기관-2021-024

2021년 기술혁신 아젠다 발굴 및 R&D 투자전략 기획 연구

류 영 수

KISTEP

기관-2021-024

2021년 기술혁신 아젠다 발굴 및 R&D 투자전략 기획 연구

류 영 수

KISTEP 한국과학기술기획평가원
Korea Institute of S&T Evaluation and Planning

최종보고서

보안등급
일반[V], 보안[ ]

사업명		기술혁신 아젠다 대응 R&D 투자전략 기획 연구(AV)					
기술분류	국가과학기술 표준분류	과학기술과 인문사회/과학기술 정책/사회/과학기술과 정책	100%		%		%
	부처기술분류 (해당 시 작성)		%		%		%

연구과제명	국문	2021년 기술혁신 아젠다 발굴 및 R&D 투자전략 수립 연구		
	영문	Analysis of Technological Innovation Agenda and R&D Investment Strategies (2021)		
연구책임자	성명	류 영 수	직위	선임연구위원
	소속부서명	사업조정본부	email	soory@kistep.re.kr
	최종전공	행정학	국가연구자번호	
연구기간	전체	2021. 1. 1. ~ 2021. 12. 31. (1년 0개월)		
	단계 (해당 시 작성)			

당해연도 연구비	**1,146,170** (천원)
총계	**1,146,170** (천원)
단계 (해당 시 작성)	(천원)
	(천원)

위탁연구기관 등 (해당 시 작성)	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	기관유형
위탁연구기관	광주과학기술원	고도경	교수		dkko@gist.ac.kr	대학
	㈜테크디엔에이	배진우	대표		ceo@techdna.kr	기업

실무담당자	성명	윤성용	직위	전문관리원
	소속부서명	생명기초사업센터	email	chopper@kistep.re.kr
	최종전공	생명공학	국가연구자번호	

2021년 12월 31일

연구책임자: 류 영 수 (인)

한국과학기술기획평가원장: 정 병 선 (직인)

• **연구진**

- 연구책임자	류영수 (한국과학기술기획평가원 선임연구위원)
- 참여연구원	이길우, 전승수, 강현규, 홍미영, 진영현, 이일환, 김민기, 김주희, 김승균, 오건웅, 하동현, 조잔실, 정인영, 박민선, 이강수, 유종태, 임승혁, 이현경, 최충현, 박재현, 문윤실, 고개혜, 박지현, 김주원, 김종란, 안지현, 함선영, 이선명, 윤성용, 최은석, 권정은, 유형정, 이승필, 채명식, 정두엽, 김주일, 조유진, 정지훈, 김기봉, 전유정, 김가영, 여준석, 강경탁, 변영호, 김태영, 문연실 등 46인

기관 2021-024	**2021년 기술혁신 아젠다 발굴 및 R&D 투자전략 기획 연구** **(연구기간 : 2021.1.1. ~ 2021.12.31)** • 발행인 : 정병선 • 발행처 : 한국과학기술기획평가원 (27740) 충청북도 음성군 맹동면 원중로 1339 Tel) 043-750-2300 Fax) 043-750-2680 • https://www.kistep.re.kr • 인쇄 : 주식회사 동진문화사

< 요 약 서 >

사업명		기술혁신 아젠다 대응 R&D 투자전략 기획 연구(AV)					
기술분류	국가과학기술 표준분류	과학기술과 인문사회/과학기술 정책/사회/과학기술과 정책	100%		%		%
	부처기술분류 (해당 시 작성)		%		%		%
연구과제명		2021년 기술혁신 아젠다 발굴 및 R&D 투자전략 수립 연구					
연구기간		2021. 1. 1. ~ 2021. 12. 31. (1년 0개월)					
연구비		총 1,146,170 천원					
연구 목표 및 내용	최종 목표	정부의 R&D 정책목표 실현을 위해 미래의 기술혁신 아젠다를 지속적으로 발굴 및 관리하고, 주요 기술과 정책 분야에 대한 동향 및 이슈를 분석하여 단기 및 중장기 투자전략을 제시					
	전체 내용	과학기술 혁신을 위한 기술 및 정책 이슈를 발굴하고 산업 경쟁력 분석을 통해 단기 투자전략 및 중장기 기술확보 전략 제시					
	1단계 (해당 시 작성) 목표						
	1단계 (해당 시 작성) 내용						
	n단계 (해당 시 작성) 목표						
	n단계 (해당 시 작성) 내용						

연구성과	지속가능한 발전을 위해 그간의 과학기술 성과 분석, 주요국 정책동향을 바탕으로 정책 이슈를 도출하고 중장기 R&D 투자전략을 제시
연구성과 활용계획 및 기대 효과	2023년도 정부연구개발 투자방향 및 예산 배분·조정 업무 추진 시 기초자료로 활용 가능

연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약정보	소프트웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명정보	생물자원		정보	실물
			V									

세부 정량적 연구개발성과 건수	과학적 성과			사회적 성과								기타
	논문게재	학술회의 발표	보고서 원문	법령 반영	정책 활용	안건 상정	제도 개선	다른 연구에 활용	국제 협력	(정책) 홍보	포상·수상	
		1건	1건							13건		

국문핵심어 (5개 이내)	기획역량	예산배분	투자전략	과학기술	정책제안
영문핵심어 (5개 이내)	Planning ability	Budget Allocation	Investment Strategy	Science& Technology	Policy Proposal

요 약 문

1. 서론

가. 연구배경 및 필요성

□ 지속되는 COVID-19 팬데믹으로 인해 과학기술의 중요성 및 필요성에 대한 인식 확산과 위드 코로나 전환에 따른 글로벌 경제·사회적 회복이 진행될 것으로 전망됨

○ 국가 간 COVID-19 확산 및 대응, 경제사회 위기 과정을 통해 과학적 감염 예측과 진단의 중요성, 보건 및 의료기술의 유효성, 정보통신기술의 필수성 인식 제고

○ 위드 코로나 전환으로 인한 일상 회복으로 이연 수요가 증대됨에 따라 포스트 코로나 시대 기술 중심으로 각국의 경기성장 전망

□ 지식혁명과 과학기술 주도 혁신성장 시대 속에 주요국은 초격차 혁신기술 연구에 주력하고 있으며 혁신 패러다임이 전환되고 있음

○ 기후·탄소중립 등 초월적 위험 대응 연구, 우주·뇌·양자 등 도전·개척 연구, 로봇·IoT·AI·에너지·생명·국방 등 패권·전환·선도적 연구에 주력

○ 경제사회·환경문화·과학기술, 산업·융합·디지털전환 등 총체적 전환의 지식혁명 패러다임 대전환이 이루어지는 시점

□ With COVID-19 팬데믹에 대응하여 국내외 경제적, 사회적 환경이 급변하고 있으며, 산업경쟁력 강화 및 삶의 질 향상 측면에서 과학기술의 역할의 중요성이 대두됨

○ 미래 사회환경 변화 및 이슈에 효과적으로 대응하기 위해 기술혁신 아젠다를 지속 발굴·관리 필요

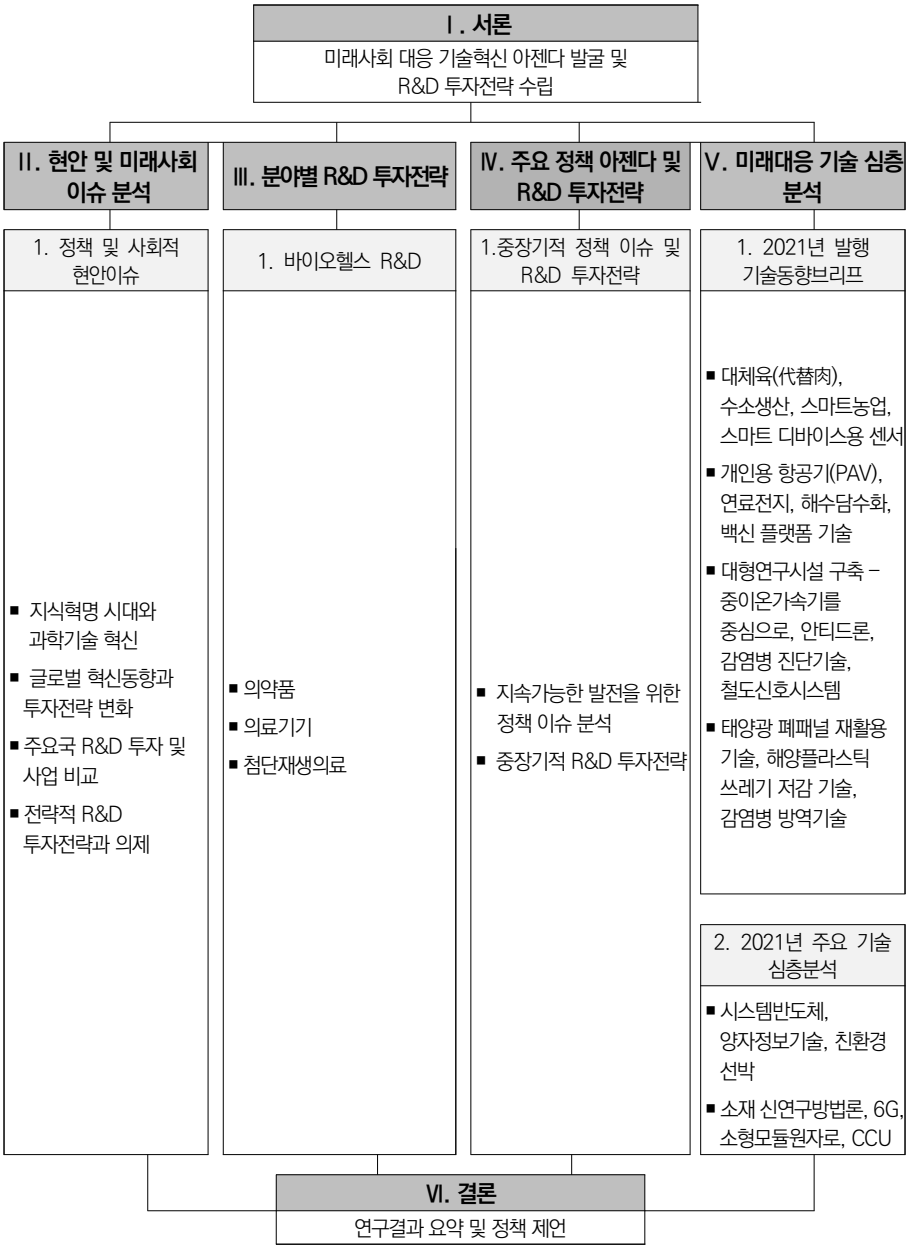
○ 과학기술혁신의 실현과 확산을 위해 기술·정책 분야별 이슈를 탐색하고, 이에 대한 실행 전략 및 방안 마련이 요구됨

나. 연구 내용 및 추진 체계

□ 본 연구는 전략적인 정부 R&D투자를 위한 정책기반을 마련하고자 수행하였으며, 이를 위하여 분야별 기술전문가, R&D예산 전문가 논의를 통해 연구대상을 도출

○ 4개 그룹을 구성하여 추진하였으며, 각 그룹은 현안 및 미래사회 이슈 분석, 분야별 R&D 투자전략 분석, 주요 정책 아젠다 및 R&D 투자전략, 미래대응 기술 심층분석을 수행하고 시사점을 도출

○ 부록으로는 풀뿌리 연구 및 학문분야별 기초연구 지원체계의 현장 적용을 위한 가이드라인 수립 연구, 정부 데이터 관련 사업 현황 분석 및 유형 체계화 연구를 수록함



2. 현안 및 미래사회 이슈 분석

가. 지식혁명 시대와 과학기술 혁신

□ 코로나-19 팬데믹이 지속되는 가운데 과학기술을 통한 안전과 혁신 성장의 가치가 대두되고 있으며, 불확실성 및 복잡성 대응을 위한 초혁신과 대전환이 필요

○ COVID-19로 인한 글로벌 경기침체가 지속되고 주요국의 긴축 재정 기조가 확대되는 가운데 미국과 중국 중심의 성장세가 이어지고 있음

○ 금융·자본·디지털 시장 및 첨단기술의 지식 거래가 촉진되며 경제 복잡성이 증가하고 있으며, 주요국들은 글로벌 가치사슬과 공급망 재편, 첨단 과학기술 획득에 주력

나. 글로벌 혁신동향과 투자전략 변화

□ 환경·지리적 자연재해 및 인적 재난 우려가 고조됨에 따라 비대면 경제사회 조성과 첨단산업 혁신을 위한 디지털 전환이 가속화

○ COVID-19 팬데믹으로 디지털 전환과 과학기술의 경제사회적 중요성이 인식되었으며, 팬데믹 대응을 위한 국제적 협력, 바이오산업에 대한 투자 인식이 확대

□ 4차 산업혁명과 글로벌 혁신을 이끌 유망기술 분야가 대두되고 있으며, 4차 산업혁명의 융합 혁신과 테크노믹스(Technomics)가 확장

○ 디지털·바이오·신소재·에너지·환경 기술분야 중심의 기술이 유망 기술로 부상하였으며, 시장의 관심이 높고 시장화 성공가능성이 높은 기술들이 혁신기술로 선정

다. 주요국 연구개발 사업과 투자전략

□ 미국, 중국, EU, 독일, 일본, 한국의 정부, 민간의 R&D 투자 규모 및 추이를 분석하고 정책을 비교

라. 전략적 R&D 투자전략과 의제

□ 주요국은 임무(Mission) 지향의 범부처 하향식 R&D 투자와 민관협력 과학기술 생태계 조성에 주력하고 있으나, 우리나라는 하향식 예산 배분과 상향식 예산 요구 체계로 핵심기술 공백 및 유사사업 중복 가능성이 높음

○ 우리나라는 다부처·계층 관리로 정책 파편화 및 전략 분절화가 심화되었으며, 범부처 투자 전략성 연계가 시급함

□ 임무 중심의 전략적 R&D 투자와 자율과 책임의 평가 시스템으로 대전환이 필요

3. R&D 투자전략 분석

가. 바이오헬스 R&D

□ 바이오헬스 분야는 4차 산업혁명 및 고령화 시대에 대비할 수 있는 핵심적인 지속성장 가능한 분야로, 관련 R&D 투자 및 산업 성장 속도가 가속화되고 있음

□ 바이오 경제 패러다임 전환에 대응하기 위해 세계 각국에서 바이오헬스 산업 육성 정책을 수립하고 관련 분야에 선제적 투자를 하고 있음

○ 주요국에서는 4차 산업혁명 및 COVID-19로 인한 비대면의 일상화에 대응하기 위해 원격의료, 바이오 빅데이터, AI 분야에 대한 투자 및 연구개발이 활발히 이루어지고 있음

□ 국내 바이오헬스 산업의 발전과 글로벌 경쟁력 확보를 위해서는 글로벌 시장 환경의 변화를 파악하고, 국내외 역량을 객관적으로 분석하여 각 분야의 특성에 맞는 단계별 발전전략을 수립하는 것이 중요

○ 글로벌 시장 및 산업 규모가 크고, 성장속도가 빠른 제약산업의 경우 신약개발 전주기 지원 측면에서 정부 및 민간의 역할을 고려한 민관협력 기반 R&D 투자전략 마련이 필요

○ 의료기기 분야에서는 높은 수입 의존도 및 취약한 민간 R&D 투자를 고려하여 요소기술 개발 및 국산화, 신개념 융합형 의료기기 개발 지원 등 정부 주도의 산업육성 전략이 중요

○ 첨단재생의료 분야에서는 줄기세포 치료의 다양성·혁신성이 확보될 수 있도록 차세대 원천기술 및 치료제 기술 확보를 위한 중개연구, 줄기세포 치료제 플랫폼 기술 개발 등에 대한 정부 R&D 지원이 요구

□ 더불어 현재 다양한 부처에서 바이오헬스 R&D를 추진하고 있음에 따라 보다 효율적인 연구개발을 위한 컨트롤타워 설립 등 담당 기관·조직의 체계 개선도 필요

4. 주요 정책 아젠다 및 R&D 투자전략

가. 지속가능한 발전을 위한 정책 이슈 분석

□ 총연구개발비 투자 100조 원 시대를 맞이하여 그간의 과학기술 성과를 분석하고 지속가능한 발전을 위한 정책이슈의 도출 필요

○ 정부와 민간의 적극적인 R&D 투자를 통해 과학기술적, 경제산업적, 사회문화적 성과들을 이룩하여 세계 10위권의 경제 강국으로 발돋움

○ 정부는 민간의 연구개발 투자를 협력하는 동반자로서 민간 주도의 R&D 기획을 장려하고 제도적인 지원방안을 마련할 필요

○ 창의·선도형 R&D 체제로의 전환을 위한 정부연구개발투자의 포트폴리오 재편 및 제도 개선 등의 다양한 접근 방법이 요구됨

○ 주요국은 공통으로 디지털 전환, 탄소중립, 사회적 포용에 공감대를 형성하고 있으며, 우리나라도 국제 정세에 맞추어 중장기적 R&D 투자전략 마련 필요

나. 중장기적 R&D 투자전략

□ 급변하는 대외 환경변화와 예산 규모를 고려하여 국가 R&D 투자 목표 및 포트폴리오 설정을 고려할 필요

○ 정부는 매년 다른 R&D 투자방향을 수립하여 단년도 예산 배분·조정에 매몰되어 있으며 5년 이상의 중장기적인 계획이 부재함

○ 정부R&D 투자의 전략성·효과성을 높이기 위해 국가 R&D 투자 방식 다양화, 예산 배분 조정체계의 비효율성 개선방안, 투자 규모 및 투자 우선순위 설정 등을 고려

5. 미래 대응 기술 심층 분석

가. 2021년 기술동향 분석(브리프)

□ 2021년 기술동향브리프에 수록된 16개 유망 기술 분야는 각 기술별로 ① 연구 배경 ② 기술 ③ 산업 ④ 정책 ⑤ 투자 동향을 포함하여 별책으로 발간됨

※ 본 보고서에서는 각 기술별 요약 및 시사점에 한하여 기술하였으며, 16개 유망 기술분야는 아래의 표와 같음

〈2021년 기술동향브리프 16개 분야〉

1	대체육(代替肉)	9	대형연구시설 구축 – 중이온가속기를 중심으로
2	수소생산	10	안티드론
3	스마트농업	11	감염병 진단기술
4	스마트 디바이스용 센서	12	철도신호시스템
5	개인용 항공기(PAV)	13	태양광 폐패널 재활용 기술
6	연료전지	14	해양플라스틱 쓰레기 저감 기술
7	해수담수화	15	감염병 방역 기술
8	백신 플랫폼 기술	16	전기상용차

나. 2021년 분석 주요 기술동향

□ 본 보고서의 2021년 분석 주요 기술 동향에서는 사람(인간) 또는 삶과 밀접한 관계가 있는 10대 기술 분야를 대상으로 ① 연구 배경 ② 기술 ③ 산업 ④ 정책 ⑤ 정부 R&D 투자 ⑥ 요약 및 시사점을 포함한 세부적인 기술 동향을 조사함

〈2021년 분석 주요 기술동향〉

1	시스템반도체	5	6G
2	양자정보기술	6	소형모듈원자로(SMR)
3	친환경 선박	7	CCU
4	소재 신연구방법론		

□ [부록 I편]의 풀뿌리 연구 분석은 「학문분야별 지원체계 도입에 따른 기초연구 이슈 및 정책과제 도출 연구」로 구성됨

○ ’22년부터 실시되는 학문분야별 지원체계의 적용 대상인 「연구자 주도 기초연구 사업군」과 그 외 「타 정부연구개발사업군」을 대상으로 학문분야별 정부지원 특성을 분석하여 추후 고려해야 할 정책적 시사점 도출

□ [부록 II편]의 「학문분야별 기초연구 지원체계의 현장 적용을 위한 가이드라인 수립 연구」에서는 정부 R&D 예산과 관련하여 다음과 같은 연구를 수행함

○ 국가별 연구자 주도 기초연구에 대한 학문분야별 지원체계 현황 조사

○ 국내·외 학문분야별 기초연구 지원체계의 성과 평가 및 핵심이슈 진단

○ 학문분야별 연구자주도기초연구, 타 연구사업(국가연구개발사업의 기초 연구단계 사업) 수혜 규모 분석을 통해 분야별 지원 규모의 형평성 고려 방안 및 가이드라인 제시

○ 연구자 설문조사를 바탕으로 연구자 의견 수렴 방식 및 반영 절차 개선을 위한 가이드라인 제시

○ 분석된 결과를 바탕으로 연구자 주도 기초연구사업의 분야별 연구비 조정 방안, 정책적 고려사항, 사업운영 개선안, 원천사업 등 분야별 지원체계 적용 방안 등을 제시

□ [부록 II편]의 「정부 데이터 관련 사업 현황 분석 및 유형 체계화 연구」에서는 정부 R&D 예산과 관련하여 다음과 같은 연구를 수행함

○ 데이터댐 사업을 중심으로 한 케이스 스터디를 통해 정부의 데이터 수집 및 활용 관련 사업의 유형분류 및 유형화 기준을 확장하여 제시

○ 유형화 결과를 바탕으로 부처별 데이터사업을 다각적인 기준으로 분류하여 현황 제시

○ 데이터 관점에서 데이터의 희소성, 공공성 및 활용을 위한 법적 이슈를 검토대상으로 제안하였으며, 특히 데이터의 확보와 가공을 위한 사업이 ‘인공지능 개발 사업’의 기반이 된다는 관점에서 데이터 Value-chain이라는 새로운 관점을 제안

○ 플랫폼의 관점에서, 빅데이터플랫폼 및 센터구축사업 등 대단위로 이루어지는 다양한 플랫폼사업과 부처별 개별 플랫폼이 혼재해 있는 상황을 감안할 때, 플랫폼간의 유사성 및 연계방안, 플랫폼을 뛰어넘는 데이터포털 형태의 공유방안을 검토 대상으로 제시

목 차

contents

Ⅰ. 서 론 ····· 1

제 1 절 연구배경 및 필요성 ····· 3

1. 연구 배경 ····· 3
2. 연구 필요성 ····· 4

제 2 절 연구 내용 및 추진 체계 ····· 6

1. 연구 내용 ····· 6
2. 추진 체계 ····· 7

Ⅱ. 현안 및 미래사회 이슈 분석 ····· 11

제 1 절 개요 ····· 13

1. 작성 배경 ····· 13
2. 「2022 년도 정부 R&D 투자방향 및 전략 의제」 수립 절차와 범위 ····· 15

제 2 절 지식혁명 시대와 과학기술 혁신 ····· 20

1. With COVID-19 팬데믹, 과학기술을 통한 안전과 혁신 성장의 가치 ····· 20
2. 위협과 기회의 공존, 불확실성 및 복잡성 대응의 초혁신과 대전환 ····· 24

제 3 절 글로벌 혁신 동향과 핵심기술 변화 ····· 27

1. 위험의 일상화와 다양화, 환경·지리적 자연재해와 인적 재난 우려 ····· 27
2. 비대면 경제사회 조성과 첨단산업 혁신을 위한 디지털 전환 가속 ····· 30
3. 4 차 산업혁명과 글로벌 혁신을 이끌 유망기술 분야 ····· 33
4. 4 차산업혁명의 융합 혁신과 테크노믹스(Technomics) 확장 ····· 36

제 4 절 주요국 연구개발 사업과 투자전략 ····· 46

1. 미국의 R&D 투자와 기술전략 ····· 46
2. 중국의 R&D 투자와 기술전략 ····· 51
3. EU(27 개국)의 R&D 투자와 기술전략 ····· 56
4. 독일의 R&D 투자와 기술전략 ····· 60
5. 일본의 R&D 투자와 기술전략 ····· 64
6. 한국의 R&D 투자와 기술전략 ····· 73
7. 한국 및 주요국 간 R&D 투자 및 정책 비교 ····· 77

제 5 절 전략적 R&D 투자시스템과 의제 ····· 91

1. 주요국 및 우리나라의 연구개발 투자 동향 ····· 91
2. 정부 R&D 연구개발 투자의 주요 의제 ····· 94

Ⅲ. R&D 투자전략 분석 ····· 97

제 1 절 바이오헬스 분야별 정책 동향 ····· 99

1. 미국 ····· 99
2. EU & 영국 ····· 103
3. 일본 ····· 107
4. 중국 ····· 110
5. 한국 ····· 113

제 2 절 바이오헬스 분야별 기술·산업 동향 ····· 120

1. 의약품 ····· 120
2. 의료기기 ····· 128
3. 첨단재생의료 ····· 130

제 3 절 바이오헬스 분야별 정부 R&D 투자전략 ····· 135

1. 요약 및 시사점 ····· 135
2. 바이오헬스 분야별 정부 R&D 투자전략 ····· 137

Ⅳ. 주요 정책 아젠다 및 R&D 투자전략 ····· 141

제 1 절 지속가능한 발전을 위한 정책 이슈 분석 ····· 143

1. 국가과학기술 R&D 성과분석 ····· 143
2. 주요국 과학기술 정책동향 ····· 171
3. 시사점 ····· 180

제 2 절 중장기적 R&D 투자전략 ····· 185

1. 중장기적 투자전략의 필요성 ····· 185
2. 국·내외 투자전략 및 현황 ····· 185
3. 투자전략 수립시 고려사항 ····· 187
4. 투자전략의 우선순위 및 방향 설정을 위한 논의사항 ····· 190
5. 투자전략의 비전 및 목표 도출(예시) ····· 192

Ⅴ. 미래대응 기술 심층분석 ····· 193

제 1 절 2021 년 기술동향 분석(브리프) ····· 195

1. 대체육(代替肉) ····· 196
2. 수소 생산 ····· 198
3. 스마트농업 ····· 200
4. 스마트 디바이스용 센서 ····· 203
5. 개인용 항공기(PAV) ····· 206
6. 연료전지 ····· 209
7. 해수담수화 ····· 211
8. 백신 플랫폼 기술 ····· 214
9. 대형연구시설 구축 - 중이온가속기를 중심으로 ····· 217
10. 안티드론 ····· 220
11. 감염병 진단기술 ····· 222
12. 철도신호시스템 ····· 224

13. 태양광 폐패널 재활용 기술 ····· 227
14. 해양플라스틱 쓰레기 저감 기술 ····· 228
15. 감염병 방역기술 ····· 231
16. 전기 상용차 ····· 233

제 2 절 2021 년 주요기술 심층 분석 ····· 236

1. 시스템반도체 ····· 237
2. 양자정보기술 ····· 260
3. 친환경 선박 ····· 279
4. 소재 신연구방법론 ····· 295
5. 6G 통신 기술 ····· 326
6. 소형모듈원자로(SMR) ····· 378
7. CCU ····· 393

Ⅵ. 결 론 ····· 413

참고문헌 ····· 418

▌부록 Ⅰ ▌ 풀뿌리 연구 ····· 431

제 1 절 학문분야별 지원체계 도입에 따른 기초연구 이슈 및 정책과제 도출 연구 ··· 433

1. 서론 ····· 433
2. 추진 방법 ····· 435
3. 분석 결과 ····· 437
4. 결론 및 시사점 ····· 454
5. 분석 한계 및 향후 계획 ····· 456

▌부록 II ▐ 과학기술 R&D 예산 적절성 분석과 체제개선 방안 ····· 459

제 1 절 학문분야별 기초연구 지원체계의 현장 적용을 위한 가이드라인 수립 연구 ···· 461

1. 연구개발의 목적 및 필요성 ····· 461
2. 연구개발의 내용 및 범위 ····· 461
3. 연구개발결과 ····· 462
4. 연구개발 결과의 활용계획 ····· 463

제 2 절 정부 데이터 관련 사업 현황 분석 및 유형 체계화 연구 ····· 465

1. 연구개발의 목적 및 필요성 ····· 465
2. 연구개발의 내용 및 범위 ····· 465
3. 연구개발결과 ····· 466
4. 연구개발 결과의 활용계획 ····· 466

표 목 차

contents

〈표 Ⅰ-1〉 주요국의 분기별 성장률 ····· 3
〈표 Ⅰ-2〉 연구 추진체계 ····· 8

〈표 Ⅱ-1〉 주요 국제기구의 혁신 의제 및 과학기술 논의 주제 ····· 14
〈표 Ⅱ-2〉 국가 연구개발 투자규모 및 세계혁신지수 TOP5 국가와 순위 ····· 15
〈표 Ⅱ-3〉 과학기술·연구개발의 경제사회목적별 유형 분류 ····· 19
〈표 Ⅱ-4〉 UN 의 잠재적 위험(Risk)과 발생적 재난(Hazard)의 유형과 과학기술 권고 ···· 21
〈표 Ⅱ-5〉 민간 글로벌 컨설팅 기업의 글로벌 트랜드 2021 선정 ····· 28
〈표 Ⅱ-6〉 디지털 전환의 정의 ····· 30
〈표 Ⅱ-7〉 포스트 코로나, 10 대 트렌드 ····· 31
〈표 Ⅱ-8〉 포스트 코로나 주요 메가트랜드와 이슈 키워드 조사 ····· 32
〈표 Ⅱ-9〉 OECD 의 2030 년을 이끌 10 대 기술 선정 ····· 33
〈표 Ⅱ-10〉 MIT 의 10 대 혁신기술 변화 ····· 38
〈표 Ⅱ-11〉 WEF 의 10 대 유망기술 변화 ····· 39
〈표 Ⅱ-12〉 KISTEP 10 대 유망기술 변화 ····· 39
〈표 Ⅱ-13〉 민간기업이 선정한 2021 년 트렌드와 메가 기술 ····· 40
〈표 Ⅱ-14〉 핵심기술 탐색을 위한 유망 신기술 목록 ····· 40
〈표 Ⅱ-15〉 핵심기술 탐색을 위한 유망 신기술 목록 ····· 42
〈표 Ⅱ-16〉 핵심기술 탐색을 위한 유망 신기술 목록 ····· 43
〈표 Ⅱ-17〉 핵심기술 탐색을 위한 유망 신기술 목록 ····· 45
〈표 Ⅱ-18〉 미국의 국가 총연구개발비 추이 ····· 46
〈표 Ⅱ-19〉 미국 총연구개발비의 재원별 규모 및 증감 추이 ····· 47
〈표 Ⅱ-20〉 미국 산업별 규모 및 증감 추이 ····· 47
〈표 Ⅱ-21〉 미국의 경제사회목적별 정부 연구개발비 추이 ····· 48
〈표 Ⅱ-22〉 2021 년도 미국의 기능별 정부 연구개발비 ····· 48
〈표 Ⅱ-23〉 2022 년도 미국의 연구개발 중점분야 ····· 49

〈표 Ⅱ-24〉 2022 년도 기능별 R&D 예산 요구안 ····· 51
〈표 Ⅱ-25〉 중국의 국가 총연구개발비 추이 ····· 51
〈표 Ⅱ-26〉 중국 총연구개발비의 재원별 규모 및 증감 추이 ····· 52
〈표 Ⅱ-27〉 중국 민간부문 R&D 규모 및 GDP 대비 비중 추이 ····· 53
〈표 Ⅱ-28〉 규모이상 공업기업의 R&D 투자 8 대 산업 ····· 53
〈표 Ⅱ-29〉 중국의 정부 연구개발비 규모 추이 ····· 54
〈표 Ⅱ-30〉 2015 년~2020 년까지 중국의 국가재정 과학기술 지출 ····· 54
〈표 Ⅱ-31〉 14.5 계획 국가중점연구개발계획 중점전문프로젝트 및 지원경비 ····· 55
〈표 Ⅱ-32〉 EU 의 총연구개발비 추이 ····· 57
〈표 Ⅱ-33〉 EU 총연구개발비의 재원별 규모 및 증감 추이 ····· 57
〈표 Ⅱ-34〉 EU 의 경제사회목적별 정부 연구개발비 추이 ····· 58
〈표 Ⅱ-35〉 EU 의 '21~'27 년 다년도 지출예산안 ····· 59
〈표 Ⅱ-36〉 Horizon Europe 예산 ····· 60
〈표 Ⅱ-37〉 독일의 국가 총연구개발비 추이 ····· 61
〈표 Ⅱ-38〉 독일의 총 연구개발비의 재원별 규모 및 증감 추이 ····· 61
〈표 Ⅱ-39〉 독일 산업별 규모 및 증감 추이 ····· 62
〈표 Ⅱ-40〉 독일의 경제사회목적별 정부 연구개발비 추이 ····· 62
〈표 Ⅱ-41〉 독일의 연방정부 R&D 지출 ····· 63
〈표 Ⅱ-42〉 일본의 국가 총연구개발비 추이 ····· 64
〈표 Ⅱ-43〉 일본 총연구개발비의 재원별 규모 및 증감 추이 ····· 65
〈표 Ⅱ-44〉 일본 산업별 규모 및 증감 추이 ····· 66
〈표 Ⅱ-45〉 일본의 경제사회목적별 정부 연구개발비 추이 ····· 66
〈표 Ⅱ-46〉 일본의 2021 년도 정부부처별 과학기술 관련 예산 ····· 67
〈표 Ⅱ-47〉 2021~2022 년도 문부과학성의 과학기술 관련 예산요구 내역 비교 ····· 68
〈표 Ⅱ-48〉 2021~2022 년도 경제산업성 산업기술 관계 예산 요구 내용 ····· 71
〈표 Ⅱ-49〉 우리나라의 국가 총연구개발비 추이 ····· 73
〈표 Ⅱ-50〉 우리나라의 총연구개발비 재원별 규모 및 증감 추이 ····· 73
〈표 Ⅱ-51〉 우리나라의 총연구개발비 수행주체별 예산 추이 ····· 74
〈표 Ⅱ-52〉 우리나라의 민간부문 연구개발비 및 GDP 비중 추이 ····· 74
〈표 Ⅱ-53〉 우리나라의 산업별 민간부문 R&D 규모 및 추이 ····· 74

〈표 Ⅱ-54〉 한국의 경제사회목적별 정부 연구개발비 추이 ····· 75
〈표 Ⅱ-55〉 2022 년도 정부 R&D 주요 분야 예산안 현황 ····· 76
〈표 Ⅱ-56〉 국가별 연구역량 강화 관련 R&D 정책·프로그램 ····· 87
〈표 Ⅱ-57〉 국가별 성장동력 확충 관련 R&D 정책·프로그램 ····· 88
〈표 Ⅱ-58〉 국가별 삶의 질 개선 관련 R&D 정책·프로그램 ····· 89
〈표 Ⅱ-59〉 국가 R&D 투자규모 및 세계혁신지수 TOP5 국가와 순위 ····· 91
〈표 Ⅱ-60〉 우리나라의 연도별 R&D 예산액 추이 및 사업수 변화('21.10 현재) ····· 92
〈표 Ⅱ-61〉 주요국의 과학기술 상위계획 및 임무(Mission) 지향 범부처 R&D 프로그램 ··· 92
〈표 Ⅱ-62〉우리나라의 정부 주요 R&D 사업의 구성 및 변화('21.10 현재) ····· 93

〈표 Ⅲ-1〉 파이프라인 규모를 기준으로 한 글로벌 Top 25 제약사 ····· 121
〈표 Ⅲ-2〉 (스마트)의료기기의 기능별 구분 ····· 129

〈표 Ⅳ-1〉 정부연구개발예산 국제비교 ····· 143
〈표 Ⅳ-2〉 우리나라 정부연구개발예산 편성제도의 변천과정 ····· 145
〈표 Ⅳ-3〉 연구개발투자 국제비교 ····· 148
〈표 Ⅳ-4〉 논문 및 특허 국제비교 (2019) ····· 151
〈표 Ⅳ-5〉 연구원 수 국제비교 ····· 151
〈표 Ⅳ-6〉 한국의 주요 경쟁력 지수 순위 ····· 152
〈표 Ⅳ-7〉 국가연구개발투자의 경제적 성과 ····· 154
〈표 Ⅳ-8〉 시대별 주력산업, 국가연구개발의 특징 및 주요 기술개발 성과 ····· 156
〈표 Ⅳ-9〉 국가연구개발투자의 사회문화적 성과 ····· 159
〈표 Ⅳ-10〉 연구개발(R&D) 및 시설투자 세액공제율(%) ····· 162
〈표 Ⅳ-11〉 1991~2019 년간 누적 총연구개발비 국제비교 ····· 163
〈표 Ⅳ-12〉 1990~2019 년간 누적 논문 수 국제비교 ····· 164
〈표 Ⅳ-13〉 주요국 정부 연구개발투자의 경제사회목적별 분류 중 경제발전 목적 비중('19) ···· 166
〈표 Ⅳ-14〉 국내 규제로 인해 해외에 먼저 출시된 제품 및 서비스 ····· 167
〈표 Ⅳ-15〉 글로벌 기업의 연구개발투자 (2019 년 기준) ····· 170
〈표 Ⅳ-16〉 더 나은 재건 (The Build Back Better) 계획 ····· 171
〈표 Ⅳ-17〉 최근 3 년간 미국 R&D 투자우선분야 ····· 173

〈표 Ⅳ-18〉 제 6 기 과학기술혁신기본계획의 정책방향 및 추진과제 ····· 175
〈표 Ⅳ-19〉 EU 그린딜 11 개 세부 목표 ····· 177
〈표 Ⅳ-20〉 13.5/14.5 규획 기간 과학기술 키워드 및 주요 정책 변화 ····· 178
〈표 Ⅳ-21〉 국가중점연구개발계획 18 대 기술 연구 목표 ····· 179
〈표 Ⅳ-22〉 국내 R&D 투자 관련 SWOT 분석 ····· 186
〈표 Ⅳ-23〉 주요국의 R&D 투자 철학 및 투자 목표 ····· 187
〈표 Ⅳ-24〉 R&D 투자의 방향 또는 철학 설정시 고려사항 ····· 187
〈표 Ⅳ-25〉 국가연구개발 중장기 비전 및 목표의 예 ····· 192

〈표 Ⅴ-1〉 반도체 산업 시장 전망 ····· 237
〈표 Ⅴ-2〉 주요국 시스템반도체 기술수준 ····· 238
〈표 Ⅴ-3〉 반도체 소자의 종류와 구분 ····· 239
〈표 Ⅴ-4〉 반도체 산업 내 기업 유형 ····· 240
〈표 Ⅴ-5〉 국내외 주요 팹리스 기업 동향 ····· 243
〈표 Ⅴ-6〉 주요 파운드리 기업 매출 현황 ····· 245
〈표 Ⅴ-7〉 국내 주요 파운드리 기업 현황 ····· 246
〈표 Ⅴ-8〉 주요 파운드리 기업 동향 ····· 247
〈표 Ⅴ-9〉 트랜지스터 설계의 발전 ····· 248
〈표 Ⅴ-10〉 국내 주요 디자인하우스 기업 동향 ····· 250
〈표 Ⅴ-11〉 시스템반도체 분야 주요국 정책 동향 ····· 254
〈표 Ⅴ-12〉 나라별 양자 기술 명칭 및 정의 ····· 261
〈표 Ⅴ-13〉 양자정보기술 분야별 분류 ····· 262
〈표 Ⅴ-14〉 양자컴퓨팅 플랫폼별 장단점 ····· 266
〈표 Ⅴ-15〉 국외 양자정보과학기술분야 정책 비교 ····· 270
〈표 Ⅴ-16〉 국외 양자정보과학기술분야 정책 비교 ····· 272
〈표 Ⅴ-17〉 국외 양자정보과학기술분야 정책 비교 ····· 272
〈표 Ⅴ-18〉 양자정보기술 전용사업 투자현황 ····· 274
〈표 Ⅴ-19〉 양자정보기술 과제유형별 투자현황 ····· 275
〈표 Ⅴ-20〉 양자정보기술 기술분야별 투자현황 ····· 276
〈표 Ⅴ-21〉 양자정보기술 과제단위 세부사업 현황 ····· 276

〈표 V-22〉 친환경 선박의 정의 ····· 281
〈표 V-23〉 해수부에서 수행 중인 친환경에너지 추진선박 관련사업 현황 ····· 291
〈표 V-24〉 국내 친환경 선박 분야 정부 R&D 현황(2018~2021) ····· 291
〈표 V-25〉 친환경 에너지원 별 비교 ····· 294
〈표 V-26〉 코로나-19 이후 화상회의 앱 다운로드 횟수 증가 ····· 296
〈표 V-27〉 재료 설계 기업별 제공 서비스 ····· 316
〈표 V-28〉 기업별 재료 설계 분야 및 인공지능 전담 조직 ····· 319
〈표 V-29〉 미국 소재혁신 플랫폼 사업 현황 ····· 324
〈표 V-30〉 6G 주요 지표별 기술분야 및 세부 분류 ····· 329
〈표 V-31〉 저궤도 위성망 구축 대표기업 및 프로젝트 ····· 341
〈표 V-32〉 세계 이동통신 장비 매출액 전망 ····· 354
〈표 V-33〉 세계 이동통신 장비업체 시장점유율 ····· 354
〈표 V-34〉 세계 이동통신 단말 판매대수 전망 ····· 355
〈표 V-35〉 세계 이동통신 단말업체 시장점유율 ····· 355
〈표 V-36〉 세계 이동통신 업체별 RF 부품 매출액 및 시장점유율 ····· 356
〈표 V-37〉 이동통신 분야 시장 전망 ····· 356
〈표 V-38〉 UAV 세계시장 전망 ····· 357
〈표 V-39〉UAM 세계시장 전망 ····· 358
〈표 V-40〉 UAM 국내시장 전망 ····· 359
〈표 V-41〉 프론트홀 광액세스 분류별 전망 ····· 362
〈표 V-42〉 글로벌 위성 산업 규모 및 전망 ····· 362
〈표 V-43〉 TSN 세계시장 전망 ····· 365
〈표 V-44〉 초정밀 네트워크 기술 적용 장비군 세계시장 전망 ····· 366
〈표 V-45〉 5G 응용 서비스 세계시장 전망 ····· 367
〈표 V-46〉 도입모드에 따른 글로벌 모바일 코어 네트워크 시장 전망 ····· 368
〈표 V-47〉 사용자 군별 글로벌 모바일 코어 네트워크 세계시장 전망 ····· 368
〈표 V-48〉 국가 6G 기술연구개발 추진업무팀 및 전문가팀 개요 ····· 370
〈표 V-49〉 Beyond 5G 를 위한 기능 및 주요 개발기술 ····· 372
〈표 V-50〉 원자력 분야 부처별 정부 R&D 투자 현황(`19~`21 년) ····· 390
〈표 V-51〉 원자력 세부 분야별 정부 R&D 투자 현황('19~'21 년) ····· 391

〈표 V-52〉 광합성 미생물(미세조류) 기반 유용물질 생산 동향 (한국화학연구원, 2020), (연구개발특구진흥재단, 2019) ····· 405
〈표 V-53〉 '30 년 상용화 제품 후보군 (CCU 기술혁신 로드맵, 2021) ····· 409

〈표 부록-1〉 학문분야별 지원체계 전환의 예상 이슈/문제점 ····· 434
〈표 부록-2〉 연구 추진 절차 ····· 435
〈표 부록-3〉 최종 분석 대상 ····· 437
〈표 부록-4〉 학문분야별 연구자 주도 기초연구 의존도 ····· 454

그 림 목 차

contents

[그림 Ⅱ-1] 글로벌 환경 변화와 과학기술 및 R&D 분석을 통한 국가 투자전략 아젠다 도출 흐름 ····· 16
[그림 Ⅱ-2] 정부 R&D 예산의 거시적 투자전략과 미시적 투자전략 수립 방법과 프로세스 흐름 ····· 17
[그림 Ⅱ-3] 1800 년 이후 주요국의 1 인당 GDP 성장 추이와 상대적 변화 추이 (OWD 2021, 참고 재작성) ····· 18
[그림 Ⅱ-4] COVID-19 팬데믹의 주요국 확산 현황 및 100 명당 백신접종 추이 ···· 20
[그림 Ⅱ-5] '20 년 이후 세계경제성장률의 전망과 주요국가별 전망치 (IMF/OECD/기획재정부 외, 2021) ····· 22
[그림 Ⅱ-6] 우리나라의 자본스톡 구성 추이와 자본물량증가율의 비중 변화 추이 (통계청 외, 2021) ····· 23
[그림 Ⅱ-7] 주요국의 1960 년 이후 GDP(PPP) 추이와 1 인당 GDP 성장률 변화 추이 ····· 25
[그림 Ⅱ-8] 주요국의 경제 복잡성 지수 변화와 국가별 복잡성지수 순위 ····· 26
[그림 Ⅱ-9] 세계적발생 가능한 위험과 파급력이 큰 위험 Top 5 변화추이 ····· 28
[그림 Ⅱ-10] 포스트코로나 시대 글로벌 메가트렌드 동인 ····· 35
[그림 Ⅱ-11] 세계 경제 주요 메가트렌드 ····· 36
[그림 Ⅱ-12] 산업·제품기술 간 융합 사례와 융합기술을 포함한 50 가지 신흥 기술 ····· 37
[그림 Ⅱ-13] 융합기술 분야의 시장 성장 매력도와 혁신기술의 영향도 ····· 37
[그림 Ⅱ-14] EU(27 개국)의 민간부문 연구개발비 및 GDP 대비 비중 변화 ····· 58
[그림 Ⅱ-15] 독일의 주정부 및 지방정부의 연구개발 지출 ····· 63
[그림 Ⅱ-16] 우리나라 2022 년도 국가연구개발 4 대분야 10 대 중점 투자방향 ····· 76
[그림 Ⅱ-17] 국가별 총 연구개발비(GERD) 추이(위) 및 GDP 대비 연구개발 투자비중 추이(아래) (1991~2019) ····· 78
[그림 Ⅱ-18] 2019 년 주요국의 연구개발비 재원별 비중 ····· 79
[그림 Ⅱ-19] 주요국의 연구개발비의 재원별 추이 (2009~2019) ····· 79
[그림 Ⅱ-20] 2019 년 주요국의 연구개발비 수행주체별 비중 ····· 80

[그림 Ⅱ-21] 주요국의 연구개발비의 수행주체별 추이(2009~2019) ····· 81
[그림 Ⅱ-22] 국가별 민간부문 총 연구개발비(GERD) 추이(좌) 및
GDP 대비 비중(우) (1991~2019) ····· 82
[그림 Ⅱ-23] 2019 년 주요국의 민간부문 연구개발비 재원별 비중 ····· 82
[그림 Ⅱ-24] 주요국의 민간부문 연구개발비의 재원별 추이 (2009~2019) ····· 83
[그림 Ⅱ-25] 2019 년 주요국의 민간부문 연구개발비 산업별별 비중 ····· 83
[그림 Ⅱ-26] 주요국의 민간부문 연구개발비의 산업별 추이 (2009~2018) ····· 84
[그림 Ⅱ-27] 국가별 정부 총 연구개발비(GERD) 추이(좌) 및 국방비 비중(우)
(1991~2019) ····· 85
[그림 Ⅱ-28] 2019 년 주요국의 정부 연구개발비 경제사회목적별 비율 ····· 85
[그림 Ⅱ-29] 주요국의 정부 연구개발비의 경제사회목적별 추이 (2009~2019) ····· 86
[그림 Ⅱ-30] '21 년 신규·계속과제별 워드 클라우드의 가중치 상위 20 위 키워드 ····· 94

[그림 Ⅲ-1] 첨단재생의료 임상연구 심의·수행체계 ····· 116
[그림 Ⅲ-2] 첨단바이오의약품 심사체계 개편방향 ····· 117
[그림 Ⅲ-3] 첨단재생바이오 민·관 통합거버넌스 구축 ····· 117
[그림 Ⅲ-4] 첨단재생바이오 전주기 기반기술 개념도 ····· 118
[그림 Ⅲ-5] 첨단재생바이오 전주기 연구개발 ····· 118
[그림 Ⅲ-6] 재생의료 규제 구조 비교 ····· 119
[그림 Ⅲ-7] 전체 R&D 파이프라인 규모(2001-2020) ····· 120
[그림 Ⅲ-8] 전세계 연구개발투자 상위 30 개 기업(2019 년) ····· 122
[그림 Ⅲ-9] 의약·생명공학분야 연구개발투자 상위 20 개 기업과 국별 분포(2019) ····· 124
[그림 Ⅲ-10] 상위 2500 대 기업 중 의약·생명공학분야 기업의 국가별 분포
(2014~2019) ····· 125
[그림 Ⅲ-11] 글로벌 희귀의약품 시장(생명공학정책연구센터, 2020) ····· 128
[그림 Ⅲ-12] 2020 년 재생의료 분야 기업 및 투자, 임상 현황(한국바이오협회, 2021) ··· 131
[그림 Ⅲ-13] 국내 줄기세포 치료제 임상시험 현황(2018) ····· 131
[그림 Ⅲ-14] 국가별 재생의료 분야 특허 연평균 성장률(1998~2019) ····· 132
[그림 Ⅲ-15] 국가별 재생의료 분야 특허 출원 건수(1998~2019) ····· 132

[그림 Ⅳ-1] 정부연구개발예산 추이 ····· 144
[그림 Ⅳ-2] 국내 산업별 기업 연구개발비 비중 ····· 147
[그림 Ⅳ-3] 총연구개발비 및 GDP 대비 총연구개발비 비중 추이 ····· 149
[그림 Ⅳ-4] 재원별 연구개발비 비중 추이 ····· 149
[그림 Ⅳ-5] 한국의 SCI 논문 수 및 순위 ····· 150
[그림 Ⅳ-6] 한국의 PCT 출원 수 및 순위 ····· 150
[그림 Ⅳ-7] 한국의 국가, 과학, 기술경쟁력 순위 (IMD) ····· 152
[그림 Ⅳ-8] 공공연구기관의 기술이전 건수 및 기술이전율 추이 ····· 153
[그림 Ⅳ-9] 아이폰의 요소기술과 미국 정부 연구개발의 기여 ····· 157
[그림 Ⅳ-10] 스마트폰과 미국 및 한국 정부연구개발의 역할 ····· 158
[그림 Ⅳ-11] 과학기술에 대한 관심도 추이 ····· 160
[그림 Ⅳ-12] 과학기술에 대한 이해도 추이 ····· 160
[그림 Ⅳ-13] 총연구개발비(정부+민간) 추이 국제비교 ····· 163
[그림 Ⅳ-14] 논문 발표 수 추이 국제비교 ····· 164
[그림 Ⅳ-15] 한국의 기술무역수지비 및 기술무역수지 추이 ····· 165
[그림 Ⅳ-16] 정부 연구개발투자의 경제·사회목적별 비중 (%) ····· 166
[그림 Ⅳ-17] 우리나라 잠재성장률 추이 ····· 169
[그림 Ⅳ-18] 미-중 기술패권에 대응하는 일본의 전략 ····· 174
[그림 Ⅳ-19] Horizon 2020 과 Horizon Europe 의 주요 Pillar 비교 ····· 176

[그림 Ⅴ-1] 범용양자컴퓨터의 양자기술 구조도 내 위치와 발전단계 ····· 264
[그림 Ⅴ-2] 주요국 양자정보기술 발전 비전 및 전략현황 ····· 265
[그림 Ⅴ-3] 주요국 양자정보기술 발전 비전 및 전략현황 ····· 269
[그림 Ⅴ-4] 양자정보기술 유형별 투자현황 ····· 273
[그림 Ⅴ-5] 양자정보기술 기술분야 투자현황 ····· 274
[그림 Ⅴ-6] 양자정보기술 기반구축 투자현황 ····· 275
[그림 Ⅴ-7] 국제해사기구(IMO)의 환경규제 강화 ····· 279
[그림 Ⅴ-8] 신조 발주 선박의 연료 전망 ····· 285
[그림 Ⅴ-9] 친환경연료 추진선박 시장 전망 ····· 286
[그림 Ⅴ-10] 전 세계 친환경 선박 현황 및 연도별 건조 동향 ····· 286

[그림 V-11] 소재 예시별 개발에서 적용까지의 소요 시간 ····· 297
[그림 V-12] 소재 신연구방법론에 해당하는 기술의 영역 개념도 ····· 299
[그림 V-13] ICSD (https://icsd.fiz-karlsruhe.de/search/) ····· 300
[그림 V-14] CSD (https://www.ccdc.cam.ac.uk/solutions/csd-system/components/csd/) ····· 300
[그림 V-15] Chem Spider (http://www.chemspider.com/) ····· 301
[그림 V-16] Materials Project (https://materialsproject.org/) ····· 302
[그림 V-17] OQMD (http://oqmd.org/) ····· 303
[그림 V-18] NIST Materials Resource Registry (https://materials.registry.nist.gov/) ····· 304
[그림 V-19] KIST 데이터 기반 R&D 플랫폼의 구성도 ····· 305
[그림 V-20] 독일 Fritz-Haber 연구소의 결정구조 분류 모델 도식도 ····· 306
[그림 V-21] 미국 버지니아 공대 연구팀의 기계학습 모델로 예측된 코어-쉘 합금 소재 연구 ····· 307
[그림 V-22] 미국 연구팀의 초고강도 재료 탐색을 위한 기계학습 모델 개발연구 ····· 307
[그림 V-23] 캐나다 토론토 대학의 VAE 기반의 유기분자 역설계용 AI 모델 ····· 308
[그림 V-24] 미국 조지아공과대학에서 개발한 메타물질 역설계용 AI 모델 ····· 309
[그림 V-25] 영국 Glasgow 大 유기물질 합성용 자율화 실험실 구성도 및 하드웨어 ·· 311
[그림 V-26] 미국 MIT 유기물 합성경로 제안용 자율화 실험실 ····· 311
[그림 V-27] 하버드대 태양전지용 유기물 활성층 합성을 위한 자율화 실험실 HW ···· 312
[그림 V-28] 영국 리버풀대 움직이는 로봇을 도입한 자율화 실험실 ····· 313
[그림 V-29] 독일에서 구축한 박막 태양전지 개발용 자율실험실 ····· 314
[그림 V-30] Materials Informatics 시장 전망 ····· 315
[그림 V-31] 이노베이션 허브 개념과 NIMS 의 MI2I 과제 예시 ····· 321
[그림 V-32] 재료의 종류에 따른 중국판 MGI 의 지역별 하위 노드 ····· 323
[그림 V-33] 신소재의 개발에서부터 양산까지의 과정 및 혁신허브 중점 추진과제 ···· 323
[그림 V-34] 국내 이동통신 세대별 주요 기술 변화 ····· 327
[그림 V-35] 이동통신 세대별 R&D 및 상용화 시점 ····· 327
[그림 V-36] 6G 통신 주요 기술 지표 ····· 329
[그림 V-37] UAV 세계시장 전망 ····· 357

[그림 V-38] UAM 보급 대수 전망 ····· 358
[그림 V-39] 2050 년까지 UAM 을 도입할 것으로 전망되는 지역별 도시 수 ····· 358
[그림 V-40] 이동 및 무선 백홀 시장 규모 ····· 359
[그림 V-41] 밀리미터파 프론트홀 장비 시장 (백만불) ····· 360
[그림 V-42] 광액세스/인도어망 시장 전망 ····· 361
[그림 V-43] 위성 발사 및 제작 비용 추세 ····· 363
[그림 V-44] '18 년 → '40 년 시장규모 비중 변화 전망 ····· 363
[그림 V-45] 글로벌 위성통신 산업 현황 전망 ····· 364
[그림 V-46] 6G 비전 및 추진전략('21~'28) ····· 374
[그림 V-47] 6G R&D 추진 체계 ····· 375
[그림 V-48] SMR 경제성 향상 방안 ····· 379
[그림 V-49] Natrium 개념도 ····· 382
[그림 V-50] MSR 관련 세계 주요 벤처기업 ····· 385
[그림 V-51] 탄소 순환 도식 (출처 : 한국화학연구원, 2021) ····· 394
[그림 V-52] 이산화탄소 활용(CCU) 기술의 분류 (한국화학연구원, 2020) ····· 395
[그림 V-53] 전기화학적 CO2 전환 반응 시스템 (E.H.Sargent, 2019) ····· 396
[그림 V-54] 미생물 종류에 따른 탄소 고정 및 바이오매스 기반 제품 제조 경로 (Nico J. Claassens, 2016) ····· 397
[그림 V-55] 광물 탄산화 기술의 개념도 (IPCC, 2005) ····· 397
[그림 V-56] Iceland 의 재생에너지 활용 메탄올 합성 플랜트 프로젝트 (CRI 홈페이지) ····· 398
[그림 V-57] 전기화학적 이산화탄소 환원용 스택 전해 시스템 (C.Janaky, 2019) ··· 399
[그림 V-58] SkyMine 공정도 (Skyonic, 2016) ····· 401
[그림 V-59] 미생물을 이용한 생물전기화학적 CO2 전환 메탄화 기술 (한국전력연구원, 2019) ····· 403
[그림 V-60] 주요 CCU 산업체 현황 (Lux Research, 2019) ····· 404
[그림 V-61] Calera 의 기술 개념도 (Calera, 2012) ····· 406
[그림 V-62] CarbonCure 의 CO2 포집 방식 (CarbonCure 홈페이지) ····· 406
[그림 V-63] 기술별 CCU R&D 투자규모 추이 (한국화학연구원, 2021) ····· 409
[그림 V-64] 연구개발단계에 따른 세부과제 비중 (한국화학연구원, 2021) ····· 410

[그림 V-65] CCU 기술 부처별 투자규모 및 비중 (한국화학연구원, 2021) ····· 410
[그림 V-66] CCU 분야 연구수행주체별 투자규모 (한국화학연구원, 2021) ····· 411

[그림 부록-1] 학문분야별 지원체계의 개념 ····· 433
[그림 부록-2] 「연구자 주도 기초연구 사업군」 전체 과제 수의 학문분야별 비중 ('16~'20 평균) ····· 438
[그림 부록-3] 「타 정부연구개발사업군」 전체 과제 수의 학문분야별 비중 ('16~'20 평균) ····· 438
[그림 부록-4] 「연구자 주도 기초연구 사업군」 학문분야별 과제 수 추이('16~'20) 및 증감율 ····· 439
[그림 부록-5] 「타 정부연구개발사업군」 학문분야별 과제 수 추이('16~'20) 및 증감율 ····· 440
[그림 부록-6] 학문분야별 과제 수('16~'20) ····· 440
[그림 부록-7] 전체 국가연구개발사업 과제 수의 사업군별 비중('16~'20) ····· 441
[그림 부록-8] 「연구자 주도 기초연구 사업군」 전체 연구책임자 수의 학문분야별 비중('16~'20 평균) ····· 442
[그림 부록-9] 「타 정부연구개발사업군」 전체 연구책임자 수의 학문분야별 비중 ('16~'20 평균) ····· 442
[그림 부록-10] 「연구자 주도 기초연구 사업군」 학문분야별 연구책임자 수 추이 ('16~'20) 및 증감율 ····· 443
[그림 부록-11] 「타 정부연구개발사업군」 학문분야별 연구책임자 수 추이 ('16~'20) 및 증감율 ····· 444
[그림 부록-12] 학문분야별 연구책임자 수('16~'20) ····· 444
[그림 부록-13] 전체 국가연구개발사업 연구책임자 수의 사업군별 비중('16~'20) ··· 445
[그림 부록-14] 「연구자 주도 기초연구 사업군」 전체 연구비의 학문분야별 비중('16~'20 평균) ····· 446
[그림 부록-15] 「타 정부연구개발사업군」 전체 연구비의 학문분야별 비중 ('16~'20 평균) ····· 447
[그림 부록-16] 「연구자 주도 기초연구 사업군」 학문분야별 연구비 추이 ('16~'20) 및 증감율 ····· 448

[그림 부록-17] 「타 정부연구개발사업군」 학문분야별 연구비 추이('16~'20) 및 증감율 ····· 448
[그림 부록-18] 학문분야별 연구비('16~'20) ····· 449
[그림 부록-19] 전체 국가연구개발사업 연구비의 사업군별 비중('16~'20) ····· 450
[그림 부록-20] 학문분야별 연구비 중위값('16~'20) ····· 451
[그림 부록-21] 학문분야별 연구비 중위값('16~'20) ····· 451
[그림 부록-22] 학문분야별 연구책임자 수 남녀 비율('16~'20) ····· 452
[그림 부록-23] 서울/경기 지역 과제 수 비중('16~'20) ····· 453
[그림 부록-24] 서울/경기 지역 연구비 비중('16~'20) ····· 453

Ⅰ. 서 론

제1절 연구배경 및 필요성

제2절 연구 내용 및 추진 체계

제1절 연구배경 및 필요성

1. 연구 배경

□ 지속되는 코로나-19 팬데믹으로 인해 과학기술의 중요성 및 필요성에 대한 인식 확산과 위드 코로나 전환에 따른 글로벌 경제·사회적 회복이 진행될 것으로 전망됨

○ 위드 코로나 전환에 따른 일상 회복으로 이연 수요(pent-up demand)가 증대됨에 따라 글로벌 공급망 재편이 진행되고 있으며 포스트 코로나 시대 기술 중심으로 경기성장이 전망됨

- 해외 주요국은 높은 백신 접종률을 바탕으로 방역체계 전환을 시행하여 감염이 확산됨에도 불구하고 경제가 입는 타격은 지난해에 비해 크지 않을 것으로 전망

〈표 Ⅰ-1〉 주요국의 분기별 성장률

국가	연간성장률(단위 %, 전기대비)	
	2020	2021(전망)
		OECD(2021.9)
영국	-9.8	6.7
유로존	-6.0	5.3
독일	-4.9	2.9
프랑스	-8.0	6.3
이탈리아	-8.9	5.9
싱가포르	-5.4	5.2(IMF '21.4)
호주	-2.5	4.0
한국	-0.8	4.0

(출처: IMF World Economic Outlook(2021. 4); OECD Economic Outlook(2021. 9)

□ 코로나-19 팬데믹이 장기화되는 상황에서 4차 산업혁명과 디지털·비대면 중심으로 경제·산업 구조의 근본적인 변화가 가속화되고 있음

○ 최근 코로나-19 팬데믹이 장기화됨에 따라 국민의 생명과 안전에 대한 중요성이 강조되고 재해·재난 대응 및 지속 가능한 사회 구현을 위한 과학기술적 대응의 필요성이 제기

- 주요국은 감염병 대응을 위한 바이오헬스(진단·백신·치료 등) 분야 육성 및 비대면 환경 조성에 주력

※ 글로벌 메타버스 시장 규모는 2019년 50조원에서 2021년 175조원, 2025년 560조원으로 성장할 것으로 전망[1)]

※ 세계 바이오산업 시장 규모는 2021년 5041억 달러에서 2027년 9114억 달러로 성장할 것으로 전망[2)]

○ 반도체와 5G, 인공지능 등 4차 산업혁명으로 불리는 새로운 경제패러다임을 견인하는 핵심 영역을 중심으로 기술패권 경쟁이 심화되고 있는 상황에서 4차 산업혁명을 주도할 기술시장을 선점하기 위한 선제적 대응이 필요

○ 미·중 무역분쟁이 지속되고 포스트 코로나 경쟁이 가시화되면서 글로벌 공급망 재편이 진행되고 있으며, 이에 대한 전략적인 대응이 필요

○ 한·일 무역분쟁, 보호무역주의 확대 등 대외 경제불안 요인과 주력산업 성장세 둔화 등 대내외적 산업 성장력 약화 요인을 해소하고 소재·부품·장비 경쟁력 확보의 필요성이 강조

□ 2021년 정부연구개발 투자규모가 27조원 수준으로 급격히 증가하였으며, 이에 대한 효율적인 재원집행의 중요성이 인식됨에 따라 전략적 R&D재원배분에 대한 지속적 연구가 필요

○ 코로나-19 등 신종감염병, 무역·기술패권 경쟁, 글로벌 공급망 재편 등에 대한 위기관리 역량을 확보하고 디지털 경제로의 전환을 가속화하기 위해 '21년 정부R&D 투자가 27조원 규모로 대폭 확대됨

○ 한정된 재원을 전략적으로 투자함으로써 국정과제의 차질없는 이행과 더불어 국민이 체감하는 성과 창출에 주력해야 할 필요성이 제기됨에 따라 전략적 예산배분에 대한 지속적인 연구가 필요함

2. 연구 필요성

□ 4차 산업혁명 시대가 본격화되어 국내외 경제·사회 환경이 급변하고 신종감염병 팬데믹이 장기화됨에 따라 산업 경쟁력 강화 및 삶의 질 향상과 관련된 과학기술의 역할 및 필요성과 성과 극대화를 위한 투자 효율화에 관한 문제가 대두되고 있음

□ 미래사회 변화 및 이슈에 효과적으로 대응하기 위해 기술혁신 및 연구개발투자 관련 아젠다의 지속적 발굴이 필요함

1) 이베스트투자증권(2021), 메타버스, NFT가 펼치는 미래 혁신 세계

2) 생명공학정책연구센터(2021), 글로벌 바이오산업 시장의 동향과 전망

○ 기술혁신 아젠다 발굴과 함께 이에 대한 기초·원천연구 지원, 전문인력 양성, 연구개발 관리 등 효과성 향상을 위한 체계적 거버넌스 구축 필요

○ 한정된 정부R&D예산의 전략적 투자를 통한 효과 극대화를 위해 혁신생태계 구성 주체의 역량 강화 및 주체 간 협력 제고와 연구개발 관련 제도 개선을 통한 환경 조성 필요

○ 과학기술 현안 및 이슈의 대응을 위해 다양한 이해관계자의 의견을 충분히 청취 및 수렴하여 과학기술적 대안 모색 및 정책반영 노력이 필요

□ 과학기술 혁신의 실현 및 확산을 위해 기술·정책 분야별 이슈를 탐색하고, 이를 바탕으로 하는 실행전략 및 방안 마련이 요구

○ 기술혁신 아젠다를 바탕으로 하는 실행전략 및 방안을 마련하고, 정책과의 연계성 강화 노력 필요

제2절 연구 내용 및 추진 체계

1. 연구 내용

□ 본 연구는 미래사회 대응을 위한 기술혁신 아젠다 발굴 및 R&D 투자전략 수립을 목표로 연구 내용을 구성하였으며 1장 서론에서 연구배경과 필요성을 제시

□ 2장에서는 지식혁명 시대의 초혁신과 대전환을 조망하고, 정부R&D 예산 30조원, 국가 R&D 100조 시대를 앞두고 2023년도 정부 R&D 투자전략 의제를 발굴

○ 지식기반 경제사회의 성숙과 과학기술 주도의 혁신성장 시대를 맞이하여 글로벌 위험을 발전의 기회로 전환하는 국가 R&D 투자전략과 체계를 모색

○ 주요국의 과학기술 동향을 조망하고 주요 연구개발 생태계 분석을 통해 혁신전략 시사점 및 투자 의제에 대한 정책 제언을 제시

□ 3장에서는 바이오헬스 3개 분야(의약품, 의료기기, 첨단재생의료)에 대한 기술/정책동향 및 R&D 투자 동향을 분석하고, 차년도 예산 배분·조정을 위한 투자전략 제시

○ 의약품, 의료기기, 첨단재생의료 분야별 국내·외 정책/기술/산업동향을 분석하고 정부 R&D 투자전략을 제시

□ 4장에서는 지속가능한 발전을 위한 정책 이슈를 분석하고 이를 통해 국가 R&D의 중장기적 투자전략을 제시

○ 국가과학기술 R&D 성과를 분석하고 주요국 과학기술 정책동향 분석을 통해 시사점을 도출

○ 중장기적 투자전략 필요성에 따라 국내·외 투자전략 및 현황을 파악하고 중장기 투자전략 수립시 고려사항을 바탕으로 중장기적 R&D 투자전략 비전 및 목표를 도출

□ 5장에서는 미래사회 이슈 해결과 과학기술혁신 관점에서 주요 기술의 시장·산업·정책 및 정부 R&D 투자 동향을 분석하고 시사점을 도출

○ 신시장/신산업 창출 가능성 관점에서 중요도가 높고 사회·정책적 이슈가 되는 기술을 선정하여 국내외 기술/산업/정책 및 R&D 투자 동향을 조사하고, 이를 기반으로 해당 기술 분야에 대한 정책제언 및 시사점을 도출

○ 산업 경쟁력 강화, 국민 삶의 질 향상, 신성장동력 확보 등 정부의 R&D 정책목표 실현을 위해 필요한 기술을 선정하여 시장·정책 동향 및 정부 R&D 투자 동향을 심층분석

2. 추진 체계

□ 본 연구는 정부 R&D투자의 전략성 강화를 위한 정책기반을 마련하고자 수행하였으며, 이를 위하여 분야별 기술전문가, R&D 예산 전문가 논의를 통해 연구대상을 도출

○ 4개 그룹을 구성하여 추진하였으며, 각 그룹은 현안 및 미래사회 이슈 분석, 분야별 R&D 투자전략 분석, 주요 정책 아젠다 및 R&D 투자전략, 미래대응 기술 심층분석을 수행

○ 매년 주요 기술·정책 분야를 선정하여 R&D 투자전략 분석 연구를 수행

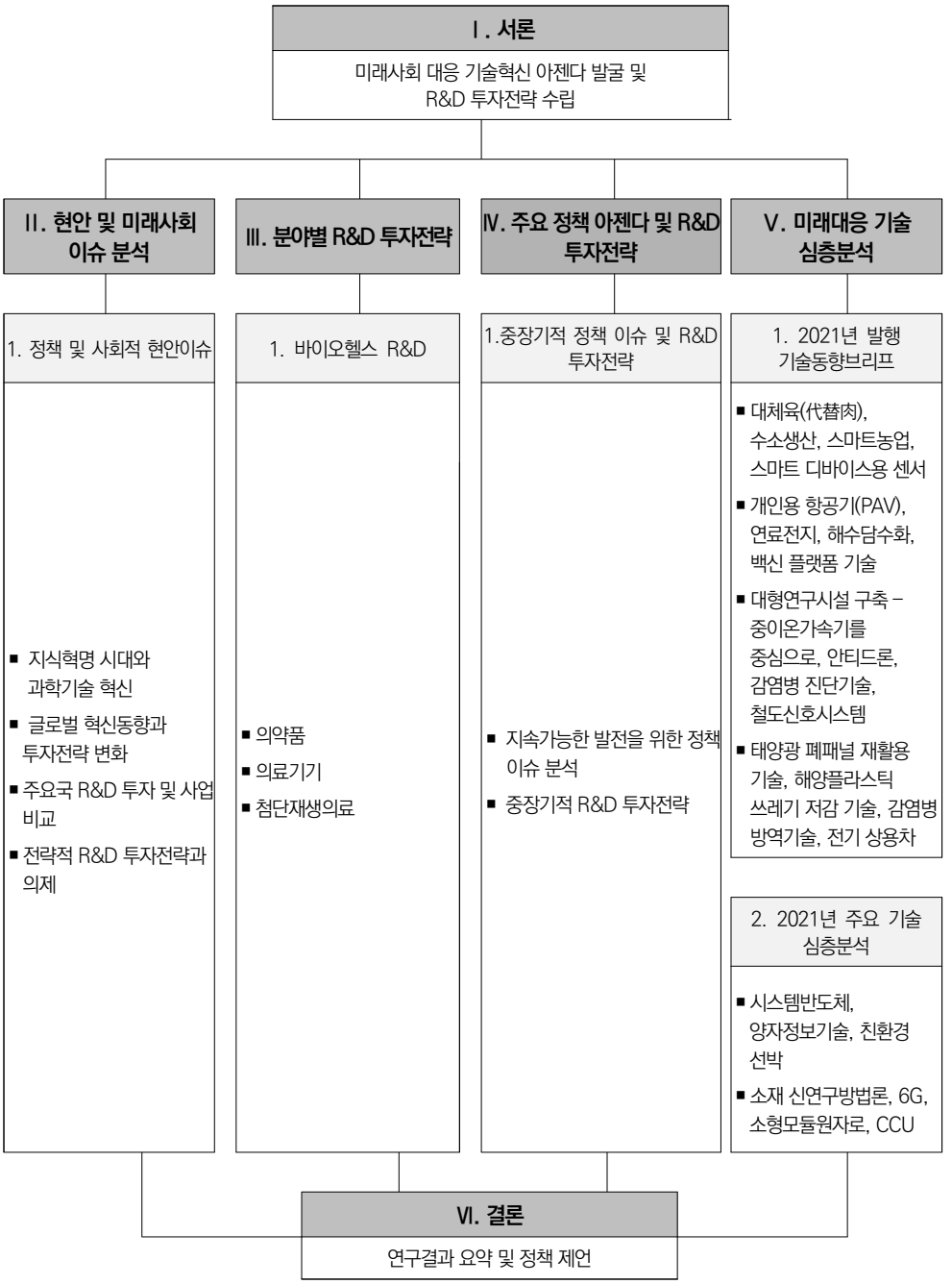
- 2022년에는 바이오헬스의 3개 분야(의약품, 의료기기, 첨단재생의료)에 대한 R&D 투자전략 분석 연구를 수행
- 지속가능한 발전을 위한 정책 이슈 분석을 통해 중장기적 R&D 투자전략 수립 연구를 수행

○ 미래대응 기술 심층분석 대상 선정 시 전년도 본부 수행연구를 적극 활용하거나 기술분야 내 미추진 연구 및 최신 동향분석이 필요한 분야를 주제로 선정하는 등 체계적인 방식으로 주제를 발굴하여 추진하고 있음

- 미래대응 기술 심층분석은 10대 기술분야*에서 사회적 니즈가 존재하고 최근 이슈로 급부상 중인 기술을 기준으로 주제를 발굴하여 심층분석을 진행

  * ICT·SW, 생명보건의료, 에너지자원, 소재나노, 기계제조, 농림수산식품, 우주항공해양, 건설교통, 환경기상, 기초

〈표 Ⅰ-2〉 연구 추진체계


Ⅰ. 서론
미래사회 대응 기술혁신 아젠다 발굴 및 R&D 투자전략 수립
Ⅱ. 현안 및 미래사회 이슈 분석
Ⅲ. 분야별 R&D 투자전략
Ⅳ. 주요 정책 아젠다 및 R&D 투자전략
Ⅴ. 미래대응 기술 심층분석
1. 정책 및 사회적 현안이슈
■ 지식혁명 시대와 과학기술 혁신
■ 글로벌 혁신동향과 투자전략 변화
■ 주요국 R&D 투자 및 사업 비교
■ 전략적 R&D 투자전략과 의제
1. 바이오헬스 R&D
■ 의약품
■ 의료기기
■ 첨단재생의료
1.중장기적 정책 이슈 및 R&D 투자전략
■ 지속가능한 발전을 위한 정책 이슈 분석
■ 중장기적 R&D 투자전략
1. 2021년 발행 기술동향브리프
■ 대체육(代替肉), 수소생산, 스마트농업, 스마트 디바이스용 센서
■ 개인용 항공기(PAV), 연료전지, 해수담수화, 백신 플랫폼 기술
■ 대형연구시설 구축 – 중이온가속기를 중심으로, 안티드론, 감염병 진단기술, 철도신호시스템
■ 태양광 폐패널 재활용 기술, 해양플라스틱 쓰레기 저감 기술, 감염병 방역기술, 전기 상용차
2. 2021년 주요 기술 심층분석
■ 시스템반도체, 양자정보기술, 친환경 선박
■ 소재 신연구방법론, 6G, 소형모듈원자로, CCU
Ⅵ. 결론
연구결과 요약 및 정책 제언

□ 연구의 추진은 내부 연구진 중심으로 분야별 이슈 발굴·분석을 진행하되, 필요시 산·학·연 전문가 및 원내·외 네트워크를 활용하여 심층분석

○ 내부 연구진은 기술·정책 분야별 이슈 발굴·분석 진행

- KISTEP 분야별 담당자 중심으로 문헌자료 조사·분석과 전문가 의견 수렴을 통해 이슈 후보군 도출부터 심층 분석 전반 수행
- KISTEP 연구그룹 중심으로 이슈 발굴·분석 체계(안) 마련 및 활용 가능한 관련 방법·도구 제안

○ 산·학·연 전문가 및 원내·외 네트워크를 활용하여 이슈 발굴·분석 체계(안) 개선·보완 및 개별 이슈 분석 심화, 결과 공유·확산

- 내부 연구진 중심으로 마련된 이슈 및 연구방법론에 대해 분석하고, 외부 전문가를 활용하여 연구 결과 보완·심화
- 이슈 도출과 심층분석에 산·학·연 외부전문가 활용

○ 심층분석이 필요한 정책분야 아젠다와 관련해서는 전문가 위원회를 구성하여, 이슈 및 현황을 검토하고 추진과제 도출

Ⅱ. 현안 및 미래사회 이슈 분석

제1절 개요

제2절 글로벌 혁신 동향과 유망기술 변화

제3절 주요국 연구개발 투자와 기술전략

제4절 2021년도 R&D 투자전략 아젠다

제1절 개요

1. 작성 배경

□ (지식혁명과 과학기술) 지식기반 경제사회의 성숙과 과학기술 주도 혁신성장 시대, 글로벌 위험을 발전의 기회로 전환하는 국가 R&D 투자전략과 체계 모색

○ (지식혁명) 글로벌 산업·정보·지식화 발전과 세계 시스템의 진화, 주요국의 지식집약산업과 급격한 국부 성장(노동→자본→지식), 주요국 간 지식기반 과학기술 패권 경쟁의 본격화

※ (지식·기술패권) 지식집약산업경제의 성장에 따른 주요국 간 기술 및 국부 경쟁 확대, 미국·중국 간 기술 무역 갈등, 한일 반도체 기술 분쟁, 동맹 간 기술 공급망 및 가치사슬 재편 양상

○ (과학기술) 주요국은 기후·탄소중립 등 초월적 위험 대응 연구, 우주·뇌·양자 등 도전·개척 연구, 로봇·IoT·AI·에너지·생명·국방 등 초격차 혁신 기술(패권·전환·선도) 연구에 주력

※ 주요국은 R&D의 임무 지향성 제고와 함께 프론티어법(미국), 전략산업육성(중국), 혁신도전연구(일본) 강화

□ (혁신 패러다임) 글로벌 위험과 불확실성 대응을 위한 총체적 패러다임 전환 시점

○ (혁신 폭발) 글로벌 위험의 일상·다양화, 불확실·복잡성 문제 대응, 경기부양과 경제성장을 위한 과학기술 수요·공급 확대, 패권경쟁·와해기술 등 시장·시스템 실패와 공급망 훼손 예상

※ 감염병 대응, 탄소 저감, 에너지 전환, 비대칭 지식정보, 지역혁신 불균형, 반도체 소부장, 요소수 공급망 등

○ (초혁신) 초인류(Super Human)·초사회(Ultra Society)·초지평(Beyond Horizon)·초기술(Hyper Tech.)

※ (과학기술의 시간·공간·인간 극복과 확장) AI, 생명, 협력사회, 미지탐사, 가상기술, 메타, 로봇, 양자 등

○ (대전환) 경제사회·환경문화·과학기술, 산업·융합·디지털전환 등 총체적 전환의 지식혁명 패러다임

※ (과학기술 역할) 감염병, 일자리 등 글로벌 위험의 과학기술적 모색(UNISDR, '16~), 경제사회 회복과 성장의 혁신 가속('20~), 지속 가능한 발전(UN SDGs, '15~)과 혁신기업의 가치경영 ESG('21~) 등

□ (우리나라 연구개발) 국가 총투자 100조원 시대, 선도적 투자전략과 시스템 전환

○ (GDP) 10위, (1인당 GDP) 25위, (경쟁력) 23위(과학/2위, 기술/17위), (R&D투자) 5위, (혁신지수) 5위

□ **(글로벌 혁신 의제) 코로나 팬데믹을 넘어 포스트 코로나의 경제사회 및 과학기술 의제로 글로벌 위험 대응과 회복, 지속 가능 발전을 위한 혁신과 전환 강조**

○ (세계지식포럼(WEF)) 팬데믹 위기의 생존과 공존, 팬데노믹스(Padenomics)와 기술지배(Pax Technica) 강조('20.9), 위대한 복귀(Great Reset)를 위한 디지털 전환과 기후변화 대응('21.1) 권고

〈표 Ⅱ-1〉 주요 국제기구의 혁신 의제 및 과학기술 논의 주제

기관	혁신 의제 및 과학기술 주제
세계경제포럼 (WEF)	지구 살리기, 공정 경제, 좋은 기술, 사회와 작업의 미래, 더 나은 비즈니스, 건강한 미래, 지정학을 넘어, (과학기술) 디지털 전환, 기후변화 대응, 혁신 기반 조성 등 강조
국제연합 (UN)	기후변화 대응 실패, 감염병 확산 등 글로벌 위험 보고, 일자리 및 혁신 등 재난분류 확대, 지속 가능한 발전목표(SDGs[3]) 제안, 재난위험경감(UNSDR[4]) 및 대응을 위한 과학기술 역할 강조
경제협력개발기구 (OECD STI)	헬스케어 로봇, 합성생물학, 재난 시 공공 연구자금 및 인프라, 과학기술 인력지원, 재난 시 정부 민간 혁신 지원, 국제협력을 통한 위기 극복, 위기 및 화복을 위한 과학기술 거버넌스 강조
세계은행 (UN World Bank)	COVID-19 팬데믹으로 인한 글로벌 경기침체의 회복세, 기후변화와 경제성장 분석 강화(ESG[5] 데이터 포털 구축), 지식 집약적 자본의 GDP 성장 및 성장률 중 지식자본 기여율 증가

출처: WEF/OECD 외, 2021

□ **(과학기술 주요국) 총생산 활동 및 무역 확대, R&D 투자를 통한 지식혁신 성장**

○ 주요국은 자본집약(건설·설비·지식) 수출입을 기반으로 국가 총생산활동(GDP)를 향상, 연구개발 투자 확대를 통한 지식자본 확충 및 혁식지수 개선, 미래 첨단기술 경쟁력 강화에 주력

3) Sustainable Development Goals(SDGs) : 2015년, UN/WEF 등 글로벌 이슈의 새로운 패러다임으로 제시

4) 유엔재난위험경감사무국(United Nations Office for Disaster Risk Reduction): 기후변화, 지속가능개발 등의 개념과 재난위험경감 연계성 강조, 재난에서 재난위험(Disaster Risk) 중심으로 패러다임 전환

5) 비재무적 요소인 환경(Environment)·사회(Social)·지배구조(Governance)으로 기업평가, 세계은행이 활용·확대(UN, '06)

〈표 Ⅱ-2〉 국가 연구개발 투자규모 및 세계혁신지수 TOP5 국가와 순위

지표 및 지수	미국	중국	독일	일본	한국	영국	스위스	스웨덴
1년간 GDP('21, IMF[6]/WB)	1	2	4	3	10	5	18	22
1인당 GDP('21, IMF/WB)	5	59	17	24	27	21	3	11
국가 R&D 투자('19, OECD)	1	2	3	4	5	7	11	14
세계혁신지수('21, UN WIPO[7])	3	12	9	13	5	4	1	2

출처: IMF/OECD/UN WIPO

□ 본 고에서는 지식혁명 시대의 글로벌 경제사회 변화와 주요국의 과학기술 동향을 조망하고 주요 연구개발 생태계 분석으로 혁신전략 시사점 및 투자 의제를 도출해 제언하고자 함

2. 「2022년도 정부 R&D 투자방향 및 전략 의제」 수립 절차와 범위

□ 글로벌 경제사회 동향 및 과학기술 이슈를 파악하고 주요국 투자현황 및 혁신시스템을 분석해 2022년도 정부 R&D 투자전략 시사점 및 의제를 도출

○ (지식혁명과 과학기술) 포스트 코로나를 넘어, 인류의 미래 반세기를 이끌 과학기술 지식혁명

○ (글로벌 과학기술 투자) 전방위 위험관리, 과학기술의 초혁신과 대전환, 超세계·인류·사회·기술화

○ (주요국 연구개발 시스템) 주요국의 선도적 혁신 투자 동향과 전략적 연구개발 사업의 분석

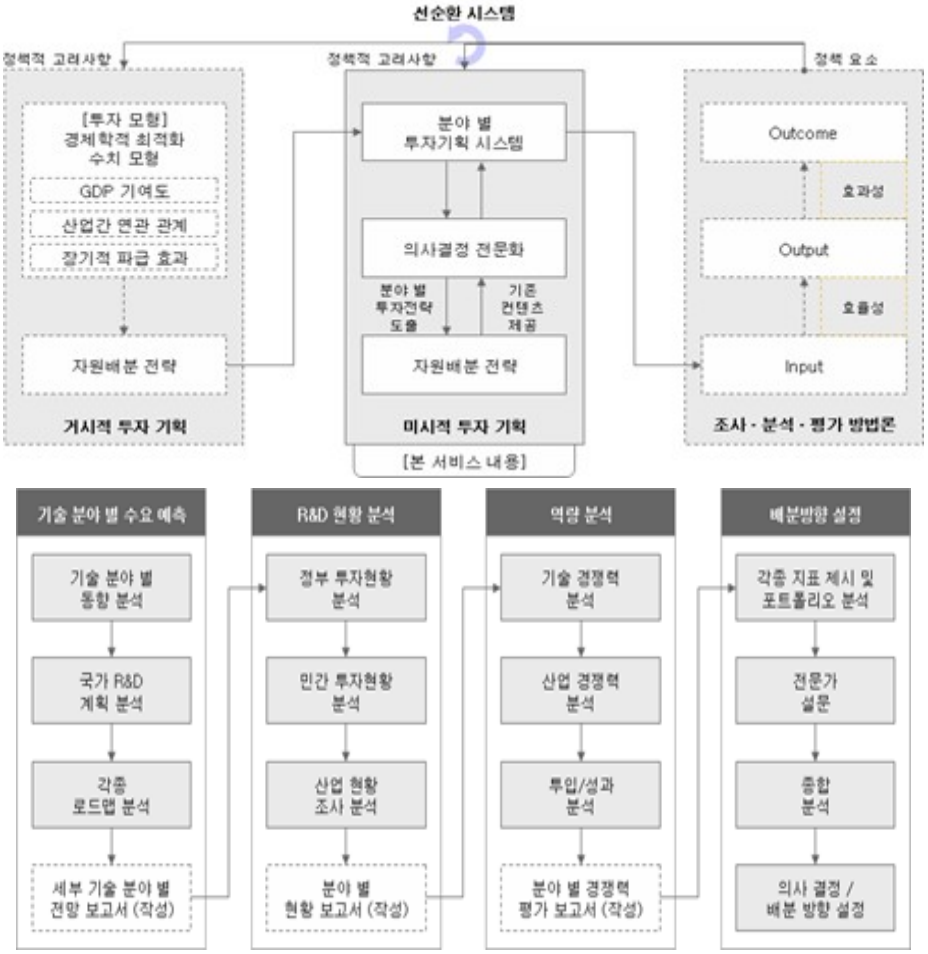
○ (투자전략 시사점과 의제) 진화적 과학기술 지식혁명, 임무 지향의 정부 R&D 투자 의제

□ 글로벌 환경 변화를 통한 거시적 과학기술 패러다임을 조망하고 주요국의 R&D 동향 분석으로 미시적 주안점을 종합해 정부 투자전략 시사점과 의제로 정리

6) 국제통화기금(INTERNATIONAL MONETARY FUND), 1945년 선진국의 기금 조성으로 창설된 금융 국제기구
7) 세계지식재산기구(World Intellectual Property Organization), 국제연합 전문기관으로 지적재산권 보호 및 조약 제정

출처 : 딜로이티 외

[그림 Ⅱ-1] 글로벌 환경 변화와 과학기술 및 R&D 분석을 통한 국가 투자전략 아젠다 도출 흐름



[그림 Ⅱ-2] 정부 R&D 예산의 거시적 투자전략과 미시적 투자전략 수립 방법과 프로세스 흐름

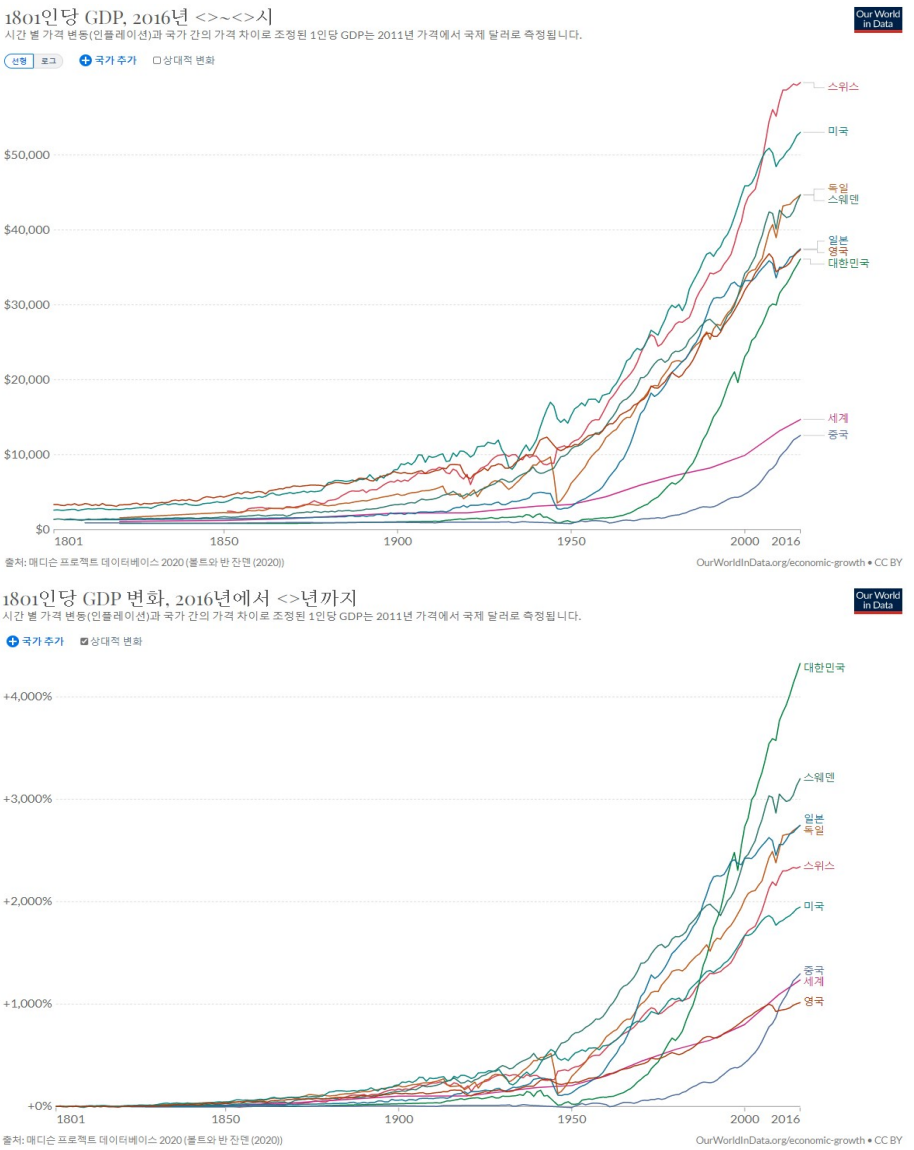
□ 산업혁명과 융합, 코로나 위기의 회복·포용, 기후·탄소중립의 초월적 위험, 패권 경쟁과 탈세계화, 생존·공존의 비대칭 혁신과 격차 등 글로벌 리스크 폭발

○ (위험의 기회 전환) 급격한 글로벌 환경 변화의 대응과 발전, 지식자본과 선도적 혁신역량으로 가능

○ (성장과 패권 경쟁) 산업·세계·정보·지식화, 중국 성장과 미국 견제, 글로벌 공급망과 가치망 재편

○ (주요국 혁신 성장) 자본집약(건설·설비·지식) 수출입 성장, 지식자본·서비스 첨단기술 혁신주도

※ R&D투자 주요국(미국, 중국, 일본, 독일, 한국), 세계혁신지수 주요국(스위스, 스웨덴, 미국, 영국, 한국)



[그림 Ⅱ-3] 1800년 이후 주요국의 1인당 GDP 성장 추이와 상대적 변화 추이 (OWD 2021, 참고 재작성)

□ 코로나 위기 극복과 글로벌 위험 대응, 지속 가능한 발전을 위한 지식혁명 주력

○ 실물경제 한계(디지털 확장), 패권 경쟁 리스크, 기후·탄소중립 등 글로벌 위험과 과학기술 혁신 폭발

〈표 Ⅱ-3〉 과학기술·연구개발의 경제사회목적별 유형 분류

구분	세부 유형	국가
과학기술 R&D 예산	- (S&T지표) 국방, 경제발전, 건강환경, 교육사회, 우주탐사개발, 비목적 기초연구, GUF(대학진흥)	OECD
	- (프리스카티 매뉴얼) 지구탐사·개발, 환경, 우주탐사·개발, 운송·통신체계·기타인프라, 에너지, 산업생산·기술, 건강, 농업, 교육, 문화·레크레이션·종교·대중매체, 정치·사회체계·구조절차, 일반지식증대(GUF), 일반지식증대(GUF, 대학 R&D활동지원금), 국방	
분류	- 연구분야(자연, 생명, 인공물, 인간, 사회, 인간과학과 기술, 기타), 적용분야(공공, 산업)	한국
R&D 사업	- 연구개발(기초연구, 단기산업기술, 중장기산업기술, 공공기술, 지역연구, 국방기술), 연구기반조성(인력양성, 시설장비구축, 성과확산, 국제협력)	
R&D 성과	- 과학(논문, 신자원·물질, 사회적 평가), 기술(지식재산(특허·비특허), 非지식재산(기술·가치·표준·생산), 성장동력창출(콘텐츠·SW·서비스·제품·플랜트·신약의료·무기), 사회적 평가), 경제(직접성과(기술료, 경제효과), 간접성과(기술활용, 중소기업지원), 기술사업화, R&D서비스, 인적자원·고용), 사회(인적자원·고용, 지역사회, 사회적 가치, 농업, 공공복지, 과학대중화, 국제협력), 인프라(연구인프라, 우주, 국방)	

출처: OECD MSTI, 과학기술정보통신부

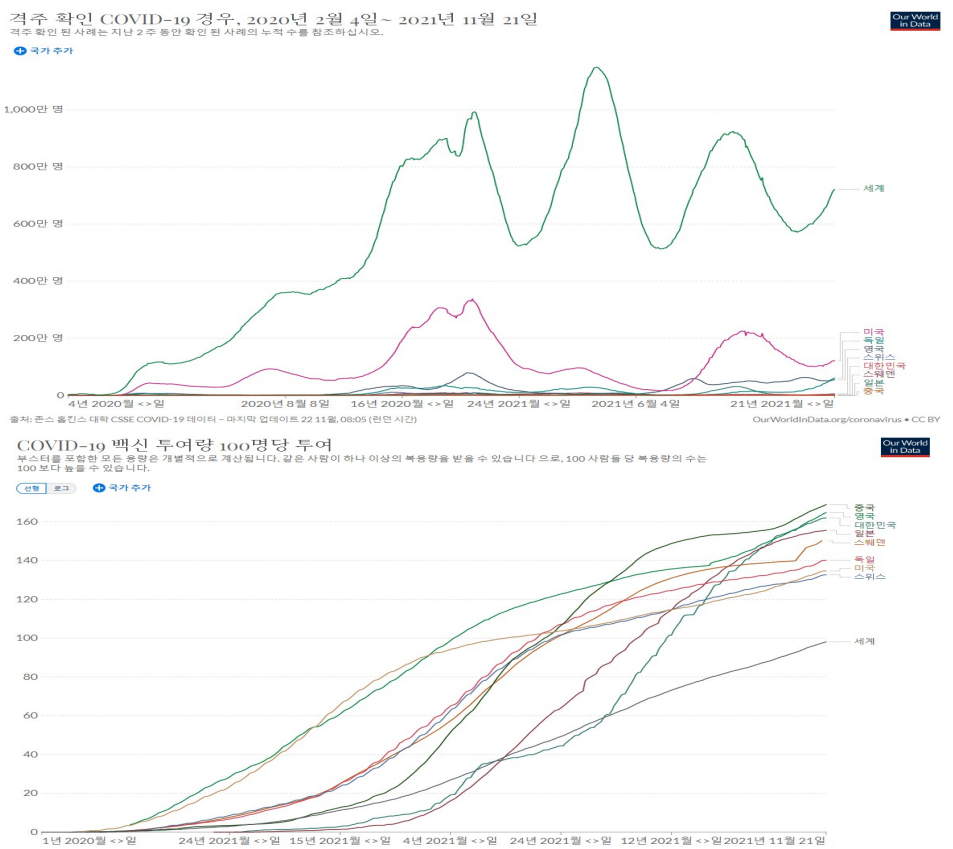
제2절 지식혁명 시대와 과학기술 혁신

1. With COVID-19 팬데믹, 과학기술을 통한 안전과 혁신 성장의 가치

□ COVID 팬데믹 4차 유행, 글로벌 경기침체 지속과 주요국의 긴축 재정 기조

○ 국가별 보건의료·바이오·디지털·제조산업 등 자본·경제사회 환경에 따라 대응·회복 격차

※ 주요국은 GDP 대비 10% 이상 긴급재정 투입, 우리나라도 13.1% 수준(250조원 긴급지원, 기획재정부)



출처 : 존스홉킨스대학 외

[그림 Ⅱ-4] COVID-19 팬데믹의 주요국 확산 현황 및 100명당 백신접종 추이

□ 국제연합(UN)은 위험·재난 유형을 건강, 고용, 일자리, 산업화, 혁신 등으로 확대

○ 산업·세계·기후 등 자연·인위적 글로벌 위험 대폭 증가(WEF Global Risk Report, ’21)

○ 인명·생계·건강 등 경제·사회·환경적 위험·재난의 경고와 함께 과학기술 역할 권고

〈표 Ⅱ-4〉 UN의 잠재적 위험(Risk)과 발생적 재난(Hazard)의 유형과 과학기술 권고

위험(Risk)	유형 분류	과학기술의 역할과 권고
지속 가능한 발전목표 (SDGs[8])	- 양극화, 불평등, 지구환경 등 경제·사회·환경적 글로벌 위협 요인 - (17개 목표) 빈곤종식, 식량안보, 건강보장, 교육보장, 성평등달성, 물관리, 에너지확보, 고용과 일자리, 산업화와 혁신, 국가 간 불평등 감소, 도시주거안정, 소비생산양식 보장, 기후변화 대응, 해양자원보존, 자연생물보존, 효과·포용적 제도구축, 글로벌협력 등	- 과학기술은 새로운 통찰력과 방법을 제시하고 오래된 문제를 해결하며 보다 높은 기준과 증거 기반 정책수립을 지원 - 과학기술 정보지식 공유, 복합위험 다학제 연구 시스템 구축 등 과학기술과 정책연계 강조
재난위험 경감 (UNSDR[9])	- (6개 재난위험) 생물학(감염병, 바이러스 등), 자연적(복합재난), 지질학(지진,화산 등), 수문 기상학(기상이변), 사회자연(자연개발), 기술(인공시설, 산업 등)	

출처 : UNISDR 참고 재구성

□ 세계경제성장률 전망치 우상향 회복세, 미국·중국의 성장세 둔화 시 경제위기 우려

○ (신흥국) 인도, 인도네시아, 터키 등 성장세, (정체국) 독일, 프랑스, 캐나다, 이탈리아 등 성장 저조

○ 우리나라는 미국, 호주 수준의 성장률 회복세, 주요국은 경기회복·사회구제의 대규모 확장 재정과 경기침체로 인한 저성장, 재정 악화에 직면, 민간 주도의 시장 혁신 유도와 경제성장 촉진

8) Sustainable Development Goals(SDGs) : 2015년, UN/WEF 등 글로벌 이슈의 새로운 패러다임으로 제시

9) 유엔재난위험경감사무국(United Nations Office for Disaster Risk Reduction): 기후변화, 지속가능개발 등의 개념과 재난위험경감 연계성 강조, 재난에서 재난위험(Disaster Risk) 중심으로 패러다임 전환

경제성장률	2020년	2021년			2022년		
		'21.1월 (A)	'21.4월 (B)	조정폭 (B-A)	'21.1월 (C)	'21.4월 (D)	조정폭 (D-C)
세계	-3.3	5.5	6	0.5	4.2	4.4	0.2
선진국	-4.7	4.3	5.1	0.8	3.1	3.6	0.5
(소비자물가)	-0.7	-1.3	-1.6	-0.3	-1.5	-1.7	-0.2
미국	-3.5	5.1	6.4	1.3	2.5	3.5	1
유로존	-6.6	4.2	4.4	0.2	3.6	3.8	0.2
독일	-4.9	3.5	3.6	0.1	3.1	3.4	0.3
프랑스	-8.2	5.5	5.8	0.3	4.1	4.2	0.1
이탈리아	-8.9	3	4.2	1.2	3.6	3.6	0
스페인	-11	5.9	6.4	0.5	4.7	4.7	0
일본	-4.8	3.1	3.3	0.2	2.4	2.5	0.1
영국	-9.9	4.5	5.3	0.8	5	5.1	0.1
캐나다	-5.4	3.6	5	1.4	4.1	4.7	0.6
기타 선진국	-2.1	3.6	4.4	0.8	3.1	3.4	0.3
한국	-1	3.1	3.6	0.5	2.9	2.8	△0.1
신흥개도국	-2.2	6.3	6.7	0.4	5	5	0
(소비자물가)	-5.1	-4.2	-4.9	-0.7	-4.2	-4.4	-0.2
중국	2.3	8.1	8.4	0.3	5.6	5.6	0
인도	-8	11.5	12.5	1	6.8	6.9	0.1
러시아	-3.1	3	3.8	0.8	3.9	3.8	△0.1
브라질	-4.1	3.6	3.7	0.1	2.6	2.6	0
멕시코	-8.2	4.3	5	0.7	2.5	3	0.5
사우디	-4.1	2.6	2.9	0.3	4	4	0
남아공	-7	2.8	3.1	0.3	1.4	2	0.6

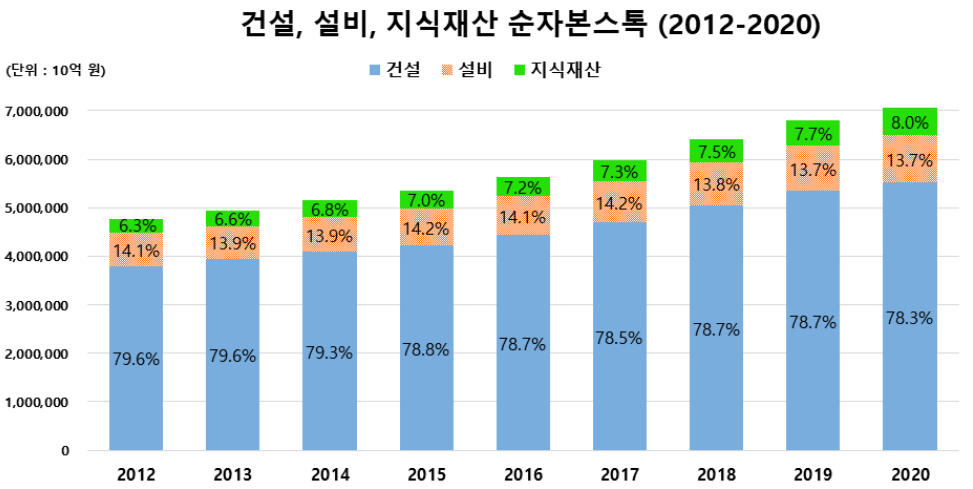
(단위 : %)

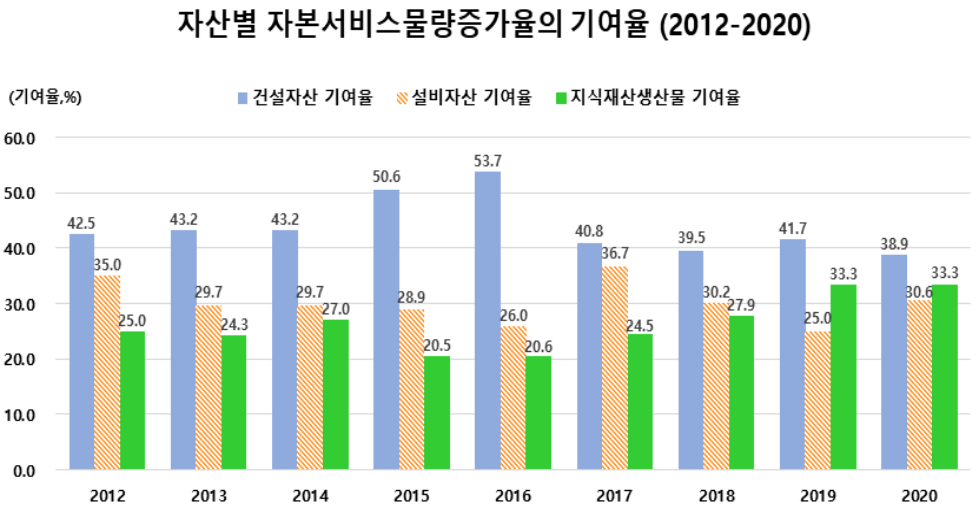
국가명	2020년	2021년	2019년 대비	2022	2023	2024	2025	2026년	2019년대비 성장율
대한민국	-1.0	3.6	102.6	2.8	2.6	2.4	2.3	2.3	115.8
남아공	-7.0	3.1	95.9	2.0	1.4	1.3	1.3	1.3	103.1
독일	-4.9	3.6	98.5	3.4	1.6	1.5	1.2	1.1	107.4
러시아	-3.1	3.8	100.6	3.8	2.1	1.8	1.8	1.8	112.4
멕시코	-8.2	5.0	96.4	3.0	2.1	2.0	2.0	2.0	107.6
미국	-3.5	6.4	102.7	3.5	1.4	1.5	1.6	1.6	112.9
브라질	-4.1	3.7	99.4	2.6	2.1	2.0	2.0	2.0	110.6
사우디	-4.1	2.9	98.7	4.0	2.8	2.8	2.8	2.8	114.6
스페인	-11.0	6.4	94.7	4.7	2.8	2.4	1.4	1.4	107.3
아르헨티나	-10.0	5.8	95.3	2.5	2.1	1.7	1.6	1.5	104.6
영국	-9.9	5.3	94.9	5.1	2.0	1.8	1.5	1.4	106.6
이탈리아	-8.9	4.2	94.9	3.6	1.6	0.9	0.9	0.8	102.5
인도	-8.0	12.5	103.6	6.9	6.8	6.7	6.6	6.5	143.4
인도네시아	-2.1	4.3	102.1	5.8	5.7	5.4	5.2	5.2	133.2
일본	-4.8	3.3	98.3	2.5	1.1	0.7	0.6	0.5	103.7
중국	2.3	8.4	110.9	5.6	5.4	5.3	5.1	4.9	143.3
캐나다	-5.4	5.0	99.4	4.7	2.2	1.4	1.4	1.5	111.0
터키	1.8	6.0	107.9	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	128.3
프랑스	-8.2	5.8	97.1	4.2	1.7	1.5	1.4	1.2	107.2
호주	-2.4	4.5	102.0	2.8	2.3	2.3	2.4	2.5	115.0

[그림 Ⅱ-5] '20년 이후 세계경제성장률의 전망과 주요국가별 전망치
(IMF/OECD/기획재정부 외, 2021)

□ 글로벌 경제회복 및 성장동력으로 주요국 간 자본집약 수출입의 확대 전망, 우리나라의 자본물량 증가율 중 지식자본서비스 기여율이 지속 증가 예상

○ (자본스톡) 지식자본의 자본물량증가율 비중(70년대 4% → '90년대 13% → 2020년 33%)





[그림 Ⅱ-6] 우리나라의 자본스톡 구성 추이와 자본물량증가율의 비중 변화 추이
(통계청 외, 2021)

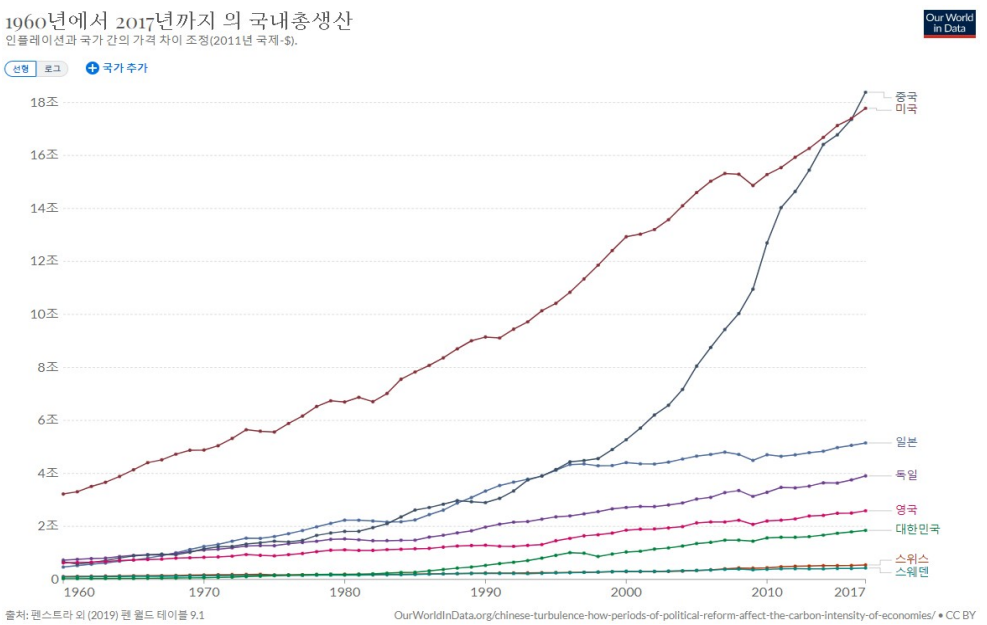
2. 위협과 기회의 공존, 불확실성 및 복잡성 대응의 초혁신과 대전환

□ 미국과 중국 중심 성장세, 금융·자본·디지털 시장 및 첨단기술의 지식 거래 촉진

○ 2차 세계대전 이후 국가 간 교류 및 무역 증진으로 글로벌 경제성장 촉발, 세계화·산업화·자본화·공동화로 금융위기·팬데믹 등 글로벌 위험 발생, 실물경제의 불확실성 및 복잡성 대폭 증가

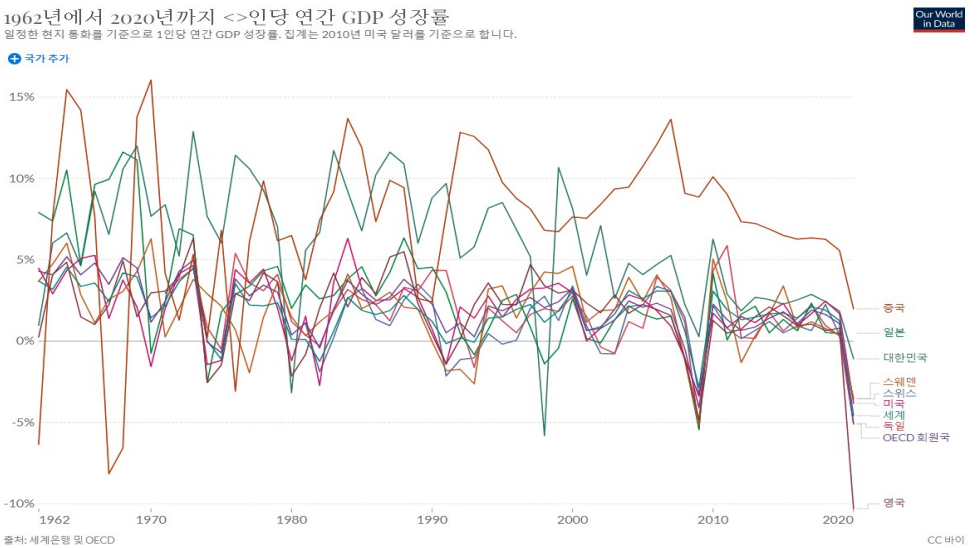
○ 생산·유통·소비의 경제환경 및 산업기술의 발전과 교통·운송·통신, 인터넷 등 첨단기술 혁신으로 국가 간 경제사회 연결성이 지속 증가(ETH Zurich, '17.04.20)

※ 세계무역기구(WTO) 출범, 자유무역협정(FTA) 체결, 경제협력체(EU, APEC[10], RCEP[11]) 등) 확장 등 국가 간 무역과 협력, 대면 교류(관광, 취업 등) 및 문화(종교, 언어, 사고·생활 방식 등) 확산



10) 아시아태평양경제협력체(Asia-Pacific Economic Cooperation): 세계의 인구 40%, GDP의 52%, 교역량의 45%를 차지하는 세계 최대의 지역협력체로 1989년 구성, 한국·미국·일본 등 21개국의 국제 각료 협의 기구

11) 역내포괄적경제동반자협정(Regional Comprehensive Economic Partnership): 아시아 태평양 지역의 자유무역협정(FTA)으로, 북미자유무역협정(NAFTA), 유럽연합(EU)을 넘는 세계 최대 경제 블록('19년 협정, '20년 서명)

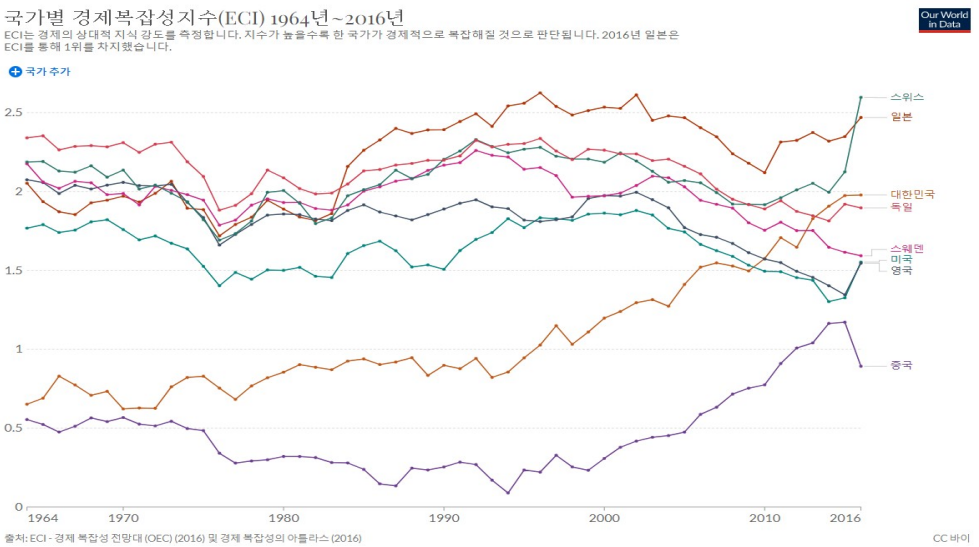


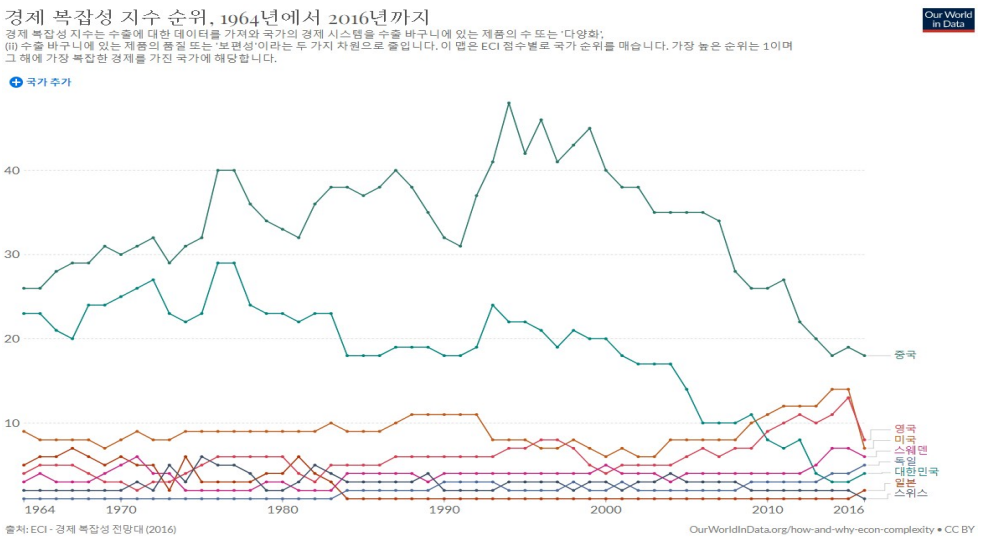
출처 : 세계은행/OWD 외

[그림 Ⅱ-7] 주요국의 1960년 이후 GDP(PPP) 추이와 1인당 GDP 성장률 변화 추이

□ 경제 복잡성 증가와 글로벌 가치사슬과 공급망 재편, 첨단 과학기술 획득에 주력

○ 글로벌 금융·실물거래에서 저위험, 고가치의 디지털·지식자산과 첨단기술 중심 혁신 성장 전망





출처: OWD/ECI 외. 참고 재구성

[그림 Ⅱ-8] 주요국의 경제 복잡성 지수 변화와 국가별 복잡성지수 순위

제3절 글로벌 혁신 동향과 핵심기술 변화

1. 위험의 일상화와 다양화, 환경·지리적 자연재해와 인적 재난 우려

□ 기후변화, 감염병, 재난재해, 경기침체 등 자연환경 및 인적 위험 증가

○ 세계 금융 위기('08)이후 지속되었던 경제적 위험에서 최근 5년 자연재해 등 환경 위험에 크게직면, 특히 2021년은 팬데믹에 따른 보건 위험이 대두 (WEF 2021)

○ UN은 자연재해 등 환경적 위험에 대응하기 위해 지속가능발전목표(SDGs)를 국가 정책적 아젠다로 대응하도록 권고(2030 지속가능발전 의제)

※ UN은 지속가능발전목표(SDGs)와 재난위험경감(UNISDR)을 선진국 포함 목표로 재설정('17)

	1st	2nd	3rd	4th	5th
2021	Extreme weather	Climate action failure	Human environmental damage	Infectious diseases	Biodiversity loss

	1st	2nd	3rd	4th	5th
2020	Extreme weather	Climate action failure	Natural disasters	Biodiversity loss	Human-made environmental disasters
2019	Extreme weather	Climate action failure	Natural disasters	Data fraud or theft	Cyberattacks
2018	Extreme weather	Natural disasters	Cyberattacks	Data fraud or theft	Climate action failure
2017	Extreme weather	Involuntary migration	Natural disasters	Terrorist attacks	Data fraud or theft
2016	Involuntary migration	Extreme weather	Climate action failure	Interstate conflict	Natural catastrophes
2015	Interstate conflict	Extreme weather	Failure of national governance	State collapse or crisis	Unemployment
2014	Income disparity	Extreme weather	Unemployment	Climate action failure	Cyberattacks
2013	Income disparity	Fiscal imbalances	Greenhouse gas emissions	Water crises	Population ageing
2012	Income disparity	Fiscal imbalances	Greenhouse gas emissions	Cyberattacks	Water crises

출처: WEF Global Risk Report 2021

[그림 Ⅱ-9] 세계적발생 가능한 위험과 파급력이 큰 위험 Top 5 변화추이

□ 미국과 중국의 긴장 지속 속에 따른 국제 정치 및 환경 변화의 가속

○ 중국의 지속적 성장과 잠재적 위험 증가, 미국의 중국 견제는 과학기술 중심으로 강화

○ 팬데믹 이후 미국은 자국 경제 회복과 산업 경쟁력 강화를 위한 미국의 리쇼어링, 자국 내 고용 창출, 보호 무역 및 미국 내 투자 유치 전략 강화 전망

〈표 Ⅱ-5〉 민간 글로벌 컨설팅 기업의 글로벌 트랜드 2021 선정

트렌드	개요 및 착안점
혁신	· 미국에서는 2020년 3분기에만 신규 비즈니스 어플리케이션이 150만 개 이상 만들어져 2019년 같은 기간의 거의 두 배에 달하는 기록을 세움. 이러한 비즈니스 중 많은 수가 1인 기업으로 유지되고 있고 이는 코로나 이전의 전통적 고용형태가 코로나 시대로 들어오며 변모되는 걸 받아들어여함을 의미함. · 소매업체는 산업용 로봇으로 배달 서비스를 제공하고 호텔은 객실을 사무실 공간으로 변환함. 디지털화와 원격 근무가 빠르게 가속화 되는 중이지만 이러한 변화의 대부분이 대기업에 집중되어 있는 것처럼 보임. 이에 혁신이 지속적인 생산성 향상을 추구하려면 다른 규모의 산업 구조에도 더 깊이 들어가야함을 시사함. · 유의해야 할 점은 잠재적 생산성의 60%는 비용 절감을 모색하는 조직에서 비롯될 수 있기 때문에 이는 곧 일자리 감소를 대비해야함으로 판단됨.

트렌드	개요 및 착안점
소비자 행동	· 코로나19 기간 동안 소비자 행동의 가장 큰 변화는 전자 상거래 및 원격 옵션으로의 전환임. 전 세계 전자 상거래는 코로나 이전 수준보다 2-5배가 증가하며 대량 소매업체의 온라인 판매량은 93%가 증가함. 하지만 전자 상거래는 매장 내 쇼핑보다 수익성이 떨어지므로 기업은 장기적 가치창출을 위해 데이터 기반 마케팅, 유통 관리 및 지속 가능성을 개발해야함. · Mckinsey가 조사한 주요 13개국 중 9개국에서 적어도 소비자들의 2/3가 새로운 종류의 쇼핑을 시도했다고 하며 이는 소비자 충성도의 붕괴를 일으켜 기업에게도 큰 영향을 끼칠 것으로 예상됨. · COVID-19 백신 출시는 소비 반등 수치에 영향을 미칠 것임. 인구 고령화가 높은 국가는 소비 반등에서 덜 낙관적이지만 중국만큼은 예외임.
환경	· 글로벌 투자회사인 BlackRock은 2021년 글로벌 전망에서 과거와는 달리 지속가능성으로의 전환이 수익률 제고에 도움이 될 것 이라고 발표하고 지속가능성 투자로의 지각변동이 가속화되고 있음을 시사하며 녹색성장 투자를 재고시킴. · 세계적으로 오염 비용과 환경의 지속 가능성 이점이 더 많이 인식되면서 중국, 걸프만 일부 국가, 인도는 10년 전만 하더라도 가능성이 없는 것으로 여겨졌을 만한 규모로 녹색 에너지에 투자하고 있음. 이에 환경의 지속 가능성은 선진국만의 참여 뿐만이 아닌 전세계적 트렌드로 자리잡으며 중요성이 부각되는 걸 알 수 있음. · EU는 코로나19 위기에 대한 8800억달러 계획의 약30%를 기후 변화 관련 조치에 사용할 계획이며, 여기에 최소 2400억 달러의 "녹색 채권"발행이 포함됨.
바이오 혁명	· 코로나 대유행은 생물학이 새로운 방식으로 기술을 만나 의료 혁신의 속도를 크게 가속화하는 출발점이 될 것. · COVID-19 백신의 개발은 MGI가 바이오 혁명이라 부르는 생체분자, 바이오시스템, 바이오머신, 바이오컴퓨팅의 잠재력을 보여주는 가장 강력한 예시임. · MGI는 전 세계 질병 부담의 45%가 오늘날 과학적으로 생각할 수 있는 능력으로 해결 가능하다고 추정하며 세계 경제에 대한 물리적 투입량의 최대 60%는 이론적으로 생물학적으로 생산가능하다고 주장함. 이러한 바이오 혁명은 향후 10년 동안 수조 달러의 경제적 효과 창출을 이끌 수 있는 것으로 주목됨.
기업 포트폴리오 구조 조정	· 코로나19 위기는 일부 산업이 도약하고 다른 산업이 유독 심하게 타격 받는 극적인 상황을 연출함. 코로나가 끝나면 이러한 경제 부문별 타격 차이는 줄어들지 몰라도 산업별 힘의 위치관계 변동은 장담할 수 없음. 이러한 변동을 결정할 핵심은 회복력에 있음. 따라서, M&A를 통해 기업의 세력을 키우거나 하는 여러 가지 방법으로 기업 존폐를 극복하여 경쟁 우위를 선점하고 구축할 수 있는 능력을 키워야함.
공급망 변화	· 코로나19 대유행은 많은 기업들의 길고 복잡한 공급망 취약성을 드러냄. 특히 한 국가나 심지어 한 공장에서의 공급 전망이 어두워지고 중요 부품의 부족으로 생산이 중단되면서 이를 고치기위한 거대한 재균형이 시작됐음. 이에 2025년까지 세계 상품 수출의 1/4나 되는 4조 5천억 달러가 바뀔 수 있기 때문에 공급 유통의 큰 변화 흐름을 잘 따라가야 함. · 특히 선진국과 개발도상국간의 제조 비용 차이가 줄고 있음. 제조업에서 Industry 4.0원칙을 채택한 기업은 중국과 미국의 인건비 차이의 절반을 상쇄할 수 있음. 이에 따른 무역관계의 여파를 주시해야함.
디지털화	· 코로나19로 공급망 이중화 구축, 데이터 보안 개선 운영에 고급 기술 사용증가가 20-25배 더 빠르게 움직임. 코로나 위기는 AI 및 디지털화와 같은 영역에서 몇 년 더 빠르게 가속화 됐는데 이는 아시아지역에서 훨씬 두드러짐.

트렌드	개요 및 착안점
	· Mckinsey 설문에 따르면 기업은 앞으로 고객 상호작용방식의 최소 80%를 디지털 방식으로 수행할 가능성이 3배 더 높은 것으로 나타남. 이에 따라 기업은 운영을 재구성하고 혁신할 수 있는 기회를 가져야함.

출처: McKinsey&Company 2021. 재구성

2. 비대면 경제사회 조성과 첨단산업 혁신을 위한 디지털 전환 가속

□ COVID-19 팬데믹으로 디지털 전환과 과학기술의 경제사회적 중요성 인식

○ 4차 산업혁명과 과학기술 발전의 촉진제로 팬데믹 영향, 테크노믹스 지속 확장

- AI, 양자컴퓨팅, 사이버보안 등 디지털 기술에 대한 미국, 유럽, 중국 등의 전략적 투자 지속
- 제조업 등 전통산업에 AI, LoT등 디지털 신기술이 접목한 신산업, 고부가가치 창출 노력

〈표 Ⅱ-6〉 디지털 전환의 정의

구분	정의 및 내용
베인앤 컴패니	디지털 엔터프라이즈 산업을 디지털 기반으로 재정의하고 게임의 법칙을 근본적으로 뒤집음으로써 변화를 일으키는 것임
AT 커니	모바일, 클라우드, 빅데이터, 인공지능, 사물인터넷 등 디지털 신기술로 촉발되는 경영 환경상의 변화에 선제적으로 대응하고 현재 비즈니스의 경쟁력을 휘기적으로 높이거나 새로운 비즈니스를 통한 신규 성장을 추구하는 기업 활동임
PWC	기업 운영에서 디지털 소비자 및 에코시스템이 개대하는 것들을 비즈니스 모델 및 운영에 적응시키는 일련의 과정
마이크로 소프트	고객을 위한 새로운 가치를 창출하기 위해 지능형 시스템을 통해 기존의 비즈니스 모델을 새롭게 구성하고 사람과 데이터, 프로세스를 결합하는 새로운 방안을 수용
IBM	기업이 디지털과 물리적인 요소들을 통합하여 비즈니스 모델을 변화시키고 산업에 새로운 방향을 정립하는 것임
세계경제 포럼	디지털 기술 및 성과를 향상시킬 수 있는 비즈니스 모델을 활용하여 조직을 변화 시키는 것임

출처: 디지털아카이브그룹

□ 국제적 감염병 유행에 따른 팬데믹 대응의 국제적 협력과 신속 대응, 바이오 산업에 대한 투자 인식 확대

○ 다양한 코로나 발생 초기 약 50억불의 관련 연구비 긴급 편성, '20.1월~10월 사이에 발간된 코로나 관련 연구발간물은 7만편에 달하며 이중 75%를 공개(OECD 조사)

- COVID-19 팬데믹 종식을 위한 백신과 치료제 개발의 중요성에 따라 의료산업을 중심으로 신규 연구 프로젝트 집중
- COVID-19 기원, 확산 등 기초 연구, 백신후보 물질 및 치료제 개발, 기타 전염병 관련 연구에 과학기술이 핵심적인 역할을 담당함에 따라 바이오 산업을 중심으로 한 과학기술에 대한 중요성 재인식의 계기 마련

〈표 Ⅱ-7〉 포스트 코로나, 10대 트렌드

메가 트랜드	개요 및 특징
큰 정부의 귀환	· 코로나 19 위기를 계기로 경제·사회 시스템의 상호연계성 복잡화에 따른 국가의 역할 강조, 유사 위기 충격에 대응할 수 있는 중장기적 관점 정책 방향 설정 중요
결정적 분기점 : 역동과 역전	· G0시대(글로벌 패권 부재), '역동적 성장력(글로벌 패권국 역전을 위한 가속화)'이 새로운 기회 마련할 것으로 전망
온택트 경제	· 소비, 의료, 교육 등 기존 오프라인 서비스의 온라인 전환 가속화, MZ세대가 주 소비층으로 부상, 무인화,자동화에 대한 투자 증대로 온택트 소비시장 급성장과 새로운 성장 모멘텀으로 작용
위험 예방과 감시의 혼돈	· 개인정보 공개와 활용으로 사회적 민감성 증가, 딥페이크나 사이버공격 등 정보 활용의 단점을 상쇄할 수 있는 민주적인 시민사회 건설 필요성 증가
플랫포노베이터 (Platform + Innovator)	· 플랫폼에서 파괴적 혁신을 주도하고 플랫폼 상에서 신기술 개발과 적용, 혁신적 아이디어를 창출할 수 있는 무한한 가치 보유. · 차별화된 서비스 지속적 발굴, 혁신적 아이디어 도입 등 비즈니스 환경 변화에 민첩하게 대응할 필요 있으며 디지털 플랫폼을 통한 시장 참여자 간 상호작용 강화 예상
황금 사각형 (Golden Quadrangle) 경제 구조로 전환	· 기술 혁신으로 국가경쟁력 확보를 위해 "성장-교육-고용-복지"의 황금사각형 모델 제안 · 인적 역량 강화 + 전국민 디지털 역량 강화를 위해 교육이 고용 창출과 동시에 새로운 성장 동력으로 작용할 수 있는 선순환 경제 구조 정착
최적화된 맞춤화 · 개인화 서비스 확산	· 미코노미 (Meconomy), 나심비(나+심리+가성비) 등 '나'를 중심으로 둔 초개인화가 새로운 소비 트렌드로 부상
봉쇄 속 연결	· 물리적 봉쇄를 극복, 디지털 기반으로 새로운 연결 주도 (= 디지털 세계화) · 5G, 클라우드 등 핵심 IT 인프라 기반으로 제약없이 글로벌 네트워크 형성하는 초연결사회
고용시장 변화와 불안한 일자리	· 디지털화, 원격근무 등올 인한 기존 일자리의 급격한 감소 우려, · 배달, 배송 등 플랫폼 노동은 서비스 종류에 따라 일하는 방식의 유연성 확대가 가능
협업 필수인 사회	· 코로나19 극복을 위한 대응 경험과 관련 정보 공유, 백신 및 치료제 공동연구

메가 트랜드	개요 및 특징
	· 정부-기업-국민의 긴밀한 공조로 새로운 리더십 창출과 경제주체 간 협력체계 구축 및 운용

출처: IT & Future Strategy, NIA, 2021

〈표 Ⅱ-8〉 포스트 코로나 주요 메가트랜드와 이슈 키워드 조사

대분류	트렌드	키워드	관련 기사 링크
경제	코로나19	위드코로나	https://www.bosa.co.kr/news/articleView.html?idxno=2160884
		핀테크	https://www.itfind.or.kr/trend/trend/focus/list.do?selectedCategory=BreakingIssue22
		소비트렌드 변화	https://home.kpmg/kr/ko/home/newsletter-channel/202008/market-reader.html
	미국 중국 패권 경쟁	리쇼어링	http://www.financialreview.co.kr/news/articleView.html?idxno=20967
		대만 갈등	https://imnews.imbc.com/replay/2021/nwtoday/article/6310805_34943.html
		(美)AUKUS vs.(中)CPTPP	https://www.news1.kr/articles/?4439407
		GVC 재편	https://www.sedaily.com/NewsVIew/22RGNP7BQS
	산업 재편	디파이	https://magazine.hankyung.com/money/article/202110196761c
		제조업 혁신	https://m.etnews.com/20210505000018
		디지털 플랫폼	https://www.mk.co.kr/news/economy/view/2021/10/1015924/
사회	환경	기후변화	https://www.bbc.com/korean/international-59039937
		기상이변	https://www.donga.com/news/Inter/article/all/20211013/109676298/1
		탄소중립	http://www.todayenergy.kr/news/articleView.html?idxno=241579
	안보	바이오안보	https://m.dongascience.com/news.php?idx=49535
		사이버안보	https://zdnet.co.kr/view/?no=20211018154556
		대북 관계	https://www.donga.com/news/Politics/article/all/20211029/109974257/1
	ESG	지속가능	http://www.gukjenews.com/news/articleView.html?idxno=2337460
		친환경	https://biz.newdaily.co.kr/site/data/html/2021/10/14/2021101400067.html
		거버넌스	http://www.iloveorganic.co.kr/news/articleView.html?idxno=330763
기술	비대면	비대면 교육	http://www.readersnews.com/news/articleView.html?idxno=104271
		메타버스	https://www.mk.co.kr/news/world/view/2021/10/1024241/
		비대면 진료	https://m.health.chosun.com/svc/news_view.html?contid=2021102701844
	4차 산업 혁명	Data	https://m.mk.co.kr/opinion/contributors/view/2021/10/940653/
		Network	https://m.etnews.com/20210522000049
		AI	http://www.ohmynews.com/NWS_Web/View/at_pg.aspx?C

대분류	트렌드	키워드	관련 기사 링크
			NTN_CD=A0002783532
	신산업 창출	수소경제	https://www.sedaily.com/NewsVIew/22QE2KW5X7
		미래차	http://www.thelec.kr/news/articleView.html?idxno=12753
		바이오헬스	https://www.hellot.net/news/article.html?no=62722
		시스템 반도체	https://www.chosun.com/economy/tech_it/2021/10/28/3P2CUSQOI5AWVCCFA7PF2MTZS4/

출처: KISTEP 사업조정전략센터, 2021

3. 4차 산업혁명과 글로벌 혁신을 이끌 유망기술 분야

□ 디지털·바이오·신소재·에너지·환경 기술분야 중심으로 미래 경제사회 혁신

○ 비대면 경제사회 환경 조성과 인류의 생존, 지속 가능한 발전을 위한 기술 분야 주도

※ 우리나라는 미래유망기술분야(6T) 중 IT·BT·NT·ET의 기술 경쟁력 확대, CT·ST 기술기반 구축

○ COVID-19 팬데믹과 기후변화로 4차산업혁명의 혁신기술 분야로 더욱 부각

※ 우리나라는 2001년부터 6T 분야의 민관 투자 대폭 확대, IT·BT·NT의 경제사회 성과 창출

〈표 Ⅱ-9〉 OECD의 2030년을 이끌 10대 기술 선정

기술트렌드		개요 및 착안점
디지털	인공지능	· 인공지능 로봇이 물류 및 제조업 부문에서 인간의 노동력을 대체함에 따라, 노동비용 절감 및 생산성 향상에 기여. 엔터테인먼트, 의료, 마케팅, 금융 등 다양한 서비스 산업 분야에서의 활용 확대 · 인공지능 어플리케이션이 관리, 인지, 분석 작업을 수행함에 따라 중산층이 고용 관련 압박을 받게 됨. 다만, 인공지능 효과를 활용하기 위해서는 IoT를 포함해 신뢰할 수 있는 운송, 에너지, 커뮤니케이션 네트워크 필요
	빅데이터 분석	· 빅데이터 활용은 개별기업의 혁신 및 경쟁을 결정짓는 핵심요소가 됨. 빅데이터 분석을 통해 공공 부문의 행정 효율 제고 가능. 특히, 공공 연구 데이터에 대한 엑세스 확대로 연구시스템의 효과성 및 생산성을 혁신적으로 제고. 데이터 전문가 양성을 위한 정책과 빅데이터 분석을 위한 인프라 구축 필요. 특히, 국가 간, 부문 간, 조직 간의 원활한 데이터 흐름을 보장할 수 있도록, 법적 제도 개편이 필요하며, 사회적 불평등 해결 및 프라이버시, 보안, 정합성 문제를 고려해야 함
	사물 인터넷	· 사물인터넷은 경제 및 사회에 영향을 미침. 그 중 헬스케어, 제조업, 네트워크 산업 및 정부에 대한 영향이 가장 클 것으로 예상됨. 데이터 보호 및 안전과 같은 보호 장치 마련 필요
	블록체인 기술	· 블록체인은 컴퓨터 네트워크 내에서 가치 이전을 가능하게 해주는 일종의 데이터베이스로, 금융 부문의 비트코인이나 디지털 화폐를 넘어 국가 간 송금/결제, 클라우딩 펀딩, 인증 시스템 생성 및 관리, 스마트 계약 등 다양한 분야에서 활용 가능.

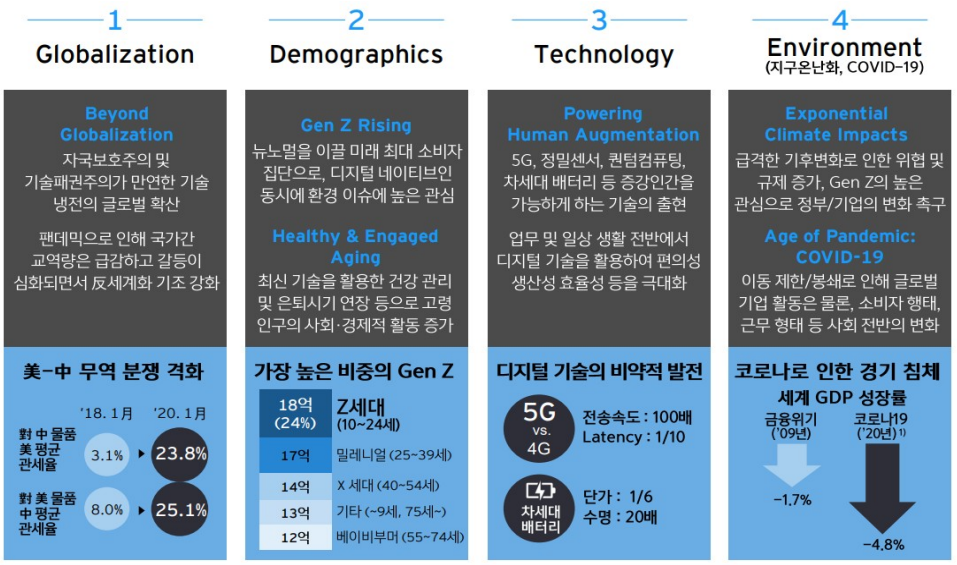
기술트렌드		개요 및 착안점
		다만 블록체인기술을 활용한 애플리케이션 사용자 수가 일정 규모 이상이 되어야 승인이 이뤄지는 점 때문에 불확실성 상존
바이오	신경기술	· 신경기술을 활용, 뇌의 프로세스를 이해하고 신경 관련 질병을 연구, 치료하고 인지능력을 향상시킴 으로써 인간의 수행 능력을 제고할 수 있음. 새로운 신경기술과 그 응용은 기존 패러다임에 변화를 가져올 수 있기 때문에 연구개발 초기 단계부터 윤리적, 법적, 사회적 문제를 평가하고 판단하는 규제정책이 수반 되어야 함
	합성 생물학	· 에너지(예: 저탄소 연료), 의학(예: 백신 개발), 농업 (예: 맞춤형작물), 화학제품 등 다양한 분야에서 합성생물학 활용이 가능하며, 유전자편집과 DIY 트렌드가 부상하고 있음. 바이오 안전 및 윤리적 이슈의 문제를 포함
신소재	나노소재	· 나노소재 시장 규모는 200억 유로 정도로 의학, 에너지, 수소저장, 촉매제, 경량 건축, 자외선 보호 등 상업적 활용 분야가 확대될 전망. 나노소재의 높은 연구개발비와 환경에 대한 위험성, 규제 관련 불확실성은 나노소재 연구개발 및 상업화에 부정적 영향을 미침
	적층가공 기술	· 일반적으로 3D프린팅으로 알려진 적층가공 기술은 재료를 여러 층으로 올려 제품을 제작하는 기술로 CAD 소프트웨어를 활용하여, 플라스틱, 금속, 세라믹, 유리등의 소재를 이용해 모델, 패턴, 툴링 부품 등을 제작 · AM(Additive Manufacturing) 기술은 헬스, 의학 및 바이오기술 분야의 혁신을 촉진할 것이며, 기계공학, 자동화, 우주방위 산업 분야의 금속 가공 기술 발전에도 도움을 줄 것임. 다만 데이터 보호, 제품 책임사항 및 지적재산권 관련 법과 규제 문제가 중요한 문제로 대두되며, 높은 제품가격 등의 제약 사항이 존재
에너지 + 환경	나노 마이크로 위성	· 500kg미만의 고성능 소형 및 초소형 위성 활용 증가. 각국 정부는 교육적인 목적으로 대학, 연구소 등에서 도입해 활용하고 있음. · 위성 관련 창업 클러스터 내 스타트업을 위한 우호적 환경으로 시너지 효과를 기대하고, 소형위성의 다양성이 커질수록 공공 데이터 수집양도 증가할 것임. 이를 위한 규제와 비즈니스 환경 조성을 위한 노력 필요
	첨단 에너지 저장	· 에너지 수요와 공급 간의 시간적, 지리적 격차를 좁히는 것이 핵심이 됨. 현재 다양한 에너지 저장기술은 개발 초기단계. 소형 가전제품에 첨단에너지 저장기술이 널리 활용되는 동시에 에너지 그리드 등 대규모 저장기술에 대한 수요 역시 증가할 전망. 에너지 저장 기술은 온실가스 배출 감축에도 기여할 것임. 향후 에너지 저장기술의 비용 효율 개선을 위해 추가적인 연구개발이 중요

출처: OECD STI Outlook 2016. 재구성

□ 미래 변화 동인인 기술·세계·인구·환경의 와해성 혁신과 총체적 전환

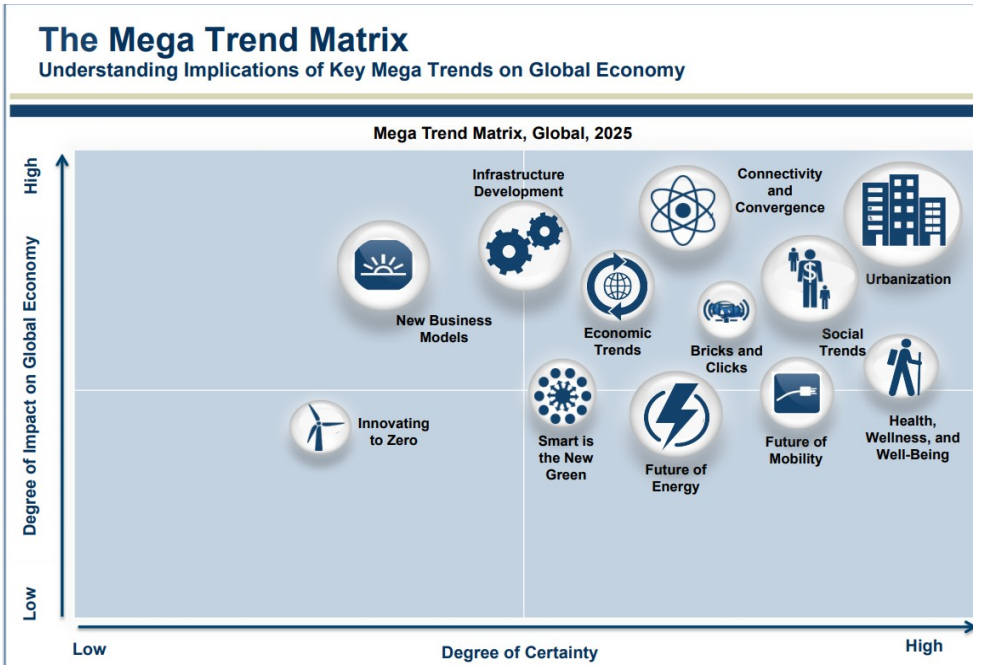
○ 기술패권 경쟁 등 기존 국제질서의 급격한 변화 움직임 속에 전세계적 MZ세대의 출현, 디지털 기술 발전과 함께 온난화, 팬데믹 등 세계적 위기 상황이 변화를 가속화 (Ernst&Young, 2020)

○ 경제적 힘 이동, 기후변화, 기술적 돌파, 인구와 사회변화, 급속한 도시화(GeniusWorks 외, '20)



출처: Ernst&Young 2020.11.

