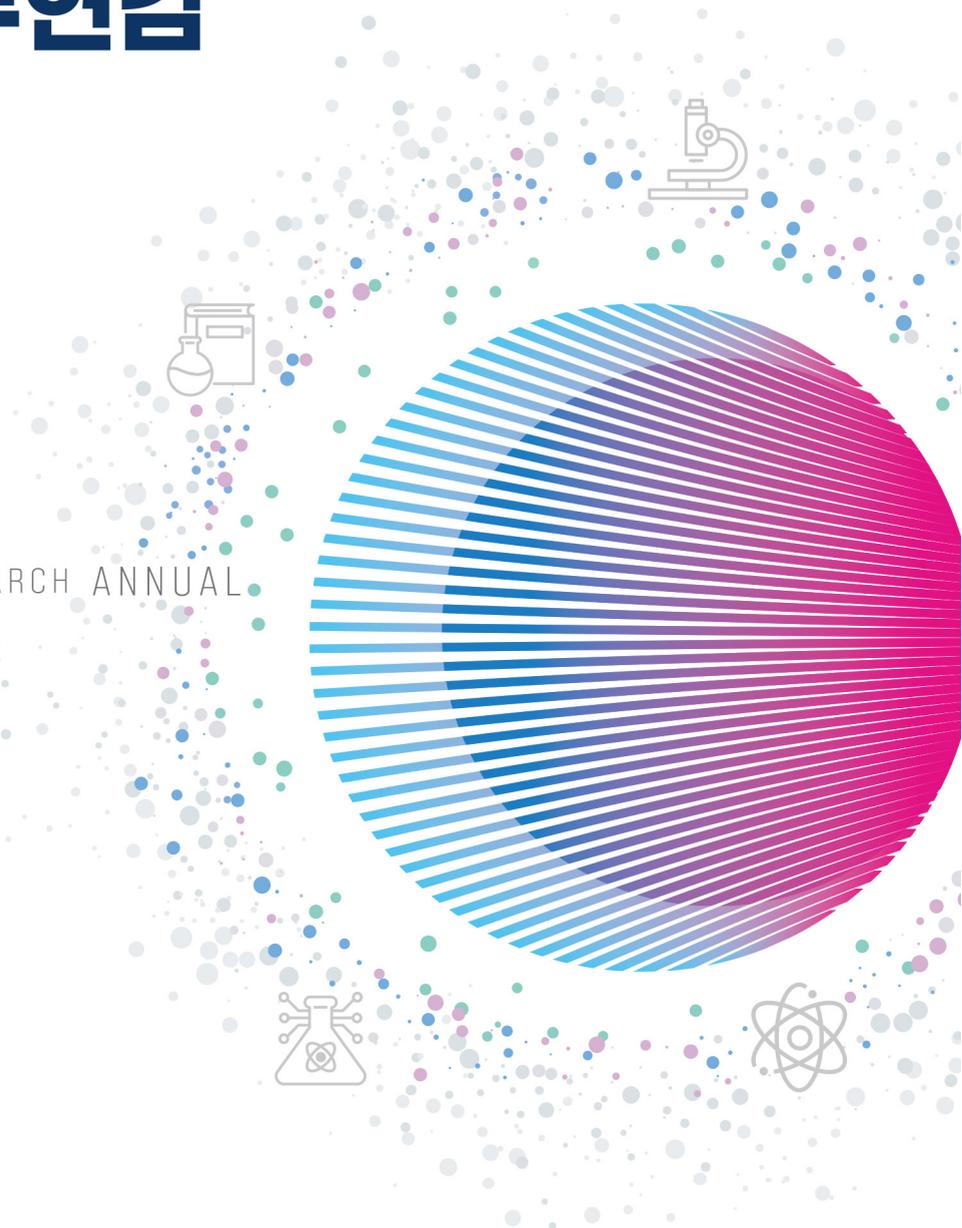


발간등록번호

11-1721000-000357-10

2020년도 융합연구연감

CONVERGENCE RESEARCH ANNUAL
2020



과학기술정보통신부
Ministry of Science and ICT

발간사



2020년은 인류가 코로나-19 팬데믹이라는 전례 없는 시련을 경험한 해였습니다. 그러나 한편으로 2020년은 이에 맞서 우리 정부와 국민의 노력으로 분야를 뛰어넘는 융합 기술과 산·학·연의 경계를 허무는 협력을 통해 혁신을 창출해낸 해이기도 했습니다. K-방역과 코로나-19 드라이브스루 선별 검사소 등 기존의 이질적인 분야가 협동하여 전 세계적으로 주목받는 성과를 이룩하고 확산했습니다. 아울러 코로나-19 본격화된 비대면 사회와 디지털 전환은 5G 등 ICT 기술을 기반으로 하는 기술의 융합을 촉진했습니다.

코로나-19를 포함한 현대의 사회 난제들은 점차 상호 연결성이 증가하고 복잡해져 가고 있습니다. 이를 해결하기 위해서는 NT(나노기술), BT(바이오기술), IT(정보통신 기술) 등 과학기술뿐 아니라 인문 사회 등 다양한 분야의 연구자는 물론 산·학·연, 민관 종사자의 역량을 결집해야 합니다. 해외 주요국에서는 이미 사회문제를 해결할 수 있는 창의와 혁신의 원천이 되는 융합의 중요성을 체감하고, NSF Convergence Accelerator(미국), Horizon Europe(유럽) 등 대규모 융합연구 프로그램에 대한 투자를 증진해왔습니다. 이와 마찬가지로 우리 정부도 파괴적 혁신을 견인할 수 있는 융합연구개발에 대한 투자를 점차 강화하고 이로 인한 성과를 확대해 나가고 있습니다.

미래학자 앨빈 토플러는 “경제적 돌파구는 하나의 섹터나 기술이 아니라 여러 분야·학문의 융합을 통해 찾을 수 있다”고 했습니다. 이처럼 융합은 경제·사회·환경 현안을 해결하기 위한 연구개발 성과들의 상승적 결합을 통해 새로운 가치로 연결하고 확산하는 핵심 활동입니다. 점점 고도화되어가는 사회 문제 해결을 위해서는 혁신의 엔진인 융합연구는 필수적이며, 이를 위해서는 선도형 연구와 연구개발 지원이 뒷받침 되어야 합니다. 이에 따라 정부는 다양한 이해관계자가 협업하고 교류할 수 있는 플랫폼을 기획하는 등 선도적이고 체계적인 정책적 지원을 확대해 나갈 것입니다.



「2020년도 융합연구연감」은 국내외 정책 및 기술 동향, 국내 투자성과, 최신 융합 메가트렌드 및 융합연구테마 등 융합 연구에 관한 다양한 지식과 정보를 담고 있습니다. 또한, 고령화·개인화 등의 사회트렌드와 이에 대응하는 융합기술을 담아 현재 국내 융합연구의 지향점을 파악할 수 있습니다. 이처럼 본 연감은 정책 입안자, 연구자 등 융합연구 관계자뿐 아니라 일반 국민에게도 유익한 정보를 제공하여 융합연구의 저변을 넓히고 융합에 대한 인식을 제고하고자 합니다. 끝으로 편찬위원, 연구진, 편집진 등 연감발간을 위해 수고해주신 모든 분들께 진심 어린 감사의 말씀을 전합니다.

2021년 9월

과학기술정보통신부 장관 임혜숙

편찬위원 추천사

현대사회가 직면한 기후변화, 코로나-19 팬데믹, 양극화 등과 같은 사회적 난제들은 전 지구적으로 영향을 미칠 뿐만 아니라, 서로 복잡하게 얽혀 있어 문제 해결이 매우 어려운 특징이 있습니다. 이러한 문제들은 한 나라의 노력이나 한 분야에서의 획기적인 발견만으로 완전한 해결을 기대하기 어렵고, 관련된 여러 분야에서의 융·복합적이며 다각적인 접근법과 노력이 필수적입니다. 이미 세계 각국은 스마트 의료, 녹색수소, 스마트팩토리 등의 미래세대 과제를 수행함에 있어, 각종 사회 이슈에 대응하며 동시에 분야를 초월하여 상호 협력하며 미래를 대비한 치열한 경쟁을 시작했습니다.

우리나라도 2008년 <국가융합기술 발전 기본계획>을 수립하고, 미래 글로벌 융합생태계 구축을 선도할 목적으로 2012년 한국과학기술연구원(KIST) 내에 융합연구정책센터를 설립하여, 국내외 융합연구 동향 분석, 융합기술 육성정책 지원 및 연구개발 사업 기획·평가·성과분석 등을 수행해왔습니다.

<융합연구연감>은 한 해의 융합기술 R&D 정책 동향과 연구개발의 성과를 돌아볼 뿐만 아니라 융합연구의 나아가야 할 방향을 진단하고 제시할 목적으로 2017년부터 융합연구정책센터에서 발간하고 있습니다. 특별히 <2020년도 융합연구연감>은 인류 역사에 기록될 중요한 사건인 코로나-19 팬데믹을 극복하고 이후 변화에 능동적으로 대응하기 위한 노력을 기록한다는 면에서 그 의미가 크다고 할 수 있습니다. 이번 융합연구연감에는 국내외 융합연구 정책, 융합연구 투자 및 성과분석, 융합연구 연구자 인식조사, 융합 메가트렌드, 융합연구테마 등으로 풍부하게 구성되어 있어 과학·기술 종사자와 정부 부처 관계자는 물론 일반 국민에게도 유용한 자료가 될 것이라고 자신합니다.



마지막으로, KIST 융합연구정책센터의 <2020년도 융합
연구연감>의 발간을 축하드리며, 그동안 발간을 위해 힘써
주신 과학기술정보통신부 관계자분들과 집필에 참여하신
연구진과 편찬위원회 위원 및 집필위원들께 감사의 말씀을
드립니다.

2021년 9월
편찬위원회 일동

Contents

발간사	3
편찬위원 추천사	5
목차	7
표 목차	9
그림 목차	11

제1장

융합연구연감의 개요

제1절 배경 및 필요성	17
---------------------------	----

제2절 융합연구연감 구성	18
----------------------------	----

1. 개요	18
2. 융합연구 정책	18
3. 융합연구 현황	20
4. 융합 메가트렌드	22

제2장

융합연구 정책

제1절 국내 융합연구 정책 동향	27
--------------------------------	----

1. 2020년도 융합연구개발 활성화 시행계획(안) 수립	27
2. 2020년도 정부 융합연구개발 사업 추진 현황	32

제2절 해외 융합연구 정책 동향	36
--------------------------------	----

1. 미국	36
2. 유럽	55
3. 일본	66
4. 중국	72

제3장

융합연구 현황

제1절 융합연구개발 투자 현황	87
-------------------------------	----

1. 조사 개요	87
2. 2019년도 융합연구개발 투자 현황	88

제4장

융합 메가트렌드

부록

제2절 융합연구개발 성과분석	97
1. 분석 개요	97
2. 총괄 성과 요약	98
3. 논문 성과분석	101
4. 특허 성과분석	104
5. 기술료 성과분석	107
6. 사업화 성과분석	110

제3절 융합연구 연구자 인식조사	113
1. 조사 개요	113
2. 주요 조사 결과	116

제1절 개요	127
1. 배경 및 필요성	127
2. 범위 및 주요 내용	128

제2절 2020년도 융합 메가트렌드	131
1. 사회 트렌드	131
2. 기술 트렌드	149

제3절 주요 융합연구테마	159
1. 선정 과정	159
2. 융합연구테마별 주요 내용	159

1. 융합연구정책센터 소개	235
2. 미래융합협의회 소개	243
3. 2020년도 융합연구개발 활성화 시행계획(안)	253
4. 융합 메가트렌드 선정 프로세스	313

표 목차

표 2-1	2019년도 부처별 융합 R&D 투자 실적	27
표 2-2	2019년도 융합 R&D 주요 성과	28
표 2-3	2019년도 융합 R&D 투자 대비 성과	28
표 2-4	2020년도 부처별 융합 R&D 투자 계획	29
표 2-5	2020년도 융합연구개발 신규사업 추진 현황	30
표 2-6	부처별 주요 융합연구개발 사업 추진 내용	31
표 2-7	2011~2020년 STEAM연구사업 누적 투자액	32
표 2-8	STEAM연구사업 내역사업별 사업 목적 및 2020년도 투자 규모	32
표 2-9	STEAM연구사업 내역사업별 추진 실적	34
표 2-10	혁신 및 R&D 정책에 대한 바이든 정부 입장	39
표 2-11	인터넷 및 디지털 경제 정책에 대한 바이든 정부의 입장	40
표 2-12	광대역 및 통신정책에 대한 바이든 정부 입장	40
표 2-13	교육 및 기술에 대한 바이든 정부 입장	41
표 2-14	세금에 대한 바이든 정부 입장	42
표 2-15	규제에 대한 바이든 정부 입장	42
표 2-16	무역에 대한 바이든 정부 입장	43
표 2-17	첨단제조에 대한 바이든 정부 입장	44
표 2-18	생명과학에 대한 바이든 정부 입장	44
표 2-19	청정에너지 혁신에 대한 바이든 정부 입장	45
표 2-20	국가 AI R&D 전략 계획 업데이트 8대 추진 전략의 주요 내용	47
표 2-21	미국 연방정부의 2020 회계연도 비 국방 AI R&D 상위 5대 기관 및 예산요구액	49
표 2-22	EU 이니셔티브 목록	56
표 2-23	하이테크 전략 2025 강화방안을 위한 정책권고안	63
표 2-24	European Green Deal을 지원하기 위한 10대 전략적 지침	65
표 2-25	어젠다 2030 실현을 위한 FONA의 3대 전략목표, 8대 행동분야, 25개 실천계획	65
표 2-26	일본 과학기술분야 대형 프로그램	69
표 2-27	혁신종류와 고객에 의한 연구기관의 역할 구분	70
표 2-28	문샷 연구개발 주제	72
표 2-29	중점연구개발계획의 25개 프로젝트	74
표 3-1	융합연구개발 투자 현황 및 주요 성과분석 항목	87
표 3-2	2019년 융합기술 R&D 과제 수 및 투자액 현황	88
표 3-3	연구비 규모별 과제 수 현황	90
표 3-4	연구개발 단계별 투자 현황	90
표 3-5	연구수행 주체별 투자 현황	90
표 3-6	과학기술표준분류 선택횟수에 따른 투자 현황	92
표 3-7	미래유망신기술(6T) 분류별 투자 현황	93
표 3-8	공동·위탁연구 수행 건수 및 지출액 현황	95

표 3-9	부처별 공동·위탁연구 지출액 현황	95
표 3-10	융합기술 R&D 성과 현황의 분석 항목	97
표 3-11	2019년 융합기술 R&D 사업의 논문, 특허 성과 일괄표	99
표 3-12	2019년 융합기술 R&D 사업의 기술료, 사업화 성과 일괄표	100
표 3-13	응답자 특성	115
표 4-1	세계와 한국의 고령인구 비율 변화	134
표 4-2	주요 국가별 인구고령화의 진전 속도	134
표 4-3	우리나라 출생아 수 및 합계출산율	136
표 4-4	코로나-19 전후의 업무 협업 방향 및 특징 비교	143
표 4-5	지구온난화 1.5℃와 2.0℃ 주요 영향 비교	146
표 4-6	포스트 리튬-이온 배터리의 종류 및 특성	184
표 4-7	친환경차 구동 형태 및 특징	228

그림 목차

그림 2-1	2020 과학난제 9대 도전영역	35
그림 2-2	Organization of the AI R&D Strategic Plan (2019 update, to include Strategy 8)	46
그림 2-3	임무 지향적 혁신정책 연구기관 성공사례와 일본 과학기술 대형 프로그램 분류	71
그림 3-1	2019년 융합기술 R&D 과제 수 및 투자액 현황	88
그림 3-2	부처별 투자 현황	89
그림 3-3	지역별 투자 현황	91
그림 3-4	과학기술표준분류별 투자 현황	91
그림 3-5	중점과학기술 분야별 투자 현황	93
그림 3-6	공동·위탁연구의 정부 전체 R&D 대비 융합기술 R&D 비중 ·	94
그림 3-7	국가별 국제 공동·위탁연구 수행 건수 현황	96
그림 3-8	융합기술 R&D 총괄 성과 요약	98
그림 3-9	부처별 SCI(E)논문 성과 비중	101
그림 3-10	연구개발단계별 SCI(E)논문 성과 비중	102
그림 3-11	연구수행주체별 SCI(E)논문 성과 비중	102
그림 3-12	지역별 SCI(E)논문 성과 비중	103
그림 3-13	미래유망 신기술(6T) 분야별 SCI(E)논문 성과	103
그림 3-14	부처별 특허 출원 성과(왼쪽) 및 부처별 특허 등록 성과(오른쪽) ·	104
그림 3-15	연구개발단계별 특허 출원 성과(왼쪽) 및 연구개발단계별 특허 등록 성과(오른쪽)	104
그림 3-16	연구수행주체별 특허 출원 성과(왼쪽) 및 연구수행주체별 특허 등록 성과(오른쪽)	105
그림 3-17	지역별 특허 출원 성과(왼쪽) 및 지역별 특허 등록 성과(오른쪽) ·	105
그림 3-18	6T 분야별 특허 출원 성과(왼쪽) 및 6T 분야별 특허 등록 성과(오른쪽)	106
그림 3-19	해외 특허 출원 성과(왼쪽) 및 해외 특허 등록 성과(오른쪽) ·	107
그림 3-20	부처별 기술료 징수건수(왼쪽) 및 부처별 기술료 징수액(오른쪽) ·	107
그림 3-21	연구개발단계별 기술료 징수건수(왼쪽) 및 연구개발단계별 기술료 징수액(오른쪽)	108
그림 3-22	연구수행주체별 기술료 징수건수(왼쪽) 및 연구수행주체별 기술료 징수액(오른쪽)	108
그림 3-23	지역별 기술료 징수건수(왼쪽) 및 지역별 기술료 징수액(오른쪽) ·	109
그림 3-24	미래유망 신기술(6T)별 기술료 징수건수(왼쪽) 및 미래유망 신기술(6T)별 기술료 징수액(오른쪽)	109
그림 3-25	부처별 사업화 성과건수	110
그림 3-26	연구단계별 사업화 성과건수	111
그림 3-27	연구수행주체별 사업화 성과건수	111
그림 3-28	지역별 사업화 성과건수	112
그림 3-29	미래유망신기술(6T)별 사업화 성과건수	112
그림 3-30	응답자 연구 분야	116
그림 3-31	기술 분야·학문 분야 간 융합연구에 참여한 경험	117

그림 3-32	참여한 융합연구의 성공적 진행 여부	118
그림 3-33	융합연구 시작 시기	119
그림 3-34	융합연구 지속적 시도 여부	120
그림 3-35	우리나라 융합연구의 전반적인 활성화 수준	121
그림 3-36	융합연구의 필요성 및 융합연구 지속적 확대에 대한 생각	122
그림 3-37	향후 융합연구를 희망하는 분야	123
그림 3-38	융합연구를 활성화하기 위한 선도시범사업의 필요성	124
그림 4-1	융합 메가트렌드 및 융합연구테마 선정 과정	128
그림 4-2	2019년 대비 2020년도 메가트렌드의 변화	129
그림 4-3	2019년 대비 2020년도 융합연구테마의 변화	130
그림 4-4	전 세계 전염병 발생 타임라인	131
그림 4-5	글로벌 규모별 대도시 수 전망	139
그림 4-6	수도권-비수도권, 비수도권 권역별 인구 추이 및 전망 (1970~2070년)	140
그림 4-7	전국에서 수도권이 차지하는 비중(왼쪽) 및 소멸위험 지방자치단체(오른쪽)	141
그림 4-8	세계 대륙별 디지털 워크플레이스 규모 전망(왼쪽) 및 재택근무 인프라 구축비 신청 기업 추이(오른쪽)	144
그림 4-9	관측된 전지구 평균 온도 변화와 미래 온도 예측 범위	146
그림 4-10	Data Drives Action 개념도	150
그림 4-11	스마트 헬스케어의 과거, 현재, 미래	160
그림 4-12	개인 맞춤형 건강 예측 및 관리를 위한 스마트 헬스케어 데이터	162
그림 4-13	복합 운송 네트워크 시스템에서의 퍼스널 모빌리티	167
그림 4-14	퍼스널 모빌리티의 범위	168
그림 4-15	BMW의 퍼스널리노	171
그림 4-16	아이보드(왼쪽), 나인봇(가운데), 나인봇원(오른쪽)	171
그림 4-17	르노삼성의 트위지(왼쪽) 및 대창모터스의 다니고(오른쪽)	173
그림 4-18	캠시스 CEVO-C(왼쪽) 및 쉐미시스코의 R3(오른쪽)	173
그림 4-19	형제파트너의 아그레브	174
그림 4-20	포스트 리튬-이온 배터리 개발을 위한 벨류체인 및 전지의 생애 주기	186
그림 4-21	2030 이차전지 산업 발전 전략 및 종합 지원 대책	187
그림 4-22	포스트 리튬-이온 배터리의 향후 개발 방향성	189
그림 4-23	스마트제조 기술	193
그림 4-24	합성생물학 기반 예측가능하고 안전한 고성능 세포시스템 구축	196
그림 4-25	자동차 조립 공정과 합성생물학의 병렬적 구조	197
그림 4-26	합성생물학 주요 기술	200
그림 4-27	DNA 합성기술 및 RNA 기반 mRNA 백신	204
그림 4-28	클라우드 컴퓨팅과 엣지 컴퓨팅	208
그림 4-29	생산방식에 따른 수소 종류	214
그림 4-30	상용 가능한 수전해 기술의 종류	215
그림 4-31	녹색 수소의 벨류체인	217



다각적인 측면에서 바라본 코로나-19*

뉴 노멀 2.0

- 코로나-19로 금융-경제를 포함한 사회 전반에 변화를 촉발
- 코로나-19 종식 이후에도 또 다른 감염병이 발생할 지도 모른다는 불확실한 미래가 전반적 변화의 모멘텀으로 작용할 것으로 예상
- 비대면 업무, 화상회의, 원격수업 등 기존과 다른 표준을 구축하게 될 것으로 예상



경제

- 보호무역과 탈세계화: 국경봉쇄, 자국 보호주의 강화, 선진국과 신흥국 생산비용 격차 축소 등 글로벌 가치사슬이 약화
- 셋인이코노미: 정부가 수행하는 셋다운이코노미와 달리 개인이 자발적으로 개인적 공간에서 경제사회활동을 유지하는 셋인이코노미의 부상
- 소비 패러다임의 변화: 온라인 시장이 확대되고, 구독경제가 활성화되는 등 언택트 소비 문화가 확산되는 추세

정치·사회

- 정부역할 확대: 코로나-19로 정부의 국민 보호 역할이 강조되면서, 의료 및 고용 부문을 중심으로 사회안전망 강화 전망
- 사업/정부 주도 민관 협력 모델 부상
- 양극화 심화: 선진국-개발도상국, 대기업-중소기업, 고소득층-저소득층 등 사회 계층화와 양극화 심화 및 디지털 격차로 인한 양극화를 의미하는 디지털 디바이드 발생
- 도시 저밀평탄화: 언택트 문화가 확산되면서 개인 거주공간 확장 욕구 증대

디지털 전환 촉진과 4차 산업혁명

- 디지털 전환 촉진: 자동화, 무인화 등 확산
- 4차 산업혁명 가속화: IoT, 빅데이터, AI, 3D 프린팅, 5G, 블록체인, 클라우드 등 기술의 발전 가속화
- 디지털 일상화

IT 보안

- 온라인 소통 증가로 위조, 변조, 해킹 등의 위험성 증가(전 세계 피해액 3조 달러(2015년) → 6조 달러(2021년) 전망)
- 미래에는 자율주행차 해킹, 가상자산 위조, 발전시스템 해킹 등 거시적 차원의 사이버 범죄 증가 전망

의료·건강·보건

- 건강 및 위생 관심 제고: 원격의료 및 디지털 헬스케어 부상, 가상현실 및 증강현실 영상 진료 기술 개발 등
- 바이오 헬스 기술 투자 증대: 진단키트, 백신 등 바이오 헬스 분야 개발이 신속하게 진행

환경

- 환경파괴 및 기후변화 대응: 빈번하게 발생하는 인수공통 감염병의 기원이 환경적, 생태적 요인과 관련이 있다는 고찰이 이어져 환경 파괴와 기후변화 대응에 대한 노력 증대 추세

교육

- 양방향 교육 증가: 온라인 대중 공개수업(MOOC)과 같은 온라인 실시간 교육의 비중 확대
- 교육에 신기술 접목: 가상현실, 증강현실, 홀로그램, 데이터 분석 등 신기술이 접목된 교육이 일상화될 전망

여가·엔터테인먼트·콘텐츠

- 엔터테인먼트 및 콘텐츠 산업: 사회적 거리두기 등으로 온라인 동영상 서비스(OTT) 및 게임 시장 확대 추세
- 홈 루덴스(Home Ludense) 문화 및 이웃도어 여가 문화 등 확대

*참고자료: KDB 미래전략연구소. (2020). 포스트코로나 뉴노멀 2.0 시대의 환경변화; 딜로이트. (2020). COVID-19 이후를 관통할 핵심이슈 5가지; 우리금융연구소. (2020). 2021년 비즈니스 트렌드 선정; 현대경제연구원. (2021). 2021년 한국 경제의 10대 키워드; KISTEP. (2020). 포스트코로나 시대의 미래전망 및 유망기술; STEPI. (2020). STEPI Outlook 2021; STEPI. (2020). 대한민국 과학기술 미래전략 2045; McKinsey & Company. (2021). The Next Normal Arrives: Trends that Will Define 2021.

제1장

융합연구연감의 개요

2020년도 융합연구연감은 융합과 관련된 국내외 정책, 국가 R&D 투자 및 성과 현황, 연구자 인식 설문조사 결과를 분석한다. 또한 융합 메가트렌드(사회·기술 트렌드) 및 융합연구테마를 도출하여 융합연구의 방향성을 제시하고자 한다.

제1절 — 배경 및 필요성

제2절 — 융합연구연감 구성

1. 개요
2. 융합연구 정책
3. 융합연구 현황
4. 융합 메가트렌드

Chapter 01

배경 및 필요성

미래사회는 다양한 추세가 복합적으로 상호작용하여 변화하고 있다. 또한, 각 추세가 미치는 영향력의 범위와 규모가 불확실하여 이에 전략적으로 대응하기 위해서는 분야의 경계를 넘나들며 과학·기술, 경제, 사회 구조를 통합적으로 바라보는 접근이 필요하다. 이처럼 전 세계적으로 빠르고 복잡하게 변화하는 환경에서 4차 산업혁명은 다양한 학문과 기술의 융합을 통해 파괴적 혁신으로 전개되고 있으며, 분야와 영역 간 경계를 넘어 혁신을 창출하는 융합연구의 중요성이 증가하고 있다. 이에 미국 NSF NBIC(나노·바이오·정보·인지 과학) Converging Technologies, 유럽 CTEKS(유럽지식사회를 위한 융합과학·기술), 우리나라 국가융합기술발전 기본계획 등 전 세계적으로 융합 관련 정책이나, 미국 융합 액셀러레이터, EU 호라이즌 유럽, 일본 문샷 등과 같은 다양한 융합연구사업을 활발하게 추진하고 있다.

고령화, 도시화, 기후변화, 환경오염 등 기존의 사회적 난제와 더불어 최근에는 코로나-19 팬데믹까지 더해 전 세계가 급작스러운 사회·경제적 위기에 직면하면서 불확실한 위협에의 대응력과 사회·경제적으로 신속하게 회복할 수 있는 복구 능력이 요구되고 있다. 이와 더불어 커뮤니케이션과 서비스의 급속한 비대면·디지털화로 전 세계적인 디지털 전환이 가속화되고 있다. 이에 따라 인공지능(AI), 나노, 로봇 기술, 빅데이터, 바이오·의료기술 등 다양한 첨단기술 각각의 중요성은 물론이고, 사회 난제 해결을 위한 이들 신기술 간의 융합 활성화 방안이 전례 없는 관심과 주목을 받고 있다. 이러한 첨단기술의 융합연구·개발의 성과가 향후 글로벌 경제·사회를 선도할 수 있는 레버리지로 작용할 것으로 전망된다.

이에 「2020년도 융합연구연감」에서는 최근 사회·경제·기술적 트렌드와 그에 대응하는 국내외 첨단·융합연구의 기술·정책 동향을 소개하고, 우리나라의 국가 융합기술 R&D 투자와 성과를 분석하고자 한다. 또한, 융합연구 연구자의 인식 설문조사 결과를 분석하여 국내 융합연구 현황과 전망에 대한 전문가의 인식을 살펴보고자 한다. 이러한 내용구성을 통해 우리나라 융합연구 관련 정책의 체계적인 수립을 위한 지식기반을 마련하고, 신규 사업기획을 위한 정보와 아이디어를 제공하고, 융합연구에 대한 대중의 관심과 인식을 환기하고자 한다. 이로써 본 연감은 국내 융합연구 활성화 방안의 방향과 시사점을 제공하고자 한다.

융합연구연감 구성

1. 개요

「2020년도 융합연구연감」에서는 국내외 융합연구 정책의 동향, 국내 융합기술 R&D 현황과 성과, 융합 메가트렌드, 융합연구테마를 체계적으로 기술했다. 먼저 2장 <융합연구 정책>에서는 <2020년도 융합연구개발 활성화 시행계획>, STEAM연구사업, 과학난제도전융합연구개발사업처럼 2020년도에 추진한 정부 융합연구개발사업과 미국, 유럽, 일본, 중국 등 해외 주요국의 융합연구정책을 제시했다. 이어지는 3장 <융합연구 현황>에서는 융합기술 R&D 투자 현황 및 성과분석, 융합기술 연구자 인식조사 결과를 정리했다. 마지막 4장 <융합 메가트렌드>는 전문분석 기관의 보고서를 통해 사회 트렌드와 기술 트렌드를 도출한 뒤, NTIS 연구과제 분석과 편찬위원회를 통해 융합연구테마를 선정했다.

2. 융합연구 정책

해당 장에서는 2020년 국내외 융합연구 정책 동향을 소개한다. 이 중 국내 융합기술 연구개발 정책은 2020년도 융합연구개발 활성화 시행계획과 다양한 정부 융합연구개발 사업을 중심으로 살펴본다. 2020년에는 「제3차 융합연구개발 활성화 기본계획」을 체계적으로 추진하기 위해 「2020년도 융합연구개발 활성화 시행계획」을 수립하여 부처별 전년도 R&D 성과와 당해연도 투자 계획을 검토했다. 2019년 주요 성과로는 논문, 국내외 특허, 기술료, 사업화 등을 기준으로 분석했고, 2020년도 부처별 융합 R&D 투자 계획도 간략하게 정리했다.

이와 더불어 2020년에 추진한 다양한 정부 융합연구개발 사업을 살펴보았다. 여기서 우리나라의 대표적인 융합연구사업인 STEAM연구사업과 과학난제도전융합연구개발 사업의 추진 현황을 중점적으로 다루었다. 우리나라는 2020년에 STEAM연구사업으로 전통문화융합연구, 과학기술·인문사회융합연구, 미래유망융합기술파이오니어, 바이오닉 암메카트로닉스개발, 첨단사이언스교육허브개발, 스포츠과학화융합연구, 과학문화 융합콘텐츠연구개발, 자연모사혁신기술개발 등을 추진했다. 정부는 이를 통해 융합기술

기반의 혁신과 신성장동력을 창출하고자 했으며, 분야를 뛰어넘는 개방과 협력을 통해 융합 R&D 성과의 확산을 극대화하고자 노력했다.

이어서 제3차 융합연구개발 활성화 기본계획의 중점과제 중 하나인 ‘미래 융합선도 프로젝트 추진’의 일환으로 수행한 과학난제도전융합연구개발의 현황을 살펴보았다. 이는 한국과학기술한림원을 비롯한 다양한 학계 전문가와 협력하여 과학 난제 후보군을 발굴하고, 이러한 난제를 융합을 통해 창의적인 방법으로 해결하는 방안을 모색한다. 2020년 과학난제도전융합연구개발 사업은 암 정복, 지구온난화 해결, 우주의 기원 규명 등 9개의 도전영역을 선정했다.

다음으로 미국, 유럽, 일본, 중국 등 해외 융합연구 정책 동향을 소개한다. 먼저 미국의 바이든 대통령은 기술혁신이 향후 국가 경제성장, 경쟁력 및 안보 확보에 중요한 영향을 미칠 것으로 판단하고 혁신과 연구개발 관련 디지털 경제, 교육, 첨단제조, 청정에너지 혁신 등 10개 영역에서의 이니셔티브를 제시했다. 이전 정부보다 사회적 약자 보호, 기후변화 대응에 대해 더 강조했지만, 전반적으로는 2020년 8월 트럼프 행정부에서 발표한 2022년 R&D 예산 우선순위와 비교하면 인공지능(AI), 양자정보과학(QIS), 5G 등 첨단산업에 대한 방향성은 대동소이하다. 이외에도 미국은 비(非)국방 AI 투자를 두 배 가량 확대하고, 융합 엑셀러레이터 프로그램을 통해 양자 기술, 데이터 혁명 등을 지원하고 있다. 또한 NSF의 개혁을 단행하는 ‘엔드리스 프런티어 법안(Endless Frontier Act)’과 미국 반도체 산업 주도권 탈환을 위한 ‘칩스 법안(CHIPS for America Act)’ 및 ‘파운드리 법안(American Foundries Act of 2020)’ 등을 상정했거나 추진하고 있다.

유럽연합(EU)은 그동안 ‘호라이즌 2020’, ‘호라이즌 유럽’, ‘마리큐리 프로그램’ 등의 프로그램을 통해 연구 프로젝트와 연구자들을 지원해왔으며, 오픈사이언스 이니셔티브와 유럽오픈사이언스 클라우드(EOSC)와 같은 연구자들을 위한 개방형 공유 플랫폼 구축, 연구개발 인력양성 등의 성과를 달성했다. 하지만 R&D 투자가 목표치(GDP 대비 3%)에 미달하고 있고 유럽연합 개별 국가 간 연구개발 편차가 커, 이를 극복하고자 유럽연구분야(ERA) 이니셔티브 개선계획과 R&I 전략을 발표했다. 또한, 대규모 장기 부양책인 차세대 EU(Next Generation EU)를 통해 코로나-19 팬데믹으로부터 사회·경제적으로 회복하고 녹색 및 디지털 전환을 가속화할 전망이다. 유럽의 개별 국가로는 독일이 하이테크전략(HTS) 2025를 통해 녹색수소, 순환경제, 바이오경제, 기후보호, 에너지시스템, 자원 효율성 등 6개 목표를 통해 연방정부의 연구개발과 혁신정책의 방향성을 정립했다. 영국은 ‘영국 연구개발로드맵(UK Research and Development Roadmap)’을 통해 연구·개발 투자를 2027년까지 GDP의 2.4%로 증대하고 R&D를 위한 공공자금을 2025년까지 연간 220억

파운드로 확대하여 영국 전역의 연구와 혁신을 강화하고자 한다.

일본은 25년 만에 과학기술기본법을 개정하여 과학기술 혁신을 새로운 가치를 창조하고 사회 전반의 변혁을 가져오는 포괄적인 개념으로 인식하고, <Society 5.0>, <2050년 탄소중립 달성>, <위협에 대한 안보 실현>, <노동 및 고용환경 재정비>, <세계 통용 범용 모델 구현> 등의 프로젝트를 추진했다. 이를 위해 일본은 혁신 역량을 강화하고, 차기 혁신의 원천이 되는 미래첨분야 연구를 추진하고, 미래형 인재 개발을 위한 교육시스템과 자금 순환 환경을 정비하고자 한다.

중국은 2020년 11월에 발표한 「국민경제사회발전 제14차 54개년 계획과 2035년 장기목표에 대한 건의(이하 건의)」에서 과학기술의 자주 혁신, 산업구조 고도화, 녹색성장 등 종합적인 국가역량 향상을 통해 혁신형 선진국으로 도약하겠다는 목표를 제시했다. 이 <건의>에는 중국이 중진국 함정을 극복하고, 미국의 대(對)중국 기술제재에 대응하기 위해 과학기술 및 국가체계 혁신의 내용을 담고 있다. 이를 위해 중국은 인공지능(AI), 양자 정보(QIS), 반도체, 바이오기술, 뇌과학, 품종개량, 우주과학, 심해·지층연구 등의 분야에 전략적으로 프로젝트를 추진하고 집중적으로 투자할 계획이다. 한편, 중국의 R&D 지출은 1.42조 위안에서 2.21조 위안으로 증가했고, GDP 대비 R&D 투자 비중 또한 2.06%에서 2.23%로 증가했다. 또한 기술시장 계약 매출은 2.2조 위안을 넘었고, 세계 지식재산기구가 발표한 글로벌 혁신지수에서 2020년 기준 14위를 기록했다(2015년 기준 29위).

3. 융합연구 현황

융합연구 현황은 융합연구개발 투자현황, 융합연구개발 성과분석, 융합연구 연구자 인식조사 결과를 분석해 제시했다. 2019년도 융합연구개발 투자현황을 살펴보면, 2019년도 정부 전체 R&D 중에서 융합기술 R&D의 비중은 과제 수 기준으로 17.03%, 투자액은 12.46%를 차지했다. 융합기술 R&D의 과제당 투자액은 2.15억 원으로 정부 전체 R&D의 과제당 투자액(2.93억 원)보다 0.78억 원 정도 적은 것으로 나타났다. 정부 전체 R&D 대비 융합기술 R&D의 비중을 부처별로 살펴보면, 특허청이 81.54%로 가장 높았다. 융합기술 R&D의 부처별 투자 비중은 과학기술정보통신부가 54.57%로 가장 높게 나타났다. 융합기술 R&D를 분석해보면 연구비 규모 기준 1억 원 미만이 58.29%(6,980개)로 가장 높았고, 연구개발 단계별로 보면 기초연구가 39.63%로 가장 높게 나타났다. 연구수행 주체는 융합기술 R&D 내에서 대학이 40.21%로 가장 높았다. 지역별로는 수도권이 38.76%로 가장 높았으며, 과학기술표준분류별로 보면 전기/전자(12.72%), 보건의료(11.83%), 정보/통신(11.30%) 순으로 높게 나타났다. 미래유망신기술(6T) 분류별로는 융합기술 R&D 내에서

기타를 제외하고 BT(29.08%), IT(24.58%), ET(17.14%) 순으로 높게 나타났다.

융합연구 성과분석은 논문, 특허, 기술료, 사업화 관련 성과를 분석해 제시했다. 2019년도 융합기술 R&D 사업(2조 5,709억 원)을 통해 SCI(E) 논문은 10,264편이 게재되었다. 융합기술 R&D 사업의 SCI(E) 논문 성과는 과학기술정보통신부, 기초연구, 대학, 수도권, BT 분야에서 주도적으로 나왔다. 융합 R&D 사업의 특허 출원·등록 성과는 각각 6,233건, 395건인데, 이 중에서 국내특허 출원·등록 성과가 각각 5,205건, 115건이며, 해외특허 출원·등록 성과는 각각 1,028건, 280건으로 나타났다. 정부 R&D 사업(20조 6,254억 원) 대비 융합기술 R&D 사업의 SCI(E) 논문 성과 비중은 24.49%를 구성했고, 특허 출원 및 등록 성과 비중은 각각 17.08%와 1.75%를 차지했다. 그리고 융합기술 R&D 사업의 기술료 성과는 교육부, 응용연구(전수 기준), 기초연구(징수액 기준), 대학, 지방, IT(전수 기준), BT(징수액 기준) 분야에서 주로 창출됐으며, 사업화 성과는 농림축산식품부, 개발연구, 중소기업, 지방, IT 분야에서 주로 배출되었다.

융합연구 연구자 인식조사는 ‘융합연구 개발 활성화 설문조사’를 통해 융합연구 경험이 있는 연구자와 학생 2,223명을 대상으로 진행되었다. 해당 조사의 목적은 융합연구와 관련된 현장의 의견과 융합연구 활성화 방안에 대한 의견을 수렴해 정책에 반영하는 것이다. 응답자들의 연구 분야는 ‘정보·통신’이 20.0%로 가장 많았고, 그다음으로는 ‘전기·전자’(16.7%), ‘재료’(14.7%), ‘기계’(14.0%) 등의 순으로 나타났다. 전체 응답자 중 58.7%가 기술·학문 분야 간의 융합연구에 참여한 경험이 있다고 밝혔다. 이 중 86.1%가 융합연구가 성공적으로 진행되었다고 응답했으며, 그 이유로는 ‘적합한 연구 파트너와 성공적 연구팀 구성’(25.2%) 등이라고 밝혔다. 융합연구 시작 시기로는 ‘취업 후’가 48.9%로 가장 높게 나타났고, 지속적으로 융합연구를 시도한 이유로는 융합연구에 지속적으로 참여한 연구자(1,026명)의 49.2%가 ‘새로운 문제해결 방법의 탐색’이라고 대답했다. 우리나라 융합연구의 전반적인 활성화 수준을 분석한 결과, ‘수준 낮음’이 48.0%로 ‘수준 높음’ 9.9%보다 높게 나타났다(평균 점수: 2.54점/5점). 해외 주요국에 비해 현재 우리나라 융합연구의 전반적인 활성화 수준을 분석한 결과는 ‘수준 낮음’이 59.9%로 ‘수준 높음’ 9.6%에 비해 높게 나타났다. 반면 전년도에 비하면, 현재 우리나라 융합연구의 전반적인 활성화 수준은 ‘수준 높아짐’이 25.4%로 ‘수준 낮아짐’ 8.5%에 대비해 높게 나타났다. 또한 연구개발의 성공적인 수행 및 지속가능한 혁신활동을 위한 융합연구의 필요성을 분석한 결과, ‘필요하다’가 91.5%로 높게 나타났다. 융합연구를 활성화하기 위한 국가연구개발사업 필요성에 대해서는 95.7%가 ‘필요하다’고 답했으며, 이 중 32.3%가 추진 시 가장 중점적으로 지원할 영역으로 ‘미래성장동력 확보를 통한 신시장 및 신산업 창출’을 선택했다.

4. 융합 메가트렌드

국내외 전문기관에서 발간한 37개의 트렌드 분석 보고서에 대한 문헌 연구를 기반으로 사회·기술적 관점에서의 융합 메가트렌드를 도출했다. 이에 2020년 NTIS 연구 과제 데이터분석을 병행하여 융합연구테마 선정에 활용했다. 이를 통해 융합연구와 관련된 6대 사회 트렌드와 4대 기술 트렌드를 도출하고, 이들 트렌드가 교차하는 지점에 위치하는 10개의 융합연구테마를 선정했다. 마지막으로 편찬위원회의 전문가 회의를 거쳐 트렌드와 연구테마의 적절성을 평가하고, 재조정하여 최종적으로 확정했다.

2020년 융합연구연감이 주목하는 6대 사회 트렌드는 ‘코로나-19와 비대면 사회 부상’, ‘고령화와 저출산 가속화’, ‘개인화’, ‘디지털 사회로의 전환 가속’, ‘수도권 거대화’, ‘환경파괴 및 기후위기 대응 본격화’ 등이다. 2020년은 코로나-19의 영향이 본격화되어 ‘뉴 노멀 2.0 시대’가 촉발됐으며, 이로 인해 IoT, 5G, AI 등 제4차 산업혁명 관련 기술개발 속도는 물론, 원격 근무·교육 및 디지털 의료 등 디지털 사회로의 전환이 가속화되었다. 또한, 개인의 생리 데이터는 물론 심리 데이터나 행동 데이터까지 수집이 가능해져 이들 데이터의 분석을 통해 맥락까지 파악한 개인 맞춤형 서비스를 제공하는 개인화 추세도 활발히 진행 중이다. 아울러 2020년은 우리나라에서 처음으로 수도권의 인구가 비수도권의 인구를 추월한 해이기도 했으며, 베이비부머 세대가 처음으로 노령인구에 편입되는 해이기도 했다. 마지막으로, 산불 등 잦은 자연재해 발생과 코로나-19와 같은 인수공통 감염병의 잦은 발발이 환경파괴와 기후변화로 초래된 것이라는 고찰이 있어 관련 대응책에 대한 투자를 확대하기도 했다. 이처럼 2020년은 기존에 진행되어 오던 사회 트렌드가 본격화되거나 가속화되었다.

이들 사회 트렌드에 연결되는 기술 트렌드로는 ‘바이오·의료 신기술 도약’, ‘데이터 기반 지능 고도화’, ‘나노·소재 기술의 융합 가속’, ‘그린테크 저변 확대’가 도출되었다. 2020년은 코로나-19 팬데믹으로 우리나라는 물론 전 세계적으로 바이오·의료 신기술에 대한 투자 확대와 그로 인한 기술개발이 가속화되었다. 기존의 방식과는 다른 mRNA 백신이 등장했고, 대규모 진단키트가 개발되어 다른 나라로 확산되기도 했다. 또한, 코로나-19가 촉발한 급격한 디지털 전환에 따라 인공지능과 빅데이터 분석을 기반으로 하는 융합기술이 빠르게 고도화되는 추세가 나타났다. 아울러 유전자 추출 기술과 결합된 3D 프린팅 기술, 기능성 코팅 소재 및 공정기술 등 나노·소재 기술이 다양한 분야의 기술과 융복합하는 형태의 기술 트렌드가 가속화되었다. 마지막으로 합성생물학을 통한 대체 소재 생산, 재생에너지 활용한 수소생산 및 저장기술 개발 등 환경파괴와 기후변화에 대한 대응이 본격화되었다.

앞서 언급한 사회·기술 트렌드 도출 과정에서 클러스터링한 사회 이슈와 기술 분야를 키워드로 2020년 NTIS 연구과제를 추출하여 융합연구테마 선정에 활용했다. NTIS 과제 중 과학기술표준분류 소분류 3개로 구성된 융합연구과제를 추출하여 이를 세부 기술 조합 빈도와 투자액을 기준으로 예비 융합연구테마를 도출했다. 이를 다시 과제별로 과제 정보에 기재된 ‘연구 목표’ 혹은 ‘기대효과’를 살펴보고, 대응하는 사회 이슈와 연결하여 10개의 융합연구테마를 선정했다. 이와 같은 과정을 통해 2020년의 10개 융합연구테마는 ‘맞춤형 스마트 헬스케어’, ‘스마트모빌리티’, ‘가상융합기술’, ‘차세대 배터리’, ‘스마트 팩토리’, ‘합성생물학(mRNA 백신 등)’, ‘엣지 컴퓨팅’, ‘녹색수소’, ‘사이버보안’, ‘탈내연기관 자동차’ 등으로 선정되었다.

‘맞춤형 스마트 헬스케어’는 사물인터넷, 스마트폰, 웨어러블 디바이스, 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터, 가상현실, 증강현실, 블록체인, 인공지능 등의 여러 디지털 기술이 기존의 의료 기술과 융합하여 건강 및 질환을 관리하는 신의료 산업 분야다. ‘스마트모빌리티’는 기존의 이동 수단에 지능 기술 또는 자율주행 기술이 융합된 형태는 물론, 지능화된 스마트 교통 서비스를 의미하기도 한다. ‘가상융합기술’은 증강현실, 가상현실, 융합현실 등을 포괄하는 개념으로 제조·훈련·건설 등 타 분야에 융합하여 활용될 것으로 기대된다. ‘차세대 배터리’는 모든 전자기기에 활용될 사물 배터리(Battery of Things, BoT)의 시대를 열 수 있는 고효율 장수명 포스트 리튬-이온 배터리를 뜻한다. ‘스마트팩토리’는 기존의 제조기술과 인공지능 등 정보기술의 융합을 통해 구현되고 있는 제조산업의 변환을 의미한다. 한편, ‘합성생물학(mRNA 백신 등)’은 생명학적 이해에 공학적 관점을 더하여 생물 시스템을 재설계하거나 제작하는 기술 분야를 의미하며, 코로나-19 팬데믹 상황 종결의 결정적인 역할을 할 mRNA 백신의 내용도 포함한다. ‘엣지 컴퓨팅’은 기기에서 수집된 데이터를 중앙의 클라우드 서버로 전송하지 않고 기기 근거리에서 서버에서 초저지연 데이터분석 및 저장 서비스를 지원하는 새로운 분산 컴퓨팅이며, 스마트모빌리티, 스마트팩토리 등에 활용된다. ‘녹색 수소’는 화석연료를 활용하는 회색수소와 달리 재생에너지를 활용하여 수소를 생산하고 저장하는 기술로 기후변화에 대응하는 기술이다. ‘사이버보안’은 암호 원천 및 프라이버시 강화, 블록체인을 활용한 보안, AI 기반 사이버보안, 바이오인식 기술 등을 포괄한다. ‘탈내연기관 자동차’는 전기에너지를 동력원으로 사용하는 전기자동차와 수소를 사용하여 발생시킨 전기에너지를 동력원으로 사용하는 수소자동차를 아우르는 개념이다.

이번 연감에 수록된 10대 융합연구테마는 BT·IT·NT·ET 등 다양한 분야의 융복합으로 이루어진 신기술로 2020년을 관통했던 사회 트렌드와 기술 트렌드를 반영하고 있다. 이들 10개 기술은 질병과 노환, 감염병, 교통 문제, 기술 위협, 기후변화 등 산적한 사회적 난제를 해결하기 위한 중요한 자산이 될 것으로 기대된다.

제2장

융합연구 정책

이 장에서는 2020년 국내외 융합연구 정책 동향을 소개한다. 국내의 경우 2020년도 융합연구개발 활성화 시행계획(안)과 함께 2020년에 추진된 다양한 정부 융합연구개발 사업에 대해 다루었고, 해외는 미국, 유럽, 일본, 중국 등의 융합연구 정책을 살펴본다.

제1절 국내 융합연구 정책 동향

1. 2020년도 융합연구개발 활성화 시행계획(안) 수립
2. 2020년도 정부 융합연구개발 사업 추진 현황

제2절 해외 융합연구 정책 동향

1. 미국
2. 유럽
 - 1) 영국
 - 2) 독일
3. 일본
4. 중국

Chapter 02

국내 융합연구 정책 동향

1. 2020년도 융합연구개발 활성화 시행계획(안) 수립

2020년 3월에는 <제3차 융합연구개발 활성화 기본계획>의 체계적 이행을 위해 「2020년도 융합연구개발 활성화 시행계획」을 수립하여, 부처별 R&D 전년도 성과 및 당해 연도 투자 계획 등을 점검했다.

먼저, 2019년도 부처별 융합 R&D 투자실적을 살펴보면, 2019년도 융합 R&D 투자는 18개 중앙행정기관(11부, 1처, 6청)의 163개 R&D 사업을 통해 지원됐고, 총 3조 9,471억 원에 달했다. 부처별로 살펴보면, 과학기술정보통신부가 1조 5,192억 원(38.5%)으로 가장 많았으며, 다음으로 산업통상자원부 8,551억 원(21.7%), 국토교통부 2,616억 원(6.6%) 순이었고, 사업 수 역시 이들 3개 부처가 89개로 절반 이상(54.6%)을 차지했다.

표 2-1 2019년도 부처별 융합 R&D 투자 실적

(단위: 억 원, 개, (%))

구분	투자규모 (비율)		사업수 (비율)	
	투자액	비율	사업수	비율
과학기술정보통신부	15,192	38.5	63	38.7
산업통상자원부	8,551	21.7	16	9.8
국토교통부	2,616	6.6	10	6.1
중소벤처기업부	2,615	6.6	5	3.1
교육부	2,575	6.5	3	1.8
해양수산부	2,183	5.5	20	12.3
농림축산식품부	1,293	3.3	8	4.9
농촌진흥청	1,183	3.0	9	5.5
보건복지부	1,090	2.8	6	3.7
방위사업청	671	1.7	2	1.2
환경부	539	1.4	9	5.5
문화체육관광부	485	1.2	2	1.2
특허청	212	0.5	1	0.6

구분	투자규모 (비율)		사업수 (비율)	
기상청	145	0.4	4	2.5
식품의약품안전처	55	0.1	2	1.2
행정안전부	36	0.1	1	0.6
경찰청	18	0.0	1	0.6
소방청	12	0.0	1	0.6
합계	39,471	100	163	100

2019년도 융합 R&D 주요 성과를 살펴보면, 논문 SCI(E) 1만 2,612건, 국내특허 1만 181건, 국외특허 2,202건, 기술료 529억 원, 사업화 1만 921건 등으로 나타났다.

표 2-2 2019년도 융합 R&D 주요 성과

구분	투자실적	과학적 성과	기술적 성과		경제적 성과	
		국내외 SCI(E)	국내특허	국외특허	기술료	사업화
융합 R&D	3조 9,471억 원	1만 2,612건	1만 181건	2,202건	529억 원	1만 921건
전체 R&D*	20조 6,254억 원	4만 1,919건	5만 1,390건	7,652건	2,582억 원	2만 8,800건

* 전체 R&D는 2019년도 국가연구개발사업 조사·성과분석 보고서를 참고

또한, 이를 정부연구개발 전체 투자 대비(10억 원) 성과와 비교해보면, 과학적·기술적 성과(국내외 논문, 특허)는 다소 높았고, 경제성 성과 중 기술료는 비슷한 수준이었던 반면 사업화는 높은 수준으로 나타났다.

표 2-3 2019년도 융합 R&D 투자 대비 성과

구분	과학적 성과	기술적 성과		경제적 성과	
	국내외 논문 (건/10억 원)	국내특허 (건/10억 원)	국외특허 (건/10억 원)	기술료 (억 원/10억 원)	사업화 (건/10억 원)
융합 R&D	3.9	2.6	0.6	0.1	2.8
전체 R&D*	2.0	2.5	0.4	0.1	1.4

2020년도 융합 R&D 투자는 18개 중앙행정기관(11부, 1처, 6청)의 178개 R&D 사업을 통해 지원 예정이고, 투자액은 4조 3,574억 원에 달했다. 이는 2020년도 국가 R&D 24조 2,195억 원의 18.0%의 비중을 나타낸다. 부처별로 살펴보면, 과학기술정보통신부가 1조 6,464억 원(37.8%)으로 가장 많았으며, 다음으로 산업통상자원부 1조 1,220억 원(25.7%),

교육부 3,168억 원(7.3%) 순이었고, 사업 수 역시 이들 3개 부처가 90개로 절반 이상(50.6%)을 차지했다.

표 2-4 2020년도 부처별 융합 R&D 투자 계획

(단위: 억 원, 개, (%))

구분	투자규모 (비율)		사업수 (비율)	
과학기술정보통신부	16,464	37.8	69	38.8
산업통상자원부	11,220	25.7	18	10.1
교육부	3,168	7.3	3	1.7
중소벤처기업부	2,674	6.1	5	2.8
국토교통부	2,238	5.1	10	5.6
해양수산부	2,235	5.1	23	12.9
농촌진흥청	1,475	3.4	12	6.7
농림축산식품부	954	2.2	9	5.1
보건복지부	888	2.0	6	3.4
방위사업청	681	1.6	2	1.1
문화체육관광부	568	1.3	2	1.1
환경부	443	1.0	9	5.1
특허청	319	0.7	1	0.6
기상청	134	0.3	4	2.2
행정안전부	46	0.1	1	0.6
식품의약품안전처	40	0.1	2	1.1
경찰청	22	0.1	1	0.6
소방청	5	0.0	1	0.6
합계	43,574	100	178	100

과학기술정보통신부는 도전적·창의적 융합연구 촉진을 위해 신규 융합클러스터 발굴(35개), 연구회 핵심연구분야 우수인력발굴사업(YS) 연계 융합연구 기획 아이디어 후속 지원, 선도형 융합연구 신규과제 지원 등과 같은 융합연구 사업을 확대 추진하고 있으며, 사회문제 해결을 위한 국제 공동연구, 신산업 분야 현장 중심형 인재양성, 나노·바이오·에너지 등 분야별 융합연구 추진을 통해 관련연구 생태계 활성화 강화를 추진하고 있다. 또한, 범부처전주기의료기기연구개발, ICT R&D 혁신 바우처 등의 신규사업을 추진하고 있다.

산업통상자원부는 미래형자동차, 로봇, 이차전지 등 미래 신산업과 관련하여 석박사

고급인력 양성, 고용연계 프로그램, 특화 교육 과정 개발 등 융합인재 양성과 관련된 지원을 지속적으로 추진할 예정이다. 또한, 융합 신제품/신서비스의 신속한 사업화 및 시장 진입을 위한 검증·평가기술 개발, 인허가 가이드라인 구축 및 표준 고도화 등을 병행하여 신산업에 뒤처지지 않도록 다각적 지원을 추진 중이다. 신규사업으로는 규제샌드박스 융합신제품 인증기술개발사업과 상용차산업 혁신성장 및 미래형 산업생태계 구축이 있다.

교육부는 사회맞춤형 산학협력선도대학(LINC+) 육성, 융합형 과학기술인재양성 기반구축, 매치업(Match業) 운영 등을 통해 문제해결형 창의적 미래인재 양성을 중점적으로 추진하며, 기업과 교육기관의 협업을 통한 교육과정 개발, 기업협업센터(ICC) 구축 등을 지원한다. 중소벤처기업부의 경우, 창작 및 창업 활동 활성화를 위해 전국 64개소에 메이커 스페이스를 추가 구축하는 한편 구매조건부 신제품 개발, 산학연협력기술개발 등을 통해 중소기업이 안정적으로 기술개발을 진행할 수 있도록 지원하고 있다.

그밖에도, 농림축산식품부 농촌현안해결 리빙랩 프로젝트, 행정안전부 첨단정보기술 활용 공공서비스 촉진, 국토교통부 주거환경연구사업, 특허청 IP-R&D 전략 지원 등 다양한 부처들이 융합연구개발 활성화를 위해 아낌없는 투자와 신규 융합사업을 지속 발굴하고 있다.

표 2-5 2020년도 융합연구개발 신규사업 추진 현황

부처	중점 추진내용	예산(백만 원)	비고
과기 정통부	과학난제도전용융합연구개발	2,500	미래도전
	범부처전주기료기기연구개발	29,599	
	3D생체조직칩기반신약개발플랫폼구축기술개발	2,500	
	ICT R&D 혁신 바우처	12,854	제도개선
	5G기반 장비단말부품 및 디바이스 기술개발	10,300	미래도전
	ICT기반 사회문제해결기술개발(복지증진기술개발)	2,050	현안해결
농식품부	농촌현안해결리빙랩프로젝트	1,500	
산업부	규제샌드박스 융합신제품 인증기술개발사업	4,260	제도개선
	상용차산업 혁신성장 및 미래형 산업생태계 구축	11,408	미래도전
해수부	스마트 항만 컨테이너 자동통합 검색 플랫폼 기술개발	5,500	현안해결
	수소선박안전기준기술개발	3,737	
	해양플라스틱 쓰레기 저감을 위한 기술개발사업	7,500	
농진청	신농업기후변화대응체계 구축	23,500	
	미생물 활용 농업환경문제 개선기술 개발	5,300	
	과수화상병 등 현안문제 병해충 피해경감기술 개발	4,800	
		127,308	

표 2-6 부처별 주요 융합연구개발 사업 추진 내용

목적	내역사업	추진실적
국민 삶의 질 향상을 위한 문제해결형 융합연구 추진	전통문화융합연구	<ul style="list-style-type: none"> 전통공예 의류 음식 건축 등을 포함하는 전통문화자원과 첨단 과학기술과의 융·복합을 통하여 전통문화 산업의 고도화 대중화를 촉진하고, 이를 성공적으로 추진하기 위해 「2020 과학기술대전」 내 대국민 성과 공유 전시 및 포럼 추진 ※ 2020 과학기술대전 내 전통과학포럼 개최(2020.12.23.)
	과학기술·인문사회 융합연구	<ul style="list-style-type: none"> 인문사회와 과학기술의 융합연구 추진을 통해 주어진 문제해결을 위한 종합솔루션* 창출 * 종합솔루션: 시제품·서비스 실증, 법·제도 개선, 사회적 수용성, 인프라 개선 등
	과학문화융합 콘텐츠연구개발	<ul style="list-style-type: none"> 과학을 대중에게 알릴 수 있는 융합적 시각언어인 다면체를 과학문화 콘텐츠로 가공 후 전시함으로써 과학문화 콘텐츠 허브 역할 도모 ※ 최종 연구결과에 대한 연구책임자의 책임성을 강화하고 연구목표 달성도 등을 점검하기 위한 5단계 등급의 최종평가 실시
혁신성장 잠재력 확보를 위한 창의적·도전적 융합연구 추진	미래유망융합기술 파이오니어	<ul style="list-style-type: none"> 이종기술 간 융합형 원천기술의 국제원천특허 확보 및 성과의 기술사업화에 대한 심도 있는 최종평가 실시 및 계속과제 지원 ※ 최종평가 시 특허의 권리성 및 창출 가능성, 기술의 시장성, 현 시점에서의 사업화 및 성과 창출 가능성 및 비즈니스 로드맵 수립계획에 대한 적절성 평가
	바이오톨익 메카트로닉스 융합기술개발	<ul style="list-style-type: none"> 생체모사형 메카트로닉스기반기술 개발 및 기술사업화를 위한 다방면 활용기술 개발 - 인간 피부, 근육, 골격·관절, 생체신호 작동 메커니즘 등의 생체모사를 통해 Bionic Arm의 기초·원천기술 확보 및 파일럿 시작품 제작
	첨단사이언스 교육허브개발	<ul style="list-style-type: none"> 국내 유일의 통합 R&ED(교육·연구) 융합플랫폼 구축 및 국내 이공계 시뮬레이션 SW 개발·활용·확산을 통한 융합형 인력 양성 및 원천기술 확보 ※ 다양한 분야 시뮬레이션 SW 및 데이터 수집/저장/AI 분석 서비스 ※ 7개 분야 58개 대학, 2,083개 강좌, 71,260명 활용
	자연모사혁신 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> 오랜 시간에 걸쳐 최적화된 자연의 원리를 활용한 도전적 융합연구로 공학적 난제해결 및 혁신동력 발굴 ※ 철저한 성과점검과 목표달성 여부에 대한 단계평가를 실시하며 차 단계 연구개발계획을 통해 초기설정 성과 달성 가능 여부 점검
전문영역의 선도를 위한 융합연구 추진	스포츠과학 융합연구	<ul style="list-style-type: none"> 스포츠와 과학기술을 접목하여 통합 체임버 시스템 개발을 통한 선수 기량 관리 및 IoT + 생활체육 스마트 플라잉디스크 분야 개발로 스포츠산업 활성화 촉진 ※ 최초 목표 달성여부 및 연구성과의 질적 우수성 평가를 위한 원천성, 건설성, 경쟁력, 완성도, 파급력 등 심도있는 최종평가 실시

2. 2020년도 정부 융합연구개발 사업 추진 현황

1) STEAM연구사업¹⁾

■ 사업 개요

2011년부터 진행된 대표적인 융합연구사업인 <STEAM연구사업>은 21세기 기술 혁명을 주도할 융합기술을 기반으로 국가 신성장동력을 창출하고 4차 산업혁명 대응을 위한 융합 원천기술 개발을 지원하고 있다. 2020년까지 10년간 ‘미래유망융합기술 파이오니어’처럼 매년 10개 내외의 내역사업을 통해 약 6,327억 원을 지원했으며, 사업 규모는 2015년 788억 원을 기점으로 매년 감소하여 2020년에는 8개 내역사업을 대상으로 약 216억 원을 지원했다.

표 2-7 2011~2020년 STEAM연구사업 누적 투자액

(단위: 억 원, %)

구분	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년
투자	889	1,017	1,051	713	788	508	455	388	302	216
전년대비증감	-	128 (14.4)	34 (3.3)	△338 (△32.3)	75 (10.5)	△280 (△35.5)	△52 (△10.4)	△67 (△14.7)	△86 (△22.2)	△86 (△28.5)

표 2-8 STEAM연구사업 내역사업별 사업 목적 및 2020년도 투자 규모

(단위: 억 원)

내역사업	사업목적	투자금액
전통문화 융합연구	전통문화자원과 첨단과학기술 융·복합을 통한 고부가가치 창출	73.23
과학기술·인문사회 융합연구	과학기술·인문사회·예술의 융합에 기반한 사회문제 종합솔루션 개발	39.17
미래유망융합기술 파이오니어	이종 기술간 융합을 통하여 고위험-고수익형 융합원천기술 개발	12.65
바이오닉암메카트로닉스 융합기술개발	생명체를 모방한 바이오 메카트로닉스 기반 기술 개발	13.70
첨단사이언스 교육허브개발	교육·연구용 시뮬레이션 SW 활용 웹 환경 구축 및 서비스	49.04
스포츠과학융합연구	스포츠와 과학기술 융복합 분야 발굴 지원	3.67
과학문화융합 콘텐츠연구개발	과학적 원리에 문화, 예술 등의 요소를 가미한 독창적 과학체험 콘텐츠 개발	1.00
자연모사혁신 기술개발	자연모사를 통한 기존 과학기술 한계 돌파	24.00

1) STEAM(Science and Technology Enhanced by Liberal Arts and Mission)연구사업: 기술 중심 융합 R&D를 보완하여 전통·인문·예술로 융합을 확대하고 인간과 공동체의 문제해결과 새로운 가치창출을 목표로 하는 이종 분야 간 융합촉진사업.

■ 융합연구개발 활성화를 위한 정책추진·사업기획

융합연구에 대한 법적 근거가 불명확하고 법적 체계가 미비하여 융합연구 지원근거 강화를 위한 법·제도 개정을 위한 전문가 연구를 추진했으며, 국내외 여러 사회·경제적 문제해결 및 연구환경 변화에 따른 선제적 대응을 위한 범부처차원의 융합연구개발의 활성화 및 생태계 조성 계획 수립을 추진했다. 또한, 전 세계를 덮친 코로나-19 극복과 기존 주요 사업에 대한 사업구조개편을 통한 안정적 예산 확보를 위해 일몰관리혁신을 지정했다.

STEAM연구사업 일몰관리 혁신 주요 내용

- 코로나-19 대응을 위한 융합연구 추진을 위해 STEAM연구 사업을 “① 혁신도전형(포스트 코로나 선제적 대응), ② 성과창출형(중기기술 혁신), ③ 융합플랫폼(비대면 혁신기술)”으로 재편(내역사업: 14개 → 5개)
 - ① **(혁신도전형)** i) 감염병 대유행 대비 생활방역 솔루션 개발, ii) 산·학·연 융합형 중소기업 참여 고부가가치 혁신 시스템 개발 등 추진
 - ※ 미래유망융합기술파이오니어사업, 혁신도전프로젝트시범사업
 - ② **(성과창출형)** i) 기존 연구개발 성과 기술-시장 연계형 융합연구, ii) 과학기술 성과와 디자인 인류학 법제도 연계 사회변혁형 융합연구
 - ※ BRIDGE융합연구개발사업, 과학기술인문사회융합연구사업
 - ③ **(융합플랫폼)** 기존 교육콘텐츠 개발 확산 중심에서 국가R&D 전반의 효율화를 위한 디지털 혁신 플랫폼으로 개편
 - ※ 첨단사이언스교육허브개발사업(EDISON)

도전과제의 발굴·분석·기획 쏠과정을 오픈플랫폼을 통해 수행하고, 유연착용로봇 및 산업 근로자용 근력지원로봇 개발, 기존 R&D 성과 융합을 통한 제품·서비스 등 체감성과 재창출을 위한 사업 등 융합연구의 지속성과 융합을 통해 해결책을 제시할 수 있는 다양한 신규사업을 추진 및 기획했다. 또한, 기존에 시도하지 않았던 다양한 정책을 융합 R&D에 선제적으로 적용하고 개선점을 찾기 위해 연구자 집단의 의견 수렴과 참여 유도 추진, 새로운 기획·선정 프로세스 도입 등 새로운 방법 도입을 모색했다.

■ STEAM연구사업 추진 실적

2020년에도 STEAM연구사업 내 각 내역사업별로 다양한 성과를 이루었다. 코로나-19로 인해 2009년부터 STEAM연구사업의 성과를 확산할 목적으로 매년 개최하고 있는 ‘미래융합포럼’ 개최 대신, ‘2020 대한민국 과학기술 대전에서 12월 23일(수)을 ‘융합의 날’로 지정하여 21세기 기술혁명을 주도할 융합기술의 중요성을 융합연구개념 및 융합연구 성과를 통해 국민들에게 설명했다.

표 2-9 STEAM연구사업 내역사업별 추진 실적

목적	내역사업	추진실적
국민 삶의 질 향상을 위한 문제해결형 융합연구 추진	전통문화융합연구	전통공예 의류 음식 건축 등을 포함하는 전통문화자원과 첨단 과학기술과의 융·복합을 통하여 전통문화 산업의 고도화 대중화를 촉진하고, 이를 성공적으로 추진하기 위해 「2020과학기술대전」 내 대국민 성과 공유 전시 및 포럼 추진 ※ 2020 과학기술대전(2020.12.21.~29.)
	과학기술·인문사회 융합연구	인문사회와 과학기술의 융합연구 추진을 통해 주어진 문제해결을 위한 종합솔루션 창출
	과학문화융합 콘텐츠연구개발	과학을 대중에게 알릴 수 있는 융합적 시각언어인 다면체를 과학문화 콘텐츠로 가공 후 전시함으로써 과학문화 콘텐츠 허브 역할 도모
혁신성장 잠재력 확보를 위한 창의적·도전적 융합연구 추진	미래유망융합기술 파이오니어	이종기술 간 융합형 원천기술의 국제원천특허 확보 및 성과의 기술사업화에 대한 심도 있는 최종평가실시 및 계속과제 지원
	바이오닉암 메카트로닉스 융합기술개발	생체모사형 메카트로닉스기반기술 개발 및 기술사업화를 위한 다방면 활용기술 개발 - 인간 피부, 근육, 골격·관절, 생체신호 작동 메커니즘 등의 생체모사를 통해 Bionic Arm의 기초·원천기술 확보 및 파일럿 시제품 제작
	첨단사이언스 교육허브개발	국내 유일의 통합 R&ED(교육·연구) 융합플랫폼 구축 및 국내 이공계 시뮬레이션 SW 개발·활용·확산을 통한 융합형 인력 양성 및 원천기술 확보
	자연모사혁신 기술개발	오랜 시간에 걸쳐 최적화된 자연의 원리를 활용한 도전적 융합연구로 공학적 난제해결 및 혁신동력 발굴
전문영역의 선도를 위한 융합연구 추진	스포츠과학 융합연구	스포츠와 과학기술을 접목하여 통합 체임버 시스템 개발을 통한 선수 기량 관리 및 IoT+생활체육 스마트 플라잉디스크 분야 개발로 스포츠산업 활성화 촉진

2) 과학난제도전융합연구개발사업

〈과학난제도전융합연구개발사업〉은 그동안 해결하지 못한 ‘과학난제’에 대해 기존에 시도하지 않은 창의적·혁신적 아이디어로 접근하는 선도형 융합연구개발을 지원하는 사업으로 국내 연구진이 과학난제를 발굴하고 융합연구를 통해 도전함으로써 혁신적 연구성과 창출 및 진취적·도전적 연구풍토를 조성한다.

2020년 과학난제 도전영역은 4대 주제(‘건강한 삶’, ‘지속가능한 도시’, ‘새로운 과학기술 대한 민국’, ‘앞의 지평 확장’)를 바탕으로 ‘암 정복 재도전’, ‘깨끗한 에너지원 개발’ 등의 9대 세부 도전영역이 정해졌다.

그림 2-1 2020 과학난제 9대 도전영역

건강한 삶(Future wellbeing)

- 어떻게 건강한 인구 5천만을 계속 유지할 수 있는가? -



1 암 정복 재도전
 획기적인 암 치료 방법 연구



2 이상적인 장수(長壽)의 실현
 기대수명과 건강수명 일치를 통한 초고령사회 진입 대비 연구



3 감각장애의 극복
 삶의 질과 행복추구의 기본인 인간의 감각능력을 증강·유지시키는 연구

지속가능한 도시(Sustainable Cities)

- 재생산되고 깨끗한 에너지를 얻을 방법은 없을까? -



4 깨끗한 에너지원 개발
 새로운 와해성 에너지 연구



5 지구온난화 해결
 국내외 환경오염과 기후변화 문제해결에 기여하는 연구

새로운 과학기술(A new era of S&T) 대한민국

- 과학과 산업의 미래를 위한 기술은 무엇인가? -



6 기초과학의 새로운 패러다임 개척
 기존에 시도하지 않았던 기초연구와 공학의 융합 도전



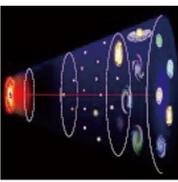
7 차차세대 기술 예측
 현 세대보다 두 단계 앞선 기술을 위한 기초과학/공학 연구

앎의 지평 확장(Expansion of knowledge)

- 인류의 역사에 남길 수 있는 지식은 무엇인가? -



8 진화의 비밀 탐구
 생명의 원리 연구



9 우주의 기원 규명
 우주의 생성 원리 연구

해외 융합연구 정책 동향

1. 미국

■ 트럼프 행정부(2020년) 2022년 R&D 예산 우선순위²⁾

미국 과학기술 R&D 예산을 분석하면 미 정부가 방점을 두는 융합기술이나 융합기술의 향후 방향을 알 수 있다. 2020년 8월 14일 트럼프 행정부가 기획한 2022년 R&D 예산은 ① 공공의료 보건 및 혁신, ② 미래산업 및 관련 기술 분야, ③ 첨단제조, ④ 안보, ⑤ 에너지 및 환경 리더십, ⑥ 우주 등을 중심으로 구성되어 있다.

〈공공의료 보건 및 혁신〉은 감염성 질환과 감염 이후의 억제 및 치료를 포함한 바이오 의학 연구를 의미한다. 세부적으로는 바이러스 발견, 예방, 대응, 통제를 위한 관련 기관의 역량 강화와 현대화된 의료기기, 장비, 백신 등 관련 연구개발을 강조했다. 또한, 감염병 역학 모델링에 관한 연구개발과 바이러스 관련 데이터의 업데이트 등 미래의 유행병을 예측할 수 있는 능력을 강화하고, 백신의 신속한 개발을 보장하는 첨단제조 기술에 대한 투자도 중요하다고 판단하고 있다.

〈미래산업 및 관련 기술 분야〉와 관련해서 정부는 AI, 양자정보과학(QIS), 고급 통신 네트워크/5G, 첨단제조 및 생명공학을 지원하는 과학·기술과 미래산업(Industry of the Future, IoTf)의 발전을 뒷받침하는 미래 컴퓨팅 생태계, 자율·원격 조종 장치에 지속적으로 우선순위를 두고자 한다. 우선 AI 우위 유지를 위해 혁신적인 기초연구 및 인프라에 대한 투자와 인공지능에 대한 정책, 평가 방법, 표준 개발에 대한 투자가 필요하다. 또한, QIS 생태계를 활성화하고 새로운 양자 네트워킹 협업 및 컨소시엄 등 연구개발에 대한 지원과 미래 컴퓨팅과 첨단제조에 관한 파트너십을 장려할 것이다. 이와 더불어, 무선 시스템·사이버 보안에 최적화된 인공지능/머신러닝 기술에 관한 연구와 개인정보를 통합하여 5G 및 고급 네트워크 애플리케이션의 개발을 장려할 것으로 보인다.

2) USA. (2020). Fiscal Year (FY) 2022 Administration research and development budget priorities and cross-cutting actions.

〈첨단제조〉에 관해서는 스마트 및 디지털 제조, 고급 산업용 로봇, 산업용 사물인터넷 시스템, 바이오 기반의 제조 R&D 등 저비용 분산 제조 및 연속 제조 방법에 초점을 두어야 하며, 신종 코로나-19 바이러스 대응을 위한 항균 물질 및 폴리머 개발의 필요성을 강조했다. 이를 위해 미래 컴퓨팅 기술의 기초 연구개발을 수행하고 민관협력의 혁신적인 모델을 모색하는 등 미래산업과 직결된 컴퓨팅 생태계를 구현해야 한다고 판단했다. 또한, 자율주행 및 원격 조종 차량의 진입장벽을 낮추는 연구개발과 민간 초음속 항공기 관련 투자가 우선적으로 필요하다고 강조했다.

〈안보〉에 관해서는 해외 경쟁국들의 견제 및 자연재해에 대한 문제를 예방하거나 유연하게 대응할 수 있는 능력을 위해 연방정부의 집중 투자가 필요하다고 밝혔다. 특히, 유행병 등을 포함한 생물학적 위협, 물리적 위협 및 자연재해에 대한 예측·예방·대응·회복력 강화를 위한 R&D 투자가 필요하다고 강조했다. 이와 더불어, 극초음파 무기, 국가 안보 우주시스템, 핵 억제력 관련 연구개발에 대한 투자가 필요하며, 새로운 군사적 위협에 대응 가능한 기술 접근법을 개발해야 한다고 주장했다. 마지막으로 미국 정부는 안보와 직결된 초소형 전자 공학 기술 및 차세대 초소형 전자공학 시설에 대한 투자를 확대할 것으로 보인다.

〈에너지 및 환경 리더십〉과 관련해서는 에너지 기술을 발전시키는 동시에 해양 데이터 발굴을 확대하고 기후·환경 예측 능력을 개선하며, 국가 경제 활력 및 안보에 긍정적인 영향을 줄 수 있는 북극 연구를 확대할 것을 강조했다. 특히, 원자력, 재생에너지, 화석 에너지를 포함한 에너지 기술의 혁신적인 연구개발에 투자해야 하며 에너지 관련 첨단기술의 상용화 및 다분야 협업 향상을 위한 시설지원 및 민간부문과의 협력이 필요하다고 밝혔다. 또한, 국가 전략 구현을 위한 우선순위를 선정하고, 컴퓨팅과 데이터 인프라·기술의 가용성에 우선적으로 투자하고 관련 기관 간 긴밀한 협력이 필요하다고 강조했다. 이와 더불어 해양 관측·연구 데이터를 효율적으로 관리하고 이용하는 역량을 강화하고, 북극의 예측·예측 능력 향상을 위한 투자를 추진해야 한다고 밝혔다.

〈우주〉영역과 관련해서는 장기적인 우주 탐사 연구와 달·화성 탐사 연구를 위한 예산이 필요하며, 첨단 우주 추진력 및 궤도 잔해 관리 관련 연구를 추진해야 한다고 밝혔다. 또한, 우주 탐사 관련 첨단 소재 제조 및 머신러닝 기술과 연계 방안을 모색할 것으로 보인다.

앞서 언급한 주요 분야에 대한 투자와 아울러 트럼프 행정부는 ① 미래 과학·기술 인력 육성과 ② 연구환경과 결과의 최적화에 대한 노력도 강조했다. 또한, ③ 다분야 협력과 기술이전 촉진, ④ 데이터 영향력 활용 등의 중요성도 언급했다. 먼저 국가 경제와 안보를

위한 인력양성에 대해서는 STEM³⁾ 교육의 혁신을 촉진할 수 있는 연구프로그램에 대한 투자가 중요하다고 밝혔다. 특히 투자에 우선순위를 두어 원격과 대면 학습 모두를 위한 인프라와 톨 및 더 많은 학생(특히 소외계층)을 유치할 수 있는 STEM 교육 진행방식을 개발 하도록 독려했다. 또한, 학생 참여를 유도할 수 있도록 직접적인 경험을 기반으로 하는 교육을 제공하고, 차세대 교사와 교수진을 육성하며, 원격 학습자를 위한 광대역 네트워크를 확장하고 학습환경을 개선해야 한다고 주장했다. 둘째, 다양하고 공평한 연구환경을 조성 하고, 부서 및 기관의 보안과 효율성을 제고하여 연구환경과 결과를 최적화해야 한다고 밝혔다. 셋째, 민간부문 R&D 투자, 미래산업 지원 이니셔티브, 행정 부담·규제 완화 등을 통해 다분야 협력과 기술이전을 촉진해야 한다고 강조했다. 마지막으로, 데이터 접근성 및 보안성 향상을 위한 R&D가 우선되어야 하며, 인공지능·머신러닝, 기술, 플랫폼 등을 활용하여 우선순위가 높은 분야의 혁신을 추진해야 한다고 주장했다. 동시에 데이터 사용·공개·공유를 할 수 있어야 한다고 말했다.

■ 기술혁신 정책에 대한 바이든 의제⁴⁾

기술 간 융합이 기술혁신을 창출하기도 하지만, 각기 다른 기술들의 혁신이 새로운 융합을 가능하게 만들기도 한다. 이런 점에서 기술혁신은 융합기술에 필수적이다. 또한 기술혁신은 국가 경쟁력 제고, 1인당 소득증가, 국가 안보 확보 등 중요한 역할을 수행해 왔다. 바이든 대통령은 향후에도 기술혁신의 중요성은 지속될 것으로 파악하고, 혁신 및 연구개발 관련 10개 영역*에서의 이니셔티브를 제시했다.

* 10대 영역: ① 혁신 및 연구개발[Innovation and R&D], ② 디지털 경제[Digital Economy], ③ 광대역[Broadband], ④ 교육 및 기술[Education and Skills], ⑤ 세금[Taxes], ⑥ 규제[Regulation], ⑦ 무역[Trade], ⑧ 첨단 제조[Advanced Manufacturing], ⑨ 생명과학[Life Sciences], ⑩ 청정 에너지 혁신[Clean Energy Innovation]

3) STEM: 과학(Science), 기술(Technology), 공학(Engineering), 수학(Mathematics)의 줄임말.

4) ITIF. (2020.11). President-elect Biden's agenda on technology and innovation policy.

기술혁신정책에 관한 기본 원칙

- 정부를 R&D 및 미국 내 생산을 지원하는 적극적인 산업 파트너로, 그리고 개인정보보호와 같은 다양한 기술부문의 규제자로 참여하도록 정책적으로 접근
- 새로운 행정부는 불평등, 지역 성장 및 기후 문제 해결과 같은 사회적 목표실현을 위해 투자를 확대하고, 다른 영역(특히 국방)의 투자는 감소할 계획
- R&D 및 첨단 생산에의 공공 투자는 대폭 확대할 것을 강조
- 청정에너지 R&D 자금의 대규모 증액 지원
- 교육 및 기술(Skills)에의 공공 투자를 대폭 확대할 것을 제안
- 바이든은 중국과의 무역에 강경한 태도를 보였으나, 다자간 접근 방식을 지지
- 고숙련 및 저숙련 이민의 증가를 지지하는 전통적 민주당 입장을 수용하였으나 H1-b 비자에 제한 (미국 이민법 101조 a항 15호 H목에 규정된 미국의 비자 50개 중 하나로 간호사를 제외한 전문직을 위한 취업비자)
- 농촌 지역 광대역 인프라 및 디지털 격차 해소에 대한 연방정부의 투자 확대 지지
- 높은 법인세율(특히 대기업) 지지
- 개인정보보호 및 광대역 통신사에 더 강한 규제 지지, 특히 대규모 인터넷기업에 독점 금지 시행 지지
- 통신품위법 230조* 제한 지지

* 사용자가 올리는 유해물 또는 명예훼손성 게시물에 대해 인터넷 업체들에게 법적 책임을 묻지 못하도록 하는 내용을 담은 규정

첫 번째 영역인 혁신 및 연구개발(Innovation and R&D)과 관련하여 바이든 정부는 4년 동안 3,000억 달러의 투자를 제안했다. 투자액의 대부분은 연방정부의 R&D, 특히 혁신 기술(Breakthrough technologies) 연구개발 위주로 사용될 예정이며, 소수 인종 및 여성 기업에 주력하기 위해 기존 중소기업에 대한 지원체계를 개정할 예정이다.

표 2-10 혁신 및 R&D 정책에 대한 바이든 정부 입장

이슈	입장
연방 R&D 자금지원	• 4년에 걸쳐 3,000억 달러(약 358조 원) 투자
국방 R&D 투자	• 국방비 감축 가능하나 방위고등연구계획국(DARPA)을 포함한 연구개발 지출 증대 요구
인공지능	• 연구개발자금 증가에 따라 '혁신기술'로 인정됨
양자 컴퓨팅	• 연구개발자금 증가에 따라 '혁신기술'로 인정됨
반도체	• 반도체 제조 및 공급반 탄력성 향상, 'CHIPS ACT' 지지 가능성
기술 이전 및 상용화	• 중소기업 혁신 연구프로그램(SBIR)을 요구하며 새로운 이니셔티브들을 지원 가능
스타트업 및 소규모기업 지원	• 소수 인종 기업을 위한 100억 달러 규모의 벤처자본 투자 • 여성 기업 대상으로 30억 달러 규모 기금을 늘리는 새로운 중소기업 신용 이니셔티브
지역 혁신 이니셔티브 지원	• 중소기업 개발센터, 도서관, 흑인대학, 소수민족 봉사기관, 지역사회, 대학 등과 공동으로 혁신거점의 국가 네트워크 구축
연방 R&D 자금의 납세자 혜택	• 기존의 연방정부 권리를 강화하여 고수익 제품에서 로열티 확보

두 번째 영역인 인터넷 및 디지털 경제(Internet and Digital Economy)와 관련해서는 디지털 기술개발 및 사용 촉진 정책을 통한 리더십 확보를 강조했다. 바이든 행정부는 의료, 교육 등 공공서비스를 개선하기 위해 디지털 경제에 대한 접근성을 넓히고 디지털 기술 사용을 확대할 것이다. 이와 함께 사이버보안, 데이터 프라이버시 등 디지털 경제의 많은 분야에서 더욱 강력한 규제를 추진할 것으로 예상된다.

