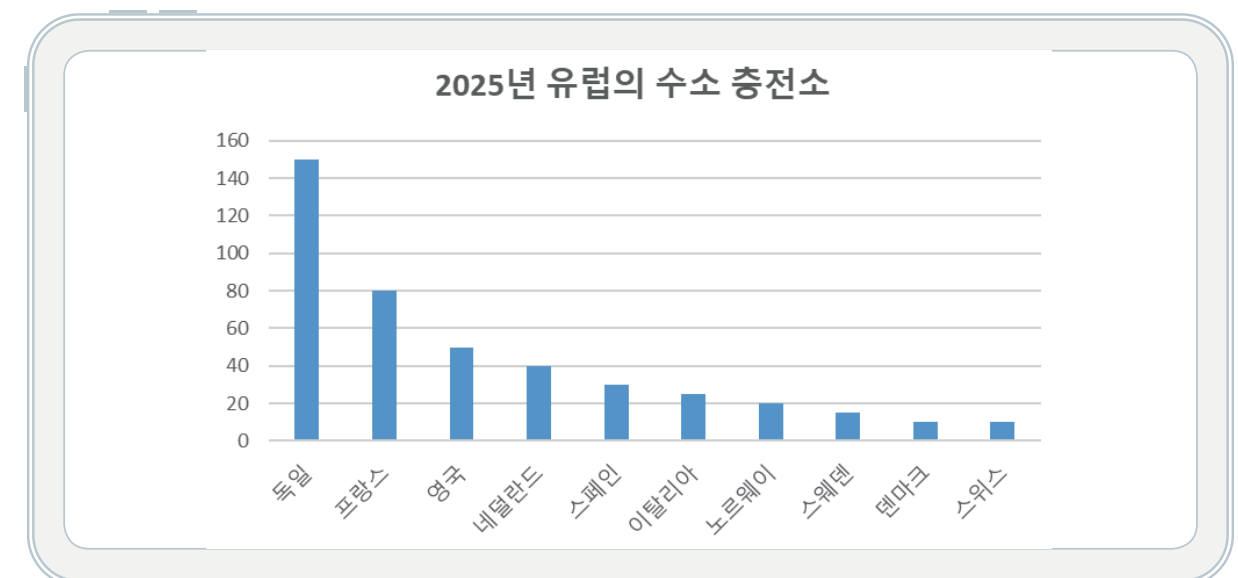


그림 7. 유럽의 국가별 수소충전 인프라(2025년)¹⁴⁾

10) https://www.hydrogeninsight.com/policy/ministers-from-five-countries-pledge-to-develop-4-000km-hydrogen-pipeline-from-north-africa-to-central-europe/2-1-1768058?zephhr_sso_ott=9QIMLg

11) <https://fuelcellworks.com/news/spain-launches-e2-3-billion-initiative-to-boost-green-hydrogen-and-renewable-energy>

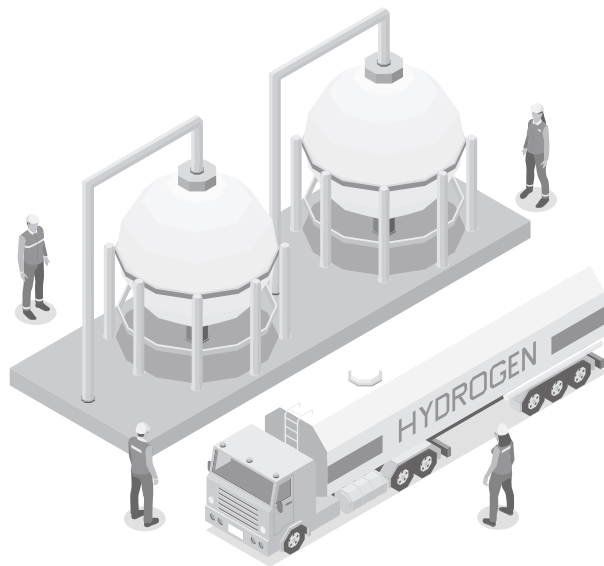
12) https://www.hydrogeninsight.com/policy/ministers-from-five-countries-pledge-to-develop-4-000km-hydrogen-pipeline-from-north-africa-to-central-europe/2-1-1768058?zephhr_sso_ott=9QIMLg

13) <https://www.hydrogeninsight.com/production/first-subsidised-green-hydrogen-production-contracts-in-uk-signed-guaranteeing-12-per-kg-for-15-years/2-1-1757370>

14) <https://observatory.clean-hydrogen.europa.eu/hydrogen-landscape/distribution-and-storage/hydrogen-refuelling-stations>

❖ 유럽 각국의 수소 자동차 보급을 촉진하기 위한 혜택과 지원 정책

- 독일¹⁵⁾과 프랑스¹⁶⁾는 약 7000–9000유로의 보조금을 지급하며 추가적인 세제 혜택을 제공함, 고배출 차량에 대한 패널티도 강화하고 있음
- 영국은 수소차 구매 시 일정 금액의 보조금 도입을 약속했고¹⁷⁾, 수소 충전소 구축을 위한 지원도 병행하고 있음
- 노르웨이는 수소차 구매 시 세제 혜택과 보조금을 제공하며, 친환경 교통 수단의 보급을 적극적으로 추진 중¹⁸⁾



15) <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/FAQ/Electric-Mobility/faqs-purchase-grant-for-electric-vehicles.html>

16) <https://www.fleeturope.com/en/new-energies/europe/features/hydrogen-and-fuel-cell-incentives?a=JMA06&t%5B0%5D=Hydrogen&curl=1>

17) <https://www.pv-magazine.com/2024/12/10/uk-commits-to-hydrogen-to-power-subsidy-mechanism/>

18) <https://www.regjeringen.no/contentassets/40026db2148e41eda8e3792d259efb6b/y-0127e.pdf>

3 시사점

- ❖ 대한민국 정부가 선정한 12대 국가전략기술 중 하나인 수소는 탄소배출을 획기적으로 줄일 수 있는 주요 수단으로 탄소중립 목표 달성에 매우 중요하며 이를 위해 수소 생산, 저장, 운송 및 활용 기술개발과 구축이 중요함
- ❖ 수소는 전기나 다른 형태의 에너지보다 더 오랫동안 에너지를 저장할 수 있고 대규모로 저장이 가능하여 계절적 에너지 수요변화에 쉽게 대응할 수 있어 수소 저장 기술은 생산량이 변동성이 크고 불규칙한 재생 가능 에너지원(태양광, 풍력 등)을 저장하고 관리하는 방식에 혁신을 가져옴
- ❖ 미국정부 또한 수소가 넷 제로(Net-Zero) 사회 실현을 지원하고 지역의 자원 활용과 지속가능한성장에 기여할 수 있다고 판단하여 '국가 청정수소 전략 및 로드맵'을 발표하고 후속 조치를 추진하고 있음
- ❖ 수소 저장기술에는 고효율 저장방법 및 비용절감이라는 해결해야 할 문제가 있고 여전히 많은 기술적 도전과 기회가 존재함
- ❖ 수소 운송에서 유럽은 기존 천연가스 파이프라인의 재활용과 새로운 파이프라인 구축을 통해 효율적이고 경제적인 수소 운송 체계를 마련하고 있음 하지만 재료에 대한 수소취성은 해결해야 할 문제임
- ❖ 수소 산업의 발전은 에너지 자립을 달성하고 에너지 안보를 강화하는 데 중요한 역할을 하지만, 전세계적으로 수소 산업이 완전히 자리매김하지 못했기 때문에 국제 시장에서 경쟁력을 확보하기 위해서는 지속적인 연구개발(R&D) 투자와 민관협력이 필요
- ❖ 수소는 물리적으로 부피가 크고 가볍기 때문에 고압 저장과 액체 수소의 기술이 중요, 이를 위한 고속 충전 시스템과 충전소 최적화 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 수소차 및 대형 운송 수단의 수소 활용을 촉진
- ❖ 전기차와 가격경쟁을 위해선 수소 연료전지 기술의 향상이 중요한 연구 분야임, 특히 저비용 촉매와 내구성을 개선을 위한 연구가 중요함
- ❖ CCUS 기술을 활용하여 합성 메탄 및 액체 연료를 생산하는 연구를 강화하고 있으며, 이는 수소 생산 효율성을 높이고 탄소 배출 저감에 기여하는 중요한 요소로 작용
- ❖ 유럽은 2030년까지 탄소제로를 목표로 하고 있으며 수소 생산과 탈탄소화 목표를 중심으로 수소 경제를 강화할 전망이다, 2030년까지 탄소제로를 목표로 하고 있음, 이는 수소 경제 활성화를 통한 자국 내 경제 활성화에 집중한 미국의 정책과는 확연한 차이를 보임
- ❖ 유럽은 북아프리카 및 중부 유럽과 협력하여 수소 파이프라인과 인프라를 연결하고, 수소 시장을 활성화 하려는 노력이 강화되고 있음

2024 유럽 AI 연구 및 정책 동향

작성자 | 이보연
(AI 분야 KERC 서포터즈)



ChatGPT 출시 이후, 유럽 각국은 인공지능(AI) 연구와 정책 개발에 발빠르게 대응하고 있다. 공공의 안전과 인류 번영을 보장하는 AI 개발을 목표로 새로운 연구기관이 설립되고, 다양한 AI 연구 프로젝트에 대규모 편성이 집중되고 있다. 특히 실제 산업 활용이 가능한 프로젝트에 연구비가 더 많이 지원되었으며, 의료, 제조, 로보틱스, 교통 및 이동 분야를 중심으로 연구가 활발히 진행되고 있다. 아울러 AI 기술 자체, 탄소중립을 위한 AI, 효율적이고 공정한 의사결정 지원 AI 등도 중점 연구 주제로 부각되고 있다. 급격한 AI 발전에 따라 철학적, 법적, 윤리적 문제에 대한 연구도 인문·사회과학 분야에서 적극적으로 이루어지고 있으며, 신뢰성과 책임성을 갖춘 AI 개발이 최우선 과제로 강조되고 있다.

AI 연구에서는 다양한 이해관계자의 참여를 통한 Co-design 접근법이 강조되었고, 지리적·분야적 다양성을 갖춘 글로벌 참여와 시민 중심의 연구가 주요 흐름으로 자리잡았다. 특히 사용자 친화적이고 이타적인 기술 확산을 목표로 하는 방향이 뚜렷했다.

정책 측면에서는 2024년 상반기, 유럽연합의 AI 법(AI Act)이 공식적으로 법제화되었다. 이 법은 AI의 위험을 예측하고 최소화하는 수평적 접근을 채택하고 있으며, 유럽 기반 기업과 기관은 이에 대응해야 한다. 미국과 중국이 생성형 AI 모델 시장을 장악하고 있는 가운데, 유럽은 독자적 경쟁력 확보의 필요성을 인식하고, 의료, 법률 및 규제 연구, 비즈니스 생산성 향상 분야에 대한 연구 개발을 강화하고 있다. 특히 AI 법 시행 이후 기업들이 규제 적용 과정에서 겪는 혼란을 해소하고, 혁신 저해 우려를 줄이기 위한 지원이 중요 과제로 떠오르고 있다.

유럽은 공공-민간 파트너십을 강조하며 AI Factory 이니셔티브를 통해 AI 인재를 육성하고, 유럽 맞춤형 생성형 AI 개발에 집중하고 있다. 이를 통해 유럽의 가치를 유지하면서도 혁신과 경쟁력을 확보하는 전략을 추진하고 있다. 주요 연구 주제로는 시민과 공공 이익을 위한 AI, 신뢰할 수 있는 안전한 AI 개발, 양자 컴퓨터 및 슈퍼컴퓨터 개발 가속화 등이 있다.

또한 유럽은 미국과 중국의 AI 주도권 경쟁에 대응해 영국과의 협력을 강화하고 있으며, 인공지능 표준화, 고성능 컴퓨팅 인프라 구축, 유럽-영국 간 연구소 협력 등을 통해 AI 생태계를 발전시키고 있다. 유럽형 생성형 AI 개발을 위해 OpenEuroLLM과 GenAI4EU 이니셔티브가 출범하여, 유럽 내 독자적 AI 역량 강화에 적극 나서고 있다.

1 유럽의 AI 연구 동향

1.1 AI 관련 연구비 지원 규모

Horizon Europe 2024년 상반기 AI연구 지원에 박차

- 2021년 1월 Horizon Europe이 시작된 이래, 297개의 AI 관련 프로젝트에 연구비가 지원되었고, 특히 올 초 두 달 동안 59개의 AI 관련 프로젝트가 승인
- 유럽의 AI 연구비는 기초연구(research and innovation actions) 보다 실제 산업 적용이 가능한, 영향력이 있는 실증단계의 연구(innovation actions)에 8% 더 많은 연구비가 지원
- 유럽집행위원회는 Horizon Europe과 Digital Europe 프로그램을 통해 매년 10억 유로 이상을 AI에 투자하고 있으며, 민간 부문과 회원국들로부터 추가적인 투자를 끌어내 이십 년 동안 연간 200억 유로의 투자 규모를 달성하는 것을 목표로 함



그림 1. Horizon Europe과 Digital Europe의 AI 생태계 구축

- 국가별로는 스페인, 독일, 이탈리아가 AI 연구 규모에 있어서 상위권을 차지했으며, 그 뒤를 이어 프랑스, 네덜란드, 그리스가 중상위권을 차지

- Horizon 2020 연구비 수주 대비 Horizon Europe 수주 기준, 대형 AI 연구비는 그리스 파트라 대학교 (670만 유로), 네덜란드 위트레흐트 대학의료 센터(1,000만 유로)와 라이덴 대학 의료 센터(520만 유로)가 의료기록 시스템 및 데이터로 AI 프로젝트 수주에 속도를 내고 있음
- 산업 내 연구소로는 독일 자동차 제조업체인 BMW와 스페인 항공우주 기업 인드라스가 각각 230만 유로와 430만 유로를 수주함

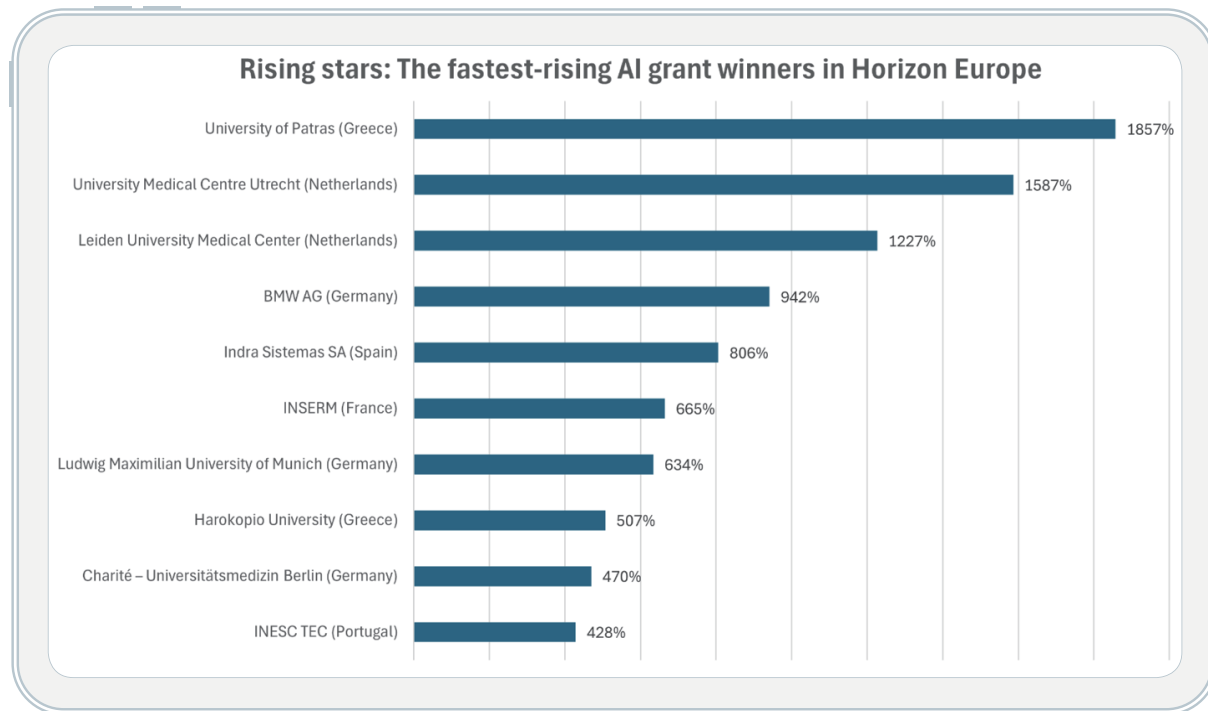


그림 2. Horizon 2020 AI 연구비 수주 대비 호라이즌 유럽 AI 연구비 수주 기관 순위¹⁾

- Horizon Europe 하에 2024년 4월에는 AI와 양자 기술 프로젝트를 위한 1억 1200만 유로의 자금을 지원하였으며, 이는 대형 AI 모델 개발을 위한 5천만 유로, AI의 투명성과 신뢰성 향상을 위한 1천 5백만 유로를 포함
- Horizon Europe과 EuroHPC JU는 AI Factory 프로젝트에 1억 9,800만 유로의 투자를 계획 중임. 이 예산에는 Horizon Europe의 9,800만 유로, 스페인 정부의 디지털 전환, 공공서비스부처, 대학부처 등을 통한 예산 6,200만 유로, 그리고 카탈로니아 정부의 1,400만 유로 규모의 예산이 포함
- Horizon 2020과 Horizon Europe에서 AI 기술 개발이나 AI 활용 프로젝트 수는 매년 증가하는 추세이며, 다양한분야에서 공격적인 AI 연구투자를 진행 중임. 특히 유럽입자물리연구소(CERN, the European Organization for Nuclear Research)는 2025년부터 2028년까지 AI 연구에 315억 유로 투자를 계획 중임