[그림 Ⅱ-10] 포스트코로나 시대 글로벌 메가트렌드 동인



출처: Frost&Sulliavan 2021

[그림 Ⅱ-11] 세계 경제 주요 메가트렌드

4. 4차산업혁명의 융합 혁신과 테크노믹스(Technomics) 확장

□ 지식정보 사회의 과학적 진보와 기술 수요의 폭발적 증가로 융합혁신 촉진

○ 4차산업혁명은 디지털, 바이오, 소재의 동시 혁신과 AI, 무인차, IoT, 스마트 홈, 데이터, 스마트 도시, 우주, 무인기, 센서 등 기존 플랫폼의 전환과 전방위 융합혁신 가속화

○ 4차산업혁명의 차세대 혁신 분야로 산업·기술·제품 간 융합기술, 비대면 센서 등 디지털·바이오·소재 전환기술에 주목

※ 융합 분야로 전자·나노 신약, 진단·다기능칩, 바이오 컴퓨터, 양자, AI, 로봇, 무인차 등에 주목

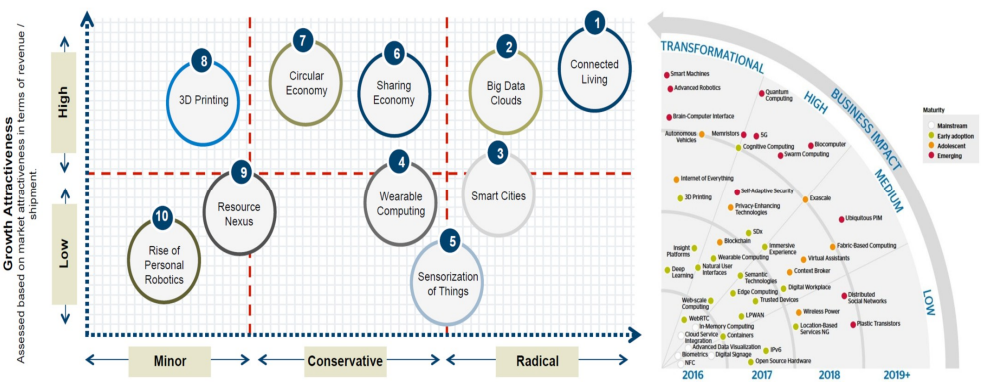
출처: Frost&Sulliavan 2020, 2021 재구성

[그림 Ⅱ-12] 산업·제품기술 간 융합 사례와 융합기술을 포함한 50가지 신흥 기술

□ 와해성 및 비즈니스 전환을 촉발하는 유망기술 분야가 시장·투자 매력도 우수

○ 초연결 생활, 빅데이터 클라우드, 스마트 도시, 웨어러블 컴퓨팅, 사물센서, 공유경제, 순환경제, 3D 프린팅, 자원결합, 개인로봇 등 차세대 융합기술로 부상

※ 전환·영향도가 높은 기술은 스마트기계, 로봇, 무인차, 뇌컴퓨팅, 양자, 군집컴퓨팅, 5G 등(OECD, ’16)



출처: Frost&Sulliavan/OECD, 재구성

[그림 Ⅱ-13] 융합기술 분야의 시장 성장 매력도와 혁신기술의 영향도

□ 최근의 혁신기술은 시장의 관심이 높고 시장화에 성공했거나 성공가능성이 높은 기술들이 선정

○ MIT는 2017년 이후 자율주행, 양자, 인공지능, 유전자, 로봇 등을 선정해 왔으며 특히 2021년은 시장에서 사용하고 있는 백신, 틱톡, 수소에너지 등을 혁신 기술로 선정

※ 환경, 건강, 생활, 경제 등 경제사회 수요가 높고 시장진입·형성이 가능한 기술에 주목

〈표 Ⅱ-10〉 MIT의 10대 혁신기술 변화

2018	2019	2020	2021
3D 금속 프린팅	로봇의 능력/재능	해킹할수 없는 양자인터넷	메신저RNA 백신 (mRNA)
인공배아	원자력의 새로운 시도	초 개인화 의학	GPT-3 (AI 언어모델)
감지(sensoring) 도시	조산아 예측	디지털 화폐	틱톡 추천 알고리즘
만인을 위한 인공지능	알약에 든 장 진단 기기	노화 방지약	리듐금속 배터리
듀얼 신경망	맞춤형 암 백신	인공지능이 발견한 분자	데이터 트러스트
바벨피시 통역기	소고기 없는 버거	메가위성	친환경 수소 에너지
탄소제로 천연가스	이산화탄소 포집기	양자우위 컴퓨터	디지털 접촉 추적
완벽한 온라인 프라이버시	손목에 차는 심전도측정기	초소형 인공지능	초정밀 위치정보 기술
유전자 운세	하수도 없는 위생시설	차별화 개인정보보호	원격 시대
물질의 양자 도약	자연스럽게 말하는 AI 비서	기후변화 속성	다중 스킬 AI

출처: MIT 2021. 재구성

□ **세계경제포럼의 유망기술은 코로나 팬데믹, 자연재해 등 위기상황을 해결할 수 있는 바이오, 의료 부문의 기술선정이 두드러짐**

○ 양자, 로봇, 인공지능 등과 함께 전통 바이오 의료 산업 기술과 4차산업혁명 관련 기술이 결합된 융합기술 분야로 경제사회 파급성과 혁신성이 매우 높을 것으로 전망

〈표 Ⅱ-11〉 WEF의 10대 유망기술 변화

2017	2018	2019	2020	2021
암진단 생체 검사법	증강현실	순환경제 바이오플라스틱	마이크로니들	탈탄소화 상승
공기로부터 물 획득 기술	맞춤의학	소셜 로봇	태양열 기반 화학	스스로 비료를 만드는 작물
시각 작업을 위한 딥러닝	인공지능 주도 분자 디자인	소형 장치를 위한 작은 렌즈	가상 환자	호흡의 퍼프와 질병 진단
태양광 이용 액체연료 제조	더 많은 기능을 갖춘 디지털 헬퍼	신약 표적의 구조결함 단백질	공간 컴퓨팅	의약품 주문형 제조
인간세포도감	이식 가능한 약물 생성 세포	환경오염 저감 스마트 비료	디지털의료	무선 신호 에너지
정밀농업	유전자 드라이브	협업 텔레프레즌스	전기항공	건강수명 연장 공학
환경친화 이동수단 저가 촉매	양자 컴퓨터 알고리즘	선진 식품 추적 및 포장기술	저탄소시멘트	그린 암모니아
게놈백신	플라스모닉 재료	안전성이 향상된 원자로	양자센서	무선 이동 바이오마커장치
공동생활의 지속 가능한 설계	실험실에서 재배한 고기	DNA 데이터 저장	그린수소	현지 재료로 인쇄된 주택
양자컴퓨팅	전자약	유틸리티 규모 재생에너지 저장	게놈합성	전지구 연결 IoT

출처: WEF 2020.11.

〈표 Ⅱ-12〉 KISTEP 10대 유망기술 변화

2018	2019	2020	2021
반응형 주택	친환경 바이오플라스틱 필름	실시간 건강 모니터링 기술	비침습 방식 심혈관질환 관리
라이프로그 개인비서 SW	인체감각 대체 기기용 소재	고용량 장수명 배터리	자율주행 자동차
커넥티드카	3D 프린팅 인공장기	AI 기반 자연재해 예측 및 능동대응	LXP기반 개인 맞춤형 큐레이션
모듈형 대중교통 시스템	불이 안나는 고체전해질	고정밀지도 제작	자율주행 딜리버리 서비스
무선전력전송	수송용 고속 충방전 배터리	오작동 실시간 감지 및 이상징후 탐지	지능형 엣지 컴퓨팅
스마트 타투	무겁지 않은 초경량 수송체	개인정보 흐름 탐지	VR/홀로그램 기반 협업플랫폼
소프트로봇	차세대 핵융합 소재	정보 진위 판별	Beyond Screen 기술
스마트팜	스트레처블 디스플레이	초실감 인터렉션	인공지능 보안 기술
인공지능 보안	자율 수명 제어 화학소재	AI 플랫폼 구축	초실감 미디어 제작 중계 기술
혼합현실	완전 직물형 웨어러블 소자	설명가능 인공지능	녹색포장 기술

출처: KISTEP 2021. 재구성

□ 디지털 전환을 이끌 정보통신기술은 초연결·초융합·초지능·초격차·초현실 지향

○ 사물지능, 인공지능, 분산 컴퓨팅, 도시, 보안, 로봇, 이동체 등 유망기술로 선정

〈표 Ⅱ-13〉 민간기업이 선정한 2021년 트렌드와 메가 기술

Deloitte	CES	Gatner
2021년과 그 이후를 지배할 7대 메가 트렌드	포스트 코로나19 시대 혁신 7대 트렌드	전략 기술
미 · 중 긴장 지속과 국제질서 변화, 탈탄소화 및 탄소중립, ESG 경영, 금융산업 재편과 디지털 전환 (ex. 핀테크, 빅테크(간편결제), 마이데이터), Post Pandemic 시대의 금융 안정 (ex. 양적완화정책) 제조업의 산업 패러다임 전환, LMD, 구독서비스, 언택트 소비 등 뉴노멀 시대 소비 트렌드 변화[12]	원격경제의 부상, 물아일체, 공간의 한계를 넘어선 여가 활동, 기술 분야의 경계 사라짐, 지능화된 사물 (IoT), 탄소중립, ESG 경영 등 더불어 사는 사회 추구, 플랫폼 경쟁 – 테슬라 OTA, 자동차 ADAS, MBUX, iDrive, 애플카 등[13] 모바일 광대역을 넘어선 5G, 자율주행차량, 스마트시티, 스마트한 건강기술 (ex. 모바일 헤모글로빈 모니터 (Bosch)), 생체인식기술, 원격교육, 재택근무, IoT(사물인터넷) 확장 (ex. 웨어러블용 자가학습 AI 센서, 자가진단 여과 시스템을 갖춘 스마트 냉장고 (LG))	행동 인터넷 IoB, 총경험, 개인정보보호 강화, 분산 클라우드, 어디서나 작업, 사이버 보안 메시, 지능형 컴포지토리 비즈니스, AI 엔지니어링, 하이퍼오토메이션

출처: Deloitte/Gatner/CES 2021. 재구성

□ 글로벌 연구집단 기반의 첨단기술 분야 유망기술 탐색 목록

〈표 Ⅱ-14〉 핵심기술 탐색을 위한 유망 신기술 목록

	기술 상태 및 응용
농업	[농업 로봇] 연구 개발, 시험 프로젝트, 농업 무인 항공기, [폐생태시스템] 연구 개발, 과학 연구, 우주 식민지, 온실, 생물권, 에덴 프로젝트, 바이오 쉘터, 해수 온실,영구 수확 온실 시스템, [배양 육류] 연구개발, 인도적, 자원 효율적, 건강하고 저렴한 고기, 새로운 수확, [수직 농업] 연구개발 실험 및 확산, 작물 및 육류 생산
항공 우주	[플라즈마 추진] 연구 개발, 우주선 추진, [펄스 폭발 엔진] 대부분 인스턴스화, 2008년 현재 하나의 프로토타입 비행, 추진
시공	[고고학] 연구·개발·상용화, [4차원 인쇄] 연구개발, [돔 도시] 두바이 몰 오브 더 월드 프로젝트의 진행 중, 날씨가 통제되는 도시
금융	[분산 원장] 초기 사용, 블록체인은 분산 원장의 예, 트랜잭션 비용 제거, 낮추는 행위 분산, 개방형 및 투명한 기록 유지, 계층이 아닌 네트워크 시스템; 암호화비트코인, 디지털 화폐, 암호화폐, 전자민주주의, [디지털 통화] 프로토타입, 암호화폐(비트코인), 가상화폐, 중앙은행 디지털 화폐, 페이스북의 디엠, [분산 금융] 초기 사용, 중앙 교환에 대한 필요성 제거
소재 및	[에어로겔] 초기 사용, 개선된 절연, 절연 유리, 석유 파이프 라인, 항공 우주, 고열 및 극단적 응용

12) Deloitte Insights No.17 (2021.01.28.) – Chpt 1. 7 Mega Trends (p6)

13) STEPI(과학기술정책연구원) Insight 266호(2021.01.29.) – CES 2021로 본 7대 트렌드 (p12)

	기술 상태 및 응용
섬유 과학	프로그램, [무정형 금속] 특수 사용, 변압기 코어 생산, 무정형 금속 변압기, 바이오 플라스틱, 재활용 가능한 포장 및 일회용 품목, [전도성 폴리머] 프로토타입, 가볍고 저렴한 전선, 정전기 방지 재료, 유기 태양 전지자카드 직조, [극저온 치료]프로토타입, 석유 및 가스 블로우 아웃 방지제(BOP), 제트 엔진, 전력 터빈, 기관차, 전기 자동차, 기어 및 베어링, [다이나믹 아머] 프로토타입,충전, 선박 보호, [풀러린] 확산, 프그래밍 가능한 문제, [그래핀] 가설, 실험, 확산, 초기 사용, 중량 대비 강도가 높은 부품, 더 높은 주파수에서 작동하는 트랜지스터, 모바일 장치에서 디스플레이 스크린의 낮은 비용, 연료 전지 구동 자동차를 위한 수소 저장, 질병을 진단하는 센서, 보다 효율적인 배터리, [랩 온 어 칩] 일부 상용화, [고온 초전도] 휴대 전화 기지국을 위한 극저온 수신기 프론트 엔드 (CRFE) RF 및 마이크로 파 필터 시스템, 드라이 아이스 프로토타입, 더 높은 온도에 대한 가설 및 실험, 손실 도체 없음, 마찰없는 베어링, 자기 부상, 무손실 대용량 축적기, 전기 자동차,열 없는 일체형 회로 및 프로세서, [자기 나노 입자] 개발 중, [자기 화학적 유체] 개발 및 연구,자기 학적 댐퍼 무거운 모터 댐핑, 건설 차량의 운영자 좌석/운전실 댐핑, 내진을 만드는 구조 내에서 해로운 충격파와 진동을 흡수 건물에 배치 지진 댐퍼는 내진, 차체 갑옷 유체 방탄 저항을 강화, 험비스 및 기타 다양한 모든 지형 차량은 동적 MR 충격 흡수기/댐퍼, 허블 우주 망원경의 교정 렌즈의 건설에 자석 구조 마감 사용, 차량의 서스펜션의 충격 흡수제 자기유체, [미세 유체], [고온 초유동성]초유체 자이로스코프 존재, 매우 낮은 온도에서 작동, 중력, 네비게이션 및 기동 장치의 고정밀 측정, 가능한 장치는 중력자장, 마찰없는 기계장치, [메타머티리얼] 가설, 실험, 확산, 현미경, 카메라, 메타 물질 은폐, 은폐 장치, [금속 폼] 연구·상용화, 우주 식민지, 부동 도시, [다기능 구조] 가설, 실험, 일부 프로토타입, 넓은 상업 범위, 자기 건강 모니터링, 자기 치유 재료, [나노 물질: 탄소 나노 튜브] 가설, 실험, 확산, 초기 사용, 더 강하고 가벼운 소재, 공간 엘리베이터, 탄소 나노 튜브, 탄소 섬유의 잠재적 인 응용 프로그램, [프로그래밍 가능한 문제] 가설, 실험, 넓은 범위, 점토트로닉스, 합성 생물학, [퀀텀닷] 연구, 실험, 프로토타입, 상용화 퀀텀닷 레이저, 퀀텀닷 디스플레이, 디스플레이 기술(TV, 프로젝션), 광데이터 통신(고속데이터 전송), 의학(레이저 메스) 프로그래밍 가능한 물질로 향후 사용, [실리체네] 초기 연구, 초합금 연구, 확산 항공기 제트 엔진, [합성 다이아몬드] 연구·상용화, 전자공학, [시간 결정] 연구 실험, 안정적인 큐빗을 갖춘 양자 컴퓨터, [반투명 콘크리트] 상용화, 문과 같은 고층 빌딩, 타워 및 조각의 건설
전자	[생체 인식] 확산, [디지털 향수 기술] 확산, 냄새-비전, 아이 냄새, [전자 코] 연구·상용화, 음식, 화학 무기 및 암 감지, [전자 섬유] 연구·확산, [유연한 전자제품] 상용화, 연구, 개발, 프로토타입, 유연하고 접이식 전자 기기(예: 스마트폰), 경량의 유연한 태양전지, 롤업 배포, 노키아 모프, 유연한 유기 발광 다이오드 [밈스토르] 작동 프로토타입, 더 작고, 빠르고, 전력 소모가 적은 저장, 아날로그 전자 장치, 프로그래밍 가능한 논리, 신호 처리, 신경망, 제어시스템, 재구성 가능한 컴퓨팅, 뇌-컴퓨터 인터페이스 및 RFID, 패턴인식, [분자 전자 제품]연구 개발, [나노 전기 기계 시스템] 연구개발, 솔리드 스테이트 변압기 개발 중 일부 프로토타입, [스핀트로닉스] 프로토타입, 데이터 스토리지, 컴퓨팅 장치,MRAM, [열 구리 기둥 범프] 개별 장치에서 프로토타입 작동, 전기 회로 냉각, 미세 유체 액추에이터, 소형 장치 열전 발전 초고화질 홀로그램 디스크, 금속 절연체 전환, [3차원 집적 회로] 개발·상용화 메모리 및 데이터 처리, [트위드로닉] 개발 중
광전자	[3D 디스플레이, 볼륨 디스플레이] 연구, 프로토타입, 상용화, 텔레비전, 컴퓨터 인터페이스, 영화관, 3 차원 이미지 자동 입체 디스플레이, 입체 디스플레이, 볼륨 디스플레이, 홀로그램 디스플레이, 라이트 필드 디스플레이, 닌텐도 3DS, 스윕 볼륨 디스플레이, [레이저 비디오 디스플레이] 2008년 최초의 상업용 레이저 TV, 미쓰비시 레이저뷰 TV 매우 넓은 색상 영역이 있는 디스플레이 레이저 TV, 디스플레이 기술, [홀로그램 (홀로그램 디스플레이, 컴퓨터 생성 홀로그래피) 확산, [광학 트랜지스터] 일부 프로토타입, [화면 없는 디스플레이 (가상 망막 디스플레이, 바이오닉 콘택트 렌즈, 증강 현실, 가상 현실)] 가설, 실험, 증강 현실, 주식 시장, 사용자 법인 및 회의 상태, 시각 장애에 대한 최신 정보, 헤드 마운트 디스플레이, 헤드 업 디스플레이, 적응 광학, 아이탭, 구글 글래스, 마이크로 소프트 홀로 렌즈, AR 클라우드

출처: wikipedia.org, emerging_technologies#Agriculture

〈표 Ⅱ-15〉 핵심기술 탐색을 위한 유망 신기술 목록

	기술 상태 및 응용
에너지	[공수 풍력 터빈] 연구, 전기 생산, 카이트겐, [아메리슘 배터리] 2019년부터 5~10년 만에 작동 배터리로 추정, 에너지 저장, [인공 광합성] 연구, 실험, 거시과학, 글로벌 프로젝트 관심 높음, 자연 광합성 개선, 도로 건물과 차량, 햇빛과 물을 수소와 이산화탄소, 탄수화물로 변환, 서스테모센, 신재생 에너지, 나노테크놀로지, [집중 태양광 발전] 캘리포니아, 스페인, 북아프리카의 성장 시장, 전기 생산, 데저텍, 브라이트소스 에너지, 솔라 밀레니엄, [극저온 치료]해저 및 심해 석유 및 가스 탐사, 풍력 및 화석 연료 발전, 원자력 발전, 석유 및 가스 블로우 아웃 방지제(BOP), 제트 엔진, 전력 터빈, 기관차, 전기 자동차, 기어 및 베어링, [전기 이중 층 커패시터] 확산, 지속적인 개발, 재생 제동, 에너지 저장, 일반적 충전 속도가 빨르고 오래 지속, 더 유연하고, 친환경, [에너지 수확] 실험, 모바일, 웨어러블 및 유비쿼터스 장치를 위한 일정한 에너지원후마부스, [플라이휠 에너지 스토리지] 상업적 사례, 에너지 저장, [퓨전 파워] 연구,실험, 폐열로 전기, 열, 융합 토치 재활용 생산 ITER, NIF, 웬델슈타인 7-X, 자기 감금 융합, 조밀한 플라즈마 초점, 뮤온 촉매 융합, [세대 Ⅳ 원자로] 연구, 실험, 기존 원자로에서 전기, 열, 원자력 폐기물 비축량의 전환, [중력 배터리] 소규모 예제 에너지 저장, [가정용 연료 전지] 연구·상용화, 오프 더 그리드, 장기 정전 시 백업, 환경 친화적 연료 사용, 전기 생산, 자율 구축, 블룸 에너지 서버, [리튬 공기 배터리] 연구·실험, 노트북, 휴대 전화, 장거리 전기 자동차; 전력망용 에너지 저장, [리튬 철 인산염 배터리] 상용화, 에너지 저장, [리튬 유황 배터리] 연구 개발, 에너지 저장, [마그네슘 배터리] 초기 상용화, 에너지 저장, [마그노닉스] 연구, 데이터 스토리지, [용융 염반응기] 연구,실험, 전기, 열 생산, [나노 와이어 배터리] 실험·프로토타입, 노트북, 휴대 전화, 장거리 전기 자동차, 전력망용 에너지 저장, [나안테나] 연구, 전기 생산, [해양 열 에너지 변환] 프로토타입 전기 생산, [솔리드 스테이트 배터리] 틈새 시장 사용, 하이브리드 자동차, [스마트 그리드] 연구·확산,스마트 미터, 슈퍼스마트 그리드, [우주 기반 태양광 발전] 초기 연구, 전기 생산, [토륨 핵 연료 주기] 연구는 1960년대에 시작, 전기, 열 생산, [소용돌이 엔진] 발전, [무선 에너지 전송] 프로토타입, 확산, 단거리 소비재, 무선으로 구동되는 장비, 노트북, 휴대 전화, 전기 자동차 등 위트리시티, 공명 유도 커플링, [제로 에너지 빌딩] 확장, 모든 가정, 패시브 하우스
문화 오락	[컴퓨터로 생성된 이미지] 개발, 영화, 사진, 딥페이크, 스타일간, 딥드림, [몰입형 가상 현실] 가설적이고 제한된 상용화, 사용자가 의식적인 현실에서 느끼는 것처럼 몰입감을 느끼는 인공 환경, 햅틱 슈트, 몰입 기술, 시뮬레이션 현실, 홀로그램기술
정보 통신	[6G 셀룰러 통신] 연구, 프로토타입, 휴대폰, [주변 인텔리전스] 가설적, [인공 뇌] 연구, 신경질환치료·인공지능 블루 브레인 프로젝트, 인간의 뇌 프로젝트, [인공 일반 지능] 가설, 실험, 지능형 장치 및 로봇, AI는 과학 프로젝트, 정부, 군대, 기업 지배 구조, 영화 및 도서 제작, 발명 등 인공 지능의 진행, 기술 특이성, 인공 지능의 응용 프로그램, [증강 현실] 확산, 구글 글라스, 윈도우 혼합 현실, 마이크로 소프트 홀로 렌즈, 혼합 현실, 스마트 안경, 포켓몬 이동, [탄소 나노튜브 필드 효과 트랜지스터] 연구 개발, 무어의 법칙 확장, [시민 기술] 연구 개발·프로젝트 스마트 시티, 반응하는 정부, 시민기술, 스마트시티, e-민주주의, 오픈 데이터, 지능형 환경, [DNA 디지털 데이터 저장] 실험, 대량 데이터 스토리지, [엑사스케일 컴퓨팅] 프로젝트, [새로운 메모리 기술] 개발 중, T-RAM, memristor, Z-RAM, TTRAM, CBRAM, 소노스, RRAM, 경마장 메모리, NRAM, 위상 변경 메모리, FJG RAM, 밀리페드 메모리, 스카이미온, 프로그래밍 가능한 메탈라이징 셀, 3D XPoint, 페로일렉트릭 RAM, 자기 저항 무작위 액세스 메모리, nvSRAM, [새로운 자기 데이터 저장 기술] 개발(HAMR, BPM); 확산(SMR)) 현재 HDD에 비해 향상된 스토리지 밀도, SMR, HAMR, BPM, MAMR, TDMR, CPP/GMR, PMR, 하드 디스크 드라이브, [4세대 광학 디스크(3D 광학 데이터 저장, 홀로그램 데이터 저장)] 연구, 프로토타이핑, 경제적인 이유로 이전에 삭제된 데이터 저장 및 보관 블루레이 디스크, 광학 스토리지, [그래픽 처리 단위의 범용 컴퓨팅] 비표준화 방법의 확산, 병렬 알고리즘의 크기 빠른 처리 순서, [엑소피질] 원시 증폭 확산; 더 많은 프로토타입 작업, 가설, 더 실질적인 증폭에 대한 실험, [리파이] 데모, 표준화 필요, [머신 비전] 연구, 프로토타이핑, 상용화,

	기술 상태 및 응용
	생체 인식, 제어 공정(예: 무인 자동차, 자동 유도 차량),감지 이벤트(예: 시각 감시), 상호 작용(예: 인간-컴퓨터 상호 작용), 로봇 비전 컴퓨터 비전, 패턴 인식, 디지털 이미지 처리, [모바일 협업 및 e-러닝] 개발·상용화, 보안 네트워크를 통해 실시간으로 휴대용 모바일 장치에서 사용할 화상 회의 기능을 확장합니다. 제조, 에너지, 헬스케어 와 같은 다양한 산업에서 사용, 텔레워크, [다모달 비접촉식 생체 인식 얼굴/홍채 시스템] 공항 및 연방 보안 검색대 배치, 유니모달 얼굴 인식 스캐너, [나노 라디오] 연구 개발, 확산, [신경 형태 공학] 연구 개발, [광학 컴퓨팅] 가설, 실험, 집적 회로의 일부 구성 요소 개발, 더 작고 빠르며 전력 소모가 낮은 컴퓨팅, [양자 컴퓨팅] 실험, 상용화 문제, 화학 모델링, 프로그래밍 된 특성을 가진 새로운 재료, 고온 초전도 및 초유동성의 가설에 대한 훨씬 빠른 컴퓨팅, [양자 암호화] 상용화, 보안 통신, [양자 레이더] 프로토타입, [무선 주파수 식별] 고비용의 확산, 스마트 스토어 - RFID 기반의 셀프 체크 아웃 (모든 수신 및 나가는 제품을 추적), 식품 포장, 스마트 선반, 스마트 카트. [의미론 웹(Web) 또는 응답 기계] 연구, 제한된 사용, 웹의 의미에 따라 웹 데이터를 표시하여 웹을 읽을 수 있도록 의미론 웹, 의미 기반 웹 서비스, 의미 론 웹 스택, 웹 3.0, [소프트웨어 정의 라디오] 개발·상용화, 코그너티브 라디오, 메쉬 네트워크, 소프트웨어 정의 안테나, GNU 라디오, 소프트웨어 정의 라디오 목록, 유니버설 소프트웨어 라디오 주변 장치 [음성 인식] 연구·개발·상용화, [서브 보컬 인식] 연구·개발·상용화, [가상 현실] 확산, 엔터테인먼트, 교육, 오큘러스, 리프트, HTC 바이브, 플레이 스테이션 VR, [하이브리드 포렌식] 연구·상용화, 디지털 포렌식, 전자 검색, 악성 코드 탐지, IT 규정 준수

출처: WikiPedia 외 참고 재구성

〈표 Ⅱ-16〉 핵심기술 탐색을 위한 유망 신기술 목록

	기술 상태 및 응용
의료	[인공 자궁] 가설, 연구, 우주 여행, 외형 임신, 재현, 동성 출산, [신체 임플란트, 보철] 실험, 동물(예 : 뇌 임플란트), 인간 임상(예 : 인슐린 펌프 임플란트), 상업 생산(예 : 맥박 조정기, 관절 교체, 인공와우), 뇌 임플란트, 망막 임플란트 보철, 소설의 보철, 사이보그, [극저온] 가설, 연구, 상용화(예: 알코르, 극저온 연구소), 수명 연장, [멸종 위기] 연구, 개발, 시험 동물 축산, 애완 동물, 동물원, 매머드의 재생, [인간 DNA 예방 접종 RNA 예방 접종] COVID-19 전염병에 대처하기 위해 2021년 시행, 질병 예방 접종, 암 치료, 코비드-19 팬데믹, [엔지바이오틱스] 성공적인 첫 번째 시험, [유기체 및 바이러스의 유전 공학] 연구·개발·상용화, 종 만들기 및 수정종(주로 신체적, 정신적 능력 향상), 바이오 기계, 유전 질환 제거(유전자 치료), 새로운 재료 생산, 건강하고 저렴한 식품, 약물 및 백신, 자연 과학 연구, 생물 치료, 비소 검출, CO2 감소 슈퍼 플랜트, 바이오 펑크, 유전자 변형 식품, 초인적, 인간 향상, 트랜스 휴머니즘, 유전자 도핑, 디자이너 아기, 유전 오염, [최대 절전 모드 또는 일시 중단된 애니메이션] 연구, 발달, 동물 실험 장기 이식, 우주 여행, 장기간 수술, 응급 치료, [수명 연장, 설계 무시할 수 있는 노화를 위한 전략] 연구, 실험, 동물실험, 수명 증가, 불멸, 생물학적 불멸, [나노 의학] 연구·실험·제한 사용, [나노 센서] 연구개발, [옴니 프로세서] 연구 개발, 일부 프로토타입, [온코리틱 바이러스] 인체 실험(탈리모진 래퍼파렙벡, 레오리신, JX-594), 상용화(H101)), 암 치료, 이미징, 온코리틱 바이러스, [개인 의학, 전체 게놈 시퀀싱] 연구·실험, 개인화된 의료 절차, 약물 시험 중, 게놈 시퀀싱, 개인 유전체학, [파지 테라피] 첫 번째 평가판 사용, [플랜티바디] 임상 시험, [재생 의학] 일부 실험실 시험, 수명 연장, [로봇 수술] 연구·확산, [세놀리틱] 조사 중, [줄기 세포 치료] 연구, 실험, 1상 인간 실험 척수 손상 치료(게론), 배양 각막 이식, 다양한 질병 및 부상에 대한 치료, 줄기세포, 줄기세포 치료제, 피부세포총, [합성 생물학, 합성 유전체학] 연구, 개발, 2010년 5월 최초 합성 박테리아 생성, 프로그래밍 가능한 박테리아 및 기타 생명체를 기반으로 무한히 확장 가능한 생산 공정 개발, 바이오브릭, 아이젬, 합성 유전체학, [조직 공학] 연구·확산, 장기 인쇄, 치아 재생, [트리코더] 연구 개발, 건강 상태 진단, 의료 트리코더, [비로테라피] 연구, 인체 실험, 유전자 치료·암 치료 비로테라피, 온코리틱 바이러스, [진동 또는 냉동 보호제] 가설, 일부 실험, 장기 이식, 극저온

	기술 상태 및 응용
신경과학	[두뇌 컴퓨터 인터페이스] 연구 및 상용화, 빠른 의사 소통과 학습 및 "실제" 엔터테인먼트(주문형 뇌의 감정과 정보의 세대). 정신병자의 감정을 조절, 체험기계, Neuralink, 스텐트 전극 레코딩 어레이, [뇌 읽기, 신경 정보학] 연구, [뇌파공학] 연구·확산, 뇌파를 통한 전자 기기 제어 브레인게이트, [머리 이식] 동물 실험 성공, 쇠약해지는 질병이나 끔찍한 손상 치료, 뇌 이식, 손 이식, 장기 이식, [신경보철술] 시각 보철, 뇌 임플란트, 외피질, 망막 임플란트, 신경곡물
국방	[케이스리스 탄약] 현장 테스트 및 틈새 시장, 전쟁, 경량 소형 기술, [은폐 장치] 일부 조건에서 작은 물체를 은폐하는 성공적인 실험, 광학 주파수에서 현미경 팁 은폐, 메타머티리얼 은폐, [지향에너지 무기] 연구, 개발, 일부 프로토타입, 전쟁, 레이저 무기 시스템, [전기 레이저] 연구 개발, [전자기 무기] 연구 개발, 전쟁, 코일군, 레일군, [전기열 화학 기술] 연구 개발, 탱크, 포병 및 근접 무기 시스템, [힘 필드] 가설, 실험, 군사 및 법 집행, 우주 여행 플라즈마 창, [그림 헤드라인 심벌] 발달, 환경 친화적인 탄약. [극초음속 순항 미사일] 개발 중, 소리의 5 배 이상 속도의 차량과 순항 미사일 활공, 아방가르드, 킨잘, 지르콘, 브라모스-II, 프롬프트 글로벌 스트라이크, 다르파 팔콘 프로젝트, DF-ZF, 보잉 X-51 웨이브라이더, [레이저 무기] 연구 개발, 시험, 로켓, 폭탄, 드론 등의 추적 및 파괴, 고급 전술 레이저, 고에너지 액체 레이저 영역 방어 시스템, [마헴] 연구, 개발 중, 적의 갑옷을 관통하기 위한 용융 금속, 자기 단조 폭발물을 대체 할 수 있는 대체 형성 침투기, 폭발적으로 펌핑된 플럭스 압축 발생기, [정밀 유도 총기] 연구 개발, 전쟁, EXACTO, 스마트 총알, [소닉 무기] 연구, 개발, 상용화, 소리, 적외선 또는 초음파를 통해 적을 혼란스럽게 하거나, 무력화하거나, 적을 죽이는 데 사용할 수 있는 무기, 장거리 음향 장치, [스텔스 기술] 연구 개발, 전자 대책, 플라즈마 스텔스, 스텔스 항공기, 레이더 흡수성 물질, [망원 탄약] 연구 개발, 총알을 분말 충전으로 봉투에 싸서 카트리지에 감싸는 탄약의 일종, [경량 소형 무기 기술 프로그램] 연구 개발, 전쟁, 치명적인 자율 무기
공간	[인공 중력] 연구 개발, 우주 여행, 스핀 중력, [소행성 채굴] NASA는 소행성을 포획하고 리디렉션할 계획 발표, 상거래, 자원 공급, [스타샷] 연구, 나사로 간질 증명, [스테이시스 챔버] 실험, 연구 개발, 행성 간 우주 여행, 성간 우주 여행, 의료, [팽창식 공간 서식지] 개발, 프로토타입 제작 및 테스트 우주 서식지, 비글로우 항공우주, [재사용 가능한 발사 시스템] 블루 오리진과 스페이스엑스를 포함한 여러 회사가 이 기술을 개발, 소모성 발사체는 국가 정부 또는 군사 임무를 제외하고 투자 금지 가능, 뉴 글렌, 스페이스 엑스 우주선
로봇공학	[안드로이드, 부인이드] 연구, 개발, 프로토타입, 확산, 상용화, 장애인, 유아 및 노인 케어, 하우스 키핑, 성노동자, 승무원, 모델, 웨이터, 경비원, [가스로봇] 일부 프로토타입, [분자 나노 기술, 나노 로봇] 가설, 실험, 재료(예: 로티매틱), 행성 테라포밍(데스크탑, 산업용), [전원 외골격] 연구, 개발, 프로토타입, 확산, 상용화, 무거운 리프팅, 마비, 근육 관련 질환, 전쟁, 건설, 소방, 노인 및 장애인 치료, 로페스(외골격), 재산책, 인간 범용 로드 캐리어, 가상 갑옷, 아이언맨 갑옷, 미래의 포스 전사, [모듈식 로봇 을 재구성하는 자체 재구성] 가설, 실험, 초기 프로토타입, 범용 물리적 기계로서 SRCMR은 많은 물리적 구조와 기계를 만드는 방식의 전환, 로봇, 군단 로봇, 자율 연구 로봇, [군단 로봇 공학] 가설, 실험, 자율 구조, 공간 건설, 군단 지능, 자율 로봇, 나노 로봇, 입자 군단 최적화, 다중 에이전트 시스템, 행동 기반 로봇, [무인 차량] 연구 개발, 확산, 상업, 상품 운송, 대량 감시, 도청, 해양학, 상업 항공 가축 모니터링, 산불 매핑, 파이프 라인 보안, 가정 보안, 도로 순찰 및 해적 방지, 국가의 국경 순찰, 석유, 가스 및 광물 탐사 및 생산, 지구 물리학 조사, 지자기 조사, 위험분야 탐사, 과학 연구 소방, 군사 작전 및 평화 유지 작전, 수색 및 구조, 폭발물 및 폭탄 처리, 게이트 키퍼 및 검문소 작전, 도시 경찰, 무인 항공기, 에어로비론먼트, 에어로비론먼트 글로벌 옵저버, AeroVironment 나노 허밍버드, 무인 전투 공중 차량, 무인 지상 차량, 무인 우주 차량, 무인 표면 차량, 무인 수중 차량, 자율 수중 차량

출처: WikiPedia 외 참고 재구성

〈표 Ⅱ-17〉 핵심기술 탐색을 위한 유망 신기술 목록

	기술 상태 및 응용
운송	[에어리스 타이어] 연구, 개발, 초기 프로토타입, 안전한 타이어, 트위엘, [자율 철도 고속 운송] 상용화·확산, 대기 오염감소, 석유 소비 감소, 전기 자동차, [전기 유체 역학 추진] 연구, 개발, 프로토타입, 더 나은 비행 수송, 공기 중의 효율적인 추진력, 전기 유체 역학, [플렉시블윙(X-53 액티브 에어로탄트 윙, 어댑티브 컴플라이언스 윙), 유체 비행 제어] 실험·프로토타입, 항공기, 선박 제어 항공기 비행 제어 시스템, BAE 시스템 악마, 유체, [플라잉 카] 초기 상용화, 프로토타입, 보다 효과적인 운송, 테라푸지아 트랜지딩, 몰러 M400 스카이카, 어반 항공 엑스호크, 에어로모빌, [퓨전 로켓] 연구·개발, 성 간 응용 프로그램이 제한된 빠른 행성 간 여행, [호버바이크] 작업 프로토타입, 조기 상용화, 패키지 배달, 수색 및 구조, [호버트레인, 지상 효과 열차] 연구·개발, 더 빠른 열차, 아에로트레인, 듀크 병원 PRT, 호버크래프트, [높은 고도 플랫폼] 실험, 통신, [제트 팩 또는 배낭 헬리콥터] 초기 상용화, 프로토타입, 보다 효과적인 운송, [자기 부상 열차, 백커워] 연구·조기상용화, 더 빠른 열차 트랜스래피, 상하이 매글레프 열차, 리니모, [자기 부상] 연구, 개발, 상용화(자기 부상 열차)) 고온 초전도, 극저온, 저온 냉장고, 초전도 자석 설계 및 시공, 차량 및 구조 콘크리트용 섬유 강화 플라스틱, 통신 및 고출력 고체 제어, 차량 설계(공기역학 및 소음 완화), 콘크리트 구조물의 정밀 제조, 시공 및 제조,[148] 자기 부상 자동차, 자기 부상 기반 우주선 발사, 바크트레인, 레스카, [매스 드라이버] 프로토타입, [개인 고속 운송] 초기 상용화·확산, 보다 효과적인 운송, 모건타운 PRT, ULTra, [포토닉 레이저 추진기] 프로토타입, [실제 인터넷] 연구, [스쿠터 공유 시스템] 상용화, 증가된 밀도, 버드(회사), [진공 열차] 연구·개발, 더 빠른 이동 방법, ET3 글로벌 얼라이언스, 하이퍼루프, [추진제 창고] 연구·개발, 더 대규모 탑재 하중, 위성 수명 연장으로 심층 우주 임무 가능, 궁극적으로 우주로 발사된 kg당 비용 절감, [펄스 폭발 엔진] 테스트 베드 데모, 행성 간 빠른 여행, 몇 가지 가능한 성간 여행 응용 프로그램, [자율 주행 자동차] 연구, 개발, 조기 상용화, 운전 중 피로에 대한 우려를 줄이고 차 밖에서 바라보는 것도 가능, 개인 드라이버의 고용 비용이 비싼 국가에 도움, 웨이모, 테슬라 FSD, [스페이스 엘리베이터] 연구·개발, 비로켓 우주 발사, 궤도 링, 하늘 후크, 우주 분수, [우주 비행기] 연구·개발, 초음속 수송, A2, 스카이론, [차량 통신 시스템] 연구 개발, 일부 확산, 차량 안전 장애물은 교차로 진입에 대한 경고, 교통 관리, 구급차, 소방차 및 경찰차 수용, 운전자 보조 시스템, 자동 고속도로 운행, 인공 여객, 전용 단거리 통신, 지능형 운송 시스템

출처: WikiPedia 외 참고 재구성

제4절 주요국 연구개발 사업과 투자전략

1. 미국의 R&D 투자와 기술전략

1.1. 총연구개발비 투자 규모 및 추이

□ 2019년 기준, 미국의 국가 총 연구개발비(GERD[14])는 6,575억 달러, 세계 1위

○ '19년도 총연구개발비는 전년 대비 13.1%(759억 달러, PPP[15]) 대폭 증가

○ GDP 대비 연구개발비 비중은 금융위기 이후 '12년부터 점차 증가세를 보이며 '19년에는 최근 10년 내 최고치(3.07%)를 기록함

〈표 Ⅱ-18〉 미국의 국가 총연구개발비 추이(단위 백만PPP달러(%))

구분	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19
총액	406,405	410,093	429,792	434,349	455,128	477,003	495,893	522,652	556,343	607,474	657,459
비중	2.81	2.74	2.77	2.68	2.71	2.72	2.72	2.79	2.85	2.95	3.07

출처: OECD MSTI-2021-1

□ 최근 5년간('15~'19) 총연구개발비의 연평균증가율 7.3%로 전년대비 2.3%p 증가

○ '19년도 총연구개발비 재원별 비중은 기업(63.3%), 정부(22.1%), 기타(7.2%), 해외(7.4%)이며 전년도와 동일하게 해외 재원의 증가세(최근 5년간 연평균증가율 18.5%)가 두드러지게 나타남

14) 국내총연구개발(Gross Domestic Expenditure on Research & Development) : 국가 간 R&D 활동 수준을 비교하기 위한 지표로 OECD 통계연감을 통해 집계

15) 구매력평가지수(Puchasing Power Parity) : 각국의 물가 수준을 반영한 환산 수치로 OECD 통계에 활용

〈표 Ⅱ-19〉 미국 총연구개발비의 재원별 규모 및 증감 추이(단위 백만PPP달러)

구분	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19
기업	235,306	233,456	250,873	258,572	277,995	295,452	309,688	330,503	347,688	383,436	416,256
정부	132,736	133,742	134,384	128,725	125,232	123,615	125,206	122,327	127,306	135,762	145,260
기타	26,772	27,599	28,231	29,320	31,554	33,884	36,143	39,497	41,964	44,366	47,011
해외	11,591	15,296	16,305	17,732	20,347	24,052	24,857	30,325	39,386	43,911	48,932

출처: OECD MSTI-2021-1

1.2. 민간 산업별 연구개발 투자 규모 및 추이

□ 2019년도 기준, 민간부문 R&D 투자액은 4,858억 달러, 전년 대비 9% 증가

○ '19년도 GDP 대비 민간부문 연구개발비 비중은 2.27%로 최근 10년 내 최고치

○ 해외 재원 증가세 지속('15년 291억 달러, '19년 477억 달러) 및 연평균 19.1% 증가

□ 산업별 민간 R&D 투자 규모는 서비스, 컴퓨터·전자·광학, 제약, 우주항공산업 순

○ 우주항공 분야를 제외하고 최근 5년('14~'18) 간 연평균성장률 증가 추세이며, 그 중 서비스의 경우 12.4%를 기록하여 가장 높은 성장세를 보임

〈표 Ⅱ-20〉 미국 산업별 규모 및 증감 추이(단위 백만PPP달러(%))

구분	2014	2015	2016	2017	2018	CAGR[16]
제약	56,612(21.8)	58,675(21.5)	64,628(22.4)	66,202(21.4)	74,592(21.5)	7.1
컴퓨터·전자·광학	73,891(28.5)	72,110(26.4)	77,385(26.8)	78,575(25.3)	83,697(24.1)	3.2
우주항공	26,181(10.1)	27,464(10.1)	26,645(9.2)	26,383(8.5)	24,291(7.0)	-1.9
서비스	102,181(39.6)	114,677(42.0)	120,230(41.6)	138,819(44.8)	164,122(47.3)	12.4
합계	259,380	272,926	288,888	309,979	346,702	7.5

출처: OECD MSTI-2021-1

16) 연평균성장률(Compound Annual Growth Rate) : 주요 규모 및 활동의 변화를 파악하는 추이 통계

1.3. 정부 연구개발 예산 규모 및 추이

□ 2019년 기준, 정부 연구개발비(1,500억달러) 중 국방 비중 46.9%(703억달러)

○ 국방 R&D 비중은 '14년(41%) 이후 지속적으로 증가세이며 '19년에는 전년 대비 소폭 상승(0.2%p)한 46.9% 기록

○ 비국방 비중은 보건환경(56.7%)이 최대이며, 연평균성장률의 경우 교육사회 △11.7%로 급격하게 감소 중

〈표 Ⅱ-21〉 미국의 경제사회목적별 정부 연구개발비 추이(단위 백만PPP달러(%)

구분	2015	2016	2017	2018	2019	CAGR(%)
경제개발	7,861(11.7)	8,443(11.7)	8,548(11.9)	9,765(12.7)	10,217(12.8)	6.8
보건환경	35,415(52.6)	37,976(52.5)	40,020(55.7)	42,885(55.7)	44,888(56.4)	6.1
교육사회	1,988(3.0)	1,751(2.4)	1,821(2.5)	1,204(1.6)	1,207(1.5)	-11.7
항공우주	10,928(16.2)	12,811(17.7)	10,187(14.2)	10,552(13.7)	10,133(12.7)	-1.9
비목적연구	11,088(16.5)	11,328(15.7)	11,289(15.7)	12,559(16.3)	13,165(16.5)	4.4
합계	67,280	72,309	71,865	76,965	79,610	4.3

출처: OECD MSTI-2021-1

□ 2021년도 정부 R&D 비중은 국방 45.7%, 보건 27.5%, 일반과학 8.7% 순

○ 연구단계별 예산은 개발(657억 달러), 응용(458억$), 기초(425억 달러), 연구장비시설(41억 달러) 순으로 개발 분야 제외 모두 전년 대비 감소

〈표 Ⅱ-22〉 2021년도 미국의 기능별 정부 연구개발비(단위 백만달러(%))

구분		2020년 결산(A)	2021년 추정(B)	증감		비중('21)
				증감액(B-A)	증감율(%)	
국방		72,563	72,214	-349	-0.5	45.7
비국방		88,017	85,976	-2,041	-2.3	54.3
	우주	14,206	12,594	-1,612	-11.3	8.0
	보건	44,431	43,471	-960	-2.2	27.5
	에너지	4,539	4,537	-2	0.0	2.9
	일반과학	13,659	13,800	141	1.0	8.7
	환경	2,883	2,916	33	1.1	1.8

구분		2020년 결산(A)	2021년 추정(B)	증감		비중('21)
				증감액(B-A)	증감율(%)	
	농업	2,674	2,655	-19	-0.7	1.7
	교통	1,712	1,704	-8	-0.5	1.1
	상업	1,000	1,115	115	11.5	0.7
	기타	2,913	3,184	271	9.3	2.0
합계		160,581	158,190	-2,391	-1.5	100.0

출처: AAAS GPB

□ 2022년도 정부 R&D 중점분야, 감염병과 헬스케어를 위한 기술 및 국가경쟁력 강화를 위한 기술 개발에 투자 확대

〈표 Ⅱ-23〉 2022년도 미국의 연구개발 중점분야

중점분야	기술	주요 내용
공공 의료 안보 및 혁신	진단, 백신, 치료 R&D	현대화된 기기·장비, 진단법, 치료제·백신의 시기적절한 개발
	감염병 모델링 및 예측	역학 모델링 R&D 고도화, 데이터 및 예측 과학 고도화
	생물의학 및 생명공학	약물적·비약물적 개입, 개인 맞춤형 의학, 신경과학, COVID-19 등의 병원균에 대한 백신·치료제, AI 및 첨단제조기술 등의 개발
	바이오 경제	경제 성장을 주도하고 건강을 증진하며 인간, 식물 및 동물 등 생명 전반에 걸쳐 공익을 증가시키는 과학, 기반 시설, 혁신 및 기술, 건강 및 국가 안보 간의 융합
미래 산업	인공지능	AI의 윤리적 문제, 데이터 효율적·고성능 기계 학습 기술, 인지 AI, 안전하고 신뢰할 수 있는 AI, 확장 가능하고 강력한 AI, 통합 및 대화형 AI, 새로운 AI 하드웨어, 헬스케어를 위한 AI 개발
	양자 정보과학	초기 양자 정보과학 생태계 활성화, 컨소시엄 구축, 테스트베드 투자
	첨단 통신 네트워크	무선 시스템에 최적화된 AI/ML 기술 연구, AI/ML을 통신 및 사이버 보안 전반에 적용, 개방형, 상호 운용성·안전성·모듈화된 네트워크 아키텍처 개발
	첨단 제조	스마트 및 디지털 제조, 첨단 산업용 로봇, 산업용 사물인터넷으로 구현되는 시스템, 바이오 제조, 저비용 분산 제조 및 연속 제조, 의료기기 적층 제조를 위한 항균 재료 및 폴리머 개발
	미래 컴퓨팅 생태계	국가 전략 컴퓨팅 생태계 구현, 소프트웨어 및 데이터 솔루션 개발, 파트너십 및 컨소시엄 구축
	자율주행차와 무인 항공기	육지, 해상, 공중에서 운행되는 자율 및 원격 조종 차량 개발, 전기 수직 이착륙 항공기 개발, 초음속 항공기 개발, 관련 교통 관리 시스템 및 법 집행을 지원하는 기술 개발
안보	회복력	물리적 위협 및 자연 재해(감염성 질병 및 기타 생물학적 위협, 극한의

중점분야	기술	주요 내용
		지상 및 우주 기상 현상, 지구물리학적 위험, 중요 기반 시설에 대한 사이버 및 전자기 펄스 공격 등)에 대한 예측·예방·대응·복구 역량 강화
	첨단 군사력	공격 및 방어 극초음속 무기 능력, 국가 안보 우주 시스템, 현대화되고 유연한 전략·비전략적 핵 억제 능력 강화
	반도체	기본 재료, 장치, 설계 및 소프트웨어 등을 포함한 반도체 기술 개발, 반도체 제조 및 특성화 시설 구축
에너지 및 환경 리더십	에너지	원자력, 신재생, 화석 에너지의 안전하고 효율적 활용, 에너지 생산·저장·소비 기술의 후기 단계 연구, 첨단 원자로 기술 개발
	지구 시스템 예측력 및 기상 서비스	날씨, 기후, 수문학, 해양 및 관련 환경 분야를 포괄하는 지구 시스템 접근법을 통해 기상 서비스 분야 세계 선도, 컴퓨팅 및 데이터 인프라 구축
	해양	배타적 경제 수역의 자원을 효율적으로 지도화, 대량의 해양 관측 및 연구 데이터의 효과적·효율적 관리
	북극	북극의 물리적, 생물학적, 사회경제적 과정을 관찰·이해· 예측하는 능력 향상
우주 리더십	우주 탐사	달과 화성 자원 활용, 극저온 연료 저장 및 관리, 우주 내 제조 및 조립, 첨단 우주 관련 전력 및 추진 능력, 궤도 잔해 관리

출처: White House/FY 2021 ARDP

□ 2022년도 정부 R&D 예산(안)

○ ’22년도 정부 R&D 예산(안)은 1,723억달러로 전년 대비 141억 달러 확대

○ 바이든 행정부는 국방 R&D는 전년 대비 약 6.8억 달러 감액(전년대비 0.9% 감소)한 반면, 비국방 R&D에 대해서는 147억 원 증액(전년대비 17.2% 증가) 계획 제안

○ NIH(National Institutes of Health)는 ’21년 대비 약 90억 달러 증액을 요구하였으며, 보건 분야의 예산 요구액이 가장 큰 폭으로 증가

〈표 Ⅱ-24〉 2022년도 기능별 R&D 예산 요구안(단위 백만달러/%)

구분		2020년 결산	2021년 추정(A)	2022년 요구안(B)	증감	
					증감액(B-A)	증감율(%)
국방		72,563	72,214	71,533	-681	-0.9
비국방		88,017	85,976	100,733	14,757	17.2
	우주	14,206	12,594	13,842	1,248	9.9
	보건	44,431	43,471	51,209	7,738	17.8
	에너지	4,539	4,537	6,533	1,996	44.0
	일반과학	13,659	13,800	15,445	1,645	11.9
	환경	2,883	2,916	3,790	874	30.0
	농업	2,674	2,655	3,245	590	22.2
	교통	1,712	1,704	1,989	285	16.7
	상업	1,000	1,115	1,292	177	15.9
	기타	2,913	3,184	3,387	203	6.4
합계		160,581	158,190	172,266	14,076	8.9

출처: AAAS GPB

2. 중국의 R&D 투자와 기술전략

2.1. 총연구개발비 투자 규모 및 추이

□ 2019년 기준, 중국의 국가 총연구개발비는 5,257억 달러, 세계 2위

○ '19년도 총연구개발비는 전년 대비 12.9% 증가하여 지속적으로 증가세를 보임

○ '19년도 기준, GDP 대비 연구개발비 비중은 2.23%로 '09년 이후 지속적으로 증가

〈표 Ⅱ-25〉 중국의 국가 총연구개발비 추이(단위 백만PPP달러/%)

구분	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19
총액	184,125	212,138	246,477	289,203	323,356	346,266	366,081	393,015	420,816	465,501	525,693
비중	1.66	1.71	1.78	1.91	2.00	2.02	2.06	2.10	2.12	2.14	2.23

출처: OECD MSTI-2021-1

□ 최근 5년간('15~'19) 총연구개발비의 연평균증가율(9.5%)이 주요국 중 가장 높음

○ '19년도 총연구개발비 재원별 비중은 기업(76.3%), 정부(20.5%), 기타(3.1%), 해외(0.1%)이며 기업 및 정부 재원의 비율의 합이 90%를 상회하여 대부분을 차지함

○ 기업의 R&D 투자는 '09년 이후 지속적으로 증가세에 있으며 '19년에는 4,009억 달러를 기록하여 전년 대비 12.4% 증가하였고, 기타 재원의 경우 점진적으로 증가하여 '19년 165억 달러를 기록

○ 정부의 R&D 투자 역시 '09년 이후 증가세를 보이고 있으며, '19년도 1,077억 달러를 기록하여 전년 대비 14.4% 증가로 재원 중 가장 높은 증가세를 보임

○ 반면, 해외 투자의 경우 '18년 19억 달러에서 '19년 5.9억 달러로 전년 대비 △66.4%로 대폭 감소

〈표 Ⅱ-26〉 중국 총연구개발비의 재원별 규모 및 증감 추이(단위 백만PPP달러)

구분	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19
기업	132,100	152,081	182,173	214,128	241,228	261,157	273,558	298,923	321,834	356,716	400,905
정부	43,104	50,952	53,426	62,382	68,254	70,130	77,846	78,740	83,356	94,119	107,717
기타	6,443	6,338	7,581	9,874	10,985	12,116	11,960	12,764	12,918	12,977	16,504
해외	2,478	2,768	3,297	2,819	2,889	2,861	2,717	2,588	2,708	1,689	568

출처: OECD MSTI-2021-1

2.2. 민간 연구개발 투자 규모 및 추이

□ 2019년도 기준, 민간부문 R&D 투자액은 4,017억 달러, 전년 대비 11.5% 증가

○ '19년도 GDP 대비 민간부문 연구개발비 비중은 1.71%로 '09년 이후 지속적으로 증가세를 보임

○ 민간 연구개발비 내 해외 재원의 경우 '18년도 이후 급격한 감소세에 있으며 '19년 기준, 2.9억 달러 규모로 전년 대비 -79.7% 감소

〈표 Ⅱ-27〉 중국 민간부문 R&D 규모 및 GDP 대비 비중 추이(단위 백만PPP달러(%))

구분	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19
총액	134,826	155,756	186,676	220,228	247,727	267,652	281,121	304,449	326,502	360,369	401,727
비중	1.22	1.26	1.35	1.46	1.53	1.56	1.58	1.63	1.64	1.66	1.71

출처: OECD MSTI-2021-1

□ 중국의 혁신주체는 기업 중심이며, 기업 재원은 '19년 기준 전체 R&D 지출의 76.3%를 차지

○ '20년 규모이상 공업기업의 R&D 지출은 15,271억 5,000만 위안으로 전년 대비 9.3% 증가하였으며, 매출액 중 R&D 투자 비율은 1.4% 차지

○ 컴퓨터·통신 및 전자설비 제조업이 2,915억 위안으로 가장 산업 규모가 크며, 전기기계 및 기자재, 자동차, 설비 등 제조업 위주 R&D 투자 규모 확대 중

〈표 Ⅱ-28〉 규모이상 공업기업의 R&D 투자 8대 산업

	산업 구분	R&D 투자 (억 위안)	매출액 대비 R&D 비중(%)
1	컴퓨터 · 통신과 기타 전자설비제조업	2,915.2	2.35
2	전기기계와 기자재 제조업	1,567.1	2.26
3	자동차 제조업	1,363.4	1.67
4	범용설비제조업	977.9	2.38
5	특수설비제조업	966.0	2.85
6	비철금속 제련 · 압연가공업	799.3	1.09
7	화학원료와 화학제품제조업	797.2	1.25
8	의약품제조업	784.6	3.13

출처 : 国家统计局, 2021

2.3. 정부 연구개발 예산 규모 및 추이

□ '19년 기준, 정부 연구개발비 규모는 1,077억 달러로 처음으로 1,000억 달러를 돌파하여 정부 R&D 투자 규모를 지속적으로 확대하는 추세

〈표 Ⅱ-29〉 중국의 정부 연구개발비 규모 추이(단위 백만PPP달러(%))

구분	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19
정부	43,104	50,952	53,426	62,382	68,254	70,130	77,846	78,740	83,356	94,119	107,717

출처: OECD MSTI-2021-1

□ '20년 중국은 코로나 19의 영향으로 R&D 지출 증가율은 전년도 보다 2.3% 하락, 국가 재정 과학기술 지출 또한 전년도에 비해 소폭 감소

○ '15년 이후 중앙정부 지출 비율은 하락세인 반면 지방 정부 지출 비율은 상승 중

○ 국가 재정 과학기술 지출항목으로 국가과학기술 중대 프로젝트 198건 및 국가자연과학기금사업 4만 5,700여 건 등을 지원

〈표 Ⅱ-30〉 2015년~2020년까지 중국의 국가재정 과학기술 지출(단위 억위안(%))

연도	국가재정 과학기술	중앙정부 금액	지방정부 금액
2015	7,005.8	3,012.1 (43.0)	3,993.7 (57.0)
2016	7,760.7	3,263.3 (42.0)	4,491.4 (58.0)
2017	8,383.6	3,421.5 (40.8)	4,962.1 (59.2)
2018	9,518.2	3,738.5 (39.3)	5,779.7 (60.7)
2019	10,717.4	4,173.2 (38.9)	6,544.2 (61.1)
2020	10,095	3,758.2(37.2)	6,336.8(62.8)

출처: 중국 과학기술부[17)]

□ '21년, '14차 5개년 계획(2021~2025)과 2035년 장기목표' 초안 발표 및 관련 R&D 투자계획 수립

○ 미국의 대중 기술규제 및 무역장벽이 커짐에 따라, '기술자립 및 내수확대'에 초점을 맞춰 기술자립성 확보, 기술강국 도약 등을 위해 2025년 말까지 R&D 지출을 연간 7% 이상 증액할 예정

17) 中华人民共和国科学技术部, 2018年我国R&D经费投入特征分析, 2019年全国科技经费投入统计公报 참조

〈표 Ⅱ-31〉 14.5계획 국가중점연구개발계획 중점전문프로젝트 및 지원경비

구분	중점연구개발계획	재정 지원금		기타 지원금
		국가재정 (억위안)	청년과학자 사업 (만위안)	기타
1	수학과 응용연구	1.45	7,200	
2	간세포 응용과 기관 재활	4.4	6,000	
3	생물 고분자와 미생물 조합	4.43	5,500	
4	물질상태 제어	4.6	4,000	
5	나노기술	4.5	5,000	
6	촉매과학	4.5	5,000	
7	공정과학과 종합 교차융합	3.475	5,250	
8	대과학 장치 기술 연구	5.15	4,000	
9	정보광전자기술	3.5	4,500	
10	고성능 연산	0.75	-	
11	멀티모델 네트워크와 통신	2.64	-	
12	블록체인	1.16	1,200	
13	수소에너지기술	7.95	500	
14	에너지 저장과 스마트 전력망 기술	6.67	1,000	
15	교통인프라	3.25	-	2500(확정사업)
16	신에너지자동차	8.6	1,500	
17	신형 디스플레이와 전략성 전자소재	3.79	2,100	
18	희토 신소재	3.47	3,300	
19	선진 구조와 복합 재료	6.32	3,600	
20	첨단 기능과 스마트 소재	6.59	1,800	
21	사이버 공간 안전 관리	2.55	3,000	
22	스마트 센서	3.985	900	5500(확정사업)
23	고성능 제조기술과 중대 장비	2.83	1,800	
24	산업 소프트웨어	1.92	1,200	
25	지구 관측과 GPS	4.3	-	
26	문화 과학기술과 현대 서비스업	2.1	2,000	
27	병원학과 방역기술 체계 연구	5.25	2,500	
28	장강황하 등 중점 유역 수자원과 수환경 종합 처리	6	-	
29	바이오안전 핵심 기술 연구	1.75	-	
30	생육 건강 및 여성아동 건강 보장	5.5	-	
31	전략적 광산자원 개발 이용	10	10,000	
32	의료설비와 바이오 의학용 소재	2	-	

구분	중점연구개발계획	재정 지원금		기타 지원금
		국가재정 (억위안)	청년과학자 사업 (만위안)	기타
33	바이오와 정보 융합(BT+IT 융합)	6.7	2,500	
34	빈번 다발성 질병 치료연구	5	2,500	
35	사회관리와 스마트사회 기반 기술	1.9	1,000	
36	중대 자연재해 방역과 공공안전	6.2	-	
37	국가품질인프라체계	4.82	1,200	0.9(확정사업)
38	기초 과학연구 조건과 중대 과학기기설비 연구개발	5.39	4,800	
39	농업생물 중요 성상 형성과 환경적응성 기초연구	6.7	2,000	
40	농업 생물유전 자원 발굴과 혁신적 활용	6.8	2,000	
41	북방 가뭄 반건조 지역과 난방 적황토 등 저생산 농경지의 생산량 제고 기술혁신	0.2	2,000	4.55억(부처-성 연계사업)
42	흑토지 보호와 이용 기술혁신	1.2	2,000	6000(부처-성 연계사업)
43	농업 면원, 중금속 오염 방지 및 친환경 투입자재 연구개발	2	2,000	1.8억(부처-성 연계사업)
44	중대 병충해 방지 종합기술연구 및 시범 시행	1.75	2,000	5500(부처-성 연계사업)
45	가축 신품종 육종과 현대 목장 과학기술 혁신	2.5	2,000	1.0억(부처-성 연계사업)
46	동물질병 종합 방역 핵심기술 연구 응용	2.8	2,000	
47	임업 유전자원 육종과 품질 향상	3.4	2,000	
48	공장화 농업 핵심기술과 스마트 농기계 장비	2.1		
49	식품 제조와 농식품 물류 과학기술 기반	2.1		0.6억(부처-성 연계사업)
50	향촌 산업의 공통 핵심기술 연구개발과 통합 응용	0.5		3.6억(부처-성 연계사업)
51	심해와 극지 핵심 기술 장비	-		
52	해양 환경 안전보장과 도서 지속가능발전	1.7		

출처 : 锐动源, 2021

3. EU(27개국)의 R&D 투자와 기술전략

3.1. 총연구개발비 투자 규모 및 추이

□ 2019년 기준, EU의 총연구개발비는 4,403억 달러, 세계 3위(국가 기준 독일 4위)

○ '19년부터 브렉시트로 인하여 영국이 제외된 규모이나, 연구개발비 투자 규모 세계 순위(3위로 동일) 및 추이(상승세)에는 기존과 유사하게 나타남

○ GDP 대비 연구개발비 비중은 '09년도 이후 증감을 반복하고 있으며, 이는 영국을 제외한 수치로 영국 포함 시보다 전체적으로 약 0.1%p 내외로 상승

〈표 Ⅱ-32〉 EU의 총연구개발비 추이(단위 백만PPP달러/%)

구분	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19
총액	260,824	270,393	289,683	302,418	315,617	329,079	341,614	360,093	386,685	413,664	440,337
비중	1.86	1.86	1.91	1.96	1.98	2.00	2.01	1.99	2.03	2.07	2.12

출처: OECD MSTI-2021-1

□ 최근 5년간('14~'18) 총연구개발비의 연평균증가율 5.52%로 지속 증가세

○ '19년 기준, 재원별 연구개발비는 기업 2,565억 달러, 정부 1,322억 달러, 해외 425억 달러, 기타 공공재원 92억 달러 순으로 나타남

○ '19년도 총연구개발비 재원별 비중은 기업(58.3%), 정부(30.7%), 해외(9.6%), 기타(2.1%) 순이며, 영국을 제외한 이후에도 재원별 차이는 있으나 대부분 소폭 상향되거나 하향되는 수준으로 나타남

〈표 Ⅱ-33〉 EU 총연구개발비의 재원별 규모 및 증감 추이(단위 백만PPP달러)

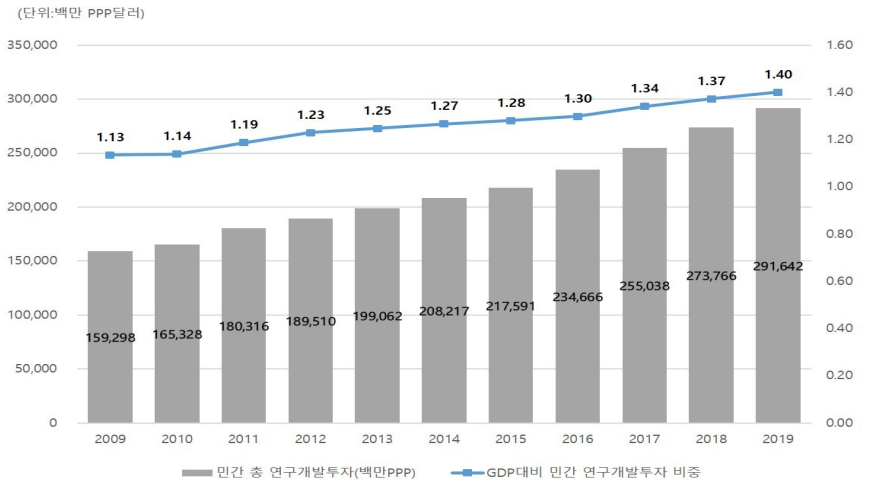
구분	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19
기업	142,699	147,139	160,637	167,901	176,063	183,320	190,328	207,345	226,189	242,400	256,502
정부	93,909	96,901	99,336	102,901	105,538	108,415	110,096	112,242	116,502	124,062	132,158
기타	5,524	5,539	6,006	5,752	5,808	7,264	7,564	8,076	8,441	9,373	9,219
해외	18,693	20,814	23,704	25,864	28,207	30,080	33,622	32,430	35,529	37,829	42,466

출처: OECD MSTI-2021-1

3.2. 민간 산업별 연구개발 투자 규모 및 추이

□ 2019년도 기준, 민간부문 R&D 투자액은 2,916억 달러, GDP 대비 비중의 경우 영국 EU 탈퇴 후 증가세가 감소('18년 기준, △0.03%p)

○ 민간부문 R&D 투자는 '09 이후 지속 증가세이며, 최근 5년 간 기업 및 해외 재원의 성장세가 두드러짐(최근 5년간 연평균 성장률 각각 7.9% 및 8.0%)



출처: OECD MSTI 2021-1

[그림 Ⅱ-14] EU(27개국)의 민간부문 연구개발비 및 GDP 대비 비중 변화

3.3. 정부 연구개발 예산 규모 및 추이

□ 2019년 기준, 정부 연구개발비(1,345억달러) 중 비국방 비중 97.6%로 브렉시트 이후 소폭 상승('18년 기준, 4.7% → 2.8%)

○ 국방 R&D 비중은 '19년 2.4%(32억 달러), '09년(6.7%) 이후 급격하게 감소 중임

○ 비국방 비중은 '19년 기준으로 일반대학기금 36.7%(472억 달러), 경제개발 21%(270억달러), 비목적연구 18.4%(236억 달러), 보건환경 12.9%(166억 달러), 항공우주 5.9%(76억 달러), 교육사회 5%(65억 달러) 순

〈표 Ⅱ-34〉 EU의 경제사회목적별 정부 연구개발비 추이(단위 백만PPP달러(%))

구분	2014	2015	2016	2017	2018	CAGR(%)
경제개발	22,109(21.0)	22,359(20.5)	25,694(22.3)	25,898(21.4)	26,982(21.0)	5.1
보건환경	12,996(12.3)	13,136(12.0)	13,590(11.8)	14,230(11.7)	16,578(12.9)	6.3
교육사회	5,791(5.5)	4,963(4.6)	5,604(4.9)	6,119(5.0)	6,481(5.0)	2.9
항공우주	5,691(5.4)	5,305(4.9)	5,246(4.6)	7,179(5.9)	7,620(5.9)	7.6
비목적연구	20,317(19.3)	21,190(19.4)	21,680(18.9)	22,739(18.8)	23,617(18.4)	3.8
일반대학기금	38,444(36.5)	42,067(38.6)	43,148(37.5)	45,014(37.1)	47,185(36.7)	5.3
합계	105,349	109,019	114,962	121,179	128,464	5.1

출처: OECD MSTI-2021-1

□ EC(European Commission)는 '21~'27년도 최우선 과제 포함 다년도 지출예산안 발표

○ 지출예산안 내 과학기술 분야의 경우 1,663억 유로로 '14~'20년 대비 증가세를 보임

〈표 Ⅱ-35〉 EU의 '21~'27년 다년도 지출예산안(단위: 10억 EUR))

구분	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	'21-'27
1. 단일 시장, 혁신 및 디지털	23,955	23,918	24,203	23,624	23,505	23,644	23,454	166,303
1) 연구 및 혁신	13,103	12,935	13,226	13,004	12,885	13,026	12,849	91,028
Horizon Europe	12,362	12,365	12,367	12,370	12,375	12,376	12,381	86,596
원자력 연구 및 훈련	303	303	303	303	304	304	309	2,129
국제열핵융합로(ITER)	880	709	999	774	650	790	604	5,406
기타	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	2
2) 유럽 전략 투자	6,431	6,566	6,561	6,205	6,206	6,204	6,201	44,375
InvestEU Fund	1,866	1,866	1,867	1,868	1,868	1,868	1,862	13,065
유럽연결기금(운송)	1,626	1,626	1,626	1,626	1,627	1,627	1,627	11,384
유럽연결기금(에너지)	1,096	1,096	1,096	1,097	1,097	1,097	1,097	7,675
유럽연결기금(디지털)	380	380	380	380	380	380	382	2,662
디지털 유럽 프로그램	1,260	1,397	1,393	1,036	1,036	1,035	1,035	8,192
기타	25	25	25	25	25	25	25	177
독립기관	178	176	174	173	172	173	173	1,220
3) 단일 시장	818	815	812	809	807	806	804	5,672
단일 시장 프로그램 (중기지원 프로그램 포함)	779	777	775	772	770	767	763	5,404
EU 반 부패 프로그램	23	23	23	23	23	23	24	161
조세분야 협력(FISCALIS)	32	32	32	33	35	37	39	239
세관분야 협력(CUSTOMS)	120	121	121	121	121	121	121	843
기타	12	12	12	12	12	12	12	87
독립기관	106	104	103	102	101	100	98	714
4) 우주	2,054	2,054	2,056	2,059	2,059	2,060	2,061	14,404
유럽 우주 프로그램	2,025	2,025	2,027	2,030	2,030	2,030	2,030	14,196
독립기관	29	29	29	29	30	30	31	208
차액	1,548	1,548	1,547	1,547	1,548	1,547	1,539	10,824

출처: EU, KISTEP

□ Horizon Europe이 예산은 955억 유로 수준이며, 브렉시트 등의 환경 변화를 고려했을 때 Horizon2020 대비 실질적으로 30% 증가

○ 기후변화, 녹색 유럽, 디지털 사회, 사람을 위한 경제 기조 등을 중점으로 예산 편성

○ Horizon 2020 후속 신규 프로그램은 시제품 개발, 무형자산, 지식·기술 이전 촉진 등을 통한 연구 혁신 강화 위주

〈표 Ⅱ-36〉 Horizon Europe 예산(단위: 백만EUR)

분야	예산
우수과학(엑설런스 사이언스)	**25,011**
유럽 연구회(ERC)	16,004
마리큐리 프로그램(MSCA)	6,602
연구인프라	2,406
글로벌 도전과제, 유럽 산업 경쟁력	**53,516**
보건·의료	8,246
문화, 창의성, 포괄적 사회	2,280
사회를 위한 시민 안전	1,596
디지털, 산업, 우주	15,349
기후, 에너지, 모빌리티	15,123
식품, 바이오 경제, 천연 자원, 농업, 환경	8,952
JRC 비 원자력 부문 액션	1,970
혁신적 유럽	**13,597**
유럽 혁신 위원회	10,105
유럽 혁신 생태계	527
유럽혁신·기술 기구(EIT)	2,965
유럽 연구공간(ERA) 참여 확대 및 강화	**3,393**
참여 확대 및 탁월성 전파	2,955
유럽 연구 혁신 시스템 개혁 및 강화	438
합계	95,517

출처: EU, KISTEP

4. 독일의 R&D 투자와 기술전략

4.1. 총연구개발비 투자 규모 및 추이

□ 2019년 기준, 독일의 국가 총 연구개발비(GERD)는 1,482억 달러 수준으로 세계 4위

○ '19년도 총연구개발비는 전년 대비 4.3% 증가하였으며, '09년 이후 지속적으로 증가세

○ GDP 대비 연구개발비 비중은 점진적으로 증가하고 있으며, '19년 연구개발비 비중은 3.19%로 '09년 이후 최대치

〈표 Ⅱ-37〉 독일의 국가 총연구개발비 추이(단위 백만PPP달러/%)

구분	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19
총액	82,760	87,036	95,810	100,490	102,905	109,563	114,098	122,472	133,668	142,080	148,150
비중	2.74	2.73	2.81	2.88	2.84	2.88	2.93	2.94	3.05	3.12	3.19

출처: OECD MSTI-2021-1

□ 최근 5년간('15~'19) 총연구개발비의 연평균증가율은 6.7% 수준으로 모든 재원에서 성장세를 보이고 있음

○ '19년도 총연구개발비 재원별 비중은 기업이 64.5%로 가장 높은 비중을 차지하고 있으며, 정부 27.8%, 해외 7.4%, 기타공공재원 0.4% 순

○ 최근 5년간 재원별 연평균 증가율은 가장 낮은 비율을 차지하고 있는 기타 공공재원이 13.9%로 가장 높았으며, 해외 재원의 경우에도 11.7%로 높은 성장세를 보이고 있음

〈표 Ⅱ-38〉 독일의 총 연구개발비의 재원별 규모 및 증감 추이(단위 백만PPP달러)

구분	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19
기업	54,691	57,026	62,837	66,398	67,343	72,293	74,929	79,878	88,461	93,784	95,493
정부	24,672	26,429	28,635	29,357	29,941	31,451	31,830	34,932	37,053	39,567	41,193
기타	217	204	334	391	317	342	317	378	462	492	533
해외	3,181	3,377	4,004	4,345	5,304	5,477	7,021	7,284	7,692	8,238	10,930

출처: OECD MSTI-2021-1

4.2. 민간 산업별 연구개발 투자 규모 및 추이

□ 2019년도 기준, 민간부문 R&D 투자액은 1,021억 달러, 전년 대비 4.3% 증가

○ '19년도 GDP 대비 민간부문 연구개발비 비중은 2.2%로 '16년도 이후 증가세

○ 해외 재원 대폭 증가세('15년 52억 달러, '19년 87억 달러), 연평균 13.5% 대폭 증가

□ 산업별 민간 R&D 투자 규모는 서비스, 컴퓨터·전자·광학, 제약, 우주항공산업 순

○ 최근 5년간 서비스 부문의 연평균성장률 증가(10.4%)를 비롯하여 제약 7.8%, 컴퓨터·전자·광학 3.6%인 반면, 우주항공 분야의 경우 0.3% 감소

〈표 Ⅱ-39〉 독일 산업별 규모 및 증감 추이(단위 백만PPP달러(%))

구분	2014	2015	2016	2017	2018	CAGR
제약	5,247(19.7)	5,084(18.1)	6,003(19.7)	6,218(19.5)	7,094(20.7)	7.8
컴퓨터·전자·광학	9,762(36.7)	9,691(34.5)	10,148(33.3)	10,391(32.7)	11,240(32.7)	3.6
우주항공	2,342(8.8)	2,194(7.8)	2,301(7.5)	2,002(6.3)	2,317(6.7)	-0.3
서비스	9,220(34.7)	11,093(39.5)	12,029(39.5)	13,211(41.5)	13,700(39.9)	10.4
합계	26,571	28,062	30,481	31,822	34,351	6.6

출처: OECD MSTI-2020-1

4.3. 정부 연구개발 예산 규모 및 추이

□ 2019년 기준, 정부 연구개발비(367억달러) 중 국방 비중 2.7%(9.9억달러)

○ 국방 R&D 비중은 '09년 이후 증감을 반복하고 있으며, '19년에는 전년 대비 1.1%p 상승한 4.4% 기록

○ 비국방 비중은 일반대학기금(41.2%) 최대, 연평균성장률의 경우 경제개발이 9.2%로 가장 높음

〈표 Ⅱ-40〉 독일의 경제사회목적별 정부 연구개발비 추이(단위 백만PPP달러(%))

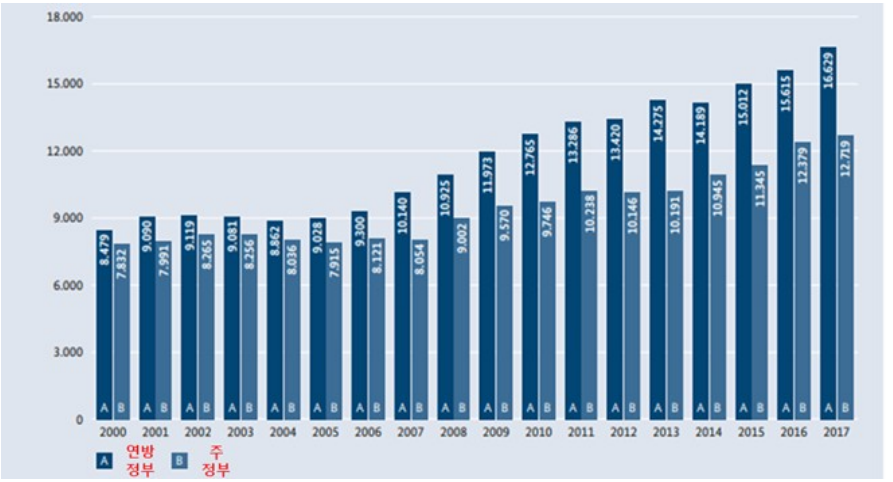
구분	2015	2016	2017	2018	2019	CAGR(%)
경제개발	7,212(21.5)	7,735(21.1)	8,436(21.7)	9,457(22.7)	10,250(23.5)	9.2
보건환경	3,369(10.0)	3,521(9.6)	3,850(9.9)	4,042(9.7)	4,399(10.1)	6.9
교육사회	1,541(4.6)	1,530(4.2)	1,800(4.6)	1,927(4.6)	2,016(4.6)	6.9
항공우주	1,714(5.1)	1,832(5.0)	1,862(4.8)	2,044(4.9)	2,066(4.7)	4.8
비목적연구	5,944(17.7)	6,182(16.9)	6,495(16.7)	6,699(16.1)	6,928(15.9)	3.9
일반대학기금	13,776(41.1)	15,858(43.3)	16,503(42.4)	17,540(42.1)	17,950(41.2)	6.8
합계	33,556	36,658	38,946	41,709	43,609	6.8

출처: OECD MSTI-2021-1

□ 독일의 과학기술 R&D 예산은 지난 15년 간 꾸준히 증가 추세

○ 연구개발 투자액의 경우 주로 서독 지역을 중심을 이루어지거나, 동독의 경우에도 드레스덴과 같은 과학기술 특화지역이 있는 경우 많은 R&D 예산을 투자

○ 주(Laender)정부와 연방(Bund) 정부 모두 R&D 예산이 증가하는 추세이며, 지방정부가 투자하는 R&D 예산은 주정부 예산의 75~80% 수준으로 유지



출처 : BMBF

[그림 Ⅱ-15] 독일의 주정부 및 지방정부의 연구개발 지출(단위: 백만 EUR)

□ 각 부처별 '21년도 예산은 239억 유로, 예산의 55.5%(132.7억 유로)를 연방교육연구부(BMBF)이며, 다음으로 연방경제에너지부(BMWi)의 20.8%(49.7억 유로) 순

○ 건강 연구와 보건산업이 약 37.1억 유로로 가장 많은 부분을 차지하고 있으며, 다음으로 우주·항공 분야(약 21.4억 유로) 순

○ '19년 대비 '21년 예산안은 건강 연구 및 보건 예산, 에너지 관련 예산이 크게 증가되었는데 이는 코로나 19 팬데믹 및 기후 변화 상황에 대비를 위한 투자 방향

○ 혁신연구의 경우 '19년 대비 '21년 225% 대폭 증액 되었으며 독일 정부의 혁신연구에 관한 높은 관심도를 시사

〈표 Ⅱ-41〉 독일의 연방정부 R&D 지출(단위: 백만 EUR)

분야	2019	2020	2021
건강연구 및 보건산업	2,725.3	3,729.2	3,713.8
바이오경제	304.4	297.3	293.4
보안 연구	137.2	150.5	155.5
영양, 농업 및 소비자 보호	784.7	980.8	1,077.4

분야	2019	2020	2021
에너지 연구 및 기술	1,444.6	1,817.4	2,078.4
기후, 환경, 지속가능성	1,373.7	1,548.8	1,799.3
정보통신 기술	1,332	1,442.5	1,431.8
모빌리티(해양 부문 포함)	369.4	428.5	647.2
우주	1,868.4	2,010.3	2,137.7
노동환경 개선을 위한 연구 및 개발	126.8	138.6	205
나노 소재 기술	760.7	847.7	913.5
광학기술	243.5	248.1	269.1
생산기술	272.6	283.7	232.9
지역 및 도시 계획; 건설 연구	113.9	175.3	196.8
교육 혁신	558.2	634.3	721
경제사회과학	1,295.6	1,394.4	1,497.1
중소기업 혁신자금	1,096.2	1,382	1,425.4
혁신 연구	562.1	1,106.8	1,261.2
대학, 기타 조직 등 자금 지원	762.7	773.3	970.3
기초연구용 대형 장비	1,341.3	1,528.6	1,548.3
국방	1,274.8	1,611	1,745.5
합계	18,748.1	22,073.1	23,908

출처 : BMBF

5. 일본의 R&D 투자와 기술전략

5.1. 총연구개발비 투자 규모 및 추이

□ 2019년 기준, 일본의 국가 총 연구개발비(GERD)는 1,733억 달러 수준

○ '19년도 총연구개발비는 전년 대비 4.8억 달러의 소폭 증가를 보임

○ GDP 대비 연구개발비 비중은 3.2%로 전년 대비 0.02%p 소폭 하락

〈표 Ⅱ-42〉 일본의 국가 총연구개발비 추이(단위 백만PPP달러/%))

구분	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19
총액	137,366	140,566	148,389	152,326	164,656	169,554	168,514	160,269	166,622	172,786	173,267
비중	3.20	3.10	3.21	3.17	3.28	3.37	3.24	3.11	3.17	3.22	3.20

출처: OECD MSTI-2021-1

□ 최근 5년간('15~'19) 총연구개발비의 연평균증가율은 0.7% 수준으로 소폭 증가 추세를 나타내고 있음

○ '19년도 총연구개발비 재원별 비중은 기업이 79.1%로 가장 높은 비중을 차지하고 있으며, 정부 14.7%, 기타공공재원 5.8%, 해외 0.6% 순

○ 최근 5년간 재원별 연평균 증가율은 해외 재원이 5.8%로 가장 높았으며, 기업은 1%로 소폭 증가 추세를 나타낸 반면, 정부와 기타공공 재원은 각각 △0.5%, △0.6%로 소폭 감소

〈표 Ⅱ-43〉 일본 총연구개발비의 재원별 규모 및 증감 추이(단위 백만PPP달러)

구분	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19
기업	103,392	106,733	113,552	115,943	124,281	131,005	131,394	125,151	130,409	136,602	136,730
정부	24,268	24,139	24,347	25,652	28,483	27,155	25,973	24,067	24,993	25,161	25,420
기타	9,123	9,066	9,778	10,051	11,030	10,643	10,339	9,880	10,148	9,967	10,104
해외	584	628	711	680	862	751	808	1,171	1,071	1,056	1,013

출처: OECD MSTI-2021-1

5.2. 민간 산업별 연구개발 투자 규모 및 추이

□ 2019년도 기준, 민간부문 R&D 투자액은 1,371억 달러, 전년 대비 △0.1%p 감소

○ '19년도 GDP 대비 민간부문 연구개발비 비중은 2.53%로 전년 대비 0.03%p 하락

○ 기업을 제외한 정부, 해외, 기타 공공재원의 경우 전년 대비 R&D 투자 규모가 축소

□ 산업별 민간 R&D 투자 규모는 전년도와 동일하게 컴퓨터·전자·광학, 서비스, 제약, 우주항공산업 순

○ 최근 5년 간 모든 분야(컴퓨터·제약·광학 △2.1%, 서비스 △0.6%, 제약 △2.1%, 우주항공 △1%)에서 연평균성장률 감소세를 보이고 있음

〈표 Ⅱ-44〉 일본 산업별 규모 및 증감 추이(단위 백만PPP달러(%))

구분	2015	2016	2017	2018	2019	CAGR(%)
제약	14,088(24.0)	12,809(24.0)	13,942(25.0)	13,545(23.6)	12,923(23.6)	-2.1
컴퓨터·전자·광학	27,879(47.5)	24,902(46.7)	25,398(45.6)	26,708(46.5)	25,619(46.7)	-2.1
우주항공	657(1.1)	733(1.4)	834(1.5)	792(1.4)	631(1.2)	-1.0
서비스	16,042(27.3)	14,893(27.9)	15,494(27.8)	16,448(28.6)	15,635(28.5)	-0.6
합계	58,666	53,337	55,668	57,492	54,809	-1.7

출처: OECD MSTI-2021-1

5.3. 정부 연구개발 예산 규모 및 추이

□ 2019년 기준, 정부 연구개발비(409억달러) 중 국방 비중 3%(12억 달러)

○ 국방 R&D 비중은 '19년 3%로 전년 대비 0.3%p 상승

○ 비국방 비중은 경제개발(34.3%) 최대, 연평균성장률은 보건환경이 20.8%로 가장 높았고, 일반대학기금의 경우 △3.6%를 기록하여 유일하게 하락세를 보임

〈표 Ⅱ-45〉 일본의 경제사회목적별 정부 연구개발비 추이(단위 백만PPP달러(%))

구분	2015	2016	2017	2018	2019	CAGR(%)
경제개발	7,944(24.7)	9,864(30.1)	9,983(30.3)	11,928(33.1)	13,623(34.3)	14.4
보건환경	2,208(6.9)	3,494(10.7)	3,450(10.5)	3,799(10.5)	4,698(11.8)	20.8
교육사회	222(0.7)	293(0.9)	300(0.9)	297(0.8)	285(0.7)	6.5
항공우주	2,082(6.5)	2,072(6.3)	2,121(6.4)	2,111(5.9)	2,269(5.7)	2.2
비목적연구	7,397(23.0)	7,334(22.4)	7,331(22.2)	8,018(22.3)	8,181(20.6)	2.6
일반대학기금	12,291(23.0)	9,742(29.7)	9,789(29.7)	9,871(27.4)	10,635(26.8)	-3.6
합계	32,144	32,798	32,975	36,025	39,690	5.4

출처: OECD MSTI-2021-1

□ 2021년도 일본의 과학기술 관련 예산은 전년 대비 5.4% 감소한 4조 1,414억 엔

○ 부처별 과학기술 예산의 경우 문부과학성이 2조 595억 엔 규모로 약 50%의 비중을 차지하고 있으며, 경제산업성 16.3%(6,757억 엔), 국토교통성 9.6%(3,979억 엔) 순

〈표 Ⅱ-46〉 일본의 2021년도 정부부처별 과학기술 관련 예산(단위 억 엔)

	2021년도 본예산				2020년도 본예산				전년대비	
	일반회계		특별회계	계	일반회계		특별회계	계	증감액	증감율
		과학기술진흥비				과학기술진흥비				
국회	12	11	-	12	12	11	-	12	0	0.4
내각관방	653	-	-	653	653	-	-	653	0	-0.1
부흥청	-	-	275	275	-	-	248	248	28	11.2
내각부	1,163	884	-	1,163	1,249	872	-	1,249	-86	-6.9
경찰청	23	22	-	23	23	22	-	23	0	0.3
소비자청	30	-	-	30	31	-	-	31	-1	-2.8
총무성	1,232	598	-	1,232	1,830	541	-	1,830	-599	-32.7
법무성	12	-	-	12	12	-	-	12	0	-1.1
외무성	156	-	-	156	132	-	-	132	24	18.6
재무성	11	10	-	11	10	10	-	10	1	7.5
문부과학성	19,506	8,853	1,088	20,595	20,135	8,863	1,089	21,224	-629	-3.0
후생노동성	1,609	671	178	1,786	2,474	656	169	2,643	-857	-32.4
농림수산성	1,949	956	-	1,949	2,048	957	-	2,048	-99	-4.9
경제산업성	1,713	1,090	5,045	6,757	1,787	1,133	5,102	6,889	-132	-1.9
국토교통성	3,904	287	75	3,979	3,598	283	82	3,681	298	8.1
환경성	403	290	1,238	1,642	417	291	1,404	1,821	-179	-9.8
방위성	1,139	-	-	1,139	1,280	-	-	1,280	-141	-11.0
계	33,515	13,673	7,899	41,414	35,693	13,639	8,094	43,787	-2,373	-5.4

출처: 문부과학성 외

□ 2022년도 문부과학성 예산 요구액은 1조 1,774억 엔, 전년 대비 20.5% 증가

○ 우주·항공분야 연구개발, 기초연구거점 형성, 첨단 연구, 저탄소 실현 등에 대한 예산 증액 요구 확대

〈표 Ⅱ-47〉 2021~2022년도 문부과학성의 과학기술 관련 예산요구 내역 비교

분야	'22년 예산요구 (억 엔)	'21년 본예산 (억 엔)	주요 내역	'22년 예산요구 (백만 엔)	'21년 본예산 (백만 엔)
1. 기초연구력 강화 및 연구거점 형성	3,392 (+278)	3,114	과학연구비 조성사업(科研費)	251,030	237,650
			전략적 창조연구 추진사업(신기술 시즈 창출)	45,560	42,791
			창조적 연구지원 사업	2,700	60
			세계 Top 수준 연구거점 프로그램(WPI)	7,264	6,100
			연구대학 강화촉진 사업	3,451	3,675
			미래사회창조사업	12,385	8,700
			세계의 학술 프론티어를 선도 규모 프로젝트 추진	43,841	33,090
			문샷(Moonshot)형 연구개발제도	3,124	1,600
			10조엔 규모의 대학펀드[18] 창설	1,000	-
			데이터구동형 인문학연구 선도사업	492	-
2. 과학기술 이노베이션 인재 육성·확보	339 (+80)	259	대학 Fellowship 창설사업	3,849	2,316
			특별연구원 사업	16,287	15,866
			탁월연구원 사업	746	1,092
			연구자 전략육성사업	344	344
			Super Science High School(SSH) 지원 사업	2,295	2,251
			Global Science Campus(고교생 대상)	410	410
			Junior Doctor 육성 아카데미(塾)(초·중학생 대상)	310	270
			여성연구자의 활약촉진	2,059	1,956
3. 과학기술 이노베이션·시스템 구축	335 (+43)	291	전국 기업가양성 촉진사업	108	-
			대학발 신산업창출 프로그램(START)	4,094	1,993
			오픈이노베이션 기구의 정비	1,409	1,785
			공동창조의 장(場) 형성 지원	17,474	13,734
			연구성과 최적전개프로그램(A-STEP)	6,934	6,123
			지역이노베이션·에코시스템 형성 프로그램	1,351	3,020
4. 세계최고수준의 대형 연구시설의 정비·이용과 연구시설·설비의 원격화·스마트화 추진	534 (+77)	457	슈퍼컴퓨터「富岳」(Fugaku)·HPCI의 운영	18,849	17,215
			민관 지역파트너십 차세대 방사광 시설 추진	6,189	1,245
			대형방사광시설「SPring-8」	10,521	9,518
			X선 자유전자레이저 시설「SACLA」	6,916	6,916

분야	'22년 예산요구 (억 엔)	'21년 본예산 (억 엔)	주요 내역	'22년 예산요구 (백만 엔)	'21년 본예산 (백만 엔)
			대(大)강도 양자가속기 시설「J-PARC」	10,923	10,923
			첨단연구기반공용촉진사업	1,300	1,185
5. 미래사회 실현을 위한 첨단연구의 획기적 강화	831 (+204)	627	소재 디지털전환(DX)플랫폼 구상 추진	13,849	3,809
			광·양자 비약 플래그십 프로그램(Q-LEAP)	4,592	3,494
			AIP(Advanced Integrated Intelligence Platform Project)	11,458	10,861
			아시아태평양 수리융합 이노베이션 플랫폼	202	-
			경제안전보장중요기술육성 프로그램(비전실현)	3,000	-
6. 건강·의료분야의 연구개발 추진	1,032 (+92)	940	백신개발·생산체제강화		
			백신개발의 최고수준 연구개발거점 정비	6,550	-
			감염증 발생상황 등 모니터링 강화	3,803	3,738
			주요 연구개발 프로젝트		
			재생의료 실현 거점 네트워크 프로그램	9,066	9,066
			게놈 의료실현 바이오 뱅크 이용 프로그램(B-cure)	5,998	4,681
			가교연구프로그램	6,371	5,223
			생명과학·신약개발 등 연구지원 기반사업	4,745	3,820
			첨단 바이오신약개발 기반기술 개발사업	1,466	1,316
			의료기기 연구성과 전개사업	1,508	862
			차세대 암의료 가속화 연구사업	3,867	3,551
			뇌·정신 연구추진 프로그램	6,370	6,094
			혁신적 첨단연구 개발지원 사업	11,524	9,799
			National Bio Resource Project	1,576	1,231
7. 국민의 안전·안심과 프론티어 개척에 기여하는 과제해결형 연구개발 추진					
7.1 우주·항공분야의 연구개발	2,160 (+584)	1,576	우주안전보장의 확보/재해대책·국토강인화 등	23,190	20,101
			우주과학·탐사에 의한 새로운 지(知)의 창조	70,683	54,179
			이노베이션의 실현/산업·과학기술기반 등 강화	71,881	39,428
			차세대 항공과학기술의 연구개발	4,015	3,665
7.2 해양·극지분야의 연구개발	449 (+75)	374	지구환경 파악과 변동예측을 위한 연구개발	3,055	3,054
			해역 발생 지진 및 화산활동에 관한 연구개발	3,331	1,941
			북극역연구의 전략적 추진	7,993	1,543
			남극지역관측사업	4,600	4,199
7.3 자연재해에 강인한 사회를 위한 연구개발 추진	139 (+26)	113	재해대응 디지털전환(DX) 추진사업	200	-
			해저지진·쓰나미 관측망 운용	3,176	1,073
			정보과학을 활용한 지진 조사연구 프로젝트	391	152
			화산 기동관측 실증연구사업	121	62

분야	'22년 예산요구 (억 엔)	'21년 본예산 (억 엔)	주요 내역	'22년 예산요구 (백만 엔)	'21년 본예산 (백만 엔)
			기초적·기반적 방재 과학기술의 연구개발 추진	8,281	7,661
			지진 조사연구추진본부 관련사업	701	945
			방재대책에 기여하는 남해 트라프 지진조사연구	378	378
			차세대 화산연구·인재육성 종합 프로젝트	640	640
7.4 탄소중립 실현에 공헌하는 연구개발	490 (+136)	354	미래사회창조사업 「지구규모과제인 저탄소사회 실현」	2,595	956
			첨단 저탄소화 기술개발(ALCA)	2,323	2,543
			혁신적 파워일렉트로닉스(power electronics) 창출	1,354	1,353
			차세대 X-nics 반도체창생거점 형성사업	900	-
			대학역량 결집 지역의 탈탄소화 가속 연구	103	76
			ITER(국제열핵융합실험로) 계획 추진	31,360	21,876
			기후변화적응전략 이니셔티브	1,277	1,066
7.5 원자력 분야의 연구개발·인재육성	1,786 (+15)	1,471	원자력분야에서의 혁신기술개발에 의한 탄소중립	14,744	9,618
			원자력 과학기술과 관련한 다양한 연구개발 추진	6,181	4,571
			「도쿄전력(주) 후쿠시마 제1원전의 폐지조치 등	4,165	4,100
			안전 최우선 지속적 'Back End' 대책 추진	65,498	55,042
			원자력 안전성향상을 위한 연구	1,075	1,075

□ 2022년도 경제산업성의 산업 기술 관련 예산 요구액은 1조 4,026억 엔, 전년 대비 11.9% 증가

○ 배터리·수소·해상풍력 등 그린분야(352.6억 엔) 및 후쿠시마 원전 대책(130.4억 엔), 데이터경제·디지털전환·스타트업 지원(126.6억 엔) 등에 관한 예산 요구액이 전년 대비 두드러지게 확대

18) 일본의 기존 '과학기술 관련 예산'의 한계를 보완하기 위해 미국, 영국의 명문대학들이 운용하고 있는 대학기금을 모방한 제도이다. 내각부와 문부과학성이 공동 운용하되, 운용수익으로 연구 인프라 확충과 연구자의 처우개선 등에 활용한다는 계획이고, 재원은 2020년도 추경예산(補正予算) 5,000억 엔과 2021년도 국채발행을 통해 조달하는 재정투융자 4조 엔, 2022년도 일반회계 예산 10억 엔, 2022년도 재정투융자자금 4조 9,000억 엔 등으로 충당한다는 계획이다.

〈표 Ⅱ-48〉 2021~2022년도 경제산업성 산업기술 관계 예산 요구 내용(단위 억 엔)

분야	주요 사업 내역	'22년도 예산요구	'21년도 예산요구
(1)디지털 분야	-인재육성	42.2	19.2
	-데이터경제·디지털전환·이노베이션·스타트업	269.0	142.4
	산업 디지털전환을 위한 디지털인프라 정비사업	25.0	-
	IoT 사회실현을 위한 차세대 인공지능·센싱 등 중핵기술개발	65.7	58.0
	차세대 인공지능·로봇의 중핵인 통합(integrate) 기술개발 사업	17.6	16.5
	우주산업 기술정보 기반정비 연구개발사업 (SERVICE 프로젝트)	28.7	8.4
	디지털거래 환경정비사업	6.9	5.0
	혁신적 로봇 연구개발 등 기반구축사업	18.7	6.6
	유통·물류의 효율화·부가가치창출 관련 기반구축사업	6.5	3.0
	글로벌·스타트업·에코시스템 강화사업	8.2	11.3
	연구개발형 스타트업 지원사업	72.7	21.4
	민관에 의한 젊은 연구자발굴 지원사업	19.0	12.2
	-사이버보안	50.5	40.7
(2)그린성장 분야	- 배터리·수소·해상풍력 등 분야	1,208.8	856.2
	전기자동차용 혁신형 배터리 기술개발	28.8	23.8
	에너지절약형 전자부품·소재의 평기기술 개발사업	25.0	21.5
	클린에너지 자동차 도입촉진 보조금	334.9	155.0
	연료전지자동차의 보급촉진을 위한 수소충전소 정비사업 보조금	110.0	110.0
	탄소중립을 위한 자동차부품 공급업체 사업전환 지원 사업	4.1	-
	혁신적 연료전지기술 활용을 위한 기술개발사업	87.6	66.7
	산업활동의 근본적인 탈탄소화를 위한 수소사회모델 구축 실증사업	78.1	73.1
	탄소중립·차세대 화력발전의 기술개발 사업	186.5	161.5
	CCUS연구개발·실증관련사업	85.8	60.3
	해상풍력발전 인재육성보조금	6.5	-
	해상풍력발전 등의 도입확대를 위한 연구개발 사업	69.0	82.8
	해상풍력발전 도입확대를 위한 조사지원 사업	2.5	-
	태양광발전의 도입 가능량 확대를 위한 기술개발 사업	33.0	33.0
	수요자 주도에 의한 태양광발전 도입가속화 보조금	80.0	-
	소출력발전설비 보안력 향상 종합지원 사업	3.0	-

분야	주요 사업 내역	'22년도 예산요구	'21년도 예산요구
	원자력 안전성향상에 기여하는 기술개발사업	25.0	25.0
	고속로 관련 공통기반을 위한 기술개발 위탁비	49.0	43.5
	- 에너지수급구조의 강인화	532.5	407.9
	주택·건축물 수급일체형 에너지절약투자촉진 사업	89.0	83.9
	탈탄소사회실현을 위한 에너지절약 기술의 연구개발·사회적용 촉진사업	80.0	80.0
	석유천연가스개발이나 개발권확보에 기여하는 기술개발 촉진사업	100.0	41.0
	배터리 등 분산형 에너지시스템의 차세대 기술구축 실증사업	57.0	45.1
	석유콤비나트의 생산성 향상 및 강인화 추진사업비	150.0	122.3
	산업보안고도화추진사업	8.5	-
(3)건강·헬스케어 분야	헬스케어 서비스 사회적용 사업	9.0	7.0
	예방·건강 분야의 사회적용을 위한 연구개발 기반정비사업	15.0	7.8
	의공연계 이노베이션 추진사업	24.0	20.8
(4)공급망 강화 및 경제안전보장 강화	반도체·데이터센터	156.1	141.2
	AI 칩 개발가속을 위한 이노베이션 추진사업	23.1	20.9
	고효율·고속처리를 가능케 하는 AI 칩·차세대 컴퓨팅 기술개발사업	105.0	99.8
	에너지절약 일렉트로닉스의 제조기반 강화를 위한 기술개발사업	28.0	20.5
	바이오·의료	235.9	183.8
	차세대 치료·진단 실현을 위한 신약개발 기반기술 개발사업	77.0	62.9
	재생의료·유전자치료의 산업화를 위한 기반기술 개발사업	46.0	40.0
	카본·리사이클 실현을 가속화하는 바이오유래제품 생산기술의 개발사업	35.0	23.0
	신산업창출·소재·바이오혁신을 위한 신기술선도연구 프로그램 사업	25.2	13.4
	의료기기 등의 선진적 연구개발·개발체제 강인화사업	52.7	44.5
	희토류 등 중요자원 확보	444.1	404.9
(5)후쿠시마를 비롯한 재해지역의 부흥 가속	폐로·오염수·처리수 대책사업	130.4	-
	후쿠시마현의 재생에너지 도입촉진을 위한 지원사업비 보조금	61.0	52.2
	차세대 Air Mobility의 사회적용 프로젝트	38.0	-

(출처 : 문부과학성 외)

6. 한국의 R&D 투자와 기술전략

6.1. 총연구개발비 투자 규모 및 추이

□ 2019년 기준, 우리나라의 총연구개발비는 1,025억 달러, 세계 5위

○ ’09년 이후 지속적 증가세를 보이고 있으며, ’19년 처음으로 1,000억 달러 대를 기록

○ GDP 대비 연구개발비 비중은 ’09년(3.15%) 이후 지속 증가 중이며, ’19년 4.64%로 세계 2위

〈표 Ⅱ-49〉 우리나라의 국가 총연구개발비 추이(단위 백만PPP달러/%)

구분	’09	’10	’11	’12	’13	’14	’15	’16	’17	’18	’19
총액	45,817	52,166	58,380	64,862	68,324	73,100	76,922	80,816	90,290	99,026	102,521
비중	3.15	3.32	3.59	3.85	3.95	4.08	3.98	3.99	4.29	4.53	4.64

출처: OECD MSTI-2021-1

□ 최근 5년간(’15~’19) 총연구개발비의 연평균증가율 7.7%로 대폭 증가

○ ’19년도 총연구개발비 재원별 비중은 기업(76.9%), 정부(20.7%), 기타(0.8%), 해외(1.6%)이며 정부·공공 21.5% 및 민간·국외 78.5%로 구성

○ ’15년부터 ’19년까지 재원별 연평균성장률은 해외 재원의 경우 29.9%로 급격한 성장세를 보인 반면, 기타 공공재원의 경우 유일하게 하락세(△0.6%)를 보임

〈표 Ⅱ-50〉 우리나라의 총연구개발비 재원별 규모 및 증감 추이(단위 백만PPP달러)

구분	’09	’10	’11	’12	’13	’14	’15	’16	’17	’18	’19
기업	32,569	37,457	43,033	48,472	51,640	55,063	57,342	60,952	68,832	75,894	78,890
정부	12,552	13,953	14,538	15,469	15,580	16,786	18,202	18,332	19,487	20,360	21,205
기타	602	643	678	699	808	734	799	776	839	851	780
해외	95	113	131	223	207	517	578	756	1,132	1,921	1,646

출처 : OECD MSTI-2021-1

〈표 Ⅱ-51〉 우리나라의 총연구개발비 수행주체별 예산 추이(단위 백만PPP달러)

구분	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19
기업	34,024	39,020	44,680	50,560	53,574	57,181	59,635	62,822	71,696	79,511	82,327
고등교육	5,079	5,645	5,890	6,173	6,306	6,614	7,382	7,658	7,658	8,144	8,487
정부	5,965	6,611	6,847	7,299	7,447	8,197	9,033	9,330	9,660	9,976	10,245
비영리	750	890	962	831	908	1,108	1,258	1,282	1,276	1,395	1,463

출처: OECD MSTI-2021-1

6.2. 민간 산업별 연구개발 투자 규모 및 추이

□ 2019년도 기준, 민간부문 R&D 투자액은 823억 달러, GDP 비중 3.73%

○ GDP 대비 민간 R&D 투자 비중은 '09년(2.34%)에서 '19년(3.73%)로 지속적 증가세를 보임

〈표 Ⅱ-52〉 우리나라의 민간부문 연구개발비 및 GDP 비중 추이(단위 백만PPP달러,%)

구분	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19
총액	34,024	39,020	44,680	50,560	53,574	57,181	59,635	62,822	71,696	79,511	82,327
비중	2.34	2.48	2.75	3.00	3.10	3.19	3.08	3.10	3.41	3.63	3.73

출처: OECD MSTI-2021-1

□ 산업별 민간 R&D 투자 규모는 전년도와 동일하게 컴퓨터·전자·광학, 서비스, 제약, 우주항공 순

○ '19년 기준 컴퓨터·전자·광학 비중이 78.8%로 가장 높고, 우주항공 분야가 가장 높은 연평균 성장률(16.6%)을 보임

〈표 Ⅱ-53〉 우리나라의 산업별 민간부문 R&D 규모 및 추이(단위 백만PPP달러)

구분	2015	2016	2017	2018	2019	CAGR(%)
제약	1,576(4.3)	1,511(3.9)	1,630(3.6)	1,825(3.6)	2,038(3.8)	6.6
컴퓨터·전자·광학	29,889(81.8)	31,758(81.1)	36,759(82.1)	41,075(81.3)	41,799(78.8)	8.7
우주항공	275(0.8)	440(1.1)	391(0.9)	414(0.8)	509(1.0)	16.6
서비스	4,802(13.1)	5,432(13.9)	5,983(13.4)	7,202(14.3)	8,730(16.4)	16.1
합계	36,542	39,141	44,763	50,516	53,076	9.8

출처: OECD MSTI-2021-1

6.3. 정부 연구개발 예산 규모 및 추이

□ 2019년 기준, 정부 연구개발비 240억 달러 규모이며 이중 국방은 16.3%(391억 달러)

○ '19년도 경제사회목적별 경제개발 48.6%, 비목적연구 25.7%, 보건환경 15.4% 순

○ '15년부터 '19년까지 연평균성장률은 1.3%이며, 항공우주의 경우 △7.1%를 기록하여 급격한 하락세

〈표 Ⅱ-54〉 한국의 경제사회목적별 정부 연구개발비 추이(백만PPP달러(%))

구분	2015	2016	2017	2018	2019	CAGR(%)
경제개발	9,586(50.3)	9,525(49.7)	9,370(49.3)	9,477(49.3)	9,761(48.6)	0.5
보건환경	2,792(14.7)	2,883(15.0)	2,926(15.4)	2,908(15.1)	3,091(15.4)	2.6
교육사회	1,492(7.8)	1,568(8.2)	1,697(8.9)	1,803(9.4)	1,644(8.2)	2.4
항공우주	592(3.1)	634(3.3)	587(3.1)	502(2.6)	441(2.2)	-7.1
비목적연구	4,598(24.1)	4,564(23.8)	4,417(23.2)	4,514(23.5)	5,161(25.7)	2.9
합계	19,060	19,173	18,997	19,204	20,097	1.3

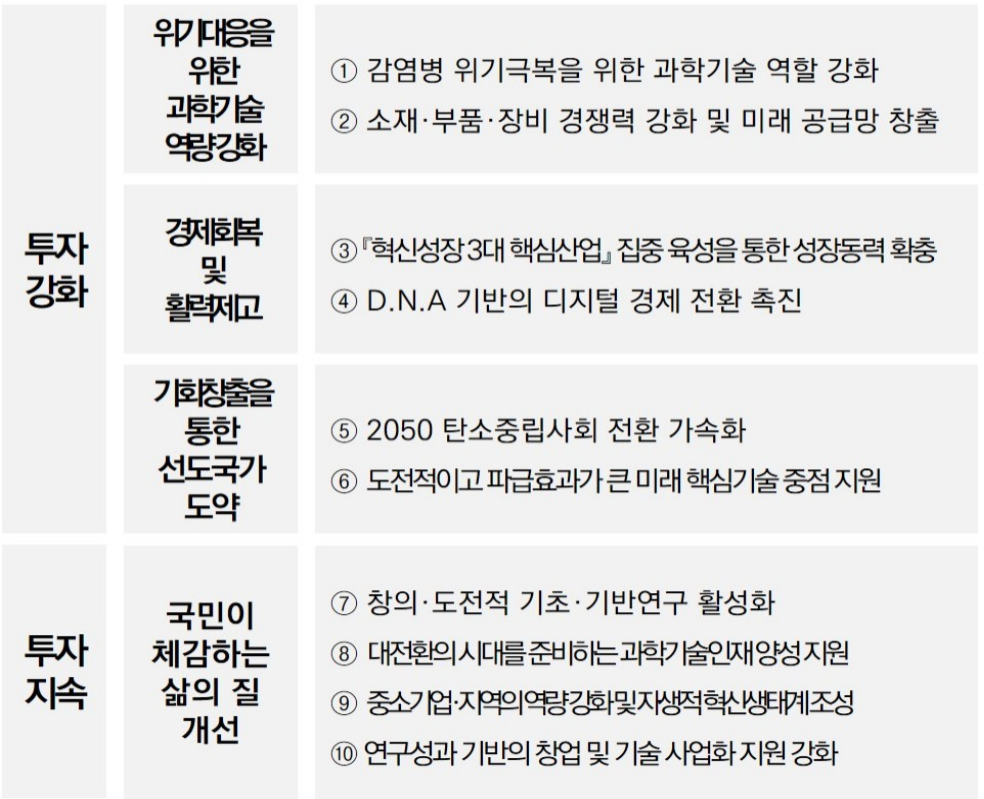
출처: OECD MSTI-2021-1

6.4. 정부 연구개발 투자전략 및 R&D 프로그램

□ '22년도 연구개발 예산규모는 전년 대비 8.8% 증가한 29.8조원 규모

○ '22년도 정부 연구개발 투자는 코로나 19 대응 및 2050 탄소 중립 실현 등을 위한 기술개발 최우선 지원

○ 기초연구, 인재양성, 중소기업 지원 등 지속투자 필요 분야의 경우 전년도와 동일하게 투자 확대 기조 유지



출처: 2022년도 정부재정안 기준

[그림 Ⅱ-16] 우리나라 2022년도 국가연구개발 4대분야 10대 중점 투자방향

□ ’22년 R&D 투자 주요 분야 중 국방 제외하고 혁신성장 3대 핵심산업이 2.59조 원으로 투자규모가 가장 컸고, 연구자 주도 기초연구 2.55조 원, 소재·부품·장비 2.27조 원 순

〈표 Ⅱ-55〉 2022년도 정부 R&D 주요 분야 예산안 현황(단위: 조원)

주요 분야	2021 본예산(A)	2022 예산안(B)	증감(본예산 대비)	
			증감액 B-A	증감률 (B-A)/A
감염병 대응	0.44	0.51	0.06	13.4
디지털뉴딜	1.06	1.62	0.56	53.1
탄소중립	1.56	1.93	0.37	23.7
혁신성장 3대 핵심산업(BIG3)	2.27	2.59	0.32	14.0
바이오헬스	1.63	1.79	0.16	9.7
미래차	0.36	0.41	0.05	15.2

주요 분야	2021 본예산(A)	2022 예산안(B)	증감(본예산 대비)	
			증감액 B-A	증감률 (B-A)/A
시스템반도체	0.28	0.39	0.10	36.8
소재·부품·장비	2.1	2.27	0.17	8.0
연구자 주도 기초연구	2.35	2.55	0.20	8.5
우주	0.36	0.53	0.17	46.9
국방	2.86	3.26	0.40	14.1

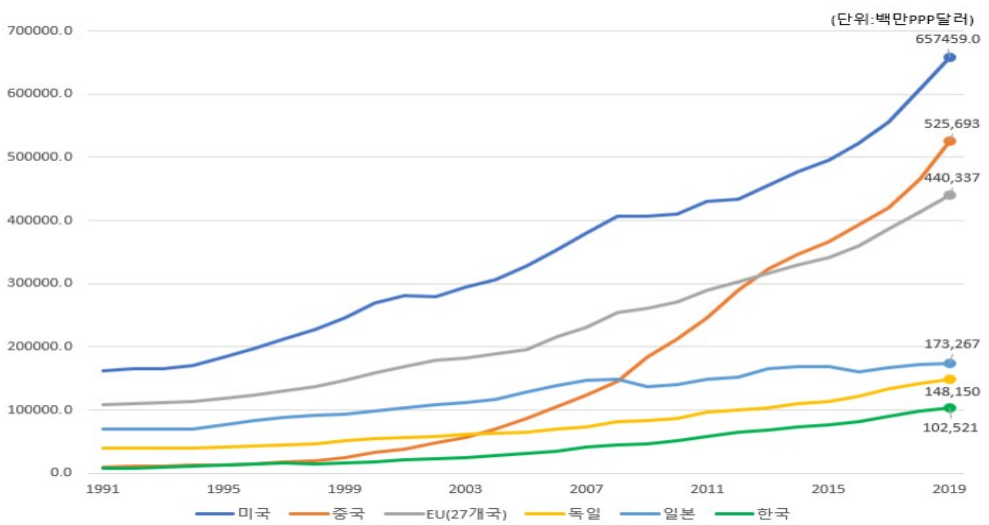
(출처 : 과학기술정보통신부)

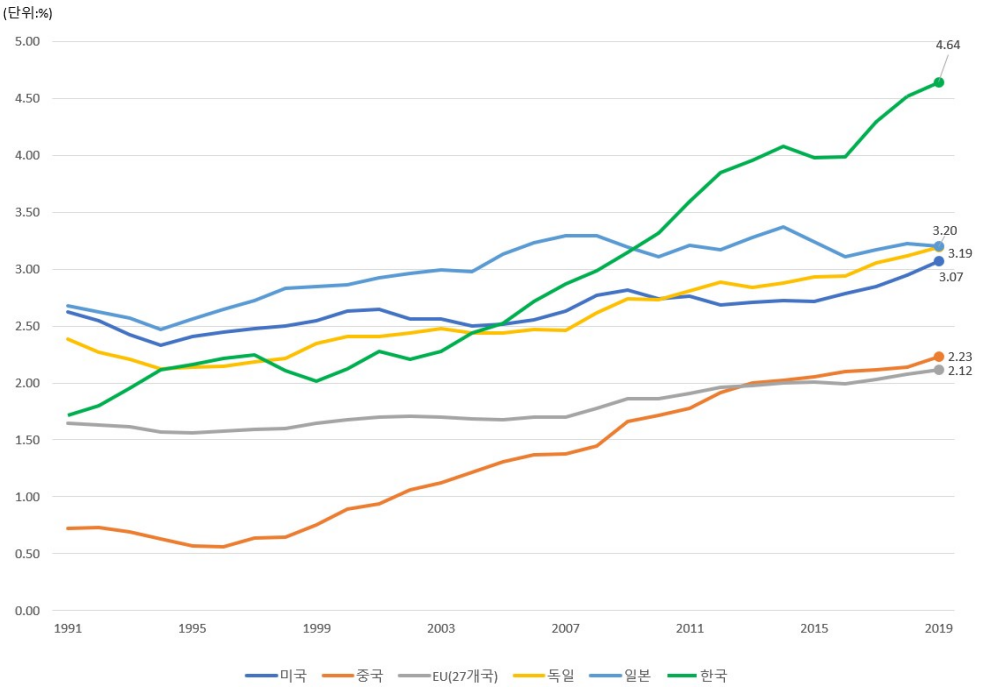
7. 한국 및 주요국 간 R&D 투자 및 정책 비교

7.1. 총연구개발비 투자 규모 및 추이

□ 주요국 중 미국 6,575억 달러, 중국 5,257억 달러, EU 4,403억 달러, 일본1,733억 달러, 독일 1,482억 달러, 한국 1,025억 달러 순('19, PPP$)

○ (국가별 총연구개발비/GERD 추이) 1991년 이후 미국과 중국의 연구개발 투자가 높은 증가세를 나타내며 일본 및 독일, 한국은 점진적 증가 추세





출처: OECD MSTI 2021-1

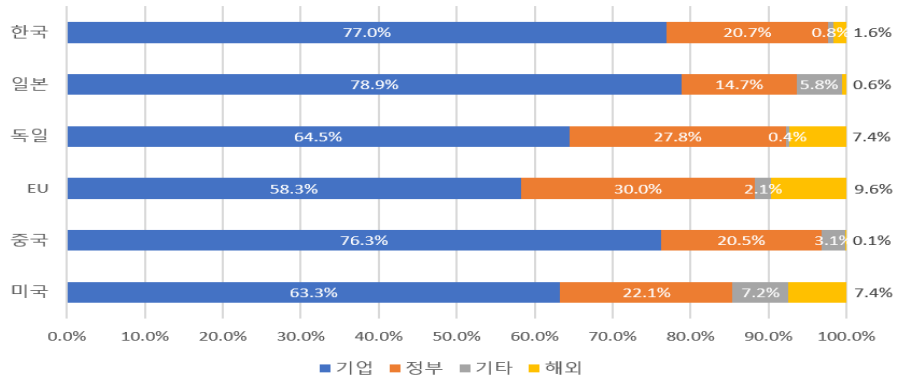
[그림 Ⅱ-17] 국가별 총 연구개발비(GERD) 추이(위) 및 GDP 대비 연구개발 투자비중 추이(아래) (1991~2019)

○ (국가 GDP 대비 연구개발비 비중) 주요국 중 우리나라의 GDP 대비 연구개발 비중('19년, 4.64%)이 가장 높고, 일본('19년, 3.2%), 독일('19년 3.19%), 미국('19년, 3.07%), 중국('19년, 2.23%), EU('19년, 2.12%) 순('19년 기준 이스라엘 4.93%, 한국 2위)

□ 총 연구개발비 재원별 비중 및 추이

○ (주요국의 '19년 재원별 비율) 주요국 모두 기업의 재원 비중이 가장 크고 다음으로 정부 재원이 많은 비중을 차지하였으며, 기타 및 해외 재원의 경우 국가별로 상이

※ 우리나라의 경우 해외 재원 비중(1.6%)이 기타재원 비중(0.8%)보다 높은 반면, 일본과 독일의 경우 우리나라와 반대(해외<기타)로 나타남



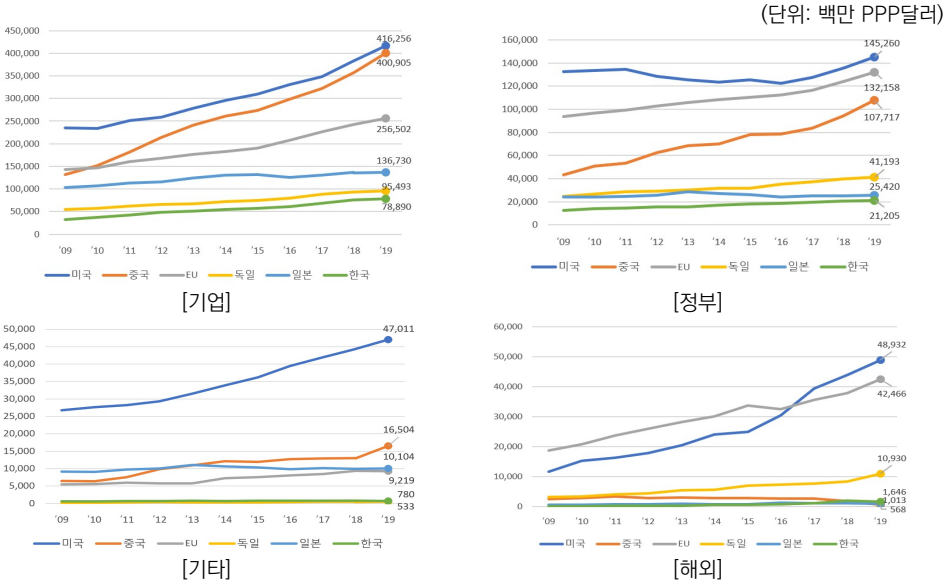
(출처: OECD MSTI 2021-1)

[그림 Ⅱ-18] 2019년 주요국의 연구개발비 재원별 비중

○ (주요국의 재원별 추이) '19년 기준, 미국이 모든 재원에서 가장 높은 규모를 기록하였으며, 중국의 경우 기업 및 기타 재원 부문에서 두 번째이나, 해외 재원의 경우 주요국 중 가장 낮은 수치(5.7억 달러)를 기록하여 해외 투자가 낮음을 시사

※우 리나라의 경우 기업 및 정부 재원에서 가장 낮은 순위를 기록하였으며, 기타 및 해외 재원의 경우에도 주요국 중 하위권을 기록함

(단위: 백만 PPP달러)



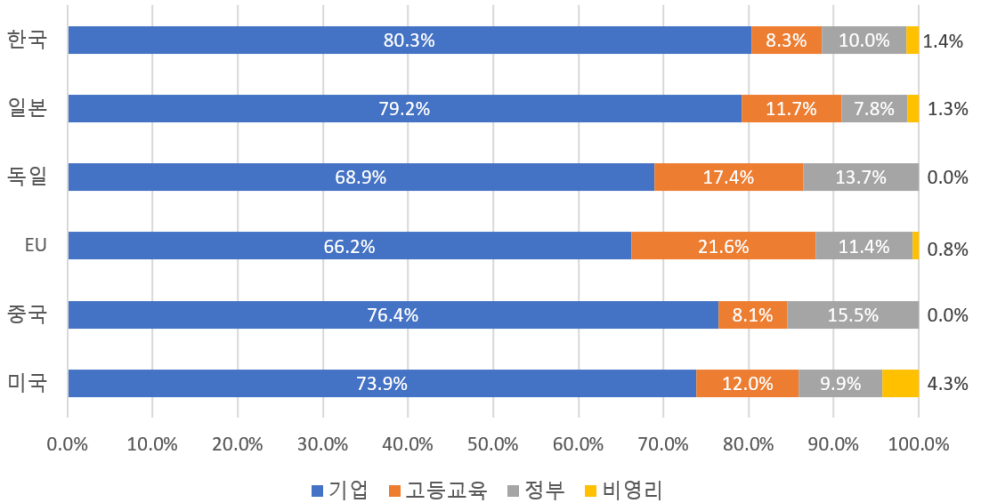
출처: OECD MSTI 2021-1

[그림 Ⅱ-19] 주요국의 연구개발비의 재원별 추이 (2009~2019)

□ 총 연구개발비 수행주체별 비율 및 추이

○ (총 연구개발비 수행주체별 비율) '19년, 주요국 모두 기업의 재원 비중이 가장 높았고, 다음으로 우리나라를 제외하고 고등교육, 정부, 비영리 순으로 나타남

※ 우리나라의 경우 고등교육 비중(8.3%)보다 정부 재원(10%)의 비중이 더 큰 것으로 나타났으며, 중국 및 독일의 경우 비영리 부문 없이 기업, 고등교육, 정부 재원으로만 구성됨

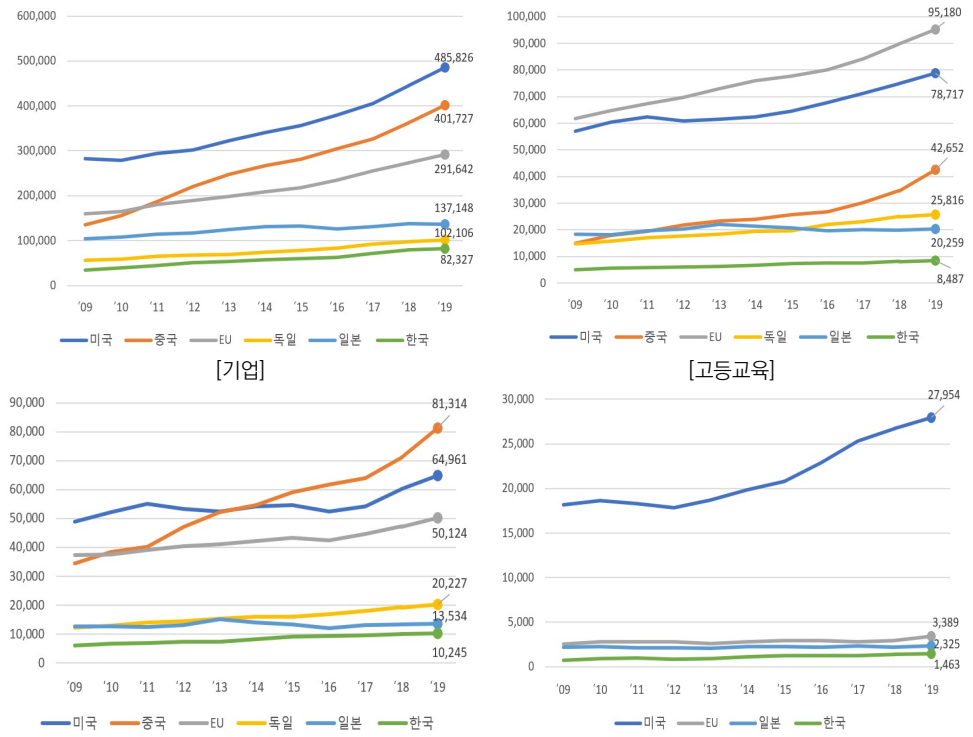


출처: OECD MSTI 2021-1

[그림 Ⅱ-20] 2019년 주요국의 연구개발비 수행주체별 비중

○ (총 연구개발비 수행주체별 추이) '19년, 주요국 모두 기업재원의 경우 상승세를 보이고 있으며, 그 중에서도 '13년 이후 중국의 상승세가 두드러지게 나타났고, 정부 재원의 경우에도 중국이 813억 달러로 가장 큰 규모를 기록

※ 고등교육의 경우 EU(27개국)이 가장 큰 규모를 차지하고 있고, 다음으로 미국, 중국, 독일, 한국 순이었으며, 비영리의 경우 미국이 두드러지게 높은 규모를 보였고 중국 및 독일의 경우 비영리 비중이 없음



출처: OECD MSTI 2021-1

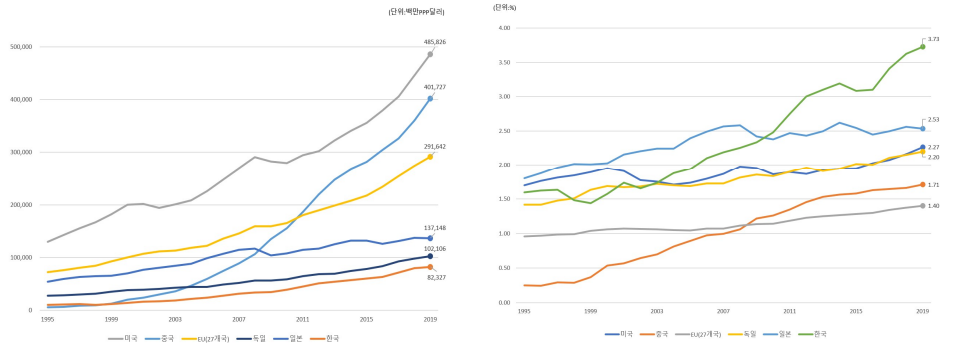
[그림 Ⅱ-21] 주요국의 연구개발비의 수행주체별 추이(2009~2019)
(단위 백만 PPP달러)

7.2. 민간부문 총연구개발비 투자 규모 및 추이

□ 주요국의 민간부문 총 연구개발비는 미국(4,848억 달러)이 가장 규모가 컸고, 중국(4,017억 원), EU(2,916억 달러), 일본(1,371억 달러), 독일(1,021억 달러), 우리나라(823억 달러) 순으로 나타남('19년, PPP$)

○ (주요국 민간부문 총 연구개발비 추이) 미국 및 중국의 급성장세가 돋보이며, 독일, 일본, 우리나라의 경우 점진적 증가세를 보임

○ (주요국 민간 부문 연구개발비 GDP 대비 비중)우리나라의 경우 '19년 3.73%로 '11년 이후 주요국 중 항상 가장 높은 순위 기록 중이며, 다음으로 일본, 미국, 독일, 중국 순

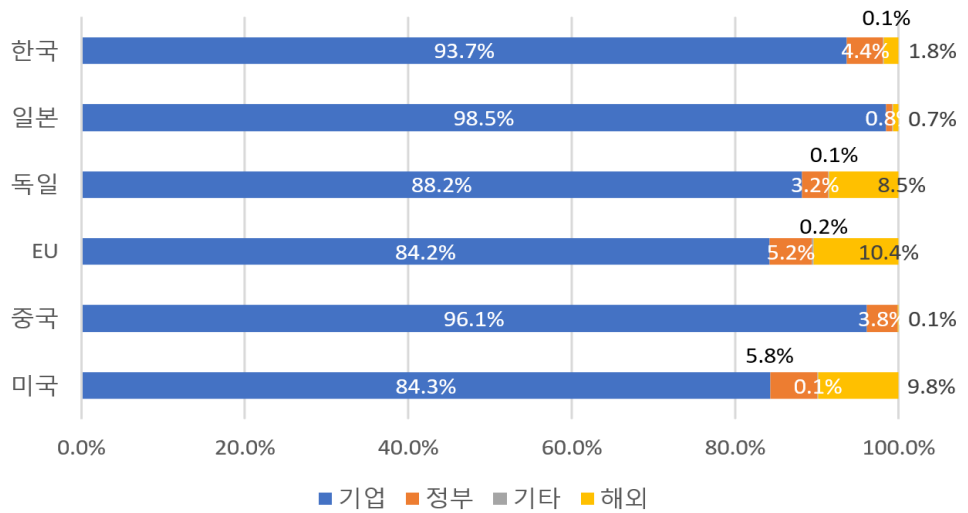


출처: OECD MSTI 2021-1

[그림 Ⅱ-22] 국가별 민간부문 총 연구개발비(GERD) 추이(좌) 및 GDP 대비 비중(우) (1991~2019)

□ 민간부문 연구개발비 재원별 추이

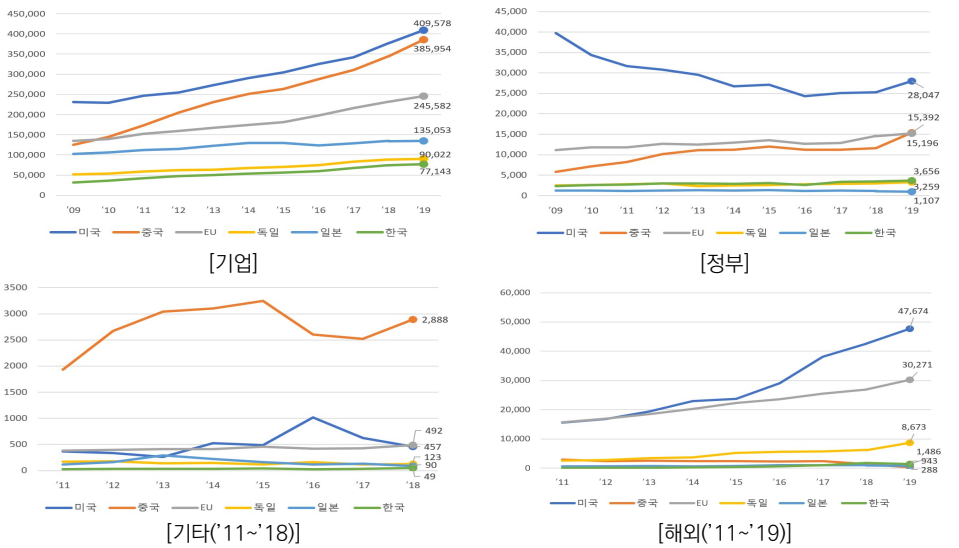
○ (민간부문 재원별 비중) 주요국 모두 기업이 가장 높은 비중을 차지하고 있으며, 한국(93.7%), 일본(98.5%), 중국(96.1%)의 경우 민간 부분의 비율이 상당히 높음



출처: OECD MSTI 2021-1

[그림 Ⅱ-23] 2019년 주요국의 민간부문 연구개발비 재원별 비중

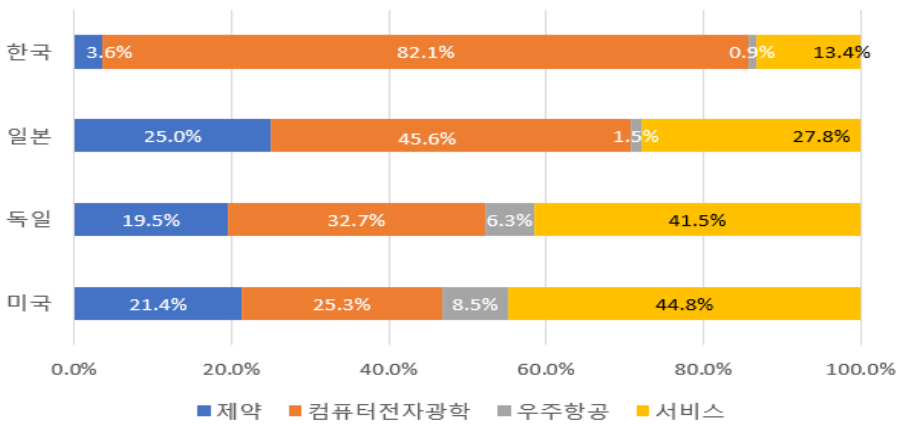
○ (민간부문 재원별 추이) 기업의 경우 미국 및 중국의 규모 성장세가 두드러지게 나타났으며, 해외 재원의 경우 미국이 477억 달러 규모로 주요국 중 독보적



출처: OECD MSTI 2021-1

[그림 Ⅱ-24] 주요국의 민간부문 연구개발비의 재원별 추이 (2009~2019)

○ (민간부문 산업별 비중) 우리나라의 경우 컴퓨터·전자·광학 부문이 82.1%를 차지하여 주요국 중 가장 높은 비중을 기록하였으며, 독일 및 미국의 경우에는 서비스 비율이 각각 41.5% 및 44.8%로 산업 비중이 가장 높음

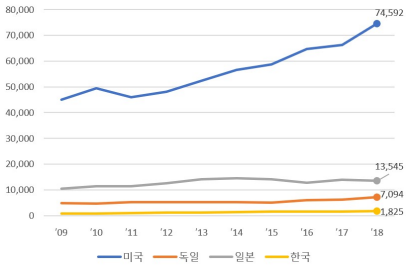


출처: OECD MSTI 2021-1

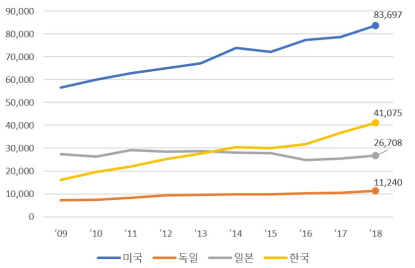
[그림 Ⅱ-25] 2019년 주요국의 민간부문 연구개발비 산업별별 비중

○ (민간부문 산업별 추이) 제약의 경우 미국이 가장 큰 규모로, '18년 기준 750억 달러 수준이었으며, 컴퓨터·전자·광학, 우주항공, 서비스 산업 분야의 경우에도 미국이 가장 큰 산업규모

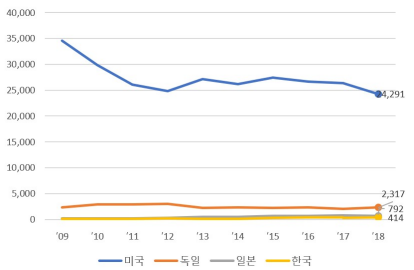
※ 우리나라의 경우 '13년 이후 컴퓨터·전자·광학의 산업 규모가 일본을 추월하여 지속적 성장세를 보이고 있음



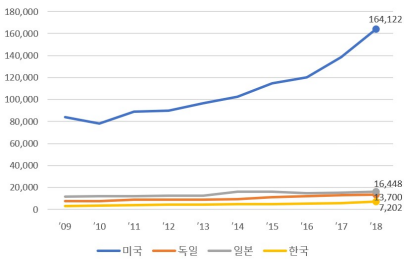
[제약]



[컴퓨터전자광학]



[우주항공]



[서비스]

출처: OECD MSTI 2021-1

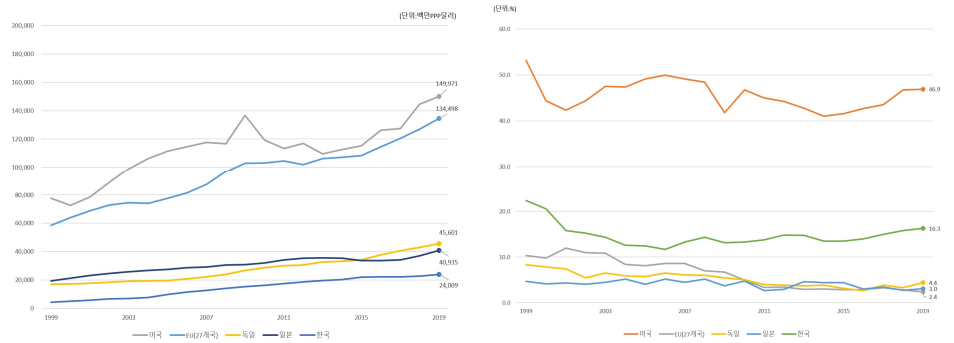
[그림 Ⅱ-26] 주요국의 민간부문 연구개발비의 산업별 추이 (2009~2018)

7.3. 정부 총연구개발비 투자 규모 및 추이

□ '19년 기준 미국(1,500억 달러), EU(1,345억 달러), 독일(456억 달러), 일본(409억 달러), 한국(240억 달러) 순

○ (주요국 정부 총연구개발비 추이) 최근 5년 간 주요국 모두 증가세를 보이고 있으며, 그 중에서도 미국 및 EU의 규모('19년 기준, 각각 1,500억 달러, 1,345억 달러) 및 성장세가 두드러짐

○ (국방비 비중) '19년 기준, 미국이 46.9%로 주요국 중 가장 높은 비중을 차지(OECD 국가 중 1위), 다음으로 한국(16.3%), 독일(4.4%), 일본(3%), EU(2.4%) 순

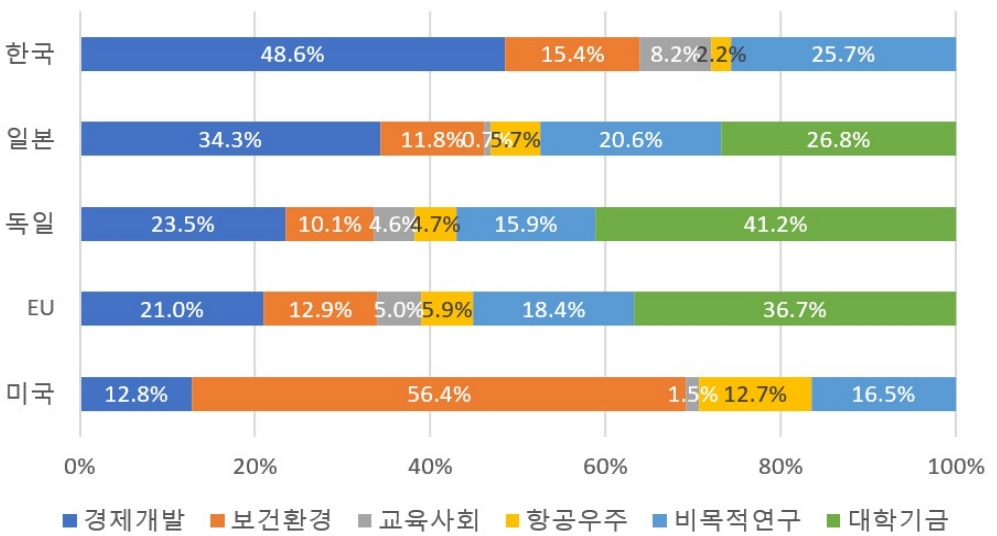


출처: OECD MSTI 2021-1

[그림 Ⅱ-27] 국가별 정부 총 연구개발비(GERD) 추이(좌) 및 국방비 비중(우) (1991~2019)

□ 정부 총연구개발비 경제사회목적별 추이

○ (정부 경제사회목적별 비중) 우리나라 및 일본의 경우 경제개발이 가장 많은 비중(각각 48.6%, 34.3%)을 차지하고 있으며, 미국의 경우 보건환경(56.4%), EU 및 독일의 경우 대학기금(각각 36.7%, 41.2%)가 가장 많은 비중을 차지



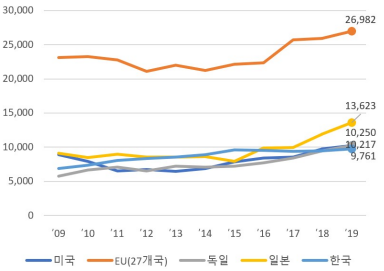
출처: OECD MSTI 2021-1

[그림 Ⅱ-28] 2019년 주요국의 정부 연구개발비 경제사회목적별 비율

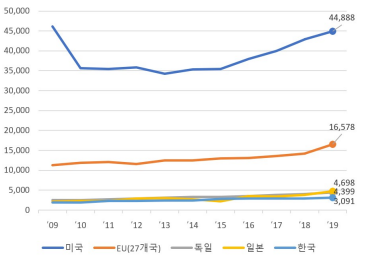
○ (정부 경제사회목적별 추이) 경제개발, 교육사회, 비목적연구, 대학기금*부문의 경우 EU가 가장 높은 규모(각각 270억 달러, 65억 달러, 236억 달러, 472 '19년 기준)를 기록하였으며, 보건환경, 항공우주의 경우 미국이 가장 높은 규모(각각 449억 달러, 101억 달러, '19년 기준)를 기록

* 대학기금: EU(27개국), 독일, 일본만 해당

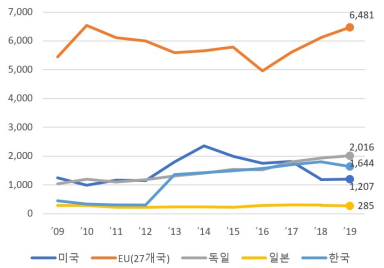
※ 우리나라의 경우 '19년 기준, 교육사회 부문을 제외하고 모두 주요국 하위권 기록



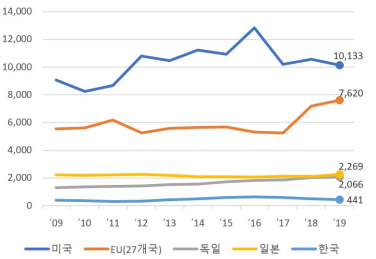
[경제개발]



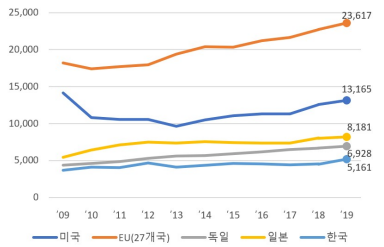
[보건환경]



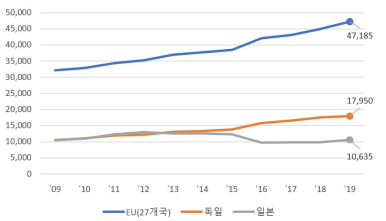
[교육사회]



[항공우주]



[비목적연구]



[대학기금]

[그림 Ⅱ-29] 주요국의 정부 연구개발비의 경제사회목적별 추이 (2009~2019)

7.4. 국가별 R&D 정책·프로그램 비교

□ 연구역량 강화 관련 R&D 정책·프로그램

○ 국가별 공통된 주요 R&D 정책·프로그램은 기초연구, 인력양성, 지역균형, 일자리 창출 등이 있으며, 연구역량 강화의 일환으로 R&D 예산 지원

○ 우리나라의 경우 한국판 뉴딜 내 휴먼(인력양성 등) 및 지역균형 부문이 포함되어 있으며, 기초연구 활성화를 위한 R&D 정책 수립 및 투자 중

〈표 Ⅱ-56〉 국가별 연구역량 강화 관련 R&D 정책·프로그램

국가	R&D 정책·프로그램	내용
미국	미국 일자리 계획	소외 지역의 혁신 및 고용창출, 연구 인프라 업그레이드, 중소기업 재활성화
	미국 공급망 점검	반도체 및 배터리 등과 간련한 설계, 제조, 후공정, 소재, 관련 장비 등과 관련된 역량을 재구축
	융합 엑셀러레이트	개념 증명 및 연구내용 고도화 등 융합연구 수행을 위한 지원
	연구 인프라 구축	주요 연구 기기, 다중 사용자 시설, 중규모 연구기반 시설 등 연구 인프라 구축
중국	국가혁신체 구축	지역별로 신형 연구기관에 대한 보조금 지원 및 혁신형 기업 난관 극복을 위한 맞춤형 서비스 제공 등
	기초연구 10년 행동방안	기초연구 역량 강화를 위한 국가 과학기술 인프라 구축 및 각 지역별 과학혁신 시범도시 구축
	과학기술혁신 2030 중점 프로젝트	국가 중대 과학기술혁신 관련 분야 선정 및 AI 중심의 연구를 통한 뉴인프라 구축
	14.5 규획 중점 프로젝트	청년과학자 과제 확대 및 개방형 경쟁과제 신설 등 과제 관리 개혁
	국가혁신형 산업클러스터	지역별 혁신형 산업클러스터 시범 육성 및 상대적 낙후 지역 포함을 통한 개발 촉진
독일	지역 R&D 혁신과 구조변화	취약 지역 지원 및 각 지역별 특화 기능 발휘를 위한 지역별 특성화 촉진
	인력양성(국가지속훈련전략)	노동 4.0 실현 및 실업 예방을 위해 직업분야 교육 등 수행
	우수대학육성사업	세계적 탑클래스의 독일 대학 육성, 지역별로 총 10개 대학을 선정하여 지원
일본	새로운 연구시스템 구축 (오픈사이언스와 데이터규동형 연구 추진)	데이터 활용 가속화 및 데이터 관리·활용, 연구 디지털 전환 인프라 정비 등을 지원
한국	휴먼·지역균형 뉴딜	핵심 과학기술 발전 분야에 대한 인재 양성과 지역 및 지자체 주도형 사업 확대·지원
	기초연구사업 시행계획	젊은 연구자에 대한 지원 확대 및 안정적 초기 연구 환경 조성
	민·관 협력 SW 인재양성 대책	SW 개발자 인력난을 해소하기 위해 SW 인재 양성 관련 단·중·장기 정책 추진

□ 성장동력 확충 관련 R&D 정책·프로그램

○ 국가별 공통된 주요 R&D 정책·프로그램은 AI, 소재, 바이오, 디지털화 등과 관련한 혁신 기술 개발 부문이 있으며 관련 R&D 분야 중점 투자

○ 우리나라의 경우 디지털 뉴딜, 소재·부품·장비, BIG3(미래차, 바이오헬스, 시스템반도체) 사업 등을 중점으로 R&D 투자 확대

〈표 Ⅱ-57〉 국가별 성장동력 확충 관련 R&D 정책·프로그램

국가	R&D 정책·프로그램	내용
미국	아르테미스 계획 (Artemis program)	인류를 달에 보내기 위한 미션으로 큰 범위의 달 표면 탐험을 목표로 함
	안전·신뢰 사이버 공간	사이버 보안 및 개인정보 보호를 보장하고, 사회적, 경제적 이점을 유지하는 것이 목표
	국가 나노기술 이니셔티브	나노 기술과 관련 R&D 연구개발, 사업화, 인력확대 등을 모두 포함한 포괄적 정책
	양자 도약 챌린지 연구소	양자 정보 과학 및 공학 최첨단을 위한 프로젝트로 관련 연구를 위한 지원
중국	14.5 계획강요-현대산업체계 발전	산업 기초역량을 다지고 산업 및 공급사슬의 현대화 수준을 향상시켜 신흥산업군 형성
	기술혁신에서 기업 주체적 지위 향상	기술혁신의 주체로서 기업의 역할을 강화하고 기술형 기업 확대를 위한 정책적 지원
	14.5기간 중국제조강국 관련 사업	제조업 혁신역량 제고, 정보화 및 공업화 융합 등 관련 국가제조업혁신센터 건설·운영 및 스마트제조로의 전환
독일	Von der Idee zum Markerfolg	디지털화 등과 관련한 핵심기술 상품 관련 개발에 중소기업 참여 확대를 위한 전문성 제공
	SMEs Digital	대기업과 중소기업의 디지털 격차 해소 등을 위한 디지털화 지원
	Digital Jetzt	디지털 기술에 대한 중소기업의 투자 확대 및 관련 비즈니스 프로세스 개선 등을 통한 혁신성 강화
일본	AI 전략 2021	AI와 관련한 교육, 기반기술 개발, ICT연계 등과 관련된 R&D 정책 지원
	바이오 전략 2020	고기능 바이오 소재, 플라스틱 등의 관련 기술 개발을 지원하고 데이터와 연계하여 활용
	양자기술 이노베이션 전략	양자컴퓨터, AI 시스템, 양자생명 기술 등의 연구개발을 및 사회적용을 위한 실증 추진
	소재혁신력 강화전략	혁신적 소재 개발 및 적용, 관련 데이터와 제조기술 활용한 데이터구동형 연구개발 등을 촉진
	혁신적 환경이노베이션 전략	에너지 전환, 운송, 산업, 농림수산업 등과 관련한 기술 개발 및 스마트시티 조성시 적용
	우주기본계획	달표면 탐사 연구개발, 우주과학탐사, 기간 로켓 개발고도화 등을 위한 연구개발 지원
	해양기본계획	해양관측조사와 관측데이터 활용고도화를 위한 연구개발 지원
한국	디지털 뉴딜	디지털 융복합을 경제사회로 확산하고, 초연결신산업 육성, SOC