표 2-11 인터넷 및 디지털 경제 정책에 대한 바이든 정부의 입장

이슈	입장
사이버 보안	<ul style="list-style-type: none"> 스마트 그리드 강화를 위한 사이버 보안 개선 다른 국가 및 민간부문과 협력하여 개인 데이터 보호
암호화	<ul style="list-style-type: none"> 암호화 제한 여부에 대한 의견 없음
인터넷 거버넌스	<ul style="list-style-type: none"> 동맹국 외 국제기구와도 협력하며 우선 과제로 지향
오픈데이터	<ul style="list-style-type: none"> 암 연구를 위한 오픈 데이터 이니셔티브 지원
저작권	<ul style="list-style-type: none"> 지식재산권 도용 국가에 강경한 조치 대응 디지털 불법 복제 제한 조치에 대해선 입장 없음
온라인 플랫폼	<ul style="list-style-type: none"> 잘못된 정보 및 혐오 발언의 확산을 막기 위한 대처 필요
데이터 프라이버시	<ul style="list-style-type: none"> 연방 정보 보호법안 통과 요구 디지털 콘텐츠에 개인정보 보호를 위해 전자통신프라이버시법 개정 요구
인공지능	<ul style="list-style-type: none"> 인공지능을 비롯한 혁신기술 연구개발 신규투자자 3,000억 달러 제한
전자정부	<ul style="list-style-type: none"> 사이버 보안, 클라우드 컴퓨팅, 모바일 친화적 웹사이트 및 오픈 데이터에 대한 투자를 통해 연방정부를 디지털화 및 현대화

세 번째 영역인 광대역 및 통신정책(Broadband and Telecommunications)을 위해 바이든 정부는 망 중립성(Net Neutrality)과 지방의 광대역 통신을 지원하는 등 광대역 통신 규제를 강화하는 방안과 동시에 정보격차 해소 및 지방 광대역 구축을 촉진하기 위한 투자를 확대할 계획이다.

표 2-12 광대역 및 통신정책에 대한 바이든 정부 입장

이슈	입장
광대역 인프라	<ul style="list-style-type: none"> 모든 미국인이 광대역 서비스를 사용할 수 있도록 하는 범용 광대역 확대 농촌 광대역에 약 200억 달러 투자하고, 보조금을 3배로 확대
무선 스펙트럼 5G	<ul style="list-style-type: none"> 5G를 비롯한 혁신기술 연구개발 신규투자자 3,000억 달러 제한 광대역 확장도구로써 5G 언급했으나 주파수 정책에 대한 추가적 언급 없음
통신법 제2호 및 망 중립성	<ul style="list-style-type: none"> 통신법 제 2호를 통해 광대역 통신사에 연방통신위원회(FCC)권한 회복 권고
경제성과 광대역 보조금	<ul style="list-style-type: none"> 보조금을 제공하여 저소득층의 접근 지원 제안
광대역 통신망 경쟁 및 민관협력	<ul style="list-style-type: none"> 지방 광대역 통신에 대한 연방정부의 지원 확대

네 번째 영역인 교육 및 기술(Education and Skills)과 관련해서 바이든 정부는 여성과 경제적 취약층에 초점을 맞춘 기술훈련에 상당한 투자를 할 가능성이 있으며, 포용적인 이민 정책을 지원할 전망이다.

표 2-13 교육 및 기술에 대한 바이든 정부 입장

이슈	입장
해외 고급인력의 이민	<ul style="list-style-type: none"> • 비자 재정과 노동시장에 일치하게 임금기반 할당 프로그램·추진체계 재정립 • 국가별 취업비자 제한 삭제 및 고숙련 비자 수 증대
STEM 교육을 위한 지원	<ul style="list-style-type: none"> • 중·고등학교의 컴퓨터 강좌 접근성 확대 • 교육 및 의료분야 대학원 프로그램에 50억 달러 투자 • 소수자 중심의 주요 연구기관의 인턴십 및 경력 파이프라인 개발
교육의 혁신지원	<ul style="list-style-type: none"> • 고등학교 졸업 시 산업 자격증 취득 가능한 프로그램 개설 위해 학교 직업 훈련, 고등학교, 지역사회 대학, 고용주 간의 협력에 투자 • 중·고등학교 컴퓨터 과학 과정에 대한 접근성 증대 • 흑인대학 및 소수민족 교육기관에 첨단기술 연구소, 시설 및 디지털 인프라 구축에 200억 달러 투자
소수민족 및 저소득 학생 지원	<ul style="list-style-type: none"> • Title I 프로그램(저소득층 학생 비율이 높은 학교에 자금 지원, 교육자들에게 더 높은 급여를 제공)에 대한 자금을 3배 증대 • 저소득 및 소수민족 사회의 학교설립 우선 • 소득이 12만 5천 달러 이하인 가정에 공립대학 및 대학등록금 무상제공 • 펠 그랜트(Pell Grants, 저소득 학생을 위한 학비 보조금) 2배 이상 지원 • 소득 기반 상환 프로그램 개혁 • 흑인대학 및 소수민족 교육기관에 700억 달러 이상 투자
전문대학	<ul style="list-style-type: none"> • 연방정부 75%, 주 정부 25%의 비율로 부담하여 지역대학 및 고품질 교육 프로그램을 무상으로 제공 • 지역대학의 새로운 보조금 프로그램 개설 • 재정적 인센티브 제공하여 지역대학과 지역 기반의 조직 간 협력 촉진 • 재정적 어려움이 있는 지역대학 학생들을 위해 연방 보조금 프로그램 제정 • 지역-대학 비즈니스 파트너십을 포함한 인력교육에 500억 달러 투자 • 지역대학의 시설, 안전 등을 개선하기 위한 80억 달러 투자

다섯 번째 영역인 세금(Taxes)과 관련해서 바이든 정부는 기업과 고소득 개인에 대한 세율 인상을 추진할 것으로 기대된다.

표 2-14 세금에 대한 바이든 정부 입장

이슈	입장
법인세율	<ul style="list-style-type: none"> • 법인세율 28% 인상 • 미국으로 재수입되는 외국 상품 및 서비스 이익에 대해 10% 세율 부과 • 모든 기업이 최소한의 일부 세금을 납부하도록 장부소득의 15% 세금 부과 예정
해외 업무 위탁 패널티	<ul style="list-style-type: none"> • 미국 내에서 제작 가능한 제작물을 해외로 이전할 시 공제 및 비용상각 불가
미국 생산품 세금 공제	<ul style="list-style-type: none"> • 미국 내 생산을 위한 노후공장 정비, 시설 확충, 미국으로 일자리 이전, 제조업 임금인상 등에 대해 10% 세액 공제
제조 세액 공제	<ul style="list-style-type: none"> • 대규모 정리하고 또는 공공기관이 폐쇄된 지역사회에 투자하는 기업에 대해 3년간 60억 달러의 총당금 지원
R&D 세액 공제	<ul style="list-style-type: none"> • 관련된 규정 없으나 세액 공제에 대해 증액 지원 가능성 없음
연구 감가상각 가속화	<ul style="list-style-type: none"> • 관련된 규정 없으나 연구비 종료 조항 폐지를 지지하지 않음
소득 이전 통한 세원 잠식	<ul style="list-style-type: none"> • 소득 신고를 회피하는 개인과 기업을 검거하고 글로벌 조세 비밀주의와 회피에 대응
해외법인 소득과세	<ul style="list-style-type: none"> • 최저 세율이 10.5%에서 21%로 두 배가 될 예정이며, 세금은 국가별로 적용될 예정
제약 광고	<ul style="list-style-type: none"> • 광고비에 대한 공제 거절 예정
세금지출	<ul style="list-style-type: none"> • 화석연료 생산 및 상업용 부동산에 대한 세금/지출 감소
양도 소득 세율	<ul style="list-style-type: none"> • 소득이 100만 달러 이상인 가구에 장기자본이익과 배당금을 종전의 비율로 과세하고 단기 차익에 대한 처리는 그대로 유지
개별요금	<ul style="list-style-type: none"> • 40만 달러 이상 가구소득에 대한 세율을 37%에서 39.6%로 인상 • 과세표준 28% 이상 납세자에 대한 항목별 공제
사회 안전	<ul style="list-style-type: none"> • 40만 달러 이상의 임금에 대해 급여세를 0%에서 12.4%로 인상 예정

규제(Regulation)와 관련해서 바이든 행정부는 트럼프 행정부의 규제 철폐 대신 대규모 기술 플랫폼에 대한 반독점 검토 및 집행을 수행할 수 있는 더 많은 권한을 경쟁 당국에 부여하기 위해 중요한 입법 개혁을 진행할 전망이다.

표 2-15 규제에 대한 바이든 정부 입장

이슈	입장
기존 규제 폐지	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 규제 폐지 분야에 관련하여 많은 업무 할애 가능성 낮음
예산관리처 규제 예산	<ul style="list-style-type: none"> • 관련 조항은 없으나 예산관리처 규제 예산 지원 가능성 낮음
인프라 규제 간소화	<ul style="list-style-type: none"> • 조항 없으나 지원 가능성 낮음
독점 계약자	<ul style="list-style-type: none"> • 기업들의 일용직 노동자들의 고용이 어렵게 됨
독점 금지	<ul style="list-style-type: none"> • 병원, 보험, 제약 및 기타산업을 포함한 대규모 합병에 대응하기 위해 독점금지법 예정 • 소외된 지역, 정치 권력, 인종 평등 등 광범위한 기준을 독점 금지 결정에 포함 가능성 존재 • 트럼프 취임 이후 모든 M&A 검토 • 대기업의 구조적 분리, 해체 등을 포함하여 독점 금지 조사 강화할 가능성 존재

일곱 번째 영역인 무역(Trade)에 관해서 바이든 행정부는 WTO가 보호무역을 더욱 효과적으로 제한할 수 있는 조직이 되도록 강화할 것이며, 무역정책은 노동자의 권리·환경·Buy America 조항에 초점을 맞출 것으로 기대된다. 또한, 대(對)중국 정책과 관련해서는 트럼프의 정책보다 덜 강경하나 전체적으로 일관된 전략이 있을 전망이다.

표 2-16 무역에 대한 바이든 정부 입장

이슈	입장
일반적 접근	<ul style="list-style-type: none"> 원산지 규칙 및 기후변화 약속을 포함하여 새로운 무역협정에 대해 동맹국과 협력 새로운 무역협정 전 국내외의 주요 투자 우선시
환태평양 파트너십	<ul style="list-style-type: none"> 환율 조작, 노동 및 환경 표준 및 ISDS 조항을 포함하여 계약의 일부 협상이 가능하다면 미국의 가입 예상
세계 무역 기구	<ul style="list-style-type: none"> 특별한 언급 없으나 파트너 협력 선호
무역집행	<ul style="list-style-type: none"> 미국의 무역법을 공격적으로 집행하기 위한 종합 전략개발
중국특화 무역정책	<ul style="list-style-type: none"> 산업 과잉생산, 사이버 범죄, 국영기업 등의 이슈를 다룰 예정
수출 제어 정책	<ul style="list-style-type: none"> 특별한 언급 없으나 트럼프 행정부보다 중국규제가 약화될 것으로 예측
수출입 은행	<ul style="list-style-type: none"> 확장 지원 가능성 높음
과제 정책	<ul style="list-style-type: none"> 특별한 언급 없으나 광범위한 인력 기술 개발 프로그램 위해 자금 지원 예정
디지털 자유 무역	<ul style="list-style-type: none"> 특별한 언급 없으나 강력한 국경 간 무역 조항 추진
바이 아메리칸	<ul style="list-style-type: none"> 바이 아메리칸 조항(4,000억 달러의 조달 투자 제안 포함)을 지원하고 미국 내 자재 조달을 위한 인프라 프로젝트를 요구하며 공공자금 R&D와 같은 다른 형태의 정부 지원으로 조항을 확장하기로 언급되지는 않았으나, 보다 강력한 국경 간 무역 조항 추진
관세 정책	<ul style="list-style-type: none"> 기존 232조 관세 및 기타 관세 인상을 검토할 예정임
환율 조정	<ul style="list-style-type: none"> 불공정 거래 이익을 얻기 위한 환율 조작에 반대하며 무역협정에서 투명성, 협의 및 집행 조항 지원
청정/친환경 무역	<ul style="list-style-type: none"> 기후 약속을 이행하지 않는 탄소집약적 상품에 탄소 조정 수수료 및 할당량 부과
미국 외국인 투자 위원회	<ul style="list-style-type: none"> 트럼프 행정부에 이어 중국 FDI에 대한 비교적 강력한 심사 이어갈 예정

여덟 번째 영역인 첨단제조(Advanced Manufacturing)와 관해서 바이든 정부는 국가 제조 전략을 개발하고, 소프트웨어 및 정보기술과 같은 제조 및 기타 무역 부문을 선도할 수 있도록 세금(taxes), 인재(talent), 기술(tech) 및 무역정책(trade) 즉, '4Ts'를 구현할 전망이다.

표 2-17 첨단제조에 대한 바이든 정부 입장

이슈	입장
선진 제조 전략 발표	• 종합적 제조 및 혁신 전략 개발 요구
제조 USA	• 새로운 연방 R&D 투자와 인력개발 및 사업 참여를 결합하여 50개 이상의 커뮤니티를 미국 제조업 기반 기술의 거점으로 선정 제안
제조업 확장 파트너십	• 국립표준기술연구소의 제조업 확장 파트너십을 통해 연간 6억 달러에 달하는 자금 후원 4배 증가 요구
지역 제조 지원	• 고용주, 조합, 주, 지방자치단체 등을 연결하는 제조혁신 파트너십 확대
중소기업 제조업체 자본금 지원	• 플랜트 현대화 및 에너지 효율화를 촉진하기 위해 중소기업에 자본 공급 가능한 신용시설 구축
세금 관련 제조 인센티브	• 기존 및 최근 폐쇄된 제조 설비의 활성화, 개조, 현대화를 촉진하는 제조업 세액 공제의 통과 추진
견습 및 인력교육	• 산업 제조업 기술자 견습 프로그램 등 등록된 견습 훈련 프로그램 확대
기회 특구	• 기회 특구 접근 지원하나 인종 간 평등 위해 개정 요구

아홉 번째 영역인 생명과학(Life Sciences)과 관련해서 바이든 행정부는 바이오 R&D 지출을 확대할 것을 촉구하는 한편, 의약품 가격 통제 정책 및 기타 규제 개정을 추진할 전망이다.

표 2-18 생명과학에 대한 바이든 정부 입장

이슈	입장
코로나-19 대응	• 전국적 테스트 키트의 가용성 보장 및 마스크 착용 의무화를 포함하여 코로나를 해결하기 위한 종합 전략 도입
국립 보건원 자금 지원	• 혁신 기금 3,000억 달러 제안의 일환으로 국립 보건원 자금 증대 요구 • 보건을 위한 고등연구 계획국 제안
의약품 가격 책정	• 메디케어 프로그램의 경우 모든 브랜드, 생명공학 및 값비싼 일반 의약품에 대한 가격 인상 제한을 제안
바이-돌(Bayh-Dole) 법안	• 연방정부에 진행권을 부여하여 연방정부의 연구 사업화 인센티브를 축소를 포함한 바이-돌 법안 제한 지지 가능성 존재

마지막 영역인 청정에너지 혁신(Clean Energy Innovation)과 관련해서 바이든 행정부는 기후변화 대응에 방점을 두고, 에너지 R&D 자금을 4년 동안 대폭 확대할 것을 제안했다. 또한, 2030년까지 전력 부문의 탈탄소화, 2050년까지 '온실가스 배출량 제로'를 달성할 것을 촉구했다.

표 2-19 청정에너지 혁신에 대한 바이든 정부 입장

이슈	입장
에너지 및 기후정책에 대한 일반적 접근	<ul style="list-style-type: none"> 2050년까지 미국의 탄소 순 제로 배출 달성을 위해 청정 에너지 및 친환경 인프라에 2조 달러의 투자를 지원받음 광범위한 저탄소 에너지 기술의 혁신을 촉진하고 온실가스 배출에 대한 해결책 필요성 강조
에너지 R&D에 대한 연방정부의 투자	<ul style="list-style-type: none"> 청정에너지를 포함한 공공 R&D 지출을 위해 4년 동안 3,000억 달러 제안 DOE 실험실 및 관련 지역 혁신 생태계에 대한 자금 증가 요청 ARPA-C(100% 청정에너지 목표를 달성할 수 있도록 지원하는 혁신기술) 권장
청정에너지 상용화 및 구축을 위한 연방 지원	<ul style="list-style-type: none"> 청정에너지세 인센티브, 탄소가격, 기술 중립 에너지효율, 청정에너지 표준 등 수요 맞춤 정책 주장 전기자동차에 대한 정부 차원의 추가 지출 4,000억 달러 일부를 통해 청정에너지 기술에 대한 수요 촉진을 위해 연방 조달 방식 사용 주장
부문별 혁신 촉진을 위한 정책	<ul style="list-style-type: none"> 2035년까지 전기 그리드 탈탄소화와 건물에서 배출량 50% 감소를 포함하여 주요 부문에 대한 배출 감소 목표를 확립 산업, 농업을 포함하여 경제의 모든 분야를 탈탄소화하는 데 필요한 이산화탄소 포집과 같은 핵심 기술개발의 가속화 주장
청정에너지 혁신에 환경정의 통합	<ul style="list-style-type: none"> 소외된 지역사회가 청정에너지 및 친환경 인프라 투자로부터 40%의 혜택을 받을 수 있게 노력
국내 청정에너지 공급망과 제조기술의 혁신적 연구	<ul style="list-style-type: none"> 제로 배출 달성하기 위한 미래산업 부문에 10년 동안 4,000억 달러의 투자 제안 청정에너지 공급망 혁신을 가속화하기 위해 공공 R&D를 지원 Manufacturing USA Innovation Institutes와 같은 제조 역량을 높이기 위해 공공-민간 파트너십 장려 미국 내 모든 주에서 저탄소 제조를 위한 국가 전략 개발 촉구
글로벌 청정에너지 혁신에서 미국의 역할	<ul style="list-style-type: none"> 혁신에 참여하는 국가들에 청정에너지 R&D 투자를 기존 대비 4배 장려 국제기후 의무를 이행하지 않는 국가로부터 수입에 대해 탄소조정 수수료를 부과요구

■ The National AI R&D Strategic Plan: 2019 Update⁵⁾

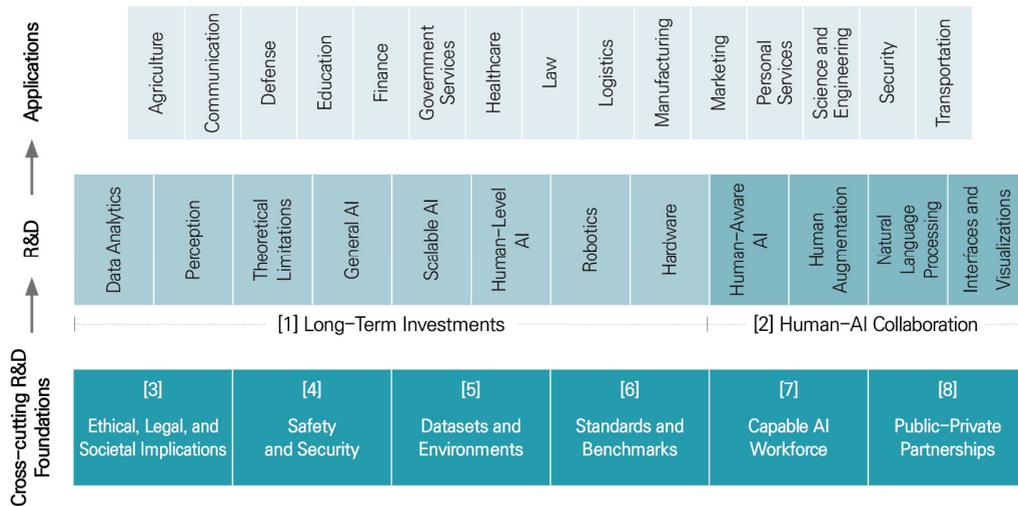
미국은 다양한 분야에서 혁신을 일으키기 위해 R&D를 확대하고 있으며, 그 중 특히 인공지능(AI)은 융합기술의 기반이 되기 때문에 AI에 대한 지원을 강화하고 있다. 미 연방 정부는 2016년에 인공지능 연구개발 전략계획(AI R&D Strategic Plan)을 발표한 이후, 최근 AI 연구개발 이니셔티브를 지원하기 위해 3년 만에 본 계획을 업데이트했다. 우선 AI 계획의 전체적인 구조를 아래와 같이 범 분야, R&D 분야, 응용 분야의 3개 부문으로 구조화하였다. 범 분야는 전반적인 AI 시스템 개발에 영향을 미치는 기반으로, 윤리적·법적·사회적 함의, 안전·보안, 공공데이터 제반 환경, 기술표준·벤치마킹, 인공지능 연구개발인력, 민관 파트너십 등 총 8개의 전략을 포함한다(전략 [3]~[8]).

R&D 분야는 데이터 분석, 로봇기술 등 AI 기술발전에 필요한 장기적인 투자와 인간-AI 협업 방식에 대한 연구를 포함하고 있다(전략 [1], [2]). 응용 분야는 농업, 정보통신, 국방,

5) The Selected Committee on AI of the NSTC. (2019.6). The national AI R&D strategic plan: 2019 update.

교육 등에 걸쳐 인공지능 기술을 긍정적인 방향으로 사회에 환원하는 것이다. AI 전략 계획의 8대 추진전략을 기반으로 15대 응용 분야를 제시하고, 이를 통해 경제, 번영, 교육 기회 및 삶의 질 향상, 국가 안보 강화를 추진한다는 입장이다.

그림 2-2 Organization of the AI R&D Strategic Plan(2019 update, to include Strategy 8)



AI 전략계획의 8대 추진전략은 첫째, AI 기본 연구과제에 대해 단기적이고 일시적인 투자에서 벗어나 장기적이고 지속적으로 투자를 추진하는 것이다. 둘째, 효과적인 인간과 AI의 협업 방식을 개발하는 것이다. 인간과 인공지능의 상호교류와 협업을 획기적으로 확대할 수 있는 연구가 필요하다. 관련 기술은 인간인지형(Human-aware)과 인간증강형(Human-augmentation) AI이다. 셋째, AI의 윤리·법·사회적 영향을 이해하고 대응하는 것이다. 윤리·법·안전 등 인공지능의 발전이 가져올 위험요인과 다양한 측면의 변화에 대한 기초연구가 필요하다. 이를 위해서 연방정부 차원의 투자가 중요하다. 넷째, AI 시스템의 보안·안전을 보장하는 것이다. 사용자가 명확히 이해하고 이용할 수 있는 방식의 시스템을 구축하는 것이다. 현재는 인공지능 기술 적용의 결과에 대한 예측과 추정 방법이 부진한 실정이다. 다섯째, AI 훈련·시험을 위한 공유·공공 데이터 및 환경을 개발하는 것이다. 인공지능의 복잡성 이외에도 인공지능과 사용자가 상호 교류할 때 안전하게 인공지능을 제어할 필요가 있기 때문이다. 이는 공공데이터 공유를 위한 투자 확대와 인공지능 제어에 대한 집단지성을 형성하여 해결할 것으로 보인다. 여섯째, 표준과 성과 평가 지표를 활용한 AI 기술 측정법과 평가 기법을 개발하는 것이다. 이는 인공지능 시스템을 진단

하고 평가할 뿐 아니라 인공지능 기술의 기능성 및 호환성을 검증하는 데 필수 요소이기 때문이다. 일곱째, 국가 AI 연구개발 인력 수요를 파악하는 것이다. 인공지능 전문가에 대한 수요가 급증했고, 이에 따른 전문가 양성과 전문인력의 배치가 새로운 문제로 대두되고 있다. 마지막으로, AI 기술발전 가속화를 위한 민관협력을 확대하는 것이다. 새롭게 추가된 전략으로 민간부문에서의 인공지능 기술 채택도 빈번해지면서 민관협력의 필요성이 제기되고 있다.

AI 전략계획의 14개 응용 분야는 위의 그림 2-2와 같이 농업, 정보통신, 국방, 교육, 금융, 공공서비스, 법률, 물류, 제조, 마케팅, 의료, 개인 서비스, 과학·공학, 보안, 교통 등이 있다.

표 2-20 국가 AI R&D 전략 계획 업데이트 8대 추진 전략의 주요 내용

기관	주요 추진사항
1. 근본적인 AI 연구과제에 대한 장기적인 투자 지속	
NSF	<ul style="list-style-type: none"> • DARPA와 공동으로 실시간 머신러닝 추진 가능 고성능 하드웨어 개발 • 농무부(USDA)와 공동으로 농업 AI 기술개발 • 데이터 혁명 촉진 빅아이디어(Harnessing the Data Revolution Big Idea) - 데이터 사이언스 기초연구, 데이터과학용 알고리즘 및 시스템, 데이터 집약적 과학·공학, 데이터 사이버인프라, 교육 및 인력개발 등 시행
DARPA	<ul style="list-style-type: none"> • AI Next 캠페인 - AI 시스템의 안정성과 엄격성 향상, 머신러닝 및 AI 기술의 보안성과 회복력 강화, 전력·데이터·기능 상의 비효율성 제거 등
NIH	<ul style="list-style-type: none"> • 국립보건원 데이터과학 전략계획(NIH Strategic Plan for Data Science) - 데이터과학과 머신러닝 및 AI 기능을 바이오 의료분야로 확장
2. 효과적인 인간-AI 협업 방식 개발	
NSF	<ul style="list-style-type: none"> • 인간-기술 경계에서의 노동의 미래(Future of Work at the Human-Technology Frontier, '18.12) - 인간과 기술 협력에 대한 이해와 발전, 사람의 능력을 증강하기 위한 새로운 기술 설계, 사회기술적 환경 변화와 신기술의 위험·편익 이해, AI가 노동 및 노동자에 미치는 영향 이해, 평생학습 활성화 등
NOAA	<ul style="list-style-type: none"> • 허리케인, 토네이도 등 기타 기상이변 예측을 위한 인간-AI 협업 기술개발
NIH	<ul style="list-style-type: none"> • 국립의학도서관 소장 9,630만 건의 의학 데이터베이스 자연어처리 기술연구
3. AI의 윤리·법·사회적 영향 이해 및 대응	
DARPA	<ul style="list-style-type: none"> • Explainable AI(XAI) 프로그램('18.5)
NSF	<ul style="list-style-type: none"> • Amazon과 AI 공정성에 관한 공동 연구 추진

기관	주요 추진사항
4. AI 시스템의 보안·안전 보장	
교통부	• 연방정부 자율주행 지침 3.0 작성('18.10)
IARPA	• 안전하고 확실한 지능형 학습시스템(SAILS) 및 AI 트로이(TrojAI) 프로그램('18.12)
국방부	• '18년 국방부 AI 전략에서 AI 시스템 도입 시 군사 윤리 및 안전 원칙 반영
5. AI 훈련·시험을 위한 공유 공공 데이터셋 및 환경 개발	
교통부	• NDS(Naturalistic Driving Study)를 통해 540만 건 주행 데이터 확보('16.4)
NIH	• 발견·실험·지속가능성을 위한 과학기술연구인프라(STRIDES) - 민간 클라우드업계와 협력, NIH의 자금 지원을 받는 데이터 자산에 대한 접근권 보장
6. 표준 및 성과 평가 지표를 활용한 AI 기술 측정과 평가	
NIST	• AI 관련 ISO/IEC JTC 1 SC 42 프로그램 표준화 참여
7. 국가 AI R&D 인력 관련 니즈의 파악	
국방부	• 계산과학대학원 펠로우십(Computational Science Graduate Fellowship) 프로그램에 AI 트랙 추가
NSF	• 대학원연구 펠로우십(Graduate Research Fellowships) 프로그램에 대한 컴퓨터와 데이터과학 및 공학 연구자 지원 강화
8. AI 발전 가속화를 위한 민관협력 확대	
NSF	• (AI 파트너십) AI의 정치적/사회적 차원에 대한 이해 심화를 위한 파트너십 구축
국토안보부	• (실리콘밸리혁신프로그램, SVIP) 정부 관료, 기업가 및 업계인사 협력을 통해 첨단 솔루션을 모색하고 이를 상용화하기 위한 투자 추진
보건복지부	• (헬스테크스프린트) AI 훈련 및 테스트를 위한 데이터 공개 관련 협력 프로그램

■ American AI Initiative: Year one annual report(2020.2)⁶⁾

위의 AI R&D 전략과 더불어 미국 AI 이니셔티브의 내용을 살펴보면 미국의 AI 투자 방향에 대해 더 잘 알 수 있다. 인공지능(AI)은 의료 진단, 정밀 농업, 첨단 제조, 자율주행, 군사 기술 등 미국의 대표적인 융합기술 분야를 변화시키고 있다. 이러한 중요성 때문에 트럼프 전 대통령은 미국의 AI 리더십을 공고히 해야 한다고 강조했다. 이에 따라 미국 국민을 위한 AI 생태계를 조성하고, 이를 통해 삶의 질을 개선하고 경제력과 국가 안보를 확보할 수 있다고 밝히고 있다. 이에 트럼프 대통령은 2021년도 연방 예산안에서 향후 2년에 걸쳐 비 국방 AI R&D 예산을 2배 증가시킬 것을 요구했다.

6) OSTP. (2020.2). American artificial intelligence initiative: Year one annual report.

표 2-21 미국 연방정부의 2020 회계연도 비 국방 AI R&D 상위 5대 기관 및 예산요구액

[단위: 백만 달러]

기관 및 부서	예산안
국립과학재단(NSF)	487.6
국립보건원(NIH)	202.5
에너지부(DOE)	162.4
식품의약품처(FDA)	38.5
국토안보부(DHS)	30.5
기타 부처(NIST, DOT, VA, NASA, USDA, DOJ DOI, NOAA)	52.0
총계	973.5

출처: NITRD. (2019.9). Supplement to the President's FY 2020 budget.

미국은 AI에서의 기술혁신을 창출하기 위해 산업계, 학계, 국제파트너 및 기타 비 연방 기관과 협력하여 R&D에 대한 연방투자 확대를 강조했다. 안전, 보안, 개인 정보 보호 및 기밀 보호를 유지하고 확장하는 동시에 AI R&D에 대한 가치를 높이기 위해 고품질 연방 데이터, 컴퓨팅 도구 등에 대한 접근을 강화해야 한다고 밝혔다. 데이터 및 컴퓨팅 툴에 대한 접근이 증가하면, AI R&D에 참여하는 전문가 및 연구원과 산업 공동체가 확대되어 전문가의 전체적인 경쟁력이 높아질 것이기 때문이다. 미국 AI 이니셔티브는 연방기관이 예산을 허용하는 범위에서 데이터와 모형을 지속적으로 검토하여 AI R&D에 대한 접근성을 증가시킬 것을 촉구했다. 이와 동시에 AI와 관련한 안전과 개인정보 및 기밀 보호를 확보할 것을 주장했다.

또한, AI 이니셔티브는 인공지능 기술의 안전한 개발과 검증을 통해 국가 안보, 시민 자유, 개인정보, 미국적 가치를 보호하면서 동시에 혁신을 저해하는 장벽을 제거해야 한다고 언급했다. 이와 더불어 AI 개발과 사용을 지원하는 비즈니스 환경을 조성하고 산업 기반 기술표준을 정립해야 한다. 이와 관련해 국립표준기술원(NIST)은 2019년 9월, AI 표준 개발을 위한 연방정부 참여전략(Strategy for Federal Engagement in the Development of AI Technical Standards)을 처음으로 발표하기도 했다. 이와 동시에 AI 연구소 프로그램(National Artificial Intelligence Research Institutes)과 STEM 교육을 통해 AI 기술 전문 인재를 양성하고, 펠로우십과 장학 프로그램을 확대하여 AI 분야 학생들과 기초연구를 지원해야 한다고 강조했다.

AI 이니셔티브는 또한 미국의 AI 혁신을 돕는 국제적 환경을 조성하기 위해 시장을 개방하고 G7/G20 국제 파트너와 협력할 것을 표명했다. 미국은 경제성장을 위해 필수적인 AI 기술개발의 안전성과 신뢰도를 위해 2018년에 G7에서 AI 관련 공동성명을 발표했다.

또한, 2017년에는 영국과 최초의 과학·기술 협력 협정에 서명하고 2018년에는 프랑스와도 협력 협정을 체결하는 등 미국은 AI 관련 국제 협력을 가속화하기 위해 양자 파트너십을 지속적으로 모색하고 있다. 이외에도 미국은 OECD 국가 간 협력과 신뢰 향상을 위해 AI 기술개발 및 적용을 위한 원칙을 공식화하는 서명을 발표하기도 했다.

국제적 협력 외에도 미국 정부는 개인정보보호와 같이 개인의 권리와 자유를 보장하여 국민이 신뢰할 수 있는 AI 공공서비스를 제공하기 위해 2019년 백악관 정상회의를 개최했다. AI 관련 정부 및 산업계 전문가 175명 이상이 회동하여 AI 서비스 아이디어, 파트너십 전략, 미국 AI 인력개발 방법 등을 주제로 논의했다. 또한, 연방기관이 AI 관련 전문 지식과 모범 사례를 공유하는 우수연구기관(Center of Excellence)을 출시했다. 이는 연방기관 간 협업을 촉진하며 기계 학습, 언어처리, 지능형 프로세스 설계 및 로봇 자동화 등을 통합한 AI 솔루션을 개발할 것으로 기대된다.

■ Convergence Accelerator, NSF⁷⁾

‘융합 액셀러레이터(Convergence Accelerator)’는 국립과학재단(NSF)에서 미국 내 학문 전 분야에 연구비를 지원하여 난제를 해결하고 융합연구를 더욱 가속화하고자 기획한 프로그램이다. NSF는 과학의 발전을 통해 국민 건강, 복지 증진 등을 도모하기 위해 1950년 의회에서 설립한 독립적인 연방기관으로서 과학·기술 분야의 연구와 교육을 지원하는 역할을 수행한다. 또한, 미국 전역에 약 3,000개의 고등 교육기관, K-12 학교 시스템(유치원에서 고등학교 졸업까지 무상교육지원), 기업, 비공식 과학 조직 및 연구기관에 대한 보조금을 지원하고 있다. 이처럼 NSF는 모든 과학·공학 분야의 전반적인 과정의 지원을 책임지고 국가 과학기술 인력(과학자, 엔지니어, 공학 교육자 등) 확보에 집중하고 있다.

NSF의 ‘융합 액셀러레이터(C-ACCEL)’ 프로그램은 2019년도에 출범되어 여러 분야의 전문 지식과 파트너십을 장려하여 융합연구팀을 구축하고, 국가 규모의 사회적 문제를 해결하는 데 집중하고자 한다. 2019년 9월에 시작된 C-ACCEL은 1단계에서 총 43팀이 트랙A(개방형 지식 네트워크, 데이터 혁명 활용), 트랙B(휴먼-테크놀로지 프론티어) 연구를 진행하기 위해 총 3,900만 달러를 지원했다. 트랙A는 데이터 혁명 활용으로, 지식 네트워크를 위한 비(非)독점 인프라 구축에 집중하고, 일부 팀은 네트워크에 대한 데이터를 식별, 수집 및 통합하는 도구를 개발 중이거나 사법 영역과 같은 특정 문제를 해결하는 개방형 지식 네트워크의 구축에 초점을 두기도 한다. 한편, 트랙B는 휴먼-테크놀로지 프론티어로, 로봇 자동화 프로세스를 통한 건축, 엔지니어링 및 건설의 미래인력 준비, 인력 역량 강화를

7) NSF, <https://www.nsf.gov/od/oia/convergence-accelerator/>

위한 지능형 기술개발 등 근로자를 미래의 직업과 연결하고, 커리어를 위한 AI 기반의 의사결정 지원 등의 연구가 있다. 연구팀은 산업 요구 사항과 미래의 일자리를 고려한 현재 및 미래의 인력을 위한 교육·재교육 등을 준비하고, 인재 파이프라인 구축에 초점을 맞추고 있다. 이후 2020년 9월에는 2단계에서 트랙A, 트랙B 도합 9개 팀을 선발하여 각 팀에서 진행한 연구를 수행하고, 국가 규모의 사회적 문제를 해결하기 위해 2,800만 달러를 지원했다.

[참고] 2019년 9월 C-ACCEL의 2단계 트랙 선발팀(9) 목록

트랙A. 개방형 지식네트워크 선발팀 목록(5)

- 법원 기록에 대한 투명성 및 접근 강화, Open Knowledge Network, Northwestern Univ.
- 생물 의학을 위한 다중 규모 개방형 지식 네트워크, UC San Francisco
- 코로나-19 과학 및 경제에 적용되는 지식 네트워크 개발 인프라, Univ. of Michigan
- Spatially Explicit AI 기술을 사용한 도메인 간 지식 그래프 강화 연결, UC Santa Barbara
- 홍수 정보 제공 지식 네트워크, Univ. of Cincinnati

트랙B. 휴먼-테크놀로지 프론티어 선발팀 목록(4)

- 차세대 비상 대응자를 위한 증강 및 로봇 학습환경, Texas A&M
- 제조 인력 교육의 기술 교육 및 분석을 위한 X-Reality 플랫폼, Purdue Univ.
- 역량의 촉매 2단계, Eduworks Corp.
- 신경다양성(틱 장애, ADHD 등)을 가진 사람들의 고용을 위한 AI, Vanderbilt Univ.

2020년 9월에 시작된 C-ACCEL 프로그램의 1단계에서 총 29팀이 트랙C(양자 기술), 트랙D(인공지능) 연구를 진행하기 위해 총 2,700만 달러를 지원받았다. 트랙C는 양자기술 분야로 새로운 기술을 배포하기 위한 양자 센서 및 인터넥트를 개발하는 것에 초점을 맞춘다. 뿐만 아니라 양자분야의 미래 인력을 준비하고, 인력 재교육 등에 대한 다양한 솔루션을 개발 중이다. 트랙D는 데이터 인공지능 혁신분야로, 트랙D 연구팀은 인공지능 연구, 고품질 데이터 세트 및 환경에 대한 접근을 개발하는 중이며, 데이터 공유를 가능하게 하는 오픈 플랫폼 개발을 포함하여 다양한 데이터와 모델 관련 문제(개인정보보호 등)를 위한 솔루션을 개발 중이다.

[참고] 2020년 9월 C-ACCEL의 1단계 트랙 선발팀(29) 목록

트랙C. 양자기술 선발팀 목록(11)

- 저온 원자 양자컴퓨팅을 위한 칩스케일 통합 멀티 빔 스티어링 시스템, Washington Univ.
- Chiral 기반 양자 인터커넥션 기술, UC San Francisco
- 프로그래밍 가능한 원자 배열 기반의 클라우드 액세스가 가능한 통합 양자 시뮬레이터, Texas Univ.
- 양자 감자 기반 고처리 단백질 체학 기술, Univ. of Chicago
- 차세대 인터넷을 위한 양자 컴퓨터의 상호 연결, Maryland Univ.
- 국가적 양자 해독 커리큘럼 및 교육 네트워크, Morgan State Univ.
- 얽힘 및 관성 감지를 위한 양자-광 기계 변환기, Arizona Univ.
- 양자 과학, 기술, 공학, 예술 및 수학 분야의 융합 학부 교육, Ohio State Univ.
- 확장 가능한 양자 인공 지능(SQAI), Pennsylvania State Univ.
- 실용적인 토폴로지 양자 컴퓨팅을 향한 시너지 추진력, MIT
- 단기적으로 실용적인 재료 과학 문제를 해결하기 위한 툴킷, Texas at Austin Univ.

트랙D. 데이터 및 모델 공유를 통한 인공지능 기반 혁신 선발팀 목록(18)

- AI 지원, 네트워크 인프라 보안을위한 개인 정보 보호 정보 공유, Carnegie Mellon Univ.
- AI 지원 탄력성이 입증된 네트워크 마이크로 그리드, SUNY Stony Brook
- 기후 취약성 평가 및 경고 시스템을 위한 물 시스템 데이터 풀링, Columbia Univ.
- 실험 메타 데이터 정규화를 위한 순차 유도 전이 학습 적용, ResearchTriangle Institute
- 데이터 및 모델 공유가 가능한 WIFIRE 공용 인프라를 통한 인공 지능 및 커뮤니티 주도의 산불 혁신, UC San Diego
- 폴리머 소재 혁신을위한 커뮤니티 리소스, MIT
- 청각 장애인을위한 사생활 보호, ASL 교육 및 언어 연구를 통해 언어로 얼굴 표정을 모델링하는 데이터 및 AI 방법, Rutgers Univ.
- 수의학 분야의 데이터 기반 질병 통제 및 예방, UC Davis
- 데이터 및 모델 오케스트레이션, Univ. of Chicago
- 생명 과학, 정책 및 엔지니어링, Vanderbilt Univ.
- 머신러닝 및 물 관리를 위한 지하수 데이터 플랫폼, Arizona Univ.
- ImagiQ: 의료 영상을 위한 비동기식 분산형 연합 학습. Iowa Univ.
- 민간 인프라의 피해 감지 및 위치 파악을위한 지능형 감시 플랫폼, Howard Univ.
- 지능형 구축 환경 데이터베이스 Using AI 및 데이터 기반 모델의 신속한 개발, Oregon State Univ.
- 신경 과학, 인지 과학, 기계 학습 등의 융합을 가속화하기위한 표준화 된 모델 설명 형식, Princeton Univ.
- 이미징 번역을위한 확장 가능하고 추적 가능한 AI, Vanderbilt Univ.
- 지능형 공유 및 AI 모델 및 데이터 세트 검색, UC San Diego
- AI 기반 건강 혁신을 가속화하기위한 신뢰할 수 있는 통합 모델 및 데이터 공유 플랫폼, Duke Univ.

2021년도는 코로나-19 팬데믹으로 인해 기존 단계 과정에서 변화가 있을 전망이지만 참가 제안서를 받고 있으며⁸⁾ 동시에 2022년 프로그램을 위한 트랙 선정 아이디어 제안을

8) <https://www.nsf.gov/pubs/2021/nsf21572/nsf21572.htm>.

받고 있다.⁹⁾ 기존 단계에 포함된 워크숍, 프레젠테이션 엑스포 등은 코로나-19로 인해 변경될 전망이다,¹⁰⁾ 2021년에 진행될 트랙 E, F는 각각 네트워크 블루 이코노미(블루 이코노미 및 해양 부문 연구 가속화), 통신 시스템의 신뢰성(공공정보에 대한 시민 신뢰도 형성을 높이기 위한 새로운 연구 플랫폼의 프로토타입 개발)이다. 한편, 2022년에 예상되는 트랙은 국가 규모의 사회적 영향을 미칠 수 있는 잠재력을 가진 미래산업(IoTF) 혹은 10 Big Ideas¹¹⁾ 분야와 함께 이러한 잠재력을 가진 아이디어 제안도 함께 받고 있다.

■ 법안

융합기술이나 융합연구에 큰 영향을 미칠 것으로 보이는 법안으로, 지역 허브를 두어 미래기술 발굴 및 사업화에 초점을 맞춘 「Endless Frontier Act」와 융합의 기반이 되는 반도체를 지원하는 내용을 골자로 한 「CHIPS」 법안과 「American Foundries Act of 2020」 법안을 소개한다.

2020년 5월, 민주당 척 슈머 상원 원내대표, 로 칸나 하원의원, 공화당 토드 영 상원의원, 마이크 갤러거 하원의원 주도로 미국 의회는 「Endless Frontier Act」를 상정했다. 이 법안은 중국과의 기술 경쟁 격화에 대한 대응책으로 제안되었으며, 이를 통해 미래기술 분야 발전·창출·산업연계에 대한 투자를 확대하여 미국의 과학기술 혁신 리더십을 공고히 하고자 한다. 이러한 목표를 위해 이 법안은 국립과학재단(NSF)을 개혁하고 재단의 자금과 지역 허브를 구축하는 내용을 골자로 하고 있다. 기존 국립과학재단(National Science Foundation)에서 국립과학기술재단(National Science and Technology Foundation)으로 명칭을 바꾸어 역할과 범위를 확대하고, 산하에 기술국을 신설하여 10대 첨단기술¹²⁾의 연구·개발에 집중적으로 지원한다. 또한, 향후 5년 동안 약 1,000억 달러(120조 원)를 투입하고 추가로 상무부에 5년간 약 100억 달러(12조 원)를 지원하여 전국에 10~15개의 지역 허브를 구축할 것이다. 여기서 지역 허브는 연구 사업화 촉진, 기술도입을 통한 산업경쟁력 강화, 연구지원금 제공, 기술이전 촉진 등의 활동을 수행하게 될 것이다. 하지만 이 법안은 116대 의회에서 통과하지 못했으며, 척 슈머 상원 원내대표가 2021년 봄에 재추진할 계획이라고 밝혔다.

9) <https://www.nsf.gov/pubs/2021/nsf21012/nsf21012.jsp>.

10) <https://www.nsf.gov/pubs/2021/nsf21572/nsf21572.htm>.

11) NSF가 2017년부터 NSF와 함께 미국의 미래에 기여할 수 있는 부문에 관해 연구하고 2019년에는 각 Big Idea에 3,000만 달러를 투자하여 구축한 분야로 '휴먼 테크놀로지(인간-기술관계), 융합연구, 데이터 혁명활용, 중규모 연구 인프라, 북극탐색, 양자도약, 유기체 표현형 예측 이해, 우주 탐색, NSF 비전, NSF2026' 가 해당됨.

12) ① 인공지능과 머신러닝, ② 고성능 컴퓨팅, 반도체, 첨단 컴퓨터 하드웨어, ③ 양자 컴퓨터와 정보시스템, ④ 로봇틱스, 자동화, 첨단 제조, ⑤ 자연재해 및 인재 예방, ⑥ 첨단 통신 기술, ⑦ 생명과학, 유전자공학, 합성생물학, ⑧ 사이버보안, 데이터 저장, 데이터 관리 기술, ⑨ 첨단 에너지, ⑩ 소재 과학, 공학, 탐사 기술.

한편, 대부분의 첨단기술에 2020년 6월에는 공화당 존 콜닌 상원의원, 마이클 맥콜 하원의원과 민주당 마크 워너 상원의원, 도리스 마츠이 하원의원 등이 「CHIPS for America 법안(Creating Helpful Incentives for Producing Semiconductors for America)」을 공동 발의했다. 이 법안은 미국의 반도체 산업 주도권을 탈환하기 위한 정책적 지원을 담고 있다. 법안의 세부적인 내용으로는 ① 방위고등연구계획국(Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA), 국립과학재단(NSF), 에너지부(Department of Energy, DOE)에서 추진하는 반도체 연구에 총 70억 달러(약 8조 4,000억 원) 제공, ② 국립반도체기술센터와 반도체제조연구소 신설, ③ 미국 및 글로벌 반도체 기업 제조 공장 유치를 위한 매칭펀드 조성, ④ 2024년까지 반도체 관련 투자 지출의 세금 40%를 공제하고, 2025년에는 30%, 2026년에는 20% 등으로 점차 감소하여 2027년에 공제 종료 등이 있다. 해당 법안은 2020년 6월에 통과되지 못했지만, 12월에는 「국방수권법안(National Defense Authorization Act)」의 일부로서 통과가 되었다. 법안의 초안과 달리 개편안은 총 투자액과 개별 분야에 배정된 투자액은 특정되어 있지 않다는 점이다.¹³⁾ 실제 자금 지원은 개별적인 입법과정을 통해 제공될 것이고, 반도체 분야의 과학·기술혁신 경쟁력을 확보할 것으로 기대하고 있다.

2020년 7월, 톰 코튼 상원의원과 척 슈머 상원의원이 「파운드리 법안(American Foundries Act of 2020)」을 공동으로 발의했다. 이 법안은 반도체 제조 및 연구개발 설비를 확대하고 현대화하기 위해 150억 달러(약 18조 원)를 주 정부에 제공하며 국방부(Department of Defense, DoD)에 마이크로일렉트로닉스 생산시설에 50억 달러(약 5조 원)를 투자하는 안을 담고 있다. 또한, 이 안은 DARPA, NSF, DOE, 미국표준기술연구소(National Institute of Standards and Technology, NIST)에서 수행하는 반도체 관련 R&D에 50억 달러(약 6조 원)를 제공하고 대통령 직속 과학기술위원회(Council on Science and Technology)를 설립하여 매년 차세대 마이크로일렉트로닉스 R&D 예산 분배와 산·학·연 연구 촉진 방안을 수립하도록 한다. 하지만 해당 안은 의회의 문턱을 넘지 못했다.

13) <https://www.aip.org/fyi/2021/new-microelectronics-initiative-sets-possible-funding-infusion>.

2. 유럽

■ A New ERA(European Research Area) for Research and Innovation(2020.9)¹⁴⁾

유럽연합(EU)은 친환경 및 디지털 전환을 위해 분야 간 융합을 촉진하고 혁신을 확산할 수 있는 플랫폼을 구축하고 지원하는 유럽연구분야(ERA: European Research Area) 이니셔티브 개선계획과 R&I 전략을 발표했다. 지난 20년 동안 ERA는 많은 연구프로젝트와 연구자를 지원하고, 오픈사이언스 이니셔티브(Open Science Initiative)와 최근 출시된 EOSC(European Open Science Cloud)를 통해 개방적이고 협업 지향적인 과학지식 공유를 할 수 있는 유럽의 클라우드 영역을 구축하는 등 많은 성과를 거두었다. 하지만 동시에 ERA 목표달성도는 둔화(EU의 R&D 투자는 GDP 대비 목표치 3%에 미달한 2.19%)하고 있으며, 기술혁신 확산의 채널화, 연구성과의 효과성 향상, R&D의 양성평등 등 주요 영역에서 추가적인 개선이 필요하다.

또한, 유럽은 현재 코로나-19 사태로 사회·생태학·경제적 위기에 직면하여 유럽의 복구가 최우선 과제로 부상하고 있으며, 동시에 녹색·디지털 전환을 강조하고 있다. EU의 2021~2027년 대규모 장기 부양책인 ‘차세대 EU(Next Generation EU)’는 현대적이고 지속가능한 유럽의 기반을 다지는 한편, 포괄적인 복구와 사회적 공정성을 도모할 예정이며, 본 이니셔티브 개선계획은 유럽의 녹색·디지털 전환의 가속화, 향후 위기 상황에 대비한 유럽의 대응력 강화, 지식 경쟁력 강화를 위한 새로운 접근법을 제안하고 있다.

이에 유럽위원회(European Commission)는 회원국 간의 협력을 통해서만 달성할 수 있는 전략적 목표에 근거하여 새로운 비전을 제시했다. 첫째, 투자 및 개혁의 우선순위를 설정한다. 이는 녹색 전환과 디지털 전환을 더 신속하게 이루어내고, 사회·경제적 회복과 더불어 경쟁력 향상을 위해 투자 및 개혁의 우선순위를 설정하는 것이다. 이를 위해 적절한 분석 연구가 필요하며, 개별 국가와 유럽연합의 R&I 체계 간 상호작용을 용이하게 만들어야 한다. 둘째, 우수성에 대한 접근성을 향상한다. 이는 유럽 전체에 걸쳐 우수하고 강력한 R&I 체계를 목표로 접근성을 향상하는 것으로, R&I 체계를 개선하고자 하는 회원국은 결속정책(Cohesion Policy)에 따른 전문적인 전략과 함께 호라이즌 유럽 정책 및 상호 보완성을 기반으로 장려되고 지원받아야 한다.

셋째, R&I 결과를 경제적으로 전환한다. R&I 정책은 경제·사회의 경쟁력 향상과 회복 신장이 목표가 되어야 한다. 이는 비즈니스 R&I 투자환경, 신기술의 배치를 향상하는

14) European Commission. (2020.9). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A new ERA for Research and Innovation.

동시에 글로벌 기술 경쟁에서 유럽의 리더십을 확보하고, 경제 및 사회 전반적으로 연구 결과를 채택하고 활용하는 것을 의미한다. 넷째, ERA 이니셔티브의 심화이다. 이는 유럽 국가 간 긴밀한 협력을 통해 효율적이고 효과적인 R&I 체계에서 원활한 정보의 순환을 위한 것이다. ERA 이니셔티브는 적절한 체계 조건 및 포괄성을 지속하고, 우수 과학을 위해 연구자들이 필요로 하는 역량을 강화하도록 돕고 교육, 훈련, 노동시장을 포함한 유럽 전역의 모든 이해관계자가 연결되도록 지속적으로 지원할 예정이다.

표 2-22 EU 이니셔티브 목록

이니셔티브	내용
ERA4You	<ul style="list-style-type: none"> • 인재 순환 이니셔티브로써 산업·학계 각 부문의 관계 간 이동의 유연성 강화 • 산업·학계 협력을 통해 민간부문의 참여를 강화하는 조치 도입 가능¹⁵⁾
ERA Talent Platform 확장	<ul style="list-style-type: none"> • EURAXESS 서비스(기존의 연구자 지원 이니셔티브)는 개선된 온라인 One-stop Shop을 위해 ERA Talent Platform으로 확장되며, 사람들이 학습 및 경력을 관리 할 수 있는 EU 플랫폼인 Europass와 EURES 네트워크를 활용
EOSC	<ul style="list-style-type: none"> • 연구데이터를 공개적으로 공유하고 서비스에 접근하기 위한 유럽연합의 협력 프레임워크가 되기 위해 구축되는 중 • 중기적으로 유럽의 공동 의료데이터 공간과 같은 부문별 데이터 공간과 완전히 연계된 신뢰성 높은 R&I 데이터 공간·서비스 플랫폼으로 성장하여 민간부문과 연결되고 개방될 것
The European Universities	<ul style="list-style-type: none"> • 대학 간의 초국적 협력을 위한 장기적 틀을 제공하는 프로세스를 지원 • 국경을 넘는 협력과 연구 공유가 가능하게 함 • InvestEU 프로그램의 지원을 통해 대규모 공동조치

유럽위원회는 위의 ERA 로드맵에 따라 실행해야 할 핵심 실천사항 14가지를 다음과 같이 제안했다: ① 유럽연합 연구개발 투자목표를 GDP 대비 3%로 확정하고 2030년까지 개별 회원국이 달성해야 하는 목표를 GDP 대비 1.25%로 설정한다. ② 회원국들의 국가 R&I 자금 및 개혁의 우선순위 지정·조정 지원을 위한 ERA 포럼을 출범한다. ③ GDP 대비 R&D 투자가 유럽연합 평균보다 낮은 회원국들은 향후 5년 내 R&D에 대한 투자를 50% 이상 증가시킨다. ④ ERA 포럼에서 전용 업무 체계를 도입하고, 연구 출판물 수가 유럽연합 평균에 뒤처진 회원국들은 유럽연합 평균과의 격차를 5년 내 3분의 1 이상 좁히도록 지원한다. ⑤ <호라이즌 유럽> 산하의 핵심 파트너를 산업생태계와 연계함으로써 연구 성과가 신속히 알려지고 경제에 적용될 수 있도록 회원국 및 이해관계자들과 공동산업 기술 로드맵을 공동개발하여 신산업정책의 시행을 지원한다. ⑥ 우수성을 강화하고 지식의 창출·순환 및 사용의 가치를 극대화하기 위해 기존 역량을 바탕으로 유럽의 R&I 생태계를 지원하는 네트워킹 체계를 개발한다. ⑦ 지식의 가치화를 위한 이행지침 및 지식재산의

15) https://ec.europa.eu/research/mariecurieactions/news/msca-research-innovation-2020_en.

올바른 실행 규약을 업데이트한다. ⑧ 연구자들의 경력개발을 지원하기 위한 연구자 역량 인정체계, 산학 간 연계를 지원하는 교류제도, 호라이즌 유럽에 따른 훈련 및 연구자들이 다수의 지원 서비스를 활용할 수 있는 원스톱 샵(One-stop Shop)을 제공한다. ⑨ <호라이즌 유럽> 프로그램을 통해 검색 가능하고 접근·상호이용·재사용 가능한 연구 데이터와 서비스를 제공하는 유럽 개방형 사이언스 클라우드를 보장한다. 또한, 연구 평가 시스템을 개선하여 개방형 플랫폼을 장려한다. ⑩ 유럽 연구 인프라 전략 포럼(ESFRI, European Strategy Forum on Research Infrastructures) 백서를 구축하고 연구·기술 인프라에 대한 개선된 구조를 확립한다. ⑪ 대학을 기반으로 고등 교육과 연구 간 시너지 창출을 위한 로드맵을 개발한다. 이는 특히 호라이즌 유럽(Horizon Europe), 에라스무스(Erasmus), ESF + 및 ERDF와 민간 R&I 투자를 포함한 연합 프로그램 간의 시너지를 위함이다. ⑫ 유럽연합의 성평등 촉진을 위해 회원국 및 이해관계자와 함께 포괄적인 성평등 계획을 개발하고, STEM 분야에서의 여성 참여를 촉진하고 기업가 정신을 육성한다. ⑬ 홍보와 네트워킹을 위해 회원국 및 이해관계자와 함께 유럽 전역에서 참여하는 시민 과학 캠페인을 구상한다. ⑭ 유럽 연구혁신조약(Pact for R&I)에 따라 전환을 위한 ERA 포럼을 통해 개별 회원국들과 함께 ERA 이니셔티브 의제를 전달하는 전략적 우선순위를 설정하고 구현하는 접근법을 개발한다.

■ COVID & Horizon 2020: Can Europe bridge the gap(2020.6)¹⁶⁾

최근 코로나-19의 확산으로 인한 투자 우선순위 변경으로 다수 프로젝트에서 자금 규모 축소, 철회, R&D 로드맵 변경 등 <호라이즌 2020> 운영에 차질이 빚어졌다. 먼저 코로나-19 팬데믹으로 인해 프로젝트가 중단되어 미래의 R&D에 차질이 발생해 연구자 개인의 경력에 대한 단기적인 위험(장기 피해 및 경력단절 등)뿐만 아니라 유럽 전체에 걸친 연구 및 혁신 역동성과 경쟁력에 대한 장기적인 피해로 이어질 우려가 있다. 또한, 코로나로 인해 전략적 벨류체인 이니셔티브 및 민관 파트너십에서 단일 호라이즌 2020 프로젝트 및 마리퀴리 그랜트(Marie Skłodowska-Curie Actions, MSCA)와 같은 중요한 R&D 교육 계획 등에 대한 모든 형태의 자금 지원이 일시 중단되거나 철회되었다. 그동안 유럽은 MSCA를 통해 2014~2016년간 총 62억 유로의 예산으로 총 6만 5천 명의 연구자를 지원했으며, 연구자 간 교류 활동을 촉진하고 우수 R&D 인력개발을 위해 민간-대학과의 밀접한 연계 및 협력을 장려해왔다. 이와 더불어, 코로나-19를 통제하기 위해 연구를 위한 인력이동이 중단되었으며, 이로 인해 타 국가의 전문가의 장기 비자와 허가 승인이 점차 어려워지고

16) <https://now.k2base.re.kr/portal/trend/mainTrend/view.do?poliTrndId=TRND000000000039568&menuNo=200004&pageUnit=10&pageIndex=17>.

있어 연구 및 프로젝트에 차질이 발생하고 있다. 특히, 중국과 인도에서 유입되는 유학생들의 유학·취업 등이 제한이 될 것이며, 일각에서는 이러한 인재 부족 현상에서 회복되기까지 적어도 2~3년 정도가 소요된다고 예측한다. 대부분의 회의와 발표가 디지털 및 통신기술을 통해 비대면으로 대체되었지만, 물리적인 협업이나 포럼의 부재에 대한 우려는 여전히 존재하고 있다. 원격소통은 새로운 목표를 설정하거나 연구 파트너들 간 상호 신뢰를 구축할 시에 효과적이지 않고, 또한, 연구지원 자금 신청 시 디지털·통신기술에 수준이나 사용도에 따른 불균형이 발생할 수 있기 때문이다. 이와 더불어 현재 대부분의 자금 지원은 미래의 유행병 대비를 위해 배분되어 있으므로 새로운 프로그램이 상대적으로 적게 존재하는 분야에 우선순위를 부여하게 될 것이라는 우려도 있다. 마지막으로, EU 내에서는 회생이 어려운 기업을 지원하지 못하도록 하는 원조 규정이 있으나, 이 규정은 코로나로 인해 일시적으로 완화되었고, 결국 고성장 기업의 사업 확장을 제어하게 되는 예측 불가의 결과가 발생하기도 했다.

이러한 상황에서 위원회가 미래 연구와 사업을 위해 제시한 정책적 권고사항은 첫째, 연구개발 사업 집행의 유연성을 확보하는 것이다. 특히 재정적 부담을 피하고자 연구를 조기 종료하게 되면 데이터·결과 등의 손실을 넘어 법적·재정적 문제가 생길 수 있으므로 정부는 연구 예산 집행을 위해 주요 결과물 제출 기한을 연장하거나 제출 의무를 경감하거나 면제할 필요가 있다. 이와 별개로 집행 항목을 자체적으로 재조정하고 검토 절차를 간소화하여 연구개발 주체에 자율성을 부여하는 방안도 있다. 둘째, 민간기업 참여시 추가 자금 지원과 민간기업 참여 방법 다변화를 추진하는 등 산업계의 참여를 독려하는 것이다. 이에 따라 현물 지원이나 인프라 제공 등의 간접지원과 다양한 형태의 협력과 자금조달 방법을 고려해야 한다. 혹은 민간의 참여를 독려하기 위해 회원국이 설정한 규제의 범위를 완화하는 방안도 있다.

셋째, 코로나로 인해 연구인력 유입이 어려워지고 있으므로 고도의 온라인 네트워킹 플랫폼을 조성해야 한다. 예를 들어 연구개발 조직의 현장성을 가상으로 대체할 수 있는 가상화 방안을 검토하거나 CORDIS(Community Research and Development Information Service)¹⁷⁾ 등의 정보공유 채널과 해커톤 등을 개최하여 잠재적 파트너들에게 어필하는 방안이 있다. 넷째, 디지털 인프라, 데이터 네트워크, 5G 등 첨단 통신기술에 대한 투자를 강화하고 이를 활용한 가상협력을 촉진해야 한다. 유럽 오픈 사이언스 클라우드(European Open Science Cloud) 강화를 통해 학제 간 연결성과 상호협력을 증대하며 호환성이 높은 연구를 진행하고 커뮤니티 간 협력 구도를 형성하여 데이터 가상 생태계를 활성화할 것을

17) EU가 후원하는 모든 프로젝트와 결과에 대한 정보를 공유하는 공공 저장 포털.

권고했다.

다섯째, 재정 지원의 규정을 정비해야 한다. 이를 위해 EU와 회원국 개별의 민간기업 R&D 지원체제와 정책을 조율해야 한다. 특히, 국가기관이 일괄 적용 면제 규정(General Block Exemption Regulation, GBER)을 지원이 시급한 기업에 우선적으로 도움을 줄 수 있도록 검토해야 하며, 재정 상태가 ‘어려움(In difficulty)’으로 분류된 기업의 지원 규정을 재검토하는 등 보완책을 마련해야 한다.

1) 영국

■ UK Research and Development Roadmap(2020.7)¹⁸⁾

영국 융합기술 관련 투자와 정책의 방향을 살펴보기 위해 혁신을 지원하는 UK R&D 로드맵을 소개한다. 영국은 R&D 투자를 2027년까지 GDP의 2.4% 수준으로 확대하고, R&D를 위한 공공자금을 2024~2025년까지 연간 220억 파운드로 늘려 영국 전역의 연구와 혁신을 강화하려고 한다. 이에 대해 영국 R&D 로드맵을 통해 연구인력, 혁신 생산성, 연구개발 생태계 등 핵심 주제별로 전략을 제시했다. 현재의 연구개발 투자와 자금 지원은 일부 지역에 편중되어 있으며, 코로나-19 팬데믹으로 인해 이러한 자금조달의 취약성이 가시화되었다. 특히, 런던, 남동부 및 잉글랜드 동부는 북유럽의 경쟁 도시보다 많이 뒤처져 있으며, 일부 도시는 실적이 저조하여 생산성 부족으로 이어지고 있다.

영국은 이를 해결하기 위한 연구개발 로드맵을 추진하고자 별도의 자금조달 기관의 설립을 계획하고 있다. 이를 통해 가장 효과적인 형태의 자금을 조달하여 우수한 연구 조직과 결과물을 장려하고, 혁신적인 응용연구를 효과적으로 지원하며, 개발 가능성이 큰 분야를 조기에 식별하고 집중적으로 투자하려고 한다. 또한, 영국 R&D의 국제협력을 활성화하고, 학제 간 연구 장벽을 허물어 다양한 관점과 기술의 이점을 실현하고자 한다. 현재 영국은 미국 DARPA를 모델로 한 고급 연구를 위한 독립적 자금조달 기구를 설립하기 위해 최소 8억 파운드를 투자하는 것을 목표로 하고 있다. 2024~2025년까지 중장기 연구개발에 중점적으로 공공투자를 확대하고 고령화 문제, 탄소배출 문제, 공공 서비스 등 다양한 사회문제를 해결할 수 있는 개선된 서비스를 제공할 수 있을 것으로 예상된다.

이와 더불어 영국은 전반적인 연구개발 환경과 프로세스를 개선하여 유망한 인재를 확보하려고 한다. 영국은 국제적으로 인정받는 고등 교육 시스템을 갖추고 있으나, 연구

18) 영국 비즈니스에너지산업전략부, UK Research and Development Roadmap.

개발직은 급여가 낮고 단기적인 자금에 대한 의존도가 높아서 크게 매력적이지 않다. 이에 따라 영국은 국제 연구원과 인력들이 영국에서의 근무를 선호할 수 있도록 시스템을 구현하고, 다양한 배경과 문화를 가진 연구인력을 양성하는 교육 훈련 모델을 개발하며, 선도적인 연구를 수행할 수 있는 환경을 조성하는 것을 목표로 하고 있다. 이를 위해 신생 연구자의 커리어를 전폭적으로 지원하고, 모든 수준에서 국내외적으로 다양한 인재 풀을 유치하고 관리할 계획이다. 또한, 기업의 연구개발 인력의 유치와 육성을 지원하고 산업계·학계는 물론 다른 국가 간 연구 및 혁신 인력의 이동을 지원한다. 또한, 기술 전문가의 인정과 보상을 높여 기술 격차 문제를 해결할 것으로 보인다. 이에 더해 투명성을 확보하고 비효율적인 관행을 줄이는 등 연구문화를 개선하고자 한다.

한편, 영국은 연구개발 활동 수준이 낮기에 세계적인 수준의 연구기반을 활용해야 하며, 정부의 지원을 통해 영국 기업의 생산성과 혁신을 확보해야 한다. 이를 위해 신약·의료서비스·군용기술 등 응용 분야의 R&D 지원, 정부 기관을 통한 민간 연구개발 지원, Catapult and Accelerator Network 프로그램 등 혁신 인프라 구축을 지원하고 다양한 데이터 접근과 투자 방식을 개발할 계획이다. 또한, 민간기업의 연구개발 투자는 점차 증가해 2018년 250억 파운드로 전체 연구개발 예산의 2/3를 차지하는데, 세금 체계를 개편하여 예산을 확보하는 방안을 마련할 예정이다. 이와 더불어, BPC(British Patient Capital) 프로그램을 통해 25억 파운드 규모의 인큐베이팅 투자 및 75억 파운드의 신규 투자를 유치할 계획이다. 또한, 영국기업은행(British Business Bank)의 미래은행(Future Bank)을 통해 코로나-19로 피해가 큰 혁신 중소기업에 7억 5천만 파운드의 보조금 및 저리 융자 제공하고 '엔터프라이즈 캐피탈 펀드(Enterprise Capital Fund) 프로그램'을 통해 차세대 투자관리자에 최소 15억 파운드를 지원할 예정이다. 이렇게 확보된 투자로 인공지능(AI), 양자기술(QIS), 로봇공학 등 혁신기술 장기 연구개발 프로그램을 운영하고, 국립 보건연구원(NIHR)의 혁신을 위한 발명 프로그램 기금을 통해 초기 단계의 혁신 의료기술을 지원할 것이다.

앞서 언급한 투자 확대와 함께 영국은 불필요한 관료주의를 최소화하고 주요 기관의 제도적 역할을 강화하며 지역 간 R&D 불균형을 줄이며 장기적인 경제성장을 추구하는 등 건강한 연구개발 생태계 구축을 위해 노력할 것으로 기대된다. 구체적으로 R&D 평가 방식의 청렴도와 생산성을 높일 수 있는 현대적인 평가 기법을 개발하고 도입하며, 소프트웨어와 데이터 등 R&D 성과물을 공공에 개방할 계획이다. 또한, 정부 전략이 연구개발 자금기관과 유기적으로 공유되고 UKRI 산하 9개의 연구회가 다학제적 연구를 추구할 수 있도록 지원하는 등 정부 주요 기관의 R&D 제도적 역할을 강화할 것이다.

한편, 코로나-19 팬데믹으로 전 세계적 과제해결의 중요성과 글로벌 연구 및 혁신 네트워크에 주목하게 되었다. 이에 영국은 ODA 연구개발 전반에 걸쳐 협력하여 파트너 국가와 파트너십을 통해 지속가능한 문제해결을 위한 연구 전문 지식을 공유하고, 새로운 파트너십을 확장하고 직원들을 업무 발전에 필요한 전문 지식·시장·인프라 및 생태계에 연결할 계획이다. 영국은 현재 50개국 이상의 국가들과 협정을 맺고 있으며 호라이즌 유럽에도 공식적으로 합류하고 있다. 또한, 2021년부터 ‘뉴 디스커버리 펀드(New Discovery Fund)’를 시작하여 연구원들에게 장기간 보조금을 제공할 계획이다. 이와 더불어 영국은 COP26 회장단을 통해 연구·혁신 분야의 리더십을 발휘하고 있으며, ‘유레카(European Research Coordination Agency: EUREKA)’와 같은 다자간 전략적 혁신 네트워크에 대한 추가 투자를 검토하여 소규모 혁신기업이 전 세계 파트너 및 공급망에 접근할 기회를 제공하려고 한다.

한편, 영국의 현재 연구개발 투자 체계는 자금조달과 사업승인 과정에서 많은 시간이 소요되고 연구수행이 확실하게 보장되는 것이 아니기에 탄력적이고 효율적인 R&D 시스템이 필요하다. 이에 불필요한 관료주의를 근절하고 공공자금을 효과적으로 관리하기 위해 정부는 공공 투자를 220억 파운드로 확대하여 2024~2025년 동안 매년 재정 지출평가(Spending Review)를 통해 기관이 자금 문제에 대해 지속적으로 협력하게 하고, 효율적인 인센티브를 제공하도록 한다. 또한, 전략과 정책의 이행을 보장하고, 네트워킹을 강화하고 모범 사례를 공유하여 비용 효율성을 장려하기 위해 자금을 지원하고, 교육의 방향 설정에 대한 정부 기관 간 검토를 추진해야 한다. 이런 기관의 예로는 2018년에 출범한 UKRI,¹⁹⁾ PSRE 및 기타 공공자금지원기관²⁰⁾이 있다. 또한 연구인력을 양성하고 유치하는 데 중요한 역할을 하고 국제 파트너십 형성에 기여할 수 있는 학계와도 협력해야 한다. 대학과의 관계를 개선하여 지속가능한 개발과 혁신, 지역 성장에 다양한 지원을 받을 수 있고, 최고 수준의 연구와 신흥 연구분야의 기초연구를 확대하고, 연구자금을 효율적으로 사용할 수 있도록 해야 한다.

19) 영국에서 가장 큰 R&D 공공기금 및 정부에 자문을 제공하는 법적 역할을 하는 기관으로서 전략적 우선 기금과 산업 전략 도전 기금을 통한 새로운 투자를 통해 학제 간 연구 및 혁신을 제공.

20) 공공 부문 연구 기관(PSRE) 및 기타 공공 자금 지원 기관(UKRI 지원 기관 및 행정부에서 위임된 기관 포함)은 정책 결정, 법정 및 규제 기능을 알리고 주요 연구 분야에서 국가 전략 자원을 제공하는 등 정부 목표 지원을 수행.

2) 독일

■ 하이테크 전략 2025 강화방안(2020.11)²¹⁾

독일은 사회 문제를 해결하기 위해 여러 기술과 분야의 협력과 혁신을 지원한다. 이와 관련해 독일 연방교육연구부(BMBF)는 하이테크전략(HTS) 2025의 자문기구인 첨단기술 포럼에서 전략 강화방안을 2020년 11월에 공개했다. 우선 연방정부는 연구와 혁신을 통해 미래를 성공적으로 발전하는 정책을 입안하는 데 지역단위로 시민과 기업의 참여 경로를 확대할 것이다. 이에 7개 권역별(프랑크푸르트/마인, 베를린, 칼스루에, 로시츠, 오스마브뤼크, 브레머하펜, 쾰른)로 독일 혁신시스템 발전 방안에 관해 대화의 장을 마련했다. 지역 혁신 의견을 수렴하고, 새로운 아이디어와 프로토타입 제작에 참여했으며, 지역단위의 소통을 통해 ‘하이테크전략’의 추가 개발을 위한 3개의 대주제와 13개의 정책권고안을 도출했다.

첫 번째 대주제인 <사회적 과제>는 ① 혁신목표로써 지속가능성의 가치 강화, ② 혁신 정책 참여를 지역구조 정책개발의 핵심 요소로 인식, ③ 데이터 기반 모델링 기술 지원, ④ 유럽 단위의 사회문제 해결을 위한 전략개발 등의 정책 권고사항으로 구성되어 있다. 신기술과 혁신은 그 자체가 목적은 아니지만, 사회적 필요를 충족하고 지속가능성 목표를 달성하는 데 기여할 수 있다. 예를 들면, 배터리 셀 연구 및 생산은 원자재 회수를 위한 재활용 공정을 개발하는 것과 밀접하게 관련 있을 수 있다. 독일과 유럽의 제조업체는 기존 기술로 원자재 회수를 하여 배터리 셀 생산과정에서 지속가능한 순환 경제를 유도할 수 있는 것이다. 또한, 지역 주민 참여형 워크숍을 통해 지역민들의 수요에 적합한 아이디어와 기술을 개발할 수 있다. 박물관, 도서관, 대학 공간 등 향후 온라인으로의 확장이 가능한 토론의 장으로 농촌주민들의 참여를 증가시킬 수 있다. 또한, 복잡한 상호관계를 더 잘 이해하기 위해서는 데이터 기반 모형화(예: 인간장기, 농업, 교통 문제 등)를 더 집중적으로 사용해야 하는데, 모델링은 더욱 발전된 센서의 도움을 받아 포괄적이고 지속적으로 업데이트되는 데이터베이스에 구축하면 더욱 효과적일 것이다. 이런 하이테크 전략은 국가 수소전략 또는 유럽위원회의 그린 뉴딜과 같은 연방정부와 유럽의 다른 전략들을 더욱 확고하게 하기 위한 것이다.

21) Bundesministerium für Bildung und Forschung. (2020.10.28.). Kernbotschaften aus dem Beteiligungsprozess zur Weiterentwicklung der Hightech-Strategie 2025.

표 2-23 하이테크 전략 2025 강화방안을 위한 정책권고안

대주제	정책 권고사항
사회적 과제	<ul style="list-style-type: none"> • 혁신목표로써 지속가능성 가치 강화 • 혁신정책 참여를 지역구조 정책개발의 핵심 요소로 인식 • 데이터 기반 모델링 기술 지원 • 유럽 단위 사회문제 해결을 위한 전략개발
미래기술	<ul style="list-style-type: none"> • 유연한 학문연구 경력개발 분위기 조성을 통한 혁신 유도 • 다양한 전문기술을 겸비한 숙련된 전문인력 양성 • 과학기술인의 커뮤니케이션 역량 강화
혁신 및 위험 감수 문화 확대	<ul style="list-style-type: none"> • 참여 문화 확대를 통한 혁신 및 위험감수 문화 배양 • 혁신을 위한 공동의 비전 개발 • 사회 변혁 관련 통합된 의사소통 창구 개발 • 지속가능하고 책임 있는 혁신을 위한 공동 실험공간 마련 • 디지털 지식기반 구축을 위한 개방형 데이터 문화 조성 • 혁신을 제약하는 각종 규제 및 조건 폐지

두 번째 대주제인 <미래기술>은 ① 유연한 학문연구 경력개발 체계 조성을 통한 혁신 유도, ② 다양한 전문기술을 겸비한 숙련된 전문인력 양성, ③ 과학기술인의 커뮤니케이션 역량 강화 등으로 구성되어 있다. 혁신은 결국 사람에 의해 창출되고, 혁신적인 아이디어는 다학제적인 접근방식을 통해서 개발된다. 이에 따라 지역과 시민, 과학자, 기업, 학교 등 다양한 이해관계자들의 네트워크를 형성할 수 있는 인터페이스를 구축하고 개방형 과학 및 혁신을 촉진해야 한다. 동시에 혁신은 다양한 전문 분야의 융합에서 발생하기 때문에 다방면의 기술을 습득할 수 있는 기본 능력을 배양하는 교육 개념이 필요하다. 이를 위해 기본적인 디지털 및 데이터 기술(미디어 기술 포함)을 기본 역량으로 강조하는 전략이 필요하다. 마찬가지로 더 많은 분야의 연구자들이 사회적 변혁을 위한 대화 과정에 참여하도록 권한을 부여하고 독려해야 한다.

세 번째 대주제인 <혁신 및 위험 감수 문화 확대>는 ① 참여 문화 확대를 통한 혁신 및 위험 감수 문화 배양, ② 혁신을 위한 공동의 비전 개발, ③ 사회 변혁을 위한 통합된 의사소통 창구 개발, ④ 지속가능하고 책임 있는 혁신을 위한 공동 실험공간 마련, ⑤ 디지털 지식기반 구축을 위한 개방형 데이터 문화 조성, ⑥ 혁신을 제약하는 각종 규제 및 조건 폐지 등의 정책 권고사항으로 구성되어 있다. 연구와 혁신은 시민의 공통된 비전을 통해 더 빠르고 강력하게 달성된다. 혁신은 시민의 높은 수용성과 신뢰성을 바탕으로 추진되기 때문에 연구주체에 따라 어떤 집단의 사람들이 고려되어야 하는지, 의사결정 과정에서 시민단체의 참여가 어떻게 보장되는지 명확히 해야 한다. 또한, 젊은 세대는 미래의 이해관계자로서 더욱 구속력 있는 발언을 보장해야 한다. 이는 리빙랩(Living Lab), 네트워크

및 교류 포럼 등을 통해 촉진될 수 있다. 또한, 긴급한 사회문제 해결을 위해 과학, 비즈니스 및 시민 사회의 협력을 높은 수준으로 향상하고, 지역 기관과 공간적 인프라를 활용해 유기적인 협력을 도모할 필요가 있다. 아울러 혁신을 위한 디지털화 및 인공지능 기술의 활용은 다수의 사용자가 데이터를 함께 공유할 때 그 효과가 극대화되는데, 이를 위해서는 적합한 소유권과 인센티브 등에 대한 표준이 필요하다. 마지막으로, 대학이나 연구소 관계자들에 해당되는 연구 용역 기한에 관한 법(WissZeitVG)에서 정한 최대 연구 기간(6년)을 조정하여 경력개발을 지원하고 출간 논문 수에 집중되어 있는 과학기술 및 단체의 평가 지표를 개선하는 등의 노력이 필요하다.

독일은 하이테크 전략 2025의 첫 번째 대주제 <사회적 과제>의 정책적 권고사항 중 하나인 '혁신목표로써 지속가능성의 가치 강화'와 관련하여 화석연료의 단계적 폐지, 에너지 시스템 전환, 농·생태적 구조 개편, 기후 변화 대응과 같은 과제에 직면해 있지만, 정부는 이에 대한 해결책이 부족하다고 판단했다. 이에 따라 <제3차 지속가능개발 연구 전략(FONA)>을 발표하여 생태적, 경제적, 사회적 이익을 동등하게 보며 지속가능한 개발, 기후변화 억제 등에 가장 높은 비중을 두고 있다. 또한, 미래에 코로나-19 팬데믹과 유사한 위기에 직면하더라도 유연한 대처를 할 수 있게 사회를 더욱 탄력적으로 조성해야 하며, 이는 지속가능한 방식으로 수행되어야 한다고 했다. 이를 위해 2005~2018년까지 1만 개 이상의 프로젝트에 자금을 지원했으며, 지난 5년간 총 20억 유로의 예산이 배정되었다.

이러한 FONA의 목표는 지속가능한 계획을 달성하기 위한 혁신적인 솔루션을 제공할 수 있는 파트너를 모집하는 것이다. 독일 연방교육연구부(BMBF)가 조정한 하이테크 전략 2025는 연방정부의 연구 및 혁신정책의 전략적 프레임워크를 형성하는데, FONA 전략은 6개의 HTS 2025 목표인 △녹색 수소, △순환 경제, △바이오 경제, △기후 보호, △에너지 시스템, △자원 효율성 등에 중대한 기여를 할 것으로 보인다. 또한, 유럽 경제의 녹색 변혁을 위한 유럽 그린딜(European Green Deal)을 지원하기 위해 전략적 지침 10가지 원칙을 공식화했다. 이는 아래 표에 나타나 있다.

표 2-24 European Green Deal을 지원하기 위한 10대 전략적 지침

원칙	내용
① 투명하고 검증 가능한 FONA	2030 의제에 실질적으로 기여할 수 있는 연구 활동을 배치할 중요한 전략적 목표를 정의
② 자금 지원	정치적·사회적 영향을 미치는 연구에 자금을 지원하며 단순히 과학·기술 지식이 아닌 개념, 기술, 프로세스 및 비즈니스 모델 및 법률에 구현되고 적용되는 것이 중요
③ 친환경 기초 형성	녹색성장을 위한 기술, 기술 및 서비스의 혁신 동력. 코로나-19 이후 독일 경제의 현대화 촉진 계획
④ 비즈니스 위치 활성화	'Made in Germany'가 가능한 미래 기술을 통해 새로운 기회를 창출하는 동시에 경제적, 사회적 탄력성 확보
⑤ 유럽 회원국의 협력	FONA를 유럽 공용어라고 생각하고 있으며 유럽 내 파트너 간 협력을 강화
⑥ 국제적 목표	2030 어젠다는 산업화된 국가, 신흥 국가 및 개발 도상국이 지속 가능한 미래에 대한 책임을 공유하는 새로운 국제 파트너십으로써 전 세계의 협력하에 지구환경을 보호함
⑦ 체계적 솔루션	생태적, 경제적, 사회적 문제를 동등하게 고려한 체계적 솔루션 필요
⑧ 학제 간 연결	비 대학 및 대학 연구를 통합하여 전문지식과 노하우를 묶을 수 있는 전략적 도구를 제공
⑨ 이해관계자 협력	FONA는 연구 결과가 실제로 적용되고 연구가 이해관계자의 전문지식으로부터 이익을 얻도록 보장
⑩ 지역사회	지역사회에 혁신적인 솔루션이 시민과 긴밀히 접촉하여 테스트되는 실험 공간을 만들고 미래 솔루션에 대한 시민들의 적극적 참여 장려

독일은 FONA 전략을 구현하기 위한 핵심 수단을 형성하면서 현재 연구와 혁신 요구에 맞춰진 구체적인 이정표로써 3대 전략목표, 8대 행동분야, 25개 실천계획을 수립했다. 이는 각 전략목표에 대한 FONA 연구성과를 투명하고 명확하게 만들 수 있는 개방형 프레임워크를 실천하기 위함이다. 독일은 연구가 지속가능한 미래를 만들어가는데 결정적인 기여를 할 수 있도록 기후 목표 달성, 서식지 및 천연자원 조사·보호·활용, 사회경제 발전 등 3가지 전략목표를 수립했다. 이와 관련한 내용은 아래 표에 나타나 있다.