UKRI 2024년 상반기 AI 연구 지원

- 영국 내 12개의 박사과정 교육센터(Centres for Doctoral Training) 설립에 11,700 만 파운드를 투자. 에딘버러 대학교생물의학 혁신 AI센터, 책임있고 신뢰할 수 있는 자연어 처리 AI센터, 임페리얼 컬리지 런던 디지털 헬스케어 AI센터, 노샘브리아 대학 시민 중심 AI센터 등이 포함²⁾
- 공학 및 물리과학 연구위원회(EPSC)의 지원을 받아 사우스햄튼 대학의 RAI UK(Responsible AI UK) 는 3,100만 파운드 규모로 AI의 급속한 발전으로 인한 문제를 해결하기 위한 연구에 착수. 특히 사회복지 분야, 법 집행 및 금융 서비스 분야, 책임감 있는 AI와 생산성의 관계, 여론 반영 방법 등 대한 연구를 수행할 예정³⁾
- 공학 및 물리과학 연구위원회(EPSC)는 영국 전역에 9개의 새로운 AI 연구 허브(랑카스터 대학교, 옥스포드 대학교, 뉴카슬 대학교, 임페리얼 컬리지 등 포함)에 10,000만 파운드 투자를 지원
- 여기에는 예술 및 인문학 연구위원회 (AHRC)가 지원하는 10개의 연구 프로젝트도 포함되어 있으며, 교육, 치안, 창조 산업 전반에 걸쳐 책임감있는 AI의 도입 가속화 및 기술에 대한 시민의 신뢰 제고를 목표로 함⁴⁾

1.2 유럽 AI 연구 분야⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾

의료

- 인공지능과 디지털 톨은 인류에 있어서 질병을 더 잘 발견하고 치료 프로세스와 효과를 개선하여 환자의 삶의 질을 개선하는 것에 혁신을 주도
- 주요 프로젝트로 AI 모델을 사용하여 의료 이미지 패턴을 이해하고, 전립선 암의 종류를 구분하여 재발을 조기 예측하고 전이 발견을 목표로 하는 'ProCAncer-I' 프로젝트와 유럽에서 흔한 암인 폐암, 유방암, 전립선암, 대장암의 이미지와 관련한 임상 데이터(환자 프로필, 종양, 치료 및 결과 포함)의 대규모 데이터 셋 액세스를 제공하는 플랫폼 개발 프로젝트 'CHAMELEON,' 개인의 정신적, 신체적 상태를 진단하는 건강 서비스를 위한 AI 지원에 대해 연구하는 'PhilHumans' 등이 있음
- CHAI AI hub: 에딘버러 대학교와 엑시터 대학교를 포함한 6개 대학과 산업 파트너, 정부기관 및 규제 기관으로 국제 컨소시엄으로 구성. 의료 데이터 내에서 복잡한 데이터의 인과관계를 식별하고 설명하는 방법을 개발하여 결과를 예측하고 치료 효과를 공식화, 개인화하여 안전하고, 공정하며 신뢰할 수 있는 AI를

2) UKRI (2023) UKRI invests in the next generation of AI innovators. <https://www.ukri.org/news/ukri-invests-in-the-next-generation-of-ai-innovators/>

3) UKRI (2024) £12 million for UK projects to address rapid AI advances. <https://www.ukri.org/news/12-million-for-uk-projects-to-address-rapid-ai-advances/>

4) UKRI (2024) £100 million boost in AI research will propel transformative innovations <https://www.ukri.org/news/100m-boost-in-ai-research-will-propel-transformative-innovations/>

5) European Health and Digital Executive Agency (2024) European Week Against Cancer: Horizon projects using artificial intelligence and digital means to better detect cancer, treat patients and improve their quality of life. https://hadea.ec.europa.eu/news/european-week-against-cancer-horizon-projects-using-artificial-intelligence-and-digital-means-better-2024-05-30_en

6) European Commission (2023) Facing the future: AI-driven research projects overcoming real-life challenges. https://rea.ec.europa.eu/research-and-artificial-intelligence_en

7) <https://www.chai.ac.uk/>

8) <https://sciencebusiness.net/network-updates/trinity-college-dublin-launches-new-initiative-biomedical-data-sharing-and-ai>

1) SGuerini, R. (2024) And the winners are: Horizon Europe funding for artificial intelligence is surging. Science Business

활용한 의료 서비스를 개선함

- 데이터와 AI의 의료분야 활용은 더 빠른 의료 혁신, 새로운 디지털 건강 개입의 시장 진출 시기 단축, 더 나은 개인 맞춤형 치료에 기여
- **Synthetic Healthcare Data Governance Hub(SEARCH)**: 트리니티 칼리지 더블린(Trinity College Dublin)과 트리니티 번역 의학 연구소(TTMI), 세인트 제임스 병원(St. James's Hospital)이 함께 참여하는 이니셔티브로 다학제적 접근을 목표로 함. 혁신 건강 이니셔티브 공동 추진(IHI JU)에서 1,520만 유로의 초기 지원을 받았으며, 합성 의료 데이터를 생성하고 생물의학 생태계 내에서 안전한 데이터 공유를 촉진하는데 중점

● 제조와 로봇틱스⁹⁾

- 제조 프로세스의 각 단계에서 효율성 향상을 목적으로 AI가 맞춤형 솔루션을 진행하는 연구들의 증가 추세를 보임
- **SeConRob**: 독일의 프로팩터(Profactor GmbH)와 프라운호퍼(Fraunhofer) 연구소를 중심으로 진행되는 3년 프로젝트. 안전이 중요한 제조 분야인 자동차 및 항공 우주와 같은 분야에서 로봇이 각 제조 단계에서 이전 제조 단계의 결과를 인지하여 프로세스를 자동화하고 맞춤화할 수 있는 기술을 개발
- **MAGICIAN**: 이탈리아의 트렌트 대학교, 스웨덴의 룬드 대학교 외 다양한 연구기관과 산업 파트너들이 컨소시엄을 이루어 제조 프로세스의 검증 단계에 활용되는 로봇 개발을 목표로 하는 프로젝트. 제품의 결함을 자율적으로 분류하고 재작업할 수 있는 로봇 솔루션 개발로 제조 프로세스의 효율성 향상 기대 가능

● 교통과 이동¹⁰⁾

- Net Zero와 연관되어 도로 안전과 이동 효율성을 보장하는 다양한 형태의 교통에 AI솔루션 개발 연구들이 진행되고 있음
- **IVORY**: 도로 안전에 AI를 최적으로 통합하기 위한 프레임워크 개발을 목표로 하는 프로젝트로 인간과 차량의 상호작용, 사전 예방적 인프라 안전 관리를 위한 확장 가능하고 공평한 AI에 대한 지속 가능한 지식 공유 네트워크 등을 다루고 있음. 또한 취약한 도로 사용자 및 중저소득 국가의 사용자 등 소외 계층을 위한 효율적인 AI 솔루션을 제공하는 것을 목표로 함

● AI 법률과 규제¹¹⁾¹²⁾¹³⁾

- 지난해 AI Act 발표 이후 기업 및 기관들의 규제 적용에 대한 혼란과 혁신 억제에 대한 불안을 해소하기 위해 AI 규제 연구 진행

- **AI4POL**: 유럽연합에서 300만 유로의 지원을 받는 AI4POL은 틸버그 대학교, 뮌헨공과대학교(TUM), 이스트 앵글리아 대학교(UEA) 외 여러 국제 연구팀과 기관이 참여하는 프로젝트로 기술, 윤리, 법, 경제 분야의 전문 지식을 결합한 다학제적 접근방식을 통해 유럽의 AI 규제법(AI Act), 데이터 법(Data Act), 디지털 시장 법(Digital Markets Act) 등이 실제 어떻게 작용하는지, 시민들에게 어떠한 영향을 미치는지, 그리고 정책 입안자들이 이러한 규제의 효과성을 어떻게 평가할 수 있는지에 대한 연구를 진행함. AI4POL은 정책 입안자, 규제 기관, 소비자 보호 기관, 산업 파트너들과 협력하여 유럽이 글로벌 AI 혁신에 뒤처지지 않고 윤리적이고 효과적인 AI 규제를 개발하는 데 선도적인 역할을 할 수 있도록 목표를 설정하고, 보다 안전하고 윤리적이며 시민 중심의 AI 미래를 만드는 것을 목표로 함
- 유럽집행위원회는 Horizon Europe의 4,500만 유로상당의 예산을 투입하여 AI “자동 준수” 시스템을 포함한 해결책 모세 예정. 전체 5-8개 프로젝트를 선정하여 개별 프로젝트 당 700만 유로에서 900만 유로 지원 예정

● 비즈니스 생산성과 효율성 향상을 위한 AI¹⁴⁾

- 비즈니스의 생산성과 효율성을 높이는 것을 목표로 120개의 AI 시스템 개발 프로젝트가 영국 연구 혁신청(UKRI)의 기술 미션 펀드에서 700만 파운드를 지원받아 InnovateUK 의 BridgeAI 프로그램을 통해 제공
- 농식품, 교통 및 물류, 건설, 창의 산업 등 고성장 산업 분야 외 시급한 도전 과제 해결을 위한 예산지원뿐 아니라, 기업들의 훈련과 과학적 전문지식에 접근할 수 있도록 지원 예정
- **AI 모델링을 통한 제과업체 폐기물 감소**: Oxford Cognitive Labs와 협력하여 런던 제과 업체는 AI 기술이 식품 폐기물을 줄이는 가능성 탐구
- **자동 도로 균열 감지, 예방 및 수리기술**: 리버풀 대학교에서 파생된 기업 로보티즈3D(Robotiz3d)는 도로 결함의 진화를 예측하는 AI 기반 플랫폼의 프로토타입 개발
- **AI기반 디자인 진단 및 최적화 시스템을 통한 주택내 곰팡이 예방**: 중소기업인 BuildEco는 리즈베켓대학교와 협력하여 기존 건물에서 습기와 곰팡이 성장을 유발할 수 있는 부분을 식별하고, 위험을 줄여 건물의 안전성을 향상하는 플랫폼을 개발

1.3 유럽 AI 연구 주제

● 탄소중립과 AI¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾

- 탄소중립 정책과 관련하여 적극적인 행보를 보이고 있는 유럽은 AI분야에서도 이와 관련한 연구가 활발히 진행되고 있음
- 특히 건축(AI 를 통한 부동산의 개조 및 개선에 대한 의사결정), 에너지(재생 가능한 난방 기술 개발이나 AI 기반 에너지 수급 모니터링), 농업(제어된 환경 농업에서 생산성 향상 및 재배 방식 전환), 운송 부문(도로 유지, 개선을 통한 사이클링 경험 향상)에서 관련 연구가 진행되고 있으며 그 밖에 기후변화와 같은 환경 부문에서 AI 연구 프로젝트가 두각을 나타내고 있음

14) <https://www.ukri.org/news/over-7-million-awarded-to-help-ai-boost-growth-in-the-uk/>

15) UKRI (2024) Net zero projects secure £7.6 million to cut heating emissions.

16) <https://www.turing.ac.uk/events/zero-carbon-farms>

17) <https://www.lboro.ac.uk/research/traice/research/>

9) Horizon Europe (2024) New Projects in AI, Data, and Robotics 2024 Edition.

10) European Commission (2023) Facing the future: AI-driven research projects overcoming real-life challenges. https://rea.ec.europa.eu/research-and-artificial-intelligence_en

11) Hudson, R. (2024) AI tops € 550M digital R&D agenda in Horizon Europe, leaked document shows. Sience Business

12) Tilburg University (2024) EU Horizon grant on the future of AI regulation in Europe

13) <https://tumthinktank.de/project/ai4pol/>

● AI 기술과 양자컴퓨터, 슈퍼 컴퓨터¹⁸⁾¹⁹⁾²⁰⁾

- 유럽연합은 양자 컴퓨팅 분야에서 3,250만 유로를 “양자 인터넷” 개발 가속화에 투자할 예정이며, 이 프로젝트를 통해 양자 시스템이 최대 500킬로미터 거리에서 상호 연결될 수 있도록 하는 것을 목표로 함. 더불어 1,000만 유로를 양자 컴퓨터가 표준 컴퓨터와 함께 작업할 수 있도록 하는 프로젝트를 진행하며, 한국과의 양자 협력을 위해 800만 유로의 예산을 책정함
- 스페인 바르셀로나 슈퍼컴퓨팅센터(BSC-CNS)는 약 2억 유로를 지원받아 7개의 ‘AI Factory’ 중 첫 번째 공장을 설립 예정. BSC를 AI(인공지능) 개발의 중심지로 만들어, 공공과 민간 부문이 고영향 과학 및 기술 연구 개발 프로젝트를 추진할 수 있도록 하는 것을 목표로 함
- 핀란드 역시 범유럽 슈퍼컴퓨터(CSC-IT 과학센터) 및 AI Factory가 위치할 장소로 선정됨. CSC 데이터 센터는 세계에서 가장 에너지 효율적이고 기후 친화적인 데이터 센터 중 하나로 사회 디지털화를 촉진하고, 데이터 경제를 강화하며, AI와 양자기술 등 차세대 기술 개발을 목표로 함

● 효율적이고 공정한 의사결정²¹⁾²²⁾

- 산업적 측면에서 효율적이고 신뢰할 수 있는 의사결정에 대한 연구가 진행되어왔다면, 사회적 측면에서 공정하고 편견 없는 의사결정에 대한 연구가 진행됨
- **HUMAINE**: 그리스 피레아스 대학교, 네덜란드 호로닝언 대학교, 독일 GFT technologies, 이스라엘 IBM 등 학계 산업계 파트너들이 컨소시엄을 이루어 다양한 산업 분야의 실무 환경에서 효율적인 의사결정을 가능하게 하는 인간-AI 협업 운영 체제를 연구, 개발, 검증함
- **TANGO**: 이탈리아 트렌토 대학교, 피사 대학교, 영국의 워릭 대학교, 스완지 대학교, 유럽 정책 연구소와 기업들이 함께 컨소시엄을 이루어 인간과 기계가 시너지 효과를 내는 의사결정을 위한 이론적 토대와 프레임워크를 4년 동안 개발하는 700만 유로 규모의 프로젝트
- **NoBIAS**: 데이터 수집, 알고리즘, 결과 사용 등 AI 기반 의사결정 과정의 모든 단계에서 발생할 수 있는 편향의 법적, 사회적, 기술적 문제에 대해 연구하고, 공정성을 인식하는 알고리즘 개발, 데이터 출처와 투명성을 위한 프로세스를 개발