국가	R&D 정책·프로그램	내용
		디지털화 연구개발 지원
	소재·부품·장비 연구개발 고도화 방안	공급 안정화가 시급한 핵심부품 개발을 위한 맞춤형 R&D 전략 수립 및 투자 지원
	혁신성장 BIG3 산업 집중육성 계획	미래차, 바이오헬스, 시스템 반도체 등의 핵심 분야 관련 기술 개발 및 관련 생태계 강화
	우주개발 진흥 기본계획	우주발사체 독자기술 확보 및 국가위성항법시스템 구축을 위한 투자 확대
	ICT 원천연구개발사업 시행계획	차세대 SW 중심사회 구현을 위한 슈퍼컴퓨터 개발, 양자컴퓨팅 기술개발, 양자정보과학 연구개발 생태계 조성 등 관련 원천기술 개발
	융합기술개발사업 시행계획	STEAM 연구사업, 미래선도기술개발사업, 휴먼플러스 융합연구, 과학난제 도전 개발 등 융합 기술 기반 기술혁명을 위한 사업 지원

□ 삶의 질 개선 관련 R&D 정책·프로그램

○ 국가별 공통된 주요 R&D 정책·프로그램은 코로나 19 대응, 탄소중립 등이 있으며, 글로벌 차원에서의 감염병 및 기후 환경 문제 해결 및 대응을 위한 기술 투자 확대

○ 우리나라의 경우 코로나 19 극복 및 포스트 코로나 대비와 탄소중립(그린뉴딜) 달성을 위한 기술 개발을 위해 관련 R&D 투자 확대

〈표 Ⅱ-58〉 국가별 삶의 질 개선 관련 R&D 정책·프로그램

국가	R&D 정책·프로그램	내용
미국	코로나19와 팬데믹 대처를 위한 국가 전략	국민 신뢰회복, 백신접종, 공중보건기준 확립 등과 관련한 코로나19 및 팬데믹 상황 개선을 위한 정책
	연방 의료 IT 전략계획	국민 건강 개선을 위해 관련 의료 정보를 활용하여 비용을 낮추고 고품질 치료 제공을 위한 디지털화 추진
	환경보호청 전략계획	기후 위기 대응, 환경법 시행, 공기질 개선, 안전한 물, 화학물질 안정성 확보 등을 위한 환경 보호 정책 추진
	농식품 연구 이니셔티브	농촌 경제 개선 및 식량 샌상 향상, 바이오 경제 촉진을 목표로 기후 변동성 영향 완화 및 물 가용성 문제 해소, 식품안전 강화 목표
중국	공공위생·건강 관련 정책	국가 연구시설을 중점으로 공공위생, 전염병, 만성질병 등과 관련한 사업 추진
	바이오의약 산업 발전 정책	질병예방통제체계 개혁, 공공위생 체계 강화, 의료방역 혁신, 공공위생 긴급 처리, 인터넷+의료서비스 신모델 보급 등의 연구 지원
	녹색 저탄소 및 탄소중립 정책	녹색순환발전을 위한 체계 형성 및 에너지 전환, 에너지 혁신 기술 개발 등을 지원함으로써 탄소중립 달성
독일	건강 및 질병관리 관련 정책	의약물질 개발을 지원하고 환자에게 혁신적 의료옵션 제공(국가의약물질 이니셔티브) 및 디지털화 및 인공지능을 통한 치료 혁신(디지털건강 혁신로드맵) 추진

국가	R&D 정책·프로그램	내용
	지속가능성, 온난화 및 에너지 대책	자원 효율적 순환경제 전환, 재생에너지 대체 등 관련 기술개발 연구 지원
	지능형 무배출 이동성 정책	교통시스템 디지털 전환, 배터리 시스템 구축 등과 관련된 연구 지원
	경제 4.0과 노동 4.0	중소기업 제품개발 공정이나 플랫폼 경제 등 새로운 형태 사업 개발을 위한 스마트 서비스 적용 지원 및 노동의 디지털화 적용으로 업무 환경 개선
일본	자연재해 대책	예방, 관측, 응급대응, 복구 등 각 단계별 대책 수준 고도화를 위한 연구개발, 연구시설 정비 등 지원
	인프라 노후화 대책	인프라·데이터 플랫폼 구축 및 3D화, 국토 강인화를 위한 효율적 인프라 관리 구축 등과 관련 기술 연구개발
	코로나 19 대응	코로나19 대책을 위한, 연구개발, 관련 의료인력 양성, 감염증 아시아 연구거점 기반 강화, 치료제 개발 등 연구 지원
한국	국가 감염병 위기 대응 기술개발	코로나 19 등 신·변종 감염병 위기상황 극복 및 포스트 코로나대비 기술개발 및 백신 국산화 기술 확보 등
	탄소중립 기술혁신 추진전략	탄소 중립 신산업 창출 지원, 고탄소 공정·제품 신속히 대체, 관련 R&D 기초·원천 기술 개발
	그린 뉴딜	탄소 중립 추진 기반을 구축하기 위해 온실가스 측정·평가 시스템, 디지털 기반 자원순환 산단 구축 및 저탄소·분산형 에너지 확산 등 그린 생태계 구축 지원

제5절 전략적 R&D 투자시스템과 의제

1. 주요국 및 우리나라의 연구개발 투자 동향

□ 주요국은 선도 중심 연구역량 강화, 첨단기술 주도 성장동력 확충, 국가 안전 및 생존 핵심기술 확보 등 임무(Mission) 지향의 범부처 하향식 R&D 투자와 민관협력 과학기술 생태계 조성에 주력

○ 우리나라의 국가 R&D 투자 규모와 세계혁신지수 5위, 하이테크 무역수지비 1.5, 기술 무역적자 등 혁신역량은 지속적으로 개선되고 있으나 기술 경쟁력 17위(IMD, '21) 및 공급망 불안정 여전

〈표 Ⅱ-59〉 국가 R&D 투자규모 및 세계혁신지수 TOP5 국가와 순위

지표 및 자수	미국	중국	독일	일본	한국	영국	스위스	스웨덴
1년간 GDP('21, IMF[19]/WB)	1	2	4	3	10	5	18	22
1인당 GDP('21, IMF/WB)	5	59	17	24	27	21	3	11
국가 R&D 투자('19, OECD)	1	2	3	4	5	7	11	14
세계혁신지수('21, UN WIPO[20])	3	12	9	13	5	4	1	2

출처 : IMF/OECD MSTI/UN WIPO 외 KISTEP 사업조정본부 재구성, 2021

□ 우리나라는 하향식 예산 배분과 상향식 예산 요구 체계로 핵심기술 공백 및 유사사업 중복 가능성이 높고, 다부처·계층 관리로 정책 파편화 및 전략 분절화 심화, 범부처 투자 전략성 연계가 가장 시급

○ 차세대 선도분야 다부처 협력 전략사업 확대, 민관 협력 R&D 투자전략체 강화, 정부 R&D 투자비중(미국 28%, 한국 21%) 지속적 확대, 총사업수 증가에 따른 전략적 사업구조 개편 및 일몰 혁신 필요

19) 국제통화기금(INTERNATIONAL MONETARY FUND), 1945년 선진국의 기금 조성으로 창설된 금융 국제기구

20) 세계지식재산기구(World Intellectual Property Organization), 국제연합 전문기관으로 지적재산권 보호 및 조약 제정

〈표 Ⅱ-60〉 우리나라의 연도별 R&D 예산액 추이 및 사업수 변화('21.10 현재)

구분		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022 (안)
투자 규모 (조원)	국가R&D 예산액	66.0	69.4	78.8	85.7	89.4	-	-	-
	정부R&D 예산액	19.0	19.1	19.5	19.7	20.5	24.2	27.4	29.8
	(결산)	(16.3)	(16.4)	(17.7)	(18.4)	-	-	-	-
	GDP대비 총비중	3.98	3.99	4.29	4.52	4.64	-	-	-
	민간 : 정부	75:25	76:24	77:23	79:21	79:21	-	-	-
사업수	총사업	739	695	721	755	912	861	948	1,198
	신규	36	19	47	75	189	219	240	294
	계속(일몰)	703(0)	676(14)	674(7)	680(44)	723(53)	642(74)	708(94)	904(136)

〈표 Ⅱ-61〉 주요국의 과학기술 상위계획 및 임무(Mission) 지향 범부처 R&D 프로그램

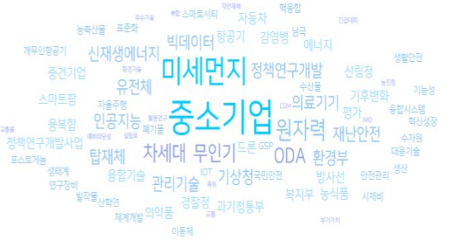
	연구역량 강화	성장동력 확충	삶의 질 개선
미국	·미국혁신전략(혁신기반투자, 민간 혁신활동촉진, 국민혁신성유인) ·NIH[21] 차세대연구자이니셔티브(신진, 중견 연구자지원) ·NSF 10대 Big Ideas Project(미래 주도, AI·로봇·IoT·양자·데이터 등) ·중소기업혁신연구프로그램(연방기관)	·국가인공지능R&D전략계획 ·양자정보과학 네트워크 전략비전 (과학기술정책실 양자과학정책처) ·국가제조업혁신네트워크전략계획(첨단제조경쟁력과 기술역량강화) ·네트워킹 및 IT R&D 프로그램 ·매뉴팩처링 USA(R&D, 연구소지원)	·NIH 코로나19 연구전략계획 ·정밀의료추진계획 ·대기 및 에너지 R&D실행계획 ·NIH 알레르기전염병 연구소지원 ·All of Us 연구 프로그램 ·Air and Energy 연구(대기질, 대기오염, 실내공기 연구 등)
중국	·중장기 과학기술발전계획(기초 과학, 프론티어 기술연구강화 등) ·중장기 과학기술발전계획 2035(BT, IT, ET, NT, 에너지, 첨단기술 등) ·국가혁신주도 발전전략(산업기술, 원천, 지역, 민군융합, 주체, 인력 등) ·13차 5개년 과학기술발전 프로젝트	·국가과학기술혁신계획 과제(선도, 원천, 혁신공간, 창업, 체제개혁 등) ·국가전략신흥산업계획 과제(혁신 전략, 시장, 핵심기술, 시스템 형성, 디지털, AI, 로봇, 신소재, 신에너지, 환경, 우주항공, 전략산업, 바이오, 저탄소, 글로벌 영향력 확대 등)	·국무원 산하 응급관리부 사업 ·국가위생건강위원회 프로그램 ·위생건강과학기술혁신특별계획 ·건강위생개발계획, 건강중국2030 ·자연재해평가 플랫폼 건설 ·방재 및 저감과학기술사업 ·국가종합방재감재계획 2020
EU	·EU연구위원회, 마리퀴리액션, 유럽 연구인프라(도전혁신 연구자지원, 인력양성, 인프라활용, 시민참여 등) ·민관 연구인프라전략포럼·컨소시엄 ·영국(박사양성, 지식이전파트너쉽, 시설정비(다이아몬드라이트소스) 등 ·독일(하이테크전략, 전문인력기반 등)	·미래신흥기술(바이오, 데이터, 시스템, 녹색, 나노, 신경, 양자, 로봇, 신소재) ·기반 및 산업기술 리더십구축(제조 로봇, 첨단소재, 생명과학, 나노전자광, AI, 양자, 보안, 우주 등) ·민관파트너쉽(PPP, 하향식 연구 등) ·인더스트리4.0플랫폼(가치사슬 디지털화)	·보건, 인구변화 및 복지, 안전·청정 에너지(지속가능성, 질병· 건강·의료, 탈탄소, 온난화 대응 등) ·호라이즌프로그램(보건분야, 연구협력, 보건산업, 파트너쉽, 생명과학블루스카이 연구 등) ·에너지혁신프로그램(에너지안보 등)
일본	·Society5.0 SIP[22] 2기("18~22, 전략적 혁신 프로그램, 년 약500억엔 등) 연구력·연구개발력강화(신진연구자 도전기회, 원천, 경력, 인재육성 등) ·중점혁신분야 기반기술(AI, 바이오, 양자, 소재), 응용기술(안전, 환경·에너지, 건강·의료, 우주,식품·농림)	·SIP 별도 민관협력·도전프로그램 추진 ·PRISM[23](관민투자강화, AI·IoT·빅데이터 등) ·ImPACT[24](도전혁신프로젝트, 뇌·핵·바이오·광·양자·로봇 등) ·MOONSHOT[25](파괴적혁신과제, 달 탐사, 뇌, 질환, AI와 로봇 신기술 등)	·SIP2기(코로나 바이러스 감염병 대응과 공공의료구축 등) ·공중위생위기대응강화(진단·치료·백신개발, 기기의 연구개발 등) ·강인한 사회·경제구조의 구축(탈탄소사회 이행, 혁신적 환경 이노베이션의 추진)

〈표 Ⅱ-62〉우리나라의 정부 주요 R&D 사업의 구성 및 변화('21.10 현재)(단위 억 원)

구분		2020-2022년도 주요R&D 예산						사업수			사업평균규모		
		'20	'21	'22	평균증감액	증감률	'23(추정)	'20	'21	'22	'20	'21	'22
총예산	규모(비중)	197,791 (100.0)	224,677 (100.0)	242,937 (100.0)	22,573	7.1	263,639	861	948	1,198	22,972	23,700	19,591
	예타	18,912 (9.6)	21,035 (9.4)	27,551 (11.3)	4,320	13.4	34,371	80 (23)	93 (16)	100 (10)	18,890	19,706	22,110
	비예타	178,879 (90.4)	203,641 (90.6)	215,386 (88.7)	18,253	6.4	229,268	781	855	1,098	23,390	24,129	19,381
신규	규모(비중)	17,303 (8.7)	14,725 (6.6)	23,963 (9.9)	3,330	11.5	25,003	219	240	294	7,901	6,642	6,461
	예타	4,582 (2.3)	4,034 (1.8)	5,841 (2.4)	629	8.4	4,612	26 (-)	31 (-)	22 (-)	17,624	13,065	15,197
	비예타	12,720 (6.4)	10,691 (4.8)	18,122 (7.5)	2,701	12.5	20,391	193	209	272	6,591	5,733	6,013
계속	규모(비중)	171,163 (86.5)	202,446 (90.1)	210,202 (86.5)	19,520	7.1	228,503	568	614	768	12,602	8,561	6,175
	예타	12,253 (6.2)	13,718 (6.1)	21,351 (8.8)	4,549	20.3	28,466	39 (22)	45 (13)	74 (10)	12,653	17,434	8,971
	비예타	158,910 (80.3)	188,728 (84.0)	188,852 (77.7)	14,971	5.9	200,037	529	569	694	12,589	6,627	6,090
종료	규모(비중)	9,325 (4.7)	7,506 (3.3)	8,771 (3.6)	△277	△2.0	10,134	74	94	136	30,134	32,810	26,922
	예타	2,076 (1.0)	3,283 (1.5)	359 (0.1)	△859	△44.3	1,294	15 (1)	17 (3)	4 (-)	22,132	24,991	24,156
	비예타	7,249 (3.7)	4,223 (1.9)	8,412 (3.5)	582	5.1	8,840	59	77	132	30,724	33,432	27,216

* 예산 : ~2021년 확정예산, 2022년 정부(안) 기준
출처 : 과학기술정보통신부 연구개발투자심의국, 2021

21) 미국 국립보건원(National Institutes of Health)은 의료 및 건강 관련 연구개발 및 관리 전담기관
22) SIP(Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program) : 과학기술 전략혁신 프로그램(5년)
23) PRISM(Public Private R&D Investment Strategic Expansion Program) : 성장동력 신기술 중점 투자
24) ImPACT(Impulsing PAradigm Change through disruptive Technologies) : 혁신도전형 프로젝트
25) MOONSHOT(Moon Shot) : 달탐사 정복을 은유적으로 표현한 명칭이며 거시 관점의 과감한 파괴적 혁신지향

	
〈 신규과제 〉 중소기업, 의료기기, 병해충, 차세대, 반도체, 지자체, 원자력, 기후변화, 소부장회계, 테스트베드, 에너지, 신재생에너지, 스마트홈, 인공지능, 자동차, 감염병, 폐기물, 지역산업, 생산, 안전기술	〈 계속과제 〉 중소기업, 미세먼지, 원자력, 무인기, 차세대, ODA, 의료기기, 인공지능, 유전체, 기상청, 정책연구개발, 관리기술, 환경부, 재난안전, 탑재체, 빅데이터, 신재생에너지, 기후변화, 감염병, 경찰청

[그림 Ⅱ-30] '21년 신규·계속과제별 워드 클라우드의 가중치 상위 20위 키워드

2. 정부 R&D 연구개발 투자의 주요 의제

정부 R&D 예산 30조원, 국가 R&D 100조 시대,
임무 중심의 전략적 R&D 투자와 자율과 책임의 평가 시스템으로 대전환

□ 범국가적 '전략 R&D 프로그램'의 추진 및 R&D 예산 투자시스템 마련

□ 범부처 국가 R&D 투자전략 및 전략적 예산배분조정체계 고도화

○ 지역, 기초연구, 디지털기술 등 주요 정책 및 중점 기술분야의 R&D 투자전략 신규 수립과 핵심정책 및 기술에 대한 예산심의 정보 관리 및 활용기반 고도화

※ 범부처 등 다수의 이해관계자가 존재하고, 투자 규모가 크게 확대된 분야의 국가적 R&D 투자방향을 범부처 관점의 투자전략으로 설정하고 예산과 연계

※ 전략 R&D 프로그램 사업의 투자 적정성 검토 강화, 대형연구시설구축지원 추진체계 정비, 맞춤형 컨설팅 시범적용 및 단계적 지원 확대, 출연연 예산심의 효율화 등

□ 기술패권 선도를 위한 첨단전략기술 투자협력 및 지원기반 강화

○ 첨단전략기술분야의 전략적 R&D 투자지원과 함께 기술분야 육성을 위한 민군 기술협력 및 산학연관 전략기술 계획협력체계 마련

※ 첨단전략기술 지정관리를 통해 연도별 R&D 투자방향 반영 및 예산심의 연계, 관계부처 협력 기술로드맵 수립 및 국방분야 민간참여 확대지원, 산학연 Think Tank의 기술전략 기능 및 협력 강화 등

□ 임무 중심형 R&D 프로그램 추진과 투자협력 및 협의체 확대

○ 국가 핵심기술 및 정부 전략 R&D 중심의 임무 중심의 하향식 프로그램 추진과 다부처 연계 및 산업계 수요 기반의 협동기획을 통한 임무 지향 R&D 사업 강화

※ 국가첨단기술 발굴 및 다부처협력 R&D 기획사업, 민관 혁신포럼을 통한 협동기획사업, 혁신조달형 R&D사업, 혁신도전 및 임무테마형 프로그램 사업기획 및 투자연계 강화

□ R&D투자 및 예산배분 시스템 혁신

□ 정부 R&D 투자전략 거버넌스 강화와 통합연계 체계 구축

○ 정부 R&D 정책 및 기술분야 중심의 부처 R&D사업 포트폴리오 검토 강화와 사업의 전방위 중장기계획 간 연계 및 이행 로드맵의 구체성 점검 강화

※ 정부 R&D 사업의 총 예산 및 결산, 프로그램 및 사업, 과제 간 데이터 및 정보 연계, 예산배분 시스템의 회계데이터의 구조에 따라 부처, 전문관리기관, 지역 및 주체별 R&D 포트폴리오 점검, 핵심전략기술 및 중점투자사업에 대한 계획 대비 이행 현황 검토 확대

□ 국가 전략기술 사업검토 강화 및 계속사업 구조조정 효율화

○ 국가 핵심정책 및 전략기술 관련 R&D 사업의 신규예산검토 및 사업이행 점검 강화, 부처 자체 구조조정 강화를 통한 계속사업 유연 검토제 확대

※ 법적 임무 및 역할에 기반한 계속, 고정적 R&D 사업 및 예산항목에 대한 자율, 자동 예산 배정방식 검토와 부처 및 기관의 구조조정 대상 계속사업의 자율 예산편성과 적정성 검토 방안 마련

Ⅲ. R&D 투자전략 분석

제1절 바이오헬스 분야별 정책동향

제2절 바이오헬스 분야별 기술·산업 동향

제3절 바이오헬스 분야별 R&D 투자전략

제1절 바이오헬스 분야별 정책 동향

1. 미국

□ (추진체계) 보건복지부(HHS), 국립과학재단(NSF), 국방부(DOD), 에너지부(DOE) 등 연방정부 부처와 기관이 추진

○ 보건복지부 산하의 국립보건원(NIH)을 중심으로 바이오헬스 연구개발 예산의 90%가 집행(외부공모 80%, 내부연구 20%)

* 기초 생명과학분야는 NSF 내 생명공학국에서 주로 지원

- 보건복지부 산하의 생물의약품첨단연구개발국(BARDA)에서 국가보안 및 공중보건에 관한 사항에 대해 민간과의 협력연구
- 국방부 산하의 방위고등연구계획국(DARPA)의 바이오기술실(BTO)에서 신약개발과 헬스케어 혁신을 위한 혁신적 연구개발 지원

※ DARPA모델을 벤치마킹한 ARPA-H의 설립추진 계획

□ (정책동향) '국가 바이오경제 청사진(2012)'에 근간을 두고 바이오헬스를 핵심동력 중 하나로 강조

○ '21세기 치유법' 등에 근간한 BRAIN Initiative, Precision Medicine Initiative, Cancer Moonshot, 및 Human Microbiom Project 등 바이오헬스 분야 대형 프로그램을 전략적으로 추진하여 관련 분야의 글로벌 선두 자리를 유지

○ 코로나19 위기극복을 위한 역량 집중 및 저렴한 비용의 의료서비스를 위한 규제정책, 장기적 바이오헬스분야 과학기술 역량 강화를 위한 NIH예산 증대

○ 중국과의 기술패권 경쟁(MIC 2025) 대응을 위한 과학기술 혁신 역량, 연구윤리 및 국제협력 강화

1.1. 의약품

□ 2014년, 신약 후보물질 발굴을 위해 NIH 펀드의 IDG(Illuminating the Druggable Genome)를 출범

○ 충분히 연구되어 있지 않지만, 4개의 중요한 유전체군*에 대한 연구를 지원함으로써, 신약개발 후보물질 발굴을 촉진

* nuclear receptor, ion channels, protein kinase, G-protein coupled receptors

□ 2014년, NIH는 신약개발에 소요되는 비용을 절감하고 신약개발 성공률을 제고하고자 '신약개발 촉진협력(Accelerating Medicine Partnership, AMP)' 이니셔티브를 출범

○ AMP는 기존의 제품개발협력(Product Development Partnerships, PDPs)에 비해 상품화가치가 높은 질환을 타겟으로 한다는 점에서 차별성이 있으며, 신약개발 초기단계*보다는 협력기반의 전임상 연구를 촉진

* target identification, lead selection, lead optimization 등

○ 신약개발의 프로세스 개선을 위한 중개·임상연구 지원, 인허가 및 사업화 촉진을 위한 민·관 협력체계 기반의 신약개발 프로젝트를 추진

※ NIH, FDA, 다국적 제약기업, 비영리 단체, 환자 단체 등이 참여하여, 연구 샘플 및 데이터를 공유하고, 해당 프로그램을 통해 산출한 성과를 공개하여, 참여기업들이 독자적인 신약개발에 활용하는 것을 금지하고 있음

□ 2020년 9월, 미국의 싱크탱크 정보기술혁신재단(ITIF)은 미국의 바이오제조 글로벌 경쟁력 유지·개선을 위한 정책 로드맵을 제안

○ 미국 행정부가 보건복지부(HHS)에 지시한 '메디케어 파트B(Medical Part B)' 의약품을 국제가격과 일치시키는 의약품 가격 통제계획이 의약품 R&D와 혁신을 훼손시킬 수 있으며, 이러한 가격통제는 10년 간 신약건수가 3~5% 하락할 것으로 전망

○ 혁신을 촉진하기 위한 정책으로, R&D자금지원 확대, 투자인센티브 확대, 데이터에 기반한 의약품 개발지원, R&D인재 확대, 신약 개발 효율성 증대를 위한 협력 등 계획을 제시

- 미국 의회에서는 GDP에서 NIH자금이 차지하는 비중을 최소 '03년 수준으로 복원할 필요가 있다고 제시하고 있으며, 이는 매년 116억 달러의 NIH자금 증가를 의미
- 기업이 대학 R&D활동 투자시 20% 세금 공제를 제공하고, 희귀의약품 세금 공제는 50%로 복원하는 등 간이 세금공제를 두 배로 확대
- 의료정보보호법인 '건강보험의 이전과 책임에 관한 법(Health Insurance

Portability and Accountability Act, HIPPA)'에서 의도하고 있는대로, 고유환자 식별자의 구현 및 데이터 공유 촉진을 미국 보건복지부(HHS)에 지시

○ 내수 생산 증가를 촉진하기 위해, 국립바이오의약품제조혁신연구소(National Institute for Innovation in Manufacturing Biopharmaceuticals, NIIMBL)를 포함한 생물의학제조센터에 대한 자금 확대 및 미국 영토에서 바이오의약품 생산시 세금 공제 정책 복원, 의회와 행정부가 FDA와 협력함으로써 혁신적인 신규 의약품 제조공정 평가·승인 프로세스를 간소화

□ 대학, 연구소 등 비영리 연구기관들이 NIH 예산을 지원받아 신약개발에 활발히 뛰어들고 있는데, 이 배경에는 미국의 '바이-돌 법안(Bayh-Dole Act)'이 중요한 역할을 한 것으로 해석되고 있음

○ 1980년에 발효된 법안으로써, 미국 연방정부의 지원을 받은 비영리 연구기관들이 개발한 기술에 대해 특허를 출원하고 기술사용료를 받을 수 있도록 하였음

○ 그 이전에는 정부 예산으로 개발된 연구결과물은 공공의 자산으로 간주되어 이를 원하는 기업들이 별다른 규제없이 사용할 수 있었고, 이에 비영리 연구기관들은 신약 개발에 적극적이지 않았음. '바이-돌 법안'으로 혁신적 기술 개발 시 금전적 보상이 가능해져 비영리 연구기관에서도 적극적으로 신약 개발에 참여하게 됨

※ 암젠(Amgen)사의 빈혈치료제 에포젠(Epogen)은 콜롬비아대학에서 NIH 지원을 받아 바이오의약품을 합성하는 기술을 개발하고 특허권을 출원하였으며, 당시 벤처기업이었던 암젠은 대학으로부터 이 기술을 구입해 상업적 대량 합성 방법을 개발-임상시험을 거쳐 출시. 세계적인 블록버스터가 되었음

□ 미국은 바이오 신약에 대한 판매독점권을 연장해 주는 법안을 제정함으로써, 기업이 신약 비용을 높게 받고, 독점권을 오래 유지해줄 수 있도록 하여 기업의 신약 개발을 촉진함

○ 2009년 '생물의약품의 가격경쟁 및 혁신법(Biologics Price Competition and Innovation ACT of 2009)'를 제정함으로써 바이오의약품에 대해 12년의 자료 독점권을 부여하였고, 이는 합성의약품의 5년 보다 훨씬 긴 기간임

※ 특허 출원 후 임상 시험 및 승인에 약 10년이 소요되어, 특허 보호 기간이 단축되므로, 이를 보완하기 위해 의약품을 개발한 제약사가 일정기간 동안 임상시험 자료를 독점할 수 있는 자료독점권을 부여하였고, 이는 복제약의 출시를 지연시킬 수 있으므로 특허가 만료되더라도 사실상 독점권 확보가 연장됨

○ 하지만, 친기업적 정책으로 인해 약 값이 너무 높아짐에 따라 일반 국민에게 부담이 커져, 독점기간과 가격 상한제에 대한 이슈가 발생

□ **바이든 행정부는 모든 국민들에게 저렴한 비용의 의료서비스를 약속하며, 연구 성과의 실시요구권(march-in-rights) 확대 및 약가 통제 정책을 표명하였는데, 적극적인 실시요구권 발동이 바이오 분야 연구개발 의지와 바이오 기업의 혁신 여력을 크게 훼손할 가능성이 있다는 목소리가 제기됨**

1.2. 의료기기

□ **2016년, 미국은 혁신적인 의료기술에 대한 지원, 의약품 및 의료기기에 대한 새로운 규제 내용이 담긴 '21세기 치유법'을 공포함**

○ 의약품 개발을 촉진하기 위한 신속심사(fast track), 우선심사(Priority Review), 신속승인(Accelerated Approval), 획기적 치료제의 지정(Breakthrough Therapy Designation)을 제도화

○ 의료기기 개발 및 인허가의 신속 추진을 위해, 획기적 의료기기(Breakthrough Medical Device)의 심사 우선권, 인도주의적 의료기기(Humanitarian Medical Device Exemption)의 심사면제 대상 확대, 소프트웨어 사전인증 프로그램을 도입

- 획기적 의료기기(Breakthrough Medical Device) : 생명을 위협하거나 돌이킬 수 없는 상처 등을 남기는 병이나 상태를 치료하거나 진단하는 기기, 획기적 기술이거나 다른 대안이 없거나, 혹은 다른 기기에 비해 임상적 장점을 가지고 있는 의료기기 등이 해당되며, FDA에서 획기적인 의료기기 지정 기준을 충족하는지 여부를 결정함
- 인도주의적 의료기기의 심사면제(Humanitarian Device Exemption): 연간 최대 8천명까지 도움을 주는 의료기기에 대해서 인도주의적 의료기기에 대한 심사 면제를 확대하도록 규정. 기존에는 미국에서 연간 4천명 이하에게만 적용되는 질병이나 증상을 치료, 또는 진단하는데 사용되는 의료기기로, 심사면제 대상이 확대됨
- 일부 SW에 대한 규제대상 제외: 헬스케어 시설의 행정보조를 위한 SW, 병의 진단,치료 등에 관련되지 않고 건강한 생활 유지에 도움을 주는 SW, 임상 데이터를 해석하지 않고 전달, 저장, 형식을 변경하거나 보여주는 SW 등은 의료기기에 대한 요구사항이 적용되지 않음(단, SW가 의료정보를 수집, 처리, 분석 또는 해석하거나, FDA에서 그 사용이 심각한 건강상의 악영향을 초래할 가능성이 있는 것으로 확인한 SW는 규제대상이 됨)

○ 또한, 의약품 및 의료기기의 개발과 신속한 허가를 위해 실사용 데이터(Real World Data)와 실사용 증거(Real World Evidence)를 사용할 것을 권고

○ 환자 중심의 신약개발 절차를 도입하고, 신속한 추진이 가능하도록 개선되었으나, 임상연구 없이 허가를 승인하여 안전성이 낮은 의약품, 의료기기가 승인될 수 있다는 우려가 제기

1.3. 첨단재생의료

□ 2016년, 미국은 '21세기 치유법'에서 재생의료에 관련해 FDCA(Food, Drug, and Cosmetic Act)에 'Regenerative Medicine Advanced Therapy(RMAT)'를 신설하여 새로운 의약품으로 분류하였고, 임상연구 단계에서는 'RAT(Regenerative Medicine Therapy)'로 구분하여 정의하는 등 임상연구와 임상시험을 이원화된 트랙으로 구분하여 관리

○ RMAT는 IND단계의 신속승인 제도를 적용

□ 2017년, 미국 FDA는 세포치료제, 유전자체료제 등과 같은 첨단재생의약품의 안전성 감시 및 접근성 제고를 동시에 강화하는 첨단재생의약품 개발 및 관리에 관한 정책 프레임워크를 발표

○ 첨단재생의약품 개발 초기 안전성 문제로 유전자치료 연구가 위축

※ 1999년, 미국에서 선천성 대사이상 질병인 OTC 결핍증 환자에 아데노바이러스를 이용한 유전자 치료 시 부작용으로 사망하였으며, 면역장애 어린이 치료시, 백혈병 유발 가능성이 밝혀짐

○ 2017년, 세계 최초로 노바티스의 백혈병 치료제, 킴리아(Kymriah)가 판매 승인되며, 암 치료의 새로운 전기가 마련되었고, 첨단재생의약품 개발 활성화 필요성이 대두됨

※ 킴리아는 펜실베니아 대학에서 NIH의 지원을 받아 개발한 원천기술을 노바티스가 기술 라이센싱을 통해 상용화 한 것으로, 임상시험 등 시간과 비용이 많이 드는 과정을 민간기업이 담당하고, 정부는 초기 단계 연구자들의 혁신적인 아이디어를 연구해 볼 수 있는 기회를 제공. 이러한 시스템은 실패확률이 높은 연구개발을 시도하게 함으로써 의약품 개발에 큰 기여를 해옴

○ 해당 프레임워크는 안전성에 대한 규제기관의 책무와 재생의학의 발전을 촉진하는 방법 사이의 균형을 맞추는 것에 중점을 두어, FDA의 허가리뷰를 받기 위한 위험기준에 대한 범위를 명확하게 정의하고, 재생의약품 개발 활성화를 위한 규제요건 간소화 내용을 포함

- 규제요건 간소화에는, '21세기 치유법(The 21st Century Cures Act)'의 재생의학 조항을 개조한 것으로 RMAT 지정 범위와, RMAT 지정시, 우선심사, 신속 승인 등 획기적 치료제(Breakthrough therapies)와 거의 동일한 혜택이 언급

2. EU & 영국

□ (추진체계, EU) 바이오헬스만을 담당하는 별도의 기관은 없고, Horizon Europe 등 EU회원국과의 공동 협력을 통한 연구개발을 통해 바이오헬스에 투자

○ Horizon Europe 중 직접적으로 바이오 관련 R&D 프로그램에 지원되는 예산은 1) 질병연구(만성질환, 감염병 등), 2) 특정과제(의료시스템 효율화, 신약과 백신 개발,

의료 공평화), 3) 방법론, 도구, 기술개발(희귀질환 치료법, 맞춤의료, 원격의료 등)에 7년 간 약 75억 유로가 배분

□ (추진체계, 영국) 영국의 바이오 분야 연구개발은 영국연구혁신기구(UKRI), 국립보건연구원(NIHR) 등 정부기관과 웰컴트러스트, 영국암연구재단(Cancer Research UK)과 같은 민간단체를 중심으로 지원

○ 영국연구혁신기구는 2018년에 신설한 조직으로, 산하에 7개 연구회와 Innovate UK, Research England 등 펀딩기관을 두고 있으며, 이 중 바이오 관련 분야는 주로 의학연구회(MRC)와 생명공학·생명과학연구회(BBSRC)의 소관

□ (정책동향) '유럽의 지속 가능한 성장을 위한 혁신: 유럽 바이오경제(Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe)(2012)'과 이를 수정한 '지속가능한 유럽을 위한 새로운 바이오경제 전략(A New Bioeconomy Strategy for a sustainable Europe)(2018)'에 기반

○ 미래기술 주력사업 프로그램(FET Flagships, Future and Emerging Technologies Flagships)을 통해 최종 선정된 6개 분야 중 바이오 관련 이니셔티브는 라이프타임(LifeTime), 리스토어(RESTORE) 2개

□ (정책동향, 영국) 바이오 전담부서인 생명과학청을 통해 '영국생명과학전략(Strategy for UK Life Sciences(2011)', '생명과학전략(Life Science Strategy)(2017)'을 발표한데 이어, 2018년에는 '국가바이오경제전략 2030(Growing the Bioeconomy: a National Bioeconomy Strategy to 2030)(2018)'을 수립

○ 영국연구혁신기구(UKRI)는 2021년 3월에 헬스·생명과학산업이니셔티브(Initiatives boost health and bioscience skills and industry)를 발표

2.1. 의약품

〈EU〉

□ (의약품) EU는 세계 최대 보건 분야 산·관·학 협력 플랫폼인 유럽혁신의약품이니셔티브(Innovative Medicine Initiative)를 통해 Horizon2020의 전신인 FP7(Framework Programme7) 연구성과를 임상에 적용하는 등 중개연구 활성화를 지원

○ 유럽혁신의약품이니셔티브는 FP7의 일환으로 유럽위원회(EC)와 유럽제약산업협회(EFPIA)가 공동으로 출자하여 2008년에 시작됨

※ 유럽위원회의 FP6에 따라 지원된 혁신의약품 관련 유럽테크놀로지플랫폼(ETF)인 'INNOMED'에서 출발

○ EU-EFPIA가 거시 전략분야 설정 후 컨소시엄 형태 프로젝트에 투자하여 오픈 이노베이션 및 임상개발을 위한 협력 기반 구축이 장점

○ IMI1(2008~2013)은 알츠하이머, 정신분열증, 우울증 등 신경계 질환과 당뇨병, 폐질환, 종양학, 염증, 결핵, 비만 등 다양한 분야에서 신약개발 초기 단계 공동연구를 수행

○ IMI2(2014~2020)에서는 차세대 백신, 의약품 및 치료제 개발, 임상시험과 규제 개선 등 의약품 개발 프로세스 개선에 중점을 두고 있음

○ 올해부터 진행될 IMI3(2021~2024)은 면역학, 디지털 헬스케어, 항생제 내성, 세포치료, 유전자 치료 등 바이오헬스 분야의 최신 기술변화 추세를 반영

○ 자금규모는 한화 약 4조 4천억원(EU-EFPIA(현물))으로 민관협력 파트너십(Public Private Partnership, PPP) 중 세계 최대 규모임

○ 유럽혁신의약품이니셔티브가 중점적으로 지원하는 분야는 감염병, 뇌질환, 당뇨, 암 등 기존 치료제가 충분하지 않거나 공중 보건에 미치는 영향이 큰 질병

〈영국〉

□ **(의약품) 영국의 제약산업은 GSK, 아스트라제네카 등 세계적인 글로벌 기업을 두고 있으나, Brexit로 연구개발 투자, 규제 등에서 난항 예상**

○ EU와의 규제 이원화(지재권, 품질기준, 임상시험 규정 등)되고, EMA와 영국 '의약품 및 보건제품 규제청(MHRA, Medicines&Healthcare products Regulatory Agency)'의 승인을 모두 받아야 하는 등 향후 규제 측면 및 유럽시장 확보 면에서 불이익

○ EU의 연구개발자금 지원이 중단되고 민간 투자자들에 대한 매력도가 감소하는 등 제약산업 전반에서 연구개발에 대한 투자 위축 가능성

2.2. 의료기기

〈EU〉

□ **(의료기기) 미국이 주요 의료기기 글로벌 기업을 보유하고 있으나, 원천기술을 보유한 유럽 기업*들은 의료영상 분야 등에 활발히 투자**

* Medtronic(미국/아일랜드), Phillips(네덜란드), Siemens Healthineers(독일) 등

○ 의료 AI 부문에서 미국, 중국 등에 비해 대기업의 참여가 부족하나, 약 700개의 스타트업을 중심으로 연구개발이 이루어지고 있음

〈영국〉

□ (의료기기) 영국은 프랑스, 독일에 이어 유럽에서 3번째, 세계 6번째의 의료기기 시장을 갖고 있고 공공의료서비스인 국민보건서비스가 시장을 지배하고 있으며, 브렉시트와 코로나19 등의 외부적 환경 변화에 대응하기 위한 정부 차원의 노력을 지속

○ 혁신의료기기를 위한 별도 트랙인 Medtech innovation pathway와 의료기기 분야 개발을 지원하는 'Life science industrial strategy' 등을 통해 새로운 기술개발을 촉진

○ 2018년 영국 정부는 영국 내 의료기기 제조업체와 제약회사에 대한 NHS의 승인 기간 단축을 위해 Accelerated Access Pathway(AAP) 제도를 도입했고, '19년 9월에 노딜 브렉시트 상황에 대비하기 위해 의료기기 규제 관련 가이던스를 업데이트

※ 기존의 CE인증은 브렉시트에 따라 2022년 1월 1일부터 효력을 상실하고, 이후 영국 의료기기 수출 업체들은 UKCA(UK Conformity Assessed) 마크 획득이 필요

○ 영국은 인구고령화와 국민보건서비스의 예산 적자 누적에 대응하기 위한 스마트 헬스케어 제품 수요가 증가 중이고, 코로나19 장기화에 따라 진단키트와 개인보호장비 등에 대한 공공조달 수요도 높아지고 있음

2.3. 첨단재생의료

〈EU〉

□ (재생의료) 유럽의약품청(EMA, European Medicines Agency)이 2016년에 도입한 우선순위 의약품(PRIME, Priority Medicines) 제도는 기존에 치료방법이 없거나 혁신적인 치료제 등에 대해 초기 임상개발 단계에서 다양한 자문을 제공하는 등 첨단의약품에 대한 신속개발을 지원

○ 유럽 재생의료 시장 중에서는 독일이 25%로 가장 높은 비중을 차지하고, 암연구센터(DKFZ, German Cancer Research Center)와 HI-STEM(The Heidelberg Institute for Stem Cell Technology and Experimental Medicine)이 인간 혈구세포를 신경줄기세포로 직접 교차분화에 성공(2018년)

○ 프랑스의 생명과학 클러스터인 메디센(Medicen Paris Regeion)은 유럽 재생의료 프로젝트의 핵심 역할을 하고, IRMB(Institute for regenerative Medicine & Biotherapy)는 만성질환 전문가와 함께 줄기세포 연구 성과의 임상적용을 촉진하는 것을 목적으로 하고 있음

○ 유럽은 병원면제(Hospital Exemption) 제도를 통해 세포치료제나 유전자치료제 등 첨단치료의약품(ATMP)을 비일상적인 조건(non-routine basis)*에서 사용 허가

* 1) 승인된 다른 의약품이 없고, 2) 의약품처럼 대량생산하지 않으며, 3) 상업적인 용도로 쓰지 않을 때 등

〈영국〉

□ **(재생의료) 영국은 재생의료, 세포치료 관련 기술개발과 사업화에 8백만 파운드를 투자하는 계획을 2015년 발표하고, 영국기술전략위원회(Innovate UK)는 인체세포·조직·장기의 정상 기능 복구를 대체하거나 재생시키기 위한 혁신적 의학치료를 지원**

○ 영국은 국립보건연구소(NIHR, National Institute for Health Research)와 바이오메디컬 연구센터 등을 중심으로 재생의료 임상연구를 수행

○ 국민보건서비스(NHS)는 재생의료전문가자문단(RMEG, Regenerative Medicine Expert Group)을 두고 있고, 인간배아와 관련하여 모든 정책을 관할하는 인간수정배아관리국(HEFA, Human Fertilisation and Embryology Authority)을 두는 등 윤리적, 법적인 규제와 새로운 혁신기술의 도입 사이에서 균형을 위해 노력

※ 영국은 인간배아 대상 유전자 교정 연구, 세명의 유전자를 결합한 '세 부모 아기' 시술을 세계 최초로 허가하는 등 재생의료 연구에서 선도적인 역할을 하면서도, 윤리적, 법적, 사회적 영향평가(ELSI) 등 활발한 사회적 논의와 엄격한 규제도 병행하고 있음

3. 일본

□ **(추진체계) 바이오의료분야 연구개발 사령탑으로서 건강의료전략추진본부가 설치('13)**

○ 일본판 NIH를 표방하는 국가연구개발법인 일본의료연구개발기구(AMED)가 설립되어 바이오의료 분야의 연구개발 사업을 일원화하여 관리('15)

□ **(정책동향) 세계에서 고령화가 가장 빠르게 진행되고 있는 일본의 경제발전과 사회과제 해결이 공존하는 사회를 실현하는 것이 중점 목표 중 하나**

○ ‘제5기 과학기술기본계획’에서 전략적으로 추진해야 할 과제로 세계 최첨단 의료기술 실현을 통한 건강장수사회 구현, 안정적 식량 확보 등을 제시

○ ‘미래투자전략 2017’을 마련하여 미래 헬스케어 산업에 대응

○ 정부합동으로 발표한 ‘신산업구조비전’의 4대 전략분야에 건강·의료·간병이 포함되어 있으며, 단기·중기·장기로 로드맵을 나눠 추진

○ ‘제6기 과학기술기본계획’에서 감염병 등의 위협에 대응할 지속 가능하고 강인한 사회 구축 및 종합적 안보의 실현을 지향에 관한 내용이 포함되어 있으며, 국가 전략사업에 바이오 분야 포함

3.1. 의약품

□ 2013년, 후생노동성은 일본을 신약개발의 거점으로 구축하고자 제약산업 육성정책 수립 계획을 포함한 ‘의약품산업 비전 2013’ 발표 및 추진

○ 의료분야의 연구개발 사업 통합, 신약개발 촉진을 위한 R&D 지원, 인허가 절차 간소화, 약가 우대 및 해외진출 관련 정책이 포함된 전략 수립

□ 2015년, 2020년까지 후발의약품 시장점유율 80% 달성과 관련된 ‘국민에게 양질의 의약품 안정공급’, ‘의료비의 효율화’, ‘산업 경쟁력 강화’ 등 3가지 목표 달성을 위해 ‘의약품산업 강화 종합전략 수립

○ 2016년, 바이오분야 건강·의료 관련 주요 사업 운영을 위해 바이오분야 신약기반 기술 개발사업에 약 560억원, 게놈의료 실용화 제도 추진에 약 438억원 등의 예산 지원

□ 2017년, 정부주도 일본형 신약개발 AI 개발 프로젝트 추진 위해 ‘라이프 인텔리전스 컨소시엄(LINC)' 출범

□ 2017년, ’중개연구전략적추진프로그램‘ 추진

○ 전국의 대학 등 거점에서 학계 등의 뛰어난 Seeds를 임상연구·실용화에 효과적으로 중개하는 체제 구축

□ 일본의료연구개발기구는 9대 주요 연구분야 중 하나로 의약품 창출 프로젝트*를 추진하여 혁신적 의약품 창출을 위한 연구개발의 충실성을 도모함과 동시에 신약 표적과 양상의 다양화에 대응하기 위한 개발 환경 등을 정비

* ’19년 기준 316억엔의 예산이 배정

○ 신약개발기술 기반구축, 임상혁신네트워크의 레지스트리 정보와 RW 데이터 활용을 촉진함으로써 신약개발 네트워크와 혁신적 의약품을 창출하는 환경의 정비 및 양성 도모

○ 획기적인 Seeds 창출 및 육성을 위한 연구개발 추진, AI 활용 신약개발 지원 및 Informatics 확충과 다양화 양상 지원 확충

□ 의약품·의료기기 종합기구(PMDA)는 '의약품 종합기구 4차 중기계획('19년~'23년)'을 통해 의약품 신속 허가·심사, 피해구제, 안전성 정보 제공 확대 등을 추진

○ 임상 현장에서의 RMP 활용 강화, RWE를 통한 의약품의 안전성 및 유효성 평가의 질을 향상시키기 위해 MID-NET, NDB 등을 통한 약물역학 조사의 실시 및 검토의 활성화 등의 내용 포함

3.2. 의료기기

□ 일본 의료분야의 디지털 트랜스포메이션의 기반이 되는 내용은 '데이터에 기반한 새로운 가치의 창출'이며, 데이터베이스의 구축 및 활용을 위한 지원사업 및 제도/법령의 개정이 진행 중

○ 20년 11월, 프로그램 의료기기의 특성을 살린 심사 제도를 마련해 조기 실용화를 위한 체제를 구축하기 위한 '프로그램 의료기기 실용화 촉진 패키지 전략'을 공표

- 21년 4월, 후속 제도로 '프로그램 의료 기기의 실용화 촉진을 위한 체제 강화'를 마련하였으며, 내용의 골자는 ① 프로그램 의료기기 심사 관리실 설치 ② PMDA 프로그램 의료기기 심사 시설 설치 ③ 프로그램 의료기기 조사 회의 설치 ④ 프로그램 의료기기에 관한 중앙 상담창구의 설치로 총 4가지

※ 프로그램 의료기기(SaMD)는 컴퓨터나 스마트폰 단말기에 설치하여 해당 단말기가 의료기구의 정의에 부합하게 되는 프로그램

3.3. 첨단재생의료

□ 2013년, 과학기술 이노베이션 종합전략 중 해결해야할 과제에 재생의료 관련 내용 포함

○ 희소·난치성 질환의 예방·진단·치료법의 개발이나 신체·장기기능의 대체·보완, 의약품·의료기기 분야의 산업경쟁력 강화 등 재생의료의 연구개발 추진 계획 및 각종 법령·제도의 정비 계획을 언급

□ 2015년, 선구심사지정제도* 도입을 통해 혁신의약품에 대한 개발과 제품화를 촉진

※ 대상 질환의 중독성 등 일정한 요건을 충족시키는 획기적인 신약 등에 대해 개발 초기 단계부터 대상 품목으로 지정해 약사 승인에 관한 상담·심사 시 우선적으로 취급함으로써 승인 심사 기간을 단축하는 것을 목적으로 함

□ 후생노동성에서 지정한 '(특정·인정)재생의료등위원회'에서 의료기관이 제출한 시술계획을 위험도에 따라 심사 후 후생노동성에서 승인하며, 승인된 시술의 이상반응 보고 등 정기보고 등 안전관리체계 구축

□ 2019년, 후생노동성은 척수손상 치료를 위한 다른 사람유래 유도만능줄기세포 임상시험을 세계 최초로 허가

○ 줄기세포 관련하여 조건부 승인을 통해 실제적 규제를 완화시킨 유일한 국가이며, 의사의 판단 하에 환자의 동의를 얻어 줄기세포치료를 시행하고, 보험처리도 가능하다는 특징

□ 2020년, 유도만능줄기세포(iPS) 치료제 개발을 위해 정부 차원에서 노력 중이며, 후생노동성은 혈액법 시행규칙 일부를 개정하는 방안을 약사식품위생심의회 혈액사업부 운영위원회에 보고

○ 채혈 범위를 '의약품, 의료 기기 등 연구 개발에 이용하는 것'으로 규정지어 혈액유래의 iPS 세포를 의약품 등 연구개발에 관한 시험에 활용하기 위한 목적

4. 중국

□ (추진체계) 바이오헬스만을 담당하는 별도의 기관은 없으나, '국가중의약관리국'이 중의약을 포함하여 폭넓은 분야에 대한 예산편성 및 정책에 대한 독자적인 수행이 가능

○ 산하에 있는 중국의과학원은 13.5계획에 따라 혁신적 신약개발, 감염병 연구, 정밀의료, 재생의료 등의 프로젝트를 진행

□ (정책동향) 13차 5개년 계획에서 바이오를 7대 신흥산업으로 지정하여 육성하고, 이를 위해 신약개발, 뇌연구, 빅데이터 지능형 로봇 등의 프로젝트를 추진

○ '건강중국 2030 규획요강'을 통해 빅데이터 플랫폼 구축 등 의료서비스 품질 및 효율성 강화, 의료과학 및 줄기세포 등의 기술 혁신강화 제시

○ 중국은 '2025프로젝트'에서 바이오·의약 분야를 10대 육성 분야로 지정하고 의약품 품질·체계 수준을 끌어올려 글로벌 경쟁력을 강화하겠다는 정책을 추진

○ 14차 5개년계획에서 생명건강, 뇌과학, 바이오육종 등의 역량 강화와 첨단의료장비와 혁신약물 분야의 제조업 고도화 등의 내용 포함

4.1. 의약품

□ ‘국가 중장기 과학기술 발전계획(’06~’20)’을 통해 전략산업분야, 시급성이 높은 핵심분야, 국방기술 등 16개의 중요 전문 연구개발 프로젝트를 제시하고 있으며, 그 중 하나로 ‘신약개발’을 제시

□ ‘과학기술발전 제12차 5개년 규획(’11~’15)’ 안에 신약개발 지원정책 강화를 위해 신약개발 관련 계획 및 프로젝트 등을 지속적으로 추진한다는 내용이 포함

□ 중국 정부는 ’15년부터 지적재산권을 보유한 혁신 신약 의료보험 리스트 편입 우선 정책, 심사 절차 간소화를 통한 신약개발 지원, 중약(中藥) 육성, 정밀의료 발전계획 등 국가차원의 신약개발 지원정책 추진

○ R&D 비용 회수 연장에 대한 문제개선 및 매출 증대를 위한 일환으로 혁신신약에 한해, 품질유지 테스트에 통과한 제품을 우선적으로 의료보험 리스트에 편입할 수 있도록 규정

□ 2017년, 국가약품감독관리국(NMPA) 주도 임상시험 개혁 정책을 발표

○ 사전심의제도, 60일 신고제 도입으로 임상시험 심사절차의 간소화와 함께 IRB 상호인정을 위한 체계 마련 및 해외기업의 자국 내 임상 1상 허용을 통한 임상시험 장려

□ ’18년 중국 정부는 국무원, 발전개혁위 주도로 관계부처간 의료보험 지불용 약품 조달 정책을 발표

○ 약품조달 발전과정은 총 6단계로 나뉘며, 약품조달 모델은 혁신에서 보급으로, 의료기관주도에서 정부주도로, 지방에서 국가차원으로 변화

□ 2020년 7월, 혁신치료제지정 제도 시행

○ 심각한 질환에 대해 기존에 치료제가 없고 가용한 치료제에 비해 현저히 치료 이점이 있다고 판단되는 경우 지정하여 임상 개발과 심사를 신속하게 지원하는 제도

4.2. 의료기기

□ 2017년, “13.5”의료기기 과학기술 창신 계획 발표

○ 수술 로봇, 의학영상장치, 자기공명촬영장치, 비 침투성 인공호흡기 등 고성능 의료기기 연구 및 의약 우수 의료기기 개발을 집중 지원

□ 중국 정부는 헬스케어산업 공공조달 이니셔티브를 통해 성급 지방 내 모든 병원을 의료기기 입찰제도에 참여시켜 물량을 확대하고 가격경쟁력을 높이며 장기적으로는 리베이트를 축소시키고자 하고 있음

○ 중국 안후이성에서는 2019년 공공병원이 합동으로 입찰에 참여하여 국내 정형외과와 안과 치료기기 가격이 각각 50%와 20% 인하되었음.

○ 2020년 11월에 중국은 이러한 의료기기 입찰 제도를 전국으로 확대하여 결과적으로 심장혈관 스텐트의 경우 가격이 60% 하락함.

□ 2019년, 의료기기 고유식별코드 시스템 시범사업 개시

○ 의료당국은 의료기기 라이프사이클에 대한 감독관리를 강화하기 위한 방침으로 의료기기를 생산하는 기업은 의료기기 고유식별코드를 만들고 관련 데이터를 당국에 전송해야 함.

※ 의료기기 고유식별코드는 의료기기 제품의 전자신분증

□ 2021년, 개정된 의료기기 감독관리조례가 리커창 총리에 의해 확정 및 시행

○ 5가지 주요 요점으로는 ①의료기기 혁신 체계 격려, ②심사제도 개선, ③등록인 제도 전면 보급, ④임상시험 관리제도 개혁, ⑤시판 후 감독관리요구 강화

4.3. 첨단재생의료

□ 2017년, 13차 5개년계획기간 헬스산업과기혁신 전문규획

○ 줄기세포와 재생의학, 종양면역세포치료, CAR-T 세포 치료 등 신형 진료서비스를 중점 발전 임무에 포함시켰으며, 줄기세포와 재생의학의 임상응용 가속화 요구

□ 2018년, '지식재산권 중점 지원산업 리스트' 발표

○ 줄기세포와 재생의학, 면역치료, 세포치료, 유전자치료를 국가중점 발전 및 지재권 지원이 긴히 필요한 중점산업 중 하나로 지정

□ 2019년, 리커창 총리는 중국 인간유전자원의 보호를 위해 '중화인민공화국 인간유전자원관리조례'에 서명

○ 관리과정을 채집, 보관, 이용과 대외제공 4단계로 나누어서 각 단계별로 개별적으로 의무를 규정함으로 전 단계에 대한 관리감독을 강화할 뿐만 아니라 각 단계별 관리감독 부서, 관리감독방식, 권한, 승인대상, 승인의 범위, 단계, 심사방식, 심사기한 등의 내용을 명확히 명시

5. 한국

□ (추진체계) 국가과학기술자문회의 심의회의 산하위원회를 통해 바이오 전체 분야의 예산 배분조정*과 부처간 협력·조정 등 컨트롤타워 역할**을 수행하며, 과학기술정보통신부, 보건복지부 등 다양한 부처에서 R&D 추진

* 생명의료전문위원회('99~), ** 바이오 특별위원회('16.3월~)

○ 바이오헬스 R&D 사업은 과학기술정보통신부, 보건복지부, 산업부, 식약처 등 관계부처에서 담당·진행하며, 차세대 핵심 기술, 전주기 연구개발 등 핵심 추진 과제의 경우, 대형 범부처 사업을 통해 집중 지원

※ 국가신약개발, 범부처전주기의료기기연구개발, 범부처재생의료기술개발 등

□ (정책동향) '과학기술기본계획'과 '생명공학육성기본계획'은 바이오산업 분야 R&D의 기본적인 방향성을 제시

○ 핵심신산업분야(BIG3)의 한 분야로써 전략적 투자를 위해 '바이오헬스 산업 혁신전략'을 수립하여 바이오헬스 산업의 재정의, 기술분야를 개편* 및 주요과제 제시

* 기존 7개 기술 분야 → 4대 정책 10대 분야

○ 코로나19 완전 극복을 위해 치료제와 백신 개발 등을 위한 범정부 지원체계 마련 및 중장기 감염병 대응 연구기반 강화

○ 생명연구자원 고도화, 4차 산업혁명 기반 융복합 기술 집중 지원

5.1. 의약품

□ 2011년 「제약산업 육성 및 지원에 관한 특별법(이하 제약산업특별법)」이 제정되었고, 2012년에는 'Pharma Korea 2020[26]'을 수립

○ 제약산업특별법은 체계적인 제약산업의 육성·지원과 혁신성 증진 및 국제 협력 강화를 목적으로 함

□ 신약 R&D에 있어 산업 정책적 목적과 지향이 강화됨에 따라 '제1차 제약산업 육성·지원 종합계획*'이 시행된 이후, 정부의 역할이 '전주기적 지원' 중심으로 확대됨

□ 포괄적 지원을 통해 단시간 내 가시적 신약개발 성과를 창출하는 보다 선도적이고 주도적인 역할로 전환미래 성장동력과 국가 전략 프로젝트를 연계·통합하여 지난 정부의 성장동력을 지속 지원하고 혁신 성장에 기여하기 위해 '혁신성장동력 추진전략[27]'을 수립하였으며, 13대 혁신성장 동력분야에 '혁신신약'이 포함

26) 보건복지부('12.7), Pharma Korea 2020 – 한국 제약산업의 2020 비전과 로드맵 –

27) 국가과학기술심의회('17.12.22), 혁신성장동력 추진계획(안)

○ 혁신신약은 인공지능과 함께 원천기술 확보가 필요한 중·장기연구 분야로 구분, 7개 핵심 기술을 발굴을 목표로 제시

○ 유망 신약 분야의 연구 및 기업 수요 기반 후보물질 발굴을 지원하고 5년('18~'22)간 약 1.6조원 투자

□ **현재 '제2차 제약산업 육성·지원 종합계획[28]'을 바탕으로 2025년까지 글로벌 신약 개발 성과 23개를 비전으로 이를 달성하기 위해 R&D, 인력양성, 수출지원, 제도개선의 4대 목표 제시**

○ 희귀·난치질환 치료제 및 감염병 치료제 개발을 위한 R&D 지원과 바이오의약품 약가 및 인·허가제도 개선 등의 전략을 제시

○ 이 외 주요 전략으로 인공지능 활용 신약 R&D 지원, 오픈이노베이션, 전문 인력 (R&D, 생산), 글로벌 협력 지원, 세제 혜택 등 민간투자 활성화 등이 제시되었으며, 이는 '보건산업 종합발전전략[29]'과 유사

□ **이후 '제4차 과학기술기본계획', '바이오헬스 산업 혁신전략'을 통해 환자 맞춤형 신약과 면역항암제 등 혁신신약 개발을 위한 기초·기반연구 중심으로 지속 지원하는 형태이며, 인·허가 단축, 우선·신속 심사제, 전문인력 양성 등 인프라 구축도 추진**

○ 글로벌 블록버스터 신약 개발을 위한 신규 핵심타겟 검증과 초기 파이프라인 발굴에 역량 집중

○ 혁신기술 개발과 연구자 주도 임상연구를 포함한 국내 신약 임상역량 확충에 중장기적으로 지원

○ 신약 후보물질 발굴부터 사업화까지 전주기 역량 및 범부처 협업 강화

※ 국가신약개발사업('21~'30, 2조 1,758억 원 규모)

5.2. 의료기기

□ **코로나19를 계기로 국내 방역기술과 함께 진단시약을 중심으로 수출이 폭증하며 체외진단시장에서 국내업체의 기술경쟁력이 재조명**

※ 우리나라가 제안한 코로나19 진단기법은 '20년 12월 국제표준화기구(ISO) 국제표준(ISO17822)로 제정

28) 관계부처 합동(17.12.28), 제2차 제약산업 육성·지원 종합계획('18~'22)

29) 관계부처 합동('16.9.8), 보건산업 종합발전전략

□ 초기 의료기기 정책은 '의료기기 산업 육성방안'[30], '의료기기산업 중장기 발전계획'[31]을 통해 국산 의료기기 신뢰성 확보 및 규제효율화를 통한 국내시장 진출, 혁신형 산업 생태계 구축에 집중 지원하는 형태

□ 이후 연구개발한 기술의 사업화 및 제품화에 필요한 규제 개선의 중요성이 대두됨에 따라 '바이오헬스 미래 新산업 육성전략Ⅱ(의료기기)'[32], '의료기기 종합발전계획'[33], '의료기기 규제혁신방안'[34]을 통해 연구개발 강화, 의료기기산업 육성 및 시장 진입을 위한 제도·규제 혁신 방안에 집중

○ R&D 지원 및 단일기관·소규모 임상평가 지원, 국산·해외 의료기기 비교테스트에 따른 제품 신뢰성 확보와 평가시스템 구축, 국산의료기기 교육·훈련 지원 등

□ 「의료기기산업 육성 및 혁신의료기기* 지원법」[35]과 「체외진단의료기기법」[36]이 시행됨에 따라 국가 차원의 신규 기술개발 및 시장 진출을 위한 지원이 체계적으로 이루어질 수 있는 법적 근거가 마련됨

○ 이를 바탕으로 안전한 의료기기 사용을 위한 제도 완비, 의료기기 국산화를 위한 노력, 환경 변화에 맞춘 혁신의료기기 산업 육성 등 경쟁력을 갖추기 위한 노력의 필요성이 대두됨

* 첨단기술을 적용하여 기존 의료기기나 치료법에 비해 안전성·유효성을 개선했거나 개선할 것으로 기대되는 의료기기

□ '한국판 뉴딜 종합계획'[37] 내 1·2·3차 전산업으로 5G·AI 융합 확산을 위해 '미래기술 융합 의료기기*' 개발 과제를 추진하며, 인공지능 기술을 활용한 진단기기의 인허가 및 보험수가 개선, 체외진단기기의 선진입·후평가 등 혁신의료기기의 시장진출 및 산업육성을 위한 지원 방안을 지속적으로 마련

* AI·IoT·3D 프린팅 등 혁신기술을 활용한 미세 수술로봇, 의료용 맞춤형 소재 등

30) 관계부처 합동('10.11), 의료기기 산업 육성방안
31) 보건복지부('14.3.), 의료기기산업 중장기 발전계획, 보건복지부
32) 관계부처 합동('15.10), 바이오헬스 미래 新산업 육성전략Ⅱ(의료기기)
33) 보건복지부('17.12.), 의료기기 산업 종합발전계획
34) 보건복지부('18.7.), 의료기기 규제혁신방안
35) [보도자료] 「의료기기산업 육성 및 혁신의료기기 지원법」 제정으로 산업 육성과 새로운 치료 기회를 제공합니다!('19.4.5)
36) 체외진단의료기기법 '19.4.30 제정
37) 관계부처 합동('20.07.14), 「한국판 뉴딜」 종합계획

5.3. 첨단재생의료

□ 첨단재생의료기술을 사용한 첨단바이오의약품의 특성을 반영하기 위해 약사법에서 분리해 별도 법률인 「첨단재생의료 및 첨단바이오의약품 안전 및 지원에 관한 법률」('19.8) 제정 및 하위법령 제정('20.8). 첨단재생의료의 안정성 확보 체계 및 기술 혁신·실용화 방안을 마련하고 첨단바이오의약품의 품질과 안전성·유효성 확보 및 제품화 지원을 위하여 필요한 사항을 규정함. 첨단재생의료의 범위를 규정하고 있으며, 5년마다 '첨단재생의료 및 첨단바이오의약품 기본계획'을 수립토록 함

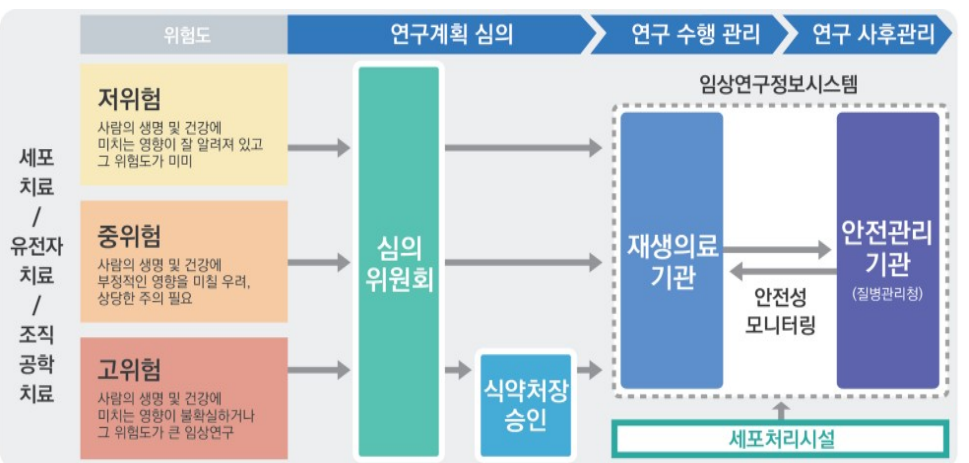
□ 최근 '제1차 첨단재생의료·첨단바이오의약품 기본계획'('21~'25)을 통해 재생의료 기술 발전에 따라 신뢰받는 안전관리체계를 구축하고, 글로벌 시장에서 기술경쟁력 확보를 위한 신속·과감한 정책지원체계 마련 및 구체화함

○ 국가 차원의 임상연구 심의·관리체계 구축*, 첨단바이오의약품 전문 심사·관리체계 마련**, 첨단재생바이오 정책지원체계 강화를 통해 첨단재생바이오 안전관리 제도화*** (복지부·식약처)

* 위험도를 저/중/고로 구분하여 고위험도는 위원회 심의 후 식약처 승인 받는 체계로 개편

** 첨단바이오의약품 우선 심사, 개발사 맞춤형을 진행되는 단계별 사전심사 등

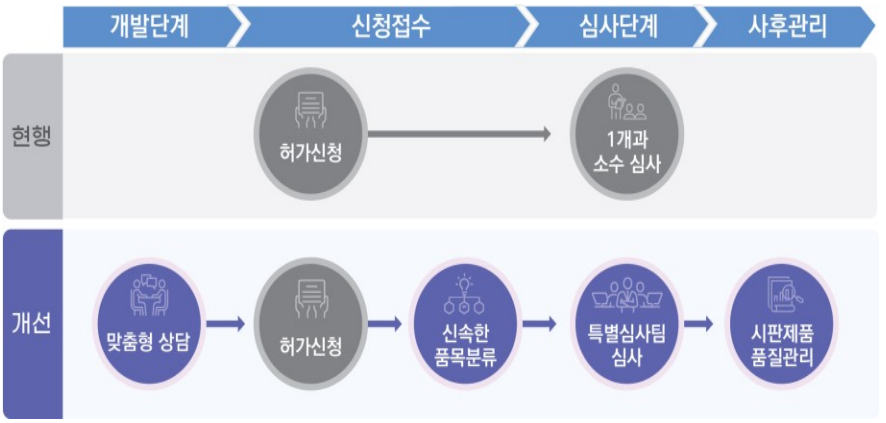
*** 재생의료 실시기관 관리.감독, 안전성 모니터링 및 이상반응 보고, 장기추적조사 등 치료시 안전성 확보장치 도입, 원료(세포)채취부터 사용단계까지의 규정 제정



· 재생의료기관 : 시설·장비 등 요건을 갖춰 첨단재생의료실시기관으로 지정받은 의료기관(법 제10조)
· 세포처리시설 : 인체세포등의 재생의료기관 공급을 목적으로 한 세포전문 취급업(법 제15조)

출처: 제1차 첨단재생의료·첨단바이오의약품 기본계획(안)

[그림 Ⅲ-1] 첨단재생의료 임상연구 심의·수행체계



출처: 제1차 첨단재생의료·첨단바이오의약품 기본계획(안)

[그림 Ⅲ-2] 첨단바이오의약품 심사체계 개편방향

○ 첨단재생의료 임상연구 활성화, 환자 치료기회 확대를 위한 법·제도 개선* 정확하고 투명한 정보제공 등 사회적 신뢰 기반 마련 등을 통해 첨단재생의료 임상연구·치료접근성 확대(복지부)

* 치료기회 확대를 위해, 유효성이 입증된 경우 2상 후 조건부 허가 등

※ 신의료기술평가 내 '혁신의료기술' 평가대상 기술 기존 6개에 인공지능+디지털치료, 정밀의료, 첨단재생의료 추가('20.11월)

○ (거버넌스) 원스톱 규제·지원체계 구축, (R&D) 적극적·전략적 투자 확대, (산업기반) 제조기반 단계적 확충을 통해 첨단재생바이오 기술촉진 혁신생태계 구축

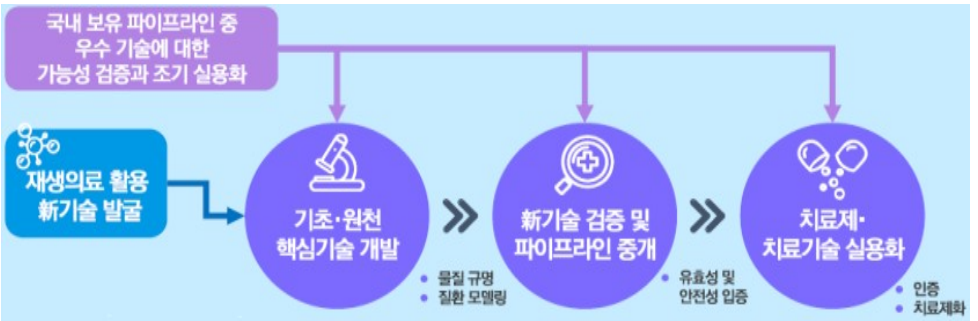
출처: 제1차 첨단재생의료·첨단바이오의약품 기본계획(안)

[그림 Ⅲ-3] 첨단재생바이오 민·관 통합거버넌스 구축

자료: 제1차 첨단재생의료·첨단바이오의약품 기본계획(안)

[그림 Ⅲ-4] 첨단재생바이오 전주기 기반기술 개념도

□ 재생의료 기술·치료제 개발부터 임상단계까지 전주기 기술개발 지원을 위한 범부처재생의료기술개발 사업단 출범('21.7.2)



출처: 제1차 첨단재생의료·첨단바이오의약품 기본계획(안)

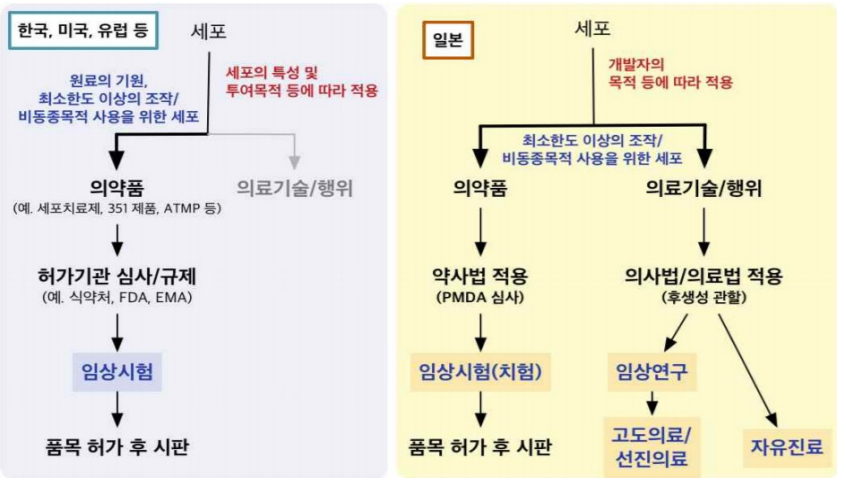
[그림 Ⅲ-5] 첨단재생바이오 전주기 연구개발

○ 재생의료 기술을 활용한 난치병 극복과 바이오 시대 글로벌 경쟁력을 확보하기 위해 구성되었으며, 10년간 총 5천 955억 원 투자('21년 51개 신규 과제 지원, 128억)

○ 재생의료 원천 기술 확보와 신기술 개발 신기술 검증을 위한 응용기술과 치료제 확보기술 개발 임상연구중인 질환 타깃 치료제 임상 2상 완료 등을 집중 지원

□ 한국의 규제는 미국, 유럽과 함께 줄기세포로부터 의약품의 시판까지의 절차를 규제를 통해 관리

○ 일본은 이에 더해 의료기술과 행위까지 포함한다는 차이가 있음



출처: 식품의약품안전처(2016), 줄기세포치료제 국외 규제 정보집

[그림 Ⅲ-6] 재생의료 규제 구조 비교

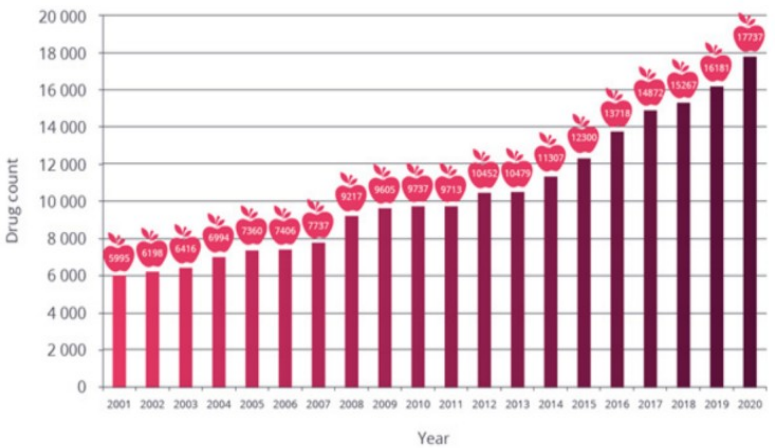
제2절 바이오헬스 분야별 기술·산업 동향

1. 의약품

1.1. 기술동향

1.1.1. 제약 바이오 전체 R&D 동향

□ 전세계 제약바이오 분야 파이프라인 개수는 2020년도에 17,737개로 전년도 대비 9.62% 성장하였음



(출처 : Pharma R&D Annual Review, 2020)

[그림 Ⅲ-7] 전체 R&D 파이프라인 규모(2001-2020)

○ 파이프라인 개수에 따라 상위 기업들을 분석하면, 노바티스(스위스)가 4년 연속 1위를 차지했고 2019년 보다 3개 파이프라인이 증가하였음

○ 일본 Takeda는 Shire(미국) 인수 후 2위를 차지하고, BMS(미국)는 Celgene(미국)을 인수 후 3위에 진입하는 등 글로벌 제약기업들의 파이프라인 확대와 기술력 강화를 위한 인수·합병이 활발

○ 국내에서는 유일하게 유한양행이 72개 파이프라인으로 23위에 위치

〈표 Ⅲ-1〉 파이프라인 규모를 기준으로 한 글로벌 Top 25 제약사

Position 2020 (2019)	Company	No. of drugs in pipeline 2020 (2019)	No. of originated drugs 2020
1 (1)	Novartis	222 (219)	139
2 (2)	Takeda	198 (211)	89
3 (11)	Bristol-Myers Squibb	189 (110)	97
4 (3)	Johnson & Johnson	182 (208)	91
5 (6)	Roche	174 (189)	94
6 (9)	Pfizer	170 (163)	108
7 (4)	AstraZeneca	164 (194)	93
8 (8)	Merck & Co.	157 (176)	84
9 (7)	GlaxoSmithKline	144 (177)	77
10 (10)	Eli Lilly	143 (124)	85
11 (5)	Sanofi	137 (192)	62
12 (16)	Boehringer Ingelheim	108 (94)	73
13 (12)	Bayer	93 (108)	66
14 (13)	Otsuka Holdings	91 (98)	56
15 (19)	Amgen	89 (88)	59
16 (15)	AbbVie	89 (94)	31
17 (17)	Daiichi Sankyo	87 (92)	45
18 (20)	Eisai	84 (85)	48
19 (18)	Allergan	80 (90)	33
20 (21)	Astellas Pharma	75 (84)	39
21 (-)	Lee's Pharmaceutical	74 (-)	45
22 (23)	Gilead Sciences	73 (69)	39
23 (-)	Yuhan	72 (-)	57
24 (24)	Evotec	70 (63)	35
25 (22)	Ligand Pharmaceuticals	66 (73)	34

(출처: Pharma R&D Annual Review, 2020)

1.1.2. 의약 분야 연구개발 투자 동향

□ 전세계 연구개발 투자 상위 30개 기업 중 10개가 의약·생명공학 관련 기업이며 타 분야 대비 연구개발 집약도도 매우 높은 것이 특징

※ 출처: 산업별·기업별 연구개발투자, 산업연구원, 2020

순위	기업명	국가	산업	연구개발비	연구개발 성장률 (전년동기대비)	연구개발 집약도
1	ALPHABET	미 국	소프트웨어·컴퓨터서비스	18,271	30.3	15.3
2	SAMSUNG ELECTRONICS	한 국	전자·전기장비	14,831	9.8	7.8
3	MICROSOFT	미 국	소프트웨어·컴퓨터서비스	14,739	14.6	13.4
4	VOLKSWAGEN	독 일	자동차 및 부품	13,640	3.8	5.8
5	HUAWEI INVESTEMENT & HOLDING CO	중 국	기술 하드웨어·장비	12,740	12.9	13.9
6	APPLE	미 국	기술 하드웨어·장비	12,433	22.9	5.4
7	INTEL	미 국	기술 하드웨어·장비	11,828	3.4	19.1
8	ROCHE	스위스	의약·생명공학	9,798	6.3	19.4
9	JOHNSON & JOHNSON	미 국	의약·생명공학	9,410	2.1	13.2
10	DAIMLER	독 일	자동차 및 부품	9,041	4.4	5.4
11	FACEBOOK	미 국	소프트웨어·컴퓨터서비스	8,972	32.5	18.4
12	MERCK US	미 국	의약·생명공학	8,456	-4.7	22.9
13	TOYOTA MOTOR	일 본	자동차 및 부품	8,265	-1.4	3.5
14	NOVARTIS	스위스	의약·생명공학	7,998	4.2	17.2
15	FORD MOTOR	미 국	자동차 및 부품	7,162	2.5	5.1
16	BMW	독 일	자동차 및 부품	6,890	12.8	7.1
17	PFIZER	미 국	의약·생명공학	6,817	5.5	14.5
18	GENERAL MOTORS	미 국	자동차 및 부품	6,812	6.8	5.3
19	HONDA MOTOR	일 본	자동차 및 부품	6,580	12.2	5.3
20	ROBERT BOSCH	독 일	자동차 및 부품	6,189	4.3	7.9
21	SIEMENS	독 일	전자·전기장비	5,909	6.7	7.1
22	SANOFI	프랑스	의약·생명공학	5,890	8.1	17.1
23	CISCO SYSTEMS	미 국	기술 하드웨어·장비	5,530	4.5	12.8
24	BRISTOL-MYERS SQUIBB	미 국	의약·생명공학	5,472	5.3	27.8
25	ORACLE	미 국	소프트웨어·컴퓨터서비스	5,263	-1.1	15.3
26	BAYER	독 일	의약·생명공학	5,109	-1.0	12.9
27	QUALCOMM	미 국	기술 하드웨어·장비	4,881	2.3	24.6
28	ALIBABA GROUP HOLDING	중 국	소프트웨어·컴퓨터서비스	4,771	64.5	9.9
29	ASTRAZENECA	영 국	의약·생명공학	4,631	-2.7	24.0
30	ABBVIE	미 국	의약·생명공학	4,567	5.0	16.0

(출처: 산업별·기업별 연구개발투자, 산업연구원, 2020)

[그림 Ⅲ-8] 전세계 연구개발투자 상위 30개 기업(2019년)

○ 이외 분야는 자동차 및 부품(8개), 소프트웨어·컴퓨터 서비스(5개), 기술 하드웨어·장비(5개), 전자·전기장비(2개) 순

□ 우리나라의 의약품 연구개발 투자금액 연평균 증가율은 전체 산업 및 제조업 분야의 평균 수준이나, 연구개발 집약도는 전체 31개 분야 중 두 번째로 높은 수준

○ 의약품 분야 연구개발 투자는 2010년 8억 7,800만 달러에서 2018년 14억 3,600만 달러로 연평균 6.3% 증가

※ 의약품 분야 연구개발 투자('18) : 제조업 평균 6.2%, 전 산업 평균 6.1%

○ 의약품 분야의 연구개발 집약도는 유사한 수준을 유지하고 있으나, 타 산업 분야 대비 높은 수준으로 전체 산업 중 두 번째로 높은 수준

※ 연구개발 투자 집중도 추이 : (의약품) 7.27%('10) → 7.25%('18), (전 산업) 1.48%('10) → 1.71%('18), (제조업) 2.65%('10) → 3.28%('18)

□ 미국은 의약·생명공학 분야의 상위 20개 투자 기업 중 가장 많은 기업을 보유하고 있고, 우리나라는 20위 내에 들어가는 기업이 없음(2019년 기준)

※ 출처: 산업별·기업별 연구개발투자, 산업연구원, 2020

○ 국가별 상위 20개 투자 기업 보유는 미국 11개, 독일 3개, 스위스와 영국 각 2개, 프랑스와 일본 각 1개 순임

○ 우리나라에서 가장 많은 연구개발비를 투자한 기업은 한미약품이나, 전세계에서 106위에 그치고 250대 기업에 포함되는 기업도 7개 기업에 불과

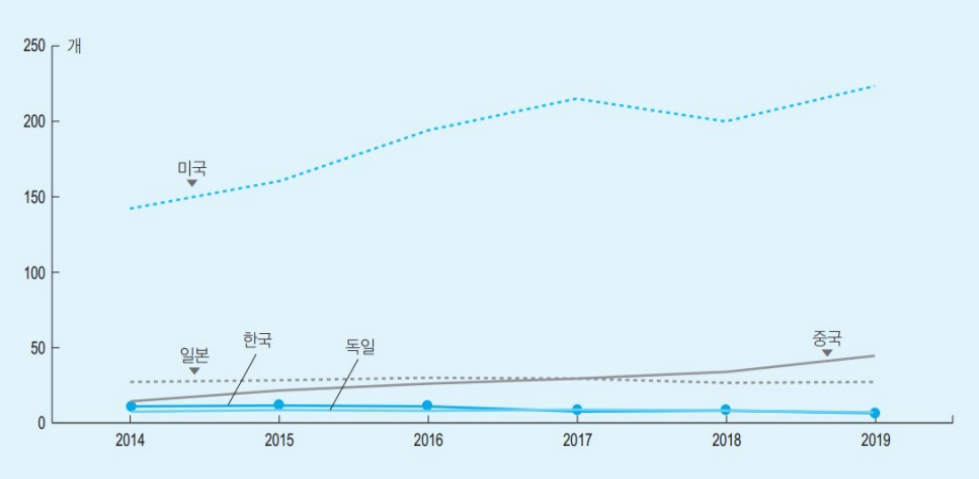
산업내 순위	2500대 기업 내 순위	기업명	국가	연구개발비	연구개발비 증감률 (전년동기대비)	연구개발 집약도
1	8	ROCHE	스위스	9,798	6.3	19.4
2	9	JOHNSON & JOHNSON	미 국	9,410	2.1	13.2
3	12	MERCK US	미 국	8,456	-4.7	22.9
4	14	NOVARTIS	스위스	7,998	4.2	17.2
5	17	PFIZER	미 국	6,817	5.5	14.5
6	22	SANOFI	프랑스	5,890	8.1	17.1
7	24	BRISTOL-MYERS SQUIBB	미 국	5,472	5.3	27.8
8	26	BAYER	독 일	5,109	-1.0	12.9
9	29	ASTRAZENECA	영 국	4,631	-2.7	24.0
10	30	ABBVIE	미 국	4,567	5.0	16.0
11	34	GLAXOSMITHKLINE	영 국	4,141	-3.3	12.1
12	37	CELGENE	미 국	3,972	14.6	29.8
13	41	GILEAD SCIENCES	미 국	3,666	19.5	19.0
14	50	AMGEN	미 국	3,264	4.9	15.7
15	51	ELI LILLY	미 국	3,214	-11.6	15.0
16	52	BOEHRINGER SOHN	독 일	3,164	2.8	18.1
17	54	TAKEDA PHARMACEUTICAL	일 본	2,902	13.2	17.6
18	62	BIOGEN IDEC	미 국	2,268	15.2	19.3
19	64	MERCK DE	독 일	2,225	4.2	15.0
20	74	ABBOTT LABORATORIES	미 국	1,998	6.0	7.5
106	838	HANMI PHARM	한 국	132	17.9	16.7
127	969	GREEN CROSS HOLDINGS	한 국	110	9.1	9.0
151	1099	DAEWOONG PHARMA	한 국	95	18.4	11.7
168	1163	YUHAN	한 국	88	57.6	7.4
176	1205	CHONG KUN DANG PHARMACEUTICAL	한 국	84	65.6	11.3
205	1342	CELLTRION	한 국	73	71.5	9.5
246	1584	DONG-A ST	한 국	58	-6.0	13.0

(출처: 산업별·기업별 연구개발투자, 2020)

[그림 Ⅲ-9] 의약·생명공학분야 연구개발투자 상위 20개 기업과 국별 분포(2019)

○ 연구개발비 기준 상위 2,500대 기업에 포함되는 의약·생명공학 분야 기업의 국가별 분포는 미국이 압도적으로 높고 지속적 성장 추이를 보임

- 이 외 국가는 중국이 꾸준한 성장세를 보이고 있으며, 한국은 독일과 유사한 수준



(출처: 산업별·기업별 연구개발투자, 2020)

[그림 Ⅲ-10] 상위 2500대 기업 중 의약·생명공학분야 기업의 국가별 분포 (2014~2019)

1.1.3. ICT 기술 도입 활성화

□ (AI 플랫폼) 신약개발 과정에서의 R&D 비용 및 기간 단축을 위해 AI 기술 적용 분야가 다변화되고 있으며 AI 플랫폼 도입이 활발

○ 신규 약물타겟, 후보물질 발굴 및 최적화, 기존 약물 데이터 분석을 통한 적응증 확대, 후보물질의 임상성공률 예측 등 AI 적용 분야 다변화

○ 자체 기술을 보유한 AI 신약개발 전문 스타트업과 글로벌 제약사 간 공동 개발이 증가하고 있으며 향후 암 및 희귀질환 관련 신약 개발이 가속화될 전망

□ (스마트 임상시험) 미국 등 주요 선진국을 중심으로 스마트 임상시험 플랫폼 도입이 이루어지고 있으며 국내에서도 제도 개선, 가이드라인 마련 등 기반 마련 추진

○ 미국을 중심으로 AI, IoT, 공통활용 빅데이터 플랫폼 등 ICT 기술 적용으로 임상시험 대상 환자 모집, IRB 심의결과 공유 및 상호인정, 복약 및 생리적 변화 실시간 모니터링 등 임상시험 효율성 개선

○ 국내에서도 식약처, 보건복지부 등에서 인공지능 활용 신약개발, 임상시험 등 스마트 임상시험 시스템 구축 추진 중

○ 국내에서도 신약개발 성공률을 높이고 개발 기간을 단축하기 위해 인공지능을 활용하거나 임상시험을 디지털화 하는 등 스마트 임상시험 시스템 구축 움직임이 최근 진행 중

※ (식약처) 차세대 임상시험 관리시스템 CTMS(Clinical Trial Management System 개발 및 시범운영, (복지부) AI적용 스마트 스마트 임상시험 플랫폼 기반구축 연구사업 추진('19~'21)

1.1.4. BT 기술 기반 치료제 개발 및 투자 활성화

□ (마이크로바이옴) 글로벌 제약기업과 주요 연구기관들이 마이크로바이옴 기반 항암 치료제 개발에 투자를 확대 중이며, 국내에서도 마이크로바이옴 기반 자가면역질환제, 면역항암제 등 연구가 활발히 추진 중

○ 주요국은 2019년까지 6억 달러 이상을 대장암 및 췌장암 관련 마이크로기반 면역항암 치료제에 투자

※ EU의 Oncobiome(1,500만 유로), NIH(210만 달러), 영국 Cancer Research(2,500만 달러 등)

○ 전세계적으로 마이크로바이옴 신약은 없으나, 고바이오, 지놈앤컴퍼티 등 국내 기업에서 개발 중인 신약이 임상 과정 중에 있으며, 광주과기원(GIST)에서 마이크로바이옴 관련 항암제의 연구성과 창출

□ (유전자가위) 유전자가위를 이용한 새로운 유전자 치료제가 임상단계에 진입하는 등 향후 투자 증가가 기대되며, 최근 성공적인 연구성과가 가시화되고 있음

○ 스위스 바이오기업 CRISPR Therapeutics는 긍정적인 임상 중간 데이터를 발표하였으며, 국내 기업 툴젠은 유전자가위 치료제 관련 원천기술을 보유

○ 향후 체내에 직접 유전자가위를 전달하는 유전자 교정 외에도 체외에서 배양한 세포를 교정 후 재주입하는 등 차세대 세포치료제 연구 활발

□ (혁신항체의약품) 이중항체, 항체-약물결합체 등 혁신항체 의약품 개발이 활발하며, 해당 산업 성과로 연계되고 있으며 국내외 다수 기업에서 파이프라인 보유 중

○ 2020년 기준 글로벌 제약기업의 파이프라인 중 30~50%는 혁신항체의약품이며, 이 중 상용화된 스위스 로슈의 Hemlibra 2019년 매출이 전년 대비 511% 이상 증가하는 등 산업적 성과 창출

○ 국내 기업 중 셀트리온은 기존 바이오시밀러를 개선한 치료제 등을 개발 중이며, 에이비엘바이오, 파멥신, 앱클론, 종근당, HK이노엔 등 기업이 자체적인 이중항체 플랫폼을 적용한 파이프라인 보유

□ (mRNA 백신) 코로나19를 계기로 출시된 mRNA 백신은 이후 감염병 외 암, 희귀질환 등 다양한 치료제로 적용범위가 확대될 것으로 예상

○ 설계, 제조공정 변화의 유연성, 단순한 생산공정 등으로 단기 개발이 가능하다는 점과 기존 의약품 대비 세포 내 단백질을 타겟할 수 있다는 점은 다양한 타겟에 적용가능하다는 장점을 보임

- mRNA는 분자가 불안정하고 쉽게 분해되어 효과적인 전달체 기술이 필수적이며 미국, 유럽 등 글로벌 제약사가 대부분 특허를 보유하고 있으며, 국내 기업들은 국내외 기업 및 대학과 연구협력이 활발

2.1. 산업동향

1.2.1. 제약산업 전체

□ (글로벌) 전 세계 제약산업은 시장 규모*와 R&D 규모, 파이프라인*이 지속적으로 성장하고 있고 항암제, 신경증, 대사질환, 감염증, 근골격계 질환 등에 대한 수요가 큼

* (시장규모, 달러) (미국) ('19) 5,103억 → ('24) 6,050억~1조150억, (한국) ('19) 161억 → ('24) 210~250억

** (R&D규모, 달러) ('19) 1,860억 → ('26) 2,330억, (파이프라인, 개) ('15) 12,300 → ('20) 17,737

□ (국내) 의약품 산업의 시장 규모는 2000년 8조 3,890억원에서 2018년에는 26조 6,880억원으로 증가하여 연평균 6.6% 성장 중이며, 2019년 47억 달러 이상의 수출(연평균 10% 성장)을 달성하며 성장세를 보임

1.2.2. 바이오의약품 시장

□ (글로벌) 세계 바이오의약품 시장 규모는 2015년 이후 연평균 성장률 6.8%로 증가 중이고, 시장 규모는 2018년 기준 2,430억 달러로 전체 의약품 시장 대비 28%를 차지하며 향후 2024년에는 전체 시장의 32%에 달할 것으로 전망

※ 출처: 항체의약품 시장 및 이중항체의약품 R&D 동향, 한국제약바이오협회(2020)

○ 세포치료제, 유전자치료제, 면역치료제, RNAi 등 바이오의약품*이 주목받고 있으며, 제약바이오 기업-CRO/CMO 기업 간 제휴**와 이중항체 치료제 시장 성장***에 주목할 필요

* 희귀질환 의약품 중 바이오의약품 시장은 2018년 879억 달러에서 연평균 9.4%로 성장하여 2024년 1,492억 달러 규모에 달할 것으로 전망

** (CRO시장) '21년 645억 달러 규모 전망(CAGR 12.8%,'16-'21), (CMO시장) '20년 1,087억 달러 규모 전망(CAGR 8.4%,'16-'20)

*** (이중항체 치료제 시장) '30년 93억 달러 규모 전망(CAGR 34%,'17-'30)

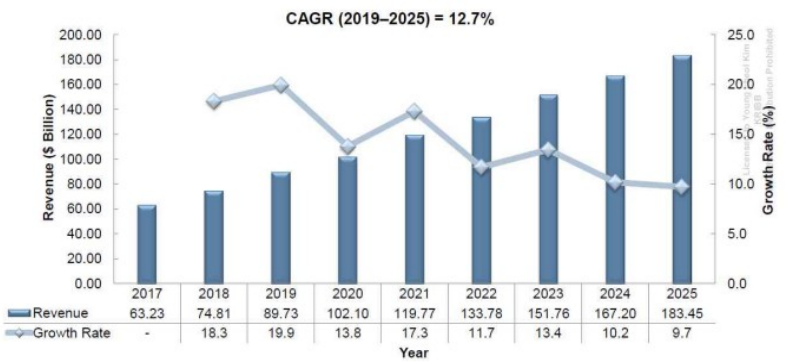
□ (국내) 항체의약품을 중심으로 바이오의약품 시장이 가파르게 증가하고 있어, 글로벌 시장 대비 성장률이 높음

○ 국내 바이오의약품 시장 규모는 2019년 2조 6,002억원으로 전년대비 16.6% 증가했으며, 특히 2018년 8,000억원 규모로 전년대비 40% 이상 성장한 항체의약품 시장은 인구고령화 등으로 인해 지속 성장 전망

1.2.3. 희귀의약품 시장

□ 글로벌 희귀의약품 시장은 '19년 89억 달러에서 '25년 184억 달러로 연평균 12.7% 성장할 것으로 예상되며, 현재는 미국 시장을 중심으로 5개 글로벌 제약사*(MS, 애브비, 로슈, 길리아드 사이언스, 존슨앤존슨 등)가 전체 시장의 46.6% 점유 (생명공학정책연구센터, 2020)

* 중소규모 생명공업 기업의 파이프라인 기술이전 및 인수합병을 통해 포트폴리오 강화



[그림 Ⅲ-11] 글로벌 희귀의약품 시장(생명공학정책연구센터, 2020)

2. 의료기기

2.1. 기술동향

□ 최근 5G, AI, 로봇, 3D프린팅 등 다양한 기술과 융합된 스마트 의료기기 분야에서 산업적, 기술적 변화가 급속도로 확장되고 있음

○ 스마트 의료기기 분야는 아래와 같이 크게 4가지로 구분 가능

〈표 Ⅲ-2〉 (스마트)의료기기의 기능별 구분

대분류	중분류	세부 기술
지능형 정밀진단 의료기기 및 플랫폼	생체신호 측정기기	심전도측정기기, 뇌전도측정기기, 근전도측정기기, 산소포화도측정기기, 한의학측정기기
	정밀의료 영상진단기기	방사선컴퓨터단층영상기기(CT), 디지털방사선촬영기기, 광학영상기기, 자기공명영상기기
	생체현상 영상기기	초음파영상기기, 내시경영상기기
멀티모달융합 수술 및 치료기기	치료용 의료기기	전기치료기기, 광치료기기, 초음파치료기기, 재활치료기기, 치과용통합SW솔루션
	수술용 의료기기	3D복강경 수술기, 로봇기반 정밀 수술기, 수술 시뮬레이션 SW, 수술용 영상유도 실시간 네비게이션
	비침습 융합 치료기기	MR-HIFU, 방사선 치료기기
인공지능기반 인체기능 재활/치료기기	인체삽입형 임플란트	치과용 임플란트, 일반외과용 임플란트, 신경외과용 임플란트
	재활보조기기	애인 신체기능 복원기기, 마비장애인 재활보조기, 장애인 이동기기

○ 국제적으로 의료기기 표준 선점을 위한 경쟁이 치열하고, 인허가 관련 인증 제도가 강화되고 있어 이에 대한 기업 대응력 제고 필요

○ 국내 의료기기 R&D 투자는 완제품에 다소 편중되어 소재·부품 등의 해외 기술 의존도가 높음

□ **(지능형 정밀진단 의료기기 및 플랫폼) 무자각 비침습 측정, 생체신호 자동분석, 치료 예측 시뮬레이션, 스마트 인공지능 영상진단 등의 방향으로 기술개발 진행 중**

○ (글로벌) 의료기기 글로벌 선도기업들은 AI 등 ICT 기술기업과의 협력을 통해 다양한 헬스케어 및 원격의료 관련 기기 개발 중

○ (국내) 초음파진단기 등 일부 영상기기 핵심기술을 보유하고 있고, HW(바이오, 전자나노 등)와 SW(AI, 빅데이터 등) 융합은 활발하나, 대부분 기업 규모가 영세하여 사업화 연계에 애로

□ **(멀티모달 융합 수술 및 치료기기) 소형화 및 로봇기술 적용으로 최소침습적 시술/수술 방식으로의 기술개발과 디지털 치료제의 개발 및 적용 확장 방향으로의 기술개발 진행 중**

○ 국내에서는 고해상도 3D 영상기술, 가상/증강/혼합현실 기술, 정밀 수술 로봇 등 기술개발이 추진 중이며, 비침습 의료기기의 기술경쟁력은 갖추었으나 로봇 수술기기, 의료용 3D 프린터 장비 및 SW 등 분야의 기술수준은 미흡

2.2. 산업동향

□ (글로벌) 2018년의 세계 의료기기 시장규모는 3,899억 달러로, 전년대비 8.2%로 증가하였고, 2016년 이후 꾸준한 증가세를 나타내며, 2022년에 4,868억 달러를 전망

○ 2018년 기준, 북미/남미(47.6%), 독일, 프랑스, 이탈리아 등 서유럽(24.9%), 한국, 중국, 일본 등 아시아/태평양(21.0%) 순 시장 규모

□ 글로벌 의료기기 기업들은 생체신호 계측기기, 영상진단 기기 시장의 과점적 지위를 기반으로 차세대 의료기기 요소기술 보유기업과의 파트너십 및 M&A 등을 통해 R&D 투자를 지속 확대 중

□ (국내) 국내 의료기기 시장은 꾸준히 성장하고 있으나 국내 기업의 경쟁력은 미비하며 수입의존도가 높아 국내 산업의 경쟁력 상실에 대비하여 국산 의료기기 개발 필요성이 높음

○ 2018년, 우리나라 의료기기 시장 규모는 6조 8,179억 원으로 전년 대비 10.0%가 증가하였으며, 2014년부터 연평균 8.0%의 성장세가 나타남(생산액, 수출입 기준)

○ 국내 의료기기는 일부 부문*을 제외하고는 높은 수입의존도와 낮은 민간 R&D 투자로 기술, 시장경쟁력 확보에 어려움이 있으나, 전체적인 의료기기 수입의존도가 높고 민간 R&D 투자가 취약하여 국내 기업의 기술력과 시장경쟁력의 강화를 위한 지속적인 지원이 요구됨

* 해외 수출 비중이 높은 의료기기는 초음파영상진단기기, 치과임플란트, 체외진단시약 등이 있음('19, 보건산업진흥원)

3. 첨단재생의료

3.1. 기술동향

3.1.1. 재생의료 R&D 투자 및 임상 동향

□ (글로벌) 전세계 재생의료 관련 임상시험은 2020년 기준 1,220건이고, 이 중 152건이 3상 진행 중이며 향후 선진국의 패스트트랙 제도 등으로 높은 시장성장과 다양한 기업 성과가 기대됨

○ 2021년에는 미국, 유럽 등에서 최소 8개의 재생의약품 허가가 기대되며, 2025년까지 미국, 유럽에서 각각 연 10~20건의 세포 및 유전자 치료제 승인이 예상됨

※ 출처: 글로벌 재생의료 산업, '급속 성장세', 의학신문, 2021
※ 출처: 글로벌 재생의료산업의 현황과 전망, 대웅제약 뉴스룸, 2021

[그림 Ⅲ-12] 2020년 재생의료 분야 기업 및 투자, 임상 현황(한국바이오협회, 2021)

□ (국내) 2018년 기준 국내에서 수행하고 있는 줄기세포 치료제 임상은 17건으로, 그 중 일부는 미국 1/2상을 진행 중이고, 코아스템, 강스템바이오텍 등은 국내 3상을 진행

연번	제품명(코드명)	기업명	대상질환	분류	단계
1	Cellgram_LC	파미셀	알코올성 간경변	자가/골수	국내 2상 종료/ 조건부 품목허가 신청 및 임상 3상 계획
2	카티스템	메디 포스트	골관절염	동종/제대혈	품목허가 (2012) 미국 1/2a상 진행 중
3	뉴모스템		미숙아 기관지폐이형성증	동종/제대혈	국내 2상 완료, 추가진행 미국 1/2상 진행 중
4	뉴로스템		알츠하이머병	동종/제대혈	국내 1/2a상 진행 중
5	ANTG-ASC-CF	안트로젠	크론성 누공	동종/지방	국내 2상 진행 중
6	ALLO-ASC-CD		크론병	동종/지방	국내 1상 진행 중
7	ALLO-ASC-TI		만성 힘줄 손상	동종/지방	국내 2상 완료
8	뉴로나타-알주	코아스템	근위축성 측삭경화증	자가/골수	3상
9	CS20AT04		루푸스 신염	동종/골수	1상
10	CS10BR05		다계통위축증	자가/골수	1상
11	퓨어스템-AD	강스템 바이오텍	아토피	동종/제대혈	국내 3상진행
12	퓨어스템-CD		크론병	동종/제대혈	국내 임상 1&2a상 진행
13	퓨어스템-RA		류마티스관절염	동종/제대혈	국내 임상 1/2a상 진행
14	hUCB-MSC3 Inj		급성 이식편대숙주질환, 크론병	동종/제대혈	국내 임상1상 완료
15	AGH2001	SCM 생명과학	급성이식편대숙주질환	동종/골수	국내 임상1/2상 진행
16	SCM-CGH_151001		만성이식편대숙주질환	동종/골수	국내 임상2상 진행
17	APT2001		급성췌장염	동종/골수	국내 1/2a상 진입

(출처: 임상시험정보, 식품의약품안전처/바이오스펙테이터)

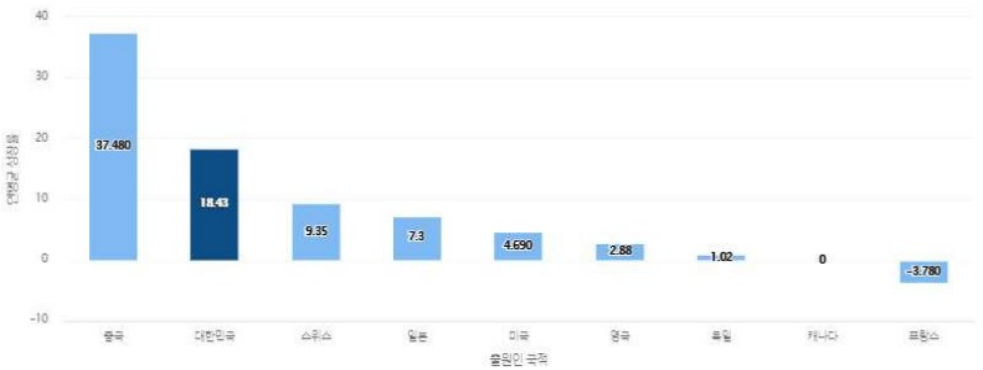
[그림 Ⅲ-13] 국내 줄기세포 치료제 임상시험 현황(2018)

3.1.2 재생의료 관련 특허 동향

□ 우리나라는 재생의료 분야 특허 동향은 출원 수, 연평균 증가율 등 양적 지표는 우수하나, 해외 시장 확보율, 해외출원 비율, 피인용도 등 질적 지표에서는 미흡한 수준

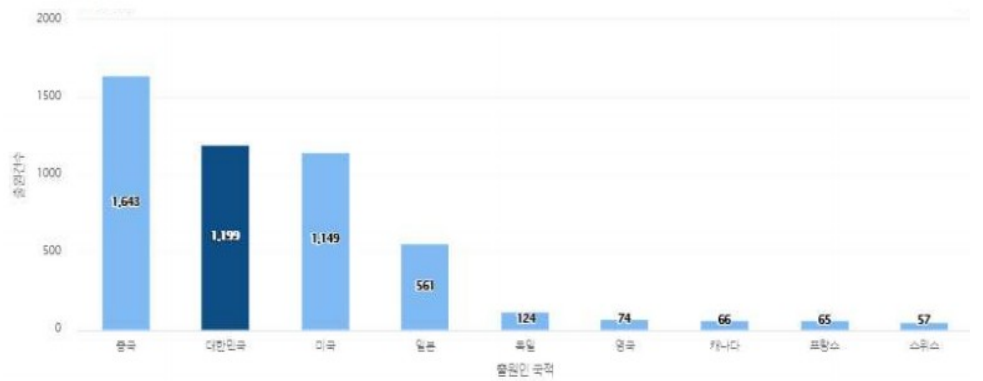
○ 우리나라는 재생의료 분야 특허 출원 수, 연평균 증가율 모두 중국에 이어 세계 2위 수준으로 높으며, 그 외에 미국, 일본 등도 상위권

※ 출처: 재생의학 분야 국가별 특허 동향, 한국바이오협회, 2021



(출처: 한국바이오협회, 2021)

[그림 Ⅲ-14] 국가별 재생의료 분야 특허 연평균 성장률(1998~2019)



(출처: 한국바이오협회, 2021)

[그림 Ⅲ-15] 국가별 재생의료 분야 특허 출원 건수(1998~2019)

○ 해외 시장 확보율, 해외출원 비율, 피인용도는 조사대상 9개국 중 8위이며, 중국이 9위에 그쳐 비슷한 양상을 보임

- 해외시장 확보율은 영국, 프랑스, 독일 등이 0.9 이상의 수치로 선두권 국가이며, 해외출원 비율 역시 영국, 프랑스, 스위스 등이 8 이상의 수치를 보임
- 우리나라는 해외시장 확보율과 해외출원 비율 수치가 각각 0.414와 2.626건으로 선두권 국가에 크게 미치지 못하고 있음

3.2. 산업동향

3.2.1. 세계 및 국내 재생의료 시장

□ 글로벌 재생의료 시장은 불확실성이 존재하는 시장형성 초기 단계로 시장 선도자가 명확하지 않은 상황이며, 글로벌 제약사들은 바이오텍과의 licensing-in 전략*으로 경쟁력 확보 중

* 바이오젠-상가모, 얀센-페이트테라퓨틱스 등

○ 글로벌 재생의료 시장은 2018년 250억 달러에서 2024년까지 768억 달러로 확대될 전망으로, 연평균 성장률은 19.8%로 예상됨

○ 시장 전망은 미국, 유럽 등 주요국의 정책적 지원*이 긍정적 요소이나 작은 시장규모, 줄기세포 활용의 윤리적 이슈, 고가의 가격 등은 부정적 요소로 작용

* 미국의 21세기 치료법(21st century cures act), 첨단재생의료치료제(RMAT, Regenerative Medicine Advanced Therapy) 지정과 유럽 EMA의 우선허가심사제도(PRIority MEdicines(PRIME)) 등

□ 기존에는 재생의료 산업이 체세포, 줄기세포 기반 산업으로 구성되어 있었으나 최근 점차 면역세포 치료제, 유전자 치료제 산업으로 재편되는 추세

○ 향후 세포기반 면역항암제, 유전자치료제, 세포치료제를 중심으로 기업들의 연구개발과 생산수요가 급증하여 위탁개발생산(CDMO) 시장이 활발해질 것으로 예상

3.2.2 재생의료 분야 민간 투자 동향

□ 2020년 세계 재생의료산업에 전년대비 50% 증가한 199억 달러의 자금이 투자되는 등 관련 투자 규모가 급격히 증가 중

○ 미국 나스닥의 유전자치료제 관련주는 2020년에 70% 성장했고 세포기반 면역항암제는 82%, 전체 재생의료 관련주는 44% 성장했으며, 벤처캐피탈 규모가 2019년 41억 달러에서 2020년 56억 달러로 증가

3.2.3. 재생의료 분야 주요 기업 동향

□ 전세계 유전체, 세포 및 조직 기반 치료제 개발 업체는 2021년 기준 1,085개에 달하며 지역별로는 북미와 아시아·태평양 지역이 가장 많음

※ 기업 수(개) : 북미(543), 아시아·태평양 지역(295), 유럽(209), 중동·아프리카(25), 남미(13)

○ 전세계 재생의료 시장에서 주요 기업(2018년 기준)은 미국의 Integra LifeSciences, Mimedx, Osiris Therapeutics 등으로 화상 및 상처 관리를 위한 재생제품과 안과·치과 치료용 제품, 당뇨성 족부궤양, 정맥성 다리 궤양, 압박궤양, 동맥궤양 등과 수술 및 외상 상처 등을 치료하기 위한 제품 등을 주된 사업 영역으로 하고 있음

제3절 바이오헬스 분야별 정부 R&D 투자전략

1. 요약 및 시사점

□ 4차 산업혁명과 인구 고령화를 계기로 바이오헬스 분야를 미래 대비 지속성장 가능한 분야로 보고 국가별 R&D 투자 확대 추세에 따른 바이오헬스 산업의 성장 속도가 가속화되고 있음

○ 고령화와 건강수요 증가로 바이오헬스 세계시장 규모는 2030년까지 4.0%의 성장세가 전망되고 있으며, 이는 조선(2.9%), 자동차(1.5%) 등 기존 선도 산업보다 성장 가능성이 높음

□ 바이오 경제 패러다임 전환에 대응하기 위해 세계 각국에서 바이오헬스 산업 육성 정책을 수립하고 관련 분야에 선제적 투자를 하고 있음

○ 미국의 경우 NIH 연구개발투자 급증, 바이오 기술 혁신 가속화를 위해 ARPA-H 설립 추진

○ 유럽은 Horizon Europe 등 대규모 연구개발 지원 프로젝트의 주요 사회적 과제로 다루고, 영국은 국립보건연구원(NIHR), 의학연구회(MRC), 생명공학·생명과학연구회(BBSRC) 등 전담조직을 통해 바이오 분야에 특화하여 지원하고 있음

○ 일본은 2015년 설립된 일본의료연구개발기구(AMED)를 주축으로 바이오 분야에서 일관성 있는 연구개발을 지원하고 있음

○ 중국은 의료분야 AI표준체계 구축, 원격의료 등 빅데이터, AI를 활용한 투자 및 연구개발이 활발히 이루어지고 있음

□ 우리 정부도 바이오헬스 산업 혁신전략을 마련하고 생태계 조성 및 지원, 규제 합리화를 추진하고 있음

○ 우리나라 바이오헬스 산업의 발전과 글로벌 경쟁력 확보를 위해서는 국내·외 시장 환경의 변화와 산업 분야별 객관적인 역량 보유 수준을 파악하여 각 분야에서 단계별 발전전략을 수립하는 것이 필요

- 2019~2020년에 걸쳐 과학기술혁신본부에서 수립된 바이오헬스 R&D 투자전략을 보면, 의료기기·재생의료 분야는 연구개발 전주기 역량이 부족하고, 인프라·인력양성·제도 등은 산업 성장 속도에 미치지 못해 지속적인 개선이 필요한 사항

□ 주요국에서는 4차 산업혁명 및 코로나19로 인한 비대면의 일상화에 다라 바이오헬스 분야의 원격의료 등에서 빅데이터·AI를 활용한 22투자 및 연구개발이 활발히 이루어지고 있으며, 우리나라도 주요국들의 동향을 참고하여 투자 및 연구개발 전략을 수립하는 것이 요구됨

○ 주요국 중심으로 코로나19 대응 과정에서 AI기술의 적용, 비대면 의료서비스 도입이 가속화된 것에 반해 우리나라의 경우 이해관계자들의 합의가 충분히 되지 않아 의료 비상사태에서도 비대면 의료서비스를 일부 재외국민 대상으로 한시적 시행한 한계점을 보임

- 미국은 국가 주도의 All of US 프로그램을 통해 코호트 구성원의 다양성을 확보하고 개인정보 공유 및 이용에 대한 사회적 합의를 이루어냈으며, 코로나19에 대한 효과적인 대응을 위해 기존 원격 의료서비스 사용을 확대함
- 일본의 경우 2040년 단카이 주니어 세대가 고령자로 접어드는 시기를 '2040년 문제'로 정의하고, IT 돌봄간호기기 등 헬스케어서비스 부문에서 연구개발을 진행하고 있음

○ 맞춤의료, 예방의료 차원에서 ICT 등 타 분야와의 융복합을 통해 빠르게 진화하는 바이오헬스 분야의 특성과 신시장·신제품 창출 측면에서 혁신적 규제개선의 필요성이 대두됨

- 미국은 '21세기 치유법'에 근거하여 임상연구와 임상시험을 이원화된 트랙(RMAT, RAT)으로 분리하였으며, RMAT 지정 시 우선심사, 신속승인 등 획기적 치료제와 거의 동일한 혜택을 부여하는 등 규제 요건을 간소화함으로써 안전성 규제와 재생의학 발전 촉진 사이의 균형을 도모
- 유럽은 시판 승인 전 첨단재생의료제품(ATMP)을 병원에서 의사의 책임 하에 치료 목적으로 환자 개인 맞춤형으로 처방할 수 있도록 허용한 병원면제(Hospital Exemption) 제도를 이미 도입함
- 일본이 유도만능줄기세포 등 재생의료 분야에서 꾸준한 성과를 내고 있는 배경에는 규제 완화 및 법 개정 등 정부차원에서의 적극적인 지원이 존재
- 중국의 혁신치료제 지정 제도와 같이 의약품의 신속한 도입을 위해 정부 차원에서 방침을 마련
- 국내 바이오헬스 산업 전반을 활성화하기 위한 노력에도 불구하고 R&D에서 규제과학의 실질적 역할과 구조적 연계·협력은 부족하며, 관련 법 제정 및 제도 마련이 해외 선진국에 비해 늦게 도입('20.8월)되었으며, 신의료기술평가 등 신제품·기술 평가제도의 명확한 시스템 부족, 평가방법의 부적합성 등 안전관리 체계가 미흡함

- 이는 의약품, 의료기기 및 첨단의료제품의 안전성을 담보하면서 신속한 시장출시를 지원하는 혁신적 규제개혁 정책의 도입 속도가 이들 선진국에 비해 상대적으로 늦다는 것을 시사하고 있음

□ 바이오헬스 산업을 육성하기 위해 우리나라의 경우 다양한 부처에서 바이오헬스 R&D를 추진하고 있으며, 컨트롤타워 담당 기관·조직이 부재하므로 효율적인 연구개발이 가능하도록 보완할 수 있는 체계 필요

○ 미국의 경우 NIH가 프로그램 수준에서 장기적인 연구개발 전략을 수립함

○ EU는 유럽단일연구공간혁신위원회(ERAC)와 유럽 테크놀로지 플랫폼(ETP), 영국은 정부수석과학고문(GCSA)과 정부과학청(GO-Science) 같은 자문기구를 두고, 정부투자가 필요하거나 사회·경제적으로 해결이 필요한 분야 등을 정하고 있음

○ 일본의 경우 건강의료전략추진사무국 신설 등 컨트롤타워의 효율적인 운영을 위해 지속적으로 노력하고 있음

○ 우리나라에서는 부처 간 유사사업 추진으로 비효율적인 예산 낭비를 방지하기 위해 부처협업 사업들이 추진되고 있지만 부처별 예산 집행, 연구개발 추진 기조 등의 차이로 장기적으로 원활한 추진이 어려운 경우가 있어 보완책이 필요

2. 바이오헬스 분야별 정부 R&D 투자전략

2.1. 의약품

□ 바이오헬스 분야 중에서 글로벌 시장 및 산업 규모가 가장 크고 성장속도도 빠른 제약산업의 경우에는 신약개발 전주기 지원체계에서 정부 R&D의 역할, 민간 주도의 신약개발과 민관 협력 등을 고려한 R&D 투자전략 마련이 요구됨

○ 글로벌 제약산업은 시장규모와 R&D규모, 파이프라인이 지속적으로 성장하고 있으며, 글로벌 제약시장 규모는 2019년 1조 2,504억 달러에서 2024년 1조 5700억원~1조6천억원 규모로 증가할 것으로 예상되고 있음(연평균 증가율 3~6%)

○ 국내 의약품 시장규모는 2000년 8조 3,890억 원에서 2018년에는 26조 6,880억 원으로 증가하여 연평균 6.6% 성장률을 보이고 있으며, 이는 최근 18년간(2000~2018) 전산업(6.4%) 및 제조업(5.6%) 평균 성장률보다 높은 수준임

- 전체 벤처캐피탈 투자액 중 바이오의약 분야 투자는 2015년 전체의 15.2%에서 2018년 25.86%로 가장 빠르게 성장하고 있음

□ 국내 제약산업의 글로벌 시장 점유율이 2018년 기준 1.6% 수준에서 꾸준히 확대하기 위해서는 신약개발 전주기 지원체계에서 정부R&D의 역할, 민간의 신약개발 연구 주도 및 산업생태계에서의 적극적인 오픈이노베이션 등이 필요

○ 정부는 ①혁신 타겟발굴·검증 등 초기 파이프라인 발굴 및 후보물질 연계, ②신규 후보물질과 공통기반 연구를 연계한 약물개발 프로세스 효율화와 첨단바이오의약품 관련 원천기술 조기 확보를 위한 선제적인 투자, ③신개념 치료제의 평가기술 및 신약개발 촉진을 위한 공통기반 플랫폼 연구 등의 역할을 담당하는 것이 필요함

- 글로벌 블록버스터 신약 개발을 위한 혁신 타겟발굴·검증 단계의 초기 파이프라인 발굴에 집중하고 이를 후보물질 단계로 연계할 수 있도록 지원
- 신규 후보물질 도출과 공통기반 연구를 연계하여 약물개발 프로세스를 효율화하고, 차세대 첨단바이오의약품 관련 원천기술을 조기 확보하기 위한 선제적인 투자가 필요
- 유전자·세포 치료제 등 새롭게 떠오르는 분야의 평가기술 및 신약개발 촉진을 위한 공통기반(AI 등) 플랫폼 연구 지원

○ 국내 제약기업은 제약산업의 성장 단계에서 기술수출을 토대로 신약개발 경험과 역량을 축적하고 기술료 수입을 통해 혁신적인 플랫폼 약물 등 차세대 신약개발에 재투자하는 등 연구개발 성과가 급속히 확산·환류될 수 있도록 노력

3.2. 의료기기

□ 국내 의료기기는 일부 두각을 나타내는 부문(초음파영상진단기기, 치과임플란트, 체외진단시약 등)이 있으나, 전체적인 의료기기 수입의존도가 높고 민간R&D 투자가 취약하여 국내 기업의 기술력과 시장경쟁력 제고를 위한 정부의 지속적인 지원이 필요

○ 국내 의료기기 시장규모는 연평균 10.4%로 꾸준히 성장하고 있으나, 수입 점유율이 60% 수준으로 유지되고 있어 국산화 노력이 절대적으로 요구됨

○ 국내 의료기기 분야 민간R&D 투자 규모('18년, 1.1조원)는 글로벌 기업 대비 매우 적은 수준이나, R&D투자 증가율(연 16.4%)과 R&D 집중도(매출액 대비 R&D지출)는 높은 수준*

* (글로벌 기업) 7% vs. (국내 기업) 17% (출처 : Evaluate, 과기정통부 & 식약처 자료)

□ 해외 의존도 완화와 세계시장 점유율 확대를 위해 정부 차원에서 부품·소재 등 요소기술 및 제품화기술의 국산화, 신개념 융합형 의료기기 개발을 지원하는 등 정부 주도의 산업육성 전략이 필요

○ 의료기기 소재·부품 정책-R&D투자를 연계하고, 국내 기술경쟁력 및 국제 여건 등을 고려하여 국산화, 기술고도화 등 전략적인 R&D 투자가 필요

○ 국내·외 상황을 고려한 전략 다변화 및 국민 의료복지 실현을 위해 정부와 민간의 역할 분담 및 연계가 필요

- 시장 변화 주기가 빠른 기술·품목* 지원(단기)과 신개념 의료기기 원천기술** 확보(장기) 등 전략 다변화가 요구

  * (예시) AI, 의료로봇, 3D프린팅 등, ** (예시) 생체재료, 센서 등

- 포용사회 정책과 더불어 재활의료기기 등 공익적 의료기기에 대한 사회적 관심이 증대되고 있어 이에 대한 R&D 지원 강화

  ※ 재활로봇 글로벌 시장규모 : ('17) 2,696억 원 → ('23) 6,623억 원(CAGR 15.4%)

○ 의료기기 및 소재·부품 등의 성능·신뢰성 평가기술 개발 및 품목허가 체계(변경허가 간소화 등) 마련 지원

  ※ R&D 이외 영역(보험수가, 평가제도 등)은 정부 정책(R&D PIE)과 병행

3.3. 첨단재생의료

□ **첨단재생의료가 난치성 질환의 근본적 치료 대안으로 부각되면서 주요국의 정부 및 민간 투자가 증가하고 있음**

○ 첨단재생의료 관련 글로벌 시장이 2018년 250억 달러에서 그 후 6년간 연평균 19.8%로 빠르게 성장할 것으로 전망되나, 아직은 시장형성 초기 단계로 현재까지 시장규모가 크지 않고 이미 상용화된 제품이 많지 않아 민간의 투자 유인이 중요

○ 재생의료 기술이 기존에 체세포, 줄기세포 등을 이용해 손상된 인체세포와 조직, 장기를 대체하거나 재생시켜 정상적으로 가능하게 만드는 것이었다면, 최근에는 면역세포치료제, 유전자치료제 산업 중심으로 범위가 재편되고 있음

□ **첨단재생의료 영역에서는 줄기세포 치료의 다양성·혁신성이 확보되도록 차세대 원천기술 및 치료제기술 확보를 위한 중개연구, 줄기세포 치료제 플랫폼기술 개발 등에는 정부R&D의 역할이 중요**

○ 국내 줄기세포 원천기술은 대부분 추격형 연구로 이루어져 국내 기술수준이 최고기술 보유국 대비 75% 수준으로 낮으므로, 생체 내 리프로그래밍, 범용성 줄기세포 등 차세대 재생의료 분야의 핵심 원천기술* 확보를 위한 장기적 연구 지원

  * 생체 내 직접 교차분화, 3D세포배양기술, 오가노이드 제작 및 분화기술, 세포 기능분석·평가기술 등

○ 우리나라 첨단재생바이오법의 제정에 탄력 받아 난치병에 대한 획기적인 치료법 개발 등 공공 문제 해결이 강조되는 분야의 임상시험 및 선도적 임상연구 지원

○ 주요국 대비 국내는 자가유래세포 등에 한정된 치료제 연구로 다양성·혁신성이 부족하므로, 재생의료 적응영역 확대를 위하여 대량배양·다분화능 세포기반의 치료제 후보군 중심으로 실용화 연구개발 지원

Ⅳ. 주요 정책 아젠다 및 R&D 투자전략

제1절 지속가능한 발전을 위한 정책 이슈 분석

제2절 중장기적 R&D 투자전략

제1절 지속가능한 발전을 위한 정책 이슈 분석

1. 국가과학기술 R&D 성과분석

□ 우리나라는 60년 전 국제 원조를 받던 가난한 나라에서 세계 10위권*의 경제 강국으로 발돋움했으며, 이러한 성장에 국가연구개발이 핵심적 역할 수행

* 한국의 GDP(억US$) : (1960)19.87 → (2020)16,308.20

○ 약 20년의 주기로 연구기반 구축기(1960~70년대) → 연구역량 축적기(1980~90년대) → 연구개발 도약기(2000년대 이후)를 거치며 국가연구개발체계가 발전

(1) 연구개발투자 성과

1) 정부연구개발투자

□ 정부연구개발예산은 매년 증가하고 있으며, 2010년대 중후반에 정체기를 거쳤다가 2020년부터 급격히 증가

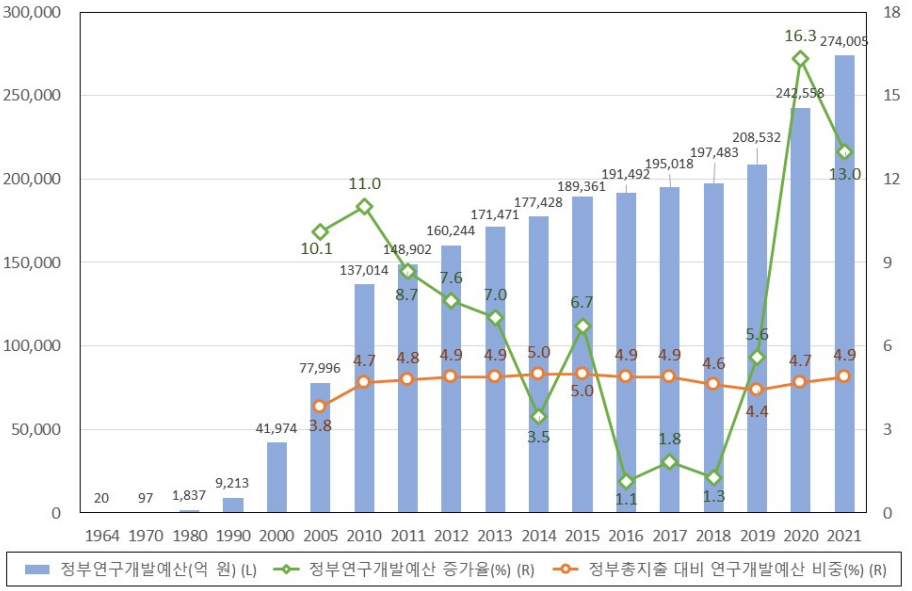
※ 정부연구개발예산(억 원) : ('64)20 → ('70)97 → ('80)1,837 → ('90)9,213 → ('00)41,974 → ('10)137,014 → ('15)189,361 → ('20)242,598 → ('21)274,005

※ 정부총지출 대비 연구개발예산 비중 : ('21)4.9%

〈표 Ⅳ-1〉 정부연구개발예산 국제비교

구분	한국('19)	미국('19)	일본('19)	독일('19)	프랑스('18)	영국('19)
정부R&D예산 (백만US달러)	17,892	147,945	38,913	37,536	16,484	12,065
배율	1.00	8.27	2.17	2.10	0.92	0.67

※ 과학기술정보통신부·한국과학기술기획평가원 (2020), 「연구개발활동조사 보고서」.



※ 과학기술정보통신부·한국과학기술기획평가원 (각연도), 「연구개발활동조사 보고서」.

[그림 Ⅳ-1] 정부연구개발예산 추이

○ 연구자 주도의 창의적 연구에 대한 투자를 지속 확대하여 국가연구개발사업의 과제 중 기초연구의 비중은 많이 증가했고, 응용·개발연구의 비중은 감소

※ 연구자 주도 기초연구사업 예산 2배 확대 : ('17) 1.26조 원 → ('22년 목표) 2.52조 원

○ 국가연구개발사업을 통해 연구개발이 수행된 미래유망기술 중 생명공학기술(BT), 우주항공기술(ST), 환경기술(ET)의 비중이 큰 폭으로 증가, 긴 시간과 리스크가 동반되며 민간의 참여 유인이 적은 분야에의 정부 투자 증가한 것을 알 수 있음

* BT: ('02)9.6% → ('19)19.1%, ST: ('02)3.9% → ('19)9.1%, BT: ('02)6.5% → ('19)11.8%

〈표 Ⅳ-2〉 우리나라 정부연구개발예산 편성제도의 변천과정

구 분	국과위 출범 이전 (1967~1998년)	국과위 출범 이후 (1999~2004년)	과학기술혁신본부 시기 (2004~2007년)	이명박정부 출범 이후 (2008~2011년 3월)	국과위 상설화 이후 (2011년 4월~2013년 3월)	미래부 출범 이후 (2013년 3월~2017년 7월)	문재인정부 출범 이후 (2017년 7월~현재)
편성 과정	• 연구개발의 특수성이 고려되지 않고 일반적인 정부예산의 편성과정 진행	• 국과위 종합조정 결과를 참고하여 기획예산처 편성	• 국과위의 정부연구개발예산 조정·배분 결과를 수용하여 기획예산처 편성	• 예산배분방향은 교과부, 예산조정·배분과 평가는 기획재정부 이관	• 주요 R&D사업의 배분·조정과 평가는 국과위, 최종 예산편성은 기재부	• 주요 R&D사업의 배분·조정과 평가는 미래부, 총량관리 및 예산편성은 기재부가 담당	• 주요 R&D사업의 배분·조정과 평가는 과기정통부, 총량관리 및 예산편성은 기재부가 담당
연구개발 지출한도 설정	• 수립절차 없음	• 수립절차 없음	• 국과위와 기획예산처 간의 공동으로 총액규모와 부처별 지출한도 결정 후 각 부처 통보	• 기획재정부에서 총액과 지출한도 설정	• 기획재정부에서 총액과 지출한도 설정	• 기획재정부에서 총액과 지출한도 설정	• 기획재정부에서 총액과 지출한도 설정
주요 종합조정 기구	• 기술진흥심의회 • 종합과학기술심의회 • 과학기술장관회의	• 국가과학기술위원회	• 국가과학기술위원회 • 과학기술혁신본부 • 과학기술장관회의	• 국가과학기술위원회 • 교육과학문화수석 →미래전략기획관실('10.7)	• 국가과학기술위원회 • 미래전략기획관실	• 국가과학기술심의회 • 미래부 연구개발조정국	• 국가과학기술자문회의 • 과기부 과학기술혁신본부
연구개발 분류기준	없음	있음					
국가연구개발 투자방향	• 수립절차 없음	• 국과위 작성 후 각 부처와 기획예산처 통보	• 국과위 작성 후 각 부처와 기획예산처 통보 • 정부연구개발예산 편성 활용	• 국과위 전문위원회 작성 후 각 부처와 기획재정부 통보 • 정부연구개발예산 편성 활용	• 국과위 전문위원회 작성 후 각 부처와 기획재정부 통보 • 정부연구개발예산 편성 활용	• 국과심에서 심의 후 각 부처와 기획재정부 통보 • 정부연구개발예산 편성 활용	• 자문회의에서 심의 후 각 부처와 기획재정부 통보 • 정부연구개발예산 편성 활용

구 분	국과위 출범 이전 (1967~1998년)	국과위 출범 이후 (1999~2004년)	과학기술혁신본부 시기 (2004~2007년)	이명박정부 출범 이후 (2008~2011년 3월)	국과위 상설화 이후 (2011년 4월~2013년 3월)	미래부 출범 이후 (2013년 3월~2017년 7월)	문재인정부 출범 이후 (2017년 7월~현재)
정부 연구 개발 예산 배분·조정	• 종합과학기술심의회 등을 통한 안건 상정·의결	• 국가연구개발사업 조사·분석평가 • 국가연구개발사업 사전조정	• 정부연구개발예산 조정·배분권 • 국가연구개발사업 사전타당성조사제도	• 국가연구개발사업 예산 배분 방향 설정 • 국가연구개발사업 예비 타당성조사제도	• 정부연구개발예산 배분·조정권 • 국가연구개발사업 예비 타당성조사제도* *기술성 평가: 국과위 수행	• 정부연구개발예산 배분·조정권 • 국가연구개발사업 예비타당성조사제도	• 정부연구개발예산 배분·조정권 • 국가연구개발사업 예비 타당성조사제도* *기재부→과기정통부 위탁수행
정부 연구 개발 예산 심의 조직	• 민간중심의 한시적 위원회	• 민간중심의 한시적 위원회	• 혁신본부 4개 심의관 • 9개 기술분야별 민간 전문위원회 운영	• 국가과학기술위원회 • 기획재정부	• 국가과학기술위원회 • 기획재정부	• 국가과학기술심의회 기획재정부	• 국가과학기술자문회의 • 기획재정부
사업 계획서 제출	• 주요 신규계속사업 계획서 제출	• 주요 신규·계속사업 계획서 제출	• 중기사업계획서제출	• 중기사업계획서제출	• 중기사업계획서제출	• 중기사업계획서 제출	• 중기사업계획서 제출
성과 평가 연계	• 연계과정 없음	• 성과평가 결과의 예산반영 미흡	• 성과평가 결과에 따른 예산 배분·조정	• 성과평가 결과에 따른 예산안 편성	• 성과평가 결과에 따른 예산안 편성	• 성과평가 결과에 따른 예산안 편성	• 성과평가 결과에 따른 예산안 편성

※ 한국과학기술기획평가원(2021), 「2021년도 정부연구개발예산 현황분석」, 조사자료 2021-004.

2) 민간연구개발투자

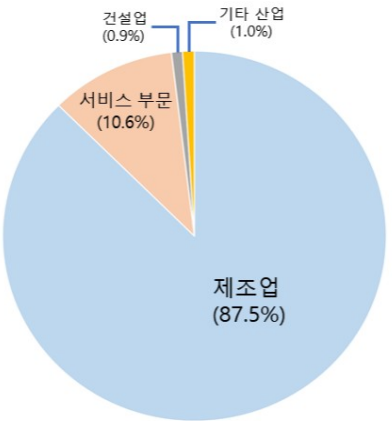
□ 산업화 초기에 정부의 주도적 투자가 과학기술역량을 키웠다면, 이후에는 민간 부문이 성장하면서 주력·첨단산업 중심으로 국가경제 발전을 이끔

○ 민간부문의 연구개발투자는 과거보다 비약적으로 증가했으며, 증가 추세 지속 유지

※ 민간연구개발투자(억 원) : ('76)214 → ('80)1,025 → ('90)26,989 → ('00)100,234 → ('10)314,896 → ('15)491,700 → ('19)685,216

○ 민간부문에서 사용한 연구개발비는 매년 증가하고 있으며, 이 중 중소·벤처기업의 사용 비중은 20~30%를 유지

○ 국내 기업 연구개발비의 대부분은 제조업(87.5%)에서 사용하며, 제조업 중에서도 전자부품, 컴퓨터, 영항, 음향 및 통신장비 산업(49.2%)이 가장 큰 비중 차지



※ 과학기술정보통신부·한국과학기술기획평가원 (2020), 「연구개발활동조사 보고서」.

[그림 Ⅳ-2] 국내 산업별 기업 연구개발비 비중

○ 민간부문의 연구개발역량의 척도인 기업연구소의 수가 증가하여 4만 개를 웃돌며, 특히 중소·벤처기업의 연구소 수가 급증

※ 기업연구소 수 추이(개사) : ('81) 제도 도입 → ('00) 5,000개 돌파 → ('04) 10,000개 돌파 → ('10) 20,000개 돌파 → ('14) 30,000개 돌파 → ('19) 40,000개 돌파

3) 총연구개발투자

□ 짧은 국가연구개발 역사에도 불구하고 앞선 국가들과의 격차를 빠르게 좁혀, R&D 후발국가에서 총연구개발비(정부+민간) 세계 5위의 R&D 선도국으로 전환

※ 국내 총연구개발비(억 원) : ('63)12 → ('70)105 → ('80)2,117 → ('90)32,105 → ('00)138,485 → ('10)438,548 → ('15)659,594 → ('20)930,717

※ 총연구개발투자 상위 4개 국가는 GDP 순위와도 일치하며, 세계무역의 33%를 점유

○ 국내 연구개발투자의 빠른 증가로 인해 총연구개발비의 차이는 급격히 감소*

* 한국-미국의 총연구개발비 배율 추이(배) : ('00)22.0 → ('10)10.8 → ('18)7.6
한국-일본의 총연구개발비 배율 추이(배) : ('00)11.6 → ('10)4.7 → ('18)2.1

〈표 Ⅳ-3〉 연구개발투자 국제비교

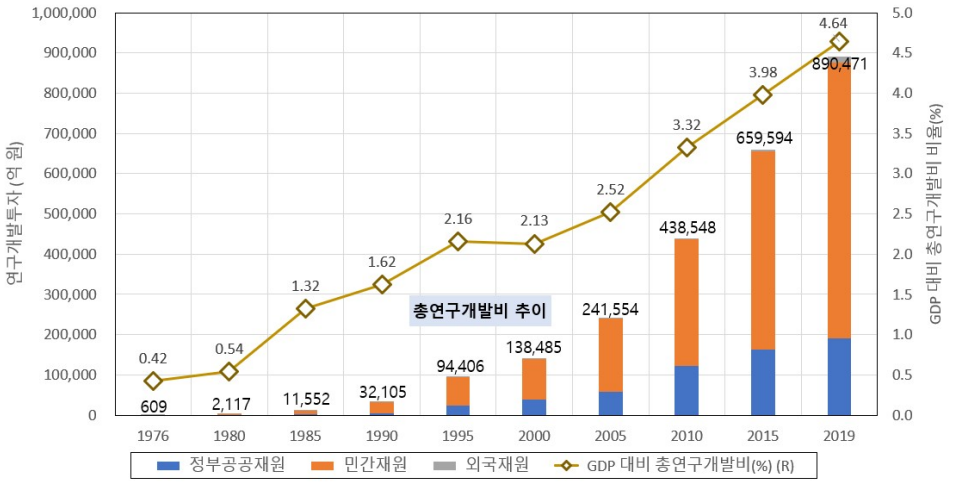
구분	한국 ('19)	미국 ('18)	일본 ('18)	독일 ('18)	프랑스 ('18)	영국 ('18)	중국 ('18)
총연구개발비 (억 달러)	764.0	5,815.5	1,622.8	1,236.1	611.4	494.6	2,974.3
배율 (한국을 1로 설정)	1.0	7.6	2.1	1.6	0.8	0.6	3.9
GDP (억 달러) (세계 순위) (2019년 기준)	16,463 (12)	214,277 (1)	50,818 (3)	38,456 (4)	27,155 (7)	28,271 (6)	143,429 (2)
GDP 대비 비율 (%)	4.64	2.83	3.28	3.13	2.19	1.73	2.14
정부 : 민간 (%)	21:79	30:70	20:80	28:72	36:64 ('17)	32.68	20:77

※ 과학기술정보통신부·한국과학기술기획평가원 (2020), 「연구개발활동조사 보고서」.

○ 2020년 기준 GDP 대비 총연구개발비의 비중은 이스라엘(4.94%)에 이어 세계 2위(4.81%)

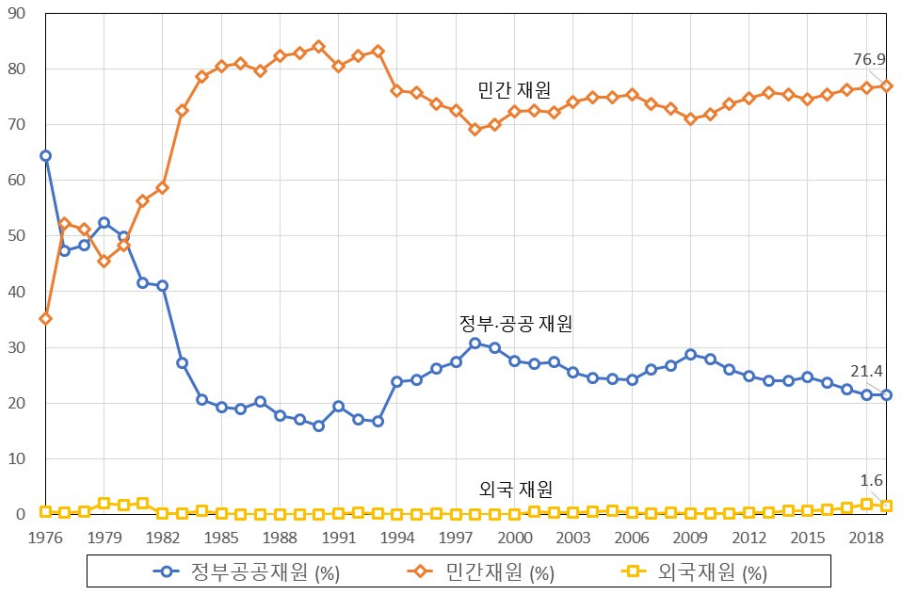
※ 우리나라 총연구개발비의 GDP 대비 비중 추이(%) : ('70)0.46 → ('80)0.54 → ('90)1.62 → ('00)2.13 → ('10)3.32 → ('15)3.98 → ('20)4.81

○ 1980년대부터 민간의 연구개발투자 규모가 정부연구개발투자 규모를 능가하여 1983년부터는 총연구개발비 중 민간의 비중이 70% 이상을 유지



※ 과학기술정보통신부·한국과학기술기획평가원 (각연도), 「연구개발활동조사 보고서」.

[그림 Ⅳ-3] 총연구개발비 및 GDP 대비 총연구개발비 비중 추이



※ 과학기술정보통신부·한국과학기술기획평가원 (각연도), 「연구개발활동조사 보고서」.

[그림 Ⅳ-4] 재원별 연구개발비 비중 추이

(2) 과학기술적 성과

1) 논문 및 특허

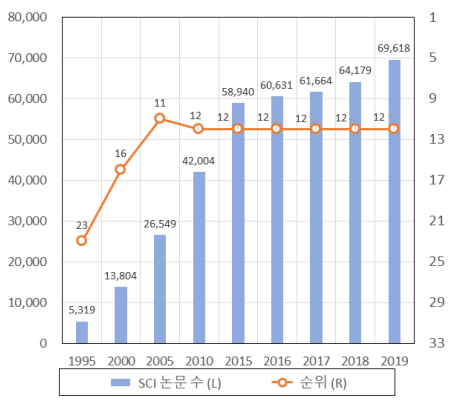
□ 연구개발투자의 확대를 바탕으로 논문과 특허 등 산출 측면의 연구성과도 지속 증가

○ 우리나라의 논문 건수는 15년째 세계 12위를 유지하고 과학기술 강국에 비해 여전히 적은 수준이지만, 지속적인 연구개발투자를 통해 격차를 축소*

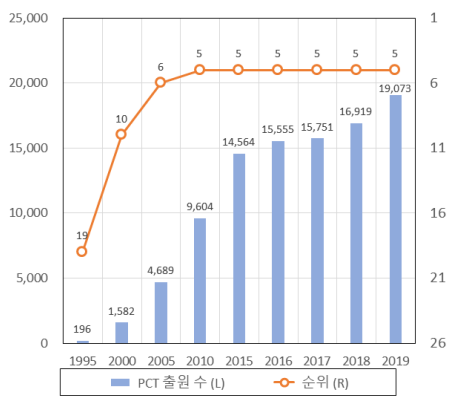
* 한국/미국의 논문 건수 배율 추이(배) : ('00)19.6 → ('05)11.7 → ('10)9.1 → ('15)7.4 → ('19)7.0
한국/일본의 논문 건수 배율 추이(배) : ('00)5.4 → ('05)2.9 → ('10)1.9 → ('15)1.4 → ('19)1.3

○ 우리나라의 PCT[38] 출원 건수는 최근 10년 이상 세계 4~5위 수준을 유지

※ 한국의 PCT 출원 건수(건) : ('00)1,582 → ('05)4,689 → ('10)9,604 → ('15)14,564 → ('19)19,073
한국/미국의 PCT 출원 건수 배율 추이(배) : ('00)24.0 → ('10)4.7 → ('19)3.0
한국/일본의 PCT 출원 건수 배율 추이(배) : ('00)6.0 → ('10)3.4 → ('19)2.8



[그림 Ⅳ-5] 한국의 SCI 논문 수 및 순위



[그림 Ⅳ-6] 한국의 PCT 출원 수 및 순위

※ 과학기술정보통신부·한국과학기술기획평가원 (2020), 「연구개발활동조사 보고서」.

38) 특허협력조약(Patent Cooperation Treaty)은 특허와 실용신안의 해외출원절차를 통일하고 간소화하기 위한 다자간 조약. 가입 국가 간에 출원인이 출원하려는 국가를 지정하여 자국 특허청에 PCT국제출원서를 제출한 날을 각 지정국에서 출원일로 인정받을 수 있도록 하는 제도.

〈표 Ⅳ-4〉 논문 및 특허 국제비교 (2019)

구분	한국	미국	일본	독일	프랑스	영국	중국
SCI 논문 발표 건수 (천 건)	69.6	484.8	89.9	130.8	84.8	154.9	492.0
PCT 출원 건수 (건)	19,073	57,516	52,691	19,358	7,904	5,771	59,194

※ 과학기술정보통신부·한국과학기술기획평가원 (2020), 「연구개발활동조사 보고서」.

○ 우리나라 기업의 특허 출원은 소수의 기업이 주도하고 있으며, 2019년 기준 국제특허 출원 Top 50 기업에 우리나라는 3개 기업(삼성전자, LG전자, LG화학)만 포함

※ 국가별 국제특허 출원 Top 50 기업의 수('19) : 일본 16개, 중국 13개, 미국 10개, 독일 5개, 한국 3개, 스웨덴/네덜란드/핀란드 각 1개

2) 연구원 수

□ 연구개발투자의 확대에 따라 연구원 수도 지속적으로 증가하여 과학기술인력에 대한 수요에 부응

※ 상근연구원 수(명) : ('66)2,962 → ('70)5,628 → ('80)18,434 → ('90)67,062 → ('00)13,804 → ('10)42,004 → ('15)58,940 → ('19)69,618

※ 경제활동인구 천명당 상근연구원 수(명) : ('90)3.6 → ('00)4.9 → ('10)10.7 → ('15)13.2 → ('19)15.4

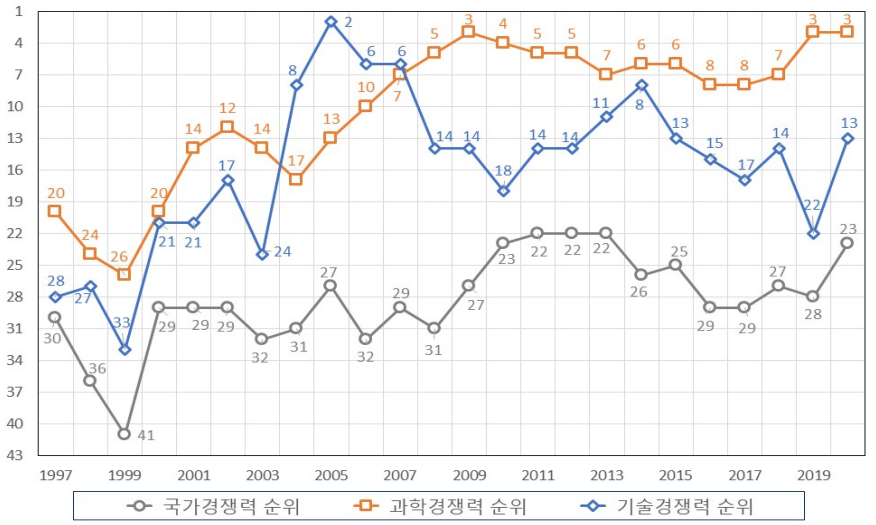
〈표 Ⅳ-5〉 연구원 수 국제비교

구분	한국 ('19)	미국 ('18)	일본 ('18)	독일 ('18)	프랑스 ('18)	영국 ('18)	중국 ('18)
상근 연구원 수 (천 명)	430.7	1,434.4 ('17)	678.1	433.7	306.5	305.8	1,866.1
배율 (한국을 1로 설정)	1.0	3.3 ('17)	1.6	1.0	0.7	0.7	4.3
인구 만 명당 수 (명)	83.1	44.1 ('17)	53.6	52.3	45.6	46.0	13.4
연구원 1인당 연구개발비 (천 달러)	177.4	382.7 ('17)	239.3	285.0	199.5	161.7	159.4

※ 과학기술정보통신부·한국과학기술기획평가원 (2020), 「연구개발활동조사 보고서」.