표 2-25 어젠다 2030 실현을 위한 FONA의 3대 전략목표, 8대 행동분야, 25개 실천계획

실행영역	실천계획
목표 1. 기후 목표 달성	
온실가스 저감	<ul style="list-style-type: none"> 제조 공정 배출 저감, 원자재로서 이산화탄소 활용 녹색 수소 확립 대기 내 이산화탄소 제거를 위한 친환경 방법론 검토
적응 및 개선	<ul style="list-style-type: none"> 기후변화로 인한 극단적 현상 연구 기후변화가 건강에 미치는 영향 이해 및 대응 도시 및 지역의 회복력 확보

실행영역	실천계획
실질적인 기후정책을 위한 지식	<ul style="list-style-type: none"> • 글로벌 기후 모델 개선 • 기후보호를 위한 배출가스 모니터링 • 해양 및 극지 기후 변화 이해

목표 2. 생활 공간 및 천연 자원 연구 보호, 활용	
생물 다양성 및 생활공간	<ul style="list-style-type: none"> • 독일 내 생물 다양성 모니터링 확대개발 • 생물 다양성 변화의 체계적인 이해 • 생활 공간 및 생태계 보전
천연자원 보전 (물, 토양)	<ul style="list-style-type: none"> • 글로벌 수자원 위기 완화 • 하천 및 해양 오염 방지 • 건강하고 지속가능한 토양 활용 • 토지 및 식량 조달 체계 추가 개발
순환경제 효율적 원자재 활용 및 쓰레기 배출 저감	<ul style="list-style-type: none"> • 원자재 전반 생산성 향상 • 바이오 기반 원자재 활용 및 쓰레기 배출 감소 • 플라스틱 재활용 확대 • 비금속 재활용: 폐기물 재활용 및 자원 재사용(회수)

목표 3. 사회·경제 발전 촉진 - 우수한 삶의 질 실현	
사회내 협력	<ul style="list-style-type: none"> • 동일한 가치가 있는 삶의 질: 복지, 참여, 민주적 가치 강화 • 경제와 금융 시스템의 지속 가능한 조정
지역의 혁신적 디자인	<ul style="list-style-type: none"> • 석탄 생산 지역의 연구 혁신 역량 강화를 통한 구조 변화 • 도시, 농촌, 지역의 미래 대응 역량 배양 • 도시, 농촌의 지속가능한 모빌리티

3. 일본

■ 제6기 과학기술혁신기본계획(안) 기본방향 공개(2020.11)²²⁾

일본은 25년 만에 과학기술기본법을 개정하여 과학·기술 혁신정책이 인문·사회과학과 융합한 ‘종합 지식’으로 사회적 가치관을 형성하고 사회를 변혁하는 종합적인 정책으로 변화했다. 다시 말해, 과학·기술 혁신은 과학·기술의 혁신과 더불어 새로운 가치창조와 사회 시스템 자체의 변혁을 포함하는 개념으로 발전한 것이다. 이러한 일환으로써 일본이 추진하고 있는 프로젝트로는 <Society 5.0>, <’50년 탄소중립 달성>, <위협에 대한 안보 실현>, <노동 및 고용환경 재정비>, <세계 통용 범용모델 구현> 등이 있다. <Society 5.0>은 사이버공간과 물리적 공간을 포괄적으로 통합하는 시스템으로써 경제적 발전과 사회적

22) <https://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/seidokadai/4kai/siryoy5.pdf>.

문제 해결의 균형을 잡는 인간중심의 사회로 개편하는 방안을 뜻한다. <50년 탄소중립 달성>은 2050년까지 온실가스를 배출하지 않고 지속가능개발 목표(SDGs)를 달성하는 데 기여하고, 저출산·고령화 사회 속 안정을 확보하는 등의 비전을 담고 있다. <위협에 대한 안보 실현>은 대규모 자연재해, 인프라 노후화, 세계적 유행병, 사이버공간 등 새로운 영역에 대한 공격이나 공급망 교란 등의 위협에 대응하는 안보를 확보하는 것을 의미한다. <노동 및 고용환경 재정비>는 모든 사람이 자신의 역할을 완수하고 아이들이 꿈을 가질 수 있는 교육과 다양한 업무수행 방식을 가능하게 하는 근로환경 및 고용환경을 실현하는 것이다. 마지막으로, <세계 통용 범용모델 구현>은 자연과의 공생, 나눔 정신 등 일본의 전통적 가치관을 바탕으로 인문·사회적 지식을 포함한 ‘종합 지식’을 통해 최첨단 과학·기술로 사회를 변혁하고 세계에 통용되는 범용모델을 구현하는 것이다.

이를 위한 아래 세 가지 실행 계획으로 일본은 향후 5년간 새로운 가치관을 사회에 반영하고, 변혁을 실현하는 국가로서 코로나-19 팬데믹 이후의 세계를 선도하고자 한다. 첫째, 혁신 역량 강화를 통해 사회 변혁을 단행한다. 이는 정부의 디지털화를 위한 ‘인프라의 재구성’과 마이넘버(일본 주민등록번호)를 중심으로 한 전자정부, 데이터 전략, 민관 데이터 연계, Beyond 5G·슈퍼컴퓨터·우주시스템 등 ‘차세대 인프라 정비’로 구성되어 있다. 또한, 차세대 태양전지, 이산화탄소 리사이클 등 탄소 중립을 위한 연구개발을 가속화하고, 사회문제 해결을²³⁾ 위한 연구개발 추진과 사회구현 능력을 강화하고자 한다. 마지막으로, 대학·국립연구소·기업·지자체 등이 연계하여 새로운 분야에 도전하는 대학 스타트업이나 사내 소규모기업 등이 지속적으로 창출되는 혁신 생태계²⁴⁾를 구축하고자 한다.

둘째, 미개척 영역을 탐구하여 차기 혁신의 원천이 되는 연구를 강화한다. 이는 고품질 데이터 취득과 전략적인 연구 데이터 관리활용을 바탕으로 연구시스템을 디지털화(데이터 공유 촉진, 차세대 정보 인프라 정비, 연구시설 및 설비 원격화, 스마트랩, AI 등)하고 연구자의 다양하고 유의미한 연구성과 창출을 위한 연구환경을 재구축하는 것이다. 이러한 연구환경은 경쟁적 연구비를 재검토하고, 신진연구자 일자리 확보, 박사 과정 학생 처우 개선, 여성 연구자 활약 촉진, 국제 공동연구 추진 등을 통해 조성된다. 또한, 대학의 역할과 역량을 강화하여 세계적인 수준의 연구대학으로 만들고, 지역 활성화 허브와 같은 혁신의 거점으로 구축한다.

셋째, 미래를 내다보는 교육·인재 육성시스템과 자금순환 환경을 정비한다. 이는

23) 시민과의 커뮤니케이션을 통한 사회수용성 향상, SIP 및 문샷형 연구개발, 우주·해양, 식품·농림수산업 등의 분야나 AI·바이오·양자·소재 등 기반 기술 분야 연구개발, 국제적 지식재산·표준 전략적 활용으로 포스트 코로나 시대 새로운 국제질서 구축에 기여.

24) 혁신적 환경 이노베이션 전략, 문샷형 연구개발 추진, 친환경 식품시스템 전략 수립 등.

STEM 교육용 콘텐츠를 강화하고, SSH(Super Science High School)·GIGA 스쿨을 구상하며 재교육 추진 등 조기 교육 육성시스템을 개편할 것을 권고한다. 또한, 디지털화 및 탄소 중립과 같은 주요 과제에 대응하고 <Society 5.0>을 실현하기 위한 R&D 투자를 확대(정부 과학·기술 예산 투자 목표 설정, 민간투자 활성화, 대학 펀드 창설 등)한다는 내용 등으로 구성되어 있다.

● 2020 이후 과학기술 혁신 정책: 과학기술 분야 대형 프로그램 현황 발표(2020.3)²⁵⁾

일본은 2000년대 이후 과학적 명성을 잃어가고 있으며, 이에 대해서 효과적으로 대응하지 못하고 있다. 본 자료는 주요국 혁신정책 동향, 일본의 과학·기술 기본계획의 주요 특성 및 과학기술 혁신정책 과제를 제시하고 있다. 내용 중 강조점은 <종합과학 기술혁신 회의(Council of Science, Technology, Innovation, CSTI)>가 주도하는 과학·기술 분야 대형 프로그램의 운영방식에 문제가 있고, 타 성공사례에 비교했을 때 일부 프로그램은 이관이 필요하다는 것이다. 과학·기술 혁신정책의 과제는 “임무지향적 과학기술 프로그램”, “대학의 연구력 저하 논란-논점과 정책”, “미국 및 일본의 바이-돌(Bayh-Dole) 제도와 산학연계”, “연구개발형 중소기업·스타트업 기업의 육성과 성장을 위한 과제”로 제시되었다. 본 연감에는 연구주제와 관련된 “임무지향적 과학기술 프로그램”만 발췌했다.

임무지향적 과학·기술 프로그램은 <제3기 과학·기술 기본계획> 이후 국가 어젠다 대응 및 목표 달성을 위한 과학·기술 분야의 대형프로그램을 잇달아 시행했다. 각 프로그램은 다양한 목적, 대상, 이해관계자 등으로 구성되어 있지만, 프로그램 체계 및 운영 방식은 공통점이 많다. 기존에는 고위험·고수익 연구개발(DARPA형 연구)을 지향하는 프로그램을 시행하는 경우, 내각부와 종합 과학 기술혁신 회의(CSTI)가 담당 기관으로서 프로그램 운영에 직접 참여했지만, 앞으로는 각국의 성공사례를 벤치마킹하여 소규모라도 독립성이 높은 고위험·고수익 연구개발과 혁신문화가 실현 가능하다면 조직의 이관도 검토할 것으로 보인다.

세부적으로 살펴보면, 일본의 <제1·2기 과학기술 기본계획>에서는 상향식 성향이 강했지만, <제3·4·5기>에서는 하향식 성격이 강해졌다. 하향식 운영방식은 과학기술 혁신정책이 사회적 과제에 대한 대응(대응형 과제)이나 제시한 목표를 달성하는 형태(목표 달성형 정책)를 지닌다는 특징이 있다. 그리고 일반적으로 과학·기술 혁신정책은 특정 목표를 달성하기 위해 과학·기술을 적극적으로 활용하는 “임무지향적 정책(Mission-Oriented Policy)”,

25) 国立国会図書館 調査及び立法考査局. (2020.3). ポスト2020の科学技術イノベーション政策: 글로벌 과학기술정책정보 서비스. (2020.4). 일본, 과학기술분야 대형프로그램 현황발표, 주요동향.

“임무지향적 프로그램(Mission-Oriented Program)”, “임무지향적 혁신정책(Mission-Oriented Innovation Policy)” 등으로 분류된다.

기존의 임무지향적 프로그램은 우주개발, 원자력, 국방 연구 등 특정 전문가가 주도적으로 목표를 설정하고 프로그램을 운영한다는 점과 서로 다른 정책 분야와의 접점이 거의 없다는 것이 특징이다. 하지만 최근의 임무지향적 정책에서는 환경문제나 에너지 문제, 혹은 고령화 문제처럼 문제 설정이나 정의가 명확하지 않은 경우가 많다. 또한, 다수의 관계자가 관련된 과제, 과학·기술만으로는 해결할 수 없는 과제, 그리고 사회과학적 관점에서의 이해나 다른 정책 분야와의 제휴 및 조정이 필요하다는 특징을 가지고 있다. 현재의 과학·기술 혁신정책이 임무지향적 정책의 성격을 갖게 된 것은 일본뿐만이 아니다. 예를 들면, 유럽의 「호라이즌 2020」에서는, 건강, 식량 안전 보장, 에너지, 교통, 기후·환경, 포용 사회, 안전한 사회라고 하는 7개의 사회적 과제에 대한 대응이 증시되고 있다. 일본의 최근 임무형 혁신정책의 예는 아래 표에 나타나 있다.

표 2-26 일본 과학기술분야 대형 프로그램

구분	목적
FIRST(최첨단 연구개발지원 프로그램)	노벨수상자 배출 및 세계 최고의 첨단연구 지원
ImPACT(혁신 연구개발 추진프로그램)	실패할 가능성은 높으나 사회적 파급효과가 큰 연구지원
SIP(전략혁신창조프로그램)	기초연구에서 사업화까지 범부처, 대학, 기업간 협력하여 연구개발추진
문샷(도전적 연구개발 프로그램)	야심찬 목표 달성을 위한 연구지원

ImPACT 이후 과학·기술 분야 대형프로그램의 공통점인 PM 방식은 DARPA(미국 방위고등연구계획국)의 구조를 적용한 프로그램 운영 방법이다. 이외에도 미국의 성공사례를 벤치마킹한 제도 혹은 정책은 많지만, 이를 둘러싼 환경이 달라서 목표한 성과를 달성하려면 일본이 처해있는 환경, 문화 등에 유의해야 한다. 이에 정치 체제와 경제 환경, 문화, 관행 등이 다른 국가·지역의 임무지향적 혁신정책의 조직설계를 유형화한 Dan Breznitz 등의 논문을 근거로 조직설계를 검토했다. 해당 논문에서는 아래 표와 같이 혁신의 종류와 각 연구기관이 지원대상으로 하는 고객(산업/기관)의 범위를 조합하여 연구기관의 역할을 4가지 유형으로 구분하고 있다.

표 2-27 혁신종류와 고객에 의한 연구기관의 역할 구분

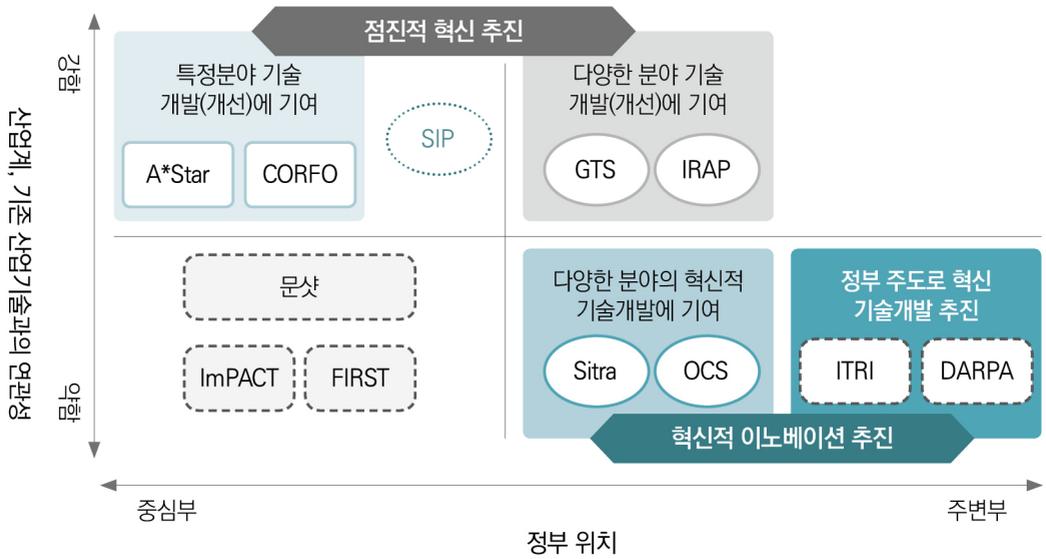
구분		고객(산업 또는 기관)	
		특정*	불특정
혁신의 종류	점진적	특정 분야의 기술개발(개선)에 기여	다양한 분야의 기술개발(개선)에 기여
	혁신적	행정부에 의한 혁신적인 기술개발 추진	다양한 분야의 혁신적 기술개발에 공헌

* 특정이라 함은 특정산업 분야 또는 부처를 대상으로 하는 것을 의미함

아래 그림에는 Dan Brenznitz 등이 제시한 임무지향 혁신정책 운영기관의 성공사례로서 A*Star(싱가포르), CORFO(칠레), GTS(덴마크), IRAP(캐나다), ITRI(대만), DARPA(미국), Sitra(핀란드), OCS(이스라엘) 등 총 8개 연구기관이 유형별로 나타나 있다. 또한, “행정부에서의 각 연구기관의 위치”, “산업계 혹은 기존의 산업·기술과의 관계”, “각 연구기관의 연구 방향 결정요인” 등의 세 가지 관점에서 8개 기관을 정리했다. 분석 결과, 운영 실무 및 프로그램 운영의 중심을 <종합과학·기술혁신 회의>에서 타 기관으로 이관할 필요성이 있다고 판단됐다. SIP의 경우, 대기업과 제휴하면서 연구성과의 실용화에 주력하고 있어 아래의 그림처럼 A*Star나 CORFO와 같은 영역에 위치한다. 하지만 연구 방향성이 특정 분야와 동시에 여러 산업 분야에 걸쳐 있으므로 타 국가의 연구기관과는 다른 프로그램으로 평가된다. 이에 SIP는 향후 정부 중심에 있는 <종합과학·기술혁신 회의>로부터 주변부에 있는 기관으로 이관하는 방안을 검토할 필요가 있다.

한편, FIRST, ImPACT, 문샷 프로그램의 경우 모두 기존 산업과 거리가 멀다는 점에서 왼쪽 아래에 자리 잡고 있는데, 이 영역은 해외 성공사례에는 존재하지 않는다. 세 개의 프로그램 모두 시범적인 정책의 일환이며, 문샷의 후속 프로그램인 DARPA형 프로그램을 계획할 경우, 이를 종합과학·기술혁신 회의가 직접 운영할 것인지 주변부에 이관할 것인지 논의가 필요하다.

그림 2-3 임무 지향적 혁신정책 연구기관 성공사례와 일본 과학기술 대형 프로그램 분류



[참고] 종합과학기술혁신회의 주도 과학기술 분야 대형 프로그램

3기 기본계획 기간 중 2009년 이후 과학 기술 분야의 대형 프로그램으로 종합과학·기술혁신회의(2013년 12월 까지 전신인 종합과학·기술회의) 주도로 다음과 같이 5개의 프로그램이 시행되었다.

- (1) 최첨단 연구개발 지원 프로그램(FIRST), 2009~2013년도
 FIRST 프로그램은 기초연구에서 실용화를 고려한 연구·개발까지를 대상으로 총 1,100억 엔(현재 연화 기준 1조 1,700억 엔)과 노벨상 수상자 또는 수상이 기대되는 연구원 30명을 투입하여 3~5년 이내 세계 최고의 수준이 되는 것을 목표로 첨단연구를 지원하는 프로그램이다. 공모한 연구과제에서 종합과학·기술회의주도로 지원하는 30개의 과제와 중심연구원이 2009년에 결정되었다.
 FIRST는 새로운 프로그램으로서 다년간 예산을 탄력적으로 운용하기 위한 예산의 기금화 및 중심연구자에 의한 연구지원 담당 기관 지정이 이루어진다.
 예산의 기금화는 다음 프로그램에도 답습되었고, 연구비 제도개혁으로 과학연구비 기금화가 진행되었다 (2011~2012).
- (2) 혁신적인 연구개발 추진 프로그램(ImPACT), 2009~2013년도
 ImPACT 프로그램은 FIRST의 후속 프로그램이며, High Risk-High Impact 도전 연구과제(실패할 가능성도 크지만 실현되면 사회에 큰 변화를 줄 가능성 있는 연구과제)를 대상으로 총 550억 엔을 16개 과제에 집중하여 지원하는 프로그램이다. DARPA의 PM 제도를 적용했다.
- (3) 전략적 혁신 창조 프로그램(SIP), 1기: 2014~2018년도, 2기: 2018~
 SIP 프로그램은 종합과학·기술혁신회의가 부처 분야의 테두리를 넘어 스스로 예산을 배분하고, 기초 연구에서 실용화·사업화까지 여러 부처와 대학, 기업이 협력하여 연구개발을 추진하는 구조이다. SIP는 각 과제(프로그램)를 프로그램 책임자(Program Director)가 종합과학·기술혁신회의의 전문가위원회로부터 평가·조언을 받으며 추진한다. 2018년부터 제2기가 시작되어 동일한 틀에서 12개의 과제가 추진되고 있다.

(4) 민간 연구개발 투자 프로그램(PRISM), 2018~

PRISM 프로그램은 높은 민간 연구개발 투자 유발 효과가 예상되는 영역에 필요한 추가 예산을 배정하고, 각 부처의 연구개발 시책을 유도함으로써 민간연구 개발 투자를 확대함과 동시에 각 부처에 SIP형 관리를 하도록 하는 것을 목적으로 한다. PRISM은 SIP와 제휴를 추진 중이나, SIP와 달리 PRISM에서는 종합과학·기술 이노베이션 회의가 설정한 각 영역에 근거하여 연도마다 각 부처가 추가 배분 대상으로 제안한 시책에 대해 운영위원회가 배분액을 결정하고, 각 부처에 예산을 교체하는 형태를 취한다.

(5) 문샷 연구개발제도, 2019~

문샷 연구개발제도(통칭 문샷)은 ImPACT의 후속 프로그램으로, 실현이 어렵지만, 실현 시 사회에 큰 변화를 가져올 수 있는 연구개발을 위해 5년간 총 1,150억 엔을 지원하는 프로그램이다. JST, NEDO, AMED(일본의료연구개발기구) 및 NARO(농업·식품산업기술종합연구기구)가 연구업무를 지원한다. 대상이 되는 과제(2050년까지 실현될 목표)는 종합과학·기술혁신회의에서 2019년 7월 미래 회의가 선정한 25개의 후보를 좁혀 결국 6개의 주제가 선정되었다.

표 2-28 문샷 연구개발 주제

1	사람의 신체, 뇌, 공간, 시간의 제약으로부터 해방된 사회를 실현
2	조기에 질병 예측·예방을 할 수 있는 사회를 실현
3	SI와 로봇의 공진화하여 스스로 학습·행동 사람과 공생하는 로봇을 실현
4	지구환경 재생을 위한 지속가능한 자원 순환을 실현
5	미이용 생물기능 등의 풀 활용으로 전 지구적으로 낭비 없는 지속적인 식량 공급 산업 창출
6	경제·산업·안전 보장을 비약적으로 발전시키는 오류 내성형 범용 양자컴퓨터 실현

4. 중국

■ 14차 5년 계획: 과학·기술 혁신 관련 내용(2020.11)²⁶⁾

중국의 융합기술 관련 정책 동향은 19기 5중전회에서 발표한 <국민경제사회발전 제14차 5개년 계획과 2035년 장기목표에 대한 건의, 이하 건의>를 살펴 보면 알 수 있다. 여기서 중국은 '35년까지 과학·기술의 자주 혁신, 산업구조 고도화, 녹색성장, 소프트파워 강화, 국민 삶의 질 제고 등 종합적인 국가역량을 키워 혁신형 선진국 대열에 합류하겠다는 목표를 제시했다. <14·5 계획>의 주요 6개 경제정책 분야로는 ① '쌍순환' 발전전략, ② 혁신주도 성장, ③ 산업구조 고도화, ④ 내수시장 활성화, ⑤ 신성장동력 창출(디지털 경제 및 녹색성장 전환), ⑥ 대외개방 등이 있다. 본 자료는 관련 내용인 혁신주도 성장, 산업구조 고도화, 신성장동력 창출 등의 내용을 발췌했다.

중국은 과학·기술 혁신에 대한 위상과 역할을 전례 없는 전략적 차원으로 격상하며

26) <https://mp.weixin.qq.com/s/hkOu45dXckUjSaeLff8p6w>.

시진핑 주석과 당 중앙위원회의 강력한 지도하에 심층적으로 실행하고자 한다. 또한 핵심 기술을 중심으로 공급망을 배치하고 신항산업의 성장동력을 육성하여 중국 내 대순환 확대와 ‘혁신, 녹색, 개방, 공유, 조정’이라는 새로운 개념을 인식하고, 변화를 적극적으로 모색하고 있다. 이에 국가 중장기 과학·기술 개발 계획과 로드맵을 통해 2035년까지 과학·기술 역량을 제고하고, 핵심 기술의 성과를 창출하여 혁신형 국가로 진입하고자 한다.

중국의 사회 R&D 지출은 1.42조 위안(약 245조 원)에서 2.21조 위안(약 379조 원)으로 증가하였다. R&D 투자 강도는 2.06%에서 2.23%로 증가하여 유럽연합의 15개 선진 회원국의 평균 수준을 초과했으며, 기술시장 계약 매출은 2019년 기준 2.2조 위안을 넘어 두 배가량 증가하였고, 세계 지식 재산권 기구(World Intellectual Property Organization, WIPO)가 발표한 글로벌 혁신지수(Global Innovation Index)에서 중국의 혁신 역량 종합 순위는 2015년 기준 29위에서 2020년 14위로 급등했다.

중국은 5위 일체와 4개 전면의 전략적 방향을 견지하고, 혁신주도형 발전전략을 실시하여 과학·기술 자립·자강 실현을 가속화하여 과학·기술 강국 건설을 목표로 한다. 여기서 5위 일체, 4개 전면은 각각 경제·정치·문화·사회·생태 문명 건설과 전면적 소강사회·개혁 심화·법치국가·정부 관리를 의미한다. 이에 따라 기술혁신 체계화 능력을 강화하고 과학·기술 강국 구축을 위한 8가지 과학·기술 작업단계가 있다. 첫 번째 단계는 기술혁신 체계화 능력을 향상하는 것이다. 이를 위해서는 국가 과학·기술 조직 모델인 ‘최상위 목표 설정, 주요 과제 추진, 기본 역량 지원’을 수립·개선하고, 핵심 분야의 프로젝트, 거점, 인재, 자금의 통합 배분을 추진하여 더욱더 체계적이고 효율적인 국가 혁신시스템을 구축하는 것이다. 또한, 공공·민간의 통합연계를 강화하고 과학·기술혁신 조정 메커니즘과 효율적인 관리 체계를 구축해야 한다. 둘째, 국가의 전략적 과학·기술 역량을 구축하는 것이다. 신속하게 국립연구소를 설립하고 핵심연구소 시스템을 재구성하여, 인재 확보와 추가 지원을 통해 국가 전략 과학·기술 역량을 구축해야 한다. 셋째, 기초연구 역량을 강화하는 것이다. 10년 실행 계획을 위한 기반 연구를 진행하며, 기초연구에 대한 투자를 확대하고, 장기적인 지원체계와 평가 체계를 구축해야 한다. 넷째, 기업 기술의 혁신역량을 강화하는 것이다. 기업의 주요 역할을 최대한 활용하고 혁신 요소를 기업에 적용해야 한다. 또한 생산·교육·연구의 심층적인 통합을 촉진하며 과학·기술 성과의 사업 이전을 가속화해야 한다. 이처럼 기업이 국가 과학·기술 과제를 수행하도록 적극적으로 지원하는 장기적인 민·관 연계 체계를 구축해야 한다. 다섯째, 과학·기술 혁신체계 개선이다. 이는 부문별 주요 과제의 연구·개발 관리를 추진하고, ‘순위 공개’ 등의 제도를 시행하고, 프로젝트 자금조달 시스템을 개혁하는 것이다. 여섯째, 인력 혁신이다. 이는 전략적으로 과학·기술 인력과 혁신단체의 육성 체계를 개선하고, 청년 과학·기술 인력을 지원하는 것이다. 또한,

경쟁력 있는 인재 양성과 유치체계를 구축하고, 인재 배치 최적화와 지식과 기술 등 혁신 요소를 통한 수익배분 체계를 창출해야 한다. 일곱째, 과학·기술 연구 생태계, 인센티브 및 규제 등 근무 체계를 구축하는 것이다. 여덟째, 개방형 협력을 강화하는 것이다. 이는 해외 과학자의 공동연구 참여를 권장하는 등 주요 혁신 국가와의 협력을 강화하여 국제 과학·기술 협력 전략을 구현하는 것이다.

혁신주도 성장은 중국경제가 중진국 함정(Middle Income Trap)을 극복하고, 미국의 대중국 기술제재에 대응하기 위한 과학·기술 자주 혁신과 국가 혁신체계 구축을 주요 내용으로 한다. 이는 <14·5 계획>의 최우선과제로 제시할 예정이다. 이를 위해 중국 정부는 △인공지능(AI), △양자정보(QIS), △반도체, △바이오기술, △뇌과학, △ 품종개량, △우주과학, △심해 및 지층연구 등의 분야에 전략적으로 중대 과학·기술 프로젝트를 선정하고, 이에 집중적으로 투자할 계획이다. 위의 8개 분야 중 우주과학 분야를 제외한 7개 분야는 중국 정부가 2015년에 선정한 「국가 중점연구·개발계획」의 25개 프로젝트에 포함되어 있어 기존의 프로젝트와 연계하여 고도화할 계획으로 보인다. 이들 프로젝트는 아래 표27)에 정리했다.

표 2-29 중점연구개발계획의 25개 프로젝트

프로젝트	개요
양자제어 및 양자정보	<ul style="list-style-type: none"> 양자제어 연구의 목표는 양자 세계의 기본 현상과 법칙을 이해하며, 새로운 물질 개발, 새로운 구조 구축, 새로운 물질 상태 발견 및 외부 분야 적용을 통해 양자 프로세스를 제어 및 개발하고, 시스템 및 인공 밴드 갭 시스템과 같은 중요한 연구 방향에서 고전적 제어의 한계를 극복하는 새로운 양자 제어 기술을 개발하는 것임 양자정보 연구의 목표는 양자통신의 핵심 기술, 재료, 장치와 프로세스에서 일련의 주요 병목 현상을 극복하고 초기에 공중 지상 통합을 통해 광역 양자 통신 네트워크를 구축할 수 있는 기술을 확보하는 것임
대규모 과학시설에 대한 개척연구	<ul style="list-style-type: none"> 대형 과학시설은 미개척 영역 탐구, 자연법칙을 발견, 기술변화를 실현하는 연구방법을 제공할 수 있으며, 과학의 경계를 뚫고 기술 진보를 달성하고, 인간 개발이 직면한 많은 문제를 해결하기 위해 중요함 대형 과학시설 프로젝트는 두 가지 유형의 대형 과학 기기의 국경 연구를 지원: <ol style="list-style-type: none"> 입자물리학, 핵분야의 특수 대형 과학 장치임. 물리학, 천문학, 물질계의 구조와 상호작용 법칙에 대한 연구개발 지원 다학제 및 첨단 물질 구조 연구를 위한 첨단연구 방법을 제공하는 플랫폼형 장치, 첨단 광원, 첨단 중성자 소스 및 강한 자기장 장치, 레이저 장치 등 첨단 실험기술 및 실험방법의 연구 및 실현을 지원함
글로벌 변화와 대응	<ul style="list-style-type: none"> 이 프로젝트에서 중점을 두는 것은 국제적 변화의 메커니즘 및 추세, 영향 및 위험분석, 대응 방안, 빅데이터 통합 분석기술 시스템 연구·개발, 독립적인 지적 재산권을 가진 국가가 글로벌 변화에 대응하고 지속가능한 개발을 달성하는 시스템 모델을 개발하는 것임
대사조절 관련 연구	<ul style="list-style-type: none"> 본 프로젝트는 발달 및 대사 질환의 메커니즘 도출, 진단 및 치료 전략을 찾고 유전학, 세포 등을 연구함

27) 科学技术部高技术研究中心「国家重点研发计划重点专项」, <http://www.htrdc.com/gjszx/23/index.shtm>.

프로젝트	개요
나노기술	<ul style="list-style-type: none"> 본 프로젝트의 목표는 혁신·응용 결과를 통해 독립적인 혁신역량과 연구결과로 국제적 영향력을 향상하여, 여러 분야에서 돌파구를 만드는 것임 세부 연구분야는 나노제조 및 가공기술, 나노표준, 나노 바이오 의약품, 나노 정보소재 및 부품, 에너지 나노 소재 및 기술, 환경 나노·소재와 기술, 나노테크놀로지 7개 영역을 전략적으로 배치·개발함
단백질 연구	<ul style="list-style-type: none"> 본 프로젝트는 통합생물물리학, 단백질체학, 세포 생물학, 화학 생물학, 기술을 사용하여 “단백질 기계 동적 조립의 분자 메커니즘 및 주요 생명과정의 기능 조절”이라는 핵심 과학문제를 해결하는 것임. 연구분야는 세포주기, 세포 에너지 및 물질 대사, 유전자 복제 및 전사, 후성유전학, 단백질 합성 등임
변혁적 기술의 중요한 과학적 문제	<ul style="list-style-type: none"> 본 프로젝트는 국가의 주요한 전략적 요구에 따라 진행되고, 공통 과학 문제를 해결하고, 혁신적 기술을 생산할 수 있는 최첨단 다학제 연구를 중심으로 배치되고 국가 혁신주도 개발 전략에 기여하는 것임 현재 미래 소재, 정보, 에너지, 생물학, 제조 등 5개 분야의 변혁적 기술에 대한 최첨단 융합연구를 일시적으로 시범 진행하고 있고, 지원 범위는 향후 점진적으로 확대될 것임 * 프로젝트 예시: 인공 비전 시스템의 기초 과학 문제 및 변형기술, AI 지원 원격 온도 측정 시스템으로 공공장소의 폐렴 예방 및 제어
지구관측 및 항법	<ul style="list-style-type: none"> 본 프로젝트는 국가경제 변화 및 고도화, 생태문명 건설, 일대일로 구현 및 도시화 개발 등 수요에 대응하고, 변화하는 국제정세와 국가안보 등에 대한 지구관측과 정보 통합·활용능력을 향상하는 것이 목표임 주요 연구내용은 양자 이미징 및 고궤도 고해상도 관측, 우주 방사선 벤치마크 및 전송 보정, 초 민첩 위성 및 항공우주 지능형 네트워크, 고정밀 완전 물리적 위치 및 지능형 내비게이션, 유비쿼터스 정밀 내비게이션 및 위치 서비스, 시공간 정보 빅데이터 분석, 글로벌 우주 정보 서비스 및 지구 시스템 핵심요소 모니터링 등의 기초이론 개발임 첨단기술 분야는 항공우주 정보 서비스 기술 시스템 핵심기술, 신 도시화 개발 실증, 재난 긴급 감시 비상 사태 대응, 공공 안전 조기 경보, One Belt One Road 공간 정보 서비스, 글로벌 공간 정보시스템 등임
고성능 컴퓨팅	<ul style="list-style-type: none"> 본 프로젝트의 주요 임무는 주요 핵심 분야·산업에서 고성능 컴퓨팅 애플리케이션 SW를 개발하고, 다양한 분야에 적합한 고성능 컴퓨팅 애플리케이션 SW의 공동 개발 및 최적화 기술을 연구하는 것임 상기 연구 결과는 슈퍼 컴퓨터 센터, 과학 연구기관 및 대학과 같은 우수한 단위 컴퓨팅 애플리케이션 소프트웨어 센터가 지속가능한 고성능 컴퓨팅 애플리케이션 생태 환경을 구축에 활용할 계획임 E급 컴퓨터(약 수천억 배) 및 응용 SW 연구·개발과 협력하고, 새로운 고성능 컴퓨팅 서비스의 지속가능한 개발 메커니즘을 탐색하고, 조직관리·운영 모델을 혁신하고, 세계적 수준의 리소스 기능과 서비스를 갖춘 국가 고성능 컴퓨팅 환경을 구축하는 것을 목표로 함
클라우드 컴퓨팅 및 빅데이터	<ul style="list-style-type: none"> 본 프로젝트의 목표는 자율적이고 제어 가능한 클라우드 컴퓨팅 및 빅데이터 기술 시스템 개발과 표준사항 및 솔루션을 형성하는 것이며, 클라우드 컴퓨팅 및 빅데이터 기업을 주체로 하는 산업생태계를 형성하고 글로벌 경쟁우위를 가진 클라우드 컴퓨팅 및 빅데이터 산업클러스터를 형성하는 것임
핵심기초 소재기술 개선 및 산업화 핵심특수 사업	<ul style="list-style-type: none"> 본 프로젝트는 핵심 기초 재료 산업의 주요 공통 문제를 해결하는 데 집중하고, 제품 균질성, 낮은 가치, 무거운 환경 부하, 낮은 에너지효율 및 자원의 병목을 제약하며, 비철 금속, 석유 화학, 경공업, 섬유, 건축 자재 등과 같은 기초 원자재의 주요 산업의 업그레이드 및 제조 공정 및 공정 최적화 등의 연구를 수행함
전략적 첨단 전자재료	<ul style="list-style-type: none"> 본 프로젝트 목표는 에너지 절약, 환경보호, 지능형 제조 및 차세대 정보기술 분야에서 전략적 첨단전자재료에 대한 해결방안을 제시하고, “Made in China 2025”와 같은 주요 국가 전략목표를 지원하는 것임 본 프로젝트의 주요 방향은 3세대 반도체 재료 및 반도체 조영, 새로운 디스플레이, 고출력 레이저 재료 및 장치, 고도화된 광전자 및 마이크로 전자재료 4가지로 설정하고, 각 방향의 과제를 기초연구로 세분화함
적층제조 및 레이저 제조	<ul style="list-style-type: none"> 본 프로젝트의 목표는 적층제조 및 레이저 제조의 기본 이론을 깨고, 독창적인 결과를 얻어 차세대 기술개발을 진행하며, 적층의 핵심 구성요소와 공정기술을 극복하는 것이며, 이에 제조 관련 공정장비, 레이저 제조의 핵심기술, 고신뢰성·장수명 레이저 핵심부품, 첨단 레이저, 고급 레이저 제조 공정 장비개발을 수행함

프로젝트	개요
주요과학기술기 및 장비개발	<ul style="list-style-type: none"> 본 프로젝트는 고급 일반 과학기기 및 전문 과학기기의 개발 및 적용에 중점 * 프로젝트 예시: 고정밀 광섬유 광대역 고전류 측정기 국산화, 실리콘 단일 광자 검출기 등
깨끗하고 효율적인 석탄 및 에너지 절약기술	<ul style="list-style-type: none"> 본 프로젝트의 목표는 석탄 소비를 억제하고 석탄 대체재를 개발하고, 에너지 절약전략을 구현하는 것임 세부 연구주제는 고효율 석탄 개발, 청정석탄 전환, 석탄 연소 오염 제어, 이산화탄소 포집 및 저장(CCUS), 산업 폐기물 에너지 재활용, 산업 공정 및 장비 에너지 절약, 데이터 센터 7개에 중점을 둠
신에너지 차량	<ul style="list-style-type: none"> 본 프로젝트 목표는 신에너지 차량 “순수 전기 구동” 기술 변환 전략의 구현을 심화하고, 신에너지 차량 전력시스템을 업그레이드하고, 신소재로 신에너지 차량을 개발하는 것임 세부 연구주제는 전력 및 배터리 관리 시스템, 모터 드라이브 및, 연료전지 전력시스템 등임
고도화된 철도 운송	<ul style="list-style-type: none"> 본 프로젝트 목표는 중국 철도 운송의 고효율, 포괄적, 통합 및 지속 가능한 개발 요구를 충족하기 위해 핵심 기술, 핵심 장비, 통합 애플리케이션 및 표준사양 등을 포함한 철도연구를 추진하는 것임 본 연구는 철도 교통 시스템 안전 보장 기술, 시스템 종합 효율 개선 기술, 시스템 지속 가능성 기술, 시스템 상호 운용 기술의 4대 전략 방향에 따라 세부과제 구성
스마트로봇	<ul style="list-style-type: none"> 본 프로젝트 목표는 새로운 메커니즘, 재료, 드라이브, 감지, 제어 및 생체 공학, 지능형 로봇 학습 및 인지, 인간-기계 자연 상호작용 및 협업 및 통합과 같은 주요 기본 첨단기술의 핵심 기술을 확보하는 것임 본 연구는 로봇의 기본 프론트어 기술, 공통기술, 핵심 기술 및 장비, 애플리케이션 시연의 4단계를 거치고, 지능형·차세대 로봇, 핵심 공통기술, 산업용·서비스·특수 로봇을 6개 방향에 따라 세부과제 구성
현대 서비스 산업의 공통 핵심기술 R&D 및 적용	<ul style="list-style-type: none"> 본 프로젝트의 목표는 현대 서비스 산업 발전 모델 혁신의 미해결 문제, 기술혁신 지원 부족, 실물경제 지원 능력 부족에 대해 차세대 정보 네트워크 지원과 이를 통한 서비스 산업의 수준을 향상하는 것임 본 연구는 현대서비스 과학이론, 핵심기술 개발, 신형 서비스 산업지원 플랫폼 연구 및 시연, 과학기술 기반의 산업지원 플랫폼 연구 및 데모, 문화산업 지원플랫폼 5개 방향에 따라 세부과제가 구성됨
광대역 통신 및 새로운 네트워크	<ul style="list-style-type: none"> 본 프로젝트 목표는 새로운 네트워크·고효율 전송기술을 개발, 네트워크 통신 핵심칩, 통합 네트워크 등 높은 수준의 획기적인 결과를 달성하는 것임 본 연구는 네트워크 기술, 고효율 전송기술, 통합·종합 네트워크 테스트의 방향에 따라 세부과제 구성
재생에너지 및 수소기술	<ul style="list-style-type: none"> 본 프로젝트의 목표는 재생에너지에 대한 독립적인 혁신능력을 강화하고, 풍력·태양광과 같은 에너지기술의 국제 리더십을 강화하고, 태양열, 지열, 바이오매스·해양에너지와 같은 에너지기술을 습득하는 것임 본 연구는 태양 에너지, 풍력 에너지, 바이오매스 에너지, 지열 에너지 및 해양 에너지, 수소 에너지, 재생 가능 에너지 커플링 및 시스템 통합 기술 6개 방향에 따라 세부과제 구성
네트워크 협업제조 및 스마트팩토리	<ul style="list-style-type: none"> 본 프로젝트의 목표는 네트워크 협업제조와 스마트팩토리 혁신 부족, 기술력 미형성, 융합생태계 발전 부족, SW 역량 미비에 대해 “인터넷+” 사고에 기초하여 제조업 혁신발전과 고도화를 실현하는 것임
원전 안전 및 첨단 핵기술	<ul style="list-style-type: none"> 본 프로젝트의 목표는 기존 원자력 프로젝트와 연계하고, 원자력 안전 과학 및 기술에 대한 선진적이고 혁신적인 기술을 개발함과 동시에, 내부 법규 및 메커니즘에 관한 연구를 수행하는 것임
광전자 및 마이크로 전자장치	<ul style="list-style-type: none"> 본 프로젝트 목표는 정보 전송, 처리 및 인식을 위한 광전자 및 마이크로 전자장치 통합 칩 개발, 장치 및 모듈 기술개발, 광전자 및 마이크로 전자장치 R&D 체계를 구축하여 혁신을 창출하는 것임 본 연구는 실리콘 기반 포토닉스 통합기술, 하이브리드 포토닉스 통합기술, 마이크로파 포토닉스 통합기술, 집적회로 및 시스템 칩, 집적회로 설계 방법론 6개 방향에 따라 방향에 따라 세부과제 구성
통합운송 및 지능형 운송	<ul style="list-style-type: none"> 본 프로젝트의 목표는 교통량 운영에 대한 능력 부족, 교통안전의 능동적 예방 및 통제 부족, 불충분한 통합 서비스 등과 같은 종합 교통 시스템 등의 문제를 해결하는 것임 본 연구는 운영 감독 및 조정, 대규모 운송 허브 조정 운영, 다중모드 통합운송 통합, 통합운송 안전 위험 예방 및 통제, 긴급 구조 등 6개 방향에 따라 방향에 따라 세부과제 구성

중국은 <14·5 계획> 기간(2021~2025) 중 미·중 갈등에 대응하여 기술개발을 통한 공급망 개선과 다원화로 공급망 안정을 확보하는 동시에 산업구조 고도화를 위해 9대 신흥산업의 전략적 육성, 제조업과 서비스업 융합, 서비스업 디지털화 등을 추진하고자 한다. 공급망 개선과 다원화는 전통산업의 구조조정, 서비스형 제조업 육성 및 기술개발 및 국제협력 확대 등을 통해 이루어질 것이다. 또한, 중국은 차세대 정보기술, 바이오기술, 신재생에너지, 신소재, 첨단설비, 신에너지 자동차, 환경보호, 항공우주, 해양 설비 등의 9대 신흥산업을 전략적으로 육성하고, ICT 및 빅데이터 등의 기술과 제조업의 융합을 추진할 계획이다. 그리고 기존 서비스업의 질적 제고와 디지털화를 추진하는 동시에 제조업, 농업에 ICT 기술을 융합한 산업을 육성할 것으로 기대된다.

중국은 산업고도화와 더불어 신형 인프라 투자와 디지털 산업 육성을 적극적으로 추진하여 코로나-19 팬데믹 이후 신속하게 전개되고 있는 중국경제의 디지털 전환을 가속화하는 동시에, 디지털 표준과 규범 제정을 통해 글로벌 디지털 경제를 선도할 계획이다. 이와 관련하여 2020년 4월, <요소시장 분배 체계 완비에 관한 의견, 이하 의견>에서 중국 정부는 처음으로 데이터를 토지, 노동, 자본, 기술과 함께 5대 생산요소로 간주하고 생산요소로서의 데이터의 중요성을 강조했다. 실제 올해 디지털 경제가 중국경제의 회복과 성장에 강력한 버팀목이 되었다. 특히 코로나-19 확산으로 인해 온라인교육과 원격근무, 비대면 배송 같은 신종 업태가 빠르게 발전하면서 디지털 경제의 거대한 발전 잠재력이 가시화되었다.²⁸⁾

마지막으로 <14.5 계획>에서 중국 정부는 중국경제의 지속가능한 발전과 신성장 동력 창출을 위해 녹색성장 전환을 강조했다. 중국이 제시한 ‘2060 탄소중립’ 목표를 달성하기 위해 <14·5 계획> 기간 동안 전국 단위의 탄소 배출 거래시장을 개설하고 녹색기술 혁신체계를 구축할 계획이다. 세부적으로는 탄소 배출 감축 방안을 수립하여 실행하고, 과학·기술, 산업, 인프라 건설을 비롯한 핵심 분야의 녹색 전환을 추진할 것이다. 또한, 녹색기술 발전을 독려하기 위해 녹색 전환 시범 도시를 확대하며, 생태계보호·관리 시스템 개선, 녹지 복원사업, 기후변화의 환경영향분석 등을 추진하여 생태계 안정성을 높일 계획이다. 마지막으로, <국가 기후 대응 계획(2014~2020)>이 종료됨에 따라 <기후변화 대응 전략 2035>를 마련할 것이다.

28) CSF. (2020.12.3.). 中 디지털 경제현황과 향후 전망.

참고문헌

[국내]

- 건강보험심사평가원. (2020). 인류와 함께 공존해온 감염병, HIRA ISSUE vol.12.
- 그린피스. (2020). 기후변화의 경고.
- 글로벌 과학기술정책정보서비스. (2020). 일본, 과학기술분야 대형프로그램 현황발표.
- 기상청. (2020). 제3차 기후업무발전 기본계획('17~'21) 수정계획.
- 기획재정부. (2020). 「2050 탄소중립」 추진전략.
- 대전일보. (2020). 유병장수 시대의 문제해결을 위한 노화제어 연구.
- 동아사이언스. (2020). 코로나19 가짜뉴스로 1~3월 사이 800명 숨졌다.
- 딜로이트. (2020). 2030 탈탄소화 과제 에너지의 미래.
- _____. (2021). 2021 산업별 전망.
- _____. (2021). 에너지원 탈탄소화 전략: 탄소중립을 위한 에너지 전환.
- 로봇신문. (2020). 중국 '오리진 스페이스', 우주 광물자원 채굴 첫발 내딛는다.
- 복지타임즈. (2020). 코로나19 '뉴노멀' 시대, 재난의 일상화와 복지 서비스 재구조화.
- 산업인. (2020). 친환경 미래 모빌리티산업에 '사활 건다'.
- 산업통상자원부. (2020). 에너지신산업 생태계 활성화를 위한 에너지혁신기업 지원전략.
- _____. (2021). 2021년도 친환경 전기차·수소차의 핵심부품 기술개발 신규 R&D 과제지원 내용.
- _____. (2021). 항공핵심기술로드맵(2021~2030).
- 삼정KPMG. (2020). 코로나19 극복을 위한 리질리언스 전략.
- _____. (2020). 디지털 워크플레이스 기업의 대응방안.
- 상명대학교. (2020). 2021년 질병관리본부 연구개발과제(R&D) 기술수요조사 공고자료 참고.
- 연방교육연구부. (2020). 독일, 국가 연구혁신 경쟁력 제고방안 제시.

- 연세대학교 의과대학 만성난치질환 시스템의학 연구센터 홈페이지.
- 연합뉴스. (2020). 일본, 민간이 우주에서 자원 채취하면 소유권 주기로.
- 연합인포맥스. (2020). 탈탄소화에 힘 받는 ‘녹색수소’…투자 포인트는 ‘재생 에너지’.
- 전자신문. (2019). 솔베이 친환경 소재로 지속가능한 모빌리티 시장 선도.
- 충청뉴스. (2021). ETRI, 디지털 휴먼증강 미래유망 기술·서비스 제시.
- 한국IR협의회. (2020). 리튬이온배터리.
- 한국보건산업진흥원. (2020). 바이오헬스 리포트.
- 한국은행. (2020). 한국은행-중앙은행 디지털화폐(CBDC) 파일럿 테스트 추진.
- 한국정보보호산업협회. (2021). 혁신성장동력 R&D사업 內 차세대보안 R&D과제.
- 한국판 뉴딜 실무지원단. (2020). K-New Deal Weekly.
- 한국화학연구원 차세대 탄소자원화 연구단. (2020). CCUS 기술의 현황과 미래.
- 혁신성장추진기획단. (2020). 미·EU·중 모빌리티 산업현황 및 국가 간 정책분석 연구 (자율주행차·친환경차·차량공유).
- 환경부. (2020). 친환경 미래 모빌리티(전기·수소차) 보급.
- ChosunBiz. (2019). AI가 만드는 가짜 동영상… 이젠 AI가 속속 걸러낸다.
- CSF. (2020). 중국 디지털 경제현황과 향후전망.
- ETRI Insight. (2020). 코로나-19 이후 글로벌 트렌드-완전한 디지털 사회.
- Frost&Sullivan. (2020). 확장현실(XR): 몰입형 체험의 일반화 시장보고서.
- GLOBAL EPIC. (2020). 유전자편집기술‘논란’ 법 제재 필요한다.
- IBKS. (2020). 중대형 모빌리티 수소전환.
- KDI 경제정보센터. (2020). EU의 신성장 전략, ‘유럽 그린딜’.
- _____. (2021). 바이든의 공격적 기후변화 대응 정책, 글로벌 탄소 감축 대전 재점화.
- KIEP. (2020). 중국 14차 5개년 계획(2021~25)의 경제정책 방향과 시사점.
- KISTEP. (2020). 포스트 코로나 시대의 미래전망 및 유망기술.
- KOSKOM. (2020). 2021 달라진 가트너 전략.
- POSCO 이슈리포트. (2019). 기후변화의 주범 이산화탄소(CO2) 미래자원 가능성.

- S&T GPS. (2020). 과학기술&ICT 정책·기술 동향.
- _____. (2020). 미국, 핵심 유망 기술 국가 전략 제시.
- The Science Times. (2021). 조립하듯 생명체를 설계하는 합성생물학.
- Weekly BIZ. (2020). 핑음도 없다, 오염도 없다, 연료도 싸다… 조용히 떴다 전기 비행기.
- Wood Mackenzie. (2020). 2021년 에너지에 대한 10가지 예측.

[해외]

- Accenture. (2020). Technology vision 2020.
- American Energy Innovation Council. (2020). Energy innovation: Developing the technologies for decarbonization.
- Architecture 2030. (2020). The 2030 challenge.
- Bain & Company. (2020). Ten technology trends moving into 2021.
- Bank for International Settlements (BIS). (2020). Impending arrival: A sequel to the survey on Central Bank digital currency.
- C40 Cities. (2020). Ending climate change begins in the city.
- Deloitte. (2020). Tech trends 2021.
- Digital Authority Partners. (2021). Digital transformation in healthcare in 2021: 7 key trends.
- EITO. (2020). 11 tech trends for 2021 and beyond.
- Entrepreneur. (2017). How to monetize space beyond expeditions and research.
- Ernest & Young (EY). (2020). Megatrends 2020 and Beyond EYQ 3rd edition.
- ESPAS. (2019). Global trends to 2030 challenges and choices for Europe.
- EURACITY. (2020). EU companies ready to take on twin green, digital transitions.
- Europa. (2019). What is Horizon 2020.
- _____. (2020). Marie Skłodowska-Curie Actions.
- European Pharmaceutical Review. (2021). FDA approves phase III trial of synthetic biological COVID-19 treatment.

- European Union (EU). (2019). Work Programme 2018-2020, leadership in enabling and industrial technologies – space.
- _____. (2020). COVID and Horizon 2020: Can Europe bridge the gap.
- _____. (2020). Cluster 3: Civil security for society, Horizon Europe first draft Work Programme 2021-2022.
- _____. (2020). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions.
- Evreka. (2021). 7 ways technology is innovating waste management.
- Forbes. (2019). Understanding explainable AI.
- _____. (2020). COVID-19 has accelerated digital transformation — with AI playing a key role.
- Frontiers. (2020). Biological materials: The next frontier for cell-free synthetic biology.
- Future Today Institute (FTI). (2020). 2020 tech trends report
- Gartner. (2019). Top 10 strategic technology trends for 2020.
- _____. (2020). Top 10 strategic technology trends for 2021.
- Goldman Sachs. (2020). Green hydrogen: The next transformational driver of the utilities industry.
- Government of India (Ministry of Science & Technology). (2020). Nanotechnology and genome engineering, technologies and other new tools and technologies.
- Green Car Congress. (2018). California ARB projects in-state fuel cell vehicles to reach 23,600 by 2021, and 47,200 by 2024.
- Hitech Strategie. (2020). Kernbotschaften aus dem Beteiligungsprozess zur Weiterentwicklung der Hightech-Strategie 2025.
- Hyperight. (2021). How NASA uses AI and machine learning for space exploration.
- IDTechEx. (2020). Genetic engineering in agriculture 2021-2031.

- IMG. (2019). Tomorrow's digitalization of supply chain.
- Information Technology and Innovation Foundation (ITIF). (2020). President-Elect Biden's agenda on technology and innovation policy.
- International Energy Agency (IEA). (2020). Global energy review.
- _____ . (2020). Global energy outlook.
- Interreg. (2020). Greater Copenhagen Microbiome Summit 2021.
- Ipsos. (2020). Global trends 2020.
- Kawamiya, M., Hajima, T., Tachiiri, K., Watanabe, S., & Yokohata, T. (2020). Two decades of Earth system modeling with an emphasis on Model for Interdisciplinary Research on Climate (MIROC). Progress in Earth and Planetary Science 7(64).
- Kissler, SM., Tedijanto, C., Goldstein, E., Grad., YH & Lipsitch, M. (2020). Development of a predictive digital twins of SARS-CoV-2 through the postpandemic period.. Science 368(6493): 860-868.
- MarketsAndMarkets. (2019). Digital workplace market.
- McKinsey & Company. (2021). The next normal arrives: Trends that will define 2021 and beyond.
- Microsoft. (2020). Exploiting a crisis: How cyber criminals behaved during the outbreak.
- National Institute of Health (NIH). (2011). The NIH mission – it's about life.
- _____ . (2020). NIH to support 85 new grants featuring high-risk, high-reward research.
- NATO. (2020). Science & technology trends 2020-2040.
- National Science Foundation (NSF). (2019). NSF's 10 big ideas.
- _____ . (2020). NSF advances 25 projects to explore bold ideas for transformative research.
- _____ . (2020). NSF Institutes advance US ability to harness data revolution.

- National Science & Technology Council. (2020). National nanotechnology initiative supplement to the President's 2021 budget.
- Neuxsintegra. (2020). Artificial intelligence, the best defense in cyber security.
- Office of Science and Technology Policy (OSTP). (2020). American artificial intelligence initiative: Year one annual report.
- Opengov. (2020). Accelerated digitalisation due to COVID-19 increases pressure to ensure seamless user experience.
- Oxford Academic. (2020). National Science Review, a forum on synthetic biology: Meet the great challenges with new technology.
- Piker Jr., R., & Lane N. (2020). Memo for President Biden: Five steps to getting more from science. *Nature* 587(7835): 546-547.
- Physicsworld. (2020). Bipartisan bill aims to revamp National Science Foundation.
- PwC. (2021). Green infrastructure policies and investment 2021.
- Qualcomm. (2018). The wireless edge is the key to realizing the full potential of 5G.
- Redshift. (2020). Smart manufacturing: The future of making is digital.
- SeedWorld. (2020). 20 benefits from agricultural genome editing.
- Siemens. (2020). SMART building.
- SPREP. (2020). PacWastePlus.
- Strianese, O., Rizzo, F., Ciccarelli, M., Galasso, G., D'Agostino. (2020). Precision and personalized medicine: How genomic approach improves the management of cardiovascular and neurodegenerative disease. *Genes* 11(7): 747.
- Taylor & Francis. (2021). Special issue on AI, robotics and automation in space.
- Tech Republic. (2020). Gartner's top tech predictions for 2021.
- The Conversation. (2021). Five ways artificial intelligence can help space exploration.
- The New York Times. (2020). Surge of virus misinformation stumps Facebook and Twitter.

- The World Economic Forum (WEF). (2020). Governments must build trust in AI to fight COVID-19.
- The White House. (2020). Quantum Frontiers Report on community input to the nation's strategy for quantum information science.
- TIME. (2021). We may never eliminate COVID-19: But we can learn to live with it.
- Towards Data Science. (2018). Three ways AI is impacting the space industry.
- UN. (2020). Shaping the trends of our time.
- _____. (2020). Launched: 2020 global status report for buildings and construction.
- UNCTAD. (2020). COVID-19 and the role of digital technologies for achieving the SDGs.
- UN Environment Programme. (2020). Cities and climate change.
- United Kingdom (UK) HM Government. (2020). UK research and development roadmap.
- United States of America (USA). (2020). Fiscal Year (FY) 2022 Administration research and development budget priorities and cross-cutting actions.
- US National Library of Medicine. (2020). MedlinePlus Homepage.
- Zhang, N., Bahsoon, R., & Theodoropoulos, G. (2020). Towards engineering cognitive digital twins with self-awareness. In 2020 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC): 3891-3891.

[기타]

- 科学技术部高技术研究中心. (2019). 「国家重点研发计划重点专项」.
- 国立国会図書館 調査及び立法考査局. (2020). ポスト2020の科学技術イノベーション政策.
- 内閣府. (2020). 第6期科学技術・イノベーション基本計画の骨子(案).
- Sciencenet.cn. (2020). “2020年度人类社会发展十大科学问题”发布.
- _____. (2020). 中国科协发布2020重大科学问题和工程技术难题.
- SINA. (2020). 习近平：加强量子科技发展战略谋划和系统布局.

제3장

융합연구 현황

이 장에서는 2019년도 융합연구개발 투자현황을 제시하는 한편, 융합연구개발 성과분석, 융합연구 연구자 인식조사 결과 등을 살펴본다. 특히 융합연구개발 성과분석은 논문, 특허(출원 및 등록), 기술료, 사업화 관련 성과분석을 다루었다.

제1절 융합연구개발 투자 현황

1. 조사 개요
2. 2019년도 융합연구개발 투자 현황

제2절 융합연구개발 성과분석

1. 분석 개요
2. 총괄 성과 요약
3. 논문 성과분석
4. 특허 성과분석
5. 기술료 성과분석
6. 사업화 성과분석

제3절 융합연구 연구자 인식조사

1. 조사 개요
2. 주요 조사 결과

Chapter

03

융합연구개발 투자 현황

1. 조사 개요

1) 조사 목적

이 장에서는 국가연구개발 사업 중 융합기술 R&D 과제의 연구개발단계, 수행주체, 연구분야 등의 측면에서 분석을 실시했다. 이를 통해 정량적 지표를 기반으로 융합기술 R&D 현황을 분석하고 융합기술 기본계획, 시행계획 등 정부 정책을 수립하는 데 활용하고자 한다.

2) 분석 대상

정부예산(일반+특별회계)과 기금 중 연구개발예산으로 편성된 모든 국가연구개발사업의 과제 내에서 연구책임자가 지정한 국가과학기술표준분류 대분류가 두 개 이상 분류된 과제를 대상으로 했다. 과제정보는 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)를 통해 입력·검증된 DB를 활용했다.²⁹⁾

3) 분석 항목

표 3-1 융합연구개발 투자 현황 및 주요 성과분석 항목

항목	기준
정부 부처	각각의 정부연구개발 사업을 담당하는 부처를 의미 ※ 부처명은 2019년 조사 시점을 기준으로 했음
연구비 규모	1억 원 미만, 1억 원 이상 5억 원 미만, 5억 원 이상으로 구분
연구개발 단계	OECD '프라스카티 매뉴얼(Frascati Manual)' (2002)에서 제시하는 기준으로 구분
연구수행 주체	연구개발예산을 통해 실질적으로 연구개발을 수행하는 기관
지역	17개 광역자치단체 지역을 수도권, 대전, 지방으로 구분

29) 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)의 2019년 조사 시점 과제정보를 활용하여 담당부처명은 현재의 담당부처와는 다를 수 있음.

항목		기준
기술 분류	과학기술표준분류	과학기술기본법 제27조에 따라 국가과학기술위원회에서 확정한 과학기술표준분류(연구 분야) 대분류로 구분
	미래유망신기술(6T) 분류	IT, BT, NT, ST, ET, CT 등 6가지를 소분류로 구분
	중점과학기술 분류	제4차 과학기술기본계획(2018~2022)에 따라 기존 국가전략기술을 대체한 2019년 신규 조사 항목
공동·위탁연구		공동·위탁연구의 수행 건수 및 지출액을 부처, 국가, 협력유형에 따라 구분

2. 2019년도 융합연구개발 투자 현황

1) 총괄 현황

■ 2019년 융합기술 R&D 총괄

2019년도 정부 전체 R&D(7만 327개 과제, 20조 6,254억 원) 중 융합기술 R&D(1만 1,974개 과제, 2조 5,709억 원)의 비중은 과제 수 17.03%, 투자액 12.46%를 각각 차지했다.

그림 3-1 2019년 융합기술 R&D 과제 수 및 투자액 현황



정부 전체 R&D와 융합기술 R&D의 과제당 투자액은 각각 2.93억 원, 2.15억 원이다. 과제별 규모는 융합기술 R&D 투자가 0.78억 원 정도 적은 것으로 나타났다.

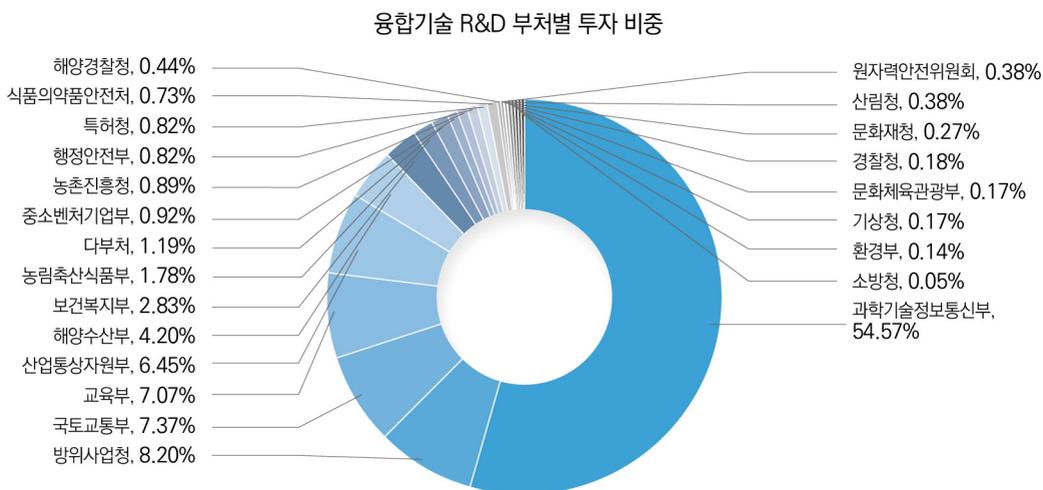
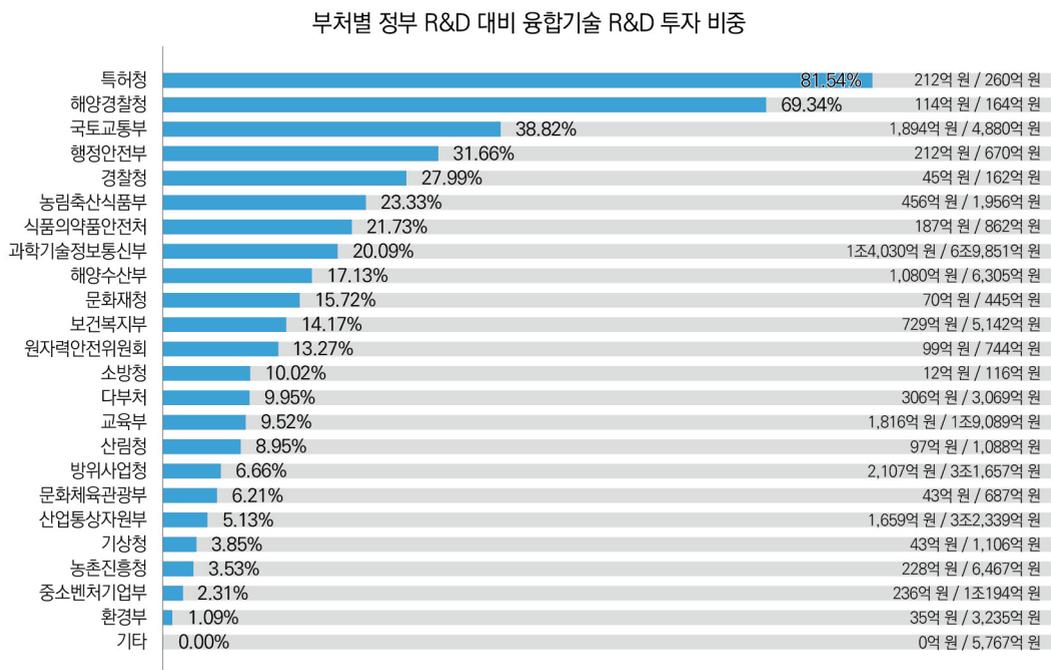
표 3-2 2019년 융합기술 R&D 과제 수 및 투자액 현황

사업 구분	과제 수		투자액		과제당 투자액
융합기술 R&D	1만 1,974개	17.03%	2조 5,709억 원	12.46%	2.15억 원/개
정부 전체 R&D	7만 327개		20조 6,254억 원		2.93억 원/개

■ 부처별

정부 전체 R&D 대비 융합기술 R&D 비중은 특허청(81.54%)이 가장 높았으며, 융합 기술 R&D에서는 과학기술정보통신부(54.57%)의 비중이 가장 높게 나타났다.

그림 3-2 부처별 투자 현황



■ 연구비 규모별

정부 전체 R&D와 융합기술 R&D 모두 각각 1억 원 미만(60.36%, 58.29%)이 가장 높았다.

표 3-3 연구비 규모별 과제 수 현황

사업 구분	1억 원 미만	1억 원 이상, 5억 원 미만	5억 원 이상	합계
융합기술 R&D	6,980개 (58.29%)	4,047개 (33.80%)	947개 (7.91%)	1만 1,974개 (100%)
정부 전체 R&D	4만 2,450개 (60.36%)	2만 1,311개 (30.30%)	6,566개 (9.34%)	7만 327개 (100%)

■ 연구개발 단계별

융합기술 R&D 내에서는 기초연구(39.63%)가 가장 높았고, 정부 R&D 내에서는 개발 연구 비중이 31.46%로 가장 높았다.

표 3-4 연구개발 단계별 투자 현황

사업 구분	기초연구	응용연구	개발연구	기타	합계
융합기술 R&D	1조 188억 원 (39.63%)	4,720억 원 (18.36%)	8,669억 원 (33.72%)	2,132억 원 (8.29%)	2조 5,709억 원 (100%)
정부 전체 R&D	4조 6,415억 원 (22.50%)	3조 458억 원 (14.77%)	6조 4,883억 원 (31.46%)	6조 4,497억 원 (31.27%)	20조 6,254억 원 (100%)

■ 연구수행 주체별

융합기술 R&D 내에서는 대학이 40.21%로 높게 나타났으며, 정부 R&D 내에서는 출연 연구소가 40.05%로 가장 높았다.

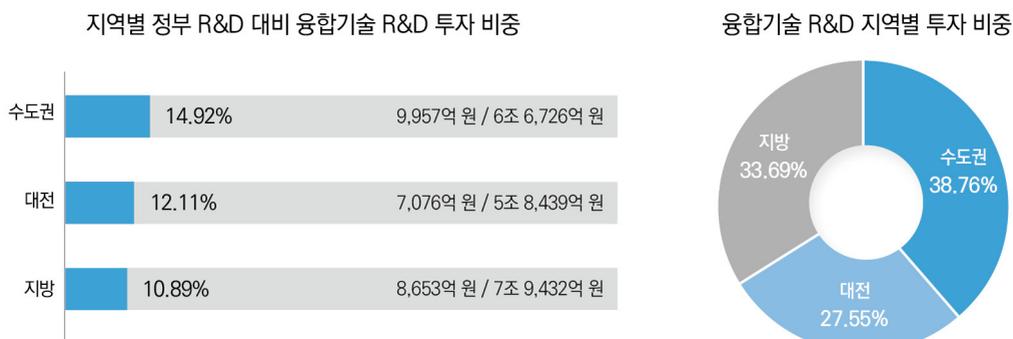
표 3-5 연구수행 주체별 투자 현황

사업 구분	국공립 연구소	출연 연구소	대학	대기업	정부 부처	중견 기업	중소 기업	기타	합계
융합기술 R&D	528억 원 (2.05%)	9,799억 원 (38.11%)	1조 338억 원 (40.21%)	417억 원 (1.62%)	2억 원 (0.01%)	171억 원 (0.66%)	2,995억 원 (11.65%)	1,460억 원 (5.68%)	2조 5,709억 원 (100%)
정부 전체 R&D	1조 527억 원 (5.10%)	8조 2,597억 원 (40.05%)	5조 278억 원 (24.38%)	3,735억 원 (1.81%)	1,829억 원 (0.89%)	1조 4,165억 원 (6.87%)	3조 910억 원 (14.99%)	1조 2,212억 원 (5.92%)	20조 6,254억 원 (100%)

■ 지역별

정부 전체 R&D 대비 융합기술 R&D 비중은 수도권이 14.92%로 가장 높게 나타났으며, 융합기술 R&D 내에서도 수도권이 38.76%로 높게 나타났다.

그림 3-3 지역별 투자 현황

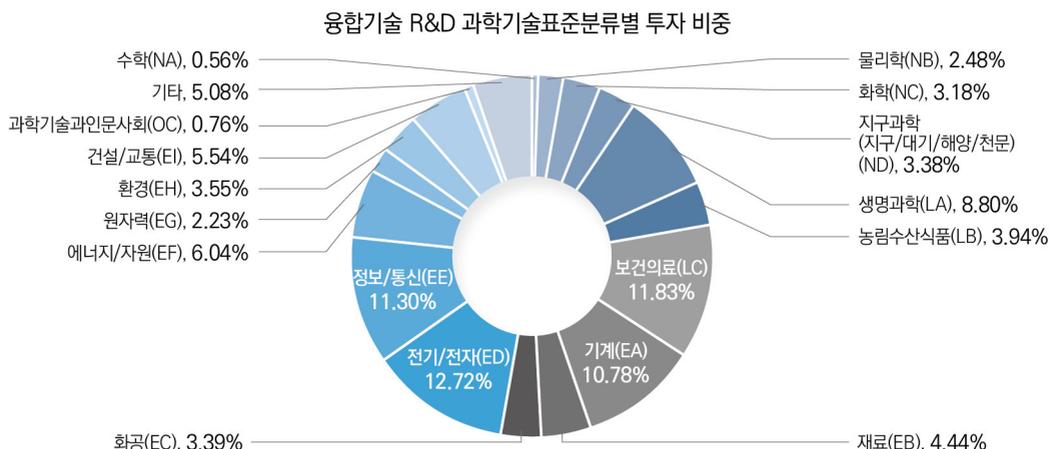


2) 기술분류별 현황 분석

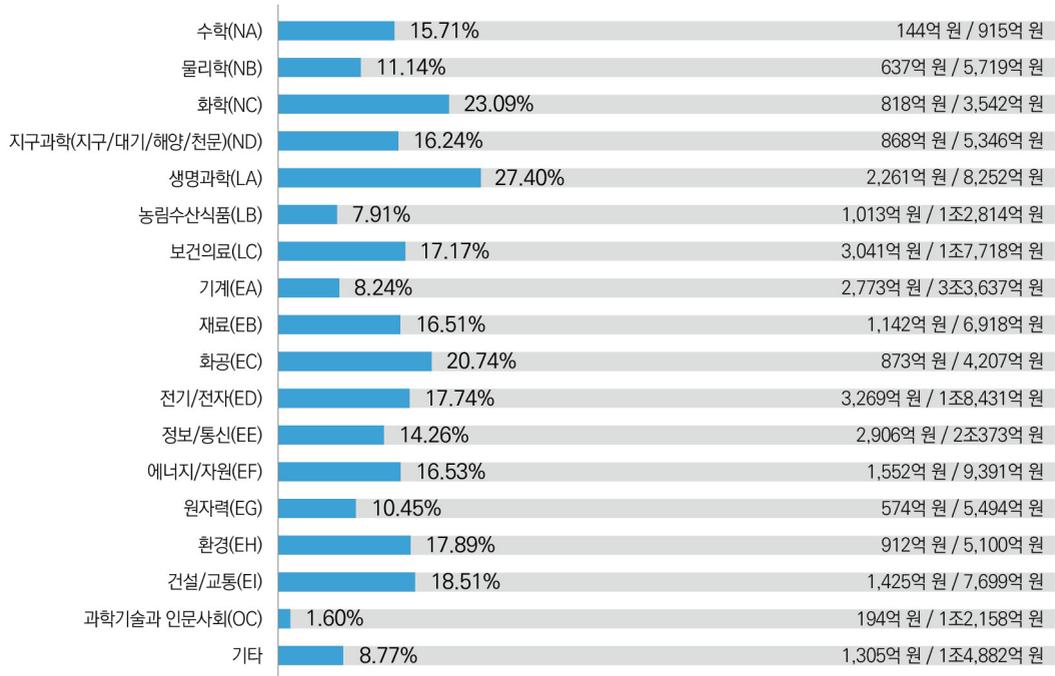
■ 과학기술표준분류별

정부 전체 R&D 대비 융합기술 R&D 비중은 생명과학 27.40%, 화학 23.09%, 화공 20.74% 순으로 나타났다. 융합기술 R&D 내에서의 비중은 전기·전자 12.72%, 보건의료 11.83% 순으로 높게 나타났다.

그림 3-4 과학기술표준분류별 투자 현황



과학기술표준분류별 정부 R&D 대비 융합기술 R&D 투자 비중



정부 전체 R&D 중 연구자가 과학기술표준분류를 복수로 선택한 비중이 12.46%로 나타났다. 융합기술 R&D의 경우 2분야 선택(77.97%)이 3분야 선택(22.03%)의 비중보다 높게 나타났다.

표 3-6 과학기술표준분류 선택횟수에 따른 투자 현황

사업 구분	단일선택		복수선택		합계
	1분야 선택	2분야 선택	3분야 선택	소계	
융합기술 R&D	-	2조 46억 원 (77.97%)	5,663억 원 (22.03%)	2조 5,709억 원 (100%)	2조 5,709억 원 (100%)
정부 전체 R&D	18조 545억 원 (87.54%)	2조 46억 원 (9.72%)	5,663억 원 (2.75%)	2조 5,709억 원 (12.46%)	20조 6,254억 원 (100%)

■ 미래유망신기술(6T) 분류별

융합기술 R&D 내에서는 BT가 29.08%, IT가 24.58% 순으로 높게 나타났다. 정부 전체 R&D 내에서도 기타를 제외하고 BT가 17.80%, IT가 16.79%로 높게 나타났다.

표 3-7 미래유망신기술(6T) 분류별 투자 현황

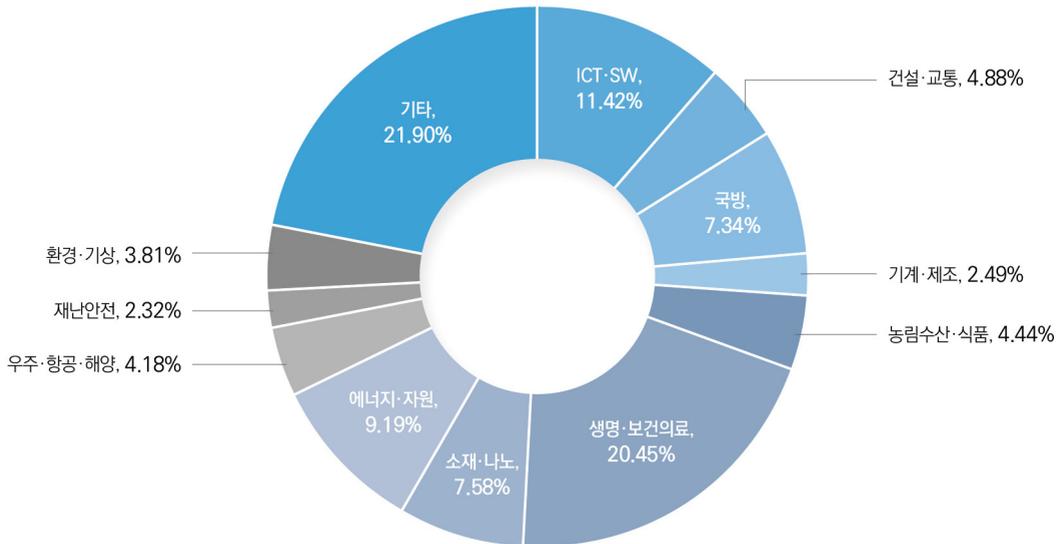
사업 구분	IT	BT	NT	ST	ET	CT	기타	합계
융합기술 R&D	6,319억 원 (24.58%)	7,476억 원 (29.08%)	2,299억 원 (8.94%)	1,170억 원 (4.55%)	4,406억 원 (17.14%)	392억 원 (1.53%)	3,647억 원 (14.19%)	2조 5,709억 원 (100%)
정부 전체 R&D	3조 4,633억 원 (16.79%)	3조 6,717억 원 (17.80%)	8,364억 원 (4.06%)	1조 7,622억 원 (8.54%)	2조 2,747억 원 (11.03%)	2,195억 원 (1.06%)	8조 3,976억 원 (40.71%)	20조 6,254억 원 (100%)

■ 중점과학기술 분야별 투자 현황

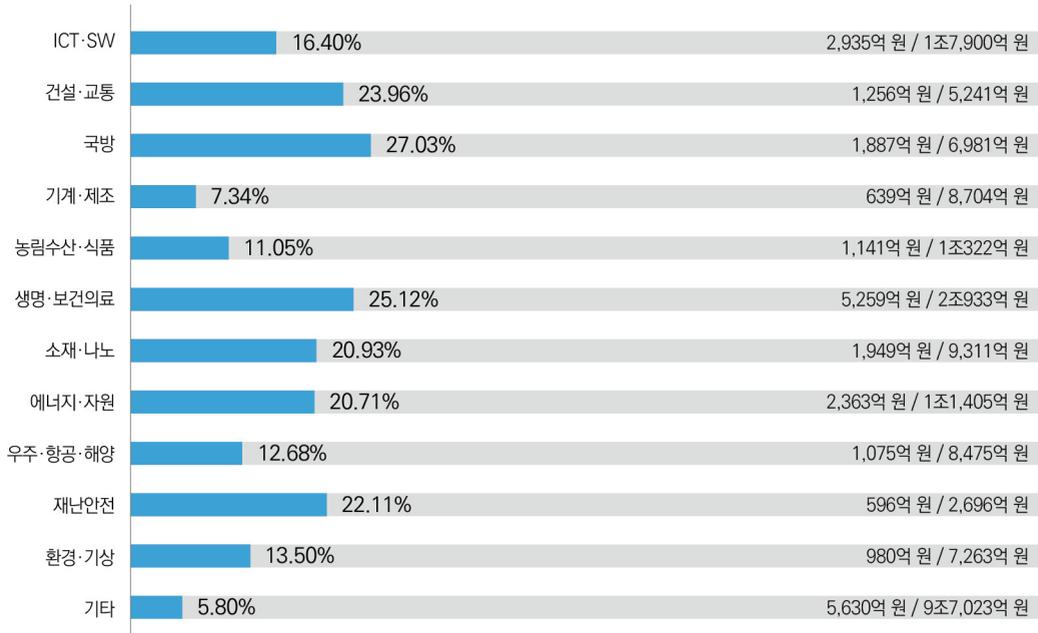
정부 전체 R&D 대비 융합기술 R&D 비중은 국방(27.03%), 생명·보건의료(25.12%), 건설·교통(23.96%), 재난안전(22.11%) 등이 큰 비중을 차지했다. 융합기술 R&D 내에서는 기타를 제외하고 생명·보건의료(20.45%), ICT·SW(11.42%), 에너지·자원(9.19%) 순으로 높았다.

그림 3-5 중점과학기술 분야별 투자 현황

융합기술 R&D 중점과학기술 분류별 투자 비중



중점과학기술 분야별 정부 R&D 대비 융합기술 R&D 투자 비중

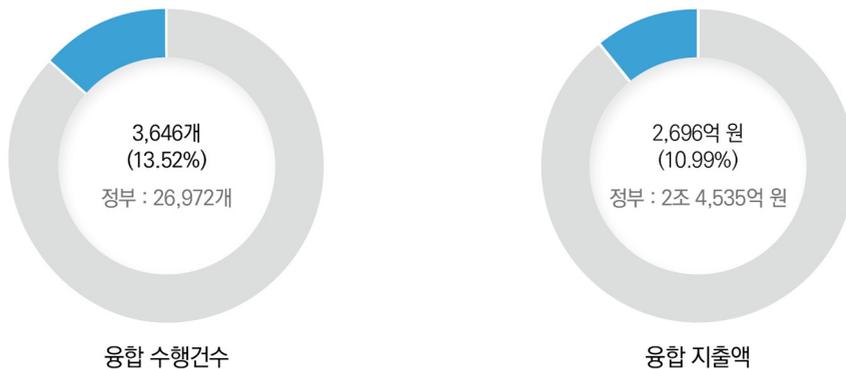


3) 공동·위탁연구 현황 분석

■ 공동·위탁연구 총괄

2019년 공동·위탁연구 관련 융합기술 R&D는 수행 건수가 3,646건으로 정부 R&D(2만 6,972건) 대비 13.52%를 차지했고 지출액이 2,696억 원으로 10.99% 비중을 차지했다.

그림 3-6 공동·위탁연구의 정부 전체 R&D 대비 융합기술 R&D 비중



한편 정부 전체 R&D와 융합기술 R&D의 공동연구 수행 건수 비중이 60% 이상을 차지했다. 지출액의 경우 융합기술 R&D의 공동연구 비중은 73.41%, 정부 전체 R&D는 86.06%로 나타났다.

표 3-8 공동·위탁연구 수행 건수 및 지출액 현황

사업 구분	수행 건수			지출액		
	공동연구	위탁연구	소계	공동연구	위탁연구	소계
융합기술 R&D	2,390건 (65.55%)	1,256건 (34.45%)	3,646건 (100%)	1,979억 원 (73.41%)	717억 원 (26.59%)	2,696억 원 (100%)
정부 전체 R&D	2만 322건 (75.38%)	6,640건 (24.62%)	2만 6,972건 (100%)	2조 1,116억 원 (86.06%)	3,419억 원 (13.94%)	2조 4,535억 원 (100%)

■ 부처별 공동·위탁연구 지출액 현황

공동·위탁연구 지출액의 융합기술 R&D 내에서 부처별 비중은 과학기술정보통신부가 49.94%로 가장 높았다. 정부 전체 R&D 내에서는 산업통상자원부가 57.00%로 가장 높았다.