● 신뢰와 책임감 있는 AI²³⁾²⁴⁾

- 유럽, 특히 영국은 AI 연구, 혁신 및 윤리적 배포 분야에서 선도적인 위치를 선점, 유지하려는 노력을 계속 해 왔음

- 이를 달성하기 위해 진행되고 있는 대표적인 프로젝트로는 셰필드 대학교에서 주도하고 있는 ‘책임있는 AI구현 및 관리 프레임워크 구축(FRAM), 알란 튜링 연구소가 주도하고 있는 ‘디지털 트윈의 신뢰성 및 윤리적 보증(TEA-DT)’ 등이 있음
- **THEMIS 5.0**: 9개국의 다양한 분야에서 16개 파트너 기관들이 주축이 되어 인간 중심의 AI신뢰성 평가 프레임워크와 생태계 개발을 목표로 함. 이를 통해 모든 사용자의 AI시스템 신뢰 향상을 기대함. 신뢰성 확보를 위해 개발 사이클에는 AI시스템 개발자, AI기반 서비스 제공자 및 교육자, 전문가, 정책 입안자를 포함 AI 서비스 사용자 등 다양한 배경을 가진 사람들이 모두 참여
- **AI Factory**: EU AI 법을 통해 유럽은 AI가 더 안전하고 신뢰할 수 있도록 선도해 왔으며, 유럽집행위원회(EC)는 안전하고 신뢰할 수 있는 AI 기술 개발 촉진을 목표로 유럽 전역에 인공지능(AI) ‘팩토리’ 설치 계획을 발표. Horizon Europe과 Digital Europe에서 10억 유로의 EU 예산을 배정하고, 동일한 규모의 별도 예산을 각 회원국들이 부담하여 총규모 약 21억 유로의 예산을 배정. 인공지능 팩토리 프로젝트는 유럽국가들의 AI 이니셔티브와 연결되어, 의료, 에너지, 교통, 국방, 제조업 등 주요 산업 및 과학 분야에서 AI 개발 및 검증을 가속화할 것²⁵⁾
- **유럽의 AI 우수 네트워크(NoEs)**: Horizon 2020과 Horizon Europe에서 1억 유로 이상의 자금을 지원받는 NoEs 프로젝트는 신뢰할 수 있는 AI와 로봇틱스에 대한 주요 도전 과제를 해결하기 위해 세계적 수준의 네트워크를 구축함. 기존에 진행되고 있는 9개의 프로젝트(AI4Media, ELISE, HumanE-AI-Net, TAILOR, ELSA, euROBIN, ELIAS, dAIEDGE, ENFIELD)를 포함하여 1,000명이 넘는 연구자와 100개의 산업 조직이 참여하여 분산된 AI 연구 환경을 응집력있는 커뮤니티로 형성하여 다양한 분야에서 실질적인 AI 발전에 기여하는 것을 목표로 함²⁶⁾

1.4 유럽 AI 연구 접근법

● 국제, 학계, 산업계 파트너십 강조²⁷⁾²⁸⁾

- 국경이 없는 디지털 시대에서 AI로 인해 발생하는 위험은 본질적으로 전 세계적인 문제로, 책임감 있는 AI 시스템 개발을 위해 학계와 산업계의 국제적인 파트너십이 강조
- 영국의 국가지원 기관인 AI안전 연구소는 AI의 사회적 영향을 평가하는데 뿐만 아니라 지리적으로도 다양한 전문가들로 구성된 패널을 구성
- 영국 정부는 2023년 11월 AI의 위험을 인지하고 완화하기 위한 국제협력 구축을 목적으로 Global AI Safety Summit 주최

25) Robinson, J. (2024) Commissions launches call for AI ‘factories’ to aid research and industry <https://www.chemistryworld.com/news/commission-launches-call-for-ai-factories-to-aid-research-and-industry/4020184.article>

26) <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/networks-excellence-ai-robotics-researchers>

27) Department for Science, Innovation & Technology (2023) Introducing the AI Safety Institute. Policy Paper. <https://www.gov.uk/government/publications/ai-safety-institute-overview/introducing-the-ai-safety-institute>

28) UKRI (2024) £12 million for UK projects to address rapid AI advances. <https://www.ukri.org/news/12-million-for-uk-projects-to-address-rapid-ai-advances/>

18) Hudson, R. (2024) AI tops € 550M digital R&D agenda in Horizon Europe, leaked document shows. Sience Business

19) <https://sciencebusiness.net/network-updates/bsc-host-one-seven-european-ai-factories-drive-its-development-business-ecosystem>

20) <https://csc.fi/en/about-us/what-csc/>

21) Horizon Europe (2024) New Projects in AI, Data, and Robotics 2024 Edition.

22) European Commission (2023) Facing the future: AI-driven research projects overcoming real-life challenges. https://rea.ec.europa.eu/research-and-artificial-intelligence_en

23) UKRI (2024) £100 million boost in AI research will propel transformative innovations <https://www.ukri.org/news/100m-boost-in-ai-research-will-propel-transformative-innovations/>

24) <https://www.themis-trust.eu/about-us>

● 공공과 민간의 파트너십 강조²⁹⁾³⁰⁾

- **ELLIS Institute Finland**: 핀란드 교육문화부는 2025년부터 2028년까지 매년 1,000만 유로를 지원하여 국립 ELLIS 연구소를 설립했으며, Silo AI 의 CEO 인 Peter Sarlin 재단에서 1,000만 유로를 기부함. AI 연구 및 개발 인공 지능 연구의 중심 역할을 할 기관 설립을 통해 핀란드는 AI를 성장의 도구로 삼고 국제적인 전문가 인력 유치를 계획 중임
- 2025년 시작된 AI Factory 프로젝트는 첨단기술자원, 데이터 및 전문인력을 통합하여, 기업, 스타트업, 중소기업 및 기관에 있는 실무자들이 AI에 최적화된 슈퍼컴퓨팅 인프라와 보완적인 서비스 네트워크에 접근할 수 있도록 함
- UKRI의 BridgeAI Programme은 Industry-led 접근방식을 강조하여, 실제 연구결과가 산업에 적용되는 것을 목표로 함

● AI 인재 확보³¹⁾

- 미국과 중국의 공격적인 AI 시장 선점과 치열한 경쟁에 대응하기 위해 유럽은 AI 인프라 구축과 인재 확보에 적극적으로 나서고 있는 추세. 상위 AI 인재의 55%가 미국과 영국에 집중되어있는 가운데, 영국과 미국의 AI 안전 연구소가 Geoffrey Irving, Paul Christiano와 같은 저명한 AI 연구자를 영입한 사례를 참고하여, 유럽도 탁월한 기술 인재를 유치하는 데 중점을 두고 있음

● 사용자의 목소리를 반영하는 AI연구 개발 및 정책

- 형평성 중심의 AI개발 접근 방식의 중요성에 있어 사용자는 결국 사람이라는 것에서 출발하여 시민사회의 참여 촉진, 특히 소외된 집단의 목소리를 증폭하여 안전하고 이타적인 AI개발이 강조되고 있음
- 이러한 대중의 목소리를 반영하기 위해 디지털 굿 네트워크, 앨런 튜링 연구소, 에이다 러브레이스 연구소 등에서 대중의 견해를 종합, 검토, 구축 및 공유하고 다양한 대중을 참여시키고 있음

● 유럽형 생성형 AI 기술 개발³²⁾³³⁾³⁴⁾

- **OpenEuroLLM**: Digital Europe Programme에서 3,700만 유로를 지원받아 ChatGPT 와 DeepSeek의 대안형 AI 기술 개발을 위해 유럽 내 20개 주요 연구기관, 기업 등으로 구성된 컨소시엄 출범. 유럽 데이터를 기반으로 학습된 토종 LLM 모델 개발로 유럽의 경쟁력과 디지털 주권 강화 추진. 프로젝트의 모델, 소프트웨어, 데이터 및 평가 과정은 전면 공개될 예정이며, 특정 산업이나 공공부문 기관에 맞는 세부 조정 및 명령어 조정이 가능하도록 설계될 예정

- AI Innovation Package: AI 혁신 패키지는 유럽 스타트업과 중소기업(SME)이 유럽 AI 개발에 있어 유럽의 가치와 규정을 준수하는 신뢰할 수 있는 시스템 개발 지원을 목표로 함. 2024-2027년 동안 최대 40억 유로에 달하는 다양한 이니셔티브를 발표하여 AI 연구와 배치에 대한 투자를 강화하며, 이를 통해 새로운 세대의 생성형 AI 기술 개발을 지원함

2 유럽의 AI 정책 동향

2.1 '수평적' 규정을 강조한 EU AI 최종 법안 배포

- 유럽연합 인공지능 법 (EU AI Act)이 2024년 7월 12일 기관의 승인을 받아 공식적으로 법제화되었으며 앞으로 2년간의 단계적 시행 기간을 거칠 예정
- EU 집행위원회는 시행 기간 동안 AI법을 준수하기 위해 기관들이 수행해야 할 일들에 대한 보다 세분화된 지침을 제공하기 위해 2차 법안과 지침 개발 예정

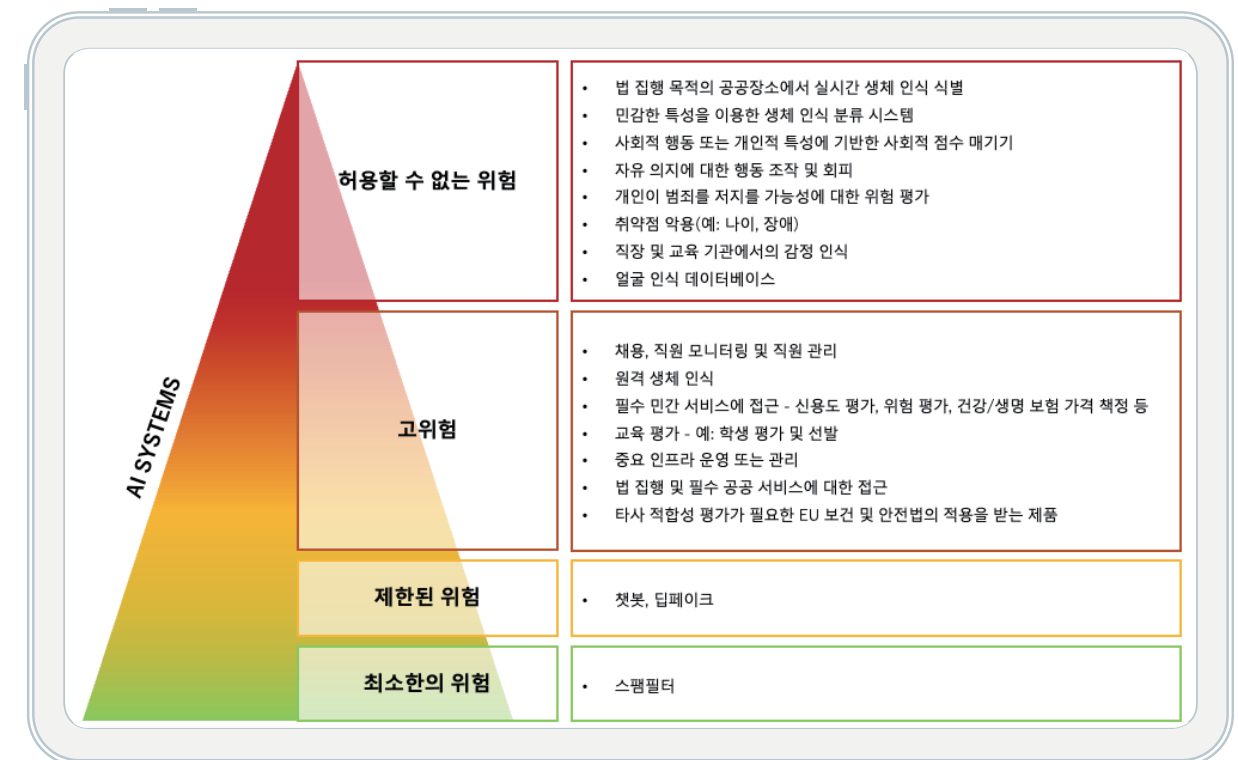


그림 3. AI 시스템 구분³⁵⁾

- 수평적 규정을 바탕으로 모든 분야와 애플리케이션에 걸쳐 AI에 대한 규칙을 제시한 법안은 AI에 대해 허용할 수 없는 위험, 고위험, 제한된 위험, 최소한의 위험 등 네 가지 위험 수준을 설정하고 시스템이 기본권에 미치는 위험 수준에 따라 다른 규칙을 적용

35) <https://www.deloitte.com/uk/en/Industries/financial-services/blogs/the-eu-ai-act-the-finish-line-is-in-sight.html>

29) <https://fcai.fi/ellis-institute-finland>

30) <https://sciencebusiness.net/network-updates/bsc-host-one-seven-european-ai-factories-drive-its-development-business-ecosystem>

31) <https://sciencebusiness.net/viewpoint/ai/viewpoint-why-commission-must-think-bigger-cern-ai>

32) <https://www.itpro.com/technology/artificial-intelligence/european-ai-alliance-looks-to-take-on-silicon-valley-and-develop-home-grown-llms>

33) <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/pioneering-ai-project-awarded-opening-large-language-models-european-languages>

34) <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/factpages/ai-innovation-package>

- 대부분의 법안은 고용, 교육, 필수 민간 서비스 이용 등의 분야에서 사용되는 허용할 수 없는 위험에 초점을 맞추고 있으며, 고위험 AI시스템은 허용되지만 엄격한 조건이 적용됨
- 고위험 AI시스템에는 법의 규정을 준수하는지 확인하기 위해 적합성 평가를 수행해야 하는 의무를 포함하여 세부적인 의무가 적용되고, 제한된 위험 AI시스템에는 가벼운 의무가 적용되며, 최소한의 위험으로 간주되는 AI시스템은 규제를 받지 않음
- AI법을 준수하지 않을 경우 최대 3,500만 유로 또는 조직의 연간 글로벌 매출의 7%에 해당하는 막대한 벌금이 부과될 수 있음

2.2 EU AI 법안이 전 세계에 미치는 영향³⁶⁾

- ❖ 다국적 기업들은 전 세계적으로 AI법 표준을 채택할지, EU 전용 AI시스템과 모델을 개별적으로 개발할지, EU에서 AI운용을 축소할지에 대해 전략적 선택이 필요
 - 고위험 AI시스템에 대한 요건을 준수하기 위해 적합성 평가를 위한 향상된 제품 거버넌스, 위험관리 프레임워크, 규정 준수 및 내부, 외부 감사 기능 구축에 투자 필요
- ❖ 공공기관, 공공 서비스를 제공하는 민감 사업자, 금융 서비스 기업 등 고위험 AI 시스템 제공자는 기본권 영향 평가(FRIA)를 수행해야 함
 - 기본권 영향 평가(FRIA: Fundamental Rights Impact Assessment) 는 AI 가 프라이버시, 차별 금지, 표현의 자유와 같은 기본권에 미칠 수 있는 잠재적 영향을 평가하는 포괄적인 프로세스로 평가 결과는 위험관리 전략에 반영되어야 함

2.3 비슷하고도 다른 유럽과 영국의 AI정책

- ❖ 위험 기반 접근 방식의 AI거버넌스³⁷⁾
 - 지난 4월 벨기에 루벤에서 열린 대서양 무역기술 위원회 (TTC) 회의 이후 미국과 유럽은 '신뢰할 수 있는 AI 및 위험 관리를 위한 평가 및 측정 도구에 대한 공동 로드맵'에 대한 접근 방식에 동의
 - 하지만 AI 법안 마련에 발빠른 유럽에 비해 미국은 조금 더 신중을 가하는 등 기술규제를 위한 세부적인 전략에 있어서는 극명한 차이를 보이고 있음
- ❖ 혁신과 유연성을 강조하는 영국의 AI 거버넌스³⁸⁾
 - 보수당이 집권해 온 영국 정부는 지난해 AI규제에 대한 '친혁신 접근법'을 AI규제 백서를 통해 발표하고 영국 의회에 인공지능(규제) 법안 초안을 제출
 - 이러한 접근은 유럽보다 상대적으로 덜 경직되어 있어 기업이 더 빠르게 혁신할 수 있는 동시에 정부가 사회적 위험 발생 시 유연하게 대응할 수 있는 장점이 있지만, AI규제의 실제 시행이나 정부 지원 기능 등의 모호성이 남아있음

36) <https://www.deloitte.com/uk/en/Industries/financial-services/blogs/the-eu-ai-act-the-finish-line-is-in-sight.html>

37) <https://www.hertie-school.org/en/digital-governance/research/blog/detail/content/ai-governance-eu-and-us-converge-on-risk-based-approach-amid-stark-differences>

38) <https://www.techpolicy.press/uk-versus-eu-who-has-a-better-policy-approach-to-ai/>