3) 과학기술 경쟁력

□ 우리나라의 과학·기술경쟁력은 국가경쟁력보다 항상 높은 수준을 유지하고 있으며, 특히 과학기술 관련 경쟁력은 세계 상위권을 유지



[그림 Ⅳ-7] 한국의 국가, 과학, 기술경쟁력 순위 (IMD)

○ 세계 주요기관에서 발표한 우리나라의 과학기술 및 혁신 관련 지수는 10위권 이내에 위치

- IMD의 경쟁력 지수 중 기술경쟁력의 일부 세부지표*의 순위가 낮아 기술경쟁력이 과학경쟁력에 비해 상대적으로 낮게 나타남

* 1인당 월평균 이동전화 요금(55위), 법적환경이 기술개발 및 응용을 지원하는 정도(44위), GDP 대비 통신분야 투자 비중(42위), 서비스 수출액 중 ICT 서비스의 비중(41위), 기술개발자금의 충분성(38위), 공공 및 민간부문의 벤처가 기술개발을 지원하는 정도(29위) 등

〈표 Ⅳ-6〉 한국의 주요 경쟁력 지수 순위

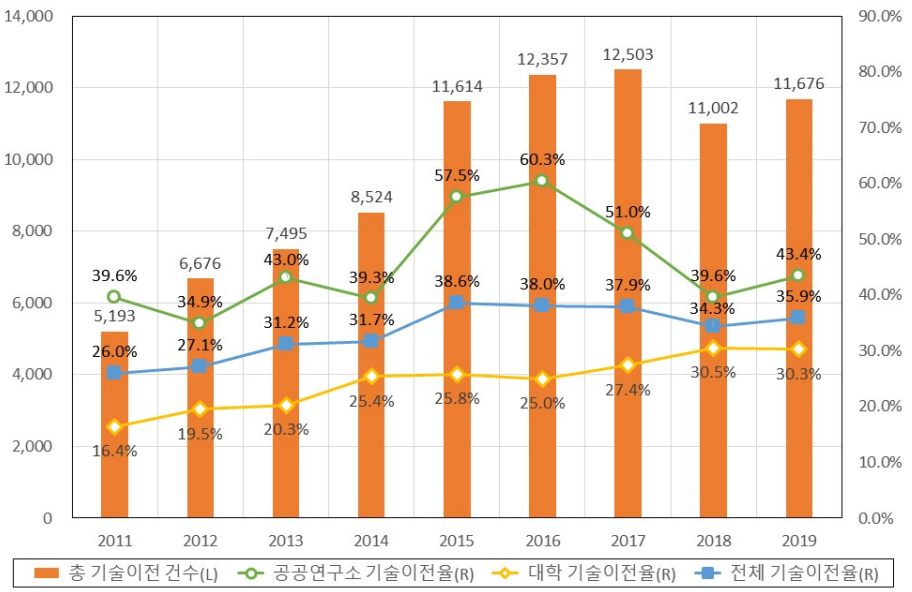
발표기관 (발표년도)	지수	세계 순위 (위)	비고
IMD (2020)	과학경쟁력	3	63개국 대상
	기술경쟁력	13	

발표기관 (발표년도)	지수	세계 순위 (위)	비고
WEF (2019)	혁신역량	6	141개국 대상
과기정통부·KISTEP (2019)	과학기술혁신역량	7	35개국 대상
Cornell, INSEAD, WIPO (2020)	세계혁신지수	10	131개국 대상

4) 기술이전

□ 국내 공공연구기관(대학 및 연구소)의 기술이전 건수는 증가하다가 2015년부터 정체된 모습을 보이며, 공공연구소의 기술이전율*은 부침이 있으나 대학의 기술이전율은 지속 상승

$$\text{기술이전율} = \frac{\text{(조사대상년도) 기술이전 건수}}{\text{(조사대상년도) 신규 확보(개발)기술 건수}}$$



※ 산업통상자원부·한국산업기술진흥원·한국지식재산연구원 (2021), 「2020 기술이전·사업화 실태조사 보고서 – 공공연구기관(대학 및 연구소), '19년 실적 기준」.

[그림 Ⅳ-8] 공공연구기관의 기술이전 건수 및 기술이전율 추이

(3) 경제산업적 성과

□ 국가연구개발투자는 우리나라 경제의 양적·질적 성장 및 민간부문의 기술혁신역량 제고에 긍정적으로 작용

〈표 Ⅳ-7〉 국가연구개발투자의 경제적 성과

구분	성과
경제성장	• 계량분석 결과, 1%의 연구개발투자 증가는 약 0.18%의 경제성장률 증가를 유발
고용	• 정부R&D 수혜기업은 정부 지원 이후 종업원 수 증가율/증감에서 모두 통계적으로 유의한 양(+)의 효과를 보임
벤처창업 및 기업가정신	• 벤처창업 기반조성과 사회적 붐 형성에 기여하여 2013년부터 벤처창업 수가 연 1,000개를 돌파하는 등 양적으로 성장했으며, 이를 통해 기업가정신을 활성화시킴
수출구조	• 1994년을 기점으로 고기술 및 중·고기술 산업의 비중이 중·저기술 및 저기술산업의 비중을 증가하여 지속적으로 증가하고 있고, 10대 수출품목도 대부분 중·고기술 및 고기술산업 제품 • 반도체, OLED, 이차전지, LNG 선박 등은 세계 최고 수준의 기술·시장 경쟁력 확보
민간역량	• 1981년 기업연구소 설립이 시작됐고, 1990년대 이후 중소기업 연구소가 급격히 증가하여 대기업 연구소 수를 상회했고, 2019년에 기업연구소의 수가 4만 개 돌파 • 1980년대 중반부터 기업의 연구개발인력이 공공기관 및 대학의 인력 규모를 상회하고 박사급 인력의 증대 등 연구인력의 질적 증대도 나타남 • 정부R&D 지원을 받은 기업은 높은 혁신 활동과 함께 혁신 성과도 높게 나타남

※ 한국과학기술한림원 (2020), 「국가 연구개발 투자 성과 분석」, 재정리

□ 연구개발투자의 고용효과는 산업별, 기술수준별, R&D의 유형에 따라 다른 양상을 보임

○ 고용효과 측면에서 연구개발 지원정책은 제조업의 경우 중기술 이상의 산업에, 지식서비스업의 경우에는 중소규모 기업을 중심으로 이루어지는 것이 바람직

- 기술 수준이 낮은 중기술산업에서는 연구개발투자가 일정 수준을 넘어야 당기 고용에 긍정적 효과로 작용
- 고기술산업에는 고용효과가 연구개발투자 증가와 함께 증가했으며, 첨단기술산업에서 증가속도가 빠른 것으로 나타남
- 서비스업의 경우, 전통서비스업에서는 R&D가 고용에 유의미한 영향을 미치지 않았으며, 지식서비스업은 연구개발 탄력성이 매출액 증대에 따라 점점 감소

○ 제품개발 R&D는 양(+)의 고용효과가 있으나, 공정개발 R&D는 고용과 유의성 낮음

□ 국가연구개발투자는 기업의 경쟁력 제고, 산업·안보에 중요한 기술·제품 개발 등을 통해 우리의 경쟁력을 높이고 주력산업을 육성하여 경제성장에 대한 기여

○ 산업기술 R&D의 기업지원은 매출액, 고용, 추가투자 등의 기업지표에서 중장기적으로 유의한 양의 효과를 보이며 생산성 증가율도 제고

- 추가투자와 기술기여 매출액 측면에서는 대기업과 중견기업이, 신규고용 측면에서는 중견기업과 중소/신생기업이 주관한 과제의 성과 창출 효율이 높음
- 한편 기업의 수익성 측면과 수출액 관점에서는 효과가 뚜렷하지 않음

○ 제조업 부문에서의 연구개발투자는 매출액 및 특허 보유 건수에 긍정적인 영향을 미치며, 특허보유 건수는 매출액에 긍정적인 영향을 줌

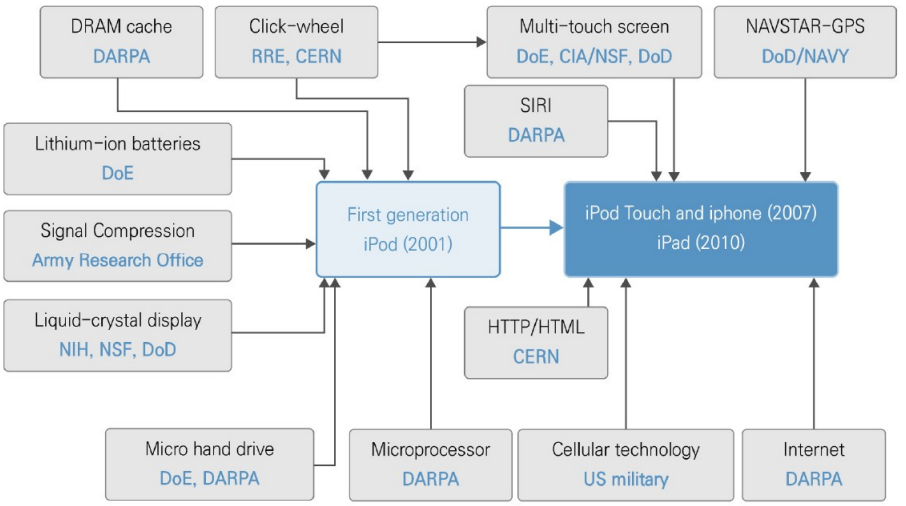
○ 정부·민간의 협업을 바탕으로 한 R&D정책과 투자확대로 산업, 안보에 장기적으로 큰 영향을 주는 기술 및 제품 개발 성과를 창출하여 조선·반도체·자동차·ICT 등 세계시장을 주도하는 첨단·주력산업 성장을 견인

〈표 Ⅳ-8〉 시대별 주력산업, 국가연구개발의 특징 및 주요 기술개발 성과

시대	주력산업	국가연구개발 특징	국가연구개발투자의 기술개발 성과
1960~70년대	경공업, 섬유, 석유화학, 철강, 조선	• 산업현장 애로기술 지원 • 선진기술 도입·개량 • 기술자립 기반 조성	• 시멘트 소성기술, 나일론 생산기술, 국내 최초 라디오(A-501), 수동식 선반 제작기술, 국내 최초 원자로(TRIGA Mark-II), 배추 품종 개발[우장춘], 화학비료 생산기술, 지대지 유도탄(백곰), 고속도로 건설기술(경부고속도로), 초대형 유조선, 국산1호 컴퓨터(세종 1호), 통일벼(녹색혁명), 폴리에스터 필름, 한국 고유모델 국산차(포니), 흑백/컬러 TV, 게이지 이론의 재규격화[이휘소] 등
1980년대	조선, 철강, 반도체, 자동차, 석유화학	• 선진국 추격형 기술 드라이브 정책 • 수출 주력산업 기술개발	• DRAM 메모리 반도체, B형 간염백신, 전전자교환기(TDX-1), 고강도 아라미드 섬유, 고밀도 폴리에틸렌 생산기술, 광통신용 광섬유 기술, 휴대폰 상용화 기술, 넙치 양식기술, 해수담수화 기술, 도핑콘트롤 기술, 디지털 초음파 진단기술, 비닐하우스 온실기술, 불소화합물 제조공정, 연구용 원자로 하나로(HANARO), 한글 워드프로세서, 남극세종과학기지 건설, 한탄바이러스 백신[이호왕] 등
1990년대	반도체, 자동차, 조선, 가전, 석유화학	• 과학기술 고도화 • 첨단산업 기술개발	• CDMA 상용화, 한국표준형 원전, 공업용 다이아몬드, 군용 기본훈련기(KT-1), 국산 제1호 신약(선플라), 라이신/핵산 발표기술, 리튬이온전지, 우리별 인공위성, 포항 방사광가속기, 폴리부텐 생산기술 등
2000년대	반도체, 자동차, 정보통신, 조선, 디스플레이	• 선도형 과학기술 개발 추진 • 기초·원천 기술개발 확대	• LCD용 편광필름, 초음속 고등훈련기(T-50), 글로벌 신약(팩티브), 고해상도 TV, 낸드플래시 메모리, 산업용 로봇, 자동차용 타우엔진, 신형경수로(APR1400), 심해 원유 시추선, 와이브로(WiBro), 차세대 초전도 핵융합연구장치(KSTAR), 초고압 전력설비 국산화(765kV), 이지스함(세종대왕함), 한국형 고속열차, FINEX 제철공정, 고정밀지구관측 및 통신위성(아리랑, 무궁화), 인간형 휴머노이드(Hubo) 등
2010년대 이후	반도체, 자동차, 석유화학, 디스플레이, 정보통신	• 창의·도전형 과학기술 혁신 • 신기술·신서비스 성장동력화 • 국민 삶의 질 향상	• 기동헬기(수리온), 자가면역질환 치료제 바이오시밀러(램시마), 우주발사체(나로호), 세계 최초 양산형 수소연료전지차(투싼ix), 일체형 원자로 SMART, 벌크 핀펫 AP 14nm 기술, 다목적 실용위성(아리랑 3A), 혈액 기반 치매 조기진단기술, 3차원 플렉서블 반도체 패키징 기술, 롤러블 OLED TV, 폴더블 디스플레이, 세계 최초 5G 이동통신 상용화 등

□ 정부가 리스크가 높은 대규모 장기 연구에 투자함으로써, 대다수의 범용기술을 탄생시킨 원동력으로 작용 (마추카도, 2015)

○ 마추카토는 애플 혁명에서 미국 정부의 역할을 체계적으로 제시



※ 마리아나 마추카토(2015), 한국과학기술한림원(2020) 재인용.

[그림 Ⅳ-9] 아이폰의 요소기술과 미국 정부 연구개발의 기여

○ 미국 휴대폰이 미국 정부의 연구개발투자의 산물인 것처럼, 국내 기업의 휴대폰도 우리 정부의 연구개발투자가 기여

※ 한국과학기술기획평가원(2019).

[그림 Ⅳ-10] 스마트폰과 미국 및 한국 정부연구개발의 역할

□ 벤처기업·스타트업에 대한 투자가 지속적으로 증가하고 있으며, 펀드의 조성액*도 크게 증가하여 하여 창업환경 개선

※ 신규 투자 금액(억 원) : ('08)7,247 → ('12)12,333 → ('16)21,503 → ('20)43,045
투자 수혜업체 수(개) : ('08)496 → ('12)688 → ('16)1,191 → ('20)2,130
2020년 6조5,676억 원으로 사상 최대치 경신

○ 회수재원의 재순환 방식으로 안정적으로 벤처투자재원 공급체계를 마련하기 위해 「벤처기업육성에 관한 특별조치법」에 근거하여 정부 재원으로 2005년에 결정되어 운영 중인 한국모태펀드의 규모도 대폭 확대

※ 한국모태펀드 현황('20.12월 기준) : 총조성금액 5조 8,482억 원, 출자펀드 881개, 출자펀드 투자기업수 7,333개, 출자펀드 투자금액 21조4,033억 원

(4) 사회문화적 성과

□ 국가연구개발투자는 과학문화 확산 및 국민의 과학적 사고 함양에 긍정적 영향

〈표 Ⅳ-9〉 국가연구개발투자의 사회문화적 성과

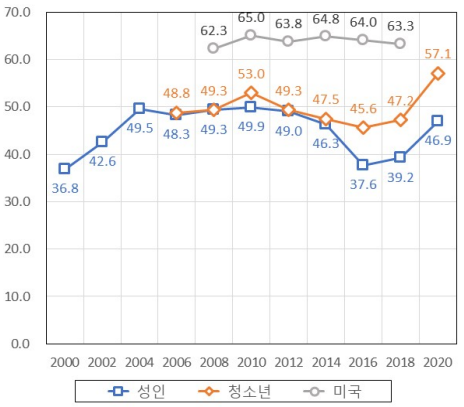
구분	성과
국민의 과학적 사고	• 연구개발투자는 과학기술자들의 연구능력 향상뿐 아니라, 연구결과의 발표, 토론, 보도, 홍보 및 전파 등의 부수적 활동을 통해 국민의 과학지능(science literacy) 수준도 향상
국민의 창의성 제고 및 예술의 발전	• 국가연구개발투자는 많은 연구자들의 다양한 연구개발활동을 촉진시켜 창의적 사고와 아이디어 발현을 촉발함으로써 국민의 창의성을 발현 • 연구개발이 새로운 형태의 예술을 태동시키고 기존 예술도 새롭게 혁신되는 과학기술과 예술 간의 의존관계가 나타남
국가 위상 제고	• 국가연구개발투자 증가는 과학기술 국제협력을 확대시켰고 대 개도국 지원을 확대하여 우리나라의 국가 위상 제고

※ 한국과학기술한림원 (2020), 「국가 연구개발 투자 성과 분석」, 재정리

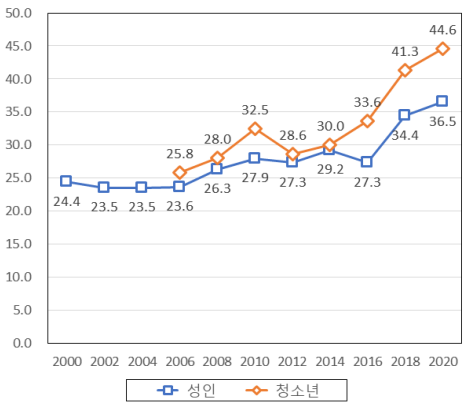
□ 우리나라 국민의 과학기술에 대한 관심도는 유지되고 있고 이해도는 상승 중이며, 과학기술의 긍정적인 효과가 크다고 인식

○ 국민의 과학기술에 대한 관심도는 2010년 중반 이후 상승 추세를 유지하고 있으며, 청소년의 관심도 지수는 미국 성인의 관심도에 근접

○ 국민의 과학기술에 대한 이해도는 낮은 수준이나 지속적으로 상승하는 추세이며, 성인에 비해 청소년의 이해도가 빠르게 상승



[그림 Ⅳ-11] 과학기술에 대한 관심도 추이



[그림 Ⅳ-12] 과학기술에 대한 이해도 추이

※ 한국과학창의재단 (2020), 「과학기술 국민 인식도 조사 결과」.

○ 과학기술의 효과에 대해 성인과 청소년 모두 긍정적인 효과가 크다고 인식*하고 있으나, 부작용에 대한 우려**도 높음

* 과학기술의 긍정적 효과가 부정적 효과보다 더 크다는 비율 : 성인 65.3%, 청소년 59.9%

** '과학기술이 우리를 건강하고 편리하게'(82.6%), '현대사회 다양한 문제를 해결'(74.6%)은 긍정적인 의견에 대한 동의율이 높았지만, '과학과 기술로 인해 지구가 파괴되고 자연이 고갈된다'는 부작용에 대한 동의율(68.4%)도 높음

(5) 거버넌스 및 제도적 성과

□ 과학기술 전담부처 설치, 과학기술 진흥을 위한 법 제정 및 과학기술 분야 중장기계획 수립

○ 1967년 과학기술처를 설치했고, 다기화된 국가연구개발사업의 종합조정 기능 강화를 위해 1998년 과학기술부로 격상 후 현재의 과학기술정보통신부로 이어짐

- 정부에 따라 타 부처와의 통합을 통한 교육과학기술부(이명박 정부), 미래창조과학부(박근혜 정부)가 출범하기는 했으나, 과학기술 전담부처는 유지

○ 과학기술 진흥을 위한 최초의 법인 「과학기술진흥법」을 1967년에 제정했으며, 「기술개발촉진법」(1972), 「기초과학연구진흥법」(1989) 등을 제정했고, 현재의 「과학기술기본법」*으로 이어짐

* 과학기술 발전 기반을 조성하여 국가경쟁력을 강화하고 삶의 질 향상을 도모하기 위하여 제정한 법률

○ 우리 정부는 경제발전과 함께 국민의 삶의 질 향상을 위해 국가경쟁력 제고의 핵심동력인 과학기술에 대한 중장기계획을 체계적으로 수립하고 추진

※ 2019년 12월 말 기준으로 16개 중앙행정기관(11부·1처·3청·1위원회)에서 총 89개의 과학기술분야 중장기계획을 수립·시행 중

- 우리나라의 과학기술 진흥을 위한 중장기계획은 1960년대에 수립·추진된 「제1차 기술진흥 5개년계획(1962~1966)」부터 시작되어 5년 단위의 중장기계획 수립
- 과학기술기본법이 제정(2001년 1월)된 이후에는 법정계획으로서 과학기술 관련 국가 최상위 종합계획인 「과학기술기본계획」을 5년마다 수립·추진
- 과학기술기본법이 개정(2020년 6월)에 의해 5년 단위 법정계획으로 「국가연구개발 중장기 투자전략」을 수립·추진

□ **국가연구개발사업의 효율적, 효과적 추진·운영을 위한 제도의 수립 및 개선**

○ 국가연구개발사업의 종합 관리를 위해 「과학기술기본법」에 근거해 2001년에 「국가연구개발사업관리 등에 관한 규정」을 제정하고 지속적인 개정을 통해 제도를 개선

- 기획과정 강화(2005), 평가방법 및 과정 효율화(2007), 연구비 및 연구성과 관리체계 효율성 강화(2008), 기초연구 수행 환경 강화 및 연구자 책임성 강화(2010), 선도형 R&D체제 전환(2013), 창업·사업 활성화(2014), 연구자 책임성 강화(2015), 연구자 자율성 및 책임성 강화(2016), 연구수월성을 위한 연구비 정비(2017)

○ 부처별·사업별로 다르게 운영되는 복잡한 규정을 통합하여 2020년 국가연구개발사업 추진을 총괄하는 「국가연구개발혁신법」을 제정

- 연구현장의 불필요한 행정 부담 경감 및 연구개발투자의 효율성 제고에 기여할 것으로 기대

○ 국가연구개발 평가제도를 마련하여 연구개발예산 투자의 효율성 제고를 위한 종합조정과 평가 수행

- 1980년대까지는 법령에 근거를 둔 평가제도가 마련되지 못했으나, 「과학기술혁신을 위한 특별법」을 근거로 본격적인 국가연구개발 조사·분석·평가 시작
- 「과학기술기본법」(2001)과 「국가연구개발사업 성과평가법」(2005) 시행을 통해 전 부처에 공통으로 적용되는 성과평가에 대한 제도적 기반 정립
- 5년 단위의 국가연구개발 성과평가 기본계획을 수립하여 국가연구개발 성과평가 시행을 위한 기본방향, 목표 및 중점추진과제 등을 마련

□ 민간기업의 연구개발활동 활성화를 위해 연구개발 인력의 인건비를 비롯한 경상비 및 연구시설 등 관련 설비투자에 대한 세액공제 도입·시행

○ 총액 방식과 증가분 방식을 혼합한 방식을 활용하고 있으며, 기업별 유리한 방식 선택 가능

○ 반도체, 배터리, 백신과 같은 국가전략기술*의 R&D에 대해서는 공제율 대폭 확대**

* 국가안보, 미래경쟁력 확보 등을 위해 선제적 대응이 필요한 기술

〈표 Ⅳ-10〉 연구개발(R&D) 및 시설투자 세액공제율(%)

R&D 비용	대	중견	중소
일 반	2	8	25
신성장·원천기술	20~30		30~40
국가전략기술	**30~40**		**40~50**

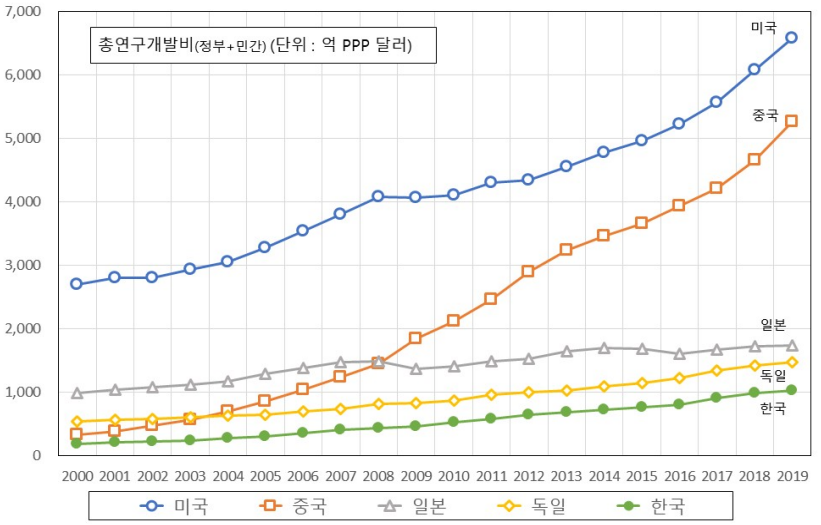
시설투자	당기분			증가분
	대	중견	중소	
일 반	1	3	10	3
신성장·원천기술	3	5	12	
국가전략기술	**6**	**8**	**16**	**4**

(6) 한계

□ 우리나라의 과학기술역량(투입, 산출)은 빠르게 향상되고 있으나, 유구한 과학기술역사를 가진 과학기술강국에 비해서는 누적 투자액과 성과의 격차가 여전히 존재

○ 과거로부터 주요국들과의 총연구개발투자의 격차는 증가(미국, 중국)하거나 유지(일본, 독일)되고 있어, 누적 연구개발투자는 좁혀지지 않고 있음

- 우리나라 정부와 민간부문의 연구개발투자가 지속 확대되고는 있으나, 절대규모와 누적규모는 주요국들보다 열위



※ 과학기술정보통신부·한국과학기술기획평가원 (각연도), 「연구개발활동조사 보고서」.

[그림 Ⅳ-13] 총연구개발비(정부+민간) 추이 국제비교

〈표 Ⅳ-11〉 1991~2019년간 누적 총연구개발비 국제비교

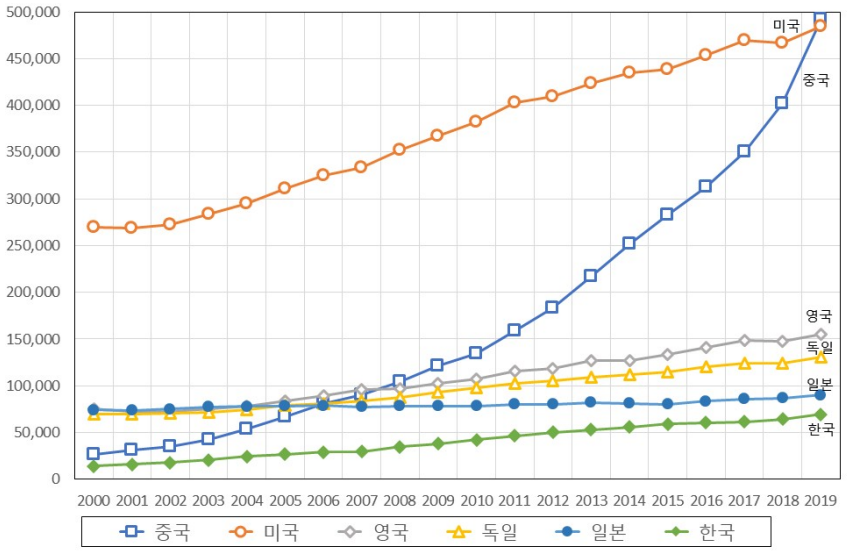
구분	한국	미국	중국	일본	독일	프랑스	영국
정부R&D예산 (억 PPP달러)	11,877	100,808	46,113	35,693	22,013	12,641	9,488
배율	1.00	8.49	3.88	3.01	1.85	1.06	0.80

※ 과학기술정보통신부·한국과학기술기획평가원 (각연도), 「연구개발활동조사 보고서」.

○ 우리나라의 SCI 논문 건수는 증가하고 있으나 순위는 15년간 세계 12위에 머물고 주요 국들과의 격차도 커지거나 유지되어, 연구성과의 양적 축적이 상대적으로 낮음

- 우리나라의 논문 수는 증가하고 있으나, 절대규모 및 누적규모는 주요국에 비해 열위

※ 2019년 기준 SCI 논문 수 : 1위 중국 491,960편(24.37% 점유), 2위 미국 484,819편(24.02%), 12위 한국 69,618편(3.45%)



※ 과학기술정보통신부·한국과학기술기획평가원 (각연도), 「연구개발활동조사 보고서」.

[그림 Ⅳ-14] 논문 발표 수 추이 국제비교

〈표 Ⅳ-12〉 1990~2019년간 누적 논문 수 국제비교

구분	한국	미국	중국	영국	독일	일본	프랑스
논문 수	869,417	9,866,394	3,564,931	2,753,730	2,458,758	2,158,882	1,742,741
배율	1.00	11.35	4.10	3.17	2.83	2.48	2.00

※ 과학기술정보통신부·한국과학기술기획평가원 (각연도), 「연구개발활동조사 보고서」.

- 논문 1편당 5년 주기 피인용 수 세계 순위는 30위 밖을 머물고 있어 양적 성과(세계 12위)에 비해 질적 수준은 매우 미흡

□ 연구개발투자의 양적 증가에 비해 성과 측면의 연구개발 생산성은 상대적으로 낮은 수준이며, 기술무역수지는 지속 적자를 유지

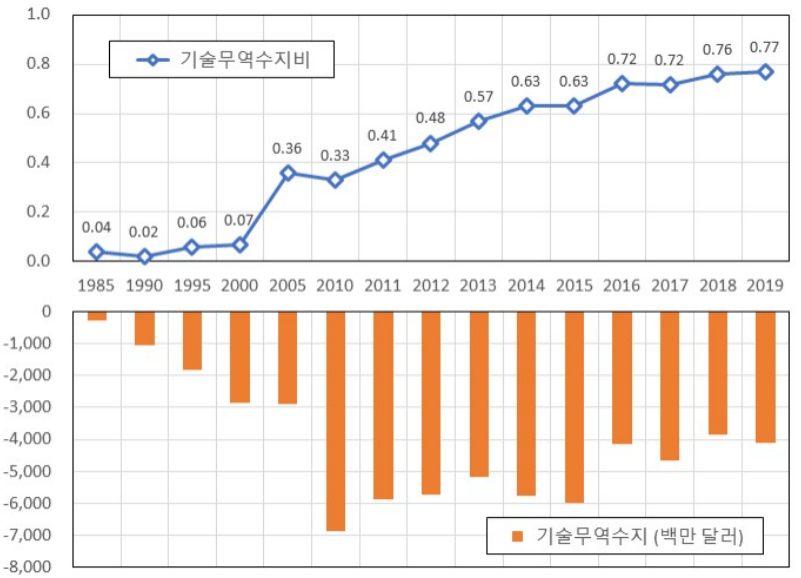
○ 성과 부문 지표 중 세계 10위권 이내는 특허 수(5위)가 유일하며, 투입 대비 성과를 측정한 생산성 측면의 지표들*의 순위는 상대적으로 저조[39]

* 연구개발투자 대비 기술수출액 비중(30위), 국민 1인당 산업부가가치(18위), 연간 연구개발투자 대비 특허 수(13위) 등

39) 과학기술정보통신부·한국과학기술기획평가원 (2019), 「2019년 국가 과학기술혁신역량평가」.

○ 기술무역수지비는 개선되고 있으나, 여전히 1 미만이며 기술무역수지는 적자 폭을 줄이지 못하고 있음

* 전체 기술도입액의 전기·전자 산업이 45.7%, 정보통신 산업이 28.5%를 차지

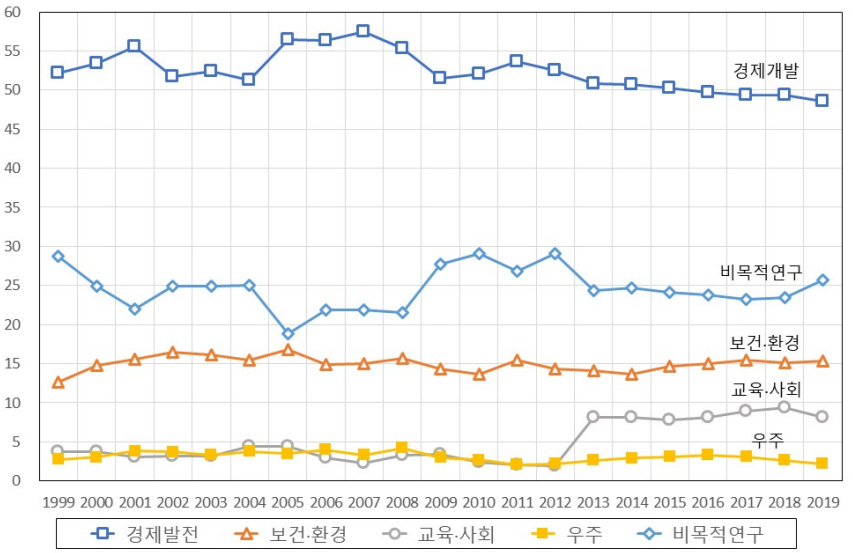


※ 과학기술정보통신부·한국과학기술기획평가원 (각연도), 「연구개발활동조사 보고서」.

[그림 Ⅳ-15] 한국의 기술무역수지비 및 기술무역수지 추이

□ 2000년대부터 추격형에서 창조형 연구개발로의 전환을 시도하였으나, 여전히 선진국형 연구개발체제와는 거리가 존재

○ 정부연구개발투자의 경제·사회목적별 분석 결과, 20년 전과 다름없이 경제발전을 목적으로 하는 연구개발의 비중이 50% 수준을 유지하여 주요국과 비교해도 높은 수준



※ 과학기술정보통신부·한국과학기술기획평가원 (각연도), 「연구개발활동조사 보고서」.

[그림 Ⅳ-16] 정부 연구개발투자의 경제·사회목적별 비중 (%)

〈표 Ⅳ-13〉 주요국 정부 연구개발투자의 경제사회목적별 분류 중 경제발전 목적 비중('19)

구분	한국	미국	프랑스	영국	독일	일본
경제발전 비중(%)	48.6	12.8	15.6	23.1	23.5	34.3

○ 정부가 연구개발을 주도하려고 함으로써, 정부R&D와 기술 수요자인 산업계 간 괴리 및 국가R&D와 민간R&D 간 중복 발생

- 정부 주도의 연구개발전략으로는 개발된 기술을 사용해 가치를 창출해야 하는 기업이 원하는 기술을 찾기 어려움

□ 각종 규제와 높은 세금 등으로 인한 민간의 혁신의지 저하와 도전하는 문화 차단

○ 소비자의 효용은 고려하지 않고 기득권층을 보호함으로써 신산업의 창출을 방해하는, 해외 경쟁기업은 겪지 않는 규제가 우리 경제의 잠재 경쟁력을 저하

※ (사례) 택시업계의 반발로 소비자 호평을 얻었던 차량공유 서비스 '타다' 퇴출

※ "한국에서 돈 안 벌어도 좋으니 머리에 띠 두르고 반대하는 사람 만들지 말자." (이해진, 네이버 창업자)

- 신생기업 성장의 발목을 잡는 국내 규제 장벽이 한국 스타트업의 글로벌 경쟁력을 심각하게 방해

※ 글로벌 상위 100대 스타트업(투자액 기준) 중 57곳은 한국에서 창업했을 경우 규제에 걸려 사업을 시작할 수 없거나 조건부로 가능한 것으로 분석. 13곳은 사업을 아예 시작할 수 없었고 44곳도 규제에 맞게 조정해야만 사업이 가능 (아산나눔재단, 2017.7.)

- 국내에만 존재하는 갈라파고스 규제로 인해, 한국 시장을 건너뛰고 관련 규제가 없는 해외에서 먼저 제품과 서비스를 출시하는 사례도 발생

〈표 Ⅳ-14〉 국내 규제로 인해 해외에 먼저 출시된 제품 및 서비스

기업	네이버 (일본 子회사 라인)	삼성전자	LG전자	블루프린트랩
제품/ 서비스	모바일 메신저 활용 화상통화 원격의료 서비스 '라인 닥터'	혈압·심전도 측정, 의사에게 전송이 가능한 '스마트워치 앱 (삼성 헬스 모니터)'	마스크에 소형 공기 청정기를 장착한 '퓨리케어 전자식 마스크'	인공지능(AI)와 증강현실(AR) 이용한 안경테 추천·판매 서비스
적용받는 규제	원격진료 금지	원격진료 금지	의약외품 허가 필요, 신기술이란 이유로 심사 지연	온라인 안경 판매 금지
출시 상황	'20.12월 일본에서 라인 앱으로 서비스 시작	국내에선 의료 용도로 사용 불가하여 '20.6월 미국 출시	홍콩, 대만 등에서 '20.10월 먼저 출시	'18년 유럽·미국에 먼저 출시

※ 조선일보 (2020.12.22.), "영상통화 진료, 스마트워치 혈압관리… 국내선 불법, 해외로 갑니다".

- 우리나라 규제의 특징은 시장주체가 할 수 있는 것의 항목을 일일이 지정한 포지티브 리스트 방식이 대부분으로서, 시장의 자율성을 저해하고 발전범위를 제한하여 기술혁신과 신산업 창출을 위축시키는 효과

○ 기업의 연구개발 및 시설투자에 대한 세액공제가 축소되었고, 연구개발투자의 대부분을 대기업에서 실시하지만 중소·중견기업에 혜택이 집중되어 형평성 문제 제기

※ 대기업의 일반 연구 및 인력개발비에 대한 세액공제 : ('13)3~6% → (현재)0~2%

□ 잠재성장률과 총요소생산성의 지속적인 하락

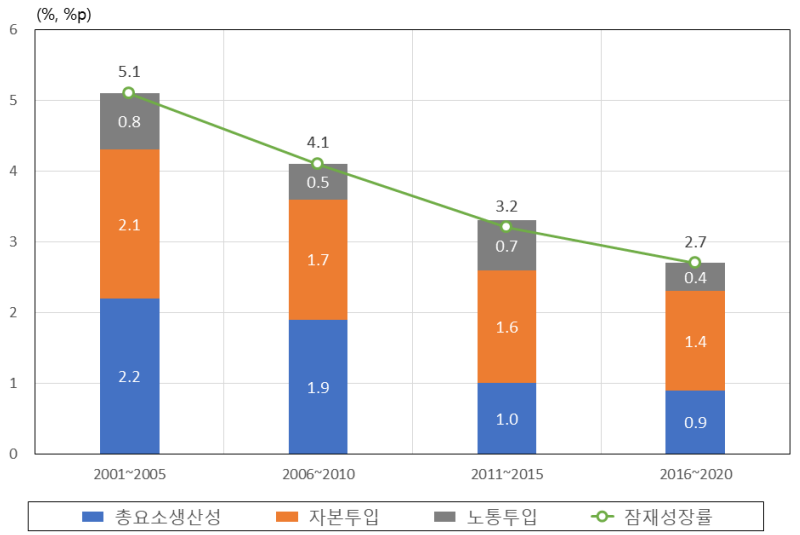
○ 경제의 성장은 각 생산요소의 투입확대에 의한 양적 성장과 경제 전반의 생산성 향상에 의한 혁신성장으로 이루어지며, 경제가 성숙되면서 생산성 향상에 따른 혁신성장이 중요

- 2000년 이후 경제전반의 생산성 향상에 의해 경제의 성장률이 크게 좌우되는 혁신주도형 성장패러다임이 주요 OECD 국가들에 적용
- 물적 자본과 노동 투입의 확대보다 높은 경제적 성과로 연계되기 위해서는 경제 전반의 생산성을 나타내는 총요소생산성*의 개선이 필요

  * 노동, 자본의 요소투입 증가분 이외 요인(기술혁신, 제도개선 등)으로 인한 경제성장 기여분

- 연구개발 등 무형자산은 지식전파 및 혁신경로로 작용하여 생산성을 증대시키고, 성장을 이끄는 주요 동력으로 역할

○ 우리나라의 잠재성장률은 지속 하락하고 있으며, 더 큰 문제는 지속성장의 원동력인 총요소생산성이 급격히 둔화



※ 권지호 등 (2019), "우리나라의 잠재성장률 추정", 한국은행 조사통계월보, 2019년 8월호.

[그림 Ⅳ-17] 우리나라 잠재성장률 추이

□ 정권마다 뒤집히는 성장동력 정책으로 인한 중장기 정책 연속성의 훼손

○ 정부의 산업정책이 일관성이 낮은 것도 국내 산업이 기술 리더십을 갖추지 못한 채 경쟁력을 상실하는 중요한 원인

- 단기적인 경제적 성과만을 추구하기 때문에 근본적인 역량 강화에 실패

○ 2000년대 들어 정부는 성장동력 산업분야를 선정해 지원해 왔으나, 새 정부가 출범하면 원점에서 재검토해 재선정하므로 정부가 일관되게 육성한 산업은 많지 않음

- 대통령 임기인 5년간의 투자로 글로벌 시장을 주도하는 기술을 축적하기는 어려우며, 대부분의 성장동력산업이 글로벌 경쟁력을 갖추지 못하고 제자리걸음하는 상황

- 기업들도 면밀한 사업성 분석 없이 세제와 금융 혜택을 받기 위해 정부의 성장동력사업에 뛰어들었다가 손해를 보고 사업을 철수하는 경우*도 발생

* (예) 국내 조선 3사가 신재생에너지 육성을 위해 2009년에 모두 풍력발전기 사업에 진출했다가 회사 사정이 나빠지자 차례로 사업을 축소

□ 민간부문의 연구개발투자는 급속히 증가했으나, 글로벌 기업과의 비교에서는 여전히 열위

○ 전 세계의 연구개발투자 상위 2,500개 기업 중 국내 기업은 59개가 포함되었으나, 50위 이내는 삼성전자만 포함

〈표 Ⅳ-15〉 글로벌 기업의 연구개발투자 (2019년 기준)

구분	알파벳 (미국)	마이크로소프트 (미국)	화웨이 (중국)	삼성전자 (한국)	애플 (미국)	폭스바겐 (독일)	페이스북 (미국)	인텔 (미국)
연구개발비 (백만 유로)	23,160.1	17,152.4	16,712.7	15,525.0	14,435.6	14,306.0	12106.1	11,894.3

※ LG전자(56위), SK하이닉스(64위), 현대차(67위), 기아차(132위), LG화학(194위), 현대모비스(219위) 등

□ 공공연구기관의 기술이전 실적은 증가 추세이나, 기술이전·사업화 지원은 부족하고 기술이전 효율성은 여전히 낮음

○ 기관당 기술이전·사업화 전담인력은 2.96명('19)에 불과하고, 근무연수는 평균 3.8년이며 2년 미만의 근무자 비중이 29.3%로 가장 높음

○ 공공연구기관의 기술이전 효율성*은 1.73%('19)에 불과하여 연구개발비 투입 대비 생산성은 낮은 편

$$* \text{ 기술이전 효율성} = \frac{\text{(조사대상년도) 기술이전 수입}}{\text{(조사대상년도) 연구개발비 지출}}$$

< 기술이전·사업화 장애요인 Top 3 >

① 기술을 도입하거나 사업화를 진행할 기업, 창업자 등의 발굴 어려움
② 기술이전·사업화 활동을 위해 활용가능한 기관 내외부 중 인력 및 예산 부족
③ 기술이전·사업화 대상이 되는 사업성이나 가치가 높은 기술의 부족

※ 출처 : 산업통상자원부·한국산업기술진흥원·한국지식재산연구원 (2021), 「2020 기술이전·사업화 실태조사 보고서」.

2. 주요국 과학기술 정책동향

(1) 미국의 R&D 정책동향

□ 바이든 정부는 경제·산업 재건과 자국 경쟁력을 강화하는 「더 나은 재건* (Build Back Better)」 기조로 정부조달과 연구개발 투자를 대폭 확대

* 더 나은 재건 계획(Build Back Better Plan)은 7조 USD를 크게 세 가지 하위 계획에 나누어 투자 : ①미국 구조계획(COVID-19), ②인프라 재건 계획, ③미국 가족계획

○ 기후변화 대응, 일자리 창출 및 안정화를 위해 R&D 200조 원, 제조 및 중소기업 330조 원(반도체 설비 57조 원 포함), 인재 양성 110조 원 투자를 포함한 인프라 재건 계획(The American Jobs Plan) 발표('21.3.)

〈표 Ⅳ-16〉 더 나은 재건 (The Build Back Better) 계획

더 나은 재건 The Build Back Better (7조 USD)	인프라 재건 계획 (The American Jobs Plan)	주택, 상수도·네트워크 및 공립학교 시설 개선 (Infra. at home)	0.65조 USD
		고속도로·항만·전기차 등 교통 인프라 개선(Transportation Infra.)	0.62조 USD
	미국 구조 계획 (The American Rescue Plan)	친환경 R&D, 제조업 육성·인재 양성 지원 (R&D, workforce development and manufacturing)	0.58조 USD
	미국 가족 계획 (The American Families Plan)	돌봄지원 (Caretaking economy)	0.40조 USD

□ 미국 내외 중국 영향력 견제를 위해 전방위적으로 발표했던 다수의 개별 법안을 「혁신경쟁법」으로 통합하고 경쟁기술에 대규모 투자 계획

○ 미국의 글로벌 반도체 주도권 유지 목적의 「반도체생산촉진법」, 미래전략기술 선도를 위한 「끝없는 프론티어 법」 등 다양한 법안 포함

○ 4대 핵심품목*에 대한 공급망 점검 행정 명령('21.2)의 후속 조치('21.6) 발표·추진

* 반도체, 배터리, (원료)의약품, 중요 광물(희토류, 우라늄, 티타늄 등)을 100일간 점검

※ 6개 분야(국방, 공중보건, 통신기술, 운송, 에너지, 식품 생산)에 대한 공급망 검토는 1년간 별도로 진행하여 공급망 취약점 파악 및 보완대책 마련

○ 국립과학재단(NSF)을 통해 인공지능, 양자컴퓨팅, 로봇 등 중국과 경쟁이 치열한 핵심 기술 분야에 2,500억 달러의 예산 투자 예정

□ 온실가스 배출 시나리오를 점검하고 기후변화에 대한 복구력 향상 및 재해 발생 전 대처 방안을 발표하는 등 기후변화에 적극적 대응

○ 백악관은 기후변화 복구력 향상을 위해 재해 발생 전 대처 방안* 발표('21.5.)

※ FACT SHEET: Biden Administration Invests $1 Billion To Protect Communities, Families, and Businesses Before Disaster Strikes

- 연방재난관리청은 재난 전 위험 저감 활동에 10억 달러를 제공, NASA는 기후변화의 영향을 분석·추적을 위한 데이터 시스템을 구축

□ 백악관은 2023년 R&D투자우선분야를 발표하며('21.8.), 범정부 차원의 대응이 필요한 우선과제를 강조하고, 안건명 또한 다부처(Multi-Agency) R&D 우선순위*로 변경하여 제시

* Multi-Agency Research and Development Priorities for the FY 2023 Budget

○ 기관별로 설정된 목표 달성을 위한 자원을 배정하는 한편, 하나의 기관이 해결하기 힘든 문제는 다기관 협력 대응에 초점을 맞추어 R&D 재원을 배분해야 한다는 방향성을 명시

○ 코로나19 팬데믹을 계기로 "팬데믹 대비 및 예방"이 1순위로 제안되었으며, 2순위로 기후변화 대응을 제시

- 팬데믹 대비 및 예방의 경우, 우선투자 기술의 개발 방향(관점)까지 구체적으로 제시하고, 공공 의료체계 강화 및 인력 양성, 기초 과학 등에 대한 예산 지원도 강조

○ 기술패권 확보의 중요성이 강조됨에 따라 AI, 양자, 5G 등 "유망기술 확보" 또한 강조하였으며, 21세기 포용적 디지털 경제를 발전시키기 위한 공공-민간 파트너십의 추진 등을 우선 과제로 제시

○ 이 외에도 공정성을 위한 혁신, 국가 안보와 경제적 복구성을 우선과제로 제시하고, R&D의 포용성, 신뢰 구축, 다양성의 중요성 등을 위한 정책적 노력을 기울일 것을 명시

〈표 Ⅳ-17〉 최근 3년간 미국 R&D 투자우선분야

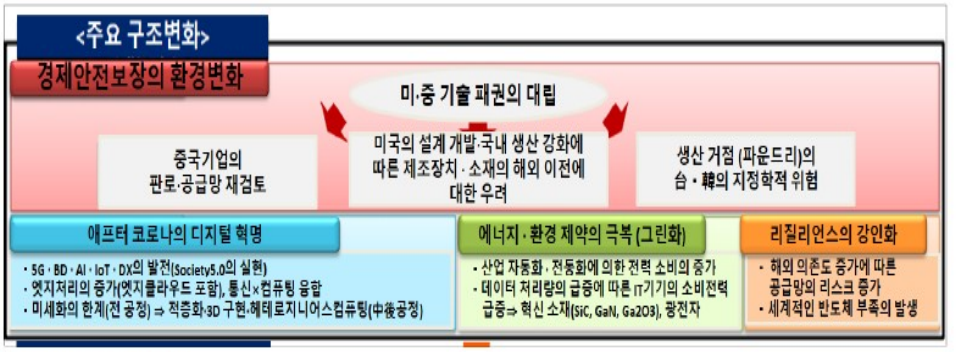
2021 회계연도('19.8)	2022 회계연도('20.8)	2023 회계연도('21.8)	
1. 국가안보	1. (신규)공공 의료 안보·혁신	팬데믹 대비 및 예방	대량 생산 가능한 백신 설계, 시험, 생산, 분배, 관리의 가속
2. 미래형 산업	2. 미래 산업 리더쉽		빠르게 개발 가능하며 쉽고 저렴한 진단기술
3. 에너지 및 환경	3. 안보		항바이러스성 치료제
4. 건강 및 바이오경제 혁신	4. 에너지·환경 리더쉽		조기 경보 및 실시간 모니터링 시스템
5. 우주 탐사	5. 우주 탐사 리더쉽	2. 기후 변화 대응	기후 과학
			청정에너지 기술 및 인프라 혁신
			기후 적응과 회복
			자연 기반 기후 솔루션
			모니터링과 측정
		3. 주요 유망기술	AI, 양자, 첨단통신, 마이크로 일렉트로닉스, 고성능 컴퓨팅, 바이오, 로보틱스, 우주 등
		4. 공정성을 위한 혁신, 국가 안보와 경제적 복구성	

(2) 일본의 R&D 정책동향

□ 일본은 글로벌 기술패권 경쟁에 민감하게 대응하여, 신흥기술 및 반도체를 바탕으로 공급망 확보 및 경제안전 보장 대응을 국가 중요과제로 설정

○ 기시다 후미오 신임 총리는 경제성장 전략으로 '과학기술국가 입국' 개념을 제시('21.10), 정부 전체의 일괄된 방향 및 철학(Society5.0)을 설정

- '국민을 행복하게 하는 성장전략'을 통해, 향후 50년 장기적 관점에서 10조엔(약106조 원) 규모의 펀드를 조성하여 세계 최고 수준의 연구대학 지원과 과학기술인재 육성을 추진



자료: 経済産業省(2021a)

[그림 Ⅳ-18] 미-중 기술패권에 대응하는 일본의 전략

참고 : STEPI 글로벌 기술패권에 대응하는 일본의 전략 및 시사점(2021)

□ 일본은 정부 차원에서 '디지털화', '데이터전략' 측면의 대응 전략을 제시하고 새로운 법과 제도적 기반을 구축

○ 일본 사회 전체의 디지털화 및 개혁의 돌파구로서 디지털청을 설립('21.9)하고, 강력한 권한과 예산을 배분

○ 최대 데이터를 보유한 행정기관이 국가 전체의 플랫폼으로 거듭나야 한다는 목표를 바탕으로 「포괄적 데이터전략」, 데이터 신뢰확보를 위한 「트러스트 제도」등을 수립·추진

○ 「반도체 전략」을 통해 디지털 전환을 위한 핵심 기술을 육성의지를 표명하고, 반도체 제조 및 재료장치 산업의 강점을 유지하며 글로벌 파운드리를 자국 내 유치하는 전략을 추진

□ (과학기술혁신기본계획) 제6기('21~'25) 과학기술혁신기본계획을 통해 초스마트사회(Society5.0)을 실천하기 위한 기반 정비 및 정책방향 제시('21.3월)

○ (법적기반 정비) 과학기술기본법을 「과학기술혁신기본법」으로 명칭 변경과 함께 개정하고, 인문과학 분야를 진흥 대상에 포함하여 과학기술 정책 및 혁신 영역을 확장

※ 법 개정에 따라 과학기술기본계획도 「과학기술혁신기본계획」으로 개명

○ (제도적 기반 정비) 컨트롤타워 기능 강화를 위해 내각부에 「과학기술혁신추진사무국」 신설

○ (목표) 사회를 재설계하고, 글로벌 과제의 해결을 선도적으로 달성하며, 국민의 안전·안심 확보를 통해 개인이 다양한 행복을 얻을 수 있도록 함

○ (예산) 5년간 연구개발 투자 총액 30조 엔(민관 포함 120조엔) 제시

※ 제5기 과학기술기본계획 : 26.1조엔(대학펀드 포함 28.6조엔)

○ (정책방향) 5기 기본계획에서 제시했던 Society 5.0* 실현을 위한 3대 정책방향(①사회변혁, ②연구역량 강화, ③교육·인재양성)을 제시

* 사이버 공간과 물리적 공간을 고도로 융합하여 경제발전과 사회문제 해결이 양립하는 인간 중심의 사회를 일컫는 개념(제5기 과학기술기본계획 中)

○ (혁신체제 강화) 자금순환 활성화, 관민연계, 종합과학기술혁신회의(CSTI)의 사령탑 기능 강화 등 혁신을 위한 추진체제 강화

〈표 Ⅳ-18〉 제6기 과학기술혁신기본계획의 정책방향 및 추진과제

3대 정책방향	추진과제
국민 안전과 안심을 확보하는 지속가능하고 강인한 사회로의 변혁	• 사이버 공간과 물리적 공간의 융합을 통한 새로운 가치 창출 • 글로벌 과제 해결을 향한 사회변혁과 비연속적 혁신 추진 • 탄력적이고 안전·안심할 수 있는 사회 구축 • 가치공동창조형 신산업 창출의 기반이 되는 혁신·에코시스템 형성 • 다음 세대에 물려줄 도시와 지역사회 구축(스마트 시티 전개) • 다양한 사회문제 해결을 위한 연구개발·사회구현의 추진과 종합적 지식 활용
지식의 영역을 개척하여 가치창조의 원천이 되는 연구역량 강화	• 다양하고 탁월한 연구를 창출하는 환경의 재구축 • 새로운 연구시스템 구축(오픈 사이언스와 데이터 구동형 연구 등 추진) • 대학개혁의 촉진과 전략적 경영을 위한 기능 확장
개인의 다양한 행복과 과제로의 도전을 실현하는 교육·인재양성	• 탐구력과 지속적 학습태도를 강화하는 교육·인재육성 시스템으로 전환

(3) EU의 R&D 정책동향

□ (Horizon Europe) EU의 과학기술 기반 및 산업경쟁력 강화를 촉진하고, SDGs를 포함한 글로벌 사회과제 해결을 위한 투자 방향성 제시[40)]

40) EU 집행위원회, Horizon Europe's first strategic plan 2021-2024: Commission sets research and innovation priorities for a sustainable future(21.03.15)

○ 3개 핵심영역*을 중심으로 955억 유로(129조 원)의 투자를 확정('21.5)하고 5개 연구미션**을 설정하여 투자 우선순위와 방향 제시

※ Horizon2020과 비교했을 때, 브렉시트를 고려하면 실직적으로 30% 늘어난 수준

* ① 우수 과학(250억 유로), ② 글로벌 도전과제와 유럽 산업 경쟁력(535억 유로), ③ 혁신적 유럽(136억 유로)

** 항암, 기후 변화 적응, 해양보호, 기후 중립 및 스마트시티, 건강한 토양과 음식

Horizon 2020	
Pillar1	과학적 탁월성
Pillar2	산업 리더십 창출
Pillar3	사회적 현안 해결
기반	유럽혁신기술연구소 + 기타

→

Horizon Europe	
과학적 탁월성	Pillar1
글로벌 도전과 산업 경쟁력	Pillar2
유럽의 혁신	Pillar3
참여 확대 및 유럽연구지대 강화	기반

[그림 Ⅳ-19] Horizon 2020과 Horizon Europe의 주요 Pillar 비교

○ EU의 정책 우선순위인 기후변화 대응, 녹색 유럽, 디지털 시대 적응, 사람을 위한 경제 기조를 강력하게 견인하고자 함

○ 공동 디자인(co-design) 방법을 통해 4개 핵심 전략 방향(key strategic orientations)과 14개 관련 영역(impact areas)을 도출*

* 각 전략은 Horizon Europe의 두번째 기둥에 해당하는 '글로벌 도전과제와 산업 경쟁력'에서 정의한 6개 클러스터**에 매칭

** 보건, 시민 안전 사회, 디지털/산업, 기후/에너지/모빌리티, 식품/천연자원화

○ 연구 전략에 반드시 포함되어야 할 가치*와 주제** 제시

* 양성평등 및 포괄성, 연구개발 파트너십, 연구기초 윤리, 시민사회의 참여확대, 성과활용

** 첨단소재, 나노기술, 포토닉스, 마이크로/나노전자, 생명과학기술, 첨단 제조 기술, 인공지능, 디지털 보안, 연결성

□ **(신산업전략) EU 집행위는 '단일시장 강화를 통한 유럽 회복'을 주제로 「EU 신산업전략 개편안」을 발표('21.5.)**

○ 기존 신산업전략은('20.3)은 EU의 산업경쟁력 강화에 초점을 맞추었으나, 이번 개편안은 코로나19 확산 및 미-중 갈등 심화 등을 배경으로 경제 회복, 산업 구조 및 공급망 재편에서 EU의 적극적 역할* 강조

* EU 회원국의 이익 보호를 우선하는 '개방형 전략 자율성'(open strategic autonomy) 강화

○ 개편안은 △단일시장 기능회복 및 강화 △개방형 전략 자율성 확보 및 △녹색 및 디지털 전환 가속화를 목표로 16개 이상의 추진 과제 제시

※ 6대 전략분야 : 원자재, 배터리, 클라우드 및 엣지 컴퓨팅, 수소, 반도체 및 활성 의약품

○ 외국인투자심사제도, 신통상전략 수립을 통해 신산업정책을 뒷받침하고, 전기자동차, 반도체 등 고부가가치 산업의 역내 생산이 강조되고 있어 글로벌 공급망 재편 예상

□ (기후변화 프로젝트) EC는 유럽 그린딜 실현을 위한 프로젝트 추진[41)]

○ 「유럽 기후법」 제정('21.6)으로 탄소 배출 감축의 법적 구속력을 확보하고 '30년 온실가스 배출을 '90년 대비 50~55% 수준으로 감소, '50년 기후 중립(Climate Neutrality) 달성을 목표로 제시

○ 7대 중점분야* 및 11개 세부 목표 달성을 위해 그린딜 투자계획('20.1.)에 따라 최소 1조 유로(1,350조 원) 투자 전망

* ①청정에너지, ②지속 가능한 산업, ③건축 및 리노베이션, ④농장부터 식탁까지, ⑤오염 제거, ⑥지속 가능한 모빌리티, ⑦생물 다양성

〈표 Ⅳ-19〉 EU 그린딜 11개 세부 목표

세부 목표	
1. 기후대응 관련 노력 증대	2. 생물다양성과 생태계
3. 청정하고 비용 효율적이며 안전한 에너지	4. 무공해, 무독성 환경
5. 청정 순환 경제를 위한 산업	6. 유럽 그린딜 지원을 위한 지식 강화
7. 에너지 및 자원 효율적인 건축	8. 기후중립적이고 지속가능한 유럽으로의 변모에 있어 시민의 권한 강화
9. 지속가능하고 스마트한 모빌리티	10. 국제협력
11. 농장부터 식탁까지 식품 공급망 혁신	

41) EU 집행위원회, EC launched Horizon 2020-funded European Green Deal Call(20.09.17)

(4) 중국의 R&D 정책동향

□ (13.5/14.5 규획) 13.5 규획에 비해 14.5 규획은 트럼프에서 바이든 정부까지 이어지는 강력한 기술규제를 고려한 전략들로 구성되어 있으며 '기술자립' 및 '쌍순환(Dual circulation)*'이 핵심

* 국내 대순환(내수)과 국제 대순환(해외)의 두 축의 확대를 통한 경제성장을 추구하는 전략

○ 5G, 인공지능, 반도체, 항공·우주, 양자컴퓨팅 등의 기술 분야에서 미-중 기술패권 경쟁이 발생하고 있으며 14.5 규획에는 이러한 분야에 투자 강화

〈표 Ⅳ-20〉 13.5/14.5 규획 기간 과학기술 키워드 및 주요 정책 변화

	13.5 규획(2016~2020)	14.5 규획(2021~2025)
핵심 방향	혁신, 창업, 일대일로	기술자립, 쌍순환
전략 기술	• 빅데이터 등 9대 대형 프로젝트 • 과기중점-2030(신규)	• (7대 과학기술) AI, 양자정보, 집적회로, 뇌과학, 유전자 바이오, 임상의학 헬스케어, 우주심해·극지탐사 등
	• 중국제조 2025 차세대 정보기술, 고정밀 수치제어/로봇 등 10대 산업	• (8대 산업) 고급신소재, 주요기술장비, 지능형제조·로봇, 항공엔진, 베이더우항법시스템, 신에너지자동차, 첨단의료기기·신약, 농업기계장비
R&D 인프라 구축	• 국가실험실, 종합국가과학센터, 기업기술센터 설립 등 • 북경, 상해 국제과학기술혁신센터 구축	• 국가실험실 건설 추진, 국가기술혁신센터 최적화 • 기초연구 투자 확대('21년 10.6% 증액) • 국제 과기혁신센터, 국가자주혁신시범구 강화
기업 지원	• 대중창업대중창업, 크라우드소싱 확대 • 연구자 성과이전 수익 배분 메카니즘 • 기업연구비 공제	• 산·학·연 연계를 위한 선도기업의 컨소시엄 추진 • 기업의 연구개발 우대 및 장려 • 창업투자 감독관리체제 및 발전정책 보완
인재 양성	• 인재구조 조정 및 중대인재공정실시 • 인재유동 메커니즘 구축 및 정비	• 연구인력 인센티브 • 심사·평가 등 제도 개선
제도 개선	• 과기관리체제개혁 심화	• 출신·자질 불문 능력 위주 등용 추진 • 과학기술 글로벌 개방협력 촉진 • 지식재산권 보호 강화

□ (14.5 규획) 중국은 기술자립을 국가전략의 핵심으로 인식하고, 향후 5년 동안 R&D 투자를 매년 7% 이상 확대할 계획

○ 2025년까지 중·장기적 지원이 필요한 과학기술 R&D 혁신전략 7대 선도기술 및 2035년까지 개발 및 집중 육성이 필요한 8대 전략적 신흥산업을 지정하고 집중적으로 지원

○ 미래선도 핵심기술 개발을 목표로 기초연구에 대한 지속적 투자 확대및 '기초연구 10년 행동방안(基础研究十年行动)' 수립 예정

○ 세액공제 지원을 통한 기업의 R&D 투자 활성화 유도

- 일반기업은 세액 공제율(75%)을 그대로 유지하되 제조업은 100% R&D 세액공제 실시

○ 과학연구 데이터*를 기업에 공개하여 기업이 필요한 기술을 검토하여 기술사업화 촉진을 유도하며, 창업 및 투자 활성화를 위해 금융기관이 기술금융상품을 개발할 수 있도록 지원(기술투자 손실보상 등)

* 과학보고서, 과학연구플랫폼, 과학연구 데이터 등을 기업에 개방

○ 불필요한 행정 간소화를 위한 '녹색통로*' 제도 도입 및 연구성과의 질적 우수성** 평가를 통한 연구자 친화적 정책 마련

* R&D 지원 절차 및 영수증 처리의 간소화를 통한 연구몰입환경 조성

** 논문 위주의 평가 지양하며 연구자에게 자율권(연구자 책임제도) 부여

○ 특허 심사·평가 체계 효율화 및 강화된 지재권 보호 제도 구축을 통한 '지식재산권 강국' 실현

- 특허 심사 및 평가체계 최적화를 통한 효율성 제고 및 고부가가치 특허 발굴이 유리한 특허 집약산업 지원

※ 지식재산권 강국건설 추진계획('20.5. 국무원)을 발표하여 지재권 개혁(지재권 서비스), 보호(특허법 및 저작권법 개정), 창출(IP심사 품질 및 심사 효율화)을 목표

○ 국가중점연구개발계획 18대 기술 연구 목표 제시

〈표 Ⅳ-21〉 국가중점연구개발계획 18대 기술 연구 목표

기술	주요목표	기술	주요목표
수소에너지	'25년까지 수소에너지 기술 수준 선진국에 진입	스마트센서	'25년까지 공급망 내 핵심기술 제고
에너지 저장 및 스마트 그리드	'30년까지 탄소 제로 달성, '60년 카본 뉴트럴 달성	산업용 소프트웨어	'25년까지 디지털 생태계 구축
신에너지 자동차	산업가치사슬 핵심 기술문제 해결	고성능 제조 기술 중대장비	중국 첨단제품 및 중대공정 장비 경쟁력 향상

기술	주요목표	기술	주요목표
교통 인프라	일대일로 이니셔티브, 제조강국, 교통 강국 실현	선진 구조 복합소재	국가 대형공정의 핵심 구조 및 복합 소재 실현
고성능 컴퓨팅	자주적 제어가능한 소프트·하드웨어 기술발전	첨단기능 스마트소재	스마트 제조, 신에너지 등 선진국 수준으로 도약
광기술	관련 핵심 칩 및 부품 개발	신형 디스플레이 전략적 전자소재	핵심전자소재 부품 공급 독립화
멀티모드 네트워크 및 통신	네트워크 강국 건설	희토신소재	`희토 원천혁신능력과 첨단응용수준 향상
블록체인	차세대 정보 인프라 및 서비스 추진	지구관측 내비게이션	세계 선두 기술시스템 구축
사이버공간보안관리	'25년까지 사이버공간 보안관리 체계 자립	문화과기 현대서비스업	국가 문화 소프트 실력 제고

3. 시사점

(1) 성과분석의 시사점

□ **총연구개발투자 100조 원 돌파는 민간의 연구 저변이 탄탄해졌음과 동시에 정부와 민간의 역할에 변화가 필요한 때가 왔음을 시사**

※ 총연구개발투자 중 민간부문이 76.8%('20)를 차지

○ 정부는 민간의 혁신을 응원하고 지지하는 동반자로서 명확한 미래 비전을 제시하고 새로운 시장 창출을 지원

- 정부 연구개발투자는 인내자본(patient capital)*으로서 민간의 혁신에 따르는 장기적 위험과 불확실성을 감내해야 함

* 마리아나 마추카토(Mariana Mazzucato)(영국 유니버시티 칼리지 런던(UCL) 교수)

○ 국가 과학기술역량을 정부가 주도하는 시대는 저물었으며, 정부는 민간 연구개발역량을 궤도에 오르게 하기 위한 마중물 역할을 할 필요

- 코로나19와 미중 무역갈등으로 불확실성이 커지고 디지털전환이 기술 복잡성을 확대하며 정부 주도의 연구개발투자 방식이 한계에 봉착

○ 국내 과학기술 및 산업의 수준과 역량이 선진국 수준으로 올라서고 혁신시스템이 복잡해짐에 따라, 정부의 역할도 혁신 행위자들에 대한 미시적·직접적 개입과 관리보다는 거시적 관점의 혁신생태계 조성자로 전환 필요

□ **연구개발투자 확대에 대한 정부의 의지를 표출할 수 있는 목표를 설정하여 달성을 위해 노력하며, 민간의 연구개발투자 확대를 위한 제도적 지원 강화 필요**

○ 정부 총지출 대비 연구개발투자의 비율*에 대한 원칙을 수립하고 정부의 주요 중장기계획을 통해 공포함으로써 정부의 의지를 밝힐 필요

* (예) "정부연구개발예산을 정부총지출 대비 5% 이상으로 유지", "향후 5년간 정부연구개발투자를 150조 원 이상으로 확대" 등

※ 일본의 「제6기 과학기술·혁신기본계획(2021~2025)」의 투자 목표 : 5년간 정부연구개발투자 30조 엔, 총연구개발비(정부+민간) 120조 엔

- 국가연구개발투자 목표를 과학기술분야 중장기계획뿐만 아니라 중기재정계획에도 명문화 고려

○ 기업의 연구개발역량 및 경쟁력 강화를 위해 자발적 연구개발투자 확대를 지원하는 연구개발투자 세액공제 확대

□ **창의·선도형 R&D체제로의 전환을 위해 정부연구개발투자의 포트폴리오 재편 및 제도 개선 필요**

○ 정부연구개발투자의 포트폴리오에서 기존의 산업경쟁력 확보 중심의 투자 비중을 축소하고 다양한 목적*을 위한 연구개발활동에 대한 지원 확대 필요

* 삶의 질 향상, 사회문제 해결, 국가안보 강화, 경제회복력 확보, 기초과학 역량 강화 등

- 2000년대 들어 과학기술은 다양한 사회경제적 문제와 밀접하게 연계되면서 역할과 범위가 확대되는 중

○ 창의·선도형 R&D의 성과를 관리·평가할 수 있는 체계적이고 효과적인 제도 마련

- 기존의 양적 성과평가 중심에서 창출된 성과의 관리·활용으로 관점을 전환하고 질적 성과가치를 평가할 수 있도록 제도 개선

※ SCI 논문 수 중심의 실적 평가에서 벗어나, 연구결과가 특허 출원·등록, 기술이전, 상용화와 연결되는 과정에 대한 평가를 통해 연구의 우수성을 평가

- 기술과 시장 환경의 빠른 변화를 시의적절하게 반영할 수 있도록 연구개발사업·과제의 성과목표 변경체계 마련

□ 이해관계자와의 충분한 논의를 통한 합리적인 방식으로 행정체계를 개편하고 행정체계 내 주체들의 역할을 명확히 정립할 필요

○ 정권마다 과학기술 거버넌스 개편이 반복되면서 과학기술 정책제도의 일관성 문제와 함께 범정부 과학기술 총괄 조정, 부처 간 역할 중복, 선수심판론, 예산과의 연계 문제 등이 끊임없이 제기

○ 2000년대부터 과학기술 주무부처와 조정 기구가 반복적으로 해체와 신설을 거듭하다 보니 정책을 안정적으로 추진하는데 한계

○ 혁신본부는 미시적인 예산 조정·배분에 치우치지 말고, 국가 차원의 총괄 기획·조정 기능 수행에 집중

□ 기업이 국가R&D 전주기에 참여하여 정책방향 설정에 참여 확대 필요

○ 기업이 필요로 하는 신기술 개발을 위해 정부는 민관 협력을 통해 우선순위 기술분야 선정 및 기술개발 로드맵을 수립하고 기술개발-상용화로 이어지는 구조를 고도화

※ 산업별 민간R&D협의체 출범('21.3.)

- 정부는 민간의 제안*를 반영해 연구개발사업을 기획하고 정부연구개발예산 배분·조정과도 연계

* 핵심 수요 기술, 기술 우선순위, 정부와 산업계 간 R&D 역할분담 방안 등

○ 공공연구기관(공공연구소, 대학)의 기술이전·사업화 활성화를 위한 지원 확대

- 공공연구기관의 기술이전·사업화 역량 강화를 위해 전담인력과 예산을 확충하고, 확보 기술의 사업성·가치의 적절한 평가를 위한 방안 마련

□ 시장의 건전성 및 안정성 유지와 긍정적인 기술혁신 경쟁 도모를 목표로 하는 최소한의 지침으로서 기술규제를 대폭 개선할 필요

○ 시장의 자율성을 저해하지 않고 정부 정책이 기술발전의 장해물이 되지 않도록 사회적 합의에 의한 규제 체제로 전환

○ 기술혁신 유도를 위해, 규제 제정 시에 해당 규제로 인해 피해를 볼 수 있는 시장주체의 기술혁신을 촉진하기 위한 지원방안도 동시에 수립

※ (예) 환경분야의 오염물질 배출규제 또는 에너지 소비제한 규제를 제정 시, 특정 오염물질 배출 수준 이하의 제품 또는 공정, 특정 에너지 소비량 이하의 제품을 생산하는 기업에 대해 인센티브 부여 또는 해당 규제를 충족하는 기술개발을 위한 R&D 지원

○ 우리나라 성장동력 중 총요소생산성의 개선의 역할이 지속 확대될 것으로 전망되므로, 총요소생산성 제고를 위해 연구개발 지원 확대뿐만 아니라 규제 및 조세정책을 혁신에 우호적으로 개선하고 발전시킬 필요

- 경제주체들의 자발적인 기술·지식 축적과 혁신추구가 지속성장의 원동력이므로, 혁신주체에 대한 합리적 보상 등 유인체계의 설계를 위한 정부의 역할 중요

(2) 주요국 정책 동향의 시사점

□ 각국은 공통적으로 디지털 전환 및 탄소중립 이행에 동참하고, 경제·산업정책의 핵심으로 전략기술 확보를 강조하는 계획 수립·추진

○ (미국) 국가안보 차원의 글로벌 기술패권 강화, 기후변화 대응 강조

○ (일본) 사회 전반의 디지털 개혁, 개인·인간 중심의 사회 혁신 강조

○ (유럽) 기후변화 대응 및 사람 중심의 성장을 위한 전략산업 육성 강조

○ (중국) 경제성장을 위한 과학기술자립 강조

□ 경제사회 전반에 걸쳐 유연하고 탄력적인 시스템의 구축이 중요해지며, 과학기술을 통한 국가 전체 혁신에 주목

○ 주요국들은 R&D에 대한 지출증가와 조세정책, 세제 인센티브 등 직·간접적인 방법을 통해 R&D를 활성화를 장려하고 R&D 집약적인 사회로의 전환을 도모

○ 한편, 기초연구에 대한 장기적인 투자의 중요성과 장기적으로 리스크가 큰 분야나 공익이 커서 정부가 투자해야 하는 분야에 대한 사회적 논의가 이루어짐

□ 과학기술·혁신 관련 논의에서 포용의 개념은 빠지지 않고 등장하고 있으며, 팬데믹 사태 이후 일상 회복의 불균형이 심화되고 있어 지속 가능한 발전을 위한 포용적 성장 개념은 계속해서 제기될 것으로 보임

○ 유럽은 사람 중심의 경제라는 기조 하에 정책 개발을 추진 중이며, 미국도 2023 R&D투자의 정책 방향으로 포용성을 제시

○ 일본은 기시다 총리의 분배강화 정책인 새로운 민주주의 기조 하에 포섭적 성장 및 포용 관점의 정책이 제시될 것으로 보임

□ 디지털 경제·사회로의 전환은 당연하고 불가피한 변화로 인식, 이 과정에서 “어떻게 산업생태계를 강화하고 기술 주도권을 확보할 것인가?”와 “어떻게 인간 중심의 사회를 만들 것인가?”가 화두

○ AI, 데이터, 네트워크 등 기술개발 관점의 논의는 필요하지만, 최근 디지털 전환을 둘러싼 산업·통상 분야의 원칙/전략과 변화를 수용하는 개인의 입장이 더욱 중요하게 고려되는 경향

□ 한편, 포스트 코로나 시대 재편되는 국제 관계 속에서 과학기술 분야의 국제 협력의 새로운 국면 맞이

○ 기술이 국제정치를 좌우하고 미국을 중심으로 지구적 리더십 연대 및 다자주의의 회복이 추진되는 시점에서, 기후변화 대응, EV 배터리, 의약품, 백신, 우주 등을 중심으로 하는 국제협력 중요성 확대

제2절 중장기적 R&D 투자전략

1. 중장기적 투자전략의 필요성

□ 정부연구개발 예산이 30조 시대에 가까워짐에 따라 지속 가능한 발전을 위한 중장기적인 국가 R&D의 방향·비전·목표의 설정 필요

○ 단기간에 매몰된 예산 배분으로 5년 이상의 중장기적인 국가 R&D의 추진 방향, 비전, 목표 부재

○ 선진경제로의 지속성장을 견인할 과학기술혁신 역량 확충 및 미래의 글로벌 환경변화(무역전쟁, GVC 재편, 보건, 인구, 기후 등)에 대응하기 위한 투자전략 마련 필요

○ 지속 가능한 발전을 위한 중장기적 방향, 목표의 설정과 분야별로 반드시 투자가 필요한 영역을 발굴하고 전략적인 투자 우선순위 도출할 필요

○ 산·학·연 전문가 10인과 대면 회의(2회), 서면 자문(2회)을 통해 국가 R&D의 중장기적 투자전략 수립을 위한 의견 수렴 진행

2. 국·내외 투자전략 및 현황

□ 국가 R&D의 중장기적 투자 방향(철학) 설정

○ 최근 과학기술의 역할은 정치, 경제, 외교, 국방, 사회, 문화 등 지구적 이슈로 확대

○ 우리나라 과학기술혁신정책의 명확한 미션을 정립하고 R&D투자를 통해 지향하는 철학 또는 중장기 방향 설정 필요

- 우리 정부는 매년 다른 R&D 투자방향 수립

※ 우리나라 정부 R&D 투자방향

– (2021년도) 혁신과 포용의 더불어 잘 사는 세상을 위하여 혁신주체의 연구역량 강화, 성장동력 기반 확충, 삶의 질 개선 등에 R&D 집중 투자

– (2022년도) 위기대응을 위한 과학기술 역량을 강화하고, 경제 '회복', 선도국가 '도약' 및 '포용' 혁신을 위한 연구개발 투자를 '지속·강화'

〈표 Ⅳ-22〉 국내 R&D 투자 관련 SWOT 분석

Strength	Weakness
• 높은 GDP 대비 R&D 투자 비중 • 민간주도의 R&D/혁신 시스템 정착 • 글로벌 선도기업의 존재 • 혁신형 벤처 생태계 확충 • 정부출연연 등 연구인프라 존재 • 제조업 기반의 산업 인프라 건재 • 민관 합동의 다양한 정책추진 경험	• 정부 R&D 투자 효율성 미흡 • 소수 대기업에 집중되어 있는 민간 투자 및 혁신역량 • 보유 연구인력 대비 낮은 대학 연구개발 지출 비중 • 정부출연연의 가시적 성과 창출 미흡 • 서비스 부문의 낮은 생산성 및 혁신역량 • 중소/벤처 부문의 높은 공공재원 의존성 • 지나치게 분절화되어 있는 R&D/혁신정책 체계 • 기업 활동/혁신을 저해하는 각종 규제의 존재
Opportunities	**Threats**
• 기술분야 고급인력 공급 용이 • 높은 고등교육이수율과 우수한 대학교육 인프라 • 창업/벤처 성공사례 증가 추세 (특히 디지털 플랫폼 분야) • 반도체 등 핵심전략부품 제조 분야의 기술적 우위 • 미국 등 우방국과의 안보-기술협력 활발 • 우수한 IT 인프라 및 테스트베드 위상 • R&D 투자의 중요성에 대한 국민적 공감대 형성 (지출의사 존재) • 경제사회 거대현안(기후변화, 고령화 등)에 대한 기술혁신 수요 증가 • 글로벌 교역을 통해 구축한 기술/제품 경쟁력 및 교역망 존재 • 한국의 혁신주도 개발/성장경험에 대한 협력 수요 높음	• 내부 개혁 부진시 잠재성장률의 급속한 하락 전망 • 저출산 고령화로 인한 노동인구 감소 및 사회구조 급변 • 학령인구 감소로 인한 고급인력 공급의 한계와 대학 구조조정 예상 • 현행 규제 온존시 기업 활력 저하 • 핵심 부품(소부장) 원천기술 미확보 • 코로나 이후 글로벌 공급망 재편 가능성 (ex: 요소수 사태) • 미-중 갈등 심화로 인한 입장 선택 강요 가능성 • 미-중 갈등으로 인한 한국의 대외 교역구조 비최적화 가능성 • 복지수요 증가로 인한 재정지출 급증 가능성 (정부R&D투자 여력 제한) • 정부R&D투자 효과성에 대한 국민, 전문가의 불만 (전략/대안 제시 요구) • 기후변화 대응과 탄소중립 정책으로 인한 경제주체의 부담 증가 • 코로나의 당분간 지속과 향후 새로운 판데믹 가능성

〈표 Ⅳ-23〉 주요국의 R&D투자 철학 및 투자 목표

국가	연구개발 방향 또는 철학	중장기계획	R&D투자 목표
미국	기술·경제적 우위 및 주도권의 지속적 유지 (중국 등 경쟁국들의 기술도전은 핵심안보 위협)	Build Back Better Plan	5년간 총 2,500억 달러*(약 275조원) 투입 제안 * 상원 통과 이후 하원에서 논의를 통해 결정
유럽	친환경, 건강, 디지털, 포용 ※ 기후목표 달성을 위해 Horizon Europe 예산의 35% 이상 투자	「Horizon Europe('21~'27)」('21)	7년간 955억 유로
일본	Society 5.0 실현 ⇒ 국민의 안전과 안심을 확보할 수 있는 지속가능하고 강인한 사회와 개인의 다양한 행복을 실현할 수 있는 사회 지향	「제6기 과학기술혁신 기본계획('21~'25)」('21)	5년간 정부연구개발투자 총액 30조 엔 (민관 포함 총액 120조 엔)
중국	2035년 세계일류 혁신국가로의 부상을 목표로 제시하고 과학기술자립과 자강을 발전의 핵심기반으로 강조	「제14차 5개년 계획('21~'25)」('21)	향후 5년간 R&D투자를 매년 7% 이상 확대

3. 투자전략 수립시 고려사항

〈표 Ⅳ-24〉 R&D투자의 방향 또는 철학 설정시 고려사항

방향 또는 철학	고려사항
- 과학기술을 통해 지속가능사회를 향한 미래상* 구현 * 안전한 환경에서 개개인 모두가 건강하고 행복한 삶을 영위하는 사회	• (안전한 생활환경 조성) 기후환경, 에너지, 식량, 프라이버시 등 삶의 질 향상을 저해하는 요소들로부터 자유로운 사회 • (포용적 성장환경 구축) 혁신의 혜택에서 소외되는 사람이 없으며 더 나아가 과학기술을 통한 양극화 해소가 이루어지는 사회 • (국민 건강과 행복 증진) 신종감염병 유행 등 국민의 삶을 위협하는 요소들에 대응하고 행복한 삶을 설계하는 사회
- 급격한 과학기술 환경변화와 기술패권 시대의 강건한 경제* 구축 지원 * 외부변화에 흔들리지 않고 내부조화가 이루어진 경제	• (대변혁 시대 사회친화적 혁신) 과학기술 분야의 급격한 변화가 사회시스템의 변화와 조화를 이루도록 사회 친화적 혁신 강화 • (기술패권 시대 과학기술 자립) 기술패권 시대 대외충격에 흔들리지 않도록 주력산업 내 과학기술 역량 확보 • (글로벌 과학기술리더십 확보) 4차 산업혁명 기술의 리더십을 확보하려는 글로벌 경쟁 환경에서 신산업 성장 가속화 지원

방향 또는 철학	고려사항
- (기반구축) 과학기술혁신 시스템 과학기술 기초역량 강화	• (혁신주체역량육성) 신산업 분야를 주도할 대학과 공공기관의 창의적, 도전적, 융합적 개인·집단 연구 육성 • (지역혁신역량강화) 지역산업에 연계된 지역혁신시스템 구축 및 고도화를 통한 지역산업 연계형 혁신역량 강화
- 전략적 투자를 통한 핵심 기술·산업의 글로벌 주도권 확보	• 미·중 갈등 심화 등 기술·산업 주도권 확보의 중요성이 대두되면서 기존 투자 방향에 대한 조정 필요 - 과거 기본계획이나 중장기 투자 전략*에서 제시된 투자 방향을 재검토하고 수정할 필요가 있음 * '정부 R&D 20조원 시대의 정부 R&D 중장기 투자전략'(2019.2) • 우리나라가 집중해야 하는 전략기술 (세부기술 10개 내외)·산업군을 선정하고 5년 내 주도권 확보가 가능하도록 집중 지원하는 방향으로 조정
- R&D 효율성과 자율성 증대를 통한 기술선도국 지위 확보 - R&D 투자의 효율성 증대	• 공공부문의 연구경쟁력을 민간부문의 연구경쟁력과 견줄만한 수준으로 시스템 혁신 • 성과와 투자의 보다 직접적인 연계를 통해 투자 효율성 확보 • 출연(연)의 성과평가 시스템을 과감하게 혁신하여 연구성과가 미진한 기관을 통폐합하여 추가적인 R&D 예산 확보 • R&D 투자 프로세스의 혁신을 통해 유연성을 확보하여, 연구성과에 따른 추가적인 투자를 단행 • 기술사업화와 기술창업 확대를 위해 기술적 지식이 있는 기업연구소, 대학, 출연(연)의 기술사업화/창업 적극 지원
- R&D 효율성과 자율성 증대를 통한 기술선도국 지위 확보 - R&D 주체의 자율성 증대를 통한 연구 다양성 증대	• 기술선도국으로서 가장 중요한 부분은 R&D의 다양성 증대를 통해 미래기술변화에 대응할 수 있어야 함 • 연구주체의 자율성 확보를 통해 전문 분야의 연구 지식을 활용해 연구주제를 개발할 수 있도록 함 • Top-down 방식의 R&D 투자를 줄이고, Bottom-up 방식의 R&D투자를 늘려 미국과 일본의 수준(70~80%)으로 확대 • 자율성 증대와 함께 기술 중심과 연구자 중심의 평가 확대를 통해 투자의 효용을 증대
- (산업적 측면) 미국의 공급망 이슈에 따른 핵심 산업의 R&D 투자	• 공급망 문제를 동맹국들과 함께 풀어나가고자 하며, 이는 경제문제를 안보문제와 결부시키는 인식 • 반도체와 배터리는 우리나라가 글로벌 시장에서 최상위 수준의 경쟁력을 확보하고 있는 산업

방향 또는 철학	고려사항
- 미국의 공급망 재편에 따른 대책 필요	• 글로벌 공급만 의존도가 높은 우리나라가 긴 호흡을 가지고 공급망 재편 흐름에 대비할 수 있는 전략이 필요
- 미중 패권경쟁 구조 속 한국의 전략적 가치 제고	• 글로벌 가치사슬, 군사적 협력구조, 사회문제 해결 관련 기술/지식재산, 상품(제품/서비스), 기업/산업, 군사력/군대, 사회적 경험/체제/제도 등을 제고하는 투자
- “전략적” R&D 투자: 평가 시 “전략적 정합성” 고려	• 평가 시 전략적 정합성(Strategic Fit) 고려: 다른 영역들에서 추진(계획) 중인 정부 노력과 연계성 및 시너지 평가
- 물리적 기술 개발과 사회적 문제 해결 간의 연계(전략적 정합성)	• 중요한 사회적 문제(양극화, 저출산, 고령화, 보건, 교육, 부동산 등)의 이해와 해결을 목적으로 하는 연구자와 기술, 과제에 투자
- 글로벌 트렌드를 선도하는 기술 강국	• 디지털 경제 속 핵심 원천기술 확보하고 새로운 성장동력을 확보 • 탄소 경제속 친환경 기술 개발 선도 • 기초연구 확대를 통한 과학기술 체질 개선

□ 정부 R&D 투자 포트폴리오 마련

○ 중장기적인 R&D투자 포트폴리오가 부재하여 과기정통부 혁신본부가 거시적 투자방향의 제시보다는 미시적 단년도 예산 배분·조정에 매몰

- 현재 기재부에서 설정한 지출한도에 따른 1년의 예산을 배분·조정하고 있으나, 5년 이상 장기적 예산 배분은 이루어지지 않음

○ 시계열적 예산 분석을 위한 기술·정책 분야가 지속적으로 유지되지 않고 변동이 잦음

○ R&D투자 방향, 목표 등을 반영한 중장기 포트폴리오 구축방안(방향성, 구체성 등) 논의가 필요

※ (고려사항) 주요 분야별로 중장기 투자 강화/유지/축소 방향을 제시할 것인가, 어느 정도 수준으로 분야를 세분화할 것인가 등

○ 최근 급변한 대외 환경을 고려하여 분야별 중장기적인 정부R&D와 민간R&D의 역할분담 방안에 대한 논의 필요

- 과거에는 민간의 산업적 역량이 높은 주력산업 분야는 민간 주도, 정부 지원의 형태로의 역할분담을 제시했으나, 최근에는 주요국 정부의 반도체 분야에 대한 정부투자가 폭증하여 우리의 전략도 재검토 필요

□ 정부 R&D 투자 확대 분야 선정 시 고려사항 마련

○ 모든 분야를 배려하는 방식의 중점과학기술 제시로 전략분야 설정의 실효성 미흡

○ 정부R&D투자의 전략성 제고를 위해 정부가 중점적으로 투자하거나(투자 확대) 신규로 투자해야 할 분야를 선정하기 위한 주안점* 필요

* (예) ① 중장기 투자전략의 방향, 비전, 목표와 부합하는가? ② 지금 이 분야에 투자하지 않으면 앞으로 우리에게 큰 위기가 닥치거나 좋은 기회를 잃게 되는가? ③ 국민의 행복한 삶, 공동체의 발전, 국가의 경쟁력 강화, 인류의 번영을 위한 것인가? 등

- 정부R&D에 대한 중장기 투자방향, 비전, 목표의 설정이 우선될 필요

□ 기타 고려사항

○ (투자 효율화) 정권마다 뒤집히는 과학기술·성장동력정책, 정부가 R&D를 주도하려 함으로써 정부R&D와 기술 수요자인 산업계 간 괴리 및 정부R&D와 민간R&D 간 중복 발생 등에 대한 개선방안

- 시장과 괴리된 정책·사업의 기획으로 산업계 참여 및 시장성 검토 미흡

○ (투자방식 다양화) 출연금 중심의 정부R&D 운영방식 지원은 양적 증가에 한계가 있으므로 R&D투자 방식의 다양화(투·융자 등) 고려

(예) 연구개발 단계에 가까울수록 출연금으로 지원하고 사업화 단계에 가까울수록 투·융자 비율을 상향하는 투자방식, 담보력이 부족한 벤처중소기업을 위해 무형자산(기술, IP 등) 평가를 바탕으로 한 기술금융 등

○ (예산 배분·조정체계) 과기정통부 혁신본부(주요R&D)와 기재부(일반R&D+주요R&D)로 이원화된 예산 편성체계의 비효율성

※ 과기정통부와 기재부 간 지출한도가 달라, 혁신본부 예산(안)과 기재부 정부(안)의 차이 발생

4. 투자전략의 우선순위 및 방향 설정을 위한 논의사항

□ 중장기적인 정부 R&D의 투자 규모 및 우선순위 도출 필요

○ 중장기적 R&D투자 목표는 부재하고, 단년도 회계주의 및 지출 절약 위주의 심의로 인한 R&D투자의 효과성 저하

○ R&D투자에 대한 예측가능성 확보 및 정부의 의지 표명을 위해 R&D투자 규모의 제시 필요

- 과학기술기본법에 중장기 투자전략 수립 시 국가연구개발투자의 목표치 및 추진계획을 반영토록 명시*

  * 기본법 제21조의 2항 : 정부는 제1항에 따라 필요한 재원을 마련하기 위하여 국가연구개발투자의 목표치와 추진계획을 기본계획 및 중장기투자전략에 반영하여야 한다.

○ 중장기 투자전략은 혁신역량 제고 관점에서 정부의 역할과 관련된 R&D투자 우선순위를 제시할 필요

- 투자방식 개선, 고위험연구 활성화(DARPA 참고), 혁신성과 창출을 위한 평가체계 개선 등 전략적 측면에서 획기적인 개선책 제시
- 과학기술 혁신정책을 구축하기 위한 시스템(평가*, 선정**, 기획*** 등) 관점의 개선사항들에 대한 논의

  * 도전적, 창의적, 연구자 주도 연구에 대한 새로운 평가방식 도입 필요

  ** 전문성이 낮은 심사 위원들이 사업·과제 선정평가에 참여하는 문제점

  *** 문제해결 방식의 R&D 기획, 해당 분야에 역량이 높은 전문가의 의견을 바탕으로 한 R&D 기획 필요
- R&D투자의 방향성, 기초·산업·공공 분야별 투자 우선순위, 혁신정책 개선방향 등 제시 필요

□ 정부R&D의 투자방향

○ (민·관 역할) 정부와 민간을 아우르는 국가R&D 차원의 투자방향이 설정되어야 하며 이를 위한 분과위원 간 합의 필요

- (역할 분담) 민간에서 투자가 활발히 이루어지고 있는 분야는 정부의 투자를 줄여 민간이 주도하고 정부는 민간의 마중물 역할을 하는 영역 및 공백 영역에 투자

  ※ 정부는 규제, 조세 등과 같은 간접 지원을 확대하는 것이 OECD 국가들의 추세이며, 직접 지원과 간접 지원이 필요한 분야를 구분할 필요
- (정부 주도) 민간에서 잘하고 있는 분야에도 정부가 중점 투자해 세계시장을 선도하는 1등 전략을 마련할 필요(예시: 반도체)

○ (선택과 집중) 과학기술의 예측 불가한 특징을 고려해 안정적으로 투자를 유지할 분야와 집중적으로 투자할 분야를 구분

- 현재 투자되고 있는 R&D예산을 70~80% 수준으로 축소하여 나머지 20~30%를 정부가 중점적으로 투자해야 할 분야를 지원할 필요
- 선진국의 임무지향적 연구사례를 벤치마킹해 투자방향을 마련하고 이에 따르는 R&D 제도 및 평가방식을 고려할 필요

5. 투자전략의 비전 및 목표 도출(예시)

〈표 Ⅳ-25〉 국가연구개발 중장기 비전 및 목표의 예

국가연구개발 중장기 비전	국가연구개발 중장기 목표 정량적 R&D투자 목표
과학기술혁신 성과 창출을 통한 선진경제 도약과 사회 현안 대응	• 기초·원천 연구의 지속 지원을 통한 과학기술혁신 기반 확충 • 과학기술혁신 투자를 통한 산업기술로의 이전/확산 활성화
	-
경제사회 현안에 대한 솔루션을 제공하는 과학기술혁신 투자	• 공공·사회적 거대 현안에 대한 솔루션 제공
	-
과학기술과 경제·사회의 조화로운 발전을 통한 국민 행복 실현	• 지속가능성장, 강건한 경제, 기초역량강화
	• GDP 대비 총연구개발비의 비중은 높지만 정부연구개발투자 총액은 아직도 상대적으로 크지 않은 상황인 만큼 지속 확대의 방식을 제안
핵심 기술·산업의 글로벌 주도권 확보	• 전략적 R&D 투자를 통한 가시적인 성과 확대
	• 5년간 정부연구개발투자 총액 40조원(민관 포함 총액 175조원) • 5년간 10대 전략 기술·산업 분야에 대한 정부 R&D 투자 2배 확대
R&D 도약을 통한 기술선도국 지위 확보	• 혁신주체의 연구역량 강화와 자율성 증대 • 과학기술로 성장동력 기반 확충 • 국민이 체감하는 삶의 질 개선 • 국방 R&D 투자 증대 • 자율과 협업기반 투자 강화 • 투자의 효율성 제고
	• 정부 R&D 투자 향후 5년간 6.6% 증대
국가의 장기적 안녕과 발전을 위한 국가전략의 효과적 실행 기반	• 미·중 패권 경쟁 구조 속 한국의 전략적 가치 제고 • “전략적” R&D 투자: 평가 시 “전략적 정합성” 고려 • 물리적 기술 개발과 사회적 문제 해결의 연계
	• 정부 총지출 증가율을 상회하는 R&D 분야 지출 증가율 (혹은, GDP 증가율 이상의 예산 증가율)
위기에 강한 첨단기술 국가	• 국가기술경쟁력을 대표하는 타겟 기술을 지정(10개) 해당 기술의 글로벌 경쟁력 1위 달성으로 설정
	-

Ⅴ. 미래대응 기술 심층분석

제1절 2021년 발행 기술동향브리프

제2절 2021년 주요기술 심층 분석

제1절 2021년 기술동향 분석(브리프)

'21년도 KISTEP 기술동향브리프 발간 리스트

권호	주제(안)	발간일
1호	대체육(代替肉)	'21.1.20
2호	수소생산	'21.3.17
3호	스마트농업	'21.3.29
4호	스마트 디바이스용 센서	'21.4.7
5호	개인용 항공기(PAV)	'21.4.28
6호	연료전지	'21.5.12
7호	해수담수화	'21.5.26
8호	백신 플랫폼 기술	'21.6.9
9호	대형연구시설 구축 –중이온가속기를 중심으로	'21.7.14
10호	안티드론	'21.8.18
11호	감염병 진단기술	'21.9.29
12호	철도신호시스템	'21.10.27
13호	태양광 폐패널 재활용 기술	'21.11.17
14호	해양플라스틱 쓰레기 저감 기술	'21.11.24
15호	감염병 방역기술	'21.12.8
16호	전기 상용차	'21.12.29

※ 2021년 발행 기술동향브리프는 별책으로 발간할 예정이며, 본 보고서에서는 주제별 요약 및 정리와 시사점을 수록함

1. 대체육(代替肉)

가. 요약 및 정리

□ 대체육은 식감, 풍미 및 외형적 특성을 실제 육류와 비슷하게 구현하는 것이 중요하며, 이를 위해 소재 발굴 및 생산에 필요한 공정 및 가공기술에 대한 연구가 진행되고 있음

○ 배양육 종류가 소, 닭, 돼지 등에서 다양하게 확대되고 있으며, 생산단가 절감 및 식감 증진을위해 생산단계에 필요한 구성 요소별 연구를 진행하고 있음

○ 식물성 고기의 원료가 되는 식물 소재 발굴이 지속적으로 이루어지고 있으며, 고기의 식감을 구현하기 위한 공정기술과 풍미를 구현하기 위한 원료 발굴을 위한 연구를 진행하고 있음

○ 식용곤충의 대상 확대를 위한 소재 발굴이 이루어지고 있으며, 부정적인 소비자 인식을 개선하고자 주요 성분만을 추출하여 새로운 식품을 만드는 연구를 진행하고 있음

□ 세계 대체육 시장이 급속도로 성장이 예상됨에 따라 대체육 산업에 뛰어드는 스타트업 및 대기업들이 증가하고 있으며, 이에 대한 VC의 투자도 확대되고 있음

○ 배양육 시장을 선점하기 위해 매년 더 많은 새로운 회사가 생기고 있으며, VC의 투자도 활발하게 진행 중이나 국내 산업은 아직 걸음마 단계

○ 식물성 고기 시장은 스타트업뿐만 아니라 세계 주요 대형 식품회사들도 핵심 품목으로 설정하여 투자를 진행 중이며, 식물성 고기의 원료가 되는 TVP 생산업체도 주목을 받음

○ 식용곤충 시장은 현재 사료용 제품 개발 및 판매가 중점적으로 이루어지고 있으나, 단백질, 유지 등 유효 성분을 이용한 신규소재 제품이 시장에 출시됨

□ 해외 주요국은 식량안보 및 지속 가능한 식량 시스템 관점에서 단백질 전환을 주요 이슈로 보고 관련 정책을 발표하고 있으며, 새롭게 태동하는 대체육 시장을 위한 규제 및 감독 방안을 마련하고 있음

○ 미국은 배양육 시장 출시에 앞서 배양육 생산부터 판매까지의 전 과정에 대한 공동 규제 및 관련 제도 마련을 합의함

○ EU는 식물성 단백질로의 전환에 초점을 맞추고 대체 단백질 분야 연구 및 관련 예산을 증액함

○ 일본은 2020년 코로나-19로 인한 영향으로 대체육 연구개발을 지원하는 정책을 잇달아 발표하고 있으며, 산·학·정부 간 협력을 통해 규제 마련을 추진하고 있음

□ 우리나라는 최근 대체육을 유망산업 중 하나로 선정하고 핵심기술 R&D 중점 투자 및 대체육 관련 제도 마련 계획을 발표하였음

○ 대체식품 안전관리 기준 및 식품첨가물 사용기준을 2025년까지 마련할 예정이며, 대체육 핵심기술 투자 R&D 사업을 기획하고 있음

○ 2020년 대체육에 대한 정부 R&D 투자 규모는 배양육 16억, 식물성 고기 7억, 식용곤충 23억 수준임

나. 시사점

□ 대체육의 정의와 범위를 명확히 규정하고 한정된 자원·인수공통감염병 등으로부터 지속가능한 미래 먹거리 관점에서 접근할 필요가 있음

□ 새로운 먹거리 대안으로써 대체육 산업의 육성을 위해서는 각 분야별 핵심 원천기술 및 제품화 기술 확보를 위한 정부 지원 아이템 발굴·지원이 필요함

○ 최근 정부에서 발표한 그린바이오 유망 산업의 일부로 대체육 관련 산업을 육성하기 위해서는 산업적 활용도가 높아 집중투자가 필요한 유망 핵심기술 발굴 및 기업체 주도의 제품화 기술 개발에 중점 투자가 필요함

□ 국공립연구소 외에도 출연연구소 등에서 대체육과 관련하여 새로운 핵심 원천기술 및 산업화 연계를 위한 기반기술 연구를 수행할 필요가 있음

○ 농촌진흥청 소속의 국공립연구소 중심으로 식용곤충 연구가 이루어지고 있으나, 배양육, 식물성 고기 등 대체육 분야의 핵심 원천기술 및 산업화 연계를 위한 기반기술 연구에서 출연(연) 등의 역할이 필요함

□ 대체육에 속하는 다양한 분야의 특성을 고려하여 맞춤형 지원정책 마련이 필요함

○ 배양육의 경우 산업이 태동하기 시작하는 초기 단계로 시장 선점이 중요하므로, 국내 기업들이 관련 사업을 빠르게 추진할 수 있도록 관련 기준 및 제도를 조속히 마련할 필요가 있음

- 2020.12월 싱가포르에서 제품 출시를 허가하였으며, 2021년 다수의 업체가 배양육 출시를 예고하였으나, 국내 식약처는 2025년까지 대체단백질 식품의 안전관리 기반을 마련할 예정임
- '배양육 안전성 기준 확립'을 조속히 추진하여 국내 업체들이 해당 기준을 바탕으로 제품 R&D를 추진할 수 있도록 지원할 필요가 있음

○ 식물성 고기의 시장 및 기술개발은 타 분야 대비 활성화되어 있으나, 원재료인 TVP를 전량 해외 수입에 의존하고 있어 국산화할 수 있도록 지원이 필요함

- 식량안보 강화 측면에서 우리나라 실정에 맞는 TVP 소재 개발 및 생산과 이를 바탕으로 한 공정기술 개발이 필요함

○ 식용곤충의 경우 소비자들의 거부감으로 인하여 정부 R&D 투자가 대체육 분야 중 가장 많이 이루어졌음에도 산업이 활성화되지 않고 있어 약용·기능성 제품 개발 또는 애완용 사료 제품 개발에 중점을 둔 정책 및 투자 지원이 필요함

□ **대체육 관련 산업 활성화를 위해서는 소비자의 적극적인 소비가 필요하며, 이를 위해 소비자들이 대체육에 친숙해질 수 있는 요리법 개발 및 확산이 중요함**

○ 익숙하지 않은 식재료에 대한 거부감이 존재하며 이를 해소하기 위해 대체육이 갖는 장점 등을 홍보하고 다양한 요리법 개발 및 보급이 필요함

- 햄버거 패티, 단백질 바 형태에 한정되지 않고 다양한 요리에 활용할 수 있도록 요리법을 개발 및 장려할 필요가 있음

2. 수소 생산

가. 요약 및 정리

□ **전세계적으로 온실가스 감축 문제 해결을 위해 수소경제가 주목받고 있으며, 수소경제 달성에 근간이 되는 수소 생산기술에 대한 관심이 높아지고 있음**

○ 수소 생산기술로는 대표적으로 개질수소와 수전해가 있으며, 친환경적 수소 생산을 위한 수전해 방식에 대한 기술개발이 활발히 진행되고 있음

□ **해외 주요국들은 앞선 기술력을 바탕으로 대형 프로젝트 및 상업적 수소 생산을 위한 설비를 설치·운영하고 있음**

○ 해외 주요국들은 다양한 개질수소 설비를 개발하여 제품을 출시하였으며, 수전해 분야에서는 국가간 협력사업을 통해 대형 PtG 프로젝트 및 대용량·고효율 스택 개발을 진행하고 있음

○ 주요 수소 생산 기업들은 대용량 수전해 설비를 설치하여 상업적 수소 생산 및 수소충전소 공급을 시작하고 있음

□ 우리나라는 그간 부생수소 중심의 수소 산업이었으며, 점차적으로 개질수소 및 수전해에 대한 기술력도 향상되고 있음

○ 국내 수소 생산량의 대부분이 부생수소이며, 부생수소를 활용한 수소충전소 공급 및 연료전지발전을 위한 프로젝트가 활발히 진행되고 있음

○ 국내 기술을 활용한 '현장생산형 개질수소' 설비 개발이 완료되었으며, 수전해 분야는 정부R&D 사업을 통해 본격적인 기술개발이 진행되고 있음

□ 수소 생산기술 패러다임이 기존의 개질수소(그레이수소)에서 수전해 등 친환경적 수소 생산(그린수소, 블루수소) 방식으로 전환이 되고 있는 가운데, 우리나라도 관련 R&D 사업을 신규 추진하고 있음

○ 주요국들은 수소 생산분야 국가 전략을 발표하면서, 수전해 설비 확대 및 개질수소+CCUS(블루수소) 생산 방식 도입 등의 목표를 제시함

○ 우리나라도 초기에는 부생수소와 개질수소를 활용하고, 장기적으로는 수전해와 해외 생산 수소를 활용한다는 로드맵을 발표함

○ 「수소경제 활성화 로드맵」 발표 이후에 다수의 그린수소 생산 관련 신규R&D 사업이 추진되어 R&D 투자가 지속적으로 늘어나고 있음

나. 시사점

□ 수소 생산기술별 기술성숙도, CO2 배출량, 경제성 등 여러 요건을 고려한 R&D 투자전략 수립 및 비즈니스 모델 설정이 필요함

○ 수전해 기술은 수소 생산을 위해 전력이 필요하고, 미활용 재생에너지를 사용할 경우에만 경제성이 확보되므로, 재생에너지 공급 정책과 연계한 수전해 기술개발 전략 마련이 필요함

○ 대규모 재생에너지 발전 단지에서 생산된 미활용 전력 해소 및 계통안정성 유지를 위한 방안 중 하나가 수전해 기술이며, 이를 구현하려면 발전 사업자, 전력계통 사업자, 수전해 기업, 수소 활용 기업 등 각 참여주체들이 서로 상생할 수 있는 밸류체인이 완성되어야 함

○ 이와 함께 재생에너지 전력의 송배전 전략, 재생에너지 전력 가격, 수전해 기술의 보조서비스 인정 여부 등 정책적 지원도 함께 고려되어야 함

○ 정책적으로 단기적으로는 개질수소의 대량 생산이 필요한 만큼 부산물인 CO2 활용방안도 함께 고려되어야 함

□ **수소 생산기술의 경제성과 친환경성을 동시에 확보하기 위해서는 현재 기술수준을 상회하는 혁신적인 소재/부품 개발에 대한 투자가 필요함**

○ 수소 생산 분야에서 혁신적인 성과를 창출하기 위해서는 기초연구 성과가 실증/상용화 기술로 이어질 수 있도록 관련 기업이 참여하는 연계 프로그램 지원이 필요함

○ 해외의 수소 생산분야 기술성숙도가 높으므로, 해외선진 산학연과의 적극적인 협력을 통하여 기술수준을 추격할 필요가 있음

□ **향후 수소경제 전주기(생산-저장·운송-활용)를 고려한 수소 생산기술 전략 마련 및 기술개발 투자 필요**

○ 국내 수소 수요를 확보하기 위해서는 향후 국내 자체 수소 생산뿐만 아니라, 해외에서의 수소 생산·수입 등 복수의 방안이 함께 고려되어야 함

○ 향후 국내 여건에 맞는 수소 운송 방법(트레일러 or 파이프라인 운송)과 연계한 수소 생산 기술전략 마련이 필요함

3. 스마트농업

가. 요약 및 정리

□ **스마트농업 선도국은 지속적인 빅데이터 축적과 농업 생산의 대규모화, 기술 집적을 기반으로 생산량 증대 및 투입(자재, 물 등) 절감을 실현하고 있음**

○ 기존 농업 분야 대기업 및 ICT 기업 등의 스마트농업 기술기업 대상 투자가 확대되고 실제 서비스·제품 출시가 활발하며, 관련 글로벌 시장은 견조하게(연평균 9.8%) 성장할 전망

※ 미국 전체 농업인의 약 60%가 1~2개의 빅데이터 서비스를 이용하고 있음

□ **국내는 시설농업 분야 스마트농업의 상용화 사례가 창출되고 있으나, 빅데이터 수집·활용 체계가 부족하고 관련 기업들이 영세하여 혁신에 어려움 존재**

○ 그간 정부 주도로 개발한 시설원예 스마트팜(1세대)이 기존 설비·장비 기업들을 통해 보급되고 있으나, 노지농업 분야는 소면적 다품종 특성으로 스마트기술 적용이 미진함

※ 생산성 증대로 인한 농산물의 과잉 생산 우려도 스마트농업의 확산을 저해하는 요인임

○ 농업 빅데이터의 통합적 활용을 위한 표준화가 미진하며, 민간 투자가 늘어나고 있지만 농업 기술기업들은 아직 영세하여 선도국과 같은 민간 주도 혁신은 부족한 상황

※ 국내는 일부 자동화 기자재(하드웨어)만 표준화가 이루어짐

□ 선도국들은 자국의 농산업 구조 또는 현안에 맞춘 정책을 펴고 있으나, 우리나라는 국내 농업 전반보다는 시설원예 분야에 편중된 육성이 추진되고 있음

○ 스마트 노지농업 중심의 미국은 최근 농촌 지역 인터넷 인프라 확장을 추진하고 있으며, 유럽은 시설농업 중심의 집적 생산단지(클러스터)를 구축하여 산학연관 협력을 강화

○ 우리나라에 앞서 농촌 고령화·인구감소 이슈가 대두된 일본은 기업의 농업 진출 허용 및 국가 공용 스마트농업 데이터 플랫폼(WAGRI) 구축을 추진함

○ '13년부터 스마트농업 확산 정책을 본격 추진한 우리나라는 '18년 노지농업 분야로 보급 사업이 확대되었으나 국내의 소규모 다품종 농업 특성을 반영한 정책 추진이 미흡

□ 스마트농업 분야 정부R&D 투자는 '13~'19년 사이 2.6배 증가했으나, 시설원예 분야 투자 편중이 심하고, 연구수행주체 및 부처 간의 균형 잡힌 역할 수행이 부족

○ 시설농업과 노지농업의 투자 격차가 지속적으로 커지고 있는 상황에서 논·밭 및 축산 분야 융합연구 투자는 최근에 들어 확대되었으며, 과수·식물공장 분야는 투자 규모 자체가 부족

○ 학계와 연구계의 기초연구 수행 비중이 낮아 차세대 스마트농업 분야의 중장기적 연구를 통한 산업계 기술공급에 어려움이 예상됨

- 특히 연구계의 경우 기초연구 비중이 급감하고 융합연구 비중도 점차 축소되고 있음

○ 대형 사업의 종료 또는 축소에 따라 연구수행주체 및 부처의 연구개발단계, 세부기술별 투자비중이 급변하고 이후 후속 투자가 부족했던 경향이 나타남

□ 국내 스마트농업은 대다수를 차지하는 영세농을 주요 수혜 대상으로 하는 스마트화 전략이 부족하고, 국내외 기술 격차 및 핵심부품의 높은 수입 의존도 등으로 인해 국내 시장 확대 및 해외 시장 진출에 한계

○ 그간 고가의 시설농업 설비 중심으로 기술개발 및 보급이 추진되어 소규모 노지농업을 영위하는 영세 농가의 스마트농업 확산이 미진하며, 스마트농업 성장은 글로벌 대비 더딘 상태

※ 스마트농업 시장 연평균 성장률 : (국내) 8.4% vs. (글로벌) 9.8%

○ 국내외 기술력 격차로 스마트농업 기자재·설비 및 서비스의 해외 진출은 아직 어려운 상태이며, 핵심부품의 높은 수입 의존도로 인해 기업들의 수익 창출 및 성장에 한계

나. 시사점

□ **스마트농업 핵심기술 확보를 위한 R&D 투자를 확대하여 농업 선진국과의 기술격차를 줄이고 국내 유관 기업의 해외 시장 진출을 유도**

○ 학·연 중심의 기초연구 R&D를 안정적·지속적으로 지원하여 스마트농업 핵심기술 확보 및 국내 유관 기업의 기술경쟁력 제고에 기여할 필요

○ 향후 시장 성장 가능성이 높은 노지 스마트농업에 대한 투자를 확대하고, 로봇·자율주행 등 타 기술 융합을 촉진하기 위해 산업부 등 유관부처의 R&D 참여를 확대

- 특히 투자가 미비한 과수 분야의 스마트화를 위한 R&D투자 확대 및 산·학·연 공동연구과제 발굴·지원, 학·연 우수성과 기반 스핀오프 창업 지원 등이 필요

○ 시설농업 분야는 '스마트팜 다부처 패키지 혁신기술개발 사업('21~'27)'을 중심으로 시설원예와 축산 분야의 체계적인 R&D 추진이 필요

□ **스마트농업의 대상작물 확대를 통해 관련 전후방 산업 성장을 유도하고, 농식품 유통·가공 분야와의 협력을 통해 부가가치를 높이고 수요를 창출할 필요**

○ 스마트농업이 미적용된 작물에 대한 R&D 지원 범위를 확장함으로써 수혜 농가를 늘리고 스마트농업 시장 활성화에 기여

○ 스마트농업 적용을 통한 친환경·고부가 작물 생산을 통해 생산량 증가가 과잉 생산이 아닌 전체 농산업 시장의 확대로 이어지도록 유통·가공 분야와의 협력이 필요

※ (예시) 가공공정 맞춤형 작물 생산, 기능성이 강화된 농산물 등

□ **청년농 및 기업농 대상의 스마트농업 패키지 설비뿐만 아니라 국내 대다수를 차지하는 소규모 자작농이 쉽게 도입 가능한 저가형 기자재·설비 개발이 요구됨**

○ 영세 노지농업 농가가 대다수를 차지하는 국내 여건을 반영하여, 보급형 스마트농업 기자재·설비의 개발 및 보급을 추진하여 스마트농업 기술을 확산하고 농가 경쟁력을 제고할 필요

○ 고가의 패키지형 설비뿐만 아니라 농가가 부분적으로 선택하여 도입할 수 있는 모듈형 기자재 개발이 필요

□ 농업 빅데이터의 구축 및 연계 활용을 위해 데이터 표준화 및 수집 체계를 마련하고, 빅데이터 플랫폼들을 연계·통합하여 공유·활용 기반을 구축해야 함

○ 민·관 논의를 통해 데이터 기반 스마트농업에 필요한 데이터의 목록을 정리하고, 서로 다른 장비·설비에서 수집된 데이터가 호환될 수 있도록 표준화 작업을 수행할 필요

- 데이터 수집 시 데이터의 소유권 및 사용 권한, 관리 주체 등 데이터 거버넌스에 대한 사회적·제도적 논의도 요구됨

○ 국내는 두드러진 스마트농업 선도기업이 없는 상황으로, 일본의 WAGRI 사례를 참고하여 정부가 주도하되 기업들이 참여하는 빅데이터 수집·활용 체계를 구축할 필요

※ 농림수산식품교육문화정보원의 농림사업정보시스템(AgriX) 등 기존 플랫폼들을 발전시켜 국내 농업계 전반이 참여하고 실질적으로 활용할 수 있는 데이터 인프라를 마련할 필요

4. 스마트 디바이스용 센서

가. 요약 및 정리

□ 센서는 데이터 수집과 처리를 위한 핵심부품으로 디지털 전환 및 온택트 환경에서 각광받는 스마트 디바이스 시장에서 중요한 산업으로 급부상하고 있음

○ 미국 및 일본은 지속적인 연구개발 투자, 학계의 적극적인 연구 등 다양한 방안을 통해 세계 최고 수준의 센서 기술을 보유함과 동시에 세계 시장을 선도하고 있음

- 미국은 모바일·스마트 기기용 센서 분야 전반에서 앞서고 있고, 사업 영역 지속 확대 중
- 일본은 센서 분야의 전통적인 강자기업을 보유하고 공격적인 M&A를 통해 신시장을 선도하기 위해 노력 중이며, 최근 AI 로직 칩을 통합한 고성능 센서를 출시함

○ 유럽은 머신 러닝 기능을 갖춘 스마트 모션 센서를 출시하면서 안정적인 점유율을 확보하고 있고, 중국은 이미지 센서 분야에서 업계 선두권 수준의 제품을 최근 출시함

○ 국내는 대기업을 필두로 이미지 센서에서 지속적인 성장을 보이는 가운데, 글로벌 공급사슬 개편으로 진입장벽이 낮아진 다른 센서 분야에서도 산업 성장의 기대가 높음

- 그러나 국내 센서 생태계 수준이 매우 열악하여 센서 기술 경쟁력은 선진국 대비 65% 수준이고, 대부분의 국내 업체는 센서 자체를 생산하는 원천 기술보다는 모듈형 조립 생산에 특화되어 지금까지 국내 센서 시장 성장률은 글로벌 산업성장률 대비 낮은 수준임

□ 한국을 포함한 주요 선진국은 제조산업 관련 정책을 연이어 발표하고 주요 산업 중 하나로 센서를 선정하는 등 정부차원의 투자를 확대하는 중임

○ 중국·유럽·일본은 센서 시스템을 중심으로 글로벌 상업용 시장을 선도하기 위한 로드맵을 발표하고 있으며, 미국은 센서 생태계 전반을 지원하기 위한 컨소시엄·연구소를 설립중임

○ 한국은 「소재 부품 장비 2.0 전략」, 「디지털 기반 산업 혁신성장 전략」 및 「스마트 센서 R&D 투자전략」 발표를 통해 스마트 기기를 위한 센서 지원방안을 최근 마련하고 있음

□ 정부 R&D 투자규모는 '19년 한 해에 124억원으로 최근 3년간 일정 수준을 유지하고 있으며, 중소기업 수행비중이 높고 기초연구분야 투자가 확대되고 있음

○ 연도별 예산규모는 유지되고 있으나 전체 과제 수는 증가하는 추세로, 대·중견기업의 개발단계 연구보다는 대학에서 수행하는 기초·소형 과제 위주로 투자 비중이 높아지고 있음

- 모션 센서의 경우 미국/유럽이 저가화 경쟁에서 승리하여 세계시장을 선점한 상태이고, 터치 센서의 경우 외산센서를 모듈로 가공하는 수준으로 제품화하고 있는 실정으로 국내에서는 자체IP 기반의 원천·응용기술보다는 소규모의 기초·개발 연구 위주로 수행하고 있음
- 이미지 센서의 경우 삼성을 위시한 국내 기업이 글로벌 시장에 진출하여 경쟁력을 높이고 있는 상태로 정부R&D 기술개발과제를 수행하기보다는 자체제품화에 집중하고 있음

나. 시사점

□ 단가가 점점 낮아지고 있는 센서 시장에서 국내기업 생존을 위해 가격경쟁력보다 기술경쟁력을 확보하기 위한 정부차원의 R&D 투자가 필수적임

○ 기하급수적으로 증대되는 데이터 처리를 위한 고성능의 복합 다중센서 개발이 필수적3이며, 특히 고집적·시스템화에 적용 가능한 기술개발이 중요함

- 외산 센서를 기반으로 신호처리 및 패키징 등의 기술을 더하여 조립 생산하는 현재 단순 모듈방식이 아닌, 머신러닝 및 솔루션 기능이 내장된 시스템 형태로의 변화도 필요함

□ 국내 기구축 인프라의 현황 점검을 바탕으로 센서산업 생태계를 구축하기 위해 인프라·인력 부문별로 다양한 투자가 이루어져야 함

○ 중소기업 위주인 국내 산업 환경에 맞추어 센서 산업 전반의 인프라 재구성이 필요함

- 반도체 산업과 유사*한 설비를 필요로 하나, 영세한 중소기업은 자체 대규모의 설비 투자가 불가능하므로 국가 기반 시설의 활용도를 높이고 이를 양산화하는 지원 방안이 중요함

  * TSMC/글로벌파운드리/Tronics 등의 CMOS-MEMS 파운드리 혹은 MEMS 파운드리

○ 기존 반도체 업체들의 성공 경험을 바탕으로, 기 구축되었으나 현재 양산에 활용하지 않는 파운드리를 사용하는 방안도 단기적으로 가시적인 국산화 성과를 얻을 수 있는 방안임

- 모바일, 가전, 스마트 기기 분야의 세계적인 기업을 보유하고 있기 때문에, 센서에 전문화된 파운드리 및 테스트베드의 활용 등 기업 간의 상생을 정부가 적극 지원한다면 국내생산-조립-완제품 수출로 혁신 가치사슬을 완성하고 센서 경쟁력을 확보할 수 있음

○ 미래성장기반인 인력이 지속적으로 배출될 수 있도록, 산·학·연 유기적 협력 및 수요기업과의 긴밀한 협조를 통하여 인력 양성 및 고급화 전략에도 집중적인 지원이 필요함

- 센서 산업에 대한 비전 부재로 대학에서 배출되는 인력 대부분은 반도체와 같이 타 분야로 진출하는 등 대기업 선호로 중소기업의 구인난은 지속되고 있는 바, 중소·중견기업과의 공동기술개발 과제 수행으로 학계 인력의 관심을 계속 유도하는 것이 필요함

□ 센서의 밸류 체인 구축 및 트랙레코드를 확보할 수 있도록 공공 수요의 구매력을 바탕으로 우선 지원하고, 자생적인 대-중-소 협업 생태계를 유도해야함

○ 센서 산업은 개발된 센서에 대한 신뢰성 및 센서 간 호환성 검증 데이터를 수요 기업에 제공하여야 하나, 영세 기업은 이를 자체적으로 확보하기 어려운 상황

- 모듈화하는 수준의 개발 연구가 전체 80% 비중을 차지하고 있는 중소기업의 개발환경을 고려하여, 가능성이 높은 혁신 제품의 시장 초기 진입을 공공혁신조달 등으로 유도하고 원천기술 확보 및 검증을 통해 해외 기술 의존도를 줄일 수 있는 방안을 검토해야함

□ 센서산업 발전을 위한 정부주도의 육성전략을 마련하고, 이를 실천할 수 있는 사업진행을 통해 센서 산업 전반의 경쟁력을 확보할 필요가 있음

○ 2012년 정책(「센서산업 발전전략」, 산업부), 2015년 정책(「K-ICT 스마트 디바이스 육성방안」, 과기부) 이후 센서 분야의 중요성에도 불구하고 국가차원의 전략이 부재하였음

○ 2020년 정책(「디지털 기반 산업 혁신성장 전략」 산업부) 에도 스마트 센서는 플랫폼 구축의 예시로 언급되는데 그쳐, 국가차원의 센서 위주 육성전략이 별도로 마련되어야 함

- 센서 국산화와 중견기업 육성을 위해 추진하였던 기존 센서산업 고도화 전문기술개발사업의 후속사업을 추가적으로 준비하여 국내기업의 경쟁력을 지속적으로 확보해야 함

5. 개인용 항공기(PAV)

가. 요약 및 정리

□ PAV는 인구 밀집이 높은 도심에서의 이동시간 단축 효과가 기대되어 차세대 모빌리티로서 주목을 받고 있으며, 이를 이용한 UAM 구축 논의가 활발

○ PAV 및 UAM 서비스가 대규모 산업으로 확대될 것이라는 낙관적 전망이 제시되고 있으며 국내외 다양한 기업이 투자를 단행

○ 세계 각국에서 PAV 연구개발이 민간 위주로 활발하게 이루지면서 각기 각색의 PAV가 개발되고 있으나, 모든 기체가 여객 목적의 상용화에는 도달하지 못함

□ 주요 기술로는 분산전기추진, 이차전지, 자율비행 등이 있으며 PAV 활용성 증대를 위해서는 이차전지와 자율비행 기술의 고도화 필요

○ 이차전지는 PAV의 항속시간 및 거리를 결정짓는 주요 기술이며, 항공기뿐만 아니라 자동차 등 다양한 업계에서의 수요가 존재하여 기술이 빠르게 성장할 것으로 예상

○ 자율비행의 기술 성숙도 부족과 법·제도적 준비 미흡으로 인해 상용화 초기에는 조종사의 보조 수단으로 활용된 후 점차 조종사를 대체할 것으로 예상

□ 스타트업, 자동차 및 항공기 업계가 PAV 개발 경쟁을 하고 있으며, 감항인증을 획득한 선도업체가 있어 2025년 전후로 상용화 및 산업 성장 전망

○ 스타트업은 eVTOL 시장에 가장 먼저 뛰어들어 성과를 내며 산업을 선도하고 있고 일부 업체는 감항인증을 획득하여 상용화 초읽기에 진입

○ 자동차 업계는 자체적 PAV 개발 및 스타트업 투자를 통해 향후 자동차 산업의 일부가 UAM으로 전환될 것에 대비하고 있으며 PAV와 자동차를 연계한 사업 방안을 모색

○ 항공기 업계는 보유하고 있는 우수한 항공기 기술을 바탕으로 PAV 개발에 속도를 올리는 한편 스타트업에 투자하여 변화하는 항공업계에서도 우위를 유지하기 위하여 노력

□ 미국을 포함한 주요국은 민간의 기체 개발과 빠른 상용화를 지원하기 위하여 실증 사업 중심으로 정부R&D사업을 운영

○ 미국의 PAV 실증사업을 통하여 미국 기업에서 개발한 PAV가 군용 감항인증을 획득한 사례가 나온 바 있으며, 유럽도 2021년부터 대규모 UAM 실증사업이 대거 착수

□ 우리나라는 중앙정부와 지자체 모두 중요성을 인식하여 기체 개발에 나서고 있으며, 산업계에서는 한화시스템과 현대차를 두 축으로 하여 생태계를 구축

○ 한화시스템과 현대차가 주축이 되어 통신사·공항공사 등 관련 산업계가 협력체계를 구축하고 있으나, 기존 항공산업의 주요 기업인 KAI, 대한항공 등의 eVTOL에 적극적으로 나서는 모습은 확인하기 어려움

□ 현재까지 PAV에 대한 정부R&D 규모는 크지 않으나 드론에 지속적인 투자를 해온 바 있으며, 신규 PAV 연구개발 사업이 착수되고 있어 투자 확대 예상

○ 2019년 정부R&D 투자 규모는 61.24억 원(PAV), 3,833억 원(PAV+드론)이며, PAV 및 드론에 대한 투자규모가 非국방R&D 위주로 성장하고 있고 수행주체가 다양화

○ 旣착수 사업의 본격화에 따른 예산 증가가 예정되어 있으며, K-UAM 기술로드맵에 따른 기술개발이 계획되고 있어 PAV에 대한 연구개발 투자규모는 지속 증가할 것으로 예상

나. 시사점

□ 빠른 산업 형성의 마중물로서 非여객용 수요를 창출하고, 안정적인 UAM 운영을 위한 기체 외적 요소에 대한 선제적인 연구 지원을 통해 사회 수용성 제고

○ 여객용으로 활용하기에 앞서 운항 기록을 확보하여 기체의 안전성을 입증하고 기체 개발 자금을 확보할 수 있도록 화물 운송용·군용 등의 非여객용 수요 창출 지원

○ 정부는 관련 법·제도, PAV 안전기술, 사고 대응책, 기체 정비, 관제 체재 등 PAV의 안정적 운용에 필요한 기체 외적 요소에 대한 연구를 선제적으로 지원하여 민간에서 개발된 PAV의 상용화 기반 마련

□ 전기차, 자율주행차 등 다른 차세대 모빌리티와 공유되는 기술·제도적 이슈가 존재하여, 통합적인 대책 마련 필요

○ 자율주행·비행 중 사고 발생 시 책임소재 및 보험 문제와 선택 상황 시 윤리문제, 법·제도의 미비, 인프라 구축방안 등 차세대 모빌리티에 공통적으로 나타날 수 있는 문제 존재

○ 새로운 기술의 등장과, 기술 융합이 빠르게 이루어지면서 어떠한 모빌리티가 미래를 점할지 불확실한 상황이므로 개별 이슈에 대한 단편적 대응에 그치는 것이 아닌 미래 변화에 대해 유연히 대응할 수 있도록 지상·해상·공중의 다양한 차세대 모빌리티를 종합적으로 고려한 대응책 마련이 필요

□ 자율비행은 PAV를 이용한 UAM 서비스의 경제성 확보의 보틀넥으로 작용할 것으로 예상되어, 정부는 민간에서 개발된 자율비행 기술이 빠르게 구현될 수 있도록 인프라 구축 및 제도 정비에 선제적으로 나설 필요

○ 주요 업체들은 조종사를 통한 1차 상용화 이후 자율비행기술 고도화에 맞추어 자율비행 도입을 예고하고 있으나, 조종사 훈련비용 및 인건비 등을 고려할 때 조종사를 통한 운항은 경제성이 낮아 초기 산업 형성의 장애물로 작용 예상

○ 자율비행기술의 성숙도 부족도 난관이나, 자율항공기에 대한 인증제도, 자율비행을 지원할 초저지연 통신·고정밀 항법· 무인관제체제의 불비 또한 큰 걸림돌로 작용할 수 있어 국가 차원의 지원 필요

□ PAV가 세계적인 주요 산업으로 확대될 것에 대비하여, 기체뿐만 아니라 소재·부품·장비·소프트웨어 기술 확보에 나서 가치사슬의 중요위치 선점 필요

○ PAV의 소·부·장·S/W는 PAV 단독기술/드론과의 공유기술/자동차와의 공유기술로 분류할 수 있으며 각 분류에 따라 적절한 투자전략이 필요

○ PAV로 인하여 새로이 창출되는 소·부·장·S/W은 기업 수요에 기반하여 식별·발굴할 필요가 있으며 가치사슬에서의 중요성을 고려한 투자 필요

○ 드론과 공유되는 기술은 기존 투자의 성과 확대 및 향후 투자의 효율화를 위하여, 드론을 대상으로 旣 개발된 기술을 활용하고 승객이 탑승하는 PAV의 특성을 고려하여 신뢰도 고도화를 위한 추가적인 연구활동을 지원

○ 기존의 소·부·장 관련 정책*에서도 중요하게 다루어지고 있는 자동차의 경우, 자동차뿐만 아니라 PAV로의 활용을 고려하여 기술의 중요성을 평가함으로써 PAV과의 공유기술에 대한 평가 제고 및 지원의 확대 필요

*「제1차 소재·부품·장비산업 경쟁력강화 기본계획('20.10월)」 등

□ 지자체가 자체적으로 진행하고 있는 연구개발의 통합적 관리가 필요하며, 지자체의 특성에 맞는 핵심부품 개발에 집중할 필요

○ 드론산업에 대해 다양한 지자체에서 적극적인 R&D에 나섰으나 큰 성과를 거두지 못한 것과 같이, 기술적·제도적 난이도가 높은 PAV 기체에 대한 분산적인 연구는 유의미한 성과를 보이기 쉽지 않을 것으로 예상되어 지자체에서 수행되는 연구에 대한 통합적 검토 필요

○ 지자체는 각 지역의 특화 분야를 살려 PAV의 핵심부품 개발을 집중 지원하여 후방산업 형성에 힘쓰는 한편, 지역 특성을 고려한 PAV 수요 개발 필요

6. 연료전지

가. 요약 및 정리

□ 전 세계적인 탄소중립과 수소경제로의 전환 기조에 따라 수소와 연료전지 기술의 중요성이 조명되며, 이에 대한 동향조사와 진단이 필요

○ 연료전지 종류별 현황과 동향을 조사하여 정부R&D 정책 제언을 도출

□ 연료전지 시장은 수소전기차를 중심으로 급속한 성장이 기대되나, 여전히 정책적 지원에 크게 의존하고 있음

○ 발전용 연료전지 산업은 우리나라와 미국이 시장 규모, 기술력 등에서 우위를 점하고 있으며, 일본, 유럽 등도 기술개발과 보급을 추진

○ 가정건물용은 일본, 수소전기차 시장은 우리나라가 주도하고 있으나 자립적인 경제성을 확보한 시장에 도달하기까지는 정책적 지원이 여전히 요구됨

□ 미국, 일본, 유럽, 독일 등 주요국에서는 각국 로드맵 하의 연료전지 활용 분야에 대한 원천기술 확보 노력이 이어지고 있음

○ 공통적으로 수소 공급부터 연료전지 활용까지 전주기적 접근에 대한 고민이 담겨있으나 우선 지원하는 활용분야에서 차이를 보임

○ 미국은 수송용, 독일은 수송 및 건물용, 일본은 가정용 및 수송용 등 미세한 차이

□ 미국과 일본의 정책은 주로 보조금 지원 등을 통한 보급확대에 초점이 맞춰져 있으며, 차세대 연료전지보다는 상업화가 가능한 연료전지를 지원

○ 우리나라의 정책은 크게 재생에너지 확대 정책과 수소경제 관련 정책을 두 축으로 활용 산업 중심의 보급이 주요 목표로 제시되고 있음

□ 우리나라 정책은 에너지 정책과 수소 관련 정책을 두 축으로 하여 정책수단으로 보급·확산과 기술개발 전략 중심으로 전개

□ 정부 R&D 투자는 지난 5년간 큰 변화는 발견되지 않았으며 비슷한 상태를 유지

○ 산업부, 과기부를 중심으로 PEMFC와 SOFC R&D 투자가 주요 투자 분야

나. 시사점

□ 연료전지의 종류에 따라 기술개발 수준, 향후 과제, 산업적 성숙도 등이 상이하므로 R&D 정책 수립과 추진에 있어 다원적 접근이 필요

□ 우리나라의 기술수준과 시장점유율은 우수한 편이나 제품 단위의 기술에서 부품, 소재 등 원천기술 단위에서의 수준에 대한 진단 필요

○ 현재 시장에 참여한 기업의 수와 양산 수준의 제품을 생산하는 기업과 국가가 제한적이나, 향후 경쟁은 심화될 것으로 예상되므로 대비 필요

○ 발전용 연료전지의 경우, 해당 기술의 원천이 인수합병 등을 통한 기술 획득과 단독 및 협력연구에 의한 기술 축적인지에 대한 진단 필요

□ 상대적으로 시장성이 확보된 발전용 연료전지 기술은 중국 등 후발국가가 기술적 추격의 여지가 있는 것으로 우려

○ 글로벌 연료전지 전문기업과 중국 제조업 기업 간 협력을 통한 시장진출에 주목하여 시스템 기술의 내재화와 연료전지 핵심 기술 확보가 중요

○ 앞서 언급한 기술의 원천에 대한 진단을 통해 기술적 취약점 및 병목 기술을 도출하여 완결성 있는 기술 수준의 우위를 점하는 것이 중요

□ 정부의 에너지정책, 수소경제 관련 정책 간 시너지를 유도할 수 있는 정책적, 기술적 연계 고도화 필요

○ 재생에너지 보급 확대 전략 내에서 연료전지 기술의 역할과 포지셔닝에 대한 고민 필요

○ 연료전지 기술개발은 가정건물용, 수송용 연료전지 활성화를 위한 수소 공급 측면에서 재생에너지 연계 수소 생산, 수소 수급 시나리오 등과 보조를 함께 해야 함

□ 차세대 연료전지 기술 선점, 산업생태계 활성화 등의 목표 달성을 도모해야 함

○ SOFC 기술의 상용화와 시장 형성이 소원하므로 선제적 기술개발을 통한 기술·시장 리더십 확보 필요

○ 출연연 중심의 기초연구 성과가 시장에 진출한 기업으로 적절히 연계되어 점차 성장할 글로벌 시장에서 선도적 지위를 점할 수 있도록 정부 R&D의 주도적 역할 기대

□ 정책 목표의 효율적 달성을 위한 연료전지 R&D 투자의 양적, 질적 성장이 요구되며, 연료전지 종류별 현황에 따른 지원이 필요

○ 정책 기조에 부응하는 연료전지 R&D 추진과 핵심기술의 국산화, 내재화 등 기술고도화 지원도 요구됨

○ 시장과 산업의 성숙도에 따라 성숙한 분야는 보급·확산 중심, 요원한 분야는 핵심기술 개발 전략을 중심으로 정책 전개 필요

7. 해수담수화

가. 요약 및 정리

□ 전 세계 물 수요의 지속적인 증가와 가용수자원 고갈의 심화로 물 안보를 위한 대체수자원 개발 및 담수화 기술 확보의 중요성 확대

○ 지구상의 무한한 수자원인 해수뿐만 아니라, 처리 후 하천으로 방류되는 하수의 재이용 등 대체수자원 활용을 위한 담수화 기술 주목

○ 인구 증가에 따른 용수수요 확대, 하·폐수 재이용 강화 및 선진국의 물-에너지 인프라 재투자 등을 계기로 수자원 개발을 위한 담수화 기술수요 증가 전망

□ 해수담수화 기술은 핵심 소재와 공정기술의 발전으로 에너지 비용을 획기적으로 감소하였으나, 여전히 높은 에너지 비용이 한계점으로 작용

○ 증발법 위주에서 분리막을 이용한 RO 방식으로의 전환과 더불어 차세대 담수화 기술(FO, PRO, CDI, MD) 및 신재생에너지—담수화 융합 플랜트 등 개발 중

○ 해수담수화 기술의 시장진입 장벽이었던 높은 에너지 소모량은 대폭 감소하였으나, 여전히 높은 에너지 집약도가 기술 적용의 큰 이슈로 작용

□ 해수담수화 플랜트 시장에서 O&M이 차지하는 비중이 커지고 있으며, 물재이용, 농축수 처리 등 담수화 기술의 적용처 확대·세분화 추세

○ 해수담수화 시장의 67.4%를 운영비용(OPEX)가 차지하는 등 O&M의 비중이 커지고 있으며, 건설 및 운영의 토탈 솔루션을 보유한 선진 물 기업들의 높은 점유율 차지

○ 대형 플랜트 사업은 정부발주형 위주에서 민간자본을 활용한 투자개발형으로 발주형태가 전환되고 있어, 금융조달 및 플랜트 운영능력을 보유한 기업의 경쟁우위 강화 추세

○ 해수담수화뿐만 아니라 하수재이용, 농축수 처리 및 산업용수 시장으로 담수화 기술 적용처가 확대되고 있으며, 공정 목적에 따라 기술이 세분화되는 추세

○ 글로벌 담수화 시장의 운영·관리 측면이 강화되고 있는 한편, 국내 시장의 제한적 규모와 수용성 문제는 수출 관련 기업들의 운영실적 확보를 어렵게 하는 요소로 작용

□ 각국에서는 수자원 개발 및 관리의 중요성을 인식하고 저탄소 해수담수화 기술개발 및 취수원 다각화 정책 추진

○ 국제 사회는 해수담수화 플랜트의 탄소 배출량 감소를 위한 기술협력 도모 및 수자원 다각화 정책을 통해 수자원 개발·관리 노력

- 국제담수화협회(IDA)는 저탄소 해수담수화 기술 개발을 위한 GCWDA 발족하였으며, 주요 국가에서는 국가전략 프로젝트로 해수담수화 기술개발 프로그램을 추진

○ 우리나라는 물관리 일원화를 통해 통합 물관리 개념을 도입, 해수담수화와 물재이용 활성화 등을 포괄하는 유망 융복합 물산업 육성 전략을 수립

□ 정부는 국토교통부 주도로 RO 기술 고도화 및 차세대 담수화 기술 개발을 위한 해수담수화 플랜트 연구를 지원

○ 정부는 국토교통부('18년 이후, 환경부) 중심으로 해수담수화 플랜트 연구를 지원하였으며, 최근 신재생에너지-해수담수화 융합플랜트 및 선박담수화 기술개발 등 추진 중

○ 해수담수화 플랜트 분야의 효율적인 연구와 및 산업경쟁력 강화를 위해, 물산업 가치사슬을 고려한 부처간 역할 분담과 연계·협력의 중요성이 강조

나. 시사점

□ 글로벌 시장에서 경쟁력을 확보할 수 있도록 저탄소 및 친환경 담수화 플랜트 기술에 대한 R&D 투자 필요

○ RO 공정에 더 높은 에너지 효율이 요구되는 한편 신재생에너지 융합에 대한 수요가 증가하고 있으므로, 물-에너지 분야간 기술 협력을 통한 한국형 모델 개발 추진

○ 용수시장의 수요가 다양화 및 세분화되고 있음을 주목하여, 차세대 담수화 기술의 실증화 연구를 지원하고 국내 기업의 새로운 시장 창출 지원

○ 농축수 처리기술은 개발에는 오랜 시간이 걸리지만 기술 획득 시 파급효과가 매우 클 것으로 예상되는 기술로, 한계돌파형 기술개발을 위해 중장기적인 연구 필요

□ 기업들의 운영·관리기술 역량 축적을 위해 정부는 기업의 활동 여건을 조성하고 부담을 줄이는 R&D 지원방안 마련

○ 최근 해수담수화 시장은 운영·관리 측면의 엔지니어링 기술이 강조되고 있어 장기간 실적을 확보하고 신기술을 검증할 수 있는 테스트베드 건설·운영 지원 필요

- 테스트베드 건설 부지 확보 및 수요처 발굴을 위한 정부의 마중물 역할이 요구됨

○ 구축된 테스트베드가 지속 운전되어 신기술을 평가·검증할 수 있도록, 담수화 플랜트 물 생산단가에 대한 보조금 도입 등을 검토할 필요

□ 고부가가치 소재·부품 분야의 국내 물산업 경쟁력 강화 위한 다각적 노력 필요

○ 국내 실정에 맞는 상·하수도 사업의 구조 개편을 통해 스마트 물관리 기술 적용, 수처리 신기술 도입 등 내수시장 활성화를 통한 물산업 기반 강화 노력을 병행할 필요

- R&D로 개발에 성공한 기술을 지자체 및 공공기관의 상·하수도 시설에 도입하여 국내 물관련 기술·제품이 운영 실적을 확보할 수 있도록 지원

○ 담수화 분야의 경우, 하수재이용 시장 및 산업용수 시장을 중심으로 중소기업들의 핵심 소재·부품 국산화 R&D를 지원하여 기업들의 역량 확보를 촉진

□ 단순 양적 확보 차원이 아닌 '미래 수자원 안정성 확보'라는 인식 전환으로, 국내 용수공급 모델의 다양화를 검토할 필요

○ 물 위기를 결정짓는 다양한 요소를 재평가하고 안정적인 용수공급 기술로서의 담수화 기술의 성공모델 개발 및 확산 필요

- 일부 지역의 만성적 가뭄과 미래의 물 문제 대응을 위해 용수공급 모델을 다양화하여, 담수화 기술을 포함한 수처리 분야 신기술의 시장진입 기회 창출 필요
- 지역별 사건 발생(인적 오류, 자연재해 등)에 따른 우리나라 수도공급 모델의 회복력을 평가하고, 사회적 갈등을 최소화하는 문제 해결 관점에서 다양한 수처리 모델 평가

8. 백신 플랫폼 기술

가. 요약 및 정리

□ 감염병 위기에 신속하게 대응하기 위한 백신 플랫폼 기술 개발 필요성이 최근 강조되고 있음

○ 인류 역사와 함께 시작되어 끊임없이 발생하는 신·변종 감염병은 인구이동의 증가와 도시화, 야생동물 서식지 파괴 등으로 그 파급효과가 확대

○ 신·변종 감염병 발생 시 짧은 시간 내에 전 세계 모든 국가로 전파되어 단기간에 백신을 개발하고 대규모로 생산·공급할 필요성이 높아짐

○ 백신 개발 시 다양한 플랫폼 기술을 보유한 경우 다각적인 접근을 통해 실패 위험을 줄이고 개발전략에 유연성을 부여 가능

- 백신 플랫폼 기술이란 특정 항원이나 유전정보만 바꾸면 새로운 병원체에 대해 백신을 개발할 수 있는 기반기술을 의미
- 특정한 백신기술이 유사한 종류의 다른 감염체 관련 백신개발에도 적용 가능한 경우 넓은 의미에서 이를 백신 플랫폼 기술로 볼 수 있음
- 백신은 사용하는 항원의 종류 등에 따라 다양한 형태가 존재하며, 각각이 일정부분 장단점이 있고 동일한 질병에 대해서도 여러 종류의 백신 적용이 가능

□ 코로나19의 전 세계적인 팬데믹 상황에서 백신 개발 기간을 단축하기 위한 국제적인 노력과 각국의 경쟁이 어느 시기보다 치열하였음

○ 미국은 초기 방역에서의 실패에도 불구, DARPA 등을 통한 mRNA 백신 플랫폼에 대한 투자 등 혁신적인 연구와 민간기업의 높은 역량을 바탕으로 백신개발 관련 경쟁에서 선두

○ 화이자, 모더나 등 mRNA 백신이 2020년 12월에 FDA 긴급사용승인을 받고, 현재 미국, 유럽에서 개발한 다수의 백신이 대규모 접종에 들어간 반면 우리나라에서 개발 중인 백신은 '21.4월 기준 모두 1상 또는 1·2상 단계로 해외와의 기술격차가 존재

○ 백신시장의 성장 가능성은 높으나, 대규모 임상3상 등으로 인한 높은 개발비용과 감염병 대유행 소멸에 따른 수요 감소 우려 등으로 글로벌 기업의 독과점 시장화

○ 전 세계 인류가 코로나19 백신 접종 대상이 됨에 따라 천문학적인 수요가 발생하여 파이프라인 보유 여부에 따라 기존 백신 글로벌 시장에서 일부 기업 순위의 재편이 예상되며, 코로나19의 토착화 및 변이발생 등에 따라 수요는 당분간 꾸준히 높을 것으로 예상

- 코로나19로 인해 기존 소수 기업이 독점하고 있던 백신 시장에도 많은 변화가 예상되며, 특히 각국의 정책적 지원과 민간의 투자가 지속될 것으로 예상

○ 우리나라도 글로벌 대비 개발 속도 면에서 다소 뒤쳐져 있으나, 정부의 강한 의지로 끝까지 개발에 성공할 경우 개발 경험과 플랫폼 기술 축적에 따라 향후에도 감염병 위기 시 대응에 큰 도움이 될 것으로 기대

□ **코로나19 상황에서 DNA, mRNA 백신과 바이러스벡터 백신 등 3세대 유전자 백신 기술이 크게 부각됨**

○ 3세대 유전자 백신은 항원 단백질을 직접 투여하지 않고 그것의 유전정보를 기록한 DNA, mRNA 등 유전물질을 세포에 주입하는 기술

○ 유전자 백신 중에서도 DNA, mRNA 등 핵산 백신은 복잡한 단백질 제조공정 대비 생산이 쉽고 염기서열 변경을 통해 신·변종 감염병에 빠르게 대응 가능하여 개발기간 단축이 가능함

○ 유전자 백신 개발을 위한 유전자 안정화 및 전달체 기술 등은 감염병 백신 뿐만 아니라 암백신 및 유전질환에 대한 유전자치료 등 향후 적용 가능한 분야가 매우 넓을 것으로 기대

○ 그러나 안전성이 확립된 기술인 종래의 생백신 및 전병원체 사백신도 여전히 활용되고 있어 특정 플랫폼에 집중하기보다 다양한 플랫폼에 대한 원천기술 확보가 필요

□ **우리나라는 백신 플랫폼 개발 규모가 최근 큰 폭으로 증가했으며, 특히 국제협력 등을 통한 민간 연구기관에 대한 지원이 활성화**

○ 2018~2019년 산업부의 '창의산업기술개발기반구축'을 통한 실증지원센터 예산이 급증하였고, 국제기구인 글로벌헬스기술연구기금, 국제백신연구소 등에 대한 지원도 증가

○ 최근 5년 간(2015~2019년) 가장 많은 예산을 투입한 백신 플랫폼은 아단위 백신(단백질재조합 백신)이고, DNA 백신이 그 뒤를 이으나 RNA 백신, 바이러스벡터 백신 등에 대한 투자는 많지 않았음

○ 백신 플랫폼 연구의 특성상 전체 예산의 43.8%는 특정 질환을 대상으로 하지 않고, 감염병의 종류가 매우 다양하여 각각의 감염병에 대한 투자는 코로나 바이러스, 인플루엔자 바이러스를 제외하고는 미미한 수준임

□ 미국은 DARPA 등을 통해 도전적인 백신 플랫폼 연구에 장기 지원함으로써 백신 기술 관련 선도국 입지를 굳히고 있으며, 우리나라도 백신 주권과 향후 관련 산업의 성장을 위해 전략적인 투자를 확대하고 있음

나. 시사점

□ 신변종 감염병 팬데믹 상황에서 전 세계 인구집단 전체에 대한 집단면역(Herd Immunity)을 조속히 확보하기 위해서는 초단기·대규모 백신 물량 확보·공급이 필요

○ 신·변종 감염병의 확진자 및 사망자를 획기적으로 감소시키고, 팬데믹을 방지 또는 조기 종식하려면 신속하게 백신을 개발하여 대량 예방접종함으로써 집단면역을 확보하는 전략이 가장 효과적

○ 인플루엔자 바이러스, 코로나 바이러스, 레오바이러스, 레트로바이러스 등 RNA를 유전자로 갖는 바이러스는 유전적 불안정성으로 인해 변이가 생기는 속도가 빨라, 기존 항원으로 만든 백신의 효능이 미치지 못하는 경우가 많음

○ 뿐만 아니라, 수요량의 변동성이 큰 백신 특성상 전 세계 동시 집단면역 달성에 필요한 막대한 양의 백신 생산라인을 단기간에 확보하고, 변이 발생 시마다 그에 맞도록 변경하기 어려움

○ 미국, 유럽 등 백신 선진국의 자국 우선주의에 의해 초기에 백신 수급에 국가별 불균형이 있을 수밖에 없는 구조이며, 이는 인구가 과밀한 저개발 국가에서의 변이 발생으로 인한 팬데믹 상황 악화를 가져올 우려가 높음

□ 신·변종 감염병의 피해를 줄이고 단기간에 백신 개발 및 생산에 들어가기 위해 mRNA 백신을 포함한 새로운 백신 플랫폼 기술 고도화에 지속적인 투자 필요

○ 신·변종 감염병에 대응하기 위해서는 백신의 개발기간을 단축하거나 효능을 높이기 위한 플랫폼 기술에서 계속적인 기술혁신이 중요

○ mRNA 백신의 경우 초저온(화이자 -70도, 모더나 -20도)이 필요하고, 바이러스벡터 백신은 벡터 자체에 대한 면역을 발생시킬 우려가 있는 등 현재의 백신 플랫폼에도 기술적인 한계와 장애요인이 존재하며, 백신 선도국의 특허 장벽도 높음

○ 백신 개발기간 단축뿐만 아니라 안전성, 생산효율성, 보관 및 운송 용이성, 접종 방식의 편리함 등을 개선하기 위한 기존 플랫폼 개선 및 새로운 플랫폼 기술 발굴이 필요

○ 하나의 바이러스에 대한 플랫폼 기술을 확보하면 계통학적으로 유사한 새로운 바이러스에 대해서도 백신 개발을 가속화할 수 있음

9. 대형연구시설 구축 - 중이온가속기를 중심으로

가. 요약 및 정리

□ 우리나라는 세계 최초로 ISOL과 IF 방식을 결합한 중이온가속기 RAON의 구축을 추진하고 있으며, 구축과정에서 중이온가속기 핵심기술인 이온 가속기술 및 RI 생성기술 관련 장치 일부의 국산화에 성공*하였음

* 대형 초전도 가속관 및 RI 생성·분리에 필요한 고온 초전도 전자석 개발 등

□ 해외에서는 중장기적인 관점에서 대형연구시설 관련 계획을 수립·관리하고 있으며, 미국 에너지부(DOE)는 선행R&D 지원과 설계단계를 고려한 Critical Decision(CD)의 의무적용 등을 통해 대형연구시설 구축사업을 안정적으로 추진하고 있음

○ 미국, 유럽, 일본 등은 자문위원회 등을 통해 연구 현장의 대형연구시설 구축 수요를 확인·반영하여 구축 계획을 주기적으로 수립·업데이트하고 있음

○ 미국 중이온가속기 FRIB 구축 프로젝트는 CD 절차의 적용 대상으로 총 비용 및 기간이 확정(CD-2 승인, '13.8.)된 이후 현재까지 계획변경 없이 안정적으로 추진되고 있으며, 독일 중이온가속기 FAIR 구축 프로젝트는 사업비 증가 등의 계획변경이 수차례 발생

○ 미국 DOE는 Major Items of Equipment(MIE)를 통해 필요 시 본격적인 구축 시작 전에 선행R&D를 지원, 개념설계 단계의 불확실성을 반영하여 CD-0,1 단계에서 총 프로젝트 비용의 범위를 평가, 총 비용 규모에 따라 CD 결정권자를 다르게 설정하고 있음

- 또한 구축과정에서 생성되는 자료들의 체계적 수집·평가 등을 통해 사업관리 경험·노하우를 체계적으로 자산화하고 있음

□ 우리나라에는 지속적으로 관리되고 있는 로드맵이 없고, 불확실성이 높은 R&D를 구축사업에 포함, 예비타당성조사(예타)를 통해 설계가 성숙되지 않은 개념설계 완료 단계에서 총 사업비 및 기간 등을 확정하고 있음

○ 2010년, 2012년에 수립된 '국가대형연구시설구축지도'의 업데이트와 이행여부 파악 등은 진행되고 있지 않고, 연구현장의 의견을 지속적·주기적으로 확인·반영할 수 있는 공식적인 체계나 절차는 없는 것으로 파악됨

○ RAON 구축 사업은 당초 2017년 완공이 목표였으나 핵심장치의 R&D 지연 등으로 인해 완공시기, 구축범위 등이 여러 차례 변경되었음

- 대형연구시설구축사업에 리스크가 높은 R&D를 포함, 설계가 성숙되지 않은 상태에서 총 사업비 및 기간을 확정하는 것은 빈번한 사업계획 변경을 유발할 수 있음

○ 대형연구시설 구축과정에서 생성되는 자료들이 산발적으로 관리되어 사업관리 경험·노하우가 체계적으로 축적되고 있지 않음

□ 2021년 4월 우리나라 정부는 '대형연구시설구축 내실화를 위한 사업추진 개선 방안' 수립을 통해 R&D 및 설계 미성숙 단계의 불확실성을 반영한 개선점*과 구축과정에서 생성되는 자료의 체계적 관리 및 경험 축적을 위한 방안** 등을 제시

* R&D가 포함되어 불확실성이 높은 구축사업 대상의 표준절차를 수립·적용하고, 설계 적정성검토 결과에 따른 사업계획 변경 절차의 공식화와 총사업비의 15% 미만 증액의 경우 적극 반영

** '(가칭)대형연구시설구축지원센터'와 협의체 운영을 통한 사업관리 문서 취합 및 경험 공유 등

나. 시사점

□ 대형연구시설구축사업의 안정적 추진을 위해 본격적인 구축에 앞서 개발 리스크가 큰 핵심장치·기술의 선행R&D 지원 필요

○ 최근 발표된 개선방안에서 핵심장치·기술의 R&D 및 설계 미성숙 단계의 불확실성을 인정하여 설계 단계 검토 결과에 따른 사업계획변경 절차를 공식화하는 내용이 제시되었으나 R&D의 리스크를 선제적으로 줄일 수 있는 방안은 제시되지 않았음

○ R&D로 인한 대형연구시설구축사업의 리스크를 근본적으로 줄이기 위해서는 미국 DOE와 같이 필요 시 본격적인 구축사업 추진 이전에 선행R&D를 지원해야 함

○ 이를 위해 국가 차원의 중장기계획을 수립·관리하여 관계자·비관계자 모두 납득 가능한 선행R&D 지원 후보풀을 도출, 미국의 MIE와 같이 공식적인 선행R&D 지원 트랙 마련 등이 필요

□ 대형연구시설의 전략적 구축을 위해 연구현장의 수요를 반영한 국가 차원의 중장기 로드맵 수립 및 지속적 관리 필요

○ 국가 차원의 중장기 계획·로드맵은 향후 10년 이상을 전망하는 계획인 만큼 내·외부 환경변화에 따라 지속적·주기적으로 수정되어야 하며, 이때 수요자이자 수혜자인 연구현장의 의견이 반영되어야 함

○ 학회, 유관기관 등을 통해 대형연구시설 구축에 대한 연구현장의 수요를 확인하여 구축 후보를 도출, '(가칭)대형연구시설전문위원회' 등을 통해 종합적·과학적 관점에서 우선순위를 검토하여 주기적으로 중장기 로드맵을 수립·업데이트하는 등의 체계 마련 필요

□ 대형연구시설구축사업의 총 사업비 규모에 따라 차별화된 검토 및 절차의 방안 도입 고려 필요

○ 대형연구시설구축사업은 수백억 원에서 수조 원에 이르기까지 규모가 광범위함에도 불구하고, 우리나라의 경우 총사업비 500억 원, 국고지원 300억 원 이상의 모든 구축사업에는 동일한 예타 절차가 적용되고 있음

○ 미국 DOE는 총 프로젝트 비용 규모에 따라 사업을 구분하고 규모가 큰 사업에는 더 높은 직위의 관계자에게 CD 승인권한을 부여하는 등 규모에 따라 차별화된 검토를 진행하고 있음

○ 우리나라도 예타 추진 시 프로젝트 규모에 따라 최종 결정권자를 다르게 설정, 대규모 사업 예타 시 확정된 예산이 아닌 예산의 범위를 검토하거나 예타 기간을 장기로 설정하는 등 대규모 구축사업의 경우 차별화된 검토·절차 마련

□ 정부 주도의 대형연구시설구축사업에 참여함으로써 역량이 제고된 기업이 확보 기술을 활용하여 우리나라 산업 성장에 직·간접적으로 기여한 효과 추적 필요

○ 대형연구시설구축을 통해 국가 차원에서 확보·국산화해야 할 기술·장치를 결정할 때 과학적·경제적 파급효과, 참여 기업체들의 향후 역량유지 및 확장가능성 등을 고려한 전략적 접근이 요구됨

○ 정부 주도의 핵심장치·기술 국산화 과정에서 기술역량이 제고된 기업체가 확보기술을 활용하여 어느 정도의 과학적·경제적 파급효과를 창출하는지 모니터링하고, 홍보 및 향후 신규 대형연구시설구축사업 기획 시 참고자료로 활용할 필요

10. 안티드론

가. 요약 및 정리

□ 테러, 군사목적 등 불법행위 목적의 드론 사용에 대한 우려가 심화되어 이를 막기 위한 안티드론 기술이 각광을 받아 필요성이 대두되고 있음

○ 안티드론은 크게 드론 탐지 및 (피아)식별과 드론 무력화 기술로 분류할 수 있고, 무력화 기술은 다시 물리적으로 격추 또는 포획하는 Hard Kill과 재밍·스푸핑을 이용해 비행불능을 이끄는 Soft Kill로 구분

- (탐지) 각 센서가 장·단점을 가져 여러 이종·동종 센서를 복합 운용하여 높은 탐지 확률을 확보
- (무력화) 드론 추락에 따른 2차 피해를 감안하여 상황에 따른 무력화 대처가 필요

○ 국외 방산기업은 기존 방공시스템을 개선하여 군사 용도로 탐지·식별·무력화 통합 안티드론 시스템을 개발하고 있으며 非방산 중소기업 및 기술창업 회사도 역량을 살려 국가 주요시설(공항, 항만, 원전 등) 방어를 위한 제품 출시

- 국내 기업은 탐지·식별·무력화에 대한 단품을 개발 판매하는 형태로 통합 솔루션 개발 필요

□ 자율 운행, 군집 운용 등 드론 기술이 고도화됨에 따라 탐지·식별·무력화의 안티드론 기술이 입체·복합적으로 필요하고 이를 뛰어넘는 불법 드론이 개발되는 등 경쟁적으로 진화

○ 인공지능을 이용한 영상기반 자율 운행 군집 드론을 이용한 불법행위는 매우 위협적으로 국가 주요시설 및 주요 행사에서 상황별로 이를 방어할 안티드론 체계가 필요

□ 미국·EU 등 주요국은 불법드론으로부터 국가 주요시설을 보호할 수 있는 법적 근거를 마련하였고 우리나라도 「전파법」과 「공항시설법」을 개정해 불법드론을 퇴치·포획 가능

○ 미국은 연방 경찰의 불법드론 대응 지침을 마련하였고, EU 및 동아시아 국가도 주요시설 주변드론 비행 금지와 드론 운영자를 식별할 수 있는 불법드론 대응 법안 마련

□ 미국은 DARPA 등 국방부, 독일은 교통부를 중심으로 프로젝트를 진행하여 투자하고, 우리나라는 국방과 非국방R&D 모두 투자하여 연구개발 진행

○ 그간 대학 및 ADD, ETRI, 항우연 등 정부 연구소에서 쌓은 기술력을 바탕으로 방위사업청(국방)과 다부처사업(非국방)으로 개발연구가 활발히 진행 중으로 참여 업체들의 기술 국산화 전망

나. 시사점

□ 드론의 위협이 물리적 영역에서 사이버 영역으로 확장하고 있으며 이에 대한 연구가 활발히 진행 중으로 국내 관련자의 관심 및 선제적 대응방안 마련

○ 드론에 폭발물을 싣거나 드론 자체로 타격하는 물리적 위협 영역에서 드론으로 접근하여 데이터를 수집하거나 보호되지 않은 WiFi, 사물인터넷 네트워크를 감염 공격 등 사이버 영역으로 확장됨

□ 기술 상용화 및 해외시장 개척을 위해 ADD 및 출연연이 기업에 기술이전·지원을 원활하게 할 수 있어야 하고 실증 데이터 축적·검증을 위한 인프라 개방

○ 정부 연구비를 활용하여 기 연구된 기초·응용연구 성과를 활용하여 기술창업을 유도하고 기업에 기술이전을 돕는 사업을 추진하는 등 연구소의 기술을 상용화·국산화하여 국내·외 시장 개척 유도

○ 국방 및 非국방 안티드론 시스템 모두 국가 안보를 목적으로 하므로 민간 및 非국방 안티드론 체계의 검증을 위해 군 시험 평가장을 개방하고 안티드론 시험평가를 위한 표적기에 대한 지원 사업 필요

□ 제12차 국가테러대책위원회에도 중요성이 언급[42]되었으나 국내·외적으로 표준화된 인증이 없으므로, 국산 기술 개발 R&D 성과물을 기반으로 국제 표준 기술·지침·활동 필요

○ 탐지 및 무력화의 국내·외적인 표준화 인증이 없으므로, 기술 고도화 및 국산화를 통한 성과물을 기반으로 국제 표준을 획득 할 수 있는 활동 필요

□ 드론 신고제에 대하여 홍보 및 교육이, 드론 유형에 따라 국가 드론교통관제체계(UTM)와 통신이 가능한 전자식별 체계 의무화가 필요하고 불법드론 적발 시 조치해야 하는 행정절차 통합 및 간소화

○ 드론 기체 신고 후 신고번호를 기체에 부착하도록 되었지만 잘 지켜지지 않아 드론운용자에 교육을 강화할 필요가 있으며, 상업용 드론이나 일정중량 이상의 드론에 대하여 전자식별 응답을 의무화하여 드론교통관제체계와의 통신으로 식별체계를 완성할 필요

○ 불법드론 적발 시 경찰은 불법 조종자의 인적사항, 위반사항 확인서 등을 지역 지방항공청에 통보하고, 형사 처분 사항에 한정하여 사건 접수를 진행 중이므로 이원화된 관리·담당 기관과 시스템을 연계·통합·간소화 제안[43]

42) 대한민국 정책브리핑(2021.01.29.). "제12차 국가테러대책위원회, 국가중요시설 드론탐지·차단 장비를 단계적으로 도입하고 국내 안티드론기술 개발 및 국가표준 제정을 추진 하겠습니다".
43) 이재원(2021.2).「국가 중요시설 보호를 위한 안티드론 시스템 연구 : 드론테러 방어체계의 개선방안을 중심으로」.