표 3-9 부처별 공동·위탁연구 지출액 현황

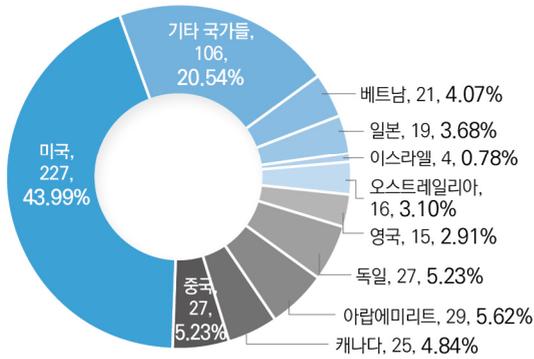
사업 구분	산업통상 자원부	과학기술 정보통신부	국토 교통부	중소 벤처기업부	기타 부처	합계
융합기술 R&D	32억 원 (1.20%)	1,347억 원 (49.94%)	900억 원 (33.38%)	53억 원 (1.97%)	364억 원 (13.51%)	2,696억 원 (100%)
정부 전체 R&D	1조 3,985억 원 (57.00%)	4,409억 원 (17.97%)	2,169억 원 (8.84%)	1,942억 원 (7.92%)	2,029억 원 (8.27%)	2조 4,535억 원 (100%)

■ 국가별 국제 공동·위탁연구 수행 건수 현황

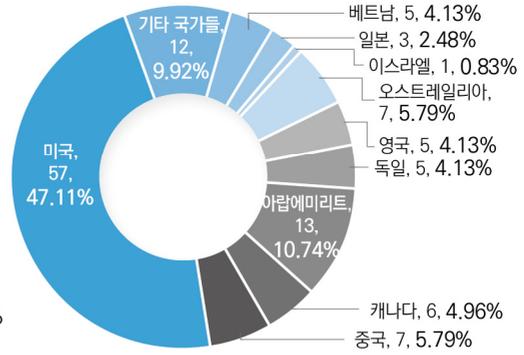
정부 R&D에서 총 516건의 국제 공동·위탁연구 수행 건수 중 미국이 227건(43.99%)으로 가장 많았다. 융합기술 R&D 내에서도 미국이 57건(47.11%)으로 가장 많았다.

그림 3-7 국가별 국제 공동·위탁연구 수행 건수 현황

정부 R&D 국제 공동·위탁연구 국가별 수행 건수 비중



융합 R&D 국제 공동·위탁연구 국가별 수행 건수 비중



융합연구개발 성과분석

1. 분석 개요

1) 분석 목적

이 절에서는 논문, 특허, 기술료, 사업화 등과 같은 융합기술 R&D의 대표적인 성과에 대해 정부 부처, 연구개발단계, 수행 주체, 지역, 연구 분야 등 다양한 측면에서 분석을 수행했다. 이를 통해 융합기술 R&D를 보다 더 객관적으로 파악하고 융합기술 R&D의 투자 방향을 수립하는 데 활용하고자 한다.

2) 분석 대상

제1절 융합연구개발 투자현황에서 활용된 2019년 융합기술 R&D 1만 1,974개의 과제를 기본으로 하되, 그해에 발생한 연구개발 성과를 대상으로 했다. 즉 과제 연도와 성과 연도 모두 2019년을 기준으로 두었다.

3) 분석 항목

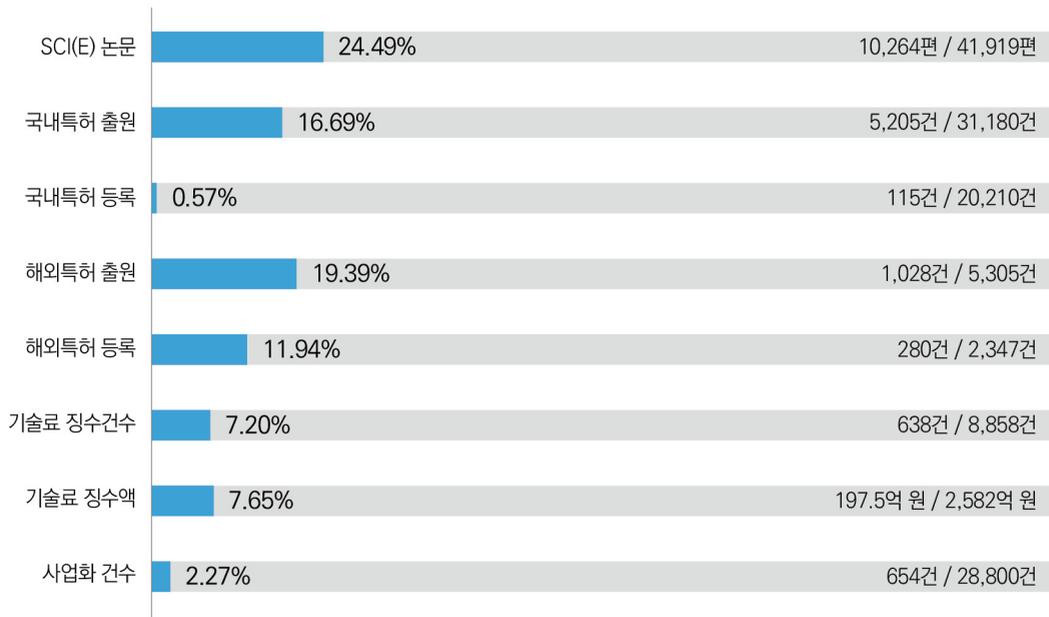
표 3-10 융합기술 R&D 성과 현황의 분석 항목

항목	기준
논문	해당 기간 내에 SCI(E) 학술지에 게재된 논문(학술지 발간연도 기준)
특허	해당 기간 내에 특허청 혹은 해외에 정식으로 등록된 특허(등록종에 명시된 날짜 기준) 국내 등록특허와 해외 등록특허로 구분하여 조사
기술료	해당 기간 내에 연구관리전문기관 혹은 비영리법인에서 실제로 징수한 기술료 징수 건수와 징수액으로 구분하여 조사
사업화	해당 기간 내에 수행된 창업 및 상품화, 공정개선 등의 사업화

2. 총괄 성과 요약

정부 전체 R&D 대비 융합기술 R&D 성과 비중은 논문 24.49%, 국내특허 출원 16.69%, 해외특허 출원 19.39%, 기술료 징수액 7.65%, 사업화 2.27% 등과 같이 나타나 경제적 성과(기술료, 사업화)에 비해 과학적 성과(논문)와 기술적 성과(특허)가 높았다.

그림 3-8 융합기술 R&D 총괄 성과 요약



먼저 과학적 성과와 기술적 성과를 항목별로 살펴보면, 논문은 과기정통부 58.08%, 기초연구 69.51%, 대학 86.47% 등과 같이 특정 항목에 대한 비중이 큰 편이다. 국내특허와 해외특허 출원 및 등록의 경우에도 비중이 다소 차이가 있지만, 전반적으로 논문성과와 비슷한 경향을 드러냈다.

표 3-11 2019년 융합기술 R&D 사업의 논문, 특허 성과 일괄표

(단위: 억 원, 편, 건)

구분	연구비		논문		국내특허				
	연구비	비중(%)	SCI(E) 논문	비중(%)	출원	비중(%)	등록	비중(%)	
합계	25,709	-	10,264	-	5,205	-	115	-	
부처별	과기정통부	14,030	54.57	5,961	58.08	3,211	61.69	58	50.63
	교육부	1,816	7.07	3,498	34.08	815	15.67	20	16.96
	복지부	729	2.83	150	1.46	110	2.11	2	1.74
	산업부	1,659	7.07	188	1.83	316	6.07	6	5.50
	농진청	228	0.89	53	0.51	47	0.90	0	0.00
	해수부	1,080	4.20	179	1.74	90	1.72	4	3.04
	국토부	1,894	7.37	93	0.90	291	5.60	15	13.02
	농식품부	456	1.78	14	0.14	72	1.39	3	2.17
	중기부	236	0.92	1	0.01	50	0.95	2	1.74
기타부처	3,581	13.93	127	1.24	203	3.90	6	5.21	
연구개발 단계별	기초연구	10,188	39.63	7,134	69.51	2,498	47.99	48	41.48
	응용연구	4,720	18.36	941	9.17	943	18.12	16	13.89
	개발연구	8,669	33.72	739	7.20	1,254	24.10	38	33.34
	기타	2,132	8.29	1,450	14.13	509	9.78	13	11.29
연구수행 주체별	국공립연구소	528	2.05	45	0.44	39	0.75	0	0.00
	출연연구소	9,799	38.11	1,127	10.98	1,238	23.79	17	15.05
	대학	10,338	40.21	8,875	86.47	3,045	58.51	64	55.87
	대기업	417	1.62	14	0.14	68	1.31	2	1.30
	중견기업	171	0.66	4	0.04	28	0.53	0	0.00
	중소기업	2,995	11.65	76	0.74	570	10.95	30	26.05
	기타	1,462	5.69	123	1.20	216	4.15	2	1.74
지역별	수도권	9,957	38.76	5,538	53.96	2,404	46.20	56	48.70
	대전	7,076	27.55	1,040	10.13	1,059	20.36	18	15.65
	지방	8,653	33.69	3,685	35.90	1,735	33.33	41	35.65
	기타	23	0.09	0	0.00	6	0.12	0	0.00
미래유망 신기술 (6T)별	IT	6,319	24.58	1,718	16.74	1,730	33.23	33	28.36
	BT	7,476	29.08	3,781	36.84	1,259	24.18	25	21.57
	NT	2,299	8.94	1,886	18.38	742	14.26	11	9.55
	ST	1,170	4.55	199	1.94	156	2.99	11	9.12
	ET	4,406	17.14	1,506	14.67	864	16.60	26	22.43
	CT	392	1.53	113	1.10	121	2.32	0	0.29
	기타	3,647	14.19	1,060	10.33	333	6.40	10	8.70

* 출원·등록 실적의 항목별 비율을 나타냄

※ 통계수치는 사사오입으로 인해 '합계' 수치 마지막 단위에서 차이가 발생할 수 있음

경제적 성과(기술료, 사업화)를 항목별로 살펴보면, 기술료의 징수 건수와 징수액은 비중이 다소 차이는 있지만, 전반적으로 비슷한 경향을 보였다. 기술료는 징수 건수 기준으로 교육부 52.82%, 응용연구 23.67%, 대학 75.71%, 지방 43.57% 등과 같이 나타나 특정 항목에 대한 비중이 큰 편이었다. 사업화 성과의 경우, 농식품부 33.49%, 개발연구 57.65%, 중소기업 46.33% 등으로 나타나 기술료 항목과는 다소 다른 양상을 보였다.

표 3-12 2019년 융합기술 R&D 사업의 기술료, 사업화 성과 일괄표

(단위: 건, 억 원)

구분	기술료				사업화		
	징수 건수	비중(%)	징수액	비중(%)	건수	비중(%)	
합계	638	-	197.5	-	654	-	
부처별	과기정통부	219	34.33	81.8	41.41	117	17.89
	교육부	337	52.82	91.0	46.07	39	5.96
	복지부	6	0.94	2.1	1.07	4	0.61
	산업부	5	0.78	1.7	0.84	45	6.88
	농진청	11	1.72	1.6	0.83	27	4.13
	해수부	17	2.66	3.4	1.73	9	1.38
	국토부	5	0.78	6.2	3.16	65	9.94
	농식품부	20	3.13	1.8	0.91	219	33.49
	중기부	0	0.00	0.0	0.00	101	15.44
	기타부처	18	2.82	7.9	3.99	28	4.28
연구개발 단계별	기초연구	113	17.71	53.9	27.30	32	4.89
	응용연구	151	23.67	32.4	16.42	189	28.90
	개발연구	78	12.23	34.5	17.48	377	57.65
	기타	296	46.39	76.6	38.80	56	8.56
연구수행 주체별	국공립연구소	4	0.63	0.2	0.08	22	3.36
	출연연구소	111	17.40	60.7	30.72	35	5.35
	대학	483	75.71	124.4	62.98	155	23.70
	대기업	3	0.47	5.7	2.87	3	0.46
	중견기업	2	0.31	0.5	0.27	10	1.53
	중소기업	16	2.51	2.3	1.19	303	46.33
	기타	19	2.98	3.7	1.89	126	19.27
지역별	수도권	262	41.07	72.3	36.61	254	38.84
	대전	98	15.36	23.5	11.89	61	9.33
	지방	278	43.57	101.7	51.51	339	51.83
	기타	0	0.00	0.0	0.00	0	0.00

구분	기술료				사업화		
	징수 건수	비중(%)	징수액	비중(%)	건수	비중(%)	
미래유망 신기술 (6T)별	IT	283	44.36	22.7	11.51	208	31.80
	BT	142	22.26	62.3	31.54	154	23.55
	NT	66	10.34	44.5	22.53	22	3.36
	ST	15	2.35	1.3	0.68	5	0.76
	ET	70	10.97	31.0	15.70	79	12.08
	CT	11	1.72	5.0	2.51	29	4.43
	기타	51	7.99	30.7	15.54	157	24.01

※ 통계수치는 사사오입으로 인해 '합계' 수치 마지막 단위에서 차이가 발생할 수 있음

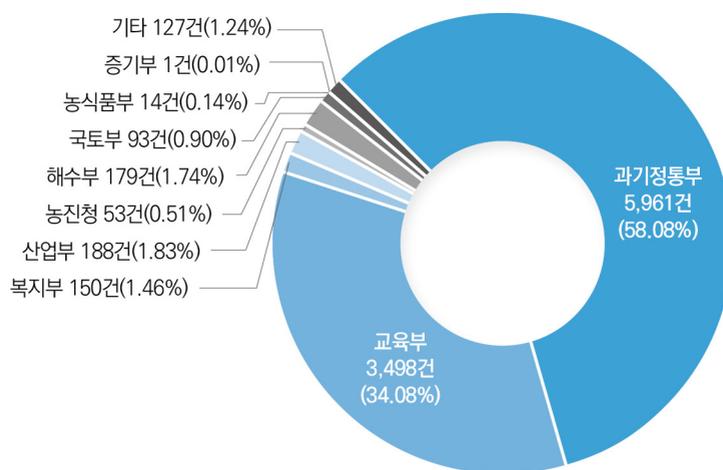
3. 논문 성과분석

2019년 융합기술 R&D 사업의 SCI(E)논문 성과는 과기정통부, 기초연구, 대학, 수도권, BT 분야에서 주도적으로 배출되었다.

■ 부처별 성과

과기정통부에서 배출된 SCI(E)논문 성과가 전체의 58.08%(5,961건)을 차지하며 압도적인 강세를 보였고 다음으로 교육부(34.08%), 산업부(1.83%) 순으로 나타났다.

그림 3-9 부처별 SCI(E)논문 성과 비중

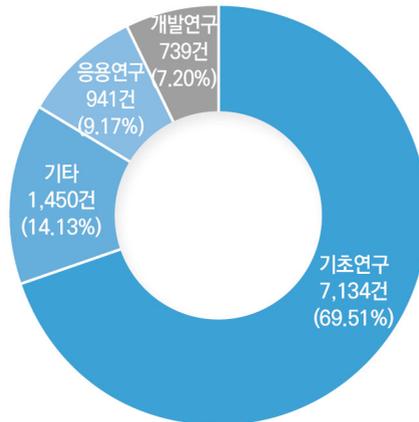


주) [기타]에는 기상청, 문체부, 식약처, 중기부, 특허청 등이 포함됨

■ 연구개발단계별 성과

융합기술 R&D 사업 중 기초연구 단계에서 배출된 SCI(E)논문 성과가 전체 69.51% (7,134건)를 차지했고 다음으로 응용연구(9.17%), 개발연구(7.20%) 순으로 나타났다.

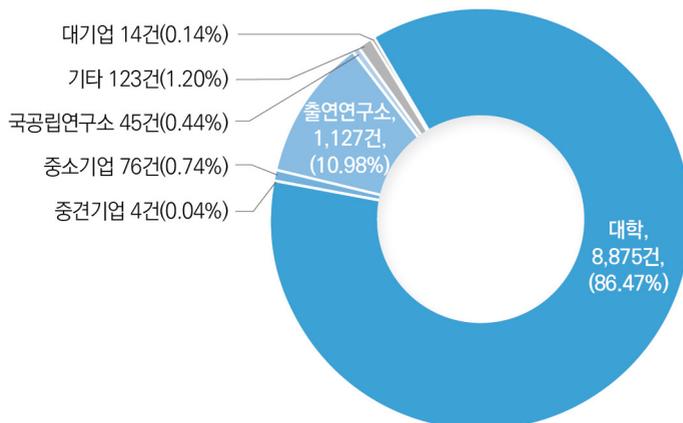
그림 3-10 연구개발단계별 SCI(E)논문 성과 비중



■ 연구수행주체별 성과

대학에서 배출된 SCI(E)논문 성과가 전체의 86.47%(8,875건)를 차지하며 논문성과를 주도하고 있으며 다음으로 출연연구소(10.98%), 중소기업(0.74%), 국공립연구소(0.44%), 대기업(0.14%) 순으로 나타났다.

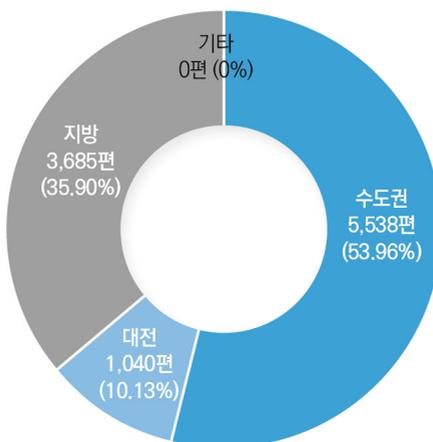
그림 3-11 연구수행주체별 SCI(E)논문 성과 비중



■ 지역별 성과

수도권(서울, 인천, 경기)에서 전체의 53.96%(5,538건)의 SCI(E)논문 성과가 배출되었고 지방과 대전이 각각 35.90% 10.13% 순으로 나타났다.

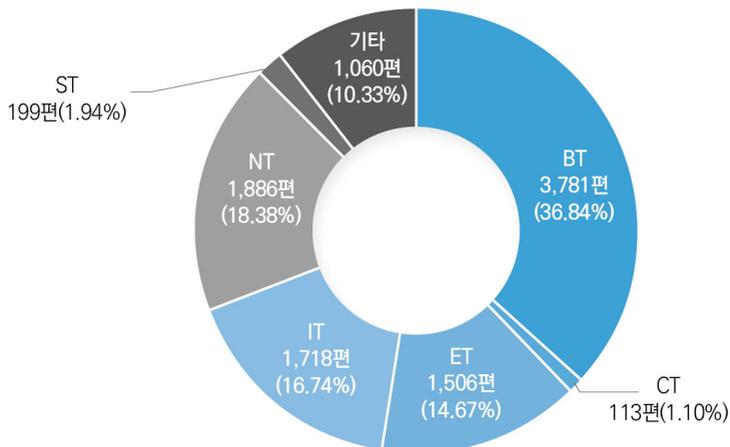
그림 3-12 지역별 SCI(E)논문 성과 비중



■ 미래유망 신기술(6T) 분야별 성과

융합기술 R&D 사업 중 BT분야에서 배출된 SCI(E)논문 성과가 36.84%(3,781편)로 가장 많았고 다음으로 NT(18.38%), IT(16.74%), ET(14.67%), ST(1.94%) 순으로 나타났다.

그림 3-13 미래유망 신기술(6T) 분야별 SCI(E)논문 성과

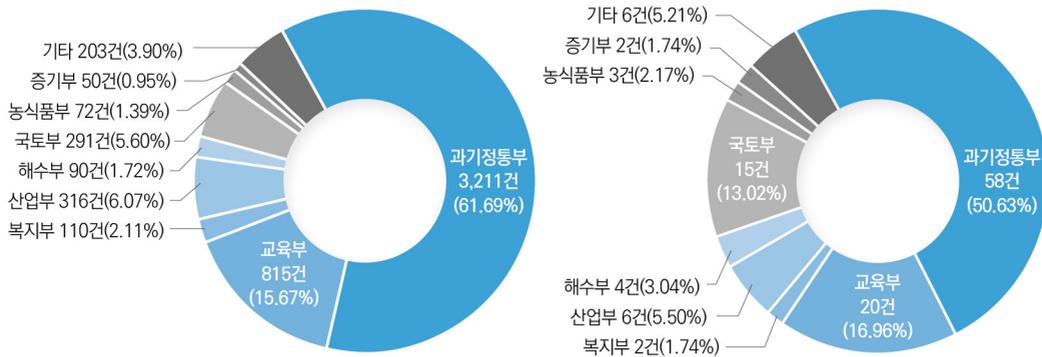


4. 특허 성과분석

■ (국내특허) 부처별 성과

과기정통부에서 배출된 국내특허 출원·등록 성과 비중은 각각 61.69%(3,211건), 50.63%(58건)를 차지하며 강세를 보였으며 국내특허 출원·등록 성과는 과기정통부 다음으로 교육부, 산업부(출원 기준) 및 국토부(등록 기준) 순으로 나타났다.

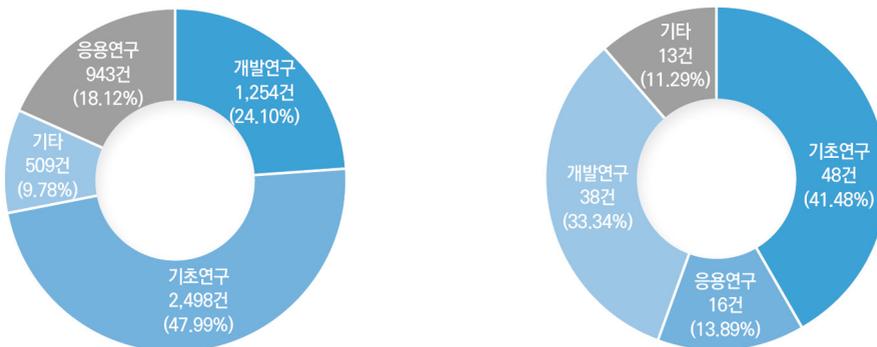
그림 3-14 부처별 특허 출원 성과(왼쪽) 및 부처별 특허 등록 성과(오른쪽)



■ (국내특허) 연구개발단계별 성과

융합기술 R&D 사업의 국내특허 출원·등록 성과는 기초연구 단계에서 각각 47.99% (2,498건), 41.48%(48건)를 차지하며 강세를 보였다. 출원 성과는 기초연구, 개발연구 (24.10%, 1,254건), 응용연구(18.12%, 943건) 순으로, 등록 성과도 기초연구, 개발연구 (33.34%, 38건), 응용연구(13.89%, 16건) 단계 순으로 성과가 나타났다.

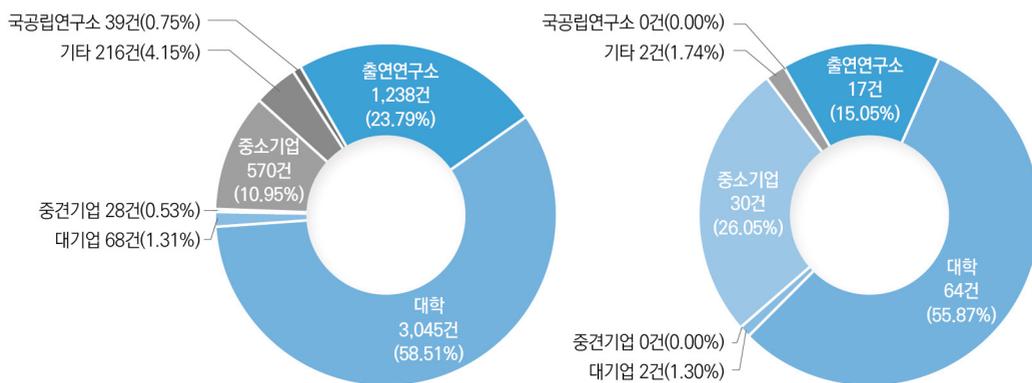
그림 3-15 연구개발단계별 특허 출원 성과(왼쪽) 및 연구개발단계별 특허 등록 성과(오른쪽)



■ (국내특허) 연구수행주체별 성과

융합기술 R&D 사업의 국내특허 출원 및 등록 성과는 대학에서 각각 58.51%(3,045건), 55.87%(64건)로 가장 많이 배출되었으며, 출원 성과는 대학, 출연연구소(23.79%, 1,238건), 중소기업(10.95%, 570건) 순이며, 등록 성과는 대학, 중소기업(26.05%, 30건), 출연연구소(15.05%, 17건)에서 성과를 주도하는 것으로 나타났다.

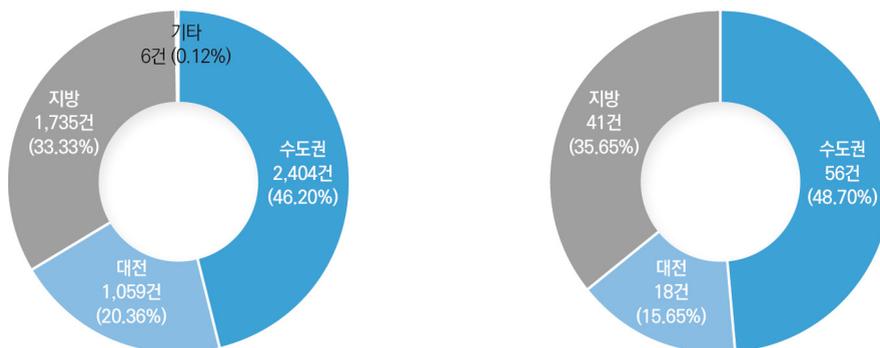
그림 3-16 연구수행주체별 특허 출원 성과(왼쪽) 및 연구수행주체별 특허 등록 성과(오른쪽)



■ (국내특허) 지역별 성과

국내특허의 출원·등록 성과는 수도권(서울, 인천, 경기)에서 가장 많이 발생하였으며, 출원 성과는 수도권(46.20%, 2,404건), 지방(33.33%, 1,735건), 대전(20.36%, 1,059건)순이며, 등록 성과는 수도권(48.70%, 56건), 지방(35.65%, 41건), 대전(15.65%, 18건) 순으로 성과가 발생하였다.

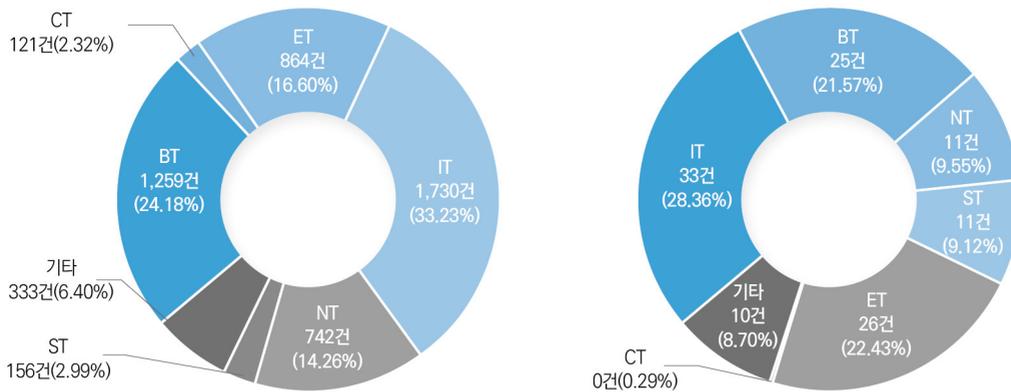
그림 3-17 지역별 특허 출원 성과(왼쪽) 및 지역별 특허 등록 성과(오른쪽)



■ (국내특허) 미래유망 신기술(6T) 분야별 성과

국내특허 출원 성과는 IT와 BT 분야가, 등록 성과는 IT와 ET 분야가 주도하고 있으며, 국내특허 출원 성과는 IT(33.23%, 1,730건), BT(24.18%, 1,259건), ET(16.60%, 864건) 순이며, 등록 성과는 IT(28.36%, 33건), ET(22.43%, 26건), BT(21.57%, 25건) 순으로 성과가 발생했다. CT의 출원·등록 성과 비중은 3% 미만으로 미비한 수준에 머무는 것으로 나타났다.

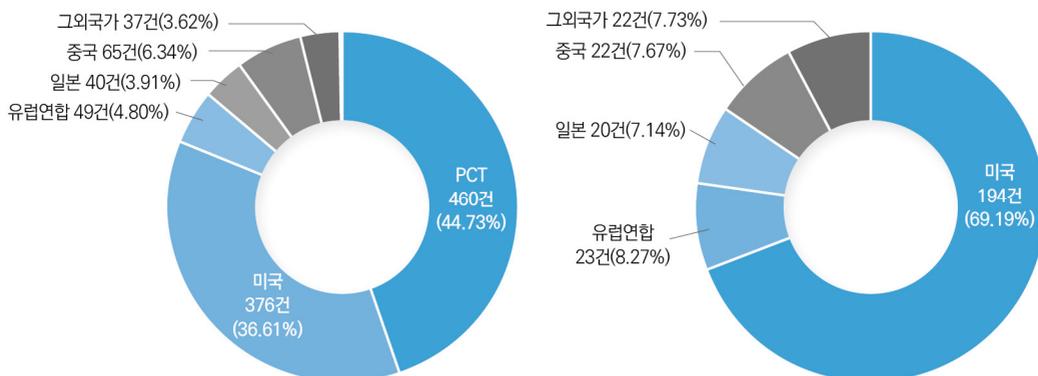
그림 3-18 6T 분야별 특허 출원 성과(왼쪽) 및 6T 분야별 특허 등록 성과(오른쪽)



■ 해외특허 성과

해외특허 출원 성과는 국제특허(PCT, 44.73%, 460건)와 미국(36.61%, 376건)에서 많이 발생했으며 등록 성과는 미국(69.19%, 194건)과 유럽연합(8.27%, 23건)에서 많이 발생했다. 해외특허 출원 성과는 PCT, 미국, 중국(6.34%, 65건), 유럽연합(4.80%, 49건), 일본(3.91%, 40건) 순이며, 등록 성과는 미국, 유럽연합, 중국(7.67%, 22건), 일본(7.14%, 20건) 순으로 많이 배출되었다.

그림 3-19 해외 특허 출원 성과(왼쪽) 및 해외 특허 등록 성과(오른쪽)



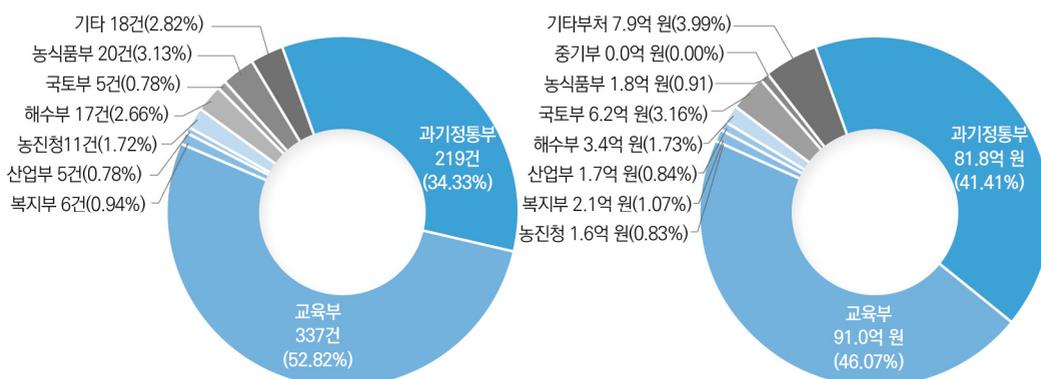
5. 기술료 성과분석

융합기술 R&D 사업의 기술료 성과는 교육부, 응용·기초연구, 대학, 지방, IT 및 BT 분야에서 주도적으로 배출되었다.

■ 부처별 성과

융합기술 R&D 사업 중 교육부가 기술료 징수건수(337건, 52.82%)와 징수액(91억 원, 46.07%)에서 가장 높은 비중을 차지하였으며 다음으로 징수건수의 경우 과기정통부(34.33%), 농식품부(3.13%) 순, 징수액의 경우 교육부(46.07%), 과기정통부(41.41%), 국토부(3.16%) 순으로 나타났다.

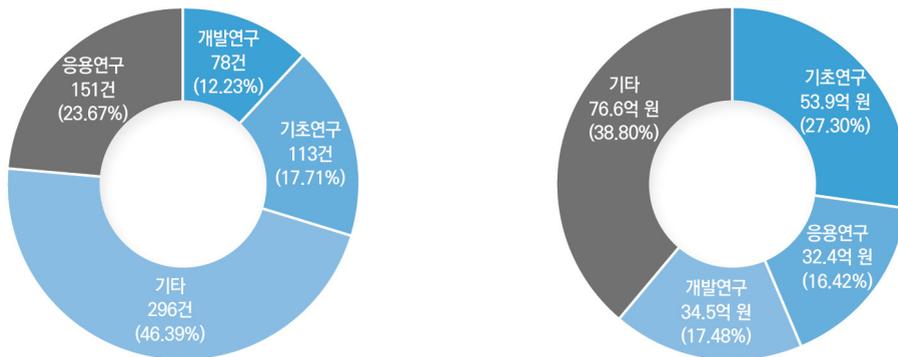
그림 3-20 부처별 기술료 징수건수(왼쪽) 및 부처별 기술료 징수액(오른쪽)



■ 연구개발단계별 성과

융합기술 R&D 사업 중 응용연구 단계에서 기술료 징수건수(151건, 23.67%)가 가장 높게 나타났다. 그 외 기초연구(113건, 17.71%), 개발연구(78건, 12.23%) 순으로 나타났다. 한편, 징수액 기준으로는 기초연구(53.9억 원, 27.30%)가 가장 높은 비중을 차지하였고, 다음으로 개발연구(34.5억 원, 17.48%), 응용연구(32.4억 원, 16.42%) 순으로 나타났다.

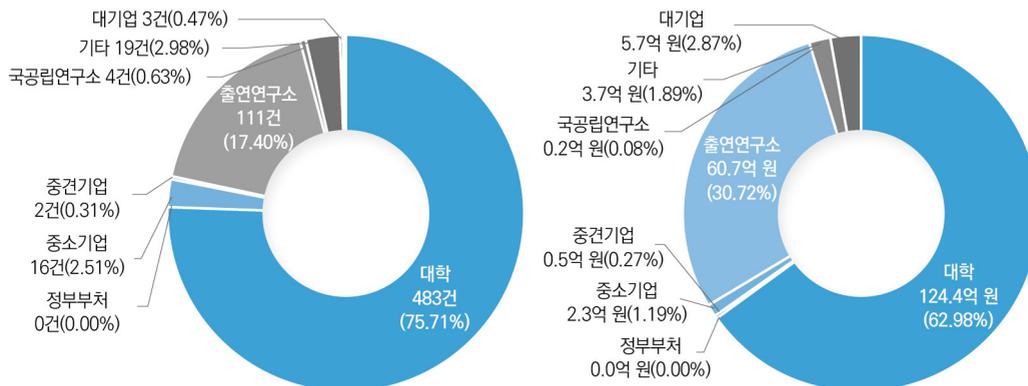
그림 3-21 연구개발단계별 기술료 징수건수(왼쪽) 및 연구개발단계별 기술료 징수액(오른쪽)



■ 연구수행주체별 성과

융합기술 R&D 사업 중 대학에서 기술료 징수건수(483건, 75.71%)와 징수액(124.4억 원, 62.98%)이 가장 높은 비중을 차지하며 기술료 성과를 주도하고 있으며, 다음으로 징수건수의 경우 출연연구소(111건, 17.40%), 중소기업(16건, 2.51%) 순, 징수액의 경우 출연연구소(60.7억 원, 30.72%), 대기업(5.7억 원, 2.87%) 순으로 나타났다.

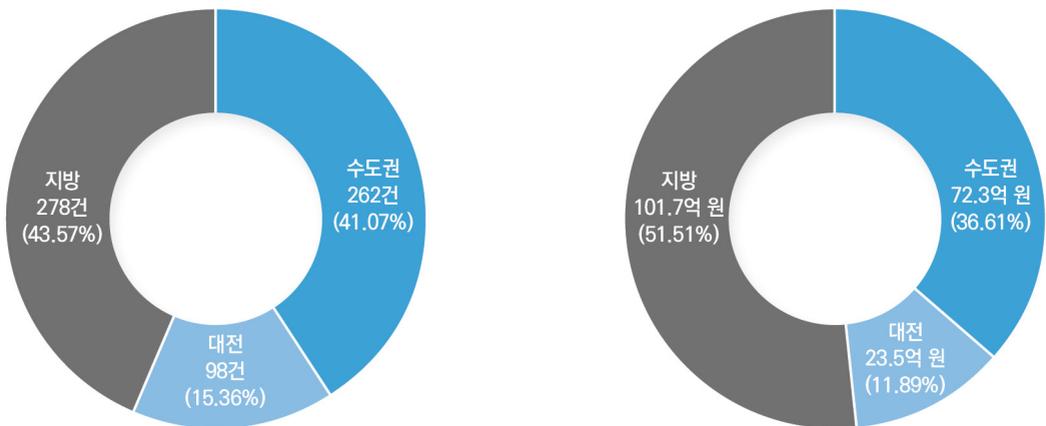
그림 3-22 연구수행주체별 기술료 징수건수(왼쪽) 및 연구수행주체별 기술료 징수액(오른쪽)



■ 지역별 성과

융합기술 R&D 사업 중 기술료 징수건수와 징수액수 모두 지방이 각각 전체의 43.57% (278건), 51.51%(101.7억 원)를 차지하였다.

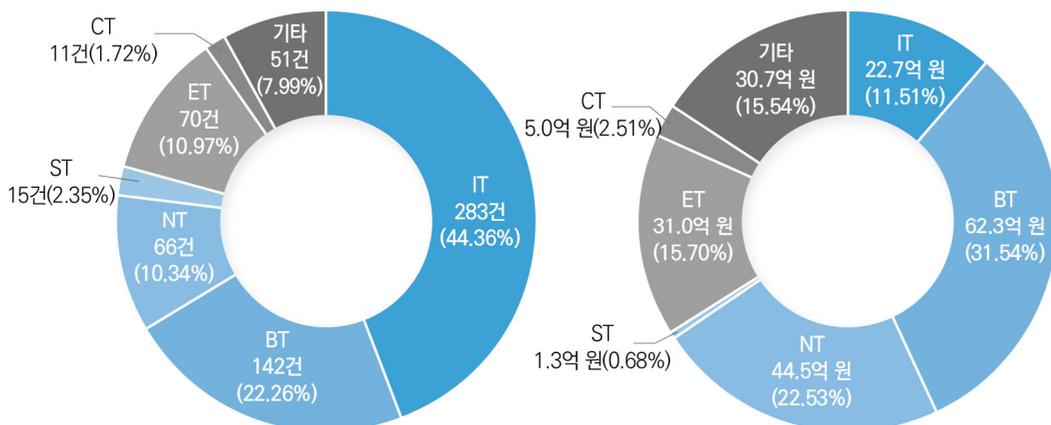
그림 3-23 지역별 기술료 징수건수(왼쪽) 및 지역별 기술료 징수액(오른쪽)



■ 미래유망 신기술(6T) 분야별 성과

융합기술 R&D 사업 중 IT분야가 기술료 징수건수(283건, 44.36%)에서 가장 높은 비중을 차지했으며, 징수액 기준으로는 BT(62.3억 원, 31.54%)가 가장 높은 비중을 차지하였다.

그림 3-24 미래유망 신기술(6T)별 기술료 징수건수(왼쪽) 및 미래유망 신기술(6T)별 기술료 징수액(오른쪽)



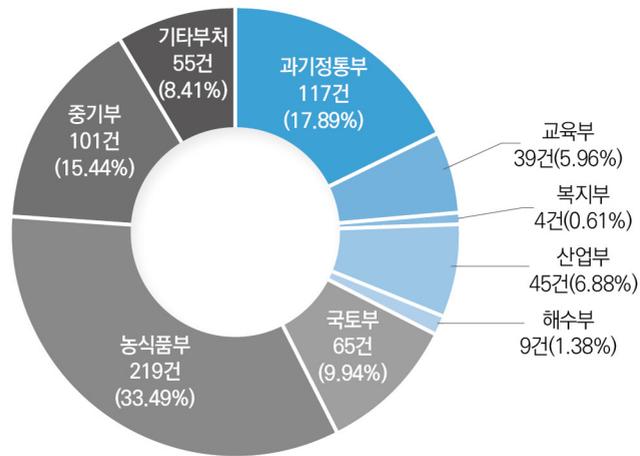
6. 사업화 성과분석

융합기술 R&D 사업의 기술료 성과는 농식품부, 개발연구, 중소기업, 지방, IT 분야에서 주도적으로 배출되었다.

■ 부처별 성과

융합기술 R&D 사업 중 농식품부가 사업화 성과건수(219건, 33.49%)로 가장 높은 비중을 차지하였으며 다음으로 과기정통부(17.89%), 중기부(15.44%) 순으로 나타났다.

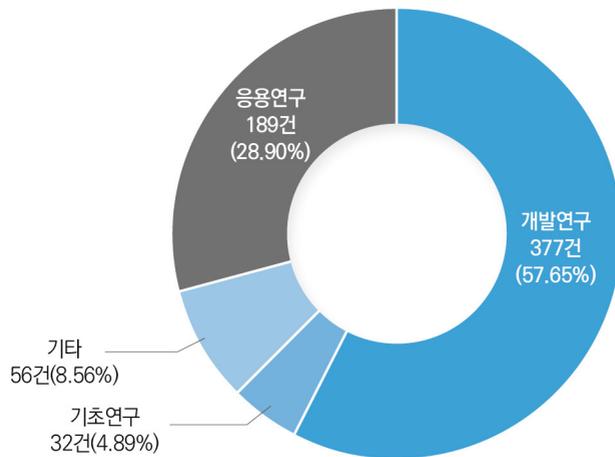
그림 3-25 부처별 사업화 성과건수



■ 연구개발단계별 성과

융합기술 R&D 사업 중 개발연구 단계(377건, 57.65%)에서 사업화 성과건수가 가장 높은 비중을 차지했고, 다음으로 응용연구(189건, 28.90%), 기초연구(32건, 4.89%) 순으로 나타났다.

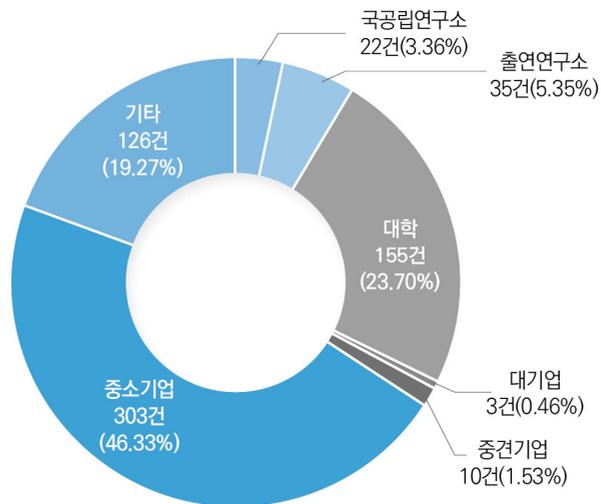
그림 3-26 연구단계별 사업화 성과건수



■ 연구수행주체별 성과

융합기술 R&D 사업 중 중소기업에서 사업화 성과건수(303건, 46.33%)가 가장 높은 비중을 차지하며 사업화 성과를 주도하고 있으며, 다음으로 대학(155건, 23.70%), 출연연구소(35건, 5.35%) 순으로 나타났다.

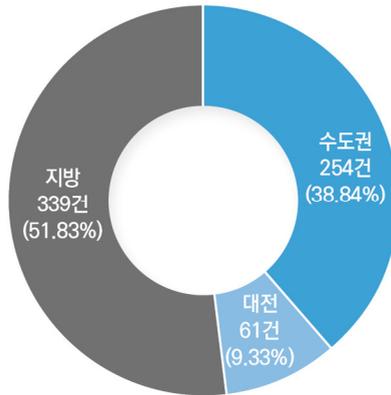
그림 3-27 연구수행주체별 사업화 성과건수



■ 지역별 성과

융합기술 R&D 사업 중 사업화 성과건수의 경우 지방이 전체의 51.83%(339건)를 차지했고 수도권 38.84%(254건), 대전 9.33%(61건)를 차지했다.

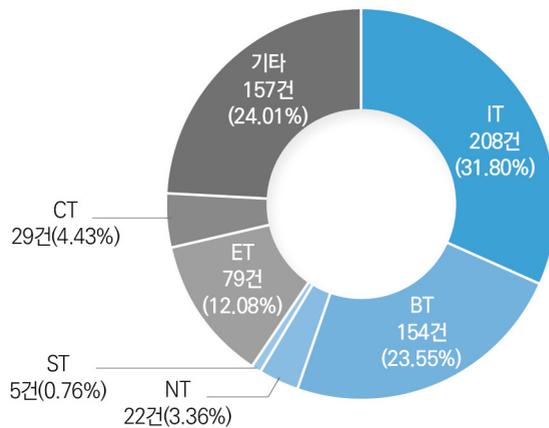
그림 3-28 지역별 사업화 성과건수



■ 미래유망 신기술(6T) 분야별 성과

융합기술 R&D 사업 중 IT 분야의 사업화 성과건수(208건, 31.80%)가 가장 높은 비중을 차지했고, 다음으로 BT(154건, 23.55%), ET(79건, 12.08%), CT(29건, 4.43%) 순으로 나타났다.

그림 3-29 미래유망신기술(6T)별 사업화 성과건수



융합연구 연구자 인식조사

1. 조사 개요

융합연구정책센터에서는 융합연구 활동의 경험이 있는 산·학·연 연구자, 대학(원)생 등을 대상으로 융합연구와 관련된 현장의 목소리와 융합연구의 활성화 방안 의견을 수집해 정책 수립에 반영하고자 ‘융합연구개발 활성화 설문조사’를 실시했다.

1) 조사 설계

조사목적	융합연구개발 활성화 정책 수립을 위한 의견수집
조사대상	산·학·연 연구자, 대학(원)생
조사표본	총 2,223명
조사방법	구조화된 설문지를 이용한 온라인(이메일) 조사
조사기간	2020년 11월 9일 ~ 11월 30일(3주간)

조사내용	
응답자 정보	성, 연령, 소속기관, 전공 분야, 연구경력
융합연구개발 참여 현황	본인의 연구 분야
	기술 분야·학문 분야 간 융합연구에 참여한 경험
	본인이 참여한 융합연구를 함께 수행한 기관
	본인이 수행한 융합연구와 융합한 분야 및 가장 최근에 수행한 융합연구 분야

조사내용	
융합연구개발 참여 현황	융합연구의 성공적 진행 여부 및 이유, 주제
	융합연구 시작 시기 및 연도
	융합연구 지속적 시도 여부 및 이유, 융합연구가 지속되기 위해 필요한 사항
	융합연구의 원활한 수행을 가로막는 가장 큰 문제점
	융합연구 과제를 기획하면서 느끼게 되는 문제점
	융합연구 과제를 실제 수행하면서 겪게 되는 어려움·문제점
	융합연구 과제의 평가과정에서 느꼈던 어려움
	융합연구의 목표를 달성하고 시너지를 창출하기 위해 필요한 융합의 형태
	융합연구의 성과 활용을 확대하기 위해 우선적으로 필요한 것
융합연구를 활성화하기 위해 우선적으로 개선이 필요한 사항	
융합연구에 대한 인식	현재 우리나라 융합연구의 전반적인 활성화 수준
	해외 주요국과 비교하여 현재 우리나라 융합연구의 전반적인 활성화 수준
	전년도와 대비해 현재 우리나라 융합연구의 전반적인 활성화 수준
	본인의 연구 분야에서 우리나라 융합연구의 전반적인 활성화 수준
	연구개발을 성공적으로 수행하고 지속가능한 혁신활동을 하기 위한 융합연구의 필요성
	연구개발을 수행함에 있어 융합연구가 필요한 이유
	우리나라 융합연구의 지속적 확대에 대한 생각
향후 융합연구 계획 및 미래사회에 대비하기 위한 융합연구 분야	향후 융합연구를 희망하는 분야 및 이유
	융합연구의 시너지를 통해 잠재 가능성을 확대할 수 있다고 생각되는 분야
	융합연구를 활성화하기 위한 국가연구개발사업에 대한 필요성
	국가연구개발사업을 추진할 경우 가장 중점적으로 지원할 영역 및 연구단계
	융합연구를 활성화하고자 정책 기반을 강화하기 위해 개선·강화해야 할 사항

2) 응답자 특성

표 3-13 응답자 특성

		사례 수(명)	비율(%)
전체		2,223	100
성별	남자	1,718	77.3
	여자	505	22.7
연령	20대 미만	2	0.1
	20대	222	10.0
	30대	543	24.4
	40대	698	31.4
	50대	526	23.7
	60대	223	10.0
	70대 이상	9	0.4
소속기관	대학	1,385	62.3
	공공연구소(출연연 등)	396	17.8
	기업 및 민간연구소	388	17.5
	기타	54	2.4
전공분류	자연과학	71	3.2
	공학	1,332	59.9
	농학	5	0.2
	의학	23	1.0
	인문사회	745	33.5
	문화예술	21	0.9
	기타	26	1.2
연구경력	1년 미만	43	1.9
	1년 이상, 5년 미만	400	18.0
	5년 이상, 10년 미만	437	19.7
	10년 이상, 15년 미만	384	17.3
	15년 이상, 20년 미만	290	13.0
	20년 이상	669	30.1

2. 주요 조사 결과

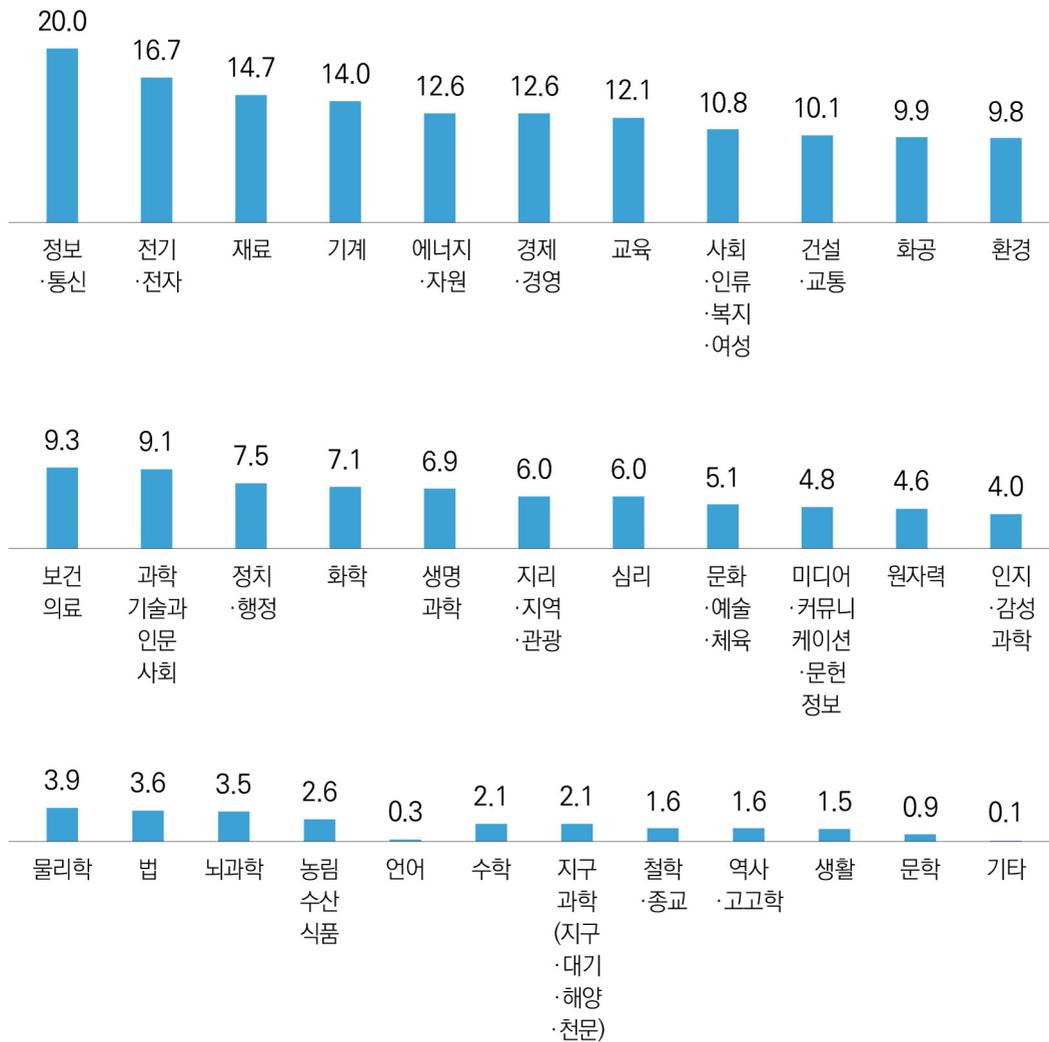
1) 융합연구개발 참여 현황

■ 연구 분야

응답자들의 연구 분야로는 ‘정보·통신’이 20.0%로 가장 높게 나타났다. 다음으로는 ‘전기·전자’(16.7%), ‘재료’(14.7%), ‘기계’(14.0%) 등의 순으로 나타났다.

그림 3-30 응답자 연구 분야

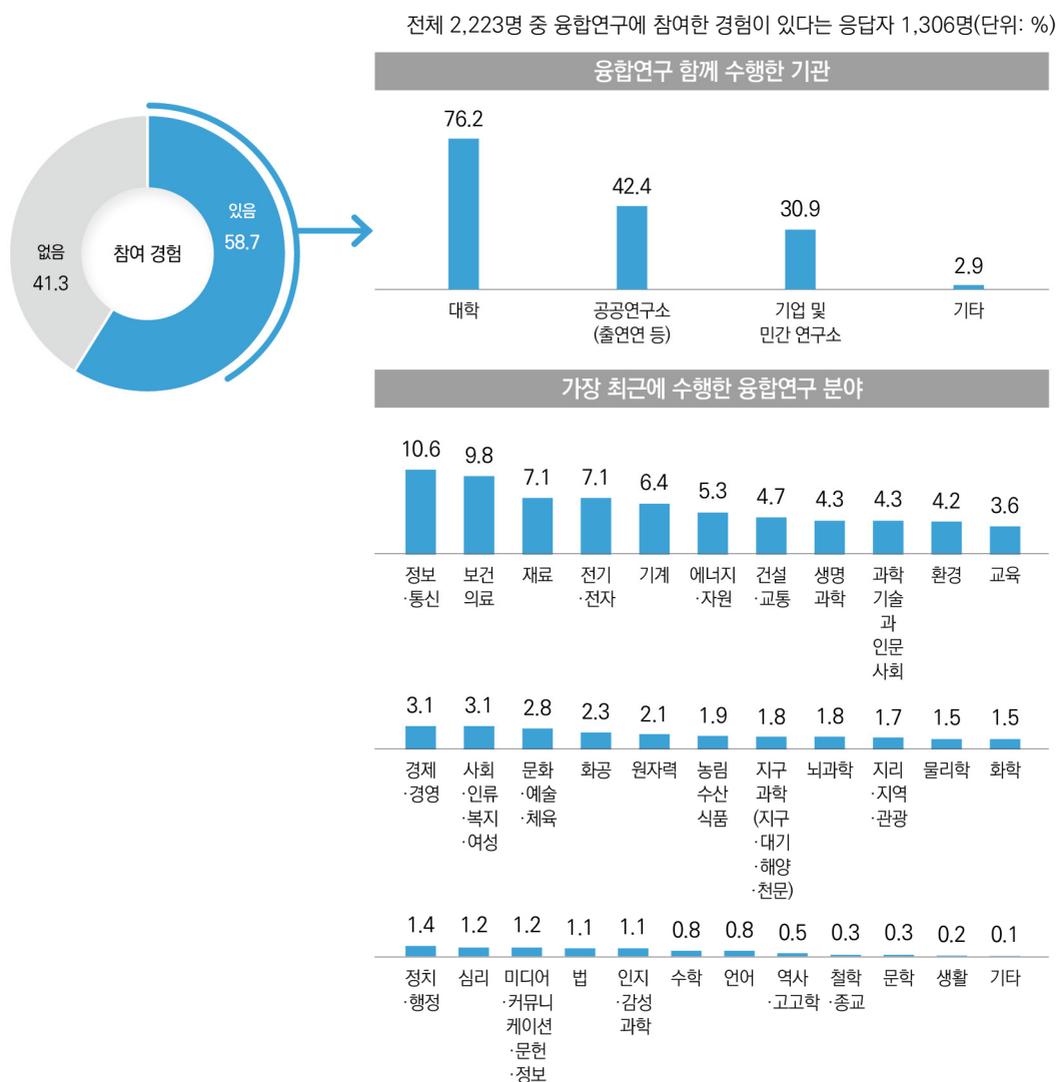
전체 2,223명, 복수응답(단위: %)



■ 기술·학문 분야 간 융합연구 참여 경험

기술·학문 분야 간의 융합연구에 참여한 경험을 분석한 결과, ‘있음’이 58.7%로 ‘없음’ 41.3%보다 높게 나타났다. 융합연구를 함께 수행한 기관으로는 ‘대학’이 76.2%로 가장 높게 나타났으며, 다음으로는 ‘공공연구소(출연연 등)’ 42.4%, ‘기업 및 민간연구소’ 30.9% 순으로 나타났다. 본인이 수행한 융합연구 분야에서 가장 최근에 수행한 융합연구 분야로는 ‘정보·통신’이 10.6%로 가장 높게 나타났으며, 다음으로는 ‘보건·의료’ 9.8%, ‘재료’ 및 ‘전기·전자’ 각 7.1%, ‘기계’ 6.4% 등의 순으로 나타났다.

그림 3-31 기술 분야·학문 분야 간 융합연구에 참여한 경험



* ‘융합연구 함께 수행한 기관’은 복수응답 문항임

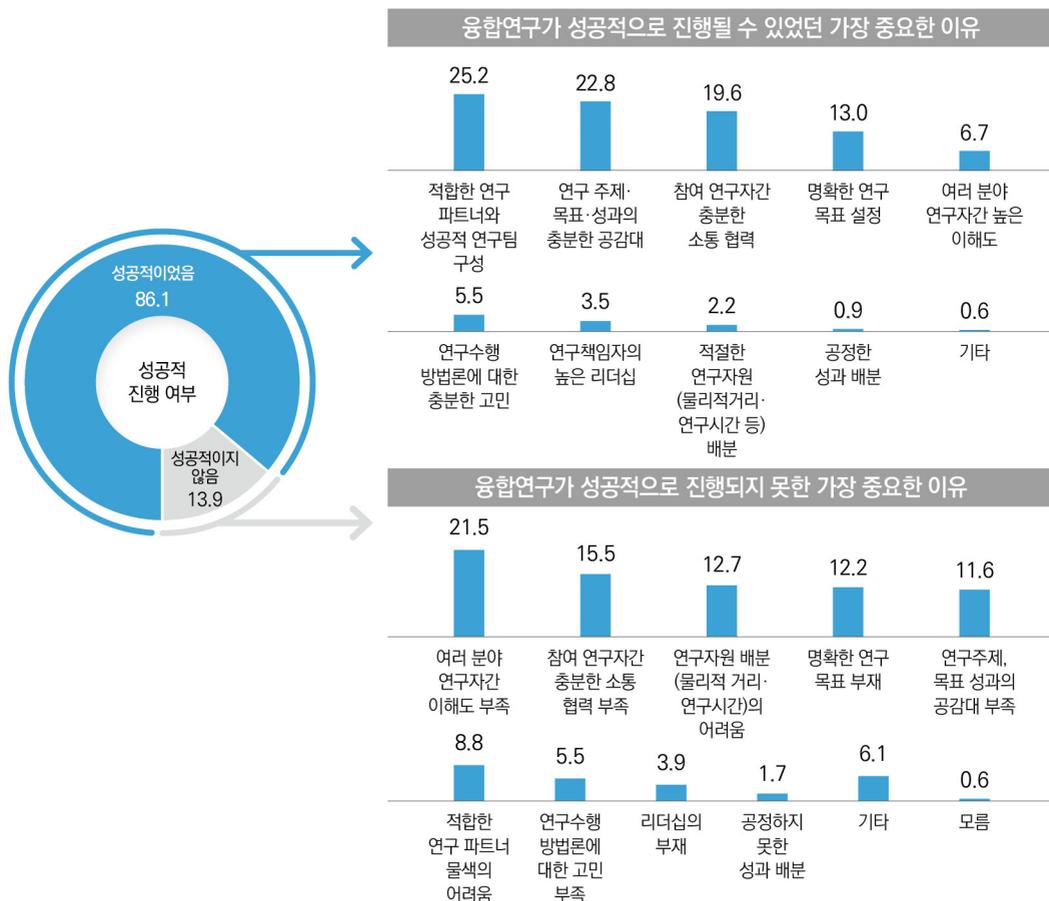
■ 참여한 융합연구의 성공적 진행 여부

참여한 융합연구의 성공적 진행 여부의 분석 결과, '성공적이었음'이 86.1%로 '성공적이지 않음' 13.9%에 대비해 높게 나타났다. 본인이 참여한 융합연구가 성공적으로 진행될 수 있었던 가장 중요한 이유로는 '적합한 연구파트너와 성공적 연구팀 구성'이 25.2%로 가장 높게 나타났으며, 그다음으로는 '연구주제·목표·성과의 충분한 공감대'가 22.8%, '참여연구자 간 충분한 소통·협력'이 19.6%로 나타났다.

본인이 참여한 융합연구가 성공적으로 진행되지 못한 가장 중요한 이유로는 '여러 분야 연구자 간 이해도 부족'이 21.5%, '참여연구자 간 충분한 소통 협력 부족'이 15.5%로 높게 나타났다.

그림 3-32 참여한 융합연구의 성공적 진행 여부

융합연구에 참여한 경험이 있다는 응답자 1,306명 중
 참여한 융합연구가 성공적으로 진행된 응답자 1,125명,
 참여한 융합연구가 성공적으로 진행되지 못한 응답자 181명(단위: %)

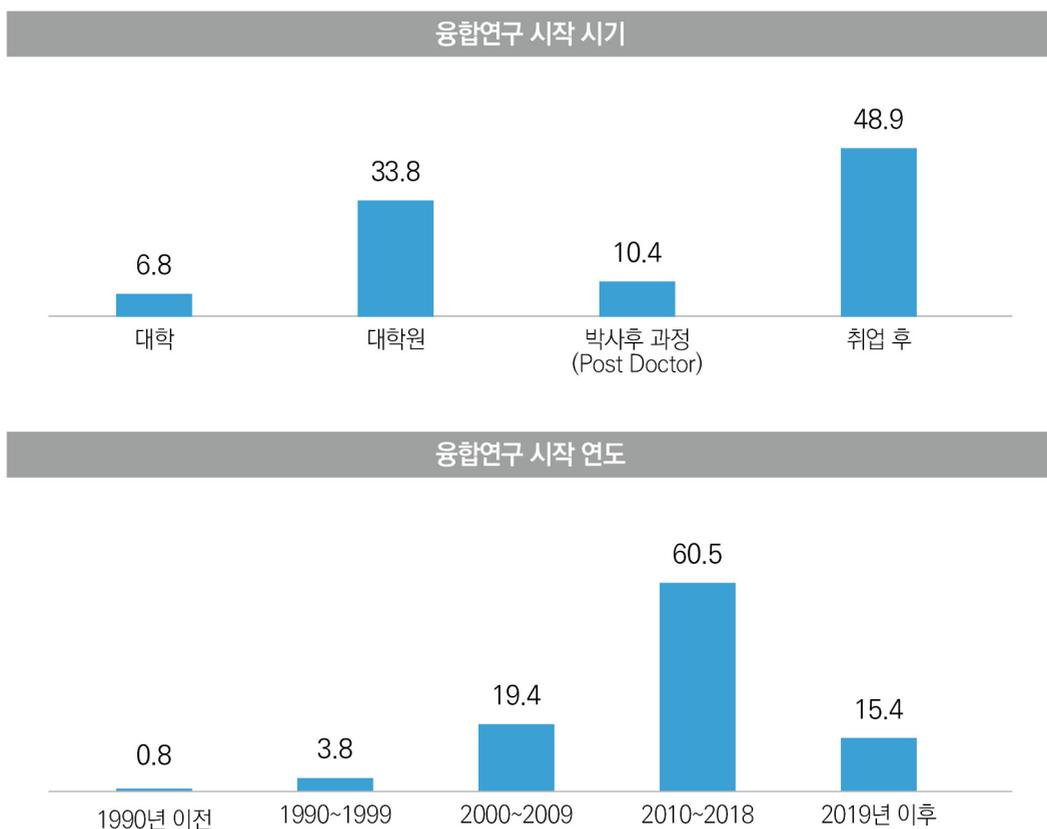


■ 융합연구 시작 시기

융합연구 시작 시기로는 ‘취업 후’가 48.9%로 가장 높게 나타났으며, 다음으로는 ‘대학원’이 33.8%, ‘박사 후 과정’이 10.4%, ‘대학’이 6.8%로 각각 나타났다. 융합연구 시작 연도로는 ‘2010~2018년’이 60.5%로 가장 높게 나타났으며, 다음으로는 ‘2000~2009년’ 19.4%, ‘2019년 이후’ 15.4%, ‘1990~1999’ 3.8% 순으로 나타났다.

그림 3-33 융합연구 시작 시기

융합연구에 참여한 경험이 있는 응답자 1,306명(단위: %)

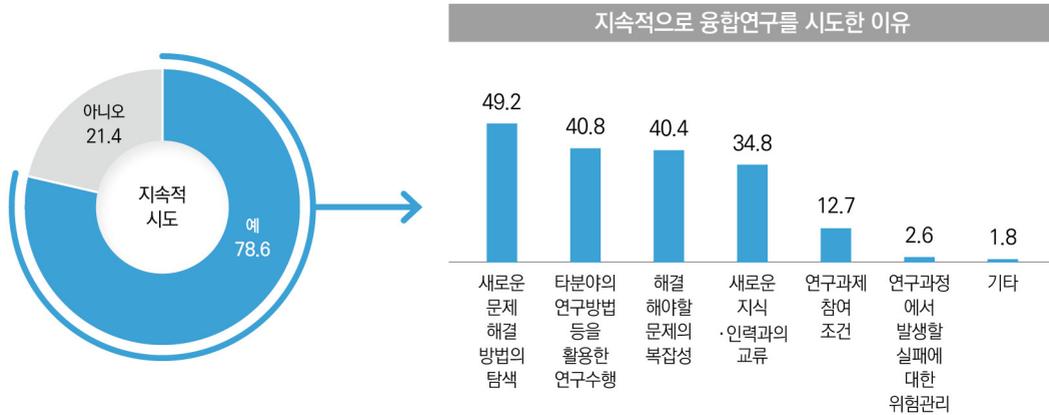


■ 융합연구 지속적 시도 여부

융합연구의 지속적 시도 여부를 분석한 결과, ‘예’가 78.6%로 ‘아니오’ 21.4%에 대비해 높게 나타났다. 지속적으로 융합연구를 시도한 이유로는 ‘새로운 문제해결 방법의 탐색’이 49.2%로 가장 높게 나타났으며, 다음으로는 ‘타 분야의 연구 방법 등을 활용한 연구수행’ 40.8%, ‘해결해야 할 문제의 복잡성’ 40.4% 등의 순으로 나타났다.

그림 3-34 융합연구 지속적 시도 여부

융합연구에 참여한 경험이 있는 응답자 1,306명 중
지속적으로 융합연구를 시도한 응답자 1,026명(단위: %, 복수응답)



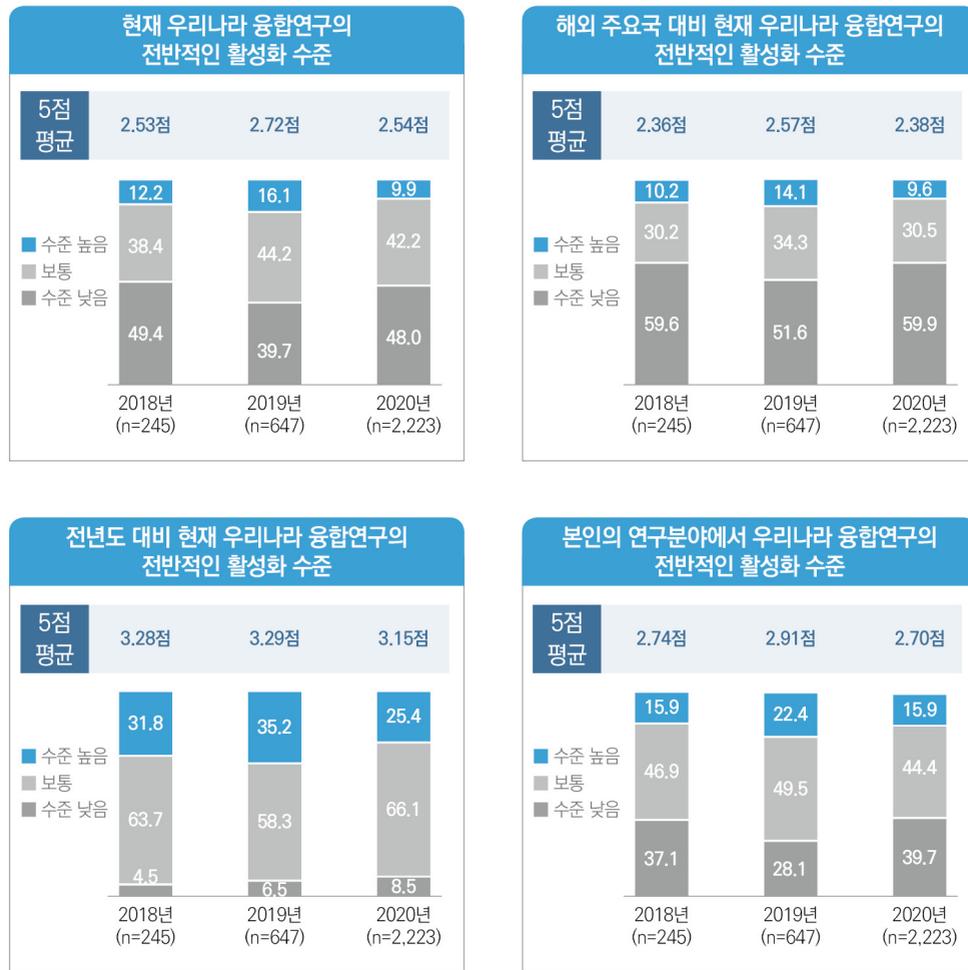
2) 융합연구에 대한 인식

■ 우리나라 융합연구의 전반적인 활성화 수준

우리나라 융합연구의 전반적인 활성화 수준을 분석한 결과, ‘수준 낮음’이 48.0%로 ‘수준 높음’ 9.9%에 대비해 높게 나타났다(5점 평균 점수: 2.54점). 해외 주요국에 비해 현재 우리나라 융합연구의 전반적인 활성화 수준을 분석한 결과는 ‘수준 낮음’이 59.9%로 ‘수준 높음’ 9.6%에 대비해 높게 나타났다. 반면 전년도에 비해 현재 우리나라 융합연구의 전반적인 활성화 수준을 분석한 결과 ‘수준 높아짐’이 25.4%로 ‘수준 낮아짐’ 8.5%에 대비해 높게 나타났다. 본인의 연구 분야에서 우리나라 융합연구의 전반적인 활성화 수준을 분석한 결과는 ‘수준 낮음’이 39.7%로 ‘수준 높음’ 15.9%에 대비해 높게 나타났다.

그림 3-35 우리나라 융합연구의 전반적인 활성화 수준

전체 2,223명(단위: %)

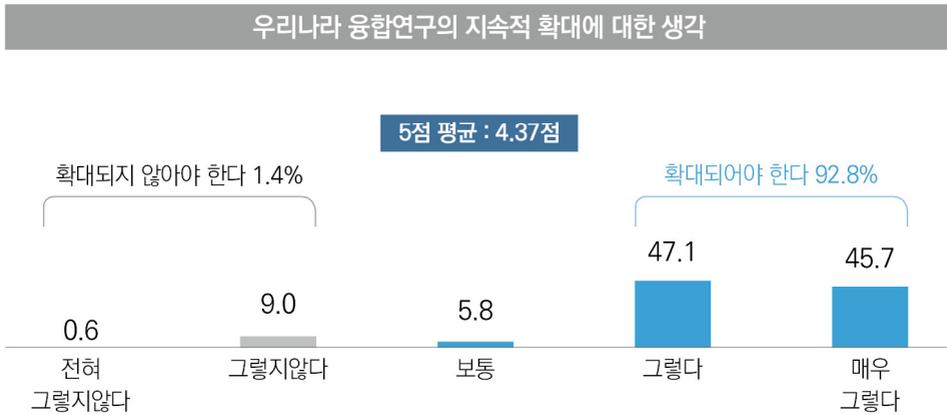
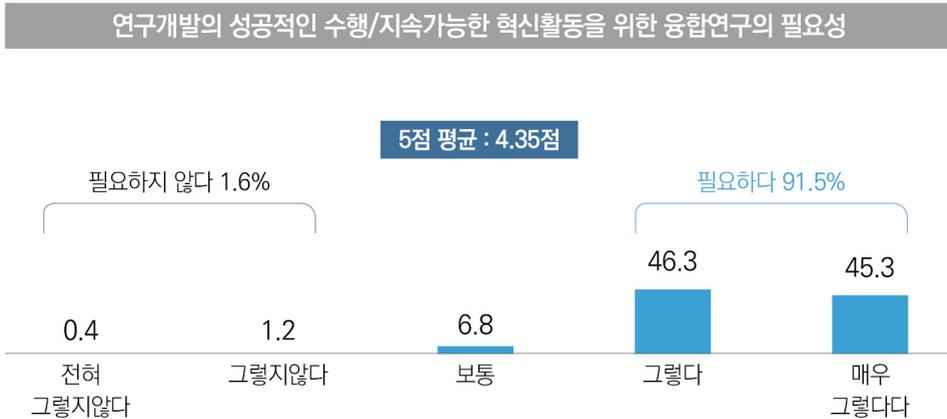


■ 융합연구의 필요성 및 융합연구 지속적 확대에 대한 생각

연구개발의 성공적인 수행 및 지속가능한 혁신활동을 위한 융합연구의 필요성을 분석한 결과, '필요하다'가 91.5%로 '필요하지 않다' 1.6%에 대비해 높게 나타났다. 우리나라 융합연구의 지속적 확대에 대한 생각을 분석한 결과는 '확대되어야 한다'가 92.8%로 '확대되지 않아야 한다' 1.4%에 대비해 높게 나타났다.

그림 3-36 융합연구의 필요성 및 융합연구 지속적 확대에 대한 생각

전체 2,223명(단위: %)



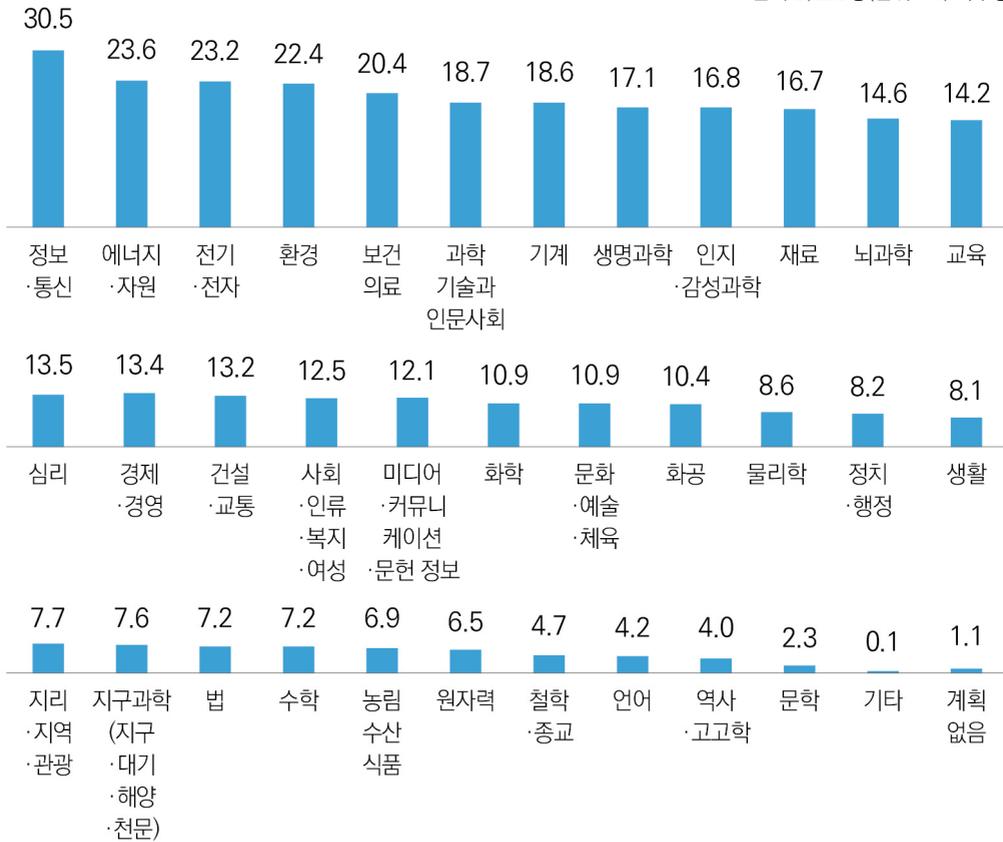
3) 향후 융합연구 계획

■ 향후 융합연구를 희망하는 분야

향후 융합연구를 희망하는 분야로는 '정보·통신'이 30.5%로 가장 높게 나타났다. 다음으로는 '에너지·자원' 23.6%, '전기·전자' 23.2%, '환경' 22.4% 등의 순으로 나타났다.

그림 3-37 향후 융합연구를 희망하는 분야

전체 2,223명(단위: %, 복수응답)



■ 융합연구 잠재 분야

단일분야 연구가 아니라 융합연구의 시너지를 통해 잠재 가능성을 확대할 수 있는 분야로는 ‘AI’, ‘환경’, ‘에너지·자원’ 등의 의견이 나타났다.

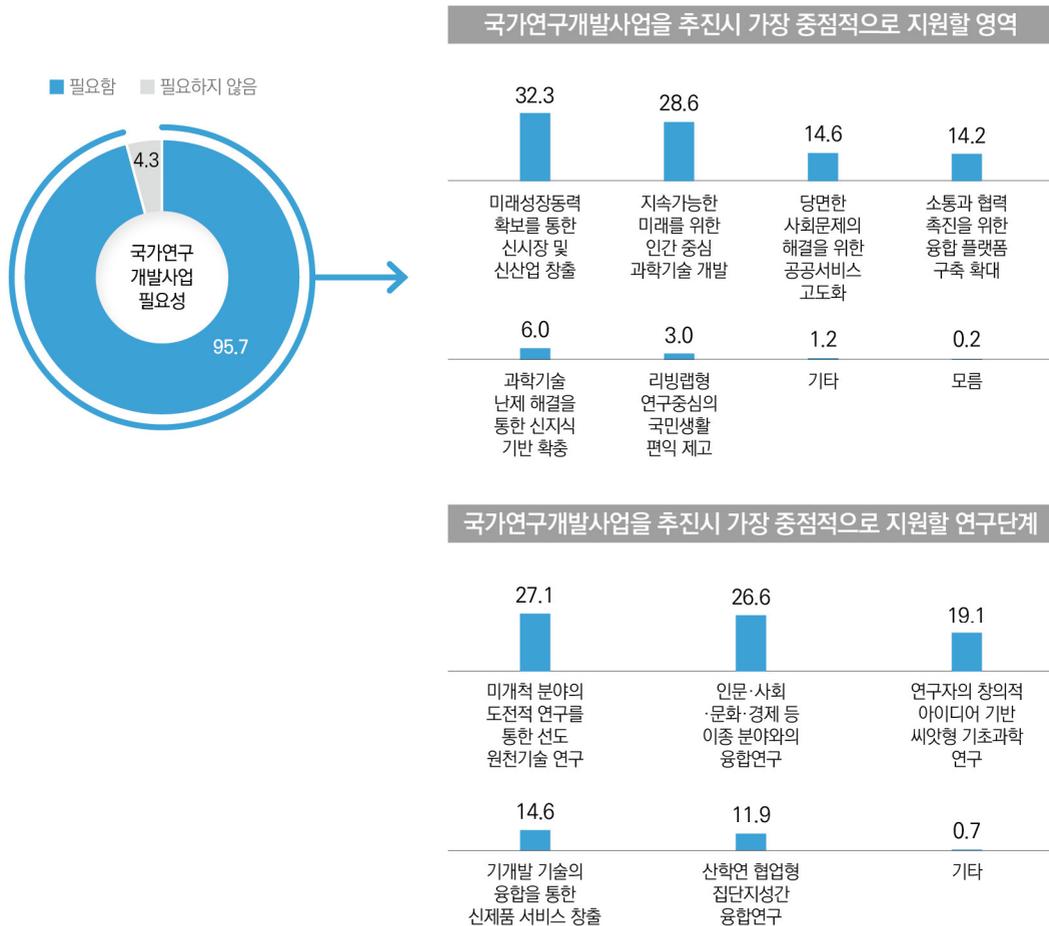
AI(3.1%)	사회문제 해결형 연구(0.4%)
환경(2.1%)	기계(0.4%)
에너지·자원(1.3%)	기후변화 대응기술(0.4%)
교육분야(1.2%)	보건·의료 분야(0.4%)
뇌과학(1.1%)	정보·통신(0.4%)
의료분야(1.0%)	전기·전자(0.4%)
어떤 분야든지 가능(0.8%)	기후변화(0.4%)
심리와외 융합연구(0.7%)	생명과학(0.4%)
빅데이터(0.6%)	헬스케어(0.4%)
재난·안전(0.6%)	사회문제 해결(국민생활환경 개선 등) 분야(0.4%)
바이오 분야(0.5%)	건설 및 건축 분야(0.4%)
스마트 시티 관련(0.5%)	공학분야와 인문 및 사회분야의 협력(0.4%)

■ 융합연구를 활성화하기 위한 국가연구개발사업의 필요성

융합연구를 활성화하기 위한 국가연구개발사업 필요성을 분석한 결과, ‘필요함’이 95.7%로 ‘필요하지 않음’ 4.3%에 대비해 높게 나타났다. 국가연구개발사업 추진 시 가장 중점적으로 지원할 영역으로는 ‘미래성장동력 확보를 통한 신시장 및 신산업 창출’이 32.3%로 가장 높게 나타났으며, 다음으로는 ‘지속가능한 미래를 위한 인간 중심 과학기술 개발’ 28.6%, ‘당면한 사회문제를 해결하기 위한 공공서비스 고도화’ 14.6% 등의 순으로 나타났다. 또한 국가연구개발사업 추진 시 가장 중점적으로 지원할 연구단계로는 ‘미개척 분야의 도전적 연구를 통한 선도 원천기술 연구’가 27.1%로 가장 높게 나타났으며, 다음으로는 ‘인문·사회·문화·경제 등 이종 분야와의 융합연구’ 26.6%, ‘연구자의 창의적 아이디어 기반 씨앗형 기초과학 연구’ 19.1% 등의 순으로 나타났다.

그림 3-38 융합연구를 활성화하기 위한 선도시범사업의 필요성

전체 2,223명 중 국가연구개발사업이 필요하다고 생각하는 응답자 2,128명(단위: %, 복수응답)



제4장

융합 메가트렌드

이 장에서는 2020년을 관통하는 6개의 사회 트렌드와 4개의 기술 트렌드를 통해 융합 메가트렌드를 제시한다. 기술 트렌드 관련 보고서 문헌분석과 2020년 NTIS 연구과제 분석을 통해 사회·기술 트렌드와 주요 융합연구 테마를 도출했다.

제1절 개요

1. 배경 및 필요성
2. 범위 및 주요 내용

제2절 2020년도 융합 메가트렌드

1. 사회 트렌드
2. 기술 트렌드

제3절 주요 융합연구테마

1. 선정 과정
2. 융합연구테마별 주요 내용

Chapter

04

1. 배경 및 필요성

2020년은 그간 지속되어 온 고령화 및 저출산, 기후변화 및 환경파괴, 도시화 등 기존의 사회적 난제에 더해 코로나-19라는 전 인류적 사건이 본격화된 해였다. 이에 따라 급격한 디지털 전환, 비대면 사회 확산 등 전혀 다른 사회·경제적 양상을 경험하게 되었고, 기존의 사회적 문제보다 더 높은 차원의 해결책이 필요하게 되었다. 복합적인 사회적 난제의 해결이라는 목적을 지니고 분야를 초월하는 협력과 융합이 중요해지고 있다.