❖ 안전한 AI를 위한 지원 기관 운영³⁹⁾⁴⁰⁾

- 영국은 공익을 위한 AI 안전에 초점을 맞춘 최초의 국가 기관인 AI안전연구소(AISI: AI Safety Institute)를 지난해 10월 설립. 이는 AI 기술이 야기할 수 있는 위험을 이해하고 거버넌스를 활성화 하는데 필요한 사회기술 인프라 개발 및 AI에 대한 규제 프레임워크에 정보를 제공하여 안전하고 책임감 있는 AI가 개발, 배포될 수 있는 데에 주도적 역할
- 유럽은 보안과 안전이 보장이 되는 AI를 구현하기 위해 기초연구를 강조하는 유럽 보안 안전 AI 등대(ELSA: The European Lighthouse on Secure and Safe AI)를 설립 운영해 옴. 독일 자브뤼켄에 위치한 CISPA 헬름홀츠 정보보안 센터를 중심으로 유럽 내 26개 연구기관 및 기업의 연구자들이 모여 AI 및 머신러닝 분야의 전문지식을 공유하고 있음

2.4 유럽과 영국의 AI 생태계 형성을 위한 긴밀한 협력⁴¹⁾⁴²⁾⁴³⁾

- ❖ 유럽과 영국의 인공지능 규제 접근 방식과 AI 생태계의 상호 보완적인 강점을 고려하여 협력 가능성이 높은 세 가지 AI 영역 정의: ① 고성능 컴퓨팅 공동 사업 ② 인공 지능 표준화 협력 ③ 유럽과 영국 AI 관련 기관의 긴밀한 협력 관계 구축

❖ 고성능 컴퓨팅 공동 사업(EuroHPC JU)을 통한 공동 컴퓨팅 인프라 구축

- 디지털 인프라와 컴퓨팅 역량은 AI 연구와 혁신을 가능하게 하는 기본 요소로, EU는 약 70억 유로 (2021년-2027년)의 예산을 투입해 고성능 컴퓨팅 역량을 강화하기 위한 공공-민간 협력 사업인 EuroHPC JU를 설립
- 영국은 EuroHPC JU를 통해 고성능 컴퓨팅 역량에 대한 접근확대와 국제 협력 증진을 추진하여 과학적 발견을 가속화하고 경제 성장 촉진

❖ 인공지능 표준화 협력⁴⁴⁾

- 지난 8월 발표된 AI Act와 관련하여 유럽의 기업들은 혁신을 억제한다는 우려를 표하고 있지만, EU 이사회는 이에 반박하며 표준은 혁신 가속화, 국제 무역촉진, 기술 정책 실행을 위한 핵심 동력으로, 기술과 규제 측면에서 AI의 통일된 정의, 관행 및 측정 기준 개발 중요성을 강조
- 특히, 여러 국가와 지역에 걸쳐 포괄적인 AI 정책 채택과 시행을 위해 세부적인 기술 표준이 필요하므로, 영국표준협회(BSI)와 유럽표준화기구(CEN, CENELEC, ETSI, ENISA)는 AI 표준을 조화시키기 위한 긴밀한 협력이 필수
- 구체적으로, 공통 용어의 정립, 상호운용성의 개선, 통일된 측정 기준 설정, 규제 기관 간 협력 촉진을 목표한다면 EU와 영국의 AI 생태계 간 시너지 창출에 기여할 것으로 기대

39) Department for Science, Innovation & Technology (2023) Introducing the AI Safety Institute. Policy Paper. <https://www.gov.uk/government/publications/ai-safety-institute-overview/introducing-the-ai-safety-institute>

40) <https://elsa-ai.eu/about-elsa/>

41) <https://eurohpc-ju.europa.eu/about/discover-eurohpc-ju%5Fen>

42) <https://bristol.ac.uk/news/2023/november/supercomputer-announcement.html>

43) <https://www.gov.uk/government/topical-events/ai-seoul-summit-2024>

44) Mökander, J., Bougrine, C., Zandermann, K., Abassi, B., Meyers, Z. (2024) Exploring EU-UK Collaboration on AI: A Strategic Agenda

❖ 유럽 AI 사무소와 영국 AI 안전 연구소 간의 긴밀한 협력 관계 구축⁴⁵⁾⁴⁶⁾⁴⁷⁾⁴⁸⁾

- 영국과 EU에서 AI 거버넌스를 담당하는 핵심기관은 각각 영국의 AI 안전 연구소(AI Safety Institute)와 유럽 AI 사무소(European AI Office)로 두 기관 간의 긴밀한 협력 관계구축을 통해 양측의 역량과 영향력 강화 가능
- 협력 가능한 프로젝트로는 AI 안전에 대한 공동 연구, 모델 테스트 및 평가 기능의 전문화 등이 있을 수 있음
- 2024년 영국은 한국과 성공적으로 AI 안전정상회담을 공동 주최했으며, 2025년은 프랑스에서 개최예정. 이를 통해 영국과 유럽 이웃 국가들 간의 협력을 더욱 촉진할 수 있는 기회 제공

2.5 생성형 AI 시장에 대한 정책적 대응

❖ 미국과 중국의 생성형 AI 마켓 선점에 뒤떨어진 영국과 EU의 경쟁력 강화 필요⁴⁹⁾⁵⁰⁾

- 2019년 이후 미국 GDP는 8.6% 증가한 반면, 유럽은 3.4%, 영국은 1.8% 증가에 머물러 성장 측면에서 미국에 뒤처져있으며, 현재 AI연구는 미국과 중국 기반의 기업들(예: OpenAI, Google, Microsoft, Deepseek 등)이 주도하고 있으며, 두 나라가 세계에서 가장 강력한 AI 모델의 약 80%를 보유하고 있음
- 이러한 배경에서 미국에 이어 두 번째로 큰 인공지능 시장을 차지하고 있는 유럽과, 3,000개 이상의 AI 기업들이 2021-22년 2년 동안 총 106억 파운드 이상의 매출을 창출한 영국의 상호 보완적인 강점을 결합하면 인공지능의 경쟁력 강화 가능

❖ GenAI4EU 이니셔티브⁵¹⁾⁵²⁾

- GenAI4EU 이니셔티브는 대규모 AI 정책 추진의 일환으로, AI를 14개 산업 부문에서 새로운 방식으로 활용하는 것
- 300만 유로의 예산이 투입된 이니셔티브는 유럽 AI 개발자들을 연결하는 "허브"를 구축하여, 모든 관련 전문가들을 연결하고 생성형 AI를 발전시켜 유럽의 전략적 산업과 공공부문이 경쟁력을 유지하도록 지원하는 것을 목표로 함
- 산업 부문에서 AI 스타트업과 조직 간의 협력을 촉진하여 AI 기반 응용 프로그램을 개발하고 배치하는 개방형 혁신 생태계를 구성, 연구실에서 시장으로의 전환을 원활하게 하고, 연구를 촉진하며, AI 채택을 장려하고, 혁신을 지원하는 다양한 이니셔티브가 포함되어 있음

- 공공 영역에서는 기관과 민간의 파트너십 촉진, AI 연구 지원, 시험 시설 제공, AI 솔루션을 위한 유럽 시장 개발을 포함하며, 특히 신뢰할 수 있는 AI 솔루션을 위한 시장을 구축하고 연구 역량을 동원함으로써 AI 분야의 경쟁력을 강화하는 것을 목표로 함

❖ STEP Seal

- STEP은 인공 지능을 비롯한 핵심 기술을 지원하여 유럽의 산업 경쟁력을 강화하기 위한 새로운 EU 이니셔티브로, 투자를 받은 프로젝트들에 STEP 인증 마크를 제공하여 추가 EU 기금에 접근할 수 있도록 지원하는 동시에 인증 마크를 받은 프로젝트의 투자 프로파일을 높이는 것을 목표로 함

3 시사점

- ❖ 지난해에 이어 2024년 상반기 유럽은 신뢰할 수 있는 AI 분야의 글로벌 리더가 되기 위해 정책개발과 실행, 연구 지원에 있어서 광폭 행보를 이어나가고 있음
- ❖ Horizon Europe 과 UKRI의 최근 AI 연구 지원에서 보았듯이 AI연구는 기초연구 지원에서 응용 연구 지원으로, 기술 연구에서 철학적, 윤리적 연구가 강조되고 있으며, 디지털 혁신의 특징과 AI의 파급력을 고려했을 때, 연구 접근에 있어 다양성, 포괄성, 평등이 강조될 수 있는 사람 중심의 디자인 접근 방식인, Co-design 연구 방법이 필수로 적용되고 있음
- ❖ 수평적이고 위험 기반 접근 방식의 EU AI 법이 공식적으로 법제화되었으며, 그에 따른 기업과 기관, 그리고 이웃 국가들의 적절한 대응이 필요한 시점임
- ❖ 미국과 중국 기반 기업들이 생성형 AI 시장을 선점하고 있는 가운데, 유럽 국가들은 AI 분야의 글로벌리더로 자리 잡기 위해 지속적인 노력을 기울이고 있음
- ❖ 최근 발표된 AI 연구 이니셔티브들을 통해 유럽은 기초연구와 응용 연구를 동시에 지원하며, 유럽의 가치를 훼손하지 않으면서 혁신과 경쟁력을 확보하는 것을 목표로 하고 있음을 짐작할 수 있었음
- ❖ 2024년 8월 AI 법(AI Act) 시행 이후 기업과 기관들이 규제 적용 과정에서 겪는 혼란을 해소하고, 혁신 억제에 대한 우려를 완화하는 데 중점을 두고 있음. 이를 통해 유럽은 글로벌 AI 혁신 경쟁에 뒤처지지 않으면서도 윤리적이고 효과적인 AI 규제 모델을 선도하는 것을 목표로 하고 있음
- ❖ 유럽과 영국의 협력, 공공과 민간의 파트너십은 유럽의 성공적인 AI 전략의 핵심방향으로 강조되고 있음. 특히, 유럽을 위한 생성형 AI 개발과 같은 협업 이니셔티브를 통해 파트너십이 혁신과 정책에 실질적인 영향을 미치도록 초점을 맞추고 있음

45) <https://www.gov.uk/government/topical-events/ai-seoul-summit-2024>

46) <https://sciencebusiness.net/news/ai/eu-losing-narrative-battle-over-ai-act-says-un-adviser>

47) Mökander, J., Bougrine, C., Zandermann, K., Abassi, B., Meyers, Z. (2024) Exploring EU-UK Collaboration on AI: A Strategic Agenda

48) <https://www.rfi.fr/en/france/20240329-france-appoints-engineer-to-lead-artificial-intelligence-safety-summit>

49) Mökander, J., Bougrine, C., Zandermann, K., Abassi, B., Meyers, Z. (2024) Exploring EU-UK Collaboration on AI: A Strategic Agenda

50) <https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1326801/000132680123000013/meta-20221231.htm>

51) Mökander, J., Bougrine, C., Zandermann, K., Abassi, B., Meyers, Z. (2024) Exploring EU-UK Collaboration on AI: A Strategic Agenda

52) Hudson, R. (2024) AI tops € 550M digital R&D agenda in Horizon Europe, leaked document shows, Sience Business

2024 유럽 첨단로봇 제조 연구 및 정책 동향

작성자 | 황준선
(첨단로봇 제조 분야 KERC 서포터즈)



EU 내에서는 독일, 스페인, 프랑스, 이탈리아가 첨단 로봇 기술의 중심지로 부상했으며, 2009년부터 2022년까지 이들 국가의 첨단 제조 기업 수는 두 배 이상 증가하였다. 독일은 유럽 최대의 로봇 시장을 형성하고 있으며 주로 자동차 제조업에서 로봇 활용이 활발하고, 이탈리아는 기계 및 금속 산업을 중심으로 두 번째로 큰 로봇 시장을 구축하고 있다. 최근 인간-로봇 협업이 유럽 첨단 로봇 제조의 주요 트렌드로 자리 잡았으며, 협동로봇의 등장으로 제조업 패러다임이 혁신적으로 변화하고 있다. 독일의 KUKA, 스위스의 ABB, 덴마크의 Universal Robots가 이러한 코보틱스 시장을 선도하고 있다.

유럽연합은 Horizon Europe 프로그램을 통해 2027년까지 첨단 제조 로봇을 포함한 다양한 분야를 지원하고 있으며, "Made in Europe" 파트너십을 통해 첨단 제조업 경쟁력 강화를 목표로 하고 있다. 프랑스는 'France 2030' 프로그램을 통해 하이테크 산업과 미래 인재 육성에 막대한 투자를 진행 중이며, 독일은 Industry 4.0 이니셔티브를 통해 제조업의 디지털 전환과 스마트 공장 구축을 촉진하고 있다. 영국은 Catapult 센터를 통해 중소기업과 대기업 간 협력을 강화하고 있으며, 스위스는 연구 인프라와 인재 육성에 집중하여 첨단 로봇 연구를 선도하고 있다.

유럽은 산업 및 서비스 로봇 분야에서도 세계를 선도하고 있으며, 협동로봇, 인간 유사 로봇 손, 인공지능 기반 조작 기술 등이 주요 연구 주제로 부상하고 있다. 대표적으로 Manibot 프로젝트는 다양한 환경에서 정교한 양손 조작이 가능한 로봇 개발을 목표로 하고 있으며, 덴마크 남부대학교는 인간처럼 다양한 물체를 조작할 수 있는 범용 그리퍼 설계를 연구하고 있다. 이러한 연구들은 로봇의 적응성과 유연성을 향상시켜 다양한 산업 환경에서의 활용 가능성을 넓히고 있다. 특히 다학제 융합 연구와 생체모방적 설계가 강조되며, 디지털화와 첨단 센서 기술을 통한 정밀성과 환경 적응성 향상에 집중하고 있다.

한편, 유럽연합은 디지털 전환과 친환경 전환을 아우르는 '트윈 전환'을 중심으로 첨단 제조와 로봇공학 융합을 추진하고 있다. Critical Raw Materials Act를 통해 첨단 제조에 필요한 원자재 공급망 안정성 확보에 나서고 있으며, 이는 러시아-우크라이나 전쟁 이후 더욱 중요성이 부각되고 있다. 유럽은 재활용과 순환 경제 강화를 통해 지속 가능한 원자재 공급망 구축을 목표로 하고 있으며, 이를 위해 재활용 인프라 확충, 혁신적 가공 기술 도입, 인공지능과 사물인터넷을 통한 원자재 사용 최적화, 디지털 트윈 및 첨단 로봇 기술을 활용한 재활용 공정 개선을 적극 추진하고 있다.