□ 안티드론 시스템 구축은 불법드론으로부터 국가 주요시설을 방호하기 위해 필수적이므로 안티드론 기술사용을 폭넓게 허가하되 요격 기준 및 2차 피해 보상 등 법제도 구체화

○ 비행금지구역 내에서도 드론 요격 불가 구역(민간 피해 가능 구역)과 가능 구역을 구별하여 불가 구역에서는 평시 우선적으로 2차 피해 우려가 없는 방식*으로 무력화 필요

* 드론 네트건, 맹금류 등의 Hard-kill 방식이나 스푸핑, 조종권 탈취의 Soft-kill 방식

○ 드론의 추락으로 인해 민간이 피해를 받게 되면 민·형사상 소송은 피할 수 없으므로 야기될 수 있는 다양한 유형의 사고의 대책과 법적 책임 분석 및 제도 필요

○ Soft-kill의 경우 높은 출력의 주파수 대역의 교란 신호를 방사하는 것도 민간에 피해를 줄 수 있으므로 송출시간, 신호 출력, 운용 장소 등에 대해 체계적 제도 협의가 필요

11. 감염병 진단기술

가. 요약 및 정리

□ 감염병 재난에 효과적으로 대응하기 위한 첫 단계로 '신속하고 정확한 진단'을 위한 기술 개발의 필요성이 강조되고 있음

○ 팬더믹한 신종 감염병 발생 시 막대한 경제적·사회적 피해를 유발하므로, 선제적 진단을 통한 조기 격리가 초기 방역에 매우 중요

□ 감염병 진단기술은 전통적으로 활용해 왔던 병원체의 동정, 분자진단·면역진단 기술에 IT, NT 등을 접목함으로써 민감도와 작업 효율성을 높이고, 현장 적용이 가능한 다중 검출시스템을 개발하는 방향으로 발전하고 있음

○ 미세유체 시스템과의 접목으로 소형화, 집적화가 이루어지고, 크리스퍼(CRISPR) 기술을 활용해 빠른 시간 내 유전자 정보를 탐색하는 등 다양한 기술과의 융합이 이루어짐

○ 또한, ICT 기술과의 융합으로 AI기반의 진단 알고리즘을 적용한 영상진단 및 감염병 발생 예측 기술 등이 진단에 보조적으로 활용되고 있음

□ 코로나19의 전 세계적인 확산으로 WHO와 주요국들에서 긴급사용승인제도를 시행하며 코로나19 진단기기의 시장 진입을 허용하였고, 국내에서도 다양한 정책을 통해 진단기술 개발 및 관련 산업 활성화를 촉진

○ 미국은 진단기기, 인공호흡기 등 필수 의료기기를 긴급사용승인제도 품목으로 지정하여 미국 시장에 신속한 접근이 허용되었음

○ 코로나19 전파 초기 미국 FDA가 CDC에서 개발한 진단기기만을 승인한 것과는 대조적으로 우리나라는 신속한 승인을 약속하며 민간의 제품개발을 독려함으로써 진단기기의 빠른 개발과 대규모 생산이 가능하였고, 전 세계 170여 개국에 수출되는 등 신규 수출 시장을 창출

□ 감염병 진단기술 개발에 대한 정부투자 규모는 점차 증가하고 있으며, 타 분야 대비 민간의 연구개발 참여가 활발

○ 진단 고도화 기술과 진단 플랫폼 기술에 대한 투자는 매년 80%이상으로 나타났고, 기반성 연구에 속하는 병원체 자원 확보 및 분석기술(5.7%), 성능평가기술(11.0%)의 경우 상대적으로 투입이 적었음

○ 산업계가 참여한 비중은 전체의 38.4%로 학계(35.2%), 연구계(19.9%)를 모두 앞질렀고, 연구개발단계 중 개발단계가 차지하는 비중(48.5%)이 가장 높게 나타나 '진단기술'을 '진단기기'로 제품화하려는 연구개발 활동이 활발한 것으로 파악됨

나. 시사점

□ 우리나라의 감염병 진단기술은 메르스(MERS) 사태 이후 큰 발전을 이루었지만, 지속적인 기반 역량 강화를 위한 충분한 투자와 민간의 참여를 유인할 동력이 필요

○ 진단기기 제품화 과정은 백신·치료제 개발에 비하여 단기간, 저비용이 소요되기 때문에, 바이오분야 대형 기업이 부족한 우리나라가 접근하기에 비교적 수월한 분야임

○ 코로나19 팬더믹을 겪는 동안 우리나라 진단기기의 수출실적이 높게 나타나 국내 진단기술 수준이 발전하였음을 간접적으로 확인할 수 있으나, 대체 불가능하거나 기술격차가 큰 분야가 아니므로 지속적인 기술 고도화가 요구됨

○ 신·변종 감염병에 대한 초기 방역 대응을 위하여 현장적용·동시다중·신속검출·자동화 등 고효율 진단을 위한 플랫폼 기술의 지속적 혁신을 통해 미충족 수요 분야의 선점이 요구됨

○ 진단용 필수 소재·부품·장비(핵산추출키트, 형광시약, 유전자증폭장비 등)의 수입의존도가 여전히 높으므로, 국산화를 위한 연구개발 투자 확대 필요

□ 감염병 진단 부문의 상위 4개 부처는 주요 연구수행주체와 수행주체별 점유 비중에 차이는 있지만 모두 산업계를 지원하고 있으므로, 각 부처가 담당한 역할과 지원과제의 특성을 감안하여 기업 지원이 이루어질 필요가 있음

○ 복지부와 과기부가 감염병 진단 부문에 투입한 정부연구비의 약 20%가 산업계로 투입되었고 이는 산업부와 중기부의 기업지원 내용과 큰 차별성이 확인되지 않으므로, 부처별 지원 과제의 특성을 반영한 기업 지원 방안 마련이 필요

□ 국가 표준품 제작 및 선제적인 평가시스템 구축으로 진단 검사법을 표준화함으로써 감염병 대응 체계 강화 필요

○ 유행할 가능성이 큰 병원체에 대한 '표준물질'을 미리 갖추어 진단 평가법을 표준화하는 등 국가 표준품 제작 및 표준 평가시스템을 선제적으로 구축함으로써 감염병 재난에 신속한 대응이 필요

□ 차세대 진단 기술에 대한 평가·검증 기술 및 가이드라인의 개발이 신기술 개발 속도에 뒤처지지 않도록 규제과학 연구가 선제적으로 추진될 필요

○ 진단 기술의 개발 속도가 점차 가속화되고 다양한 분야 기술과의 융합이 활발하게 이루어지고 있으며, 치료제·백신 접종 이후 효능평가를 위한 모니터링 도구로써 진단기술·기기의 활용이 가능

○ 신개념 진단기술·기기를 평가·검증할 수 있는 기술 및 가이드라인 개발과 사용승인관련 제도가 선제적으로 준비될 수 있도록 규제과학 연구가 뒷받침되어야 함

□ 국내에 아직 유입되지 않은 병원체 자원이나 서열 정보를 신속히 확보하고, 빠르게 발생하는 변이에 대응하기 위해서는 적극적인 국제협력 활성화 필요

○ 긴급 상황 시 즉각적인 진단기술에의 활용과 백신, 치료제 등 개발을 위해 병원체 자원 확보의 관점에서 국내·외 협력 네트워크 활성화를 포함한 장기적인 전략이 필요

12. 철도신호시스템

가. 요약 및 정리

□ 우리나라는 2010년부터 철도신호시스템 국산화를 위한 기술개발을 추진하였으나, 국외 기술개발 시점보다 상당히 늦은 연구개발로 인해 상용화 및 시장진입이 쉽지 않은 상황

○ 국내 철도 운영기관은 신규 신호시스템의 안전성, 높은 성능 및 유지 보수성(시스템 내구연한과 부품 단종에 대한 우려) 등을 고려하여 외국에서 최신의 신호시스템을 지속 도입하여 사용

* 2010년 이후 적용 또는 선정(계획 포함)된 11개 도시철도 노선 중 9개 노선이 현재 최신의 외산 신호시스템인 CBTC를 채택

○ 국외 도시철도용 신호시스템(CBTC)의 경우 2003년에 이미 상용화되었지만, 국내의 경우 2014년에야 기술개발이 완료되었으며, 시범사업을 통한 검증이 완료되는 2021년 이후 상업 노선에 적용 예정

□ **철도 선진국들은 기존의 지상 관제시스템 중심의 열차제어 방식에서 열차 간 직접통신에 기반한 제어 방식으로 제어 패러다임을 바꾸는 연구를 활발히 진행 중이며, 향후 철도신호시스템의 근본적인 변화가 예상됨**

○ 현재의 지상 중심(wayside-centric) 제어로 인한 한계 극복을 위해 완전한 열차중심(train-centric)으로 제어 패러다임이 변화 중

○ 열차 간 주행 간격을 더욱 좁게 유지하고 궁극적으로 이동 중 결합과 분리함으로써 전통적인 열차 개념에서 탈피

○ 교착상태(deadlock) 발생 시 지능화된 열차 간의 직접적인 합의를 기반으로 경합 해소가 가능한 자율주행 철도시스템 개발 추진

□ **세계 철도신호시스템 분야 시장 규모는 약 19.8조 원으로 연평균 2.9% 성장 추세이며, 향후 열차 간 통신 기반의 자율주행 철도신호 시스템 시장이 지속 확대될 것으로 예상됨**

○ 자율주행 철도신호시스템은 제어의 주체가 지상이 아닌 차상으로 이동함으로써 높은 수준의 자동화 서비스를 제공하고 제어 흐름 단순화에 따라 수송력이 향상되고 설비 단순화로 운영 및 유지보수성 향상이 가능함

○ 현재 세계 철도신호 시장을 지배하고 있는 유럽은 시장 지배력 강화를 위해 2030년까지 LoA 3 수준의 열차의 군집운행(Platooning)과 가상연결(Virtual Coupling) 기술을 개발하는것을 목표로 로드맵을 제시하였으며 자율주행 철도신호 기술선점을 위한 대규모 프로젝트를 진행

○ 세계최초 LoA 2 수준의 열차 간 통신기반 철도신호시스템(Train-centric CBTC)을 개발한 Alstom은 '19년에 체결한 13개 노선의 계약 중 6개 노선을 신규 Train-centric CBTC 시스템으로 계약을 체결함에 따라 향후 시장에서 확산이 예상됨

□ **정부는 철도신호 시스템 국산화 및 철도산업 활성화를 위해 한국형 신호시스템 국산화 계획을 추진 중이며, 최근 5년간('16~'20) 철도신호 시스템 R&D에 투자된 정부 연구비는 약 922억원 규모**

○ 국토교통부는 한국형 신호시스템을 개발('10~'18)하고 "철도 신호통신시스템 국산화 계획(2017)"을 통해 철도 신호통신시스템 국산화·표준화를 추진

○ 철도신호시스템 R&D의 전체 투자액 중 한국철도기술연구원이 39.4%, 한국철도공사가 15.5%, 한국철도시설공단 9.0% 등 철도 관련 공공기관에 대부분 투입되었으며, 연구 개발단계는 개발연구(67.4%)가 큰 비중을 차지함

나. 시사점

□ 국가 철도망의 운영주권 확보 및 국산화를 위해 선진국 기술과 경쟁 가능한 차세대 철도신호시스템 개발 필요

○ 기존 지상 중심의 제어에서 완전한 열차 중심의 제어로 패러다임이 변화하고 있는 점을 고려하여, 향후 미래를 선도할 수 있는 차세대 자율주행 철도신호시스템 기술개발 추진 필요

□ 개발된 기술의 상용화와 향후 글로벌시장 진출을 위하여 연구개발 추진과 더불어 트랙 레코드를 확보하고, 국제적으로 통용되는 인증체계 수립도 함께 고려되어야 함

○ 철도신호시스템의 상용화를 위해서는 상업 운전 실적이 필수적으로 요구되는 점을 고려하여, 연구개발에 앞서 운영사의 요구사항을 반영한 트랙 레코드 확보 계획을 구체적으로 수립하는 방안을 고려해야 함

* KTCS-M의 경우, 이미 '14년에 연구개발을 완료하고, SIL(Safety Integrity Level)[44] 인증서 및 공인기관 시험성적서까지 확보하였으나 현재까지 미사용 중[45]이며, 사업화를 위한 별도의 시범사업을 추진 중

** 인도의 경우 공고일 기준 최근 10년 내에 관련 운영실적을 최소 한 건 이상 요구[46]하며, 말레이시아 쿠알라룸푸르와 싱가포르간 말싱 고속선의 경우 운영 기간 1년 요구[47]

□ 노선 간 연계 운행 및 신규 시스템과 기존 신호시스템의 상호 호환·운영이 가능하도록 표준규격 및 기술기준이 마련되어야 함

○ 철도신호 및 통신시스템에 대한 철도표준규격(KRS,Korean Railway Standards[48]), 정보통신단체표준(TTAS)과 함께 국토교통부 '철도 노선간 연계 운행을 위한 철도시설 기술기준'에 반영하는 방안 고려 필요정책 기획 시 집행까지 진행이 원활하다는 것도 베트남 행정체계의 특징임

44) 국제표준 IEC 61508, IEC 62278에 정의된 안전 무결성 수준. 가장 낮은 등급 SIL 0에서 가장 높은 등급 SIL 4까지 정의
45) 뉴데일리경제 (2020.8.11.) '한국형 무선통신기반 열차제어시스템(KRTCS)' 6년째 표류... 속타는 SI 업계.
46) 인도 칸푸르/아그라 메트로 (2019) CBTC 신호 공급 사업 RFP.
47) 국토부 (2018) 철도신호시스템 시범사업 계획.
48) https://krs.krri.re.kr/

13. 태양광 폐패널 재활용 기술

가. 요약 및 정리

□ 전 세계적으로 태양광 중심의 재생에너지 설비가 확산하면서 태양광 보급이 급증할 것이며, 이에 따라 태양광 폐패널의 발생 또한 급격하게 증가할 것으로 예상하며 처리 및 재활용 기술에 대한 수요가 증가함

○ 전 세계 태양광 설비용량은 2020년에 139GW 추가되면서 누적 설비용량이 760GW로 예상되고, 국내 태양광 설비용량도 2019년 기준으로 11.77GW 달성하였고 2050 탄소중립 추진전략 정책 목표 달성을 위해 지속해서 확대될 예정임

○ 태양광 폐패널 발생량은 2050년 기준으로 전 세계적으로 누적 7,800만 톤 예상되며, 국내 태양광 폐패널의 누적 발생량은 11만 5,250 톤으로 예상됨

□ 실리콘계 태양광 폐패널 재활용 기술개발 단계는 초기로 기술체계가 정립되지 않았으며, 국내외 주요국들은 유용자원 회수율 향상 및 박리 기술 관련 R&D 프로젝트 진행

○ 유럽과 일본은 태양광 폐패널 재활용 기술개발에 선두주자이며, 유럽은 원재료 회수율을 높이는 기술개발, 일본은 효율적이고 친환경적인 박리 기술개발 추진

○ 국내는 태양광 폐패널 재활용을 위한 기반 조성을 포함하여 수거 및 유용자원 회수 등 전 주기에 걸쳐 기술개발 프로젝트를 진행

□ 국내에서 태양광 폐패널은 2023년 1월부터 EPR 대상으로 포함될 예정인 가운데, 환경부는 재활용 관련 R&D 사업을 신규 추진하고 있음

○ 정부는「제1차 자원순환기본계획」에 따라 태양광 폐패널 회수・보관 체계를 구축하기 위해 '미래폐자원 거점 수거센터'를 추진

○ 2019년 환경부와 산업부의 태양광 폐패널의 EPR 도입을 위한 논의가 시작된 이후 정부 R&D 신규 사업 추진

나. 시사점

□ 국내 태양광 폐패널 재활용을 위한 기술체계 정립과 재활용과 재사용을 분류하여 처리할 수 있도록 적정처리기준을 마련해야 함

○ 폐패널의 회수 및 적정처리를 위해 제품 설계부터 재활용에 이르기까지 체계적으로 기술개발 단계 및 기술체계 정립이 완성되어야 하며, 이를 위해 태양광 폐패널에 대한 통계관리도 선행되어야 함

○ 현재 발생한 폐패널은 국내 재사용 인증기준의 부재로 동남아시아 등으로 수출되고 있어 국내 재사용 활성화를 위해 제품 안정성 기준이 마련되어야 함

○ 폐패널의 재사용과 재활용 기준이 부재한 상황에서 EPR 시행에 대한 산업계의 부담을 점진적으로 완화하기 위해 정부-민간 간의 협업체계를 통해 지속적인 논의가 필요

□ 향후 태양전지 종류별(화합물계, 유/무기계) 구성물질을 고려한 폐패널 재활용 기술 전략 마련 및 R&D 투자 필요

○ 태양광 에너지 기술개발 추세에 맞춰 발생하는 폐패널의 적정처리를 위해서는 장기적으로 폐패널 재활용 기술개발은 다양한 태양전지 구성물질이 고려되어야 함

□ 태양광 폐패널을 포함한 신규 발생 폐자원은 복합적인 구성물질로 이루어져 있어 재활용 기술개발을 위한 부처협업 필요

○ 신규 발생 폐자원은 유리, 금속, 화학물질 등 구성요소가 다양하여 R&D 추진 시 부처별 고유 역량을 고려하여 부처협업 필요

14. 해양플라스틱 쓰레기 저감 기술

가. 요약 및 정리

□ 해양플라스틱 쓰레기란 "해안을 포함하는 해양 환경 중에 버려져 잔존하는 고형의 유기합성수지(플라스틱)"로[49], 해양쓰레기 중 약 80%를 차지[50]

□ 동 브리프에서는 해양플라스틱 쓰레기 저감 관련 기술을 플라스틱 쓰레기의 해양 유입·분포 탐지, 해양 유입차단, 해양플라스틱 쓰레기의 수거 및 처리, 생태위해성 평가 기술로 분류하여 동향을 살펴봄

○ (플라스틱 쓰레기 해양 유입·분포 탐지) 중대형 플라스틱 쓰레기 원격 탐지, 수치모델을 이용한 해양쓰레기 유입 및 이동 예측 기술 등이 있음

49) GESAMP(2019).「Guidelines for the monitoring and assessment of plastic litter in the ocean」.
50) 관계부처 합동(2019).「해양플라스틱 저감 종합대책」.

○ (플라스틱 쓰레기 해양 유입차단) 육상에서 발생하는 플라스틱 쓰레기를 해양으로 유입되지 않도록 여과하는 기술과 하천·하구의 수거장치 개발 등이 있음

○ (해양플라스틱 쓰레기 수거 및 처리) 수면의 부유 플라스틱, 해변 플라스틱, 해저 침적 플라스틱 쓰레기를 수거하는 기술과 해양플라스틱 쓰레기 전처리 기술 등이 있음

○ (해양플라스틱 쓰레기 생태 위해성 평가) 중대형, 미세, 초미세 등 다양한 크기의 플라스틱이 해양환경과 해양생물에 미치는 영향을 규명하고 해양생태계에 미치는 위해성을 평가하는 기술 등이 있음

□ **해양플라스틱 쓰레기 감축을 위해 UN의 지속가능 발전 목표, G7 정상회의의 해양플라스틱 헌장, G20 정상회의의 오사카 블루오션 비전, P4G의 신남방 바다공동체 이니셔티브 등의 글로벌 정책 추진**

○ 국가별로도 관련 법률과 정책을 마련하여 해양플라스틱 쓰레기 저감을 위해 노력 중이며, 우리나라 또한 「해양관리법」, 「해양폐기물 및 해양오염퇴적물 관리법」, 「공유수면 관리 및 매립에 관한 법률」 등의 법률과 '제5차 해양환경종합계획', '제1차 해양폐기물 및 해양오염퇴적물 관리 기본계획', '해양플라스틱 저감 종합대책'을 발표

□ **지난 6년간('15~'20년) 해양플라스틱 쓰레기 저감 관련 정부 R&D 투자 규모는 총 220억 원이며 연평균 증가율은 72.8%**

○ (부처) 과기정통부, 교육부, 중기부, 해수부, 환경부 등 총 5개 부처에서 투자 중이며, 해수부의 투자 규모가 총 162억 원(73.9%)으로 가장 높게 나타남

※ 개별부처에서 해양플라스틱 쓰레기 저감 관련 연구를 추진 중이며, 다부처 협력을 통한 사업 추진은 아직까지 이루어지지 않고 있음

○ (연구개발단계) 기초연구 분야의 투자규모가 총 134억 원(60.9%)로 가장 높게 나타났으며, 해양 플라스틱 쓰레기 저감을 위한 기술개발사업('20년 착수)의 영향으로 '20년에는 개발연구 분야의 투자 급증

○ (연구수행주체) 출연연구소의 투자규모가 총 122억 원(55.7%)로 가장 높게 나타났으며, 한국해양과학기술원에서 수행 중인 과제의 투자규모가 가장 높게 나타남

○ (세부기술) '19년까지 생태 위해성 평가 분야에 가장 많은 투자가 이루어졌으나, 해양플라스틱 쓰레기 저감을 위한 기술개발사업('20년 착수)의 영향으로 수거 및 처리 분야의 투자 규모가 가장 높게 나타남(77억 원, 35.1%)

※ '15~'16년에는 생태 위해성 평가, 해양 유입·분포 탐지 분야에 투자가 집중되었으나, 점차 해양 유입차단, 수거 및 처리 분야에도 투자가 이루어지는 등 투자되는 분야가 다양해지고 있음

나. 시사점

□ 해수부 및 출연연구소 중심으로 해양플라스틱 쓰레기 저감을 위한 정부 R&D가 추진 중이며, 향후 다부처 사업의 추진 및 기업의 참여를 독려할 필요

○ 최근 6년간('15~'20) 부처별 투자규모를 살펴본 결과 해수부의 투자 규모가 총 162억 원(73.9%)으로 집중되어 있고, 수거 및 처리 분야와 생태 위해성 평가 분야에 투자가 집중되어 있으며, '20년까지 관련분야 다부처 협력 사업은 추진되지 않음

○ 해양플라스틱 쓰레기 저감을 위해서는 육상에서 발생한 플라스틱 쓰레기의 해양 유입을 차단하는 것 또한 중요하므로 육상 플라스틱 쓰레기 관리 소관부처(환경부)와 해양플라스틱 쓰레기 관리 소관부처(해수부) 간 협업과 기 창출된 성과를 부처 간 서로 공유할 필요

○ 최근 6년간('15~'20) 연구수행주체별 투자규모를 살펴본 결과 출연연구소의 투자 규모가 총 122억 원(55.7%)으로 가장 높은 반면 '20년까지 대기업 주관 과제는 추진되지 않음

※ '20년부터 해양 플라스틱 쓰레기 저감을 위한 기술개발사업('20년 착수)의 영향으로 중소기업 주관 투자 규모가 급증

□ 해양플라스틱 쓰레기 저감을 위한 정부 R&D 기획 및 정책마련 시 세부기술별로 지금까지의 추진 한계점 및 수요조사 결과 등에 기반한 추진 우선순위를 마련하여 제시할 필요

○ 과거 생태 위해성 평가 위주의 투자에서 점차 타 세부기술 분야에도 투자가 이루어지는 추세를 보이고 있고, '20년에는 수거 및 처리 분야 투자가 급증하였으나, 유입경로 분석, 해양 유입차단 분야의 투자 비중은 상대적으로 낮은 상황

○ 「제3차 해양쓰레기 관리 기본계획」과 같이 예방 중심의 관리 추진을 위해서는 해양플라스틱 쓰레기 저감을 위한 세부기술별 추진 현황을 분석하고 연구자 및 전문가 대상 수요조사를 통해 문제점을 파악하여 이를 해결하기 위한 기술개발이 이루어질 수 있도록 계획을 수립할 필요

□ 효과적인 해양플라스틱 쓰레기 저감을 위한 법률 및 정책 마련과 타 국가와의 정책적 협력뿐만 아니라 국제공동연구를 추진할 필요가 있음

○ 지난 6년간 국제공동연구 투자 규모는 총 1천 5백만 원(0.1%)에 불과하였으며, 해당 투자도 '15년에만 이루어짐

○ 해양플라스틱 쓰레기 저감을 위한 법률 및 정부 계획이 지속적으로 발표되고 있으며, 해양폐기물 대응센터 운영(2011년), 신남방 바다공동체 사무국 설치(2021년) 등 현재 우리나라는 해양 쓰레기 저감을 위해 노력 중이나, 향후 관련 연구를 장기간 수행해온 국가와의 공동연구도 추진할 필요

15. 감염병 방역기술

가. 요약 및 정리

□ 신·변종 감염병의 전 세계적 유행·확산이 반복되면서, 치료제/백신 개발에 앞서 인명·경제 피해를 최소화할 수 있는 유일한 수단으로써 감염병 방역기술의 중요성이 대두

○ 과학기술의 발달로 감염병 치료제/백신 개발 속도가 획기적으로 단축되었으나, 교역·교통의 발달로 감염병의 전파 속도 역시 빨라지면서 치료제/백신 개발·보급 전까지 감염병 확산을 차단할 수 있는 방역기술이 중요해짐

□ 감염병 방역기술은 감염병 발병·확산 이전의 예측·예방, 대비 기술과 확산 이후의 대응, 복구 기술로 구분되며, 바이오·ICT·AI·로봇 등 다양한 분야의 기술을 접목·융합하여 신기술 개발을 추진하고 있음

○ 예측·예방, 대비 기술은 ICT·AI 기술을 바탕으로 예측 모델, 긴급대응 시스템 등이 개발되고 있으며, 대응 기술은 바이오·AI·로봇 분야의 기술을 기반으로 인공지능 영상 진단, 방역 로봇, 확진자 추적 등의 기술이 개발됨

□ 코로나-19로 인해 감염병 방역기술 관련 산업이 크게 성장하였으며, 방역의 중요성이 증대된 만큼 관련 산업도 지속적으로 성장할 전망

○ 조기경보 시스템을 구축한 스타트업이 등장하였으며, 개인보호장비(마스크, 소독제 등)를 비롯하여 대형밀집시설에 필요한 방역 장비(열화상 카메라, 소독 로봇 등 소독 관련 기기)의 산업이 성장

○ 코로나-19 등 감염병의 영향으로 이동형 음압병동 및 음압챔버 등 환자격리 시장 수요가 대두됨에 따라 기업의 시장 진출이 일어나고 있음

□ 감염병 방역은 단순 국가 차원이 아닌 국제적으로 대응이 필요함에 따라 국제협력의 중요성이 강조되고 있으며, 주요국은 감염병에 대응하기 위한 정책을 주기적으로 수립·발표

○ WHO, GLoPID-R 등 국제적 차원에서 감염병에 대응하기 위한 정책·투자 계획이 발표·추진되고 있으며, 주요국에서도 감염병에 대응하기 위한 정책·투자 계획을 발표

○ 우리나라는 메르스 사태 이후 감염병 방역체계를 개편하고 코로나-19 대응을 통해 K-방역 모델을 수립하였으며, 「국가 감염병 위기대응 기술개발 추진전략」에 근거를 두고 감염병 위기대응에 필요한 기술개발을 추진

□ **전체 감염병(전염병과 비전염병 포함) 방역기술 R&D에 대한 정부투자는 꾸준히 증가하고 있으며, 인체 대상의 감염병 방역기술 중에서 예측·예방 기술에 대한 정부투자가 타 분야 대비 투자 증가율이 높음**

○ 최근 5년간('15~'19) 인체 감염병 방역기술 중 예측·예방기술은 꾸준한 투자 증액으로 2019년 42.5%의 비중을 차지하고 있으며, 예측·예방기술의 61.6%는 기초연구 단계에 투입

○ 과기부는 인체 감염병에 투자된 정부연구비의 45.7%를 차지하고 있으며, 이 중 방역신기술에 37.7%를 투자하고 있어 ICT 기술을 접목한 방역기술 R&D가 활발히 수행되고 있는 것으로 파악됨

나. 시사점

□ **신·변종 감염병에 대한 효과적인 예방·대비·대응·복구를 위해 감염병 재난관리 全 단계에 걸친 연구개발 투자 및 고도화가 필요**

○ (예방·대비) 빅데이터, AI 등 첨단기술 기반의 감염병 유입·확산에 대한 예측 모델링 기술 고도화 연구와 더불어 기초연구 성과가 응용·개발연구를 거쳐 방역현장에 효과적으로 적용될 수 있도록 지원

○ (대응·복구) 감염병 현장 문제해결을 위한 현장수요 기반의 연구성과 실용화 및 감염병 관리기술 개발 지원 등 긴급 현안 대응 연구에 지속 지원

□ **신·변종 감염병 확산을 차단하기 위해 백신·치료제 신속 개발과 함께 감염병 방역기술에 대한 차세대 원천기술 확보 및 방역현장 실용화를 위해 장기적인 투자가 필요**

○ 최근 감염병 방역기술은 ICT, 로봇, 드론, IoT 등이 접목되는 추세로 특정 분야에 국한된 기술개발로 이루어지지 않으므로, 다양한 학문분야 간의 융·복합 연구에 대한 지원이 필수적

○ 기초연구에서부터 상용화 단계까지 산·학·연·병 주체들 간의 다양한 협력을 통해 감염병 방역에 필요한 원천기술을 개발하여 방역현장에 적용할 수 있도록 공동협력 연구를 활발히 추진할 필요

□ 감염병 대응을 위한 개인정보 수집·관리, 건강관리를 위한 개인정보 수집의 중요성이 증대된 만큼 프라이버시 침해를 최소화할 수 있는 정보 보안과 연계된 기술개발이 필요

○ 코로나19 이후에는 환자 관리에서 건강관리로 의료시스템이 전환되고 있으며, 역학조사 정보(확진자 이동경로, 이동 수단, 접촉자 현황 등), 웨어러블기기 등으로 수집한 위치 및 체온정보 등 프라이버시 침해 최소화에 대한 요구가 증대

○ ICT가 접목된 방역기술들은 감염병 유행·확산을 통제하는데 효과적이나, 개인정보를 기반으로 하여 프라이버시 침해 논란이 지속적으로 제기되고 있어 정보 보안과 연계된 기술개발이 필요

□ 정부R&D 과제를 통해 개발에 성공한 감염병 방역기술들이 산업화·현장적용까지 이루어질 수 있도록 성과 연계가 필요하며, 방역현장 수요에 기반한 기술개발 추진이 필요

○ 정부R&D 과제를 통해 개발된 물품들의 산업화 연계 지원이 필요하며, 코로나-19 대응을 위해 단발성으로 생겨난 사업들이 일회성으로 끝나지 않도록 성과 연계가 필요

○ 감염병 방역기술 개발 이전에 현장의 수요, 가격 경쟁력 등을 고려한 기술개발 지원이 필요하며, 방역물품 시장은 감염병 유행과 비유행 시기에 따른 수요 차이가 크므로 물자 및 자원을 평상시 유지 및 활용을 포함하는 구축, 관리 및 운영 모델이 필요

□ 감염병 대응은 범국가적 연계가 필요한 문제로 국제협력을 통한 공동 대응이 중요

○ 감염병 대응을 위한 정책·투자 계획이 국제적으로 발표되고 있어, 국제 커뮤니티 참여 및 국제 공동연구를 통한 감염병 대응 역량 강화 필요

16. 전기 상용차

가. 요약 및 정리

□ 본고에서는 온실가스 배출 등 환경규제 대응 측면과 산업적 가치를 고려하여 전기상용차 동향을 살펴보았음

○ 전기상용차의 범위는 구동 방식에 따라서는 배터리 기반 전력구동, 법적 정의에 따라서는 승합자동차, 화물자동차에 해당하는 범위로 설정함

○ 상용차는 승용차에 비해 정기적 주행, 잦은 주행빈도와 긴 주행거리 등의 주행환경에서 운행되며, 다품종 소량생산 된다는 특징을 보임

□ 부품은 모터, 인버터, 변속기, 배터리, 공조장치, 충전시스템으로 구분되며, 일반전기차 기술개발과 대체로 공통되나 일부 사양 차이가 있음

○ 부품별 전기상용차 기술개발 방향은 고출력 모터, 다중모터 다단변속기, 고전압 인버터, 배터리 대용량·고효율화, 히트펌프 공조장치, 차세대 급속충전 등으로 정리됨

□ 국가별 기술 동향은 각국의 산업생태계에 따라 완성차, 저가형 배터리, 하이브리드화, 고성능 부품 등 추진 방향에서 차이를 나타냄

○ 자동차 제조 역량을 갖춘 미국, 중국, 일본, EU 등 주요국과 우리나라는 산업적 역량에 따라 생산성, 경제성, 기술성 등을 확보해나가고 있음

□ 글로벌 기업들은 전기버스와 픽업트럭 등을 중심으로 모델 출시를 시작하고 있음

○ 전기상용차 시장은 아시아를 중심으로 성장이 가속화되고 있으며 주로 전기버스와 중소형 전기트럭을 중심으로 판매율이 증가 추세임

□ 관련 정책의 동향은 탄소중립 실현을 위한 환경정책 내에서 수송부문 온실가스 저감이 전기상용차 기술개발에 대한 동인으로 작용

○ 우리나라 정책은 자동차 산업의 성장을 위한 산업정책과 탄소중립을 위한 환경정책의 측면에서 전기차 정책 내에 전기상용차 관련 전략들이 일부 포함됨

○ 전기자동차 정부 연구개발 내에서 상용차 부문에서는 라인업의 확대와 안전/성능 평가를 위한 기반구축 등이 지원됨

나. 시사점

□ 상용차의 친환경화는 탄소중립에 필수적인 요소이며, 주력산업의 경쟁력과도 연관이 있음

○ 자동차 산업에서 상용차가 차지하는 비중이나 유관 공급/수요산업 등을 감안할 때, 미래자동차 전환 중 상용차 부문의 친환경화는 전략적으로 진행되어야 함

- 환경규제에 대한 시점이 승용차량보다 늦어져 미래 운송 시스템에 대한 국제적인 관심과 제약이 향후 확대될 것으로 예상됨

□ 상용차의 전동화 전략은 차량의 특성과 수요처의 요구사항 등에 기반하되 공통·유관 기술들의 고도화와 함께 고려되어야 함

○ 기술 한계로 인해 수소전기차와의 보완적 포트폴리오에 대한 논의가 진행 중이며, 전동화에 한계가 있는 국가 등에서는 내연차의 역할도 지속적으로 있을 것으로 보임

○ 확대 및 강화되고 있는 환경 규제는 특정 형태의 친환경차 개발만으로 만족하기 어려우며, 전동부품 추가, 내연기관 연비 및 환경개선 효율화 기술개발도 함께 요구됨

○ 상용차의 전동화 투자는 국가 미래자동차 전환의 큰 청사진이 우선 고려되어야 하고, 연구개발 및 금융 지원을 전략적으로 검토해야 함

제2절 2021년 주요기술 심층 분석

'21년도 주요 기술 심층분석 리스트

No.	주제(안)
1	시스템반도체
2	양자정보기술
3	친환경 선박
4	소재 신연구방법론
5	6G
6	소형모듈원자로(SMR)
7	CCU

※ 2021년 주요기술 심층 분석 결과는 2022년 상반기에 KISTEP 기술동향 브리프로 별도로 발간할 예정

1. 시스템반도체

가. 개 요

(1) 배경 및 필요성

□ 초연결·초지능 기술의 전산업 확산에 따른 인공지능, 자율차, 사물인터넷 등 반도체 수요의 다변화와 급증하고 있으나, 국내 경쟁력은 주요국 대비 열위

○ 기존 산업에 대한 ICT 접목에 따른 디지털 전환에 따라 반도체 수요는 다변화하는 추세로, 초연결·초지능 기술확산에 따른 수요 증가로 슈퍼사이클이 전망됨

- 인공지능·자율주행차·메타버스·5G/6G·클라우드·보안 등 디지털 사회로의 전환에 따라 유망산업 분야를 구현하는 필수 요소로 활용 확대

  * 해외 유력 조사기관인 Gartner(2020)에 따르면, '18년~'24년까지 메모리 반도체 분야 연평균성장률은 DRAM(-0.5%)과 NAND(10.1%)인 반면, 인공지능 반도체는 35.8%로 큰 폭의 시장 확대가 전망

- 시스템반도체는 글로벌 반도체 시장의 약 50~60%를 차지하는 거대 시장으로 초연결·초지능 기술의 전산업 확산에 따라 꾸준한 성장이 전망됨

〈표 Ⅴ-1〉 반도체 산업 시장 전망

(단위: 억 불)

분 류	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
메모리반도체	1,618	1,095	1,236	1,419	1,680	1,652	1,815
시스템반도체	2,439	2,373	2,441	2,558	2,670	2,777	2,960
광개별소자	710	731	691	740	753	842	865
합 계	4,767	4,199	4,368	4,717	5,103	5,271	5,640

○ 우리나라는 메모리반도체 분야 강국의 입지는 구축하였으나, 시스템반도체 분야에서의 경쟁력은 주요국 대비 열세로 나타남

- 우리나라의 반도체 세계시장 점유율은 21%('19년) 수준이나, 반도체 세계시장 점유율은 약 3.2%에 불과하여 10여년 간 정체된 상태

  ※ 시스템반도체 세계 시장에서 국내 점유율은 ('14) 3.8% → ('16) 3.0% → ('18) 3.1% → ('19) 3.2% 수준으로 지난 10여 년간 정체 중으로 대기업을 제외하면 1% 미만에 불과함

- 우리나라는 세계최고 수준의 공정기술은 보유하였으나, 설계기술이 미흡한 실정으로 최고기술 보유국(美) 대비 80%(기술격차 1.8년)을 보유한 것으로 나타남('17년)

  ※ 또한, 일부 분야의 경우 중국과 같은 후발 국가에게 뒤처지는 실정이며, 특히 우수논문은 이미 '14년에 중국에 추월 된 후 그 격차가 확대되는 추세(반도체디스플레이기술학회, '18)

〈표 Ⅴ-2〉 주요국 시스템반도체 기술수준

한국	미국	일본	유럽	중국
80.8	100.0	89.6	91.0	74.2

(출처 : 한국수출입은행(한국산업기술평가관리원, 정보통신기획평가원 재인용))

□ 최근 주요국의 기술 패권경쟁과 차량용 반도체 공급부족 등 산업 패러다임 변화에 따른 수요예측 및 기존 공급망에 대한 불확실성 증대

○ 美 바이든 행정부는 반도체 분야를 포함한 4대 핵심 품목*에 대한 공급망 검토를 통해 미국의 제조 역량을 강화하고 공급망 내 중국 등 주요국 의존도를 완화하는 등 조치

* ①반도체 제조 및 첨단패키지에, ②전기차 배터리 등 대용량 배터리, ③핵심 광물 및 소재, ④의약품 및 원료의약품

- 국내 상당 수준의 경쟁력을 보유 중인 반도체 분야는 미국의 공급망 재편에 따른 단기적인 기회 요인으로 작용할 수 있으나, 미국기업들의 역량 강화에 따라 장기적으로 경쟁 심화가 우려

- 정책적 지원 및 기술력 강화를 통한 공급망 내 위상 제고 및 원료 조달 리스크에 대한 본격적인 대비가 필요

○ 전통적인 내연기관을 대체하는 전기차 및 자율주행 기술의 구현과 감염병 확산 이후 차량 감산 등 수요 예측 불확실성에 따라 현재 차량용 반도체는 세계적으로 '21년 3분기까지 공급부족이 확실시됨

- 반도체 공급부족에 대응하고, 향후 안정적인 공급망을 구축하기 위해 세계 각국과 주요 기업들은 자립화·내재화를 위한 투자를 강화 중

- 국내는 소수의 공급기업(팹리스)이 한정적인 품목을 중심으로 제한적인 시장을 형성하고 있으며, 높은 신뢰도가 요구되는 품목의 특성상 국내 수요기업 역시 그간 대부분 외산에 의존해온 실정

(2) 기술의 정의 및 범위

□ 비메모리 반도체는 엄격히 시스템반도체와 광·개별소자로 구분하나, 일반적으로 비메모리반도체와 시스템반도체를 유사한 개념으로 사용

○ 반도체 소자의 설계·제조 산업은 소자의 용도에 따라 데이터 저장에 특화된 “메모리반도체”와 연산·제어 등 정보처리 기능을 갖는 “시스템반도체”로 구분

- 메모리반도체는 자료 저장 방식에 따라 휘발성(DRAM 등) 및 비휘발성 메모리(NAND Flash 등)로 크게 구분
- 시스템반도체는 비메모리반도체의 일종으로 광·개별소자 등을 뺀 나머지 분류에 대해 기능에 따라 크게 마이크로컴포넌트, 로직IC, 아날로그IC 등으로 구분

※ 시스템반도체는 주문방식에 따라 주문형반도체(ASIC, Application Specific Integrated Circuit)와 ASSC(Application-Specific Standard Product, 특정용도 표준제품)로 분류도 가능

〈표 Ⅴ-3〉 반도체 소자의 종류와 구분

반도체 구분			기능 및 용도	주요 제품	관련 기업
비메모리 반도체	시스템 IC	마이크로 컴포넌트	· 데이터의 저장 및 처리 지원 등	CPU, MPU, 가전용 MUC 등	Intel, AMD, NXP 등
		로직 IC	· 논리회로(AND, OR, NOT 등)로 구성되며, 제품의 특정 부분 제어	디스플레이 드라이버, FPGA 등	-
		아날로그 IC	· 빛, 열, 압력 등 물리·화학적인 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환 및 증폭	증폭기, 신호변환기, 아날로그-디지털 변환회로(ADC)	Texas Instruments, Maxim 등
		주문형반도체 (ASIC)	· 최종 제품 수요자가 용도를 정해서 생산을 주문하는 반도체	각종 데이터 연산, 저장용 반도체	퀄컴, 브로드컴, 미디어텍 등
		특정용도표준화 제품(ASSP)	· 반도체 개발 기업이 특정한 용도를 정해 공급하는 표준화 제품	모바일 AP 등	
	광·개별소자	광소자	· 적외선, 자외선 및 가시광선 등을 검출 후 필요한 디지털 신호로 변환하여 레이저 장치, 광 커넥터, 발광 다이오드, 태양 전지 등에 이용	CMOS 이미지센서, LED 등	Sony, Omnivision 등
		비광학 센서	· 열, 가속도, 자기장, 가스, 습도 등 비 광학적인 신호 계측을 위한 반도체 센서	압력/열/가속도/자기 센서 등	-
		개별소자 (Discrete)	· 단일 기능 반도체	트랜지스터, 각종 다이오드, 콘덴서 등	-
메모리 반도체			· 데이터의 저장 및 처리 지원 등을 수행	DRAM, Flash 등	삼성, SK하이닉스 등 IDM 기업

□ 시스템반도체 산업은 일반적으로 설계(팹리스)와 생산(파운드리)로 분업화되어 있으며, 설계·생산을 함께 수행 가능한 종합반도체(Integrated Device Manufacturer, IDM)기업이 일부 존재

○ 시스템반도체는 성능, 전력, 보안, 안전성 등 서비스 요구 사항에 따라 팹리스에서 소자를 설계하며, 파운드리를 통해 다양한 품종을 시장 규모에 따라 생산

※ 한편, 메모리반도체는 IDM 기업이 일정한 설계 조건을 가지고 있으며, 시장 수요에 따라 소품종 대량생산

- 시스템반도체는 수요자의 요구사항에 맞춰 제품이 생산되는 '주문형 생산' 방식으로, 특정 산업의 호·불황에 영향이 적은 시장 구조를 가짐
- 이에 따라, 수요 맞춤형 제품 생산 및 서비스를 제공하기 위해 우수 설계인력 및 소자 구현을 위한 공정기술이 핵심

〈표 Ⅴ-4〉 반도체 산업 내 기업 유형

유형	특징	주요업체
IDM기업 (종합 반도체 기업)	· 설계·제조·패키지·테스트 등 모든 생산과정을 직접 수행 · 메모리 반도체 중심으로 대규모 R&D 및 설비투자 필요	삼성전자(한국) SK하이닉스(한국) Intel(미국)
IP 전문 업체	· 반도체 설계와 관련된 지식재산권(IP)취득 · IDM 및 팹리스에 라이선스를 제공에 따른 로열티가 주 수입원	ARM(미국) Synopsys(미국) Imagination(영국)
팹리스 (설계 전문 기업)	· 반도체 제조시설 없이 설계만을 수행 · 파운드리를 통해 위탁생산 후 제품을 판매 · 우수한 설계 기술 인력확보 필요	퀄컴(미국) 엔비디아(미국) 미디어텍(대만)
디자인하우스 (설계-제조의 가교)	· 팹리스의 설계를 업그레이드 · 파운드리에 따라 파트너사 형성	Faraday(대만) GUC(대만) 하나텍(한국)
파운드리 (수탁 생산 기업)	· 팹리스 업체가 설계한 반도체를 위탁 생산 · 전문생산업체로 초기에 대량 설비투자 비용이 필요	TSMC(대만) 삼성전자(한국) UMC(미국)
OSAT 기업* (조립 및 검사 전문기업)	· 가공된 웨이퍼 조립/패키징 전문 · 축적된 경험 및 거래선 확보 필요	ASE(대만) Amkor(미국) StatsChipPAC(중국)

유형		특징	주요업체
후방산업	장비	· 반도체 제조에 필요한 장비를 제조하는 기업 · Wafer공정에 사용되는 전공정 장비, 검사장비, 조립장비, 공통적으로 사용되는 기반장비 등으로 구분	ASML(네덜란드)
			AMAT(미국)
			세메스(한국)
	재료	· Wafer, Photo Resist, MASK & Reticle, Gas, Chemical 등 반도체 제조에 필요한 재료를 개발 및 생산	SK실트론(한국)
			MEMC(한국)
	부분품	· 반도체 제조장비의 제조 및 운영에 필요한 부분품 개발 및 생산	미코(한국)
			메카로(한국)
전방산업		· 반도체가 장착되어 운영되는 기기를 주력 상품으로 생산하는 수요기업(예. 휴대폰, 가전, 자동차, PC 등)	애플(미국)
			현대자동차(한국)

나. 산업·기술동향

(1) 팹리스

□ (산업 동향) 팹리스는 반도체 제조시설 없이 반도체 소자의 설계를 수행하여 파운드리를 통해 위탁생산을하여 제품을 판매

○ 일반적으로 구매자(전자제품 제조사 등 시스템/세트 기업)의 요구(스펙)을 반영하여 설계하며, CPU 등 일부 제품은 공급기업이 표준화하여 생산

- 위탁생산으로 고위험 거액투자 회피가 가능하고, 창의적인 아이디어, 전문 인력 및 초기개발비(설계툴, IP로열티 등)를 기반으로 사업 운영이 가능
- 다만, 시스템반도체 설계를 위한 고도의 공학적 전문 지식 및 다양한 경험이 있어야 하며, 산업 내에서 고급전문인력 확보가 가장 중요한 업종

  * 수학, 물리학, 화학 등 기초과학, 컴퓨터 과학, 전자회로이론, 통신이론, 신호처리이론 등 다양한 공학적 지식 필요

○ '19년도 세계 팹리스 시장규모는 총 953억 달러이며, 미국이 50% 이상의 높은 시장 점유율 유지

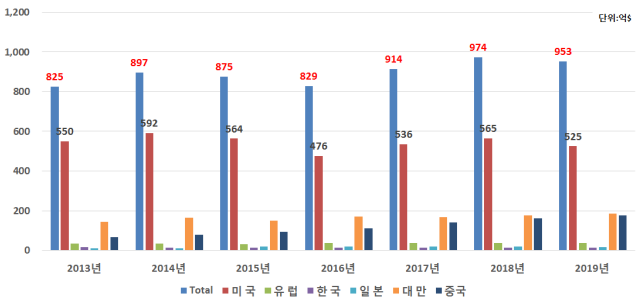
- 미국은 Qualcomm, nVidia, AMD 등 세계 10대 팹리스 기업 6개를 보유하고 있는 강국이며, 높은 시장 점유율을 유지
- 대만과 중국은 각각 상위 3개 기업(Mediatek, Novatek, Realtek) 및 1개 기업(HiSilicon)을 보유

○ nVidia, AMD 등 글로벌 기업은 대규모 M&A를 통해 상대적으로 취약한 분야의 기술력을 확보하고 경쟁력을 보강

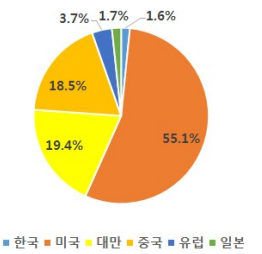
- nVidia가 저전력 고성능 멀티프로세서를 활용한 인공지능 시장 창출·확대 등을 위해 IP업체 ARM 인수 진행 중('20.9. 공식 발표)
- AMD는 서버·AI 등 차세대기술력 강화위해 프로그래머블 반도체(FPGA)*업체 자일링스 인수 진행 중

* (Field-Programmable Gate Arrays) 제작 완료 후에도 하드웨어 변경(업데이트)이 가능한 반도체

팹리스 시장 현황



국가별 시장 점유율



(단위: 백만 불)

순위	구분	'17년	'18년	'19년
	전체 시장 규모	91,440	97,365	95,283
1	Qualcomm(미국)	16,872(18.5%)	16,606(17.1%)	14,391(15.1%)
2	nVidia(미국)	8,481(9.3%)	10,205(10.5%)	9,491(10.0%)
3	MediaTek(대만)	7,859(8.6%)	7,878(8.1%)	7,986(8.4%)
4	HiSilicon(중국)	5,778(6.3%)	7,370(7.6%)	7,964(8.4%)
5	AMD(미국)	5,185(5.7%)	6,224(6.4%)	6,407(6.7%)
6	Apple(미국)	6,071(6.6%)	5,614(5.8%)	5,377(5.6%)
7	Xilinx(미국)	2,475(2.7%)	2,904(3.0%)	3,235(3.4%)
8	Marvell(미국)	2,409(2.6%)	3,092(3.2%)	2,723(2.9%)
9	Novatek(대만)	1,551(1.7%)	1,817(1.9%)	2,089(2.2%)
10	Realtek(대만)	1,372(1.5%)	1,486(1.5%)	1,850(1.9%)

* 브로드컴(Broadcom)은 '15년 아바고(Avago, 싱가폴)에 인수되며 IDM-Fabless형태로, IDM 통계로 집계
(출처 : OMDIA '20.)

□ (국내) 국내 팹리스 기업의 총 매출은 약 15억 불 규모('19년 기준 추정치)로 세계 시장 점유율은 1%대 수준이며, 50대 팹리스 기업 내 1개* 업체만 포함

* 국내 매출 1위 기업인 실리콘웍스는 7억 달러의 매출을 보유하고 있으나, 주요 팹리스 기업에 비하면 매출액 저조(세계 16위)

○ 국내 산업 환경은 전문 설계인력 확보의 어려움, 초기개발 부담, 수요기업과의 연계 미흡 등으로 성장기반이 취약한 실정

- 고가의 설계툴·IP 사용료 등 초기개발 비용의 부담으로 인한 창업에 난항, 국내 가전·완성차 등 수요기업은 수출 기반 제품 개발로 검증된 해외 팹리스 제품을 선호
- '90년대 300여개에 달하던 국내 업체는 현재 150 여개로 감소*하였으며, 현재는 디스플레이 구동칩(DDI), 이미지센서(CIS) 등 한정된 품목을 중심으로 시장경쟁력 유지 중

〈표 Ⅴ-5〉 국내외 주요 팹리스 기업 동향

업체	주력 제품	주요 내용
Qualcomm (미국)	AP 아키텍처, 통신칩(CDMA, MSM 등)	- CDMA 원천기술 특허를 보유하고, 이동통신 칩과 통신용 SoC, 모바일 AP 등의 제품(AP와 모뎀 칩을 통합한 '스냅드래곤'이 대표적 제품)을 공급 중 - 현재 DSP 중심의 뉴럴넷 컴퓨팅용 환경을 제공하는 형태의 AI 반도체 개발 중
nVidia (미국)	GPU, AI반도체, 차량용 반도체	- 컴퓨터용 그래픽 처리장치와 멀티미디어 장치를 개발·제조 - 서버 시장 진출('16.08.)에 이어, 자율주행차 전용 반도체를 공개하며, 인공지능 기술과 관련된 사업영역으로 확대 중 - '20.9월 IP전문기업 ARM을 400억 불(약45조 5,000억 원)에 인수 발표, 고성능 인공지능 및 서버용 프로세서 포트폴리오까지 확보
MediaTek (대만)	AP, 통신칩, 멀티미디어칩	- DTV 수신 칩, 블루레이 칩 등 세계 멀티미디어 반도체 시장을 주도하며, 4G/5G모바일 AP, 와이파이 칩셋 등을 양산 - DVD 플레이어용 칩을 기반으로 성장한 뒤 M&A를 통해 TV, 휴대폰용 칩 등으로 포트폴리오를 다각화
Broadcom (싱가폴)	통신칩, 멀티미디어칩	- 케이블 모뎀을 시작으로 성장하여 WiFi 솔루션 업체로 사업을 확장, 최근 NFC, GPS, 블루투스 등 다중 모드 칩셋 위주로 다양한 제품군을 구축 - DSP 및 비디오 코덱을 내장한 STB용 칩셋 등과 무선 Connectivity Combo 칩셋 등의 멀티미디어 보조 SoC 등을 중심으로 시장을 확대 * Avago로 인수 후 IDM 성격이 강화되었으나, 통신분야 소자에 독보적인 설계 기술을 보유
실리콘웍스 (한국)	DDI(디스플레이 패널 구동), PMIC(전력)	- 국내 1위 팹리스 기업으로, 디스플레이 패널을 구동하는 DDI와 PMIC 등의 제품을 공급하고 있으며, 차량용 반도체 사업 진입을 추진 중

□ (기술 동향) 인공지능 반도체(GPU, NPU 등), 전력반도체 등 신소자 구현을 위한 저전력·고성능·소형화 회로설계 기술개발 활발히 진행중

○ (저전력·고성능) 최근 설계 기술은 성능을 높이면서 전력을 낮추기 위한 기술개발 경쟁이 치열

- 트랜지스터를 고밀도로 집적하여 성능을 높이면 전력소모가 커져, 성능을 유지하면서 저전력으로 구현하는 설계 방법론이 부각
- 스마트폰, 자율주행차 등 많은 응용 분야가 한정된 용량의 배터리를 사용하고 있어 저전력 구현이 더욱 중요해진 상황

○ (소형화·지능화) 소형화를 위한 단일 소자에 집적도를 높인 SoC 설계가 일반화되고 있으며, 인공지능·딥러닝 등 특화한 프로세서 아키텍처에 관한 연구가 활발히 진행

- 사물인터넷, 재난안전서비스 등 Always-Connected 응용을 위해 다양한 Connectivity 기술을 내장하는 추세
- 컴퓨팅 성능을 극대화하는 '초병렬 프로세서 기술'과 '인공지능 가속기 기술'이 대표적인 지능화 구현 기술

○ (신소자 기반 기술) 기존 CMOS 기술과 접목하여 초고속·저전력이 가능한 지능형 신소자 및 이에 요구되는 구조(아키텍쳐) 및 회로설계 기술 개발이 진행 중

- 0.5V 이하 동작 초저전압소자, 로직과 메모리 융합의 PIM(process-in- memory), 3차원 집적 및 스마트 배선 등 다양한 소재 및 신소자 연구 중
- 특히, 이머징 소재를 이용한 두뇌모사 소자/아키텍쳐 연구가 활발히 진행 중

※ SNN(spiking neural network) 등 인공 뉴런 및 시냅스 소자 기반 비폰노이만 구조 반도체

(2) 파운드리

□ 파운드리는 팹리스 등이 설계한 반도체를 위탁하는 기업 형태로 초기 대규모 설비투자가 필요

※ IDM(종합반도체기업)과 구별하여 자체 제품 없이 위탁 생산만 하는 기업을 Pure-Play 파운드리(TSMC 등)로 분류

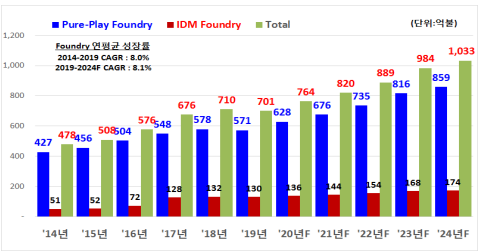
○ 팹리스가 수행한 설계를 파운드리 공정 등에 적합한 제조용 설계로 변환해주고 요구사항 등을 관리해주는 디자인하우스와 협업

- 공정 미세화로 초기투자비용이 증가하고 진입장벽이 높아지고 있으며, 승자독식이 강한 특성을 가짐
- 다만, 첨단 제조기술을 요구하지 않는 전력반도체 및 아날로그 반도체 등 특수목적형 반도체는 후순위 업체에서 상대적으로 저렴한 비용으로 생산

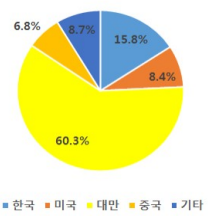
○ ’19년도 시장규모는 총 701억불로, 대만이 60% 이상의 높은 시장점유율 유지 중이며, ‘24년까지 연평균 8.1% 성장할 것으로 전망

- 대만의 TSMC가 세계시장의 49.5%를 점유하고(1위) 있으며, 삼성전자가 14.8%로 2위, DB하이텍이 1.0%로 11위에 위치
- TSMC, GF, SMIC 등 Pure-Play 파운드리 시장이 571억불(81.5%) 규모이며, 삼성전자 등 IDM-Foundry 시장이 130억불(18.5%)

연도별 파운드리 시장 현황



국가별 점유율



(단위: 백만 불)

〈표 Ⅴ-6〉 주요 파운드리 기업 매출 현황

순위	업체	국가	'18년		'19년	
			매출	점유율	매출	점유율
1	TSMC	대만	34,208	48.2%	34,668	49.5%
2	Samsung	한국	**10,100**	14.2%	**10,400**	14.8%
3	GlobalFoundries	미국	6,209	8.7%	5,900	8.4%
4	UMC	대만	5,021	7.1%	4,800	6.9%
5	SMIC	중국	3,361	4.7%	3,120	4.5%
6	Huahong Group	중국	1,605	2.3%	1,630	2.3%
7	TowerJazz	이스라엘	1,304	1.8%	1,240	1.8%
8	Powerchip	대만	1,633	2.3%	1,165	1.7%
9	Vanguard	대만	959	1.4%	917	1.3%
10	WIN	대만	575	0.8%	693	1.0%
11	Donbu Hitek	한국	**608**	0.9%	**690**	1.0%
12	X-Fab	독일	588	0.8%	508	0.7%
13	Fujitsu	일본	890	1.3%	490	0.7%
상위 13개社 총계		-	67,061	94.4%	66,221	94.5%
기타		-	3,959	5.6%	3,839	5.5%
총계		-	71,020	100.0%	70,060	100.0%

(출처 : IC Insights, ’20)

□ (국내) 국내 기업의 총매출은 111억불('19년, 상위 2개기업)로 세계 시장 점유율은 약 15% 수준이며, 삼성전자를 제외한 기업의 글로벌 경쟁력 열세

○ 삼성전자(2위), DB하이텍(11위), 키파운드리 등 소수기업 수행 중이며, 최첨단 공정에서 삼성전자와 그 외 업체 간 기술·규모 차이는 상당

- TSMC 등 해외 전문 파운드리와 비교하여 보유 IP 부족, 제공 Tech, 공정이 다양하지 않아 팹리스 고객 확보가 제한적
- 다만, 최근에는 국내 팹리스 기업이 국내 파운드리를 적극 활용 추세(해외 파운드리 대비 5:5 수준으로 추정)

※ 해외 파운드리의 경우, 안정된 Alliance, 다양한 IP 보유, 대규모 생산능력, 서비스체계를 기반으로 압도적인 경쟁력을 유지

○ 삼성전자를 중심으로 민간 투자확대 및 경쟁력 확보를 위한 기술개발 추진 중

- '19년 4월 삼성전자에서 '30년까지 비메모리 1위 목표로 133조원(R&D 73조원, 생산 설비 60조원)을 투자하는 "반도체 비전 2030" 발표
- 매그나칩 파운드리 사업부가 SK하이닉스가 참여한 펀드의 투자를 받아 '키파운드리'로 사명을 변경('20.3)하고, 8인치 틈새시장 공략 중

〈표 V-7〉 국내 주요 파운드리 기업 현황

업체	구분	주요 품목	공정
삼성전자	IDM-Foundry	Logic, ASIC(주문형), CIS(이미지센서), PMIC(전력) 등	8", 12"
DB 하이텍	Pure-Play	Analog, Mixed-Signal, HV(고전압), MEMS 등	8"
키파운드리	Pure-Play	HV, BCD(복합고전압) 등	8"
SK하이닉스 시스템IC	IDM-Foundry	CIS, DDI(디스플레이드라이버), PMIC 등	8"

□ (기술동향) '20년 세계 파운드리 시장은 큰 폭의 성장 전망속에 삼성전자와 TSMC의 미세공정 기반 위탁생산 경쟁 심화

○ 7nm 공정을 시작으로 초미세공정 경쟁 구도는 삼성전자와 TSMC 양자 대결로 압축, 현재는 5nm 이하의 미세공정 상용화 진행

- TSMC는 Apple, Qualcomm 등의 Top-Tier 팹리스를 중심으로 고객사를 유치 및 생산하면서 시장점유율을 확대 중

- 삼성전자는 Cisco, Google 등의 신규 고객사 확보를 통하여 시장을 확대 중

○ 14nm 공정에 머무르고 있는 Intel의 경쟁력 약화로 글로벌 팹리스 업체의 삼성전자 및 TSMC 의존도가 상승할 것으로 전망

- 중국 SMIC의 경우 대만 TSMC 및 중국 정부의 지지를 통하여 10nm 이하 공정의 기술개발에 박차
- 최근 미국 정부의 공급망 점검 등 행정명령 등으로 TSMC는 미국 애리조나에 5나노 팹을 건설하기로 하였고, 미국이 SMIC를 블랙리스트에 추가하면서 중국 반도체 굴기 압박 중

〈표 Ⅴ-8〉 주요 파운드리 기업 동향

업체	주력 서비스	주 요 내 용
TSMC (대만)	7나노 양산 28나노 이하	- 세계 최대 파운드리 기업으로 50%가 넘는 점유율을 차지하고 있으며, 세계 최초로 7나노 공정 양산에 성공 - 전체 매출의 60% 이상이 28나노 이하 초집적 공정 - 주요 고객사: Apple, Broadcom, nVidia 등
삼성전자 (한국)	7나노 양산	- 대표적인 IDM기업으로 자체 설계 및 생산을 수행하여 자사 스마트폰에 탑재되는 AP를 비롯해 PMIC, 모뎀, 사물인터넷 SoC, DDI 등의 제품을 설계 및 제조하여 판매 중 - 위탁 생산 사업에도 진출하여 파운드리 시장에서 세계점유율 2위를 차지 - 주요 고객사: Qualcomm, IBM, nVidia 등
Global Foundries (미국)	14나노 양산	- Global Foundry는 AMD의 생산부문을 인수하여 설립된 파운드리 기업으로 14나노 반도체가 주력 생산품이며, 최근 7나노 공정개발을 포기
SMIC (중국)	저가형 및 14나노 양산	- 중국 1위 파운드리 업체로, '19년 기준 세계 매출 규모 5위 - 선두기업인 TSMC·삼성전자와는 기술격차가 크지만, 여타 국내 기업들과의 기술격차는 크지 않은 것으로 추정

○ 이에 따라 지속적인 CMOS소자의 미세화(Scaling)가 진행 중이나, 최근 제작비용 증가 등에 따라 발전 속도가 다소 둔화

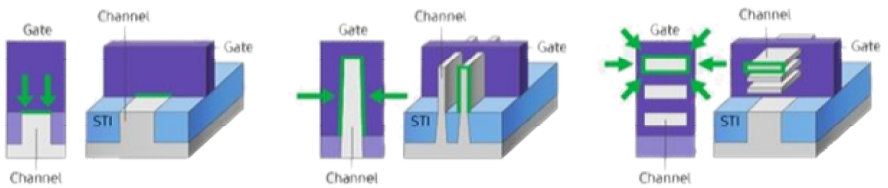
※ '90년대 CMOS소자 보편화 이후 고집적, 고성능, 생산단가 등을 미세화와 웨이퍼 사이즈 확대 등으로도 충족되었으나, 10nm 이하 선폭 공정의 경우 공정 난이도가 현격히 증가

- EUV(극자외선) 광원을 활용한 공정 및 원자막 두께의 증착 및 식각을 위한 공정(ALD(Atomic layer deposition), ALE(Atomic layer etch)) 등 기술 개발

- 또한, 미세화로 발생한 누설전류 차단을 위해 게이트를 3D구조로 유전물질을 감싸는 공정을 경쟁적으로 개발·도입 중

※ PlanarFET ⇒ FinFET(현재) ⇒ GAA(Gate All Around) FET (아래 그림 참조)

〈표 Ⅴ-9〉 트랜지스터 설계의 발전



Planar FET
(1 Gate on Channel)

FinFET
(3 Gates on channel)

Gate-All-Around
(4 Gates on channel)

출처: 삼성전자

(3) 디자인하우스

□ 디자인하우스는 팹리스업체가 설계한 제품을 각 파운드리 생산 공정에 적합하도록 최적화된 디자인 서비스를 제공

※ 일부 디자인하우스의 경우 팹리스 기업 역할(설계)도 하며, 최근 '디자인하우스'보다는 '디자인 서비스'로 지칭

○ 팹리스 업체가 설계한 반도체 설계 데이터를 제조용 설계도면(Layout)으로 변환하고, 제조 전반의 지원 서비스 역할을 수행

- 주로 중소·중견 팹리스 기업을 고객으로 서비스를 제공하며, Qualcomm, AMD, nVidia 등 대형 팹리스는 제품 생산 시 디자인 서비스를 내부 수행하여 파운드리와 직접 연계
- 중소 팹리스 업체의 경우 파운드리 기업이 지정하는 디자인하우스가 이를 대신하는 상황

○ 디자인하우스는 파운드리와 연동되어 있으며, 각각의 파운드리마다 지역·국가별 디자인 하우스를 지정·운영

- 글로벌파운드리는 IP 전문기업, 패키지 기업을 비롯하여 솔루션 기업 등이 다수 포진된 협업 생태계를 구성하여 다양한 솔루션을 제공

※ TSMC는 멤버기업으로 협의체인 VCA(Value Chain Aggregator)를 운영 중

□ (해외) 시스템반도체 다양화와 고기능화로 단순 제조 서비스 '용역'에서 반도체 제조 전반을 컨설팅 하는 '토탈 솔루션'으로 역할 변화 중

○ 설계 복잡도 증가와 소량생산으로는 대형 파운드리의 접근성이 떨어지는 시스템반도체 산업 생태계의 변화로 디자인하우스 역할 증대

- 이에 디자인하우스는 통신, 컴퓨팅, 가전 ASIC 어플리케이션에 대해 설계 및 생산 노하우 등의 토털 솔루션 제공하는 턴키(Turnkey)* 방식으로 발전

  * 설계부터 파운드리를 통한 생산과 후공정 및 테스트 업체까지 연결해 모든 솔루션을 제공

- TSMC社의 가장 큰 디자인하우스인 GUC社는 약 4,000억 원의 매출규모 및 800명의 인력으로, '18년 기준 '턴키(Turnkey)' 매출 비중은 68% 차지

○ 최신 규격을 지원하는 반도체 IP 등 고속, 저전력 아날로그 및 디지털 IP 확보를 위해 자체개발과 라이센싱을 통한 포트폴리오 확대 중

- DDR5, MIPI 2.1, USB 3.0 등 고속 메모리 및 데이터 인터페이스 IP 확보를 통한 디자인 서비스 경쟁력 강화를 추구함

- 또한, 인공지능 반도체 등 고성능, SW융합의 복잡한 기술이 융합되면서 디자인하우스와 글로벌 IP기업(ARM, Synopsys 등)간 기술 제휴가 가속화

□ (국내) 작은 국내 비메모리 시장의 규모로 인한 디자인 서비스 생태계 형성이 어려워 디자인하우스 업체 규모는 영세

○ TSMC의 디자인하우스 중 하나인 GUC가 800명 규모인 반면, 국내 디자인하우스의 총 인력은 600명 내외

- 국내 매출 상위 10위 디자인하우스 중 삼성 파운드리 서비스 업체만 6곳으로 파악되어 국내 파운드리에 대한 높은 의존도 나타남

○ 최근 국내 대기업의 파운드리 사업 확대 선언 후 소규모 디자인하우스들의 합종연횡이 활발하며, 디자인하우스 간 M&A를 통한 규모 확대, 업무영역 확장 등 추진 중

- 삼성전자는 최근 미·중 무역분쟁으로 수주량이 확대되고 있으나, 디자인 하우스의 인력 부족 등 여건 개선을 위해 적극적으로 지원중인 것으로 알려져 있음

  ※ '19년 하반기부터 국내 팹리스, 디자인하우스 개발자들 대상으로 각종 교육 프로그램을 운영중

- 국내 여러 디자인 하우스 업체들 역시 단순 디자인 서비스를 넘어 고객 맞춤형 설계 영역으로 사업 모델을 확장 중

  ※ 검증된 SoC 플랫폼에 고객이 필요로 하는 기능을 제공하기 위해 기존 IP를 포함하여 수요 맞춤형 신규 반도체 설계·제공

〈표 V-10〉 국내 주요 디자인하우스 기업 동향

업 체	파운드리	동 향
에이직랜드	TSMC	'20. 8월 대만 TSMC VCA 로 선정
에이디테크놀러지	삼성	'20. 3월 대만 TSMC 와 VCA 계약 해지후 삼성 DSP 로 전환
세미파이브	삼성	'19. 12월 세솔 반도체 인수
하나텍	삼성	'19. 11월 실리콘 하모니와 합병
코아시아	삼성	'19. 9월 세미하우스 와 넥셀 인수

라. 정책동향

(1) 주요국 정책 동향

□ (미국) 실리콘밸리를 중심으로 전 세계의 반도체산업 트렌드를 주도하며, 꾸준한 정부투자와 상대국에 대한 견제를 통해 반도체 패권을 유지

○ 반도체 분야 R&D와 생산시설 확충 등을 위해 의회 차원의 지원 법안 발의

- 의회 차원의 법안인 'CHIPS for America Act'('20.06.)' 을 발의하여 반도체 산업 분야의 투자세액공제를 신설하고, R&D와 인프라에 총 228억 달러를 지원 예정

※ 차세대 원천기술 확보를 위한 120억 달러 규모의 R&D 지원 및 파운드리 구축 지원을 위한 100억 달러 규모 주정부·연방프로그램 신설

- 국방수권법(NDAA) 개정안('20.07 발의)인 'American Foundations Acts of 2020'은 생산시설 확충 및 R&D에 250억 달러 지원 예정

○ 美상무부는 반도체 등 對화웨이(중국) 수출통제를 위한 Entity List(거래제한기업) 등재('19.05.) 및 해외직접제품 규정 강화('20.05.) 등 중국 반도체 산업에 대한 강력한 견제

- 거래제한기업 등재에 따라 미국기업은 화웨이 또는 화웨이 계열사(하이실리콘 등)와 거래 시 美 상무부 산하 산업안보국(BIS)의 허가 필요

- 美상무부는 미국산 기술, 장비 등을 사용한 제품을 화웨이 및 계열사에 미국의 허가 없이 공급할 수 없도록 하는 '수출관리규정(EAR)' 개정안 발표('20.08.)

※ 기존 제재에 대해 화웨이는 제 3의 회사를 통해 이를 회피, 이번 규제를 통해 사실상 화웨이로의 공급 일체를 막은 것으로 판단

- 이에 따라 삼성전자, TSMC 등 화웨이에 반도체를 공급했던 주요 반도체 기업은 향후 실적에 타격을 입을 것으로 전망

※ '19년 화웨이의 반도체 구매액은 약 24.7조 원(208억 달러). 이 중 삼성·SK하이닉스 공급분은 약 10조 원으로 추산됨(출처: Gartner, '20.)

□ (중국) 정부의 대규모 지원을 통해 기술개발·인력양성·기업지원 등 산업 전반을 육성하고, 자국 반도체 제품(소자, 장비, SW 등) 사용을 적극 장려

○ 설계 역량 제고, 핵심 칩 생산, 자국 반도체 사용 확대를 통해 '25년까지 반도체 자급률 70%목표로 170조원 규모 지원('16~'25년)

- 55조원 규모의 펀드를 조성하여 자국 산업망 구축('14년, 약 21조원)과 장비·소재 내재화 등 취약분야 보강('19년, 약 34조원)에 투자
- 기업에 대한 다양한 세제 혜택, R&D 지원 및 고급 인력 육성 병행
  - 설계·SW 기업 등 흑자 전환 이후 다년간 소득세 면제, 공정 난이도에 따른 차등적 과세 등
  - 첨단 메모리·컴퓨팅·제조·패키징/테스트 등 차세대 반도체 기술 분야의 R&D 우선 지원
  - 산업 수요 맞춤형 인력양성을 위한 학과 신설·확대를 추진하고, 펀드를 통한 인재육성 장려 및 해외 우수 자원 유치 지원

○ 이와 같은 부흥 정책에도 최근 미국의 반도체 분야 기술 통제로 어려움을 겪는 상황

- 중국 최대 팹리스 업체인 Hisilicon(Huawei의 100% 자회사)를 중심으로 미국의 규제로 어려움에 처해 있는 실정

  ※ Hisilicon에서 독자 설계한 기린AP 생산 중단선언('20.8) 등
- 파운드리 분야는 '00년대 초중반 적극적인 중앙 및 지방정부의 투자로 다수의 기업이 육성되었으나, 미국의 제재 등으로 쉽지 않은 상황

  ※ 미국의 민감기술 통제로 중국최대 파운드리 SMIC의 첨단기술투자가 중단된 상태

□ (대만) '70년대 경공업 위주 산업구조에서 '80년대 첨단기술 진흥을 위한 신주산업단지, 공업기술원(ITRI) 등 설립을 통해 인재·기업육성 도모

○ 국책연구기관인 ITRI은 사업화 기술과 기업을 Spin-off 하여 TSMC, UMC, Winbond 등 시스템반도체 산업과 유수 기업 육성

- 시스템반도체의 주문형 위탁생산인 파운드리 비즈니스를 개척하였고, 분업화된 산업구조 모델을 국가적으로 장려

- 또한, 국립 반도체 연구기관 '대만반도체연구센터(TSRI)'를 설립('19)하여 연구개발과 인재양성 지원

※ 기존의 국립칩시스템설계센터(CIC)와 국립나노소자연구소(NDL)를 합병하여, 국내 IDEC과 유사하게 시스템반도체 분야의 인력양성 및 연구센터 역할 수행

○ 반도체 산업단지인 신주과학단지(Hsintsu Science Park)는 입주 기업에 대한 각종 혜택 및 인력양성을 위한 교육 등 제공

- 입주 기업에는 값싼 시설비용, 세제 감면 등 각종 혜택과 첨단기술 기업으로 지정 시 정부 연구개발 예산의 50%를 지원

□ **(유럽) 세계 최대 반도체 종합연구소인 IMEC을 운영 중이며 기술경쟁 우위 확보를 위한 범유럽 공동연구 프로젝트 추진**

○ IMEC(Interuniversity MicroElectronics Centre)은 국제간 공동 연구, 대학 간의 협력 연구 및 반도체 관련 교육 기능을 수행하며 시험검증 서비스를 제공하여 기술혁신을 선도

- 벨기에에 위치한 비영리 기관으로 설계, 시제품 제작, 소량생산 등 고객사 맞춤형 기술 솔루션·서비스를 제공과 대학, 산업체를 위한 설계 교육훈련 등 수행

- 정부로부터 일부 운영 예산을 지원받고 있으나, 대부분 연구 프로젝트가 IIAP*를 통해 진행되므로 다른 연구소와 다르게 저비용 구조로 운영되는 것이 특징

* IIAP(International Industrial Affiliation Program) : 대규모 연구비가 필요한 분야에 참여 기업들이 공동으로 비용을 부담하고, 각 기업의 연구원도 IMEC에 파견하여 연구과제를 국제기업간 공동 연구로 진행하는 프로그램. 대규모 투자가 필요하나 연구 성과의 실용화가 보장되지 않는 분야에서 투자 리스크를 분산할 수 있는 연구 방법

○ 반도체 산업 기술경쟁에서 우위를 확보하기 위해 범유럽 공동연구 프로젝트를 추진 중

- 주요 프로그램으로 Euro PAT-MASIP 프로젝트, Silicon Euorope 프로젝트, Europractice 프로그램 등 추진

프로젝트	주요 내용
Euro PAT-MASIP	- '17년 유럽 9개국 28개 기업이 참여로 시작된 소재·부품·장비 분야의 산업 경쟁력 강화를 위한 R&D 사업
Silicon Euorope	- 유럽지역의 전자산업분야 2,000개 이상의 기업, 연구소 간의 생태계 구축 및 협력을 위한 대표적인 얼라이언스
Europractice	- '95년 이후, IMEC을 포함한 유럽지역 5개의 연구소를 통해 중소·중견 반도체 기업의 반도체 IC 제작을 위한 기술, 장비, 자금을 지원(1.5조원)

□ (일본) '00년대 이후 침체한 자국 반도체 산업의 부흥을 「반도체·디지털 산업전략」 발표('21.06.)

○ '80년대 메모리산업을 중심으로 반도체 산업이 왕성하였으나, '00년대 중반 이후 지속적으로 시장에서 쇠퇴 중

- '00년대 중후반 세계시장의 25% 수준의 반도체시장 점유율은, '19년 현재 10.2%까지 하락하였으며, 한국에 추월당해 세계 3위를 유지

※ 다만, 반도체 장비·소재 분야는 미국과 함께 여전히 절대 우위의 경쟁력을 보유

- '90년대 후반 산업 붕괴에 따른 투자 감소 이후, '00년대 후반 시스템반도체 시장 확보를 위해 정부·산업기술연구소(AIST)의 지원 추진

* AIST(Advanced Industrial Science and Technology)에서 '07년 최초로 도입한 '초소형 반도체 생산시스템인 Minimal Fab.을 도입하여 IoT 기술에 대응하는 시스템 준비 등을 추진

○ 경제산업성은 반도체·디지털 인프라·디지털 산업의 향후 정책방향에 대해 검토하여 정리한 전략보고서 「반도체·디지털 산업전략」* 발표('21.6.)

* '21.3월 반도체·디지털 인프라·디지털 산업의 향후 정책방향에 대해 검토하기 위한 반도체·디지털산업전략검토회의를 설치하고, 동 회의 논의 결과를 정리

- 반도체 관련 대응 방안으로 일본이 강점을 지닌 제조장치·소재의 핵심기술을 더욱 강화하기 위하여 해외의 첨단 파운드리와 공동개발인 포스트 5G 기금사업* 실시

* 첨단 반도체 연구개발·상용화에 2,000억 엔 투입

- 발전된 5G·AI·IoT 등 디지털기술을 활용한 자율주행, 공장 자동화, 스마트시티 등 어플리케이션 시스템 등에 필요한 로직 반도체 설계 및 개발 추진

※ 특히, 에너지 절약·저소비 전력화의 핵심인 전력반도체는 정부 차원의 지원을 통해 혁신 소재(SiC, GaN, Ga2O3)에 의한 혁신 촉진 및 일본 산업의 강점을 유지·강화

〈표 Ⅴ-11〉 시스템반도체 분야 주요국 정책 동향

국가	정책 개요
미국	- Chips for America Act, American Foundries Act, 국가반도체기술센터 설립 - 반도체산업 투자비의 40% 세액 공제 계류 및 인프라·R&D에 228억 달러 지원 - (민간) 인텔 파운드리 진출 선언 및 파운드리 공장 증설에 200억 달러(약 22조원) 투자
중국	- 반도체 굴기를 위한 집적회로산업 발전추진 요강('14), 중국제조 2025('15) - '25년 반도체 자급률 목표 70%로 수립하고 1조 위안(약 170조원) 지원 - 14차 5개년 경제계획('21~'25)에 고부가가치 반도체 산업 육성 포함
대만	- '30년 반도체 생산액 5조 대만달러 도달 목표로 소재·장비의 내재화 지원 - '21년 TSMC를 중심으로 시설투자 275억 달러(약 31조원) - 행정원 각료회의에서 대만 반도체 제조 우위 유지를 위한 지원책 발표('21)
유럽	- EU 집행위원회는 '2030 Digital Compass' 발표(반도체 점유율 10%→20% 목표) - (영국) 반도체 기술개발 위한 투자 전략 수립 - (네덜란드) 반도체 장비 관련 기술 개발을 위한 투자 및 지원 전략 구축
일본	- 반도체 경쟁력 회복을 위해 경제산업성 주도 '반도체 전략' 발표('21) - TSMC의 R&D 센터 및 생산공장의 자국 내 유치 등 파운드리와 협력 모색 - 첨단 반도체 연구개발 및 국내 제조 환경 조성을 위한 민관 공동사업체 구축

(2) 국내 정책 동향

□ 메모리반도체 중심의 산업구조를 탈피하고, 종합반도체 강국으로 거듭나기 위한 대대적인 정부 R&D지원 정책 발표

○ (종합 반도체 강국 실현을 위한 K-반도체 전략 – '21.05., 관계부처합동)

- (비전) 2030년 세계 최고의 반도체 공급망 구축
  - 수출 : ('20) 992억불 → ('30) 2,000억불
  - 생산 : ('20) 149조원 → ('30) 320조원
  - 고용 : ('20) 18.2만명 → ('30) 27만명
  - 투자 : ('20) 39.7조원 → ('30) 510조원+α ('30 누계)
- (주요 추진내용)
  - (전략1) 반도체 공급망 안정화 ⇒ 「K-반도체 벨트」 조성
  - (전략2) 반도체 제조 중심지 도약 ⇒ 인프라 지원 확대
  - (전략3) 인력·시장·기술 확보 ⇒ 반도체 성장기반 강화
  - (전략4) 국내 산업 생태계 보호 ⇒ 반도체 위기대응력 제고

○ (AI 반도체 산업 발전 전략(시스템반도체 비전과 전략 2.0) – ’20.10., 관계부처합동)

- (비전) AI 반도체 선도국가 도약으로 AI·종합반도체 강국 실현
  - 글로벌 시장 점유율 : (’26년) 10% → (’30년) 20%
  - AI 반도체 혁신기업 : (’26년) 10개 → (’30년) 20개
  - AI 반도체 고급인재 : (’24년) 1,000명 → (’30년) 3,000명
- (주요 추진내용)
  - AI 반도체 퍼스트무버 도약을 위한 혁신기술·인재 및 래퍼런스 확보
  - 산업 경쟁력 조기 확보를 위한 선제적·자생적 산업생태계 구축

○ (시스템반도체 비전과 전략 – ’19.04., 관계부처합동)

- (비전) 메모리반도체 강국에서 종합 반도체 강국으로 도약
  - 팹리스 시장점유율 : (’18년) 1.6% → (’22년) 3.0% → (’30년) 10%
  - 파운드리 시장점유율 : (’18년) 16% → (’22년) 20% → (’30년) 35%
  - 고용창출 : (’18) 3.3만명 → (’22년) 4만명 → (’30년) 6만명
- (주요 추진내용)
  - 시스템반도체 주요 분야인 팹리스·파운드리의 성장 지원과 부문별유기적 연계를 통해 생태계 전반의 수준을 업그레이드
  - 세제·금융지원 등을 통해 기업의 투자를 뒷받침하고, 시장에서 필요로 하는 인력양성 및 일자리 창출의 선순환 구조를 마련

라. 결론 및 제언

(1) 결론

□ 주요 선도국은 차세대 기술개발 및 자국 산업 경쟁력 강화를 위한 국가적 지원을 추진중이며, 민간의 경우 M&A 등을 통한 시장지배력 확대 중

○ 반도체가 갖는 경제·안보적 중요성에 따라 주요 국가별로 대규모 투자와 기업 지원방안 마련 등 주요국(미국, 중국, 대만, 일본, EU)의 반도체 패권 경쟁이 진행 중

- 특히, 중국은 세계 Top 20 팹리스에 2개, Top 10 파운드리 2개, OSAT Top 10에 1개 기업을 보유한 반도체 강국으로 성장

※ 중국은 정부 지원, 자국내 스마트폰·태블릿PC 등 생산업체들의 급성장으로 탄탄한 반도체 생태계를 구축 중

- 이에 대응하기 위해 미국은 '반도체 산업의 장기적 우위를 위한 전략보고서'*를 통해 자국 반도체 산업 지원과 함께 중국에 대한 일련의 강력한 제제를 시행

  * 미국 대통령과학기술자문위원회에서 '17.1월 보고, 중국 기업과 자율경쟁 보다 적절한 대응 주장

○ 민간에서는 주요 기업간 M&A를 통한 영역 확대 및 시장 지배력을 강화 중이며, 5nm 이하 미세 제조공정에 대한 기술 경쟁 심화 중

- nVidia의 세계 최대 IP기업인 ARM 인수, AMD의 자일링스 인수* 등 인수합병 및 합종연횡을 통해 시장경쟁력을 강화 중

  * 프로그래머블 반도체(FPGA, Field Programmable Gate Array) 분야 1위 업체

- 전 세계에서 5nm 이하 미세공정은 TSMC와 삼성전자 파운드리 부문 2곳에서만 가능한 가운데, 세계 1~2위 업체간 미세공정 선점을 위한 기술개발 경쟁 지속 중

  * 경쟁업체은 Intel의 제조공정에 대한 경쟁력 약화로 글로벌 팹리스 업체의 TSMC, 삼성전자에 대한 의존도 확대가 전망됨

□ **주문형·다품종 생산의 시스템반도체 분야 특성에 따라 기업 간 분업구조가 일반화되어 있으며, 생산을 위한 파운드리의 영향력이 확대 중**

○ (팹리스) 제조 시설 없이 시스템반도체를 설계하여 파운드리를 통해 위탁생산하는 기업 형태로 고도의 지식과 경험 등을 갖춘 전문인력 확보가 매우 중요

- 일반적으로 구매자(전자제품 생산업체 등)의 수요를 반영하여 반도체 소자를 설계하며, 일부 제품(CPU·GPU 등)은 표준화하여 시장에 공급

- 최근 nVidia, AMD 등 글로벌 업체들은 대규모 인수합병을 통해 취약한 분야의 기술력을 확보하고 시장 내 장악력을 높이고자 노력 중

○ (파운드리) 공정 미세화에 따라 지속적인 투자비용이 증가하여 진입장벽은 높아지고 있으며, 승자독식이 강한 시장

- 세계 1위 업체인 TSMC가 50% 수준의 절대적 지위로 시장을 점유하고 있으며, 최근 반도체 수급 위기와 공급망 불안 등 이유로 파운드리의 영향력이 보다 확대 중

- 업계 1·2위인 TSMC와 삼성전자 간에 7nm 공정을 시작으로 초미세공정 경쟁구도가 형성되었으며, 현재는 5nm 이하 미세공정 상용화를 추진 중

○ (기타 분야) 디자인하우스나 IP·설계도구 기업 등은 시스템반도체 산업 성장에 따라 기존의 역할에서

- 중소·중견 팹리스 – 파운드리 간 가교역할을 수행하는 디자인하우스는 단순 용역에서 반도체 제조 전반을 컨설팅하는 '토탈 솔루션'으로 역할이 확대 중
- 설계자산을 제공하는 IP기업과 설계도구(EDA Tool) 기업은 최근 회로의 미세화와 복잡성의 증대로 산업 내 역할 확대에 따른 지속적인 성장세가 전망됨

□ **우리나라는 20여 년간 메모리반도체의 세계시장 내 선도국 지위를 유지하였으나, 시스템반도체 분야는 여전히 후발주자로 경쟁력이 부족한 실정**

○ 우리나라 반도체 산업은 대규모 IDM(삼성전자, SK하이닉스)을 중심으로 소재·장비·설계·패키징 등 중·소 협력업체가 공존하는 '대기업 초집중형 생태계' 구조가 확립

* 국내 반도체 산업 실적 중 삼성전자·SKH가 차지하는 비중은 95.77%('20, OMDIA)

- 설계에서 제조까지 IDM 기업이 독점적으로 수행 가능한 메모리반도체 분야와 달리, 다품종·고집적 소자생산이 필요한 시스템반도체 분야는 여러 형태의 기업이 상생하는 산업생태계 형성이 필요함
- (팹리스) 전문 설계인력 확보의 어려움, 수요기업 – 팹리스 간 연계 미흡 등 전반적으로 성장기반이 취약한 실정으로 현재는 일부 품목을 중심으로 시장경쟁력을 유지 중

※ 세계시장에서 국내 팹리스 점유율은 2% 미만, 파운드리 역시 대만(TSMC)와 큰 격차로 2위 유지

- (파운드리) 삼성전자(세계 2위), DB하이텍(세계 11위) 등 소수기업이 존재하나, 최첨단 공정에서 삼성전자와 그 외 업체 간 기술 및 규모 차이는 상당

○ 이처럼 세계 시스템반도체 시장에서 우리나라의 경쟁력은 전반적으로 열세인 실정으로 기술개발 및 기반강화 등 산업생태계 육성을 위한 중장기적인 정부 지원이 필요함

- 지난 5~10여 년간 반도체 분야는 민간 주도 영역이라는 인식으로 정부 R&D와 정책들이 축소되어 온 점을 인식하고, 다각적인 정책기반 마련이 필요함

* 그간 반도체 분야의 정부R&D 축소 기조에 따라 연구인력 이탈, 산학협력 이완 등 문제 야기

- 다만, 최근 반도체 분야 정부 기술개발 투자 확대 기조에 따라 그간 침체하였던 R&D 지원에 활기를 띠고 있으며, 글로벌 기술변화에 대응하고자 노력 중

※「시스템반도체 비전과 전략」발표('19.04.) 이후 차세대 지능형 반도체 사업단 발족, 대규모 R&D, 설계지원 센터 등 성장마련을 위한 정부 지원 확대

(2) 제언

□ (기술개발) 인공지능 반도체 등 차세대반도체 설계·제조 등 요소기술 확보 지원

○ 시스템반도체 분야 패러다임을 바꿀 차세대 핵심기술 확보를 위한 소자·설계·제조기술에 대한 안정적인 지원 필요

※ 최근 정부는 과기부·산업부 공동 예타 통과 사업을 중심으로 차세대 지능형반도체 신소자 개발, 핵심설계기술, 공정·장비 기술개발 등 중점 진행 중

- 차세대 소자기술개발은 기술적 한계극복을 위한 소모전력 및 연산효율 개선, 집적도 증가를 위한 기술개발(초저전압소자, 다치로직 소자, 3차원 집적소자 등)
- 공정·장비기술개발은 공정 미세화 대응 제조·공정장비 성능 향상 및 반도체 생산 효율 개선을 위한 공정기술·장비·소재 상용화 기술개발(원자레벨 식각, 증착 장비 등)

* 선도 기업은 3nm 공정을 상용화 할 예정이나, 1nm 이하는 원자레벨로 기술난이도 급증

** 단일 칩의 초미세화 난이도 상승에 따라, 복수의 칩을 활용한 첨단 패키징 등의 중요성 증대

○ 시장 형성 단계인 인공지능 반도체 분야 기술 선점 및 선도국 달성을 위해 기존 메모리반도체 등 강점을 활용한 AI 반도체 기술개발 지원 강화

- 설계기술개발은 딥러닝 등 인공지능 알고리즘 연산에 적합한 프로세서(NPU, 신소자 기반 뉴로모픽) 개발과 핵심 요소기술개발(경량 프로세서, 초고속 스토리지 등)
- 최근 메모리반도체 강국의 강점을 활용 기억(메모리)과 연산(프로세서) 기능을 통합한 PIM반도체 기술개발 등 AI반도체 특화 사업 착수(예비타당성 조사 통과, '21.08.)

□ (기반조성) 수요 맞춤형 전문 인력 양성, 산업 경쟁력 강화를 위한 기업지원 및 공공·민간 인프라의 운영을 효율화 등 기반 강화

○ (인력양성) 기업 수요 맞춤형 고급·전문 인력 양성 지원 및 설계·칩제작 등 실무교육 지원을 통해 산업 수요 대응

- 인력부족 해소를 위한 산업수요에 맞춘 고급인력양성과 실무교육은 지속적 지원 필요

※ 시스템반도체 분야 고급 인력확보를 위해 대학 – 팹리스 – 파운드리 – 유관기업 등 연계 및 융합 R&D 지원 필요

- 국내 시스템반도체 설계 분야 경쟁력 제고를 위해 이론·실습 교육 및 인공지능, IoT, AP 등 기술 분야별 강좌 제공

※ 최근 확대 중인 정부R&D를 활용하여 연구개발 경험을 겸비한 인력양성을 위한 학·연의 연구개발 참여 기회 확대 필요

○ (인프라) 주요 소재·부품·장비 자립화를 위한 테스트베드 지원과 차세대시스템반도체 기술개발지원을 위한 시설장비 고도화 등 지원

- 민관합동 얼라이언스 등을 통해 수요 – 공급기업 간 연계·협업 생태계 조성를 조성하고, 국내 민간 파운드리 테스트베드 인프라 개방을 위한 유도 방안 마련 필요

  ※ 공공 인프라를 통해 시제품 제작, 신뢰성·성능 평가 등 가능하나 일부 인프라 시설에 대한 고도화가 필요한 실정이며, 공공인프라 서비스에 대한 만족도는 낮은 상황

- 최신 반도체 설계·제조 기술개발을 위해 대학·연구소 등 공공 분야 노후 인프라를 대상으로 확충·업그레이드를 지원하고, 맞춤형 실습 교육 등을 제공

  ※ 과기정통부와 산업부가 구축·관리하는 나노팹 6개소는 상대적으로 시설·장비·운영인력 등이 우수하므로 지속적인 지원으로 공정지원 능력을 향상이 필요함

○ (기업지원) 수요산업*-공급기업 간 연계 및 협력 강화와 우수 팹리스·IP기업에 패키지 지원을 통한 신시장 창출 지속 지원 필요

※ 국내에 시스템반도체의 주요 수요처인 자동차·전자산업(스마트폰, TV 등) 등 글로벌 상위 수준의 대규모 수요기업 존재

- 핵심 기술력을 확보한 우수한 팹리스를 선별하여 IP활용, 시제품제작, 설계툴 등을 패키지 지원을 통한 글로벌 팹리스 육성

- 수요기업, 팹리스, 파운드리 등 기업 간의 다양한 연계·협력 지원을 통해 국내 생태계 활성화 지원

2. 양자정보기술

가. 개요

(1) 배경 및 필요성[51)]

□ 양자정보기술은 인공지능에 이어 미래 산업·안보의 게임체인저가 될 기술

○ 양자 고유의 특성(얽힘, 중첩 등)을 활용한 차세대 혁신기술로 전체 산업 생태계의 판도를 바꿔놓을 것으로 기대

- 미국 안보 20대 핵심유망기술(美 NSC, '20.10), 세계경제포럼·MIT 10대 혁신기술('17,'18)

○ 특히, 반도체 집적화("무어의 법칙")의 한계를 양자정보기술로 극복하여 신약개발, 금융 등 다양한 산업에 활용될 것으로 전망

- 기하급수적으로 증가하는 데이터양을 고전 컴퓨터로 처리하는데 한계 상황 직면
- 양자컴퓨터는 동시다발적 정보처리로 디지털 컴퓨터 대비 비교 불가 수준의 월등한 연산 성능(N→2n) 보유

  * 슈퍼컴으로 1만년 걸릴 문제를 200초에 해결(양자우월성 입증(구글), '19.10)

□ 장기 상용화 시점에도 불구, 기업·국가간 글로벌 경쟁이 가속화

○ 미·영·일·중 등 주요국은 양자정보기술의 폭발적 파급력에 주목하여 주도권 확보를 위해 치열하게 경쟁 중

  * 미국 : 양자법(NationalQuantumInitiativeAct)제정('18), 영국 : 국가양자기술전략 ('15, '19) 발표, 일본 : 양자혁신전략('20.1) 발표 등

○ Google, IBM, AT&T 등 글로벌 기업들은 원천기술 확보를 통한 글로벌 시장 선점 준비에 만전

  * 글로벌 양자 시장은 '35년에 400조원 규모로, 반도체 글로벌 시장('18년 529조)과 비슷한 규모의 시장 형성 전망 (2017년, Communications Industry Researchers)

□ 차세대 선도기술로 정부 주도의 선제적 대응이 필요한 기술

○ 미래 성장 가능성이 높으나 기술적 난이도가 높고 산업 기반이 없는 초기 기술로 정부 주도의 R&D 투자 필요

51) 과학기술정보통신부(2021), '양자 기술 연구개발 투자전략(안)' 참조 및 재구성

○ 양자정보기술은 보안성 강화(양자암호통신)와 암호체계 무력화 (양자컴퓨팅)*라는 양면성을 가져 장차 전략 기술화 가능성이 높음

* 現 공개열쇠 암호방식은 기존 컴퓨터가 소인수분해에 취약한 점에 착안되었으나 양자컴퓨팅 기술 완성 시 짧은 시간 내 소인수분해가 가능해져 암호체계 위협

□ 이에, 본고에서는 양자정보기술 관련 국내외의 기술, 산업, 정책, R&D 투자 동향 등을 통해 시사점을 도출하고자 함

(2) 기술의 정의 및 범위

□ 양자역학적 특성*을 이용하여 정보를 전송하거나 연산을 수행하는 기술

* "양자(量子, Quantum)"는 더 이상 쪼갤 수 없는 물리량의 단위를 의미하며, 복제할 수 없는 성질(복제불가능성), 두가지 성질을 동시에 가지는 성질(중첩성), 양자 상호간 특수한 관계(얽힘현상), 어떤 입자의 정확한 운동량과 위치를 동시에 파악하는 것이 불가능(불확정성) 등이 대표적임

○ 나라별로 양자 기술에 대한 명칭과 정의는 다양하며, 미국은 양자정보과학으로 칭하며 그 외 나라는 양자(과학/정보)기술로 정의

〈표 Ⅴ-12〉 나라별 양자 기술 명칭 및 정의

국가	명칭	정의
미국	Quantum Information Science(QIS) (NQI(18.12))	the use of the laws of quantum physics for the storage, transmission, manipulation, computing, or measurement of information
영국	Quantum Technology (Quantum Manifesto(16))	양자통신, 양자시뮬레이터, 양자센서, 양자컴퓨터
중국	양자과학기술 (국가중점연구개발계획(16))	양자제어 및 양자정보 분야의 중대과학문제와 병목기술에 대한 기초, 전략 및 미래지향적인 탐구
일본	양자과학기술 (양자기술혁신전략(20.1))	1. 양자컴퓨터, 양자시뮬레이션, 2. 양자계측, 센싱, 3. 양자통신, 암호, 4. 양자소재(양자특성, 재료)
한국	양자정보통신기술 (과기2차관(21.6))	초미세영역에서 나타나는 양자의 물리적 특성(중첩성, 불확정성, 얽힘, 비가역성 등)을 통신, 감지기(센서), 컴퓨터 등 정보통신기술 응용하여 기존 기술의 한계를 극복하는 파괴적 혁신기술
	양자기술 (S&T GPS(18.3))	양자기술은 양자역학적 상태를 직접 제어하고 활용하여 정보를 처리하거나 성능을 비약적으로 향상시키는 일에 국한하여 초점을 맞추고 있으며, 양자정보기술과 거의 일치

□ 양자정보기술은 크게 양자컴퓨팅, 양자통신, 양자센서(계측) 분야로 구분

○ (양자컴퓨팅) 양자의 특성(중첩성과 얽힘 현상)을 이용하여 초고속 병렬연산이 가능한 새로운 개념의 컴퓨터

※ 정보처리의 기본단위가 비트(Bit)에서 양자비트(Qubit)로 바뀌면서 정보 처리 및 연산 속도가 지수함수적 증가

○ (양자통신) 양자의 특성을 활용한 물리적 보안 통신 및 양자컴퓨터 등 양자기기간 연결을 위한 네트워크 기술

○ (양자센서) 전자기장, 중력, 빛 등의 영향에 따른 양자 상태 변화를 이용하여 초정밀 계측을 가능케 하는 기술

〈표 V-13〉 양자정보기술 분야별 분류

분야	적용 양자 특성	기술목표	역할 및 활용
양자 컴퓨팅	중첩·얽힘을 이용한 정보의 동시처리	초고속 연산 (꿈의 컴퓨터)	AI·빅데이터 등에 초고속 병렬연산 수행 * 현대암호체계 해독, 양자기계학습
양자 통신	정보가 쉽게 붕괴·손상	높은 보안 능력 (차세대 방패)	기하급수적으로 늘어나는 기기 간 안전한 데이터 전송 * 통신인프라 보안, 금융보안(보안카드·ATM 등)
양자 센서	高 민감성	초정밀 계측	고성능 센서 필요분야에서 정밀한 데이터 측정 수행 * 차세대 의료영상기기, GPS 등

□ 양자컴퓨팅은 다시 양자컴퓨터와 양자알고리즘으로 분류[52)]

○ (양자컴퓨터) 양자시뮬레이터(단열(Adiabatic) 접근), 위상양자컴퓨터 (위상학적(Topological) 접근), 범용양자컴퓨터(범용게이트(Circuit model) 접근) 등으로 분류됨

- 양자시뮬레이터는 초기값을 넣고 최적화 된 결과값을 도출하는 방법으로 이미 실용화되어 사용하고 있으나 제어할 수 없어 활용처가 제한적이고 오류보정이 불가능한 단점이 있음

52) 임승혁 (2019) 범용양자컴퓨터. 기술동향브리프 2019-19호를 참조 및 재구성

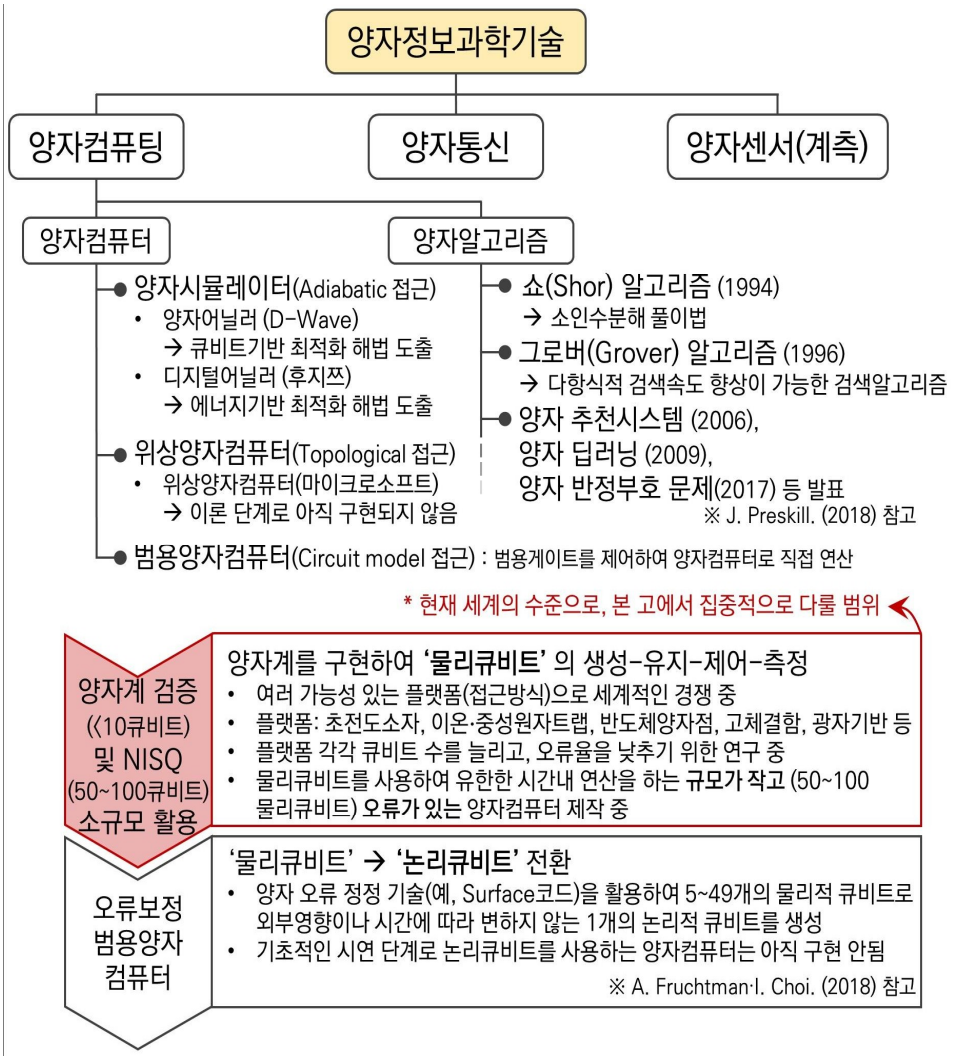
- 위상양자컴퓨터는 이론적으로 오류가 나지 않으므로 오류보정이 불필요한 장점이 있지만 아직 이론 단계로 구현(시연)된 적이 없음
- 범용양자컴퓨터는 범용게이트를 제어하여 연산하는 방식으로 오류보정 방법이 있으며, 양자계 검증(10개 이하 물리큐비트*)단계, NISQ (50~100개 물리큐비트) 소규모 활용, 오류보정 범용양자컴퓨터(50개 이상 논리큐비트*) 로 나뉨

  * 물리큐비트 : 여러 플랫폼으로 생성된 물리큐비트는 외부 영향에 극도로 민감하여 양자상태 유지시간(결맞음시간)이 한정되어 있어 유지시간 내 연산을 끝낼 수 있고, 일부 오류가 포함되어도 결과를 낼 수 있는 용도로 NISQ 소규모 활용

  * 논리큐비트 : 오류를 보정하기 위하여 여러 개의 물리큐비트로 한 개의 가상 논리큐비트를 만들어 시간에 따라 양자상태를 보존하며 연산을 진행할 수 있으나 완벽히 구현되지 않음

○ (양자알고리즘) 소프트웨어는 양자알고리즘(특정 문제를 풀기위한 게이트의 조합)과 양자컴퓨터 구조(아키텍처)에 따른 SW(양자 프로그램언어, 양자 Compiler 등)가 제안

- 소인수분해를 푸는 쇼어(Shor) 알고리즘(1994)를 비롯하여 검색속도 향상 그로버(Grover) 알고리즘(1996) 등 양자컴퓨팅을 위한 알고리즘이 개발



[그림 Ⅴ-1] 범용양자컴퓨터의 양자기술 구조도 내 위치와 발전단계

□ 양자통신은 유·무선양자암호통신과 양자네트워크(인터넷)으로 구분

○ 또는 유·무선QKD, QKD공통기반, 양자중계기, 양자네트워크로 분류

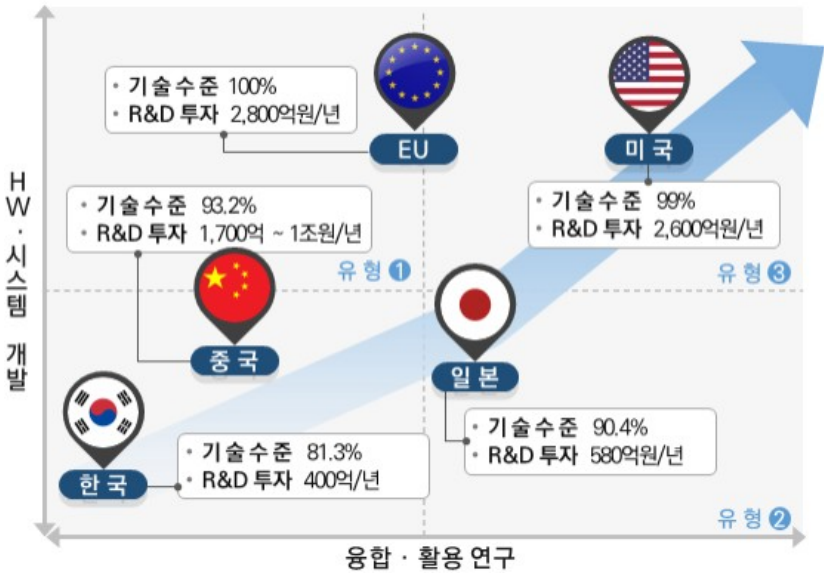
□ 양자센서는 양자측정, 센싱 및 이미징으로 구분

○ 또는 측정대상에 따라 관성, 시간측정, 자기장·전기장, 광학 센서로 분류

나. 기술동향[53]

(1) 국외 기술동향

□ 각 국은 전략적으로 다양한 융합·활용분야에 기술수준을 높이는 추세



[그림 Ⅴ-2] 주요국 양자정보기술 발전 비전 및 전략현황

□ (양자컴퓨팅) '30년대 후반 경 본격 상용화가 예상되는 상황으로 다양한 후보기술(플랫폼) 간 경쟁 중

○ 50~70큐비트 양자컴퓨팅 시스템 시제품 개발, 일부 클라우드로 서비스 중이며, 큐비트 확장, 오류보정 등 성능 고도화 추진

○ 현재 초전도·이온트랩 방식이 가장 앞서 있으나, 각 방식별 장단점이 있어 향후 기술발달 양상에 따라 주도 방식이 바뀔 가능성 존재

○ 본격 상용화 이전 중간단계('30년 전후)로 現 NISQ 수준의 양자컴퓨팅 기술을 최적화·활용 예상

53) 과학기술정보통신부(2021), '양자 기술 연구개발 투자전략(안)' 참조 및 재구성

〈표 V-14〉 양자컴퓨팅 플랫폼별 장단점

방식	초전도 소자	이온트랩	반도체 양자점	위상큐비트	고체결함	광자 기반
장점	빠른 게이트 속도, 반도체기술 활용	소자 안전성, 높은 신뢰도	소자의 안전성, 반도체기술 활용	오류 미발생	상온 작동	제어와 전송 용이
단점	초전온 유지, 짧은 양자상태 유지시간	느린 게이트 속도, 복잡한 레이저 장치	얽힘 구현 난이도 초저온 유지	구현가능성 미입증	얽힘 구현 난이도 높음	대규모 얽힘 생성 어려움

□ (양자통신) 전송 한계(100km) 극복과 유무선 채널 다변화 연구 진행 및 장기적으로는 정보의 양자상태 전송이 가능한 양자인터넷으로 발전

○ 유선통신은 초기 상용화 단계이며, 무선통신은 최근 금융 사용자 인증을 위한 초근거리 무선 암호통신 기술 및 위성간 통신 등을 위한 장거리 무선통신 기술 개발 진행

○ 장기적으로는 양자인터넷(Quantum Web)으로 발전하여, 양자 기기간(양자센서, 양자컴퓨터) 또는 다수의 양자컴퓨터를 연결·활용

□ (양자센서) 양자센서는 민감도·해상도 등에서 고전 센서의 한계치를 극복 후 이를 극대화하는 방향으로 전개

○ 시장성이 큰 분야(의료/네비게이션)에서 상온 동작 가능한 소형화 연구

○ 현재 가능성이 보이는 양자 관성, 자기장, 이미징 센서 위주로 정밀도·분해능 향상, 상온동작 등 기술적 난제 해소에 중점 투자

- 실험실 단계에서 입증된 센서 중 실제 응용이 가능할 수 있도록 SWaP-C* 최적화 등을 위한 연구 추진 중

* 크기(Size), 무게(Weight), 전력소모(Power) 및 가격(Cost)

(2) 국내 기술동향

□ (기술수준) 양자 R&D 후발국으로 주요국과의 기술격차가 현격

○ 선도국(EU) 대비 우리나라의 양자기술은 약 81.3% 수준으로 국내 전체 ICT 기술내 최하위 수준

* ICT 기술 평균 : 84.5%, 이동통신 : 96.8%, 인공지능 : 81.6%('18년 기준, IITP)

- 기술성숙도는 양자통신(79%), 양자센서(76%), 양자 컴퓨팅(66%) 順

□ (양자컴퓨팅) 8큐비트 양자 프로세서를 개발(표준(연)). 소자, 기반 기술(냉동공학, 초전도 등)도 선진국에 비해 뒤쳐져 있으며, SW·알고리즘은 세계적으로도 초기 단계

□ (양자통신) 현재는 1:N 암호키 교환이 가능한 양자암호통신 기술 연구

○ 현재는 양자암호통신 구현을 위한 테스트베드 성격의 시범 서비스 및 개발장비 위주의 초기 시장이 형성 중

□ (양자센서) 실험실단위에서 초소형 원자시계(표준연), 양자 자기장· 자이로센서 시제품 등을 개발하였으며, 현재 표준(연)(관성·자기장), 서울대(자기장) 등에서 기술 개발 진행

○ 실험실 수준에서 이미 기존의 기술을 뛰어넘는 민감도를 활용해 가속도·전기장·자기장·회전을 탐지하는 양자센서가 가능함을 입증

다. 산업동향[54)]

(1) 국외 산업동향

□ (양자컴퓨팅) 양자컴퓨팅의 가능성에 주목하여 구글, IBM 등 글로벌 IT 대기업 중심으로 본격 추진 중

○ (구글) '양자 우월성(Quantum Supremacy)' 최초 입증('19.10)한 이후 NASA와 양자인공지능연구소 공동 설립하여 공동 연구

- 양자기계학습툴(Tensorflow Quantum), SW 양자시뮬레이터 개발 ('20) 등 추진

○ (IBM) IBM Q 네트워크(삼성, JP모건 등 106개)를 구축, 클라우드 기반 양자컴퓨팅서비스를 제공하고, 다양한 활용분야를 탐색 중

- '20년 65큐비트에서 '23년 1,121큐비트 양자컴퓨터 개발계획 발표('20.9)
- '21년 127큐비트 기반 '이글 프로세서' 개발하여 공개

○ (IonQ) 이온트랩기반 양자컴퓨터 전문기업으로 세계최초 상장 및 기술로드맵 발표

□ (양자통신) '20년대 중반이후 통신·네트워크 서비스, 암호인증 및 데이터 보안을 중심으로 본격적인 상용화 시장 형성 전망

○ (Quantum Xchange) 미국 워싱턴-뉴욕시-뉴저지간 19개소 약 1,000km에 대해 양자암호를 이용한 암호통신 서비스 중

54) 과학기술정보통신부(2021), '양자 기술 연구개발 투자전략(안)' 참조 및 재구성

□ (양자센서) 현재 대부분의 양자센서가 실험실 단계의 연구 중이며, 관성·자기장 센서는 항법·의료 등 일부 분야에서 상업적으로 이용

○ (록히드마틴) 합성 다이어몬드 기반 양자자기장센서와 NOAA 지자기 지도를 이용하여 전파방해 등에 영향 받지 않는 항법시스템 개발 중

○ (Bosch) 100여개의 센서를 사용하는 자동차부품 전문회사로서 네비게이션용 양자자이로 및 자기장센서 개발. 나이트 비전용 양자이미징센서 등을 개발 중

○ AOsense(미국), Cold QuantBosch(독일), Qnami(스위스) 등 일부 기업에서 시제품 개발

(2) 국내 산업동향

□ (양자컴퓨팅) 삼성종합기술원에서 연구중이나 공개된 시스템은 없음

□ (양자통신) SKT(5G 서울-대전-대구 380km), KT(전남도청- 해군사령부간 45km) 등 일부 유선 시범 서비스 운영 등 초기상용화

○ (SKT·IDQ) SKT는 '18년 양자암호통신장비 세계1위 기업인 IDQ를 인수하고 양자암호장비를 상용화*한 데에 이어 양자 라이다 등 양자센서에도 도전

* '16년 세종-대전간 LTE망(정부 R&D 지원)에, '19년 서울-대전-대구 5G망에 적용

□ (양자센서) 잠수함 운행, 스텔스 탐지 등 국방분야에서 전략기술로서 중요성이 높아질 전망

○ 양자센서가 현실적인 문제에 어떻게 접목될 수 있는지 입증된다면 의료·항해·자율주행·자원개발 등을 중심으로 시장 형성 전망

○ 우리로(단일광자), SKT(양자라이다)에서 기술 개발 진행 중

라. 정책동향

(1) 국외 정책동향[55]

□ 빠른 기술 진보와 활용 가능성이 가시화되면서 각 국은 양자기술을 유망기술 우선순위에 포함시키고 다양한 투자 프로그램을 포함한 투자전략을 발표

55) 과학기술정보통신부(2021), '양자 기술 연구개발 투자전략(안)' 참조 및 재구성

[그림 Ⅴ-3] 주요국 양자정보기술 발전 비전 및 전략현황

□ (미국) 미-중 기술패권 경쟁에 있어 5G, AI, 빅데이터, 로봇, 항공우주, 양자컴퓨터을 핵심기술로 인식*하여 집중 투자 중

* 미국 안보 우위를 위한 20대 핵심유망기술로 "양자정보과학" 선정(美 NSC, '20.10)

○ 세계 최초로「양자법(NationalQuantumInitiativeAct)」을제정('18.12), 조직화된 지원체계를 구축*하고 전방위적으로 종합 지원('19~'23 1.4조원)

* 백악관 직속 국가양자조정실(NQCO), 국가과학기술위원회 산하 양자정보과학소위원회 신설 등

○ 또한, 양자인터넷 전략비전*('20.7) 및 5개 양자정보과학연구센터 (MS, 하버드大, 코넬大, 인텔, 록히드마틴 참여) 설립·지원(7천억원) 발표('20.8)

* 美 에너지부, 10년 내 양자인터넷의 전국적 구현을 위한 청사진 제시

○ 바이든 행정부도 양자정보과학을 우선순위에 두고 집중 지원 전망

○ '바이든 정부는 연구 우선순위에 있어 인공지능과 양자정보과학에 중점을 두었던 트럼프 행정부의 기조를 이어갈 것(Nature News, '20.10)'

□ (영국) 높은 수준의 기초과학 기반을 토대로 영국 기업이 미래 양자시장에서 우위를 차지하도록 향후 10년 이상 정부 주도의 투자 천명

○ '14년 국가양자기술프로그램을 출범 후 2차례 '국가양자기술전략('15, '19)' 발표

○ 상용 양자컴퓨팅 시스템을 도입('20~'22, 158억원)하고, 국가양자컴퓨팅센터('19~'24, 3,400억원)를 설립, 실용화 가능한 양자컴퓨터·SW 개발

○ 38개 신규 양자기술*에 7천만파운드(1,100억원) 투자 계획 발표('20.6)

* 암세포 구별 이미징 기술(Adaptix社-맨체스터大), 양자기반 가스센서(BP社-QLM社), 양자 컴퓨터용 OS (Riverlane社), 고성능 전기차용 배터리(Phasecraft社) 등

□ (일본) 「제5기 과학기술기본계획('16.3)」부터 양자기술을 우선순위에 포함하였고, 최근 인공지능, 바이오, 양자를 3대 국가전략기술로 지원 중

○ '양자과학기술의 새로운 전개방안('17.2)', '양자혁신전략('20.1)'을 잇달아 발표하여 기술로드맵 제시, 양자혁신거점 지정 등 추진

○ 광·양자 퀀텀도약 플래그십(Q-LEAP)('18), 문샷 프로그램('20.2)* 추진

* '30년까지 NISQ양자컴퓨팅 시스템 개발, '50년 오류정정 범용양자컴퓨터 확보 추진

□ (중국) '30년 국가전략구현 6대 중대 프로젝트에 포함하여 양자굴기를 추진 중이며, 최고 지도층의 관심으로 범국가적 차원의 투자 확대 중

○ 「제13차 중국 5개년 계획('16)」부터 국가 전략적 연구개발 분야로 설정, 양자과학기술 인재 양성, 중대형 프로젝트의 본격 추진

* 중국 중앙정부는 연간 10억 위안(1,700억원)의 투자계획 발표하였고, '18년 최선도국인 미국 대비 2배의 특허 출원

○ 국립양자과학연구소 설립(13조원, '17년~)을 추진 중이며, 최초 양자암호통신위성(묵자호)을 발사하여 위성양자통신 기술 구현('16)

* '25년까지 슈퍼컴퓨터급 계산속도를 가진 양자 시뮬레이터를 개발하고, '30년 500~1000 큐비트급 범용 양자컴퓨터 개발 목표 제시

〈표 Ⅴ-15〉 국외 양자정보과학기술분야 정책 비교

구분	연평균 투자금	주요 경쟁력	최근 수립 정책	정책적 특징
미국	2.2억달러 (2,600억원)	전 분야에 고른 경쟁력 보유	▸National Quantum Information Act('18.12월) ▸'양자인터넷 전략적 비전'발표 (2020.2)	부처간 역할 재정립 및 백악관 중심의 조정기구설치 아파넷(ARPAnet)과 같은 파급효과를 실현
EU	2억유로 (2,600억원)	최고수준의 기초기술력 확보	▸Quantum Technologies Flagship Final Report('17.7월)	산업화 목적의 R&D 지원 강화 (기초·개발·응용연구의 병행 지원)
영국	52.5백만 파운드 (800억원)	기초과학 강세	▸National Strategy for Quantum Technologies ('15-'19/'19-'24)	
독일	0.85억유로 (1,700억원)	기초과학 강세	▸Quantentechnologien von den Grundlagen zum Markt('18.9월)	

구분	연평균 투자금	주요 경쟁력	최근 수립 정책	정책적 특징
중국	10억 ~ 60억위안 (1,700억원 ~ 1조원)	세계 최장 암자암호통신망 및 최초 양자얽힘 인공위성	▸13차 5개년 국가 과학기술혁신 계획 2016~2020 ('16.1월) ▸허페이 국가양자정보과학연구소 설립 계획('17.9.) ▸지난양자정보산업개발계획('19.3)	전방위적 투자 강화 (포괄적 지원) 각 省의 市별 계획 수립(허페이, 지난, 상해, 우한 등)
일본	20.6억엔 (220억원)	양자암호통신 세계 표준선도	▸양자과학기술의 새로운 전개를 위한 추진방안 ('17. 2월) ▸광양자 퀀텀 도약 플래그쉽 프로그램(Q-LEAP, 문부과학성, '18.1월) ▸위성통신을 이용한 양자암호기술연구개발(총무성, '18.8) ▸양자이노베이션전략 수립 중 (범부처 통합혁신전략수립위원회, '19년도 말까지) ▸제48회 종합과학기술혁신회의(CSTI)에서 문샷(Moonshot) 연구개발제도의 목표 논의('20.1.)	부처별 상이한 지원 정책의 조율 추진 중 (R&D, 인력양성 등) (목표 6) 오류 내성을 지닌 범용 양자컴퓨터 실현

(2) 국내 정책동향[56]

□ '14년부터 양자암호통신 중심으로 꾸준한 정책시도가 있었으며 '21년부터 연구개발 투자전략 및 특별법 개정 등 급격하게 많은 정책이 추진

○ '14년 12월 양자정보통신 중장기 추진전략을 마련하였으나 '16년부터 진행된 "양자정보통신 중장기 기술개발사업"에 대한 예비타당성조사가 '18년 최종 실패

○ '20년 12월 과기정통부와 IITP가 양자정보과학기술을 포함한 「ICT R&D 기술로드맵 2025」 발표

○ '21년 4월 양자기술 연구개발 투자전략이 과학기술관계장관회의에 상정

56) 임승혁 (2019), '범용양자컴퓨터' 참조 및 재구성

〈표 Ⅴ-16〉 국외 양자정보과학기술분야 정책 비교

시기	내용
2013년 3월	- 「국가초고성능컴퓨팅 활용 및 육성에 관한 법률」제정으로 양자컴퓨팅 기술개발의 근거가 마련되었으나 이후 기술개발 전략과 정책은 양자암호통신 등을 중심으로 수립
2014년 12월	- 국제적 도·감청 사건을 계기로 미래창조과학부에서 「양자정보통신 중장기 추진전략」을 수립하여 정보통신전략위원회에 상정·보고
2016년 7월	- 양자통신, 양자컴퓨터 등의 기술개발을 위한 '양자정보통신 중장기 기술개발사업' 예비타당성조사가 신청되었으나 2018년 말 통과 실패로 결론 ※ 양자 수요기술을 조사해 양자암호통신, 양자소자 등 총 12개 핵심 과제를 도출해 2017년 8월 변경 기획(안)을 다시 제출했으나 이 역시 실패
2020년 12월	- 과기정통부와 정보통신기획평가원은 「ICT R&D 기술로드맵 2025」을 통해 2035년 까지의 양자컴퓨팅, 양자통신 및 양자센싱/계측 분야 기술로드맵과 기술개발 전략을 발표
2021년 4월	- 제 17회 과학기술관계장관회의 안건으로 '디지털을 넘어 퀀텀시대를 준비하는 양자기술 연구개발 투자전략(안)' 상정·보고
2021년 6월	- '양자기술의 경쟁력 강화와 양자 산업 활성화를 지원하는 '정보통신진흥 및 융합활성화 등에 관한 특별법(이하 정보통신융합법)' 개정이 시행

○ '21년 6월 정보통신융합법 개정을 통해 양자기술 및 산업에 대한 정부 차원의 적극적 지원 및 양자 생태계 활성화 지원이 가능해짐

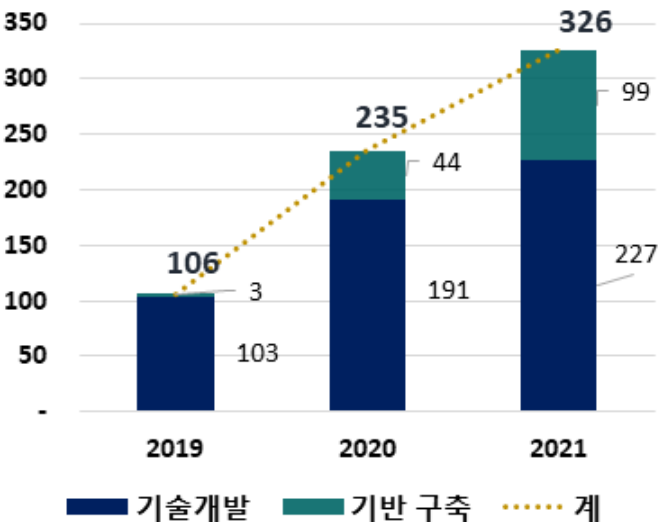
〈표 Ⅴ-17〉 국외 양자정보과학기술분야 정책 비교

구 분	내 용
양자정보통신정의 (제2조)	양자역학적 효과를 기반으로 하는 양자암호 및 통신, 양자센서 및 소자, 양자컴퓨터 등을 가능케 하는 기술
연구개발·인력양성 (제27조의2)	원천기술 확보 단계인 양자 분야의 특성을 고려하여 연구개발 지원, 인력양성 등 생태계 조성 지원 근거 마련
국제협력·표준화 (제27조의2)	양자분야에 대한 각 국의 연구개발이 빠르게 진행되고 있는 점을 고려하여 국가 간 연구협력·표준화 지원 근거 마련
전담기관의 지정 (제27조의2)	양자정보통신 관련 연구개발·인력양성·국제협력 등을 지원하기 위한 전담기관 지정 근거 마련
민간 기술개발 지원 (제27조의3)	양자분야 기술집약형 중소·벤처기업 등 민간부문의 양자정보통신기술에 대한 지원 근거 마련
양자산업클러스터 (제7조, 제27조의4)	산·학·연의 유기적인 연계를 기반으로 양자산업을 집중 육성할 수 있는 양자산업클러스터 지정 근거 마련

마. 정부 R&D 투자 동향[57)]

□ 양자정보기술 관련 과제는 '19년까지 소액과제 형태가 대다수로, 본고에서는 과기부에서 추진한 전용사업을 기준으로 투자금액을 산출

○ 소액과제(기초연구 또는 출연(연) 사업) 추진되던 양자 R&D는 '19년을 기점으로 본격 증가하였고, 전용사업 예산은 '19년 106억원에서 '21년 326억원으로 대폭 증액(연평균 75.4% 증)



[그림 Ⅴ-4] 양자정보기술 유형별 투자현황(단위: 억원)

- R&D유형별 분류할 경우 기술개발(522억원), 기반구축(146억원)에 3년간 총 668억원 투입

※ 이와는 별도로 출연(연) 주요사업으로 ('19)114억원→(20)109억원→ ('21)133억 지원

57) 과학기술정보통신부(2021), '양자 기술 연구개발 투자전략(안)' 참조 및 재구성

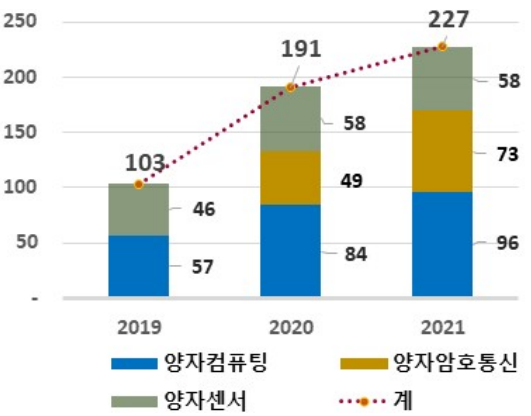
〈표 Ⅴ-18〉 양자정보기술 전용사업 투자현황

(단위 : 억원)

양자 분야	사업명	회계	'19년	'20년	비고
컴퓨팅	양자컴퓨팅 기술개발사업	일반	60	84	'19~'23, 445억
통신	양자암호통신 집적화 및 전송기술 고도화	방발	-	49	'20~'25, 300억
센서	양자센서 핵심원천기술개발 사업	정진	46	58	'19~'22, 280억
공통 (인력, 기반)	양자정보과학 연구개발생태계 조성	일반	-	44	'20~'24, 493억
	양자암호통신 인프라 구축(非R&D)	방발	-	150	'20~'22, 450억
	정보통신기술 인력양성(ITRC, 2개)		15	16	'15~, 센터당 연 8억
	기초연구사업(선도연구센터, 1개)	일반	10	25	'19~'25, 135억

○ (기술개발) 양자컴퓨팅, 양자센서, 양자통신 R&D에 3년간 522억원 지원

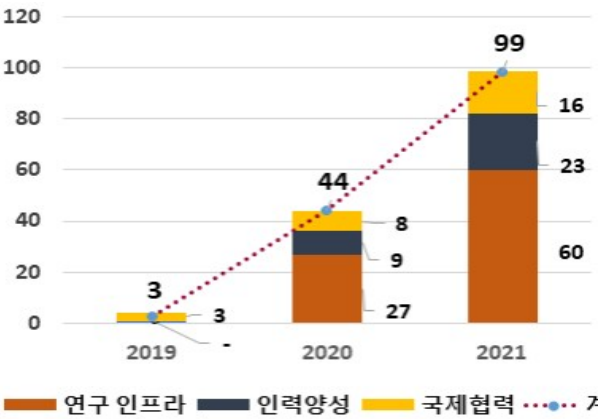
- 양자컴퓨팅 분야에 예산이 가장 많이 투자되어 왔고, 양자통신, 양자 센서 순서로 정부 R&D예산이 투자중
- (양자컴퓨팅, 46%) 양자소자(36.6%), 양자 시뮬레이터(20.3%), SW 및 알고리즘(18.1%), 기타 기반 기술(25%) 개발에 238억원
- (양자통신, 31%) 유선 양자암호통신 상용화를 위한 시스템 집적화(42%), 단일광자 생성 얽힘 기술 등 원천기술 고도화(58%)에 122억원
- (양자센서, 23%) 관성 센서(30%), 이미징 센서(19%), 자기장 센서(17%), 기타 기반 기술(양자광원, 광주파수 등 34%) 개발에 161억원



[그림 Ⅴ-5] 양자정보기술 기술분야 투자현황(단위: 억원)

○ (기반 구축) 인력양성, 연구인프라 구축, 국제협력 등에 3년 간 146억원 지원

- (인력양성, 21.5%) 석·박사, Post-Doc 단기 해외연수 중심으로 31.5억원
  ※ 이 외에 ITRC사업으로 양자 분야 3개 센터에 연간 약 20억원 지원
- (연구인프라, 60%) 양자팹 구축, 해외클라우드 사용 지원 등에 87억원
- (국제협력, 18.5%) 신진연구자 교류 지원, 국제포럼 개최 등에 27억원
- 기업은 정부 R&D 매칭을 통한 원천연구(통신) 및 일부 소규모 자체 탐색연구(컴퓨팅)에 투자



[그림 Ⅴ-6] 양자정보기술 기반구축 투자현황(단위: 억원)

○ 과제단위에서 양자정보기술 투자금액 분류할 경우 전용사업이 아니므로 그 총합은 다소 높아짐

〈표 Ⅴ-19〉 양자정보기술 과제유형별 투자현황

구 분	'17년	'18년	'19년	'20년	'21년	계
기술개발	160	132	221.3	369.2	401	1,283.5
인력양성	8	13.3	24.7	65	70.8	181.8
표준화	0.9	0.3	0	2.1	2.8	6.1
계	168.9	145.6	246	436.3	474.6	1,471.4

〈표 Ⅴ-20〉 양자정보기술 기술분야별 투자현황

구 분	'17년	'18년	'19년	'20년	'21년	계
양자컴퓨팅	48	47.6	124	206.2	223	648.8
양자통신	112	84.4	51.3	105	120	472.7
양자센서	0	0	46	58	58	162
공통(인력, 기반)	8.9	13.6	24.7	67.1	73.6	187.9
계	168.9	145.6	246	436.3	474.6	1,471.4

○ 양자정보기술 관련 과제를 포함한 세부사업 현황은 아래와 같음

〈표 Ⅴ-21〉 양자정보기술 과제단위 세부사업 현황

(단위 : 억원/ ▨ 전용사업)

사업명			부처	'17년	'18년	'19년	'20년	계	'21년
기술개발	양자컴퓨팅	양자컴퓨팅 기술개발사업	과기①	-	-	60	84.3	144.3	96.3
		양자정보과학 연구개발생태계조성 (양자정보과학 물적기반조성)	과기①	-	-	-	40	40	59.8
		한국과학기술연구원(주요사업)	과기①	33	32.6	34	27.9	127.5	27.9
		한국전자통신연구원 연구개발지원사업	과기②	15	15	30	54	114	39
	양자통신	양자암호통신 집적화 및 전송기술 고도화	과기②	-	-	-	49	49	73
		ICT 융합산업원천 기술개발사업	과기②	35.8	35.8	-	-	71.6	-
		정보보호핵심 원천기술개발사업	과기②	3.6	3.6	3.6	3	13.8	-
		방송통신산업기술개발사업	과기②	7.4	10	1.7	-	19.1	-
		한국전자통신연구원 연구개발지원사업	과기②	-	-	17	17	34	17
		한국표준과학연구원(주요사업)	과기①	55.2	35	29	36	155.2	30
		출연연(KIST-ETRI)간 자체 협력과제	과기①	10	-	-	-	10	-
	양자센서	양자센서 핵심원천기술개발사업	과기②	-	-	46	58	104	58
공통기반	인력양성	정보통신방송혁신인재양성사업	과기②	8.0	13.3	14.7	16	52	7
		과학기술혁신인재양성사업 (양자정보과학)	과기①	-	-	-	24	24	38.8
	표준화	기초연구사업(선도연구센터)	과기①	-	-	10	25	35	25
		정보통신방송표준개발 지원사업	과기②	0.9	0.3	-	2.1	3.3	2.8

바. 결론

(1) 요약 및 정리

○ (기술수준) 선도국(미국) 대비 우리나라의 양자기술은 약 73.6% 수준으로 국내 전체 ICT 기술내 최하위 수준

* ICT 기술 평균 : 84.5%, 이동통신 : 96.8%, 인공지능 : 81.6%('18년 기준, IITP)

- 기술성숙도는 양자통신(79%), 양자센서(76%), 양자 컴퓨팅(66%) 順

○ (인력) 양자 기술 분야 고급 전문인력이 크게 부족

- 현재 국내 핵심연구인력은 약 150명 내외로 추산되며, 우수 논문을 게재한 연구인력 수는 세계 17위 수준*이며, '30년 핵심 연구인력 수요는 1,000명 수준으로 인력양성 강화 필요

* 우수 논문 게재 연구인력('16년 기준) : 중 1,913명, 미 1,217명, 독 554명, 영 453명, 한 78명

○ (인프라) 양자 특화 연구 및 실증 인프라 미비

- 최근 정부 R&D 확대 등으로 양자소자 제작, 양자컴퓨팅 서비스 수요는 증가세이나 국내 소자 제작 공정 인프라 미비

* 각 기관에 구축된 소규모 전용장비의 집적·연계가 미비하고 기존 연구용 반도체 공정(나노팹 등)의 용량·공정차이로 공동활용에 한계

- 양자암호통신 실증사업을 추진 중이나 분산형 양자컴퓨터 네트워킹 등 미래 양자통신 연구·실증 인프라는 부재

○ (R&D 투자 현황) 초기 국가 투자단계, 전략성 강화 필요

- 소액과제(기초연구 또는 출연(연) 사업) 추진되던 양자 R&D는 '19년을 기점으로 본격 증가하였고, 전용사업 예산은 '19년 106억원에서 '21년 326억원으로 대폭 증액

- 기업은 정부 R&D 매칭을 통한 원천연구(통신) 및 일부 소규모 자체 탐색연구(컴퓨팅)에 투자

(2) 시사점

□ 우리나라는 양자 R&D 후발국으로서 기초·응용기술, 인력양성, 인프라 등이 모두 미흡하므로 추격형 R&D 전략을 마련하고 효율적 투자 필요

○ 원천기술 강화 및 양자 소자·소재 공정 인프라를 확충하고, 산재된 개별 공정 설비·장비의 활용 연계 강화

○ 인력양성 및 협력기반을 마련하고, 기술 간 경쟁 및 산학연 파트너십 강화를 위한 추진체계를 구축

□ (도전적 원천연구 강화) 초고속 양자컴퓨팅 기술 개발, 초신뢰 양자통신 기술 개발 및 초정밀 양자센서 기술 개발을 위한 투자 고도화 필요

○ 범용 양자컴퓨터 핵심 요소기술 및 양자컴퓨팅 시스템 통합 구축

- 양자소자, 오류 보정 기술, 알고리즘, 응용 SW 등의 핵심 기술 및 시스템 요소기술, 시스템 통합·구축 기술 개발로 KQIP 구축 추진

  * 한국형 양자컴퓨팅 시스템(KQIP:Korea Quantum Innovation Platform)

○ 유·무선 양자암호통신 핵심기술 고도화 및 양자컴퓨팅 시스템 통합 구축

- 유·무선 양자암호통신 기술 개발 및 중장기적으로 개별 양자 기기 (양자컴퓨터, 양자센서)를 연결, 미래 양자인터넷을 구현하기 위한 원천기술 확보 추진

○ 자기장, 중력, 이미징 센서 등 분야에서 기존 기술대비 10~100배 이상의 성능 확보 기술개발을 통해 첨단산업분야 혁신 촉진

□ (전문인력 확보 및 국내외 협력기반 구축) 거점 중심의 협업체계 구축 및 글로벌 협력 강화 및 기술 경쟁력 확보를 위한 인력 양성 지원 필요

○ 연구-교육의 유기적 지원 체계 구축, 대학 기반의 집단연구 지원, 해외 유수 연구소·대학 등과의 인력교류 중심 국제공동연구 확대 지원 필요

○ 학제 간 융합 기반의 교육·연구를 통한 양자 전문인력 양성, 초·중·고 등 학생 대상 양자 기초교육(Quantum Native 육성) 추진 필요

□ (특화 연구 인프라 확충 및 연계·고도화) 연구용 양자컴퓨팅 인프라 단계적 구축, 양자 소자 제작 공정 지원 인프라 구축 및 연계 강화 필요

○ 양자 가상머신, 양자 컴퓨팅 테스트베드, 해외 클라우드 서비스 지원을 통해 구성요소 및 알고리즘에 대한 검증을 지원

○ 고비용·고사양 장비 및 최상의 공정기술을 보유한 양자 전용 팹(파운더리) 구축 및 양자 소자 공정 인프라의 연계 활용 지원

□ (양자기술의 활용 및 산업 혁신 촉진) 경제·사회적으로 유용한 문제 발굴 및 민관 파트너쉽에 기반한 활용 성과 사례 창출 필요

○ 과학·공학 등 학문 분야의 난제 발굴, 국방, 공공·사회문제 해결 분야 등에 양자기술 활용 문제 도출 및 실증까지 연계 공동프로젝트 지원

○ 주력 산업 분야와의 연계성 고려, 민관이 함께 추진하는 산학연 공동 프로젝트 지원으로 벤처·창업 지원을 통한 산업 생태계 활성화 추진

□ 투자 전략의 효율적 이행을 위해 사업 구조 개편 및 신규 투자 등 추진 방향을 설정하고 차년도 R&D 예산 배분·조정에 반영 추진 필요

○ 양자기술을 활용한 산업혁신·공공난제 해결 프로젝트 추진 및 정부-민간 투자 역할 분담 및 연계 추진 및 투자확충 필요

3. 친환경 선박

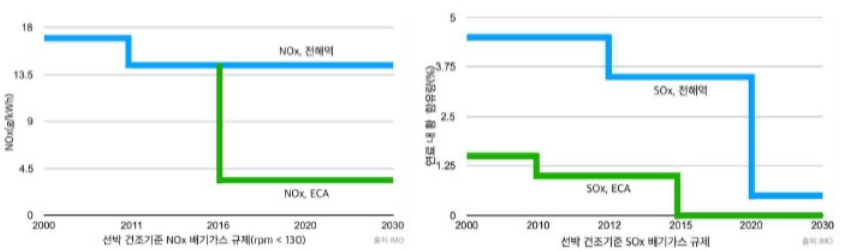
가. 개 요

(1) 배경 및 필요성

□ 국제해사기구(IMO)의 선박 온실가스 규제*의 목표를 달성하기 위해 국가별로 대응을 위한 노력을 추진

* (1단계) 2015~2019년까지 신조발주 시 2008년 대비 최대 10% 감축
(2단계) 2020~2024년까지 연차별 증대시켜 최대 20%까지 감축
(3단계) 2025~2029년까지 신조 선박은 2008년 대비 30% 감축, 2030년 이후 발주 선박은 온실가스를 2008년 대비 40%까지 감축

○ 선박의 온실가스 규제 최종 목표인 2008년 대비 2030년 40% 감축 달성은 현존 기술로 달성이 어려우므로 연료전지, 대체연료 개발 등을 통해 대응하고자 하고 있음



※ 출처: 한국조선해양기자재연구원(2021).「LNG 선박 기자재 기술 동향」.