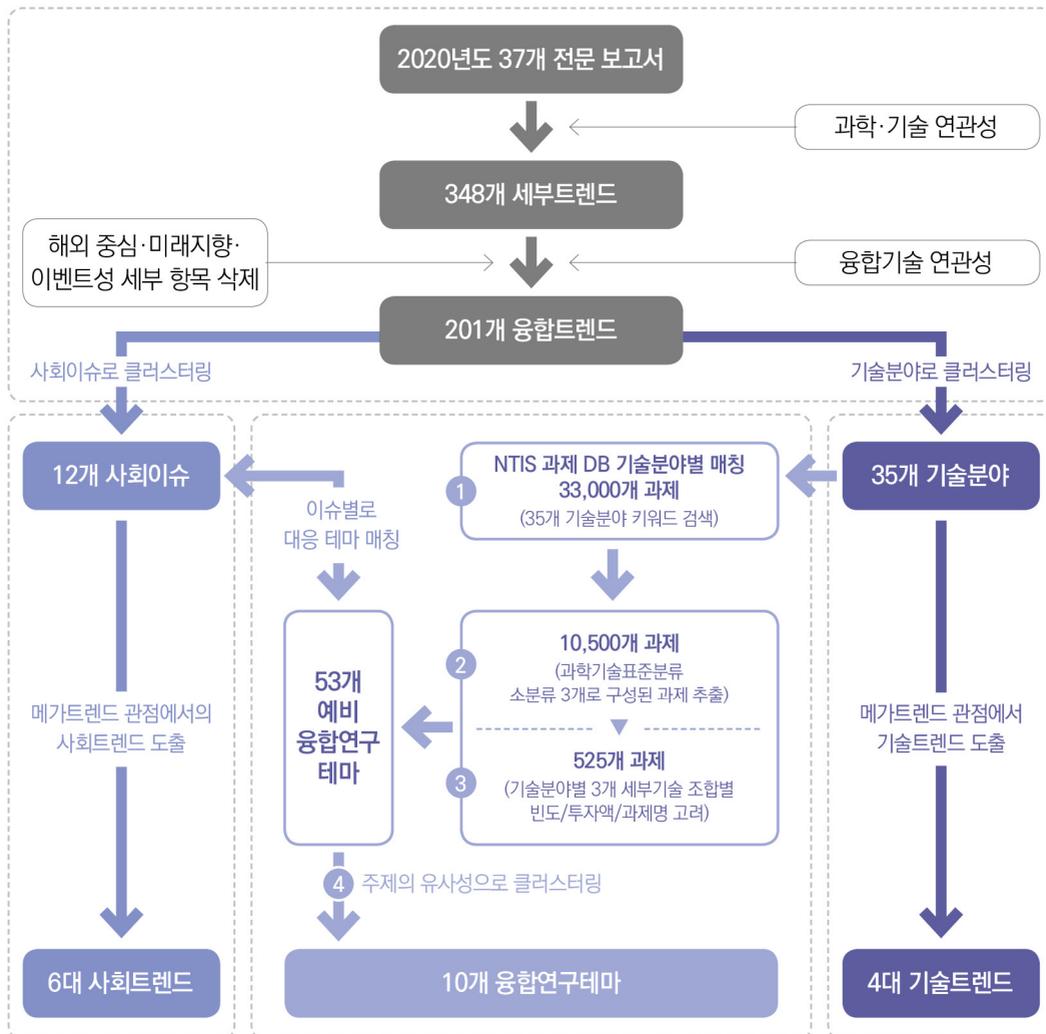
본 연감은 작년 한 해를 관통했던 사회 트렌드와 기술 트렌드를 조망하고, 대표적인 융합연구테마를 소개하고자 한다. 융합 메가트렌드를 통해 매해 반복되는 고령화, 기후변화, 도시화, 개인화 등 대표적인 사회 트렌드의 흐름과 이에 대응하는 과학·기술적 조류를 살펴보고 2020년의 대표적인 융합연구가 이루어진 사회·과학·기술 맥락을 제시하고자 한다. 또한, 2020년을 강타했던 코로나-19가 초래한 사회·기술적 영향을 살펴보고 향후 변화 방향을 전망해보고자 한다. 이번 연감은 특히 사회 트렌드의 명칭이 해당 해의 사회상을 반영하도록 했다. 예를 들어, ‘고령화’는 ‘고령화와 저출산의 가속화’로, ‘도시화’는 ‘수도권 거대화’ 등으로 일부 명칭을 변경했다. 기술 트렌드도 마찬가지로 ‘데이터 기반 지능 고도화’, ‘그린테크 저변 확대’ 등 추세의 변화를 반영했다. 끝으로 융합연구테마는 2020년 이후에 전문기관 보고서에서 빈출된 기술 키워드를 기반으로 NTIS 연구개발 과제분석을 수행하여 도출했고, 이를 편찬위원회 전문가 회의를 통해 최종 선정했다.

본 장에서는 2020년을 지배한 융합 메가트렌드를 사회와 기술적 관점에서 살펴보고, 이와 연결되는 대표적인 융합연구테마를 소개하고자 한다.

2. 범위 및 주요 내용

사회 난제 및 과학기술과 연관된 메가트렌드를 파악하기 위해 국제기구, 컨설팅업체, 연구원 등 전문기관에서 발간한 37개 보고서를 기반으로 한 정성분석과 NTIS 연구개발 과제분석을 수행했다. 또한, 편찬위원회의 전문가들과 6차례 회의를 진행하여 분석 결과를 점검했다. 이렇게 도출된 메가트렌드를 기반으로 융합연구의 방향성과 10개의 융합연구 테마를 제시했다. 상세한 분석 절차는 다음과 같다.

그림 4-1 융합 메가트렌드 및 융합연구테마 선정 과정



* 상세한 분석 절차는 [부록 4] 참조

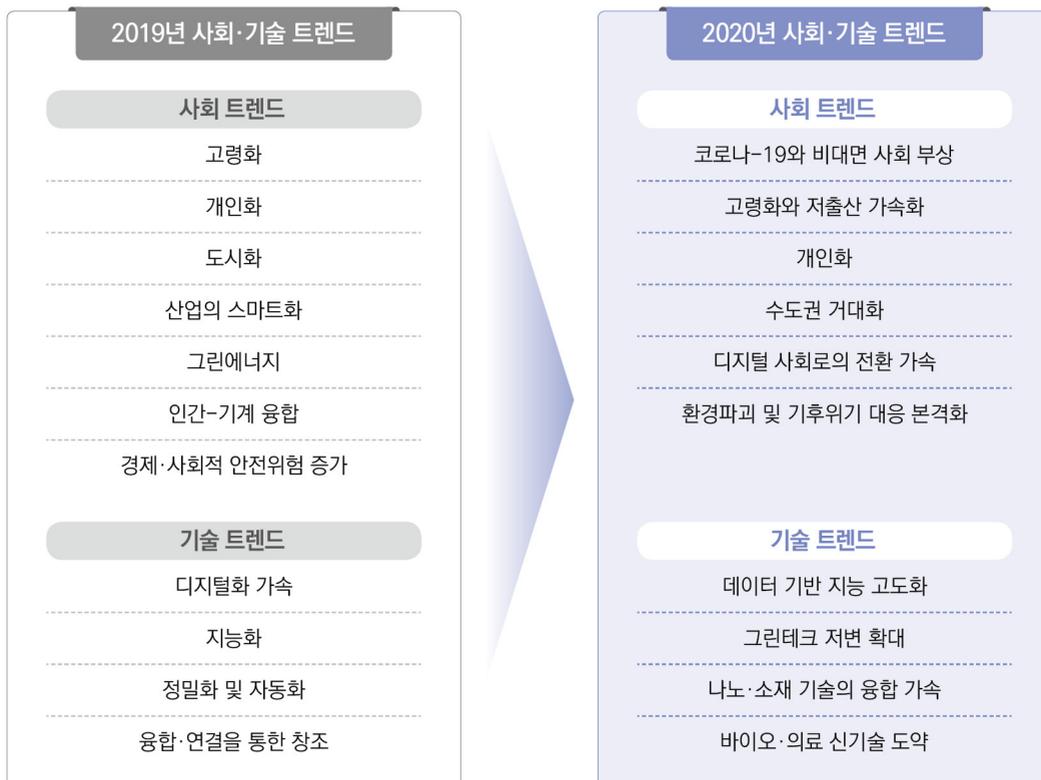
■ STEP1: 전문기관 보고서 분석

- 국내외 과학기술 관련 전문문헌을 기반으로 메타분석을 하여 트렌드 조사
- 과학기술과의 연관성을 통해 348개의 세부트렌드 도출
- 348개 세부트렌드 중 해외중심적, 미래지향적, 이벤트성 세부 항목 삭제
- 융합기술과의 연관성을 통해 201개 융합트렌드 도출

■ STEP2: 사회·기술 트렌드 도출

- 201개 융합트렌드를 12개 사회이슈로 클러스터링
- 12개 사회이슈를 메가트렌드 관점에서 6대 사회 트렌드로 도출
- 201개 융합트렌드를 35개 기술분야로 클러스터링
- 35개 기술분야를 메가트렌드 관점에서 4대 기술 트렌드로 도출

그림 4-2 2019년 대비 2020년도 메가트렌드의 변화



STEP3: 융합연구테마 도출

- 35개 기술분야를 2020년 NTIS 연구개발 과제 정보에 검색
- 33,000여 개 과제 중 과학기술표준분류 소분류 3개로 구성된 과제만 10,500개 추출
- 기술분야별 3개 세부기술 조합별 빈도, 투자액, 과제명 고려하여 53개 예비 융합연구테마 도출
- 53개 예비 융합연구테마를 주제의 유사성으로 클러스터링하여 10개 최종 융합연구테마 선정

그림 4-3 2019년 대비 2020년도 융합연구테마의 변화



2020년도 융합 메가트렌드

1. 사회 트렌드

- | | |
|----------------------|-----------------------|
| 1) 코로나-19와 비대면 사회 부상 | 4) 수도권 거대화 |
| 2) 고령화와 저출산 가속화 | 5) 디지털 사회로의 전환 가속 |
| 3) 개인화 | 6) 환경파괴 및 기후위기 대응 본격화 |

1) 코로나-19와 비대면 사회 부상

코로나-19 팬데믹 이후, 학계에서는 지구온난화와 같은 환경변화 등의 영향으로 신종 감염병이 4~5년 주기로 반복해서 유행하는 감염병이 일상화되는 사회로 전환될 것으로 전망하고 있다.³⁰⁾ 감염병의 역사를 살펴보면, 유럽의 과거 14세기 흑사병에서부터 20세기 초반의 스페인 독감까지 인류역사상 여러 차례의 전염병이 확산되어 왔으며, 실제 세계 보건기구(WHO)는 이미 '21세기는 전염병의 시대'로 규정한 바 있다.³¹⁾ 실제 감염병은 가까운 장래에 더욱 확대될 것이며, 현재의 코로나-19 바이러스에 대한 면역력이 백신을 통해 2년간 유지되어도 2024~25년 다시 급증할 가능성이 있을 것으로 전망하고 있다.

그림 4-4 전 세계 전염병 발생 타임라인



30) 복지타임즈. (2020.6). 코로나19 '뉴노멀' 시대, 재난의 일상화와 복지 서비스 재구조화, <http://asq.kr/L7fOCcOUbwDt4x>.

31) 건강보험심사평가원. (2020). 인류와 함께 공존해온 감염병, HIRA ISSUE vol.12, <http://repository.hira.or.kr/handle/2019.oak/2251>.

코로나-19 팬데믹의 장기화로 인한 전 국민의 대응과정에서 이동금지, 사회적 거리두기 등으로 불가피하게 비대면 접촉 기반의 원격근무가 일상이 되었고, 쇼핑과 금융서비스도 온라인과 모바일로 해결하게 되었다. 즉, 코로나-19 팬데믹이라는 상황은 우리 경제·사회를 반강제적으로 비대면 사회로 급속도로 돌입하게 만들었으며, 이러한 추세는 포스트 코로나 시대에도 지속할 것으로 보인다.

실제 코로나-19 감염병 예방 목적으로 한시적 조치로 도입되었던 원격근무 및 재택근무는 팬데믹이 장기화될 가능성이 커짐에 따라 정상적 근무 형태로 빠르게 자리 잡을 것으로 예상된다. 이에 따라 향후 일자리와 노동구조에 새로운 변화가 가증될 것으로 전망되고 있다. 이와 함께 원격근무가 대기업 및 고임금 직종을 중심으로 도입될 것으로 예상되어 노동구조에 새로운 불평등 발생 등에 대한 우려 또한 높아지고 있다. 실제 클린턴 정부에서 노동부 장관을 역임한 로버트 라이시는 코로나-19 팬데믹으로 네 가지 계층이 생길 것이며 제1계층은 전문, 관리 지식 인력 등 원격근무가 가능한 노동인구로 다른 세 개의 계층과 비교하면 더 나은 삶의 질을 누린다고 주장한 바 있다.³²⁾

또한 코로나-19 팬데믹은 우리 삶과 가장 밀접한 영역인 소비에 커다란 변화를 몰고 오고 있다. 코로나-19 팬데믹 대응과정에서의 접촉 포비아 현상으로 인해 오프라인 공간에서 직접 쇼핑을 하기보다는 좀 더 안전하고 편리한 온라인 쇼핑이 선호되고 있다. 여기서 새로운 것은 온라인으로의 변화 그 자체가 아니라 최첨단 기술이 소비와 삶의 방식을 변화시키면서 '시간'에 대한 관점을 바꾸고 있다는 점이다. 사람들은 이동시간이 드는 오프라인 활동을 불편하고 수고롭다고 느끼게 되었다. 이에 따라 언택트와 편의성으로 집약되는 소비 트렌드로의 이동이 급격히 진행될 전망이며,³³⁾ 이러한 경험은 향후 언택트 라이프스타일을 지속시킬 관성으로 작용할 것으로 예측된다.

코로나-19 팬데믹은 인간관계에도 큰 변화와 영향을 미칠 것으로 예측된다. 코로나-19 대응과정에서 바이러스에 감염된 사람뿐 아니라 감염되지 않은 건강한 사람에게도 사회적 불안감 및 개인화 지속으로 인해 우울증 등 심각한 심리적 영향을 미치고 있다. 사람들은 일상생활에서의 신체활동, 스트레스·불안관리 등 신체적·정신적 건강 유지·관리에 집중하는 경향성이 확대되는 추세이다. 실제 사람 간 전파를 통해 바이러스에 감염될 수 있다는 사실은 접촉 포비아와 같은 일반적인 사회회피 행동³⁴⁾을 유발하며, 이는 사람들로 하여금 기존의 사회적 유대관계를 유지하기 위해 사용하던 인터넷과 소셜 네트워크 등에 더욱

32) Reich. (2020.4.26.). Covid-19 pandemic shines a light on a new kind of class divide and its inequalities, Opinion, The Guardian.

33) 한겨레. (2021.1.14.), https://www.hani.co.kr/arti/economy/economy_general/978698.html.

34) Mortensen et al. (2020). Infection breeds reticence: The effects of disease salience on self-perceptions of personality and behavioral avoidance tendencies, Psychological Science, 21(3).

의존하게 하고, 심리적 차원의 자의적 고립을 강화하여 인간관계에 새로운 거리를 형성할 것이다. 이러한 사이버 관계망에 대한 의존성 증가로 외롭고 고립된 심리상태는 더욱 심화될 것이며, 개인화 트렌드는 더욱 강화시킬 것으로 예상된다.³⁵⁾

또한, 비대면 사회가 일상화되면서, 도시기능과 이동, 공간의 활용에도 대대적 전환이 이루어질 것으로 전망된다. 실제 생활권은 도심지에서 주거지로 축소되고, 감염병 대응에 유연한 공간으로써의 도시기능에 대한 수요가 높아질 것으로 보인다.³⁶⁾ 포스트 코로나 시대와 밀레니얼 세대, 4차 산업혁명과 맞물려 초연결, 초지능, 초산업사회가 급물살을 타면서 공간의 기능과 경계가 빠르게 허물어질 것으로 전망된다. 대표적으로 안전과 건강, 보건, 위생 기능이 최우선 적용될 것이며, 상업, 주거, 공용공간 기능이 유기적으로 결합되면서 일하고, 쉬고, 함께 이용하는 공간효율이 높은 초소형 주거, 초소형 업무 공간들을 선호하게 될 것이다.³⁷⁾

2) 고령화와 저출산 가속화

인구구조의 변화, 고령화문제는 저출산 및 기대수명 증가로 인해 과거부터 지속적으로 전세계적으로 발생하는 추세이다. 2020년 세계 총인구수는 약 77억 9,500만 명으로 65세 이상의 고령자 비중은 9.3%, 우리나라의 경우 15.7%이다.³⁸⁾ 고령 인구 비중은 점차 빠른 속도로 증가하여 2040년에는 전세계 인구의 14.1%가, 2067년에는 전 세계 인구의 약 18.6%에 이를 것으로 전망된다.³⁹⁾ 특히, 우리나라의 경우, 고령 인구 비중은 2040년 33.9%, 2067년 46.5%로 전 세계에서 가장 빠른 속도로 초고령화 사회로 진입할 것으로 전망된다. 실제 2020년 기준 우리나라의 경우 0~14세 인구 구성 비율은 12.5%로 세계 평균인 25.4%의 절반인 동시에 우리나라보다 낮은 국가는 일본 12.34%, 싱가포르 12.3%뿐이며 한국보다 출산율이 낮은 국가는 없는 것으로 나타났다.⁴⁰⁾

35) ETRI. (2020). 코로나 이후 글로벌 트렌드 -완전한 디지털 사회-

36) <https://www.econovill.com/news/articleView.html?idxno=524552>.

37) <https://www.ikld.kr/news/articleView.html?idxno=230859>.

38) UNFPA 보도자료. (2020). 2020 세계인구현황보고서,

http://www.ppfk.or.kr/sub/data/report_material.asp?mode=view&bid=9&s_type=&s_keyword=&s_cate=&idx=29752&page=1.

39) 통계청 보도자료. (2019.9.2.). 2019년 장래인구특별추계를 반영한 세계와 한국의 인구현황 및 전망.

40) 국제연합인구기금(UNFPA). (2020.6). 2020 세계인구현황 보고서, <http://asq.kr/sV5yX6gaSKLMcr>.

표 4-1 세계와 한국의 고령인구 비율 변화

	2020년	2040년	2067년
세계 [%]	9.3	14.1	18.6
한국 [%]	15.7	33.9	46.5

출처: 인구보건복지협회 보도자료. (2020.6). 2020 세계인구현황보고서

통계청 보도자료. (2019.9.2.). 2019년 장래인구특별추계를 반영한 세계와 한국의 인구현황 및 전망.

이로 인해, 주요 선진국이 65세 이상 인구 비중이 7~24%인 고령화 사회로 진입하는 데 평균 45년 소요된 것에 비해 우리나라는 2017년 고령사회에 진입하는 데 17년이 소요되었다. 또한, 향후 고령사회에서 65세 이상 인구 비중이 20% 이상인 초고령사회로 진입하는 데 주요 선진국은 약 30년이 소요될 것으로 예상하나, 우리나라는 2025년 초고령사회에 진입할 것으로 예상하여 그 진전속도가 매우 빠를 것으로 전망되고 있다.⁴¹⁾

표 4-2 주요 국가별 인구고령화의 진전 속도

구분	도달연도			소요연수	
	고령화사회 (7%)	고령화사회 (14%)	초고령화사회 (20%)	고령사회 도달 (7%→14%)	초고령사회 도달 (14%→20%)
일본	1970	1994	2006	24년	12년
독일	1932	1974	2007	42년	33년
이탈리아	1927	1988	2009	61년	21년
미국	1942	2013	2029	71년	16년
프랑스	1864	1990	2019	126년	29년
대한민국	2000	2017	2025	17년	8년

출처: OECD; 통계청; 한국은행(2017)에서 재인용.

인구 고령화는 총 인구 중 고령 인구 비중이 늘어나는 동시에 생산가능 인구 비중 감소로 이어져, 세계 생산연령인구는 2060년까지 평균 10% 감소하고, 우리나라는 40% 이상 감소하여 OECD 주요국 중 생산연령인구 비중이 가장 낮을 것으로 전망된다.

인구 고령화로 인한 인구구조 변화라는 거대한 패러다임 전환은 경제·사회적으로 다양한 영향을 미칠 것으로 예상된다. 먼저, 노인 인구 증가에 따른 노동생산성 감소, 복지지출 증가 등으로 인한 국가재정 악화 등으로 경제성장에 부정적인 영향을 미칠 것이라는 전망이 지배적이다. 그러나 이러한 부정적 측면뿐 아니라 노동인구 부족은 기술

41) 황인창. (2018.8.27.). 인구고령화가 경제성장에 미치는 영향, KiRi 리포트 제452호, pp. 33-37.

발전을 유도하여 노동 절감 및 기술혁신 등을 촉진해 총요소생산성 증가로 경제성장에 긍정적인 영향으로 일부 부정적 효과를 상쇄시킬 수 있을 것이라는 전망도 함께 등장하고 있다.⁴²⁾

또한, 산업적 관점에서는 전 세계적인 고령사회 진입을 앞둔 시점에서 고령사회를 이끌 현재의 50대 액티브 시니어가 주요 소비 주체로 부상하면서 디지털 확장과 스마트 헬스케어 등의 확산을 통한 시니어 사업, 에이징 테크(Aging Tech) 등 새로운 비즈니스 트렌드가 각광 받을 것으로 예측되고 있다.⁴³⁾ 소비성향이 낮고 필수재적 소비에만 한정하는 기존 고령 세대와 달리 현재의 50대 가구는 소비성향이 높고 외식, 오락, 문화 등 가치 소비를 즐기는 성향이 뚜렷한 특징을 보이고 있다. 이는 시니어 비즈니스라는 거대 소비시장 형성으로 다양한 비즈니스 기회를 제공할 것으로 전망된다.

다양한 산업에서 시니어 친화적 제품·서비스 설계로 고령화에 대응해오고 있으며, 특히 고령사회의 진입, 액티브 시니어들의 등장과 함께 디지털 확산, 비대면 사회로의 변화가 더해지면서 건강관리 수요확대에 대응하는 헬스케어 비즈니스가 증가하고 있다. 빅데이터 분석 및 인공지능 기술, ICT 기술과 의료의 융합을 통해 시간 및 공간에 구애 받지 않고 건강을 관리하여 질병을 치료할 수 있고 정보 처리 기술을 활용해서 언제 어디서나 환자의 상태를 지능적으로 모니터링하여 관리하고, 치료할 수 있도록 하는 스마트 헬스케어 비즈니스는 지속적으로 확대될 전망이다.

또한, 고령 인구의 비중이 높아진 미래사회에서 노화로 저하된 신체기능을 회복하고 강화함으로써 노년 기간을 어떻게 건강하게 보낼 수 있을 것인지가 미래의 중요한 사회 문제이자 국민의 삶의 질을 향상하는 데 있어서 우선순위가 높은 과제가 될 것이다. 이로 인해 치매, 심혈관 질환, 암, 당뇨 등 아직도 해결되지 않은 난치병 치료나 예방의료 기술의 고도화는 고령 인구의 건강한 삶의 실현에 중요한 요소가 될 것이다. 실제 대표적인 고령 질환인 치매도 그 환자 수가 전 세계적으로 2018년 약 5,000만 명에서 2050년에는 1억 3,000만 명 이상으로 늘어날 전망이며, 우리나라 역시 2019년 79만 명에서 2050년에는 300만 명이 넘어설 것으로 예상된다.⁴⁴⁾ 또한 고령화 인구가 노화된 신체를 회복 및 증강할 수 있고, 인간만큼 혹은 그 이상으로 고도화된 인공지능이 인류의 지적 역량 강화에 기여할 것으로 예상된다.⁴⁵⁾

42) Acemoglu, D. and P. Restrepo. (2017). *ecular stagnation? The effect of aging on economic growth in the age of automation*, NBER Working Paper.

43) 삼정 KPMG. (2017). *고령사회 진입과 시니어 비즈니스의 기회*, <http://asq.kr/dUsVZUo6Alz72x>.

44) 중앙치매센터(2019.12.), *국제 치매정책동향 2019*.

45) 과학기술정보통신부, STEPI, KAIST. (2020.10). *대한민국 과학기술 미래전략 2045*.

우리나라의 급격한 고령화의 배경에는 심각한 저출산의 문제가 있다. 통계청⁴⁶⁾에 따르면 2020년 우리나라의 합계출산율은 0.84명(출생아 수는 27만 2,400명)으로 통계작성 이래 최저치를 기록했다. 이는 또한 OECD 국가 중 가장 낮은 수치로 OECD 평균 합계 출산율인 1.63명의 절반 수준이다. 출산율의 수치도 문제이지만 그 감소세가 가속화되고 있다. 2011년 대비 출생아 수는 19만 8,928명(42.21%)이 감소하여 지난 10년간 가파른 감소세를 나타내고 있다. 특히 2020년 우리나라 인구가 2019년 대비 3만 2,763명이 감소하면서 처음으로 인구가 자연 감소하는 ‘인구 데드크로스(Dead Cross)’가 현실화되었다. 이처럼 우리나라는 극심한 저출산으로 인해 고령화가 다른 나라에 비해 신속하게 진행되고 있으며, 이에 대한 해결책 마련이 시급한 상황이다.

표 4-3 우리나라 출생아 수 및 합계출산율⁴⁷⁾

기본항목별	2011	2018	2019	2020
출생아수 (명)	471,265	326,822	302,676	272,337
조출생률 (천 명당)	9.4	6.4	5.9	5.3
합계출산율 (명)	1.244	0.977	0.918	0.837
자연증가율 (천 명당)	4.3	0.5	0.1	-0.6
자연증가건수 (명)	213,869	28,002	7,566	-32,763

출처: 통계청. (2021).

3) 개인화

개인화는 지난 수년간 마케팅 전략에서 큰 부분을 차지해왔다. 그러나 최근 4차 산업 혁명 기술 발전, MZ 세대의 부상, 코로나-19 팬데믹으로 촉발된 급격한 디지털 전환 등으로 인해 개인화를 넘어서 초개인화로의 변화가 시작되고 있다. 기존의 개인화가 고객 정보 및 온라인 행동 데이터를 기반으로 사용자를 이해하고 이를 바탕으로 사용자의 경험을 최적화하는 것이라면, 초개인화는 여기서 한 걸음 더 나아가 온라인 데이터뿐 아니라 실제 생활 패턴 및 취향 정보를 바탕으로 실시간으로 개인이 처한 상황과 맥락을 파악하고 이해하여 궁극적으로 사용자의 니즈를 예측해 서비스와 상품을 제공⁴⁸⁾함으로써 사용자의 소비 경험을 가이드하는 것이라고 설명할 수 있다.

초개인화의 등장 배경 중 하나로 기존의 생산자 중심에서 소비자 중심으로의 시장 패러다임의 이동을 꼽을 수 있다. 최근 시장은 공급 중심이 아닌 수요 중심의 온디맨드

46) 통계청. (2021). 2020년 출생·사망통계 잠정결과.

47) 통계청. (2021). 인구동향조사, 101003호.

48) KB금융지주경영연구소. (2020.2.26.). 초개인화, 0.1명 단위로 세그멘테이션하다.

경제로 전환되고 있다. 즉 개성과 취향이 중요시되는 새로운 소비 트렌드가 형성되어 개인화 및 맞춤형 제품서비스에 대한 수요가 증가하고 있는 것이다. 소비 활동에서 자신의 개성과 가치관을 분명하게 드러내는 소비자의 모습이 하나의 문화적 취향으로 높이 평가되면서 ‘나’를 중심으로 한 초개인화는 새로운 소비 트렌드로 부상하고 있다.⁴⁹⁾

스마트폰과 웨어러블 기기들, 사물인터넷(IoT)의 확산, 그리고 빅데이터와 인공지능으로 이어지는 기술 체인은 이러한 초개인화 패러다임으로 전환하는 데 결정적인 역할을 할 것으로 보인다. 따라서 개인과 소통할 수 있는 수단인 다양한 기기와 센서에서 수집된 빅데이터를 기반으로 하는 초개인화 기술은 AI 기술을 활용하여 규칙적인 패턴을 찾아냄으로써 개개인을 더욱더 세분화된 개인으로 취급하고 고객 상황에 대하여 더욱더 정확하게 이해할 수 있는⁵⁰⁾ 기술 역량이 핵심이다.

스마트폰은 개인화, 맞춤화 영역에서 중요한 위치를 차지하고 있다. 개인이 스스로 세팅하는 장비이기 때문이기도 하지만 또 항상 휴대하고 다니는 장비라는 점도 중요하다. 다시 말해 스마트폰에서는 나만의 맞춤화도 가능하지만, 기업 역시 ‘나’를 상대로 한 개인화가 가능해졌다. 스마트폰에 내장된 여러 센서 덕분에 사용자의 공간 위치 정보를 얻을 수 있고, 트위터나 페이스북 같은 소셜네트워크에 남긴 글과 사진, 웹사이트 방문 기록, 주문기록 등 많은 데이터를 얻을 수 있게 됐다. 따라서 공간과 시간, 그리고 사회적 관계를 기반으로 고객의 마음을 이해하는 개인화의 가능성이 높아졌다.⁵¹⁾ 빅데이터 분석이 인기를 끌기 시작하게 된 것도 상당 부분 스마트폰 덕분이라고 할 수 있다.

웨어러블 기기는 위에서 언급한 공간과 시간, 사회적 관계를 측정하고 분석하는 것에서 더 나아가 소비자의 생리 및 심리 데이터를 얻을 수 있는 수단으로써 등장하고 확산 됨에 따라 초개인화로의 변화를 이끌고 있다. 특히 코로나-19 이후 건강에 관한 관심이 고조되고, 음성 및 영상 콘텐츠 소비에 대한 소비자 욕구가 확대되면서 웨어러블 기기의 사용은 급속히 증가하고 있다. 웨어러블 기기를 통해 측정되는 사용자의 혈중산소포화도(SpO2), 수면 추적, 심전도, 심박 수, 스트레스, 혈압, 실내 공기 질, 실내온도 정보는 사용자의 신체 상태뿐 아니라 심리상태를 유추할 수 있게 해준다. 한국 IDC에 따르면 국내 웨어러블 시장은 전년 대비 1.5배 성장해 2021년 총 1천 280만 대 규모인 것으로 나타났으며 향후 국내 웨어러블 시장은 연평균 성장률 3.5%를 기록하며 2025년에는 총 1천 515만 대 규모에 이를 것으로 전망했다.⁵²⁾ 웨어러블 기기 시장은 관련 서비스 및 콘텐츠가 진화

49) KB금융지주경영연구소. (2020.2.26.). 초개인화, 0.1명 단위로 세그멘테이션하다.

50) 김난도 외. (2019). 트렌드코리아 2020, 미래의 창.

51) https://db.donga.com/article/view/1101/article_no/7102.

52) ZD Net Korea. (2021.5). 비대면시대 늘어난 '홈트족'... 웨어러블로 건강 업(UP), <https://zdnet.co.kr/view/?no=20210517180806>.

하면서 지속적으로 성장할 것으로 예상됨에 따라, 웨어러블 기기를 통한 초개인화를 위한 데이터 역시 다양해질 것으로 전망된다.

사물인터넷은 사물 간의 센싱, 네트워킹, 정보 처리 등을 인간의 개입 없이 상호협력하여 지능화 서비스를 제공하는 연결망이다. 이는 만물 인터넷(IoE), 만물 지능, 사물 지능 등의 형태로까지 발전하면서 사물 간의 연결뿐 아니라 사람과 데이터 및 프로세스에 이르는 세상의 모든 것이 지능을 가지고 연결되고 있다.⁵³⁾ 사람과 사물 간의 모든 활동 및 연계기록이 데이터로 수집 가능한 이러한 환경은 필연적으로 빅데이터를 생성하며, 이것이 개인 상황을 보다 구체화하고 보다 자세히 접근하는 것이 가능하도록 할 것이다. 수집된 데이터의 기계 학습 또는 AI를 통한 분석은 실시간으로 개인의 상황과 맥락에 대한 이해를 한 단계 더 발전시켜 초개인화 기술 기반의 개인에게 최적화된 비즈니스 창출의 핵심적인 역할을 할 것이다. 초개인화는 실시간의 데이터와 AI를 활용하여 개인의 구매 설계 프로세스를 끊임없이 변화시킬 수 있다. 이는 단순한 개인화에서부터 소비자의 생활 패턴, 시간, 날씨, 요일 등 외부 변수와 구매 맥락까지 고려하여 보다 정확한 초개인화 기술이 가능하도록 할 것이다.

이러한 초개인화 기술은 금융, 헬스케어, 콘텐츠 등에서 높은 관심을 가지고 적용되고 있다. 최근 금융권에서는 초개인화가 주요한 키워드로 선정되어 업종 내 경쟁우위를 확보하기 위한 디지털 핵심전략으로 차별화하고 있으며, 금융·보험과 의료·건강정보의 결합을 통해 미래 건강예측 서비스나 개인의 건강상태에 적합한 초개인화 맞춤형 서비스 제공도 할 것으로 기대된다. 콘텐츠업은 소비자와의 적극적 교감을 위해 AR/VR 기술을 도입하여 콘텐츠 몰입도를 높이거나, 개인의 추억을 재구성하는 용도로 활용하며 그 범위를 확장하고 있다.⁵⁴⁾ 이외에도 초개인화는 초개인화 기반기술을 활용하여 고객에게 성공적인 디지털 경험을 제공하기 위한 기업의 핵심역량이자 생존전략으로 자리 잡을 것이며, 다양한 영역과 일상까지 그 적용 범위 역시 지속적으로 확장될 것으로 전망된다.

4) 수도권 거대화

오늘날 전 세계 인구의 55%는 도시에 거주하고 있다. 또한, 도시는 세계 경제의 70%를 차지하며, 에너지의 75%를 소비하고 탄소가스의 80%를 배출⁵⁵⁾하며, 전 세계 폐기물의 50%, GDP 성장의 35~85%를 차지한다.⁵⁶⁾ 도시 이외 지역에 거주하는 사람들은 열악한

53) 소프트웨어정책연구소. (2019.3). 사물인터넷과 빅데이터 그리고 인공지능으로 이어지는 기술체인. <https://spri.kr/posts/view/21723?code=column>.

54) KB금융지주경영연구소. (2020.2.26.). 초개인화, 0.1명 단위로 세그멘테이션하다.

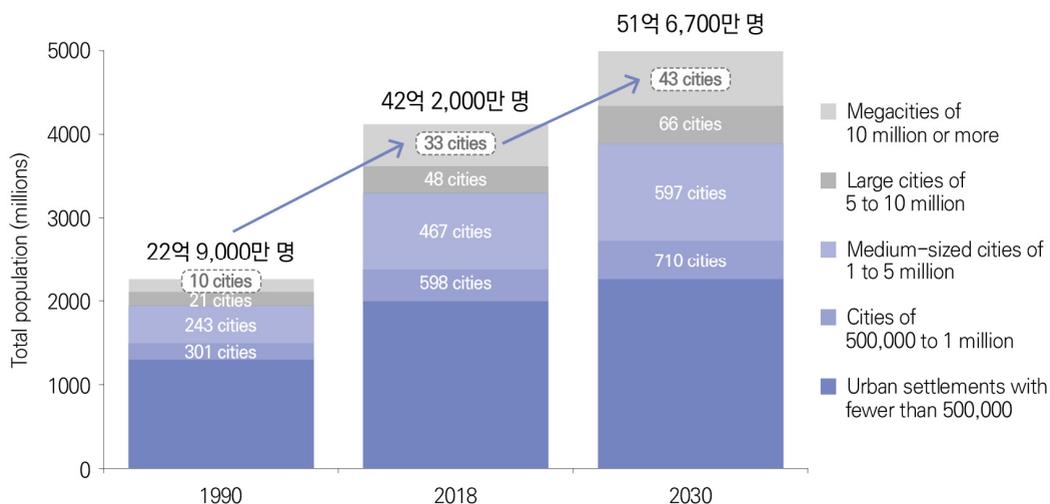
55) https://www.seouland.com/arti/society/society_general/8288.html.

56) UN. (2020.10). Shaping the trends of our time. <http://asq.kr/4y0sSHxK6zty0N>.

취업 생태계, 의료 및 교육 서비스 등 열악한 인프라를 떠나 더 나은 고용기회, 임금, 개선된 시설과 인프라를 위해 도시로 이동 중이다. 이에 따라 세계 경제는 거대 도시권을 중심으로 지속적으로 성장하며 지역 불평등이 심화되고 있다. 역사적으로 살펴보면, 도시화 수준이 10% 높아질 때마다 국가의 1인당 생산성은 30% 높아지는 것으로 나타났다.⁵⁷⁾

지속적인 도시개발 및 도시공간 확장으로 인해, 인구 1천만 명이 넘는 메가시티는 2014년 33개에서 2030년 43개로 증가할 것으로 예상되며, 2050년 세계인구 67%가 도시에 거주할 것으로 전망된다.⁵⁸⁾ 이에 UN-DESA(United Nations Department of Economic and Social Affairs)는 세계 주요 메가시티가 세계 경제활동의 66%, 기술혁신의 90%로 대부분을 차지할 것으로 예측한 바 있다.⁵⁹⁾

그림 4-5 글로벌 규모별 대도시 수 전망



전 세계 도시화율, 즉 전체 인구 중에서 도시지역에 거주하는 인구비율은 2050년까지 지속적으로 높아질 것으로 전망되고 있다. 2020년 미국이 82.7%, 중국이 61.4%, 일본이 91.8%, 한국이 81.4%로 예측된 바 있으며,⁶⁰⁾ 이는 2050년에 이르면 미국이 89.2%, 중국은 80%, 일본은 94.7%에 이를 것이며, 한국 역시 86.4%로 전 세계 도시화율 68.4%를

57) 아시아경제. (2020.2.14.). [최준영의 도시순례] 영화 '기생충' 그리고 메가시티, <https://www.asiae.co.kr/article/2020021213573773866>.

58) UN DESA. (2019). 2018 World urbanization prospects.

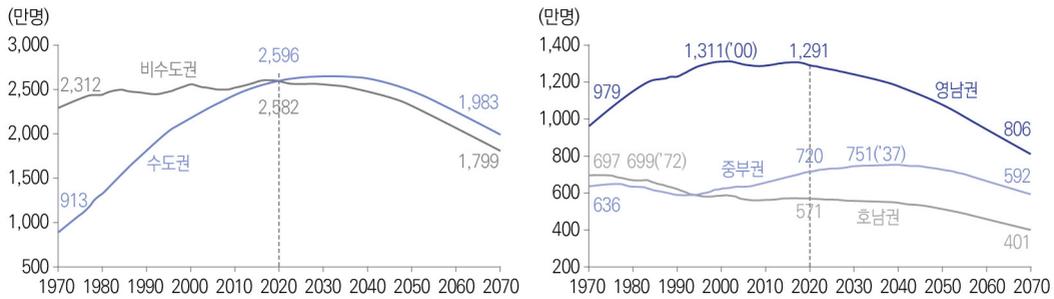
59) UN DESA. (2014). World urbanization prospects: The 2014 revision, Population Division.

60) CIA. (2020). World factbook urbanization.

크게 상회할 것으로 전망했다.⁶¹⁾ 이러한 도시화율이 높아짐에 따라 전 세계 도시들
 이에 수반되는 도시 혼잡, 환경오염, 에너지 부족 등의 다양한 영역에서 사회적 문제들이
 대두되고 있다.

특히, 우리나라는 인구, 생산, 소득 등 수도권 집중은 강화되는 반면, 비수도권은 지역
 경제 침체, 인재유출, 지역대학 붕괴, 심지어 지방소멸까지 논의될 정도로 수도권-비수도권
 간 공간적 양극화가 심화되고 있다. 국내 인구는 1960년 2,500만 명에서 2019년 12월
 기준 약 5,200만 명으로 성장했는데, 2019년 수도권 인구가 전체 인구의 50%를 초과
 하였다. 통계청에서 추정된 2020년 수도권 및 비수도권 인구는 각각 2,596만 명, 2,582만
 명으로 수도권의 인구가 약 14만 명 더 많은 것으로 나타났다(통계청 보도자료 2020.6.29.).
 총 국토면적 11.8%의 수도권에 전 국민의 50% 이상이 거주함으로써 국토 활용의 심각한
 왜곡이 발생하여 향후 국토균형발전을 위한 대응방안 마련이 시급한 상황이다.

그림 4-6 수도권-비수도권, 비수도권 권역별 인구 추이 및 전망(1970-2070년)



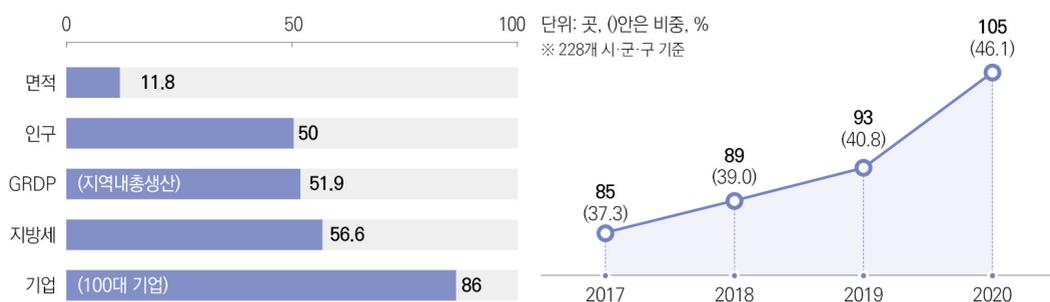
출처: 박경현 외. (2020.5). 국토균형발전을 위한 초광역 연계 발전전략, 국토정책 브리프, 2021.6.21., 국토연구원(원자료: 통계청).

수도권의 인구, 생산, 소득, 제조업 생산의 전국 대비 비중은 계속 증가하고 있으나, 지방
 5대 광역시의 인구, 지역내총생산, 제조업, 지식서비스업의 전국 대비 비중은 지속적으로
 감소하고 있다. 이에 따라 비수도권의 일자리 창출 역량이 떨어지고 있으며 특히 산업구조
 조정에 따른 지역 중소산업 도시들의 경기침체와 일자리 감소는 심각하다. 금융감독원
 전자공시에 따르면 매출액 상위 100대 기업 가운데 86곳의 본사가 수도권에 있다. 기업이
 없으면 일자리도 없으며, 기업 증가→일자리 증가→지역 경기 활성화→지방대 활성화로
 이어지는 순환의 고리가 끊어지게 된다. 실제 통계청에 따르면 2019년 수도권의 지역내
 총생산(GRDP)은 1,000조 원을 넘어서 우리나라 국내총생산(GDP)의 51.9%를 기록했다.

61) United Nations. (2018). World urbanization prospects, the 2018 revision, <http://esa.un.org/unpd/wup>.

또한, 2019년 기준 20대가 수도권 인구 유입의 78.9%를 차지하고 있으며, 비수도권에는 최근 20년간 10~20대가 지속적으로 순유출되고 있어 비수도권은 지역 경기 침체, 인재 유출, 지역대학 붕괴 등 지방소멸까지 논의될 정도로 비수도권 지역의 공동화가 심화되고 있다. 실제로 전국 228개 시·군·구 기준 소멸 위험지역은 2019년 5월 기준 93곳(40.8%)에서 2020년 4월 105개(46.1%)로 증가했다. 소멸 위험지역은 20~39세 여성 인구를 65세 이상 인구로 나눈 소멸위험지수가 0.5 이하인 곳을 의미하며, 인구감소로 30년 내 사라질 위험이 큰 지역이라는 것을 의미한다.

그림 4-7 전국에서 수도권이 차지하는 비중(왼쪽) 및 소멸위험 지방자치단체(오른쪽)



출처: 통계청 (그래프 출처: 중앙일보, (2021.7.3.), <https://news.joins.com/article/24097145>).

이러한 문제를 해결하기 위해 세계 각국은 단일 대도시 성장모델에서 벗어나 연계를 기반으로 하는 다핵화 광역적 공간전략을 추진 중이다. 경제 공간 단위의 세계화 및 광역화와 관련하여 메가시티(Mega-city), 세계도시(Global city), 글로벌 도시지역(Global city-region), 메가시티 리전(Megacity region), 슈퍼리전(Super region), 메가리전(Mega region), 다중심 도시 지역(Polycentric urban region) 등이 정책개념으로 등장하면서 영국, 프랑스, 독일 등은 광역계획 권한 및 협상력을 강화하여 국토의 균형발전을 유도하기 위한 정책을 추진하고 있다.⁶²⁾ 일례로, 중국은 웨아강오 대만구 프로젝트를 통해 홍콩-마카오-선전-광저우를 묶은 웨강아오 지역을 아시아의 경제 중심지로 키우고 있다.⁶³⁾ 인구는 프랑스와 비슷한 6,700만 명, GRDP는 1조 3,800억 달러(1,560조 원)에 달한다. 우리나라도 수도권 과밀화를 막고 지역 균형발전을 위해 제2의 수도권으로써 부산, 울산, 경남을 하나로 묶은 메가시티를 구축하여 수도권과 경쟁할 수 있는 균형발전 전략을 추진할 계획이며 이를 위해 2022년 부울경특별연합이 출범될 계획이다.⁶⁴⁾

62) 박경현 외. (2020.12). 국토균형발전을 위한 초광역 연계발전방향, 국토연구원, 연구보고서 수시 20-24.

63) 경상남도 홈페이지, https://www.gyeongnam.go.kr/index.gyeong?menuCd=DOM_000000103005001003.

64) 경상남도 홈페이지, https://www.gyeongnam.go.kr/index.gyeong?menuCd=DOM_000000103005001004.

이러한 공간전략과 더불어, 각국은 디지털 혁신기술 기반의 스마트시티 전략 또한 활발하게 추진 중이다. 세계 각국은 스마트시티 정책을 통해 도시의 당면과제를 해결하고 시민의 삶의 질 향상, 거주 기업의 경쟁력 제고, 친환경적 도시 구현 등 도시의 지속가능성과 경쟁력 확보를 위한 노력을 활발하게 진행 중이다. 중국 항저우는 알리바바와 함께 도시문제를 근본적으로 해결하기 위해 클라우드 기반의 시티브레인(CityBrain)을 추진 중이며, 영국의 밀턴킨즈는 런던 인구 과밀화 문제 해결을 위해 조성된 계획도시로 첨단기술을 도입해 데이터 중심의 스마트시티로의 변모를 추진하고 있다. 덴마크는 코펜하겐을 2025년까지 탄소중립 도시로 만들기 위해 코펜하겐솔루션랩(CSL)을 창설하고 스마트시티 구축에 집중하고 있다. 우리나라 역시 2018년 스마트시티 추진전략을 발표하고 적극적인 스마트시티 조성 및 확산을 위하여 스마트시티 국가시범 단지 조성사업, 스마트시티 챌린지 사업, 스마트시티 특화단지 조성사업 등 미래형 도시 개발을 위한 정책적 노력을 강화하고 있다. 스마트시티 관련 시장 규모에 대해 네비간트리서치(Navigant Research)는 2017년 935억 달러(48조 원)에서 2026년 2,252억 달러(113조 원)로, 프로스트 앤설리번(Frost & Sullivan)은 2025년 2조 1,000억 달러(약 2,400조 원)로 확대될 것으로 전망하는 등 스마트시티 시장의 급격한 성장이 지속될 것으로 예상된다. 이는 현재 선진국뿐 아니라 개도국 모두에서 스마트시티를 추진하고 있으며, 향후 아시아·태평양 지역의 급격한 도시인구 증가로 스마트시티의 요구가 지속적으로 확대됨에 따른 것으로 보인다. 현재 도시는 하나의 독립된 주체로써 글로벌 경쟁의 전면에 나서고 있으며, 이에 앞으로 도시는 혁신과 글로벌 경쟁의 핵심축으로 부상할 것이다. 따라서 전 세계는 스마트시티 간 경쟁에서 글로벌 주도권을 확보하기 위해 도시 인프라와 서비스 혁신에 대한 투자를 가속화할 것으로 전망된다.

5) 디지털 사회로의 전환 가속

코로나-19 팬데믹이라는 불확실성이 장기적으로 지속되면서 기존 디지털 네트워크가 사회의 기존 질서를 재구성하는 디지털 전환을 추동하고 있으며, 이러한 사회 변화는 네트워크의 활용 경험을 국가, 사회, 기업, 대학 등으로 하여금 디지털 전환을 적극적으로 추진하도록 만들고 있다. 이러한 코로나-19 발(發) 디지털 전환은 향후 지속됨에 따라 소비자 입장에서는 온라인화, 기업 입장에서는 스마트워크화, 생산공장 입장에서는 무인화·자동화가 가속화될 전망이다.

먼저, 소비자 측면에서는 ICT 기술이 온라인으로 쉽고 편리하게 이용할 수 있는 환경을 제공함에 따라 코로나-19 팬데믹 이후 전면적으로 디지털화된 소비문화가 정착될 전망

이며, 이는 비대면·비접촉 결제방식의 확산으로 이어져 현금 없는 사회로의 전환을 가속화할 전망이다.⁶⁵⁾ 실제 국제결제은행(BIS) 보고서에 따르면, 2020년 1월 전 세계 66개 중앙은행 중 약 80%가 CBDC 발행을 검토 중이며,⁶⁶⁾ 한국은행 역시 2021년 CBDC 시범 발행을 추진 중인 것으로 나타났다.⁶⁷⁾ 기업이나 공공기관, 학교에서 온라인 비대면 화상회의나 강의, 웨비나 등은 이미 보편적인 것이 되었으며, 여기에 사회적 거리두기가 장기화되면서 e-커머스, 옴니채널, 온라인 미디어, 온라인 배달과 주문, 금융 등 비대면 경제도 활성화되는 추세이다.

또한, 기업 입장에서 디지털 기술을 일하는 현장과 방식에 접목하고 직원에게 최적화된 장소·도구를 제공하는 디지털 워크플레이스가 등장하고 있다. 이는 기존의 원격근무와 달리 디지털 기술(초자동화+AI)을 활용하여 일하는 공간 및 업무수행 방식에의 혁신과 조직문화 및 생산성 개선에 목표를 두고 있는 것으로 기존의 원격근무와는 협업 방식이나 지원·사용 도구 측면에서 지향하는 방향에 차이가 있다.⁶⁸⁾ 이에 전 세계 디지털 워크플레이스의 시장규모는 연평균 21.7% 성장하여, 2023년까지 357억 달러로 성장할 것으로 전망되며,⁶⁹⁾ 은행 금융 역시 모바일 데이터 기반의 플랫폼 서비스로 이동하면서 모바일 뱅킹 채널 사용이 20~50% 수준으로 지속적으로 증가할 것으로 예측되고 있다.

표 4-4 코로나-19 전후의 업무 협업 방향 및 특징 비교

구분	코로나-19 이전	코로나-19 이후
업무 형태	• 기존 원격/스마트워크	• 디지털 워크 플레이스 구축
협업 방식	• 획일적 공간 및 중앙집중식 운영 등 유한한 물리적 작업 공간 • 원격/스마트 워크를 부분적 적용(유연근무제)	• IoT, AI 기반의 스마트 오피스로 개인 맞춤 공간 등 가상공간을 포함한 디지털 작업 공간 • 조직 전체의 디지털화를 지향
지원 도구	• 그룹웨어, VPN, 웹기반 협업,	• AI, Data Analytics, RPA
사용 도구	• 이메일, 클라우드, Skype 등 인터넷의사소통 기구	• HD 비디오, VR/AR/MR, 5G기반 고실감형 텔레프 레즌스

출처: SPRI 소프트웨어 정책연구소.

65) ETRI Insight. (2020). 코로나 이후 글로벌 트렌드 -완전한 디지털 사회-.

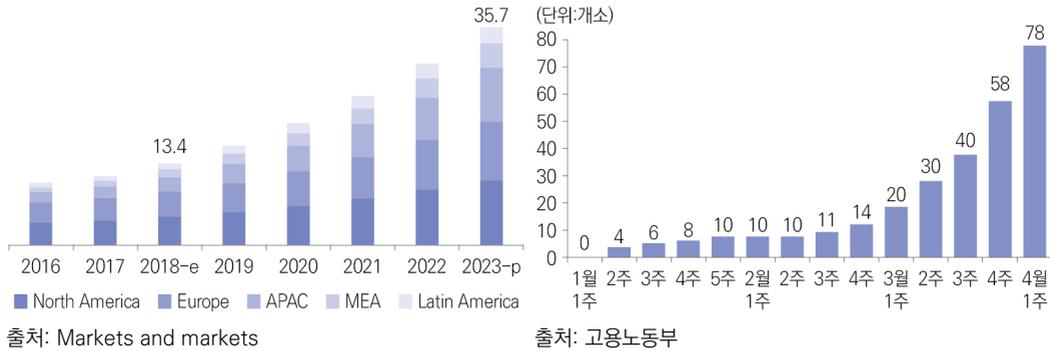
66) BIS. (2020). Impending arrival - a sequel to the survey on central bank digital currency.

67) 한국은행. (2020.4). 한국은행, 중앙은행 디지털화폐(CBDC) 파일럿 테스트 추진.

68) 삼정KPMG. (2020.5). 디지털 워크플레이스 기업의 대응방안.

69) Markets and markets. (2019.2). Digital Workplace Market, <http://asq.kr/eiCQ!Lte4W5VtW>.

그림 4-8 세계 대륙별 디지털 워크플레이스 규모 전망(왼쪽) 및 재택근무 인프라 구축비 신청 기업 추이(오른쪽)



한편 생산공장은 사람 중심에서 로봇과 기계 위주로 무인화·자동화가 확대되고 있으며, 디지털화를 통한 산업 시스템 및 라인을 최적화하고 자원 순환 및 탄소 저감을 위한 노력도 병행되고 있다. Gartner는 2020년 10대 전략기술 중 하나로 초자동화(Hyper-automation)을 선정한 바 있으며, 이는 AI를 이용하여 사람의 행동뿐만 아니라 사람의 판단이 요구되는 업무를 자동화하고 검색과 분석의 정교함을 향상하여 궁극적으로 인간의 능력을 증강시킬 것으로 전망하고 있다.⁷⁰⁾

기존에는 단순히 생산성을 높이거나 인간관계를 확장하는 보조 수단에만 머물던 디지털 기술이 코로나-19 팬데믹으로 인해 미래 불확실성 대응과 회복 탄력성을 위한 핵심 수단으로써 부상하는 디지털 전환이 가속화되고 있다. 이처럼 디지털 기술이 개인의 건강과 생계를 보호하고, 공동체의 지속가능성을 보장하는 생존의 필수품이라는 점이 코로나-19로 인해 확인되었다. 즉, 인간의 곁에 최소한의 의식주만 있으면 디지털 제품 서비스로 생존 가능하며, 심지어 디지털 플랫폼을 통해 의식주 문제까지 도움을 받으면서 인간의 기본적인 욕구를 충족시키고 다른 사람들과의 정서적 교감까지 나눌 수 있다는 것을 확인시켜주었다.

또한, 기업은 코로나-19 팬데믹 대응과정에서 점점 더 역동적으로 변화하고 예측 불가능한 환경변화를 체감하면서 기업 생존을 위해서는 공급망의 안전성 및 회복 탄력성 역량 확보가 필수적임을 인지하게 되었다. 이에 따라 기존의 비용 절감을 중심으로 한 전통적인 공급망 관리에서, 성장촉진 및 위험 완화로 무게중심이 이동하고 있다. 또한 GVC 공급망 전체에 대한 완전한 디지털화가 위기 시 회복력 확보의 유력한 대안이 될 수 있으며, 이것이 잠재적인 위기상황에서 신속·정확하게 대응 가능함을 인지함에 따라⁷¹⁾ AI, 로봇 등을 이용한 공급망의 디지털 전환으로의 압박은 점차 심화될 것으로 전망된다. 이뿐 아니라

70) Gartner. (2019). Top 10 strategic technology trends for 2020, Gartner.

71) ETRI Insight. (2020). 코로나 이후 글로벌 트렌드 -완전한 디지털 사회.

이러한 코로나-19 팬데믹 이후 도래할 완전한 디지털 사회에서 기후변화, 에너지, 환경 오염 등 미래 위협을 조기에 예방하고 효과적으로 통제하기 위한 디지털 기술은 전 산업에 걸쳐 적극적으로 도입될 전망이다.

6) 환경파괴 및 기후위기 대응 본격화

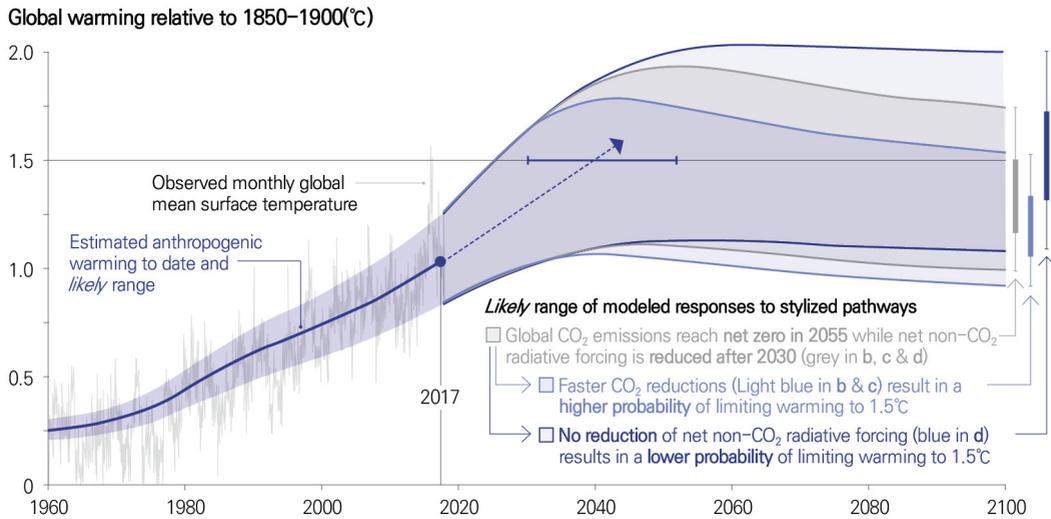
기술발전에도 불구하고, 인류가 지탱하는 데 필요한 공기, 의식주 자원은 전적으로 자연환경에 의존한다. 오늘날 인구증가, 환경오염, 탄소집약적 기술사용, 생태계 자원을 과도하게 사용하는 대량생산, 대량소비, 대량폐기로 이어지는 선형적 경제개발로 인해 우리는 환경파괴 및 기후위기 문제에 직면하게 되었다. 기후변화에 의한 지구의 물리적 변화는 생각했던 것보다 훨씬 빠르게 일어나면서 기후위기, 즉 기후변화의 위협이 본격화 되고 있다.

기후변화가 현재 추세대로 진행된다면, 낙관적인 시나리오를 가정하더라도 2045년 지구 지표 온도가 1850~1900년 대비 1.5~2℃ 상승할 것으로 전망하고 있는데, 이는 인류의 생존에 큰 위협이 되는 수치이다.⁷²⁾ 일례로, 기후변화로 인해 해수면이 상승할 경우 세계 지도는 현재와 완전히 달라지고 해안이 위치한 도시들은 파괴될 것이다. 기후 변화에 관한 정부 간 협의체(이하 'IPCC')는 만약 지구 지표온도가 2100년까지 1.5℃ 상승할 경우 해수면은 1986~2005년에 비해 0.26~0.77미터 높아질 것이라고 전망한 데 이어, 지구 지표온도가 2031~2050년까지 1.6~2.0℃ 상승할 경우 해수면은 1986~2005년에 비해 0.43~0.84미터 높아질 것이라고 전망했다.⁷³⁾

72) IPCC. (2018). Global Warming of 1.5℃.

73) IPCC. (2018). Global Warming of 1.5℃; IPCC. (2019.9.24.). The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate.

그림 4-9 관측된 전지구 평균 온도 변화와 미래 온도 예측 범위



지구온난화의 영향은 대부분의 지역에서 평균 온도 상승, 대부분의 거주지역에서 극한 고온 발생, 일부지역에서의 호우 및 가뭄 증가 등으로 나타나며, 대형 태풍 등 기상이변으로 인한 재난재해도 점점 빈번하게 발생함에 따라 인류의 생존을 위협하고 있다. 또한, 이러한 지구온난화는 일반적으로 해양보다 육지에서, 빈곤계층과 사회적 약자에게 더 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다. 일례로, 한 위성 자료 조사에 따르면 남아시아의 8억 명에게 물을 공급하는 히말라야 빙하가 이전 추정치보다 두 배 빠른 속도로 녹고 있다는 것을 보여주었으며,⁷⁴⁾ 또한 2050년까지 해수면 상승으로 인해 전 세계 인구 3억 명이 해안 홍수에 노출될 것이라는 것을 보여주었다.⁷⁵⁾

표 4-5 지구온난화 1.5°C와 2.0°C 주요 영향 비교

구분	1.5°C	2°C	비고
고유 생태계 및 인간계	높은 위험	매우 높은 위험	
중위도 폭염일 온도	3°C 상승	4°C 상승	
고위도 극한일 온도	4.5°C 상승	6°C 상승	
산호 소멸	70-90%	99% 이상	
기후영향·빈곤 취약 인구	2°C 온난화에서 2050년까지 최대 수 억 명 증가		

74) J. M. Maurer, J. M. Schaefer, S. Rupper, A. Corley. (2019). Acceleration of ice loss across the Himalayas over the past 40 years, Science Advances, 5, eaav7266.

75) Climate Central. (2020), EY Analysis of CoastalDEM Data.

구분	1.5℃	2℃	비고
물부족 인구	2℃에서 최대 50% 증가		
그 외	평균 온도 상승(대부분의 지역), 극한 고온(거주지역 대부분), 호우 및 가뭄 증가(일부 지역)		
육상 생태계	중간 위험	높은 위험	
서식지 절반 이상이 감소 될 비율	곤충 6%, 식물 8%, 척추동물 4%	곤충 18%, 식물 16%, 척추동물 8%	2℃에서 두배
다른 유형의 생태계로 전환되는 면적	6.5%	13.0%	2℃에서 두배
대규모 특이 현상	중간 위험	중간-높은 위험	
해수면 상승	0.26-0.77m	0.30-0.93mm	약 10cm 차이. 인구 천만 명이 해수면 상승 위험에서 벗어남
북극 해빙 완전 소멸 빈도	100년에 한 번 (복원 가능)	10년에 한 번 (복원 어려움)	1.5℃ 초과 시 남극 해빙 및 그린란드 빙상 손실

※ 이 외, 극한기상, 해양산성화, 생물다양성, 보건, 곡물 수확량, 어획량, 경제성장 등에 관련된 위험(리스크) 모두 1.5℃ 보다 2℃ 온난화에서 높음(수치적으로는 제시되어있지 않음)

기후변화는 심각한 경제적, 사회적 혼란의 촉매이자 원동력으로써의 역할을 할 것이며, 이러한 영향은 기하급수적으로 커질 것이다. 2020년 서울시 크기의 약 16배인 250만 에이커의 면적에 피해를 입힌 캘리포니아 산불과 약 1000만 헥타르를 태운 호주의 산불(2019년~2020년)은 잠재적 영향을 시사한다. 유엔개발계획(UNDP)에 따르면, 전 세계 3명 중 2명은 현재의 기후변화를 글로벌 비상사태(global emergency)로 인식하는 것으로 나타났다.⁷⁶⁾

특히 코로나-19 팬데믹을 일으킨 바이러스(SARS-CoV-2)의 출현에 직접적인 역할을 한 것이 기후변화였다는 연구결과(Science of the Total Environment, 2021.2.5.)가 발표되면서 기후변화 및 환경파괴의 심각성, 이에 대응에의 시급성에 대한 전 세계적 인식이 크게 증가한 것으로 나타났다. 입소스(Ipsos) 조사에 따르면, 실제 전세계 성인 71%가 장기적으로 기후변화는 코로나-19 팬데믹 만큼 심각한 사안이라 생각하고 있으며, 65%는 코로나-19 팬데믹 이후 경제회복 과정에서 기후변화를 우선순위로 고려해야 한다는 말에 동의한 것으로 조사되었다.⁷⁷⁾ 실제 기후위기는 폭염, 가뭄, 홍수, 태풍, 한파 등 기상이변이나 해수면 상승으로 인한 수물 위기 등 자연재해뿐 아니라, 바이러스가 더 광범위하고 신속하게 확산할 수 있는 환경을 만들어 전염병의 위험을 증대시킬 것으로 예측하고 있다.

76) UNDP|Oxford Univ. (2021.1.26.). People's Climate Vote, <https://www.undp.org/publications/peoples-climate-vote>.

77) 한국에너지정보문화재단. (2020.4.28.). 코로나19와 에너지전환.

이에 2019년 9월 뉴욕에서 개최된 기후정상회의의 명칭은 ‘기후행동 정상회의’였으며, 2019년 12월 제25차 기후변화당사국 총회(COP25)의 핵심 의제 또한 ‘행동해야 할 시간 (Time for Action)’이었다. 이는 지금 당장 온실가스 감축을 위한 행동에 국제사회의 모든 역량을 집중해야 기후변화 문제를 해결할 수 있다는 문제의식을 반영한 것이다. 이에 세계 각국은 2016년부터 자발적으로 온실가스 감축 목표를 제출했고, 모든 당사국은 2020년까지 ‘파리협정 제4조 제19항’에 근거해 지구 평균기온 상승을 2℃ 이하로 유지하고, 나아가 1.5℃를 달성하기 위한 장기저탄소발전전략(LEDs)과 국가온실가스감축목표(NDC)를 제출하기로 합의했다. 스웨덴, 영국, 프랑스, 덴마크, 뉴질랜드, 헝가리 등 6개국이 ‘탄소중립’을 이미 법제화하였으며, 유럽은 ‘그린딜(2019.12)’을 통해 2050년까지 탄소 중립을 선언, 중국은 2060년 이전까지 탄소중립 달성을 UN총회에서 선언, 일본 역시 2020년 10월 의회 연설에서 2050년까지 탄소중립 목표를 선언했다. 조 바이든 미국 대통령 당선인도 취임 직후 파리협정에 재가입하고 2050년까지 탄소 제로 배출량 달성⁷⁸⁾을 위해 2035년까지 전력망 탈탄소화 및 건물 배출량 50% 감소를 포함하여 일부 주요 부문에 대한 배출 감소 목표를 제시한 바 있다. 우리나라는 그린뉴딜 정책을 통해 2050년까지 탄소 배출량 제로를 목표로, 관계부처 합동으로 ‘2050 탄소중립 추진전략(2020.12)’을 마련하여 우리 경제의 탈탄소화를 위한 다양한 전략을 추진 중이다.

IPCC에 따르면, 이러한 기후위기, 기후 비상사태에서 벗어나기 위해서는 지구 기온 상승을 1.5℃로 제한하기 위해 향후 2030년까지 탄소 배출량을 2010년 수준 대비 45% 감축해야 한다고 한다. 이를 위해서는 향후 10년간 매년 약 8%의 온실가스를 줄여야 할 것이며, 이를 위해 경제를 탈탄소화하는 것이 역사상 가장 큰 경제적 변화 중 하나가 될 것이다.⁷⁹⁾ 전 세계 배출량 또는 GDP의 70%를 차지하는 국가들은 이미 자국 경제의 완전 탈탄소화를 공약한 바 있다. 또한, 과학기반 감축목표 이니셔티브를 통해 파리협정에 따라 유사 공약을 제시한 기업은 지난해 약 50% 증가했으며 이들 기업의 목표설정에 대한 집중도는 지속될 전망이다.⁸⁰⁾

78) ITIF. (2020). President-elect Biden's agenda on technology and innovation policy.

79) Climate Central. (2020), EY analysis of coastalDEM data.

80) Schroders. (2021.5.3.),

<https://www.schroders.com/ko/kr/asset-management/insights/economic-viewpoint/climate-change-tracker-hits-record-low-as-progress-gathers-pace>.

2. 기술 트렌드

- | | |
|------------------|--------------------|
| 1) 데이터 기반 지능 고도화 | 3) 나노·소재 기술의 융합 가속 |
| 2) 그린테크 저변 확대 | 4) 바이오·의료 신기술 도약 |

1) 데이터 기반 지능 고도화

디지털 생태계의 급속한 발전과 변화로 인해 빅데이터와 AI의 활용은 기업의 생존에 필수적이며 국가 경쟁력까지 좌우한다는 관측이 지배적이다. 실제 2020년 전 세계의 데이터 기반의 디지털 경제의 규모는 32조 6천억 달러로 전년 대비 3% 성장했으며 이는 GDP의 43.7%에 해당하는 수치이다.⁸¹⁾ 디지털화에 따른 기하급수적인 데이터 증가로 빅데이터 분석수요 또한 급증하고 있으며, 프로스트앤드설리번은 빅데이터 시장이 연평균 28.9%로 성장하여 2025년에는 그 규모가 680억 9,000만 달러에 이를 것으로 전망했다.⁸²⁾ 이에 데이터 판매·제공·구축·컨설팅 등 서비스업과 데이터 처리·관리 등의 공급업을 포함하는 시장으로써, 데이터 산업시장은 미국, EU, 일본 등 주요국에서 최근 5년(2016~2020년) 연평균 11.8% 성장했으며, 이러한 미래 데이터 산업 시장의 성장은 가속화될 것으로 예측된다. 우리나라 역시 데이터산업의 시장은 최근 3년(2017~2019년) 연평균 8.4%로 성장하여 2019년 약 16조 8,693억 원 규모인 것으로 나타났다.⁸³⁾

최근까지 계속적으로 진행되어 왔던 디지털화는 사물인터넷(IoT), 만물인터넷(LoE), 행동인터넷(LoB) 등의 기술을 매우 빠른 속도로 확산 및 발전시켜가면서 막대한 양의 데이터를 방출하고 있다. 가트너는 2021년 9대 전략기술 중 하나로 행동인터넷(LoB)을 제시한 바 있는데, 행동인터넷이란 사물인터넷의 센싱이 아니라 사람 행동의 모니터링을 통한 데이터 수집과 판단을 의미한다. 이는 공공부문에서 처리되는 시민 데이터, 소셜 미디어 데이터와 위치추적, 자동차 텔레매틱스를 통한 운전패턴 등의 데이터를 포함한 데이터 수집을 의미하며, 2025년까지 전 세계 인구 절반이 최소 1개 이상의 IoB 기술의 대상자가 될 것으로 예측된다.⁸⁴⁾ IDC에 따르면 2018년 이러한 센서 및 디바이스를 통해 파생된 전 세계 데이터양은 33 zetabyte에서 2025년 175 zetabyte까지 급증할 것으로 전망하고 있다.⁸⁵⁾

81) 中国信息通信研究院. (2021.8). 글로벌디지털경제백서(全球数字经济白皮书).

82) <https://www.phopick.com/post/471777>.

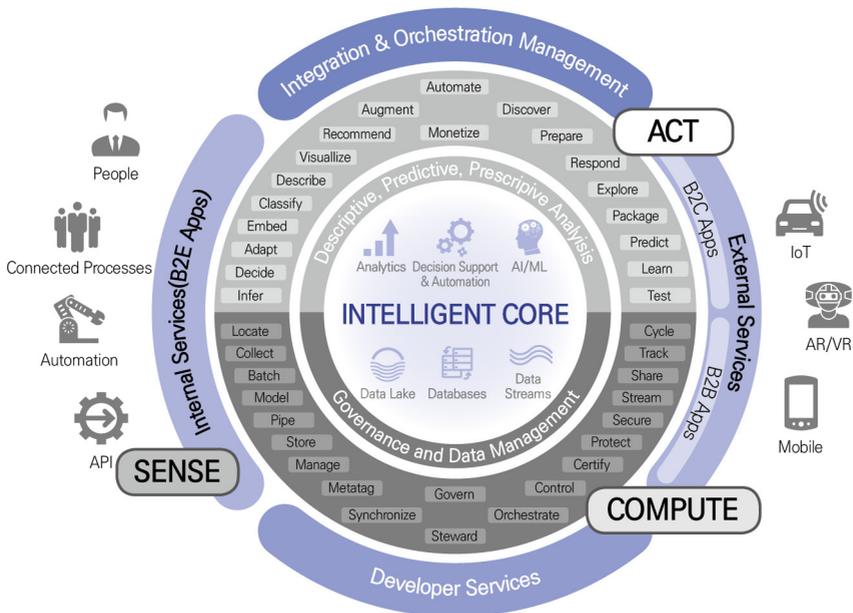
83) 과학기술정보통신부, 한국데이터산업진흥원. (2021.3). 2020 데이터산업 현황조사.

84) Gartner. (2020). Top strategic technology trends for 2021; Bain & Company. (2020). Ten technology trends moving into 2021.

85) 정보통신산업진흥원. (2019). Global big data market.

데이터의 양과 그 가치가 폭발적으로 증가하고 있는 현대사회에서 데이터 분석능력과 통찰력, 즉 데이터 인텔리전스가 매우 중요해지고 있다. 로그, 센서, 네트워크 트래픽, 웹서버, SNS 클라우드 서비스와 같은 다양한 소스를 통한 디지털 데이터 및 정보의 방출로 광범위한 데이터 및 정보를 수집할 수 있는 환경이 조성됨에 따라 AI 지능 역시 기하급수적으로 발전할 것으로 예상된다.⁸⁶⁾ 이는 데이터 수집·저장·관리·분석·활용기술이 고도화되면서 새로운 데이터가 축적되고, 이 데이터가 AI 개발을 위한 학습데이터로 활용되면서 선순환의 관계를 갖고 발전하기 때문이다. 특히 IoT, 모바일 장치 등에서 실시간으로 수집되는 데이터가 기존에 축적된 데이터 및 시스템과 연동되어 실시간으로 데이터를 ‘감지(Sense)’하고 이를 새로운 맥락에 적용할 수 있다. 또한, AI와 머신러닝이 이러한 데이터를 “처리(Compute)”해 데이터를 “행동(Action)”으로, 행동을 가치로 전환한다.⁸⁷⁾

그림 4-10 Data Drives Action 개념도



출처: IDC. (2021). Critical external drivers shaping global IT and business planning.

향후 2040년에는 인간의 지능 수준을 거의 동등하게 재현할 수 있는 Strong AI(Artificial General Intelligence)가 출현할 것으로 예상된다. 알파고 제로(AlphaGo Zero)의 경우 Weak

86) EITO. (2020). 11 Tech trends for 2021 and beyond; NANO. (2020). Science & technology trends 2020-2040.

87) IDC. (2021). Critical external drivers shaping global IT and business planning.

AI와 Strong AI 사이에 위치하고 있다. 앞으로 2060년에 이르면 인간의 지능을 최소 1,000배 이상 앞지르는 Super AI(Artificial Super Intelligence)가 등장할 것으로 전망된다.⁸⁸⁾ 이에 따라 Data-AI, Data-AI-Materials, Edge-AI, AI-Autonomy, Data-AI-Bio, Human-AI 등 AI-as-a-Service로써의 AI 기반의 운영·서비스가 전 분야에 걸쳐서 적용되어 데이터 기반의 지능 고도화를 위한 혁신은 가속화될 것이다.⁸⁹⁾

2) 그린테크 저변 확대

전 세계적인 코로나-19 팬데믹은 전 산업분야의 가동률을 떨어뜨리면서 심각한 경기 침체로 이어지고 있다. 이러한 코로나-19 팬데믹으로 인한 글로벌 경제위기를 극복하기 위해 전 세계적으로 산업의 회복 탄력성과 지속가능한 사회기반 구축을 위한 그린테크 기술 개발이 가속화될 전망이다. 전 세계는 코로나-19 팬데믹으로 직면한 기후·환경 위기를 모든 분야의 기회로 전환시켜 궁극적으로 보다 지속가능한 경제를 만들기 위해 코로나-19 팬데믹 이후 산업의 녹색 전환, 탈탄소화(Decarbonization)를 위한 정책적 드라이브와 공조를 강화하고 있다. 우리나라 역시 2020년 7월 ‘한국판 뉴딜 종합계획(한국판 뉴딜1.0)’ 수립에 이어 2021년 7월 한국 ‘한국판 뉴딜 2.0 추진계획’을 발표하고 그린뉴딜의 새로운 과제로 탄소중립 추진기반 구축, 저탄소 경제구조로의 전환을 위하여 그린뉴딜의 사업 범위 및 규모를 확대·보강하고 이의 실행을 가속화하기 위한 세부과제를 제시한 바 있다.

세계 각국에서는 비즈니스 모델을 탈탄소화하여 가치를 창출하고, 기후 리더십을 입증하기 위한 새로운 탄소 제거 솔루션들이 등장하고 있다. 이러한 변화의 주요 수단은 디지털로 최적화된 효율 달성, 비용경쟁력 있는 재생에너지의 보급, 청정에너지를 활용한 산업운영, 교통, 난방 등 모든 것의 전기화, 분산형 에너지 발전의 채택이다.⁹⁰⁾

에너지효율 개선의 경우 대표적인 온실가스 감축 수단으로 각광받아 그간 다양한 에너지효율 관련 기술이 개발되어 왔다. 그러나 최근 들어 에너지효율이 높은 수준에 다다르며 추가적인 효율 개선 여력이 낮아짐에 따라 에너지효율을 개선할 수 있는 대안 마련이 필요한 상황이다. 이를 위해 기존의 접근방식에서 탈피해 첨단 정보통신기술 등을 활용한 산업의 스마트화를 통해 에너지효율을 개선하는 방안이 논의되고 있다.

전력 부문에서는 재생에너지를 활용하여 그린수소 생산기반을 구축하고 이를 통해 생산된 수소를 연료전지, 다양한 모빌리티 등에 활용하여 기존의 탄소자원 중심의 에너지

88) <https://www.itdaily.kr/news/articleView.html?idxno=203481>.

89) Accenture. (2020). Technology vision 2020.

90) Ernest & Young. (2020). Megatrends 2020: Are you reframing your future or is the future reframing you?

패러다임을 친환경 에너지원으로 전환하기 위해 노력하고 있다. 이에 재생에너지와 집단 에너지, 연료전지 등 분산형 전원 발전량 비중을 확대하고 재생에너지 변동성 대응을 위해 분산형 에너지 시스템을 확산시키기 위한 정책을 추진 중이다. 안정적인 분산형 에너지 발전을 위해 전기 배터리를 활용한 V2G(Vehicle to Grid) 시스템, 변동성이 큰 재생에너지 잉여 전력을 다른 에너지 형태(열, 수소, 운송 등)로 전환시키는 P2X 기술, 재생에너지의 변동성 완화 및 출력 안정화를 위해 실시간 충·방전이 가능한 ESS 기술 등의 개발이 활발하다.⁹¹⁾ 또한, 다양한 소규모 분산전원(Distributed Energy Resources, DER)을 모아 가상 발전소로서 전력증개시장에 참여하는 새로운 비즈니스 모델도 재생에너지 확대에 큰 기여를 할 것으로 보인다. 이러한 변화는 에너지 소비자와 생산자의 구분이 더 이상 의미가 유효하지 않게 되었음을 보여주며, 에너지 생산과 소비를 동시에 수행하는 프로슈머 시대가 도래할 것임을 의미한다.⁹²⁾

한편 전력 부문에서 화석연료를 사용하기 위해서는 이산화탄소 포집·활용·저장 기술(이하 'CCUS') 기술 혁신이 매우 중요한데,⁹³⁾ 이에 각국은 지구온난화 현상을 해소할 게임 체인저로써 새로운 탄소포집 및 격리 솔루션 개발에 박차를 가하고 있다. 전 세계 대부분의 국가에서 온실가스 배출량 제로를 국가과제로 내걸고 있는 가운데, 국제에너지기구(IEA)는 2020년 8월 발간된 '에너지 기술 전망' 보고서에서 CCUS 기술 없이는 온실가스 배출량 제로에 도달하는 것이 불가능하다고 전망했다. 전 세계에서 배출되는 이산화탄소의 50% 이상이 발전시설과 중공업 공장에서 발생하는데, CCUS 기술은 산업현장에서 나오는 대규모 이산화탄소를 경감시킬 수 있는 거의 유일한 해결책이기 때문이다.⁹⁴⁾ 탄소 저감 관련 미래 역량 확보를 위한 혁신으로 대기에서 직접적으로 이산화탄소를 포집하는 기술, 발전소, 주조공장, 화학 공장 등의 공장의 폐기물 흐름에서 고농축 온실가스를 포집하는 기술(박테리아, 미생물 등을 활용), 건축환경에서의 이산화탄소 격리와 같은 기술 등이 개발되고 있다.

또한, 국가뿐 아니라 도시 단위에서도 기후변화의 주요 원인인 건물과 교통 부문에서 친환경 및 스마트모빌리티, 대체연료, 제로에너지 빌딩 등의 개발을 추진하며 산업 전반의 친환경화를 위한 지원을 강화하고 있다.

91) <https://www.energydaily.co.kr/news/articleView.html?idxno=118533>.

92) 대한민국정부. (2020). 대한민국 2050 탄소중립전략.

93) 대한민국정부. (2020). 대한민국 2050 탄소중립전략.

94) Kotra 트렌드. (2021.2).

<https://news.kotra.or.kr/user/globalBbs/kotranews/782/globalBbsDataView.do?setIdx=243&dataIdx=187066>.

3) 나노·소재 기술의 융합 가속

4차 산업혁명 기술의 발전, 기후변화로 인한 규제 강화, 고령화, 경기침체 등의 환경 변화는 소재 산업의 스마트화, 친환경화, 융복합화, 고부가 가치화로의 혁신을 가속화시키고 있다. 특히, 새로운 소재와 제조 분야의 발전은 미래에 창조적이고 파괴적인 변화를 보여줄 것이다. 4차 산업혁명의 성공을 위한 최첨단에는 새로운 소재의 개발과 활용이 있기 때문이다. 미래형 이동체, 에너지 등 새로운 혁신제품의 등장은 첨단 신소재에 대한 수요를 촉발하며, 이와 동시에 4차 산업혁명 기술의 도입은 빅데이터, 계산과학, 소재 정보 플랫폼 등의 발전을 촉진하면서 전통적인 소재 개발 경로, 범위 및 시간 등을 혁신적으로 변화시키고 있다. 축적의 시간이 필요한 첨단소재의 개발 및 산업화 과정에서 이러한 변화는 기존 글로벌 소재 질서에 커다란 변화를 일으키고 있다. 새로운 속성을 가진 재료, 지금까지 불가능했던 디자인의 생산, 새로운 제조 방법, 나노 규모의 재료 조작, 혼합 재료 프린팅, 그리고 인공지능과 빅데이터 분석기술을 사용한 새로운 재료의 발견 등으로 인해 다양한 영역에서 새롭고 고유한 물리적 특성(초전도성 등)과 더불어 더 저렴하고, 더 강하며, 더 가볍고, 더 내구성이 강하거나, 더 높은 기능성 재료(에너지 등)가 개발되고 있다.

소재기술의 발전은 타 기술 분야와의 융합 시너지로 인해 파괴적인 혁신이 가속화 될 것으로 전망하고 있다. 인공지능은 빅데이터 분석기술과 융합되어 신소재 설계, 고유 물리적 특성 확인 및 설계, 화학반응의 직접 조작, 새로운 디자인 및 메타분석을 통한 새로운 연구 영역을 식별하는데 기여할 것이다. 특히, 이것은 2D 재료 개발의 추가적인 발전을 지원할 것이다. 이러한 혁신은 과학기술 모든 영역에 걸쳐 반영될 것이다. 인공지능과 빅데이터 분석기술은 3D/4D 프린팅 또는 바이오제조와 결합하여 신뢰할 수 있는 맞춤형 혼합 재료 제조 제품의 개발을 크게 촉진할 것이다. 이에 새로운 재료, 적층제조(3D 프린팅), 에너지 3가지 영역에서 특히 소재기술의 파괴적 혁신이 일어날 것이라 전망된다.⁹⁵⁾

신소재에 대한 연구는 2D 소재의 특성과 3D 제작기술, 설계, 스마트 재료, 양자 M&S, 나노기술, 바이오제조 등으로 방대하다. 2D 소재 혁신으로 대표적인 그래핀은 항공우주(복합구조), 바이오(로봇과 인체결합, 뇌구조 모사), 고주파 전자(테라헤르츠, 레이더, 냉각), 기능 코팅(부식방지), 에너지 저장(배터리, 울트라 캐패시터), 보호(섬유, 직물), 센서(사진감지기, 압력·감지, 화학물질) 및 휴대용 장치(감지)에 적용되어 현저한 발전으로 이어질 것으로 예상하고 있다. 그 외 포스포린(Phosphorene), 육각형질화붕소(h-BN), 전이금속 디칼코제나이드(Transition Metal Dichalcogenides, TMDs) 등 새로운 2D 소재도 독특하고 놀라운 특성을 보여 전 세계적으로

95) NATO. (2020). Science & technology trends 2020-2040.

2D 소재 혁신을 위한 투자가 활발하게 진행되고 있다. 현재 2D 소재연구는 에너지 발생과 저장, 광전자, 바이오 화학 감지, 유연하고 가벼우면서도 기계적으로 강한 직물, 전도성 중합체 등에 이르기까지 매우 광범위하다.