1 유럽의 산업용 첨단로봇 연구 동향

1.1 EU 주요국 동향

- 유럽연합(EU) 공동연구센터(Joint Research Centre, JCR) 보고서에 따르면 EU 내 첨단제조 기술은 독일, 스페인, 프랑스, 이탈리아에 집중되어 있으며 EU의 첨단 제조에 종사하는 기업의 수는 2009~2022년 동안 1,900개에서 4,500개로 크게 증가했으며, 이는 전 세계 첨단 제조 기업의 10%를 약간 넘는 수치임

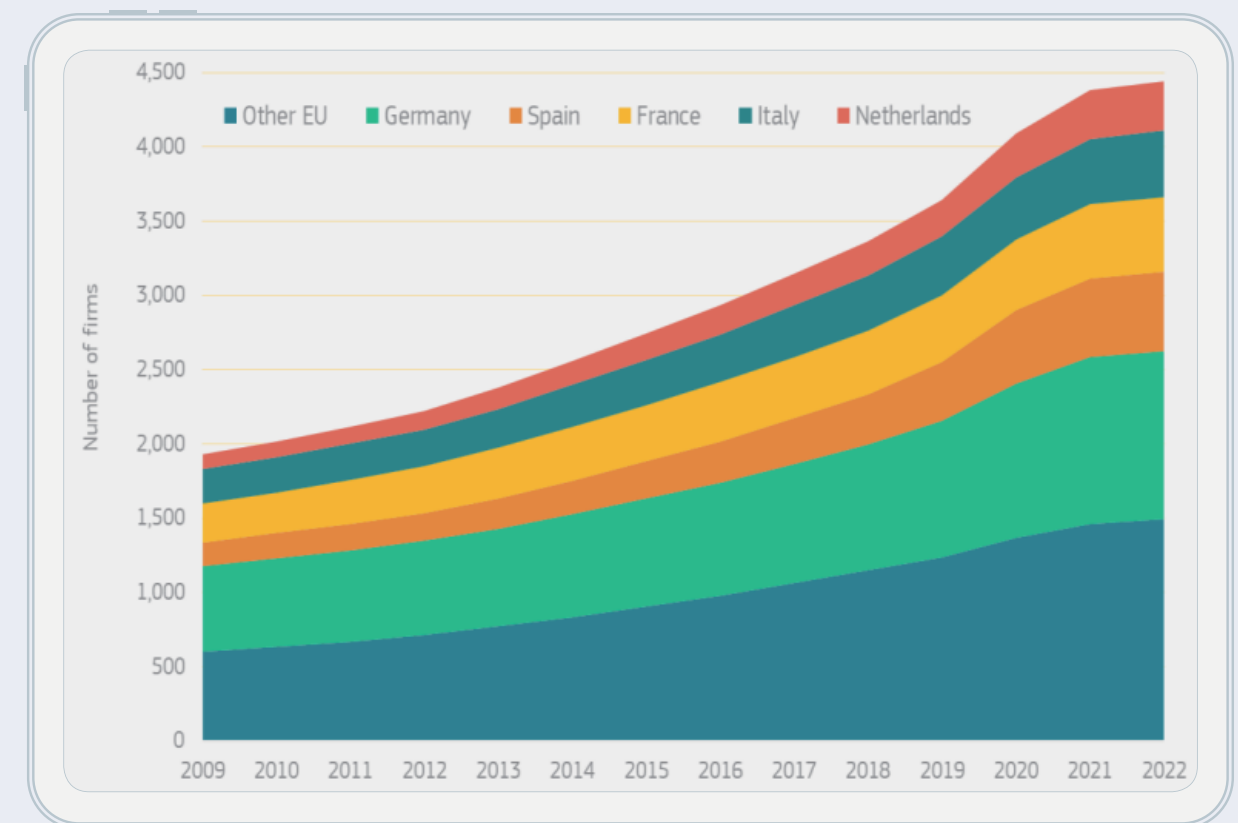


그림 1. 유럽 내 국가별 첨단 제조 기업 수(2009-2022)¹)

독일

- 유럽에서 가장 큰 로봇 시장을 보유국
- 2022년에 약 26,000대의 산업용 로봇이 독일 내 설치되었으며, 이는 전체 EU내 37%를 차지
- 특히 자동차 제조업은 전통적으로 산업용 로봇이 사용되는 독일의 주요 산업인 만큼 2022년에 새로 배치된 로봇 중 27%가 자동차 산업에 설치되었으며 이외에 금속 산업 및 플라스틱 제품 제조에도 약 8,000대의 로봇이 설치

1) JRC DGTEs 데이터베이스

● 이탈리아

- 독일에 이어 유럽에서 두 번째로 큰 로봇 시장을 보유국
- 2022년에는 거의 12,000대의 로봇 도입이라는 사상 최고치를 기록
- 이는 전체 EU 내 로봇 설치 수의 16%를 차지
- 이탈리아는 경쟁력 있는 기계 및 금속 산업을 보유하고 있으며 약 3,700대의 로봇이 기계 및 금속 산업에 설치
- 이외에도 플라스틱 및 화학 제품 산업에서 1,400대가 설치되었으며 식품 산업에서도 약 1,400대의 로봇이 설치
- 반면, 자동차 산업에서의 로봇 수요는 900대로 22% 감소

● 프랑스

- 2022년 프랑스의 로봇 시장은 유럽에서 3위를 차지했으며 연간 설치 수는 총 7,400대로 집계
- 로봇이 사용되는 주요 산업 분야는 금속산업이며 약 1,600대의 로봇이 설치
- 자동차 산업에도 약 1,600대의 로봇이 설치되어 있으며 2021년 중반에 발효된 프랑스 정부의 스마트 공장 장비 투자를 위한 1,000억 유로 규모의 부양책은 향후 몇 년 안에 제조 로봇에 대한 새로운 수요를 창출할 것으로 예상

● 스페인

- 연간 로봇 설치 수는 약 3,800대로, 국제자동차제조사기구(Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles, OICA)에 따르면 스페인은 독일에 이어 유럽에서 두 번째로 큰 자동차 생산국으로 조사
- 스페인은 자동차 산업에 산업용 로봇 900대를 설치하였으며 최근 금속 산업에도 900대의 로봇이 설치
- 2022년에는 자동차 및 금속 산업이 로봇 설치의 거의 50%를 차지

1.2 코보틱스²⁾의 부상

● 인간-로봇 협업(Human-Robot Collaboration, HRC)

- 유럽 첨단로봇 제조의 주요 트렌드로 자리잡고 있으며 2020년도 기준 유럽이 약 35% 정도로 가장 큰 협동로봇(Cobot) 시장 점유율을 보유
- 협동로봇의 등장은 인간에게 온전히 맡겨졌던 어렵고 위험한 작업을 자동화함 통해 기존 제조업의 패러다임을 혁신적으로 바꿀 것으로 예상되며 유럽 내 스마트팩토리 구축의 핵심 요소로 자리 잡을 전망
- 독일의 KUKA, 스위스의 ABB와 Stäubli, 덴마크의 Universal Robots 등이 유럽의 코보틱스를 이끌고 있으며 그 외에도 많은 협동로봇 관련 회사들이 등장

2) 코보틱스(Cobotics): 인간과 물리적으로 상호작용하며 인간의 일을 도와주는 로봇을 지칭하는 코봇 (Collaborative robot, Cobot)을 개발하는 로봇공학의 분야. 첨단 제조 분야에서 생산과 효율성을 높이기 위해 연구되고 있음

1.3 Manibot 프로젝트³⁾

● 개요

- 인간과 유사한 양손 물체 조작을 목표로 로봇의 물리적 지능과 성능을 향상시키는 연구로 로봇 손과 조작기의 고급 수동 능력을 향상시키기 위해 로봇 공학과 인공지능을 응용
- 그리스의 Centre for Research and Technology Hellas을 중심으로 독일, 이탈리아, 스페인, 오스트리아, 폴란드, 영국의 연구기관들이 공동 연구를 진행 중

● 세부내용

• 연구 목표

- 인간과 유사한 양손 물체 조작을 통해 로봇의 물리적 지능과 성능을 향상
- 다양한 크기, 모양 재질 및 무게를 가진 물체를 다루는 능력을 강화
- 인간이 활동하는 복잡한 환경에서도 정교한 조작이 가능하도록 설계

• 주요 기술 요소

- 새로운 환경 이해 및 물체/자세 인식 기술
- 새로운 방식의 조작과 양손 조작을 포함한 새로운 조작 기술
- 첨단 촉각 및 근접 센서를 통합한 양손 모바일 매니퓰레이터
- 다중 수준 로봇 사이클을 기반으로 한 로봇 인지 기능의 새로운 접근법

• 제조업 분야 활용 가능성

- **초정밀 작업:** 반도체 및 전자 부품 조립 등 정밀성이 필요한 공정
- **위험 작업 대체:** 고온 방사능 등 위험 환경에서 안전한 대체 작업
- **협소 공간 작업:** 인간 손처럼 유연한 조작으로 좁은 공간에서 작업 수행

• 서비스 분야 활용 가능성

- **상품관리:** 슈퍼마켓 선반 정리 및 재배치
- **물류 지원:** 공항 및 물류 센터에서 수하물 및 화물 처리

• 의료 분야 활용 가능성

- **정밀 수술:** 신경외과, 심혈관 등 미세 수술 지원
- **재활 보조:** 환자 맞춤형 동작과 섬세한 힘 조절 제공

3) <https://cordis.europa.eu/project/id/101120823>

1.4 덴마크 남부대학교- Human-Like Grasping and Manipulation⁴⁾

● 개요

- 덴마크 남부대학교(SDU)의 로봇공학 연구팀은 Human-Like Grasping and Manipulation 프로젝트를 통해 인간과 유사한 물체 그리핑 및 조작 기술 개발에 주력하고 있음
- 프로젝트를 통해 첨단 로봇 공학과 자동화를 결합하여 다양한 산업 분야에서 로봇의 유연성과 적응성을 높일 수 있을 것으로 기대

● 세부내용

- 연구 목표
 - 로봇이 다양한 형태, 크기, 재질의 물체를 인간처럼 잡고 조작할 수 있도록 설계된 범용 그리퍼(Universal gripper)를 개발
 - 기존의 자동화 시스템에서 요구되는 특수화된 피딩 시스템과 맞춤형 손가락 설계의 필요성을 제거
- 주요 연구 영역
 - 고급 그리퍼 설계: 다양한 물체를 다룰 수 있는 유연하고 강력한 그리퍼 설계
 - 힘 기반 제어: 정확한 그립 조정을 통해 섬세한 물체도 안정적으로 잡을 수 있는 시스템 개발
 - 비전 기반 조작: 물체를 감지하고 위치와 방향을 인식하여 정교한 조작이 가능하도록 컴퓨터 비전 시스템 통합
- 연구 방법 및 기술 요소
 - 범용 그리퍼 설계
 - ① 다양한 크기와 형태의 물체를 다룰 수 있는 생체모방적 설계
 - ② 인간 손의 유연성과 적응성을 모방하여 물체를 안정적으로 잡고 조작할 수 있는 능력 강화
 - 힘 기반 제어
 - ① 물체의 무게와 재질에 따라 그립 강도를 조정할 수 있는 제어 알고리즘 개발
 - ② 섬세하고 민감한 물체도 안전하게 다룰 수 있도록 설계
 - 비전 시스템 통합
 - ① 로봇이 환경을 인식하고 적응할 수 있도록 머신러닝 기반 비전 알고리즘 개발
 - ② 물체의 크기, 위치, 방향 등을 실시간으로 감지하여 조작 과정에 적용

1.5 유럽의 첨단로봇 · 제조 정책 동향

● Horizon Europe

- Horizon Europe은 2027년까지 운영되는 유럽연합의 주요 연구 및 혁신 프로그램으로, 955억 유로의 예산을 배정

- 이 프로그램은 첨단 제조 로봇을 포함한 다양한 분야를 지원하는데, 특히 “Made in Europe” 파트너십을 통해 유럽의 첨단 제조업의 경쟁력을 강화하는 것을 목표로 하며, 약 18억 유로의 예산으로 운영
- Horizon Europe의 “Cluster 4: Industry, Digital and Space”는 첨단 제조, 로봇공학 및 집약적 공정 산업 등에 대한 연구 및 혁신을 지원함
- 이 클러스터는 공공 연구와 민간 투자를 촉진하여 산업 전반의 혁신 생태계를 강화하는 것을 목표로 함
- Factories of the Future은 Horizon 2020 프로그램의 일환으로 시작된 프로그램으로 유연하고 자원 효율적인 첨단 제조 시스템을 만드는 데 중점을 둠

● 프랑스 2030

- 프랑스는 하이테크 산업 경쟁력과 미래 인재 육성을 위해 총 300억 유로를 투자하는 ‘France 2030’ 프로그램을 발표하였으며 로봇산업에 약 8억 유로가 배정
- 또한, 사회적 요구를 충족시키고 보조 서비스를 향상시키기 위해 인간과 자연스럽게 상호작용하는 로봇을 개발하는 것을 목표로 8년 동안 3400만 유로를 할당

● 독일 Industry 4.0

- Industry 4.0은 제조업의 디지털 전환을 촉진하기 위해 독일이 주도하는 혁신 이니셔티브로 사이버 물리 시스템, 사물 인터넷, 빅 데이터 분석 및 로봇 등을 활용하여 스마트 공장을 구축하고, 첨단 제조 공정을 구축 및 최적화하는 것을 목표로 함
- 독일은 국제 인터넷 컨소시엄과 협력하여 다양한 시스템 간의 상호 운용성을 확보하기 위해 노력하고 있으며 이 협력은 Industry 4.0의 글로벌 표준화와 보안을 강화하는 데 중점을 두고 있음

● 영국의 Catapult

- 영국정부는 기술혁신을 위해 캐터펄트(Catapult) 센터들을 2011년부터 설립하였으며, 그중 중소기업과 다국적 대기업과의 협력을 촉진하고 영국 제조업을 자극하기 위해 설립된 High Value Manufacturing(HVM) Catapult은 영국의 첨단 제조업을 지원
- HVM Catapult는 영국 정부의 혁신기관인 InnovateUK로부터 자금을 지원받고 다양한 산업 파트너와의 협력을 통해 연구개발 프로젝트를 진행하여 추가적인 자금을 확보하는 시스템을 구축

● 스위스 스마트 팩토리(Swiss Smart Factory, SSF)

- 스위스 스마트 팩토리(Swiss Smart Factory, SSF)는 Industry 4.0을 위한 스위스의 협동로봇 테스트베드 플랫폼으로 첨단 제조 기술의 연구 개발을 위한 인프라를 제공하며 다양한 연구 센터와 협력하여 첨단 기술의 개발과 상용화를 촉진
- 스위스의 두 연방공과 대학인 EPFL과 ETHZ와 같은 기관들은 (첨단)로봇 연구의 선두에 있으며 스위스 정부로부터 막대한 자금을 지원

4) <https://www.sdu.dk/en/forskning/sdurobotics/researchprojects/human-likegraspingandmanipulation>

- 이들 기관은 고급 연구 프로그램과 산업 파트너와의 협력을 통해 첨단 로봇 분야에서 혁신을 촉진하며 감소국 스위스의 로봇공학자 인력 양성에 직접적으로 기여
※ 2024년 기준, 스위스 연방 정부는 한화 약 4조원(2,736million 스위스 프랑)을 연방 연구기관의 기술 개발을 위해 지원하기로 결정

1.6 유럽 첨단 로봇 제조 관련 정책의 중요성 및 EU의 역할

- 유럽연합(EU)은 첨단 제조 기술을 통해 디지털 전환과 친환경 전환이라는 트윈 전환(Twin Transitions)을 주도
- 제조업은 EU 경제와 고용에서 핵심 역할을 담당하며, 첨단 제조 기술 도입을 통해 지속 가능성과 경쟁력 강화
- Factories of the Future 및 Made in Europe 프로그램은 제조업의 디지털화, 탄소중립화, 인간 중심 접근을 중점으로 함
- Critical Raw Materials Act는 유럽의 첨단 제조업이 지속 가능한 청정 기술과 자원 재활용을 통해 글로벌 경쟁력을 유지하도록 지원
- 유럽 내 디지털 혁신 허브(Digital Innovation Hubs)와 같은 지원 체계를 통해 중소기업의 기술 도입 장벽 완화

1.7 Critical Raw Materials Act

- 배경
 - 첨단 제조를 위한 주요 원자재의 공급망 안정성은 EU 첨단 제조업의 지속 가능성에서 핵심 이슈이며 최근 러시아-우크라이나 전쟁은 안정적인 에너지 자원 및 원자재 확보의 중요성을 부각시킴
 - EU 내 재활용 및 순환 경제 강화를 통해 주요 원자재의 안정적이고 지속 가능한 공급망 확보가 목적
- 추진 목표
 - EU 내 재활용 인프라 강화 및 혁신적 원자재 가공 기술 도입
 - AI 및 IoT 기술을 활용하여 원자재 사용을 최적화
 - 디지털 트윈(Digital Twin) 및 첨단로봇 기술로 재활용 공정 개선

1.8 첨단 제조와 로봇 공학의 융합

- 유럽 로봇 공학의 중요성
 - EU는 Industry 5.0 비전 아래 로봇 공학을 첨단 제조 혁신의 핵심 기술로 육성
 - Factories of the Future와 Made in Europe 프로그램은 AI와 결합된 로봇 기술로 인간 중심 제조와 지속 가능성을 강화
- 주요 사례 및 프로젝트
 - AI-Enhanced Robotics Systems for Smart Manufacturing

- 인간-로봇 협업을 통해 제조 효율성 및 자원 활용 최적화
예) 배터리 해체, 식품 분류, 렌즈 제조 등 다양한 산업 적용
- Distributed Control and Modular Manufacturing
- 로봇과 디지털 트윈 기술을 활용한 유연한 제조 공정 구현

1.9 유럽 첨단 제조의 미래 방향⁵⁾

- 순환 경제 및 디지털 전환
 - EU는 제조업에서 순환 경제와 시 기반 자동화를 병행하여 지속 가능성과 효율성 동시 달성을 목표
- 숙련된 노동력과 교육 강화
 - EIT(European Institute of Innovation and Technology) Manufacturing과 같은 EU 차원의 교육 및 훈련 프로그램을 통해 고급 기술 인력을 양성
 - 인간-로봇 협업과 같은 새로운 기술이 기존 작업 환경에 통합되도록 지원