[그림 Ⅴ-7] 국제해사기구(IMO)의 환경규제 강화

□ 우리나라도 친환경 기술을 선도하고, 새로운 시장 창출 마련 등을 위해 친환경 선박 관련 기술 개발과 친환경 선박 보급을 추진하고 있음

(2) 기술의 정의 및 범위

□ 친환경 선박은 친환경 에너지 또는 연료를 동력원으로 사용하거나 해양오염 저감 기술 또는 선박 에너지 효율향상 기술을 탑재한 선박[58]을 의미

○ 「환경친화적 선박의 개발 및 보급촉진에 관한 법률(친환경 선박법)」 제2조 3호에서는 다음과 같이 친환경 선박을 정의하며, 이를 바탕으로 「제1차 제1차 친환경 선박 개발·보급 기본계획('21~'30)」에서는 하단의 표와 같이 친환경 선박을 정의함

〈참고: 친환경 선박의 정의(친환경 선박법 제2조 3호) 〉

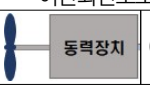
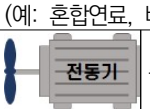
가. 해양오염 저감 기술 또는 선박에너지 효율기술 적용 설계 선박
나. 액화천연가스(LNG), 수소, 암모니아 등 친환경에너지 추진 선박
다. 충전 받은 전기에너지를 동력원으로 하는 전기추진선박
라. 연료와 전기에너지를 조합하여 동력으로 사용하는 하이브리드 선박
마. 수소 등을 사용하여 발생시킨 전기에너지를 이용한 연료전지 선박

- 친환경 선박은 크게 ① 오염저감·고효율선박, ② 친환경에너지 추진선박, ③ 전기추진선, ④ 하이브리드 선박, ⑤ 연료전지 추진선박 으로 구분됨

○ 동 절에서는 하단의 표에 제시된 5가지 유형의 친환경 선박 중에서 현재 해수부에서 추진 중인 친환경 에너지를 사용하여 추진하는 선박과 전기추진선박에 한정하여 동향을 분석함

58) 환경친화적 선박의 개발 및 보급촉진에 관한 법률(친환경 선박법); 관계부처합동(2020).「 제1차 제1차 친환경 선박 개발·보급 기본계획('21~'30)」.

〈표 Ⅴ-22〉 친환경 선박의 정의

구분		정의
오염저감·고효율선박		선박배출 오염물질 저감장치를 설치하거나 에너지 효율기술이 적용되어 설계된 선박
	해양오염 저감기술	선박에서 배출되는 오염물질을 저감하는 기술 · 황산화물 저감장치(스크러버) · 질소산화물 저감장치(SCR) · 미세먼지(입자상물질) 저감 필터(DPF) · 배기가스 재순환 장치(EGR) · 선박평형수 처리장치(BWMS)
	선박에너지 효율기술	선박의 에너지 효율을 높이는 기술 · 최적선형설계기술(선형설계, 에너지 절감 부가물(ESD) 설계 등) · 신소재 설계기술(고장력강, 내부식강, 경량소재 등) · 마찰저항 저감기술(공기윤활, 선체코팅, Bio Fouling 등) · 추진기 설계 기술(복합프로펠러, 고효율 추진기 등) · 운항효율 최적화 기술(항로탐색, 감시시스템 등) · 에너지 하베스팅 기술(폐열·냉열회수, 발전 등) · 이산화탄소포집장치(CCS)
친환경에너지 추진선박		 아래 나열된 친환경에너지를 이용하여 추진하는 선박
	LNG/CNG	액화천연가스(LNG), 압축천연가스(CNG)를 연료로 사용하여 추진하는 선박
	LPG	액화석유가스(LPG)를 연료로 사용하여 추진하는 선박
	메탄올	메탄올을 연료로 사용하여 추진하는 선박
	암모니아	암모니아를 연료로 사용하여 추진하는 선박
	수소	수소를 연료로 사용하여 추진하는 선박
	기타에너지	산업부 및 해수부 장관이 인정하는 에너지를 사용하여 추진하는 선박 (예: 혼합연료, 바이오연료, 에탄올, 풍력, 태양열, 태양광 등)
전기추진선박		 충전받은 전기에너지를 동력원으로 사용하는 선박
하이브리드 선박		연료와 전기에너지를 조합하여 동력원으로 사용하는 선박
연료전지 추진선박		수소·암모니아 등을 사용하여 발생한 전기에너지를 이용한 연료전지를 동력원으로 사용하는 선박

(출처: 관계부처합동(2020).「제1차 제1차 친환경 선박 개발·보급 기본계획('21~'30)」)

나. 기술동향

□ (LNG) 대표적인 대체연료이나 탈탄소화에는 한계가 있는 연료로, 국내 기업들은 LNG선 건조 및 관련 설비 개발 및 공급 중이며, 해외에서는 LNG 연료 추진선 도입을 촉진하기 위해 노력

○ (연료특성) 질소산화물, 황산화물, 미세먼지 등을 배출하는 석탄 발전보다 친환경적이고, 환경비용까지 고려할 때 석탄보다 경제적이라는 장점[59]이 있으나, 탄소배출 저감량이 18~20% 정도에 그쳐 탈탄소화에 한계*가 있고, LNG의 주요 성분인 메탄은 온실효과가 매우 높음[60]

* 탈탄소화의 한계를 극복하기 위해 무탄소 연료와 혼합연소 및 온실가스 포집기술 적용 등이 고려되는 추세

○ (LNG 벙커링 유형) LNG를 선박용 연료로 주입하는 행위를 LNG 벙커링이라고 하며, 공급원 및 방식에 따라 TTS(Truck to Ship), STS(Ship to Ship), PTS(Pipe to Ship)로 분류[61]

- TTS는 특수사양의 탱크로리에 LNG 연료를 싣고 선박에 주입하는 방법으로 주로 소규모 선박에 활용
- STS는 LNG 연료를 사용하는 컨테이너선이나 벌크선 옆에 벙커링 선박을 접안해 LNG를 공급하는 방법
- PTS는 육상이나 해상에 설치된 파이프라인을 통해 LNG를 선박에 공급하는 방법으로, 벙커링 속도가 빠르고 대용량 공급이 가능

○ (관련동향) 삼성중공업은 2008년 이후 멤브레인형 LNG 화물창을 개발하여 친환경 고효율 엔진 LNG선 건조하였으며, 대우조선해양은 LNG 운반선 및 LNG-FPSO 건조와 LNG 관련 설비 풀라인업을 구축하였으며, 한국카본은 국내외로 LNG화물창시스템에 초저온 보냉 자재를 개발 및 공급 중[62]

□ (수소) 재생에너지와 연계하여 친환경적인 생산이 가능하나 저장 및 보관이 어렵다는 단점이 있는 연료로, 유럽 많은 국가에서 수소를 활용한 친환경 선박을 개발

○ (연료특성) 사용 시 탄소를 전혀 배출하지 않고, 연료전지를 이용하여 에너지를 발생시킬 수 있으며, 수전해를 이용한 직접적인 생산이 가능하므로 재생에너지와 연계하여

59) 특허청(2020).「조선분야 기술·특허트렌드」.
60) 서용석·권철민·천강우·은현준(2020).「친환경 선박 대체연료 기술개발 동향」. KEIT PD Issue Report. Vol 20-11.
61) 송동근(2021).「고효율/친환경 선박: 환경오염 규제에 따른 친환경 연료 대체」. 한국IR협의회. 혁신성장품목분석보고서.
62) 위와 같음.

친환경적인 생산이 용이하다는 장점이 있으나, 액화 시 -253℃에서 액화하므로 저장 및 보관과정에서 큰 에너지가 소모되며, 체적 에너지밀도가 낮아 기존 대비 약 7.6배의 연료탱크가 필요함[63]

- 국제항해에 필요한 안전기준 코드 IGF에 수소가 미등록 되어있어, 관련법 및 제도가 미비하다는 단점이 있음

○ (관련동향) 영국 Bristol City Council, Bristol Hydrogen, Auriga Energy社 등은 세계 최초로 액체수소 추진 여객선 하이드로 제너시스호를 운항(2013년)하였고, 미국 Sandia National Laboratories는 2.5 MW 액화수소 연료전지 추진선박인 SF-Breeze를, 노르웨이 DNV, Eidesvik Offshore社 등에서는 330 KW급 특수 작업용 MCMF 연료전지 선박인 Fellow ship를 제작[64]

□ **(배터리) 탄소를 전혀 배출하지 않는다는 장점이 있으나, 충전설비가 필요하다는 단점이 있으며, 유럽에서 배터리를 활용한 친환경 선박을 개발**

○ (연료특성) 선박에서 사용 시 탄소를 전혀 배출하지 않으나, 항만 내 충전설비를 갖추어야 하며, 매우 낮은 에너지 밀도로 인하여 연안 소형선박 및 중대형 하이브리드 추진선에 적용이 가능[65]

○ (관련동향) 노르웨이는 리튬 이온 배터리를 이용한 최초의 완전 전기추진 여객선 '암페어(Ampere)'호*를 도입하였고, 프랑스에서는 'Ar Vag Tredan'호를, 스웨덴의 '모비츠 여객선(Movitz ferry)'은 세계 최초의 슈퍼 충전지로 움직이는 여객선[66]

* 세계 최초의 전기 추진 자동차 여객선(all-electric car ferry)으로 100% 배터리로 구동되는 알루미늄 선박

□ **(암모니아) 탄소중립 연료 중 비교적 저렴하나 독성이 존재한다는 단점이 있는 연료로, 국내외 기업들은 협업을 통해 암모니아 추진 선박 건조 중**

○ (연료특성) 사용 시 탄소를 전혀 배출하지 않고, 비교적 용이한 조건(-34℃)에서 저장이 가능하며 타 탄소중립 연료 대비 비교적 저렴하다는 장점이 있으나, 비교적 낮은 에너지 밀도로 인하여 기존 화석연료 대비 약 4.1배정도의 연료탱크가 필요하고 독성이 존재한다는 단점이 있음[67]

63) 서용석·권철민·천강우·은현준(2020).「친환경 선박 대체연료 기술개발 동향」. KEIT PD Issue Report. Vol 20-11.
64) 서용석·권철민·천강우·은현준(2020).「친환경 선박 대체연료 기술개발 동향」. KEIT PD Issue Report. Vol 20-11.; 송동근(2021).「고효율/친환경 선박: 환경오염 규제에 따른 친환경 연료 대체」. 한국IR협의회. 혁신성장품목분석보고서.
65) 서용석·권철민·천강우·은현준(2020).「친환경 선박 대체연료 기술개발 동향」. KEIT PD Issue Report. Vol 20-11.
66) 장은혜(2019).「유럽의 친환경 선박 전환 관련 정책 동향」. 한국법제연구원. 이슈페이퍼 19-19-3.

○ (관련동향) 삼성중공업은 글로벌 엔진 메이커인 덴마크 MAN-Energy Solutions, 말레이시아 선사 MISC, 영국 로이드 선급과 협업하여 암모니아를 연료로 하는 추진선박을 건조 중('25년 개발 완료를 목표)[68]

□ (혼합연료) 기존 연료에 무탄소 연료를 혼합하여 만든 연료로 이산화탄소 배출 감축에는 효과적이며, 선박용 암모니아의 혼합 연료 엔진 개발 등이 추진 중

○ (연료특성) MFO(Marine Fuel Oil)나 LNG 등 기존 연료에 수소나 암모니아, 바이오연료 등 무탄소 연료를 혼합하여 만든 연료로, 무탄소 연료 혼합비율에 따라 이산화탄소 배출을 감축할 수 있음[69]

○ (관련동향) 일본의 경우 J-ENG*와 일본 국립해양연구소**는 협력하여 선박용 암모니아 엔진 연구 개발을 진행 중이며, 국내의 경우 삼성중공업, 대우조선해양에서 암모니아 연료의 온실가스 감축 경쟁력을 분석 중[70]

* Japan engine corporation

** National maritime research institute(NMRI)

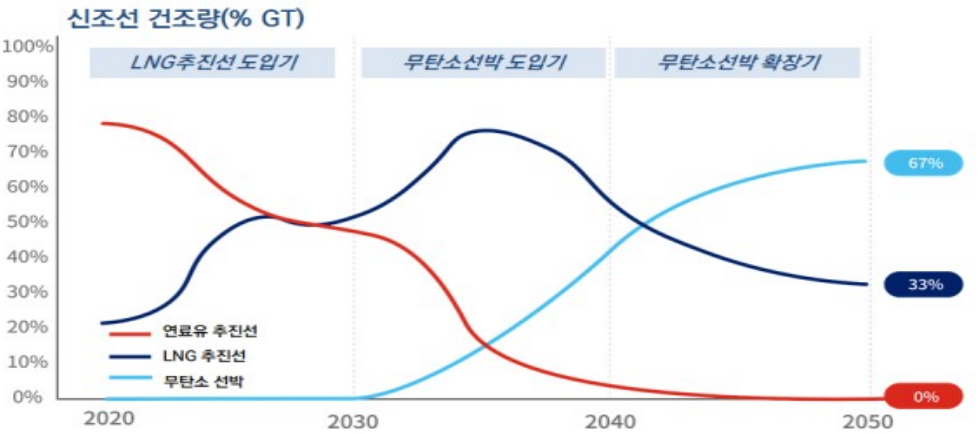
- 일본 국립해양연구소에서는 디젤과 암모니아의 혼합 연료*로 작동하는 7.7 kW급 단일 실린더 디젤 엔진 개발과 아산화질소(N2O), 질소산화물 및 미연소 암모니아 저감이 가능한 배기가스 후처리 장치연구를 진행 중

  * 에너지 기준 암모니아 20%

다. 산업동향

□ (시장전망) 친환경 선박 중 LNG 추진선박의 증가가 가속화(~'25)되고, 무탄소 선박의 출현('30~) 및 기존연료 선박의 퇴출('40~)이 예상됨[71]

67) 서용석·권철민·천강우·은현준(2020).「친환경 선박 대체연료 기술개발 동향」. KEIT PD Issue Report. Vol 20-11.
68) 이후경·우영민·이민정(2021).「탄소중립을 위한 암모니아 연소기술의 연구개발 필요성」. 한국연소학회지. 제26권 제1호.
69) 송동근(2021).「고효율/친환경 선박: 환경오염 규제에 따른 친환경 연료 대체」. 한국IR협의회. 혁신성장품목분석보고서.
70) 이후경·우영민·이민정(2021).「탄소중립을 위한 암모니아 연소기술의 연구개발 필요성」. 한국연소학회지. 제26권 제1호.
71) 관계부처합동(2020).「제1차 친환경 선박 개발보급 기본계획('21~'30)」.



※ 출처: 관계부처합동(2020).「제1차 친환경 선박 개발보급 기본계획('21~'30)」.

[그림 Ⅴ-8] 신조 발주 선박의 연료 전망

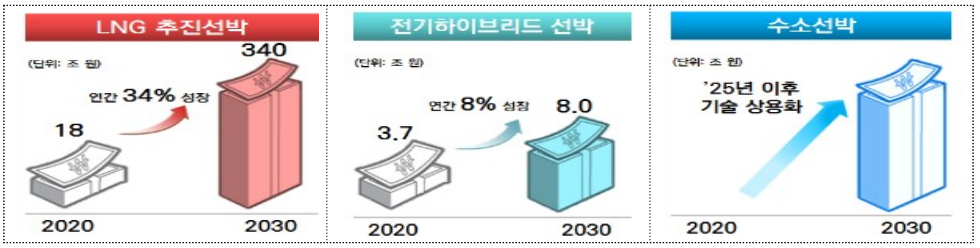
○ ('20년~) 현행 규제(황산화물 등)는 저유황유(0.5%) 사용, 대기오염물질 저감장치 설치(중유+스크러버 등)로 대응 가능하나, 온실가스 2단계 배출기준 준수를 위해서는 LNG와 같은 저탄소연료 기술 적용 필요

○ (단기, ~'30년) 온실가스 3단계 규제대응을 위해 기존 LNG와 같은 저탄소연료 또는 암모니아 등 혼합연료 기술 적용 필요

- LNG 추진선 신조 비중이 '25년 50%로 기존연료유 사용선박 추월, '35년 75%로 최고치 기록 후 무탄소연료 확대에 따라 감소 예상

○ (중장기, ~'50년) '50년까지 전체선박 CO2 배출량의 50% 감축목표 달성을 위해 수소 등 무탄소 선박 전환 필요

- '30년 무탄소 국제선박의 상용화가 시작되고, '40년 이후 LNG 추진선박 추월, '50년에는 점유율이 70%이 될 것으로 전망됨

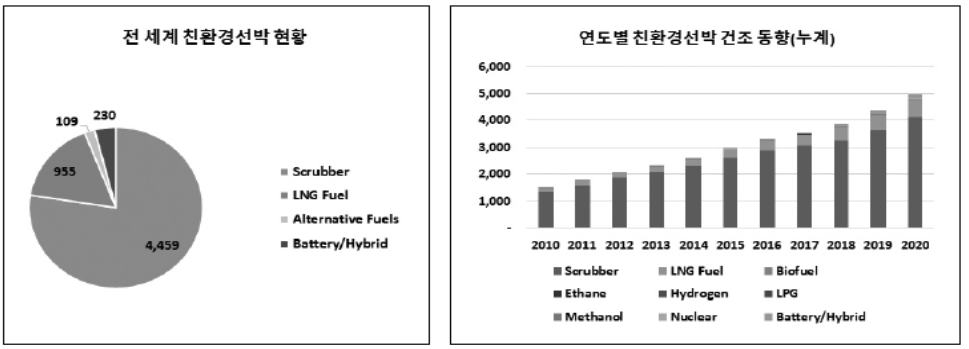


(출처: 관계부처합동(2020).「제1차 친환경 선박 개발보급 기본계획('21~'30)」)

[그림 Ⅴ-9] 친환경연료 추진선박 시장 전망

□ (글로벌 동향) 전 세계 국제항해 선박은 99,319척, 건조 중인 선박은 3,641척이나 업계의 규제 관망세* 등으로 5.6% 수준인 5,753척(운항+건조)만이 환경규제 대응[72]

* 2020년 황산화물 규제에 대해 대부분의 선주(약 94.4%)는 저유황유 등 사용 고려



(출처: 서용석·권철민·천강우·은현준(2020).「친환경 선박 대체연료 기술개발 동향」. KEIT PD 이슈리포트)

[그림 Ⅴ-10] 전 세계 친환경 선박 현황 및 연도별 건조 동향

○ 스크러버 부착이 4,459척으로 전체 대응 선박의 약 77.5%를 차지함

○ 운항 중인 LNG 추진 선박은 583척이고, 건조 중인 372척 포함 시 955척으로 약 16.6% 수준이며, 전기추진(배터리)선박은 230척(약 4%)임

○ 대체연료선박은 LPG(32척), 메탄올(22척), 수소(3척) 선박 등 총 109척(약2%)에 불과

72) 서용석·권철민·천강우·은현준(2020).「친환경 선박 대체연료 기술개발 동향」. KEIT PD 이슈리포트.

□ (국내현황) 2020년 기준으로 국내 선박 총 10,038척(어선 제외) 중 346척(약 3.4%)에 친환경 기술(LNG, 저감장치 등)이 적용[73]

○ 친환경 기술 적용 선박 중 LNG 추진선박은 22척(6%), 전기추진선박은 4척(1%)이며 나머지 320척은 저감장치를 장착하고 있음(93%)

라. 정책 동향

(1) 국외 정책동향

□ (미국) Clean Port USA, CAAP* 2017 등의 추진과 함께 항만의 오염물질 배출 규제, 북미지역 해역의 SOx와 NOx 배출을 통제[74]

* Clean Air Action Plan

○ (Clean Port USA) 항만의 오염물질 배출 감소를 목적으로 하며, 미환경보호청*은 적정 기준 이상의 오염 물질을 배출하는 운송수단에 대해 벌금부과 등 규제를 강화

* US Environmental Protection Agency(EPA)

○ (CAAP 2017) 2050년까지 San Pedro항의 온실가스 배출을 1990년 대비 80% 이하까지 감소시키는 것을 목적으로 배기가스를 배출하지 않는 트럭과 하역장비의 도입, 화물처리 인프라에 투자 확대 등을 추진

□ (EU) E-Ferry 프로젝트, CHEK* 프로젝트 등을 통해 온실가스를 줄이는 친환경 선박 관련 기술개발에 적극 지원

* deCarbonising sHipping by Enabling Key technology symbiosis on real vessel concept designs

○ (E-Ferry 프로젝트) 오염물질 및 이산화탄소 배출 없이 항해가 가능한 완전 전기식 친환경 여객선의 설계와 건설, 시연을 포함하는 프로젝트로 Horizon 2020이 지원[75]

- 2030년까지 100척의 전기추진 여객선(E-Ferry)의 운영을 통해 이산화탄소 배출량을 총 10만에서 30만 톤 이상 감축하고자 함

○ (CHEK 프로젝트) 프로젝트 기간은 2021년~2024년으로, 7개국 13개 기관이 참여하며, 수소 연료, 풍력, 전기 배터리, 열 회수, 공기 윤활 등의 다양한 저탄소 에너지와 친환경 기술의 통합을 통한 온실가스 배출 감소를 목적으로 함[76]

73) 관계부처합동(2020).「제1차 친환경 선박 개발보급 기본계획('21~'30)」.
74) 김대진(2017).「해운산업 환경규제 강화에 따른 주요국 대응방안과 시사점」. 산은조사월보. 이슈분석. 제740호.
75) 장은혜(2019).「유럽의 친환경 선박 전환 관련 정책 동향」. 한국법제연구원. 이슈페이퍼 19-19-3.

- 선박의 실제 운영 조건에 맞게 최신 기술들의 시너지를 극대화하기 위한 FPV(Future-Proof Vessel) 설계 플랫폼을 개발

□ (일본) Port 2030, I-Shipping 사업 추진 등을 통해 친환경 선박 경쟁률 향상을 위해 노력

○ (Port 2030) 2018년 발표되었으며, 일본 항만의 경쟁력 강화를 위한 8가지 정책방향을 제시함

- 일본 내 주요항만의 스마트화 관련 사항과 함께 친환경 항만과 LNG 벙커링 거점 형성 등에 대한 내용을 제시

○ (I-Shipping 사업) 선박 제조와 안전하고 효율적인 운항 등 생산성 향상 연구 등을 지원[77]

- 선박 제조 가상 데이터화로 투명성을 제고하고, 부품 사이즈 정밀도 제고, IC태그·드론·센서를 활용한 각종 자재 관리 및 공정 효율화, 작업 효율성 제고 등을 통해 세계 조선 건조량 점유율을 20%에서 30%로 확대
- 해운업에서 선박 운행, 선박 엔진 등 부품, 기상 및 해양 정보 등 해운 관련 정보를 글로벌하게 모니터링
- 빅데이터를 AI 분석하는 시스템 구축 및 강화, 선박의 설계 개선 효과, 안전하고 효율적 운항으로 연료비도 절감, 선박수리 시기 및 장소의 효율적 선택으로 선박의 가동률 제고

(2) 국내 정책동향

□ 환경친화적 선박의 개발 및 보급촉진에 관한 법률(친환경 선박법)

○ 2018년 제정되고, 2020년 시행되었으며, 친환경 선박의 개발 및 보급을 촉진하고 조선·해운산업의 지속적인 발전과 깨끗한 해양환경 조성을 도모하여 국가경제에 이바지하는 것을 목적으로 함

○ (주요내용) 국가 기본·시행계획 수립, 정책협의회 운영, 기술개발 지원시책, 친환경연료 생산 및 친환경 선박 전환 지원, 관공선 친환경 의무화 등

76) 산업통상자원부·KIAT(2021). 「EU의 선박 분야 탈탄소화를 위한 CHEK 프로젝트」. 글로벌 산업기술·시장동향.
77) 이지평·류상윤·김혜경(2017). 「일본의 4차 산업혁명 추진 동향과 Society 5.0」. LG경제연구원.

□ 도시가스사업법[78)]

○ 「친환경 선박법」에 따라 선박 연료생산자 등에 대한 지원 규정을 마련하기 위하여 선박용천연가스사업 신설 등 벙커링 산업구조 구축을 위해 2020년 시행됨

○ 도시가스사업을 합리적으로 조정 · 육성하여 사용자의 이익을 보호하고 도시가스사업의 발전 도모, 가스공급시설과 가스사용시설의 설치 · 유지, 안전관리에 관한 사항을 규정하여 공공의 안전을 확보하는 것을 목적으로 함

○ 선박용 천연가스사업을 하려는 경우 등록이 필요하고, 민간 기업의 선박용 천연가스사업 진출이 용이하도록 사업수행을 위한 최소한의 시설 및 자본금을 등록요건으로 규정

○ 선박용 천연가스 사업자간 선박용 천연가스 처분을 허용하며 기존 가스시장과의 교란을 방지하기 위해 '선박 및 다른 선박용 천연가스 사업자'를 제외한 제3자에게 선박용 천연 가스 처분은 제한

□ 해양관리법

○ 선박, 해양시설, 해양공간 등 해양오염물질을 발생시키는 발생원의 관리와 해양오염물질의 배출 규제 등 해양오염 예방, 개선, 대응, 복원에 필요한 사항을 정하여 국민 건강과 재산을 보호하는 데 이바지하는 것을 목적으로 2021년 시행됨

○ 국가 차원의 해양환경종합계획 수립·시행과 해양에 유입되거나 해양에서 발생되는 각종 오염원을 통합·관리하게 하는 등 해양 분야에서의 환경정책을 종합적·체계적으로 추진할 수 있도록 함

○ 한국해양오염방제조합을 해양환경관리공단으로 확대·개편하여 기름 방제사업 및 해양환경사업을 효과적으로 수행할 수 있도록 함

□ 제1차 친환경 선박 개발·보급 기본계획('21~'30)[79)]

○ 2020년 발표된 관계부처 합동 정책으로, 온실가스 70% 감축*, 친환경 선박 전환율 15% 달성**을 주요 목표로 함

* '25년: 40%→ '30년: 70%

** 전환대상 3,542척 중 528척 전환

78) 김봉주(2020). 「조선산업 친환경·스마트화 동향과 입법·정책과제」. 국회입법조사처. 입법·정책보고서 Vol. 63.
79) 관계부처합동(2020). 「제1차 친환경 선박 개발·보급 기본계획('21~'30)」.

○ (주요내용) 미래 친환경 선박 세계 선도기술 확보, 新기술 확산을 위한 시험기반 구축, 한국형 실증 프로젝트(그린쉽-K), 추진연료공급 인프라 확충, 친환경 선박 보급 촉진, 친환경 선박시장 주도 생태계 조성 등

□ 2030 국가 온실가스 감축목표*

* Nationally Determined Contributions(NDC)

○ 「저탄소녹색성장기본법」 제42조 및 동법 시행령 제25조에 근거하여 온실가스 감축목표를 발표 (00년 발표)

○ '17년 배출량(약 7.1억톤) 대비 00년 까지 24.4%(약 3.2억톤) 감축을 목표로 하며, 이 중 선박 부분의 경우 친환경 선박(LNG 추진선) 도입, 육상 전원공급장치(AMP) 사용 확대 등을 추진

□ 2030 친환경 관공선 전환계획[80]

○ 해수부는 「친환경 선박법」에 근거하여 공공선박 친환경 선박 발주 의무화에 대비하고, 미세먼지 저감대책의 조기 이행 등을 위해 2030년까지 해수부 관공선 100%(전체 140척 기준)를 친환경 선박으로 전환하는 「2030 친환경 관공선 전환계획」을 발표

○ (주요내용) 관공선 상대평가를 통한 대체선박 확정, 선박 규모·운항 특성을 고려한 맞춤형 친환경 선박 전환, 친환경 관공선 전환 기술자문단을 구성·운영 등

마. 정부 R&D 투자 동향[81]

□ 2친환경 선박 분야에 대한 기술개발 필요성이 대두되면서, 해수부에서는 다음과 같이 친환경에너지 추진선박 개발을 위한 R&D 사업들을 수행하고 있음

○ 2020년까지는 LNG, 전기 하이브리드 엔진기술 등을 개발하였으며, 2021년부터 메탄, 암모니아 등 혼소 기술 개발을 시작함

80) 해양수산부(2020.2.6.). 「해수부, 친환경 관공선 건조 본격 추진한다」. 보도자료.

81) 해수부에서 추진 중인 친환경에너지 추진선박 기준으로 작성하였으며, 2022년 정부 R&D 투자 규모는 정부안(2021.8.31. 기준)을 기준으로 작성함.

〈표 Ⅴ-23〉 해수부에서 수행 중인 친환경에너지 추진선박 관련사업 현황

사업명	LNG 벙커링 핵심 기술개발 및 체계 구축	수소선박 안전기준 개발	전기추진차도선 및 이동식 전원공급 시스템 개발	친환경 선박 혼합 연료 기술개발 및 실증
에너지원	LNG	수소	전기추진	LNG 혼소
에너지원 개념	· 천연가스를 정제하여 영하 162℃로 액화	· 전기분해 (화석연료발전/ 재생에너지 발전)	· 연료전지 (Fuel Cell) · 배터리 (화석연료발전/ 재생에너지발전)	· 화석연료(LNG) · 합성연료 암모니아 (수소+질소)
사업기간	2018~2022	2020~2024	2020~2024	2021~2025
총사업비 (억 원)	493	290	450.7	494

○ 최근 4년간 (2018~2021) 해당 사업들에 대한 정부 R&D 투자 규모는 총 653억 원이며, 연평균 증가율은 117.1%

〈표 Ⅴ-24〉 국내 친환경 선박 분야 정부 R&D현황(2018~2021)

(단위: 백만 원, 건)

구분	2018년	2019년	2020년	2021년
친환경 선박 관련 정부 R&D 투자 규모	3,100	5,480	24,985	31,736
친환경 선박 관련 정부 R&D 사업 건수	1	1	3	4

□ (LNG 벙커링 핵심기술개발 및 체계 구축) LNG 추진선박 운영체계 구축 및 관련 신산업 진출 지원을 위한 LNG벙커링 핵심기술 개발 및 기술지원 기반 마련을 목적으로 함

○ 사업기간은 2018년~2022년, 총 사업비는 으로 총사업비는 493억 원(국비 295억, 지방비 100억, 민간 98억)이며, 2022년은 사업수행 마지막 해로 31억 원의 국고가 투입될 예정

○ (사업구성) 연안선박(연안화물선, 관공선 등)을 위한 LNG 벙커링 전용 선박(아시아 최초) 개발 및 실증, LNG를 사용(세계 최초)하는 벙커링 기자재의 종합적인 성능평가 센터 구축, 핵심기자재 개발 지원, 안전성 및 위험도 평가기반의 LNG벙커링 방식별 운영기술, 위험도 분석, 긴급상황 시나리오 개발 등

□ (수소선박 안전기준 개발) 국제해사기구(IMO)의 온실가스 감축 규제에 대응한 미래형 수소 추진·운송 선박의 안전기준 개발을 목적으로 함

○ 사업기간은 2020년~2024년, 총 사업비는 290억 원(정부: 290억 원)이며, 2022년은 51억 원의 국고가 투입될 예정

○ (사업구성) 수소선박(운송 및 추진선)에서 수소연료의 벙커링 및 적하역 설비의 설계 및 운용을 위한 안전기준 및 평가·검증기술 개발, 수소 저장방식에 따른 저장 및 공급시스템의 설계 및 운용을 위한 안전기준 및 평가·검증기술 개발, 수소 증발가스(BOG) 처리시스템 및 통합제어시스템 설계 및 운용을 위한 안전기준 및 평가·검증기술 개발과 수소 누출 예방·피해경감 기술개발 등

□ (전기추진차도선 및 이동식 전원공급 시스템 개발) 전기 추진 차도선 및 이동식 전원공급 시스템 개발을 통해 미세먼지와 온실가스의 배출 없이 깨끗하고 조용한 운송 서비스 제공을 목적으로 함

○ 사업기간은 2020년~2024년, 총 사업비는 450.7억 원(정부 268억 원, 지방비 90억, 민간 92.7억)이며, 2022년은 22억 원의 국고가 투입될 예정

○ (사업구성) 이동식 전원공급 시스템 개발을 통해 전기추진 차도선 및 도서지역 전력공급체계 적용 및 실증 등

□ (친환경 선박 혼합연료 기술개발 및 실증) 선박 기인 미세먼지와 온실가스 저감을 위한 기술개발 및 연구지원 인프라 구축을 목적으로 함

○ 사업기간은 2021년~2025년, 총 사업비는 494억 원(정부: 364억 원, 민간: 20억 원, 지자체: 110억 원)이며, 2022년은 91억 원의 국고가 투입될 예정

○ (사업구성) 온실가스 50% 감축 기술개발을 위한 중·소 선박(2,100마력급)용 혼소 엔진 개발, 연간 300억 이상의 친환경 대체연료 기술 실증 소요비용(선박 건조비)을 절감하고 TRL 9단계 지원을 위한 교체·관문형 통합 해상테스트 베드 구축 등

□ (친환경 선박 전주기 혁신기술개발 사업[82]) 예비타당성조사 통과 사업으로, 친환경선박 핵심기술과 실증기술 확보 등을 목적으로 함

○ 산업부·해수부 공동 수행 사업으로 사업기간은 2022년~2031년, 2022년은 121억 원(산업부 33억 원, 해수부 88억 원)의 국고가 투입될 예정

82) 송화연·전수용·이든샘(2021).「친환경 선박 전주기 혁신기술개발 사업 예비타당성조사 보고서」. KISTEP.

○ (사업구성) 친환경 수출 주력선박 핵심기술 및 설계기술 개발, 친환경선박 시험·평가 실증기술 개발, 친환경 연안선박 개발·실증 및 보급, 친환경선박 국제대응 및 국내외 표준화와 제도개선 등

바. 결론

□ 국제해사기구(IMO)의 선박 온실가스 규제 목표를 달성하기 위해 국가별로 연료전지, 대체연료 개발 등을 통해 대응하고 있음

○ 선박의 온실가스 규제 최종 목표인 2008년 대비 2030년 40% 감축 달성은 현존 기술로 달성이 어렵기 때문에 대체연료 개발 등을 통한 대응이 추진

○ 우리나라도 2020년 「환경친화적 선박의 개발 및 보급촉진에 관한 법률(친환경 선박법)」 제정하는 등 친환경 선박 개발 및 보급을 추진

□ 대체연료(LNG, 수소, 암모니아, 혼합연료 등)별 장단점이 있으며, 국내외에서 대체연료를 활용한 선박 및 관련 설비 개발과 공급을 추진

○ LNG는 가장 대표적인 대체연료이며, 국내에서도 LNG 선박 관련 연구가 활발하게 진행 중이나, 탈탄소화에는 한계가 있음

○ 수소는 재생에너지와 연계하여 친환경적인 생산이 가능하나 저장 및 보관이 어렵다는 단점이 있으며, 유럽과 미국에서는 액체수소를 활용한 여객선 개발이 추진

○ 배터리는 탄소를 전혀 배출하지 않으나, 충전설비가 필요하다는 단점이 있고, 소형 선박 및 중대형 하이브리드 추진선에 적용이 가능

○ 암모니아 또한 탄소를 전혀 배출하지 않고 상대적으로 저렴하나 독성이 존재한다는 단점이 있음

○ 혼합연료는 기존 연료에 무탄소 연료를 혼합하여 만든 연료로 일본과 국내에서 관련 연구가 추진 중

〈표 Ⅴ-25〉 친환경 에너지원 별 비교

	연료 종류	저장 조건	기존연료 대비 탱크크기	장점	단점	정부 R&D 사업
LNG	화석 연료	-162℃	2.3	• 저렴하고 생산량 풍부	• 탄소배출 저감에 한계 • 메탄슬립 존재 • 선가 높음	• LNG 벙커링 핵심 기술개발 및 체계 구축
수소	탄소 중립 연료	-253℃ 또는 700bar	7.6	• 재생에너지 -수전해를 통한 생산 용이	• 낮은 경제성 • 높은 기술장벽	• 수소선박 안전기준 개발
배터리	-	상온	매우큼	• 소형선 적용 가능	• 높은 배터리 가격 • 낮은 에너지밀도 • 육상전원 공급설비 필요	• 전기추진차도선 및 이동식 전원공급 시스템 개발
암모니아	탄소 중립 연료	-34℃ Ehsms 10bar	4.1	• 비교적 낮은 기술 장벽 • 탄소중립 연료 중 비교적 저렴 • 이산화탄소를 전혀 배출하지 않음	• 독성 존재 • 선박연료로 사용하기 위한 법·제도 미흡	-
혼합연료	-	-	-	• 무탄소연료 혼합비율에 따른 이산화탄소 배출 감축	-	• 친환경 선박 혼합 연료 기술개발 및 실증

(출처: 서용석·권철민·천강우·은현준(2020). 「친환경 선박 대체연료 기술개발 동향」. KEIT PD Issue Report. Vol 20-11를 참고하여 연구진 재작성)

□ 국제해사기구(IMO)의 선박 온실가스 규제 대응을 위해 여러 국가에서 오염물질 배출 규제, 친환경 선박 관련 기술개발에 적극적으로 지원하기 위한 정책 추진

○ 국가별 관련 정책 및 프로젝트를 추진 중이며, 우리나라 또한 「환경친화적 선박의 개발 및 보급촉진에 관한 법률」, 「해양관리법」 등의 법률과 「제1차 친환경 선박 개발·보급 기본계획('21~'30)」, 「2030 친환경 관공선 전환계획」 등을 발표

□ 지난 4년간('18~'21년) 해수부의 친환경에너지 추진 선박 관련 R&D 투자 규모는 총 653억 원이며, 연평균 증가율은 117.1%

○ 2019년까지는 LNG 벙커링 핵심 기술개발 및 체계 구축 사업을 추진하였으며, 2020년 이후 수소선박, 전기추진차도선, 혼합연료 기술 개발을 위한 신규 사업이 착수됨

○ 2022년 착수되는 친환경 선박 전주기 혁신기술개발 사업은 산업부와 해수부가 공동으로 수행하며, 친환경 수출 주력선박 핵심기술 및 설계기술 개발, 친환경선박 시험·평가 실증기술 개발, 친환경 연안선박 개발·실증 및 보급, 친환경선박 국제대응 및 국내외 표준화와 제도개선 등을 위한 연구가 추진될 예정

4. 소재 신연구방법론

가. 개 요

(1) 배경 및 필요성

□ ICT 기술의 급속 발전과 코로나-19 판데믹의 영향으로 全 사회적인 비대면·디지털 전환은 피할 수 없는 흐름이며, 이러한 현상은 소재 개발연구에서도 마찬가지

○ 4차 산업혁명 시대의 대표적 ICT 기술들인 D(데이터).N(네트워크). A(인공지능, AI)가 他 과학기술 및 산업영역으로 확산하며 그것들을 변화시키고 있음

○ 이러한 사회적 혁신을 "디지털 전환(digital transformation, DX)"이라고 부르며, 기반 기술인 D.N.A의 발전은 디지털 전환을 더욱 가속화 할 전망

○ 최근 코로나-19의 전 세계적 대유행 영향은 인류 생활 전반의 비대면 디지털 전환을 위한 기폭제가 되었음

- 디지털 전환을 위한 기반 기술들은 이미 상당한 수준이었으나, 이를 현장에 적용하여 비대면 환경을 실현하기 위한 노력이 불필요했었다고 볼 수 있음
- 코로나-19 이외에도 다른 감염병, 기후변화 등 자연재해로 인한 불확실성의 크기와 빈도 또한 시간이 갈수록 증가할 것으로 보임

〈표 Ⅴ-26〉 코로나-19 이후 화상회의 앱 다운로드 횟수 증가[83]

국가	Google Hangouts	Zoom Meetings	Microsoft Teams
미국	30	14	11
영국	24	20	13
프랑스	23	22	16
독일	15	17	11

(※ '20년 3월 셋째 주 다운로드 횟수가 '19년 4분기 주간 평균의 몇 배인지 계산한 수치)

○ 소재 개발이 이루어지는 실험실도 다수의 연구자가 모여 일하는 환경이 대부분이기에 이러한 불확실성 문제와 디지털 전환을 위한 노력을 피할 수 없음

- 특히 단순 "물리적" 조립이나 제조와 달리, 소재 개발의 경우 "화학적" 반응에 기반한 경우가 많으므로 공정에서 "연속성"을 요구하는 경우가 많음
- 따라서 감염병 등의 이유로 실험실에 사람의 개·출입이 불가하여 소재 공정이 단절될 시, 그로 인한 경제·시간적 매몰 비용이 필수적으로 발생

※ '국가보안기술연구소' 연구자 코로나19 확진, 연구소 4일까지 폐쇄(헬로디디, '20.9.3.) : UST, 한국원자력연구원 등 대덕특구 내 다른 연구기관들의 과거 코로나19 확진자 소식도 포함

□ **이미 우리나라에서는 이런 현상을 일컫는 용어로 "소재 신연구방법론"을 사용하고 관련 기술 개발을 위해 노력해왔으나, 최근 이의 중요성이 더욱 대두되는 중**

○ 소재 개발에는 장기적(10~20년) 대규모의 투자가 필요하다는 것이 연구자들의 공통적 의견이며, 실제로 상용화에 성공한 소재의 사례들도 이에 상응함[84]

- 이러한 투입의 어려움에도 불구하고 다행히 소재 개발은 원재료의 고부가가치화가 이뤄지며, 기업 간 높은 경로의존성으로 인해 시장 선점에도 유리

83) 과기정통부. (2021). 2022년도 국가연구개발 투자방향 및 기준. 2021.3
84) 한국과학기술기획평가원. (2014). 창의소재 디스커버리 사업 예비타당성 조사보고서. 2014.8

[그림 Ⅴ-11] 소재 예시별 개발에서 적용까지의 소요 시간

○ 미래 사회에서 소재는 하드웨어적 요소를 차지하기에 다양한 분야와 장소에서 이의 신규성, 원천성, 극한성이 더욱 요구될 것임

- 경험 의존적 방법을 계속하여 사용할 시, 이러한 요구 조건들을 만족하는 소재를 개발하려면 더욱 많은 시간과 자금력이 필요하다는 결론에 이름

○ 이러한 문제 해결을 위해 공감대를 형성한 주요국(캐나다, 미국, 인도 등)들은 소재 개발을 “가속화”를 목적으로 디지털 전환 및 스마트 실험실 구축 관련 투자를 최근 시작함

○ 따라서 이런 소재 개발 가속화를 위한 세계적 흐름에 지금 바로 함께하지 않는다면, 미래 사회 구현에 사용될 소재 개발 및 시장 확보에 치명적 어려움이 발생할 것으로 예측됨

□ 이에 본고에서는 소재 신연구방법론 관련 국내·외의 기술, 산업, 정책 동향 등을 소개하고, 이를 통해 시사점을 도출하고자 함

(2) 기술의 정의 및 범위[85)]

□ (정의) 소재 신연구방법론은 ICT(SW 및 HW) 기술을 활용한 데이터(소재 정보기술), 계산재료과학(AI 및 알고리즘), 조합실험법(소재 개발 실험 자율화)을 통틀어 일컫는 기술 분야를 의미

□ (범위) 정의에서 소개한 세부 기술 분야별로 기술의 범위를 아래와 같이 설명

○ 데이터(소재 정보기술)

- 소재를 물리·화학적 종류 또는 응용 분야에 따라 체계적으로 분류하는 기술
- 각 데이터베이스의 특성에 맞는 소재 데이터 체계를 확립하여 저장하는 DB를 구축 및 관리하는 기술
- 저장된 데이터를 정량적·정성적 기준에 의해 검색하는 기술 등

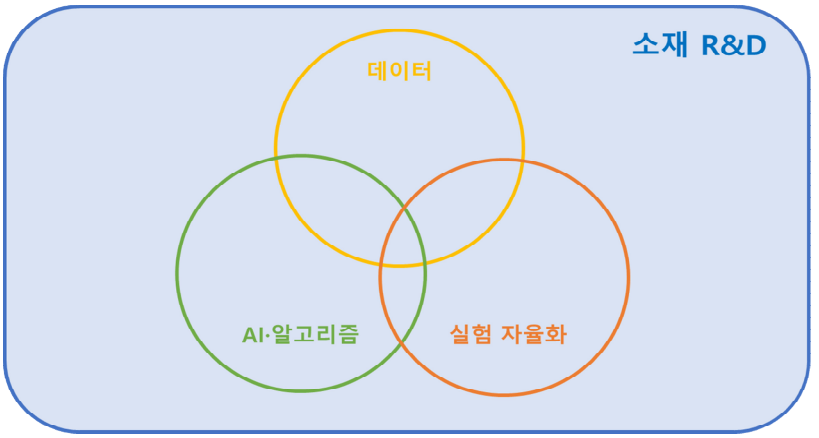
○ AI 및 알고리즘(계산재료과학)

- 컴퓨터를 이용하여 소재 정보를 바탕으로 그것의 물성을 빠르게 예측하는 기술
- 위와는 반대로 소재 물성으로부터 그것의 정보(구조·조성)를 예측하는 역설계 기술, 즉 소재 개발의 시행착오를 최소화하기 위한 효율적 신소재 개발기술

○ 소재 개발 실험 자율화(조합실험법)

- 소재 설계에 있어 노동력에 기반한 시행착오적 실험이 아닌, 물질 혹은 공정조건의 조합식 라이브러리를 활용한 고속 대량 실험법을 활용하여 소재개발과 분석 효율을 높여 소재 개발 속도를 가속화하는 기술
- 단순 자동화(automation)를 넘어 데이터·AI·로봇공학 등의 융합을 통해 연구자의 개입을 최소화하여 신소재 탐색·설계→합성→결과 분석· 환류까지 자율적(autonomous) 수행이 가능한 스마트 재료연구실 기술

85) 한국과학기술기획평가원. (2014). '창의소재디스커버리 예비타당성조사 보고서'에서 명시한 소재 신연구방법론의 정의를 참고 및 변형하였으나, 여기에 포함되어있던 '신공정 및 측정·분석기술' 분야는 연구방법론이 아닌 나머지 3개 분야로부터 도출될 수 있는 결과물의 요소를 담는 부분으로 여겨져 제외



[그림 Ⅴ-12] 소재 신연구방법론에 해당하는 기술의 영역 개념도

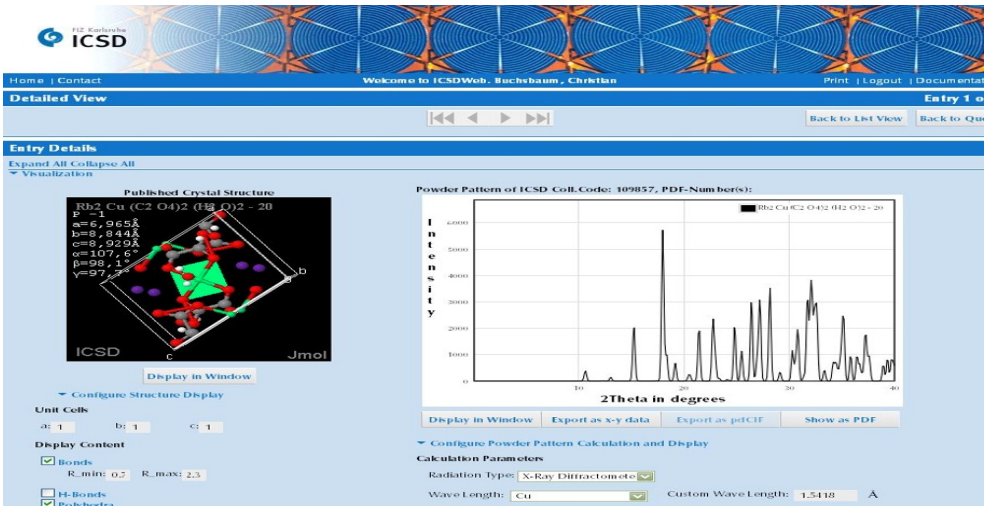
나. 기술동향

(1) 소재 분야 대규모 데이터베이스 구축 기술 동향

□ (유럽) 유럽 국가들은 현재 가장 큰 규모의 구조정보 데이터베이스를 구축하고 주기적으로 업데이트하고 있음

○ (ICSD) ICSD (Inorganic Crystal Structure Database)는 독일 FIZ Karlsruhe 기관 주도하에 수집된 세계 최대규모의 무기결정구조 데이터베이스

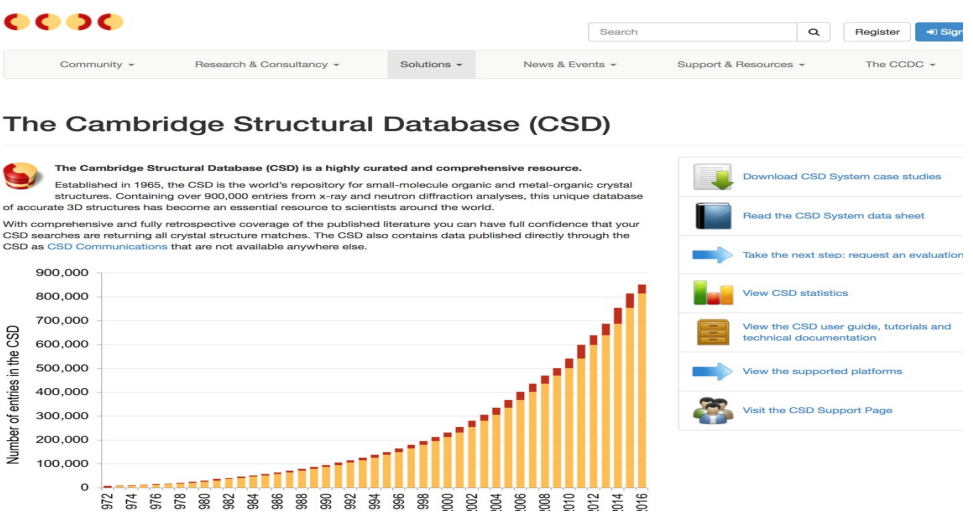
- 단원소 물질, 광물, 금속, 화합물 등 존재 가능한 모든 무기재료를 정의하고, 구조정보(좌표, 공간군, Wyckoff 순서 등)의 데이터를 축적
- 2021년 11월 기준, 약 250,000여 개의 소재가 등록되어 있으며, 매년 4,000여 개의 새로운 소재들과 관련 정보들이 추가



[그림 Ⅴ-13] ICSD (https://icsd.fiz-karlsruhe.de/search/)

○ (CSD) CSD (Cambridge Structural Database)는 영국 캠브리지 결정학 데이터 센터 (Cambridge Crystallography Data Center)의 주도하에 수집된 세계 최대규모의 유기물 구조 데이터베이스

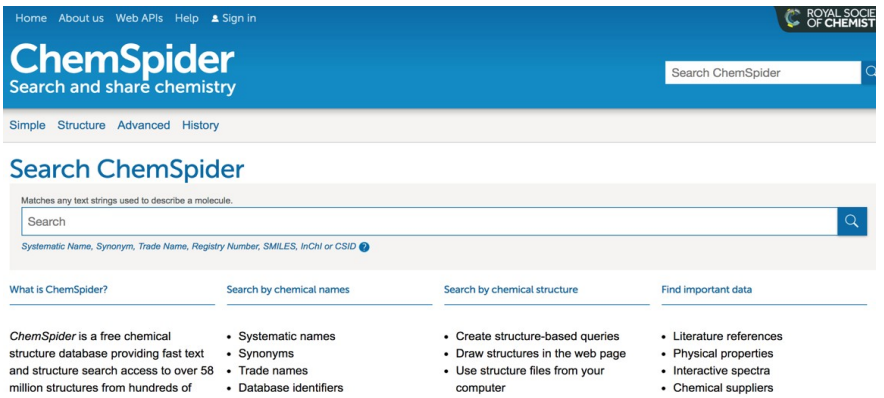
- 주로 작은 유기물 분자들이나 또는 금속-유기물 화합물에 대한 구조정보를 축적해 두고 있으며, 현재 1백만여 개에 달하는 소재들이 등록



[그림 Ⅴ-14] CSD (https://www.ccdc.cam.ac.uk/solutions/csd-system/components/csd/)

○ (Chem Spider) Chem Spider 데이터베이스는 영국왕립화학회(RSC) 주도하에 화학구조의 이용 가능한 정보원과 이와 관련된 정보를 하나의 검색 저장소에 종합하고 색인을 할 목적으로 개발

- 총 272개 데이터원으로부터 1억 1,400만 개의 화학구조들을 저장하고 있음



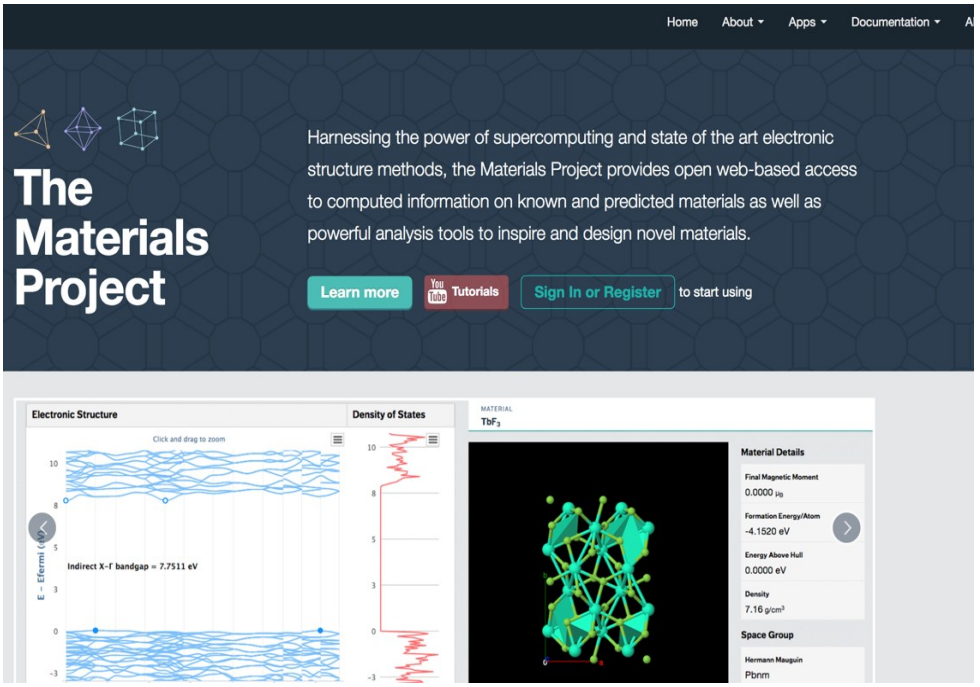
[그림 Ⅴ-15] Chem Spider (http://www.chemspider.com/)

○ (기타) 이외에도 유럽 기관들을 주축으로 CALPHAD database (금속 열역학 상태도), Computational Materials Repository (재료 물성, 문헌값), NoMaD (재료 물성) 등 DB 구축

□ (미국) 상기 ICSD, CSD, Chem Spider 등에 구축된 구조정보 데이터베이스를 기반으로, 다양한 소재 물성 정보 데이터베이스(예: 열역학 성질, 전기/자기/기계적 성질 등)가 미국 주도로 구축

○ (Materials Project) Materials Project는 미국 로렌스 버클리 국립연구소(Lawrence Berkeley National Laboratory, 이하 LBNL) 소속 Kristin Persson 교수팀의 주도하에, 무기재료 약 700,000여 개를 대상으로 다양한 소재 기초물성을 구축

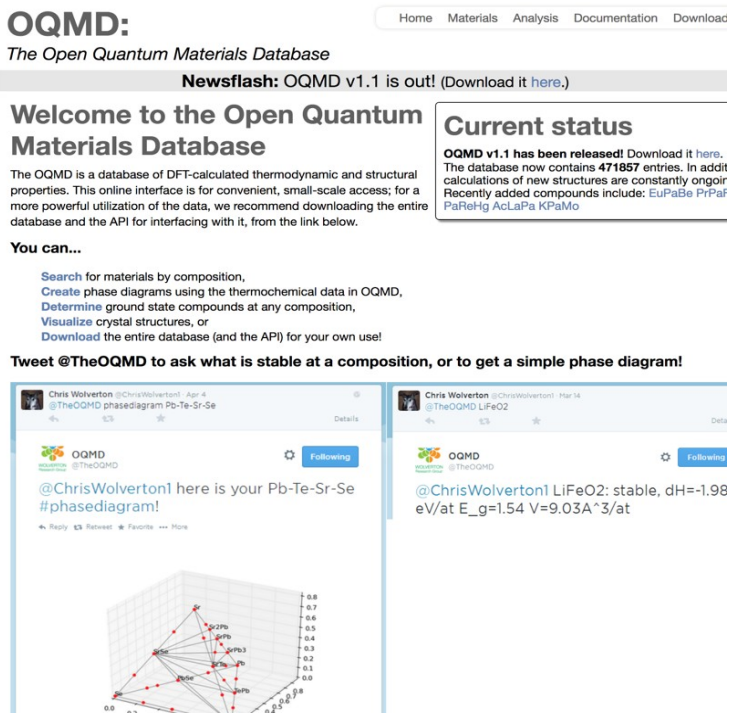
- 주로 저장된 성질은 열역학 성질(생성에너지 등), 자기적 성질(자기 모멘트 크기 등), 전기적 성질(밴드 다이어그램, density-of-states (DOS) 등), 기계적 성질(체적 탄성율, 전단 탄성율 등)이 있음



[그림 V-16] Materials Project (https://materialsproject.org/)

○ (OQMD) OQMD (Open Quantum Materials Database)는 미국 노스웨스턴 대학 Chris Wolverton 교수팀의 주도하에, DFT 총에너지 계산데이터 470,000여 개가 구축

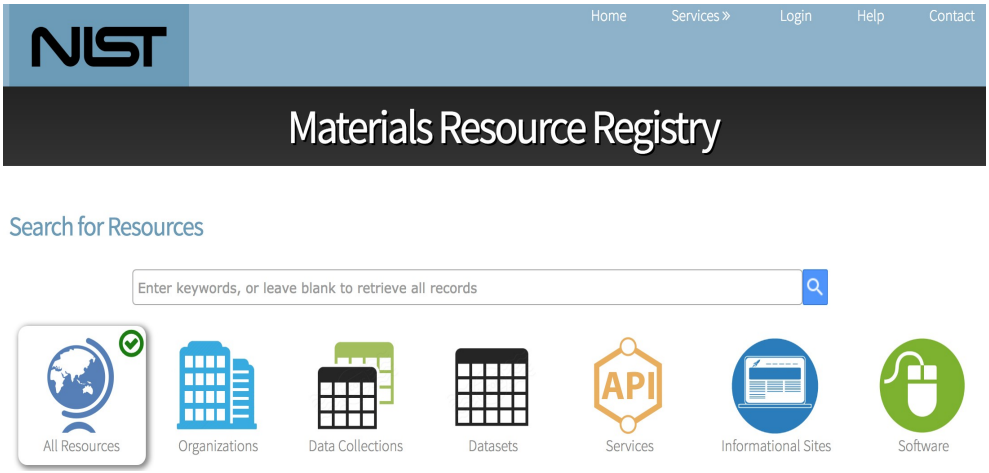
- 해당 플랫폼 환경에서는 계산된 총 에너지를 기반으로 재료의 생성에너지, 상태도와 같은 핵심적인 열역학 성질을 제공함
- 본 DB는 합금 촉매, 리튬 이온 배터리, 고효율 나노구조 열전소자 등 분야의 재료를 발굴하는 데 널리 활용



[그림 Ⅴ-17] OQMD (http://oqmd.org/)

○ (Materials Data Repository) 미국 National Institute of Science and Technology (NIST)는 광범위한 재료 연구자 커뮤니티에서 데이터 공유 및 재사용을 촉진하기 위해서 재료과학 데이터 저장소 (Materials Data Repository)를 구축

- 앞서 소개된 Materials Project, OQMD 등의 DB는 특정 재료 물성의 계산데이터 값을 저장하였다면, 본 DB에는 실험/계산 구분 없이 모든 사용 가능한 데이터(주로 문헌자료 기반)를 축적
- 데이터 제공기관, 재료의 물성/합성/공정법 등의 데이터를 종류별로 검색 가능



[그림 V-18] NIST Materials Resource Registry (https://materials.registry.nist.gov/)

○ (기타) 이외에도 AFLOWLIB (열역학, 전기, 기계적 물성), American Mineralogist (광물 구조정보), CatApp (촉매 흡착에너지, 활성화에너지), CINDAS High Performance Alloy Database (항공우주 재료의 열 안정성 및 기계적 강도), DOE Hydrogen Storage Materials Database (수소저장 물질의 저장용량), Harvard Clean Energy Project (태양전지용 유기물 소재 물성), Thermoelectrics Design Lab (열전소자 성능 변수) 등 많은 소재 물성 데이터베이스들이 미국 기관들을 주축으로 구축

□ (한국) 분야별 소재정보은행이 과거 구축되었으나 추후 업데이트 부실 등 관리가 미흡한 상황이며, 최근에는 DB 기반의 연구개발 환경 제공을 위해 출연연 중심으로 노력 중

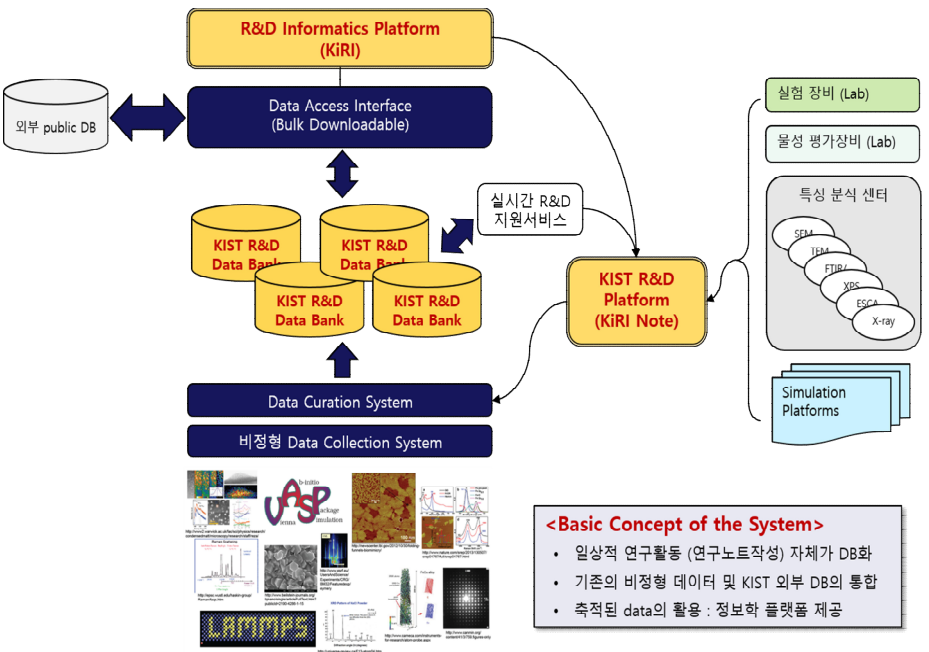
○ (소재정보은행) 소재종합솔루션센터에서 구축한 소재정보 데이터베이스가 있으며, 분야별 소재정보은행에서 특화된 소재물성 데이터를 제공함

- (금속소재) 한국재료연구원 중심으로 철강소재, 알루미늄합금, 마그네슘합금, 분말소재(철계, 초경), 구리소재 등에 대하여 115,532건의 수집 및 가공 데이터와 81,592건의 생성 데이터를 제공
- (화학소재) 한국화학연구원을 중심으로 플라스틱, 고무·엘라스토머의 고분자 소재, 첨가제, 필름, 복합재료, 정밀화학소재 등에 대하여 529,979건의 수집 및 가공 데이터와 41,329건의 생성 데이터를 제공

- (세라믹소재) 한국세라믹연구원을 중심으로 유전/압전소재, 반도체/도전체, 에너지소재, 유리, 형광체, 벌크제, 내열소재 등에 대하여 150,144건의 수집 및 가공 데이터와 30,694건의 생성 데이터를 제공

○ 2017년부터 KIST에서는 데이터 기반의 연구개발 환경을 제공하기 위해 R&D 빅데이터 및 정보학 기술을 이용할 수 있는 연구개발 플랫폼 구축사업(KIST Research Informatics Project)을 진행 중

- 본 플랫폼은 일상적 연구 활동의 기록 자체가 DB화될 수 있는 시스템, 기존의 비정형 데이터 수집 가공을 통한 다양한 R&D 지원 서비스 개발, 원내·외 DB를 연동한 빅데이터 기반의 인포매틱스 플랫폼의 구축 제공을 지향



[그림 V-19] KIST 데이터 기반 R&D 플랫폼의 구성도

○ 한국화학연구원에서는 화학플랫폼연구본부를 중심으로 화학데이터의 플랫폼화 작업을 진행 중

- 이 사업을 통해 기존에 연구노트 및 아날로그 연구데이터를 전산화하며 연구데이터를 차후 활용 가능한 형태의 DB로 발전시키고 있음

(2) AI·알고리즘 활용 소재 개발 기술 동향

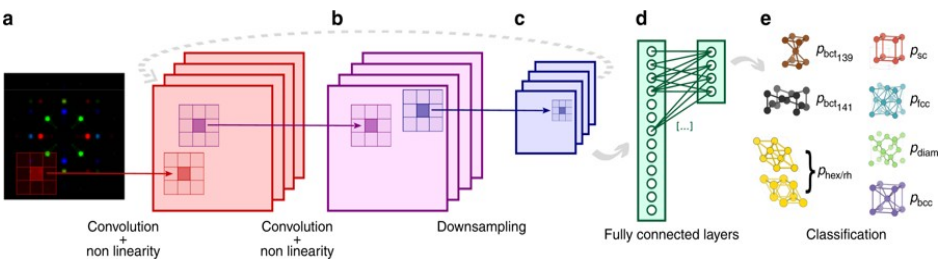
□ (소재 정보 → 물성·특성) 수집된 소재 정보로부터 물성 예측, 결정구조 분류, 다양한 화학반응을 위한 촉매개발, 금속 소재 개발 및 가속화 등에 AI·알고리즘을 활용 중

○ (구조-물성 예측) MIT의 Jeffrey C. Grossman 교수팀은 소재의 벌크상태 물성 예측에 특화된 crystal graph convolutional neural network (CGCNN) 인공지능 알고리즘을 개발[86]

- CGCNN 모델은 벌크 생성에너지, 밴드갭, 페르미 에너지, 체적 및 전단 탄성율, 포아송 비율 등을 매우 훌륭하게 예측

○ (결정구조 분류) 독일 Fritz-Haber 연구소 Matthis Scheffler 교수팀은 소재의 회절 패턴 분석데이터를 기반으로 공간군(space group)을 분류하는 문제를 AI 기반으로 자동화[87]

- 개발된 모델은 결함이 많이 존재하는 소재의 경우에도 분류 정확도가 거의 훼손되지 않음을 보여, 학계나 산업계에서 활용 가치가 매우 클 것으로 전망

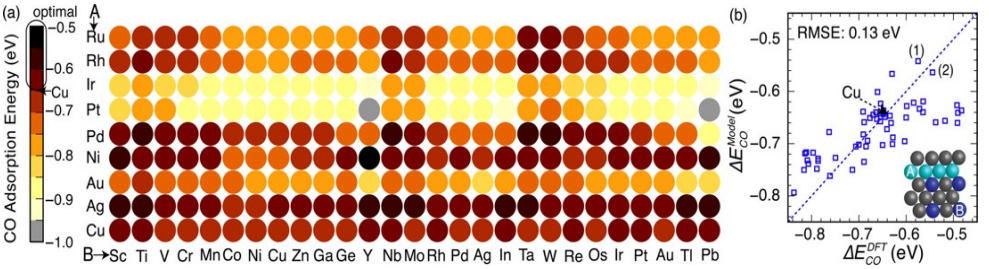


[그림 V-20] 독일 Fritz-Haber 연구소의 결정구조 분류 모델 도식도

○ (CO_2 전기환원 촉매개발) 미국 버지니아 공대 Hongliang Xin 교수팀은 흡착에너지 예측용 인공 신경망 구조의 머신러닝 모델을 개발[88]

- 본 연구에서는 전기음성도 및 몇 가지의 d-band 성질들을 기반으로 CO 흡착에너지를 예측하는 머신러닝 모델을 개발하여, 코어-쉘 구조의 신규 합금 촉매를 개발

86) Xie et al. (2018), Crystal Graph Convolutional Neural Networks for an Accurate and Interpretable Prediction of Material Properties, Physical Review Letters.
87) Ziletti et al. (2018), Insightful Classification of Crystal Structures Using Deep Learning, Nature Communications.
88) Ma et al. (2015), Machine-Learning-Augmented Chemisorption Model for CO2 Electroreduction Catalyst Screening, Journal of Physical Chemistry Letters.



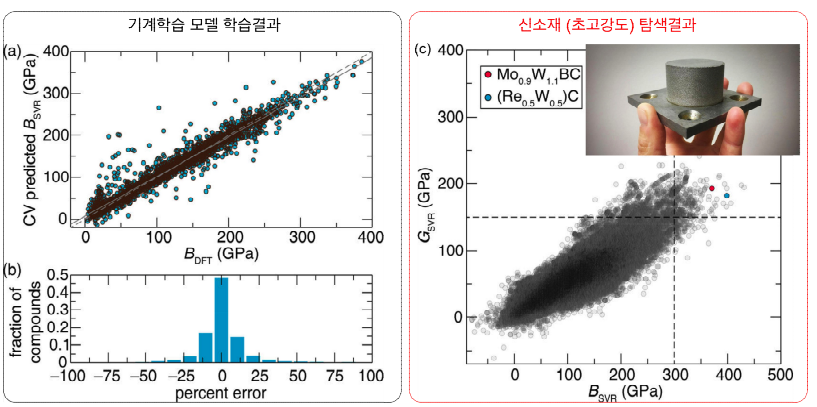
[그림 Ⅴ-21] 미국 버지니아 공대 연구팀의 기계학습 모델로 예측된 코어-쉘 합금 소재 연구

○ (암모니아 합성 촉매개발) KIST 한상수, 김동훈 박사 연구팀은 흡착에너지 예측용 촉매 slab 기반의 그래프 신경망 구조 머신러닝 모델을 개발[89]

- 본 연구에서는 비싼 양자역학 계산법으로 취득할 수 있는 d-band 성질을 인풋으로 사용하지 않음으로써 촉매개발을 가속화

○ (초고강도 소재 발굴) 미국 텍사스 휴스턴 대학 Jakoah Brgoch 교수팀은 초고강도의 기계적 성질을 가지는 신소재 탐색을 위해 기계학습모델을 개발[90]

- 본 연구에서는 체적 탄성율과 전단 탄성율을 정확하게 예측할 수 있는 모델을 활용하여 각각 순서대로 300 GPa 이상, 150 GPa 이상인 카바이드 재료를 2종 발굴함



[그림 Ⅴ-22] 미국 연구팀의 초고강도 재료 탐색을 위한 기계학습 모델 개발연구

89) Kim et al. (2020), Artificial Intelligence to Accelerate the Discovery of N2 Electroreduction Catalysts, Chemistry of Materials.

90) Tehrani et al. (2018), Machine Learning Directed Search for Ultraincompressible, Superhard Materials, Journal of the American Chemical Society.

○ (금속 소재 개발 가속화) 미국 스탠포드 대학교 Apurva Mehta 교수팀과 노스웨스턴 대학 Chris Wolverton 교수팀은 새로운 3원계 또는 4원계 비정질 금속을 발굴하는 작업에 기계학습을 도입[91)]

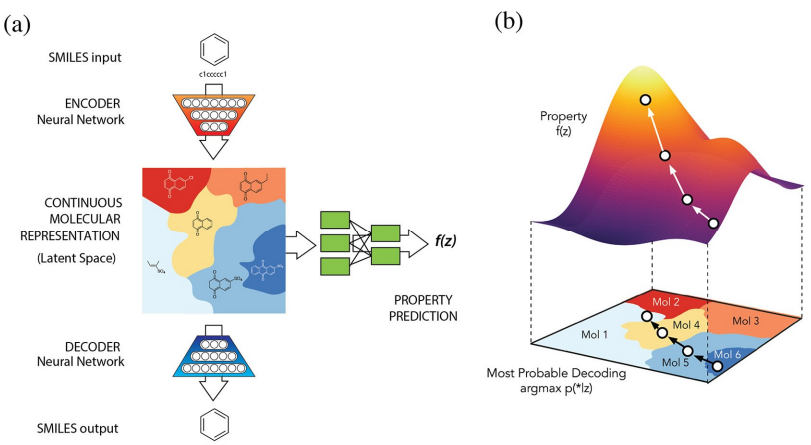
- 연구진은 해당 연구 분야의 소재 발굴 속도를 약 200배 개선시켰다고 보고

□ (물성·특성 → 소재 정보) 최근에는 연구자가 원하는 소재 물성·특성으로부터 소재 정보(구조, 조성 등)를 예측하는 역설계 분야에도 AI가 활용 중

- (순방향 설계) 소재 정보로부터 물성을 예측하는 방식은 여전히 연구자가 원하는 물성이 나올 때까지 소재 정보를 바꿔보면서 물성을 예측해야 하는 에디소니안(Edisonian) 소재 설계 방식의 한계점 지님
- (역설계) 물성을 입력정보로 하고 이때 그 물성을 갖는 소재 정보를 예측하는 역설계 기술은 기존 에디소니안 접근방식에서 탈피한 새로운 소재 설계 패러다임 제공 가능

○ (신약 소재 탐색) 2018년 캐나다 토론토 대학에서는 신약 개발을 위한 새로운 분자를 찾기 위한 AI 기반 역설계 기술을 개발[92)]

- Variational autoencoder (VAE)라는 AI를 소재 역설계 분야에 처음 도입
- VAE 알고리즘 적용 시 분자 정보는 스마일즈(SMILES)라는 텍스트 인코딩 방법을 사용하였고, 총 358,000개의 데이터를 활용하여 AI 학습 진행

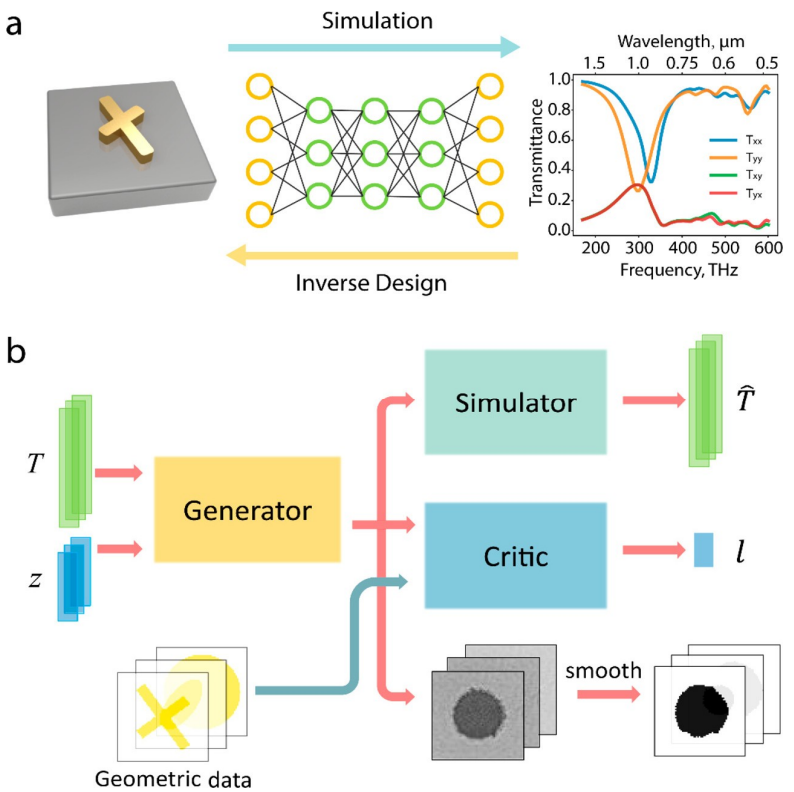


[그림 Ⅴ-23] 캐나다 토론토 대학의 VAE 기반의 유기분자 역설계용 AI 모델

91) Ren et al. (2018), Accelerated Discovery of Metallic Glasses through Iteration of Machine Learning and High-Throughput Experiments, Science Advances.
92) Gomez-Bombarelli et al. (2018), Automatic Chemical Design Using a Data-Driven Continuous Representation of Molecules, ACS Central Science.

○ (메타물질 설계) 미국 조지아공과대학에서는 메타물질 설계용 AI 역설계 모델 개발[93]

- (기존 연구) 물질이 가질 수 있는 다양한 패턴들에 대해 반복적으로 맥스웰 방정식을 풀어냄으로써 원하는 광학 스펙트럼을 찾아내는 방식
- (AI 역설계) Generative Adversarial Network (GAN) 알고리즘을 기반으로 연구자가 원하는 광학 스펙트럼을 가지고 메타물질의 기하학적 패턴을 역생성 성공
- 개발된 역설계 기술은 관심 물성이 하나의 스칼라(scalar) 값이 아닌 훨씬 더 복잡한 형태의 스펙트럼 데이터라는 점에서 의미가 큼



[그림 Ⅴ-24] 미국 조지아공과대학에서 개발한 메타물질 역설계용 AI 모델

○ (국내 역설계 동향) 국내의 경우 산학연을 중심으로 여러 소재 분야의 AI 역설계 모델을 개발 중

93) Liu et al. (2018), Generative Model for the Inverse Design of Metasurfaces, Nano Letters.

- (다공소재) KAIST 김지한 교수팀은 GAN 알고리즘을 활용하여 다공소재 설계용 AI 역설계 모델 (ZeoGAN) 개발[94]
- (무기소재) KAIST 정유성 교수팀은 VAE 알고리즘을 기반으로 무기물질(V-O계)의 안정한 구조를 찾을 수 있는 역설계 모델 개발[95]
- (OLED 소재) 삼성전자종합기술원에서는 Recurrent Neural Network (RNN) 알고리즘을 기반으로 유기발광다이오드(OLED) 소재 설계용 역설계 모델 개발[96]
- (역설계 전략) KIST 연구팀은 AI를 이용하여 소재의 물성은 구조보다는 조성에 의해 더욱 결정됨을 확인하였고, 이를 기반으로 역설계 모델 개발 시 일정 구조에서 조성 정보를 예측하는 전략이 효율적임을 제안[97]

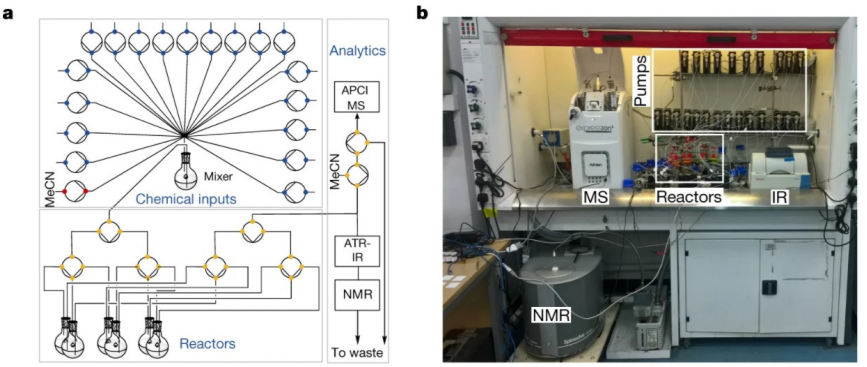
(3) 소재개발 실험 자율화 기술 동향

□ **(현황) 실험실 자율화 기술에 대한 연구는 2018년에 처음 보고되었으며, 이후 관련 HW·SW 기술이 동시에 발전하여 다양한 소재 분야에서의 활용이 시작되는 추세**

○ (최초 사례) 2018년 영국 글래스고(Glasgow) 대학에서 유기 합성반응에 인공지능을 최초로 융합시킨 자율 실험 플랫폼 첫 보고[98]

- 해당 연구는 소재합성 영역에서 자율화 실험실 개념을 최초로 도입한 연구라는 점에서 큰 의의가 있으며, 재료과학에서 인공지능과 자율화 실험실이 성공적으로 융합될 수 있는 가능성 제시
- 인공지능 모델을 기반으로 실제 유기물 합성실험의 조건들을 수정해나가는 점을 실현한 첫 시스템이라는 점에서 의의가 있음
- 그러나, 데모 수준의 초기 버전 시스템이라 로봇 팔조차 활용되지 않는 등 하드웨어 수준이 그다지 높지 않고, 소재 측면에서도 유기물 합성에 국한됨

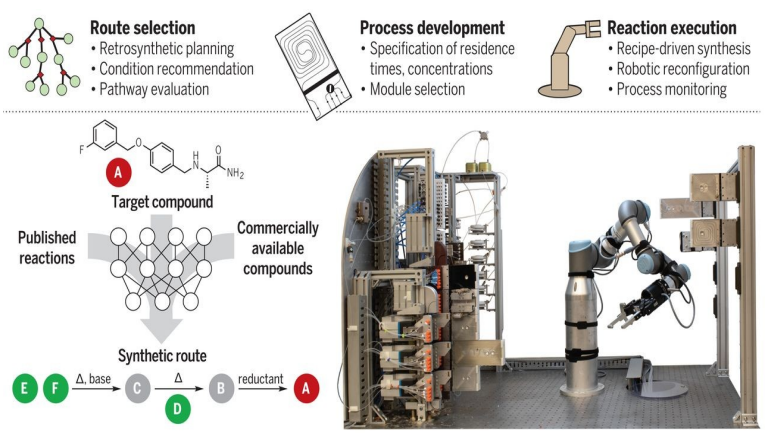
94) Kim et al. (2020), Inverse Design of Porous Materials Using Artificial Neural Networks, Science Advances.
95) Noh et al. (2019), Inverse Design of Solid-State Materials via a Continuous Representation, Matter.
96) Kim et al. (2018), Deep-Learning-Based Inverse Design Model for Intelligent Discovery of Organic Molecules, npj Computational Materials.
97) Kim et al. (2021), Deep Learning-Based Prediction of Material Properties Using Chemical Compositions and Diffraction Patterns as Experimentally Accessible Inputs, Journal of Physical Chemistry Letters.
98) Granda et al. (2018), Controlling An Organic Synthesis Robot with Machine Learning to Search for New Reactivity, Nature.



[그림 Ⅴ-25] 영국 Glasgow 大 유기물질 합성용 자율화 실험실 구성도 및 하드웨어

○ (로봇 팔 도입) 2019년 미국 MIT에서 소재실험실에 로봇 팔을 도입하여 합성 시약이 담겨 있는 모듈들을 직접 옮기면서 실제 합성을 진행[99]

- 연구자가 합성하기를 희망하는 소재(유기소재 한정) 정보를 입력하면 인공지능을 통해 합성공정을 제안하는 형태로, 원하는 유기소재가 합성될 때까지 연구자 개입 없이 실험을 반복
- 플라스크나 바이알(vial)을 이용하는 배치(batch) 합성이 아니라 용액의 흐름을 이용하는 유체 합성(flow synthesis)을 이용



[그림 Ⅴ-26] 미국 MIT 유기물 합성경로 제안용 자율화 실험실

99) Coley et al. (2019), A Robotic Platform for Flow Synthesis of Organic Compounds Informed by AI Planning, Science.

○ (AI 알고리즘 개발) 2020년 미국 하버드대학에서는 공정 최적화 인공지능 알고리즘을 개발하여 이를 로봇팔과 연동시켜 유기물 태양전지에 사용하는 활성층 물질을 최적화 시키는 자율화 실험실 구축[100]

- 활성층 물질이 시간이 지나도 성능이 저하되지 않는 소재를 찾아내는 것을 실험의 목표로 두고, 활성층 재료 내 최적의 성분 조합 비율을 찾는 것이 목적
- 최적화 인공지능 알고리즘으로 베이지안 최적화(Bayesian Optimization)를 탑재한 소프트웨어(ChemOS)를 개발하고, 이를 활용하여 최적의 용액 조합 비율을 탐색
- 자율화 실험실이 실험적인 비용(시약, 실험 시간 등)을 획기적으로 단축시킬 수 있음을 데모 실험을 통해 제시

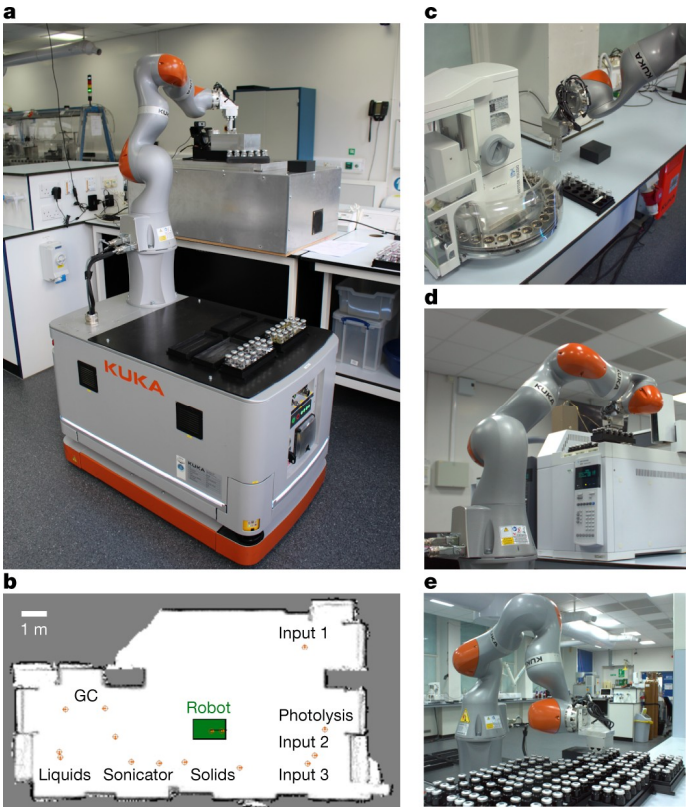
[그림 Ⅴ-27] 하버드대 태양전지용 유기물 활성층 합성을 위한 자율화 실험실 HW

○ (움직이는 로봇 도입) 2020년 영국 리버풀대학에서는 움직이는 로봇(mobile robot)을 소재 개발에 최초로 도입하였고, 로봇이 실험실 전체를 움직이며 소재 합성·분석 실험을 수행[101]

- 수소생성반응을 촉진시킬 수 있는 광촉매(P10)를 대상으로 촉매 성능 최적화 수행
- 로봇이 낮과 밤의 구분 없이 소재 실험을 할 수 있어 사람이 소재를 개발하는 것보다 그 과정을 가속화 할 수 있음

100) Langner et al. (2020), Film Fabrication Techniques: Beyond Ternary OPV: High-Throughput Experimentation and Self-Driving Laboratories Optimize Multicompont Systems, Advanced Materials.
101) Burger et al. (2020), A Mobile Robotic Chemist, Nature.

- 소재 개발용 실험실에서 움직이는 로봇이 활용되었다는 점에서 하드웨어적인 관점에서는 큰 진보라 평가할 수 있지만, 아직은 연구실의 지도(map) 정보를 입력하여 움직이는 수준이어서 연구자(사람)와 로봇이 연구실에서 함께 작업을 할 때 생길 수 있는 변수들에 대한 대처 능력이 없음



[그림 Ⅴ-28] 영국 리버풀대 움직이는 로봇을 도입한 자율화 실험실

○ (다양한 응용 시작) 2020년부터 다양한 응용 분야의 소재 자율실험실이 보고되고 있음

- 미국 노스캐롤라이나 주립대에서 페로브스카이트 양자점 소재의 합성 및 광학적 특성 분석을 자율화하는 플랫폼 보고[102]
- 캐나다 토론토 대학에서 금(Au) 나노입자의 유체 기반 합성 및 광학적 특성 분석 자율화 실험실을 보고[103]

102) Epps et al. (2020), Artificial Chemist: An Autonomous Quantum Dot Synthesis Bot, Advanced Materials.

- 독일에서는 산·학 협력을 통해 박막 태양전지 분야의 자율실험실 (AMANDA 플랫폼) 구축[104]

[그림 Ⅴ-29] 독일에서 구축한 박막 태양전지 개발용 자율실험실

다. 산업동향

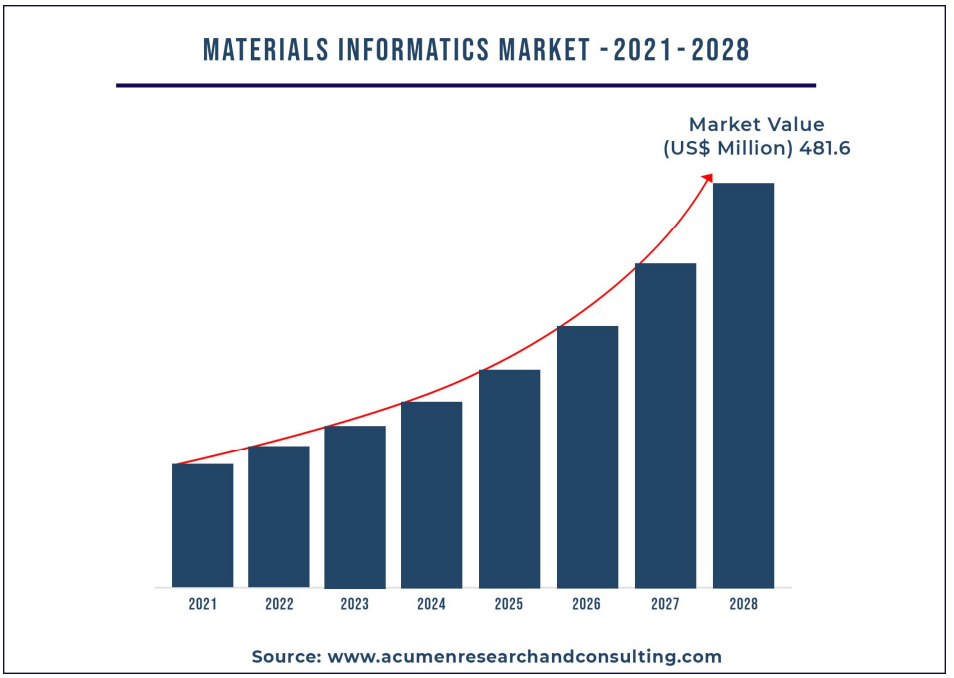
(1) 시장 동향

□ 빅데이터와 인공지능을 소재 설계 분야에 적용하는 사례가 지속적으로 증가하고 있으며 데이터 기반 재료 설계(Materials Informatics) 시장은 '21년 이후 연평균 26% 성장

○ 데이터 기반 재료 설계(Materials Informatics, 이하 MI) 시장 규모가 '28년까지 약 4억 8,160만 달러(약 5천 7백억 원)에 이를 것으로 전망[105]

○ 재료과학 분야 인공지능 응용 프로그램 관련 특허 출원 건수는 해마다 늘고 있으며, 특히 2015년 이후 이전 5년의 증가 폭 대비 2배 이상 급격한 증가세를 보임[106]

103) Tao et al. (2021), Self-Driving Platform for Metal Nanoparticle Synthesis: Combining Microfluidics and Machine Learning, Advanced Functional Materials.
104) www.amanda-platform.com
105) Acumen Research and Consulting. (2021). https://www.acumenresearchandconsulting.com/materials-informatics-market
106) Modaq. (2021). https://www.mondaq.com/uk/patent/1126782/ai-in-materials-science-prospects-and-pitfalls



[그림 Ⅴ-30] Materials Informatics 시장 전망

□ 특히 에너지, 환경 문제가 글로벌 이슈화됨에 따라 전기자동차 원천 소재 확보를 위해 스타트업을 중심으로 빅데이터 및 인공지능 기반 소재 설계 기술 투자가 확대

○ 이차전지 시장[107]의 급성장이 예상됨에 따라 차세대 배터리, 모터 소재 기술 개발에 적극적으로 투자

○ 인공지능 기반 소재 설계에 필요한 데이터베이스, 시뮬레이션, 실험 로봇 플랫폼 등을 개발, 판매, 컨설팅하는 스타트업이 빠르게 증가

- 대부분 미국 실리콘밸리에 위치해 재료 설계라는 하나의 SW 플랫폼 사업으로 발전하고 있음

107) '27년 2,797억 달러 (약 330조 원) 규모로 성장 예상 (Global Battery Market Report 2020-2027)

〈표 V-27〉 재료 설계 기업별 제공 서비스

재료 설계 기업	국가	제공 서비스
Kebotix	미국	로봇 실험 자동화 솔루션
Citrin Informatics	미국	재료 물성 DB, AI 활용 플랫폼
IBM Accelerated Materials Discovery	미국	양자컴퓨터 활용한 재료 개발
Materials Zone	이스라엘	DFT 시뮬레이션 DB 및 AI 활용 플랫폼
Uncountable	미국	재료 물성 DB 구축, 활용 소프트웨어 플랫폼
Exabyte.io	미국	온라인 재료 시뮬레이션 플랫폼
Schrodinger	미국	DFT 시뮬레이션 SW

○ 이 분야 선도 기업인 Kebotix는 재료 물성 빅데이터, 기계학습 및 로봇 실험 자동화 솔루션을 통해 다양한 조합의 소재 자동 합성 기술을 보유

- 캐나다 토론토대 Alán Aspuru-Guzik 교수(Kebotix 공동 설립자)가 이끄는 Ada 프로젝트[108]를 통해 박막 재료 설계를 가속화 할 수 있는 재료합성 자동화 실험실(self-driving lab)을 발표[109]

- '20년 1,150만 달러(약 137억 원)의 연구개발비 투자를 받았으며[110], '21년에는 미국 국립과학재단(NSF)에서 지원하는 1,500만 달러(약 179억 원) 규모의 연구개발 사업(Colorado School of Mines가 주도, 11개 회원 대학)에 산업 파트너로도 선정[111]

□ 다만 MI 기술은 초기 단계로, 이후 인공지능 학습에 필요한 복합적인 소재 데이터가 확보되어야 함

○ 현재까지 시뮬레이션 데이터를 주로 활용하고 있으며, 소재·소자 제작 관련 실험 데이터는 전반적으로 부족한 상황

○ 물리·화학적으로 활용 가능한 인공지능 모델 개발 및 자동 조합 실험 등 과제가 상존

108) http://www.projectada.ca
109) Macleod et al. (2020). Self-driving laboratory for accelerated discovery of thin-film materials, Science Advances.
110) VentureBeat. (2020). https://venturebeat.com/2020/04/16/kebotix-raises-11-5-million-to-automate-lab-experiments-with-ai-and-robotics
111) Yahoo Finance. (2021). https://finance.yahoo.com/news/kebotix-selected-industry-partner-15-184600929.html

(2) 글로벌 기업 동향

□ 완성차 업체들은 차세대 전기자동차 시장의 핵심인 고성능 배터리 기술 개발 가속화를 위해 MI 기술 확보에 적극적으로 투자

○ 도요타(Toyota)는 배터리와 연료전지용 촉매제 개발을 위해 2017년부터 Stanford, MIT, 일리카(Ilika Plc, 영국 재료과학 전문 업체)와 파트너십을 체결하고 4년간 3천 5백만 달러(약 411억 원) 규모의 투자를 진행했고, 향후 4년('21~'24)동안 미국의 11개 파트너 기관*에 3천 6백만 달러(약 420억 원) 추가 투자[112)]

* 칼텍, 카네기멜론, 코넬, 조지아텍, 로렌스 버클리 국립연구소, MIT, 노스웨스턴, 스텐퍼드, 미시간, 스탠퍼드 선형 가속기 센터, Fraunhofer 연구소

- 배터리 수명 테스트 가속화, 인공지능 기반 연료전지 재료 설계 방법 개발, 배터리용 폴리머 설계를 위한 로봇 플랫폼과 관련된 약 150편의 논문 발표
- 배터리 오픈 데이터를 구축하고, 인공지능 알고리즘을 오픈 소스로 공개하는 등 MI 저변 확대

○ 폭스바겐(Volkswagen)은 '16년부터 양자컴퓨팅 전담팀을 마련하고, '17년에는 D-Wave(캐나다 양자컴퓨팅 회사), Google과 파트너십을 체결하고 맞춤형 배터리 설계 목적의 재료 시뮬레이션 플랫폼과 인공지능 알고리즘 구축[113)]

- '18년 양자컴퓨터를 이용해 리튬-수소, 탄소 사슬 분자를 성공적으로 시뮬레이션 하는데 성공하여 전기 자동차 배터리의 화학구조 시뮬레이션 최적화 기반 마련
- 또한 인공지능 알고리즘을 사용하여 무게 감소, 최대 전력 밀도 등 맞춤형 배터리 설계를 단기간에 완성할 수 있는 기술 개발

○ General Motors(GM)은 Li-Metal 배터리 상용화를 가속화 하기 위해 혁신적인 회사와 협력 및 투자 진행

- Li-Metal 배터리 제조 업체인 SES(Solid Energy Systems)에 투자를 통해 소재 개발, 재활용 및 AI 기반 배터리 성능 최적화 기술 개발 중[114)]

112) Toyota Newsroom. (2021). https://pressroom.toyota.com/toyota-research-institute-commits-36-million-in-funding-over-the-next-four-years-for-advanced-materials-design-and-discovery-with-university-partners

113) Volkswagen Newsroom. (2018). (https://www.volkswagen-newsroom.com/en/press-releases/volkswagen-tests-quantum-computing-in-battery-research-351

114) GM Corporate Newsroom. (2021). https://media.gm.com/media/us/en/gm/home.detail.html/content/Pages/news/us/en/2021/mar/0311-battery.html

- 인공지능을 활용해 리튬 이온 배터리의 고속 충전도 가능하게 하면서 기대 수명도 최대 높일 수 있는 최적점을 찾아냄

□ 기존 소재 기술 선도 기업들도 성능 개선 가속화를 위해 MI 기술을 적극 활용

○ 파나소닉(Tesla, Ford사의 배터리 제조사)은 인공지능 기술을 적용해 기존에 3년이 걸리는 수명(충·방전) 테스트 기간을 6개월로 단축[115]

○ 후지쯔는 전기자동차의 모터, 인덕터 등에 사용되는 강자성체의 자력 손실을 최소화하기 위해 실험, 시뮬레이션, 인공지능을 통합 적용해, 금형 제작부터 수개월이 소요되던 테스트를 단 며칠 만에 완료. 비용, 시간을 획기적으로 단축할 수 있는 기술 개발[116]

- '20년에는 자성재료 물성 빅데이터, 시뮬레이션, 인공지능 기반의 제품 설계를 통합 관리하는 클라우드 기반 HPC 플랫폼을 구축

○ NEC는 도호쿠 대학 재료과학고등연구소와 공동연구를 통해 자동 이종학습과 머신러닝 적용으로 기존의 백금(Pt) 합금보다 100배 높은 열전 변환 효율을 가지는 소재 개발 기간을 약 1년으로 획기적 단축[117]

○ BASF는 '18년부터 미국 재료 설계 회사 Citrine Informatics와 온실가스 감축을 위한 신촉매 개발 목적의 인공지능 기술 협력 추진[118]

□ Google, IBM 등 IT 회사 또한 인공지능, 양자 컴퓨터 기술을 소재 개발 분야로 확대

○ Google은 미국 칼텍(Caltech)과 협력해 잉크젯 프린터 기반의 새로운 금속 산화물 물질 합성을 가속화하는 방법을 개발하는 등 재료 설계 분야까지 인공지능 확대 적용[119]

○ IBM은 퀀텀 컴퓨팅(Quantum Computing)·인공지능 기술을 활용하여 미래 배터리 개발을 진행[120]

- 공급이 제한적이고 재활용이 어려운 고가의 니켈과 코발트 대신 바닷물(염수)에서 얻을 수 있는 요오드 기반 물질을 사용하는 방법을 발견하여, 배터리 생산 비용 절감

115) The Wall Street Journal. (2020). https://www.wsj.com/articles/electric-car-batteries-get-a-boost-from-artificial-intelligence-11604422792
116) Fujitsu Press. (2018). https://www.fujitsu.com/global/about/resources/news/press-releases/2018/0530-01.html
117) 인공지능신문. (2018). https://www.aitimes.kr/news/articleView.html?idxno=11341
118) BASF. (2018). https://www.basf.com/us/en/media/news-releases/2018/06/P-US-18-075.html
119) Yang et al. (2021). Discovery of complex oxides via automated experiments and data science. PNAS USA
120) Youtube. (2021). https://www.youtube.com/watch?v=ghZvkUXTdBo

- 다임러와 함께 퀀텀 컴퓨팅을 이용해 양자 화학 계산을 통한 차세대 배터리 소재 개발 중[121]

(3) 국내 기업 동향

□ 대기업은 인공지능 전담 조직을 마련하여 소재 분야에 적용할 뿐만 아니라 글로벌 선두주자들과 파트너십을 통해 자체 DB 구축 및 인공지능 역량 확보에 주력

〈표 Ⅴ-28〉 기업별 재료 설계 분야 및 인공지능 전담 조직

기업	재료 설계 분야	신설 인공지능 조직 이름
삼성	OLED 소재	삼성리서치 AI센터
LG	친환경 촉매, 광학 소재	LG AI연구원
현대제철	신강종	스마트 팩토리 전담조직
현대자동차	촉매, 희토류 저감 영구자석	AI Research Lab

○ 삼성종합기술원은 하버드, MIT와 공동연구를 통해 새로운 OLED 소재 탐색 기술 개발

- 이론, 기계학습, 화학 정보학을 통합하여 OLED 분자를 빠르게 식별하는 대규모 스크리닝 프로세스를 개발하여 '16년 Nature Materials지에 게재(1,000개 이상의 새로운 청색 발광 물질 설계)[122]
- 대부분 기업들이 알파고가 등장한 '16년 이후로 인공지능 기술을 재료 설계에 도입하기 시작한 반면, 삼성은 이미 수년 정도 앞서 기술을 적용하여 국내 시장 선도

○ ㈜LG는 그룹 차원에서 캐나다 토론토대와 맥마스터대, 프랑스 에너지· 석유회사 '토탈'과 함께 '인공지능 기반 소재 개발 컨소시엄(A3MD)'을 결성하고, 친환경 촉매, 차세대 소재 등 공동연구 계획을 발표[123]

- 소재 정보학, 계산화학, 로봇을 이용한 대규모 실험 자동화 분야의 인공지능 전문가 집단과 협업(토론토대 Ted Sargent 교수와 Alan-Aspuru-guzik 교수, 맥마스터대 Drew Higgins 교수)

121) IBM Blog. (2020). https://www.ibm.com/blogs/research/2020/01/next-gen-lithium-sulfur-batteries
122) Gomez-Bombarelli et al. (2016). Design of efficient molecular organic light-emitting diodes by a high-throughput virtual screening and experimental approach. Nature Materials.
123) 조선일보. (2020). https://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2020/09/13/2020091300156.html

- 3년간 1억 달러(약 1,100억) 이상 투자해 '상위 1% 인간 전문가' 수준의 학습·사고·판단 능력을 갖춘 초거대 인공지능 개발 계획을 발표[124]하였으며, 이를 통해 기존의 문헌, 특허 등 대규모 데이터를 학습함으로써 새로운 소재 설계에 크게 기여할 것으로 예상
- 기타 새로운 소재 인공지능 알고리즘(Physics Informed Neural Network 등)을 신규 개발[125]

○ LG화학은 UNIST와 탄소중립·전지 소재 및 인공지능 분야 공동연구를 위한 MOU 체결[126]

○ 삼성SDI, LG화학은 리튬 이차전지 전극 재료, 전해질 첨가제 등 배터리 관련 소재 개발 과정에 자체 보유 중인 DB를 활용하는 것으로 파악

○ 현대제철은 시뮬레이션 및 기계학습법을 적용해 새로운 철강 재료 개발 기간을 획기적으로 단축

- '17년 7종의 합금 원소 조합 15억 개 중 최적의 설계안을 10일 만에 도출[127]
- 정확하고 방대한 시뮬레이션 데이터 확보를 위해 대규모 슈퍼컴퓨터에 투자한 것으로 알려짐

○ 현대자동차그룹은 멀티 스케일 시뮬레이션 기술을 활용한 가상 소재 설계 플랫폼을 구축하여 전기화학 촉매, 희토류 저감 영구자석, 초저백금 전극 촉매를 개발[128]

124) 매일경제. (2021). https://www.mk.co.kr/news/business/view/2021/05/476762
125) LG AI 연구원. https://www.lgresearch.ai/ourwork/research
126) 동아일보. (2021). https://www.donga.com/news/Economy/article/all/20211031/110004967/1
127) 매일경제. (2017). https://www.mk.co.kr/news/business/view/2017/07/455485/
128) 현대자동차그룹. (2021). https://tech.hyundaimotorgroup.com/kr/developers-blog/virtual-material-design-technology-innovation-in-the-development-of-new-materials-in-virtual-space

라. 정책 동향

(1) 소재 데이터 및 AI 관련(SW 기반) 글로벌 정책 동향

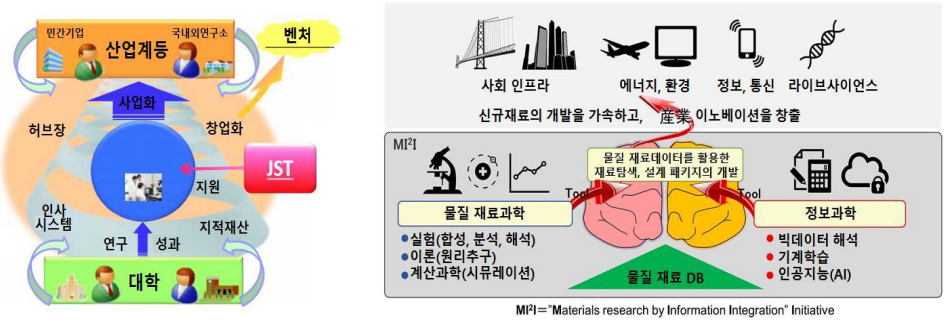
□ (일본) 소재 데이터 생성·수집·활용을 위한 정책 추진 및 NIMS에 관련 역할 부여

○ 데이터 기반 R&D 플랫폼 정비, 주요 영역별(AI, 바이오, 안전 등) 핵심소재 개발 등을 담은 “소재산업 혁신력 강화를 위한 정부 전략” 발표(’20.6)

- 시료·장비·공정 등 소재 연구 메타 데이터의 저장소인 “Materials Data Repository(MDR)” 및 데이터 플랫폼 사이트 “DICE” 오픈(’20.6)

○ 국립 물질·재료연구 기구(NIMS) 산하 정보통합 물질·재료 연구 센터(CMI2, ‘15년 창설)에 “정보통합 물질·재료 개발 이니셔티브(MI2I, 총 기간 5년)” 프로젝트 위탁

- 일본의 연구력·인력 강화의 핵심 거점으로 국제 거점화 및 국내외 관계 기관과의 연계를 위한 “이노베이션 허브” 구축 추진



[그림 Ⅴ-31] 이노베이션 허브 개념과 NIMS의 MI2I 과제 예시

○ “초첨단재료 초고속개발 기반기술 프로젝트”(‘18~) 사업은 소재 전문가와 데이터과학 전문가가 협업하고 슈퍼컴퓨터와 인공지능을 활용하여 소재 개발 기간을 20분의 1로 단축하는 것을 목표로 함

- 도레이, 쇼와덴코, 신일철, JSR, 무라타제작소 등 20여 개 업체가 첨단소재 고속개발 기술연구조합 결성

- 경제산업성이 매년 24억엔 규모의 예산 지원

□ (미국) 10여 년 전부터 소재 정보학의 혁신을 위한 이니셔티브 마련 및 지속 수행

○ “Materials Genome Initiative”(MGI, ‘11~)를 통해 소재정보학을 활용한 기존 반복 실험 연구방식 혁신, 데이터 저장·활용 인프라 구축 등 연구방법론 혁신

- National Institute of Standards and Technology(NIST)에서 MGI와 협력하여 주로 문헌자료 기반의 소재 데이터 저장소 운영

○ “첨단제조 파트너십”(AMP 2.0, ’14~) 전략에서 첨단제조업 투자 포트폴리오의 핵심 요소로 첨단소재 개발을 꼽았음

- 제조과정에서 나오는 대용량 데이터와 정교한 설계 지식을 효과적으로 다룰 수 있는 능력배양 추진

□ (유럽) EU 차원에서의 소재 DB 구축을 위한 노력 시작

○ 연구혁신 프로그램 “Horizon 2020”(‘15~‘18)의 하나로 소재 빅데이터 구축사업 추진

- 오픈연구데이터 시범사업(ORDP) 시행 및 데이터 관리계획 도입, 세계최대 계산물성 DB(NoMAD) 제작

□ (중국) 제조 관련 전략 분야로 신소재 선정 및 중국판 소재 게놈 프로젝트도 추진

○ “중국제조 2025”(‘15~)에 따라 10대 전략 중점분야로 신소재를 채택하여 집중지원 중

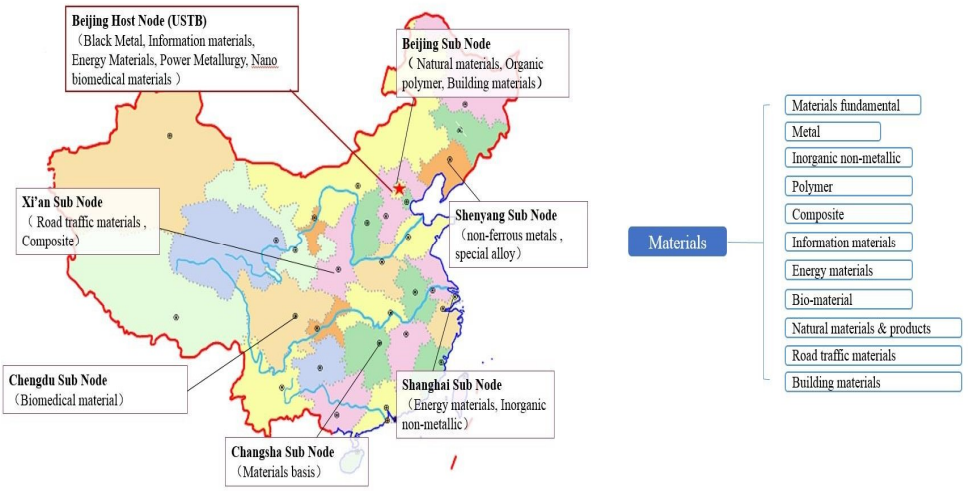
- 주요 소재를 3그룹으로 분류*하여 R&D 추진, 핵심기술 표준화, 국가기초 신소재 데이터베이스 구축 등 지원

* ① 철강, 비철금속, 석유화학, 건축자재 등 다양한 용도가 있는 선진 기초재료, ② 해양공정, 궤도교통, 핵발전, 항공 엔진 등 핵심 전략재료, ③ 3D 프린팅 재료, 초전도 재료, 스마트 생체 공학 등 선행 신재료

○ 국가 중점연구 프로젝트로 중국판 MGI 관련 14개 과제를 채택(‘16.6, 연구비 총액: 3억 위안, 한화 약 480억 원)

- 재료과학 데이터 공유 네트워크(MSDSN)* 구축을 통해 연구데이터 검색 플랫폼 서비스, 연구데이터 관리 지침 및 교육·훈련 제공

* 재료의 종류에 따라 지역별로 하위 노드들이 있으며, 베이징과기大가 허브 역할인 주관 노드 수행 중



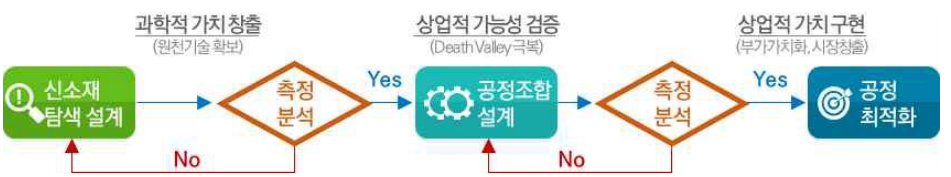
[그림 Ⅴ-32] 재료의 종류에 따른 중국판 MGI의 지역별 하위 노드

□ (한국) 소재 연구개발의 혁신을 위해 데이터 기반 소재 R&D 전략 수립

○ “미래소재 원천기술 확보전략”(18.4) 등을 통해 연구데이터 수집・공유・활용을 위한 인프라 구축을 추진

○ “소재·부품·장비 2.0 전략”(’20.7)의 미래시장 선도를 위한 소부장 개발 ·생산역량 확충 과제에서 신소재 개발 플랫폼의 필요성을 언급

○ “데이터 기반 소재연구 혁신허브 구축·활용방안”(’20.10)은 소재 데이터 연구에 대한 가장 자세한 정책으로 보이며, 특히 데이터·AI 활용 3대 서비스 제공을 중점 추진과제로 제안



[그림 Ⅴ-33] 신소재의 개발에서부터 양산까지의 과정 및 혁신허브 중점 추진과제

(2) 소재 개발 실험 자율화(HW 결합) 관련 글로벌 정책 동향

□ (캐나다) 소재 개발 실험 자율화 주도국인 加 정부는 "재료 혁신을 위한 자율 발견 가속화"라는 명칭의 프로젝트를 '18년부터 진행

○ 총사업비 약 12백만달러(국비 8백만달러), British Columbia 大 주관

○ "ADA"라는 최신 AI 로봇 플랫폼을 구축하여 고효율・저비용 태양전지 소재 개발 및 최적화를 시범적으로 진행

□ (미국) 美 NSF는 "소재 혁신 플랫폼"(MIP, '15~)이라는 경쟁형 프로그램 도입

○ 사업 추진을 통해 고성능컴퓨팅, 실험 도구, 공유데이터, 머신러닝 등을 통합한 프레임워크 제공

- 새로운 2개의 합성 생물 소재 기반 플랫폼 구축에 5천만 달러(약 600억 원) 투입 예정('20.7)

〈표 V-29〉 미국 소재혁신 플랫폼 사업 현황

구분	소재 혁신 플랫폼 연구소
1기('16~'19)	• 2DCC: 미래 일렉트로닉스를 위한 2-D 칼코게나이드 소재 • PARADIM: 산화물과 2-D 소재를 결합한 계면적 양자 소재
2기('20~)	• GlycoMIP: 글리코소재의 발견 및 특성화 • BioPACIFIC MIP: 바이오폴리머의 대량 고속 제조법 개발

□ (인도) 인도 정부는 '20년 9월까지 관련 연구제안서 접수

○ 소재 가속화 플랫폼 구축 과제에 최대 3년 이내로 제안을 요구했으며, 주관 기관에 연구결과가 실용화로 이어질 수 있는 전략 요청

□ (한국) 우리나라의 경우, 관련 국가 R&D 정책이 초기 단계에 위치

○ "글로벌 소재 강국으로 도약을 위한 소재 R&D 투자 혁신 전략" ('21.2)에 스마트 재료연구실 구축 내용이 추진 과제로 명시

○ 이후 후속 정책 마련이나 신규 사업으로의 연계는 달성되지 못한 상황

마. 결론

(1) 요약 및 정리

□ (기술동향) 데이터베이스 구축, 효율적인 AI 및 알고리즘, 실험실 자율화 분야에서 모두 매우 활발한 소재 기술 개발 분위기가 조성

○ 유럽 국가들은 구조정보, 미국은 물성 정보 데이터베이스 운영에 강점이 있으며, 우리나라는 분야별 소재정보은행이 과거 구축되었으나 추후 업데이트 부실 등 관리가 미흡한 상황

○ 소재 개발 시 효율성 확보를 위해, 순방향 설계(소재 정보 → 물성·특성)에 이어 최근에는 역설계(물성·특성 → 소재 정보) 방식으로 AI 및 알고리즘 활용

○ 소재 개발 실험실 자율화 기술에 대한 연구는 2018년에 처음 보고되었으며, 이후 관련 HW·SW 기술이 동시에 발전하여 다양한 소재 분야에서의 활용이 시작되는 추세

□ (산업동향) 글로벌 자동차·소재 기업의 활약으로 데이터 기반 재료 설계 시장은 지속 성장 중이며, 우리나라 기업들도 자체 데이터·AI 역량 확보를 위해 움직이는 중

○ 빅데이터와 인공지능을 소재 설계 분야에 적용하는 사례가 산업계에서도 지속적으로 증가하고 있으며, 데이터 기반 재료 설계(Materials Informatics) 시장은 '21년 이후 연평균 26% 성장 예측

○ 글로벌 완성차 업체들 및 기존 소재 기술 선도 기업들은 각각 고성능 배터리 기술 개발과 소재 성능 개선에 MI 기술 적용 중이며, IT 기업의 경우 인공지능 및 양자 컴퓨터 기술을 소재 개발 분야로 확대

○ 국내 대기업은 인공지능 전담 조직을 마련하여 소재 분야에 적용할 뿐만 아니라, 글로벌 선두주자들과 파트너십을 통해 자체 DB 구축 및 인공지능 역량 확보에 주력

□ (정책동향) SW 관련 분야부터 더욱 진보된 형태의 소재 개발 가속화를 위한 HW 기술 포함 분야까지 주요국들의 R&D 정책적 노력이 존재

○ SW 기반 소재 데이터·AI 분야의 경우 약 10년 전 미국의 MGI를 효시로 하여 주요국들도 유사한 형태의 정책을 마련하고 있으며, 우리나라도 소재 연구개발의 혁신을 위해 데이터 기반 소재 R&D 전략 수립

○ HW 기술을 포함하는 소재 개발 실험 자율화 프로젝트는 캐나다 정부가 '18년부터 주도하고 있고, 미국과 인도도 관련 프로그램 도입 중이나, 우리나라의 경우 관련 국가 R&D 정책 및 사업이 초기 단계에 위치

(2) 시사점

□ 우리나라의 경우 AI 및 알고리즘 개발에 "활용 가능한" 데이터 생성 기술 및 정책적 방법론이 부재하여, 미국·유럽·일본 등을 추격하는 상황에 그침

○ 기존에 구축되어있는 DB의 지속 업데이트 및 관리 전략과 SW 관점의 의사결정 연구와의 긴밀한 연계 방안 마련 필요

□ 특히 소재 개발 실험실 자율화 분야의 조속한 정책 고도화와 사업 기획·수행 촉구

○ AI와 데이터베이스를 구성요소로 하는 기술이므로 기존의 소재 데이터 관련 사업들과의 연계 및 고도화 필요

○ HW·SW의 긴밀한 협동 연구가 필요하므로 다양한 전문성을 가진 수행기관이 참여하는 연구단이나 컨소시엄 형태 제안

○ 특정 소재 분야(에너지, 시스템반도체, 바이오 등)를 우선 선정하여 소재 개발 실험 자율화 시범 시행 필요

5. 6G 통신 기술

가. 개 요

(1) 배경 및 필요성[129)]

□ 통신 인프라는 10년 주기의 세대적 진화를 통해 사회 및 산업 발전의 필수 인프라가 되었으며, '19년 이후 5G 통신 시대가 본격 진행 중에 있음

○ 2세대('90 ~ '00)는 1세대의 아날로그 기술을 디지털 기술로 전환하고 무선 음성용량을 확대하여 글로벌 음성서비스 산업의 인프라를 제공

129) "6G 핵심기술개발사업" 기획보고서, 2019.8

○ 3세대('00 ~ '10)는 기존 유선 인터넷 서비스를 단말에서 제공하는 모바일 데이터 서비스 산업 인프라를 제공하였고, 4세대('10~현재)에서 OFDM 기술 채택을 통해 데이터 서비스 용량을 극대화

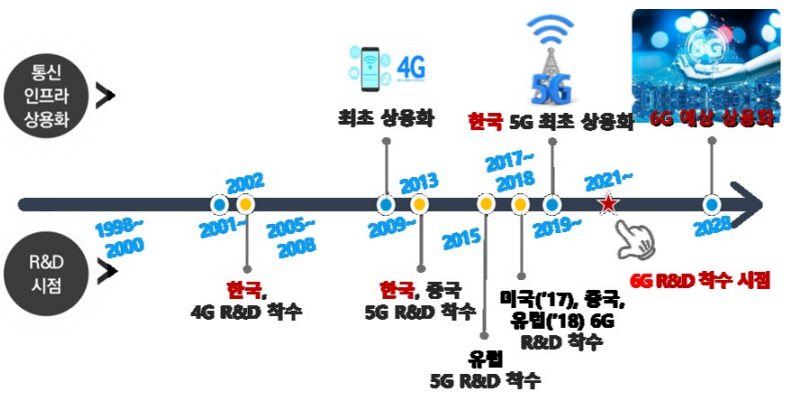
○ 5세대('19~)는 통신기술을 타 산업으로 확산한 융합서비스를 발전시키기 위해 "초고속", "초저지연", "초연결"을 핵심 목표로 정의하여 관련 기술개발 및 인프라 구축 진행 중

※ 출처: 메리츠증권, "5G 산업 심층분석", 2018

[그림 Ⅴ-34] 국내 이동통신 세대별 주요 기술 변화

□ 글로벌 선진 국가/기업들은 5G 인프라 구축과 병행하여 미래 6G 통신 산업 선점을 위해 관련 연구개발을 착수하였으며, 최근 주요 비전을 제시

○ 5G R&D의 경우 상용화 7년 전인 '13년경 착수되었으며, 6G의 경우 '28년 상용화를 대비하여 글로벌 각국에서 '18년경부터 R&D를 착수



※ 출처: "6G핵심기술개발사업" 기획보고서, 2019

[그림 Ⅴ-35] 이동통신 세대별 R&D 및 상용화 시점

○ 글로벌 기업들은 6G 무선정상회의에서 6G에 대한 비전을 제시하고, 도전과제를 제시하는 등 활발한 논의를 진행('19)[130)]

- (화웨이) "2020년대 연결된 사물 → 2030년대 연결된 지능" 비전 제시
- (에릭슨) "Internet of Thought, New computing paradigms" 비전 제시
- (노키아) "Hyper sepcification·capable·sensing"비전 제시
- (삼성전자) "Internet of Skill, Super eMBB·mMTC·URLLC 비전 제시
- (도코모) "Extreme High data rate·coverage·latency·low energy" 비전 제시

□ 이에, 본 고에서는 미래 6G 통신 산업 주도를 위한 관련 연구개발이 글로벌적으로 시작되는 시점에서 각국의 기술/정책 동향 및 정부 R&D 투자동향을 조사하고 시사점을 도출하고자 함

(2) 기술의 정의 및 범위

□ 5G 통신 성능 고도화, 인공지능 기반 네트워크 최적화, 해상·공중·우주 등 커버리지 확대를 통해 가상과 현실을 시공간 제약없이 연결하는 지능형 통신 인프라로 발전할 전망

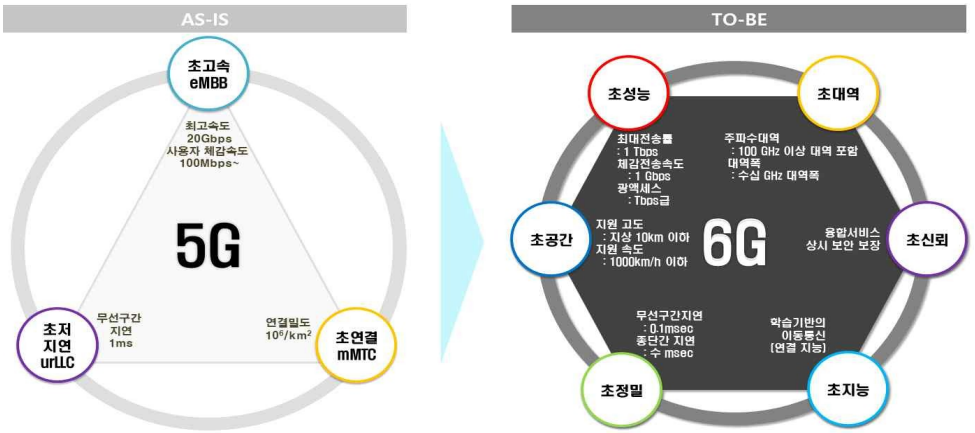
○ (5G 서비스 가속화) 자율주행, 오감 홀로그램 통신, 원격 수술, AR/VR 등 빅데이터, 단대단 초저지연, 고정밀 등을 요구하는 5G 서비스의 본격 확산 예상

○ (네트워크 완전 지능화) 지능형 유무선 통신 인프라 기반의 인공지능 에이전트간 대규모 협업을 통한 다양한 융합 서비스가 일상에 보편화될 전망

○ (통신 커버리지 초월) 기존 육상 중심의 서비스에서 해상, 공중, 우주 등 보편적 무선 통신 서비스 제공이 가능한 인프라 가시화 예상

□ 6G 미래상을 구현하기 위해서는 5G의 요구사항인 초성능, 초대역, 초정밀의 확장과 함께 초공간, 초지능, 초신뢰을 더한 6가지 기술 특성으로 구성

130) 6G Wireless Summit, 2019.3



※ 출처: 6G 시대를 선도하기위한 미래이동통신 R&D 추진전략, 과기정통부, 2020

[그림 Ⅴ-36] 6G 통신 주요 기술 지표

□ 본 고에서는 6개 주요지표에 요구되는 핵심 성능 지표(KPI) 달성과 연간되는 기술분야를 선정하고 이에 대한 기술/시장 동향을 조사하고자 함

〈표 Ⅴ-30〉 6G 주요 지표별 기술분야 및 세부 분류

주요 지표		6G KPI		기술분야	세부분류
초성능	→	최대전송률(1 Tbps), 체감전송속도(1 Gbps), 광액세스용량(T bps급)	→	1.이동통신, 3.광통신	1.이동통신 ①Tbps 무선통신 ②3차원 이동통신 ③지능형무선액세스
초대역	→	주파수대역(~ 1 THz), 대역폭(40 GHz)	→	2.RF	2.RF ④Thz RF 부품 ⑤Thz 주파수
초공간	→	지원고도(~ 지상 10 km), 지원속도(~ 1000 km/h)	→	1.이동통신, 4.위성	3.광통신 ⑥Tbps 광통신
초정밀	→	무선구간지연(~ 0.1 msec), 종단간지연(~ 수 msec)	→	5.네트워크	4.위성통신 ⑦3차원 위성통신
초지능	→	학습기반의 연결	→	1.이동통신, 5.네트워크	5.네트워크 ⑧종단간 초정밀 네트워크 ⑨지능형 6G 모바일 코어 네트워크
초신뢰	→	융합서비스 상시 보안 보장	→	보안 (제외)	

나. 기술동향

(1) 국외 기술동향

(1.1) 이동통신

(1.1.1) Tbps 무선통신

□ '18년부터 주요 국가 중심의 6G 이동통신 연구개발이 시작되고 있으며, 새로운 주파수 대역의 초광대역 신호대역폭 확보를 통한 전송용량 증대를 고려하고 있음

○ (미국) 방위고등연구계획국(DARPA)는 '18년 6G 연구개발 착수, FCC는 6G 연구개발 지원을 위해 주파수 대역 개방('19.3)

○ (중국) 차이나유니콤은 테라헤르츠 공동 이노베이션 센터를 개소('19.11) 하고, ZTE와 협력하여 6G 기술, 표준 개발 가속화 진행

○ (일본) 5G 늦은 대응을 인식하여, 6G 주도권 확보를 위해 민간연구회 발족과 Sony, NTT등이 인텔과 6G 기술협력 추진 중

○ (핀란드) 오울루 대학은 6G 관련 연구 및 개발을 위한 6G Fragship 설립했으며, 알토대학교, 핀란드 기술연구센터(VTT)등 연구기관과 노키아, 키사이트테크놀로지, 인터디지털 등의 기업이 참여

○ (독일) 차세대 통신 기술 리더십을 선도하기 위해 정부차원에서 제안한 6G이니셔티브를 발표, 주무부처인 연방교육연구부는 향후 5년간 7억유로 투입 예정. 2030년부터 6G 상용화가 목표

□ (테라헤르츠 무선전송 기초연구) 독일/미국/일본을 중심으로 테라헤르츠 대역 채널측정 및 기초적인 무선전송 기술 연구개발 진행

○ (H2020 TERRANOVA) MMIC RF FE와 RoF IQ 전송 기반 275GHz 이상 대역에서 1Tbps 전송 링크 연구('17.7월~)

○ (H2020 THoR) 300GHz 기반 100Gbps@1Km 백홀/프론트홀 전송기술 연구('18.9월~)

○ (BRAVE,프랑스) 90~200GHz 대역에서 Tbps급 속도 지원을 위한 Beyond-5G 연구 (18.1월~)

○ (DREAM(D-band Radio solution Enabling up to 100Gb/s reconfigurable Approach for Meshed beyond 5G network)) 130-174.8GHz대역에서 100Gbps 급 무선백홀 개발('17.9월~)

□ (Thz 무선전송) 현재 테라헤르츠 기반 초광대역 무선전송에 적합한 변복조기술(변복조/동기/코덱/빔포밍/MIMO 등) 연구결과는 보고된 바 없음

○ 초고속 ADC/DAC의 낮은 분해능을 고려하여 PAPR(Peak-to-Average Power Ratio)가 낮은 변복조기술(ASK, $\pi/2$ BPSK, $\pi/2$ QPSK) 사용이 제안된 바 있음

○ 계측기를 이용한 시험환경에서 Single-Carrier 기반의 OOK(On-Off Keying) 또는 QPSK/16-QAM 변조를 시험한 결과(오사카 대학)가 보고됨

○ 10GHz 이상의 초광대역폭을 지원하기 위해 초고속 ADC/DAC 적용이 필수적이며, ADC/DAC의 전력효율을 고려한 1-bit 변조기술에 대한 아이디어 수준의 제안이 보고되어 있음

□ (전파 반사제어) 전파 반사제어를 위한 전자기 표면 기술인 LIS(Large Intelligent Surfaces) 기술에 대한 연구결과가 최근 활발히 발표됨

○ 스웨덴의 Lund 대학에서 LIS를 massive MIMO에 적용하였을 때의 효과를 수학적으로 시뮬레이션 결과 발표('18년)

○ KOC University에서 LIS를 AP처럼 적용하여 수신 SNR 특성 시뮬레이션 결과 발표

○ 사우디아라비아 KAUT 대학의 Mohamed Slim-Alouini 교수는 화웨이에서 제시한 LIS 기술에 대해 19년 6G Summit에서 발표. LIS를 이용하여 NLOS 환경의 사용자들에게 다중 사용자 MIMO 환경에서의 수신 SNR을 비교함

(1.1.2) 3차원 공간 이동통신

□ 세계 주요 기업들은 드론기지국 등 다양한 공간이동체를 활용한 무선통신기술을 개발 중이며, 6G 요구사항 중 하나로 "Extreme Coverage(고도 10km)"를 고려

○ AT&T, Intel, 페이스북 등 미국 주요 선진 기업들은 공간 이동체를 활용한 무선통신기술 연구개발을 활발하게 진행 중

- 페이스북은 고고도 공역에서 장기 체공이 가능한 Solar-power 무인비행체 및 공간 이동체용 초고속 무선전송 기술을 개발하여 이를 이용한 인터넷망 보급 프로젝트 추진 중

- AT&T는 2017년 LTE 소형 기지국을 탑재한 저고도 무인비행체를 통해 LTE 데이터 전송에 성공
- 2016년 Intel은 LTE 기술을 적용하여 드론과 지상국의 제어/데이터 전송 애플리케이션 개발 장치인 '인텔 에어로 플랫폼' 개발

○ 도플러 효과에 의한 심볼구간 내 무선채널의 위상 변화 영향을 받지 않는 신파형 연구는 미국을 중심으로 연구가 진행되고 있으나 아직 복잡도와 성능 측면에서 초기 연구 수준

- Cohere Technologies(미국 캘리포니아 주 소재)는 2009년 설립되면서 처음으로 관련 연구를 진행해 알고리즘 개발 수준에서 구현 단계로 진화하고 있지만, 구현 복잡도와 성능 완성도 측면에서 낮은 수준

○ 유럽에서는 플라잉셀(F-Cell), Eurecom Perfume, FP7 ABSOLUTE 등 다양한 프로젝트를 통해 무인비행체 이동통신 기술 개발 중

- 노키아는 Massive MIMO 기반 무선 백홀을 통해 지상망과 통신하는 플라잉셀(F-Cell) 프로젝트를 진행
- 유럽연구위원회에서는 기계학습 기반으로 최적의 위치를 갱신하는 UAV 릴레이 기지국을 개발하는 Eurecom Perfume(2015년~2020년) 프로젝트 진행
- 핀란드 오울루 대학은 2018년 4월부터 세계 최초로 6G 연구개발을 시작하였으며, 비전으로 '데이터 중심의 실시간·무제한 무선연결 사회'를 제시

○ 일본 NTT DOCOMO는 2030년에 6G 상용화를 목표로 하고 있으며, 2020년 1월에 '5G 진화와 6G' 백서를 발표하였고, 6G 무선기술 요구사항 중 하나로 고도 10km까지 커버리지를 확장하는 'Extreme Coverage'를 제시하고 있음

- NTT DOCOMO에서는 드론, 플라잉카, 선박, 우주정거장과 같은 곳에 6G 서비스 제공을 위한 커버리지 확장을 위해 GEO, LEO, HAPS 등의 기술 중 HAPS 기술에 관심을 두고 있는 있음
- 일본 소프트뱅크는 벌룬 형태가 아닌 선글라이더 형태의 고도 20km, 셀반경 100km, 지연 0.3msec의 HAPS를 제시하고 있음. 무인 선글라이더는 태양 전지 패널에 의해 6개월간 비행하며, 총 40 여대로 일본 전역을 커버할 것이라고 함

○ 중국 산업정보기술부(MIIT)에서는 2019년부터 6G 연구개발을 이끌 정부부처 그룹과 대학, 연구소, 기업으로 구성한 그룹 등 2개 연구그룹을 구성하여 6G 개발을 시작하였으며, 2023년 비전 수립, 2026년 기술표준화, 2028년 기술개발 완료, 2030년 초기 상용화 구축을 제시함

- 2020년 5월 ZTE에서는 3차원 연결성, 테라헤르츠 통신, 지능형 MIMO, On-Demand Topology, On-Demand AI 등이 6G 네트워크의 주요 기술임을 발표함
- 화웨이는 '디지털 스카이 이니셔티브'를 통해 300m까지의 저공역 네트워크를 지원하는 드론 기반 이동통신 기술을 개발 중
- 화웨이는 다양한 네트워크 간 및 네트워크를 통해 연결된 다자간 간에 신뢰성을 제공하기 위해서 블록체인 기반 RAN(B-RAN)을 제시함

○ 터키 최대 통신사인 투르크셀(TurkCell)에서는 MWC 2019에서 드론셀을 전시

- 재난·재해 등으로 인한 통신망 두절 상황에서 긴급 이동통신 서비스 제공이 목적이며 3G 및 4G 소형기지국을 탑재하여 200m 상공에서 30분간 비행 가능
- 투르크셀(TurkCell)에서 2019년 IEEE 5G Summit에서 소개한 Flying Base Station은 UMTS & LTE 기지국을 무인 항공기에 탑재하여 고도 120m에서 2~5km 통신 커버리지를 제공

□ (일본) '20년 도쿄올림픽에 8K 방송 도입을 목표로 NHK를 중심으로 산업계와의 연계를 통한 기술 개발 진행

○ '03년 처음으로 디지털 시네마용 4K 카메라를 출시하였으며, '07년 이후 RED One 4K 카메라를 중심으로 본격적으로 4K 디지털 시네마 등 4K 콘텐츠 제작을 시작

- RED One, Sony F65, Canon EOS500 등 디지털 시네마용 4K 카메라들을 중심이 되어 디지털 시네마, UHD 방송용 콘텐츠 제작이 제작되고 있으며, '16년 현재에는 Sony, JVC, Panasonic, Grass Valley 등에서 UHD TV 방송용 4K 카메라를 출시

○ 8K-UHD TV를 위한 카메라, 부호화 및 전송 기술을 개발하고 있으며, '00년대 초반부터 8K UHD 급 비디오와 22.2채널 오디오 신호를 규격으로 하는 'SHV'방송 서비스의 '25년 본방송을 목표로 8K 카메라, 비디오/오디오 신호 부호화 및 위성/지상파 전송 기술을 개발 중

- 12Gbps의 데이터량을 갖는 8K-UHD 비디오(7,680X4,320, YUV4:2:0, 8bits, 30fps)를 실시간으로 부복호화하기 위하여 '05년 MPEG-2 및 '07년 AVC 부호화 기술 기반으로 16대 및 8대의 인코더를 병렬로 처리하여 약 120Mbps로 압축할 수 있는 코덱 시스템을 개발하였고, '12년 H.264/AVC 기술을 확장하여 약 72Mbps로 압축할 수 있는 코덱시스템을 개발

□ 세계 각국에서는 도심 지상교통 혼잡 해결수단으로 부상한 UAM(플라잉카, 에어택시 등 포함)에 대한 기술 개발을 본격적으로 시작

○ 도시 지상교통 혼잡 해결수단으로 부상한 UAM(Urban Air Mobility - 플라잉카, 택시 등 포함)에 대한 기술 개발이 본격적으로 진행 중

- 헬리콥터와 드론을 결합한 형태의 에어 택시 블로콥터가 2019년 10월 싱가포르 도심에서 시험 비행에 성공하였으며, 두바이에서는 2022년 에어 택시 상용화를 계획 중
- 구글이 투자한 '에어 택시 코라'가 뉴질랜드에서 시험 비행 중
- 포르쉐는 전기 플라잉카 개발을 위해 미국 보잉사와 협력 중이며, 우버는 2023년 항공택시 서비스 '우버에어' 출시를 목표로 하고 있음
- 독일 PAV사는 에어 택시 '볼로콥터(Volocopter)'를 싱가포르, 헬싱키, 두바이 등에서 시험 비행 성공, 파리에서 실증 진행 예정

○ 미국 NASA에서는 AAM(Advanced Air Mobility)을 실현하기 위해 AAM National Campaign을 진행하고 있음

- AAM National Campaign은 도심항공교통, 드론택배, 화물용 무인기, 전기동력 여객기 등을 묶어 실증하기 위한 중장기 프로젝트를 지칭함
- 또한, 미국 NASA에서는 2011년부터 2020년까지 UAS-NAS (Unmanned Aircraft Systems Integration in the National Airspace System) 프로젝트를 진행

(1.1.3) 지능형무선액세스

□ 기계학습의 비약적 발전과 더불어, 통신 분야 역시 다양한 영역에서 기계학습을 활용한 기술이 활발히 연구 중이며, 2019년에 열린 6G Summit에서 대다수 이동통신 관련 기관은 6G 대표기술로 '지능'을 표방함

○ 유럽연합의 민간중심 6G 플래그십 연구과제인 Hexa-X 프로젝트가 생성되어 2021년 1월부터 시작되었으며, Hexa-X 프로젝트 내의 6대 개발 과제 중 하나로 효율성 및 서비스 체감품질 향상 등을 위한 기계학습 기반 인공지능 기술 연구를 포함

○ 에릭슨은 6G 전망 문서 'A research outlook towards 6G'[131]를 통하여 인공지능 기술은 다양한 방면의 최적화 및 자동화를 위하여 중요한 역할을 할 것으로 예상되며,

131) https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/white-papers/a-research-outlook-towards-6g

이를 지원하기 위하여 막대한 데이터를 활용하는 데이터 기반 네트워크 구조가 필요함을 지적함

○ 노키아는 6G 시대 연구 전망 'Looking generations ahead to the network of the future'[132]를 통하여 6개의 중요한 기술 중 하나로 에어 인터페이스 설계, 최적화, 또는 문맥 인지 등을 수행하기 위한 새로운 기반을 제공하기 위한 AI/ML기반 에어 인터페이스 기술을 제안

(1.2) RF 부품

(1.2.1) Thz RF 부품

□ 고정 무선통신용으로 고이득 반사판 안테나 이용한 광소자 기반 단일채널 송수신 RF 부품이 독일 및 일본 중심으로 2010년부터 연구시제 수준으로 개발되었고, 최근 능동전자주사식 배열(AESA[133]) 구조 다채널 위상배열 칩이 미국 대학을 중심으로 개발 중[134]

○ (일본/NTT) 포토 다이오드(PD) 및 포토 믹서 등 광소자 이용하여 125GHz 대역 신호발생기를 제작하고 이를 이용하여 5.8km 거리에서 11Gbps 통신 시연('10)

- 빔폭이 0.5도 이하로 좁고 빔조향 기능이 없어 이동통신에는 적용 불가

○ (독일/Kalsruhe) 240GHz 전파로 20m 거리에서 100Gbps 전송 성능을 갖는 안테나 등을 발표했으나, 빔 조향기능이 없는 유전체 렌즈 기반으로 개발('13)[135]

○ (독일/IHP) 220~250GHz대역 4채널 위상변위기로 구성된 빔형성 시험용 RF 송신 칩('13)과 저잡음 증폭기(LNA)및 하향변환 믹서 포함한 단일채널 수신회로 등을 SiGe BiCMOS 공정으로 개발('18)

○ (미국/MIT) 240GHz 대역에서 32개의 온칩 배열 안테나로 구성된 수신기 칩을 65nm CMOS 공정으로 개발('19)

○ (미국/California대) 140GHz 대역에서 위상변위기와 증폭기, 상향/하향변환 믹서 등으로 구성된 4채널 트랜시버 칩을 45nm SOI CMOS 공정으로 개발하고 이를 PCB 패치 안테나와 통합한 빔포머 모듈 개발('20)

---

132) https://www.bell-labs.com/disruption/6g-era-research/
133) AESA (Active Electronically Scanned Array): 다수의 능동형 송수신 소자로 구성된 위상배열(phased array)구조로, 기존 테라헤르츠 대역의 기계식 고이득 빔조향 안테나를 대체하는 기술
134) 6G 통신에 대비한 RF 기술동향, 대한전자공학회지, 2020
135) https://www.nature.com/articles/nphoton.2013.275

(1.2.2) Thz 주파수 개척 및 안정성 평가

□ 100~300GHz 주파수 범위의 전파특성 연구는 일부 대학 및 주요 선진 연구기관 중심으로 소규모 측정, 분석결과를 발표하는 등 아직 기초 연구단계에 있으며, 전자파 인체영향과 전자기기 안전성 등에 관한 연구는 미흡한 상황임

○ (미국/FCC) 5G 이후 새로운 무선기술 및 서비스 개발 촉진을 위해 95㎓ 이상 주파수 대역의 미국 내 규제 완화와 학계, 업계에 활용을 개방하는 "Spectrum Horizons" 정책 수립 및 "mmWave Coalition"을 구성('19)[136]

○ (유럽/ETSI) 130~174.8㎓ 대역을 점대점 무선링크에 활용하는 채널할당 보고서를 발간('18)[137]

○ (미국/NYU 대학) 28㎓와 140㎓ 주파수 대역의 채널사운더 장비를 이용하여 실내 및 실외 전파환경에서의 경로손실 특성 등 측정 결과를 발표('21)[138][139]

○ (미국/USC 대학) 상용 품(Vector Network Analyzer) 장비를 이용, 실내 가시거리 최대 5.5m까지 140~220㎓ 대역의 경로손실 측정결과를 발표('20)[140]

○ (독일/TU-Braunschweig 대학) 상용 UWB 센서 기반의 300㎓ 채널사운더를 이용, 데이터 센터 등 실내 근거리 환경의 전파특성 측정결과를 발표('19)[141]

○ (핀란드/Aalto 대학) 140㎓ 주파수 대역을 쇼핑몰, 공항 등 실내 근거리 백홀 어플리케이션 적용을 고려, 경로손실, 지연 및 각확산 특성 측정결과를 발표('21)[142]

136) https://mmwavecoalition.org/
137) https://docdb.cept.org/document/6034
138) Y. Xing, T. S. Rappaport, and A. Ghosh, "Millimeter wave and sub-THz indoor radio propagation channel measurements, models, and comparisons in an office environment, IEEE Commun. Lett, Oct. 2021.
139) Y. Xing and T. S. Rappaport, "Millimeter wave and terahertz urban microcell propagation measurements and models," submitted to IEEE Commun. Lett., Sep. 2021.
140) Naveed A. Abbasi, et. al. "Channel Measurements and Path loss Modeling for Indoor THz Communication," EuCAP, Mar. 2020.
141) J. M. Eckhardt, T. Doeker, S. Rey, and T. Kurner, "Measurements in a real data center at 300 GHz and recent results," EuCAP, Mar. 2019.
142) S. L. H. Nguyen, K. Haneda, J. Jarvelainen, A. Karttunen, and J. Putkonen, "Large-scale parameters of spatio-temporal short-range indoor backhaul channels at 140 GHz," IEEE VTC Spring, Apr. 2021.