3D 적층제조 기술은 디지털 모델과 다양한 금속, 플라스틱 및 레진을 통해 사실상 무제한의 3차원 고체 물체를 생성하는 것으로 미래의 강력한 생산제조 기술로 진화하고 있다. 3D 적층제조 기술 분야에 주목하고 있는 이유는 자유로운 디자인 제조 가능, 부피가 작고 복잡한 부품 제작 가능, 효율적인 컨셉 모델링 및 프로토타이핑, 경량·고강도 재료를 사용한 구조물, 혼합 재료 및 적층 가공 전자 제품을 부품에 직접 내장, 전장·선상·우주 공간에서 부품을 수리, 교체부품, 고유 재료를 사용한 디자인 가능, 건물 또는 선박과 같은 대형 구조물, 대체 조직, 장기 및 신체 부위 등의 생물 재료 등 그 응용 분야가 매우 다양하기 때문이다. 이에 더 나아가 3D로 프린팅한 물체가 사람의 힘을 빌리지 않고 외부 요인을 활용하여 형태가 달라지도록 만드는 4D 프린팅 관련 공정은 3D 프린팅 환경조건에 민감한 첨단소재를 결합한 것으로 3D 프린팅이 가진 한계를 극복한 새로운 기술로 개발이 본격화되고 있다. 4D 프린팅의 관련 공정은 3D 프린팅과 환경조건에 민감한 첨단소재를 결합한 것으로 소재기술이 핵심 기술로 꼽힌다. 이러한 물질은 환경적 요인(열, 압력, 전류, 빛 등)에 영향을 받을 때 물리적 거동(행동)을 변경하도록 프로그래밍할 수 있는 스마트 소재가 개발되어야 하고, 그 변화과정을 세세히 예측하여 설계에 반영해야 하기 때문이다. 관련 기술인 나노기술은 원자 규모의 재료를 조작하는 프로세스로, 나노공학을 활용하여 물질에 컴퓨팅을 가능하도록 함으로써 물질의 모양과 성질이 변환할 수 있도록 하는 이점을 제공할 수 있다.

또한, 에너지 스토리지 및 발전, 특히 에너지 저장과 재생에너지는 비약적으로 발전하고 있다. 이러한 발전은 새로운 재료 개발, 제조 방법, 에너지 관리(AI 사용) 및 에너지 수집 접근방식의 개발을 기반으로 한다. 특히 리튬이온배터리는 센서, 차량, 예지 컴퓨팅, 모바일 기기 등에 활용이 가능한 기술이다. 차세대 리튬이온배터리로 리튬금속 전지 재료, 리튬-황 전지, 전고체 전지 개발이 활발하게 진행되고 있다. 리튬금속 전지는 리튬금속 전극 ‘수지상 리튬’ 억제를 위한 소재 연구가 주도하는 양상이며, 리튬금속 소재 자체뿐 아니라 보호층 코팅 소재, 표면 피막 형성 기능성 첨가제 소재연구도 활발하게 진행되고 있다. 리튬-황 전지재료의 경우 황화 리튬의 높은 용해성으로 인한 낮은 수명특성 개선, 황의 낮은 전기전도도로 인한 출력 특성 저하 개선, 방전 시 급격한 팽창과 충전 시 수축으로 인한 급격한 부피 변화 해결, 그리고 리튬금속 전지와 공통적으로 리튬금속 음극의 안전성 향상 연구가 핵심이다.⁹⁶⁾

96) 국가나노기술정책센터. (2021). 2020 소재기술백서.

전고체 전지는 인화성 유기용매 기반의 액체 전해질을 고체 전해질로 대체한 리튬 이온전지를 의미하며, 이러한 고체 전해질은 온도변화에 따른 증발이나 외부 충격에 따른 누액 위험 등이 원천적으로 차단되기 때문에 매우 안전한 차세대 전지로 각광 받으며 주력 기술 중 하나로 연구하고 있다. 이러한 차세대 배터리가 새롭게 확대될 응용처로는 다양화 되는 소형 모바일 전자기기, 신재생에너지 생산 증가에 따른 ESS 용량 증대, 그리고 내연기관차의 주행거리 추월을 위한 고용량 전기차 구현 등이 있다. 특히 향후 2030년 전기차 배터리 수요가 폭발적으로 증가할 것으로 전망됨에 따라 고용량 차세대 배터리 생산은 시장 주도의 핵심 역할을 할 것으로 전망된다. 에너지 생산 및 저장에서의 소재 이슈와 더불어 친환경성에 대한 외부 요구는 생산되는 제품에도 영향을 미치며 새로운 소재를 요구할 것이다. 자동차, 조선, 항공 등 화석연료를 다량 소비하는 이동체들은 화석연료 사용 감소를 위한 경량화가 경쟁력 확보에 중요한 요소이며, 이는 기존 소재의 대체를 필요로 한다. 즉 가벼운 동시에 소재가 가지고 있는 강성을 유지하는 새로운 소재를 개발하는 것이 중요하다.⁹⁷⁾

이외에도 유전자 물질의 배열, 합성, 조작용을 위한 점점 더 정교한 기술과 도구의 발달로 인해 합성생물학 분야가 급속도로 발전하고 있다. 이러한 개발로 인해 재료 R&D, 나노 규모의 제조, 바이오제조 및 바이오제조에 대한 새로운 접근방식이 열렸다. 이러한 접근 방식은 조작된 생물학적 체제(세포, 단백질, 균류 등)를 사용하여 의약품, 장기, 조직, 가죽이나 콘크리트에 이르기까지 다양한 제품을 조립하거나 제작한다. 이러한 소재의 적용으로 실제 나노 규모의 제조를 위한 특수 바이오 로봇(Bio-robots) 또는 제노봇(Xenobots)도 개발 초기 단계에 있으며, 이들은 나노로봇 시대, 친환경 생태 로봇 시대로 로봇 역사를 새로 써나갈 것으로 기대되고 있다.

4) 바이오·의료 신기술 도약

바이오·의료 기술은 인구, 자원, 환경 등 글로벌 사회문제에 대응하기 위한 돌파구이자 급속한 산업 성장이 예상되는 유망분야이다. 최근 바이오·의료 기술은 타 기술과 융합을 통하여 보건, 의료, 식량, 자원, 에너지, 화학 등 다양한 분야에서 산업간 경계를 허물고 새로운 시장 창출을 가속화하고 있다.

최근 코로나-19 팬데믹은 바이오·의료 부문의 혁신을 촉발시켰다. 기업들이 코로나-19 위기에 대응하여 백신 개발에 속도를 낸 것처럼 팬데믹은 새로운 방식으로 생물학과 기술이 만나 의료 혁신을 가속화하게 하였다. 실제 Moderna와 NIAID, 그리고 BioNtech와

97) 산업연구원. (2018.12). 4차 산업혁명 시대의 유망소재와 발전전략.
<https://www.kdevelopedia.org/Resources/view/04201906190151711.do>.

Pfizer가 공동개발한 백신은 이전의 비활성·약화된 형태의 바이러스를 사용하여 내성을 생성하는 백신과 달리 mRNA를 사용한다. 이 mRNA 백신이라 불리는 생소한 물질이 인류 역사상 가장 치열했던 백신 경쟁의 개발 속도 면에서 가장 앞서나갔다. 이 플랫폼은 수년간 개발되어왔으나 규제 승인을 얻은 것은 이번이 처음이었다. mRNA의 ‘m’은 메신저를 의미하는데 단백질을 합성할 수 있는 유전정보를 담아서 이를 전달하는 전령 역할을 한다.

이처럼 팬데믹이라는 긴박감은 이러한 모멘텀을 만들어냈을 뿐 아니라, 바이오 엔지니어링, 유전자 서열 분석, 컴퓨팅, 데이터 분석, 자동화, 머신러닝, AI 등과 같이 광범위하고 다양한 기능을 빠르게 융합하고, 이를 통해 바이러스 탐지, 진단, 치료, 잠재력에 대한 통찰력을 제공했다.⁹⁸⁾ 이에 전 세계는 신속·정확·민감한 진단기술, 바이러스 복제를 종결할 수 있는 분자 단위에서의 치료제, 모든 국가에 백신을 제공하기 위해 사용하기 쉬운 백신 시스템, 감염 예방을 위한 미생물 지리적·시간적 분포패턴 명확화 및 역학연구 관련 빅데이터 업데이트 등이 필수 불가결해지면서 합성생물학처럼 ‘생물학X공학’의 융합연구가 중요해지게 되었다.⁹⁹⁾ 실제 이번 팬데믹은 안전성 및 유효성 요구 사항을 완화하지 않고 데이터를 얼마나 빨리 수집하고 평가할 수 있는지 보여주었으며, 이는 다른 질병에 적용된다면 더 빠른 치료제 개발의 기반을 마련하는 데 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다. MGI(The McKinsey Global Institute)에서는 코로나-19 백신의 개발은 ‘바이오 혁명’이라 부르는 생물 분자, 생물 시스템, 생물 기계 및 생물 컴퓨팅의 가능성을 보여주는 가장 강력한 예로 언급하고 있다. 세포 치료는 손상된 세포와 조직을 치료하거나 대체할 수도 있다. 새로운 종류의 백신은 암과 심장병을 포함한 전염성이 없는 질병에 적용될 수 있다.

한편, 바이오 혁명의 잠재력은 건강 분야를 초월한다. MGI에 따르면, 세계 경제에 대한 물리적인 투입의 60%가 생물학적으로 생산될 수 있다. 그 예로 농업(열 또는 가뭄 방지 작물을 만들거나 비타민 A 결핍과 같은 조건을 해결하기 위한 유전자 변형), 에너지(바이오 연료를 생성하기 위한 유전자 공학 미생물), 재료(인공 거미줄 및 자가수리 직물) 등이 있다. 현재 기술을 통해 실현 가능한 이러한 애플리케이션 및 기타 애플리케이션은 향후 10년간 수조 달러의 경제적 효과를 창출할 것으로 예측된다.¹⁰⁰⁾

아울러, 바이오 혁신 기술 중 하나로 21세기 가장 주목해야 할 기술로 합성생물학

98) Oxford Academic. (2020.10). A forum on synthetic biology: meet the great challenges with new technology, National Science Review, <http://asq.kr/A2OhRnU1wX3NjJ>.

99) Ernest & Young. (2020). Megatrends 2020 and beyond| EYQ 3rd edition, <http://asq.kr/Lhwa00kxjzbZYT>.

100) McKinsey & Company. (2021). The next normal arrives: Trends that will define 2021—and beyond.

(Synthetic Biology)이 있다. 이는 알려진 생명 정보와 구성요소를 바탕으로 기존 생명체를 모방하여 변형하거나 기존에 존재하지는 않았지만, 생물의 구성요소와 시스템을 인공적으로 설계하여 구축하는 학문을 의미한다. 현재 합성생물학은 암치료제와 같은 신약개발이나 바이오 연료의 대량 생산 등을 위한 목적으로 전 세계에서 연구가 진행되고 있다. 합성생물학은 바이오의약뿐 아니라 환경 및 에너지 분야, 생명공학 기술인 화이트 바이오(White-Bio)나 농업분야 생명공학기술인 그린바이오(Green-Bio)에도 많은 도움이 될 것으로 전망되고 있다.¹⁰¹⁾

최근 몇 년간 인공지능 및 데이터분석 기술의 도입으로 모든 분야의 합성생물학의 기술과 전략이 통합되었다. 이에 따라 세포 대사 및 조절 회로의 설계를 개선해 결과적으로 세포 기능이나 바이오 제품의 생산이 향상되고 있다.¹⁰²⁾ 이에 유전자 편집부터 장내 세균 조절을 통한 대사질환 해결을 가능케 하는 스마트·개인 맞춤형 의료, 대량의 백신을 제조할 수 있는 합성생물학 백신, 위협요인을 식별하는 바이오 센서, 합성생물학 기반의 지속 가능한 제조 및 최적화된 식량 생산 등 광범위한 부문에 변혁적 혁신을 가져올 것을 기대하고 있다. 그러나 여전히 살아 있는 시스템을 제어하는 기술에 대한 안전성 및 규제 문제에 대한 이슈로 연구에 한계가 존재한다. 이 기술의 영향이 세계화되었다는 점을 고려하여 윤리에 대한 글로벌 합의 구축이 필요하며, 바이오 기반 첨단연구는 아직 초기연구이기 때문에 미래에 예상치 못한 윤리 문제가 발생할 수 있으므로 관련 윤리·법률 연구작업과 기술연구 작업이 병행되어야 할 것이다. 또한, 생물 안전성을 보장하기 위한 기술(예: 설계된 유기체를 안전하게 유지하기 위한 유전적 격리(Genetic isolation) 기술, 유전자 회로의 안정성을 평가하는 SW/알고리즘 등)에 관한 연구도 필요하다.

코로나-19 팬데믹과 생명공학 기반의 바이오·의료 기술혁신은 의료서비스 부문에 대한 빠른 변화의 계기가 되었다. 바이오기술의 혁신과 함께 인공지능, 빅데이터, 클라우드, 사물인터넷 등 ICT 기술과의 융복합은 개인의 건강상태를 실시간으로 모니터링하고 맞춤형 진료를 가능하게 하는 스마트 헬스케어의 서비스 혁신을 빠른 속도로 유도하고 있다. 세계경제포럼에서는 의료분야의 디지털화는 보건의료체계의 상호연결성을 증대시키고 구조적인 장벽을 허무는 방향으로 변화해갈 것으로 전망했고, 빅데이터 분석, 디지털 기술 및 인공지능과 같은 데이터 과학의 급증은 보건과 의학에 획기적인 영향을 미칠 것으로 전망했다.¹⁰³⁾ 실제 스마트폰, 스마트워치와 같은 다양한 모바일 생태계가

101) 사이언스타임즈 보도자료. (2021.1.11.),

<https://scienceon.kisti.re.kr/mobile/srch/selectPORSrchTrend.do?cn=SCTM00216245>.

102) European Pharmaceutical Review. (2021.1.11.). FDA approves Phase III trial of synthetic biological COVID-19 treatment, <http://asq.kr/wQFsGJhqctgWva>.

103) 의료정책연구소. (2020.5). 디지털헬스의 최신글로벌 동향.

열림에 따라 건강데이터 수집, 다양한 의료서비스 출현이 가속화되고 있다.¹⁰⁴⁾ 이에 의료 기관·의료인 중심에서 환자·데이터 중심으로 의료체계가 이동하고 있으며, 질환별로 동일한 표준적 의료에서 개인 맞춤형 치료인 정밀의료로 전환되고 있다. 스마트 헬스케어의 핵심이 되는 정밀의료 및 개인별 맞춤형 진료는 유전체 분석으로부터 시작된다. 인간 유전체 분석을 통해 정확한 질병 검진이 가능해지고, 적합한 약물과 용량 선택이 가능해지며, 종합적으로 의료비용을 절감할 수 있기 때문이다. 이에 많은 양의 유전체 정보를 확보하고 이를 빅데이터로 구축하고, 진단, 처방, 치료를 위한 유전자 변이를 찾아내기 위해서는 유전체 데이터의 다양성을 개선하고, 환자 개인의 완전한 염기서열 분석기술 및 신속하고 광범위한 진단을 위한 기술 개발, 차세대 치료 도구 개발 등에 대한 혁신에 집중할 것으로 전망된다.

104) 백홍기, 최성현. (2017). 국내 의료산업의 4차 산업혁명 준비수준 점검 - 4차 산업혁명과 국내 산업의 미래(시리즈 ④ 의료), 현대경제연구원 한반도 르네상스 구현을 위한 VIP 리포트, 통권 709호, pp. 17-36.

주요 융합연구테마

1. 선정 과정

사회·기술 트렌드는 국제기구, 컨설팅 및 시장조사 기관, 연구원 등 국내외 전문기관의 보고서 37개를 분석하여 도출했다. 연감 특성상 37개 자료의 세부 내용 중 해외나 미래에 치중되거나 단발적인 이벤트에 그치는 항목은 삭제하고, 융합기술과 관련 있는 201개 세부 내용을 메가트렌드의 관점에서 클러스터링했다. 이 과정에서 도출된 기술 및 사회 키워드를 기반으로 추출한 2020년 NTIS 연구과제에 대한 분석을 추가해 융합연구테마를 선정했다. 이렇게 선정된 사회·기술 트렌드와 융합연구테마는 편찬위원회의 전문가적 시각으로 범위, 지속성, 융합성, 화제성 등의 기준으로 평가하여 재조정하고 최종적으로 확정했다. 이에 대한 자세한 과정은 부록 4에서 확인할 수 있다.

2. 융합연구테마별 주요 내용

- | | |
|-----------------|---------------------|
| 1) 맞춤형 스마트 헬스케어 | 6) 합성생물학(mRNA 백신 등) |
| 2) 스마트모빌리티 | 7) 엣지 컴퓨팅 |
| 3) 가상융합기술 | 8) 녹색수소 |
| 4) 차세대 배터리 | 9) 사이버보안 |
| 5) 스마트팩토리 | 10) 탈내연기관자동차 |

1) 맞춤형 스마트 헬스케어

(개념) 최근 헬스케어의 패러다임이 치료에서 예방으로, 병원에서 소비자로 관점이 변화됨에 따라 스마트 헬스케어를 통한 맞춤형 의료서비스가 4차 산업의 핵심으로 부상하고 있다.¹⁰⁵⁾ 스마트 헬스케어는 헬스케어의 부분 개념으로 헬스케어를 위해 사물인터넷(IoT, Internet of Things), 웨어러블 디바이스, 스마트폰, 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터, 가상/증강현실, 블록체인 및 인공지능 등의 다양한 디지털 기술이 기존의 의료 기술과 융합되어 개인 건강과 질환을 관리하는 새로운 의료 산업 분야로 정의할 수 있다.¹⁰⁶⁾¹⁰⁷⁾

105) 김기봉, 한군희. (2020). 4차 산업혁명시대의 디지털 헬스케어 산업에 대한 연구.

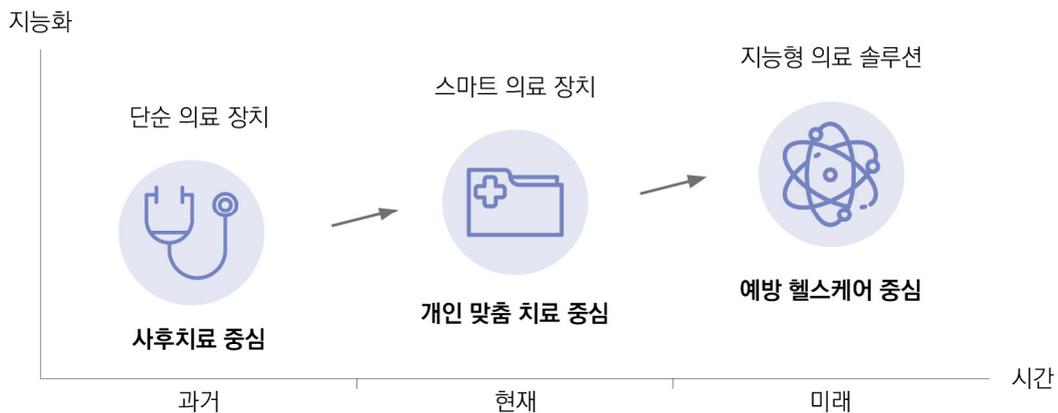
106) 김지은·황정민·홍영주·김수경. (2021). 디지털헬스 산업분석 및 전망 연구, 한국보건산업진흥원.

107) 최윤섭. (2021). 디지털 헬스케어: 의료의 미래.

■ 맞춤형 스마트 헬스케어 시대의 도래

의학과 과학·기술의 발전으로 인한 인간 기대 수명의 증가는 효율적이고 효과적인 건강 관리에 대한 관심을 증가시키며 스마트한 건강관리의 일상화를 이끌고 있다. 스마트 헬스케어는 데이터의 측정, 분석 및 통합, 그리고 정보의 원활한 제공 단계를 거쳐 구현된다. 이를 위해서 무엇보다 중요한 것은 웨어러블 센서, IoT, 스마트폰 등과 같은 디지털 기술로부터 생체 데이터를 측정하고 확보하는 것이다. 미세전자기계시스템(Micro Electro Mechanical System, MEMS)의 발달은 다양한 생체 데이터 측정 디바이스의 소형화를 통한 급속한 발전으로 이어졌고, 센서의 종류는 갈수록 다양하며 정확해지고 있다. 이러한 디지털 기술의 발전으로 인해 예전에는 측정할 수 없었던 방대한 생체 데이터의 취득이 가능해졌다. 최근에는 생체 빅데이터에 더해 의료 소비자의 개인건강기록(Personal Health Record, PHR)과 개인 유전자 정보 처리기술, 그리고 일상생활 속에서 획득된 방대한 생체 빅데이터를 저장할 수 있는 클라우드 기술과 이런 빅데이터를 자동으로 분석 가능한 인공지능 분석기술이 집약적으로 발전했다. 이에 따라 다양한 의료서비스를 모바일 기기로 제공해주는 ICBMA(사물인터넷(IoT), 클라우드(Cloud), 빅데이터(Big Data), 모바일(Mobile), 인공지능(AI)) 플랫폼을 구축하고 선제적, 능동적으로 맞춤형 스마트 헬스케어 서비스를 제공할 수 있는 인프라가 점차 확립되고 있다. 이러한 전방위적 융합 및 발달과 함께, 4P 의학(Preventive 예방, Prediction 예측, Personalized 맞춤, Participatory 참여)이 강조되면서, 디지털 헬스케어는 병원 중심의 진단·치료 연구에서 소비자 중심의 예방·관리 연구로 중심이 변화되며 우리의 일상 속으로 스며들고 있다.

그림 4-11 스마트 헬스케어의 과거, 현재, 미래



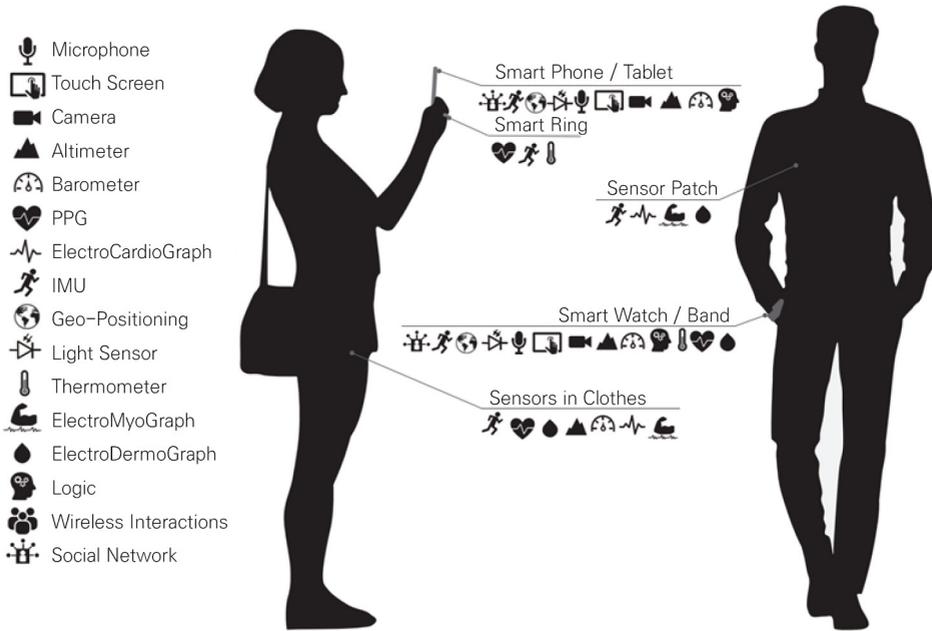
출처: 한국과학기술한림원. (2020). 디지털 헬스케어 건강관리의 새로운 패러다임, 차세대리포트, Vol.04.

■ 맞춤형 건강 예측 및 관리를 위한 스마트 헬스케어 디바이스

최근에 출시된 스마트폰에는 소셜네트워크, 가속도, 자이로스코프, 지자기 센서를 포함한 관성센서, 글로벌 추적 시스템(Global Positioning System, GPS), 조도센서, 마이크, 카메라, 고도센서, 압력센서 및 온도센서 등 다양한 종류의 생체 데이터를 측정할 수 있는 센서들이 포함되어 디지털 헬스케어를 위한 핵심 기기로 변화하고 있다. 스마트폰과 마찬가지로 생체 신호를 실시간으로 정확하게 측정하는 방법으로는 웨어러블 기기가 있다. 웨어러블 기기는 인체에 직접 착용할 수 있는 의료 또는 건강 모니터 전자 장비를 의미하며, 소프트웨어에 의해 감지, 기록, 분석, 조정되어, 질병 치료나 건강 상태 유지에 도움을 주는 장비를 말한다. 웨어러블 센서는 인체에 비침습적으로 손쉽게 탈부착할 수 있고 측정된 데이터가 스마트폰과 연동이 가능하여 데이터의 취득 및 송수신을 손쉽게 가능하게 했다. 웨어러블 센서는 액세서리형에서 직물결합형으로, 최근에는 인체결합형으로 진화·발전하고 있으며, 이를 이용하여 개인 심전도, 활동량, 체온, 산소포화도, 수면의 질, 혈류, 호흡수, 피부전기반응 등 나아가서는 안압과 혈당까지 다양한 생체신호의 측정이 가능해졌다. 최근에는 웨어러블 디바이스의 초소형화가 가능해지고 있으며 RFID(Radio Frequency Identification) 전파 인식, GPS, 센서, 가상현실, 증강현실 등의 기술과 융합되어 실시간 상호작용이 가능하고, 빅데이터와 인터넷 클라우드 플랫폼을 통해 데이터를 수집하고 공유함으로써 우리의 건강과 삶의 질 향상을 위해 사용되고 있다.¹⁰⁸⁾

108) Kourtis, L. (2019). Digital biomarkers for Alzheimer's disease: the mobile/ wearable devices opportunity, NPJ digital medicine, 2(1), pp. 1-9.

그림 4-12 개인 맞춤형 건강 예측 및 관리를 위한 스마트 헬스케어 디바이스



출처: Kourtis, L. (2019). Digital biomarkers for Alzheimer’s disease: the mobile/ wearable devices opportunity. NPJ digital medicine, 2(1), 1-9

■ 맞춤형 스마트 헬스케어를 이용한 건강 관리 기술 동향

인간은 매 순간 방대한 양의 데이터를 생성하고 있는데, 크게는 의료데이터, 유전체 데이터, 그리고 그 밖의 스마트 디바이스에 의해 측정된 외부 데이터로 분류될 수 있다. 이러한 데이터를 기반으로 하여 헬스케어의 패러다임은 질병의 치료에서 질병의 예방으로 전환 중이며, 특히 의료기록만으로 불가능했던 개인 건강 상태 정보가 유전자 정보, 생활 정보, 행동 정보 등의 가세로 충족되며 개인별 맞춤 의료의 가능성이 커지고 있다.

① 유전자 분석 기반 개인 맞춤형 스마트 헬스케어

유전자 분석 시장은 그간의 연구개발 관련 시장과는 다르게 소비자를 상대로 한 상업적 시장(Direct-to-Consumer, DTC, 소비자 직접 의뢰 유전자 검사)으로 새롭게 분화되고 있다. 검사 방식으로는 소비자가 직접 침이나 면봉으로 입 안을 긁어내는 비침습적 방식을 사용하며 질병에 대한 유전자 검사, 비만, 영양, 피부, 탈모 등 건강 관련 성향 및 질병 예방 차원의 검사도 포함된다.¹⁰⁹⁾ 개인의 유전정보를 분석해주는 해외 기업은 다수 존재하지만, 대표

109) 한국보건산업진흥원. (2021). 디지털 헬스 산업 분석 및 전망 연구.

적인 기업으로는 23andMe와 AncestryDNA를 꼽을 수 있다. 집으로 배송된 검사 키트에 침을 뱉어서 보내면 120여 가지의 다양한 질병에 대한 발병 위험도, 약물 민감도, 보인자 검사, 웰니스 및 신체적 특징, 그리고 조상 계통 분석 등 다양한 항목에 대한 예상 결과를 분석하여 제공한다.

국내 통신 3사는 언택트 시대에 발맞춰 모바일 애플리케이션을 통해 DNA 유전자 검사 기반 맞춤형 개인 건강관리 서비스를 시작하였다. SKT는 구독형 헬스케어 서비스 Care8 DNA를 이용하여 질병 유무를 포함, 영양소와 식습관, 피부 상태 등 다양한 개인 건강정보를 알려주는 서비스를 제공하며, 불면증과 요요 가능성, 근육발달 능력 등도 확인할 수 있도록 검사 항목을 60개까지 확장하였다. 검사 후 분야별 전문가로부터 1:1 상담을 받거나 건강관리를 위한 다양한 식이·운동 프로그램도 제안받을 수 있도록 서비스를 확장하고 있다.¹¹⁰⁾

② 고령화사회 건강 문제 해결을 위한 스마트 헬스케어 기술

디지털 헬스케어가 빠르게 일상 속에 스며들면서, 최근에는 디지털 헬스케어 기술을 인구 고령화의 해결책으로 사용하고자 하는 시도들이 증가하고 있다. 고령화의 대표적인 문제로 꼽히는 노인성 질환은 노화, 만성질환, 급성질환 등의 합성으로 나타난다. 65세 이상의 노인 중 90%는 한 개 이상, 51%는 3개 이상의 만성질환을 복합적으로 가진다. 또한 질환이 기저질환으로 내재되어 드러나지 않는 경우가 많고, 증상이 비전형적이며 개인차가 매우 크기 때문에 이를 의사가 시기적절하게 진단·치료·관리하는데 어려움이 존재한다.¹¹¹⁾ 고령자의 신체적 노쇠 및 근육 감소증을 관리하기 위해 대만의 I-Shou 대학 및 호주의 Torrens 대학에서는 나이, 성별, 키, 몸무게, 교육 수준, 수입, 결혼 여부, 약물 복용 정보, 종교 활동, 활동량 등 손쉽게 획득 가능한 노인의 기본적인 정보를 인공지능 모델에 입력하여 신체적 노쇠를 75% 이상의 정확도로 예측하여 노쇠를 효과적으로 예측·관리하고 있다.¹¹²⁾¹¹³⁾ 현재까지 노쇠 진단을 위해 진행된 연구 중 가장 좋은 성능을 나타낸 연구는 한국과학기술연구원에 의해 수행된 연구이다. 고령자에 있어 보행 데이터는 혈압, 맥박, 호흡수, 체온, 체중 다음으로 제6의 활력 징후(vital sign)로 여겨질 만큼 노인성 질환과의

110) 차현아. (2021). [통신, 헬스케어와 만나다] ② '탈통신' 행보 이동3사, 플랫폼으로 헬스케어 공략.

111) 조주연. (2005). Clinical implications of aging and characteristics of illnesses of the aged, Journal of the Korean Medical Association, 48(1), pp. 15-23.

112) Kuo, K. M., Talley, P. C., Kuzuya, M., & Huang, C. H. (2019). Development of a clinical support system for identifying social frailty, International journal of medical informatics, 132, 103979.

113) Ambagtsheer, R. C., Shafiabady, N., Dent, E., Seiboth, C., & Beilby, J. (2020). The application of artificial intelligence (AI) techniques to identify frailty within a residential aged care administrative data set, International journal of medical informatics, 136, 104094.

연관성이 깊다. 이 연구에서는 보행 시 양발이 땅에 붙고 떨어지는 시간 정보를 이용하여 보행을 입각기, 유각기, 단하지지지기(Single Limb Support), 양하지지지기(Double Limb Support), 걸음 시간, 활보 시간 등으로 세분화했고, 이렇게 추출된 연속된 세 걸음의 시간 정보를 장단기 메모리 네트워크의 입력으로 제공했다. 이 연구는 건강한 사람과 노쇠를 가진 사람의 두 그룹만을 분류하는 이전 분류에 국한되지 않고, 노쇠 전 단계를 포함한 다중 분류 모델을 제시했으며, 건강한 노인, 전노쇠, 노쇠 세 그룹을 93% 이상 정확히 분류함으로써 노쇠 조기 진단 및 예측 연구의 새로운 가능성을 보여주었다.¹¹⁴⁾

노인의 인지능력 저하와 노인 소외현상에 따라 치매나 우울증과 같은 인지 및 정신 건강 문제를 가진 노인이 지속해서 증가하고 있으며 노인 생활안전사고도 매년 증가추세를 보인다. 이에 스마트 헬스케어 기술을 이용하여 고령자의 인지 기능장애 여부를 검출하고자 하는 연구 또한 다수 진행되었다. 일본의 Toyama 대학에서는 낮은 인지기능 장애 위험을 가진 노인과 높은 인지기능 장애 위험을 가진 노인이 10m 보행을 하는 동안 보행 특성을 micro-Doppler 레이더를 이용하여 측정했다. 이들 연구팀은 측정된 보행 관련 파라미터를 인공지능의 입력으로 이용하여 높은 인지기능 장애 위험성을 87.9%의 정확도로 분류했다.¹¹⁵⁾ 가장 최근의 연구는 한국과학기술연구원에 의해 수행되었는데 일반보행 및 빠른 보행 시 보행의 시간 파라미터를 장단기 메모리 네트워크의 입력으로 동시에 활용하여 비인지 장애/경도인지장애/중증인지 장애 위험군을 97%의 높은 정확도로 분류했다. 이 연구에서는 일반속도 및 빠른 속도의 보행 시 각 세 걸음 동안의 보행 시간 변인을 동시에 이용하여 임상 환경이 아닌 일상생활 중 전문가의 도움 없이 인지기능 장애의 조기 진단을 가능하게 하는 새로운 기법을 제시함으로써 실버 스마트 헬스케어를 이용한 인지기능 장애 진단·관리 기술의 실제 환경에서의 사용 가능성을 보여주었다¹¹⁶⁾. 이 연구에서 개발된 모델을 사용하면 스마트 인솔, 가속도 센서, 보행 영상 등 보행의 시간 변인을 측정할 수 있는 어떠한 센서나 영상을 사용하더라도 경도인지장애 및 중증인지 장애의 위험성을 정확하게 예측 가능할 것으로 기대된다.

퇴행성 뇌 질환 중 하나인 파킨슨병은 중뇌의 도파민 신경세포가 파괴되면서 발생하는 대표적인 퇴행성 뇌 질환 중 하나이다. 파킨슨병은 병이 진행될수록 환자는 물론 보호자의 부담이 알츠하이머병 이상으로 커지기 때문에 정확하고 빠른 진단법이 필요하다. 최근

114) Jung, D., Kim, J., Kim, M., Won, C. W., & Mun, K. R. (2021). Frailty assessment using temporal gait characteristics and a long short-term memory network, *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*.

115) Saho, K., Uemura, K., Sugano, K., & Matsumoto, M. (2019). Using micro-Doppler radar to measure gait features associated with cognitive functions in elderly adults, *IEEE Access*, 7, 24122-24131.

116) Jung, D., Kim, J., Kim, M., Won, C. W., & Mun, K. R. (2021). Classifying the risk of cognitive impairment using sequential gait characteristics and long short-term memory networks, *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*.

IBM사에서 인공지능 기술을 이용해 파킨슨병 환자의 움직임을 분석하여 파킨슨병 진단 뿐만 아니라 병증의 진행 정도를 파악할 수 있다는 연구 결과를 발표했다. 본 연구에서는 보행 시 팔의 움직임이 일반인과 파킨슨병 환자 사이에 차이가 있음을 이용하여 질병의 진행 정도를 비지도 학습을 통해 예측했다. 이 모델은 파킨슨병 환자의 점점 산만해지고 변동성이 커지는 팔 움직임 사이의 전환을 포착해 파킨슨병 환자의 보행 장애와 심각성을 추정할 수 있다.¹¹⁷⁾

③ 만성질환 진단

스마트 헬스케어 기술은 우울증, 심혈관 질환, 혈압 및 당뇨병과 같은 만성 질환 관리에도 널리 사용되고 있다.

우울증 치료를 위한 디지털 헬스케어 기술로는 스탠퍼드 대학의 챗봇이 있다. 챗봇은 인공지능이 우울증 환자에게 채팅으로 인지 행동 치료를 제공하며 임상적 검증을 완료했다.¹¹⁸⁾ 국내의 경우, 와이브레인 사에서 개발한 MINDD STIM은 미세 전류를 통해 뇌를 자극하는 방식으로 항우울제와 유사한 효과를 내어 우울증을 치료한다. 이러한 웨어러블 기기를 통해 병원 의사의 지도하에 자극 정도를 설정하고 병원에서는 물론 가정에서 자극 모듈을 대여하여 사용할 수도 있다. 기기 사용 이력을 병원에서도 확인할 수 있어 환자의 순응도 제고 및 지속적 관리가 가능하다는 장점이 있다.¹¹⁹⁾

심혈관 질환의 경우, 스탠퍼드 대학에서는 딥러닝을 이용한 다양한 종류의 부정맥 진단을 전문의 수준의 정확도로 분류 가능한 알고리즘을 개발했다. 본 연구에서는 약 5만 3,000명의 환자에서 얻은 9만여 건의 심전도 데이터로 딥러닝을 이용하여 심장내과 전문의 보다 더 나은 정확도로 부정맥을 판단했다.¹²⁰⁾ 이러한 알고리즘과 최근 활발히 개발되고 있는 손목 착용형 웨어러블 심전도 센서를 활용한다면 일상생활에서 상시로 부정맥을 진단하고 질병 발생 시 빠르게 대응할 수 있을 것으로 기대된다.

마지막으로 스마트 헬스케어를 이용한 혈압 관리를 위해서 최근에는 삼성에서 혈압 측정이 가능한 스마트워치가 개발되었다. 고혈압은 특별한 증상이 없어 방치하면 뇌,

117) Abrami, A., Heisig, S., Ramos, V., Thomas, K. C., Ho, B. K., & Caggiano, V. (2020). Using an unbiased symbolic movement representation to characterize Parkinson's disease states, *Scientific reports*, 10(1), pp. 1-12.

118) Clive Thompson. (2018). May A.I. help you?, *The New York Times*, <https://www.nytimes.com/interactive/2018/11/14/magazine/tech-design-ai-chatbot.html>.

119) 민태원. (2019). 하루 30분씩 뇌에 전기 흘려 줬더니...초기 치매 증상 개선, 국민일보.

120) Hannun, A. Y., Rajpurkar, P., Haghpanahi, M., Tison, G. H., Bourn, C., Turakhia, M. P., & Ng, A. Y. (2019). Cardiologist-level arrhythmia detection and classification in ambulatory electrocardiograms using a deep neural network, *Nature medicine*, 25(1), pp. 65-69.

심장 합병증으로 사망에 이를 수 있고, 하루에도 수시로 수치가 변할 수 있기 때문에 주기적으로 측정해야 한다. 이 스마트워치는 발광 다이오드 빛을 손목 혈관에 비춰 조직을 통과하는 혈액량을 센서로 측정하는 광 혈류 측정(Photoplethysmography, PPG) 기법을 사용한다. 커프형 혈압계를 통해 측정된 기준 혈압 정보가 있으면 측정된 혈류 측정값을 비교·분석해 혈압을 실시간으로 분석하여 알려줄 수 있다.¹²¹⁾ 이렇게 다양한 스마트 헬스케어 기술을 이용하여 ADHD, 당뇨, 공포증, 우울증 등 다양한 질환을 실시간으로 진단, 관리, 예방할 수 있는 시대가 점점 가까워지고 있다.

■ 헬스케어 패러다임 변화에 따른 스마트 헬스케어 시장의 지속 확대 전망

앞서 살펴본 바와 같이 디지털 기술의 발전에 힘입어 인체에서 생성되는 수많은 종류의 생체 및 행동 데이터와 사용자의 상태를 병원에서는 물론 일상에서도 지속적·정량적으로 획득할 수 있게 되었고, 다양한 질환을 선제적으로 예측하고 대응하여 건강한 삶을 영위하는 시대가 곧 도래할 듯하다. 그러나 어떠한 질환에 언제 어떻게 걸리게 될지, 언제 질환이 재발하게 될지, 현재 가지고 있는 질환의 치료 효과 및 예후 그리고 다발 복합적 질환을 종합적으로 예측하고 선제적으로 대응하기 위해서는 사용자의 종합적인 데이터를 코호트 연구를 통해 장기간에 걸쳐 측정하고 수집·분석하는 것이 필수적이다. 그리고 다양한 생체 데이터의 정형화 문제, 측정기기 및 센서의 상이함에 따른 정확도 문제, 그리고 병원 간 전자의무기록 사이의 호환성 문제, 시장의 높은 장벽과 규제 등의 이슈도 해결해야 할 부분이다. 하지만 세계 각국이 스마트 헬스케어 산업을 중점 육성하고 있을 뿐만 아니라 인공지능을 포함한 4차 산업혁명의 핵심 기술이 빠르게 발전하고 있으므로 스마트 헬스케어 산업의 확대 가능성은 매우 긍정적이라 할 수 있다. 글로벌 디지털 헬스 산업 규모는 지난해 1,520억 달러 규모를 형성했고, 2027년까지 약 5,080억 달러까지 크게 성장할 것으로 예상된다.¹²²⁾ 우리 정부도 4차 산업혁명 기반 헬스케어 발전전략(17.11), 바이오 헬스 산업 추진전략(19.5), 한국판 뉴딜 종합계획(20.7) 등을 차례로 제시하며 정밀 의료, 스마트 병원 구축 및 한국형 생체 빅데이터 확보 등을 추진해왔다. 최근 2021년 5월 ‘BIG3 추진회의’에서는 2023년부터 6년간 1조 원을 투입하여 100만 명의 바이오 빅데이터를 구축하겠다는 대대적인 계획을 밝히는 등 향후 발전 가능성이 매우 클 것으로 기대된다.¹²³⁾

121) 이금국. (2021). 고혈압 진단 ‘게임체인저’ 될까? 스마트워치의 ‘도전, 헬스조선.

122) 홍숙. (2021). 16조美디지털헬스 시장 ... MS·아마존 가세.

123) KDI 경제정보센터. (2021). 디지털 헬스케어 산업 활성화 정책... 발자취와 새로운 도약.

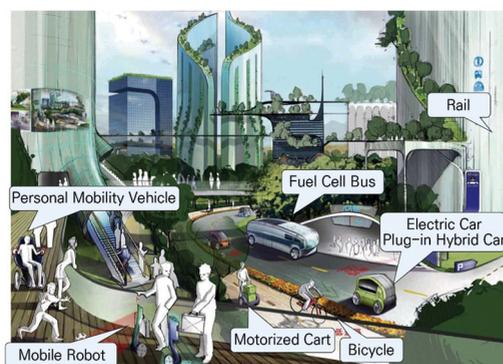
2) 스마트모빌리티

(개념) 모빌리티는 '모바일(Mobile)'의 명사형으로 '움직일 수 있는 것'을 말한다. 스마트모빌리티는 '똑똑한 이동수단'으로 기존의 이동수단의 전형적인 특성과는 다른 이동수단을 의미하며 이동 수단에 지능 기술 또는 자율주행 기술이 융합된 형태를 의미한다. 이러한 융합 기술은 기존 모빌리티 산업에 편의성(Convenience), 자동화(Automation), 개인화(Personalization), 확장(Expansion) 4가지 변화를 불러올 전망이다. 넓은 의미에서 스마트모빌리티는 단순히 이동수단뿐 아니라 '지능화되고 똑똑해진 교통서비스'를 포함한다. 이 모든 것을 다루기에는 지면이 제한적이라 본 원고에서는 스마트모빌리티의 중심 이동수단인 Personal mobility(개인형 이동장치)에 대해 언급하고자 한다.

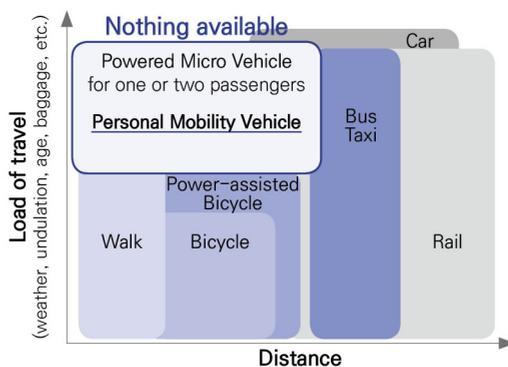
■ 새로운 패러다임과 시장으로서의 Smart Personal Mobility

최근 스마트모빌리티라는 용어가 많이 언급되나 그 정의와 범위에 대해서는 다양한 해석이 있다. 그러나 그 다양한 해석에서도 공통적으로 정의되고 핵심이 되는 부분은 소형 개인형 이동수단(퍼스널 모빌리티)이다. 다만 최근 논의는 이 핵심 이동수단을 기반으로 기술의 관점에서 교통시스템과 IT의 융합으로 구성되는 새로운 교통서비스 전반까지 확대되고 있다. 세계화와 도시화에 따라 운송시스템을 대규모 광역 운송과 개별 지역 운송 시스템으로 계획하고 이를 연결하는 개별 지역 운송의 방법으로 스마트모빌리티 개념이 도입되었다(그림 4-13 참조).

그림 4-13 복합 운송 네트워크 시스템에서의 퍼스널 모빌리티



(a) 복합 운송 시스템



(b) 운송시스템에서의 퍼스널모빌리티

새로운 형태의 개인형 이동수단에 대한 요구는 다음과 같은 시대적, 사회적 요인에 의해 심화되어 왔다.

- ① 현대사회에서 일상의 빠른 변화에 따른 이동행태의 혁신이 필요하며 대부분 사람의

이동은 근로활동 중심의 이동이 58%를 차지하고 있어 통근 거리 및 도심 생활권 중심으로 이용자 기반의 이동이 주를 이룬다.

- ② 따라서 여러 유형의 사람과 사물이 혼재된 다양한 실내/외 주행상황에서는 사용 환경, 주행 서비스 구축 및 안전성 해결이 요구된다. 따라서 단순한 이동보조 기구 보다 한 차원 높은 주행성과 자율성을 갖춘 스마트모빌리티 기능의 해결이 절실하다.
- ③ 일상생활에서 사용자 친화적이고, 개인화될 수 있는 퍼스널 모빌리티의 해결이라는 명제하에 연속된 인간 모빌리티의 지속 가능성(Sustainability of human mobility)이 필요하다.

스마트모빌리티의 최초 언급은 20년 전 밀레니엄의 시작과 함께 발표된 ‘세그웨이’가 대표하는 소형 개인형 이동수단(Personal Mobility)으로 휴대가 가능하고 배기가스가 없는 차세대 이동수단으로부터 대두되었다. 최근에는 광역화되는 도시화의 주요 문제 해결 방안으로써 스마트모빌리티가 부상하고 있고, 자율주행, 온디맨드 서비스, 플라잉카(Flying car) 등도 새로운 모빌리티 영역에 포함되고 있다. 4차 산업혁명이 도래하면서 공간의 이동수단과 시간의 이동수단이 융합하게 되면서 스마트모빌리티가 이동수단뿐 아니라 인프라와 서비스의 융합을 통해 새로운 가치를 창출하고 있으며 환경규제의 강화, 1인가구의 확산, 인구의 고령화, 코로나-19 확산과 사회적 거리두기로 인한 대중교통 등 다중 이용시설 및 인구 밀집지역 기피 현상 등의 사회적 변화로 인하여 ‘스마트 퍼스널 모빌리티(Smart Personal Mobility)’가 미래형 교통수단으로 주목받으며 급부상하고 있다.

그림 4-14 퍼스널 모빌리티의 범위



인간의 기능 중 가장 중요한 부분으로써 모빌리티는 삶의 질 향상 추구에 따라 인간의 이동을 간편하게 하고 이동성을 높이는 퍼스널 모빌리티에 대한 다양한 요구로 나타났다. 과거에는 일부 익스트림 스포츠나 전문적인 야외 활동 등의 레저용으로만 이용되었지만 퍼스널 모빌리티에 최근 근거리 이동수단의 개념이 더해지면서 관련 시장의 급성장이 전망되고 있다. 인간 자체의 보행 이동 보조 및 보행 이동 기능 향상을 위한 장치로써 착용형 또는 보행보조 로봇 등과 같은 저속 이동장치에서부터, 세그웨이나 전동 휠, 전동 킥보드와 같이 전기를 동력원으로 하고 휴대가 가능하며 사람의 달리는 속력으로 이동할 수 있는 장치 혹은 사람이 탑승하여 비교적 높은 속력으로 주행할 수 있는 전기자전거나 초소형 전기차 같은 PMV(Personal Mobility Vehicle) 등에 이르기까지 매우 다양한 종류의 모빌리티 플랫폼이 존재하여 이미 유럽을 중심으로 선진국에서 주목을 받고 있다(그림 4-14 참조).

또한, 앞서 언급한 것처럼 최근에는 기존에 볼 수 없었던 새로운 콘셉트들로 다양화된 플랫폼들과 자율주행차, 플라잉카와 같은 고속 주행성을 가지는 모빌리티 플랫폼도 개발되어 산업화를 통해 새로운 시장을 개척하여 폭발적인 수요 창출과 함께 세계시장을 선도할 가능성이 매우 크다. 전기를 동력으로 하는 퍼스널 모빌리티는 배기가스를 배출하지 않으며, 세계적 난제인 교통체증 및 주차 문제에서 자유로울 수 있다. 또한 초고령 사회를 대비한 고령자 등 교통약자의 이동수단으로도 기대가 높다.

그러나 새로운 시장으로서의 퍼스널 모빌리티 산업은 정책, 규제 및 시장환경에 많이 좌우된다. 대표적인 사례로는 기존 포화된 자전거 시장에 대비하여 지속적으로 성장하고 있는 전기자전거 시장이 있다. 전 세계 전기자전거 시장의 90% 이상을 차지하고 있는 중국에서는 보조 개념의 전기자전거를 넘어 페달 없는 전기자전거의 양산화가 진행되고 있다. 이는 전기자전거 이용에 면허가 필요한 유럽, 일본 등의 선진국과는 달리 중국은 전기자전거 이용 자격을 일반 자전거와 동일하게 취급하기 때문이기도 하다.

전기이륜차도 중국 시장이 80% 이상을 차지하고 있는데, 이는 고액 번호판 취득이 필요없으며, 헬멧의 착용이 의무화되어 있지 않고, 충전 장소 등의 인프라가 갖추어져 있기 때문으로 분석된다. 국내에서도 정부 차원으로 2012년부터 전기이륜차 보조금 사업을 시행하고 있으나 전기이륜차 점유율은 1%에도 못 미치는 실정이다. 배터리 성능향상이나 충전소 등의 인프라 확충 등 실사용자들의 불편을 해소하는 문제가 시급해 보인다.

기존 전기차와 유사한 환경과 정책을 기반으로 하는 PMV의 경우는 국내외 정책과 규제가 큰 차이가 없는 관계로 시장 환경과 기술개발이 치우침 없이 진행되고 있다. 이런 이유로 자동차 업체들은 기존 경형 모델보다 더 작은 초소형 전기차를 통해 신수요 창출을

서두르고 있다. 1~2인용의 PMV인 초소형 전기차는 도요타 등 일본 메이커와 유럽 업체들이 집중하고 있고 중국도 상당한 판매 실적을 올리고 있다. 국내에서는 트위지가 2018년 약 1,500여 대를 판매하며 시장을 주도하고 있지만, 2021년을 기준으로 국내 중소기업들의 출시가 본격화될 것으로 예측되고 있다. 마스타자동차는 우정사업본부가 집배원의 오토바이를 대체하는 사업을 시작으로 본격화되고 있으며, 대창모터스는 초소형 화물 전기차 ‘다니고(DANIGO)III’를 2021년 3월부터 양산하고 있다. 에스엔케이(SNK)모터스도 소형 승용차 6종, 스포츠유틸리티차(SUV) 1종, 1t 트럭 1종의 소형전기차를 2021년 대구와 군산에서 연간 11만대를 양산할 계획이다.

세계 전동휠체어 시장은 연평균 9.7%씩 성장하여 2019년 기준 29억 달러 규모에서 2027년 58억 달러 규모에 이를 것으로 추산된다. 또한 이 시장은 자동화 트렌드로 인해 투자수익률과 비용 최적화가 향상되면서 수익률도 증가하고 있다. 특히 노령인구의 증가, 장애인을 위한 자동화된 휠체어의 필요성 증가 등으로 높은 성장세를 보일 것으로 전망되고 있다. 하지만, 아직까지 국내에서의 연구 및 개발 성과는 미흡한 실정이며 여전히 수입부품을 단순 조립하는 수준에 머무르고 있다.

한편, 이러한 퍼스널 모빌리티들은 최근 자동차 관련 최대 이슈인 ‘MaaS(Mobility as a Service)’ 차원에서도 중요하다. 구체적으로는 자동차로 이동하고자 하는 승객과 운전자(자가용을 이용하는 일반인 또는 택시)를 IT 기술로 매칭하여 동승하는 승차공유(라이드 셰어링)나 사업자가 제공하는 차량을 회원이 공유하는 카셰어링을 그 예로 들 수 있는데, 이는 자동차의 개념을 ‘소유’에서 ‘이용’으로 전환하기 때문에 자동차를 판매하는 비즈니스에는 위협적일 수 있다. 또한, 완성차업체의 새로운 서비스에 대한 시도는 신(新)비즈니스 영역에 대한 진출이자 미지의 도전이라 할 수 있다. 이동에 관한 공유 서비스 유형에는 자전거, 킥보드, 스쿠터 등의 라스트마일 모빌리티도 비즈니스화되고 있다. 해외의 여러 가지 사례에서 다양한 문제점들이 야기되고는 있으나, 향후 MaaS가 ‘공유경제’라는 큰 틀에서 배제할 수 없는 트렌드라는 점은 분명해 보인다.

■ 스마트모빌리티 기술 동향

① 세계 기술 동향

그림 4-15 BMW의 퍼스널리노



- BMW: 오랜 전통모델인 이세타를 퍼스널 스마트모빌리티로 개발하여 퍼스널리노 초소형 전기차로 2019년부터 유럽 시장에 본격적으로 판매 예정이다. 차체 길이 2.4m, 무게 450kg(배터리 제외)로 최고 속력은 시속 90km, 15kW(20 PS) 엔진에 의한 스마트모빌리티의 선두 모델로 기대가 높다.

그림 4-16 아이보드(왼쪽), 나인봇(가운데), 나인봇원(오른쪽)



- 아이보드: 미니멀한 디자인과 흔들림을 줄이고 기동성을 높인 혁신적인 이동성으로 출퇴근, 실내외 레저용으로 적절함 제품이다.
- 샤오미 '나인봇': 상대적으로 저렴한 가격 및 스마트폰 앱과 연계된 다양한 기능 활용으로 대중적 접근성이 높다.
- 스타플릿 '나인봇원': 외발형으로 안전운행에 도움을 주는 스마트 시스템을 갖추었으며 휴대성 및 보관이 용이하고 다양한 도로환경에서 주행이 가능한 대중적

가격의 퍼스널 모빌리티이다.

- MIT 미디어랩의 도시과학(City Science) 그룹은 자전거 공유와 맞춤형 모빌리티를 융합하는 자율주행 자전거 연구를 진행하고 있다. 자율주행 자전거는 GPS와 장애물 회피센서를 장착하고 있다. 또한, 자율주행 자전거는 자율적으로 다음 사용자나 수요 발생이 예상되는 지역이나 충전 스테이션으로 이동할 수 있다. 한편, 중국에서는 화웨이의 AI 엔지니어인 지후이 준에 의해 자율주행이 가능한 2륜 자전거가 개발되었다. 이는 원반 회전 모먼트를 활용한 자세제어 모듈 기술을 적용했다. 이는 소형 정밀센서로 기울기를 감지하고 모듈로 이를 조정해 균형을 잡는 기술이다. 해당 자전거에 들어가는 자율주행 기술은 라이다(LiDar) 센서, 영상 이미지 인식 카메라, AI 기술이 융합되어 만들어졌다.
- 2020년 11월, 스웨덴 업체인 '보이(Voi)'는 장착된 카메라와 센서를 이용, AI 기술을 사용하여 보행자 충돌을 줄이는 전동킥보드를 개발했다. 보이는 향후 1년간 영국에서 시험 및 검증을 수행할 예정이다. 미국 기업 '라임'도 속력과 진동 패턴을 사용하여 보도 주행 식별 기술을 적용하는 유사한 연구를 진행하고 있다.
- 2020년 1월에 파나소닉은 이용자가 스마트폰으로 미리 경로를 입력하면 자율주행이 가능한 자율주행 전동휠체어 '휠(WHILL)'을 개발했다. 브리티시항공은 2020년 3월부터 뉴욕 공항에서 '휠'에 대한 시범운영을, 영국 히스로 공항에서는 추가적인 시험을 진행할 예정이다.
- 그 외: 다양한 모양과 각기 다른 휴대 형태를 가진 차세대 개인용 이동수단을 스타트업 기업들이 킥스타터, 인디고고 등 소셜 펀딩을 통해 개발 중이다. 보드 없이 두 바퀴만으로 이루어진 '포스트모던 스케이트보드', 노트북처럼 배낭에 넣고 다닐 수 있는 노트북 모양의 휴대용 전동 보드 '워크카', 신발에 부착하는 '워크윙'과 '로켓스케이트' 등이 있다.

② 국내 기술 동향

- 르노삼성: 트위지는 국내 퍼스널 모빌리티 시대를 연 브랜드로, 2012년 출시된 초소형 4륜 전기차로 유럽에서만 2만 대 이상 판매되었다. 또한 트위지는 180L의 적재공간을 가진 세컨드카 및 근거리 운송용 모빌리티로, 가정용 220V 전원으로 완충 시 최대 시속 80km로 100km까지 이동한다.

그림 4-17 르노삼성의 트위지(왼쪽) 및 대창모터스의 다니고(오른쪽)



- 대창모터스: 다니고라는 브랜드의 퍼스널 스마트모빌리티를 2018년부터 판매해왔다. 국토교통부 정식 도로주행 자격을 취득했으며, 미국 전기차 유통업체와도 공급계약을 체결하였다, 최고 속도 80km/h, 완충 시 100km까지 주행할 수 있다. 이 밖에도 대창모터스는 SPM시리즈로 명명되는 전동 골프 카트 등도 개발 중이며 국내 업체로는 선두 위치에서 다니고를 중심으로 공격적인 마케팅을 전개 중이다.
- 캄시스: 2018 영광 국제 스마트 스마트모빌리티 엑스포에 오토바이와 승용차의 중간 크기인 완충 시 최고 80km/h로 100km 주행이 가능한 CEVO-C라는 모델을 공개했다. 중국 및 동남아 중심의 해외시장 진출도 계획 중으로 픽업트럭, 상용 전기차 등으로 제품군을 확장해 나갈 계획이다.

그림 4-18 캄시스 CEVO-C(왼쪽) 및 세미시스코의 R3(오른쪽)



- 썬미시스코: 초소형 전기차 R3를 2018년 상반기에 개최된 제주 국제전기차엑스포에서 공개했다. 2018년 7월 1일부터 판매를 시작했고 완충 시 최고 66km/h로 60km 이상을 주행할 수 있다.
- 형제파트너: 농업용 스마트모빌리티의 선두주자로서 아그레브라는 농업용 스마트모빌리티를 개발하여 현재 시판 중이다. 완충 시 최고 25km/h로 50km까지 주행 가능하고, 적재량도 300kg까지 실을 수 있는 기술력을 확보했다.

그림 4-19 형제파트너의 아그레브



- 서울대학교 차세대융합기술연구원은 장애인 또는 노인의 이동성 향상을 위해 자율주행이 가능한 1인용 스마트 퍼스널 모빌리티 플랫폼 개발연구를 수행했고 KAIST에서 개발한 재활용 보행보조 로봇은 로드셀을 활용한 환자의 체중감지 및 보행 시 하중조절 기능과 초음파센서에 의한 환자와 로봇과의 거리감지에 의한 보행 속도감지 및 제어 기능을 갖추고 있다. 한국산업기술대학교에서는 계단승월이 가능한 시각장애인 보행 유도 로봇을 개발했고, 고등기술원과 공동으로 경사면, 도로 요철 및 턱이 있는 제한된 환경에서 고령자의 보행, 부축 및 앉기/서기 등을 보조하는 보행 보조로봇을 개발했다.
- 유진로봇은 장애인이나 노약자를 위한 실내용 탑승로봇 'PTR'을 개발하여 자율주행 및 조이스틱 수동주행이 가능한 형태로 시속 10km의 속력으로 100kg까지 탑재할 수 있다. 엔터렉스의 실외용 탑승로봇 'ELEC-CAR'는 최대 시속 20km로 자율주행 가능한 전기자동차로 수동, 자동변환이 가능하다.

- 경희대학교 이순걸 교수팀은 (주)포스코와 협동으로 지능형 모션제어와 traction 제어를 통하여 비평탄 노면, 경사면 및 턱 극복에 탁월한 지능형 휠체어 로봇을 개발하고 원격조작 및 댄싱기능 등 ICT 기술융합을 통한 스마트기능을 탑재한 지능형 서비스를 개발했다. 또한, 세계 최초로 볼 하나를 이용한 탑승형 로봇을 개발하여 2018년 10대 기계기술대상을 수상했다.
- 2020년 12월, 유테크(아이카봇)는 전동 킥보드에 라이다(LiDAR) 센서를 탑재하여 최대 100m 전방의 보행자나 장애물을 인식하고, IoT를 통해 이용자에게 근거리 정보를 전달하고 속도를 자율적으로 조절하는 개인 이동장치를 개발했다. 유테크는 전라남도 영광 e-모빌리티 규제자유특구혁신사업(R&D)을 통해 한국자동차연구원, 전남대학교 등과 협업을 통해 기술 검증을 수행하고 있으며, 이후 공유 전동킥보드에 기술을 적용할 예정이다.
- 2020년 공유 킥보드 플랫폼 개발 및 서비스 업체 슈어모빌리티는 범부처 전주기 의료기기 연구개발사업을 통해 실내 자율주행을 위한 휠체어전동화 키트를 개발하고 있다. 자율주행 휠체어는 상당한 잠재력이 존재한다. 글로벌 고령화 추세 가속화로 2024년까지 260억 달러 규모의 시장이 예상된다.

■ 스마트 퍼스널 모빌리티 전망

가까운 미래의 모빌리티는 우리에게 단절 없는 서비스를 제공하게 될 것이다. 버스, 택시, 도심항공교통(Urban Air Mobility, UAM) 등과 초소형 전기차나 공유 자전거 등의 퍼스널 모빌리티 등 서로 다른 이종의 교통수단이 유기적으로 연결되어 단절 없는(Seamless) 경로 정보를 제공할 수 있다. 여기서 특히 전기동력 수직이착륙기(Electric Vertical Take Off & Landing, eVTOL)로 대표되는 첨단 도심형 항공교통수단의 개발이 이루어지면 도시권 중장거리도 신속하게 이동하는 교통서비스(MaaS)가 가능해질 것으로 기대된다.

한편, 퍼스널 모빌리티는 자동차보다 가까운 곳에서 우리 주변을 달리는 기기이므로 체계적인 안전 확보가 필요하다. 2020년 12월에 완화된 전동킥보드 도로교통법 시행 후 전년 대비 사고율이 49건에서 77건으로 57% 증가했다. 이에 따라 운전면허가 없어도 만 13세 이상이면 누구나 전동킥보드를 이용할 수 있도록 완화된 규제가 2021년 4월에 다시 16세 이상으로 변경되기도 했다. 따라서 자율주행을 위한 안전장치를 탑재한 퍼스널 모빌리티 개발로 안전사고를 절감할 필요성이 높다.

아직까지 퍼스널 모빌리티에 자율주행이 적용된 사례는 많지 않다. 하지만 미래 모빌리티로써 안전한 주행을 위해 이동성이 우수한 다양한 형태의 퍼스널 모빌리티를 지속적

으로 연구개발하며 단계적으로 자율주행 기술을 적용하고 검증한다면, 향후 다가올 자율주행 시대를 앞당길 수 있을 것으로 기대한다.

3) 가상융합기술

(개념) 가상융합기술이란 정보를 가상의 형태로 생성하고 감각 기관을 통해 사용자에게 전달하여, 사용자가 수행하고 있는 작업, 행위의 성능이나 경험을 향상시키는 것을 목적으로 하는 기술의 총칭이다. 사용자는 실제 환경에 존재하므로 어떠한 가상의 구성요소를 제공하더라도 실제와 가상이 섞인 형태의 경험을 된다. 이와 관련해 전통적으로 사용되던 가상현실(Virtual Reality: VR), 혼합현실(Augmented Reality: AR) 등의 용어를 확장하여 근래에는 확장현실(Extended Reality: XR)이란 말을 자주 사용하고 있다. 개념적으로 가상현실은 가상 요소의 비중이 실제 요소보다 큰 경우,¹²⁴⁾ 혼합현실은 실제 요소의 비중이 가상 요소보다 더 큰 경우를 지칭한다. 확장현실은 실제 상황에서 경험할 수 없는 콘텐츠까지 제공하여 현실을 확장한다는 의미를 내포한다. 하지만 이를 가상 콘텐츠의 목적으로 간주할 수도 있으므로, 확장현실이라는 말은 정확한 학술적 용어보다는 상업적 용어에 가깝다. 일반적으로 어떤 가상의 구성요소가 특정 목적을 위해서 존재하면 이는 가상 융합의 일종이라고 보아도 큰 무리가 없다.

■ 가상융합기술

모든 가상 융합 콘텐츠를 완전무결하게 제공할 수 있는 기술은 존재하지 않으며, 상당 기간의 미래에도 그럴 가능성은 희박하다. 이 분야의 본질은 사람에 대한 원천적인 이해 및 사람이 수행하는 행위와 경험을 보조·증강하기 위한 적절한 기술의 결합이다. 두 가지 중 하나라도 부족하면 성공적인 가상융합기술과 콘텐츠를 제공하기 어렵다. 이것이 가상 융합이라는 개념, 기술, 응용 사례가 개발되고 상업화가 시작한 지 30년 이상이 지났지만, 현재까지 수차례 부침을 겪어온 근본적인 이유이다.

성공적인 가상 융합을 위해서는 우선 사용자에게 인공적으로 만든 경험을 적절하게 제공하기 위한 기술이 필요하다. 이를 위한 접근 방식은 크게 세 가지가 있다. 가장 기본적이고 널리 사용되는 방식은 사람의 감각 기관이 자연적으로 반응하는 물리적 신호를 생성하여 해당 감각 기관에 자극을 주는 것이다. 이때 감각 기관의 지각 원리를 충분히 이해하고 이를 활용해야 한다. 예를 들어, 2차원 평면 영상 생성을 위한 텔레비전, 모니터와 3차원 입체 영상을 위한 HMD(Head Mounted Display) 등은 눈 안에 있는 수많은 빛 수용체에 물리적 에너지를 전달하여 사용자가 시각 정보를 지각하도록 한다. 스피커는 공기의 파동을 생성하여 귀 안의 청각 세포를, 햅틱(Haptic) 장비는 기계적인 움직임과 힘을 만들어 피부를 움직여서 피부 속에 있는 촉각 수용체를 자극한다. 이러한 감각 디스플레이(Sensory Display)의

124) 이 경우를 엄밀한 학술적 용어로는 증강 가상(Augmented Virtuality)라고 부른다. 하지만 이 용어는 일반적으로는 잘 사용되지 않으므로 이 글에서는 사용하지 않는다.

개발과 이를 구동하기 위한 알고리즘의 개발은 가상 융합을 위한 원천적이고 필수적인 기술이며, 지난 30년간 꾸준히 발전해 왔다. 근래에는 4D 극장에 가면 전정 기관을 자극하는 모션 의자에 앉아 3차원 입체 영상을 보고 3차원 입체 소리를 들으며, 이따금 진동, 향기, 물 등의 특수 효과까지 느끼면서 다중 감각을 통해 영화를 감상할 수 있게 되었다. 기존 영화보다 사용자가 훨씬 더 몰입할 수 있어서 영화 감상 경험을 한층 더 배가할 수 있다. 이러한 감각 디스플레이를 사용하는 방식이 가장 널리 사용되고 있다.

두 번째 접근 방식은 사람의 감각 신호를 전달하는 신경을 자극하는 방법이다. 사용자 신체 내의 감각 수용체가 자극되면, 특정한 형태의 전기적 신경 신호가 생성되고 이 신호가 뇌로 전송된다. 이때 신경 신호에 담겨 있는 정보의 의미를 이해하고, 이에 기반하여 적절한 전기신호를 만들어 신경에 직접 인가할 수 있으면 이론적으로 사용자가 실제 감각 신호와 유사한 지각을 느끼도록 할 수 있다. 그러나 신경 신호의 정보 전달 방식에 관한 연구가 아직 충분하지 않고, 직접 신경을 자극하는 방법의 안전성에 대한 우려가 상당하다. 따라서 신경 직접 자극 방식이 일반화되기까지는 아직 많은 연구와 기술 개발이 필요하다.

세 번째 접근 방식은 모든 인지 반응을 총괄하는 뇌를 직접 자극하는 방식이다. 사람의 감각 기관에서 전송된 신호를 처리하는 뇌의 영역은 미리 결정되어 있다. 예를 들어 시각 수용체에서 전송된 신경 신호는 시각 피질에서, 촉각 수용체의 신경 신호는 체성 감각 피질에서 일차적으로 처리된다. 이 관계를 잘 알고 있으면, 특정 감각 경험을 일으키기 위해 해당 신호를 처리하는 뇌의 영역을 비침습적으로 자극하여 원하는 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대하고 있다. 일례로 사람의 두개골을 투과하는 초음파를 투사하여 그 에너지를 뇌의 특정 부분에 집중시킴으로써 감각을 느끼게 하는 연구가 속속 발표되고 있다. 영화 매트릭스에서 헬멧을 끼고 완전한 가상경험을 인지하는 이야기가 나오는데, 기본적으로 유사한 방식이라고 이해할 수 있다. 아직은 우리의 뇌에 대한 이해가 부족하고 사람마다 뇌의 모양과 자극처리 영역이 조금씩 달라서 뇌 직접 자극 방식은 아직 초보적인 단계에 머무르고 있으나, 많은 학술적 관심을 받고 있다.

다음으로 사용자의 행위를 측정·인식하기 위한 기술 또한 가상 융합을 위해서 필요하다. 간단하게는 버튼 등을 눌러서 사용자의 명령을 입력할 수 있고, 복잡하게는 사용자의 손동작이나 음성을 인식할 수도 있다. 전자의 경우, 기술적으로 간단하고 오류가 적다는 장점이 있고, 후자의 경우 일상생활과 유사한 상호작용을 자연스럽게 제공한다는 장점이 있다. 하지만 정확하게 사람의 다양한 3차원 동작을 실시간으로 측정·인식하거나 복잡한 음성 언어를 이해하는 것은 지난 수십 년간의 연구에도 불구하고 여전히 난해한 기술이다. 두 가지 모두 특정한 환경과 상황에서 충분히 사용할 정도의 기술은 존재하며, 이를 활용

하면 특정한 목적을 위한 가상 융합 응용 사례를 훌륭하게 구현할 수 있다. 하지만 아주 빠르거나, 복잡하거나, 미묘한 동작이나 시끄럽거나 복잡한 말을 측정·인식하는 것은 여전히 제한적인 성능을 보인다. 특히 사용자가 여러 명일 때는 성능이 매우 저하될 수 있다. 실제 응용 사례를 개발할 때에는 사용자의 행위 인식에 대한 사용 시나리오를 어떻게 설계 하느냐, 어떤 적정 기술을 사용하느냐가 성패를 좌우하는 경우가 의외로 많다.

위의 전통적인 가상융합기술을 사용하면 컴퓨터와 사용자가 같은 물리적 공간에 존재 하는 경우의 응용 사례를 구성할 수 있다. 이를 확장하여 물리적으로 떨어진 컴퓨터와 사용자 간의 가상 융합을 위해서는 연결성이 강조된다. 전통적으로는 영상, 음성 신호의 압축, 전송, 해독을 위한 멀티미디어 데이터 전송 방법이 사용되었다. 하지만 이는 실시간 양방향성이 떨어지는 단점이 있다. 한편, 촉감 등 다양한 가상 융합의 요소 또한 도입하여 다수의 사용자가 물리적으로 떨어진 공간에서 자연스럽게 연결되어 상호작용을 하게 하도록 다양한 시도가 이루어지고 있다. 이를 위해 기존의 네트워크 및 멀티미디어 기술을 넘어서 새로운 기술적 필요성이 대두되고 있다. 일례로 네트워크를 통한 촉각 정보의 공유와 상호작용을 위해 촉각 인터넷(Tactile Internet)에 대한 개념이 정의되고 표준화가 시도되고 있다. 이러한 초연결성에 대한 기술적 난제도 가상융합기술의 완성을 위해 꼭 풀어야 할 숙제이다.

가상융합기술의 또 다른 숙원은 인공지능 기술과의 결합이다. 일정 정도의 지능을 가진 가상 생명체를 활용하거나, 다양한 상황에서 사용자의 상태를 추론하여 가상 환경이나 물체가 적응적으로 반응하는 경우도 많다. 이를 위해 인공지능의 인식 및 추론의 기술이 추가되는 것이 바람직하다. 근래 인공지능 기술이 급속하게 발전하였으나, 인식에 비해 추론 분야의 발전이 상대적으로 더딘 상황이다. 특히 가상 융합을 위해서는 실시간 기술이 필요한 것도 중요한 기술적 요구사항이다.

상기에 설명한 기술적 요소가 결정되면, 최종적으로 중요한 것은 가상 융합 사용 시나 리오와 콘텐츠이다. 사용 시나리오는 응용 사례의 목적에 따라 체계적으로 설계되어야 하며, 이를 위해서는 해당 분야의 전문가와의 협업이 필요하다. 사용 시나리오가 결정되면 이를 구현하기 위한 가상 융합 콘텐츠를 설계·제작하게 된다. 이때 사용하고자 하는 다양한 가상융합기술의 장점 및 단점, 효용성, 부작용 등에 대한 이해가 필요하다. 이는 일반적인 영상 콘텐츠 제작과 가장 차별적인 부분이기도 하다. 특히 어지러움 등의 부작용은 매우 흔하게 발생하므로 그 원인과 해결 방법에 대한 지식과 경험이 필요하다. 또한, 콘텐츠를 빠르고 편리하게 만들기 위한 저작 도구도 실제로 매우 중요한 부분이다. 콘텐츠 저작자는 가상융합기술의 세부적인 내용에 대해서는 전문적인 지식이 없는 경우가 대부분이다.

그러므로 각 장비의 사용 방법과 렌더링 알고리즘 등이 저작 도구에 충분히 포함되어 제공되어야 콘텐츠 저작자들이 쉽게 사용할 수 있다. 현재는 대중화된 게임엔진을 주로 활용하고 있으나, 햅틱, 모션 등 다양한 감각 디스플레이에 대한 표준화된 지원과 인공지능에 대한 기능도 꼭 필요한 시점이다.

위에 설명한 바와 같이, 가상융합기술을 성공적으로 적용하기 위해서는 감각 디스플레이에서 자극 생성을 위해 필요한 광학, 음향학, 구동기, 기계공학 등 물리학 및 공학, 사용자의 지각, 인지, 운동 능력에 대한 이해와 기전을 연구하는 신경생리학, 인지심리학, 운동학 등의 기초 과학, 사용자의 동작과 음성을 측정, 이해하기 위한 센서 및 자연어 처리, 컴퓨터를 사용하여 사용자와 상호작용을 이해하고 원하는 콘텐츠를 재현하기 위한 소프트웨어를 개발하는 그래픽스, 가상현실, 네트워크, 인공지능 등의 컴퓨터과학, 특정 응용 사례에서 필요성과 사용 시나리오 설계를 위한 해당 분야에 대한 전문지식 등이 필요하다. 따라서 가상융합기술은 현존하는 과학기술 중 가장 융합적이고 학제적인 분야이며, 이 기술의 발전과 성공적 적용을 위해서는 어떤 한 분야만의 발전으로는 충분하지 않다. 하지만 그 범위가 광대하여 현실적으로 어느 정도 특성화가 필요하기도 하다.

■ 가상융합기술의 활용 분야

가상융합기술의 활용 분야는 무궁무진하다. 이 기술의 시초는 우주 비행사를 위한 훈련 시뮬레이터의 개발이다. 우주 공간을 지구상에서 재현하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 사실적인 우주 환경을 재현하고 다양한 조작 상황을 경험하도록 하여 우주 비행사를 훈련하고자 했다. 이에 3차원 입체 영상, 소리, 다양한 장비의 조작 기능 등이 필요했다. 일상적인 교육과 훈련이 어려운 분야에 가상융합기술을 적용하고 안전하고 다양한 상황에 대해 사용자를 준비시키는 것은 가상융합기술의 장점이 극대화될 수 있는 가장 대표적인 사례이다. 근래에는 경찰, 군인, 소방관 등 위험하거나 어려운 임무를 수행하는 직업군에 종사하는 사람의 안전한 교육을 위해 많은 관심을 받고 있다.

현재는 수십 개의 산업군에서 가상융합기술이 다양한 용도로 널리 활용되고 있으며, 관련 기술의 발전과 새로운 필요성의 대두에 따라 더 확대될 것으로 예상된다. 대표적으로 가상융합기술을 적극적으로 수용, 발전시키고 있는 것은 오락 산업이다. 입체적 컴퓨터 게임, 3D/4D 영화 등에 집중적으로 투자하여 이미 다양한 서비스가 이루어지고 있다. 또한, 자동차 업계에서는 자동차의 가상 샘플을 만들어 가상공간에서 설계 시안을 보고, 수정하고, 검증하고 있다. 의료 또한 가상융합기술이 활발하게 적용되는 대표적인 산업이며, 의사나 간호사의 훈련을 위한 수술 시뮬레이터, 정신적 문제의 가상 치료, 가상현실을

활용한 재활 훈련 등 다양한 분야에 대해 집중적인 투자가 이루어지고 있다. 디지털 마케팅도 대표적인 응용 분야이며, 온라인 쇼핑몰을 확장하여 가상공간에서 물건을 보고, 비교하고, 실제 사용 환경과 어울리는지 확인해 보는 기능에 대한 적용 등이 시도되고 있다. 관광 산업에서의 가상 여행 앱도 이미 상용화되어 있어 집에서 외국의 유명한 관광 명소를 3차원으로 둘러볼 수 있다. 부동산 업계에서도 실제 집을 다양한 방법으로 모델링하여 구매 의향자가 가상 공간에서 집을 둘러볼 수 있도록 하려고 하고 있다. 건축 및 조선업 분야에서도 유사한 시도가 이어지고 있다. 스포츠 산업 쪽에서도 보다 몰입감이 높은 경험을 제공하기 위하여 가상융합기술을 활용하여 다양하고 새로운 시도를 하고 있다. 예술계에서도 새로운 형태의 예술을 창조, 제공하기 위하여 가상융합기술을 새로운 기회로 삼고 다양한 시도를 하고 있다. 이러한 성공적인 응용 사례를 10년 전과 비교하면 가상융합기술의 활용 분야가 매우 빠른 속도로 확대되고 있다는 것을 알 수 있으며, 이러한 경향은 제4차 산업혁명이 진행되면서 더 가속화될 것으로 예상된다.

현재 초미의 관심을 끌고 있는 메타버스는 현실공간과 평행하게 존재하는 가상공간으로 생각할 수 있다. 따라서 이론적으로 현실공간에서 제공할 수 있는 서비스를(기술이 뒷받침된다는 가정하에) 메타버스에서 모두 제공할 수 있고, 현실공간에서 제공할 수 없는 서비스 또한 가상공간의 특성을 활용하여 제공할 수도 있다. 따라서 메타버스의 활용도는 무궁무진하다. 기존 SNS(Social Networking Service)가 사진이나 글을 통해 생각과 경험을 타인과 공유하는 평면적인 형태였다면, 메타버스는 사용자의 아바타를 사용하여 얼굴, 표정, 말, 동작 등을 통해 다른 사람과 보다 생생한 실시간 상호작용을 가능하게 한다. 또한, 가상공간 내에서 본인만의 세계를 창조하여 또 다른 자아를 생성하거나 새로운 서비스를 만들어 타인에게 제공하여 돈을 버는 것도 가능하다.

■ 기술 동향

현재 전 세계적인 기술 동향은 저가의 고성능 감각 디스플레이와 이의 사용에 필요한 사용자 동작 측정 기술을 개발하기 위한 부분에 일차적인 초점이 맞추어져 있다. 예를 들어 HMD 개발에는 다수의 대기업이 꾸준하게 투자하고 있으며, 기술적으로 빠르게 발전하고 있다. 예를 들어 미국의 페이스북은 HMD와 메타버스를 미래 가치로 보고 하드웨어와 소프트웨어 플랫폼 장악을 위해 상당 기간 동안 집중적인 투자를 해오고 있다. 분야의 특성상 소수의 기업이 핵심기술 및 플랫폼을 장악하고 다른 기업은 이를 활용하여 다른 부가가치를 창조하는 형태로 재편될 확률이 높다. 그 소수의 기업은 미국의 대기업이 될 확률이 매우 높은 것이 사실이다.

이처럼 산업계의 각 분야는 가상융합기술을 적용·활용하기 위한 노력을 활발히 진행하고 있다. 이에 따라 가상융합기술은 빠른 속도로 발전하며 그 적용 분야가 확대 추세에 있다. 또한, 햅틱 장치, 모션 플랫폼 등 다양한 감각 디스플레이에 대한 새로운 연구개발 및 상용화도 꾸준히 진행되고 있다. 이러한 기술은 특정한 응용 사례에 적용되어 사용화되기도 한다. 이런 경향은 당분간 지속될 것이라고 예상된다.

코로나-19 바이러스로 인하여 메타버스의 활용에 관한 관심도 뜨겁다. 다수의 대기업이 메타버스 플랫폼을 이미 공개했거나 제작하고 있다. 이러한 메타버스 플랫폼을 사용하여 영화, 공연, 콘퍼런스, 쇼핑, 운동, 재활, 방송, 게임, SNS, 업무 등 다양한 응용 사례가 개발되어 일부는 이미 서비스되고 있다. 코로나-19의 특수한 상황이 끝나고 메타버스의 다양한 서비스의 그 효용성과 가치에 대하여 충분히 검증해야 할 필요성은 존재한다. 옥석이 가려지는 데 어느 정도의 시간이 필요할 것으로 생각된다.

학계에서는 가상융합기술에 대해 꾸준히 관련 연구를 진행해 오고 있다. 관련이 깊은 분야로서 가상현실, 인간-컴퓨터 상호작용, 그래픽스, 컴퓨터 비전, 자연어 처리, 광학, 음향학, 햅틱, 네트워크, 인공지능 등을 들 수 있다. 근래 가상융합기술과 응용의 급속한 발전에 고무되어 해당 분야 학자들이 가상 융합에 적용이 가능한 기술에 보다 큰 관심을 가지는 경향이 두드러지고 있다. 학계와 산업계가 더 밀접한 관계를 갖고 상생을 도모할 필요가 있다.

■ 전망

본질적으로 가상융합기술은 새로운 요소기술을 직접 개발하는 분야는 아니다. 가상융합 기술이 앞서 언급한 다양한 분야에서의 요소기술을 차용하거나 그 요소기술의 발전을 기다리고 있다는 표현이 적절할 것이다. 현존하는 요소기술을 최대한 활용하여 사용자의 필요성에 적합하도록 사용 시나리오를 설계하고 콘텐츠를 개발하여 사용자에게 혜택을 제공하는 것이 가상융합기술의 가장 중요한 목적이다. 그러므로 가상융합기술은 미래에도 꾸준한 관심을 받으면서 새로운 응용 사례를 찾아 인류에 기여하며 발전할 것으로 예상된다. 특히 실세계의 다른 평행 공간이 될 수 있는 메타버스와 차세대 기술인 볼류메트릭 4D 영상의 개발로 인한 가상융합기술의 발전 방향이 기대된다.

또한, 요소기술 부분에서 획기적인 발전이 이루어지면 이를 흡수하여 가상융합기술도 크게 발전하는 경향이 두드러진다. 현재는 인공지능 기술이 급속도로 발전하는 시기이지만, 향후에는 어떤 요소기술이 그렇게 될 지 예상하기는 어려운 것이 사실이다. 어떤 요소기술의 발전이 감지되면 이를 발 빠르게 가상융합기술에서 받아들이는 것 또한 관련 산업 발전에 중요할 것이다.

4) 차세대 배터리

(개념) 지구온난화는 전 세계적으로 지속적인 관심사가 되어왔으며, 최근 에너지 소비의 급증으로 인한 환경 오염 문제가 심각하게 대두되고 있다. 이에 따라 석탄 등 화석연료가 아닌 친환경, 비고갈성, 기술주도형 '신재생에너지'의 생산과 활용이 필수불가결하다. 신재생에너지 기술의 발전과 함께, 대표적인 에너지 저장 기술인 배터리 기술 또한 혁신을 통해 모든 전자기기에 활용될 수 있는 '사물 배터리(Battery of Things, BoT)'의 시대가 도래하고 있다. 특히, 배터리 전기차(Battery-Electric Vehicles, B-EVs) 및 대규모 에너지 저장 시스템(ESS, Energy Storage System)은 환경-에너지 문제를 해결할 수 있는 대안으로 인지되고 있으나, 상용 리튬-이온 배터리의 음극인 흑연(372mAh/g)과 Ni-rich NMC(274mAh/g)의 낮은 전기용량은 에너지 밀도 저하로 이어지며, 장시간을 안정적으로 구동해야 하는 B-EVs 및 ESS에 적용하기에 한계가 있다. 따라서, 고성능 리튬-금속 배터리 및 전고체 배터리와 같은 고성능/고안정성 차세대 배터리에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 최근에는 전기차 시장이 급격하게 성장함과 함께 한차례 사용된 후 분리배출된 배터리(폐배터리)의 환경파괴 문제가 대두됨에 따라, 폐배터리 재사용에 대한 관심이 증대되고 있다. 친환경적이고 경제적인 배터리 제조 공정 및 재활용, 안정적 구동, 가격경쟁력 있는 포스트 리튬-이온 배터리의 개발이 필요하며, 활용 범위의 확대 및 신재생에너지 보급 활성화를 위한 기술 및 정책적 지원이 요구된다.