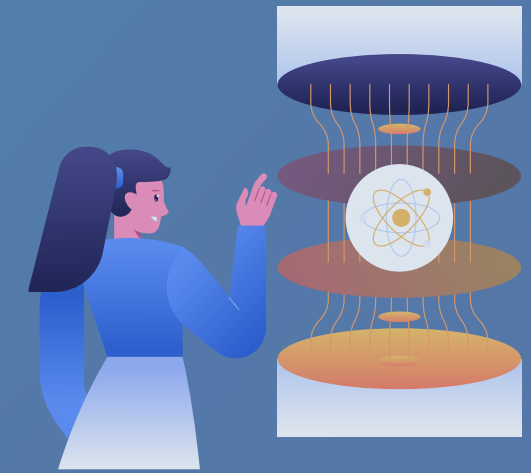
5) <https://ec.europa.eu/newsroom/rtd/items/838388/en>

2 시사점

- ❖ 유럽연합의 주요국인 독일, 프랑스, 스페인 등은 주요 산업인 자동차 제조에서 첨단 로봇의 활용 및 지원이 가장 높음
- ❖ 유럽에서는 인간-로봇 협업이 첨단 로봇 제조의 주요 트렌드로 자리잡고 있으며 독일의 KUKA, 스위스의 ABB, 덴마크의 Universal Robots 등이 유럽 코보틱스 시장을 이끌고 있음. 향후 인간과 로봇이 협력하여 작업의 효율성을 높일 수 있는 첨단 로봇기술 개발에 관심이 집중될 것으로 보이며 이는 스마트 팩토리 구축에 있어 중요한 요소가 될 것으로 예상
- ❖ 유럽연합의 Horizon Europe 프로그램과 같은 대규모 연구 및 혁신 프로그램이 유럽의 로봇 및 첨단 제조업 경쟁력을 강화하고 있음
- ❖ 영국의 Catapult 센터는 중소기업과 대기업 간 협력을 촉진하고 있으며, 다양한 연구개발 프로젝트를 통해 첨단로봇을 위한 추가 자금을 확보하고 있음. 한국도 중소기업이 첨단 제조 기술을 활용할 수 있도록 지원하고, 국제 협력을 통해 기술 표준화 및 보안을 강화할 필요가 있음
- ❖ 스위스는 정부의 탄탄한 연구지원과 교육 정책을 통해 첨단로봇 기술을 발전시키고 있음. 이는 연구기관과 대학에 대한 지원을 강화하여 첨단 로봇 기술 연구를 촉진하고, 고급 인재를 양성하는 것이 장기적으로 국가의 첨단 로봇산업 경쟁력을 높이는 데 필수적이라는 것을 의미
- ❖ **다학제 연구 필요성:** 유럽은 로봇 공학, AI, 인간공학의 융합을 통해 정밀하고 유연한 로봇 시스템을 개발 중이며, 이는 한국의 첨단 로봇 연구에서도 벤치마킹 가능
- ❖ **생체모방적 설계 강화:** 범용 그리퍼와 양손 조작 기술은 로봇의 적응성을 극대화하며, 이는 다양한 산업 환경에서 활용될 수 있음
- ❖ **디지털화 및 센서 기술:** 머신러닝 기반의 비전 시스템과 첨단 촉각 센서 통합은 정밀 조작과 환경 적응성을 크게 향상
- ❖ **기술과 지속 가능성의 융합:** 유럽의 정책은 디지털 전환과 순환 경제를 동시에 달성하려는 접근을 취하며, 이는 한국도 로봇 기술 개발 시 환경적 지속 가능성을 고려해야 함을 시사
- ❖ **중소기업 지원:** 디지털 혁신 허브와 같은 시스템을 통해 중소기업이 첨단 기술을 도입할 수 있도록 지원하는 정책이 필요
- ❖ **숙련 인력 양성:** EU의 교육 및 훈련 프로그램은 숙련된 인력을 확보하고 인간-로봇 협업을 촉진하며, 이는 한국에서도 기술 인력 양성의 모델이 될 수 있음
- ❖ **기술 표준화:** 유럽의 Industry 5.0 비전과 같이 기술 표준을 정립하고 이를 바탕으로 국제 협력 및 시장 점유율 확대 필요
- ❖ **첨단 제조의 생태계 구축:** AI와 로봇 공학 융합 기술을 기반으로 지속 가능한 제조 및 재활용 생태계 조성이 중요

2024 유럽 양자정보 연구 및 정책 동향

작성자 | 박기민
(양자분야 KERC 서포터즈)



유럽은 양자 정보 과학 분야에서 연구, 정책, 그리고 산업 응용 측면 모두에서 글로벌 리더십을 공고히 하고 있다. 유럽은 양자 컴퓨팅, 양자 통신, 양자 센서 및 계측 분야를 중심으로 최신 연구 트렌드를 반영한 전략적 정책을 추진하며, 장기적 비전과 단기적 성과를 균형 있게 추구하고 있다.

연구 분야에서는 내결함성 양자컴퓨팅을 실현하기 위해 초전도, 이온트랩, 광학, 중성원자 등 다양한 플랫폼 기반 연구가 활발히 진행되고 있으며, 양자-고전 하이브리드 알고리즘 개발에도 박차를 가하고 있다. EuroHPC JU 이니셔티브를 통한 양자 가속 슈퍼컴퓨터 구축은 이러한 연구를 뒷받침하는 핵심 인프라로 작용하고 있다. 양자 통신 분야에서는 EuroQCI 이니셔티브를 중심으로 위성 기반 양자키분배(QKD) 기술을 포함한 안전한 통신 네트워크 구축이 추진되고 있으며, 장거리 양자 통신을 실현하기 위한 기술적 진보가 이루어지고 있다. 양자 센서 분야에서는 우주 양자 중력 센서와 고정밀 양자 이미징 등 특정 응용을 목표로 한 연구가 두드러지고 있으며, 위상 절연체나 마요라나 페르미온 같은 신소재 연구도 장기적 기술 혁신의 기반을 다지고 있다.

정책 측면에서는 EU 차원의 대규모 이니셔티브와 회원국별 양자 전략이 서로 시너지를 내고 있다. EuroHPC JU와 EuroQCI는 범유럽적 협력과 연구개발 투자를 촉진하고 있으며, 독일, 프랑스, 네덜란드 등은 자체적인 양자 기술 육성 프로그램을 통해 연구, 인력 양성, 생태계 조성에 적극 나서고 있다. 특히 EU는 양자 기술의 윤리적, 사회적 영향에 대한 논의도 활발히 진행하며, 책임 있는 혁신을 위한 가이드라인을 마련하고 있다.

이러한 흐름은 세 가지 주요 시사점을 보여준다. 첫째, 내결함성 양자컴퓨팅, 장거리 양자통신, 특수 목적 양자 센서 연구를 통해 양자 기술의 실질적 활용이 가까워지고 있다. 둘째, 유럽은 인력 양성, 표준화, 국제 협력 등을 통해 양자 기술 생태계 조성에 주력하고 있으며, 글로벌 표준을 주도하려 하고 있다. 셋째, 양자 기술의 급속한 발전이 새로운 보안 위협을 초래할 수 있다는 인식 아래, 윤리적이고 사회적으로 책임 있는 개발에 대한 대비책 마련이 중요한 과제로 떠오르고 있다.

결론적으로, 유럽은 전략적 정책과 대규모 투자를 바탕으로 양자 정보 과학 분야에서 선도적 위치를 강화하고 있으며, 이러한 사례는 한국을 비롯한 다른 국가들에게도 국가 차원의 양자 기술 전략 수립과 글로벌 경쟁력 확보를 위한 중요한 참고 모델이 될 것이다.

1 유럽의 양자정보 연구 동향

1.1 개요

- ❖ 양자 컴퓨팅 및 시뮬레이션 분야는 독일, 프랑스, 네덜란드를 중심으로 내결함성 범용 양자컴퓨터, 양자 시뮬레이터, 클라우드기반 양자컴퓨팅 플랫폼 등의 연구가 강세¹⁾
 - ❖ EU의 EuroHPC JU 이니셔티브는 2025년까지 양자 가속 슈퍼컴퓨터 구축을 목표로 하며, 양자알고리즘, 양자-고전 하이브리드 컴퓨팅 아키텍처, 양자 소프트웨어 및 미들웨어 개발에 중점²⁾
 - ❖ 독일과 오스트리아를 중심으로 막스 플랑크 양자 광학 연구소(Max Planck Institute of Quantum Optics) 등이 중요한 기여
 - ❖ EU의 양자 정보 정책은 사이버 보안 및 디지털 주권 강화를 목표
 - ❖ 안전한 양자 통신 인프라, 고급 양자 알고리즘, 차세대 양자 컴퓨팅 기술의 개발 필요
 - ❖ 대표적인 연구로는 QUALITY 프로젝트, EuroQCI 이니셔티브³⁾, 독일의 Q-Exa 컨소시엄, 프랑스의 PASQAL 프로젝트, 네덜란드의 Quantum Inspire 플랫폼 등이 주목받고 있음⁴⁾
- ※ 유럽은 양자 기술의 상용화보다는 기초 연구 및 기술 개발에 집중하고 있으며, 미국, 중국과의 경쟁에서 우위를 점하기 위해 노력 중

1.2 독일 Q-Exa 컨소시엄

● 프로젝트 개요 및 컨소시엄 구조

- 2025년 가동 목표로 고성능 컴퓨팅 센터와 통합된 양자 가속 슈퍼컴퓨터 개발 추진
- **주요 참여 기관:** 뮌헨, 라이프치히, 슈투트가르트, 울리히 슈퍼컴퓨팅 센터, 라이프니츠 컴퓨팅 센터
- 독일 연방 교육연구부(BMBF) 지원
- 유럽 대표 양자 컴퓨팅 프로젝트 중 하나로 평가

● 세부 목표

- 양자 컴퓨팅과 고성능 컴퓨팅(HPC)의 통합
- 복잡한 과학 및 산업 문제 해결을 위한 하이브리드 시스템 구축
- 양자 알고리즘, 양자 소프트웨어, 미들웨어 개발로 실질적 응용 플랫폼 제공

1) 유럽양자플래그십(<https://qt.eu/about-quantum-flagship/>)

2) EuroHPC JU (<https://eurohpc-ju.europa.eu/>)

3) <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/european-quantum-communication-infrastructure-euroqci>

4) 유럽위원회(<https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/quantum-technologies>)

● 잠재적 응용 분야

- 기후 모델링
- 재료 과학
- 신약 개발
- 기타 고난도 과학 및 산업 분야 문제 해결

● 핵심 연구

- 초전도 큐비트, 이온 트랩, 광학 큐비트 등 다양한 양자 컴퓨팅 플랫폼 활용
- 하이브리드 양자-고전 컴퓨팅 아키텍처 개발
- 양자 알고리즘 최적화 및 소프트웨어/미들웨어 개발 추진

● 개발 단계 및 진행 상황

- 프로토타입 시스템 구축 및 테스트 단계 진행 중
- 유럽 내 타 양자 컴퓨팅 프로젝트와 협력
- 기술 표준화 및 생태계 조성에 기여

● 향후 세부 활용 가능성

- 과학적 시뮬레이션, 산업 최적화, 신약 개발 등 다양한 고급 응용 분야 활용 기대
- 유럽 양자 컴퓨팅 역량 강화에 기여
- 글로벌 양자 기술 경쟁력 확보에 기여

1.3 프랑스 PASQAN 프로젝트

● 프로젝트 개요 및 컨소시엄 구조

- 프랑스 스타트업 PASQAL이 주도
- 중성 원자 기반 양자 컴퓨팅 플랫폼 개발 및 상용화를 목표
- 유럽 주요 연구기관, 기업들과 협력하여 양자 기술 생태계 확장
- 프랑스 정부 및 유럽연합 Horizon 프로그램의 지원을 일부 받음
- 글로벌 시장에서는 미국의 Atom Computing, ColdQuanta 등과 경쟁

● 세부 목표

- 중성 원자를 활용한 대규모 양자 프로세서 상용화
- 신약 개발, 재료 과학, 인공지능(AI) 등 산업 적용 가능한 양자 솔루션 제공
- 양자 클라우드 서비스를 통해 다양한 기업과 연구기관의 접근성 향상
- 중장기적으로 범용 양자 컴퓨터 개발을 위한 큐비트 수 확장 및 오류 보정 기술 확보

● 잠재적 응용 분야

- **신약 개발**: 분자 시뮬레이션 및 신약 후보물질 탐색 가속
- **재료 과학**: 신소재 개발 및 물성 분석
- **인공지능**: 최적화 문제, 머신러닝 모델 가속화
- 금융공학, 물류, 에너지 최적화 분야에도 향후 적용 가능성 존재

● 핵심 연구

- 중성 원자 레이저 포획 기술 기반 큐비트 구현
- 수백 큐비트 규모 양자 프로세서 개발 완료
- 큐비트 배열 정밀 제어 및 상호작용 제어 기술 고도화
- 오류 보정 기술 및 다중 큐비트 연산 최적화 연구 추진
- 양자 알고리즘 개발 및 하드웨어-소프트웨어 통합 최적화

● 개발 단계 및 진행 상황

- 현재 수백 큐비트 규모 중성 원자 양자 프로세서 상용화 단계 진입
- 양자 클라우드 플랫폼 베타 테스트 중
- **차세대 프로세서 개발 착수**: 큐비트 수 확장 및 오류율 개선 목표
- 미국, 캐나다, 유럽 주요 대학 및 연구기관과 공동 연구 및 파일럿 프로젝트 진행

● 향후 세부 활용 가능성

- 산업별 맞춤형 양자 솔루션 제공 기업으로 자리매김 예상
- 클라우드 기반 양자 서비스 확장으로 다양한 스타트업 및 대기업 고객 확보 전망
- 범용 양자 컴퓨터 실현을 위한 중장기 로드맵 추진
- 유럽 양자 기술 자립화 및 글로벌 경쟁력 강화에 핵심적 역할 기대

1.4 네덜란드 Quantum Inspire 플랫폼

● 프로젝트 개요 및 컨소시엄 구조

- 네덜란드 델프트 공과대학교(TU Delft)와 TNO(네덜란드응용과학연구소)가 공동 개발
- 클라우드 기반 양자 컴퓨팅 플랫폼으로 2020년부터 공식 운영
- 유럽 최초의 공개 접근 양자 컴퓨팅 플랫폼 중 하나
- 유럽 내 IBM Q Experience, Rigetti Quantum Cloud Services와 경쟁

● 세부 목표

- 연구자, 학생, 기업에게 양자 알고리즘 개발 및 실행 환경 제공
- 양자 컴퓨팅 연구 및 교육 생태계 조성
- 다양한 양자 하드웨어 접근성 확대를 통한 실용적 양자 기술 활성화
- 사용자 친화적 플랫폼 구축 및 지속적 기능 확장을 통한 대중적 접근성 강화

● 잠재적 응용 분야

- 양자 알고리즘 연구 및 시뮬레이션
- 양자 기반 최적화 문제 연구
- 머신러닝과 데이터 과학 응용
- 양자 교육 및 훈련 프로그램 지원
- 산업별 맞춤형 양자 솔루션 연구 개발 기반 제공

● 핵심 연구

- 초전도 큐비트 및 실리콘 스핀 큐비트 기반 양자 컴퓨팅 지원
- 사용자 인터페이스(UI)와 튜토리얼 제공을 통한 학습 지원
- 다양한 양자 프로세서와의 통합 운영 및 실험적 알고리즘 검증 가능
- 양자 하드웨어 및 소프트웨어 기술 동시 발전을 위한 연구 플랫폼 역할 수행

● 개발 단계 및 진행 상황

- 2020년 정식 오픈 이후 플랫폼 안정화 및 기능 확장 진행
- 다양한 양자 하드웨어 옵션 추가 추진 중
- 유럽 내 다수 연구자 및 대학 이용 확산
- 사용자 경험(UX) 향상 및 지원 시스템 강화 진행 중

● 향후 세부 활용 가능성

- 더 많은 양자 플랫폼 및 프로세서 추가 예정
- 기업과 스타트업 대상 양자 클라우드 서비스 확장
- 교육용 콘텐츠 강화로 양자 기술 저변 확대
- 향후 유럽 양자 연구 및 산업 활성화의 핵심 인프라로 성장 기대