(1.3) 광통신

(1.3.1) Tbs 광통신

□ **(테라급 광액세스 기술) 6G 대용량 데이터 전송을 위한 무선 프론트홀/백홀 관련 광액세스 구조 및 전송 연구·개발 진행 중**

○ (개방형 구조 지원 광액세스) 5G 도입 및 6G를 위한 광액세스 인터페이스가 기능 분리를 지원하는 개방형 구조로 진화함에 이를 지원하는 광통신 기술 연구 진행

- (eCPRI*) 화웨이, Ericsson, NEC, 노키아 등과 같은 글로벌 시스템 벤더 연합인 CPRI는 5G 프론트홀 인터페이스 표준으로 CPRI를 확장한 eCPRI 제정('17.8.) 및 개정 (v1.2, '18.6.)

  * eCPRI: enhanced Common Public Radio Interface

- (ORAN*)AT&T, Verizon, NTT Docomo, Vodafone, KDDI, KT, SKT 등 글로벌 통신사업자 연합인 ORAN은 오픈 프론트홀 인터페이스 및 RAN 가상화 등을 정의 ('19.2.)

  * ORAN: Open Radio Acccess Network

○ (코히어런트 기술[143])의 영역 확장) 데이터 속도의 증가에 따른 기존 IM-DD 전송 방식의 광액세스망 적용 한계를 극복하기 위한 코히어런트 전송 기술 연구 및 개발이 활발한 상황

- (미국/Marvell) 코히어런트 기술의 400ZR 규격이 적용된 400G 단일 DSP 칩, 실리콘 PIC를 포함한 QSFP-DD DCO* 광트랜시버를 업계 최초로 개발 ('21.3)

  * QSFP-DD (Quad Small Formfactor Pluggable-Double Density) : 광트랜시버 외형 규격중 하나로 400Gbps까지 지원

  ** DCO(Digital Coherent Optics) : DSP칩과 광송수신기를 집적화한 모듈

- (핀란드/Nokia) 400G 코히어런트 DSP 칩(Super Coherent, 7nm 공정) 개발 ('20), 실리콘 포토닉스 기반 옵티칼 엔진 개발하여 400ZR 용 QSFP-DD 광트랜시버 개발 중

- (미국/Cisco) 광액세스/에지/케이블 망에 특화된 P2P/DWDM* 연결용 100G 액세스 QSFP-DD 광트랜시버 개발 ('20.8)

143) 코히어런트 기술: 보내고자 하는 전송 정보를 진폭 및 위상정보로 변환하여 송·수신하는 방식으로, 기존 직접수신 대비 수신감도가 좋은 전송 방식.

* P2P/DWDM (Point-to-Point/Dense Wave Division Multiplexing) 일대일 네트워크 연결에서 파장 간격이 좁은 방식을 의미

○ (단거리용 코히어런트 기술 시도) 상면적 및 전력소모의 단점을 극복하기 위해 단거리(〈 20km)에 특화된 형태의 코히어런트 기술 개발이 시도되고 있음

- (일본/미쯔비시) 광액세스망에 적용하기 위한 코히어런트 기술 발표- 복잡도가 낮은 등화기 및 캐리어 위상 복구 적용하여 100Gb/s/λ WDM-PON 시스템 시연 ('18, OECC2018)
- (미국/조지아텍) PD(Photo Detector), 광오실레이터, 및 ADC 각 1개로 구성한 코히어런트 방식 제안하여 50Gb/s/λ 오프라인 결과 발표('19, OFC19)

○ (모바일 데이터 수용 추세) 폭증하는 모바일 데이터 수용을 위한 파장 당 50 Gb/s 또는 100 Gb/s 광전송 기술 개발 진행

- (미국/Nokia Bell Lab.) 영국 보다폰과 공동으로 25G급 광부품 및 DSP 기술 활용한 단일 파장 100 Gb/s PON 기술 시연 ('21.2)
- (중국/화웨이) 점대점 광 액세스용으로 PAM4* 방식으로 50G 기술을 연구 개발하고 디지털 신호처리 기술이 적용된 50G NRZ 광액세스 기술 연구

* PAM4(Four-level Pulse Amplitude Modulation): 진폭 변조 방식의 하나로 4가지 레벨의 신호를 전송 할 수 있는 것으로 기존 NRZ 대비 전송 효율을 2배 향상 가능한 방식

□ **(테라급 인도어망 기술) 인도어 환경에서 6G 대용량 데이터 수용을 위한 광통신 기반 커버리지 확장을 위한 인도어 DAS 및 무선 광통신 연구·개발 진행 중**

○ (디지털 DAS/DIS* 기술) 기존 CPRI를 대체할 이더넷 기반 무선 접속 표준(eCPRI/ORAN/RoE)이나 스몰/피코셀을 수용하는 광인터페이스 기반 인도어 망 기술 개발 및 연구 진행

- (ORAN 표준) 화이트 박스 하드웨어 그룹에서 인도어 피코 셀 구성을 위해 기능 분리 옵션 6/7/8에 따른 10G/100G 광인터페이스 규격 배포('20, '21)
- (미국/코닝) 28G/39GHz mmWave 대역 5G 인도어 스몰셀 솔루션을 개발('20.12)하여, Verizon과 함께 5G 인도어 서비스를 미국 WeWork 사에 10.1 Gb/s 광인터페이스 기반 인도어 솔루션 제공 ('21.8)

* DAS (Distributed Antenna System): 인도어 또는 빌딩 환경에서 무선 신호를 사용자에게 전달하기 위한 커버리지 확장 기술

* DIS (Digital Indoor System): 인도어 또는 빌딩 환경에서 무선 신호를 사용자에게 전달하기 위해 스몰셀/피코셀 등과 같은 코어망과 직접 연결되는 형태의 커버리지 확장 기술

○ (아날로그 DAS 기술)

- (일본/NICT) IEEE INFOCOM 2019에서 B5G 인도어망을 위해 100 GHz mmWave 대역에서 40 Gb/s 전송을 시연 (‘19.4)
- (독일/노키아-벨랩) KK 수신 기법을 적용하여 1.53 Tb/s (CPRI 등가 데이터율)를 단일 파장(C-band)으로 전송 (‘18, ECOC2018)
- (일본/KDDI) 상용 EML TOSA를 이용하여 다중 IFoF 기법으로 64/256QAM OFDM 신호 전송, 파장 당 36.49/54.74 Gbps 전송(‘21, Optics Express)

○ (영국/캠브리지 대학) 리즈/에딘버러/바쓰 대학 등과 공동으로 6G 인도어망 통신을 위한 Tbps급 무선 광통신 기술 개발(TOWS) 과제 진행 (’19)

(1.4) 위성통신

(1.4.1) 3차원 공간 위성통신

□ **위성 제작·발사 비용 감소로, 막대한 투자 비용, 경제성 부족으로 어려움을 겪던 위성통신 산업의 진입 여건이 개선되고 있음**

○ ‘90년대 중후반, MS 등 글로벌 기업이 주도하여 광대역 민간 위성통신 서비스를 시도했으나, 경제성 부족 등의 이유로 상용화 실패

- MS(텔레데식, 사업종료) ICO(파산) 모토로라(이리듐, 파산) 등

○ 최근 발사체 회수 및 재사용 기술개발 성공(SpaceX, ‘16.4)과 함께 위성 대량 생산체계 구축 등으로 위성 발사·제작 비용 크게 감소

□ **위성통신산업 성장환경 조성에 따라 글로벌 기업은 막대한 자본을 바탕으로 본격적인 우주 인터넷 경쟁 시작**

○ 특히, 위성사업자 이외에 아마존, 페이스북, 구글 등 글로벌 ICT 기업이 저궤도 위성통신 시장에 진입, 시장 선점을 위한 경쟁체제 확대

□ **주요 선진국의 SES mPower, SpaceX, Oneweb 등은 군집위성 기반 고속 인터넷 등 글로벌 통신 서비스를 추진 중**

○ 음영 없는 데이터 통신 수요 충족을 위해 저궤도 위성군을 활용하는 전지구 통신위성망 구축(스페이스 2.0)에 대한 투자 확대

□ (SpaceX) 스페이스X, 위성인터넷 '스타링크' 베타테스트 속도 공개 (2020년 8월 17일)

○ 다운로드 35~60Mbps 응답속도 31~94ms, 화상통화 등 기본적인 온라인 서비스 가능

○ 미국은 이동통신 인프라가 취약한 시골 지역, 이리듐이 제공하고 있는 군사 목적 위성통신 품질의 한계로 새로운 저궤도 위성 인프라 구축을 위한 적절한 타이밍

○ 과거 이리듐이 민간 서비스를 선진행 했다가 실패한 후, 군사용으로 활용되는 것에 대비, SpaceX는 군사용과 민간 서비스 동시 제공 진행 중

○ 미 육군은 3년간 군사 목적의 스타링크 통신 시험 계약('20.5.), LEO 추적을 위한 평판형 배열 안테나 요구

□ (Oneweb) 소프트 뱅크, 퀄컴, 휴즈가 공동투자 후, '20년 3월 파산하였으나, 영국 정부(5억불)와 인도 Bharti Global(5억불)이 공동 인수('20.7.)

○ Bharti Global은 세계 3대 이동통신 사업자인 Bharti Airtel 계열사로 남아시아 및 사하라 이남 아프리카 지역에 통신 서비스를 제공할 목적임

- Bharti Airtel은 Oneweb 지상국 시험 제공 중

○ 영국 정부는 Galileo 항법 위성 대체용으로 Oneweb 저궤도 위성 활용 목적으로 투자

○ FCC는 V대역 1,280개의 저궤도 위성 허가('20.8.), 旣 허가된 Ku 대역 720개 위성보다 높은 고도에 구축 예정

□ (Telesat) 세계 4위 GEO 위성사업자로 '22년 저궤도 위성 기반 통신서비스 개시를 목표로 사업 추진 중

○ 사업 초기에는 고도 1,000km에 117개의 위성을 이용한 서비스를 추진하였으나 최근 1,700개의 저궤도 위성 발사를 목표로 수정함

○ 저궤도 위성통신용 지상장비 경제성 확보를 위해 제조사 간의 경쟁방식으로 단말 개발 추진 중(`20.09)

○ 전송방식은 DVB-S2X Annex E Format 5(DL)와 DVB-RCS2(UL) 적용 예정

□ (Amazon) OneWeb, SpaceX, Telesat에 비해 몇 년 뒤늦게 시작하여 SpaceX의 Starlink 사업을 추진한 라지브 바디얄 전 SpcaeX 부사장을 영입하여 Kuiper 프로젝트 추진

○ `29년까지 총 3,236개의 저궤도 위성을 발사하여 글로벌 위성통신 서비스 추진 중

○ Amazon은 Kuiper 프로젝트에 $10억불 투자함(`20.07)

〈표 Ⅴ-31〉 저궤도 위성망 구축 대표기업 및 프로젝트

사업자		SpaceX	Telesat	Amazon	OneWeb
프로젝트명		Starlink	Telesat LEO	Kuiper	OneWeb
목표위성수		12,000	1,700	3,236	47,844
사업추진방식		인터넷 서비스 제공			지상 통신사와 제휴
서비스 개시	위성수	1,584	78	1,618	74
	시기	2020	2022	2026	2021
	지역	미국, 캐나다 일부	캐나다	-	미국 일부
평균속도		5.36Gbps	22.74Gbps	-	2.17Gbps
주파수		사용자: Ku / GW: Ka	사용자: Ka / GW: Ka	사용자: Ka / GW: Ka	사용자: Ku / GW: Ka

* 페이스북(Athena), 레오샛, 구글(Loon), 케플러커뮤니케이션스, 애플 등 프로젝트 추진 중

□ '13년 미연방항공청이 기내에서 Wi-Fi 기능을 쓸 수 있도록 규제를 완화한 후, 세계의 많은 항공사들이 기내 Wi-Fi 서비스를 제공하기 시작함

- Delta, British Airways, Japan Airlines 포함 17개 항공사는 Gogo Inflight Internet 서비스 제공 중(`13~)
- Gogo사에서는 Ku 대역 2채널을 이용하여 100Mbps 이상 전송용량과 98% 가용율을 목표로 서비스 중

○ ViaSat에서 JetBlue 항공기에 제공하는 FlyFi는 20Mbps 속도로 Wifi를 무료 제공하고 있으며, 유럽항공네트워크(EAN)는 다운링크용 위성 기반 시스템과 업링크용 ATG를 결합한 시스템을 유럽 항공사들에 제공하기 시작함

□ (6G 위성통신) 화웨이, NTT 도코모, 서레이 대학, 오울루 대학 등은 6G에서 위성의 필요성 제기(1차 Wireless Summit, '19.03.)

○ ('18, 화웨이) 6G 시대는 초연결을 넘어 초지능으로 발전할 것으로 예상하고, 위성 통신을 6G 구현의 핵심요소로 제시(Wireless Innovations for Next Decade, '18.12)

○ ('19, 무선통신회담) 화웨이, NTT 도코모, 서레이 대학, 오울루 대학 등은 6G에서 위성의 필요성 제기

○ ('20, 中 CCID) 중국 전자정보산업개발연구소는 6G에서 육해공 통합 통신을 위하여 위성통신이 중요하게 활용될 것으로 예상

- ('20, 중국) 6G 기술 시험을 위해 세계 최초로 테라헤르츠 칩을 탑재한 '텐옌-5호' 테스트 위성 발사 성공
- ('20, 6G Global 2020) 한국, 중국, 일본, EU, 미국은 위성통신이 6G에서 커버리지 제약을 극복해줄 핵심 기술이 될 것이라고 전망

□ 국제주파수 분배표 및 FCC에 등록된 운용 또는 운용 예정인 비정지궤도 통신위성 시스템 조사를 통해 6G 위성통신 후보 주파수 대역 분석 결과 OneWeb, SpaceX, Telesat, Kepler 등 광대역 통신사업자는 초기에 Ku/Ka 대역 위성망을 등록하였음

○ 최근에는 기존 정지궤도/비정지궤도 위성망 공유 및 6G 위성통신 서비스를 위해 Q/V 대역(33~75GHz)을 등록한 위성시스템 증가 확인

○ 최근 중국에서 6G 통신위성(Tianyan-5 Satellite)을 발사하였고, ITU-R 국제 등록 현황을 통한 분석 결과 81~86GHz /123~130 GHz 대역을 사용하는 것으로 추정됨

(1.5) 네트워크

(1.5.1) 종단간 초정밀 네트워크

□ 소규모 근거리망용 시간민감형 네트워킹(TSN[144]) 지원 칩셋과 시스템 출시, 메트로 전달망(MTN[145]), 시간확정형 네트워킹(DetNet[146]) 등 초저지연·고정밀 서비스 제공 범위 확장을 위한 기술 및 국제표준 개발 중

○ (미국/Cisco) 최대 20G급 스위칭 용량을 제공하는 TSN 기반 산업용 이더넷 스위치(IE-4000 Series) 출시('17)

○ (핀란드/Nokia) 5G 클라우드 RAN용 TSN 지원 패킷 광 스위치(1830-TPS) 출시('19)

○ (중국/China Mobile) ZTE, Huawei 등 중국 산업체와 Broadcom 등 칩 벤더 공동으로 5G URLLC 서비스를 위해 플렉서블 이더넷(FlexE) 기술을 기반으로 5G X-haul에서 HW 슬라이싱을 제공하는 MTN 기술 ITU-T SG15 국제표준화 추진 제안('19)

144) TSN (Time-Sensitive Networking): 이더넷 기반으로 소규모 근거리망에서 네트워크 종단간 정보를 손실없이 정해진 시간 내에 빠르게 전달하는 네트워킹 기술 (IEEE 802에서 표준화 완료)

145) MTN (Metro Transport Network): 플렉서블 이더넷 기반으로 메트로망에서 5G 무선 액세스 트래픽을 초저지연으로 전송하기 위한 회선 전달망 기술 (ITU-T SG15에서 표준화 진행 중)

146) DetNet (Deterministic Networking): IP, MPLS 등 L3 기반으로 단일사업자 관리망에서 정보를 손실없이 정해진 시간 내에 빠르게 전달하는 네트워킹 기술 (IETF에서 표준화 진행 중)

- 중국 ZTE는 MTN 기술과 유사한 중국 자체 표준 기술인 SPN (Slicing Packet Network)을 China Mobile 상용망에 적용('20)
- 미국 Ciena에서 MTN 지원 라우터(5164 Series)와 이스라엘 ECI Telecom에서 MTN 지원 전달망 솔루션(Neptune 1800 Series) 발표('20)

○ (일본/Fujitsu) 한국 HFR과의 파트너쉽으로 5G X-haul용 TSN 지원 솔루션(Smart Xhaul Transport) 발표('19)

○ (일본/Hitachi) 스웨덴 Ericsson과의 파트너쉽으로 TSN 기반 5G 산업용 IoT 솔루션 시험망 적용 및 시험 발표('20)

○ (미국/Intel) 2.5G급 TSN 이더넷 콘트롤러 내장 11세대 코어 프로세서(Atom x6000E Series, Pentium 및 Celeron N/J Series) 출시('20)

○ (스웨덴/Ericsson) 5G 시민감 통신(TSC; Time-Sensitive Communication) 서비스를 TSN 기반 근거리 소규모 망에서 DetNet IP 기반 단일사업자 관리망으로 확장하기 위한 5G TSC 프레임워크 확장 3GPP SA2 국제표준화 추진 제안('21)

- 3GPP Release-18을 위한 신규 스터디 항목으로 채택('21)

(1.5.2) 지능형 6G 모바일 코어 네트워크

□ **분산화, 소프트웨어화, AI 내재화 등 모바일 코어의 진화를 위한 다양한 요소 기술에 대한 기초적 연구 진행 중**

○ (미국/5G America) "Mobile Communications beyond 2020 The Evolution of 5G Towards the NextG"라는 백서를 통해서 모바일 코어의 진화 방향 논의('20.12)

- 유즈케이스를 제시하고 있으며, 구체적인 네트워크 구조 제시는 없음

○ (독일/프라운호퍼) 6G SENTINEL과제를 통해 자율 구성, 동적 분산 멀티 코어 네트워크 및 소프트웨어 기반 코어 네트워크 연구 진행 중('21.1)

- 5G 모바일 코어 플랫폼인 Open5GCore의 확장 추진
- 다중 액세스, 머신러닝 지원, 메쉬 네트워크 지원 솔루션 등 필요성 주장

○ (유럽/Hexa-X) Horizon 2020 프로그램으로 대규모 민간 중심의 6G 연구개발 그룹인 Hexa-X 프로젝트를 출범하여 6G 비전 및 유즈케이스를 발굴하였으며, 6G 구조 및 인에이블러 기술 개발 중 ('21.1)

○ (유럽/Nokia) “Communications in the 6G Era”라는 논문을 통해, 서브 네트워크(sub-networks), 초특화 슬라이싱(hyper-specialized slicing), 무선액세스-코어 융합(RAN-Core Convergence) 등을 중심으로 하 6G 네트워크 구조에 대한 개념 제시 (‘20.3)

○ (중국/CAICT) IMT-2030 (6G) 추진단은 "6G Vision and Candidate Technologies“라는 백서를 발간하였으며, 네트워크-컴퓨팅 융합 구조, 프로그래머블 네트워크 등을 고려한 모바일 네트워크 구조 연구 진행 중 (‘21.6)

(2) 국내 기술동향

(2.1) 이동통신

(2.1.1) Tbps 무선통신

□ 6G 기술이 초기인 만큼 산학연 통신 대표 기관에서 선제적인 연구활동을 진행

○ (국립전파연구원) 국제전기통신연합 전파통신(ITU-R)부문 전파전달 분야 연구반 회의에 대한민국 개발한 전파모델을 국제 표준으로 제출, 이는 6G 주파수 대역으로 연구되고 있는 테라헤르츠 대역 전파모델 활용 기대

○ (삼성전자)미국 샌타바버라 캘리포니아 주립대(UCSB)와 6G 테라헤르츠(THz) 대역에서 통신 시스템 시연, 이를 통해 테라헤르츠 대역의 6G 이동통신 활용 가능성 검증. ICC 2021 테라헤르츠 통신 워크숍에서 삼성전자와 UCSB 연구진은 테라헤르츠 대역인 140GHz를 활용해 송신기와 수신기가 15m 떨어진 거리에서 6.2 Gbps(초당 기가비트)의 데이터 전송 속도 시연

○ (LG전자) KAIST와 LG-KAIST 6G 연구센터를 설립하고, 한국표준과학연구원, 통신장비 제조사인 키사이트 협력관계를 맺고 6G 연구개발을 강화. ’21.8월 독일 프라운호퍼 연구소와 협업을 통해 155~175GHz 대역 전력증폭기 개발, 100m거리에서 통신 성공 발표

○ (KAIST) 240GHz 대역 기반100Gbps 수준의 데이터 전송기술 연구(‘18), ’20년 490GHz 대역 CMOS 수신기 개발

○ (ETRI) 240GHz/300GHz 대역에서 1.5Gbps 비디오전송 시연 (‘10)

○ (ETRI) 도로환경에서 대용량 트래픽을 제공하는 초고주파(200GHz 대역) 기반 무선백홀 핵심원천기술 연구 시작('18~)

○ (ETRI) '19년부터 포토닉스 기반 THz 근거리 전송 기술 개발 사업 진행

(2.1.2) 3차원 공간 이동통신

□ 국내 이동통신 사업자, 자동차업계, 학계 등에서는 다양한 이동체 기지국 기술 및 UAV/UAM관련 기술 개발 진행 중

○ KT는 2015년 재난 상황에서 접근 위험지역이나 고립 지역의 통신 서비스 제공을 위해 Public Safety-LTE를 기반으로 '드론 LTE'를 개발 및 시연

○ KT는 헬륨 가스 무인비행선, 지상 차량, 드론, 로봇으로 구성된 재난안전 통신 분야에 특화된 스카이십 플랫폼을 공개

- 스카이십 플랫폼은 스카이십, 스카이십 C3 스테이션 (Skyship Command, Control&Communication Station)을 중심으로 세부 임부 수행용 스카이십 드론, 로봇으로 구성됨

○ SK텔레콤은 2019년 부산 신라대학교, 육군 53사단, 드론 솔루션 기업 한빛드론과 함께 테러/비행기 충돌 위협이 있는 드론을 감시/추적하는 불법 드론 공동 대응 시스템 및 체계 시범 구축 및 불법드론대응을 위한 5G 가드 드론 시연

○ 엘지유플러스는 2014년 LTE 기반 영상/비행 데이터 송수신 모듈을 탑재한 소형 드론을 시연, 2017년 물품배송 시연, 2018년 시설점검 시연, 2019년 경찰서 드론 순찰대 시연

○ 엘지유플러스는 2019년 경기도 시흥 배곧신도시에서 인공지능(AI) 음성인식과 실시간 고화질(HD) 영상 전송 기술을 탑재한 5세대(5G) 이동통신 기반 'U+스마트드론'을 공개 시연

○ 현대자동차와 우버(Uber)는 2020년 1월 PAV(Personal Air Vehicle, 개인용 비행체)를 기반으로 한 UAM(Urban Air Mobility, 도심 항공 모빌리티) 사업 분야 전략적 파트너십 체결

- 현대자동차는 CES 2020을 통하여 UAM 모델 'S-A1', 지상 이동체 'S-link', UAM 이착륙 포트인 'S-Hub'를 발표하고, 우버의 8개 UAM 플랫폼 파트너 중 한 회사로 선정됨

- 한화시스템도 미국 우버에어를 통해 UAM 기술개발에 관여하고 있으며, 현대자동차와 우버에어는 우버에 UAM 플랫폼을 제공하고 우버는 서비스 플랫폼 구축 예정
- 현대자동차는 2028년 미국에서 도심형 에어택시를 선보일 계획

○ 한국항공우주연구원(KARI)에서는 2019년부터 5년간 OPPAV(유무인 겸용 개인항공기) 개발 사업 추진 중

- 한국항공우주연구원(KARI)에서는 UAM과 관련하여 2019년에서 2020년까지 에어택시 등 미래항공기 운영체계 로드맵 마련 기획연구를 통해 지형정보, 기상정보, 감시정보, 성능정보 등 제공을 위한 통신, UAM 운용 및 운항안전 정보제공을 위한 통신, 탑승객 인포테인먼트 통신 등에 대한 개념 연구 수행

(2.1.3) 지능형 무선 액세스

□ **국내 산학연은 5G 통신에서는 AI 사용을 고려하지 않았거나 매우 제한적으로 사용될 것으로 예상하지만 6G는 개발 초기 단계부터 AI를 고려하여 성능, 가격, 서비스 제공 능력까지 전체적인 네트워크를 향상시킬 것으로 예상하고 있음**

○ 삼성전자는 2019년 6월에 6G 기술을 연구하는 연구 센터를 개소하고, 6G 핵심 기술 연구를 진행하고 있으며, 2020년 7월에 발간한 6G 백서[147]에서 AI 기술이 이동통신에 새로운 도구가 될 것이라고 예상함

○ 삼성전자는 기지국 자원을 효과적으로 제어하는 기지국 지능형 컨트롤러(RAN Intelligent Controller, RIC)를 활용하여 일본 이동통신업체 KDDI와 5G 네트워크 슬라이싱 (Network Slicing) 기술 검증에 성공[148](2020년 9월)

○ LG전자는 2019년 6월에 6G 기술을 연구하는 연구 센터를 개소하고 6G 핵심 기술 연구를 진행하고 있으며, 5G에서 6G로 이어지는 차세대 이동통신 기반 기술 선점을 위하여 KAIST와 업무 협약을 체결하고 KAIST, 서울대학교 등과 협력하여 6G 및 인공지능 기술 관련 연구를 추진함

○ SK텔레콤의 네트워크 운영시스템 TANGO는 네트워크 빅데이터 및 AI 기술을 적용하여 네트워크 품질 최적화, 네트워크 상태 분석 및 고객 체감 품질 관리의 자동화에 활용함[149] (2017.10.)

147) https://cdn.codeground.org/nsr/downloads/researchareas/20201201_6G_Vision_web.pdf
148) 삼성전자, KDDI와 '5G 네트워크 슬라이싱' 기술 검증 성공'
https://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2020/09/23/2020092300969.html

○ KT는 공장에 5G 네트워크 기반으로 설치된 카메라들을 통해 이미지를 수집하고 인공지능을 활용해 데이터를 분석해 불량검사, 제품식별, 치수측정 등 검사작업을 효과적으로 수행할 수 있는‘KT 5G 스마트팩토리 비전’ 서비스를 출시[150] (2020.06.)

○ LGU+는 5G 고객들이 사용하는 5G 서비스 품질 빅데이터를 AI가 분석하고, 이를 바탕으로 기지국 안테나의 방향과 각도를 자동으로 조절하는 ‘5G AI+’시스템을 가동[151] (2020.08.)

○ 한국전자통신연구원은 6G 비전 백서[152]를 통해 6G 사용 시나리오를 제시하였으며, 6G 사용 시나리오를 다시 편재 지능(Ubiquitous Intelligence)과 6초 사용 요소들의 결합으로 표시함. 6G에서는 네트워크를 구성하는 다양한 장치에 높은 수준의 지능화가 도입되는 편재 지능 기술이 실현될 것으로 전망함 (2020.11)

(2.2) RF 부품

(2.2.1) Thz RF 부품

□ **광소자 및 전자소자 기반의 테라헤르츠 신호발생기/검출기 등 단위부품은 개발되었으나, 양산용 실리콘 반도체 공정기반의 고집적 다채널 빔포밍 칩은 개발 초기 단계**

○ (ETRI) 40nm bulk CMOS 공정 기반으로 120GHz 대역 전력증폭기와 체배기, 240GHz 대역 증폭기 등을 집적한 220~260GHz 대역 신호발생기 개발('20). 한편 테라헤르츠 대역에서 이득 52dBi, 직경 18cm 수준의 소형 고이득 안테나를 개발('19)하고 이를 이용하여 100m 이상 거리에서 무선 데이터 전송 가능한 차량 탑재형 250GHz 대역 송수신 모듈 개발('20)

○ (삼성전자) 140GHz 대역에서 16채널 RF 송수신 모듈 개발하고 이를 이용하여 세계 최초로 서브-테라헤르츠 대역에서 디지털 방식의 적응형 빔포밍 기술 개발('20)[153]

149) 'SK텔레콤, 차세대 AI 네트워크 '탱고 (TANGO)' 무선망 적용'
https://www.netmanias.com/ko/post/operator_news/12852
150) 'KT, 5G 스마트 팩토리 출시… AI가 불량검사·치수측정'
https://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2020/06/02/2020060201022.html
151) 'LG U+, AI로 실시간 최적 5G 통화품질 구현'
https://www.donga.com/news/Economy/article/all/20200823/102611662/1
152) 6G Insight : 비전과 기술, 2020.11.30., 한국전자통신연구원(ETRI)
153) S. Abu-Surray et. al., End-to-end 140GHz Wireless Link Demonstration with Fully-Digital Beamforming System, 2020.

- California대 (UCSB)에서 개발된 4채널 CMOS 트랜시버 칩 이용하여 15m 거리에서 6Gbps 무선 전송 시연

○ (LG전자) 독일 HHI와 공동으로 155~175GHz 대역에서 100m 거리의 무선전송 가능한 15dBm급 전력증폭기 칩 개발('21)

○ (고려대) 300GHz 대역에서 16dB 이득과 14.4dB 잡음지수 성능을 갖는 수신용 증폭기 칩 등 개발('15)

○ (서강대) InP 소자로 300GHz 대역에서 13.5dBm급 전력증폭기 개발('15)

○ (충북대) 65nm CMOS 기반 251GHz 및 2차 고조파에 의한 432GHz 대역 발진기 개발('20)

(2.2.2) Thz 주파수 개척 및 안전성 평가

□ THz 주파수 전파특성 연구는 일부 대학 및 출연연 중심으로 기초원천연구가 진행 중이며, 5G 상용화 이후 밀리미터파 대역의 전자파 인체영향과 EMC 측정 및 대책기술 관련 연구는 진행 중이나 THz 대역은 전무함

○ (ETRI) 100GHz 이상 주파수 대역의 6G 무선통신 활용을 위한 실환경 전파특성 측정기술 및 채널모델링 기술의 연구개발을 진행 중이며, 방사성 장해 모델링 연구, 전자파 적합성 시험시설인 전자파 잔향실 연구 및 전자파 인체영향에 관한 공학적 연구를 수행 중

- 28㎓ 이상 밀리미터파 채널사운더 자체 개발과 국내 다양한 실내외 전파환경 측정, 분석을 통해 5G 전파채널 모델 개발 및 ITU-R 등 국제표준화 연구 수행('13~'20)

○ (국립전파연구원) 밀리미터파 전파자원의 기반조성사업을 통해 250~450GHz 대역의 일부 실내환경 경로손실 측정 등 기초연구를 수행 중이며, 전자파인체보호위원회를 통해 정부의 전자파 인체 안정성 대책을 마련하고 IEC 및 ITU에서의 관련분야 국제표준화에 대응 중

○ (포항공대) KIOSK 등 단거리 무선통신 활용을 고려하여 220~340㎓ 대역에서 VNA 장비를 이용하여 가시거리 조건(최대 2m)의 경로손실 측정결과를 발표('20)[154]

○ (삼성전자/LG전자) '18년부터 3.5 GHz 대역 및 28 GHz 대역의 이동통신 단말기를 개발하고 해당 기기의 전자파 적합성을 평가하는 기술에 대한 연구를 수행하고 있음

154) Ho-Jin Song, "LOS Channel Response Measurement at 300 GHz for Short-Range Wireless Communication," IEEE WCNC Workshop, Apr. 2020.

(2.3) 광통신

(2.3.1) Tbps 광통신

□ 산업체에서 모바일 프론트 및 백홀 광전송을 위한 게이트웨이 및 광트랜시버 개발 진행 중이며 출연연·대학에서는 다중 변복조 광전송 기술, 인도어-DAS 기술 및 광기반 THz 전송 기술 개발 추진

○ (한국전자통신연구원) 코히어런트 및 직접수신 다중 변복조 기술을 지속적으로 연구하고 있으며, 인도어망 관련 아날로그-DAS 기술 및 광기반 THz 전송 기술을 개발해 오고 있음

- 6G 핵심 기술 개발 과제의 일환으로 Tbps급 광통신 인프라 기술 개발 과제를 통해 테라급 광액세스 및 테라급 인도어망 핵심 기술 개발 진행 중 ('21.4)
- 모바일 프론트 홀 광링크 적용을 위한 파장 당 50 Gb/s 전송 기술 개발 진행 ('20)
- 포토닉스 기반 100 Gb/s, 16QAM THz 신호 생성 및 수신기 구현하여 5m 전송 성능 검증 ('21)
- 50Gb/s PAM4 디지털 신호처리 기술 실시간 FPGA 시스템 구현 ('18) 및 논문 발표 ('19, Optic Express)
- 100 Gb/s 전송 속도, 최대 100 km 전송 가능한 차세대 메트로-액세스망 용 Coherent OFDM 기반 실시간 동작 DSP 기술 개발 ('17)
- 인도어 DAS 시스템 시제품 및 4x4, 8x8 MIMO 수용 아날로그 IFoF 기반 광링크 개발, 광링크 기반 인도어 DAS 관리제어 장치 개발 ('16)
- ㈜KT, ㈜에프알텍(FRTek)과 함께 평창올림픽 mmWave 대역 (28GHz) 5G 인도어 DAS 시범서비스 시연 ('17)

○ (한국과학기술원) 광전송 디지털 신호처리 기술, 광액세스망 및 데이터 센터용 직접수신 방식 광전송 기술 및 무선 광통신 기술 연구

- 6G 인도어망에서 디지털-DAS 구현을 위한 다중 변복조 직접 수신 디지털 신호처리 기술 개발 진행 ('21)
- 경제적 광액세스 구현을 위한 직접 변조 레이저 이용 100 Gb/s 급 신호 전송 가능한 광송수신 원천 기술 개발 진행 (~'21)

- 데이터 센터 네트워크 구축을 위한 직접수신 방식의 초고속 광전송 원천 기술 연구 진행 (~'21)
- 장거리/대용량 전송이 가능한 무선 광통신 기술 연구 진행 (~'22)

○ (에치에프알) 무선 접속을 위한 WDM 및 패킷 기반 프론트홀/미드홀/백홀용 C 플랫폼 제공 및 기술 개발

- 일본 후지쯔와 공동으로 업계 최초 5G 트랜스포트를 위한 25G 자동 파장 선택형 (Smart Tunable Optics) FlexiHaul 제품 개발 및 Lightwave 혁신상 수상 ('21)
- 오픈랜(ORAN) 방식의 RU 장비 개발 및 미국 디시 네트워크의 장비 공급으로 ORAN 시장 진출 ('21.1)

○ (오이솔루션) 모바일 프론트홀 용 광트랜시버 개발 완료 및 코히어런트 광트랜시버 개발 진행

- 모바일 프론트홀 광인터페이스 지원을 위한 25 Gb/s 튜너블 DWDM 광트랜시버 개발 ('20)
- 데이터센터 및 광액세스용 100G 및 400G 코히어런트 광트랜시버 개발 진행 중 ('21)

○ (쏠리드) ORAN 인터페이스 지원 인빌딩용 DAS 기술 솔루션 (Surf Platform) 개발 및 25 Gb/s 급 광모듈 개발 ('19)

○ (에프알텍) 5G 인도어용 아날로그 DAS 장비 개발 및 미국 버라이즌사에 장비 공급 ('21.4)

○ ETRI는 카이스트, KT, 에치에프알, 에프알텍 및 오이솔루션과 공동으로 6G 핵심기술 개발사업의 일환으로 Tbps급 광통신 인프라 구축을 위한 핵심 기술 개발 중 ('21~)

(2.4) 위성통신

(2.4.1) 3차원 공간 위성통신

□ **통신 탑재체가 위성 궤도 내에서 운용하고 있는 중에도 빔의 형상 및 방향을 바꿀 수 있는 안테나 개발 관련 핵심기술 국내 보유**

○ Ka 대역 수신용 위상배열 급전 안테나, 빔 형성 회로 개발 완료

○ 다양한 시나리오에 맞추어 빔의 형상을 바꿀 수 있는 배열급전 안테나 구현(원형편파가 가능한 16개 배열 소자로 이루어진 위상배열 안테나)

○ 빔형성 회로는 ETRI에서 자체 개발한 Ka 대역 다기능 회로 MMIC를 사용

□ Q/V 대역 통신 탑재체 핵심부품은 '22년부터 연구 예정이고, Ka 대역 위성에 적합한 광대역 적응형 위성방송통신 전송기술 보유

○ 공공복합통신위성사업(천리안3호)을 통한 다중빔 통신 탑재체 기술력 확보 예정임

○ 국내 보유 우주검증이력(Heritage) 기반으로 통신 탑재체 및 지상검증시스템을 독자 기술로 개발할 예정

○ 정보통신·방송(ICT) 연구개발 사업을 통해 2세대 VSAT 전송기술 표준화 연구의 일환으로 DVB-RCS2 표준화 기술을 제안하여 2세대 VSAT 핵심기술 확보(`12년)

○ 공공복합통신위성(천리안1호) 개발 사업을 통해 양방향 적응형 2세대 VSAT 시스템을 개발하였고, 천리안위성을 이용하여 검증·실험에 성공(`15년)

○ 2세대 VSAT 기술을 ㈜넷커스터마이즈 및 ㈜ASAT에 이전하여 상용화 완료

○ `19년 ASAT은 2세대 VSAT 시스템을 해군 위성통신 시스템 적용에 성공

□ 위성 간 링크(ISL)에 사용되는 광통신기술 개발 중이며 정부 및 기업차원의 초소형위성 군집 시스템 사업을 추진 중

○ (광통신장치) 드론과 지상의 관제 시스템 간 1Gbps 통신이 가능한 드론 탑재용 광통신 장치 개발 중

○ (광통신용 렌즈 기술) SiC, Zerodur 소재 기반 비축 3반사 망원경 설계 기술력 확보 및 위성탑재 시스템 개발 경험 보유

○ (광통신용 신호 변복조 기술) 통신 신호를 광통신으로 송수신할 수 있는 기술 보유

○ (광통신용 PAT) 광통신 신호를 정확히 보낼 수 있게 해주는 송수신 위치탐지추적 장치(Pointing Acquistion Tracking) 개발 완료

○ `20년부터 초소형 관측위성 군집시스템 개발사업을 추진 중

○ LIG 넥스원(주)에서 차세대 초소형 군집위성에 적용될 핵심기술과 SAR 위성분야 기반 기술에 대한 연구를 공동으로 진행 중

(2.5) 네트워크

(2.5.1) 종단간 초정밀 네트워크

□ 산업체에서 상용 칩 기반 TSN 스위치 개발 완료, 출연연에서 DetNet 기술 국제표준화 추진 및 산업체 공동으로 DetNet 지원 패킷 전달 모듈 및 시스템 개발 중이며, DetNet 광역화 기술 연구개발 추진 중

○ 다산네트웍스, 코위버, 우리넷 등은 5G 인빌딩/프론트홀, 스마트공장 등 적용을 목표로 상용 칩 기반 저지연 TSN 스위치 시스템 시제품 개발('19)

- 미국 Broadcom의 TSN 지원 320Gb/s급 L2/L3 스위치(BCM53570) 기반

○ HFR은 5G 프론트홀 및 백홀용 TSN 스위치(flexiHaul Packet M-Series) 출시('19)

○ ETRI는 SKT, 코위버, 우리넷과 공동으로 40Gb/s급 DetNet/TSN 기반 초저지연·무손실 보장 패킷 전달 모듈 및 시스템 연구 시작품 개발('20)

- 서울-대전간 왕복 430km 구간에서 2.5ms 이하 저지연 및 무손실 전송 성능 확인('20)
- 대전-경산간 왕복 560km 구간에서 DetNet/TSN 테스트베드를 통한 경산 5G 산업용 IoT 스마트 공장 실시간 원격 제어 및 모니터링 서비스 실증 추진 중('21)
- DetNet 플로우, 서비스 및 포워딩 부계층 제어/관리를 위한 YANG 모델 IETF 국제표준화 추진 중('21)

○ 우리넷은 코위버, ETRI와 공동으로 100Gb/s급 DetNet/TSN 기반 초저지연·무손실 보장 패킷 전달 모듈 개발 및 이를 적용한 16Tb/s급 POTN 시스템 상용화 개발 중('20~)

○ ETRI는 KT, SKT, 코위버, 우리넷과 공동으로 6G핵심기술개발사업의 일환으로 인터넷 규모 광역망 종단간 인타임/온타임 보장 가능한 초정밀 네트워크 핵심기술 개발 중('21~)

(2.5.2) 지능형 6G 모바일 코어 네트워크

□ 기술 연구 초기단계로 정부 주도의 과제가 '21년부터 시작되었으며, 삼성전자, LG전자 등 대기업은 모바일 코어 자체에 대한 별도의 뚜렷한 연구 진행이 공개되어 있지는 않음

○ (ETRI) 핀란드 오울루 대학과 "6G 네트워크 아키텍처 및 핵심 요소기술 국제 협력 연구" 진행 중

- 6G 시대의 미래 서비스 유즈케이스 및 요구사항 분석을 기반으로 6G 시스템의 진화 구조 및 혁신기술 공동 협력 연구개발 추진

  * 기술/사회/문화 측면의 미래상을 반영한 6G 비전을 수립하고, 기술요구사항, 핵심 요소기술 도출을 통한 모바일 코어의 전체 시스템 아키텍처 설계를 목표로 함

○ (ETRI) 과기정통부 주관 6G핵심기술개발 사업의 일환으로 “지능형 모바일 네트워크 코어 기술 연구개발” 과제 추진 예정

- 4년간 148.8억 규모의 R&D 추진 예정 (‘22.4 ~ ’25.12)
- 미래 서비스 요구사항의 다양성, 복잡성에 대응한 지능형 6G 모바일 네트워크 핵심원천 기술 개발을 목표로 함

  * 네트워크 자동화 및 지능화를 지원하는 지능형 6G 모바일 코어 핵심기술
  * 지능형 6G 모바일 네트워크 핵심기술 검증 플랫폼 기술
  * 지능형 6G 모바일 네트워크 핵심기술 IPR 확보 및 국제표준화

○ (삼성전자) ‘20.7월 “The Next Hyper-Connected Experience for All”이란 제목으로 비전 문서를 통해 대표적인 핵심 기술을 제시하고 연구개발을 진행하고 있으나, 모바일 코어 네트워크에 대한 별도의 구조 등 제시는 없음

- 모바일 코어 네트워크 구조 정립에 영향을 줄 수 있는 핵심 기술로 Comprehensive AI, Split Computing 등이 제시되었으며,
- 미래 네트워크 기술로 연구된 Non-IP 기술로서 ICN(정보중심네트워킹) 기술에 대한 가능성에 대하여 제시함

○ (LG전자) 무선기술 위주의 연구에 집중하고 있으나, 향후 정부과제를 통해 산학연 협력을 통한 모바일 코어 네트워크 구조 연구를 시작할 것으로 전망

다. 시장전망

※ 6G 시장이 2028년 이후 발현되는 점을 고려하여, 현재 통신(5G를 포함한 통신 전체) 시장에 대해 분석함. 또한 6G 기술개발 초기단계인점을 감안하여 해당 세부분야 중 집계 및 예상이 가능한 부분만을 작성함.

(1) 이동통신

□ **(이동통신 장비) 세계 이동통신 장비 시장은 연간 460~500억 달러 수준을 기록 중인 가운데, 통신사업자 망 투자 계획에 따라 매년 변동**

○ (5G 장비) 5G 서비스 개시에 따른 망 구축이 증가하면서 5G 액세스 장비는 '20년 138억 달러에서 '25년 282억 달러로 연평균 15.4%의 성장 전망

○ (경쟁현황) 메이저 업체로의 시장집중도(CR: Concentration Ratio)가 강화되는 가운데, 기술력과 가격경쟁력, 내수시장을 보유한 중국업체의 점유율 상승이 지속 중

〈표 Ⅴ-32〉 세계 이동통신 장비 매출액 전망

(단위 : 백만 달러)

구분			2020	2021	2022	2023	2024	2025	CAGR
액세스망	5G		13,768	19,263	23,307	26,512	28,249	28,207	15.4%
	매크로셀	4G	17,128	14,615	12,116	9,888	8,042	6,323	-18.1%
		3G/2G	3,160	1,958	1,098	598	305	155	-45.3%
		소계	20,287	16,573	13,214	10,486	8,347	6,478	-20.4%
	스몰셀		6,588	7,158	7,124	6,695	6,077	5,451	-3.7%
	소계		40,644	42,994	43,645	43,692	42,673	40,136	-0.3%
모바일 코어망			5,715	6,081	6,267	6,367	6,389	6,375	2.2%
합계			46,359	49,075	49,912	50,059	49,062	46,511	0.1%

(출처) Gartner, Forecast: Communications Service Provider Operational Technology, 2021. 9.

〈표 Ⅴ-33〉 세계 이동통신 장비업체 시장점유율

순위	업체명	2017	2018	2019	2020	2021.2Q
1	하웨이	29.3%	29.5%	34.4%	38.1%	35.3%
2	에릭슨	23.5%	25.8%	24.1%	24.7%	23.7%
3	노키아	20.6%	20.8%	19.2%	16.7%	15.9%
4	ZTE	15.6%	10.4%	10.2%	11.4%	11.8%
5	삼성전자	4.1%	9.2%	8.9%	5.7%	7.9%
-	기타	6.9%	4.3%	3.2%	3.4%	5.4%

(출처) OMDIA, Mobile Infrastructure Market Tracker, 2021. 8

□ (이동통신 단말) 연간 17억 대가 판매되는 이동통신 단말은 스마트폰 교체 주기에 맞춰, 새로운 이동통신 세대의 단말로 교체 판매 중

○ (5G 스마트폰) '20년 2.55억 대가 판매된 5G 스마트폰은 5G로의 전환가입이 증가하며 '25년 11.3억 대로 증가하며 연평균 34.7%의 높은 성장 전망

○ (경쟁현황) 아직까지 삼성전자·애플 양강 체제가 유지 중이나, '10년대 중반 이후 중국 업체의 성장으로 삼성전자의 점유율이 하락 중

* 세계 스마트폰 1~12위 중 삼성전자·애플·LG전자를 제외하면 모두 중국업체들이 차지

○ (RF부품) RF 트랜시버, RF 파워앰프, RF 프론트엔드 모듈 등 부품별로 3~5개의 메이저 업체들이 시장을 과점 중

〈표 Ⅴ-34〉 세계 이동통신 단말 판매대수 전망

(단위 : 백만 대)

구분		2020	2021	2022	2023	2024	2025	CAGR
2G	CDMA	0.6	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1	-30.1%
	GSM	302.5	266.8	207.5	186.4	167.7	152.5	-12.8%
3G	WCDMA	31.4	21.1	14.5	11.8	9.7	8.2	-23.6%
4G	LTE	1,017.9	816.2	686.1	591.0	505.2	444.7	-15.3%
5G		255.3	570.2	770.5	910.7	1,037.1	1,133.5	34.7%
합계		1,607.7	1,674.7	1,678.8	1,700.0	1,719.8	1,739.0	1.6%

(출처) IDC, Worldwide Mobile Phone Forecast Update, 2021. 9

〈표 Ⅴ-35〉 세계 이동통신 단말업체 시장점유율

순위	업체명	2017	2018	2019	2020	2021.2Q
1	삼성전자	19.7%	18.0%	18.7%	18.6%	17.1%
2	샤오미	4.8%	6.8%	7.2%	9.8%	14.2%
3	애플	11.7%	11.5%	11.0%	13.4%	13.7%
4	OPPO	6.1%	6.6%	6.8%	7.5%	9.3%
5	Vivo	5.4%	5.6%	6.2%	6.7%	9.0%
-	기타	44.1%	40.3%	36.4%	31.7%	33.4%

(출처) IDC, Market Share: PCs, Ultramobiles and Mobile Phones, 2021. 8

〈표 V-36〉 세계 이동통신 업체별 RF부품 매출액 및 시장점유율

(단위 : 백만 달러)

순위	업체명	2018		2019		2020	
1	퀄컴	1,824	11.3%	1,740	12.8%	3,463	16.0%
2	브로드컴	3,798	23.6%	3,286	24.1%	3,125	14.5%
3	Skyworks	2,155	13.4%	2,715	19.9%	2,770	12.8%
4	Qorvo	2,226	13.8%	2,074	15.2%	2,420	11.2%
5	미디어텍	817	5.1%	845	6.2%	1,603	7.4%
기타		5,300	32.9%	2,988	21.9%	8,243	38.1%
합계		16,121	100%	13,649	100%	21,624	100%

(주) RF부품 = RF Transceiver + RF Font End + RF Power Amplifiers

(출처) IDC, Mobile Phone Semiconductor Market Share, 2021. 3

□ 지능형 이동통신 세계시장은 2035년에 887억 달러에 이를 전망

○ 6G 통신서비스는 2028년에서 2030년에 최초의 상용화를 할 것으로 예측되고, Research and Markets의 'Global 6G Market Report 2021'에 의하면 세계 6G 시장은 2030년에 87.6억 달러에서 시작하여 5년 뒤인 2035년에는 1조 7730억 달러에 달할 것으로 전망됨

○ 세계 6G 시장에서 지능형 이동통신이 차지하는 비율이 약 5% 정도에 이를 것으로 가정하면 2035년 지능형 이동통신 세계시장은 887억 달러 정도로 전망됨

〈표 V-37〉 이동통신 분야 시장 전망

(단위 : 세계시장은 백만 달러, 국내시장은 십억 원)

		2021	2022	2023	2024	2025	CAGR
이동통신시스템	세계	36,119	37,970	39,749	40,789	41,358	1.40%
	국내	1,361	1,404	1,424	1,508	1,597	5.90%
이동통신단말	세계	523,165	529,809	532,881	533,489	549,037	1.60%
	국내	17,885	17,055	16,501	16,612	16,724	0.70%

*출처: IITP(정보통신기획평가원) ICT R&D 기술로드맵 2025(2021), NICE평가정보(주) 재구성

□ (3차원 공간 이동통신) UAM 시장은 2030년부터 본격 상용화되어, 2035년 세계시장 규모는 3,250억 달러, 국내시장 규모는 11조 3천억원으로 전망

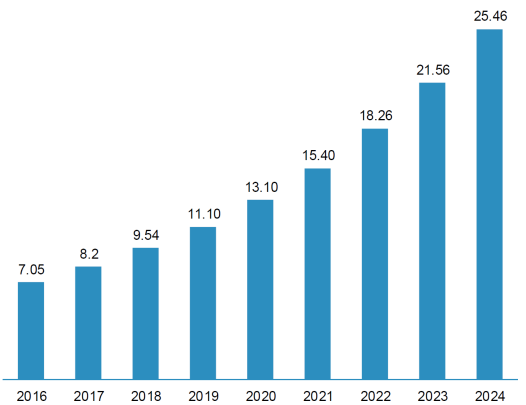
○ (UAV 세계시장) Mordor Intelligence Analysis에 의하면, 드론을 중심으로 한 UAV (Unmanned Aerial Vehicle, 공중무인이동체) 세계시장은 2019년 111억 달러에서 2024년 254.6억 달러 규모로 연평균 18.1% 성장

〈표 Ⅴ-38〉 UAV 세계시장 전망 (단위: 십억 달러)

구분	2019	2020	2021	2022	2023	2024	CAGR
Small UAVs	2.9	3.5	4.22	5.09	6.13	7.39	20.6%
Medium UAVs	3.88	4.52	5.28	6.17	7.2	8.41	16.7%
Large UAVs	4.31	5.07	5.95	6.99	8.22	9.66	17.5%
합계	11.09	13.09	15.45	18.25	21.55	25.46	18.1%

(출처: Mordor Intelligence Analysis, 2019)

- 위의 표를 그래프로 나타내면 다음 그림과 같음

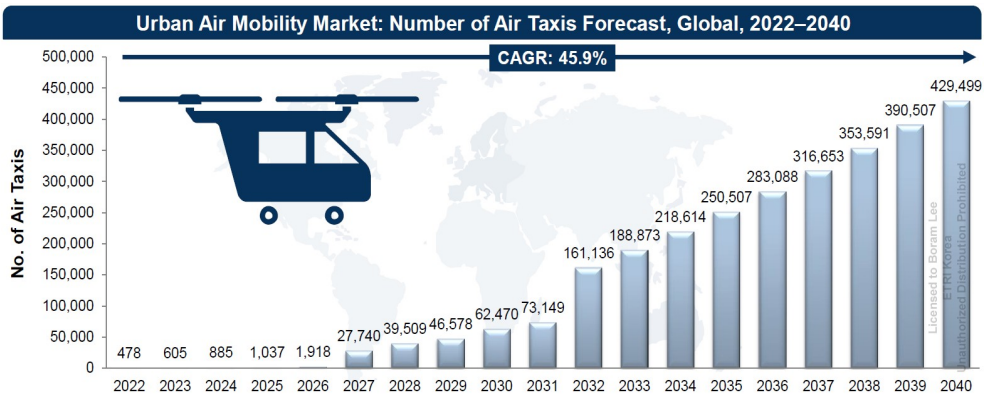


(출처: Mordor Intelligence Analysis, 2019)

[그림 Ⅴ-37] UAV 세계시장 전망 (단위: 십억 달러)

○ (UAM 세계시장) 제품개발 현황, 상용화 시기, 신뢰성이 높은 UAM 보급 대수를 기반으로 UAM 세계시장 규모를 추정해보면, 세계시장 규모는 3,250억 달러로 성장 전망

- (UAM 제품개발 현황) 세계 주요업체들의 UAM 제품 개발현황을 고려했을 때, 향후 5년 이후부터 UAM 시장규모는 본격적으로 성장할 것으로 판단됨
- (상용화 시기) K-UAM 로드맵에 근거하면, UAM 시장은 2024년 비행실증, 2026년 상용화 개시, 2030년 본격 상용화를 목표로 함
- (보급 대수) Frost&Sullivan은 UAM 보급 대수를 2천 대('26년) → 6.2만 대('30년) → 43만 대('40년)로 전망



(출처: Frost&Sullivan, 2019)

[그림 Ⅴ-38] UAM 보급 대수 전망 (단위: 대)

〈표 Ⅴ-39〉UAM 세계시장 전망

연도 (시장 단계)	2021년 (제품 개발中)	2026년 (상용화 시작)	2030년 (본격 상용화)	2035년 (시장 성장기)
보급 대수	-	2천 대	6만 2천 대	25만 대
시장규모	-	40억 달러 (4조 원)	930억 달러 (93조 원)	3,250억 달러 (325조 원)

(출처: ETRI 기술정책연구본부, 2021. 1., 1달러 = 1,000원 가정)

○ (UAM 국내시장) 삼정KPMG의 세계 연도별·도시별 UAM 이용자 수 전망 자료를 통해, 세계 시장에서 국내 비중을 산출하여 UAM 국내시장 규모를 추정해보면, 국내시장 규모는 11조 3천억원으로 성장 전망

[그림 Ⅴ-39] 2050년까지 UAM을 도입할 것으로 전망되는 지역별 도시 수

〈표 Ⅴ-40〉 UAM 국내시장 전망

연도 (시장 단계)	2021년 (제품 개발中)	2026년 (상용화 시작)	2030년 (본격 상용화)	2035년 (시장 성장기)
보급 대수	-	120대	2,430대	8,710대
시장규모	-	2.35억 달러 (2,350억 원)	36.46억 달러 (3조 6,460억 원)	113.28억 달러 (11조 3,280억 원)

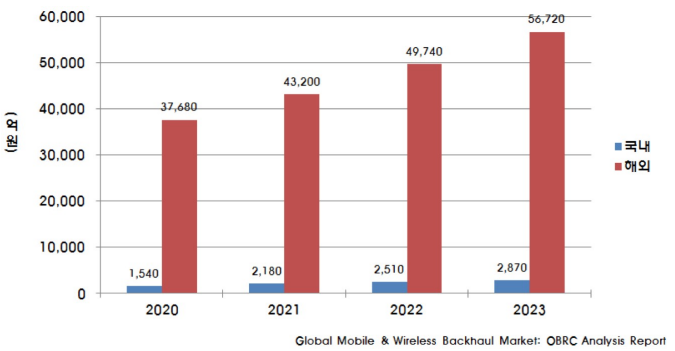
(출처: ETRI 기술정책연구본부, 2021. 1., 1달러 = 1,000원 가정)

(2) RF부품

□ (THz 대역 부품) 테라헤르츠 대역 RF 부품이 우선 적용될 것으로 예상되는 분야는 초대용량 이동형 백홀 및 마이크로웨이브 중계기 대체 수요 시장이며, AR/VR 기술 발전에 따른 새로운 단말 디바이스 출현시 이에 소요되는 부품 시장이 추가될 수 있음

○ OBRC의 2019년 자료에 의하면 세계 무선 백홀 시장은 2020년 3조 8천억 원에서 2023년 5조 6천억원 이상 규모로 증가 전망하며 이중 RF 부품 원가 비중을 고려하면 약 5천억원 규모로 예상

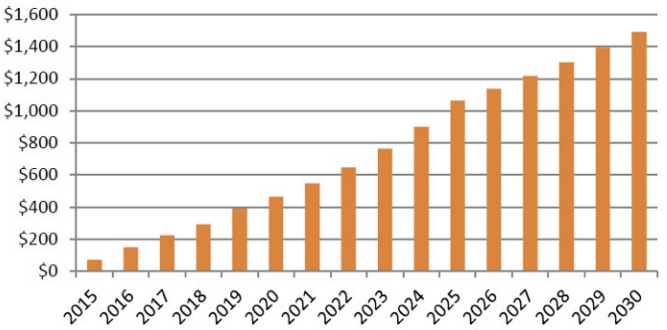
- 차량 소요 데이터 트래픽 전망에 따르면 향후 자율주행차 및 고속철도/버스에서 이루어지는 무선 데이터 수요 증가에 따라 이동형 무선백홀 시장도 증가할 것으로 전망



※ 출처: OBRC Analysis Report, 2019.

[그림 Ⅴ-40] 이동 및 무선 백홀 시장 규모

○ 밀리미터웨이브 프론트홀도 대용량화 수요에 따라 테라헤르츠로 대체 가능한데, 관련 시장은 '19년 4억 달러에서 '30년까지 70%의 연평균성장률(CAGR)을 보일 것으로 예측. 이에 따른 RF 부품 시장은 부품 대체 수요 및 장비 시장의 10% 가정시 '30년까지 약 5천억원 규모로 전망



※ 출처: SNS Research

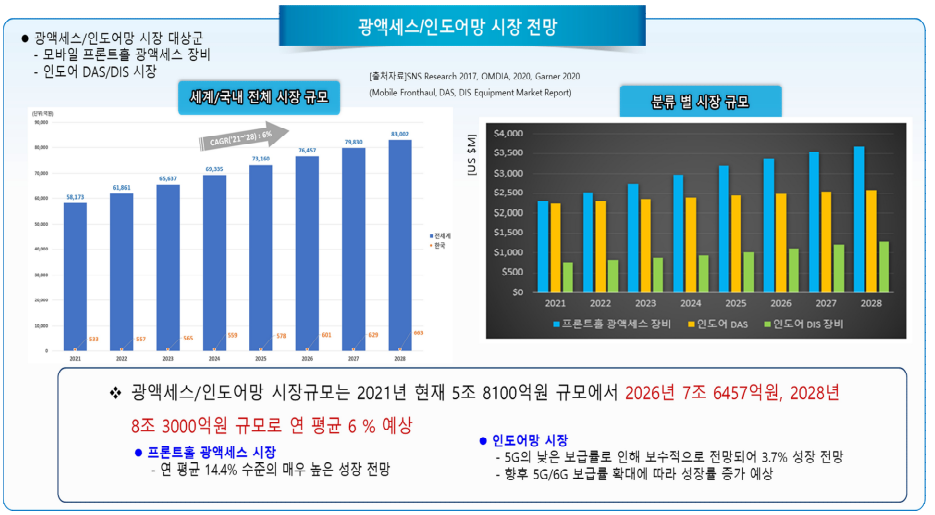
[그림 V-41] 밀리미터파 프론트홀 장비 시장 (백만불)

(3) 광통신

□ 모바일 데이터 증가, 5G/6G 개방형 네트워크 구조 수용에 따른 광액세스 및 인도어망 인프라 구축을 위한 FTTx 시장 증가

○ 2021년 기준 전 세계 관련 시장의 규모는 5조 8100억 원으로 추정되며, 2026년 7조 6,457억 원, 2028년에는 8조 3,000억 원으로 늘어날 것으로 예상

- 2021년부터 2028년까지 관련 시장의 연평균 성장률은 6%로 예상되며, 특히, Mobile Fronthaul 장비 시장은 14.4%의 매우 높은 성장률을 보일 전망
- DAS 및 DIS 장비 시장은 현재 5G의 낮은 보급률 및 팬데믹에 따른 유동적 상황으로 인해 보수적으로 전망되어 CAGR 3.7% 성장 전망되며, 향후 5G 보급률 확대 및 6G 도래에 따라 연평균 시장 성장률은 더욱 높아질 것으로 예상



(주1) 시장 조사 관련된 장비 또는 제품은 Mobile Fronthaul 장비와 인도어 환경에서 유무선 네트워크를 제공하는 DAS 및 DIS 장비로 한정

(주2) 2026년 및 2028년 시장 규모는 Mobile Fronthaul, DAS, DIS 장비 각 시장 성장세를 고려하여 추정

(주3) 한국 시장의 경우, 2020년 기준 전 세계 네트워크 장비 시장 규모 대비 한국 시장의 비중(1.8%, Gartner 2020) 고려하여 산출, 환율 $1→\1,100

(출처) SNS Research, The Wireless Network Infrastructure/CRAN-Fronthaul, 2017
SNS Research, The Wireless Network Infrastructure/DAS, 2017
OMDIA, DAS and DIS Equipment Market Report, 2020.04
Gartner, Communications Service Provider Operational Technology Worldwide 2018-2024, 4Q20 update, 2020.12
Gartner, Enterprise Network Equipment by Market Segment Worldwide 2018-2024, 4Q20 update, 2020.12

[그림 Ⅴ-42] 광액세스/인도어망 시장 전망

○ 프론트홀 광액세스 시장은 개방형 표준 인터페이스 채택이 증가할 것으로 예상되어 이더넷 기반의 광액세스 인터페이스 장비 수요가 증가 할 것으로 전망

〈표 Ⅴ-41〉 프론트홀 광액세스 분류별 전망

(단위 : 백만 달러)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	CAGR
Dedicated Fiber	832	788	746	706	669	633	600	568	-5%
WDM	700	812	918	1,010	1,091	1,156	1,202	1,226	8%
OTN&PON	199	215	230	244	257	267	277	286	5%
Etherent	287	373	458	541	611	666	713	741	15%
합계	2,018	2,188	2,352	2,501	2,627	2,722	2,792	2,821	

(출처) SNS Research, The Wireless Network Infrastructure/CRAN-Fronthaul, 2017

(4) 위성통신

□ (국외) 위성통신 사업은 우주 경제(Space Economy)에서 주목받는 분야 중 하나

○ 투자은행 모건스탠리는 세계 우주 관련 주요 스타트업들을 조사한 뒤 이를 위성 제조, 위성 발사, 지구 관측, 위성 인터넷, 달 탐사, 심우주 탐사, 우주 관광, 소행성 광물 채취, 우주 과학 연구, 우주 쓰레기 처리 등 10대 우주 사업 분야로 분류

* 자료 : Morgan Stanley, 'Space: Morgan Stanley Space Disruptor Series: OneWeb,' January 26, 2018)

○ 세계 위성산업 규모는 '18년 3,600억 달러 수준에서 3배 확대되어 '40년 1.1조 달러 규모에 이를 것으로 전망

○ '18년 위성방송, 항법 및 정부투자 중심에서 '40년 위성통신을 위한 지상 네트워크 장비 및 서비스 시장 중심으로 변화하며 성장할 것으로 전망

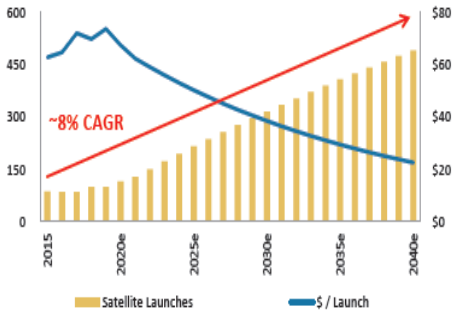
〈표 Ⅴ-42〉 글로벌 위성 산업 규모 및 전망

구분	2018	비중	2020	2030	2040	비중	CAGR ('17-'20)
위성방송/라디오	104,115	29%	107,514	110,554	112,924	10%	0.4%
위성서비스	24,546	7%	28,219	46,509	84,398	8%	5.7%
위성항법	98,345	27%	111,195	157,030	177,374	16%	2.9%
위성통신	32,276	9%	39,337	178,168	533,057	48%	13.1%
위성제작	16,750	5%	17,711	32,136	20,148	2%	1.5%
위성발사	6,977	2%	7,796	12,143	11,096	1%	2.6%
정부예산	81,840	22%	85,548	113,195	164,994	15%	3.2%
합계	**364,849**	**100%**	**397,320**	**649,735**	**1,103,991**	**100%**	**5.1%**

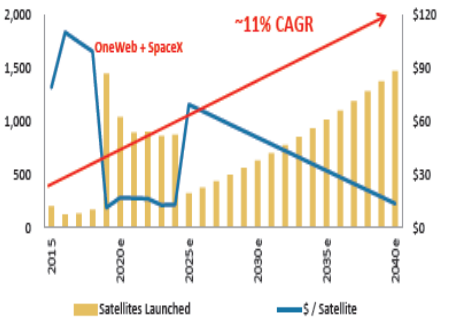
* 출처 : Investment Implications of the Final Frontier('17.10, Morgan Stanley) 재구성
* 위성통신 시장 : Consumer Broadband, Network Equipment, Second Order Impacts 합계

○ 위성 발사와 제작 단가가 지속적으로 감소할 것으로 전망됨에 따라, 미래 시장 진입장벽 해소에 대한 기대감에 힘입어 지속성장 전망

〈 위성발사 비용감소 추세 〉



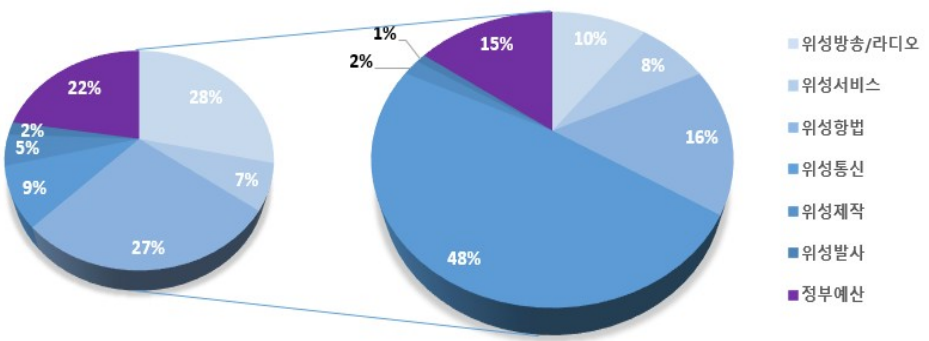
〈 위성제작 비용감소 추세 〉



* 출처 : Investment Implications of the Final Frontier(Morgan Stanley, '17.10)

[그림 Ⅴ-43] 위성 발사 및 제작 비용 추세

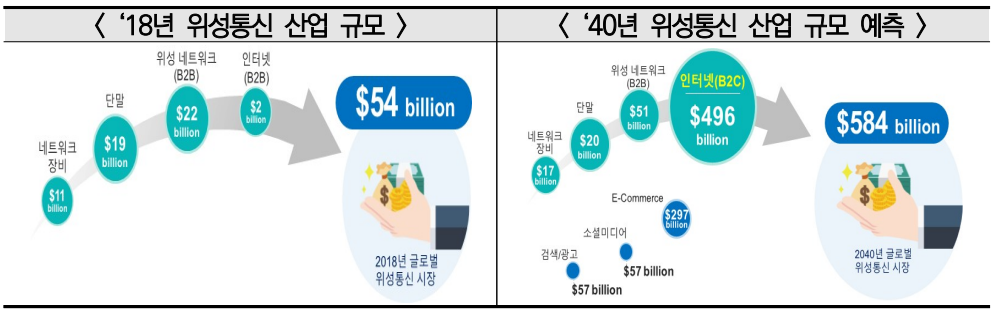
○ 전체 산업 규모의 증가 추세 대비 정부투자 비중은 '18년 22%에서 '40년 15%로 축소됨에 따라 민간주도로 산업 생태계 전환 지속



* 출처 : Investment Implications of the Final Frontier(Morgan Stanley, '17.10)

[그림 Ⅴ-44] '18년 → '40년 시장규모 비중 변화 전망

○ 특히, 대용량 위성(HTS), 저궤도 위성통신 등 위성통신 기술의 급속한 발전으로 향후 2~3년 내에 본격적 시장 개화 전망



* 출처: Investment Implications of the Final Frontier(Morgan Stanley, '17.10) 재구성

[그림 V-45] 글로벌 위성통신 산업 현황 전망

○ 인터넷망이 보급되지 않는 지역이나 UAM에 의한 신규시장 창출 기대

○ 해양, 산간, 오지, UAM 등 인터넷망이 보급되지 않은 지역을 포함하여 '40년 전 인구의 50%까지 보급할 경우 '18년 322억 달러에서 5,840억 달러로 연평균 15% 성장 전망 (모건스탠리, '17)

○ `18년 Prosche Consulting 자료에 의하면 `35년에는 약 4만 3천여대의 UAM이 운행될 것으로 예측

○ UAM 시장은 '40년까지 국내 시장 규모는 13조원, 세계 시장 규모는 730조원으로 성장 전망

□ (국내) 2019년 우리나라 우주산업 활동금액은 총 3조 8,931억이며 이 중 우주활용 시장이 71.3%이고 우주기기제작이 28.7%임. 항목별로는 위성활용 서비스 및 장비시장이 68.5%, 위성체 제작이 14.7%, 발사체 제작이 9.4%, 위성체 관련 지상장비가 4.1%를 차지함

○ 기업체에 의한 우주산업 매출액은 총 3조 2,610억원으로, 우주활용 시장이 80.3%이고 우주기기제작이 19.7%임

○ 정부에 의한 연구기관 R&D 투자는 6,337억원으로, 우주활용 시장이 22.3%이고 우주기기제작이 77.7%임. 항목별로는 위성체제작이 40.2%, 발사체제작이 30.3%, 과학연구 9.1%, 위성체 관련 지상장비가 7.2%, 위성활용 서비스 및 장비는 6.5%임

○ 위성활용 서비스 및 장비시장은 기업매출이 80.3%를 차지하는 것과 비교할 때 정부의 투자비율 6.5%는 아주 낮은 수치임

(5) 네트워크

□ (초정밀 네트워크) 제4차 산업혁명과 디지털 전환으로 산업 고도화와 지능화가 진전되면서 지연 없는 실시간 원격 제어와 운용, 실시간 정보 전달을 핵심으로 하는 서비스 등장, 이를 위한 초저지연/초정밀 네트워크 기술 요구 발생

○ DetNet 등 미래 초정밀 네트워크 기술 시장을 최근에 형성되기 시작한 TSN 시장을 통해 추정하면, 2020년 1.1억 달러에서 2025년 8.3억 달러로 연평균 49.8% 성장 예상

〈표 Ⅴ-43〉 TSN 세계시장 전망

(단위 : 백만 달러)

	2020	2021	2022	2023	2024	2025(주)	CAGR
Switch	26.2	38.2	55.0	86.4	151.7	209.0	51.5%
Hub, Router and Gateway	20.2	29.0	41.1	63.7	110.4	151.3	49.6%
Connector	8.5	12.2	17.1	26.4	45.4	62.1	48.8%
Communication Interface	8.1	11.5	16.3	25.3	43.6	59.7	49.1%
Power Supply Device	6.9	9.9	14.0	21.8	37.9	52.0	49.8%
Controller & Processor	15.9	22.9	32.7	51.1	89.1	122.4	50.4%
Memeory	10.7	15.4	21.9	34.1	59.4	81.5	50.1%
Isolator & Converter	10.9	15.3	21.3	32.5	55.1	75.0	47.1%
Others	2.8	3.9	5.3	8.0	13.3	18.0	45.1%
합계	110.2	158.3	224.7	349.3	605.9	831.0	49.8%

(출처) Time Sensitive Networking Market Global Forecast To 2024(MarketsandMarekts, 2017)
(주) 2024년까지는 상기 보고서의 수치이며, 2025년은 추세를 반영한 ETRI 자체 전망

○ 초정밀 네트워크 기술이 적용될 사업자 및 기업용 스위치/라우터, 모바일 백홀용 IP 에지 라우터, POTN 장비와 초정밀 서비스 제공을 위한 응용 종단 플랫폼 및 SD-WAN S/W 시장은 2021년 646.9억 달러에서 2028년 803.4억 달러로 연평균 3.1% 성장 예상

〈표 Ⅴ-44〉 초정밀 네트워크 기술 적용 장비군 세계시장 전망

(단위 : $M)

	2021	2026	2028	CAGR
기업용 스위치/라우터	37,139	42,747	45,400	2.9%
사업자용 스위치/라우터	14,035	17,298	18,554	4.1%
POTN	3,129	3,720	3,965	3.4%
백홀용 IP 에지 라우터	3,616	3,996	4,164	2.0%
어플리케이션 플랫폼 S/W	5,595	5,925	6,011	1.0%
SD-WAN S/W(주)	1,176	2,027	2,250	9.7%
합계	64,690	75,713	80,344	3.1%

(주) 통상적으로 네트워크 장비에서 S/W가 차지하는 비중(30%)을 SD-WAN 시장에 적용하여 도출
(출처) 다음 시장자료 추세를 반영하여 전망 (2025년까지는 보고서 시장자료, 2026년부터 ETRI 자체 전망)
Enterprise Network Equipment, 3Q20 (Gartner, 2020.10)
Forecast: Communications Service Provider Operational Technology, 3Q20 Update (Gartner, 2020.9)
DCI, Packet-Optical, and OTN Equipment Market Tracker (OMDIA, 2020.5)
Macrocell Mobile Backhaul Equipment Market Tracker (OMDIA, 2020.12)
Forecast Analysis : Application Infrastructure and Middleware Software (Gartner, 2019.8)

○ 향후 초정밀 네트워크 기술이 적극 활용될 수 있는 분야로서, 다수의 객체를 동시에 정밀하게 제어하고 실시간 서비스 구현을 특징으로 하는 5G mMTC 및 URLLC 서비스 비중은 2020년 34%에서 2026년 45%로 11%P 증가 전망

〈표 Ⅴ-45〉 5G 응용 서비스 세계시장 전망

(단위 : 백만 달러)

		2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
eMBB	Web Browsing	1,410	1,670	1,880	2,200	2,550	2,900	3,270
	Video Viewing	3,870	4,840	6,020	7,920	10,070	12,370	15,130
	Smart Workplace	2,160	2,730	3,470	4,590	5,910	7,310	9,000
	Connected Vehicle	2,730	3,400	4,240	5,610	7,070	8,660	10,630
	Others	1,100	1,300	1,490	1,860	2,140	2,460	2,860
	소계	11,270	13,940	17,100	22,180	27,740	33,700	40,890
mMTC	Sensing & tracking	4,220	6,050	9,760	14,370	17,063	20,497	14,370
	Datamining	3,200	4,720	7,870	11,920	14,177	17,122	11,920
	Remote control	2,240	3,360	5,720	8,760	10,443	12,645	8,760
	소계(①)	9,660	14,130	23,350	35,050	41,682	50,264	35,050
URLLC	AR	700	1,010	1,540	2,150	2,555	3,045	2,150
	VR	560	940	1,720	2,760	3,303	4,040	2,760
	Telepresence	1,270	2,010	3,370	5,210	6,216	7,538	5,210
	Teleoperation	920	1,360	2,140	3,070	3,656	4,380	3,070
	Automotive vehicle	80	1,290	2,160	3,370	4,187	5,137	3,370
	UAV/Drone	390	530	710	920	1,153	1,346	920
	Public Safety	1,750	2,750	4,590	7,050	8,413	10,193	7,050
	Smart Building	1,520	2,380	3,980	6,130	7,316	8,865	6,130
	소계(②)	7,190	12,270	20,210	30,660	36,799	44,543	30,660
FWA	Residential Service	260	4,610	4,960	5,280	5,820	6,340	6,450
	Enterprise Automation	550	9,640	10,430	11,080	12,440	13,740	14,160
	Industrial Automation	400	7,240	8,320	9,420	11,290	13,310	14,440
	소계	1,210	21,490	23,710	25,780	29,550	33,390	35,050
합계(③)		49,610	59,110	69,280	86,660	104,690	122,990	146,040
(①+②)/③		34.0%	36.3%	38.1%	40.3%	41.6%	44.1%	45.0%

(출처) 5G Business Services Market by Enterprise, Industrial, and Government Segment Applications, Services, and Solutions 2019-2024 (Mind Commerce, 2019)

□ (모바일 코어 네트워크) 5G 이후 모바일 코어 네트워크의 소프트웨어화와 클라우드화가 확산되면서 6G는 클라우드 기반 시장이 지속적으로 증대될 전망이며, 가입자 유형별에 있어서는 기업 가입자 시장이 대폭 증대될 전망

○ 모바일 코어의 도입 모드에 따라서 On-Premise 모드와 클라우드 모드로 구분

○ On-premise 모드는 2020년 2.05억 달러에서 2027년 17.5억 달러 규모로 연평균 32.9% 성장 예상인 반면, 클라우드 모드는 2020년 5.06억 달러에서 2027년 144억 달러 규모로 연평균 57.1% 성장 예상

〈표 V-46〉 도입모드에 따른 글로벌 모바일 코어 네트워크 시장 전망

(단위 : 백만 달러)

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	CAGR
클라우드	506.8	957.8	1,893.6	2,977.7	5,111.1	7,593.3	10,861.4	14,397.5	57.1%
On-premise	204.9	317.3	518.2	680.8	994.0	1,258.5	1,537.0	1,747.6	32.9%
합계	711.7	1,275.1	2,411.9	3,658.5	6,105.1	8,851.8	12,398.4	16,145.1	52.7%

(출처) Global 5G Core Market Research Report : Forecast to 2027(Market Research Future, 2021)

○ 일반 사용자 시장은 2020년 5.639억 달러에서 2027년 57.06억 달러 규모로 연평균 34.6% 성장 예상인 반면, 기업 대상 시장은 2020년 1.478억 달러에서 2027년 104.39억 달러 규모로 연평균 79.1% 성장 예상

〈표 V-47〉 사용자 군별 글로벌 모바일 코어 네트워크 세계시장 전망

(단위 : 백만 달러)

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	CAGR
일반 사용자	563.9	958.5	1,697.8	2,361.8	3,586.6	4,603.1	5,491.8	5,706.2	34.6%
기업 가입자	147.8	316.6	714.1	1,296.7	2,518.5	4,248.6	6,906.7	10,438.9	79.1%
합계	711.7	1,275.1	2,411.9	3,658.5	6,105.1	8,851.8	12,398.4	16,145.1	52.7%

(출처) Global 5G Core Market Research Report : Forecast to 2027(Market Research Future, 2021)

라. 정책 동향

(1) 6G 표준화 동향

□ ITU-R은 4G 승인 직후인 '13년에 5G 표준화 작업을 착수하여 비전 및 기준 정립, 기술 접수 및 검증 후 7년만인 '20년 11월에 5G 표준 채택을 완료

□ 5G 표준화 일정을 고려할 때, ITU-R은 2021년부터 6G 비전정립 등 본격적인 6G 표준화 착수 예상

○ 6G Wireless Summit('19.3), EUCNC 2019에서 주요 통신사업자들과 제조사들은 6G 표준화는 5G 규격승인 직후인 2021년부터 진행 예상

□ 실제 표준기술을 개발하는 3GPP는 현재 5G+ 표준을 개발 중이며, ITU-R 6G 표준일정을 고려하여 2023년경 6G 표준화 착수 예상

〈 국제 표준화 단체 개요 〉

총 7개 참여표준화기관*과 700여개 참여업체**가 활동하는 비법인 형태의 표준 개발 파트너쉽 프로젝트(3GPP)에서 개발한 3GPP 표준을 각 국가의 표준으로 제정한 후 그 결과를 유엔 산하 정보통신기술 관련 국제기구인 ITU로 제출함

* (한국) TTA, (유럽) ETSI, (미국) ATIS, (일본) ARIB/TTC, (중국) CCSA, (인도) TSDSI

** 삼성전자, LG전자, 퀄컴 등 유럽, 미주, 아시아 지역의 700여개 기업

ITU에서는 전 세계 표준단체로부터 제출된 결과가 ITU가 제시한 기준을 만족하는지 확인 후, 해당 기술을 국제권고(ITU Recommendation)로 공표

(2) 글로벌 정책동향

(2.1) 미국

□ 국방부 산하 연구기관인 DARPA는 6G 연구 프로젝트 본격 착수 발표('17.5)

○ "NI WEEK 2016"의 키노트 현장에서 6G 선행연구 프로젝트 시작을 발표

- 6G 프로젝트에 대해 "활용 가능한 주파수 대역을 찾고 통신 용도에 따라 적합한 주파수 대역을 자동으로 할당하는 것"이라고 언급

○ 또한 JUMP(Joint University Microelectronics Programme)을 통해 6G용 기가헤르츠 및 테라 헤르츠 대역에 대한 연구를 지원

- 6G를 위한 초고주파 대역 차세대 통신 및 센싱 기술연구를 위해 '18년 1월 산타바바라 주립대에 산학연 연합 연구 기관인 ComSenTer를 설립하고 약 3,182억원 규모의 연구 지원
- 자율주행 차량 인프라 및 지능형 고속도로에서 최대 500Ghz의 높은 스펙트럼 연구 등을 지원

□ 미국연방통신위원회(FCC)는 spectrum Frontiers('16.7), Spectrum Horizons('18.2) 정책을 수립하고 선제적으로 mm파 및 Thz 주파수 대역 개척 및 신규서비스 활성화를 추진

○ 또한 '17년 OneWeb의 648개의 저궤도 위성, Telesat의 117개의 저궤도 위성, '18년 Space X의 Ka/Ku 대역 4,425개 저궤도위성 등 소형 저궤도 위성을 통한 글로벌 인터넷망 구축 계획을 승인

□ 도널드 트럼프 대통령은 6G 인터넷 기술의 조기 실현에 대한 기대를 언급하며 반드시 6G 선도국이 되어야 한다고 강조('19.4월)

(2.2) 중국

□ 5G 상용화('19.11) 직후 과학기술부·공업정보화부·교육부 등과 함께 '국가 6G 기술연구업무 개시 선포식을 개최('19.11)[155]

○ '국가 6G 기술 연구개발 추진업무팀'과 '전문가팀'을 각각 출범

〈표 Ⅴ-48〉 국가 6G 기술연구개발 추진업무팀 및 전문가팀 개요

국가 6G 기술 연구개발 추진 업무팀		전문가팀	
출범일	2019년 11월 3일	출범일	2019년 11월 3일
구성	6G 업무 관련 부처 관계자	구성	대학, 연구원, 기업 등 총 37명 전문가
역할	- 6G 기술연구개발을 담당하면서 국가적 컨트롤 타워 역할 - 6G 연구개발을 이끄는 정책 수립	역할	- 6G 기술전략에 대한 제안과 기술 논의를 통해 중대한 의사결정을 위한 자문 - 6G 연구방향 건의와 기술적 검증

□ 공업정보화부(MIIT)는 '18년 6G 연구개발의 구체적 청사진을 발표하고 2030년까지 상용화를 목표로 6G 통신인프라 핵심기술 연구에 착수

○ MIIT IMT-2000 무선기술 사업팀의 발표에 따르면 중국은 2018년에 6G에 대한 연구를 시작했으며 2020년부터 본격 개발에 착수해 2030년 상용화를 목표로 함

□ 과학기술부(MOST) 주도로 '18년부터 매 5년 단위로 새로운 네트워크 기술, 광·위성통신 등과 관련된 6G 국책 연구를 추진 중이며, '19년에는 공식 6G 전담기구 출범

155) 포스트 5G 시대를 향한 글로벌 주요국 준비 현황, 총무성, 2020.4

(2.3) EU[156)]

□ 6G 주도권 선점을 위한 회원국들의 관심을 환기시키고, 제조·교통 분야에서 6G 활용전망 및 선결과제 제안('20)

○ 6G 통신을 선도하기 위한 조속한 투자를 강조하였으며, 제조 공장의 모든 IoT 기기들이 6G로 연결되고, 6G 기반의 차량간 통신 시대를 전망

○ 테라비트급 대용량 데이터의 초고속 처리를 위한 고성능·고효율 칩 설계 기술 확보 강조

□ 핀란드 오울루 대학 주도로 '18년부터 6G 플래그십을 설립하여 매년 6G 국제회의(Wireless summit) 개최

○ 오울루·알토 대학, 핀란드 기술연구센터, 노키아 등 기업체 간 협업체계(6G 플래그십)를 구성하여 내재화된 보안기술 기반의 6G 연구개발 착수

(2.4) 일본

□ '30년 기술 전망을 바탕으로 6G 종합전략인 'Beyond 6G 추진전략' 마련('20.4)

○ 대학 연구진과 NTT docomo, 도시바 등 민간 기업이 참관한 관민 합동 연구회인 'Beyond 5G 추진전략 간담회'를 발족하고, 5G 이후 시장 전망과 종합 전략 수립을 논의

○ Beyond 5G 추진전략이 지향하는 기본 방침은 ①글로벌 퍼스트, ② 혁신을 창출하는 에코시스템 구축, ③자원의 집중투자이며, 이를 뒷받침하는 연구개발 전략, 지재·표준화전략, 추진전략을 통해 국제 경쟁력을 강화한다는 구상

○ Beyond 5G를 위한 요구 기능별 주요내용 및 일본이 강점을 가지거나 적극적인 개발을 추진하고 있는 기술을 제시

156) 주요국 6G 주도권 선점 경쟁 본격화, IITP 이은옥. 2020.7

〈표 Ⅴ-49〉 Beyond 5G를 위한 기능 및 주요 개발기술

기능	주요 내용	주요 개발 기술
초고속 대용량	- 액세스망 통신속도는 5G의 10배 - 코어망 통신 속도는 현재의 100배	테라헤르츠
초저지연	- 5G의 1/10 수준의 저지연율 - 사이버-물리 시스템 완전 동기화 - 보안 네트워크와 고도 동기화	시공간 동기화 (사이버 공간 포함)
초다수동시접속	- 다수동시접속 수는 5G의 10배	센싱
초저소비전력	- 현재의 1/100 수준 저소비 전력	All-Fiber 네트워크, 저소비전력 반도체
초안전 및 신뢰성	- 상시 보안 확보 - 재해 및 장애 발생 시 즉각적 복구	양자 암호
자율성	- 자율적으로 동작하는 기기들 간의 자동 연계 - 유무선을 넘어 최적 네트워크 구축	완전 가상화
확장성	- 위성 및 성층권통신시스템(HAPS)와 심리스한 접속(우주 및 해양 포함) - 기기 간 상호 연동으로 모든 장소에서 통신	HAPS, 포용적 인터페이스

※ 출처: 주요국 6G 주도권 선점 경쟁 본격화, IITP 이은옥, 2020.7

□ 한편, '19년 말 발표한 새로운 종합경제대책에서도 포스트 5G 지원 방안을 포함시키며 차세대 통신 산업 육성 의지를 표출

(3) 국내 정책 동향

□ '19년 핀란드와 6G 공동개발을 위한 MOU를 체결하는 등 국가 전략적 6G 개발 대응체계 구축

○ 과기정통부, 한국전자통신연구원, 핀란드 오울루대는 2019년 6월, 6G 이동통신 기술 협력 및 공동연구를 위한 MOU를 체결

○ 한국은 핀란드와 6G 이동통신 기술 공동개발을 추진하여, 5G, 인공지능, 빅데이터 등 4차 산업혁명 분야에서 포괄적 협력을 강화할 전망

- 양국은 6G 무선접속·네트워크 기술, 5G와 비욘드5G 이동통신 기술, 6G 이동통신기술 홍보, 이 외 합의된 다른 통신기술 영역에서 R&D 협력을 추진

○ 6G 연구를 세계에서 가장 먼저 시작한 양국은 서비스 기본개념과 연구과제를 공동 도출할 계획

- 세계적으로 초기단계인 6G 연구성과를 공유하는 정기 교류회를 개최하고, ETRI가 시작한 6G 사업과 오울루대 '6Genesis' 프로젝트 간 공동 참여 기회를 모색

□ 6G 글로벌 시장 주도 기반 마련을 본격화하기 위해 “6G 시대를 선도하기 위한 미래 이동통신 R&D 추진전략” 수립('20)[157]

○ (비전) 상상이 현실이 되는 6G 시대 선도

○ (추진 전략/방안) ①차세대 기술선점, ②고부가가치특허 확보, ③연구기반 조성

- (①차세대 기술선점) 6대 기술분야*·10대 전략과제** 추진, 국제 공동연구 및 기술교류, 시범서비스 병행

  * 초성능, 초대역, 초정밀, 초공간, 초지능, 초신뢰

  ** Tbps 무선통신, Tbps 광통신, THz RF 부품, THz 주파수, 종단간 초정밀 네트워크, 공간 이동통신, 공간 위성통신, 지능형 무선 액세스, 지능형네트워크, 6G품질상시보장 보안기술

- (②고부가가치 특허 확보) 국제표준 반영, 국제 표준화 리더십 확보, R&D+표준+특허 패키지 지원

- (③연구기반 조성) 6G 부품·장비 국산화, 고급·실무인력 육성

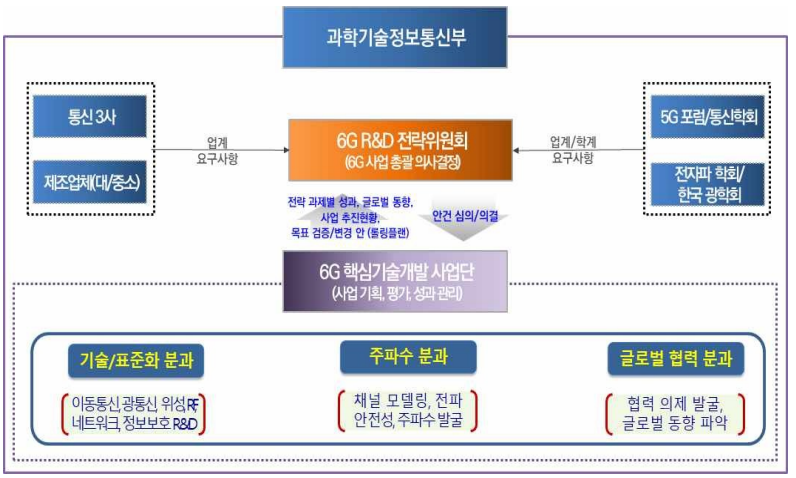
○ (추진 체계) 과기정통부, 통신·제조업체, 중소기업, 학계·연구기관 및 민간전문가 등이 참여하는 ‘6G R&D 전략위원회’ 및 하위 사업단 구성

- (6G R&D 전략위원회) 사업 추진현황·성과 공유, 사업 전반의 목표 검증·변경에 대한 승인을 통해 6G 사업의 추진 방향 결정

157) 6G 시대를 선도하기 위한 미래 이동통신 R&D 추진전략, 과기정통부, 2020

[그림 Ⅴ-46] 6G 비전 및 추진전략('21~'28)

- (사업단) 6G 중장기 기술로드맵 수립, 과제기획·평가, 성과 관리
- (하위 분과) 3개 분과(기술/표준, 주파수, 글로벌 협력)로 구성하여 글로벌 기술개발 동향 및 R&D 추진현황 기반 롤링플랜 수립



[그림 Ⅴ-47] 6G R&D 추진 체계

□ 과기부-유럽집행위는 차세대 이동통신 네트워크 협력 촉진을 주제로 '한-유럽 B5G 워크숍'을 개최('21.6)

○ 양국의 디지털 정책 동향, 이동통신(5G, 6G) 기술개발·표준화 동향 소개 및 향후 협력방안 등을 논의

○ 6G 이동통신 연구개발 추진 및 국제표준화 리더십 확보 노력 등 6G 기술·표준 경쟁력 확보를 위한 양국의 준비상황을 소개하고, 향후 협력 필요성 강조

마. 정부 R&D 투자 동향

※ 6G 연구 초기단계인 점을 감안하여 차년도에 정부 R&D 투자 동향을 검토

바. 결론

(1) 요약 및 정리

□ 향후 미래 통신망(6G)은 5G 통신 성능 고도화, 인공지능 기반 네트워크 최적화, 해상·공중·우주 등 커버리지 확대를 통해 가상과 현실을 시공간 제약 없이 연결하는 지능형 통신 인프라로 발전할 전망

○ 6G 미래상을 구현하기 위해서는 5G의 요구성능인 초성능, 초대역, 초정밀의 확장과 함께 초공간, 초지능, 초신뢰를 더한 6가지 기술 특성으로 구성될 예정

○ 6G 통신을 기반으로 초현실 가상세계 서비스, 시간0오감 저장 서비스, 3차원 초공간 주행 등 다양한 미래 서비스들이 현실화 될 전망

□ 글로벌 선진 국가/기업들은 5G 인프라 구축과 병행하여 미래 6G 통신 산업 선점을 위해 주요 비전을 제시

○ (화웨이) “2020년대 연결된 사물 → 2030년대 연결된 지능” 비전 제시

○ (에릭슨) “Internet of Thought, New computing paradigms” 비전 제시

○ (노키아) “Hyper sepcification·capable·sensing”비전 제시

○ (삼성전자) “Internet of Skill, Super eMBB·mMTC·URLLC 비전 제시

○ (도코모) “Extreme High data rate·coverage·latency·low energy” 비전 제시

□ 미국, 유럽, 중국, 일본, 한국 등 글로벌 통신 선도국들은 6G 통신의 표준화 선점을 위해 연구개발을 활발히 진행 중

○ (Tbps 무선통신) ‘18년부터 주요 국가 중심의 6G 이동통신 연구개발이 시작되고 있으며, 새로운 주파수 대역의 초광대역 신호대역폭 확보를 통한 전송용량 증대를 고려하고 있음

- 한국은 해외 주요국들과 공조를 위해 6G기술을 선제 연구중인 미국(NSF), 중국(CAICT), 핀란드(오울루대) 등과 핵심기술 공동연구와 6G 주파수 관련 국제 협력 추진

○ (3차원 공간 이동통신) 세계 주요 기업들은 드론기지국 등 다양한 공간이동체를 활용한 무선통신기술을 개발 중이며, 6G 요구사항 중 하나로 ”Extreme Coverage(고도 10km)”를 고려.

- 한국은 국내 이동통신 사업자, 자동차업계, 학계 등에서는 다양한 이동체 기지국 기술 및 UAV/UAM관련 기술 개발 진행 중

○ (지능형무선액세스)기계학습의 비약적 발전과 더불어, 통신 분야 역시 다양한 영역에서 기계학습을 활용한 기술이 활발히 연구 중이며, 2019년에 열린 6G Summit에서 대다수 이동통신 관련 기관은 6G 대표기술로 '지능'을 표방함

- 국내 산학연은 5G 통신에서는 AI 사용을 고려하지 않았거나 매우 제한적으로 사용될 것으로 예상하지만 6G는 개발 초기 단계부터 AI를 고려하여 성능, 가격, 서비스 제공 능력까지 전체적인 네트워크를 향상시킬 것으로 예상하고 있음

○ (Thz RF 부품)고정 무선통신용으로 고이득 반사판 안테나 이용한 광소자 기반 단일채널 송수신 RF 부품이 독일 및 일본 중심으로 2010년부터 연구시제 수준으로 개발되었고, 최근 능동전자주사식 배열(AESA) 구조 다채널 위상배열 칩이 미국 대학을 중심으로 개발 중

- 한국은 광소자 및 전자소자 기반의 테라헤르츠 신호발생기/검출기 등 단위부품은 개발되었으나, 양산용 실리콘 반도체 공정기반의 고집적 다채널 빔포밍 칩은 개발 초기 단계

○ (Thz 주파수 개척 및 안전성 평가)100~300GHz 주파수 범위의 전파특성 연구는 일부 대학 및 주요 선진 연구기관 중심으로 소규모 측정, 분석결과를 발표하는 등 아직 기초 연구단계에 있으며, 전자파 인체영향과 전자기기 안전성 등에 관한 연구는 미흡한 상황임

- 한국은 THz 주파수 전파특성 연구는 일부 대학 및 출연연 중심으로 기초원천연구가 진행 중이며, 5G 상용화 이후 밀리미터파 대역의 전자파 인체영향과 EMC 측정 및 대책기술 관련 연구는 진행 중이나 THz 대역은 전무함

○ (Thz 광통신) 6G 대용량 데이터 전송을 위한 무선 프론트홀/백홀 관련 광액세스 구조 및 전송 연구개발과 인도어 환경에서 6G 대용량 데이터 수용을 위한 광통신 기반 커버리지 확장을 위한 인도어 DAS 및 무선 광통신 연구·개발 진행 중

- 한국은 산업체에서 모바일 프론트 및 백홀 광전송을 위한 게이트웨이 및 광트랜시버 개발 진행 중이며 출연연·대학에서는 다중 변복조 광전송 기술, 인도어-DAS 기술 및 광기반 THz 전송 기술 개발 추진

○ (3차원 공간 위성통신) 위성 제작·발사 비용 감소로, 막대한 투자 비용, 경제성 부족으로 어려움을 겪던 위성통신 산업의 진입 여건이 개선되고 있음

- 한국은 위성 간 링크(ISL)에 사용되는 광통신기술 개발 중이며 정부 및 기업차원의 초소형위성 군집 시스템 사업을 추진 중

○ (종단간 초정밀 네트워크) 소규모 근거리망용 시간민감형 네트워킹(TSN) 지원 칩셋과 시스템 출시, 메트로 전달망(MTN), 시간확정형 네트워킹(DetNet) 등 초저지연·고정밀 서비스 제공 범위 확장을 위한 기술 및 국제표준 개발 중

- 한국은 산업체에서 상용 칩 기반 TSN 스위치 개발 완료, 출연연에서 DetNet 기술 국제표준화 추진 및 산업체 공동으로 DetNet 지원 패킷 전달 모듈 및 시스템 개발 중이며, DetNet 광역화 기술 연구개발 추진 중

○ (지능형 모바일 코어) 분산화, 소프트웨어화, AI 내재화 등 모바일 코어의 진화를 위한 다양한 요소 기술에 대한 기초적 연구 진행 중

- 한국은 기술 연구 초기단계로 정부 주도의 과제가 '21년부터 시작되었으며, 삼성전자, LG전자 등 대기업은 모바일 코어 자체에 대한 별도의 뚜렷한 연구 진행이 공개되어 있지는 않음

6. 소형모듈원자로(SMR)

가. 개 요

(1) 배경 및 필요성

□ 원자력을 활용한 탄소중립 대안으로 소형모듈원자로(SMR)에 대하여 세계 각국에서 약 70여개의 노형을 경쟁적으로 개발 중

○ 우리나라도 정부 예산을 투입하여 혁신형 SMR(i-SMR) 개발을 위한 사업을 기획·추진 중

○ 또한 2021년 7월 21일 약 3천억 원 정부 예산을 투자하여 경주시에 혁신 원자력 연구개발 단지인 '문무대왕연구소' 착공

□ 원자력 분야의 중요 이슈인 수용성 확보를 위해 SMR의 충분한 피동 안전성(passive safety)을 강조하고 있으며 경제성에 대하여 상반된 시각 존재

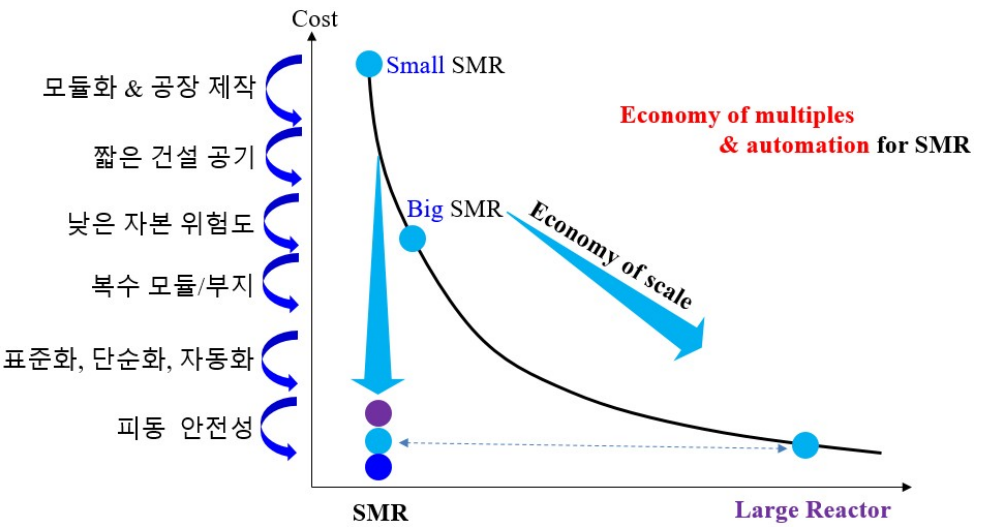
○ 원자력 출력이 감소하면 핵분열 반응 후 발생하는 붕괴열 또한 감소하여 피동적인 방식으로 붕괴열 제거 가능

- 외부 전원 공급 없이도 냉각재 자연 순환에 기초하여 붕괴열이 제거되도록 설계가 가능하기 때문에 외부 전원 상실로 발생한 일본 후쿠시마 사고와 같은 중대사고 발생 가능성을 거의 존재하지 않도록 설계

○ 소형화된 원자로를 지하에 위치시켜 지진 혹은 항공기 충돌 시 보다 안전하게 보호 가능

○ 표준화, 단순화된 모듈을 공장에서 제작하면 제조단가를 크게 낮출 수 있으며 (Economy of Multiples) 모듈에 대한 설계·건설 기법을 활용하면 건설기간을 단축하여 비용 절감 가능

- 대형 원전 건설은 최소 5년이 소요되지만 SMR은 소요 건설기간 목표를 2~3년 정도로 설정



[그림 Ⅴ-48] SMR 경제성 향상 방안

○ 다만 SMR이 전통적인 대형 원전 장점인 규모의 경제(Economy of Scale)를 거스르기 때문에 아직 경제성이 충분히 확보되지 못했다는 시각도 존재

□ 이에 본고에서는 현재 다양하게 개발 중인 SMR 관련 국내외의 기술, 산업, 정책, R&D 투자 동향 등을 제시하고 시사점 도출

(2) 기술의 정의 및 범위

□ SMR은 Small Modular Reactor의 약자로 일반적으로 출력이 10 MWe 이상 300 MWe 이하인 원자로를 의미[158)]

○ 과거에는 SMR이 Small and Medium-sized Reactor(중소형원자로)를 의미했으나 모듈화를 통한 안전성과 경제성의 획기적 향상이 강조되면서 의미가 변경

○ 현재 개발 중인 SMR은 크게 경수로(제2세대, 제3세대, 제3+세대) 기반 혁신형(LWR-SMR)과 제4세대로 구분 가능

- 원자로 설계 유형을 세대로 구분할 때 각 세대에 대한 정의는 명확하지 않지만 6가지 핵심 구분인자(비용효과성, 안전성, 보안·비확산성, 그리드 적합성, 상용화 로드맵, 연료 주기) 존재

- 현재 세계 각국에서 개발 중인 약 70여 개의 SMR 노형 중 절반 정도는 LWR-SMR이며 나머지 절반은 제4세대 SMR에 해당

○ 현 시점에서 충분한 피동 안전성을 확보할 수 있는 최대 출력 기준인 300 MWe는 경수로 기반에 해당하며 제4세대의 경우 더 높은 출력(약 400 MWe)에서도 피동 안전성 확보 가능성 존재

- 제4세대 SMR 기술 실현에 따른 안전성 확보 여부에 따라 현 시점의 기준인 300 MWe이 400 MWe로 상향 가능

□ 본 동향 브리프에서 다루는 SMR은 현재 개발 중이거나 개발 된 노형(LWR-SMR 혹은 제4세대 SMR) 중 모듈형 특징을 분명하게 가지고 있는 SMR로 한정

○ IAEA ARIS(Advanced Reactors Information System)에 등록된 SMR 노형 중 충분한 모듈화로 안전성과 경제성의 획기적 향상이 가능할 것으로 예상되는 SMR 선정

□ 주요 LWR-SMR 종류는 크게 6개로 구분 가능하며 제4세대 SMR은 5개로 구분 가능

○ LWR-SMR 구분은 모듈의 형태(블록형, 통합형), 냉각재 순환 방식(강제 순환, 자연 순환), 격납 방식(건물, 용기)에 따라 가능

- ① 블록형 모듈화 + 냉각재 강제 순환 + 기존 격납건물

- ② 블록형 모듈화 + 냉각재 강제 순환 + 금속 격납용기

158) OECD NEA(2021), 'Small Modular Reactors: Challenges and Opportunities', Stephen M. Goldberg, Robert Rosner(2011), 'Nuclear Reactors: Generation to Generation' 참조

- ③ 통합형 모듈화 + 냉각재 강제 순환 + 기존 격납건물
- ④ 통합형 모듈화 + 냉각재 강제 순환 + 금속 격납용기
- ⑤ 통합형 모듈화 + 냉각재 자연 순환 + 금속 격납용기
- ⑥ 블록형 모듈화 + 냉각재 자연 순환 + 기존 격납건물

○ 제4세대 SMR은 원자로 형식에 따라 소듐냉각고속로(SFR), 납냉각고속로(LFR), 용융염원자로(MSR), 고온가스로(HTGR), 불화염냉각고온로(FHR)로 구분

나. 기술동향

(1) 국외 기술동향

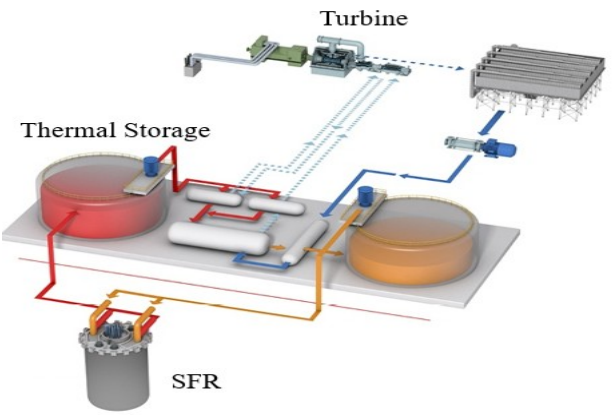
□ (미국) 정부의 강력한 지원 정책으로 기존 기업과 함께 다양한 벤처기업들이 LWR-SMR과 제4세대 SMR 연구개발에 활발히 참여하여 기술 개발 진행

○ LWR-SMR의 경우 벤처기업 NuScale Power가 개발한 'NuScale'이 2020년 말 미국 규제기관 NRC(Nuclear Regulatory Commission)의 설계인증 취득

- 가압경수로(PWR) 기반 'NuScale'은 주요 구성을 모듈화하여 하나의 원자로 용기 내에 통합 배치하고 금속 격납용기 사용
- 냉각재 자연순한 방식을 택하여 상대적으로 출력이 낮고(60 MWe) 높은 피동 안전성을 확보하기 위해 모듈 자체를 수조에 침수시켜 운영하는 개념 도입
- 충분한 안전성을 확보하면서 경제성을 극대화하기 위해 단일 모듈의 출력을 77 MWe까지 증가시켰으며 이에 대해 다시 설계인증 필요

○ 제4세대 SMR의 경우 전 마이크로소프트 회장인 빌게이츠가 설립한 기업 TerraPower의 'Natrium'과 기업 Kairos Power의 'KP-FHR'이 개념설계 단계 개발 중

- 소듐냉각고속로(SFR) 기반 'Natrium'은 태양열 시스템 분야에서 활용하고 있는 용융염에 기반 한 열저장 시스템을 고유한 방식으로 결합하여 기존 증기발생기를 제거함(소듐-물 관련 반응을 원천적으로 배제)에 따라 안전성 크게 향상(출력: 345~550 MWe)



[그림 Ⅴ-49] Natrium 개념도

- 용융염 원자로(MSR)와 고온가스로(HTGR) 개념을 혼합한 열중성자로인 FHR(Fluoride salt-cooled High-temperature Reactor) 기반 'KP-FHR' 개발 중(출력: 140 MWe)

□ (캐나다) 정부의 강력한 산업체 지원 정책으로 제4세대 SMR 기술 개발 진행

○ 벤처기업 Terrestrial Energy가 개념설계 단계 개발 중인 'IMSR'이 2017년 11월 캐나다 규제기관 CNSC(Canadian Nuclear Safety Commission)의 VDR(Vender Design Review) 1단계 완료

- 용융염원자로(MSR) 기반 'IMSR'은 노심 출구 온도가 700 도 정도로 매우 높아 원자로에서 만들어진 열에너지를 열저장 시스템과 연계하여 시스템 유연성 향상 가능(출력: 185~192 MWe)

□ (영국) 정부 지원으로 경제성 향상에 중점을 둔 LWR-SMR 기술 개발 진행

○ 기업 Rolls-Royce는 다른 LWR-SMR에 비해 출력(470 MWe)이 훨씬 높은 'UK-SMR' 개념설계 단계 개발 중

- PWR 기반 'UK-SMR'은 주요 구성을 모듈화하여 블록형으로 연결하고 기존 격납건물을 사용하였으며 냉각재 강제순환 방식 적용

- 충분한 피동 안전성을 확보할 수 있는 조건에서 출력을 극대화하여 일반적인 SMR 출력(300 MWe) 초과

□ (프랑스) 비교적 느리게 연구개발이 진행되었으나 최근 정부의 원자력 필요성 강조로 LWR-SMR 기술 개발 촉진

○ EDF(프랑스 전력공사)는 다른 LWR-SMR에 비해 출력(300~400 MWe)이 높은 'NuWard' 개념설계 단계 개발 중

- PWR 기반 'NuWard'는 주요 구성을 모듈화하여 블록형으로 연결하고 금속 격납용기를 사용하였으며 냉각재 강제순환 방식 적용
- 충분한 피동 안전성을 확보할 수 있는 조건에서 출력을 극대화하여 일반적인 SMR 출력(300 MWe) 초과

□ (러시아) 기존 원자로를 개량한 LWR-SMR과 제4세대 SMR 기술 개발 진행

○ 기업 Afrikantov OKBM은 기존 해양용 PWR 기반 'KLT-40'을 발전시킨 'KLT-40S'를 부유식 소형원전 형태로 2020년 5월 상용화 성공

- PWR 기반 'KLT-40S'는 주요 구성을 모듈화하여 블록형으로 연결하고 기존 격납건물을 사용하였으며 냉각재 강제순환 방식 적용(출력: 35 MWe)

○ 러시아 국유 기업 Atomenergoprom은 납냉각고속로(LFR) 기반 'BREST'를 건설 중(출력: 300 MWe)

□ (중국) 정부 주도로 LWR-SMR과 제4세대 SMR 건설·운영 중

○ LWR-SMR의 경우 중국 국영기업인 CNNC(중국원자력공사)가 'ACP100'을 2021년 7월 육상 통합형 원전 '링룽 1호'로 건설 시작

- PWR 기반 'ACP100'은 주요 구성을 모듈화하여 하나의 원자로 용기 내에 통합 배치하고 기존 격납건물을 사용하였으며 냉각재 강제순환 방식 적용(출력: 125 MWe)

○ 제4세대 SMR의 경우 이미 중국 국영기업인 CNNC가 'HTR-PM'을 건설하여 운영 중

- 흑연을 감속재로 사용하는 열중성자로인 고온가스로(HTGR) 기반 'HTR-PM' 운전 중(출력: 105 MWe)

(2) 국내 기술동향

□ 국내의 대학, 기업, 연구소 모두 독자적인 SMR을 개발 중이며 최근 산학연 공동으로 새로운 SMR 개발 추진

○ 제4세대 SMR로 UNIST는 LFR 기반 'URANUS'(출력: 20 MWe)의 개념연구를 수행하고 있으며 KAIST는 자율운전이 가능한 'ATOM'(출력: 130 MWe)의 개념연구 수행 중

○ LWR-SMR로 한국전력기술은 블록형 자연순환 방식 'BANDI'의 개념연구를 수행 중(부유식 소형원전 형태, 출력: 60 MWe)이며 한국원자력연구원은 'SMART'를 개발하여 2012년 세계 최초 SMR 설계인증 획득

- PWR 기반 'SMART'는 주요 구성을 모듈화하여 하나의 원자로 용기 내에 통합 배치하고 기존 격납건물을 사용하였으며 냉각재 강제순환 방식 적용(출력: 107 MWe)

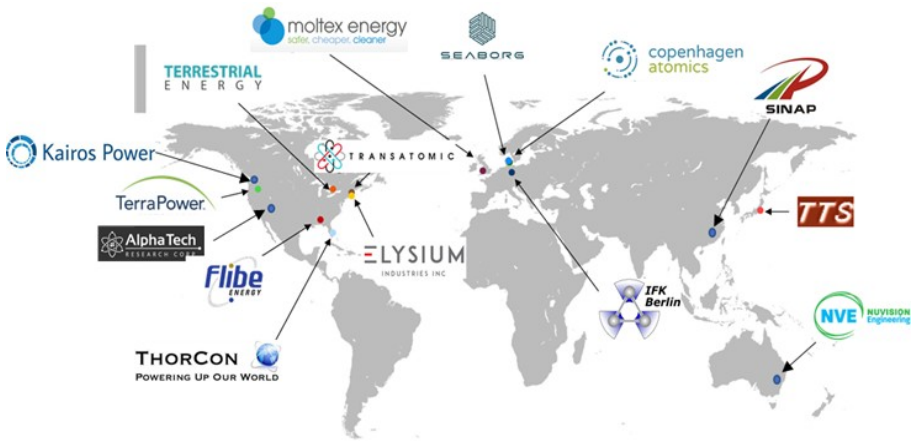
○ 최근 산학연 공동으로 미국 'Nu-Scale'과 유사한 방식의 LWR-SMR인 'i-SMR'의 개념연구 추진

다. 산업동향

(1) 국외 산업동향

□ (벤처기업) MSR 기반 제4세대 SMR에 대한 연구가 신생 벤처기업을 중심으로 다양한 나라에서 동시에 진행 중

○ MSR의 피동 안전성과 경제성 관련 장점에 따라 특히 북미 지역과 유럽 기반 벤처기업들이 활발히 활동 중



[그림 Ⅴ-50] MSR 관련 세계 주요 벤처기업

□ (미국) 주로 정부의 지원을 받아 컨소시엄 형태로 프로젝트를 수행하고 있으며 실증로 건설이나 일부 기기 제작 계약체결 진행

○ NuScale Power는 정부의 지원을 받아 UAMPS(Utah Associated Municipal Power Systems)라는 전력회사 컨소시엄을 위한 CFPP(Carbon Free Power Project)를 추진하고 있으며 기기 제작 계약 체결 및 해외 건설 추진

- 첫 발전소를 아이다호주에 건설하여 2029년 운전 시작을 목표로 COLA(건설 및 운전 허가) 신청서를 2023년 제출할 것으로 예상
- 'NuScale' 제작을 위해 우리나라의 두산중공업, 미국의 BWXT와 기본 계약 체결
- 영국, 루마니아, 불가리아, 요르단 등 다수 나라와 SMR 건설을 위한 논의를 진행 중이며 현 시점에서 북미·유럽 지역 중 가장 빨리 LWR-SMR 상용화가 가능할 것으로 예상

○ TerraPower는 정부의 선진원자로 관련 정책 지원을 받아 기존 발전회사와 협력하여 석탄발전소 대체 추진

- 'Natrium'은 GE-Hitache와 협력하여 개발하고 있으며 첫 실증은 와이오밍주의 석탄발전소를 대체하는 것으로 2030년 완공을 목표로 발전회사인 PacificCorp과 협력 중

□ (유럽) 전통적으로 원자력 개발을 추진해 온 영국, 프랑스 등과 더불어 원자력을 이용하지 않는 덴마크에서도 벤처기업 주도(민간자본 중심) 개발 진행 중

○ 2016년 설립된 덴마크 벤처기업 Seaborg Technologies는 자유로운 연구개발을 위해 정부의 지원을 받지 않고 민간자본만을 활용

- 부유식 원자로 시스템을 조선소에서 효율적으로 제작하기 위해 한국의 조선소를 활용하는 전략 추진

(2) 국내 산업동향

□ 사우디아라비아 등 해외 원자로 건설 추진과 함께 국내 기업의 연구소 혹은 국외 기업과의 협력 사례 증가

○ 사우디아라비아와 공동연구를 통해 안전성과 경제성이 향상된 'SMART100' 설계 마무리

- 다만 사우디아라비아 내 건설은 확정되지 않았으며 'NuScale' 등 경쟁 SMR 등장으로 수출이 쉽지 않은 상황

○ 삼성중공업은 2021년 한국원자력연구원과 해양 MSR 공동연구 협약을 체결하고 원자력추진 선박 시장 개척 시작

○ 현대건설은 2021년 미국 기업 홀텍인터내셔널과 SMR 사업 동반 진출을 위한 협력 계약 체결

○ 두산중공업은 2021년 미국 기업 X-Energy와 'Xe-100'(HTGR, 출력: 82.5 MWe) 주기기 제작을 위한 설계 용역 계약 체결

라. 정책 동향

(1) 국외 정책동향

□ (미국) 원자력 산업의 경쟁력을 회복하고 국제 원자력 시장 주도권 확보를 위해 SMR 연구개발 전략적 지원

○ 원자력 활용 방식을 기존 대형 원전 중심에서 미국이 주도하는 SMR로 변화시켜 미래 원자력 개발 및 이용 관점에서 주도권 확보

○ SMR 연구개발 지원 정책은 기본적으로 3가지 연방정부 법에 근거하고 있으며 미래 핵심 에너지 기술 중 하나로 주목

- 2018년 발효된 '원자력 혁신역량강화법'(NEICA)에 근거하여 다목적 시험로 건설, 국가원자로혁신센터 설립, 선진원자로실증사업(ARDP) 착수 등 원자력 기술혁신을 위한 정책 추진

  * ARDP 사업을 통해 에너지부(NOE)는 'NuScale'을 포함하여 다양한 SMR 기술 개발 및 검증 지원

- 2020년 발효된 '에너지법'(Energy Act)은 선진원자력 연구개발-실증-상용화 관련 사업 장기적 예산 지원 명시

- 2019년 발효된 '원자력 혁신 및 현대화법'(NEIMA)에 근거하여 SMR 등 선진원자로 인허가 규제기술의 선진화를 위해 규제기관이 인허가 기술역량을 확보하고 효율적으로 인허가 과정을 개선하도록 요구

  * NEIMA법은 2027년 12월까지 기업이 선택적으로 사용할 수 있는 기술 포용적 규제체계 마련을 명시

○ 'NuScale' 인허가 과정에서 확인된 현재 체계에서의 다양한 이슈에 따라 원자력 규제기술 선진화 추진

- 기존 대형 원자로를 대상으로 확립된 인허가 규제가 SMR에 그대로 적용될 수는 없으며 새로운 기술의 적용을 위해 인허가 제도 자체 변경이 필요할 수 있음을 제기

□ (캐나다) 적극적으로 SMR 개발을 지원하는 정책을 추진하고 있으며 일종의 사전 인허가 제도 운영

○ 2018년 SMR 개발 촉진 관련 로드맵을 발표하여 원자력 기술혁신을 장려하고 다양한 SMR의 특성 및 적합성 평가

○ 2016년부터 캐나다 규제기관인 CNSC는 소위 '사전 인허가 검토'(VDR) 사업 운영을 통해 선진원자로 인허가 예측 가능성 제고하고 다른 나라 규제기관과 협력도 추진

- 다양한 SMR 개발 기업들의 인허가 가능성 평가를 위한 일종의 허브가 되어 현재 10개 이상 기업들이 VDR 사업에 참여 중

- 미국 규제기관 NRC와 함께 SMR을 포함한 선진원자로 규제기술 효율성 제고 및 선진화를 위한 협력 선언

○ 2019년 CNRI(Canadian Nuclear Research Initiative)를 통하여 SMR 연구개발 지원과 실증사업 추진

□ (영국) 에너지 안보 및 탄소중립의 효율적 달성을 위해 새로운 대형원전을 건설하면서 선진원자로 개발 또한 전략적 추진

○ 2015년 공개경쟁을 원칙으로 SMR 개발 지원을 위한 국가 프로그램을 시작하여 연구개발에 지속적인 투자

- 2019년 롤스로이스 SMR 컨소시엄에 대한 투자와 함께 추가로 그린 산업혁명을 목표로 하는 'Ten Point Plan'을 통하여 국내 SMR 연구개발 투자

○ 태양광, 풍력 등 재생에너지의 생산 부족으로 에너지 위기를 겪으며 안정적 에너지 공급이 가능한 원자력 활용을 위한 정책적 지원 고려

□ (중국) 기본적으로 대형 PWR 원전 건설 및 관련 기술 국산화를 지원하면서 동시에 다양한 선진연구로 연구개발 및 실증 지원

○ 2019년 12월 세계 최초 SMR 건설 시작뿐만 아니라 최근 대형원전 다수 건설을 공표하고 부유식 SMR 개발도 추진하는 등 다양한 원자로에 대한 연구개발 진행

(2) 국내 정책동향

□ 2017년 1월 원자력진흥위원회를 통해 제5차 원자력진흥종합계획('17~'21)의 정책방향에 따른 중점 추진 과제로 새로운 원자력 영역 개척과 온실가스 감축수단으로 확산 제시

○ 8대 정책방향 중 하나인 미래 수요에 부응하는 도전적 연구개발 촉진을 위해 신기술 융합·접목을 통한 새로운 원자력 영역 개척과 온실가스 감축수단으로서 원자력기술 확산 제시

* 8대 정책방향 ① 최상의 원자력 안전 확보 ② 사용후핵연료 안전 관리 및 원전 사후 처리 기반 적기 구축 ③ 미래 수요에 부응하는 도전적 연구개발 촉진 ④ 지속적 성장기반 확보 ⑤ 원자력산업 경쟁력 강화 ⑥ 방사선 이용·개발의 부가가치 증대 ⑦ 소통에 의한 원자력 정책 추진 ⑧ 국제사회 기여 확대 및 리더십 확보

- 미래사회 수요전망에 기반을 두는 중장기적인 기술역량 확보에 따라 소형원전 기술과 조선 산업의 모듈기술을 접목한 새로운 플랜트 개념의 해양원자력시스템(부유식 SMR) 개발

- 미래 중소형 원전시장 대비를 위해 기 개발 소형로(SMART)를 기반으로 안전성, 경제성, 지속가능성이 획기적으로 향상된 차세대 소형원자로(SMR)에 적용할 혁신요소 기술 개발

□ 2017년 1월 원자력진흥계획을 체계적으로 이행하기 위한 원자력연구개발 5개년계획('17~'21)을 통해 미래 대비 고유 원자로 핵심기술 확보 추진

○ 미래 중소형 원전시장 선점을 위해 수출지향 소형 모듈형 경수로(SMR) 핵심기술 개발

- 사우디아라비아 현지 건설을 통한 SMART 원전 실증
- 중소형원자로 핵심기술 개발
- 차세대 발전시스템 개발(초임계 CO2 Brayton cycle 원전 적용)

○ 원전의 안전성, 경제성, 핵비확산성 등을 획기적으로 향상시키는 차세대 원자로 개념개발

- 제4세대 원자로(납냉각고속로, 가스냉각고속로 및 용융염냉각 원자로 등) 개념개발
- 원격 제어가 가능하고 이상상태 발생 시 자동으로 안전상태를 유지하는 자율운전 초소형원자로 개념개발
- 첨단 계산과학에 기반 한 가상공간에서 원자로의 복합현상 예측 규명

□ 2018년 2월 국가과학기술심의회를 통해 제4차 과학기술기본계획('18~'22) 실현을 위한 중점 과학기술 중 하나로 원자력 에너지 기술 선정

○ 기본계획의 4대 전략을 효과적으로 이행하고 경제·사회·과학기술적으로 기여도가 높은 120개 중점과학기술 선정

* 4대 전략 ① 미래도전을 위한 과학기술역량 확충 ② 혁신이 활발히 일어나는 과학기술 생태계 조성 ③ 과학기술이 선도하는 신산업·일자리 창출 ④ 과학기술로 모두가 행복한 삶 구현

- 120개 중점과학기술 중 원자력 분야는 원자력 에너지 기술, 원자력 환경방호 기술 선정

□ 2019년 6월 산업통상자원부는 제3차 에너지기본계획('19~'40)을 통해 원자력 분야 신산업 육성을 위한 미래 유망분야 제시

○ 5대 중점 추진과제 중 하나인 에너지산업의 글로벌 경쟁력 강화를 위해 원전산업 핵심생태계 유지 필요

* 5대 중점 추진과제 ① 에너지정책 패러다임을 소비구조 혁신 중심으로 전환 ② 깨끗하고 안전한 에너지 믹스로 전환 ③ 분산형·참여형 에너지 시스템 확대 ④ 에너지산업의 글로벌 경쟁력 강화 ⑤ 에너지전환을 위한 기반 확충

- 세계 원자력 에너지 추세에 따라 미래 유망분야로 핵융합, 우주·해양 등 극지 동력원, 방사선 등과 함께 중소형 원자로 제시

마. 정부 R&D 투자 동향

□ 지난 3년간('19~'21년) 원자력 분야 정부 R&D 총 투자액은 약 1조 360억 원으로 연평균 17.3% 규모로 투자가 확대되고 있으며 과학기술정보통신부 중심(61.3%)으로 연구개발이 진행

○ 과학기술정보통신부의 원자력 분야 정부 R&D 투자는 '19년 기준 약 1,890억 원에서 '21년 약 2,383억 원으로 확대되었으며 총 투자 비중은 61.3%로 가장 큰 규모를 차지함

- 원자력안전위원회의 원자력 분야 정부 R&D 투자는 '19년 기준 약 304억 원에서 '21년 약 656억 원으로 가장 큰 폭으로 확대(46.8%)

〈표 Ⅴ-50〉 원자력 분야 부처별 정부 R&D 투자 현황('19~'21년)

(단위 : 백만원)

부처명	'19년도		'20년도		'21년도		총 투자액		연평균 증가율 (CARG, %)
	예산	비중 (%)	예산	비중 (%)	예산	비중 (%)	예산	비중 (%)	
과학기술정보통신부	188,972	64.3	207,810	61.6	238,281	58.9	635,063	61.3	12.3
산업통상자원부	74,552	25.4	96,108	28.5	100,663	24.9	271,323	26.2	16.2
원자력안전위원회	30,440	10.4	33,549	9.9	65,582	16.2	129,571	12.5	46.8
합계	293,964	100	337,467	100	404,526	100	1,035,957	100	17.3

□ (세부 분야) 지난 3년간('19~'21년) 원자력 기초·활용 분야의 비중은 전체 19.8%를 차지하고 있으며 연평균 44.8% 규모로 투자가 확대되고 있는 상황

○ 원자력 기초·활용 분야 정부 R&D 투자의 과학기술정보통신부 비중은 전체 90 % 이상으로 대부분의 연구개발을 과학기술정보통신부에서 수행

〈표 Ⅴ-51〉 원자력 세부 분야별 정부 R&D 투자 현황('19~'21년)

(단위 : 백만원)

세부 분야	'19년도		'20년도		'21년도		총 투자액		연평균 증가율 (CARG, %)
	예산	비중 (%)	예산	비중 (%)	예산	비중 (%)	예산	비중 (%)	
원자력 기초·활용	42,717	14.5	73,206	21.7	89,579	22.1	205,502	19.8	44.8
원자력 안전	119,917	40.8	117,943	34.9	145,095	35.9	382,955	37.0	10.0
원전해체·방폐물관리	72,053	24.5	102,397	30.3	120,200	29.7	294,650	28.4	29.2
방사선	59,277	20.2	43,921	13.0	49,652	12.3	152,850	14.8	-8.5
합계	293,964	100	337,467	100	404,526	100	1,035,957	100	17.3

□ (SMR 관련) '20년부터 SMR 관련 사업 기준 정부 R&D 투자액은 총 155억 원으로 모두 과학기술정보통신부에서 연구개발 진행

○ (SMART) '20년부터 혁신요소기술을 통합한 소형원자로시스템 개념설계 확보로 해외 수출 경쟁력을 강화하는 목적으로 'SMART혁신기술개발사업' 수행 중

- '20년 35억 원, '21년 65억 원, 총 100억 원 투자

○ (선진원자로) '20년부터 미래 다양한 에너지원으로 활용할 수 있는 제4세대 원자로 핵심기술개발을 목적으로 '미래 선진원자로 핵심 요소기술개발 사업' 수행 중

- '20년 15억 원, '21년 40억 원, 총 55억 원 투자

바. 결론

(1) 요약 및 정리

□ SMR 분야는 향후 시장 선점을 위해 각국 정부의 투자와 벤처기업 등 산업계의 활발한 연구개발 진행 중

○ 특히 미국과 캐나다 정부의 적극적인 지원이 이뤄지고 있으며 러시아, 중국에서도 정부 주도의 연구개발 추진

○ MSR 기반 제4세대 SMR의 경우 민간 특히 각국 벤처기업들의 활발한 연구개발 진행 중

○ 우리나라에서도 기존 'SMART'뿐만 아니라 산학연 공동으로 LWR-SMR인 'i-SMR'의 개념 연구 추진

□ 각국 정부는 각자가 처한 상황에 따라 LWR-SMR 혹은 제4세대 SMR 연구개발을 추진하고 있으며 관련된 규제기술 확보 또한 추진 중

○ 미국은 원자력 산업 경쟁력 회복과 국제 원자력 시장 주도권 확보를 위한 전략적 지원과 함께 규제기술 선진화 추진

○ 캐나다는 일종의 사전 인허가 제도 운영으로 다양한 SMR 기업들의 인허가 가능성 평가를 위한 허브 역할 수행

○ 영국, 중국의 경우 신규 대형원전 건설과 선진원자로 개발 병행

□ 국내 원자력 기초·활용 관련 정부 R&D 투자는 점차 증가하고 있으며 과학기술정보통신부를 중심으로 연구개발이 진행

○ 전체 원자력 분야 정부 R&D 투자 중 기초·활용 분야 비중은 약 20%로 크지 않지만 증가율은 높으며 90% 이상 과학기술정보통신부에서 연구개발 수행

○ 특히 SMR 관련 연구(SMART, 선진원자로)의 경우 모두 과학기술정보통신부에서 연구개발 수행

(2) 시사점

□ SMR 관련 다양한 모델이 전 세계적으로 동시에 개발되고 있는 상황에서 우리나라도 주력 모델 개발의 필요성을 신중히 검토해야 함

○ 보다 가까운 시점의 LWR-SMR 혹은 먼 시점의 제4세대 SMR 중 투자를 집중할 분야를 결정

○ 이미 개발이 진행된 경쟁 모델의 장단점 분석이 선행되어야 하며 면밀한 시장 점유 가능성 예측에 근거해야 함

○ 원자력 분야 특성 상 안전 관련 수용성 확보가 우선되어야 하며 충분한 과학적 근거 마련 필요

○ 이를 위해 기존 개발된 SMR 관련 기반 기술을 점검하고 주력 모델과 별개로 공통으로 개발해야 할 기술 리스트 확보 필요

□ 현재 SMR이 목표로 하는 획기적인 안전성과 경제성 향상을 검증할 수 있는 체계 혹은 기술을 미리 마련하고 관련 규제 또한 정비 혹은 연구하여 만약 SMR 개발이 결정된다면 발생할 수 있는 문제 대비 필요

○ 수월한 사회적 선택이 가능하도록 안전성 고려 시 다른 에너지 기술과의 비교 또한 함께 이뤄져야 함

○ 원자력과 관련된 사회적 비용(환경문제 등)을 어떻게 경제성 개념에 도입할 수 있을지 합의 필요

○ 탄소중립 실현 등 범세계적으로 추진되는 이슈에 SMR의 기여가 어떻게 가능할지 객관적으로 검토해야 함

○ 일부 국가가 택하고 있는 사전 인허가 제도 등을 함께 협력하여 충분히 활용하고 표준화 관련 공동 대응 필요

7. CCU

가. 개 요

(1) 배경 및 필요성

□ 세계 각국은 지구온난화 문제 해결을 위해 탄소중립을 목표로 협력을 선언

○ 2015년 12월 파리협정 이후 현재('21.11)까지 193개국이 비준서, 수락서, 승인서 등을 제출하여 파리협정을 이행하고 있음

○ 스웨덴의 2045 탄소중립 선언을 시작으로 각 국은 2050년을 목표로 탄소중립을 선언

□ 주요국에서는 장기 저탄소 발전전략(LEDS, Long-term Low greenhouse gas Emission Development Strategy)을 발표하였으며 탄소중립 달성의 주요 수단으로 신재생에너지 보급 확대, 에너지 효율 개선, 바이오원료 활용 등을 발표

□ 탄소중립 실현을 위해서는 에너지 전환, 산업공정 혁신 등 각 부문의 온실가스 감축 노력 외에도 추가적인 CCUS* 기술 도입 필요성이 대두

* CCUS(CO_2 포집·활용·저장, Carbon Capture, Utilization and Storage): 이산화탄소를 배출단계에서 포집, 저장, 활용하는 친환경 기술

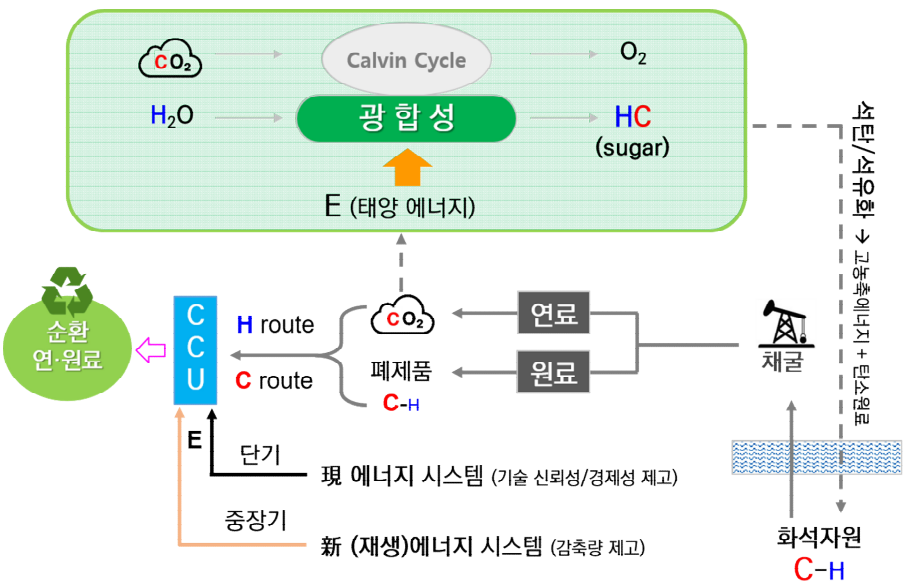
* CCS(CO_2 포집·저장, Carbon Capture and Storage): CO_2를 포집하여 지하지질 등에 저장하는 기술

* CCU(CO_2 포집·활용, Carbon Capture and Utilization): CO_2를 포집하여 시장가치가 있는 제품으로 사용하는 기술

○ IEA('20)는 2070 글로벌 탄소중립 과정에서 CCUS의 기술 기여도를 총 감축량의 15% 수준인 연간 100억 톤으로 제시하며 CCUS 기술 없이 탄소중립 달성은 불가능하다고 전망

□ CO_2는 본래 긴 시간 에너지를 받아 고에너지 화석연료(석유·석탄 등)로 전환되어 한곳에 머무르는데, 인류가 인위적으로 고에너지 탄소원을 채굴·소비하면서 CO_2 저장 속도보다 사용 속도가 현격히 높아 기후변화를 야기

○ 탄소중립을 위해 이미 지표 밖으로 배출된 탄소를 포집 및 재순환 시켜 사용하는 기술이 필요하며, 이에 따라 CCU 기술 중요성이 높아지고 있음



[그림 Ⅴ-51] 탄소 순환 도식 (출처 : 한국화학연구원, 2021)

□ CCU 기술은 신재생에너지 연계 활용 및 친환경 자원순환 측면 등에서 잠재력이 높은 탄소중립 수단으로 미국, 영국, 독일, 일본 등 주요국이 발표한 장기 저탄소 발전전략에서 핵심 전략 수단으로 포함

□ CCU 기술은 탄소중립의 핵심수단임에도 전 세계적으로 대부분 응용연구 수준으로 본격적인 상용화를 위해서는 대규모 R&D 투자가 필요한 상황

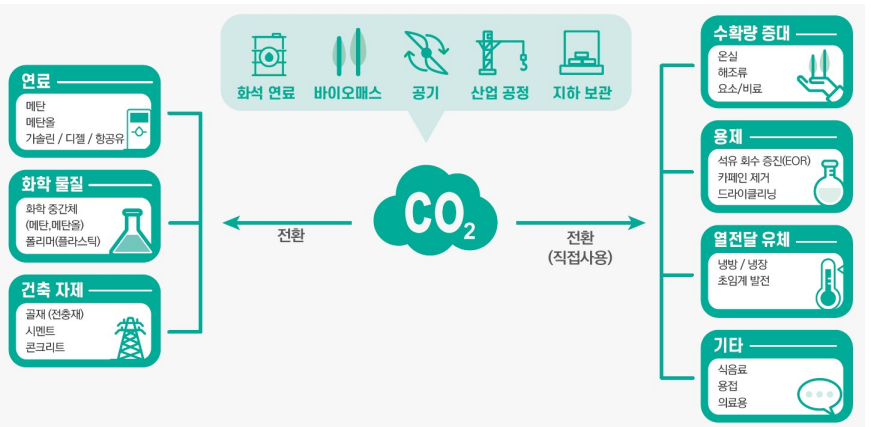
□ 이에, 본 고에서는 국내외 CCU 기술·산업·정책 동향과 정부 R&D 투자현황을 분석하고, 국내 CCU 기술 투자 방향에 대한 시사점을 도출하고자 함

(2) 기술의 정의 및 범위

□ 이산화탄소 활용은 크게 이산화탄소를 그대로 사용하는 비전환 직접활용과 유용한 제품으로 바꾸는 전환활용으로 구분

○ (직접활용 분야) 작물 수확량 향상, 용제 활용, 냉방/냉장을 위한 열전달 유체, 식음료 생산, 소화제, EOR(원유회수증진법, enhanced oil recovery) 등

○ (전환활용 분야) 이산화탄소 유래 연료, 화학물질 및 건축자재 제조기술 등



[그림 Ⅴ-52] 이산화탄소 활용(CCU) 기술의 분류 (한국화학연구원, 2020)