■ 포스트 리튬-이온 배터리의 필요성

국제 에너지 기구(IEA, International Energy Agency)는 전기자동차의 시장점유율이 매년 빠르게 확대될 것으로 전망하며, 전기차 시장의 급성장에 힘입어 리튬-이온 배터리 세계 시장 규모는 연평균(18~25) 27% 증가하여 '25년에는 1,190억 달러(18년 대비 약 4배)에 이를 것으로 예측하고 있다. 특히, 2020년 글로벌 전기차용 배터리 사용량 집계에 따르면 국내 배터리 제조업체 3사(LG 에너지솔루션, 삼성SDI, SK이노베이션)의 합산 점유율이 47.7%를 차지하며 괄목할 만한 실적을 거두고 있다.¹²⁵⁾ 현재 상용화된 리튬-이온 배터리는 층상 구조로 되어 있는 흑연(Graphite)을 음극(Anode)소재로 리튬코발트산화물(LiCoO₂) 또는 니켈계 산화물(Ni-rich LiNi_xCo_yMn_zO₂, x+y+z=1)을 양극(Cathode) 소재로 적용하고 있으나, 항속거리가 500km 이상, 80% 충전에 10분 내외의 시간이 요구되는 3세대 전기자동차 개발 목표에는 아직 미치지 못하는 낮은 에너지 밀도 및 낮은 율속 성능을 보여주고 있다. 이외에도, 리튬-이온 배터리는 발화점이 낮은 유기계 액체 전해질의 누액으로 인해 열 폭주와 과충전 및 과방전으로 유발되는 수지상 결정(dendrite)으로 인한 폭발 및 화재의 문제점이 있다. 따라서, 높은 에너지 밀도와 급속충전이 가능하고 장시간 사용에도 안정적으로 구동되는 포스트 리튬-이온 배터리의 중요성이 부각되고 있다.¹²⁶⁾ 뿐만 아니라, 리튬-이온 배터리는 생산 공정에서 납축 배터리보다 CO₂ eq.배출량(지구온난화 영향도: 64kg CO₂ eq.)이 약 9배 많으며, 광화학스모그, 오존층, 산성비, 부영양화 영향도 등은 약

125) 김기출. (2021). 전기자동차 배터리 기술현황 및 차세대 배터리 기술 전망, 2021년 한국산화기술학회 춘계 학술발표논문집.

126) Ma et al. (2021). The 2021 battery technology roadmap.

5배에서 심지어 10배 정도 높으므로, 기존 리튬-이온 배터리의 보급이 증가함에 따라 높은 환경부하를 야기할 수밖에 없는 실정이다.¹²⁷⁾ 세계 각국에서 신재생에너지 정책이 확대되고 에너지 요구량이 급속히 증가하는 상황에서, 신재생에너지 전원 장치의 수요 균형을 맞출 수 있는 환경친화적이고 경제적인 배터리 개발이 필요하며, 사용 후 배터리의 처리 및 재사용·재활용·산업화를 위한 체계적인 대응이 요구된다.

■ 빠른 충전 및 장시간 구동을 위한 포스트 리튬-이온 배터리

일반적인 이차전지는 음극(방전 시 전자를 잃어 산화가 진행되는 전극), 양극(방전 시 전자를 받아 환원이 진행되는 전극), 양극과 음극의 내부단락을 방지하면서 이온을 통과시키기 위한 분리막 및 이온의 이동 통로가 되는 전해질로 구성된다. 이를 기반으로 다양한 종류의 차세대 배터리가 개발 중이며, 그중에서도 현재 상용화 기술로 가장 주목을 받는 배터리 시스템은 리튬 금속을 음극으로 활용하여 우수한 에너지 용량을 구현할 수 있는 리튬-금속 배터리(Lithium Metal batteries, LMBs)와 전고체 배터리(All Solid-State Batteries, ASSBs)가 있다. 리튬-금속 배터리의 경우, 리튬 금속의 낮은 전위와 높은 이론용량(3,840Ah/kg)을 바탕으로, 높은 용량 대비 리튬 금속 음극재의 사용량을 낮춰(무계당/부피당 용량↑) 기존 리튬-이온 배터리의 작은 에너지 저장용량과 짧은 수명 등의 한계를 극복할 수 있는 대안으로 떠오르고 있다.¹²⁸⁾ 그러나 반복적인 충·방전 과정에서 리튬 이온 농도의 불균형으로 인해 생성되는 나뭇가지 형상의 수지상 결정(dendrite)과 불활성 리튬(dead lithium)은 배터리의 짧은 수명과 용량손실 및 화재 위험을 야기한다. 이러한 문제를 극복하기 위해, 리튬 금속을 전기도금 및 용융의 방법으로 리튬 친화적(Lithiophilic) 구조체 안에 제한하여 이온의 가역적 리튬 전착/용출을 유도하는 연구와 금속 표면 위에 리튬 이온 전도성과 전자 절연성을 가지는 보호막을 결합하여 리튬금속음극을 안정화하는 연구가 활발히 진행되고 있다.¹²⁹⁾ 전고체 배터리는 앞서 설명한 리튬-금속 배터리와 동일한 셀 구조를 가지지만 증발 및 발화에 취약해 안정성 확보에 어려움이 있는 액체 전해질 대신 내열성과 내구성이 뛰어나 화재 가능성이 낮은 고체 전해질을 사용한다. 고체 전해질 개발에 있어서 핵심 과제는 액체 전해질의 리튬 이온전도도에 견줄 수 있는 높은 이온전도도를 가지고 계면 저항을 낮추는 것으로, 대표적으로는 높은 유연성, 가공성을 가지고 있는 유기 고분자계, 산화물계(NASICON계, LISICON계, 페로브스카이트계 및 Garnet계), 황화물계(Li₃PS₄, Li₆PS₅Br 등)와 Li₂SO₄, LiNaSO₄와 같은 염을 함유하는 Sulfate계 및 이들의 복합체가 있다. 특히, 불안정한 전극

127) 김재경 외. (2018). 전기차사용 후 배터리 거래시장 구축을 위한 정책 연구, 에너지경제연구원 기본 연구보고서 18-16호.

128) Duffner et al. (2021). Post-lithium-ion battery cell production and its compatibility with lithium-ion cell production infrastructure.

129) 김희탁. (2018) 차세대 리튬금속음극 보호막 기술동향, 공업화학 전망, 21권 6호, pp. 17-24.

-고체 전해질 계면의 저항을 줄이기 위해서 전해질 내 첨가제 추가, 활물질 표면 보호막 코팅, 고분자 바인더 개발, 리튬 이온 전도성 구조체 도입 등의 다양한 방식으로 연구가 수행되고 있다.¹³⁰⁾ 이 외에도 저가의 소듐 이온을 활용하는 소듐-이온 배터리와 저가 이면서도 안전한 수계 전해질의 활용이 가능한 아연-이온 배터리가 있고, 반응성이 높은 금속을 사용할 경우에 생기는 안정성 문제를 극복하기 위해 Anode-free batteries도 많은 관심을 받고 있다.¹³¹⁾ 향후에는 전기화학 반응 활성 물질로 산소 및 황을 사용하여 고용량 특성을 지니며 친환경적인 리튬-공기 및 리튬-황 배터리에 대한 연구도 실질적인 실용화 관점에서 더욱 활발히 이루어질 것으로 예상된다. 배터리 종류에 따라 그 특성과 용도가 크게 달라질 수 있으며, 현재까지 연구된 다양한 포스트 리튬-이온 배터리 시스템의 장단점 및 특성을 표 4-6에 요약했다.

표 4-6 포스트 리튬-이온 배터리의 종류 및 특성

		리튬 금속 전지	전고체 전지	소듐 이온 전지	징크 이온 전지	리튬-황 전지	리튬-공기 전지
구성 요소	음극	리튬 금속	리튬 금속 또는 기존 상용 음극재	소듐 금속	아연 금속	리튬 금속	리튬 금속
	양극	LCO, NMC 등의 기존 상용 양극재	LCO, NMC 등의 기존 상용 양극재	금속 화합물	금속 화합물	황 또는 황화합물	공기(산소)
	전해질	유기계 액체 전해질	고체 전해질	유기계 액체 전해질	수계/유기계 액체 전해질	유기계/고체 전해질	유기계/고체 전해질
장점	<ul style="list-style-type: none"> 고용량 및 고에너지 상용 양극재 활용을 통한 기존 설비 사용 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 고체 전해질에 따른 안전성 향상 다양한 온도 범위에서 사용 가능 고용량 및 고에너지 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 저가 금속 활용 및 저가 전지 생산 기존 설비 활용 가능성이 높음 	<ul style="list-style-type: none"> 수계 전해질에 따른 고안정성 및 높은 이온전도도 확보 저가 금속 및 전해액 사용에 따른 저가 전지 생산 	<ul style="list-style-type: none"> 고에너지 구현 (리튬-이온 배터리의 3배) 황폐기물을 활용함으로써 친환경 및 저가화 가능 가벼운 무게 	<ul style="list-style-type: none"> 리튬-이온 배터리의 5~10배에 달하는 에너지 밀도 구현 공기 중의 산소를 활성 이온으로 활용하여 친환경 시스템 구축 가능 	
단점	<ul style="list-style-type: none"> 불안정한 리튬 전착 및 용출 유기 전해질에 따른 화재 위험성 	<ul style="list-style-type: none"> 고체 전해질의 낮은 이온전도도 높은 계면 저항 (두께 제어의 어려움) 	<ul style="list-style-type: none"> 고성능의 양극재 후보 물질 설계 및 합성 필요 소듐 이온의 큰 크기에 따른 빠른 이온 삽입의 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> 고성능의 양극재 설계 및 합성 필요 징크 이온의 큰 전이반발력에 따른 낮은 이온 활성화도 	<ul style="list-style-type: none"> 반복적인 충방전에 따른 양극재의 용출 황에 의한 제조설비의 부식 불안정한 리튬 전착 및 용출 	<ul style="list-style-type: none"> 실제 공기를 활용한 안정적인 성능 확보 필요 가스 흐름 장치 등의 부가적인 장치 필요 불안정한 리튬 전착 및 용출 	

130) Zhao et al. (2020). Designing solid-state electrolytes for safe, energy-dense batteries.

131) Nanda et al. (2021). Anode-Free Full Cells: A Pathway to High-Energy Density Lithium-Metal Batteries.

■ 성공적인 배터리 밸류체인 및 포스트 리튬-이온 배터리 시스템 공정 개발

차세대 배터리는 아직 실험실 수준에서 구현되는 실정으로, LG 에너지솔루션, 삼성 SDI, SK이노베이션을 포함한 국내 기업과 Tesla, CATL, Panasonic, Volkswagen과 같은 해외 기업에서도 배터리 시장을 점유하기 위해 차세대 배터리 R&D 구축을 위한 투자를 확대하고 있다. 특히, B-EVs 및 ESS에 적용 가능한 차세대 배터리 상용화를 위해서는 각형·파우치형·원통형 기반의 대면적 배터리 시스템이 필요하며, 배터리 밸류체인에 근거한 지속적이고 신뢰성 있는 공정 및 제조기술 개발이 요구된다. 가장 먼저, 안정적인 배터리 소재 생산(양극, 음극, 전해액 등 기본 소재), 배터리 셀 생산(외부 충격으로부터 보호할 수 있는 프레임에 배터리 조립), 배터리 모듈(셀의 조립) 및 배터리 팩(모듈 조립 및 최종형태로 제작)을 조립하는 총 4단계의 배터리 생산 공정과 제조된 배터리 팩을 해당 응용처에 적용, 사용 그리고 재사용하는 3가지의 사용단계가 고려되어야 한다(그림 4-20).¹³²⁾ 차세대 배터리 시스템 제조에 있어서 가장 크게 Slurry mixing, Coating/drying, Solvent recovery, Calendering, Slitting, Vacuum drying, Stacking, Welding, Enclosing, Formation, Aging의 공정들이 적용될 수 있으며, 이러한 제조공정들은 균일성, 신뢰성, 경제성, 생산 효율성 및 친환경성 등의 요소로 평가될 수 있다. 현재까지의 기술 수준으로는 전극 코팅과 건조, 배터리 셀의 formation/aging 과정이 제조 비용의 약 48%로 많은 부분을 차지하고 있다. 제조 비용 절감을 위해 coating, calendering, slitting의 공정에는 roll-to-roll 기술을 도입하여 양산을 시도하고 있으며 대략 35m/min이라는 높은 수준의 생산 효율성을 제공하고 있다. 이 외에, 배터리에 있어서 가장 중요하다고 할 수 있는 것은 전극 및 배터리 소재의 수분 제어이다. 수분 함량을 최소화하기 위하여 진공 건조와 formation/aging 과정에 많은 시간과 비용을 소비하게 된다. 이 때문에 총 에너지 대비 약 29%를 dry room을 유지하기 위한 비용으로 소비하고 있다. 이 외에, drying and solvent recovery 공정은 장시간의 열처리-냉각 시간이 필요하므로 가장 많은 약 47%의 에너지 소비량을 요구한다. 따라서 온실가스 배출량을 줄이고 친환경적인 배터리 시스템 개발을 위해서는 용매를 포함하는 공정을 최소화하고 수분 제어를 효과적으로 할 수 있는 제조환경을 구축해야 한다.¹³³⁾ 이러한 배터리 공정 시스템은 전고체 배터리 핵심 소재의 개발과 함께 제조공정 기술 발전을 위해 매우 중요하다. 전고체 배터리는 전 세계 배터리 시장의 게임 체인저(game changer)로, 가장 먼저 상용화한 나라에서 시장을 주도할 가능성이 높으므로 향후 이 기술 개발 단계에 집중해야 할 것이다.

132) Schmuch et al. (2018). Performance and cost of materials for lithium-based rechargeable automotive batteries.

133) Liu et al. (2021). Current and future lithium-ion battery manufacturing.

그림 4-20 포스트 리튬-이온 배터리 개발을 위한 벨류체인 및 전지의 생애 주기



■ 친환경에너지 보급과 포스트 리튬-이온 배터리 개발 활성화를 위한 국내외 정책

온실가스 및 배출가스의 절감을 위해 탄소배출규제가 강화됨에 따라, 주행 중 이산화탄소 등의 배출가스가 발생하지 않는 EVs 보급을 위해 전 세계적으로 Car subsidy, Infrastructure subsidy, R&D and industrialization, traffic pass 등의 다양한 에너지 환경 정책을 시행 중이다.¹³⁴⁾ 대표적으로, 미국은 다인승 차량 도로에 전기차 사용을 허용하며, B-EVs 인프라 구축을 위해 전기충전소에 재정적 지원을 추진하고 있다. 국내에서도 대규모 예산을 운용하여 전기차 구매에 대한 세제 혜택 및 보조금을 지원하고 있으며, 일본의 경우에는 2050년까지 차 한 대당 온실가스 배출 80% 감축을 목표로 전기차 보급을 확대하고 있다. 이러한 상황에서, 국내에서는 최근 대한민국을 글로벌 배터리 산업의 선도기지로 구축하기 위한 ‘K-배터리 발전 전략’ 종합 지원 대책을 발표했다(그림 4-21).¹³⁵⁾ 국내 주요 기업과 소재·부품·장비 기업에 정부의 R&D·세제·금융 혜택을 적극적으로 운용할 계획이다. 구체적으로는 민관 대규모 R&D 추진을 통해 차세대 배터리의 요소 기술과 기술경쟁력 확보를 목표로 하고 있으며, 이차전지 분야 안정적 공급망 구축을 위해 해외 원재료 확보와 전지 재활용을 통해 리튬·니켈 등 원재료를 다시 확보하는 기술 및 설비구축이 추진되고 있다. 더 나아가, 친환경 이차전지 시장 확대를 위해 회수 → 수집·운반 → 보관 → 매각 → 성능평가 → 활용 및 제품화 등의 배터리 전 과정에 대한 산업을 육성

134) Fan et al. (2020). Sustainable recycling technology for Li-ion batteries and beyond: challenges and future prospects.

135) 산업통상자원부 (2021.7). 미래를 차지(Charge)하는 힘 ‘2030 이차전지 산업 발전 전략’ 수립.

하고 드론·선박·기계·공공 ESS의 범위로 신규 수요시장을 창출할 예정이다. 이와 더불어, 이차전지를 활용한 대여·교체 서비스 등 새로운 비즈니스 모델이 생겨날 수 있도록 신산업 발굴·육성이 추진되고 있으며, 이차전지 제조·공정 인력 양성 플랫폼을 위한 전문인력을 증원할 예정으로 화학, 소재, 기계 등의 다양한 분야에서의 인력을 확충할 것으로 예상된다. 현재 국내 업체들에서 생산하는 리튬-이온 배터리 기반 소형 배터리가 10년째 1위를 수성하고 있고, 중대형 배터리 분야에서도 경쟁국과 1~2위를 다투는 뛰어난 수준으로, 국내의 다양한 R&D 지원정책을 기반으로 배터리 소재부터 공정까지의 기술경쟁력을 더욱 강화하여 글로벌 경쟁력을 갖춘 포스트 리튬-이온 배터리 산업 발전을 이루어야 한다.

그림 4-21 2030 이차전지 산업 발전 전략 및 종합 지원 대책

목표	2030 이차전지 산업 발전 추진 및 글로벌 전지 산업의 선도기지로 구축
추진 전략 및 목표	<ul style="list-style-type: none"> ·전략 1: 국내 산업의 독보적 기술력 확보 → 민관 협력 대규모 R&D 추진 ·전략 2: 글로벌 선도기지 구축 → 연대와 협력의 생태계 조성 ·전략 3: 이차전지 시장 확대 → 공공 및 민간 수요시장 창출
세부추진과제 및 방향	
대규모 R&D 추진	<ul style="list-style-type: none"> ·차세대 이차전지 조기 상용화 기술 확보 및 개발 [목표: 전고체('27년)·리튬황('25년)·리튬금속전지('28년)] ·차세대 이차전지용 소부장 요소기술 확보 ·리튬이온전지의 초격자 기술경쟁력 확보
안정적 공급망 조성 및 인력 육성	<ul style="list-style-type: none"> ·원재료 광물 확보 강화 및 이차전지 혁신펀드 조성 ·이차전지 전문인력 양성 및 확대 ·리튬이온전지의 초격자 기술경쟁력 확보
수요시장 창출 및 관련 제도 구축	<ul style="list-style-type: none"> ·사용후 배터리 회수 체계 마련 및 관련 제도 구축 [목표: 전기차 이차전지 대여 시범사업(~'22년), 전기 이륜차 배터리 교체형 스테이션 구축('20년~) 등] ·드론·선박·기계·공공ESS 등 이차전지의 신규 적용 확대

■ 포스트 리튬-이온 배터리의 전망 및 방향성

국내외적으로 친환경 에너지 생산 및 저장을 위하여 많은 정책적·기술적·재정적 지원을 추진하고 있으며, 이차전지가 B-EVs와 ESS 외에도 다른 교통수단을 포함하여 신재생 에너지의 전원 장치로 자리 잡게 될 것으로 보고 있다. 이에 따라, 고성능·고안전·고생산성의 차세대 배터리 시스템 개발 및 상용화가 이루어져야 한다. 특히, 최근 트렌드에 맞추어 맹목적 성능 향상이 아닌 친환경적인 배터리 생산 및 활용 비즈니스를 구축하는 것이 중요

하다(그림 4-22). 구체적인 차세대 배터리 연구 방향은 3가지 관점으로 제시될 수 있다.

첫째, 기술적 관점으로는, 기존 고가의 금속에 의존하는 소재 개발보다는 저가의 금속 또는 유기 소재를 활용한 연구에 중점을 두어야 한다. 특히, 양극재에 있어서 국내의 LG화학, SK이노베이션, 중국의 CATL, 비야디(BYD)와 미국의 테슬라와 같은 주요 배터리 업체들은 희소성이 높고 공급이 불안정한 코발트에 대한 의존도를 낮추는 것을 차세대 배터리 산업의 핵심 과제로 보고 있다.¹³⁶⁾ 또한, 전극 제조 공정에서도 에너지 소비량과 비용 저감을 고려하며 소재와 고순도 및 고수득률의 관점에서 새로운 합성 공정을 개발해야 한다.

다음으로, 친환경적 관점으로 배터리의 재사용(Reuse) 및 이차사용(Second Use) 인프라가 구축되어야 한다. 즉, 수거된 폐배터리의 잔존수명 또는 건강상태(State of Health, soH) 등에 따라 단순 수리, 수선과 재조립을 통해 전기차 및 전기자전거와 대규모 에너지 저장 시스템용 배터리로 재사용(Reuse)하는 것과 배터리의 구성요소(철 스크랩, 구리, 알루미늄 등)와 내장된 희귀 금속(리튬, 니켈, 망간, 코발트 등)을 추출하여 활용하는 이차사용(Second Use)의 방법이 있다.¹³⁷⁾ 전기차 및 배터리의 급진적인 확산세가 예상됨에 따라 부차적인 폐배터리의 규모도 크게 증가할 수밖에 없으므로, 가솔린 기관차와 구별되는 전기차에 특화된 폐차 및 폐배터리 활용 시스템이 마련되어야 한다. 특히, 한번 사용한 배터리를 재사용 및 이차사용할 경우 신규 배터리를 생산하지 않아도 됨으로써 배터리의 생산 회피 효과를 얻을 수 있다. 현재, 리튬 기반 배터리의 생산 회피 효과는 CO₂ eq. 배출량을 약 48.8kg 이상 저감할 수 있는 것으로 보고되고 있다. ‘사용 후 배터리 관리 체계 정비’, ‘사용 후 배터리 재활용, 재사용 사업 지원 환경 조성’, ‘사용 후 배터리 가치 제고와 관련 시장 형성’에 대한 보다 체계적인 고찰이 요구되며 정밀한 환경 영향(Life Cycle Assessment, LCA) 분석을 통한 친환경 배터리 생산-활용-폐기 기반을 세우는 것에 집중해야 한다.

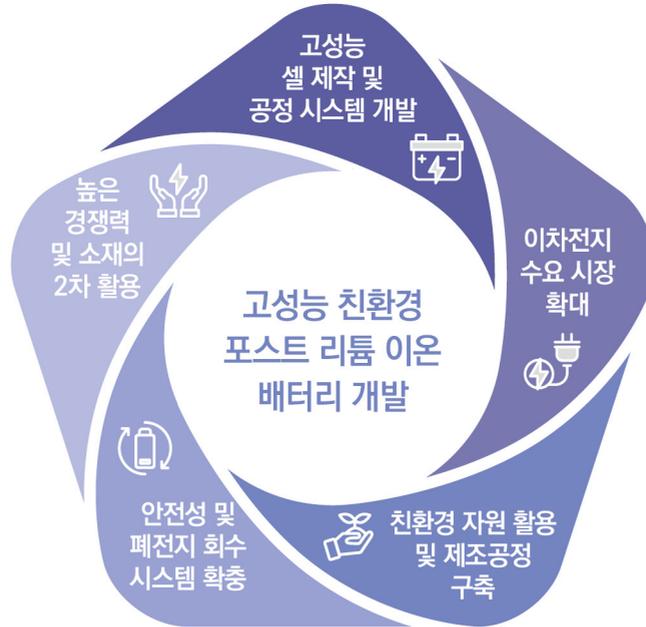
마지막으로, 성능과 안전성을 획기적으로 높인 고용량·고출력·고안전의 차세대 배터리가 상용화되어야 한다. 현재 정부는 안전성을 극대화한 전고체 배터리, 고에너지밀도 향상을 위한 리튬-금속 배터리의 개발과 양산을 최우선으로 고려하고 있으며, 각 2027년 또는 2028년까지 상용화를 목표로 하고 있다. 이러한 정책적·재정적 지원을 기반으로, K-전고체 배터리의 상용화를 위해서는 고질적인 문제인 고체 전해질의 낮은 이온전도도와 높은 계면 저항을 극복해야 하며, 리튬 금속 음극에서의 수지상 결정 성장으로 비롯한 에너지효율 극감과 내부단락 등의 난제를 친환경적이면서 경제성을 고려한 신소재 및 신기술 개발 관점에서 해결해야 한다. 이외에도, 데이터 수집을 통한 배터리 생애주기에

136) 유종태. (2020). 이차전지, KISTEP 기술동향브리프, 2020-03호.

137) Curtis et al. (2021). A circular economy for lithium-ion batteries used in mobile and stationary energy storage: drivers, barriers, enablers, and U.S. policy considerations. National Renewable Energy Laboratory.

대한 이해를 기반으로 지능형 차세대 배터리를 개발하고 안전하면서도 지속 가능하고 투명한 배터리 공급망 및 생태계를 빠르게 구축하는 것이 중요하다.

그림 4-22 포스트 리튬-이온 배터리의 향후 개발 방향성



5) 스마트팩토리

(개념) 스마트팩토리는 기존의 제조기술과 인공지능으로 대표될 수 있는 정보기술의 융합을 통해 구현되고 있는 제조산업에서의 변환이다. 이를 통해 한 국가의 기술과 경제적 경쟁력 제고와 삶의 질 향상을 기대할 수 있다. 본 기고문에서는 스마트제조에 대한 개념과 속성, 이를 가능하게 하는 기술들을 살펴본다. 이와 함께 현재 진행 중인 연구개발 동향과 향후의 발전 방향과 과제를 제시하고자 한다.

■ 제4차 산업혁명과 스마트팩토리

첨단 인공지능기술로 대표되는 4차 산업혁명이라는 단어는 그 유래와 의미를 기술하는 것도 진부할 정도로 너무나 많이 사용되고 있다. 급속한 기술의 발전은 산업의 구조와 운영, 경쟁방식을 변화시키고 있는 가운데, 산업구조의 새로운 패러다임인 4차 산업혁명의 중심에 스마트제조가 자리 잡고 있다. 특히, 침체되어 있는 국내외 경제를 부흥시킬 수 있는 대안으로서 제조산업의 부흥에 대한 중요성이 다시 주목받고 있고, 현재의 제조환경은 스마트한 제조시스템을 통해 탈바꿈되고 있다.

이렇듯 급속하게 발전하고 있는 기술과 날마다 치열해지는 경쟁, 격화되고 있는 자국 우선주의의 국제사회에서 한 국가의 지속적인 성장을 도모하기 위한 하나의 해법으로 많은 국가들이 스마트제조를 지향하고 있다. 독일에서 진행되고 있는 Platform Industrie 4.0, 미국의 Advanced Manufacturing Partnership, 중국의 Made in China 2025, 일본의 Connected Industries 등이 대표적인 사례이며 이밖에 싱가포르, 덴마크, 호주 등 많은 국가에서 명칭은 다르지만 유사한 정책을 추진하고 있다.

우리나라에서는 스마트제조를 제품의 기획부터 판매까지 모든 생산과정을 정보통신 기술로 통합해 최소 비용과 시간으로 고객맞춤형 제품을 생산하는 사람 중심의 첨단 지능형 공장의 의미로 스마트공장이라는 단어를 사용하고 있다.¹³⁸⁾ 이런 스마트공장을 구현하기 위해서 제조활동에 필요한 자원(material, man, machine, method, environment/energy)들을 컴퓨터상에서 다룰 수 있도록 하는 디지털화와 인공지능을 이용한 지능화, 다양한 기업 활동의 통합, 제조기술의 정보화와 자동화, 그리고 제품 간의 연결이 필요하다.

국제전기전자기술기구(Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE)는 스마트 제조를 통해 사이버공간과 실제 물리적 공간, 그리고 사람의 자원들을 지능적으로 통합하여 기업의 가치사슬 간의 협업을 도모할 수 있다고 제시하고 있다.¹³⁹⁾ 또한, 미국표준 기술국(National Institute of Standards and Technology, NIST)은 스마트제조를 시시각각 변하는 공장 가치사슬, 그리고 고객의 필요에 즉각적으로 부응할 수 있는 통합된 협업 제조시스템 이라고 정의하고 있다.¹⁴⁰⁾

■ 스마트제조 속성

스마트제조가 왜 중요한지, 어떤 이유에서 구현될 필요가 있는지를 이해하기 위해서는 스마트제조 속성을 살펴볼 필요가 있다. 스마트제조 속성으로 다음의 세 가지, 즉 맞춤형(customization), 연결성(connectivity), 협업(collaboration)을 꼽을 수 있다.¹⁴¹⁾ 이런 속성을 염두에 두면 스마트제조 관련 기술들을 보다 체계적으로 이해할 수 있을 것이다.

스마트제조에서의 맞춤형이란 획일적인 공급에 국한된 것이 아니라 필요로 하는 용도와 쓰임새에 따라 선택할 수 있도록 하는 제품사용, 제조활동 구성을 의미한다. 음식점을

138) 스마트제조혁신추진단, <https://www.smart-factory.kr/smartFactoryIntro>.

139) IEEE Computer Society Smart Manufacturing Standards Committee, <https://www.computer.org/volunteering/boards-and-committees/standards-activities/committees/smart-manufacturing-standards-committee>.

140) Smart Manufacturing Operations Planning and Control Program, <https://www.nist.gov/programs-projects/smart-manufacturing-operations-planning-and-control-program>.

141) 신동민, 정봉주, 조현보. (2017). 4차산업혁명의 예슬: 스마트제조, 이프레스.

예로 들면 손님은 자기의 입맛과 기호에 따라 원하는 음식을 즐길 수 있고 요리사는 자신이 잘하는 음식을 파는 것에 비유할 수 있겠다. 스마트제조를 통해 고객은 자신의 필요에 맞는 제품이나 서비스를 선택할 수 있고, 기업은 자사에 유리한 제품을 제조할 수 있는 것이다. 이것은 비단 최근 스마트제조에서만 두드러지는 현상은 아니며 지금까지 제조산업에서 늘 지향하던 경쟁력 요소이다. 그동안 수많은 기업들이 무던히 애를 쓰면서도 이루지 못한 맞춤형을 실현하는 데 스마트제조가 크게 기여할 수 있다. 여기에서 스마트제조가 고객 입장에서의 개인맞춤형뿐만 아니라 더 나아가서 고객의 요구를 만족시키고자 하는 기업 입장에서의 기업맞춤형도 포함한다는 점을 주목할 필요가 있다. 이렇듯 고객은 원하는 제품과 서비스를 누리고 기업은 기업 여건과 역량에 따라 원하는 방식으로 이를 공급하는 양방향에서의 맞춤형이 스마트제조의 첫 번째 속성이라고 할 수 있다.

스마트제조는 두 번째 속성으로 연결성을 꼽을 수 있다. 연결성은 우선, 투입물, 제조 활동, 산출물간의 연결 관점에서 볼 수 있다. 투입물을 대상으로 제조자원을 활용하여 산출물로 변환시키는 제조과정에서 투입물, 제조활동, 자원, 산출물들이 모두 연결되는 것이다. 이 연결을 통해 어떤 재료를 투입하여 어느 방법으로 만들었더니 결과물이 어떻더라 하는 관계들이 규명되거나 예측될 수 있다. 이는 재료와 제조공정, 제품들이 논리적으로 연결되어야 가능하며 스마트제조는 이런 연결성을 지향한다. 제조활동은 하나의 활동 결과가 다른 활동의 입력이 되는 관계들이 복잡하게 얽혀 있다. 이런 복잡한 관계들이 스마트제조를 통해 연결될 수 있다. 이 연결은 주로 각 제조활동에 필요한 도구, 장비, 기계, 사람과 같은 자원들의 정보 교환을 통해 이루어진다. 제조활동은 어느 특정 기업 내의 활동으로 국한되지 않으며 중국에는 모든 기업이 고객과 연결된다. 이런 고객과 기업의 연결성 또한 스마트 제조의 연결성에 포함된다. 더 이상 고객은 기업의 제조활동의 산출물을 소비만 하는 객체가 아니라 제조활동에 직간접적으로 참여하는 주체가 되고 있다. 특히 앞서 다룬 개인맞춤형을 고려하면 고객의 요구를 제조활동 중간에 제시할 수 있음을 생각할 수 있다.

여러 구성요소들을 연결시킨다는 것은 그 구성요소들이 속한 집합체의 공통 목표를 달성하기 위함이다. 스마트제조에서 협업은 여러 구성요소들이 공통의 목표를 달성하기 위한 연합과 관련이 깊다. 보다 나은 제품의 품질, 안전한 제조환경에서의 부가가치 창출과 같은 목표를 달성하기 위해 제조활동이 협력적으로 운영될 수 있도록 하는 것이다. 협업의 범위는 기계와 기계간의 관계부터 사람과 기계, 사람과 사람, 조직과 조직간의 관계로 그 범위가 확장될 수 있다. 현재 기술적 측면에서 기계와 기계간의 연동을 통한 협업이 가장 활발하게 진행되고 있으나, 점차적으로 사람과 기계간의 협업이 주목을 받고 있다. 특히 작업자, 관리자, 경영자를 포함하는 제조 주체와 이들이 다양한 제조자원들을 사용하여 안전하고 효율적인 제조활동을 도모하는 방향의 협업이 중요해지고 있다.

■ 스마트제조를 가능하게 하는 기술

스마트제조의 개념을 단순화하면 제조기술과 정보기술의 융합된 새로운 제조 패러다임이라고 할 수 있다. 이런 개념적인 패러다임을 구현하기 위해서 다양한 기술들이 스마트제조에 융합되고 있다. 스마트제조를 가능하게 하는 기술들을 구분하면 제조기술(Manufacturing Technologies, MT), 운영기술(Operational Technologies, OT), 자동화기술(Automation Technologies, AT), 정보통신기술(Information and Communication Technologies, ICT)의 네 가지 부류로 나누어 볼 수 있다.

스마트제조는 기본적으로 제조 영역을 대상으로 한다는 점에서 스마트제조의 기본적인 기술은 제조기술이라고 할 수 있다. 고객의 요구와 기호를 만족시킬 수 있는 기능과 사양, 품질의 제품을 만들어 부가가치를 창출하기 위해서는 제조기술이 필수적이다. 이는 제조가 본격적으로 태동한 100여 년 전부터 지속적으로 추구되어 왔다. 다루기 힘든 재료를 가공할 수 있도록 하는 첨단재료기술, 정밀한 제품을 만들 수 있는 가공기술 등이 이에 해당한다.

스마트제조에서 주목받은 대표적인 제조기술은 적층제조(Additive Manufacturing, AM)라고 할 수 있다. 흔히 3D 프린팅이라고도 불리는 이 제조기술은 얇은 층을 한 층씩 겹겹이 쌓아가는 방식으로 제품을 제조하는 방식이다. 적층제조기술을 통해서 각종 플라스틱, 섬유는 물론이고 매우 견고한 특성을 갖는 다양한 금속재료로도 제품을 제조할 수 있다. 최근 들어 피부나 생체조직과 같은 바이오재료를 가지고 신체의 결손 부분이나 보조기관 등을 제조하는 바이오제조가 적층제조기술의 유망한 분야로 각광받고 있다. 스마트제조의 맞춤형 속성과 관련이 많은 제조기술임을 알 수 있다.

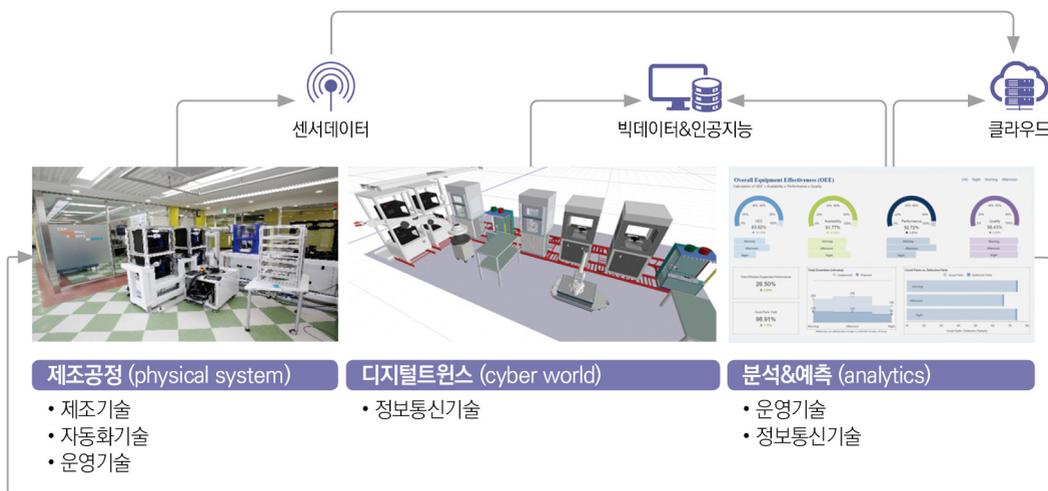
스마트제조를 통해 부가가치를 창출하기 위해서는 경제적이고 효율적인 제조운영이 필요하다. 제조활동 과정에서 발생하는 각종 낭비요소들을 찾아내 최소화하고 이러한 낭비요소들이 발생하지 않는 제조활동을 가능하게 하는 기술들이 스마트제조의 운영기술에 해당된다. 다시 말해 운영기술은 정확하게 수요를 예측하고 이에 대응하는 체계적인 생산계획을 수립하여 제조자원들을 가동시키는 기술들이다. 대표적으로 스케줄링, 품질관리 등이 해당되며, 이런 기술 역시 오랫동안 제조 분야에서 개발되어 활용되고 있다. 스마트제조에서 이런 운영기술은 적층제조와 같은 새로운 제조기술의 등장과 자동화 기술, 정보통신기술과의 융합으로 인해 대단히 큰 변화를 맞고 있다. 운영기술의 예시로는 빅데이터를 활용한 스마트팩토리 에너지 절감 솔루션 개발 등의 최신 연구가 있다.

스마트제조하면 가장 먼저 연상되는 기술이 자동화기술일 가능성이 높다. 사용자가 명령하면 자율지게차들이 자동창고에서 물품을 찾아 실어 나르고, 이 물품을 다시 로봇이 기계에 안착시켜 자동으로 가공하는 일련의 과정은 자동화기술과 가장 밀접하다. 자율

지게차, 로봇, 기계 등이 서로 맞물려 원하는 제품을 제조하도록 하는 자동화기술에 스마트 제조의 협업 속성이 중요한 방향성을 제시한다. 스마트제조는 자동화기술은 센서와 액추에이터 기술로부터 출발한다고 할 수 있다. 제조상황을 정확하고 자세하게 파악하게 하고, 필요한 장비들을 구동시키는 기본적인 요소이기 때문이다. 주어진 상황에서 필요한 조치를 정확하게 취하기 위해서 센서와 액추에이터를 관장하는 제어기술도 자동화기술에 포함된다. 최근에는 로봇과 인간의 협업이 가능한 개방형 자동화 시스템 구축이나 이를 위한 로봇 모니터링 시스템 등이 개발 중에 있다.

앞서 설명한 제조기술, 운영기술, 자동화기술은 넓은 의미에서 전통적인 제조기술로 볼 수 있다. 스마트제조는 이런 광의의 제조기술에 정보통신기술이 융합된 형태를 띤다. 스마트제조는 정보통신기술은 재료, 제조공정, 제품은 물론 제조활동과 제조자원, 고객과 제조자들을 연결하는 중요한 역할을 차지한다. 각종 산업통신규약과 기술, 5G를 포함한 유무선 통신기술 등이 스마트제조의 일차적인 정보통신기술이다. 이보다 중요한 것은 스마트제조에서 제조환경 구성요소들이 물리적으로 통신이 가능하도록 연결된 이후에는 이들이 상호간에 생산적 협업이 가능해야 한다는 점이다. 이를 위해서 실제 물리적인 자원들과 공정들을 컴퓨터가 처리할 수 있는 형태로 변환하는 디지털트윈 기술이 필요하다. 디지털트윈 기술을 통해 디지털화된 제조환경을 대상으로 컴퓨터 시뮬레이션을 수행할 수 있기 때문이다. 또한, 각종 제조자원에 대한 현상 파악과 상황 예측을 위해서 인공지능 기술이 활용되는데, 이 인공지능 기술은 제조환경에서 모아진 다양하고 방대한 양의 빅데이터 처리와 클라우드 관리 기술로 더욱 효과적으로 사용될 수 있다.

그림 4-23 스마트제조 기술



■ 스마트제조와 사람

지난 몇 년 동안 이루어지고 있는 스마트제조에서는 제조공정에 대한 자동화 확장이나, 로봇의 도입, 공정 데이터 수집과 분석 장치 설치와 같은 자동화기술, 정보통신기술이 강조되는 경향이 있다. 그러나 스마트제조의 원동력이 되는 주체와 이에 대한 혜택의 객체는 모두 사람이다. 스마트제조의 맞춤형 속성과 관련하여 소비자들이 자신들의 사용패턴과 기호에 맞는 개인 맞춤형 제품과 서비스를 제공 받을 수 있는 것처럼 제조자도 자신의 역량과 선호도에 부합할 수 있는 기업맞춤형 제조시스템을 구현하여 운영할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 스마트제조 대상이 되는 기업에서 작업자, 관리자, 경영자 계층에 따른 역할과 직무 요구사항에 대한 체계적인 분석이 선행되어야 한다. 생산방식의 변화에 따라 제조자의 역할도 많이 변화해왔다. 수공업 형태의 생산방식에서 제조자들은 전문적인 수작업을 수행했다. 대량 생산 체제에서는 비숙련 작업자들의 참여가 이루어졌고, 그들은 단순하고 반복적인 물리적 작업을 담당했다. 이러한 물리적 작업에 대한 개선 혹은 부분적 지원 기술의 대표적인 예가 바로 자동화이다. 즉 자동화는 대량 생산 체제에 적합한 기술이었던 것이다.

스마트製조를 통해 점차 생산방식이 고도화되면서 작업자들은 더이상 물리적인 작업을 수행하는 것이 아니라 스스로 낭비요소를 파악하고 공정을 개선하는 등의 인지적 활동을 병행하게 된다. 제조시스템에 컴퓨터의 적용 범위가 증가함에 따라 정보통신기술의 지원을 받게 된 반면, 상황 판단과 의사결정 능력이 더욱더 강조되고 있다. 이를 '인지적 작업의 증가'라 할 수 있다.

자동화와 스마트화의 차별점은 바로 여기에 있다. 제조자가 물리적 작업자에서 인지적 작업자로 변화하고 있는 새로운 제조환경에 필요한 것이 바로 스마트제조이다. 현재의 스마트제조가 자동화기술과 정보통신기술에 초점을 맞춘다면 이는 과거 대량 생산 체제에서의 작업자를 대체하는 형태에 머물 수밖에 없다. 진정한 의미에서 스마트제조는 단순히 기계적 자동화가 아니라는 점을 명심할 필요가 있다. 스마트제조는 제조설비, 장비와 같은 기계시스템과 이를 운영하고 관리 감독하는 사람이 유기적으로 연결되어 협업함으로써 가능해진다. 이를 위해서는 제조활동과 작업자의 행동에 대한 면밀한 분석과 예측을 통해 사람의 필요에 부응할 수 있는 사람-기계 협업 시스템에 대한 고려가 중요하다.

■ 스마트제조와 확산과 정착

이제 스마트제조는 제조산업에서 지속적 생존과 성장을 위해서 필수적인 경쟁력 도구가 되고 있다. 그러나 무조건적인 스마트제조의 도입이나 운영은 오히려 제조기업과 산업 생태계에 부정적인 결과를 초래할 수 있다. 스마트제조 기술을 도입하는 것보다 더욱

중요한 것은 도입 후 자체 운영과 지속적 개선이 어떻게 이루어질 수 있는가 하는 점이다. 이는 스마트제조 기술의 대상이 되는 제조활동의 특성과, 기업의 기술 수준, 운영 역량을 면밀하게 분석하는 사전 준비가 필요한 이유이다.

현실적으로 스마트제조 도입과 운영 주체인 제조기업의 역량과 자원은 제조기술, 운영 기술에 집중되어 있다. 따라서 자동화기술과 정보통신기술은 외부 조직과의 협력을 통해 구현되는 것이 일반적이다. 이때 외부조직이 스마트제조 대상 제조기업의 필요와 여건, 특성을 이해하기는 쉽지 않으므로 스마트제조 기술이 균형 있게 구현되는 것은 매우 어려운 문제이다. 이는 현재 국내에서 진행되고 있는 정부 주도의 스마트제조 확산과 고도화에서 반드시 해결해야 할 과제이기도 하다.

이런 문제는 스마트제조에 필요한 기술의 제도권 교육과 실무자 대상 훈련을 통해 일부 해소될 수 있다. 이를 반영하여 현재 국내에서 스마트제조에 대한 다양한 교육, 훈련 프로그램과 인력양성 사업들이 추진되고 있다. 그러나 이러한 교육과 훈련이 앞에서 논한 스마트제조 기술들에 대해 현실적이고 균형 있게 진행되고 있는지 짚어볼 필요가 있다. 현장에서 필요한 스마트제조 기술들이 적절한 대상으로 교육되고 있는지, 교육의 대상자들이 스마트製조를 구현하고 발전시키는데 어떻게 기여할 수 있는가에 대한 고민도 함께 이루어져야 할 것이다.

6) 합성생물학(mRNA 백신 등)

■ 합성생물학(Synthetic Biology)이란?

(개념) 합성생물학은 생명정보와 유전자 등 생물 구성요소를 이용하여 생명체를 모방·변형하거나, 기존에 존재하지 않는 생명체 구성요소와 시스템을 설계·구축하는 기술이다. 개별적인 부품들을 조합하여 자동차를 제조하듯, 합성생물학은 생명과학에 공학적 개념을 도입하여 '표준화된' 생물학적 부품을 통해 새로운 생물 구성요소 및 계층으로 대표되는 생물 시스템 자체를 합성하는 분야이다. 차세대 시퀀싱과 DNA 합성기술의 급격한 발전과 시스템생물학 분야의 지속적인 발전에 따라 미생물 및 고등 생명체의 전반적인 이해가 증가하여 더욱 정교한 공학적 설계가 가능해졌고, 현재 합성생물학 기술은 고부가가치 바이오케미컬, 바이오플라스틱, 혁신 의약 등 다양한 바이오산업 전방에 걸쳐 중추적인 역할을 담당하는 분야로 자리매김하고 있다.

합성생물학(Synthetic Biology)은 DNA 부품·모듈·회로를 기반으로 공학적 관점에서 생명 시스템을 설계하고 구축하는 첨단 기술이다. 이는 생명과학의 기초 위에 수학, 전자, 컴퓨터 알고리즘의 논리적 사고와 AI 기술을 융합하고, 차세대 시퀀싱, DNA 합성기술, 로봇공학의 융합으로 생명체 합성과정의 자동화를 구현하여 기존 생물학 연구의 최대한계인 속도, 규모, 불확실성의 한계를 극복하는 디지털 생명공학 기술이다(그림 4-24).

그림 4-24 합성생물학 기반 예측가능하고 안전한 고성능 세포시스템 구축



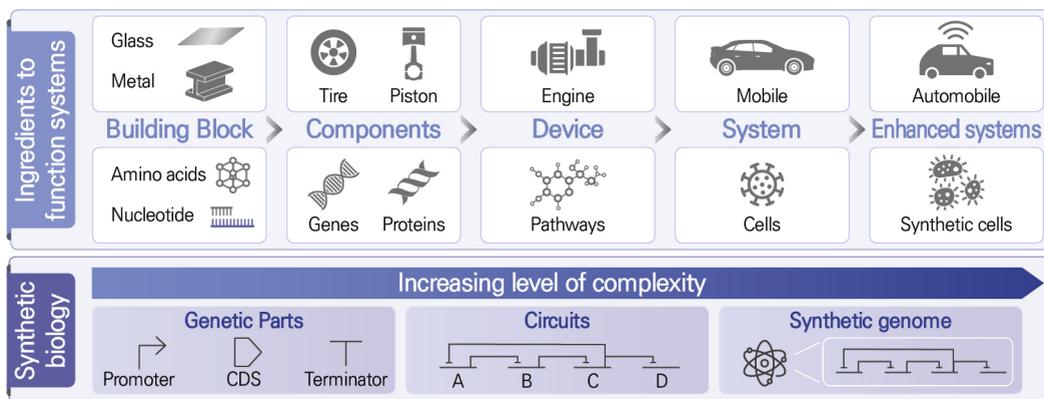
합성생물학 연구는 설계(Design)-합성(Build)-검증(Test)-학습(Learn)으로 이루어지는 DBTL의 4단계 순환형 프로세스로 구성되며, 단계마다 다양한 학문적·기술적 접근을 요구하는 융합 연구 프로세스를 따른다. 주요 기술로는 DNA 합성, 유전자·게놈 어셈블리, 게놈 편집, 옴믹스 등 생명시스템의 효과적인 데이터 처리 및 분석을 위한 시스템생물학 기술과 AI 기반 빅데이터 처리기술 및 로봇공학 기반의 자동화 시스템이 있다. 특히 이 둘의 연계를 통해 고속·대용량 합성·검증이 가능하며, 합성생명체의 불확실성을 낮춰 예측가능한 시스템을 구현함으로써 생명공학의 발전 속도를 급진적으로 향상하고 있다.

특히, 차세대 염기서열분석 기술과 DNA 합성기술의 발전으로 대규모 DNA 염기서열의 분석·합성이 가능해졌고, 유전체와 전사체 등 다양한 멀티오믹스 데이터 분석을 통해 생명 현상에 대한 대규모 데이터 생산·분석이 가능해졌다. 또한, 컴퓨터 모델링 및 AI 인공지능을 기반으로 합성생명체의 생명현상에 대해 다양한 예측가능 시스템이 구축되었다. 이러한 기술과 로봇공학 기술을 바탕으로 합성생물학은 자동차 공학 분야의 부품처럼 DNA 조각의 조립과 재조합을 통해 예측가능한 인공생물학적 시스템을 설계하고 유용한 인공유전체를 제작할 수 있는 바이오파운드리를 구축하고 있다(그림 4-25). 실제로 Gingko Bioworks 등 미국의 바이오파운드리 기업들은 합성된 세포를 이용하여 실험실 단계에서 벗어나, 다양한 물질 생산을 위한 공장처럼 산업체 규모의 유용물질(mRNA백신, 신약, 바이오플라스틱, 바이오연료 등)을 생산하는 연구를 진행 중이다.¹⁴²⁾ 이러한 합성생물학 기반 연구는 이미 기초연구 수준을 넘어 바이오화학, 의학, 식품 등 바이오산업 전반에 걸쳐 응용되고 있으며, 글로벌

142) 미래창조과학부. (2015.5). 한영 합성생물학 연구협력 방안 구축.

합성생물학 시장은 2017년 35억 달러(약 3.9조 원)에서 연평균 19.7%로 성장하여, 2023년에는 105억 달러(약 11.7조 원) 규모로 확대될 전망이다.¹⁴³⁾

그림 4-25 자동차 조립 공정과 합성생물학의 병렬적 구조



■ 합성생물학 주요 기술

① 고속·대용량 DNA 합성 및 어셈블리

합성생물학 기반의 인공생명체 구축을 위해서는 ‘표준화된’ 바이오부품(biobrick)의 설계 및 합성이 필요하다. 현재 주로 사용하는 화학적 합성 방법의 경우, 최대 약 200nt 길이의 DNA 올리고(oligo)를 합성할 수 있으며,¹⁴⁴⁾ Gibson assembly와 효모를 활용한 TAR cloning 기술을 통해 DNA 어셈블리로 DNA 조각을 유전자(~kbp) 수준부터 유전체(~Mbp) 수준까지 합성할 수 있다.¹⁴⁵⁾ 이러한 DNA 합성기술을 바탕으로 유전자 및 프로모터(promoter), 리보솜 결합 부위(RBS), 종결부위(terminator)와 같은 바이오부품을 합성하거나, 필수유전자만을 가지는 최소유전체 등을 합성할 수 있다.(그림 4-26) 미국 고등방위 연구계획국(DARPA)의 예측에 따르면, DNA polymerase, nucleotide transferase와 같은 중합효소의 엔지니어링을 통해 합성한 인공효소 기반 DNA 합성기술은 기존의 화학 합성 대비 합성 길이가 200배 이상 증가하고, 합성 가격이 260배 가량 감소하며, 합성 시간 또한 10만 배 이상 증가할 것으로 예상되어 합성생물학의 발전을 더욱 가속할 전망이다.

143) 생명공학정책연구센터. (2018.10). 글로벌 합성생물학 시장 현황 및 전망.

144) Caruthers, M. H. (2013). The chemical synthesis of DNA/RNA: our gift to science. *Journal of biological chemistry*, 288(2), 1420–1427.

145) Kouprina, N., & Larionov, V. (2019). TAR cloning: perspectives for functional genomics, biomedicine, and biotechnology. *Molecular Therapy-Methods & Clinical Development*, 14, 16–26.

② 유전로직 설계 및 구축 기술

생명체는 생명활동에 필요한 수많은 단백질을 DNA 유전자 서열에 암호화하고 있고, 다양한 외부 환경변화를 인지하여 유전자의 발현 수준을 정교하게 조절하며 대응함으로써 생존을 유지한다. 합성생물학은 생명체 내 존재하는 유전자 발현 시스템을 컴퓨터 회로로 규정하고, 유전자 발현에 필요한 다양한 DNA 서열 및 단백질 전사인자들을 하나의 바이오 부품으로 규정하여 이들을 활용한 유전자 발현 회로를 설계함으로써 연구자가 유도하는 생명반응을 정교하게 작동시킬 수 있는 시스템을 구축하는 것에서 시작한다.

이처럼 정교한 유전자회로를 설계하기 위해, 많은 합성생물학 연구자들은 생명체 내 유전자 발현에 관여하는 프로모터(promoter), 리보솜 결합 부위(RBS), 종결지점(terminator), 전사인자(transcription factor) 등을 규명하고 표준화를 거쳐 독립적인 기능을 하는 바이오 부품을 개발할 수 있다.¹⁴⁶⁾ 이들을 전자공학의 논리회로를 기반으로 하나 이상의 외부 신호값(input)에 대한 논리 연산을 수행하여 예측가능한 생물학적 출력값(output)을 유도할 수 있는 합성생물학 모듈(synthetic biological module)을 설계 및 구축할 수 있다.(그림 4-26) 나아가, 이들 유전자회로를 바탕으로 합성생물학 회로(synthetic biological circuit)를 개발하여 합성생명체의 생물학적 ‘결정’을 유도할 수 있다.¹⁴⁷⁾

이와 같은 유전로직 설계기술과 리포터 유전자를 활용하면 다양한 바이오센서들을 개발할 수 있다. 유전로직 기반 바이오센서는 특정 입력물질에 반응하여 리포터 유전자의 발현 수준을 정교하게 조절하여 연구자가 쉽게 관측할 수 있게 함으로써 특정 목적물질의 정성·정량 분석에 이용하거나, 인공지능 및 로봇공학 기반 자동화시스템을 활용하여 지속가능한 세포공장 시스템 구축에 활용할 수 있다. 나아가 실험실을 벗어난 실외나 야전에서 특수목적 물질의 감지를 통한 검사키트 개발에도 응용할 수 있다. 이러한 특징을 살려 아프리카와 같은 난민국에서의 식수 내 포함된 독성물질을 검출할 수 있는 키트를 개발하거나,¹⁴⁸⁾ 최근 코로나-19 사태에서의 바이러스 검진키트 개발¹⁴⁹⁾ 등 다양한 활용이 가능하다.

146) <https://www.nature.com/subjects/biobricks>.

147) Nielsen et al. (2016). Genetic circuit design automation. *Science* 352(6281).

148) Thavarajah et al. (2020). A primer on emerging field-deployable synthetic biology tools for global water quality monitoring. *npj Clean Water*, 3(1), 1-10.

149) Woo, C. H., Jang, S., Shin, G., Jung, G. Y., & Lee, J. W. (2020). Sensitive fluorescence detection of SARS-CoV-2 RNA in clinical samples via one-pot isothermal ligation and transcription. *Nature biomedical engineering*, 4(12), 1168-1179.

③ 차세대 유전체 편집기술

생명공학은 다양한 생명체의 유전자를 인위적으로 재조합하고 형질도입하는 등 생체 기능을 모방하여 다양한 고부가가치 물질, 의료용 단백질 등을 생산하는 기술이다. 이러한 생명공학에 합성생물학 기반의 ICT 및 AI 기술이 접목되면서 연구자의 목적에 맞는 다양한 합성생명체를 고속·대용량으로 설계할 수 있게 되었다. 그리고 이러한 합성생명체를 빠르고 정확하게 구축하기 위해서 CRISPR를 기반으로 하는 차세대 유전체 편집기술이 요구된다.

CRISPR(Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats) 기술은 미생물의 바이러스에 대한 면역시스템을 응용한 것으로 편집하고자 하는 유전자의 서열을 타겟팅 하는 gRNA 형태로 합성하고 Cas nuclease를 활용하여 특정 유전자만을 교정 및 편집할 수 있는 유전자 가위 기술이다(그림 4-26). 또한, nuclease 활성을 잃어버린 dCas nuclease를 활용하면 타겟유전자의 전사수준 조절도 가능해진다. 이러한 CRISPR 기반의 유전체 편집기술은 모델링 및 AI 기반의 시뮬레이션을 통해 예측한 후보 유전자들을 편집함으로써 연구자의 설계에 따른 합성생명체를 고속으로 구축하거나 타겟유전자의 전사·번역을 조절할 수 있다.¹⁵⁰⁾¹⁵¹⁾

④ 오믹스 및 컴퓨터 모델링, AI 인공지능 기반 빅데이터 분석 및 활용 기술

차세대 염기서열분석(NGS) 기술과 질량분석기의 고도화를 통해 연구자는 생명체의 유전체(genome), 전사체(transcriptome), 번역체(translatome), 단백질체(proteome), 대사체(metabolome) 등 생명활동의 단계별로 막대한 양의 정보를 취합하고 분석할 수 있게 되었다. 또한, 인공지능을 활용하여 빅데이터를 처리하거나, 학습정보를 바탕으로 숨겨진 생물학적 의미를 찾아내기도 한다. 시스템생물학 기반의 생물학적 이해를 바탕으로 합성생물학에서 인공생물체 합성에 필요한 생체부품을 발굴하고 유전자회로를 구축하거나, 설계한 인공생물체의 유전체 및 전사체를 다시 분석하여 개선점을 찾아내고 생물체의 수정 및 보완에 직접 이용할 수 있다.

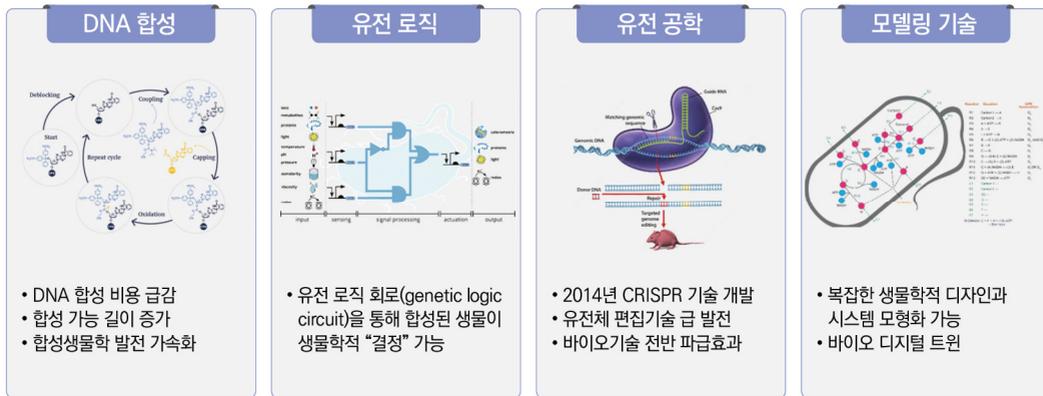
나아가 모델 플랫폼 세포(chassis) 또는 고효율 맞춤형 세포공장(smart designer cell factory)의 다양한 시스템생물학 정보(유전자 발현, 단백질 형성, 대사 물질의 흐름 및 조절 기작 등)들을 수식적으로 표현하는 컴퓨터 모델링을 통해 합성생물학으로 구축된 인공생명체의 생명흐름을

150) Lin, J., & Wong, K. C. (2018). Off-target predictions in CRISPR-Cas9 gene editing using deep learning. *Bioinformatics*, 34(17), 656-663.

151) Xiang, X., Corsi, G. I., Anthon, C., Qu, K., Pan, X., Liang, X., ... & Luo, Y. (2021). Enhancing CRISPR-Cas9 gRNA efficiency prediction by data integration and deep learning. *Nature communications*, 12(1), 1-9.

예측하기도 한다(그림 4-26). 이러한 컴퓨터 모델링 기술은 생명체의 대사흐름을 예측하거나, 인위적인 대사회로 편집을 통해 인공생명체의 생체 내 변화를 고속 예측할 수도 있고, 특정 조건에서 인공생명체의 표현형을 극대화할 수 있는 엔지니어링 후보들을 고속예측할 수 있다.

그림 4-26 합성생물학 주요 기술



⑤ 바이오파운드리 구축

DNA 합성기술의 발전과 AI 인공지능 기반 유전체 설계기술의 급격한 성장으로 합성 생물학 분야는 새로운 국면에 접어들고 있다. 여기에 로보틱스(robotics) 기반 자동화 시스템이 도입되면서 합성생물학 DBTL 프로세스가 더욱 가속화되고 있다. 이러한 변혁 속에 합성 생물학 분야 역시 기존 반도체 공정처럼 설계-제조-활용 등 각각의 공정을 분리·공유할 수 있는 바이오파운드리(Biofoundry) 시스템이 구축되고 있다. 컴퓨터 모델링 및 AI 기반 인공유전체의 설계, DNA 합성 및 어셈블리를 통한 바이오부품 및 회로의 대량 생산, 로봇 공학 기반 자동화 및 고속·대용량 분석을 통해 설계-제조-활용이 분리되어 직렬적 연구 수행과정에서 병렬적 연구수행이 가능해져 합성생물학 기반의 연구들이 더욱 가속화·대량화될 전망이다.

이러한 합성생물학 바이오파운드리는 바이오산업에도 크게 영향을 미치고 있다. 세계 각국에서는 정부 주도의 대규모 투자가 이루어지고 있으며, 바이오파운드리 기반의 여러 스타트업 기업들이 나타나 시장에 연착륙 중이다. 미국 민간 바이오파운드리 기업 Amyris는 주간 500개의 DNA 어셈블리, 1,600개의 균주제작, 10만 개의 시료 분석이 가능한 바이오파운드리 도입을 통해 7년간 15개의 신약물질 상용화에 성공했다.¹⁵²⁾

152) Amris, <https://amyris.com>.

미국 Ginkgo Bioworks 회사의 경우 바이오파운드리 도입을 통해 AI·자동화 기반 미생물 설계·제작 시스템을 구축하여 임상 원료의 단기간 대량 생산 및 공급을 통해 Moderna의 mRNA 백신 개발 및 수급을 뒷받침하면서 스타트업 10년 만에 기업가치 22조 원 이상을 달성했다.¹⁵³⁾ 이와 같은 바이오파운드리 시스템의 성공사례는 정부와 민간의 투자를 계속 유치하는 선순환 구조를 만들고 정부-산학 간의 유기적인 협업을 가능하게 함으로써 바이오 파운드리 시스템은 합성생물학의 연구를 더욱 진전시킬 것이며, 바이오산업 시장 역시 성장세가 더욱 가속화될 전망이다.

⑥ 인공게놈 합성기술

합성생물학의 최종 목표는 활용 목적에 최적화된 인공생명체를 합성하는 것이다. 앞서 언급한 여러 합성생물학 기술들, DNA 합성기술, NGS 분석기술, 바이오회로 설계기술, 유전체 편집기술 등을 활용하면 자연계에 존재하지 않는 새로운 인공게놈, 나아가 인공 생명체를 합성할 수 있다. 실제, 미국 JCVI(J. Craig Venter Institute)는 2008년 DNA 합성 기술과 어셈블리 기술을 활용하여 582kb의 인공게놈(JCVI-1.0)을 최초로 합성했고,¹⁵⁴⁾ 2011년 1,077kb의 인공게놈(JCVI-Syn1.0)을 합성에 성공한 뒤, 이를 미생물에 도입하는 데 성공했다¹⁵⁵⁾. 그리고, 2016년 짧은 oligo의 연속적인 어셈블리를 통해 531 kb의 인공 게놈(JCVI-Syn3.0)을 합성한 뒤, 미생물의 유전체를 완전히 치환하고 성장 및 분열과 같은 미생물의 생명활동을 유도하는 데 성공했다.¹⁵⁶⁾ 또한, 미국, 중국, 유럽 등의 여러 국가들의 협업을 통해 효모의 인공게놈을 합성하여 최초의 인공효모 SC2.0 합성에 성공했고,¹⁵⁷⁾ 유전체 전체를 재조정한 인공대장균의 합성¹⁵⁸⁾ 및 특정 코돈의 완전 치환에도 성공했다.¹⁵⁹⁾ 나아가 전 세계 다양한 합성생물학 연구기관들은 Genome Project-Write(GP-Write)

153) Ginkgo Bioworks, <https://www.ginkgobioworks.com>.

154) Gibson, D. G., Benders, G. A., Andrews-Pfannkoch, C., Denisova, E. A., Baden-Tillson, H., Zaveri, J., ... & Smith, H. O. (2008). Complete chemical synthesis, assembly, and cloning of a *Mycoplasma genitalium* genome. *science*, 319(5867), 1215-1220.

155) Gibson, D. G., Glass, J. I., Lartigue, C., Noskov, V. N., Chuang, R. Y., Algire, M. A., ... & Venter, J. C. (2010). Creation of a bacterial cell controlled by a chemically synthesized genome. *science*, 329(5987), 52-56.

156) Hutchison, C. A., Chuang, R. Y., Noskov, V. N., Assad-Garcia, N., Deerinck, T. J., Ellisman, M. H., ... & Venter, J. C. (2016). Design and synthesis of a minimal bacterial genome. *Science*, 351(6280).

157) Synthetic Yeast 2.0, <http://syntheticyeast.org>.

158) Fredens, J., Wang, K., de la Torre, D., Funke, L. F., Robertson, W. E., Christova, Y., ... & Chin, J. W. (2019). Total synthesis of *Escherichia coli* with a recoded genome. *Nature*, 569(7757), 514-518.

159) Robertson, W. E., Funke, L. F., de la Torre, D., Fredens, J., Elliott, T. S., Spinck, M., ... & Chin, J. W. (2021). Sense codon reassignment enables viral resistance and encoded polymer synthesis. *Science*, 372(6546), 1057-1062.

라는 프로젝트를 통해 인간 cell line들의 인공합성에도 도전하고 있다.¹⁶⁰⁾ 이러한 인공 계놈 및 인공생명체는 생명활동에 필요한 최적의 대사회로만을 가지거나, 목적생산물의 대량 생산 회로를 도입하여 기존 생명체보다 뛰어난 성능을 보여줄 수 있다. 또한, 자연계로의 확산금지를 위한 다양한 안전장치(biocontainment)를 도입함으로써, 안전하고 효율적인 인공생명체를 개발할 수 있다. 이러한 인공계놈 및 인공생명체의 설계는 최근 컴퓨터 모델링 및 AI 인공지능 기술의 활용으로 더욱 발전하고 있으며, 로봇공학 기반의 자동화·대량화를 통해 더욱 가속화될 전망이다.

■ 사회문제 해결을 위한 합성생물학 기술의 활용분야

합성생물학은 표준화된 부품으로 예측가능한 합성생명체 시스템을 설계 및 구축하여 기존 대사공학의 한계인 인공생명체의 불확실성을 낮추고 지속가능한 생산을 가능하게 하는 장점이 있다. 이러한 합성생물학 기술들을 기반으로 다양한 사회문제를 해결한 사례를 다음과 같이 소개하고자 한다.

① 미생물 또는 효모를 활용한 합성생물학 기반 바이오화학물질 생산

- 재조합 효모를 이용한 말라리아 치료제(artemisinin)의 대량 생산¹⁶¹⁾ 및 의료용 대마¹⁶²⁾, 항생제 등의 대량 생산¹⁶³⁾
- 미생물 또는 효모를 이용하여 다양한 석유 유래 화합물¹⁶⁴⁾, 바이오디젤¹⁶⁵⁾, 바이오 플라스틱¹⁶⁶⁾, 인공색소¹⁶⁷⁾ 등을 생산

160) Boeke, J. D., Church, G., Hessel, A., Kelley, N. J., Arkin, A., Cai, Y., ... & Yang, L. (2016). The genome project—write. *Science*, 353(6295), 126–127.

161) Paddon, C. J., Westfall, P. J., Pitera, D. J., Benjamin, K., Fisher, K., McPhee, D., ... & Newman, J. D. (2013). High-level semi-synthetic production of the potent antimalarial artemisinin. *Nature*, 496(7446), 528–532.

162) Luo, X., Reiter, M. A., d’Espaux, L., Wong, J., Denby, C. M., Lechner, A., ... & Keasling, J. D. (2019). Complete biosynthesis of cannabinoids and their unnatural analogues in yeast. *Nature*, 567(7746), 123–126.

163) Cao, J., de la Fuente-Nunez, C., Ou, R. W., Torres, M. D. T., Pande, S. G., Sinskey, A. J., & Lu, T. K. (2018). Yeast-based synthetic biology platform for antimicrobial peptide production. *ACS synthetic biology*, 7(3), 896–902.

164) Choi, Y. J., & Lee, S. Y. (2013). Microbial production of short-chain alkanes. *Nature*, 502(7472), 571–574.

165) Kim, H. M., Chae, T. U., Choi, S. Y., Kim, W. J., & Lee, S. Y. (2019). Engineering of an oleaginous bacterium for the production of fatty acids and fuels. *Nature chemical biology*, 15(7), 721–729.

166) Ahn, S. I., Sei, Y. J., Park, H. J., Kim, J., Ryu, Y., Choi, J. J., ... & Kim, Y. (2020). Microengineered human blood-brain barrier platform for understanding nanoparticle transport mechanisms. *Nature communications*, 11(1), 1–12.

167) Yang, D., Park, S. Y., & Lee, S. Y. (2021). Microbial Production of all seven Rainbow Colorants: Production of Rainbow Colorants by Metabolically Engineered *Escherichia coli* (Adv. Sci. 13/2021). *Advanced Science*, 8(13).

- 폐가스 내 존재하는 C1 가스의 회수를 통한 탄소중립 기술개발 및 친환경 화학소재 생산¹⁶⁸⁾
- ② 식물체 또는 식물 마이크로바이옴을 활용한 합성생물학 기반 식량 및 목적물질 생산 증대
- 식물체 엔지니어링을 통해 생산량을 향상시키거나, 바이오디젤이나 바이오플라스틱과 같은 목적물질을 생산¹⁶⁹⁾
 - 식물마이크로바이옴을 고속·대용량 분석을 통해 유익 미생물군을 규명하고 엔지니어링하여 농업생산력을 향상¹⁷⁰⁾
- ③ 합성생물학 기반 질병치료 기술 개발
- DNA 및 RNA 합성기술을 활용한 코로나-19 치료제 개발 및 합성 peptide 기반 단백질 치료제, 항원 특이적 인공항체 개발(그림 4-27)¹⁷¹⁾
 - 유전체편집 기술을 활용하여 말라리아 대항 항체 생성 모기 또는 유해 바이러스 전달 방지¹⁷²⁾
 - 인공 마이크로바이옴의 설계·합성을 통해 치료용 인공 장내미생물을 개발하여 다양한 대사질환 및 면역조절 치료세포 개발¹⁷³⁾
 - 인공지능 가상인체 모델 기반 신약 개발 및 부작용 예측
 - 약물전달 미생물이나 인공장기, 암 치료용 인공세포, 환자 맞춤형 유전자 치료 등 질병 치료 기술 개발¹⁷⁴⁾
 - 인공지능 가상인체 모델 기반 신약 개발 및 부작용 예측

168) Lanzatech, <https://www.lanzatech.com>.

169) Zhu, X., Liu, X., Liu, T., Wang, Y., Ahmed, N., Li, Z., & Jiang, H. (2021). Synthetic biology of plant natural products: from pathway elucidation to engineered biosynthesis in plant cells. *Plant Communications*.

170) Brophy, J. A., Triassi, A. J., Adams, B. L., Renberg, R. L., Stratis-Cullum, D. N., Grossman, A. D., & Voigt, C. A. (2018). Engineered integrative and conjugative elements for efficient and inducible DNA transfer to undomesticated bacteria. *Nature microbiology*, 3(9), 1043-1053.

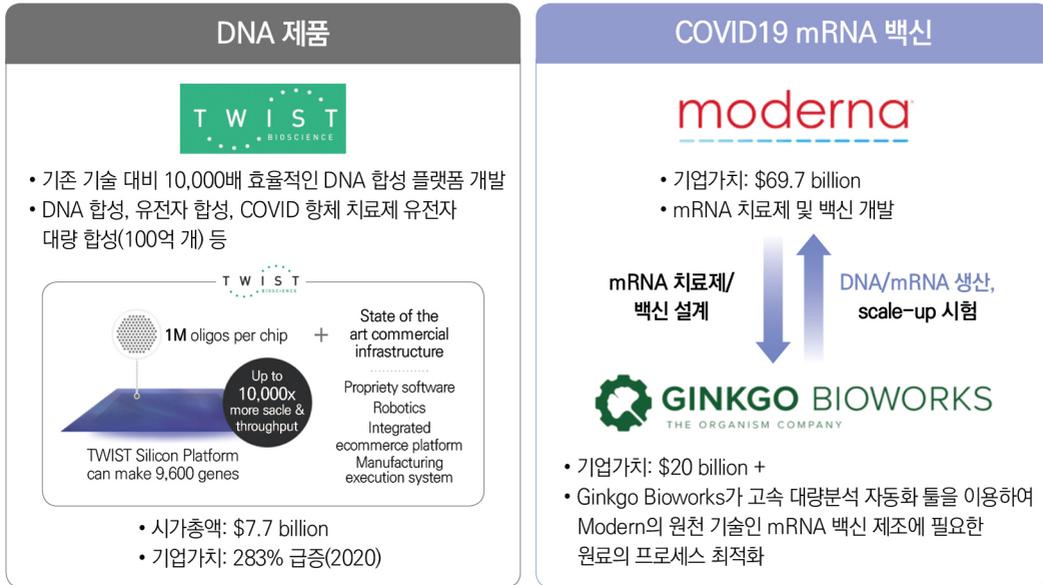
171) Gebre, M. S., Brito, L. A., Tostanoski, L. H., Edwards, D. K., Carfi, A., & Barouch, D. H. (2021). Novel approaches for vaccine development. *Cell*, 184(6), 1589-1603.

172) Adolphi, A., Gantz, V. M., Jasinskiene, N., Lee, H. F., Hwang, K., Terradas, G., ... & James, A. A. (2020). Efficient population modification gene-drive rescue system in the malaria mosquito *Anopheles stephensi*. *Nature communications*, 11(1), 1-13.

173) Zhou, Z., Chen, X., Sheng, H., Shen, X., Sun, X., Yan, Y., ... & Yuan, Q. (2020). Engineering probiotics as living diagnostics and therapeutics for improving human health. *Microbial Cell Factories*, 19(1), 1-12.

174) McNerney, M. P., Doiron, K. E., Ng, T. L., Chang, T. Z., & Silver, P. A. (2021). Theranostic cells: emerging clinical applications of synthetic biology. *Nature Reviews Genetics*, 1-17.

그림 4-27 DNA 합성기술 및 RNA 기반 mRNA 백신



■ 국내외 합성생물학 기술 동향

합성생물학 기술은 화학, 식량, 헬스케어 등 다양한 산업 분야에 응용될 수 있기에, 2000년 후반부터 전 세계적으로 이목을 끌며 현재까지도 많은 스타트업 기업들이 생겨나고 있다. 이러한 흐름에 발맞춰, 2010년 이후 세계 주요국들은 합성생물학의 잠재력에 주목하면서 합성생물학 기술 관련 집중 투자를 통해 2013년 기준 약 6억 달러에서 2018년 54억 달러로 급격하게 증가시켰다. 또한, 2019년 5월 일본 고베에서 세계 주요국의 25개 합성생물학 바이오파운드리 기관 연합체(Global Biofoundry Alliance, GBA)를 결성하고 합성생물학 개발 및 협업강화를 위한 시스템을 확립하는 등 합성생물학 연구인프라 구축에 매우 적극적으로 나서고 있다.¹⁷⁵⁾

① 미국

미국은 합성생물학 기술개발 및 투자에 가장 적극적인 국가로, 정부 지원을 기반으로 민·관 협력의 연구 생태계가 조성되어 있다. 미 국방부 산하 고등방위연구계획국(DARPA)는 2014년 한 해에만 전체 합성생물학 연구비의 1/3에 해당하는 약 1억 달러를 투자했다. 특히, 미생물 개량, mRNA 항체, 식물기반센서, 유전자드라이브(Gene Drive)에 공격적인 투자를 진행 중이다. 학계·산업계 연구자로 구성된 EBRC(Engineering Biology Research

¹⁷⁵⁾ Global Biofoundries Alliance, website, <https://biofoundries.org>.

Consortium)는 DNA 합성기술, 바이오물질 엔지니어링 기술, 세포 엔지니어링 기술, 데이터 및 자동화 기술을 기반으로 환경, 농업, 헬스 및 의학, 에너지, 바이오산업 혁신 연구 로드맵을 구축했다. 또한, 에너지부(Department of Energy, DoE)를 중심으로 캘리포니아가 거점이 되어 약 300개 이상의 합성생물학 기업을 육성하거나, 실리콘밸리를 중심으로 식량, 연료, 헬스케어 등 분야에서 약 60개 이상의 스타트업 회사가 설립되는 등 창업과 민간 기업 투자가 매년 증가하고 있다. 2015년에만 약 6,500억 원 이상이 합성생물학 스타트업에 투자되는 등 합성생물학 기술 시장이 빠르게 성장하고 있다. 대표적인 스타트업 회사인 Ginko Bioworks는 2017년 라운드 투자를 통해 약 2억 7,500만 달러 투자를 유치했고, 유전자공학을 기반으로 미생물 유기체 등을 설계하고, 합성 DNA를 활용하여 효소, 세포 등을 개발하고 있다. 또한, Moderna는 최근 코로나-19 백신개발로 미국 정부 바이오/의학 R&D 기관인 BARDA를 통해 약 4억 8,300만 달러의 투자를 유치하는 데 성공했다.¹⁷⁶⁾

② 영국

영국의 경우 2005년 영국생명공학연구협의회(BBSRC)에서 10개 연구투자 우선분야 중 첫 번째로 합성생물학을 선정했고, 기업혁신기술부(BIS)는 합성생물학을 영국 8대 미래기술로 선정하는 등 초기부터 합성생물학에 주목하면서 지속적인 투자를 유치 중이다. 또한, 현재까지 6곳 이상의 첨단 바이오파운드리 거점을 육성하는 등 바이오파운드리 부문에 있어 적극적인 투자와 국가 바이오 경제 전략과의 연계를 통해 합성생물학 기술의 상업화를 전략적으로 추진하고 있는 등 정부 주도 하에 선제적·체계적 지원으로 합성생물학 분야에서의 글로벌 기술우위 선점을 위해 노력 중이다.¹⁷⁷⁾

③ 유럽

유럽의 경우 EU Seventh Framework Programme을 통해 14개 주요 합성생물학 그룹에 4년간 약 90억 원을 지원하여 진핵생물 시스템의 설계를 위한 재료와 컴퓨팅의 기준 확립을 목적으로 바이오부품 표준화 연구를 수행 중이다.¹⁷⁸⁾ 특히, NGS 기술 정도의 파급력을 가질 것으로 예상되는 차세대 DNA 합성기술을 확보하는 데 유럽 내 경쟁이 가속화되면서, 민간에서는 TdT 중합효소 기반 차세대 DNA 합성기술 개발을 위해 2017

176) Moderna website, <https://www.modernatx.com>.

177) Clarke, L. J., & Kitney, R. I. (2016). Synthetic biology in the UK—an outline of plans and progress. *Synthetic and systems biotechnology*, 1(4), 243–257.

178) ERASynBio. (2014). Next steps for European synthetic biology: A strategic vision.

Camena UK, 2017 Evonetix UK, 2014 DNAScript France, 2017 Ribbon Austria 등 여러 스타트업이 설립되고 있다.

④ 중국

중국의 경우, 합성생물학 분야의 후발주자임에도 불구하고, 2016년에서 2020년 사이에 합성생물학 프로젝트를 집중적으로 추진하여 단기간에 글로벌 수준의 연구 인프라를 구축하는 데 성공했다. 이러한 공격적인 인프라 투자를 바탕으로 단일염색체 진핵세포를 인공합성하는 데 성공하는 등 우수한 연구성과를 내기 시작하며 합성생물학 분야에서 빠르게 성장 중이다.¹⁷⁹⁾

⑤ 국내

한국은 중국과 함께 합성생물학 기술개발의 후발주자로, 단기 고속 성장을 목표로 정부 주도하에 2015년부터 2019년까지 동안 약 527억 원의 투자가 이루어진 바 있다. 합성생물학 관련 투자는 매년 증가 추세지만 아직 전체 바이오 투자 규모 대비 0.4% 수준에 머물러 있는 것으로 파악되며 대부분 대학에서의 기술개발에 국한되고 있다. 국내 바이오 산업은 삼성바이오로직스등 CMO(위탁생산) 기업을 필두로 세계 최대 설비(총 62만 리터 생산 능력, CMO 시장 30% 점유)를 구축하는 등 글로벌 경쟁력 강화를 도모하고 있으며, 최근에는 CJ제일제당, GS칼텍스 및 LG화학, SK케미칼 등 바이오 및 석유화학업체들이 화학, 플라스틱, 에너지 등 합성생물학 활용기술 분야에서 새로운 사업을 펼치고 있다. 하지만 합성생물학 분야의 국내 기술 수준은 아직 미국 대비 70% 정도로 기술격차는 약 4년 정도로 평가되는 등 민간 영역에서의 기술개발 및 투자는 미흡한 실정이다.¹⁸⁰⁾

국내 합성생물학 관련 산업은 CMO 등 일부 기술에는 강세를 보이고 있지만, 합성생물학의 주요 전략인 Design-Build-Test-Learn 중, Design-Build에 해당하는 전문인력이 부족하며 관련 산업생태계도 미흡한 실정이다.

■ 전망

합성생물학은 고부가가치의 바이오케미칼 생산부터 스마트 치료 등 헬스케어 산업을 아우르는 다양한 산업적 응용이 가능하다. 이러한 합성생물학의 광범위한 활용 범위,

179) Shao, Y., Lu, N., Wu, Z., Cai, C., Wang, S., Zhang, L. L., ... & Qin, Z. (2018). Creating a functional single-chromosome yeast. *Nature*, 560(7718), 331-335.

180) KISTEP. (2018). 기술수준평가보고서.

R&D 투자 증가, 주요국의 합성생물학 이니셔티브 추진, DNA 시퀀싱 및 합성 비용 감소 등의 요인으로 관련 시장이 확대될 것으로 기대되며, 글로벌 시장규모는 2021년 95억 달러에서 연평균 26.5%의 높은 성장률을 바탕으로 2026년에는 307억 달러 규모로 확대될 전망이다.¹⁸¹⁾ 한국의 경우 합성생물학 관련 전반적인 기술 수준은 다소 미흡하나 미생물 기반의 유용소재 생산 세포공장기술 분야, 효소공학 기술 등에서 우수한 역량을 보유하고 있기에, IT-바이오 융합기술 기반 빅데이터와 정밀 진단 기술을 구축하고 바이오파운드리와 바이오생산·스케일업을 지원하는 시험공장 등 합성생물학 기반 인프라를 설립한다면, 차세대 합성생물학의 글로벌 리더로서 발돋움할 수 있을 것이다.