1.5 델프트 공과대학교 QuTech-양자 인터넷 연합⁵⁾

● 프로젝트 개요 및 컨소시엄 구조

- 2018년에 시작된 양자 인터넷 연합(QIA)은 델프트 공과대학교와 TNO의 협력으로 구성된 QuTech이 조정
- 독일, 프랑스, 영국, 스위스, 스웨덴 등 유럽 주요 국가의 연구 기관, 대학, 산업 파트너들이 참여
- 양자 통신, 네트워크 공학, 정보 보안 분야의 전문 지식 결합

● 세부 목표

- 양자 네트워크 기술 개발: 확장 가능하고 안전한 양자 통신 시스템 구축
- 양자 리피터 구현: 양자 통신의 거리 제한 극복
- 네트워크 프로토콜 구축: 양자 데이터 전송을 위한 특별 프로토콜 개발

● 잠재적 응용 분야

- 안전한 통신: 양자 키 분배(QKD)를 활용한 절대적으로 안전한 암호화
- 분산 양자 컴퓨팅: 양자 프로세서를 연결하여 계산 능력 향상
- 양자 센서 네트워크: 측정 정밀도 향상 및 새로운 과학적 발견 촉진

● 핵심 연구

- 양자 하드웨어 개발: 장거리 얽힘 관리 가능한 양자 리피터 및 네트워크 노드 설계
- 소프트웨어 및 프로토콜: 양자 정보 처리 및 고전 네트워크 인터페이스 소프트웨어 개발
- 시스템 통합: 모든 구성 요소의 원활한 작동 보장

● 개발 단계 및 진행 상황

- 유럽 내 상황: 유럽 양자 통신 연구 선두, QIA는 EU 양자 기술 선도 프로그램 대표 프로젝트
- 글로벌 맥락: 미국 및 중국의 경쟁 이니셔티브 존재, QIA는 대륙 규모 양자 인터넷에 초점 맞춘 포괄적 노력
- 도전 과제: 장거리 얽힘 유지, 오류 수정, 기존 인프라와의 양자 시스템 통합
- 진행 상황: 장거리 얽힘 성공 입증, 실용적 양자 네트워크 프로토타입 개발 중

● 향후 세부 활용 가능성

- 정부 및 군사 통신: 해킹과 도청에 강한 안전한 채널 제공
- 금융 부문 보안: 민감한 거래 및 데이터 보호
- 헬스케어 데이터 보호: 환자 데이터 및 의료 기록 보안 강화
- 양자 기술의 발전: 향후 양자 컴퓨팅 및 센싱 응용 기반 제공

5) <https://qutech.nl/qia/>1.6 양자 광학 및 양자 정보 연구소(IQOQI)-이온 트랩 양자 컴퓨팅⁶⁾

● 프로젝트 개요 및 컨소시엄 구조

- 2003년에 설립된 IQOQI는 오스트리아 인스브루크에 위치
- 라이너 블랫 교수와 팀이 주도, 대학 및 기술 회사 등 국제 파트너와 협력

● 주요 목표

- 확장 가능한 이온 트랩 양자 컴퓨터 개발: 높은 충실도로 여러 큐비트 처리 가능 시스템 구축
- 양자 오류 수정: 양자 정보 보호 방법 구현
- 복잡한 양자 알고리즘 시연: 양자 컴퓨팅 잠재력 보여주는 알고리즘 실행

● 잠재적 응용 분야

- 암호학: 기존 암호 해독 및 양자 저항성 프로토콜 개발
- 재료 과학 시뮬레이션: 복잡한 분자 및 원자 상호작용 모델링
- 최적화 문제: 물류, 금융, 머신 러닝 등 복잡한 계산 문제 해결

● 핵심연구분야

- 이온 트랩 기술: 전자기장으로 개별 이온 포획 및 조작 기술 개선
- 양자 논리 게이트: 정밀 큐비트 조작을 위한 고충실도 양자 게이트 개발
- 확장성 솔루션: 성능 저하 없이 큐비트 추가 가능한 아키텍처 탐구

● 개발단계 및 진행 상황

- 유럽 내 상황: 유럽 이온 트랩 양자 컴퓨팅 선도 기관
- 글로벌 맥락: 미국 IonQ, Honeywell과 경쟁, 이들 또한 이온 트랩 기술 발전
- 도전 과제: 큐비트 코히런스 유지 및 오류율 최소화
- 진행 상황: 최대 20개 이온과의 얽힘 성공 입증, 기본 양자 알고리즘 구현

● 향후 세부 활용 가능성

- 상업용 양자 컴퓨터: 실용적이고 시장성 있는 양자 컴퓨팅 장치 기반 마련
- 과학 및 기술의 발전: 고전 컴퓨터로 불가능한 시뮬레이션 및 계산 가능
- 경제적 영향: 양자 기술 부문 내 새로운 산업 및 일자리 창출 기여

6) <https://www.iqoqi-vienna.at/>

1.7 율리히 연구센터(Forschungszentrum Jülich) – OpenSuperQ 프로젝트⁷⁾

● 프로젝트 개요 및 컨소시엄 구조

- 2018년에 시작된 OpenSuperQ 프로젝트는 유럽 양자 선도 이니셔티브 일환
- 독일 연구센터 줄리히가 조정, 스웨덴, 스페인, 프랑스, 스위스 등 유럽 전역 대학, 연구소, 산업 파트너 참여
- 초전도 회로, 양자 알고리즘, 소프트웨어 개발 분야 전문 지식 통합

● 주요 목표

- 고성능 양자 컴퓨터 구축: 최대 100 큐비트 초전도 양자 컴퓨터 개발
- 오픈 액세스 플랫폼: 연구자와 산업체에 양자 컴퓨팅 자원 제공
- 양자 알고리즘 개발: 화학, 재료 과학, 최적화 문제를 위한 알고리즘 개발

● 잠재적 응용 분야

- 신약 개발: 분자 구조 시뮬레이션 통해 제약 개발 속도 향상
- 산업 공정 최적화: 제조 및 물류 효율성 향상
- 금융 모델링: 복잡한 시뮬레이션으로 리스크 평가 및 투자 전략 개선

● 핵심연구분야

- 초전도 큐비트 기술: 긴 코히런스 시간 및 낮은 오류율 큐비트 설계
- 양자 컴퓨팅 아키텍처: 효율적 큐비트 상호 연결성 가진 확장 가능 시스템 구축
- 소프트웨어 및 인터페이스: 사용자가 양자 프로세서와 상호작용할 프로그래밍 언어 및 인터페이스 개발

● 개발단계 및 진행 상황

- 유럽 내 상황: 초전도 양자 컴퓨팅 유럽 주요 프로젝트 중 하나
- 글로벌 맥락: 미국 IBM, Google, 중국 그룹과 경쟁
- 도전 과제: 큐비트 코히런스, 오류율, 시스템 확장성 관련 기술적 장애물 극복
- 진행 상황: 큐비트 성능 이정표 달성, 더 큰 큐비트 시스템 통합 시작성공 입증, 기본 양자 알고리즘 구현

● 향후 세부 활용 가능성

- 연구 및 개발 가속화: 다양한 과학 분야 혁신 속도 제고
- 산업 변혁: 복잡한 문제 효율적 해결로 산업 부문 혁신

7) <https://www.fz-juelich.de/en/pgi/research/projects-and-cooperations/finished-research-projects/european-quantum-computer>

1.8 유럽 우주국(ESA) 및 유럽 위원회- SAGA프로젝트

● 프로젝트 개요 및 컨소시엄 구조

- 2021년에 시작된 SAGA(유럽 위성을 이용한 양자 키 분배) 프로젝트는 ESA와 유럽 위원회 협력
- 여러 EU 국가의 국가 우주 기관, 연구 기관, 산업 파트너들로 구성된 컨소시엄
- 양자 통신 및 위성 기술 분야 전문 지식 통합

● 주요 목표

- 위성 기반 양자 통신 개발: 위성을 통한 양자 키 분배(QKD)로 장거리 안전 통신 구현
- 지상 네트워크와의 통합: 지상 및 우주 부문 결합한 하이브리드 양자 통신 인프라 구축
- 표준화 및 보안 프로토콜: 양자 통신 보안 위한 유럽 표준 확립

● 잠재적 응용 분야

- 정부 및 군사 통신: 민감 정보 위한 초안전 채널 제공
- 글로벌 금융 거래: 국제 은행 및 금융 데이터 교환 보안 강화
- 데이터 보호: 중요한 인프라 사이버 보안 강화

● 핵심연구분야

- 양자 페이로드 개발: 위성에 양자 통신 장비 설계 및 배치
- 지상국 인프라: 양자 통신 지원 지상국 네트워크 구축
- 프로토콜 및 소프트웨어 개발: 양자 키 신뢰할 수 있고 안전한 전송 보장

● 개발단계 및 진행 상황

- 유럽 내 상황: 우주 기반 양자 통신 능력 강화 전략적 프로젝트
- 글로벌 맥락: 중국 미쿠스(Micius) 위성, 캐나다 및 일본 이니셔티브와 경쟁
- 도전 과제: 장거리 광자 손실, 대기 효과, 위성-지상국 동기화 기술적 문제 극복
- 진행 상황: 지상 기반 QKD 예비 테스트 성공, 위성 임무 계획 및 설계 단계 진행

● 향후 세부 활용 가능성

- 글로벌 양자 통신 네트워크: 안전한 글로벌 통신 인프라에서 유럽 입지 확립
- 상업 서비스: 기업 및 기관에 안전한 통신 솔루션 제공
- 기술 리더십: 유럽을 양자 통신 기술 최전선에 배치

1.9 세부 연구 주제별

● 양자 통신

- **EuroQCI 이니셔티브**: 유럽 전역에 안전한 양자 통신 인프라 구축 프로젝트, 독일, 프랑스, 스페인 등 다수 국가 참여, 양자키분배(QKD) 기술 중심 연구, 지상 및 위성 기반 양자 통신 네트워크 개발 추진⁸⁾
- 호라이즌 유럽 프로그램의 일환으로, 2021년부터 2027년까지 17억 유로의 예산 지원
- 양자키분배(QKD) 시스템의 보안성 강화, 장거리 양자 통신 기술 개발, 양자 네트워크와 기존 통신 네트워크의 통합 등의 연구가 진행될 예정
※ EuroQCI는 중국의 양자 통신 위성 '묵자(Micius)'에 대응하기 위한 유럽의 전략적 프로젝트로 볼 수 있음
- **각 국가별 양자 통신 프로젝트**: 영국, 독일, 프랑스 등은 자체적으로도 양자 통신 기술 개발 및 실증 사업 진행, 특히 금융, 국방 등 보안 중요 분야 적용 연구 활발
- 영국은 국가 양자 기술 프로그램(National Quantum Technologies Programme)을 통해 양자 통신 연구 지원, 양자 보안 통신 네트워크 구축을 위한 파일럿 프로젝트 진행
- 독일은 Q.Link.X 프로젝트를 통해 양자 보안 통신 기술 개발 및 산업 응용 연구, 자동차, 금융 등 다양한 산업 분야 파트너와 협력
- 프랑스는 Paris Region Quantum Communication Infrastructure 프로젝트를 통해 파리 지역에 양자 통신 테스트베드 구축, 다양한 양자 통신 프로토콜 및 장비 테스트

● 양자 센서 및 계측

- **양자 중력 센서**: 독일, 프랑스를 중심으로 우주에서 지구의 중력을 정밀하게 측정하여 기후 변화, 지질학적 현상 등을 연구하기 위한 양자 중력 센서 개발 진행⁹⁾
- 독일은 VLBAI(Very Long Baseline Atom Interferometry) 프로젝트를 통해 초정밀 양자 중력 센서 개발, 지구 중력장 변화 모니터링 연구
- 프랑스는 MIGA(Matter-wave laser Interferometric Gravitation Antenna) 프로젝트를 통해 지하 중력 변화 측정, 지진, 화산 활동 등 지질학적 현상 연구
- 호라이즌 유럽 프로그램은 양자 센서 기술 개발에 2021년부터 2027년까지 5억 유로의 예산 지원
- 양자 중력 센서의 소형화, 정밀도 향상, 우주 환경 적용 등의 연구가 진행될 예정
※ 양자 중력 센서는 기존의 중력 센서보다 훨씬 더 정밀하게 중력을 측정할 수 있어, 지구온난화로 인한 해수면 상승, 빙하 감소 등을 정확하게 관측하는 데 활용될 수 있음
- **양자 이미징**: 네덜란드, 영국 등에서 의료 진단, 재료 분석 등에 활용될 수 있는 고정밀 양자 이미징 기술 개발¹⁰⁾
- 네덜란드는 QuTech연구소를 중심으로 양자 현미경 기술 개발, 생체 분자 이미징, 나노 물질 분석 연구

- 영국은 EPSRC Quantum Imaging Hub를 통해 양자 이미징 기술의 의료 분야 응용 연구, 암조기 진단, 뇌 영상 등 연구
※ 양자 이미징 기술은 기존의 이미징 기술보다 훨씬 더 높은 해상도와 감도를 제공할 수 있어 질병의 조기 진단, 신소재 개발 등에 활용될 수 있음

● 양자 재료

- **새로운 양자 물질 및 소자 개발**: 독일, 스위스, 네덜란드를 중심으로 양자 컴퓨터, 양자 센서 등에 활용될 수 있는 새로운 양자 물질 및 소자 개발 연구 활발
- 특히 위상 절연체, 마요라나 페르미온 등 차세대 양자 기술 기반 물질 연구에 집중¹¹⁾
- 독일은 Würzburg-Dresden Cluster of Excellence ct.qmat을 통해 위상 절연체, 초전도체 등 새로운 양자 물질 연구, 양자 소자 응용 연구
- 스위스는 ETH Zurich을 중심으로 마요라나 페르미온 연구, 내결함성 양자 컴퓨터 개발에 응용
- 네덜란드는 QuTech 연구소에서 실리콘 기반 양자점 연구, 양자 컴퓨터 집적화 연구
- 호라이즌 유럽 프로그램은 양자 재료 연구에 2021년부터 2027년까지 4억 유로의 예산 지원
- 새로운 양자 물질 합성, 특성 분석, 양자 소자 제작 등의 연구가 진행될 예정
※ 양자 재료는 기존의 재료와는 달리 양자 역학적 특성을 이용하여 새로운 기능을 구현할 수 있어, 양자 정보 과학 분야의 핵심 요소로 여겨짐

2

유럽의 양자정보 정책 동향

2.1 개요

- ❖ 유럽은 양자 정보 기술을 미래 핵심 전략 기술로 인식, 범유럽 차원 및 개별 국가 차원에서 체계적인 정책 추진 중¹²⁾
- ❖ EuroHPC JU 이니셔티브는 양자 컴퓨팅 인프라 구축 및 관련 기술 개발에, EuroQCI 이니셔티브는 안전한 양자 통신 네트워크 구축에 중점¹³⁾
- ❖ 호라이즌 유럽 프로그램을 통해 양자 컴퓨팅, 양자 통신, 양자 센서 및 계측, 양자 재료 등 핵심 분야 연구 개발에 막대한 예산 지원¹⁴⁾
- ❖ 2024년 2월 유럽을 '양자 밸리'로 자리매김 위한 전략적 연구 및 산업 의제(SRIA 2030) 발표¹⁵⁾

11) 양자플래그십(<https://qt.eu/discover-quantum/european-projects/basic-science/quantum-materials/>)12) 유럽위원회(<https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/quantum-technologies>)13) EuroHPC JU (<https://eurohpc-ju.europa.eu/>), EuroQCI (<https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/euroqci>)14) 호라이즌유럽(https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe_en)15) https://qt.eu/news/2024/2024-02-14_new-roadmap-to-position-europe-as-the-quantum-valley-of-the-world8) 유럽위원회(<https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/euroqci>)9) 양자플래그십(<https://qt.eu/discover-quantum/european-projects/fundamental-science/quantum-sensors-for-fundamental-physics/>)10) EPSRC (<https://www.ukri.org/what-we-do/our-main-funds-and-areas-of-support/our-areas-of-support/quantum-technologies/quantum-technologies-projects/quantum-imaging-for-monitoring-and-navigating-in-the-environment-immune/>)