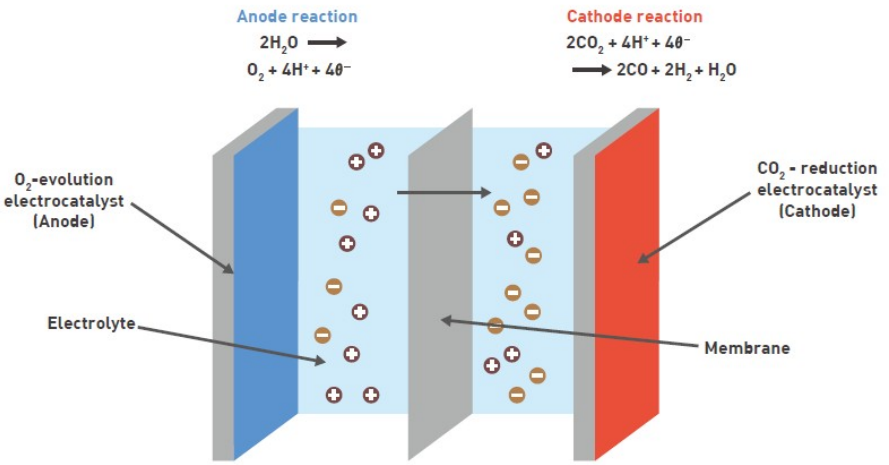
□ (화학적 전환기술) 전환 매체의 종류에 따라 촉매 전환, 전기화학 전환, 광전환으로 분류할 수 있음

○ (촉매 전환) 촉매반응 공정을 이용하여 다양한 연료 및 원료를 제조하는 기술

- CO_2 촉매 전환기술의 핵심은 고효율의 촉매 개발 및 이에 따른 반응 시스템 설계라고 할 수 있으며, CO_2의 낮은 반응성을 극복하기 위하여 추가적인 에너지 공급 또는 활성 촉매의 사용이 필수적

○ (전기화학 전환) 전기화학 전지 시스템에 전기에너지를 공급하여, 두 전극 사이에 전위차를 발생시켜 CO_2를 환원시키는 방법

- 반응에 참여하는 전자와 수소 이온의 개수에 따라 일산화탄소(CO), 개미산(formic acid), 메탄올(methanol), 에틸렌(ethylene), 에탄올(ethanol) 등 고부가가치 화합물 생성
- CO_2의 전기화학적 전환은 환원전극, 산화전극, 전해질, 분리막으로 사용되는 이온교환막으로 구성되며 환원전극에서 CO_2의 반응이 일어남



[그림 V-53] 전기화학적 CO_2 전환 반응 시스템 (E.H.Sargent, 2019)

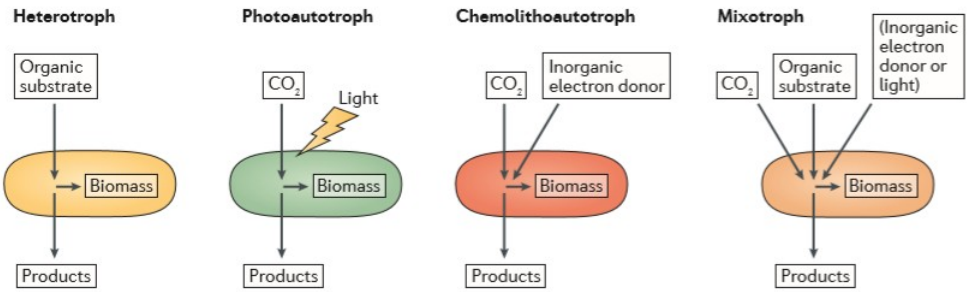
○ (광전환) 외부에너지의 공급 없이 태양에너지를 직접 활용하여 이산화탄소를 유용한 화합물로 전환하는 기술

- (광전기화학 전환) 반도체 광촉매로부터 빛을 흡수하여 여기(excited) 전자/정공쌍을 생성하고, 물과 이산화탄소 분자에 전자를 전달하여 유용한 화합물을 생성하는 기술로 식물의 광합성 반응을 모사한 CO_2 전환기술
- (광화학적 전환) 자연계의 명반응과 암반응을 모방한 기술로, 광감응제, 광전자 전달체, 그리고 이산화탄소 환원 촉매 개발로 구분되어 진행

□ (생물학적 전환기술) 이산화탄소 고정 미생물 등을 이용하여 이산화탄소를 바이오 연료 및 유용 물질로 전환하는 기술

○ 기존 화학 연·원료를 생물화학 공정으로 대체하여 생물기반의 소재를 생산하는 공정

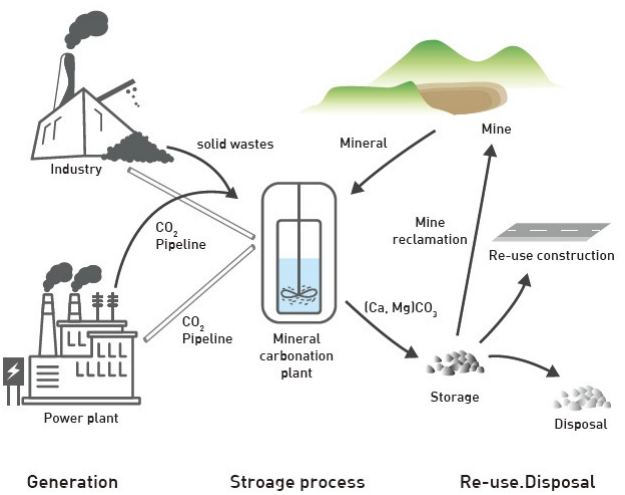
○ 광합성 미생물 이용 이산화탄소의 생물전환, 그리고 비광합성(전기생합성) 미생물 이용 이산화탄소의 생물전환기술로 분류



[그림 Ⅴ-54] 미생물 종류에 따른 탄소 고정 및 바이오매스 기반 제품 제조 경로 (Nico J. Claassens, 2016)

□ (광물화 기술) CO_2 또는 CO_2 함유 배가스와 알칼리토금속(Ca, Mg 등)을 포함하는 액체(알칼리수) 혹은 고체(천연광물 또는 산업부산물)와 반응시켜 탄산칼슘($CaCO_3$) 및 탄산마그네슘($MgCO_3$) 등의 탄산염 광물로 만들어 고정화 또는 저장시키는 기술

○ 광물화 기술은 열역학적으로 안정하며, 무기탄산염의 경우 자유에너지가 CO_2보다 낮아 외부의 에너지 투입이 적다는 장점이 있음



[그림 Ⅴ-55] 광물 탄산화 기술의 개념도 (IPCC, 2005)

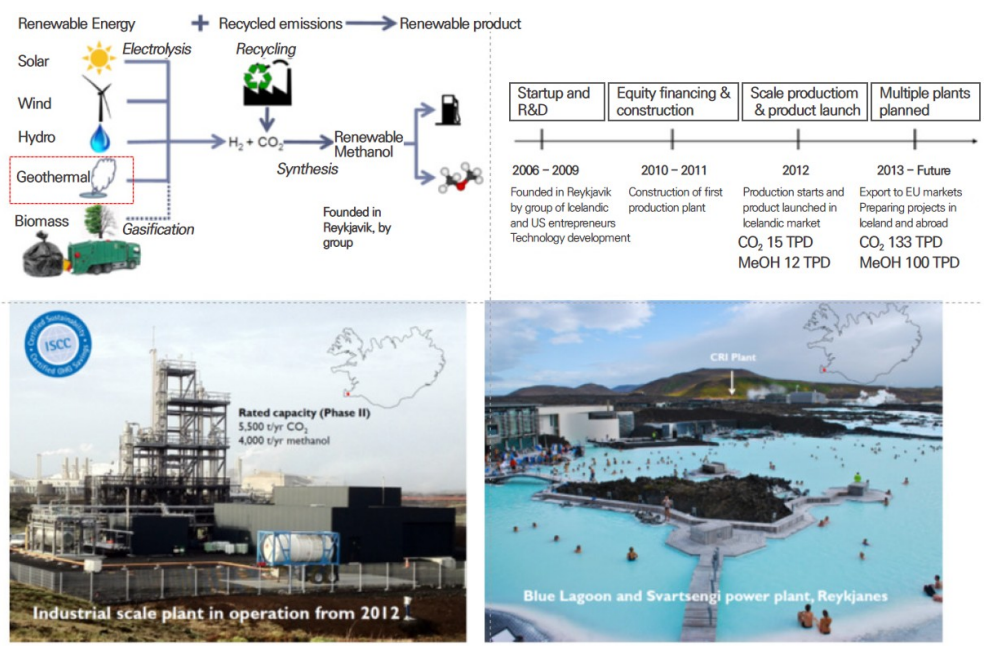
나. 기술동향

(1) 국외 기술동향

□ (화학적 전환 : 촉매) 촉매 기술을 이용한 카보네이트, PU(polyurethane) 제조기술이 상용화 수준에 도달하여 아사히카세이, 코베스트로 등에서 상업 판매 중이며, 기초 연·원료 제품 실증 및 상용화 연구가 활발히 추진 중

○ (독일, Audi社) e-diesel 프로젝트를 통해 협력사 sunfire와 다단 간접전환 방식의 긴 사슬 탄화수소를 제조하는 기술을 개발 중이며, 이는 CO_2의 액화연료화 기술 중 가장 상용화에 가까운 기술임

○ (아이스란드, CRI) 지열을 이용하여 CO_2를 합성가스로 전환하고 이를 다시 메탄올로 합성하는 기술을 개발하여 일일 15톤의 CO_2를 소비하고 12톤의 메탄올을 생산하는 상용플랜트 건설·운영 중



[그림 V-56] Iceland의 재생에너지 활용 메탄올 합성 플랜트 프로젝트 (CRI 홈페이지)

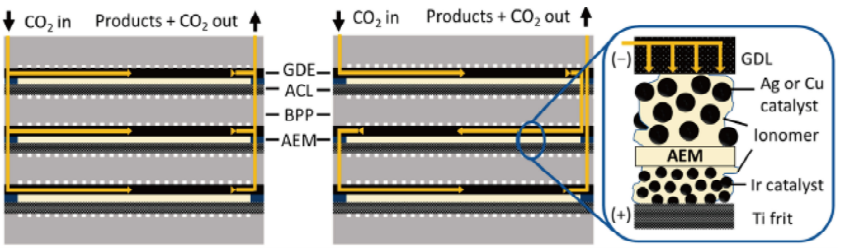
○ (미국, S2P PJT) Sandia National Lab은 산학연 컨소시엄 프로젝트를 통해 태양광과 CO_2를 이용한 석유대체 합성디젤 제조기술을 개발하여 현재 캘리포니아 새크라멘토(Sacramento)에서 실증 중

□ (화학적 전환 : 전기화학) CO_2 전기화학 전환기술은 연구 초기단계로 각국의 여러 대학 및 연구소에서 원천기술 확보를 위한 연구가 진행 중이며 상용화 가능성 확보를 위한 생성물의 선택도 및 에너지 효율을 높이는 것에 주목적을 두고 있음

○ (캐나다, 토론토대) 흑연(graphite) 및 구리(Cu) 촉매를 테플론(PTFE)과 나노입자 사이에 위치하도록 전극을 제조하여 에틸렌의 패러데이 효율을 70% 달성 및 75~100mA/cm^2 에서 에틸렌 선택도 변화 없이 150시간 동안 안정 운영

○ (미국, JCAP) 구리 표면에 질소가 치환된 피리디늄 첨가제를 증착하여 C_2 이상 생성물을 페러데이 효율 70~80% 생성하였으며, 그중 에탄올은 약 30%의 효율 기록

○ (헝가리, 세게드대) 50cm^2 크기의 3스텍 전해 시스템을 통해 7기압 조건에서 페러데이 효율 90% 이상의 고전류 CO 생산



(a) 병렬형 유로 (b) 직렬형 유로

[그림 Ⅴ-57] 전기화학적 이산화탄소 환원용 스택 전해 시스템 (C.Janaky, 2019)

□ (화학적 전환 : 광) CO_2 광전환기술은 아직 원천기술 수준의 연구가 진행되고 있으나 광전기 물분해 연구를 통해 축적된 지식을 CO_2 전환연구에 적용해 시스템 효율을 빠르게 증가시키고 있음

□ (생물학적 전환) 미세조류의 산업적 활용은 건강기능식품, 천연/바이오 의약품 및 화장품 소재 생산과 같은 고부가가치 유용물질 위주로 이뤄지며 원활한 공급을 위한 미세조류 대량 생산 연구가 활발히 진행 중

○ (유럽, CyanoFactory) 'DEMA(Direct Ethanol from MicroAlgae)' 연구 프로젝트를 통해 시아노박테리아의 유전적 조작 도구 개발, 대사공학적 균주 개발 및 이산화탄소의 고정화를 높이기 위한 광합성 배양기 개발

○ (독일, Electrochaea) CO_2의 생물학적 메탄화 기술 분야의 선도적 기술 보유. 덴마크 지역에 1MW급 재생에너지와 연계한 미생물 배양기 10,000L 규모의 생물학적 메탄화 전환 실증 플랜트를 구축하였으며 상업화 진행 중

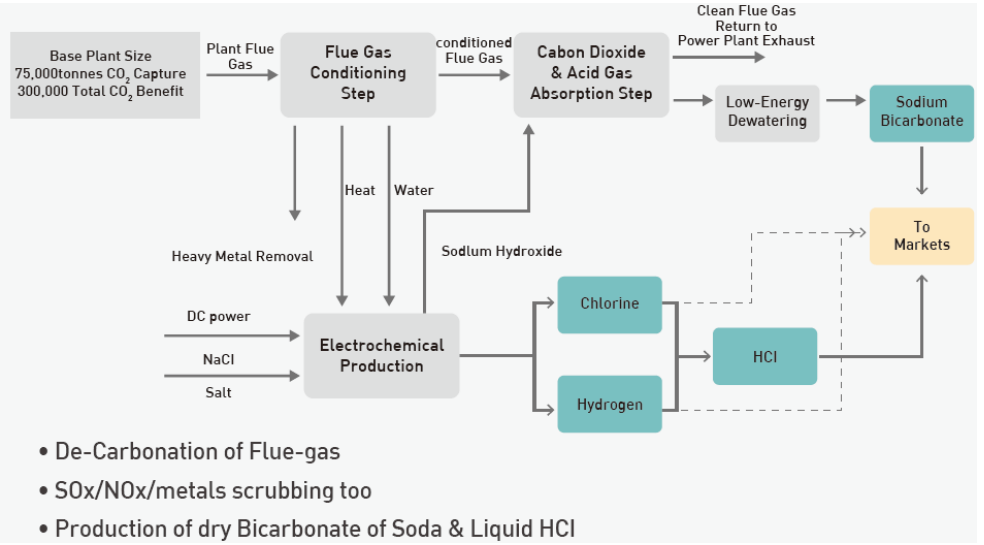
○ (미국, Lanzatech) 아세토젠을 이용한 생물학적 전환기술 분야 선도 및 미생물 기반 파일럿 플랜트 건설을 통해 탄소 저감 기술 검증. 또한, EU의 'Steelanol' 프로젝트에 참여하여 제철 부생가스를 생물학적으로 전환하여 에탄올을 생산하는 연구 추진

□ **(광물 탄산화) EU, 미국 등을 중심으로 천연자원, 산업부산물, 액상 폐기물 등을 활용한 기술개발이 활발하게 진행되고 있음. 직접 탄산화 기반 건설자재 생산기술 및 CO_2 반응 경화 시멘트·양생 기술은 시장 진입단계이며 간접 탄산화 기술인 탄산칼슘, 중탄산나트륨 생산 등은 실증 추진 중**

○ (영국, Carbon8) 급속 탄산화 기술(Accelerated Carbonation Technology, ACT)을 개발. 자연 골재를 대체하는 특징으로 폐기물 발생처에서 신속한 처리, 비용절감, 탄소 발생량 저감 등의 이점이 있음

○ (미국, Skyonic) CO_2, 물, 소금을 투입하여 염산(HCl), 중조, 차아염소산나트륨(NaOCl) 등을 제조하는 공정으로 연간 75,000톤의 CO_2포집 및 30만 톤의 CO_2 상쇄 효과 기대

○ (네덜란드, Twence) 폐기물 소각 발전 시에 발생하는 배가스를 가성소다와 반응시키는 상용 플랜트(Waste to Energy, WTE)의 건설을 통해 8,000톤 규모의 중탄산소다($NaHCO_3$)를 생산하고 연간 약 6,000톤 규모의 CO_2 저감



[그림 Ⅴ-58] SkyMine 공정도 (Skyonic, 2016)

(2) 국내 기술동향

□ (화학적 전환 : 촉매) 2000년 전후, 온실가스 저감 기술 개발사업 등 다양한 정책 지원을 통한 CO_2 저감 기술개발이 이루어졌으며 연구기관과 기업이 협력하여 파일럿 실증연구 및 상용화 추진을 위해 노력 중

○ (한국화학연구원·현대오일뱅크) CO_2를 천연가스 및 수증기 복합개질반응으로 $CO/CO_2/H_2$ 합성가스를 만들고 이를 메탄올로 합성하는 10톤/day 급의 Demo Plant를 건설하여 1,000시간 운전 성공

○ (한국화학연구원·㈜부흥산업사) 합성가스와 초산을 생산하는 20톤/년 규모의 파일럿 플랜트 실증 사업을 성공적으로 수행. ㈜부흥산업사의 주도하에 울산 산업단지 내에서 5,000톤/년 규모의 데모 플랜트 실증 진행 중

○ (POSCO·RIST) 폴리카보네이트의 원료인 디메틸카보네이트 제조공정* 개발. 이온성 액체-금속 복합체인 촉매 최적화 및 스케일업 기술을 통해 30톤/년 규모의 Pilot Plant를 설계/제작하여 600시간 이상 운전

* 요소(Urea)와 메탄올의 반응을 통한 디메틸카보네이트 제조 신공정으로 부산물로 발생하는 암모니아를 회수하여 CO_2와 함께 요소로 전환하여 CO_2를 고정

○ (KIST) 합성가스를 제조한 후, 이를 메탄올 합성반응에 이용하는 간접 다단 반응 기술로 CO_2와 수소를 높은 온도에서 반응시키는 역수성가스반응*(reverse water-gas shift, RWGS, 반응온도 〉 800℃)을 파일럿 스케일로 연구 수행

* 물과 일산화탄소로부터 수소와 이산화탄소를 얻는 수성 가스 전환반응(Water Gas Shift: WGS)의 역반응으로서, 반응물로는 이산화탄소를 사용하고 생성물로는 일산화탄소를 얻을 수 있음

□ **(화학적 전환 : 전기, 광) CO_2 환원을 통한 화학물질 제조 및 광화학적 전환기술에서 세계적 수준의 원천기술 확보 성과를 내고 있음**

○ (KIST) 태양광 에너지를 이용하여 CO_2를 일산화탄소로 전환하는 일체형 디바이스를 구현하고, 최고 효율인 4.23%의 광전환 효율을 보고

○ (KAIST) Si 광전극과 전기화학적으로 환원된 다공성 금(Au) mesh 전극을 연결하여, 일산화탄소 91% 패러데이 효율 보고

○ (경북대) $CuO/CuFeO_2$ 이종접합 광전극을 사용하여 태양광만으로 작동하는 CO_2 전환 시스템 개발

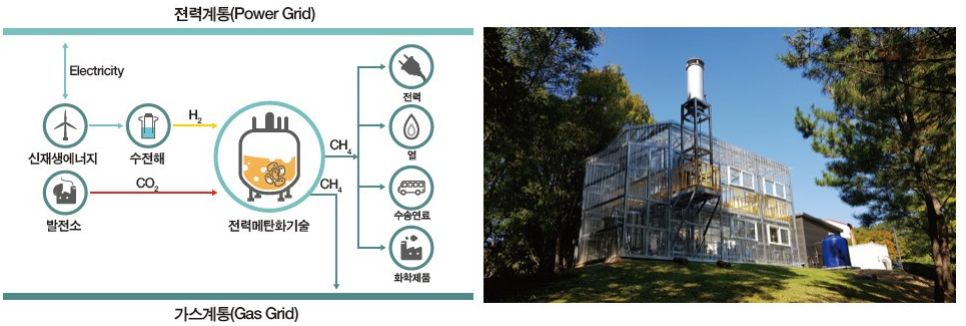
□ **(생물학적 전환) 국내 CO_2의 생물학적 전환연구는 미세조류에 집중되어 다수의 연구사업이 추진되었으며, 일부 고부가가치 제품으로 상업화되고 있음**

○ (이산화탄소 포집 및 처리 연구개발센터(KCRC)) 야생형 균주 대비 미세조류 성장능력 2배, 지질 함량 4배의 초우량 균주 확보 및 배양 규모 스케일업이 용이한 광생물 반응기 개발

○ (고려대·지역난방공사) 고농도 광배양, 100L 규모 바이오 반응기 모듈화 핵심기술 개발을 통하여 고부가 소재 시제품 생산기술 실증

○ (한국전력연구원) 최근 미생물을 이용하여 연간 36톤의 이산화탄소를 12톤의 메탄으로 전환하는 5kW급 메탄 생산 설비 구축

○ (차세대바이오매스연구단, 해양바이오에너지 연구센터) 미세조류 기반 바이오디젤·항공유 생산기술 가능성 검증 단계



[그림 Ⅴ-59] 미생물을 이용한 생물전기화학적 CO_2 전환 메탄화 기술 (한국전력연구원, 2019)

□ (광물 탄산화) 직접탄산화 기반 소재 및 건설자재 생산기술은 파일럿 규모 실증 추진 중이나 대부분 연구는 실험실, 벤치 규모의 연구개발이 이루어지고 있음

○ (한국지질자원연구원) 탈황석고에 암모니아와 CO_2를 반응시켜, 탄산칼슘과 황산암모늄(ammonium sulfate)을 생산하는 석고탄산화 기술을 개발하여 석고 처리 1천톤/년 규모의 파일롯 플랜트를 운영

○ (대우건설) CO_2를 알칼리 혼합액을 이용하여 흡수·고정화하여 탄산화물을 생산하는 기술을 인천 청라소각장에서 실증하고 있으며 앞으로 울진 민자석탄화력발전 시설에 적용 예정

○ (한국전력연구원) 전기분해법을 이용하여 중조($NaHCO_3$), 차아염소산나트륨(NaOCl), 염산 등을 생산하는 기술개발 추진 중. 해당 기술은 실험/모델링 등을 통하여 CO_2 포집율 90% 이상, 중조 순도 97% 이상 달성 가능할 것으로 판단

○ (RIST) CO_2와 제철슬래그를 활용한 탄산칼슘/중조 동시 제조의 핵심기술을 개발하여 벤치스케일(100kg/d) 장치를 설계 및 운전하였으며, 후속연구를 통해 기술 완성도 고도화에 노력 중

다. 산업동향

(1) 국외 산업동향

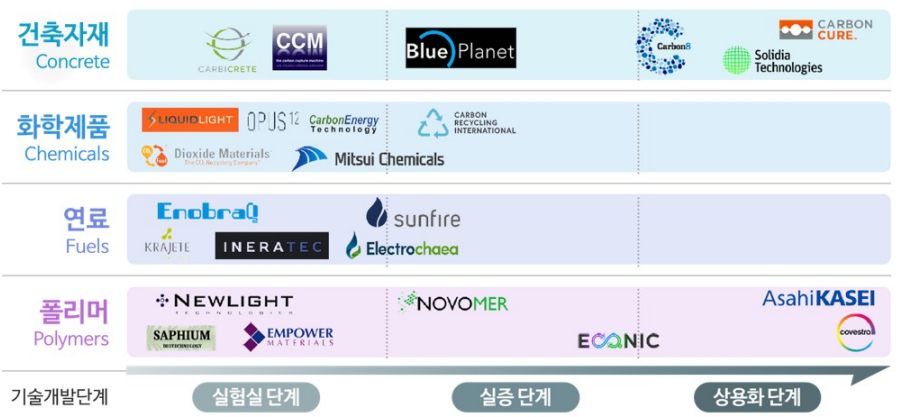
□ 많은 글로벌 기업에서 선도적으로 CCU 기술 확보 및 CO_2 제품화 기술의 상업화 추진

○ (일본, 아사히카세이) 에틸렌 카보네이트 제조 및 기술 package License를 통해 전 세계로 CO_2 전환공정 기술 판매 중

○ (독일, 코베스트로) 지속 가능 전략제품으로 폴리올 원료를 사용한 폴리우레탄 제품 판매 중

○ (사우디, 아람코) CO_2 이용기술을 보유하고 있던 미국의 노보머社로부터 폴리프로필렌 카보네이트(제품명 converge®) 기술을 인수하여 접착제, 단열재, 엘라스토머 등의 용도로 판매 중

○ (미국, Empower Materials) 바인더용 폴리머 QPAC®을 판매하고 있으며 생분해특성을 지니고 있음



[그림 Ⅴ-60] 주요 CCU 산업체 현황 (Lux Research, 2019)

□ 다른 동식물 원료대비 영양소 추출 비용이 높은 미세조류는 고부가가치 유용물질인 건강기능식품, 천연/바이오 의약품 및 화장품 소재 생산 위주로 산업적 활용이 확산되는 추세

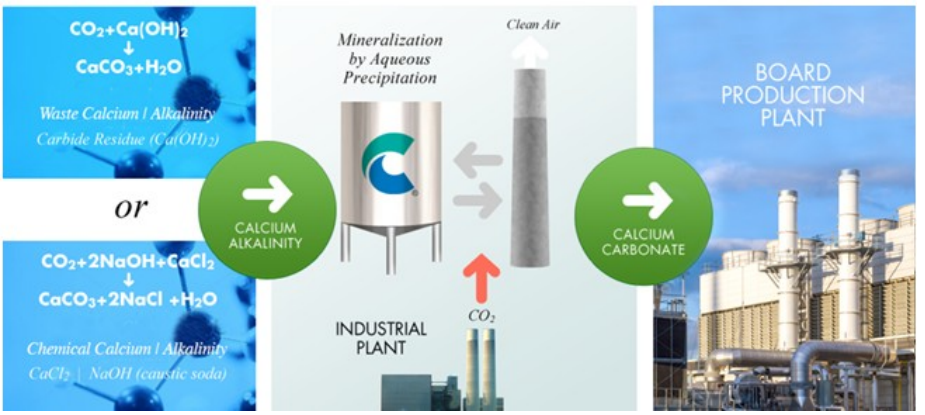
〈표 Ⅴ-52〉 광합성 미생물(미세조류) 기반 유용물질 생산 동향 (한국화학연구원, 2020), (연구개발특구진흥재단, 2019)

기관명	국가	생산제품
Kerry	아일랜드	식품첨가제(카르기난)
DowDupont	미국	식품첨가제(카르기난), 의료소재(알지네이트)
Cargill	미국	식품첨가제(카르기난), 의료소재(알지네이트)
Solix	미국	건강식품(아스타잔틴, DHA, 오메가-3)
Sapphaire Energy	미국	오메가-3 오일, 동물사료 성분
DIC corporation	일본	스피룰리나 (식이보충제) 생산
Corbion	네덜란드	식품첨가제, 동물사료 보충제 생산
Cyanotech corporation	미국	건강식품, 동물사료, 다이어트 식품 보충제
Royal DSM	네델란드	오메가-3 생산
Cellena Inc.	미국	오메가-3 EPA, DHA, 동물사료, 바이오 연료
Taiwan Chlorella	대만	클로렐라 추출 물질
BlueBioTech Int. GmbH	독일	피코시아닌, 아스타잔틴, 미세조류 파우더

□ 광물 탄산화 기술은 다른 CCU 기술 대비 유리한 기술의 성숙도, 시장 활용성을 가지고 있어 적극적 상용화 추진이 필요한 기술로, 여러 건설자재 생산 기업체에서 친환경 기술로 상용화 추진

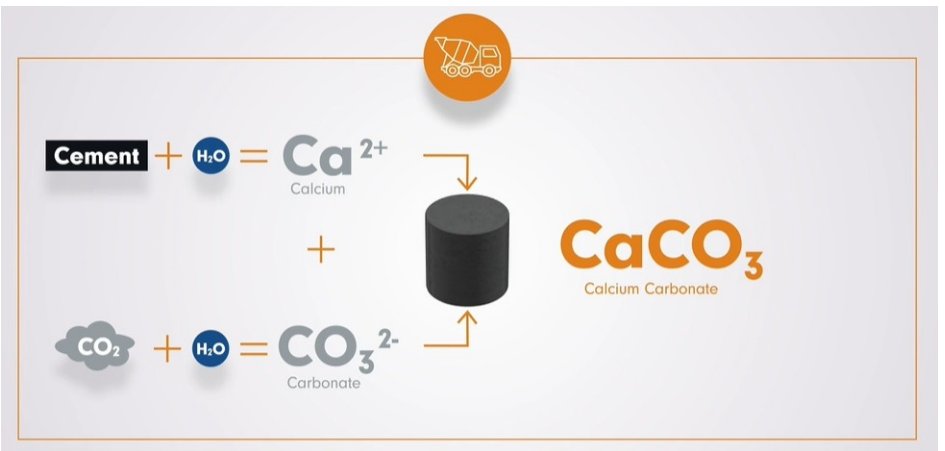
○ (독일, Heidelberg Cement) precast hardening, concrete recarbonation 등의 기술을 통해 폐시멘트/콘크리트를 재활용

○ (미국, Calera) Ca/alkali를 포함하는 용액과 CO_2를 반응시켜 탄산칼슘 포함 물질을 생산하며, 이를 통해 생산한 탄산칼슘($CaCO_3$, cement 등)을 건축재 등으로 판매



[그림 V-61] Calera의 기술 개념도 (Calera, 2012)

○ (캐나다, CarbonCure) 프리캐스트 및 레미콘에 CO_2 직접주입·양생 기술을 적용하고 있으며 연 13.5만톤의 CO_2 배출 저감



[그림 V-62] CarbonCure의 CO2 포집 방식 (CarbonCure 홈페이지)

(2) 국내 산업동향

□ CO_2 직접활용(드라이아이스, 음료 등)의 소규모 시장은 존재하나, 화학원료, 연료, 폴리머 등의 시장은 거의 없음

□ 현재 선진국의 탄소국경세 적용 및 탄소중립 제품에 대한 요구로 CCU 기술 및 시장 확보에 산업계의 관심이 매우 높아지고 있고, 국내 많은 기업에서 이를 위한 실증사업 참여나 기술 인수 등의 노력을 하고 있음

○ (파이코일바이오텍코리아(PBK)) 미세조류 인공배양과 이를 이용해 DHA를 생산 판매 중

○ (부흥사업사, POSCO, 대우건설, 테크윈 등) 국내 기업체는 연구기관과 협력체계를 형성하여 CCU기술 인수 및 실증 연구 진행 중

○ (SK이노베이션) 아주대에서 개발된 지방족 폴리카보네이트 기술을 이전받아 그린폴이라는 명으로 상용화를 추진하고자 했으나, 현재는 생산 중단 상태

라. 정책 동향

(1) 국외 정책동향

〈EU〉

□ (SET-Plan(Strategic Energy Technology Plan, 전략적 에너지 기술 계획)) 2015년 9월 저탄소 기술의 개발 보급 가속화 목표를 발표했으며, CCS와 CCU 내용이 포함됨

□ (Innovation Fund) 2021년부터 EU ETS의 배출허용량 경매에 자금을 지원하는 유럽 위원회에서 설계한 펀드로, 광범위한 저탄소 기술 포트폴리오 중 혁신적인 CCU 기술개발에 투자될 것으로 예상

□ (기후보호계획 2050) 독일의 기후변화대응 계획으로 산업부문 이산화탄소 감축 주요 기술로 CCU를 언급함. 현재 15개의 시범사업이 제안되어 상업 규모로 가동되고 있으며, 연료·화학물질 생산 등에 집중되어 있음

〈미국〉

□ (45Q Tax Credit) CO2 유래 제품과 시장 내 기존 업체 간 상업적 격차를 해소하기 위하여, 경제적 장려책인 인센티브 제도를 도입. 2018년 2월 미국 의회에서 세액 공제 혜택을 확대·개혁하는 법안을 통과시킴

○ 인증된 탄소 배출 시설(발전소 및 산업시설)에서 포집된 이산화탄소에 대한 세액 공제를 제공하고, 이에 대한 혜택을 12년간 보장

○ 기존에 저장 및 석유회수증진(EOR) 기술에만 적용되어오던 혜택을 CCU 기술을 포함한 상대적으로 규모가 작은 상업 프로젝트 사업자들도 받을 수 있도록 새로운 카테고리를 신설하여, CCU 기술에 대한 투자 확대 및 기술 확산을 장려

□ (Carbon Use and Reuse R&D Portfolio) 미국 에너지부(DOE) 청정석탄 및 탄소관리국(Office of Clean Coal and Carbon Management in Fossil Energy)에서 수익 창출 목적으로 CCU 프로젝트 및 R&D 이니셔티브 지원

〈기타 주요국〉

□ (일본) 일본 경제산업성 및 신에너지산업기술 개발기구의 후원하에 2016년 Carbon Utilization Roadmap 1.0을 발표하였으며, 이 로드맵에서는 2030년 CCU 상용화를 위한 글로벌 로드맵을 제안

□ (중국) 2015년 CCS Demonstration and Deployment 로드맵 발표 및 파리협정 체결에 따라 제출한 INDC에서는 온실가스 감축을 위한 CCUS R&D 프로그램을 강화할 것을 명시

(2) 국내 정책동향

□ (탄소중립 기술혁신 추진전략, '21.03.) '2050 탄소중립'을 기술적으로 지원하기 위한 10대 핵심기술*에 CCUS 기술 포함

* 에너지 전환(①태양광·풍력, ②수소, ③바이오에너지), 산업 저탄소화(④철강·시멘트, ⑤석유화학, ⑥산업공정 고도화, ⑩CCUS), 에너지 효율(⑦수송효율, ⑧건물효율, ⑨디지털화)

○ (기술개발) ① 혁신소개 개발, 효율 향상, 대형화로 비용 절감 ② 국내환경(배출원, 저장소, 시장수요)기반 실증연구를 통한 검증·안정성 확보

○ (정책·제도) ① CCUS 산업생태계 조성, 국가 관리·평가 체계 구축, 민간확산을 위한 인센티브 도입, ② CCS 사회적 수용성 확보, CO_2 이송·저장·활용 관련 법령 정비

□ (이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술혁신 로드맵, '21.06.) CCU 기술의 기업참여를 유인하고 전략적 투자를 뒷받침할 중장기 R&D 로드맵

○ 기술·시장경쟁력, 온실가스 감축효과 등을 고려하여 2040년까지 기존 석유계 제품에 상응하는 시장가격 수준으로 가격경쟁력 확보가 가능할 59개 중점투자기술 선정 및 2030년까지 상용화 가능한 14개 제품 선정

〈표 Ⅴ-53〉 '30년 상용화 제품 후보군 (CCU 기술혁신 로드맵, 2021)

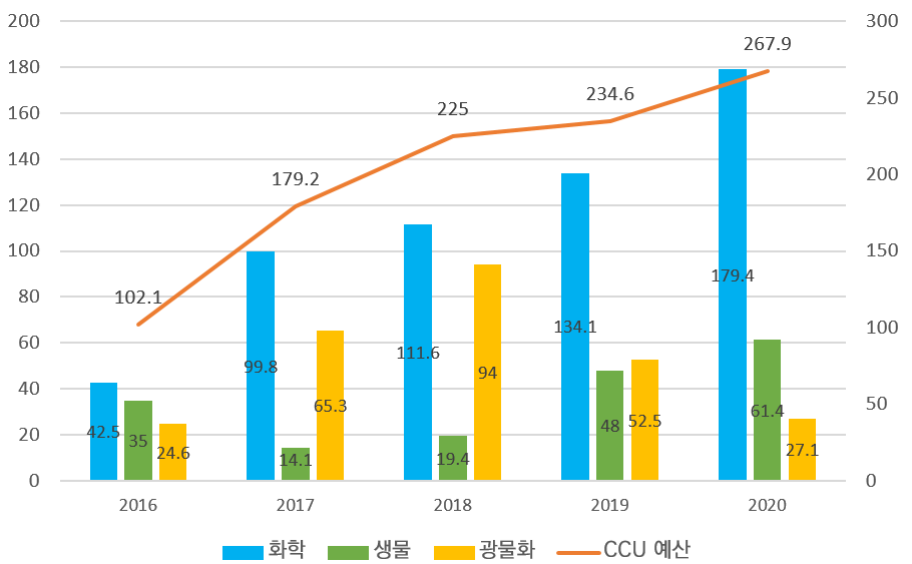
기술분야	제품군	CCU 제품
화학전환	① 플랫폼화합물	①합성가스, ②메탄올
	② 유기산	③초산, ④개미산, ⑤옥살산
	③ 유기카보네이트	⑥디메틸카보네이트, ⑦알킬렌카보네이트
	④ 탄화수소	⑧올레핀
	⑤ 고분자	⑨폴리카보네이트, ⑩폴리우레탄
광물 탄산화	① 시멘트 및 건설소재	①CO2 양생 및 반응경화시멘트, ②CO_2 광물화 건설소재
	② 무기탄산계화합물	③탄산칼슘, ④중탄산나트륨($NaHCO_3$)

마. 정부 R&D 투자 동향

□ 2016~2019년 CCUS 관련 정부R&D사업을 대상*으로 CCU 기술의 연구투자비를 분석한 결과, 연평균 21.3%의 증가율을 보이며 가파르게 상승하고 있음

○ 화학적 전환기술의 투자 비율이 가장 높으며, 광물화 기술 투자는 다소 감소

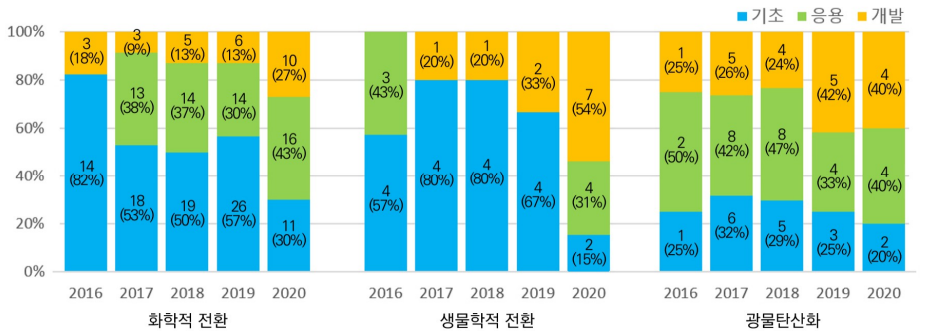
* 과제관리, 연구기획, 인력양성 그리고 출연연구소 고유사업으로 편성된 과제는 제외함. CO_2 포집 과제는 제외함. 예산체계 상 세부사업으로 수행된 세부과제 단위로 함



[그림 Ⅴ-63] 기술별 CCU R&D 투자규모 추이 (한국화학연구원, 2021)

□ 세부과제 개수 기준으로 기초연구단계의 과제 비중은 점점 줄어들고 있으며, 응용연구와 개발연구 과제의 비중은 증가하고 있음

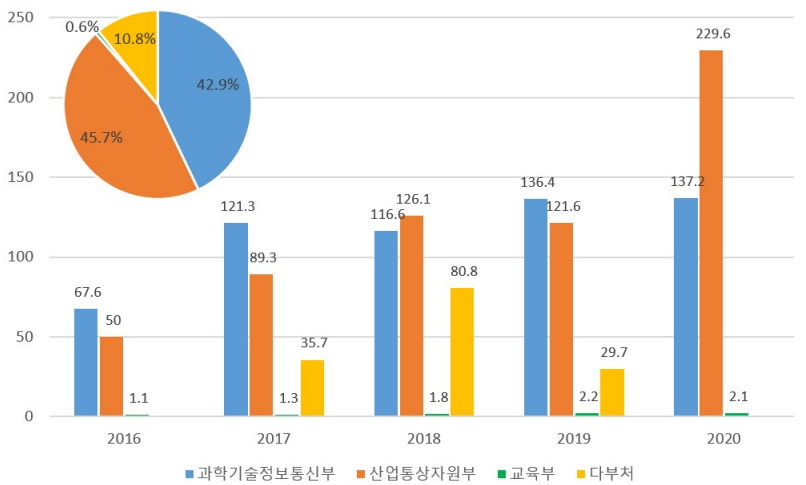
* 기초 : 68%('16) → 25%('20) / 응용 : 18%('16) → 40%('20) / 개발 : 14%('16) → 35%('20)



[그림 V-64] 연구개발단계에 따른 세부과제 비중 (한국화학연구원, 2021)

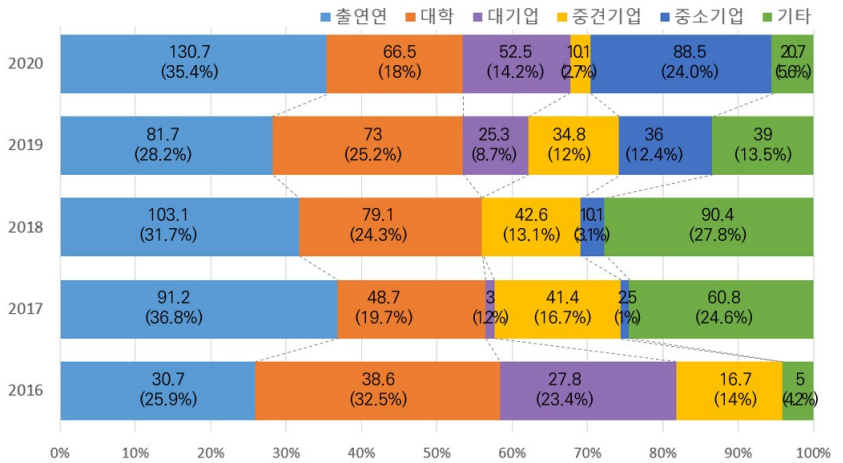
□ 3개 부처(과기정통부, 산업부, 교육부)에서 CCU 과제가 수행됨

○ 예산 비중은 과기정통부와 산업부의 비중이 크며 5년 평균 약 88% 수준임



[그림 V-65] CCU 기술 부처별 투자규모 및 비중 (한국화학연구원, 2021)

□ 2020년 출연연구소(130.7억 원, 35.4%)의 집행 비중이 가장 높고, 다음으로 중소기업(88.5억 원, 24.0%), 대학(66.5억 원, 18%) 순임



[그림 Ⅴ-66] CCU 분야 연구수행주체별 투자규모 (단위:억 원)
(한국화학연구원, 2021)

바. 결론

□ 세계적으로 CCU 기술이 탄소중립을 위한 핵심기술로 제시되고 있으며, 우리나라 역시 탄소중립 시나리오에서 CCU 기술의 비중이 높은 상황

○ 특히 우리나라는 지형적 한계로 신재생에너지 및 바이오매스 사용의 한계가 있어 탄소 저감 수단으로 CCU 기술 의존성이 더 높다고 볼 수 있음

○ 전세계 탈탄소·친환경 정책 강화로 인해 CCU 기술의 필요성은 지속적으로 높아질 것

□ CCU 기술의 중요성에 비해 상용화된 기술이 적고, CO_2 저감효과가 높은 기술들은 그 수준이 상용화에 미치지 못하고 있는 상황

○ 주요 상용화 기술인 CO_2 제품화 기술은 시장규모가 작아 CO_2 저감효과가 크지 않으며, CO_2 감축효과가 큰 연·원료 대체 기술 및 공정 대체 기술은 에너지 한계와 현 공정 전환의 부담을 극복해야 하는 문제가 남음

□ 국내·외 주요기업들은 연구기관과 협력하여 선제적인 CCU 기술시장 선점을 위한 상용화 기술 확보에 노력하고 있음

○ 국내·외로 미세조류 활용 고부가제품, 폴리카보네이트, 폴리우레탄, 탄산칼슘과 같은 제품이 친환경 상품으로 상용화되어 판매되고 있으며, 액체연료, 합성가스, 메탄올과 같은 파급효과가 큰 기초원료 생산기술의 실증연구가 진행되고 있음

□ 국내·외로 기술 수준을 상용화 수준으로 끌어올리기 위한 연구투자가 계속되고 있으며, 정부의 정책적 지원 의지가 강함

○ 주요국의 시나리오, 로드맵, 계획 등에서 CCU를 탄소중립 주요수단으로 제시하고 있으며, 유럽, 미국, 캐나다 등에서 대규모 R&D 지원 프로그램이 운영되고 있음

Ⅵ. 결 론

□ 본 연구에서는 위드 코로나-19 팬데믹에 대응하는 국내·외 과학기술 투자전략을 분석하고 지식전환시대의 정부 R&D 투자전략과 의제 발굴과 정책을 제언

○ 글로벌R&D 투자 동향 및 전략을 파악하고 우리나라의 현황 및 대안분석을 통해 2023년도 정부R&D투자전략 아젠다를 도출

○ With COVID-19, 기후변화, 4차산업혁명기의 유망기술 트렌드와 기술혁신 투자를 조망하고, 기존 유망기술(6T)의 성장과 4차 산업혁명기를 주도할 융합·선도기술 분석

□ 이어서, 국가 경쟁력 향상을 위한 주요 분야인 바이오헬스(의약품·의료기기·첨단재생의료)에 대한 국내외 기술 수준, 정책 등을 분석 후 투자전략을 수립하여 시사점을 발굴

○ 의약품

- 바이오헬스 분야 중에서 글로벌 시장 및 산업 규모가 가장 크고 성장속도도 빠른 제약산업의 경우에는 신약개발 전주기 지원체계에서 정부 R&D의 역할, 민간 주도의 신약개발과 민관 협력 등을 고려한 R&D 투자전략 마련이 요구됨
- 국내 제약산업의 글로벌 시장 점유율이 2018년 기준 1.6% 수준에서 꾸준히 확대하기 위해서는 신약개발 전주기 지원체계에서 정부R&D의 역할, 민간의 신약개발 연구주도 및 산업생태계에서의 적극적인 오픈이노베이션 등이 필요

○ 의료기기

- 국내 의료기기는 일부 두각을 나타내는 부문(초음파영상진단기기, 치과임플란트, 체외진단시약 등)이 있으나, 전체적인 의료기기 수입의존도가 높고 민간R&D 투자가 취약하여 국내 기업의 기술력과 시장경쟁력 제고를 위한 정부의 지속적인 지원이 필요
- 해외 의존도 완화와 세계시장 점유율 확대를 위해 정부 차원에서 부품·소재 등 요소기술 및 제품화기술의 국산화, 신개념 융합형 의료기기 개발을 지원하는 등 정부 주도의 산업육성 전략이 필요

○ 첨단재생의료

- 첨단재생의료 영역에서는 줄기세포 치료의 다양성·혁신성이 확보되도록 차세대 원천기술 및 치료제기술 확보를 위한 중개연구, 줄기세포 치료제 플랫폼기술 개발 등에는 정부R&D의 역할이 중요

□ 또한, 지속가능한 발전을 위해 그간의 과학기술 성과 분석, 주요국 정책 동향을 바탕으로 정책이슈를 도출하고 중장기적 R&D 투자전략을 제시

○ 민간 주도의 R&D 기획을 장려하고 제도적인 지원방안 마련 등 정책이슈 도출

○ 주요국의 디지털 전환, 사회적 포용 공감대 형성 등 정책방향을 바탕으로 우리나라의 중장기적 R&D 투자전략 마련 필요

○ 급변하는 대외 환경변화와 예산 규모를 고려한 국가R&D 투자 목표 및 포트폴리오 설정을 위한 중장기적 전략 제시

□ 2021년 기술동향브리프에 수록된 16개 유망 기술 분야는 각 기술별로 ① 연구 배경 ② 기술 ③ 산업 ④ 정책 ⑤ 투자 동향을 포함하여 주제별 시사점을 제시하였으며(별책), 미래 우리 삶과 관련성이 높을 것으로 보이는 7개 기술을 발굴·분석

○ 유망 기술 분야인 대체육(代替肉), 수소생산, 스마트농업, 스마트 디바이스용 센서, 개인용 항공기(PAV), 연료전지, 해수담수화, 백신 플랫폼 기술, 대형연구시설 구축－중이온 가속기를 중심으로, 안티드론, 감염병 진단기술, 철도신호시스템, 태양광 폐패널 재활용 기술, 해양플라스틱 쓰레기 저감 기술, 감염병 방역기술, 전기 상용차 등의 분야를 기술동향브리프로 발간

○ 21년도 주요 기술로는 시스템반도체, 양자정보기술, 친환경 선박, 소재 신연구방법론, 6G, 소형모듈원자로, CCU(탄소포집기술) 등을 선정하여 분석

□ [부록편 I] 의 풀뿌리 연구 1개 주제는 아래의 시사점을 제시함

○ 학문분야별 지원체계 도입에 따른 기초연구 이슈 및 정책과제 도출 연구

- 연구자 주도 기초연구 의존도가 높은 학문분야의 경우, 연구자 주도 기초연구 사업의 선정률을 높은 수준으로 조정하는 등 정부지원의 형평성을 고려하는 방안 마련 필요
- 학문분야별 과제당 연구비 설정 시 연구계 수요뿐 아니라 기초연구를 지원하는 정부 연구개발사업을 전체적으로 고려할 필요
- 학문분야별 성별 및 지역별 연구수행 비율 차이를 고려하여 여성 및 지역 배려기준을 재설정할 필요

□ [부록편 II] 의 2개의 위탁과제에서는 아래의 시사점을 제시함

○ 학문분야별 기초연구 지원체계의 현장 적용을 위한 가이드라인 수립 연구

- 학문분야의 연구비 수주불균형을 해소하기 위해서는 분야별 기초연구사업 의존도가 다르므로 기초연구사업 뿐만 아니라 국책연구사업 중 원천기술개발사업의 기초 및 일부 응용 분야 사업을 연구자 주도 분야별 지원체계에 편입하여 운영할 필요가 있으며 교육부 사업도 분야별 지원체계 적용을 고려할 필요
- 분야별 지원체계가 정착되기 위해서는 수요사업별 지원체계에 맞추어져 있는 정부예산 구조를 분야별로 상이한 연구개발 성격과 연구비 규모 등을 유연하게 반영할 수 있는 분야별 지원체계에 맞는 정부예산구조로의 변화가 필요
- 분야별로 연구비가 조정되더라도 유연한 기초연구비 집행 및 신생 혹은 보호 분야에 대한 연구과제 선정을 위해서는 예비비 등을 책정하고 적절한 집행 승인과정을 거쳐 활용할 수 있는 제도 도입이 필요
- 분야별 지원체계 운영시 학문단 별 예산 조정시 PM협의체 등에 조정 권한을 부여할 필요

○ 정부 데이터 관련 사업 현황 분석 및 유형 체계화 연구

- 데이터 및 인공지능의 중요성이 대두되고 디지털뉴딜 사업이 진행되면서 부처별로 다양한 사업이 추진되는 가운데 사업의 성과가 효과적으로 활용되고 사업간 중복이나 연계 부분을 효율화할 수 있는 검토지표를 도출하기 위해, 유형화 지표에 따른 다양한 관점으로 현재의 사업들을 분석하여 사업 검토 리스트를 제안
- 데이터 관점으로 데이터의 희소성, 공공성 및 활용을 위한 법적 이슈를 검토대상으로 제안하였으며, 사업 검토의 관점에서 중요사항인 R&D/비R&D 역할분담, 타부처사업과의 유사중복성 및 연계방안, 부처내 사업 유형별 포트폴리오의 검토가 필요하다고 판단하였으며, 특히 데이터의 확보와 가공을 위한 사업이 '인공지능 개발 사업'의 기반이 된다는 관점에서 데이터 Value-chain이라는 새로운 관점을 제안
- 플랫폼의 관점에서, 빅데이터플랫폼 및 센터구축사업 등 대단위로 이루어지는 다양한 플랫폼사업과 부처별 개별 플랫폼이 혼재해 있는 상황을 감안할 때, 플랫폼간의 유사성 및 연계방안, 플랫폼을 뛰어넘는 데이터포털 형태의 공유방안 역시 검토의 대상

참고문헌

A. Kochnev, et al. "Electromagnetic Reflectance Measurements of Human Palms in Sub-THz Frequency Band," IRMMW-THz conference, Sep 2019.

BIS Research, “Global 5G Infrastructure Market”, 2019.3

Burger et al. (2020). A Mobile Robotic Chemist, Nature.

Coley et al. (2019). A Robotic Platform for Flow Synthesis of Organic Compounds Informed by AI Planning, Science.

DCI, Packet-Optical, and OTN Equipment Market Tracker (OMDIA, 2020.5)

E. Blandford, et al.(2020), Kairos power thermal hydraulics research and development, Nuclear Engineering and Design 364, 1-11.

EDF lead consortium(2019), Status Report-NUWARD.

EMC Directives, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32014L0030.

Enterprise Network Equipment, 3Q20 (Gartner, 2020.10)

Epps et al. (2020). Artificial Chemist: An Autonomous Quantum Dot Synthesis Bot, Advanced Materials.

Forecast Analysis : Application Infrastructure and Middleware Software (Gartner, 2019.8)

Forecast: Communications Service Provider Operational Technology, 3Q20 Update (Gartner, 2020.9)

Frost&Sullivan, 2019

Gartner, Forecast: Communications Service Provider Operational Technology, 2021. 9.

Global Battery Market Report 2020-2027

Global CO2 Initiative(2016), Global CO2 initiative launches with ambitious strategy to reduce atmospheric CO2

Gomez-Bombarelli et al. (2016). Design of efficient molecular organic light-emitting diodes by a high-throughput virtual screening and experimental approach. Nature Materials.

Gomez-Bombarelli et al. (2018). Automatic Chemical Design Using a Data-Driven Continuous Representation of Molecules, ACS Central Science.

Granda et al. (2018). Controlling An Organic Synthesis Robot with Machine Learning to Search for New Reactivity, Nature.

GSA, “The Road to 5G”, 2015.11

Ho-Jin Song, "LOS Channel Response Measurement at 300 GHz for Short-Range Wireless Communication," IEEE WCNC Workshop, Apr. 2020.

IAEA(2020), Advances In Small Modular Reactor Technology Developments.

IBK경제연구소, “5세대 이동통신(5G)이 가져올 미래”, 2018.6

IDC, Market Share: PCs, Ultramobiles and Mobile Phones, 2021. 8

IDC, Mobile Phone Semiconductor Market Share, 2021. 3

IDC, Worldwide Mobile Phone Forecast Update, 2021. 9

IEA(2019), Putting CO2 to Use

IEA(2020) Energy Technology Perspectives

IEA(2021) Net Zero by 2050

IEC (2021), White Paper Quantum information technology, 2021.10.20

IHS, “Mobile and Telecom Network Equipment and Software”, 2018.7

IITP (2020),「2019 ICT 기술수준조사 및 기술경쟁력 분석 보고서」.

IITP (2020),「월간 ICT 산업 동향(2020-10호)」.

IQVIA(2021), Global Oncology Trends 2021

J. Choe, et al.(2018), Fuel Cycle Flexibility Of Terrestrial Energy’s Integral Molten Salt Reactor.

J. M. Eckhardt, T. Doeker, S. Rey, and T. Kurner, “Measurements in a real data center at 300 GHz and recent results,” EuCAP, Mar. 2019.

J. Wang, et al. "THz in vivo measurements: the effects of pressure on skin reflectivity," Biomedical Optics Express, 2018.

K. A. Baksheeva, et al. "The Sub-THz Emission of the Human Body Under Physiological Stress," IEEE Trans. on Terahertz Science and Technology, July 2021.

KAIST 바이오헬스케어 혁신정책센터 홈페이지, (https://www.chip.kaist.ac.kr/)

Katy Armstrong, Peter Styring(2015), Assessing the potential of utilization and storage strategies for post-combustion CO2 emissions reduction

KDB산업은행(2019),「반도체산업 주요현안 및 경쟁력 강화방안」.

KIAT (2018),「차세대 반도체 - 산업 분석 및 산업기술인력 조사 보고서」.

KIAT (2019),「2019년도 산업기술인력 수급실태 조사보고서」.

Kim et al. (2018). Deep-Learning-Based Inverse Design Model for Intelligent Discovery of Organic Molecules, npj Computational Materials.

Kim et al. (2020). Artificial Intelligence to Accelerate the Discovery of N2 Electroreduction Catalysts, Chemistry of Materials.

Kim et al. (2020). Inverse Design of Porous Materials Using Artificial Neural Networks, Science Advances.

Kim et al. (2021). Deep Learning-Based Prediction of Material Properties Using Chemical Compositions and Diffraction Patterns as Experimentally Accessible Inputs, Journal of Physical Chemistry Letters.

KISTEP (2018), 미국, '국가양자이니셔티브' 법안 발표, S&T GPS, 2018.12.21.

KISTEP (2018), 혁신적 양자기술 투자 방안 발표, S&T GPS, 2018.11.01.

KISTEP (2019), '양자정보과학', 과학기술&ICT정책·기술 동향 No.138. 2019.03.15.

KISTEP (2021),「(S&T GPS) 일본, 반도체·디지털 산업전략 발표」.

KISTEP (2021),「2020년도 예비타당성조사 보고서 PIM 인공지능 반도체 핵심기술개발사업」.

KISTEP (2021),「차량용 반도체 공급부족 이슈와 정부 R&D 지원 방안」.

KISTEP (2021), 양자기술혁신전략, S&T GPS, 2020.01.21.

KISTEP(2017), 바이오경제 실현을 위한 바이오헬스산업 이슈 진단

KISTEP(2018), 일본의 연구개발 동향

KISTEP(2020), 비대면 시대, 비대면 의료 국내외 현황과 발전방향

KOTRA(2020), '치료'에서 '예방'으로, 일본 헬스테크 스타트업 등장

KOTRA(2020), 비대면 일상으로 뜨는 중국 원격의료

KOTRA(2021), 2021 국가별진출전략(영국)

KOTRA(2021), 2021년 중국 AI 의료 시장 동향

KOTRA(2021), 일본 디지털 헬스케어시장 현황과 프로그램 의료기기(SaMD) 전망

KOTRA(2021), 중국 의료 빅데이터 구축과 스마트의료 산업의 융합

KOTRA(2021), 초고령사회를 대비하는 일본의 IT 돌봄간호기기

Langner et al. (2020). Film Fabrication Techniques: Beyond Ternary OPV: High-Throughput Experimentation and Self-Driving Laboratories Optimize Multicompont Systems, Advanced Materials.

LG경제연구원(2011), 이산화탄소 재활용하는 CCU 기술의 개발 빨라지고 있다

Liu et al. (2018). Generative Model for the Inverse Design of Metasurfaces, Nano Letters.

Ma et al. (2015). Machine-Learning-Augmented Chemisorption Model for CO2 Electroreduction Catalyst Screening, Journal of Physical Chemistry Letters.

Macleod et al. (2020). Self-driving laboratory for accelerated discovery of thin-film materials, Science Advances.

Macrocell Mobile Backhaul Equipment Market Tracker (OMDIA, 2020.12)

Mind Commerce, “Global IoT Technology Market Network Infrastructure Type 2018-2023”, 2018

Mordor Intelligence Analysis, 2019

N. Betzalel, et al. "The modeling of the absorbance of Sub-THz radiation by human skin," IEEE Trans. on Terahertz Science and Technology, Sept. 2017.

Naveed A. Abbasi, et. al. “Channel Measurements and Path loss Modeling for Indoor THz Communication,” EuCAP, Mar. 2020.

Nico J. Claassens(2016) Harnessing the power of microbial autotrophy

Noh et al. (2019). Inverse Design of Solid-State Materials via a Continuous Representation, Matter.

NuScale Power, LLC(2020), Status Report-NuScale SMR.

OECD NEA(2021), Small Modular Reactors: Challenges and Opportunities, 9.

OMDIA, Mobile Infrastructure Market Tracker, 2021. 8

Pharma Intelligence(2020), Pharma R&D Annual Review 2020

Q. Sun, et al. "In vivo estimation of water diffusivity in occluded human skin using terahertz reflection spectroscopy," Jounral of Biophotonics, July 2018.

Ren et al. (2018). Accelerated Discovery of Metallic Glasses through Iteration of Machine Learning and High-Throughput Experiments, Science Advances.

Rolls-Royce and Partners(2019), Status Report-UK SMR.

S&T GPS(2019), 중국, 2019년 국가중점연구개발프로그램 예산 배분

S&T GPS(2020), 일본, 바이오 기술 '포스트 5차 산업혁명'발표

S&T GPS(2020), 중국 국가 과학기술 프로그램 추진 현황

S&T GPS(2021), 영국, 헬스·바이오사이언스 이니셔티브 추진

S&T GPS(2021), 일본 제6기 과학기술·혁신기본계획 정책 방향

S. Abu-Surray et. al., End-to-end 140GHz Wireless Link Demonstration with Fully-Digital Beamforming System, 2020.

S. L. H. Nguyen, K. Haneda, J. Jarvelainen, A. Karttunen, and J. Putkonen, "Large-scale parameters of spatio-temporal short-range indoor backhaul channels at 140 GHz," IEEE VTC Spring, Apr. 2021.

Skyonic(2016) Recovery Act: SkyMine® Beneficial CO2 Use Project

SNS Research

Stephen M. Goldberg, Robert Rosner(2011), Nuclear Reactors: Generation to Generation, 1-3.

Tang, Pan, et al. "Channel measurement and path loss modeling from 220 GHz to 330 GHz for 6G wireless communications." China Communications, May 2021.

Tao et al. (2021). Self-Driving Platform for Metal Nanoparticle Synthesis: Combining Microfluidics and Machine Learning, Advanced Functional Materials.

Tehrani et al. (2018). Machine Learning Directed Search for Ultraincompressible, Superhard Materials, Journal of the American Chemical Society.

Time Sensitive Networking Market Global Forecast To 2024(MarketsandMarekts, 2017)

Xie et al. (2018). Crystal Graph Convolutional Neural Networks for an Accurate and Interpretable Prediction of Material Properties, Physical Review Letters.

Xing and T. S. Rappaport, “Millimeter wave and terahertz urban microcell propagation measurements and models,” submitted to IEEE Commun. Lett., Sep. 2021.

Y. Xing, T. S. Rappaport, and A. Ghosh, “Millimeter wave and sub-THz indoor radio propagation channel measurements, models, and comparisons in an office environment, IEEE Commun. Lett, Oct. 2021.

Yang et al. (2021). Discovery of complex oxides via automated experiments and data science. PNAS USA

Ziletti et al. (2018). Insightful Classification of Crystal Structures Using Deep Learning, Nature Communications.

(사)국가미래연구원(2019), 오태광, 줄기세포 기술발전의 최근 동향과 시장전망

“6G 핵심기술개발사업” 기획보고서, 2019.8

5G Business Services Market by Enterprise, Industrial, and Government Segment Applications, Services, and Solutions 2019-2024 (Mind Commerce, 2019)

5G 국제표준화결과 〈ITU-R WP5D 국제회의 결과를 중심으로〉, 임재우, 2021.3

6G Wireless Summit, 2019.3

6G 시대를 선도하기 위한 미래 이동통신 R&D 추진전략, 과기정통부, 2020

6G 통신에 대비한 RF 기술동향, 대한전자공학회지, 2020

가스신문(2021), 에너지전환과 탄소중립 구현 브리지기술 CCUS에 세계가 집중

과기정통부. (2021). 2022년도 국가연구개발 투자방향 및 기준. 2021.3

과학기술정보통신부 (2021), 양자 기술 연구개발 투자전략(안), 2021.04.30.

과학기술정보통신부 보도자료, 미래 양자기술·산업 육성법 마련·시행(6.10일), 2021.06.9.

과학기술정책연구원(2017), 정병걸, 중국의 과학기술정책과 행정체계 변화

관계부처 합동(2020), 제3차 국가생명연구자원 관리·활용 기본계획('20~'25)(안)

관계부처 합동(2020), 탄소중립 추진전략

관계부처 합동(2021), 이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술혁신 로드맵

관계부처 합동(2021), 첨단재생의료·첨단바이오의약품 기본계획 - 첨단재생바이오 2025 발전전략 -

관계부처합동 (2019),「시스템반도체 비전과 전략」.

관계부처합동 (2020),「AI 반도체 산업 발전 전략(시스템반도체 비전과 전략 2.0)」.

관계부처합동 (2021),「BIG3 산업별 중점 추진 과제」.

관계부처합동(2020).「 제1차 제1차 친환경 선박 개발·보급 기본계획('21~'30)」.

국가연구개발사업 조사·분석 통계(NTIS), https://www.ntis.go.kr/

국가임상시험재단(2021), '20년 한국 임상시험 산업 정보 통계집, 국가임상시험재단

권이균(2016) Review of CO2 Storage Projects and Driving Strategy of CO2 Storage Program in Korea

김대진(2017).「해운산업 환경규제 강화에 따른 주요국 대응방안과 시사점」. 산은조사월보. 이슈분석. 제740호.

김봉주(2020).「조선산업 친환경·스마트화 동향과 입법·정책과제」. 국회입법조사처. 입법·정책보고서 Vol. 63.

김선하·김희진·최남경(2020), 미국, 유럽, 일본의 의약품 시판 후 안전관리제도 현황:위해성 관리 계획을 중심으로, 약물역학위해관리학회지

녹색기술센터(2021) 주요국 탄소중립 기술정책 동향

대외경제정책연구원(2018), 일본의 제조업 혁신 정책 추진 현황과 시사점: 'Connected Industries' 를 중심으로

메리츠증권, "5G 산업 심층 분석", 2018

미래창조과학부, "5G 이동통신 산업발전전략", 2016.12

미래창조과학부(2016), 정부「탄소자원화 국가전략프로젝트 실증 로드맵」발표

박성수·송호영 (2019), 양자정보통신기술 현황과 전망, 전자통신동향분석 제34권 제2호. 2019.04

백준현(2016) 이산화탄소의 화학적 전환에 의한 폴리카보네이트 및 폴리우레탄의 원료 합성

보건복지부· 한국보건산업진흥원(2019), 제4회 헬스케어 미래포럼, 박소라, 첨단재생바이오법 제정 의의와 재생의료 발전방향

산업연구원(2017), 최윤희·황원식, 스마트헬스케어산업의 사회경제적 효과와 정책적 시사점

산업연구원(2020), 산업별·기업별 연구개발투자

산업연구원(2020), 주요산업동향지표

산업통상자원부·KIAT(2021).「EU의 선박 분야 탈탄소화를 위한 CHEK 프로젝트」. 글로벌 산업기술·시장동향.

생명공학정책연구센터(2016), 국내외 생명공학 정책동향

생명공학정책연구센터(2018), 2018년 국내외 바이오 정책 및 투자 동향

생명공학정책연구센터(2018), 미 FDA, 재생의료 활성화를 위한 규제 재정비

생명공학정책연구센터(2019), 국외 바이오 정책동향

생명공학정책연구센터(2019), 글로벌 재생의료 시장현황 및 전망

생명공학정책연구센터(2019), 미국 DARPA BTO의 역할 및 기능

생명공학정책연구센터(2020) 2020년 글로벌 희귀의약품 시장 및 전망(2019~25)

생명공학정책연구센터(2020), 2020년 해외 바이오 정책 동향

생명공학정책연구센터(2020), EU, 사회·경제의 혁신적인 변화를 주도할 6개 과학기술 이니셔티브 선정

생명공학정책연구센터(2020), 바이든 정부의 바이오 혁신 정책 전망

생명공학정책연구센터(2021), 2021년 국내·외 BT투자 및 정책동향

생명공학정책연구센터(2021), 2021년 해외 바이오 정책 동향

생명공학정책연구센터(2021), 미국 21세기 치유법의 바이오 규제혁신

생명공학정책연구센터(2021), 중국의 바이오 연구개발 및 투자 동향

서용석·권철민·천강우·은현준(2020).「친환경 선박 대체연료 기술개발 동향」. KEIT PD Issue Report. Vol 20-11.

송동근(2021).「고효율/친환경 선박: 환경오염 규제에 따른 친환경 연료 대체」. 한국IR협의회. 혁신성장품목분석보고서.

송화연·전수용·이든샘(2021).「친환경 선박 전주기 혁신기술개발 사업 예비타당성조사 보고서」. KISTEP.

식품의약품안전처(2019), 임상시험 발전 5개년 종합계획

식품의약품안전처(2020), 의약품 안전관리 제1차 종합계획

식품의약품안전처(2021), `21년 6월 시행되는 개정된 중국 의료기기 감독관리조례

식품의약품안전처/바이오스펙테이터(2018), 임상시험정보

식품의약품안전처· 식품의약품안전평가원(2018), 스마트 헬스케어 의료기기 기술·표준 전략 보고서

식품의약품안전평가원 의료기기 통합정보 BANK(2020), 국가별 의료기기 산업 동향소식지(영국)

에너지경제연구원(2018) 국내외 환경변화에 따른 CCS 정책 추진계획 수립 연구

에너지경제연구원(2021), 세계원전시장 인사이트, 2021.6.25., 18-19.

연구개발특구진흥재단(2019), 조류 제품 시장

윤성원, 한준규, 김연종(2018), 중국의 원자력 정책 및 연구개발 현황. 한국원자력연구원, 원자력정책연구 Brief Report 통권 46호, 15-18.

이지평·류상윤·김혜경(2017).「일본의 4차 산업혁명 추진 동향과 Society 5.0」. LG경제연구원.

이후경·우영민·이민정(2021).「탄소중립을 위한 암모니아 연소기술의 연구개발 필요성」. 한국연소학회지. 제26권 제1호.

임승혁 (2019) 범용양자컴퓨터. 기술동향브리프 2019-19호.

장은혜(2019).「유럽의 친환경 선박 전환 관련 정책 동향」. 한국법제연구원. 이슈페이퍼 19-19-3.

정연욱 외 (2018), 양자컴퓨팅 중장기 추진전략 기획연구 보고서, 한국표준과학연구원, 2018.08.31.

㈜NICE디앤비 (2021),「시스템반도체-4차 산업혁명 시대 한국경제의 체질 개선」.

주요국 6G 주도권 선점 경쟁 본격화, IITP 이은옥. 2020.7

탄소중립위원회(2021), 2030년 온실가스 감축목표 26.3%→40% 대폭 상향

특허청(2020).「조선분야 기술·특허트렌드」.

포스트 5G 시대를 향한 글로벌 주요국 준비 현황, 총무성, 2020.4
한국과학기술기획평가원. (2014). 창의소재 디스커버리 사업 예비타당성 조사보고서. 2014.8
한국과학기술연구원(2019), CCU 기술 국내외 연구동향
한국바이오경제연구센터(2021), 미-중 디커플링이 미국 의료기기산업에 미치는 영향
한국바이오협회(2021), 글로벌 첨단바이오의약품 산업 동향
한국바이오협회(2021), 중국의 바이오산업 최신 동향
한국보건산업진흥원(2017), 아시아 주요 연구전문기관 현황(일본 AMED, 중국CAMS)
한국보건산업진흥원(2018), 중국 의료기기 시장동향
한국보건산업진흥원(2019), 바이오헬스 리포트, 2019.10.30.
한국보건산업진흥원(2019), 의료기기산업 분석 보고서
한국보건산업진흥원(2020), 2020 상반기 글로벌 보건산업 동향 심층 조사
한국보건산업진흥원(2020), 글로벌보건산업동향 367호
한국보건산업진흥원(2021), 글로벌 보건산업 동향 Vol.395
한국산업기술평가관리원(2017), 미국 정부의 바이오의약 지원 정책
한국수출입은행 (2021),「시스템반도체산업 현황 및 전망」.
한국에너지기술연구원(2021), 전 세계 탄소중립 선언 동향 및 평가
한국에너지기술연구원(2021), 탄소중립 기술혁신 추진전략 10대 핵심기술 개발방향
한국연구재단(2019), 주요국의 과학기술정책 및 연구개발 동향 (1) 중국
한국제약바이오협회(2020), 제약바이오 R&D 및 바이오베터 동향
한국제약바이오협회(2020), 항체의약품 시장 및 이중항체의약품 R&D 동향
한국한의학연구원(2021), 중국의 국가 중의약 시스템
한국화학연구원(2020), 이산화탄소 전환(CCU) 기술백서
한국화학연구원(2020), 주요국 CCUS 분야 장기 저탄소 발전전략 분석
한국화학연구원(2021), CCU기술의 특허·논문 조사 분석 보고서
한국화학연구원(2021), 국내 CCUS R&D 현황분석 (2016~2020)
한중과학기술협력센터(2015), 중국 과학기술예산 편성체계 현황 및 전망

한중과학기술협력센터(2019), 중국의 줄기세포 정책 동향
한중과학기술협력센터(2021), 이슈 리포트 – 14차 5개년계획 내 과기동향 분석
해양수산부(2020.2.6.).「해수부, 친환경 관공선 건조 본격 추진한다」. 보도자료.

http://scimonitors.com/
http://www.aitimes.com/news
http://www.qcenter.kr/
https://cir-inc.com/
https://docdb.cept.org/document/6034
https://m.gearbest.com/
https://mmwavecoalition.org/
https://unfccc.int/
https://www.dongascience.com/news.php?idx=31968
https://www.nature.com/articles/nphoton.2013.275
https://www.nature.com/news
https://www.netmanias.com
https://www.weforum.org/
https://www.whitehouse.gov/nsc/

언론보도

대웅제약 뉴스룸(2021), 글로벌 재생의료산업의 현황과 전망, 2021.6.11.

동아사이언스(2017), 줄기세포치료 규제 완화한 EU … 최근 규제 강화 목소리 높아, 2017.1.11.

동아사이언스(2017), 英 엄격한 법 규제에도 인간배아 연구 활발한 이유, 2017.8.9.

메디컬업저버(2019), 다국가임상 증가, 미국·중국 등 자국 유치에 총력, 2019.8.12.

메디팜스투데이(2019), '글로벌 재생의료' 급성장…2024년 768억 달러, 2019.10.25.

바이오타임즈(2021), 미-중 바이오·의약 산업 패권 경쟁, 우리에게는 기회 되나?, 2021.4.15.

보건복지부(2019), [보도자료]「의료기기산업 육성 및 혁신의료기기 지원법」제정으로 산업 육성과 새로운 치료 기회를 제공합니다!, 2019.4.5.

의학신문(2021), 글로벌 재생의료 산업, '급속 성장세', 2021.4.5.

한의신문(2018), 중국중의과학원의 연구 현황은?, 2018.05.18.

한의신문(2019), 한의약정책관실 2020년 예산은 420억여원, 2019.12.27.

후생신보(2017), "6,000조 전통의학 시장을 잡자"…'중의약법' 날개 단 중국, 한국은?, 2017.1.2.

BIOTIMES(2020), [박정윤의 중국 바이오 산업 현황] 중국 유전체 관련 법령 ③, 2020.1.10.

BIOTIMES(2020), [박정윤의 중국 바이오 산업 현황] 국가안보로 여겨지는 바이오 빅데이터 ⑥, 2020.1.17.

M메디소비자뉴스(2020), 日 iPS 세포치료제 개발 '공든탑'… 알츠하이머 등 신약 나오나, 2020.6.22.

부록 Ⅰ

풀뿌리 연구

제1절. 학문분야별 지원체계 도입에 따른 기초연구 이슈 및 정책과제 도출 연구

제1절 학문분야별 지원체계 도입에 따른 기초연구 이슈 및 정책과제 도출 연구

1. 서론

□ (배경) 국가 기초연구 진흥을 위한 「제4차 기초연구진흥종합계획('18~'22)」에는 연구자 중심의 기초연구 혁신 전략의 일환으로 학문분야별 특성과 연구자 수요를 반영한 지원체계의 도입 계획이 포함됨

○ '20년 과기정통부 기초연구사업(개인기초연구, 집단연구지원)을 대상으로 수학 분야부터 단계별 적용이 추진, '22년에는 전체 10대 학문분야에 적용될 예정

※ '20년(수학) → '21년(수학, 물리, 화학, 지구과학, 기초/분자생명, 의학) → '22년 전 분야

[그림 부록-1] 학문분야별 지원체계의 개념

□ (현황/문제점) 학문분야별 지원체계가 전면 도입되는 시기에도 불구하고 그간 학문분야별 연구개발 지원현황 분석을 토대로 한 지원체계의 적용 기준과 지원체계 전환으로 예상되는 파급효과에 대한 다방면의 검토는 부재한 상황

※ 현재 학문분야별 지원체계는 최근 3년간의 지원 예산 중 각 분야가 차지하는 비중을 기준으로 분야별 총 예산을 사전 배분하고, 분야별 연구계 의견을 반영하여 연구비 단가/기간을 자율 조정하는 방식으로 추진하고 있음

○ 최근 수행된 기초연구 관련 연구들은 학문분야별 지원체계의 중요성을 강조하면서 이를 위한 다양한 정책 대안들을 제시하고 있으나, 구체적인 기준 및 전략 마련을 위한 학문분야별 현황 분석은 부족

- 특히, 「기초연구 유형별 중장기 지원 전략 연구」(2020, KISTEP)에서는 각 분야별 지원규모를 결정함에 있어 타 정부연구개발사업과의 연계성을 반영할 것을 제안

○ 학문분야별 예산 배분 기준, 1인당 연구비 규모 설정 등과 관련하여 다양한 이슈 및 예상 문제점들이 제기되고 있음

〈표 부록-1〉 학문분야별 지원체계 전환의 예상 이슈/문제점

구분	예상 이슈/문제점
학문분야별 지원규모 설정	- 최근 3년간 학문분야별 지원 규모를 기준으로 예산을 배분하는 것이 적절한지? - 전체 국가 연구개발사업 내에서 학문분야별 지원규모, 특정 분야의 수요 변동 및 환경 변화에 따른 예산 조정의 가능성을 고려할 필요가 있는지? - 타 정부연구개발사업으로 연구개발 활동이나 인력양성이 지원되기 어려운 학문분야의 경우, 연구자 주도 기초연구 사업의 선정율을 높은 수준으로 조정하는 등 학문분야별 연구수요를 반영할 때 정부지원의 형평성을 고려할 필요가 있는지? - 연구자 주도 기초연구 사업 이외에 기초연구 비중이 높은 대표적인 정부 연구개발사업들의 경우에도 기초연구에 대한 전략적 지원이 가능하도록 투자목표 및 지원계획을 제시하는 것이 필요한지?
학문분야별 연구자 1인당 평균 연구비 규모	- 최근 5년간 기초연구 지원 규모를 토대로 볼 때, 학문분야별 연구자 1인당 최소 필요 금액은 어느 정도인지?

□ (필요성) 학문분야별 지원의 형평성 제고와 효과적인 성과 창출을 위해서는 타 정부연구개발사업을 포함한 전반적인 기초연구 생태계 분석과 중장기적 관점에서의 기초연구 이슈와 문제점에 대한 검토가 필요

□ (연구목적) 본 연구에서는 학문분야별 정부지원 특성을 분석하고, 학문분야별 지원체계의 이슈 및 문제점을 검토해 봄으로써 향후 기초연구의 중장기적 지원 방향 도출 시 고려해야 할 정책연구 수요(과제)를 발굴하고자 함

□ (연구내용) 학문분야별 지원체계의 적용 대상인 「연구자 주도 기초연구 사업군」과 그 외 「타 정부연구개발사업군」을 대상으로 학문분야별 정부지원 특성을 분석하여 추후 고려해야 할 정책적 시사점 및 정책연구 과제(수요) 도출

□ (활용계획) 도출된 정책적 시사점 및 정책연구 과제(수요)를 차년도 심화연구로 연계하여 학문분야별 지원체계가 안착할 수 있는 내실화 방안 마련 추진

2. 추진 방법

□ 전체 정부연구개발사업을 대상으로 한 기초연구 지원 현황 분석을 위하여 최근 5년 ('16년~'20년)간의 NTIS 조사분석 데이터를 활용하였으며, 1) 과학기술표준분류체계-10대 학문분야 매핑, 2) 학문분야별 정부지원 현황 분석, 3) 시사점 도출 순으로 진행

〈표 부록-2〉 연구 추진 절차

1) 과학기술표준분류체계 - 10대 학문분야 매핑	⇒	2) 학문분야별 정부지원 현황 분석	⇒	3) 시사점 도출
전체 정부연구개발사업 분석을 위한 NTIS 조사분석데이터의 과학기술표준분류체계와 10대 학문분야 간의 매핑 추진		최근 5년간('16~'20) 「연구자 주도 기초연구 사업군」과 「타 정부연구개발사업군」을 대상으로 학문분야별 정부지원 특성(과제 수, 연구책임자 수, 연구비 등) 분석·비교		「연구자 주도 기초연구」에 학문분야별 지원체계 적용 시 고려해야 할 정책적 시사점 도출, 국가연구개발사업의 효율적인 예산 배분·조정을 위한 정책연구 과제(수요) 발굴

1) 과학기술표준분류체계 - 10대 학문분야 매핑

○ NTIS 조사분석 데이터 상의 과학기술표준분류체계(인문사회과학 및 원자력 분야를 제외, 대분류 기준 18개)와 CRB 분류체계(23개)*의 분류명, 소분류 정의 등을 참고하여 매핑 추진

* 연구재단 학문분야는 유사 CRB 분류체계를 통합한 것으로 최종 10개의 분야로 구분

- 두 분류체계에서 분류명이 동일하거나 유사한 분야 및 타 분류와의 단순 통합이 필요한 분야는 일괄 이동

과학기술표준분류체계(대)		CRB 분류체계 매핑(안)		연구재단 학문분야(안)
수학		수학		수학
물리학		물리학		물리학
화학		화학		화학
지구과학		지구과학		지구과학
기계		기계		공학
건설/교통	⇒	건설/교통	⇒	정보통신기술·융합
재료		소재		기반생명
화공		화공		
전기/전자		전기/전자		
에너지/자원		에너지·환경 융합·복합		
환경				
뇌과학		바이오·의료융합		
농림수산식품		기반생명		

- 과학기술표준분류체계의 생명과학, 보건의료, 정보/통신, 인지/감성과학은 여러 개의 CRB/RB를 포함하고 있어 소분류 단위로 매핑

  ※ 기존 과제 연구책임자들이 선택한 CRB 분야별 비중 참고 및 전문가 적합성 검토 수행

2) 학문분야별 정부지원 현황 분석

○ 최근 5년('16년~'20년)간의 전체 323,593개 과제(총 연구비 1,025,838억 원) 중 252,776개 과제(총 연구비 566,689억 원)에 대한 분석 진행(전체 과제 수의 약 78%, 전체 연구비의 55%)

- 국방비밀연구개발사업, 국방연구개발사업, 인문사회연구개발사업을 제외한 일반연구개발사업 중 연구관리, 연구시설·장비 구입 및 유지비 성격을 제외한 연구개발성격의 과제로 전체 과제 수의 약 83.3%(총 연구비의 약 61.7%) 선별
- 선별된 과제 중 보안과제, 인문사회과학, 원자력, 기타 분야에 해당하는 과제 및 연구비 제외

〈표 부록-3〉 최종 분석 대상

	전체 데이터			최종 분석 대상	
연도	과제 수(개)	연구비(억 원)		과제 수(개)	연구비(억 원)
’16	54,827	190,044		40,568	102,480
’17	61,280	193,927		47,661	110,964
’18	63,697	197,759	⇒	50,626	110,499
’19	70,288	205,305		55,571	113,480
’20	73,501	238,803		58,350	129,266
전체	323,593	1,025,838		252,776	566,689

3) 시사점 도출

○ 내외부 전문가와의 브레인스토밍, 자문 등을 통해 현황 분석 결과를 종합적으로 검토하여 보다 효율적인 국가 기초연구 지원체계 구축을 위한 중장기 정책과제 도출

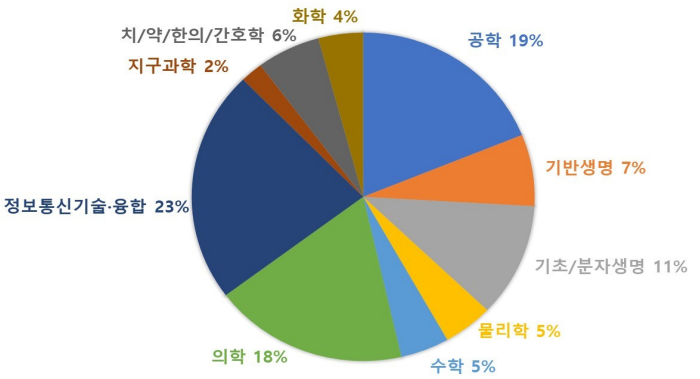
3. 분석 결과

가. 과제 수

□ 최근 5년간 학문분야별 정부지원 과제 수를 분석한 결과, 「연구자 주도 기초연구 사업군」과 「타 정부연구개발사업군」 모두 학문분야별 특성을 보임

○ 「연구자 주도 기초연구 사업군」의 학문분야별 과제 수(최근 5년 평균)는 376~4,052건으로, 학문분야에 따라 큰 차이를 보임

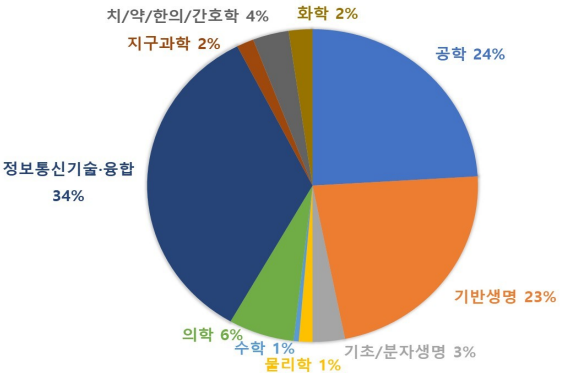
- 과제 수가 가장 많은 학문분야는 ‘정보통신기술·융합(4,052건)’, ‘공학(3,341건)’, ‘의학(3,253건)’이며, 세 분야가 전체 과제 수의 약 60%를 차지
- 과제 수가 가장 적은 학문분야는 ‘지구과학(376건)’, ‘화학(747건)’, ‘수학 (812건)’으로 나타남



[그림 부록-2] 「연구자 주도 기초연구 사업군」 전체 과제 수의 학문분야별 비중('16~'20 평균)

○ 「타 정부연구개발사업군」의 학문분야별 과제 수(최근 5년 평균)는 166~ 11,238건으로, 학문분야에 따라 큰 차이를 보임

- 과제 수가 가장 많은 학문분야는 '정보통신기술·융합(11,238건)', '공학 (7,902건)', '기반생명(7,483건)'이며, 세 분야가 전체 과제 수의 약 80%를 차지
- 과제 수가 가장 적은 학문분야는 '수학(166건)', '물리학(437건)', '화학 (550건)'으로 나타남

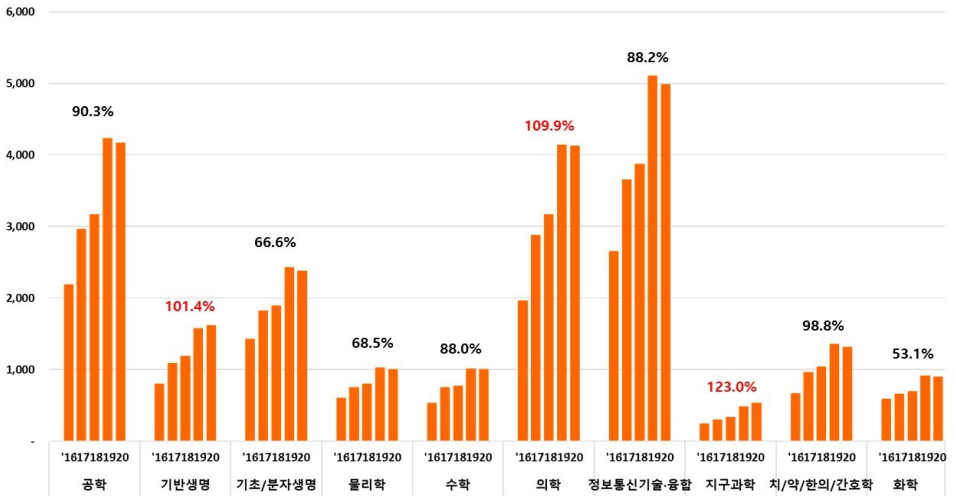


[그림 부록-3] 「타 정부연구개발사업군」 전체 과제 수의 학문분야별 비중('16~'20 평균)

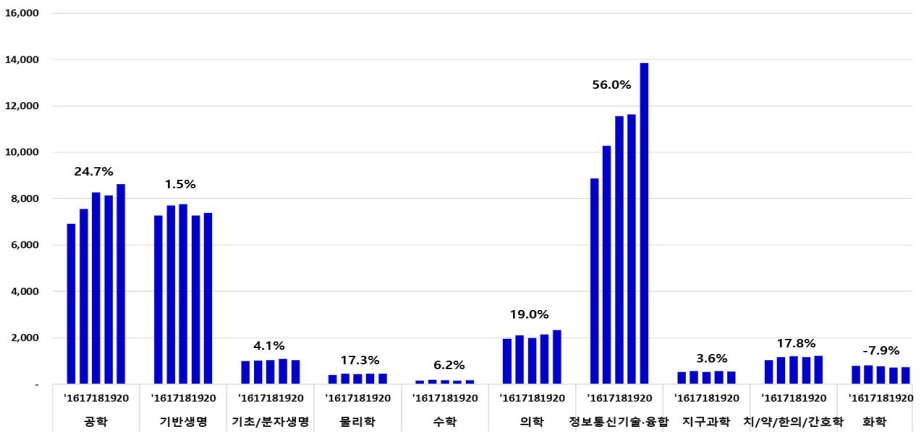
○ 지난 5년간 두 사업군의 과제 수 모두 전반적으로 증가하는 추세이며, 증가 정도는「타 정부연구개발사업군」(증감율 -7.90%~56.0%)보다「연구자 주도 기초연구 사업군」(53.1~123.0%)에서 두드러짐

- 이는 '연구자 주도 기초연구 예산 두배 확대' 국정과제 효과로 인한 것으로 파악되며 전 분야에서 과제 수 증가가 이루어짐
- 「연구자 주도 기초연구 사업군」에서 과제 수가 가장 많이 증가한 학문분야는 '지구과학(123.0%)', '의학(109.9%)', '기반생명(101.4%)'으로, 세 분야의 과제 수 모두 두 배 이상 증가함

※「타 정부연구개발사업군」의 경우 분야에 따라 감소 또는 증가



[그림 부록-4]「연구자 주도 기초연구 사업군」학문분야별 과제 수 추이('16~'20) 및 증감율(단위: 건, %)

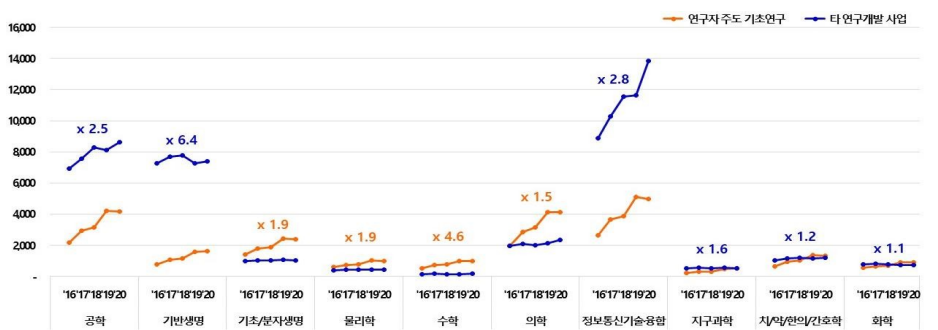


[그림 부록-5] 「타 정부연구개발사업군」 학문분야별 과제 수 추이('16~'20) 및 증감율(단위: 건, %)

□ 두 사업군 간의 학문분야별 과제 수 비교 및 전체 국가연구개발사업 과제 수의 사업군별 비중 분석 결과, 학문분야별로 다른 특징을 보임

○ 「타 정부연구개발사업군」의 과제 수가 많은 학문분야는 '기반생명(6.4배)', '정보통신기술·융합(2.8배)', '공학(2.5배)'이며, 「연구자 주도 기초연구 사업군」의 과제 수가 많은 학문분야는 수학(4.6배), 기초/분자생명(1.9배), 물리학(1.9배)임

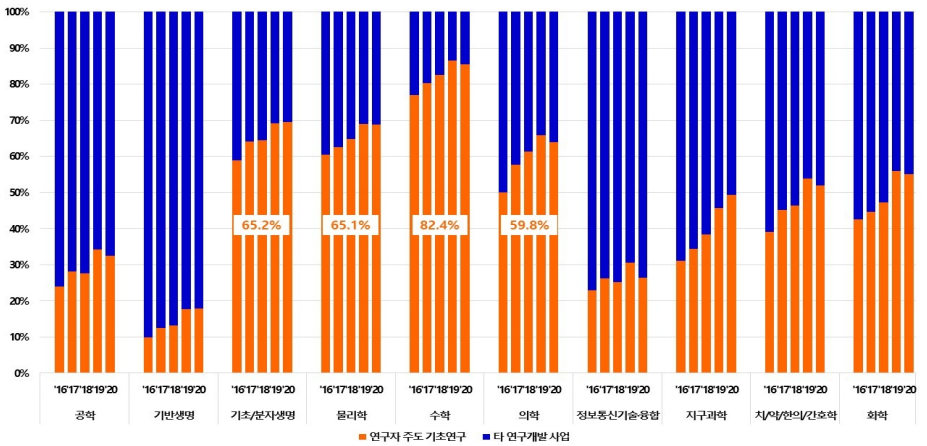
※ '지구과학', '의학', '치/약/한의/간호학', '화학' 분야는 두 사업군의 과제 수가 유사함



[그림 부록-6] 학문분야별 과제 수('16~'20)(단위: 건)

○ 전체 국가연구개발사업에서 「연구자 주도 기초연구 사업군」의 과제 수 비중은 전반적으로 증가하고 있는 추세이며, 해당 비중은 학문분야별로 큰 차이 (14.2~82.4%)를 보임

- 「연구자 주도 기초연구 사업군」 과제 수의 비중(최근 5년 평균)이 높은 학문분야는 '수학(82.4%)', '기초/분자생명(65.2%)', '물리학(65.1%)', '의학 (59.8%)' 순이며,
- 낮은 학문분야는 '기반생명(14.2%)', '정보통신기술·융합(26.2%)', '공학 (29.3%)' 순으로 나타남



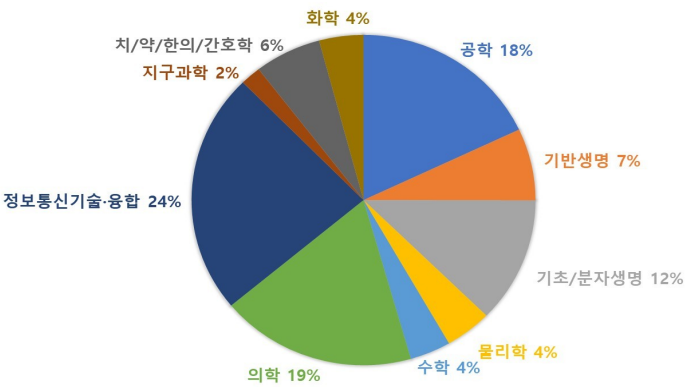
[그림 부록-7] 전체 국가연구개발사업 과제 수의 사업군별 비중('16~'20)(단위: %)

나. 연구책임자 수

□ 최근 5년간 학문분야별 연구책임자 수를 분석한 결과, 「연구자 주도 기초연구 사업군」과 「타 정부연구개발사업군」 모두 학문분야별 특성을 보임

○ 「연구자 주도 기초연구 사업군」의 학문분야별 연구책임자 수(최근 5년 평균)는 423~5,174명으로, 학문분야에 따라 큰 차이를 보임

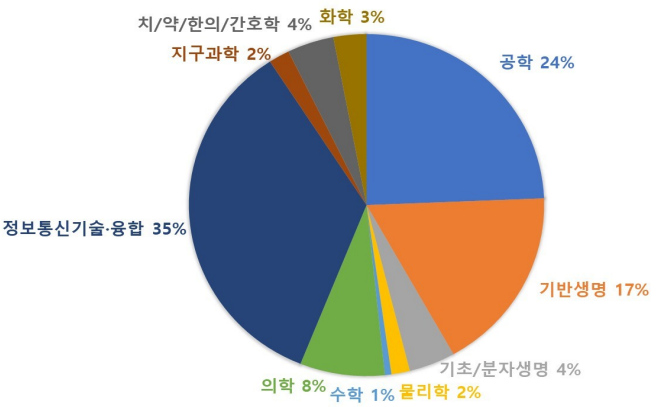
- 연구책임자 수가 가장 많은 학문분야는 '정보통신기술·융합(5,174명)', '의학(4,032명)', '공학(3,936명)'으로, 세 분야가 전체 연구책임자 수의 약 60%를 차지
- 연구책임자 수가 가장 적은 학문분야는 '지구과학(423명)', '수학(841명)', '화학(912명)'으로 나타남



[그림 부록-8] 「연구자 주도 기초연구 사업군」 전체 연구책임자 수의 학문분야별 비중('16~'20 평균)

○ 「타 정부연구개발사업군」의 학문분야별 연구책임자 수(최근 5년 평균)는 185~10,837명으로, 학문분야에 따라 큰 차이를 보임

- 연구책임자 수가 가장 많은 학문분야는 '정보통신기술·융합(10,837명)', '공학(7,594명)', '기반생명(5,451명)'이며, 세 분야가 전체 연구책임자 수의 약 80%를 차지
- 연구책임자 수가 가장 적은 학문분야는 '수학(185명)', '물리학(523명)', '지구과학(594명)'으로 나타남

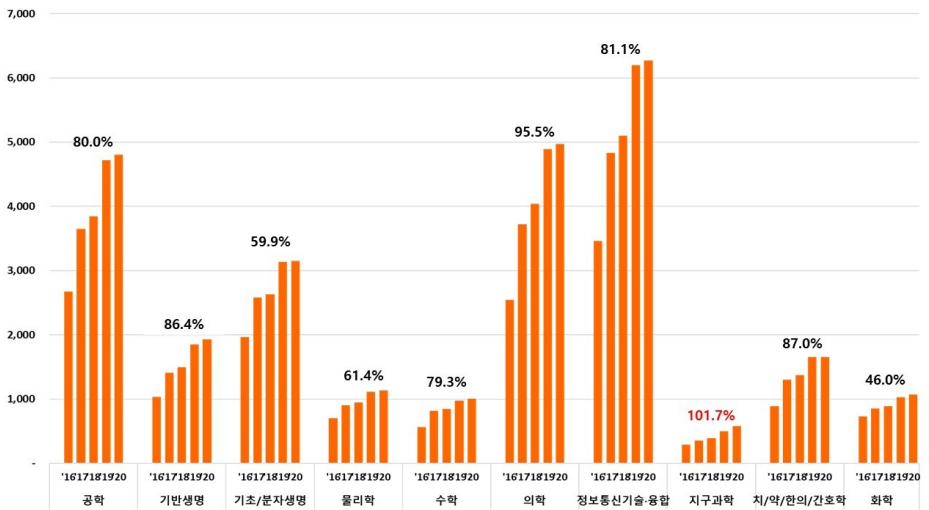


[그림 부록-9] 「타 정부연구개발사업군」 전체 연구책임자 수의 학문분야별 비중('16~'20 평균)

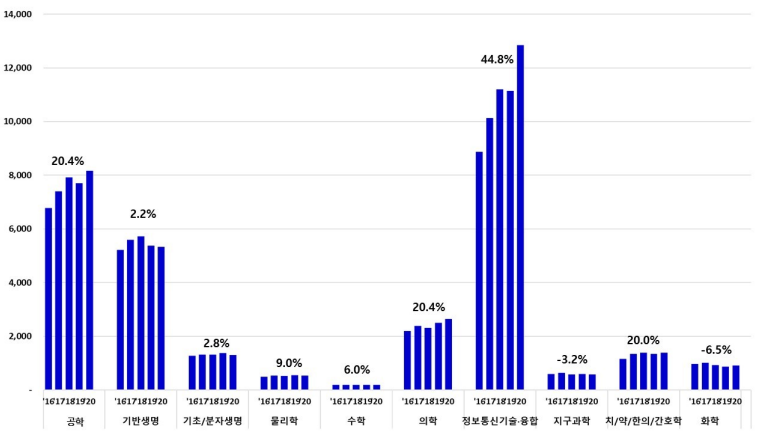
○ 지난 5년간 두 사업군의 연구책임자 수 모두 전반적으로 증가하는 추세이며, 증가 정도는 「타 정부연구개발사업군」(증감율 -6.5%~44.8%)보다 「연구자 주도 기초연구 사업군」(46.0~101.7%)에서 두드러짐

- 「연구자 주도 기초연구 사업군」에서 연구책임자 수가 가장 많이 증가한 학문분야는 '지구과학(101.7%)', '의학(95.5%)', '치/약/한의/간호학(87.0%)', '기반생명(86.4%)'임

※「타 정부연구개발사업군」의 경우 분야에 따라 감소 또는 증가



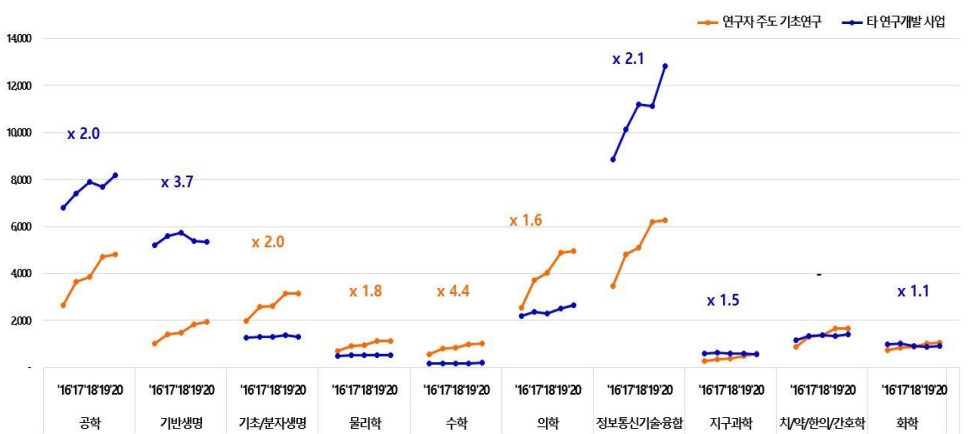
[그림 부록-10] 「연구자 주도 기초연구 사업군」 학문분야별 연구책임자 수 추이('16~'20) 및 증감율(단위: 명, %)



[그림 부록-11]「타 정부연구개발사업군」 학문분야별 연구책임자 수 추이('16~'20) 및 증감율(단위: 명, %)

□ 두 사업군 간의 학문분야별 연구책임자 수 비교 및 전체 국가연구개발사업 연구책임자 수의 사업군별 비중 분석 결과, 학문분야별로 다른 특징을 보임

○ 「타 정부연구개발사업군」의 연구책임자 수가 많은 학문분야는 '기반생명(3.7배)', '정보통신기술·융합(2.1배)', '공학(2.0배)'이며, 「연구자 주도 기초연구 사업군」의 연구책임자 수가 많은 학문분야는 '수학(4.4배)', '기초/분자생명(2.0배)', '물리학(1.8배)'임



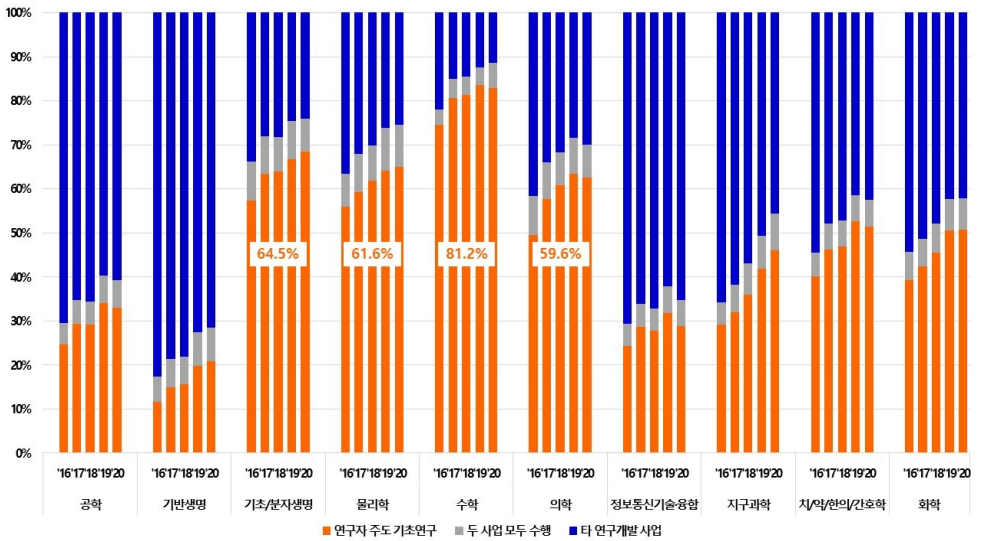
[그림 부록-12] 학문분야별 연구책임자 수('16~'20)(단위: 명)

○ 전체 국가연구개발사업에서 「연구자 주도 기초연구 사업군」의 연구책임자 수 비중은 전반적으로 증가하고 있는 추세이며, 해당 비중은 학문분야에 따라 큰 차이(16.8~81.2%)를 보임

- 「연구자 주도 기초연구 사업군」 연구책임자 수의 비중(최근 5년 평균)이 높은 학문분야는 '수학(81.2%)', '기초/분자생명(64.5%)', '물리학(61.6%)'이며,
- 낮은 학문분야는 '기반생명(16.8%)', '정보통신기술·융합(28.6%)', '공학 (30.4%)'으로 나타남

  ※ '지구과학', '의학', '치/약/한의/간호학', '화학' 분야는 두 사업군의 연구책임자 수가 유사함

- 「연구자 주도 기초연구 사업군」과 「타 정부연구개발사업군」을 모두 수행하는 연구책임자의 비중은 비슷한 수준으로 유지되고 있으며, 학문분야 간에도 큰 차이를 보이지 않음(4.4%~8.8%)



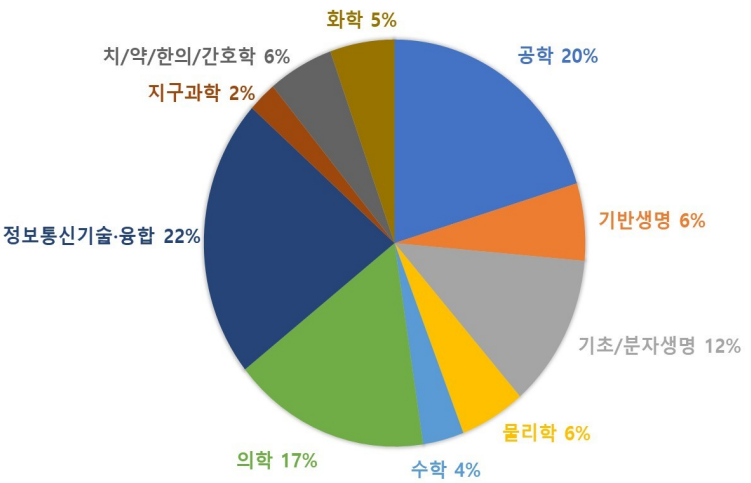
[그림 부록-13] 전체 국가연구개발사업 연구책임자 수의 사업군별 비중('16~'20)(단위: %)

다. 연구비

□ 최근 5년간 학문분야별 정부지원 연구비를 분석한 결과, 「연구자 주도 기초연구 사업군」과 「타 정부연구개발사업군」 모두 학문분야별 특성을 보임

○ 「연구자 주도 기초연구 사업군」의 학문분야별 정부지원 연구비(최근 5년 평균)는 350~3,207억 원으로, 학문분야에 따라 큰 차이를 보임

- 연구비가 가장 높은 학문분야는 '정보통신기술·융합(3,207억)', '공학 (2,924억)', '의학(2,416억)'으로, 세 분야가 전체 연구비의 약 60%를 차지
- 연구비가 가장 낮은 학문분야는 '지구과학(350억)', '수학(502억)', '화학(789억)'으로 나타남

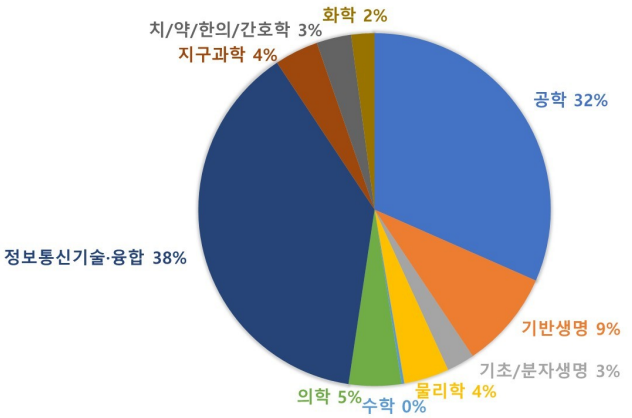


[그림 부록-14] 「연구자 주도 기초연구 사업군」 전체 연구비의 학문분야별 비중('16~'20 평균)

○ 「타 정부연구개발사업군」의 학문분야별 정부지원 연구비(최근 5년 평균)는 242~37,870억 원으로, 학문분야에 따라 큰 차이를 보임

- 연구비가 가장 높은 학문분야는 '정보통신기술·융합(37,870억)', '공학 (31,244억)', '기반생명(8,901억)'으로 '정보통신기술·융합'과 '공학' 두 분야가 전체 연구비의 70% 이상, '기반생명'을 포함한 세 분야가 약 80%를 차지

- 연구비가 가장 낮은 학문분야는 '수학(242억)', '화학(2,111억)', '기초/분자 생명(2,524억)'으로 나타남

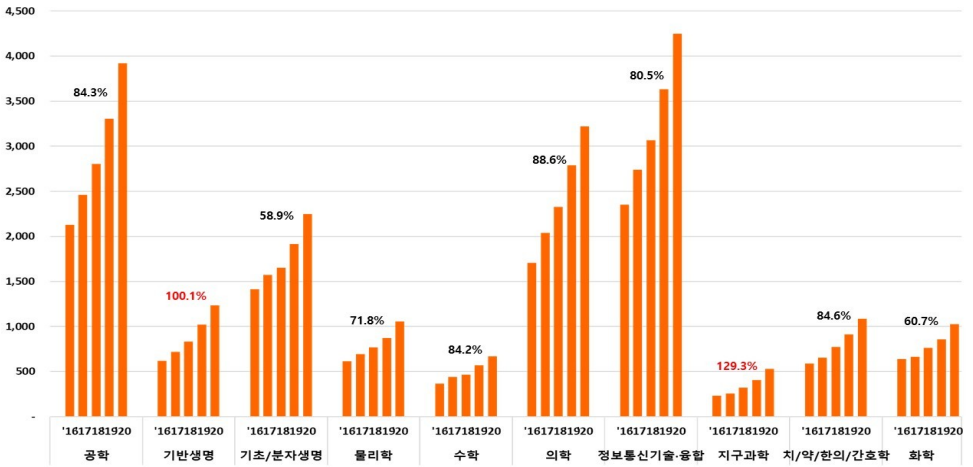


[그림 부록-15] 「타 정부연구개발사업군」 전체 연구비의 학문분야별 비중('16~'20 평균)

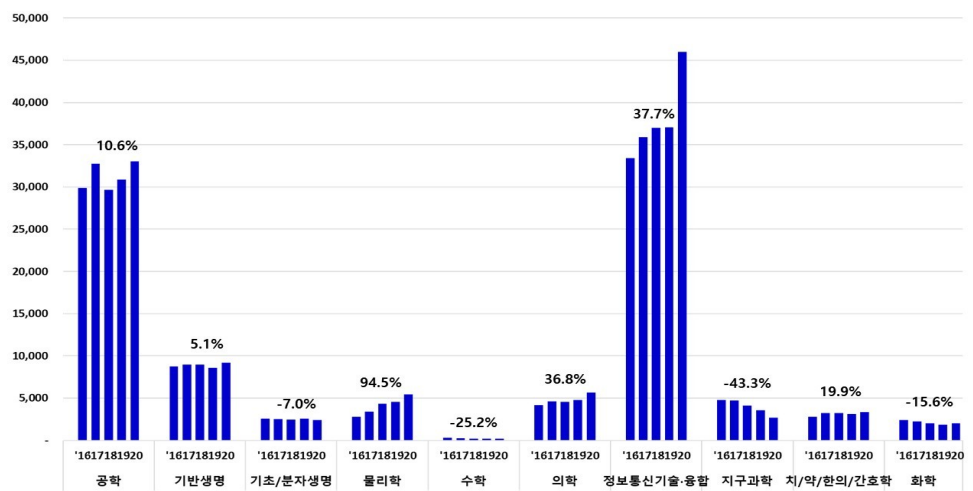
○ 지난 5년간 연구비 변화 추이를 살펴보면 「타 정부연구개발사업군」(증감율 -43.3%~94.5%)과는 다르게 「연구자 주도 기초연구 사업군」에서는 모든 학문분야에서 연구비의 증가(58.9~129.3%)가 이루어짐

- 「연구자 주도 기초연구 사업군」에서 연구비가 가장 많이 증가한 학문분야는 '지구과학(129.3%)', '기반생명(100.1%)', '의학(88.6%)'로 나타남

※ 「타 정부연구개발사업군」의 경우 분야에 따라 감소 또는 증가



[그림 부록-16] 「연구자 주도 기초연구 사업군」 학문분야별 연구비 추이('16~'20) 및 증감율(단위: 억 원, %)

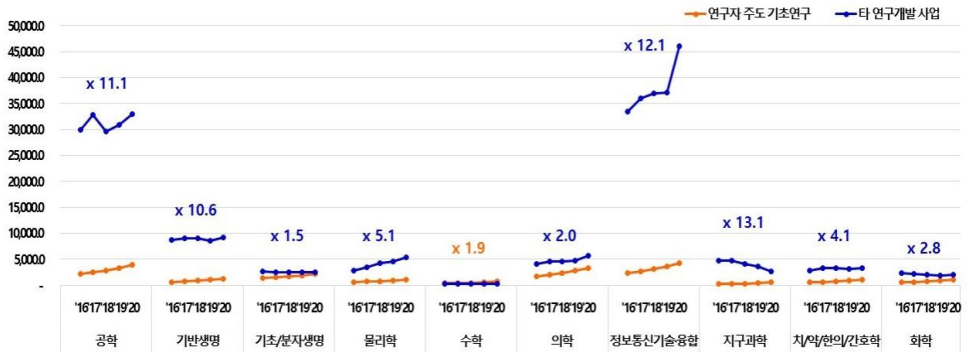


[그림 부록-17] 「타 정부연구개발사업군」 학문분야별 연구비 추이('16~'20) 및 증감율(단위: 억 원, %)

□ 두 사업군 간의 학문분야별 정부지원 연구비 비교 및 전체 국가연구개발사업 연구비의 사업군별 비중 분석 결과, 수학 분야를 제외*한 모든 분야에서 「타 정부연구개발사업군」의 연구비 및 연구비 비중이 높은 것으로 나타남

* 수학 분야의 경우, 「연구자 주도 기초연구 사업군」의 연구비가 약 두 배 높게 나타남

○ 「타 정부연구개발사업군」과 「연구자 주도 기초연구 사업군」의 연구비 차이가 큰 분야는 '지구과학(13.1배)', '정보통신기술·융합(12.1배)', '공학(11.1배)', '기반생명(10.6배)'임

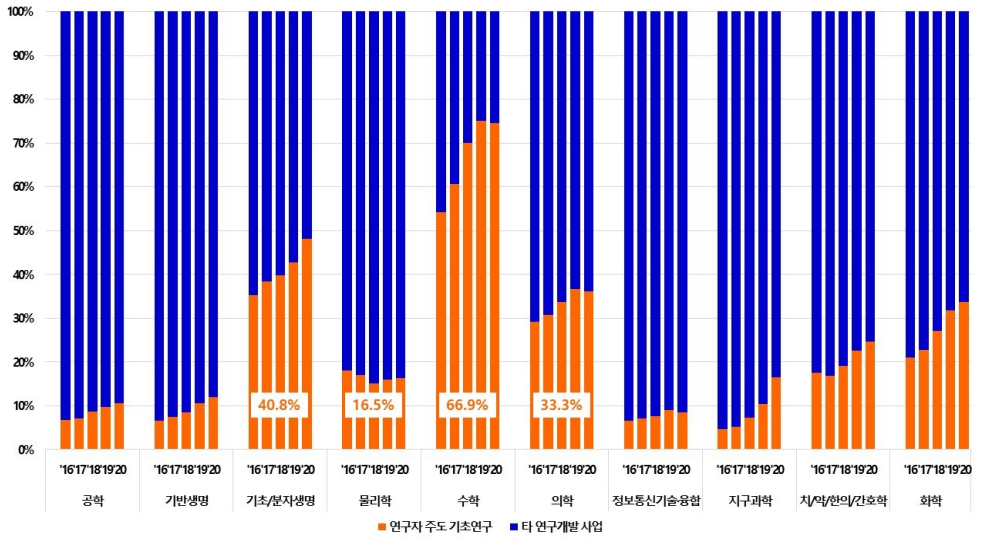


[그림 부록-18] 학문분야별 연구비('16~'20)(단위: 억 원)

○ 전체 국가연구개발사업에서 「연구자 주도 기초연구 사업군」의 연구비 비중은 전반적으로 증가하고 있는 추세이며, 해당 비중은 학문분야에 따라 큰 차이(7.7~66.9%)를 보임

- 「연구자 주도 기초연구 사업군」의 연구비 비중(최근 5년 평균)이 높은 학문분야는 '수학(66.9%)', '기초/분자생명(40.8%)', '의학(33.3%)'이며,
- 낮은 학문분야는 '정보통신기술·융합(7.7%)', '공학(8.5%)', '지구과학(8.7%)'으로 나타남

※ '물리학'의 경우, 전체 국가연구개발사업에서 「연구자 주도 기초연구 사업군」의 과제 수 비중은 65.1%로 높은 편이었으나, 연구비 비중은 16.5%로 낮은 편으로 나타났으며, 이는 중이온가속기 시설 건설 등 소수의 대규모 과제로 인한 효과인 것으로 해석됨(라. 파트 참조)



[그림 부록-19] 전체 국가연구개발사업 연구비의 사업군별 비중('16~'20)(단위: %)

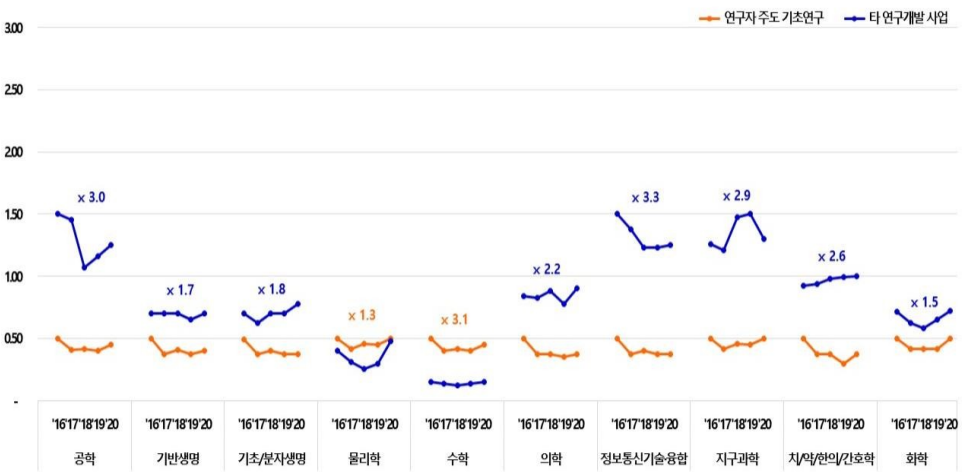
라. 연구비 중위값

□ 「타 정부연구개발사업군」과는 다르게 「연구자 주도 기초연구 사업군」의 경우, 모든 학문분야에서 5천만 원 내외로 유사한 수준의 연구비가 지원되고 있는 것으로 분석됨

○ 「연구자 주도 기초연구 사업군」의 학문분야별 정부지원 연구비 중위값(최근 5년 평균)은 0.38~0.47억 원으로, 학문분야 간 큰 차이를 보이지 않음

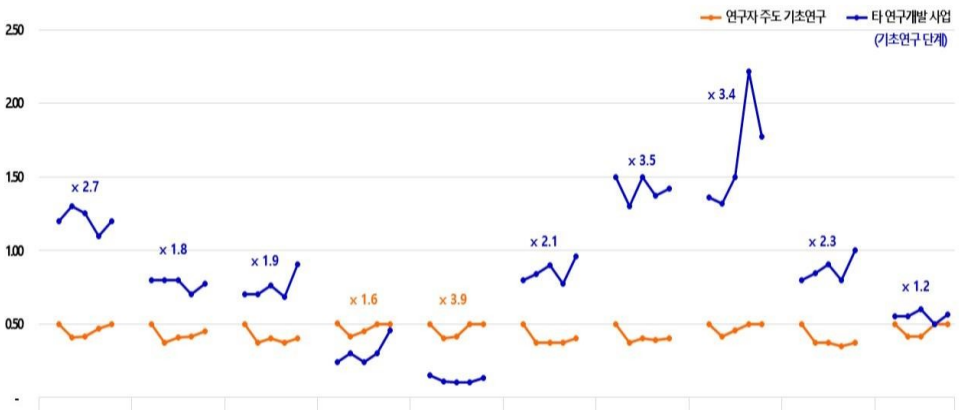
○ 「타 정부연구개발사업군」의 학문분야별 정부지원 연구비 중위값은(최근 5년 평균)는 0.14~1.35억 원으로, 학문분야에 따라 큰 차이를 보임

- 연구비 중위값이 가장 높은 학문분야는 '지구과학(1.35억)', '정보통신기술·융합(1.32억)', '공학(1.29억)'이며, 가장 낮은 학문분야는 '수학(0.14억)', '물리학(0.35억)', '화학(0.66억)'으로 나타남



[그림 부록-20] 학문분야별 연구비 중위값('16~'20)(단위: 억 원)

○ 「타 정부연구개발사업군」의 응용, 개발 등 기초 외 연구개발 단계의 특성이 반영되었을 가능성을 배제하고자 기초연구 단계에 해당하는 과제만을 대상으로 분석을 실시한 경우에도 유사한 경향이 확인됨



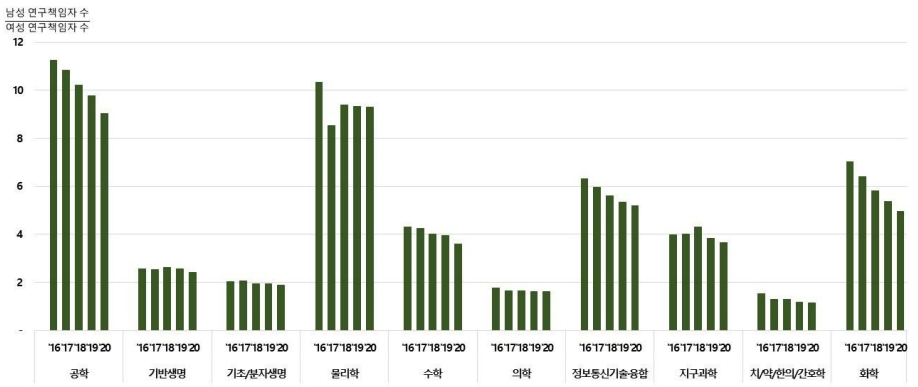
[그림 부록-21] 학문분야별 연구비 중위값('16~'20)(단위: 억 원)

마. 연구자 주도 기초연구 성별 지원현황

□ 「연구자 주도 기초연구 사업군」의 모든 학문분야에서 남성 연구책임자 수가 여성보다 많으며, 그 정도는 학문분야에 따라 차이를 보임

○ 연구책임자 수의 남녀 비율 차이가 큰 학문분야는 '공학(10.2배)', '물리학(9.4배)', '화학(5.9배)', '정보통신기술·융합(5.7배)'이며, 낮은 학문분야는 '치/약/한의/ 간호학(1.3배)', '의학(1.7배)', '기초/분자생명(2.0배)'으로 나타남

※ 연구책임자 1인당 연구비 중위값은 성별에 따른 차이가 크게 나타나지 않음(0.98~1.23배)



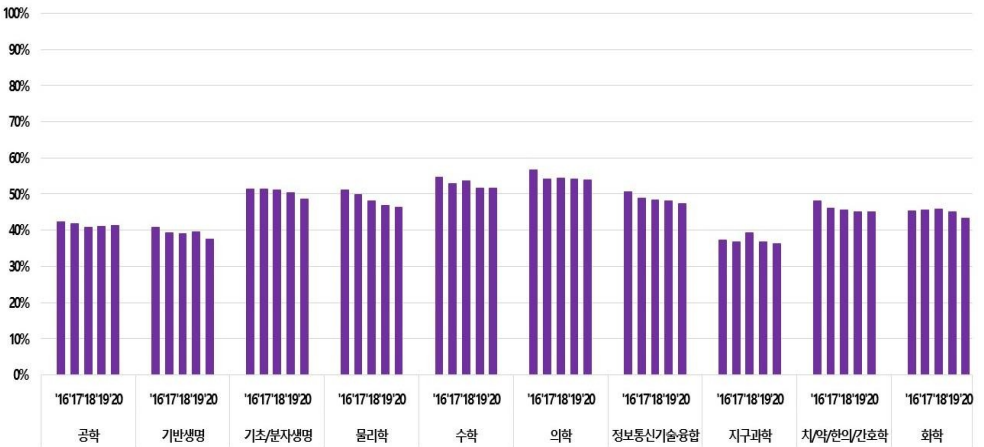
[그림 부록-22] 학문분야별 연구책임자 수 남녀 비율('16~'20)

바. 연구자 주도 기초연구 지역별 지원현황

□ 「연구자 주도 기초연구 사업군」의 연구수행 지역 분석 결과, 서울/경기 편중 현상은 학문분야에 따라 차이를 보임

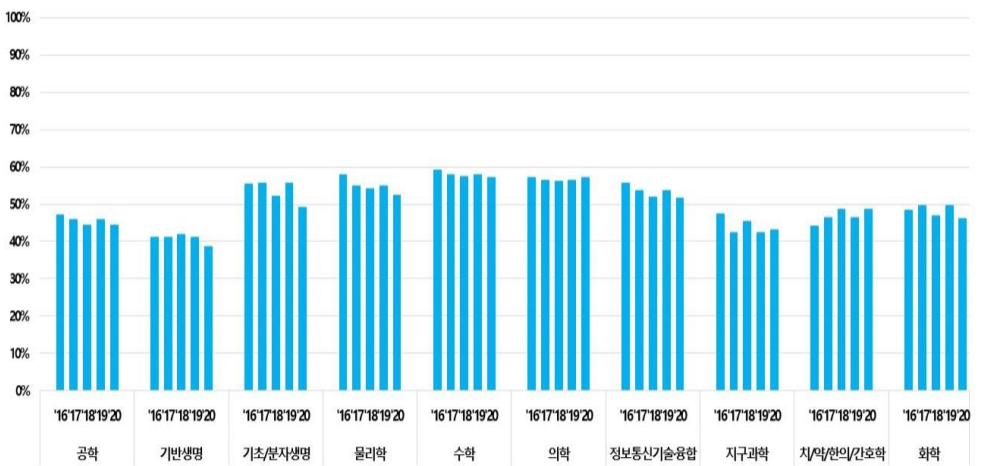
○ 연구수행 지역의 서울/경기 비중(최근 5년 평균)은 37.3%~54.6%로 나타났으며, 서울/경기 편중 경향이 높은 학문분야는 '의학(54.6%)', '수학(52.9%)', '기초/분자생명(50.5%)', 낮은 학문분야는 '지구과학(37.3%)*' '기반생명(39.2%)' '공학(41.4%)'으로 나타남

* '지구과학' 분야는 서울 29.9%, 부산 13.3%, 대전 9.4%, 경기 7.4%로 서울/경기 편중 현상이 비교적 낮은 것으로 분석됨



[그림 부록-23] 서울/경기 지역 과제 수 비중('16~'20)

○ 연구비의 서울/경기 비중(최근 5년 평균)은 40.8%~57.9%로 나타났으며, 서울/경기 편중 경향이 높은 학문분야는 '수학(57.9%)', '의학(56.6%)', '물리학(54.8%)', 낮은 학문분야는 '기반생명(40.8%)' '지구과학(44.2%)' '공학(45.6%)'으로 나타남



[그림 부록-24] 서울/경기 지역 연구비 비중('16~'20)

4. 결론 및 시사점

□ 연구자 주도 기초연구 의존도가 높은 학문분야의 경우, 연구자 주도 기초연구 사업의 선정률을 높은 수준으로 조정하는 등 정부지원의 형평성을 고려하는 방안 마련 필요

○ 학문분야별 연구비, 과제 수, 연구책임자 수 현황을 종합하여 볼 때 학문분야별로 연구자 주도 기초연구 의존도가 상이한 것으로 나타남

- '수학' 분야의 경우 전체 연구개발 사업의 80% 이상이, '물리학'*과 '기초/분자생명', '의학' 분야의 경우 약 60%가 연구자 주도 기초연구 사업을 통하여 지원되고 있음

  * 물리학의 경우, 연구자 주도 기초연구의 연구비 비중이 16.5%로 낮게 분석되었으나, 이는 타 연구개발사업에 포함된 소수의 대규모 과제로 인한 것으로 분석됨

- '정보통신기술 융합', '공학', '지구과학', '기반생명' 분야의 경우, 타 연구개발사업에서 지원이 월등히 많은 것으로 분석됨(연구자 주도 기초연구 과제 및 연구책임자 수 비중 40% 이하, 연구비 비중 10% 이하, 연구비 차이 10배 이상)

〈표 부록-4〉 학문분야별 연구자 주도 기초연구 의존도

학문분야	연구자 주도 기초연구 비중			연구자 주도 기초연구 : 타 연구개발사업		
	연구비	과제 수	연구책임자 수	연구비	과제 수	연구책임자 수
수학	66.9%	82.4%	81.2%	2 : 1	4.6 : 1	4.4 : 1
물리학	16.5%	65.1%	61.6%	1 : 5.1	1.5 : 1	1.8 : 1
기초/분자생명	40.8%	65.2%	64.5%	1 : 1.5	1.9 : 1	2.0 : 1
의학	33.3%	59.8%	59.6%	1 : 2.0	1.5: 1	1.6 : 1
화학	27.3%	49.1%	46.0%	1 : 2.8	1 : 1.1	1 :1.1
치/약/한의/간호학	20.1%	47.2%	48.1%	1 : 4.1	1 : 1.2	1 :1.0
기반생명	9.0%	14.2%	16.8%	1 : 10.6	1 : 6.4	1 : 3.7
지구과학	8.7%	39.8%	37.6%	1 : 13.1	1 : 1.6	1 : 1.5
공학	8.5%	29.3%	30.4%	1 : 11.1	1 : 2.5	1 : 2.0
정보통신기술·융합	7.7%	26.2%	28.6%	1 : 12.1	1 : 2.8	1 : 2.1

○ 반면, 현재 학문분야별 예산 규모 설정 시에는 이러한 연구자 주도 기초연구 의존도가 반영되고 있지 않음

- 연구자 주도 기초연구 의존도가 상대적으로 낮은 '정보통신기술·융합 (3,207억)'과 '공학(2,924억)' 분야에 지난 5년 평균 연구자 주도 기초연구 사업의 가장 많은 예산이 투입됨

- ‘지구과학’, ‘기반생명’ 분야의 연구자 주도 기초연구 사업 예산 및 과제 수가 지난 5년간 가장 많이 증가(두 배 이상)함

○ 타 정부 연구개발 사업으로 지원받기 어려워 연구자 주도 기초연구 의존도가 높은 분야(수학, 기초/분자생명, 물리학, 의학)에 가중치를 적용하는 등 학문분야별 지원규모를 결정함에 있어 학문분야별 특성을 반영하는 방안에 대한 고민 필요

□ **학문분야별 과제당 연구비 설정 시 연구계 수요뿐 아니라 기초연구를 지원하는 정부연구개발사업을 전체적으로 고려할 필요**

○ 연구자 주도 기초연구 과제당(1인당) 평균 연구비가 학문분야 간 차이가 없이 5천만원 미만으로 유사한 반면 타 연구개발사업(전체 및 기초연구 단계)의 경우, 학문분야 간 상당한 차이가 존재

○ 현재 연구자 주도 기초연구의 평균 과제당 연구비 규모 이상을 지원할 필요성, 두 사업군 간 기초연구자의 유입/이동 가능성 등을 고려하여 학문분야별 과제당 평균 연구비 규모 예측 필요

□ **학문분야별 성별 및 지역별 연구수행 비율 차이를 고려하여 여성 및 지역 배려기준을 재설정할 필요**

○ 연구자 주도 기초연구에서 연구책임자 수의 남녀 비율 차이는 1.3~10.2배, 수도권 연구수행 편중 정도는 31.9~56.6%(과제 수 기준), 40.8~57.9% (연구비 기준)로 학문분야별로 차이를 보임

○ 현재는 학문분야 구분 없이 동일한 방식으로 여성 및 지역 연구자를 배려하고 있어 학문분야별 특성을 반영한 배려기준에 대한 논의 필요

※ (중견연구 유형1) 최초신규과제 예산 기준으로 20% 이상을 여성연구자에 배분, (신진(세종과학펠로우십 제외)연구/중견 유형1/기본연구/생애첫연구) 최초신규과제 예산 기준 5% 내에서 지역대학 과제 추가 선정, (세종과학펠로우십 및 기초연구실) 지역 선정 과제 수 비율을 최저 30% 수준으로 고려

5. 분석 한계 및 향후 계획

□ 본 연구결과 참고 시에는 NTIS 데이터, 국가과학기술표준분류체계 및 10대 학문분야의 활용에 따른 분석 한계가 존재한다는 점을 고려해야 함

○ NTIS 데이터의 과제별 국가과학기술표준분류와 해당 가중치는 연구책임자의 주관적인 의견으로, 통일된 기준으로 분류된 것이 아님에 따라 각 과제를 정확하게 나타내지 못함

○ 한 과제가 최대 3개의 학문분야로 분할 분석됨에 따라 정확한 학문분야별 과제 수/연구비를 도출하는 데에 어려움이 있음

○ 10대 학문분야 분류체계의 경우, 분야에 따라 범위가 상이(다수의 이질적인 세부분야가 혼합되어 있는 학문단 단위)하여 각 학문분야의 대표성을 지닌다고 보기 어려움

※ '공학' 분야는 4개 소분야(기계, 건설/교통, 소재, 화공), '정보통신기술·융합' 분야는 6개 소분야(전기/전자, 통신, 컴퓨터/소프트웨어, 바이오/의료융합, 에너지/환경 융합/복합, 다학제융합/복합)가 통합되어 있음

□ 보다 전략적인 학문분야별 지원규모 기준 설정을 위해서는 추가적인 분석과 기준 정립 방안에 대한 논의가 필요하며, 이는 차년도 기관고유 과제와 연계하여 심화연구로 추진할 예정

○ 연구수행주체(대학/출연연/기관)별 현황, 분야 간 연구책임자 중복 정도, 타 연구개발사업에서 기초연구를 수행하는 비중 등을 분석하여 세부 현황, 학문분야 체계의 적정성, 두 사업군 간의 연계성 등에 대한 추가 시사점 도출 필요

○ 추가 분석 결과를 종합 검토하여 연구자 주도 기초연구 지원에 있어 학문분야별 예산규모/여성/지역 특성을 보다 전략적으로 반영할 수 있는 세부 방안과 중장기적 관점에서의 이슈들(보호/융합/신생 분야 대응방안 등)에 대한 검토 추진

▌참고문헌▐

과학기술정보통신부·한국과학기술기획평가원 (2017), 「2016년도 국가연구개발사업 조사·분석 보고서」.

과학기술정보통신부·한국과학기술기획평가원 (2018), 「2017년도 국가연구개발사업 조사·분석 보고서」.

과학기술정보통신부·한국과학기술기획평가원 (2019), 「2018년도 국가연구개발사업 조사·분석 보고서」.

과학기술정보통신부·한국과학기술기획평가원 (2020), 「2019년도 국가연구개발사업 조사·분석 보고서」.

과학기술정보통신부·한국과학기술기획평가원 (2021), 「2020년도 국가연구개발사업 조사·분석 보고서」.

과학기술정보통신부 (2021), 「2022년도 기초연구사업 시행계획」.

한국과학기술정보연구원 (2019), 「개별 논문의 질적 수준에서 측정한 과학기술분야 기초연구사업의 SCI 성과 분석」.

한국연구재단 (2019), 「기초연구 분야별 지원체계 구축 연구선행연구 자료 분석 및 해외 사례 연구」.

한국과학기술기획평가원 (2020), 「기초연구 유형별 중장기 지원 전략 연구」.

부록 II

과학기술 R&D 예산 적절성 분석과 체제개선 방안

제1절. 학문분야별 기초연구 지원체계의 현장 적용을 위한 가이드라인 수립 연구

제2절. 정부 데이터 관련 사업 현황 분석 및 유형 체계화 연구

제1절 학문분야별 기초연구 지원체계의 현장 적용을 위한 가이드라인 수립 연구

1. 연구개발의 목적 및 필요성

○ 연구자 주도 기초연구사업에서 학문분야별 지원체계의 성공적 정착을 위해서는 향후 기초연구의 중장기 지원계획 및 투자전략 마련이 필요함

- 학문분야별 지원체계를 현장 적용하는데 있어, 학문분야의 수요 반영 및 발전방향에 대한 다양한 의견 교환과 논의를 거쳐 중장기 지원계획을 도출할 필요가 있음

○ 분야별 기초연구사업 예산 배분 시 반드시 필요한 고려사항을 반영한 '학문분야별 지원체계의 현장 적용을 위한 가이드라인' 수립이 반드시 필요함

2. 연구개발의 내용 및 범위

○ 국가별 연구자 주도 기초연구에 대한 학문분야별 지원체계 현황 조사

- 국내 연구자 주도 기초연구사업 투자 현황 및 학문분야별 지원체계 시범추진 현황 분석
- 미국, 일본, 영국, 중국 등 해외 주요국의 연구자 주도 기초연구 지원 제도 비교 및 학문분야별 지원체계 현황 조사

○ 국내·외 학문분야별 기초연구 지원체계의 성과 평가 및 핵심 이슈 진단

- 국내 연구자 주도 기초연구사업에서 학문분야별 지원체계 시범 도입에 따른 성과 평가 및 시범 적용에 따른 핵심 이슈 진단
- 해외 주요국의 사례 분석을 통해 국내의 학문분야별 지원체계에 벤치마킹할 수 있는 우수 성공요인 발굴

○ 국내 연구자 주도 기초연구사업에서 학문분야별 지원체계의 현장 적용을 위한 가이드라인 수립 연구

- 연구자 주도 기초연구사업에서 학문분야별 지원체계의 성공적인 정착을 위한 고려사항 도출
- 학문분야별 지원체계 확대 적용 방안 도출
- 도출된 고려사항을 반영한 학문분야별 지원체계의 현장 적용을 위한 가이드라인 수립

3. 연구개발결과

○ 분야별 지원 규모의 형평성 고려 방안 및 가이드라인 제시

- 타 연구사업(국가연구개발사업의 기초 연구단계 사업) 수혜 규모를 고려한 분야 간 예산 규모 조정 및 필요조건

○ 연구자 의견 수렴 방식 및 반영 절차 개선을 위한 가이드라인 제시

- 연구재단 중심의 기본 계획 구축과 CRB 중심의 포트폴리오 구성 후 학문단 회의를 통한 상호보완적 조정 절차 마련
- 연구재단 내 Q&A 또는 운영마당 등의 게시판 운영을 통한 의견수렴 창구 도입
- 각 분야 운영·조정위원회에 대해 다년의 임기 보장을 통한 지속적이고 일관성 있는 운영체계 구축
- 여성 우대 등 여성-남성 관련 정책에 대한 별도의 의견수렴을 위한 자리 마련

○ 연구자 주도 기초연구사업의 분야별 연구비 조정 방안 제시

- 분야별 예산 지원 규모 결정을 위한 평가 요소 제안 및 중요도에 따른 가중치 산정
- 예산 규모, 수혜율의 안정화를 위한 예비비 배정을 통한 조정예산 확보
- 분야별 지원체계의 원활한 정착을 위한 단기-중기-장기적 관점의 단계별 시행

○ 추가적인 정책적 고려사항 제안

- 각 사업의 역할(수월성 / 보편성)을 고려하여 우대제도 대상 사업 제시
- 출산 및 육아 휴직으로 연구자의 경력 단절을 막기 위한 재도약 연구 지원 대상 확대
- 지역 및 여성과학자 우대제도에서 분야별 특성 반영

○ 현재 예산 구조에서 분야별 지원체계 적용을 위한 사업운영 개선안 제시

- 각 사업의 역할(보편성-수월성)을 고려한 과제 구조 개편
- 단계별 접근을 통한 의·약학단 연구지원 분리
- 프로그램 신설 및 추가적인 지원제도 운영
- 한국연구재단 RB/CRB 시스템 재정립
- 장기적 관점의 사업운영개선 방향 및 적용 방안

○ 교육부의 이공분야 학술연구 지원 사업 적용 및 적용 방식 의견

- 교육부(안정적 지원에 중점을 둔 소규모 장기지원)와 과기부(도전적 과제 지원 우선)의 역할 분담을 통한 분야별 지원
- 과기부 사업과 교육부 사업간 중복 요소(학제간융합사업, 지역대학 등) 제거

○ 국책연구사업 중 원천사업 등의 분야별 지원체계 적용 및 적용 방식 의견

- 기초연구와 원천연구 매칭을 통해 기초연구 우수성과를 원천기술로 연계
- 원천사업 자체의 분야별 지원체계를 넘어 기초연구본부 사업들과 연계한 새로운 사업의 공동기획 등을 분야별 지원체계에 포함

4. 연구개발 결과의 활용계획

○ 2022년 이후 연구자 주도 기초연구사업의 학문분야별 지원체계에 대한 세부 지원전략 도출을 통한 정부 R&D 예산 투입의 안정성·효율성 제고

○ 국내 연구자 주도 기초연구사업의 학문분야별 지원체계로의 개편에 따른 정책적 지원 방향 수립 시 활용

▌참고문헌▐

[1] NSF FY2020 AGENCY FINANCIAL REPORT

[2] NIH FINANCIAL MANAGEMENT REPORT FISCAL YEAR 2020

[3] 학문분야 별 특성을 고려한 개인 기초 연구과제 지원 방안 연구

[4] https://www.jsps.go.jp/english/aboutus/index4.html

[5] 2021/22 budget allocations for UK Research and Innovation

[6] 영국연구혁신기구(UKRI) 지원 프로그램 소개, 한국연구재단

[7] 제186호 과학기술&ICT 동향

[8] NATIONAL NATURAL SCIENCE FOUNDATION OF CHINA 2019 ANNUAL REPORT

[9] 분야별 조정위원회 활동 현황, 한국연구재단 (2021)

[10]「기초연구사업 분야별 지원체계 전환, 이슈와 과제」, 제 12회 기초연구 아카데미 (2020)

[11] 분야별 지원체계 시행분야 성과분석, 한국연구재단 (2021)

제2절 정부 데이터 관련 사업 현황 분석 및 유형 체계화 연구

1. 연구개발의 목적 및 필요성

○ 데이터의 구축 및 활용에 대한 많은 사업이 다발적으로 진행되고 있으나, 구축되는 데이터와 이를 활용한 연구사업을 포괄하는 관점에서의 검토는 다소 부족한 상황

○ 데이터 3법 개정('20.1) 및 디지털 뉴딜 정책의 영향으로 각 부처의 빅데이터 관련 사업이 동시다발적으로 진행되고 있어 정책효과 극대화를 위한 배분조정 가이드라인이 필요

- 관련 데이터 확보 방안(플랫폼 유무) 확인이 어렵고, 부처별 분절적 추진, R&D/非R&D 사업 혼재로 중복 구축되거나 플랫폼 간 연계 부족 우려
- 정부 R&D/非R&D 데이터 사업 현황 분석 및 지원방식의 유형화를 통해 투자 효율화 및 기준 제시 필요

2. 연구개발의 내용 및 범위

○ 정부 데이터 수집·활용 사업 분석

- 데이터관련 정부사업 동향 분석, 데이터 산업 관련 민/관 인프라 구축 현황

○ 데이터 활용 정부 R&D/非R&D 사업 현황

- 과기정통부, 산업통산자원부, 국토교통부, 보건복지부, 환경부, 행정안전부 등 정부 R&D/非R&D 사업 현황 조사

○ 데이터 수집·활용 정부사업 유형분석

- 사업 유형화를 위한 파일럿 분석을 통해 사업 유형화 지표 선정
- 이를 기반으로 한 데이터사업 전체 사업 유형화 수행 및 인공지능 사업 유형화 시도

○ 유형화된 데이터사업 자료를 바탕으로, 동일분야 내 혹은 동일 부처 내 유사사업을 확인하여 사업추진의 적정성 및 효과성을 판단

- 사업목적, 활용유형, 정책목적, R&D/비R&D, 부처 내 데이터/인공지능 사업 등 다양한 조합의 관점으로 사업 연계성을 검토한 후 의미있는 조합을 중심으로 케이스 분석을 소개
- 분석은 사업검토의 프로세스를 제안하는데 목적이 있으며, 분석의견을 제시하는 것이 아님

3. 연구개발결과

○ R&D/非R&D 관점, 부처간 사업 유사성의 관점, 사업 유형별 포트폴리오의 관점에서 사업유행별 분석을 시행

- 산업부와 환경부의 경우 플랫폼화라는 동일한 목적으로 R&D 및 비R&D 사업을 운영
- 플랫폼화 중 DB구축/개방 성격의 사업은 R&D/비R&D관점 외에도 부처간 사업을 비교했을 때 생태/환경정보, 바이오빅데이터, 보건의료빅데이터, 바이오소재빅데이터 등 성격이 유사하거나 향후 연계활용 가능성이 충분한 사업이 존재하는 것으로 확인됨
- DX지원과 관련해서는 철도인프라 관련 BIM 기반 플랫폼 구축과, 산업부 스마트야드, 디지털엔지니어링 혁신기반구축에서 활용되는 기술적 기반 및 데이터 활용 방식에 유사성이 있을 수 있음
- 각 부처별(분야별) 활용유형별 포트폴리오를 분석할 경우 플랫폼화, 공동개발, 자체활용 등 사업의 수요자 관점에서의 유형별 현황 파악이 가능

○ 바이오데이터 기반 사업연계분석, 환경데이터 관련 사업 연계분석, 해양 데이터 관련 사업 연계분석 등 예시를 통해 Value Chain 관점에서의 데이터사업과 인공지능 기술개발 사업의 연계성을 분석하고 시사점을 도출

- 데이터의 생성, 가공 및 개방을 인공지능 사업의 기반으로 보는 관점에서, 데이터와 인공지능을 Value-chain상에 있다고 보는 가정은 타당성이 있는 것으로 케이스스터디로 확인
- 향후 신규 추진되는 사업이나, 기존사업의 증액과 관련해서는 해당 사업이 가진 Value-chain 구조를 분석하여 사업의 효과성을 판단하는 지표로 활용 가능

○ 데이터산업 관련 정부사업 신규기획 및 배분조정 기준을 제안

- 사업 유형화와 유형별 특성 분석을 통해 신규기획되는 데이터사업 및 예산배분조정 시 체크해야할 요소들을 제시

4. 연구개발 결과의 활용계획

○ 정부의 투자우선순위 설정 및 신규사업 검토에 있어서도 데이터산업의 특성에 부합하는 기준을 활용할 수 있도록 본 연구에서 기초적인 시도를 하고 기준을 설정

주 의

1. 이 보고서는 한국과학기술기획평가원에서 수행한 연구보고서 입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 한국과학기술기획평가원에서 수행한 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.

KISTEP 한국과학기술기획평가원
Korea Institute of S&T Evaluation and Planning

(27740) 충청북도 음성군 맹동면 원중로 1339
TEL : (043) 750-2300 FAX : (043) 750-2680
http://www.kistep.re.kr