- ◆ 포스트 양자 암호화 이니셔티브(Post-Quantum Cryptography Initiative) 도입, 양자 컴퓨팅의 암호화 위협 대응
- ◆ 독일, 프랑스, 네덜란드 등 주요 국가들은 자체적인 양자 기술 육성 정책을 추진하며, 유럽 내 협력을 강화하고 있음¹⁶⁾
- ◆ 인력 양성, 표준화, 국제 협력 등에도 주력, 양자 기술 생태계 조성에 힘쓰고 있음
 - ※ 유럽은 미국, 중국 등과의 양자 기술 경쟁에서 뒤처지지 않기 위해 국가적 역량을 결집하고 있음

2.2 주요 정책

● EuroHPC JU 이니셔티브

- 2025년까지 유럽 내에 세계 최고 수준의 양자 가속 슈퍼 컴퓨터 구축을 목표로, 양자-고전 하이브리드 컴퓨팅 인프라에 대한 투자 확대¹⁷⁾
- 양자컴퓨팅 플랫폼 개발, 양자 알고리즘 연구, 양자 소프트웨어 개발 등에 대한 지원 강화
- 2021년부터 2027년까지 7년간 70억 유로의 예산 투입, 유럽 내 양자컴퓨팅 역량 강화
- 현재, 독일, 프랑스, 스페인, 이탈리아, 폴란드, 불가리아 6개 국가에 양자 컴퓨터 설치 예정
 - ※ EuroHPC JU는 유럽의 슈퍼컴퓨팅 역량 강화를 위해 설립된 EU주도의 공동 사업체

● EuroQCI 이니셔티브

- 2027년까지 유럽 전역에 안전한 양자 통신 네트워크 구축을 목표로, 양자키분배(QKD) 기술 개발 및 실증에 집중¹⁸⁾
- 지상 및 위성 기반 양자 통신 인프라를 구축하여 해킹 위협으로부터 중요 정보를 보호하는 데 기여
- 회원국 간 협력을 통해 양자 통신 기술 표준화 및 상호 운용성 확보 추진
- 2021년부터 2027년까지 7년간 17억 유로의 예산이 지원될 예정이며, 유럽의 안보 및 데이터 주권 강화에 기여할 것으로 기대
 - ※ EuroQCI는 유럽의 양자 통신 기술 주도권 확보 및 보안 인프라 구축을 위한 핵심 정책

● 전략적 연구 및 산업 의제(SRIA 2030)

- SRIA 2030은 EU의 양자 연구 및 산업 전략 통합 노력 일환, 2024년 2월 발표
- 300명 이상의 전문가 의견 반영, 다양한 양자 기술 관련 계획 통합 전략
- 2030년까지 EU를 양자 기술 분야 세계적 리더로 자리매김
- 특정 문제에서 고전 컴퓨터 능가 양자 컴퓨팅 및 시뮬레이터 개발
- 고급 암호화 프로토콜 갖춘 양자 통신 네트워크 구축

- 유럽 규모 양자 인터넷 실현
- 다양성과 포용성 통해 양자 전문 인력 강화
- 고성능 컴퓨팅, 통신, 반도체 등 다른 분야와 양자 기술 통합
- 학계, 산업계, 정부 기관 간 협력 통해 EU 전반 양자 기술 개발 조율
- 지난 5년간 각국 양자 이니셔티브 통해 57억 유로 이상 투자 기반

● 독일 국가 양자 이니셔티브

- “양자기술 – 기초에서 시장까지(Quantum technologies – from basic research to market)” 프로그램을 통해 양자 기술 연구 개발 및 상용화 지원¹⁹⁾
- 2026년까지 20억 유로 투자 계획, 양자 컴퓨터, 양자 센서, 양자 통신 등 핵심 분야 집중 지원
- 산학연 협력을 장려하여 연구 성과의 실질적인 산업 응용 촉진
- 양자 기술 인력 양성 및 국제 협력에도 주력
 - ※ 독일은 유럽 내 양자 기술 선도 국가 중 하나로, 강력한 연구 기반과 사닝브 역량을 보유

● 프랑스 국가 양자 전략

- “양자: 프랑스의 국가 전략(Quantique: Le plan national pour booster la technologie du futur)”을 통해 2026년까지 18억 유로 투자 계획 발표²⁰⁾
- 양자 컴퓨터, 양자 시뮬레이터, 양자 소프트웨어, 양자 센서, 양자 암호 등 5개 핵심 분야 집중 육성
- 양자 기술의 산업 응용 및 스타트업 육성을 위한 지원 확대
- 국제협력을 통해 글로벌 양자 기술 생태계에서 프랑스의 역할 강화
 - ※ 프랑스는 양자 기술분야에서 강력한 기초 연구 역량을 보유하고 있으며, 이를 바탕으로 상용화 및 산업 생태계 구축에 박차를 가하고 있음

● 네덜란드 국가 양자 기술 어젠다

- “국가 양자 기술 어젠다(National Agenda Quantum Technology)”를 통해 양자 기술 연구 개발 및 생태계 조성 추진²¹⁾
- 양자 컴퓨팅, 양자 통신, 양자 센서 등 핵심 분야에 대한 투자 확대
- 델프트 공과대학교의 QuTech연구소를 중심으로 산학연 협력 및 인력 양성 추진
- 양자 기술의 윤리적, 사회적 영향에 대한 연구 및 논의 활성화
 - ※ 네덜란드는 양자 기술 분야에서 오랜 연구 전통을 가지고 있으며, 특히 양자 인터넷 개발에 선도적인 역할을 하고 있음

16) 독일연방교육연구부(https://www.bmbf.de/bmbf/en/home/home_node.html), 프랑스정부(<https://www.gouvernement.fr/en/>), 네덜란드정부(<https://www.government.nl/>)

17) EuroHPC JU (https://eurohpc-ju.europa.eu/about/our-mission_en)

18) 유럽위원회(<https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/activities/euroqci>)

19) 독일연방교육연구부(<https://www.quantentechnologien.de/>)

20) 프랑스정부(<https://www.gouvernement.fr/actualite/quantique-le-plan-national-pour-booster-la-technologie-du-futur>)

21) 네덜란드퀀텀델타(<https://quantumdelta.nl/national-agenda/>)

● 포스트 양자 암호화 이니셔티브

- 유럽 연합 집행위원회는 2024년 권고안(EU 2024/1101)²²⁾ 통해 양자 컴퓨팅의 암호화 위협 대응
- 향후 2년 내 포스트 양자 암호화 표준 신속 구현, 민감 통신 보호 강력 안전 장치 마련
- 회원국 공동 유럽 표준 및 프로세스 개발, 국제 협력 강화 지침 포함
- 회원국 간 협력 조율, 제안된 시간 내 원활한 전환
- 성공적 이행 위해 정기적 진행 상황 모니터링 및 평가 필요

2.3 세부 정책 주제별

● 인력 양성

- 유럽 전역의 대학 및 연구기관에서 양자 정보 과학 교육 프로그램 확대, 전문 인력 양성에 주력²³⁾
- 양자 컴퓨팅, 양자 통신, 양자 센서 등 세부 분야별 전문 교육 과정 개설
- 학부, 석사, 박사 과정뿐만 아니라 재교육프로그램을 통해 다양한 배경의 인재 유입 촉진
- 유럽 양자플래그십은 양자 기술 교육 플랫폼을 구축하여 온라인 교육 자료, 튜토리얼, 워크숍 등을 제공
 - ※ 양자 기술의 발전 속도에 발맞춰 전문 인력을 양성하는 것이 유럽 양자 정책의 주요 과제 중 하나

● 표준화

- 유럽 전기 통신 표준 협회(ETSI), 유럽 표준화 기구(CEN), 유럽 전기 기술 표준화 위원회(CENELEC) 등 유럽 표준화 기구를 중심으로 양자 기술 표준화 추진²⁴⁾
- 특히, 양자키분배(QKD), 양자 난수생성기(QRNG) 등 양자 보안 술에 대한 표준화 논의 활발
- 국제 표준화 기구(ISO, IEC)와의 협력을 통해 글로벌 양자 기술 표준 개발에도 기여
 - ※ 양자기술의 상용화 및 확산을 위해서는 표준화가 필수적이며, 유럽은 이 분야에서 주도적인 역할을 하고 있음

● 국제협력

- 미국, 캐나다, 일본, 호주 등 양자 기술 선도 국가들과의 전략적 파트너십 구축²⁵⁾
- 공동 연구 프로젝트, 인력 교류, 정보 공유 등 다양한 협력 활동 추진
- 호라이즌 유럽 프로그램을 통해 국제 공동 연구를 지원하고, 글로벌 양자 기술 생태계 조성에 기여
 - ※ 양자 기술은 글로벌 경쟁이 치열한 분야이며, 유럽은 국제 협력을 통해 경쟁력을 강화하고 있음

● 윤리적, 사회적 영향 국제협력

- 양자 기술의 발전이 사회에 미치는 영향에 대한 연구 및 논의 활성화²⁶⁾
- 양자 컴퓨터에 의한 암호 해독 위협, 양자 센서에 의한 개인 정보 침해 가능성 등 잠재적 위험에 대한 대응 방안 모색
- 책임있는 혁신(Responsible Innovation) 원칙에 따라 양자 기술 개발 및 활용에 대한 윤리적 가이드라인 마련 추진
- 유럽위원회는 양자 기술의 윤리적, 사회적 영향에 대한 전문가 그룹을 운영하며, 정책 권고안을 제시할 예정
 - ※ 유럽위원회는 양자 기술의 윤리적, 사회적 측면을 중요하게 고려하며, 지속 가능한 발전을 위한 방안을 모색하고 있음

3 시사점

- ❖ 최근 유럽의 양자 연구 및 정책은 내결함성(fault-tolerant) 양자 컴퓨팅, 양자-고전 하이브리드 알고리즘, 장거리 양자 통신 네트워크 구축, 특수 목적 양자 센서 개발 등에 집중되는 경향을 보이며, 이는 단기적 활용 가능성을 염두에 둔 전략으로 해석됨
- ❖ EuroHPC JU의 양자 가속 슈퍼컴퓨터 구축과EuroQCI의 위성 기반 양자 키분배(QKD) 실증은 유럽이 실질적인 양자 기술 인프라 확보에 주력하고 있음을 보여주며, 이는 양자 기술의 조기 상용화로 이어질 가능성이 큼
- ❖ 독일의 Q-Exa 컨소시엄이 초전도, 이온 트랩, 광학 큐비트 등 다양한 플랫폼을 활용한 하이브리드 아키텍처를, 프랑스의 PASQAL이 중성 원자 기반 양자 프로세서의 큐비트 수 확장을 추구한다는 것은 특정 기술에 국한되지 않는 유연한 접근이 강조됨을 시사
- ❖ 양자 센서 분야에서는 우주 양자 중력 센서(독일, 프랑스), 고정밀 양자 이미징(네덜란드, 영국) 등 특정 응용 분야에 초점을 맞춘 연구가 두드러지며, 이는 양자 센서의 실질적 활용 가능성을 높일 것
- ❖ 양자 재료 분야에서는 위상 절연체, 마요라나 페르미온 등 새로운 양자 물질 연구가 지속되고 있고, 이는 장기적인 관점에서 양자 소자 혁신으로 이어질 잠재력을 가지고 있음
- ❖ 양자 기술의 윤리적, 사회적 영향에 대한 논의가 EU 차원에서 활발히 진행되고 있다는 점은, 기술 개발 초기 단계부터 책임 있는 혁신을 고려하는 유럽의 선제적 접근 방식을 보여줌
- ❖ 이러한 유럽의 최신 동향은 한국의 양자 기술 전략 수립에 있어 실질적인 참고 사례가 될 것이며, 특히 단기적 활용 가능성에 초점을 맞춘 연구 개발 및 인프라 구축이 중요함을 시사
- ❖ 종합하면, 유럽은 양자 기술의 연구 및 실증, 인프라 구축, 윤리적 측면을 아우르는 전방위적 접근을 통해 단기간 내 가시적 성과를 도출하고, 이를 바탕으로 글로벌 양자 기술 경쟁에서 주도권을 확보하고자 하는 전략을 추진 중
- ❖ 유럽의 양자 정보 연구는 산업 응용을 위한 양자 알고리즘, 양자 통신 기술, 양자 컴퓨팅을 위한 양자 얽힘 등 주요 분야에서 상당한 진전 이루고 있음

26) 유럽위원회(<https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/ethics-guidelines-trustworthy-ai>)

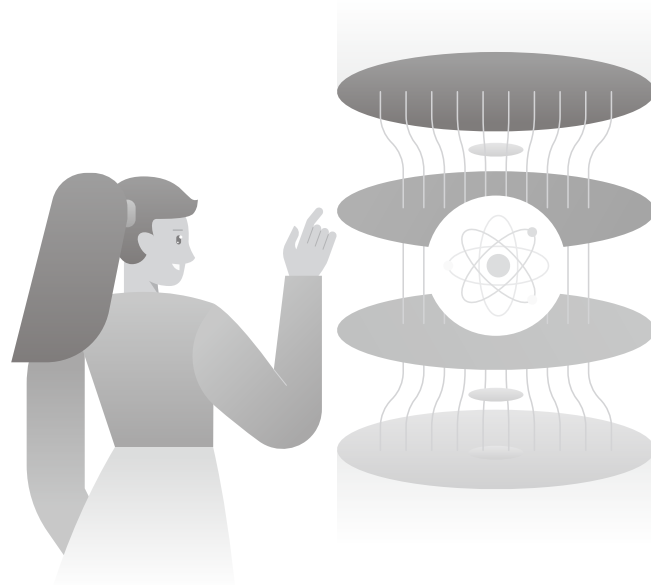
22) https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=OJ%3AL_202401101

23) 유럽양자플래그십(<https://qt.eu/engage/education-and-training/>)

24) ETSI (<https://www.etsi.org/technologies/quantum-key-distribution>), CEN-CENELEC (<https://www.cenelec.eu/>)

25) 유럽위원회(<https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/international-relations>)

- 독일과 오스트리아 등에서 집중적인 연구 진행, 막스 플랑크 양자 광학 연구소 등 선도적 기관들이 유럽의 강한 입지 강조
- EU의 사이버 보안 및 디지털 주권 강화 정책은 안전한 양자 통신 인프라, 고급 양자 알고리즘, 차세대 양자 컴퓨팅 기술 개발 필요성 보여줌
- EQUALITY 프로젝트, EuroQCI 이니셔티브, 양자 얽힘 분야 선구적 연구는 유럽의 양자 기술 선도 의지 나타냄
- 기술 역량 강화는 산업, 보안, 경제 성장 등 다양한 분야에 광범위한 영향 기대
- 지속적 협업과 전략적 투자를 통해 유럽은 양자 시대 형성 전망



제1기 KERC 서포터즈

“

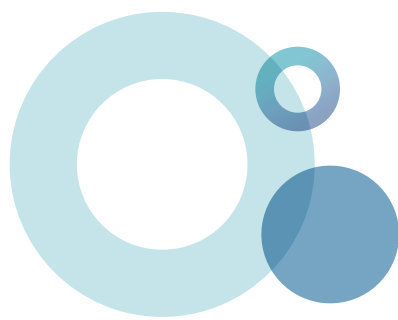
KERC 서포터즈는 12대 국가전략분야의 유럽 연구 및 정책 동향을 발굴·분석·제공하며, 유럽진출을 희망하는 한국 연구자들의 유럽 연구경력개발을 지원합니다.

다양한 서포터즈 활동은 KERC 홈페이지에서 만나실 수 있습니다.

<https://k-erc.eu/kerc-supporters/>

”

 김경원 차세대 원자력 분야 PhD candidate at Karlsruhe Institute of Technology, Germany	 김민재 우주항공분야 Researcher at University College London(UCL), United Kingdom	 김승기 이차전지분야 PhD candidate at University of Louvain, Belgium
 박기민 양자분야 Researcher at Palacky University, Czech Republic	 손민 우주항공분야 Researcher at Bundeswehr University Munich, Germany	 안현섭 첨단모빌리티분야 Senior product owner at HERE Technologies, Germany
 양한나 수소분야 PhD candidate at University of Louvain, Belgium	 연아라 첨단바이오 분야 Master student at École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Switzerland	 오석윤 반도체 분야 PhD Candidate at GSI Helmholtz Centre for Heavy Ion Research, Germany
 이보연 AI분야 Lecturer at University of Exeter Business School, United Kingdom	 이승혜 첨단바이오 분야 PhD candidate at Ludwig Maximilian University of Munich, Germany	 황준선 첨단로봇 제조 분야 PhD candidate at École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Switzerland



2024
유럽 분야별 연구 및 정책 동향