7) 엣지 컴퓨팅

(개념) 엣지 컴퓨팅이란 다양한 종단 기기에서 생성된 데이터를 원격의 클라우드 서버로 보내지 않고 종단 기기 근거리에서 서버에서 초저지연 데이터 분석 및 저장 서비스를 지원하는 새로운 분산 컴퓨팅 패러다임이다.¹⁸²⁾ 엣지 컴퓨팅을 활용하면 원격 데이터 센터의 자원을 활용하는 클라우드 컴퓨팅 대비 네트워크 지연시간을 크게 감축시켜 데이터 처리 소요 시간을 획기적으로 줄일 뿐 아니라 인터넷망의 데이터 트래픽 감소 및 개인/기업정보와 같은 민감 데이터 유출을 예방할 수 있다.¹⁸³⁾

■ 포스트 PC 시대에서의 새로운 분산 컴퓨팅 패러다임: 엣지 컴퓨팅

최근 우리는 고정된 위치에서 한정된 컴퓨팅 서비스만을 제공하는 PC 시대를 지나 모바일 기기와 클라우드의 이동성 및 연결성으로 정의되는 포스트 PC 시대를 맞이하고 있다.¹⁸⁴⁾ 특히, 사물인터넷(Internet-of-Things, IoT) 기술의 집약적인 발전을 바탕으로 사람, 기기, 사물이 연결돼 지능화된 네트워크를 구축하는 초연결 사회에서는 수많은 IoT 기기들이 엄청난 양의 데이터들을 끊임없이 생성할 것이다. 이러한 방대한 양의 데이터를 효과적이며 즉각적으로 분석하고 저장하기 위한 컴퓨팅 기술 패러다임은 컴퓨팅 하드웨어/소프트웨어 기술 발전과 더불어 네트워크 기술과의 융합을 발판으로 빠르게 진화하고 있다. IDC(International Data Corporation)는 2025년에 약 416억 개의 IoT 기기가 인터넷에 연결될 것이며, 단일 기기에서 18초마다 최소 한 번씩 디지털 데이터를 생성하면 약 80 제타바이트에 가까운 데이터가 생성될 것이라 예상하고 있다.¹⁸⁵⁾ 이 어마어마한 양의

181) MarketsandMarkets. (2021.5). Synthetic biology market - Global forecast to 2026.

182) E. Hamilton. (2018). What is Edge Computing: the Network Edge Explained, Cloudwards.net. Retrieved

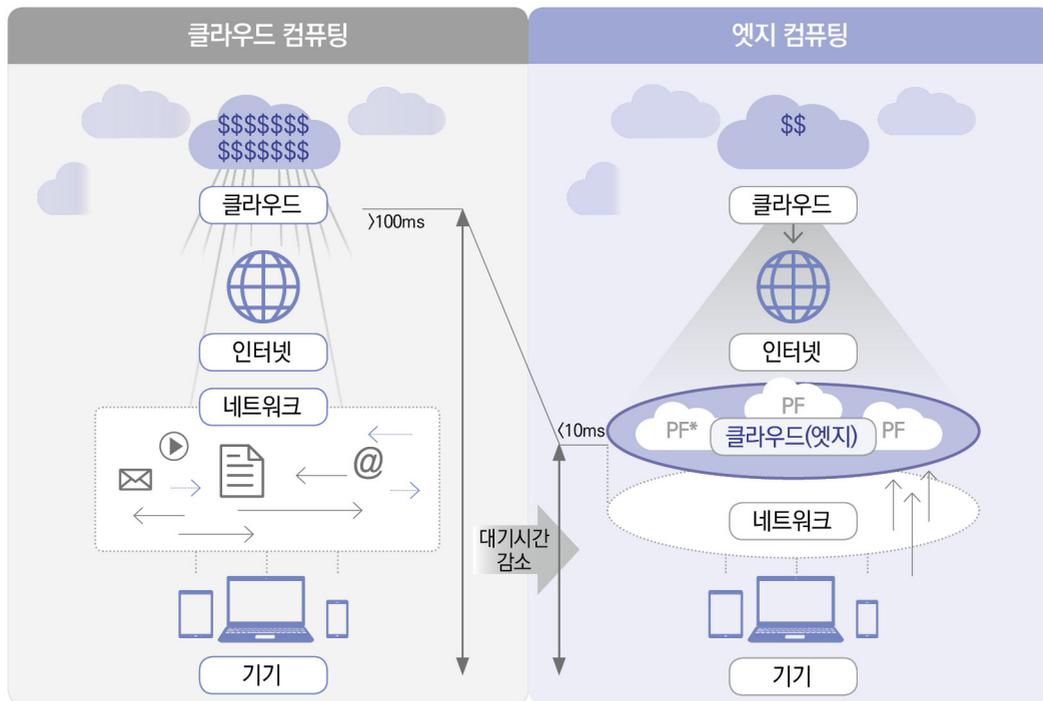
183) 홍정하 외. (2020). 엣지 컴퓨팅 기술 동향, 전자통신동향분석, 35권 6호.

184) Intel. (2021.6.7.). The Edge Outlook, White Paper.

185) IDC forecasts. (2019.6.18.). The Growth in Connected IoT Devices is Expected to Generate 79.4ZB of Data in 2025.

디바이스들이 원활하게 데이터 분석 및 저장 서비스를 사용하는 데 기존의 중앙 집중적인 클라우드 중심의 컴퓨팅 환경에서는 네트워크 대역폭 및 컴퓨팅 자원 측면에서 그 한계를 노출하고 있다. 이러한 한계점을 극복하기 위해 클라우드 서버에서 담당하는 컴퓨팅 부담을 IoT 기기에 가까운 거점에서 처리함으로써 네트워크 및 컴퓨팅 리소스 부족 현상을 해결하는 분산 컴퓨팅 방식의 엣지 컴퓨팅 기술이 주목을 받고 있다. 엣지 컴퓨팅을 적용하면 서비스 지연시간 감소, 네트워크 및 클라우드 비용 절감, 네트워크 코어 부하 최소화, 로컬 네트워크 사용에 따른 민감 데이터 보안 강화 등의 이점을 얻을 수 있다.

그림 4-28 클라우드 컴퓨팅과 엣지 컴퓨팅



출처: news.samsung.com

■ 엣지 있는 인공지능 서비스 기술로 더 스마트해질 사물인터넷

사물인터넷으로 모든 사물, 기기, 사람이 네트워크 연결되는 초연결 사회에서는 다양한 형태의 수많은 스마트센서를 통해 데이터를 수집하고 이를 분석하여 다양한 응용서비스 분야에 필요한 인공지능 서비스를 제공하는 것이 가능해졌다. 특히, 인공지능 컴퓨팅 작업을 수행하는 GPU, NPU, TPU와 같은 인공지능 반도체 프로세서의 성능 및 경제성 향상과 기술의 발전은 엣지 컴퓨팅 활용 인공지능 서비스의 경쟁력을 강화하고 있다. 인공

신경망 알고리즘을 효율적으로 계산하는데 사용되는 인공지능 반도체 기술은 소형화·저전력·고성능을 목표로 디바이스 및 엣지 컴퓨팅 영역에서 인공지능 연산이 가능하도록 기술 개발이 이뤄지고 있다.¹⁸⁶⁾ 인공지능 서비스를 제공하는데 필요한 고연산 컴퓨팅 자원을 보유한 엣지 서버에서는 학습이 완료된 인공지능 모델을 이용해 데이터 분석 서비스를 제공하는 것뿐 아니라 클라우드 서버로 개인정보와 같은 민감 데이터를 전송하지 않고 엣지 서버에서 직접 인공지능 모델을 학습하는 서비스도 구현이 가능하다. 인공지능과 융합된 엣지 컴퓨팅 기술은 네트워크 비용 절감, 실시간 응답처리, 데이터 보안 강화가 요구되는 응용 분야에 널리 사용될 것으로 전망되며, 특히 인터넷망 접속이 제한적인 상황에서도 지속적인 서비스를 제공해야 하는 제조·에너지·의료·교통·스마트시티 등 다양한 분야에서 수요가 증가할 것으로 예상된다.

■ 초저지연 융합서비스를 실현하는 핵심 기술: 5G + 엣지 컴퓨팅 = 5G MEC

엣지 컴퓨팅 기술을 활용하여 초저지연 데이터 분석 및 처리 서비스를 제공하기 위해서는 종단기기와 엣지 서버 사이의 대용량 대역폭 및 초저지연과 같은 요구사항이 충족되어야 한다. 5G 무선통신에서는 기존 LTE 통신과 비교하였을 때 향상된 대역폭뿐 아니라 고신뢰 초저지연 통신(Ultra Reliable and Low Latency Communication, URLLC), 초연결 통신(Massive Machine Type Communication, mMTC) 기술이 도입되어 수십/수백만 대의 기기가 1ms 이내로 통신하는 것이 가능하다. 이와 더불어 데이터 처리 및 분석 서비스를 제공하는 엣지 서버를 무선 액세스 망에 물리적으로 전진 배치하여 지연시간을 감축시키는 멀티 액세스 엣지 컴퓨팅(Multi-Access Edge Computing, MEC) 기술이 5G에 적용되면 단방향 종단간 5ms 요구사항을 만족시킬 수 있는 초저지연 서비스 제공이 가능하다.¹⁸⁷⁾ 이를 위해서 이동통신 네트워크 국제표준화 그룹인 3GPP에서는 네트워크 기능 가상화(Network Functions Virtualization, NFV) 기반의 유연한 데이터 플랜 구조 및 응용 기능 기반 라우팅 기술을 5G 이동통신 표준기술로 채택했다.¹⁸⁸⁾ 또한, KVM 및 VMware와 같이 하드웨어와 소프트웨어를 분리시켜 복수의 가상머신기반 응용서비스의 독립적인 운용을 지원하는 서버 가상화 솔루션 기술의 발전도 5G MEC 플랫폼의 유연성을 확대시켜 이동통신 관련 솔루션뿐 아니라 다양한 애플리케이션 영역에서 엣지 컴퓨팅 기술 활용 응용서비스 구현을 용이하게 만들었다.

186) 최민석 외. (2020). 인공지능 프로세서 반도체 기술 및 표준화 동향, TTA저널, vol. 188, pp. 44-51.

187) 이문원. (2017). 5G 초저지연 서비스 구현을 위한 NFV 기반 MEC 기술, TTA저널, vol. 174, pp. 74-80.

188) 인민교 외, “엣지 컴퓨팅 표준화 동향,” OSIA Standards & Technology Review, vol. 33, no. 2, pp.17-25, 2020.

■ 엣지 컴퓨팅 기술 경쟁력 확보 및 상용화를 위한 국내외 기술 동향

다양한 응용서비스 영역에서 엣지 컴퓨팅 활용 서비스 요구사항이 발생함에 따라 기존의 클라우드 서비스를 제공하는 선진기업에서도 엣지 컴퓨팅 기술을 도입하고 있다. 미국 아마존에서는 자사의 클라우드 서비스 플랫폼인 AWS(Amazon Web Services)를 엣지 컴퓨팅 영역으로 확장하기 위해 5G 네트워크 기지국에 AWS 컴퓨팅 및 스토리지를 탑재한 웨이브LENGTH 존(Wavelength Zone)을 배치하여 애플리케이션 서비스를 제공하고 있으며,¹⁸⁹⁾ 클라우드 기능을 로컬 디바이스로 확장하는 소프트웨어 AWS IoT Greengrass를 통해 네트워크 연결이 원활하지 않은 환경에서도 로컬 네트워크를 이용해 컴퓨팅, 데이터 캐싱, 머신러닝 추론 등의 서비스를 제공하고 있다.¹⁹⁰⁾ 미국 마이크로소프트에서는 자사의 클라우드 플랫폼인 Azure의 기능에서 제공하던 인공지능 서비스 및 분석 인텔리전스를 엣지 단말에서 사용할 수 있도록 지원하는 Azure IoT Edge 서비스를 제공하고 있으며,¹⁹¹⁾ 구글에서도 자사가 개발한 AI 전용 칩 TPU(Tensor Processing Unit)와 Cloud IoT Edge를 이용하여 엣지 컴퓨팅 환경에서의 데이터 처리 및 머신러닝 서비스를 제공하고 있다. 뿐만 아니라, 엣지 컴퓨팅 기술은 ITU-T, ETSI, IETF 등 다양한 표준화 기구별로 디바이스, 네트워크, 플랫폼, 관리 등 다양한 엣지 컴퓨팅 영역에 대하여 표준화를 진행 중이며, 엣지 컴퓨팅 공통 프레임워크 개발을 위해 리눅스 파운데이션의 LF Edge, Open edge computing, Eclipse Kura 등 다양한 오픈소스 프로젝트가 추진되고 있다.

국내의 경우 이동통신사의 주도로 멀티 액세스 엣지 컴퓨팅 인프라를 경제성이 높은 통신사 위주로 구축하고 있으나, 해당 인프라를 활용한 서비스는 현재 B2C 영역의 경우 시범 적용되는 수준의 서비스가 개발되었고 B2C 영역의 서비스는 아직 활성화되지 않은 수준이다. 정부에서는 디지털 뉴딜을 선도할 혁신적 서비스 창출을 위해 MEC 기반 5G 융합서비스 활성화를 유도하여 5G 산업 생태계를 조기 구축해야 할 필요성을 인지하고, MEC 전·후방 산업 전반의 활성화를 위해 시장 선도를 위한 선제적 투자, 시장 참여 기반 조성을 통한 생태계 활성화, 전·후방 산업 연계를 통한 경쟁력 강화를 목표로 다양한 국가 과제를 추진하고 있다.¹⁹²⁾ 한편, MEC 활성화에는 기지국을 유지·관리하거나 서버·스토리지를 확대하는 데 발생하는 공간대여 비용이 주요 장애물로 작용한다.

189) Amazon, "AWS wavelength," <https://aws.amazon.com/wavelength/>

190) Amazon, "AWS iot greengrass," <https://aws.amazon.com/greengrass/>

191) Microsoft, "Microsoft azure iot edge," <https://azure.microsoft.com/en-us/services/iot-edge/>

192) 과학기술정보통신부. (2021.1.26.). MEC 기반 5G 융합서비스 활성화 방안, 제4차 5G+ 전략위원회.

■ 초저지연 응답속도와 강화된 민감 데이터 보안이 가능한 엣지 컴퓨팅 활용 응용서비스

엣지 컴퓨팅은 스마트팩토리, 헬스케어, 자율주행 등 초저지연 데이터 처리 및 민감 데이터 보안이 요구되는 다양한 응용 분야와 융합되어 새로운 서비스를 창출하고 있다. 산업 환경에서는 자사의 데이터를 외부로부터 안전하게 보호하는 보안이 핵심 요구사항이다. 특히, 공장 내 설비와 기계에 사물인터넷을 설치하여 생산성, 품질, 고객만족도를 향상시키는 스마트팩토리에서는 수많은 센서로부터 수집된 데이터에 대한 분석 및 이에 따른 제어가 실시간으로 수행되어야 하며 이를 위해서는 엣지 컴퓨팅 기술이 필수적으로 도입되어야 한다. 엣지 컴퓨팅이 스마트팩토리과 융합되면 공장 내 온·습도 조절, 기계별 가동현황 파악, 재고 관리와 같은 단순 데이터 분석이 필요한 서비스부터 생산라인 내 불량품 검출 및 작업자 안전 모니터링과 같이 인공지능 기반 영상 분석이 필요한 서비스까지 구현할 수 있다. 또한, 대용량 데이터의 전달 및 즉각적 처리가 필요한 증강현실(Augmented Reality, AR)/가상현실(Virtual Reality, VR) 기술을 적용하여 위험 산업현장에서 로봇을 이용해 작업자가 업무를 수행할 수 있도록 하는 원격 로봇 제어 서비스도 엣지 컴퓨팅의 초저지연 데이터 분석 및 응답 능력을 이용해 실현할 수 있다.

엣지 컴퓨팅 기술은 헬스케어 분야에서도 인공지능 기술과 융합되어 환자의 진단 및 치료를 수행하는 보조 의료 및 의학 서비스 개발의 핵심기술 주목을 받고 있다. 특히, 환자의 병력 및 의료데이터는 개인정보보호법에 의거해 병원 외부로의 유출을 사전에 방지해야 하는데, 환자의 데이터를 인터넷망을 통해 원격 클라우드로 보내지 않고 병원 내부 전산망에 연결된 엣지 컴퓨팅 서버를 사용하여 인공지능 기반 첨단 의료 서비스를 실시간으로 제공하면 환자의 민감 정보 유출을 예방할 수 있다. 또한, 엣지 컴퓨팅 플랫폼이 병원에 구축되면 고용량 데이터 전송과 고연산 딥러닝 분석이 필요한 인공지능 기반 MRI 영상 분석 서비스뿐 아니라 환자의 생체신호를 실시간 모니터링하여 환자의 상태·예후를 분석하는 서비스 구현이 가능하다. 이러한 엣지 컴퓨팅 융합 헬스케어 서비스는 병원에서는 물론 이거니와 가정 및 일터와 같은 일상생활에서도 헬스케어용 웨어러블 디바이스로부터 수집된 개인 건강정보를 분석하여 개인 맞춤형 건강관리솔루션을 제공하는 개인 일상 건강관리 서비스 분야에도 적용할 수 있다. 특히, 엣지 컴퓨팅 서버에 저장되어있는 개인 의료정보를 바탕으로 사람이 병원을 방문할 필요 없이 원격에서 전문의의 진료를 통해 일상 건강관리가 가능하게 되면, 코로나와 같이 전염성이 높은 병에 대하여 원격 검진이 가능할 것이며 당뇨병, 고혈압, 암과 같이 사전에 철저한 개인 건강관리로 예방이 가능한 병에 대하여 꾸준한 원격 관리를 통해 발병률을 낮출 수 있을 것이다.

엣지 컴퓨팅 기술이 시민의 일상에서 가장 유의미하게 체감될 서비스 분야는 바로

자율주행 관련 서비스일 것이다. 자율주행 자동차의 안정적인 주행 서비스를 위해서는 차량에 부착되어있는 수많은 센서 데이터를 수집하여 차량 간 거리, 도로 상황, 차량 흐름, 돌발 상황 등의 주행 정보를 실시간으로 파악할 수 있어야 한다.¹⁹³⁾ 이를 위해 미국의 테슬라(Tesla), 독일의 BMW와 같은 회사에서는 엔비디아(NVIDIA)의 자율주행용 엣지 컴퓨팅 플랫폼을 적용하여 차량 내부에서 고속 데이터 처리가 가능한 엣지 컴퓨팅 환경을 조성하여 데이터를 처리하는 자율주행 차량을 개발하고 있다. 뿐만 아니라 자율주행 자동차가 인터넷과 연결된 커넥티드 카에서 자율주행 안정성 고도화를 위한 협력 자율주행뿐 아니라 탑승자를 위한 다양한 인포테인먼트 서비스를 제공하기 위해서는 대용량 데이터의 업로드, 분석, 처리, 결과 전달이 초저지연으로 수행되어야 한다. 이러한 요구사항 역시 커넥티드 카의 인터넷 연결을 지원하는 V2X(Vehicle-to-Everything) 통신망과 엣지 컴퓨팅 기술융합을 통해 실현이 가능하다. 이와 같은 엣지 컴퓨팅 활용 자율주행 기술은 사람이 탑승하는 운송 서비스뿐 아니라 드론, 로봇과 같이 무인 이동체를 활용하여 서비스를 제공하는 수많은 응용 분야에서 적용될 것이다.

■ 미래 세상을 변화시킬 엣지 컴퓨팅 응용서비스 활성화를 위해 정부와 산·학·연의 협력 필요

엣지 컴퓨팅은 하드웨어·소프트웨어·네트워킹 기술의 발전과 융합을 통해 진화를 거듭하고 있는 새로운 분산 컴퓨팅 패러다임이며, 초저지연 데이터 응답, 네트워크 트래픽 감소, 민감 데이터 보안 강화와 같은 이점을 바탕으로 다양한 기술과 융합되어 그 한계를 극복할 수 없을 정도로 진화하고 있다. 특히, 엣지 컴퓨팅 기술은 클라우드 컴퓨팅 기술과 경쟁이 아닌 상호보완적인 관계를 유지함과 동시에 인공지능 기술과의 융합을 통해 기존 공공·민간 산업 분야에서의 신규 서비스 창출뿐 아니라 새로운 산업 생태계 구축을 통해 경제적 파급효과를 창출해내고 미래사회의 생활 패러다임을 변화시키는 핵심기술로 지속적인 관심을 받고 있다. Technavio의 Global edge computing market 보고서에 따르면 전 세계 엣지 컴퓨팅 관련 시장 규모는 연평균 40.7%씩 성장하여 2023년에는 70억 2천 3백만 달러의 시장 규모를 형성할 것으로 예측했다.¹⁹⁴⁾ 또한, 가트너(Gartner)는 엣지 AI, 엣지 컴퓨팅, 엣지 비디오 분석, 마이크로 데이터 센터와 같은 엣지 컴퓨팅 응용 기술이 향후 2~5년 내에 급격한 시장 확대와 적용이 이뤄질 것이라 예상하고 있으며, 가트너 Top 10 전략 기술 트렌드에 3년 연속 선정되었다.¹⁹⁵⁾ 이와 같은 엣지 컴퓨팅 기술의 밝은 기대와는 달리 오늘날 엣지 컴퓨팅 적용 응용서비스를 사용할 시장의 활성화는 아직

193) 신성식 외. (2019). 엣지 컴퓨팅 시장 동향 및 산업별 적용 사례, 전자통신동향분석, 34권 2호.

194) Technavio. (2019). Global Edge Computing Market.

195) Gartner. (2019). Hype circle for edge computing.

저조한 상태이다. 이를 극복하기 위해서는 다양한 정부 과제 및 지원 사업을 통해 산업 분야별 사업자의 엣지 컴퓨팅 생태계 참여를 유도하는 정부의 노력과 함께 엣지 컴퓨팅 활용 킬러 애플리케이션을 개발해내기 위한 산·학·연의 협력이 필요하다.

8) 녹색수소

(개념) 수소경제에 활용되는 수소는 생산 방식에 따라 각종 색깔로 표현되고 있으며, 크게는 회색 수소(Grey Hydrogen), 청색 수소(Blue Hydrogen), 녹색 수소(Green Hydrogen)로 표현된다. 녹색 수소는 다른 수소 생산 방식과 달리 수소 생산 과정 중 이산화탄소(CO₂)의 발생이 없는 방식으로 정의된다. 녹색 수소 생산기술은 크게 재생에너지(태양광, 풍력 등)를 이용한 물 전기분해로 대표되고 이 외에도 암모니아(NH₃) 분해, 생물학적 수소생산 등이 있으며, 탄소중립 실현에 중추적인 역할을 할 것으로 기대되는 기술이다.¹⁹⁶⁾

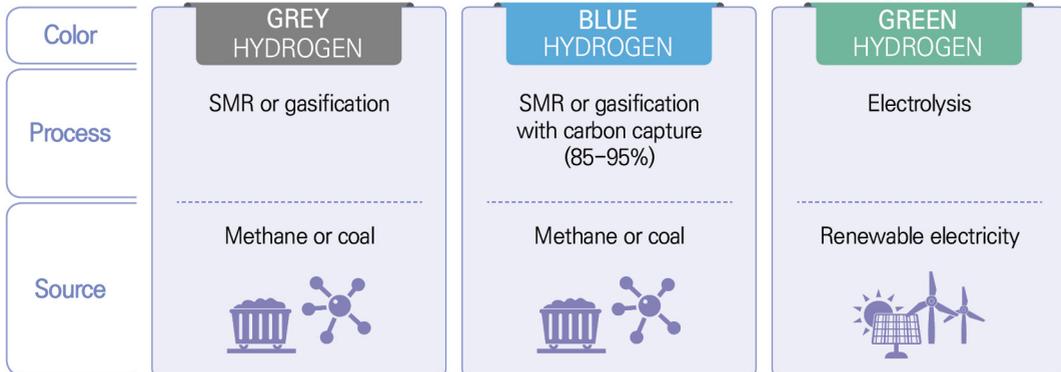
■ 녹색수소 생산기술 개요

수소에너지는 수소의 직접 연소 또는 연료전지를 통해 얻어내는 에너지를 말하며, 이론적으로는 연소 생성물로 물(H₂O) 이외에는 다른 부산물이 없어서 공해물질 및 이산화탄소(CO₂) 배출이 전혀 없는 친환경 에너지로 주목받고 있다. 현재 수소의 산업적 이용량은 빠르게 증가하여 그 수요가 연간 7천만 톤 이상을 상회하며 에너지 운반체로서 역할뿐만 아니라 정유(Refining), 암모니아 합성, 메탄올 합성, 제철 산업 등의 분야에 다량 사용되고 있다.¹⁹⁷⁾ 수소 경제에 활용되는 수소는 그 생산 방식에 따라 회색 수소(Grey Hydrogen), 청색 수소(Blue Hydrogen), 녹색 수소(Green Hydrogen)로 분류된다. 현재 전 세계 수소 생산량의 48~50%는 천연가스 수증기 개질, 30%는 정유 및 화학 부문의 부생 수소, 18%는 석탄 가스화 등 화석 연료에서 생산된다. 현재 우리나라에서는 대부분 회색 수소인 천연가스(메탄)와 고온 고압 수증기의 화학적 개질(Steam Methane Reforming, SMR)을 통한 방법으로 수소를 생산하고 있다.

196) IRENA. (2020). Green hydrogen – a guide to policy making, pp. 8-9.

197) IRENA. (2019). The future of hydrogen, p. 17.

그림 4-29 생산방식에 따른 수소 종류¹⁹⁸⁾



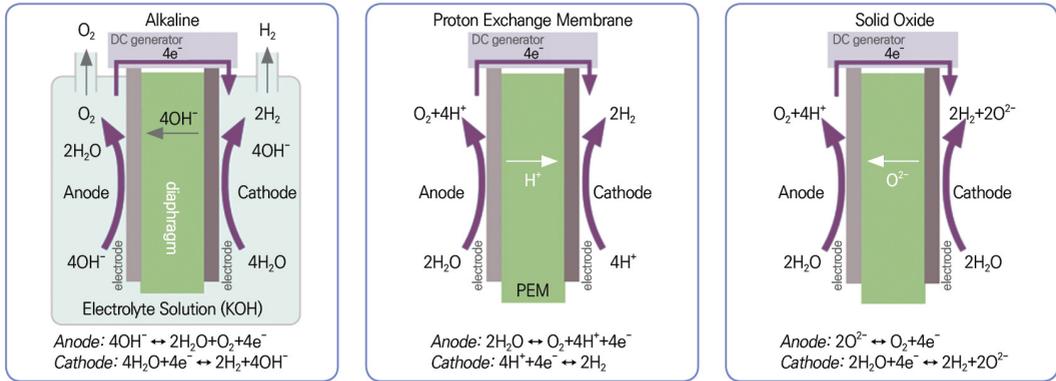
Note: SMR = steam methane reforming.

생산 방식별 배출되는 CO₂의 관점에서 보면, 석탄으로부터 회색 수소 1kg을 생산하는 경우 약 20kg의 CO₂가 발생하며, 천연가스를 사용하면 이를 절반 이상 줄일 수 있다. 여기서 CO₂ 배출 절감을 위하여 생산 과정에서 발생하는 CO₂를 CCS 공정(Carbon Capture and Storage, 탄소 포집 및 저장)을 통하여 제거하는 청색 수소(Blue Hydrogen) 생산 방식으로 전환하는 경우 배출되는 CO₂의 양이 90% 이상 저감되지만, 후처리 공정에 의한 생산 비용 상승이 동반된다. 녹색 수소는 재생에너지로 생산한 전력을 활용한 수전해를 통해 수소를 생산하는 방식으로 수소생산 전 과정에서 CO₂를 배출하지 않는다. 하지만, 수전해 과정에 사용되는 전력을 화력발전과 이를 포함하는 전력망 전원으로 사용하면, CO₂ 배출량이 회색 수소 수준으로 높아져서,¹⁹⁹⁾ 녹색 수소로서의 의미가 퇴색되기 때문에 녹색 수소는 재생에너지 전력을 활용하는 수전해로 한정하는 것이 일반적이다.

수전해 장치는 전기에너지를 투입하여 물이 수소와 산소로 분리되는 비자발적 반응을 유도하는 전기화학 반응기로 정의할 수 있다. 이때 사용되는 전해질의 종류(수용액, 고분자막, 세라믹)에 따라서 장치의 작동 온도 및 반응 메커니즘, 소재 특성이 정해진다. 현재까지 알려진 주요한 기술은 알칼리 수전해(Alkaline Electrolysis Cell, AEC), 양성자교환막(PEM) 수전해(Proton Exchange Membrane Electrolysis Cell, PEMEC), 고체 산화물 수전해(Solid Oxide Electrolysis Cell, SOEC)가 있다.

198) IRENA. (2020). Green hydrogen – a guide to policy making, Figure 1.2, p. 8.

199) IEA. (2019). The future of hydrogen, p. 53.



이 중 알칼리 수전해는 가장 성숙된 기술이며 1920년대부터 활용되었고, 수력발전과 연계하는 등 장기간 상용화가 진행되었으며, 사용하는 소재의 가격이 비교적 저렴하다는 장점이 있다.²⁰¹⁾ PEM 수전해는 1960년대에 General Electric사에서 처음 개발되었는데, 크기가 작고, 자체적인 가압이 가능하고, 부하가 변화하는 환경에서의 운전이 수월하여 태양광, 풍력 등 재생에너지와의 연계 운전에 유리하다. 그러나, PEM 수전해 장치에 사용되는 전해질막 및 귀금속 촉매의 높은 가격과 희소성 문제로 가격이 상대적으로 높다는 단점이 있다. 고체 산화물 수전해는 고온 조건에서의 작동으로 그 효율이 우수하지만 아직은 연구개발 단계이며 상용화를 추진하고 있다. 특히 PEM 수전해 장치의 경우, 가격 저감 및 수소생산 효율 증대를 위하여 내부에 쓰이는 귀금속 촉매에 나노 기술을 접목하여 촉매의 수소생산 효율을 향상하거나 고가의 백금, 이리듐 등의 소재를 비용 부담이 적은 다른 소재로 대체하려는 연구가 진행 중이다. 이 외에도 아직 연구개발 단계 수준이지만, 태양 전지 기술의 접목 및 반도체 광촉매를 활용한 광전기화학(PEC) 방식으로 태양광으로부터 물을 직접 분해, 녹색 수소를 생산하는 기술 개발 또한 진행 중이다. 미국 에너지부는 이 기술의 태양광-수소 전환 효율(STH)을 25% 이상으로 올리는 것을 목표로 삼았다.²⁰²⁾

또한, 현재까지의 녹색 수소 생산용 수전해 장치에서 가장 큰 가격 비중을 차지하는 요소는 전력 공급 비용이다.²⁰³⁾ 재생에너지 발전단가의 지속적인 하락과 여유 전력을 이용한 수전해로

200) IRENA. (2020). Green hydrogen cost reduction: Scaling up electrolyzers to meet the 1.5°C climate goal, Figure 6, p. 31.

201) IRENA. (2019). The Future of Hydrogen—Seizing today's opportunities, pp. 43–44.

202) DOE. DOE Technical Targets for Hydrogen Production from Photoelectrochemical Water Splitting, <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/doe-technical-targets-hydrogen-production-photoelectrochemical-water-splitting>.

203) IRENA. (2020). Green hydrogen cost reduction: Scaling up electrolyzers to meet the 1.5°C climate goal, p. 53.

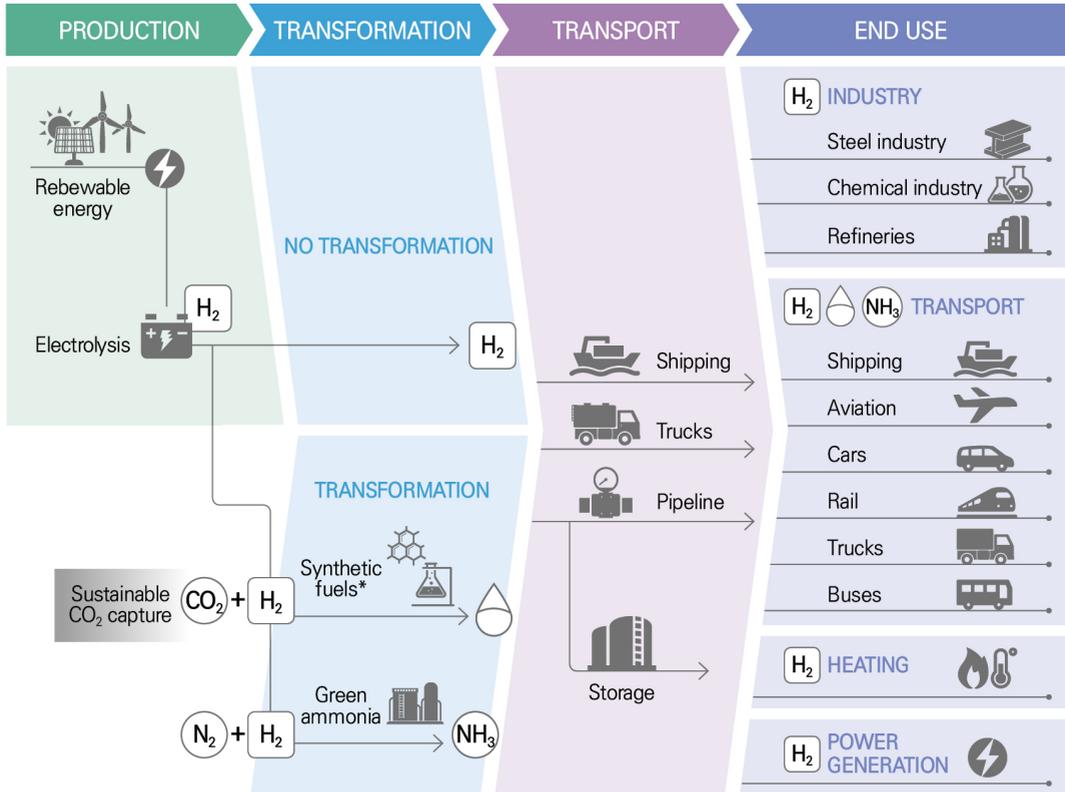
수소를 생산하는 경우, 실질적으로 수소생산을 위한 변동비가 없어진다는 점에서 태양광과 풍력을 활용한 재생에너지 인프라가 확대될수록 녹색 수소 생산단가를 크게 낮출 수 있다. 현재 재생전력-수전해로 생산된 녹색 수소의 단가는 6USD/kg로 알려져 있으며, 회색 수소(1USD/kg)나 청색 수소(1.5USD/kg)보다 높은 수준이지만 태양광/풍력발전 단가와 수전해 장치의 단가 절감을 통해 2050년에는 녹색 수소의 가격을 2USD/kg 이하로 감소시킬 수 있으며, 이 외에도 CO₂ 배출 비용 상승을 고려하게 되면 회색 수소나 청색 수소와 대비해 녹색 수소가 장기적으로는 가격경쟁력을 갖출 수 있을 것으로 기대하고 있다.²⁰⁴⁾

■ 재생에너지 기술과 녹색 수소 생산기술의 융합을 통한 수소경제로의 전환

탄소경제에서 수소경제로의 성공적인 전환을 위해서는 화석연료에 크게 의존하고 있는 현재의 산업·경제 구조를 탈피하는 것이 핵심이다. 이를 위한 탈탄소화(Decarbonization) 과정의 핵심축은 크게 재생에너지와 녹색 수소로 볼 수 있으며, 이들은 상호 의존 및 보완적인 특징을 가진다. 즉, 녹색 수소생산을 위해서는 태양광, 풍력 등으로부터 생산된 재생 전력을 요구하며, 녹색 수소의 공급량 증가는 상술한 재생에너지의 확대가 선행되어야 한다. 한편, 태양광발전과 풍력발전으로 대표되는 재생에너지는 가변성 재생에너지(VRE)가 매우 높은 비중을 차지한다. 즉, 불규칙한 전력 생산이 안정적인 전력망 운용에 부담을 주는 요인으로 작용할 수 있으며, 보급 단계가 높아질수록 직접 활용이나 단기 저장이 아니라 대용량, 장기 전력 저장 기술의 확립이 필수적이다.

204) IRENA. (2019). Hydrogen – a renewable energy perspective, p. 34.

그림 4-31 녹색 수소의 밸류체인²⁰⁵⁾



반면, 수소는 전기나 열과 같은 최종에너지를 대규모로 저장해 장거리로 운송할 수 있다는 장점이 있으므로, 그 자체를 에너지원으로 보기보다는 수소를 생산하기 위해 투입된 다른 에너지를 수소 형태로 변환하여 저장하였다가 필요할 때 사용할 수 있는 친환경적인 에너지 운반체(Energy Carrier)로서 그 역할을 할 수 있다. 즉, 녹색 수소는 친환경 에너지 이면서 재생에너지와는 달리 지역적 편중이 없는 보편적인 자원으로써의 역할을 할 수 있다. 따라서, 재생에너지의 보급률이 높아지면서 발생하는 송전 제약 및 계통 효율성 저하 문제는 재생에너지를 통한 녹색 수소의 생산으로 극복할 수 있을 것으로 기대한다. 중국의 경우 2016년 재생에너지 미활용 전력으로 인한 손실이 205억 위안이었으며, 영국과 독일의 풍력발전 미활용 전력 비율은 각각 13%, 9.2%이었다.²⁰⁶⁾ 또한, 재생에너지의 비중이 2018년 기준 30% 수준까지 확대된 미국 캘리포니아의 사례를 살펴보면, 재생에너지 비중이 높아짐에 따라 출력제한이 급증함과 동시에 잉여전력의 과잉으로 전력시장 가격이 마이너스를

205) IRENA. (2020). Green hydrogen supply: A guide to policy making, Figure I.1, p. 7.

206) 이종수. (2019.11.5.). 재생에너지 단짝, MW 규모 'P2G' 기술 개발 본격화. 월간수소경제.

기록할 때도 있는 상황이며, 캘리포니아 외에도 독일 등 재생에너지의 비중이 높은 지역에서 이런 현상이 두드러진다.²⁰⁷⁾ 특히 재생에너지 보급 비중이 30%를 넘어설 것으로 예상되는 2040년에는 시간대에 따라 전력 수요를 100% 재생에너지로 보급해도 잉여전력이 생기는 상황이 발생하게 된다. 따라서 이러한 잉여전력을 이용한 수전해를 통해 수소를 생산하는 경우, 녹색 수소의 생산 가격은 크게 낮아짐과 동시에, 재생에너지 입장에서는 출력제한 문제를 해결할 수 있는 일거양득의 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 즉, 신재생에너지 발전 기술과 녹색 수소 생산기술의 융합을 통하여 친환경 에너지 체계의 유연성 확보까지 5GW, 2050년까지 40GW 수준의 P2G 설비를 구축할 계획이며, 일본의 경우 후쿠시마 지역에 세계 최대 규모의 태양광 연계 수소생산 시설을 준공하여 연간 900t의 녹색 수소를 생산하고 있다.²⁰⁸⁾ 국내에서도 태양광과 풍력발전 보급이 활발하게 추진된 제주도에서는 과도한 전력 생산으로 인한 출력제한이 2015년 3회에서 2020년 77회로 급격하게 증가했고,²⁰⁹⁾ 이를 해결할 방안이 다방면으로 논의되고 있다. 위 문제는 단순히 제주도 지역의 전력 안정화 문제가 아니라 국가적 에너지 전환에 따라 발생할 문제로 접근하여 재생에너지-녹색 수소 연계를 적극적으로 적용하는 것이 필요할 것이다.

■ 탈탄소화 및 수소화 사회에서의 전망

2005년에는 전 세계 중 43개국만이 재생에너지를 이용한 탈탄소화 전략을 구상하였던 반면, 2020년 현재는 166개국의 정부에서 재생에너지 생산 목표를 설정하고 탈탄소화 전략을 구상하고 있다.²¹⁰⁾ 이에 따라 전 세계적으로 탈탄소 및 수소화 사회로의 움직임이 가속화될 것으로 전망한다. 국제 에너지 기구(IEA)에 따르면, 최종에너지 중 재생에너지의 비중은 2017년 10.4%에서 2023년 12.5%로 확대될 것으로 보고 있으며, 재생에너지 투자가 적극적인 유럽에서는 2018년 기준 최종에너지 중 재생에너지의 비중이 18.9%까지 증가했다. 정책적으로도 세계 각국에서 녹색 수소 생산기술의 상용화를 위한 금전적인 투자가 이루어지고 있고, 그 규모도 점점 확대되고 있다. 특히 수전해 장치의 대용량화를 위한 투자가 돋보였는데, 작년 한 해에만 미국 1,700만 달러, 독일 7억 유로 등 전 세계적으로 200억 달러의 규모로 투자가 이루어진 것으로 추산된다.²¹¹⁾ 반면 시장에서는 녹색 수소 생산기술보다 수소경제의 다른 핵심축 중 하나인 수소에너지 활용 관련 기술 개발이 중요하다. 특히 수송 분야에서 대형 트럭, 버스 등 상용차를 중심으로 수소 기술 도입 및

207) 강동진 외. (2020). 수소산업, 수소경제의 새벽. 현대차증권, p. 15.

208) 강동진 외. (2020). 수소산업, 수소경제의 새벽. 현대차증권, p. 18.

209) 헤드라인제주. (2021.7.14.). 제주, 태양광·풍력 '출력제어' 해결 '총량제' 도입 논의 본격화.

210) IRENA. (2021). Green hydrogen supply: A guide to policy making, p. 25.

211) IRENA. (2021). Green hydrogen supply: A guide to policy making, pp. 27-28.

확대가 이루어지고 있으며, 도요타, 테슬라, 현대자동차 등 세계 주요 자동차 기업들이 상용 수소차 개발에 나서고 있다.²¹²⁾ 세계 각국 정부와 도시들이 수소에너지 도입을 위한 정책을 세우고 장기 프로젝트를 준비하는 가운데, 향후 수년간은 정부의 지원과 기업들을 중심으로 수소에너지의 상용화 노력이 구체화 될 전망이다. 우리나라에서도 2020년 10월 그린뉴딜 정책의 하나로 수소 시범도시 계획을 발표하여, 삼척, 안산 등에서 태양광 및 조력발전 생산 전력을 이용한 녹색 수소생산, 소규모 에너지 자립 타운 조성 및 운영 실증을 위한 계획과 관련 법안 제정 방안을 발표했다.²¹³⁾

한편, 현재까지 시장에서는 녹색 수소의 친환경성에 주목하고 있지만, 이를 넘어 지역적 편중이 적은 에너지 체계라는 특성 때문에, 녹색 수소 기술 개발은 그 파급력이 상당히 확대될 가능성이 있다. 탈탄소화 및 수소경제로의 전환은 에너지 교역구조의 변화를 의미하며, 이는 필연적으로 국제 관계 및 안보의 영역까지 영향을 미칠 수 있다. 이 때문에 우리나라나 일본 같이 에너지 자급률이 낮은 국가뿐만 아니라, 중동, 미국, 호주, 중국 등 에너지 자급률이 높은 국가들도 수소 사업의 육성에 심혈을 기울이고 있다. 특히 올해 교토의정서가 만료되면 195개 유엔기후변화협약(UNFCCC) 당사국 전체에 적용되는 파리기후변화협약(COP21)이 발효되며, 선진국에만 적용되었던 온실가스 감축 의무가 모두에게 주어지면서 이전과는 다른 친환경 에너지 및 녹색 수소 시장이 형성될 것으로 예측된다. 우리나라 정부에서도 강력한 수소경제 구현 의지를 토대로 2019년 1월 「수소경제 활성화 로드맵」 마련을 시작으로 하여 2019년 12월 「수소 안전관리 종합대책」, 2020년 7월 「탄소중립 사회를 위한 그린뉴딜」, 2021년 7월 「한국판 뉴딜2.0 - 그린뉴딜」 등 탈탄소화 및 수소 경제로의 전환을 위한 다양한 전략과 계획을 발표하고 있다. 이 과정에서 녹색 수소의 생산도 큰 축을 차지하지만, 저장, 활용의 전주기 기술이 다양하게 논의되어야 하며, 최종 요구기술을 이루기 위한 사회·경제적 합의가 필요하며, 이는 산·학·연의 꾸준한 협력을 통한 꾸준한 연구개발이 필요하다.

212) IHS Markit. (2019.7.23.). Hydrogen fuel cells vie for the future.

213) 국토교통부 보도자료. (2020.10.15.). 정세균 국무총리, 그린뉴딜을 통해 수소경제 선도적 개척자(First Mover) 도약 이룬다.

9) 사이버보안

(개념) 사이버보안 기술은 암호, 인증, 인식, 침해대응 등의 보안 제품을 생산하거나, 관련 보안 기술을 활용하여 개인·기업·국가의 안전과 신뢰를 보장하는 서비스를 다루고 있다. 차세대 사이버보안은 제4차 산업혁명 시대 진입과 함께 전 산업의 초연결화·디지털화·지능화로 인해 야기되는 고도의 사이버위협을 해소하여 실생활에서 국민의 안전과 자산을 보호하는 신규기술을 포함한다. 본고는 사이버보안의 세부기술 분야로서 **암호 원천 및 프라이버시 강화, 블록체인 관련 보안, AI 기반 사이버보안, 바이오인식 기술** 동향에 대해 살펴본다.

■ 사이버보안 중요성 증대

2020년은 코로나-19로 물리적 접촉으로 일어나던 일상적 상호작용의 많은 부분이 온라인 교류나 거래로 대체되었다. 이런 급격한 디지털 전환에 따라 많은 이용자가 사이버 공격에 노출되었고, 이에 따른 사이버 범죄도 급증하게 되었다. 사이버사기, 개인정보 도용, 피싱범죄, 허위정보, 랜섬웨어 등 사이버 위협은 다양한 형태로 존재하고 있으며, 최근에는 이들 기술 또한 지능화되어 이를 방어할 수 있는 사이버보안 기술이 점차 중요해지고 있다. 해당 원고에서는 최근 각광받고 있는 암호 원천 및 프라이버시 강화, 블록체인 관련 보안, AI 기반 사이버보안, 바이오인식 기술 등의 사이버보안 기술을 소개할 것이다.

■ 안전한 데이터 활용을 위한 기능성 암호 및 프라이버시 보호 기술 요구 증대

제4차 산업혁명 시대를 맞아 핵심 자원으로 부각되는 데이터의 이용 활성화를 위하여 최근 관련 법²¹⁴⁾이 개정되었다. 이 법 개정으로 대규모 데이터의 저장 및 활용이 확산될 것으로 전망되면서 개인정보 재식별 및 오남용 등의 우려 또한 증가하고 있다. 이에 따라 안전한 데이터 활용 극대화 및 가명정보²¹⁵⁾에 대한 기술적 보호조치 강화를 위하여 데이터 보호 원천기술 개발의 필요성이 강조되고 있다. 데이터보호 기술은 데이터의 수명주기(생성, 저장, 갱신, 활용, 폐기) 전반에 걸쳐 필요한 정보보호 기술을 의미하고 구체적으로는 아래의 세부기술을 포함한다. 동형암호와 같은 데이터 활용성 극대화를 위한 기능부가형 암호, 양자 컴퓨팅 시대를 대비하는 양자내성암호(Post Quantum Cryptography, PQC), 정형·비정형 데이터에 대한 맞춤형 가명·익명 처리와 개인정보누출 위험 평가 등의 프라이버시 강화 기술(Privacy Enhancing Technology, PET)이 대표적이다.

데이터가 암호화된 상태에서도 통계처리, 데이터 간 결합 및 기계학습에 활용이 가능한 동형암호 기술은 원천기술 개발 위주의 연구 수준을 넘어 산·학·연 등에서 성능, 기능성,

214) 개인정보보호법, 정보통신망법, 신용정보법.

215) 개인정보를 가명처리함으로써 원래의 상태로 복원하기 위한 추가 정보의 사용·결합 없이는 특정 개인을 알아볼 수 없는 정보.

활용성 향상의 실용화 연구로 진행 중이다. 해외에서는 ISO/IEC 국제표준의 정립, HW 가속기 구현²¹⁶⁾을 통한 성능향상, 데이터 특성(기계학습/통계분석/생체정보)을 반영한 동형암호 실용화, 비전문가를 위한 컴파일러 연구 등 상용화를 위한 연구가 중점적으로 진행 중이다. 국내에서는 근사 동형암호 CKKS²¹⁷⁾기법의 활용성 개선 연구와 동형암호 HW가속기가 개발 중이다. 암호화 상태에서 원 데이터의 검색, 정렬, 중복처리, 통계 등 데이터 처리가 가능한 활용 강화형 암호는 DB의 활용성을 유지하는 동시에 암호화를 통한 프라이버시 보장이 가능한 연구가 핵심이다.

양자컴퓨터에 내성을 가지는(암호해독이 어려운) 공개키 암호 기술인 양자내성암호(PQC)는 미국 NIST를 중심으로 2016년 1월 양자내성암호 공모사업을 시작하였다. 2021년 현재 3단계 Round선발을 진행 중이고 기존 공개키 암호 대체를 위한 전환 사업 또한 추진 중이다. 美 표준기술연구원(NIST)에서 양자내성암호 전환을 위한 프로젝트²¹⁸⁾를 발표(‘21.7)하는 등 전 세계적으로 기존 공개키암호를 대체하기 위한 도구와 검증방법, 정책 등을 준비 중이다. 국내에서는 서울대, 고려대, 서강대 등과 ETRI 등 출연연을 중심으로 기초 연구가 진행 중이며, LGU+ 등의 기업체가 PQC 전환 시범사업을 시도하고 있다.

프라이버시 보장을 위한 기술을 살펴보면, 데이터베이스 등과 같이 미리 정해 놓은 형식에 따라 저장되는 정형 데이터 비식별화 기술의 경우, 공공 행정데이터 및 과학·의료 데이터 등의 공개로 인해 개인정보노출 위험이 높아짐에 따라 비식별화 기술의 수요가 증가하고 있다. 해외 동향으로는 총계 처리, 데이터 마스킹·치환 등 가명·익명처리에 대한 국제표준(ISO/IEC 20889)이 협의되고 있고 비식별화 데이터 안전성 검증(개인정보 식별 가능성 분석) 기술이 개발 중이다. 음성, 영상과 같은 비정형 데이터에 대해서는 해외 스타트업 기업(독일 aircloak, 미국 Shaip 등)을 중심으로 영상·사진·문자에서 개인정보(얼굴, 이름, 차량 번호 등)를 치환하고 마스킹하는 솔루션을 개발 중이다.

■ 블록체인을 이용한 새로운 보안 솔루션 활성화

블록체인 기술은 4차 산업혁명의 핵심기술로 인식되면서 관련된 산업에 접목되어 빠르게 진화 중이다. 그러나, 현재 블록체인은 암호화폐 거래에 최적화된 구조로 설계되었기 때문에 트랜잭션 활용 과정에서 데이터 프라이버시 보호에 어려움이 있다. 이를

216) 미국 DARPA는 동형암호 고속화를 위한 HW구현 프로젝트 DPRIVE 진행 중.

217) CKKS는 Cheon-Kim-Kim-Song 4명이 제안한 동형함수 scheme 중 하나로 실수 와 복소수에 대한 덧셈 곱셈 연산을 수행하게 하며 결과는 근사치만 제공.

218) NIST 공모사업은 최초 제안 82개 알고리즘 중 7개 최종 후보 및 8개 대체 알고리즘이 선정되어 3라운드 과정이 진행 중 (2024 표준화 완료 예정).

극복하기 위하여 민감 정보를 노출하지 않고 거래 투명성을 보장할 수 있는 블록체인의 프라이버시 관련 기술은 스마트 계약, 공유 데이터 서비스, 디지털 신원 확인 등을 중심으로 발전하고 있는 상황이다. 블록체인의 모든 참여자가 함께 정보를 처리하고 검증하면 무결성은 쉽게 보장할 수 있으나, 프라이버시 측면에서는 치명적이다. 예를 들어, 계약서 내의 영업 기밀이나, 은행이 주관하는 모든 이체 내역이 외부에 공개된다면 영업은 더 이상 불가능하게 될 것이다. 이에, 서비스 상황에 적합한 익명성·기밀성을 보장하면서도 무결성을 보장할 수 있는 블록체인 기술이 필요하며, 기업과 학계에서도 관련 프라이버시 연구개발이 진행 중이다. 블록체인 암호화폐 시스템에서의 프라이버시 보호를 위해 영지식증명²¹⁹⁾ 기술을 적용하는 연구가 대표적인 예라고 할 수 있다. 삼성SDS가 자사 기업용 블록체인 플랫폼 ‘넥스레저(NexLedger)’에 영지식증명 기술을 적용하여 프라이버시 기능을 강화하고 있고, 팍스넷 자회사 쉬코리아는 사용자들의 프라이버시 보호에 최적화된 블록체인 기반의 보안 메신저 쉬(Shh)를 출시했다.

전자서명에 사용되는 분산형 암호키는 분산원장 환경에서 참여자의 활동을 승인하고 증명하는 수단으로 활용되고 있다. 최근 암호화폐를 비롯한 분산원장 기반의 다양한 서비스가 상용화되면서 개인 키 관리가 가장 중요한 보안요소가 되었다. 신한은행은 블록체인 응용 이용 기업을 위한 개인 키 관리 솔루션인 ‘개인 키 관리 시스템’ 개발 사업을 진행하고 있고, 삼성전자 갤럭시 S10 시리즈에 탑재된 ‘삼성 블록체인 키스토어’를 통해서 DID(Decentralized IDentifiers) 기반의 신분증을 이용할 때 필요한 개인 키를 안전하게 보관할 수 있는 기능을 제공하고 있다. 한컴시큐어는 기존에 보유한 통합 키 관리, PKI²²⁰⁾, FIDO²²¹⁾ 등 보안 솔루션에 블록체인 기술을 적용해 보안성을 강화한 ‘블록체인 시큐리티 스위트’를 출시하였고 트러스트버스는 개인 키를 클라우드에 안전하게 보관하고 복원하는 노바(Nova) 서비스를 발표했다. 이 서비스는 개인 키는 물론, 개인 키를 보관하는 기기를 분실하는 상황에서도 보유한 디지털 자산을 되찾을 수 있는 디지털 자산 분실/회수 솔루션을 제공한다.

블록체인의 안전성 확보를 위한 연구와 별개로 블록체인을 활용한 사이버보안 기술이 활발하게 진행되고 있다. 특히, 새로운 인증 체계기술로서 블록체인 기술이 주목을 받고 있다. 중앙 집중 방식의 디지털 신원 관리 시스템의 한계와 문제점을 극복할 수 있는 분산형

219) 지식증명(zero-knowledge proof): 암호학에서 누군가가 상대방에게 어떤 사항이 참이라는 것을 증명할 때, 그 문장의 참, 거짓 여부를 제외한 어떤 것도 노출되지 않는 interactive한 절차를 의미함.

220) 공개 키 기반구조(public key infrastructure, PKI)는 디지털 인증의 생성, 관리, 배포, 사용, 저장, 파괴와 공개 키 암호화의 관리에 쓰이는 일련의 역할, 정책, 하드웨어, 소프트웨어, 절차의 총칭.

221) FIDO(Fast IDentity Online)는 비밀번호의 문제점을 해결하기 위한 목적으로 FIDO 얼라이언스에 의해 제안된 사용자 인증 프레임워크.

ID 관리(DID) 기술을 이용한 디지털 신원 관리 시스템 연구가 활발히 진행되고 있다. 2019년 6월, 금융위원회는 비대면 금융거래 활성화를 위해 분산형 ID에 대한 규제를 완화하고 금융규제 샌드박스 제도 적용 대상으로 추가 지정했다. 이를 통해 분산형 ID를 이용하는 금융소비자가 비대면계좌를 개설할 때 절차를 간소화하는 서비스를 제공할 수 있는 환경이 마련되었다. 분산형 ID 관리는 국내 이통사, ICT, 금융 기업의 주도하에 DID 기반 디지털 신원 관리 시스템 개발 및 출시가 잇따르고 있다. SK텔레콤은 블록체인 포럼 'BUIDL Asia 2019'에서 블록체인 플랫폼 '스톤(STON)'을, 아이콘루프는 2019년 7월 자기주권형 신원 인증 서비스인 '디패스(Decentralized PASSport, DPASS)'를 출시했다. 라온시큐어는 2019년 FIDO 기반 DID 신원인증 솔루션인 옴니원(OmniOne)을 출시했고 코인플러그는 DID 파트너 네트워크인 '마이키펜(MyKeepin)' 프로그램을 런칭했다. 또한 코인플러그는 2019년 한·아세안 스마트시티 페어에서 자사의 분산형 ID 신원확인 애플리케이션 키펜(Keepin)과 유니티 게임엔진에 자체 신원인증 솔루션을 접목한 게임 등을 DID 실제 서비스 사례로 소개했다. 이처럼 블록체인의 안전성과 프라이버시 보호가 강화되고 있고 이를 활용한 다양한 보안 신기술이 연구 중에 있다. 이에 따라 블록체인은 모든 서비스의 근간이 되는 사용자 본인 인증에 새로운 인프라로 자리매김할 것으로 기대된다.

■ 보편화가 되는 인공지능기반 사이버보안

공격자와 방어자의 정보 불균형으로 인하여 불리할 수밖에 없는 방어시스템을 획기적으로 개선하기 위하여, 보안업계에서는 최근 머신러닝, 인공지능 기술을 적극적으로 활용하는 능동보안 기술에 대한 관심이 높아지고 있다. 이는 헥사다이트(MS에서 인수), 딥인스팅트, 뉴토니안, 하베스트 AI(아마존에서 인수) 등 AI 보안 스타트업 기업이 대규모의 투자를 받거나, 글로벌 기업에 인수되는 것으로도 알 수 있다.

먼저, 사이버보안에서 인공지능을 시도한 첫 번째 사례로 볼 수 있는 계기는 2016년 미국에서 시작되었다. 기계가 해킹을 자동화하여 취약점을 찾고 공격할 수 있는 가능성을 확인하기 위하여 미국 방위고등연구계획국(DARPA)에서는 '데프콘222) CTF 24'의 부속 행사로 CGC(Cyber Grand Challenge)를 개최했다. CGC는 컴퓨터끼리 겨루는 해킹대회로, 자동으로 보안 취약점을 찾아 공격하고, 사람의 도움 없이 방어 패치를 수행하게 된다. 다만, CGC에서는 다양한 취약점 분석기술223)이 사용되었으며 이는 인공지능 기술의 활용

222) 데프 콘은 세계 최대의 컴퓨터 보안 컨퍼런스이자 해킹 대회이다. 이 대회에는 전 세계의 해커들과 보안전문가들이 모여 세계 최고의 해커의 자리에 도전한다. 대회 방식은 CTF방식을 채택하고 있다.

223) Dynamic Analysis, Static Analysis, Symbolic Execution, Constraint Solving, Data Flow Tracking, Fuzz Testing 등의 취약점 분석 방법론.

이러기보다는 기존 취약점 분석 기술의 자동화에 의미를 둘 수 있다.

기존 정보보호 솔루션에 인공지능, 머신러닝 기술의 접목은 대부분 Anti-Virus 백신과 같은 엔드포인트 보안 솔루션과 대용량 로그데이터를 분석하는 SIEM(Security Information & Event Management) 솔루션에서 주도적으로 진행되고 있으며, 거의 모든 기업과 연구 기관에서 정보보호 솔루션에 인공지능을 도입하려는 시도가 있다고 할 수 있다. 엔드포인트 보안 솔루션과 인공지능을 접목한 가장 대표적인 사례가 MIT 컴퓨터 과학 및 인공지능 연구소(Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory, CSAIL)에서 개발한 AI2이다. AI2는 비지도학습(Unsupervised learning) 기반의 비정상행위 탐지 솔루션으로 머신러닝을 통해 학습된 모델을 정보보호 전문 분석가가 확인하여 다시 스스로 업데이트하는 작업을 반복하며 끊임없이 정교하게 다듬어진 새로운 모델을 생성하게 된다. AI2는 인간-기계 간의 상호작용에 대한 시너지 효과를 얻는 특징이 있다.

산업계 솔루션에서도 AI 기술을 접목하는 시도가 활발하다. 글로벌 최대 보안기업인 시만텍은 2016년 11월에 보안 백신에 AI 기술을 탑재한 '시만텍 엔드포인트 프로텍션 14(SEP 14)'를 출시했다. 이외에, Kaspersky, CrowdStrike, Invincea 등 Anti-Virus 백신 선도업체들에서 머신러닝 기반 Anti-Virus 제품을 출시하고 있다. 국내에서는 세이트 시큐리티에서 인공지능 기반 컴퓨터 백신 엔진인 MAX를 발표했다. MAX는 빅데이터 기반 프로파일링 태그 정보와 정적분석, 행위분석 등을 이용하여 악성여부를 나타내는 AI 스코어를 출력한다. 이를 통해 탐지율은 극대화하고 오탐율은 최소화했다. 이는 특히 Malwares.com에서 보유한 막대한 악성코드 DB를 활용하여 분석 성능을 향상시켰다.

다양한 보안 로그와 이벤트, 각종 자산 정보를 통합하여 상관분석하는 SIEM 솔루션은 빅데이터 기반의 분석 플랫폼을 활용하여 접속 정보, 행위 정보, 거래정보, 메타 정보 등 다양한 사용자와 애플리케이션의 정보를 추가로 수집하여 이상 행위를 탐지해내는 기능을 추가하고 있다. 최근의 APT²²⁴ 공격이나 정상 행위를 가장한 공격을 전통적인 방법으로 탐지해내는 데 한계가 있기 때문에 빅데이터 기반의 분석이 필요하며, 관리자가 확인하기 불가능한 누적된 데이터의 분석을 통해서 위협을 조기에 탐지할 수 있다. 빅데이터 분석을 제대로 활용하기 위해서는 데이터베이스 처리기술과 함께 데이터마이닝과 머신러닝의 지능보안 기술이 적용되어야 한다. 대표적으로 Splunk, IBM, DarkTrace 등에서 SIEM 솔루션에 인공지능 기술을 적용하여, 각종 로그와 이벤트를 분석했다.

수년 후에는 보다 완벽한 AI 기반의 공격/방어 프로그램(Fully Automated System)이

224) APT(Advanced Persistent Attack) 공격은 잠행적이고 지속적인 컴퓨터 해킹 프로세스들의 집합으로, 특정 실체를 목표로 하는 사람이나 사람들에 의해 종종 지휘된다.

개발될 것을 전망하고 있다. 의사결정, 분석 방법 학습 등 면역계의 특징이 그대로 반영되어 학습 및 기억을 통해 다양성과 자치성을 가진 AI를 바탕으로 도출된 취약점에 대해 자동으로 패치하는 방식의 사이버 면역시스템(Cyber Immune System)이 상용화되어, 훨씬 뛰어난 능동보안을 실현할 것을 예측한다. 지능화된 능동보안 기술이 발전할수록 공격 기술 또한 지능화 및 고도화될 것이다. SW 난독화 기술을 적용하여 취약점을 탐지하지 못하게 하는 방어기술은 역으로 악성코드 난독화를 통해 악성코드를 탐지하지 못하게 하는 공격기술로도 활용되고 있다. 이처럼 능동보안 방어기술 또한 해커에게는 공격기술로도 활용될 것이다. 즉, 방어적인 측면에서 취약점 자동 탐색/패치 등의 분야에 인공지능을 활용하는 기술이 적용될 것이지만, 반대로 공격자도 취약점 탐지/방어 체계에 대해 대응하는 도구로써 동일한 특징을 가지는 탐지/공격 체계를 제작해낼 수 있는 것이다. 따라서 영원히 공격자와 방어자의 치열한 공방전이 지속될 것이며, 능동보안 기술의 발전은 공격자와 방어자가 동등한 입장에서 창과 방패의 게임을 하는 환경을 만들 것이다.

■ 바이오인식 기술의 새로운 도전

최근 우리나라도 첨단치안과 사회 안전을 위해 지능형 CCTV 기술 개발에 많은 관심과 투자를 쏟고 있다. 이미 중국에서는 수년 전부터 ‘하늘의 그물’이라는 뜻의 ‘텐왕 프로젝트’를 통해 13억 명의 얼굴을 3초 이내에 인식하는 기술을 현장에 활용하고 있고, 이를 확대해 중국 전 인민을 감시 통제하는 ‘쉐량 공정’을 출범했다. 세계 최고의 얼굴인식 시스템을 활용하여 신속하고 정확하게 범법자를 색출하는 것이 목적이지만 중국 체제에 불만을 품고 반기를 드는 모든 이들이 그 대상이 될 수 있다는 맹점이 있다. 따라서 AI 기술을 이용한 생체 인식기술을 바탕으로 첨단치안 기술을 발전시키는 것과 동시에 개인의 인권을 존중하는 영상 프라이버시 보호 기술도 동시에 발전하고 있다.

빅데이터를 기반으로 하는 얼굴인식 기술 개발은 사용자의 협조가 없는 비제약적 환경에서 인식 성능 확보가 목표이며, 최근에는 코로나-19로 인하여 마스크를 착용한 상태에서 얼굴인식이 가능한 기술 개발에 초점을 두고 있다. 프랑스의 아이데미아(IDEMIA), 일본의 NEC, 중국의 이투(依圖)테크놀로지, 센스타임(商湯科技, Sensetime), 광스(曠視)하이테크 등은 세계 최고의 얼굴인식 기술을 보유하고 있다. 최근 신한카드는 국내 최초 얼굴인식 결제 서비스인 ‘신한 페이스페이(FacePay)’를 업그레이드하여 마스크를 착용한 상태에서도 안면인식이 가능하도록 개발했다. 이는 무인 등록기에서 마스크를 착용하지 않은 상태로 최초 1회만 얼굴을 등록하면 그 이후에는 마스크를 착용하고도 얼굴인식이 가능하며, 이는 현재 임직원 대상으로 시범 운영하고 있다. LG CNS는 글로벌 AI 전문기업

센스타임(SenseTime)과 협력하여 마스크를 쓰더라도 얼굴인식이 가능한 ‘얼굴인식 출입 통제 솔루션’을 개발했다. 이는 마곡 LG 사이언스파크에 위치한 본사 출입 게이트 26곳에 도입되었고, 출입 게이트에 설치된 단말기에서 얼굴 정보 저장 및 분석 과정을 모두 처리하므로 외부 인터넷 접속이 불필요하다고 한다. 슈프리마는 얼굴인식 단말기 FaceStation F2를 출시했는데, 비주얼 인식과 적외선 인식을 최적으로 융합하는 독자적인 퓨전 매칭 기술이 적용되어 오인식률을 100억분의 1까지 낮췄다. 또한 AI 딥러닝 기술을 적용하여 표정, 모자, 안경, 수염 등의 변화에 상관없이 얼굴인식이 가능하고, 마스크 착용 여부 체크 및 마스크를 착용하고 있는 사람의 얼굴인식도 가능하다고 보고되고 있다.

해외의 경우, 중국 정부는 상하이에 본사를 둔 보안회사 이스비전(Isvision)과 함께 13억 명 전 국민 얼굴을 3초 안에 구별하는 얼굴인식 시스템을 개발하고 있다. 이는 신분증 사진과 실제 얼굴을 대조했을 때 90% 이상의 정확도로 식별하는 것을 목표로 하고 있다. 일본 NEC는 마스크를 착용한 사람의 얼굴도 99.9% 이상의 정확도로 식별해내는 ‘네오페이스 라이브 안면인식 시스템’을 출시했다. 이 기술은 마스크로 가려지지 않는 눈 등의 얼굴 일부만 보고도 그 사람의 얼굴을 인식해 1초 이내에 신원을 확인할 수 있다. 다만 사이버링크(CyberLink)의 페이스미(FaceMe)는 2020년 12월 FRVT에서 1:N 인식 항목에서 글로벌 9위를 기록했고, 마스크를 착용한 경우에도 최대 95%의 정확도를 제공하고 있다. 프랑스 아이데미아(IDEMIA)는 2021년 3월 FRVT에서 1:N 인식 항목에서 글로벌 1위를 기록하였고, 2020 생체인식 기술 랠리에서도 최고 수준의 얼굴인식 성능을 기록하였다. 미국 조지아 공과대 연구진은 대규모 얼굴 인식 데이터셋에 마스크를 합성할 수 있는 MaskTheFace 라이브러리를 오픈소스로 공개했다. MaskTheFace 라이브러리를 사용하여 TPR(True Positive Rate)@FAR=0.1% 성능을 최대 37%까지 개선한 바 있다.

영상 데이터의 프라이버시 보호를 위하여 영상의 개인정보 영역을 부분적으로 비식별화하는 영상 마스크 기술은 기존 원본 영상이 훼손되는 비식별 방식(블러링, 모자이크, 암호화, 제거 및 변형 등)이 주를 이루며, 마크애니의 CCTV 영상정보 반출 보안 솔루션인 ‘Content SAFER for CCTV’가 대표적이다. 영상 전체를 비식별화하는 영상 암호화 기술은 통신 구간 암호화 모듈이 가장 높은 비중을 차지하고 있으며, IoT에 활용 가능한 칩 형태의 구간 암호화 모듈도 제공되고 있고, (주)스맥의 CCTV·IP카메라 영상보안 암호화 솔루션 SABER-VS, 보안 감시 카메라 전문기업 세오의 CCTV 데이터 암호 전송 큐브-하이드(CUBE-HIDE)가 있다. 이처럼, 생체 인식기술과 같은 첨단기술을 사회 저변에 확대하기 위해서는 ‘사회 안전 강화 vs 사생활 침해’라는 양날의 검을 잘 다룰 수 있는 스마트한 안전 기술이 동시에 발전해야 한다.

■ 결론

최근, 국가 사회 인프라 및 산업 전 분야에 디지털 대전환(Digital Transformation)이 가속화되면서 사이버보안 기술이 적용되는 영역이 보다 넓어지고 심화되고 있다. 데이터 경제 시대를 맞아 데이터 활용을 극대화하면서도 개인 프라이버시가 보존되어야 하고, 미래 양자 컴퓨팅 시대의 도래에 따라 ICT 암호 안전성을 견비해야 한다. 또한, 디지털 화폐 중심의 유통 거래에 신뢰를 담보해야 할 것이고, 인공지능을 누구나 쉽게 이용할 수 있기에 AI 해커에도 대비해야 할 것이다. 미래 사회를 견인하는 모든 첨단 기술이 추동력과 제동력을 근간으로 균형있게 발전할 수 있도록 사이버 보안 기술은 디지털 대전환의 필수 요소로서 지속적으로 강조될 것이다.

10) 탈내연기관자동차

(개념) 내연기관자동차는 연소실(엔진) 내 연료와 공기를 혼합연소시켜 에너지를 얻고 바퀴를 구동시키는 방식의 자동차이다. 사용되는 연료는 대부분 휘발유, 경유 등 석유를 사용하고 있어 연소과정에서 이산화탄소, 질소산화물 등이 필연적으로 배출된다. 이러한 배기가스 배출을 방지하고 환경을 보호하기 위한 탈내연기관 자동차가 급속하게 확대되고 있다. 탈내연기관자동차는 전기 공급원으로부터 충전받은 전기에너지를 동력원으로 사용하는 '전기자동차', 수소를 사용하여 발생시킨 전기에너지를 동력원으로 사용하는 '수소자동차'가 대표적이다. 국내외 자동차 제작사들은 글로벌 환경규제 대응과 소비자 니즈 만족을 위한 전기·수소차 핵심 기술 개발과 판매 확대에 주력하고 있다.

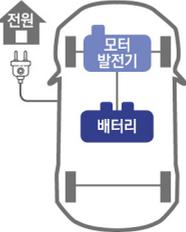
■ 주요 개념

전기·수소차는 환경 및 안전에 대한 규제 강화, ICT 기술 발달 등 급변하는 자동차산업 패러다임에 대응하여 등장한 새로운 자동차 분야를 의미하며 전기·수소 등 새로운 동력원을 사용하는 친환경자동차로 정의된다. 관련 법률에 따르면 친환경자동차는 휘발유나 경유가 아닌 청정에너지를 사용하거나, 기존 내연기관 자동차 대비 대기오염 물질을 적게 배출하는 자동차를 의미하며, 전기자동차, 태양광자동차, 하이브리드자동차, 연료전지자동차, 수소차 등으로 정의하고 있다.²²⁵⁾ 전기자동차(Battery Electric Vehicle, BEV)는 외부전기 → 배터리 충전 → 모터 구동으로 움직이며, 내연기관인 엔진 없이 전기모터와 배터리로 구성되어 차량구조가 단순하다. 수소차(Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV)는 수소연료 → 수소와 산소 화학적 결합 → 연료전지스택 발전 → 배터리 충전 → 모터 구동으로 움직이는데, 온실가스 및 미세먼지가 발생하지 않으며 물만 배출한다. 현재 시장에서 점유율을 높이고

225) 환경친화적 자동차의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률 제2조(정의).

있는 하이브리드자동차도 충전된 전기에너지를 동력원으로 사용하나 기존 내연기관차의 엔진이 포함되어 있는 점에서 탈내연기관 친환경자동차에 포함하는 것은 많은 논란의 여지가 있다.

표 4-7 친환경차 구동 형태 및 특징²²⁶⁾

구분	HEV (Hybrid Electric Vehicle)	PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle)	BEV (Battery Electric Vehicle)	FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle)
에너지원	전기, 화석연료	전기, 화석연료	전기	수소충전, 전기발생
구동원	엔진+모터	엔진+모터	모터	모터
구조				

전기·수소차 세계시장은 최근 4년간 연평균 20%를 상회하는 성장세를 보이고 있다. 환경 및 경제성의 경쟁이 심화되고 주요국의 연비·온실가스 규제가 강화되어 첨단기술 기반의 마케팅 전략이 필수가 되었다. 미국, 유럽, 중국, 일본 등 주요국은 자동차 판매 환경규제를 대폭 강화하고, 동시에 자국 자동차산업의 성장을 위한 적극적인 투자지원을 하는 정책을 병행하고 있다. EU는 제조업체별 CO₂ 배출량 제한을 95g/km로 제한했고, 미국은 2035년 캘리포니아주 내 내연기관차 판매금지를 선언했다. 중국은 신에너지 자동차 비중을 2030년까지 40%로 확대하는 내용을 국가발전계획에 포함했다. 한국에서는 ‘제4차 친환경자동차 기본계획’을 수립하여 2025년 전기차 113만 대, 수소차 20만 대 보급을 추진하고 있으며, 이를 뒷받침할 기술 개발과 인프라 구축을 적극적으로 추진 중이다.²²⁷⁾

전기차 시장에서는 테슬라 독주체제에서 글로벌 완성차업체(GM, 폭스바겐, 다임러 등)의 전기차 신차 대폭 확대에 따라 무한경쟁체제로 변화되고 있다. 전기차 제조업체는 2016년 65개에서 2020년 말 기준 149개로 급증했고, 견고한 내수판매를 기반으로 하는 니오, 샤오핑 등 중국 신생 업체도 빠르게 증가하고 있다. 수소차는 현대차와 토요타가 세계 최고

226) 환경부. (2015.12). 친환경자동차.

227) 관계부처 합동. (2021.2). 제4차 친환경자동차 기본계획, 세계시장 동향 및 전망.

수준의 기술을 보유하고 있으며, 아우디, BMW 등 선진자동차업체와의 기술 협력을 통해 상용화 기술을 축적하고 있다.²²⁸⁾

■ 기술 동향

관련 기술은 전기·수소차 자체의 상품성을 개선하고 소비자 니즈 만족을 통해 자동차 시장 내 점유율을 높이기 위한 제조기술 관점, 전기·수소차와 연계된 서비스산업 및 인프라 산업의 관점, 지속가능한 성장을 위한 제도적 관점으로 나눌 수 있다.

제조기술 측면에서는 보조금 등 정부 지원의 축소 또는 중단에 대비한 가격 경쟁력 확보를 위한 전용 플랫폼 개발 및 부품소재 국산화, 2025년도 달성을 목표로 주행거리 600km 이상을 확보하기 위한 고성능 리튬이온 기술 및 배터리 무게 40% 저감 기술, 전비 3% 이상 개선을 위한 차세대 배터리인 전고체전지(400Wh/kg) 상용화 기술, 충전시간 단축 및 충전 편의성 확보를 위한 충전기술(초고속충전, 무선충전 등), 배터리 및 수소연료 안전기술 등이 집중 개발되고 있다. 특히 고가의 연료전지시스템으로 인해 아직 본격적 상용화가 이루어지지 않는 수소차의 경우 수소연료전지 등 핵심부품의 내구성 향상(50만 km 이상) 및 가격 저감과 수소차의 상품성 향상을 위한 기술개발(주행거리 800km 이상)이 활발히 진행 중이다. 대형 상용차용 연료전지 스택 내구성 확보 운전기술, 상용 수소전기차용 70MPa급 대형 수소저장용기의 고속충전·내화성능 및 생산성 향상 기술, 대형 상용차 수소저장시스템용 고압 대유량 요소부품 기술, 대형 수소상용차 충전시간 단축을 위한 멀티포트 충전기술 등도 주요 핵심기술개발 사항이다.

서비스산업 연계 관점에서는 물류 및 카셰어링 산업과 연계하여 초소형부터 대형까지의 차종 확대 적용 기술, 로봇/드론산업과 연계하여 빅데이터 기반 AI기술, 통신산업과 연계한 광고/마케팅/안전서비스 기술 등이 개발 중이다. 인프라산업 관점에서는 에너지전력 산업과 연계한 V2G(Vehicle to Grid)기술, 메타버스 연계기술 및 유지보수정비 기술 등이 성장 가능성에 기반하여 개발되고 있다.

지속성장 지원제도 관점에서는 우수한 안전기술 확보가 중요시되고 있다. 최근 폭스바겐, GM, 테슬라 등 선진업체 차량뿐만 아니라 국내 대표 전기차 모델에서도 화재 발생이 지속적으로 발생하고 있다. 이에 따라 전기·수소차의 제품 신뢰성과 소비자 안전성을 확보하고 본격적인 산업 육성을 위한 안전기술 표준화 및 인증체계 구축이 강화되고 있는 추세이다. 또한, 전기·수소차 충돌안전성, 충전 안전성 등 시험평가항목이 대폭 늘어나고 있으며, 새로운 유형의 화재폭발 대응기술과 관련 장비 확보 및 개발이 활발히 진행 중이다.

228) 관계부처 합동. (2021.2). 제4차 친환경자동차 기본계획, 글로벌 친환경차산업 동향.

■ 탈내연기관 자동차의 활용 분야

글로벌 시장 환경과 에너지 및 디지털 융합기술 발전으로 전기·수소차는 자동차산업의 메가트렌드를 선도하고 있다. 테슬라 ‘오토파일럿’을 선두로 자율주행과 디지털전환도 전기차를 기반으로 추진되고 있다. 자율주행을 위해서는 최적의 차종으로 전기·수소차를 이야기하는데, 이는 복잡하고 부피가 큰 엔진과 변속시스템 대신 전기신호로 제어가 수월한 모터구동장치와 고용량 에너지저장장치를 탑재하고 있기 때문이다. 다시 말해 전기·수소차는 자율주행차의 수많은 반도체기기를 작동할 때 에너지 사용 효율성이 높고, 빠르고 정확한 제어가 가능하다. 빠르게 성장하는 시장 규모, 상용화 단계의 부품·시스템 기술 수준, 자동차 메가트렌드와의 적합성, 디지털 통신기술의 발전 등은 대부분 국가의 주력 산업으로 자리매김한 자동차산업이 다양한 분야에 융합되어 활용이 가능한 이유이다.

전기·수소차가 서비스산업으로써 가장 먼저 도입되고 있는 분야는 물류운송산업이다. 테슬라는 곧 주행거리 850km 수준의 전기트럭 ‘세미’를 생산할 계획이다. 월마트와 펍시코 등 많은 기업들은 이미 세미 구매 예약을 마쳤다.²²⁹⁾ 장거리 운송용으로 인식되는 대형 상용차는 수소차가 적합하다는 인식을 깨고 중장거리 전기 상용차 시장에 변화를 일으킨 것이다. GM, 도요타 등은 대형 수소 상용차 개발에 지속적 투자를 진행하고 있다. 특히 물류산업 내 상용차 비중이 72%인 미국에서는 2035년 탈내연기관 정책과 맞물려 미래 물류 주력 이동수단의 자리를 놓고 전기차와 수소차가 치열한 경쟁 중이다.²³⁰⁾ 국내에서도 물류와 대중교통 차량을 2030년까지 100% 전기·수소차로 전환하는 전략을 추진 중이다.²³¹⁾ 현재 가장 빠르게 성장하고 있는 1ton급 전기상용차와 더불어 중장거리 상용차, 버스, 택시 등 물류운송 전분야 차량의 친환경 전환을 꾀하고 있다. 중대형 상용차는 운행 대수는 적으나 수송 분야 온실가스 배출량의 43%를 차지하고 있어 산업육성 전략이 필요하며, 기술적으로는 승용차 대비 대용량·고밀도 배터리 성능이 요구됨에 따라 상용차에 특화된 초고속 충전시스템, 고출력 파워팩 등의 기술 개발이 필요하다.

전기·수소차의 가장 큰 장점인 전기에너지를 이용하여 온실가스 배출이 없다는 점을 활용하여 전기동력 기술을 기반으로 한 비도로 수송체산업과의 융합이 주목받고 있다. 선박, 농기계, 건설기계, 항공 등은 대부분 디젤연료를 이용한 동력 시스템을 적용 중이다. 선박은 단기적으로 황산화물 규제와 장기적으로 온실가스 규제 시행 등의 영향으로 소형 연근해 선박부터 탈내연기관 시스템 적용이 대폭 확대될 것으로 예상된다. 나아가 미래 연료로 예상되는 수소의 생산-수요 불균형을 해소할 수 있는 수소이송선박의 개발이나 전기·

229) <https://blog.naver.com/tech-plus/222439661872>.

230) 디지털비즈온. (2021.3). 물류기획.

231) 교통뉴스. (2021.5).

수소차의 폐배터리를 활용한 전동화 선박 개조산업과도 연계될 수 있다. 농기계 및 건설 기계는 주요국 배기가스 규제가 강화됨에 따라 배기가스 전후처리 시스템 기준이 강화되고 있고 중장기적으로 완전 전동화 기반의 ZERO배기가스 기술로의 급속한 전환이 예상된다. 미국 DOE의 AMO(Advanced Manufacturing Office) 프로그램 운영과 독일의 Industry 4.0 내 건설기계 포함이 대표적 예이다. 항공기는 PAV(Personal Air Vehicle), 드론의 급속한 발전으로 신시장 확대에 주력하기 위한 저소음·저공해 및 정밀제어 기술을 확보 중이다. 이러한 소형항공기를 중심으로 65kW급 추진모터, 인버터, 정류기 기술이 개발되고 있고 구동계통 또한 EMA(Electro Mechanical Actuator) 기반으로 발전하고 있다.²³²⁾

전력망으로부터 전기를 공급받아 배터리에 저장하는 전기차와 지금의 주유소와 같은 충전소에서 수소충전을 해야 하는 수소차는 전력망과 에너지산업과 밀접한 관련이 있다. 현대차 아이오닉5는 V2L(Vehicle to Load)로 주목을 받았다. 전기차에 탑재된 고전압 대형 배터리의 전력을 외부로 끌어다 쓸 수 있는 기능이며 최고출력이 3.5kW 수준으로 일반가정 사용출력과 유사하다. 전기차 판매가 급속히 증가함에 따라 이러한 개별적인 충전전기 재사용뿐만 아니라 국가 전체 전력망과의 연동이 예상된다. 국가 전력 효율화 및 수요관리 최적화를 위한 차량-전력망 간 양방향 전력거래시스템(Vehicle to Grid, V2G)이 구축되어 차량 내 잉여 전력 거래시장이 신산업으로 발전할 것이다. 이를 위해서는 차량 탑재 충전 시스템(On Board Charger, OBC)과 전력망 간 양방향 전송기술, 충전전 빅데이터, 배전계통 운영기술 등을 확보하여야 한다. 시험환경 구축과 전력시장 참여모델 실증기술이 확보될 경우 상용화가 가능할 것으로 예측된다. 수소차의 본격 산업화가 이루어지면 수소 수요 증가와 함께 전력에너지 저장매체로서의 타 산업 파급효과가 매우 커질 것이다. 이들 기술의 중심에 연료전지와 전기분해 기술이 신산업으로 부상될 전망이다. 친환경 고효율 방식으로 전기와 열을 생산하는 연료전지는 분산전원의 최적 에너지 전환기술로 부상하게 되고 파이프라인 네트워크를 통해 대규모 공급체계가 필요하게 되므로 설비, 건축토목, 플랜트 산업과의 동반성장 시너지 효과를 얻게 된다.

자동차산업이 전기·수소차 기반의 초연결 매개체로 발전하면서 통신과 빅데이터 산업에서의 중요성이 증가하고 있다. 현시점을 전기·수소차의 폭발적인 판매증가와 함께 본격적 시장지배의 초기 단계로 볼 때 전기·수소차 관련 부품 및 데이터를 취득, 관리하여 빅데이터화하는 경험과 비즈니스 모델의 개발을 통한 기술지원 및 표준화 정립이 추진되어야 한다. 빅데이터 활용 공용 플랫폼 및 통신인프라 구축을 통해 자동차, 부품, ICT

232) 한국자동차연구원. (2021.2). 제조업 이코노믹스 전략.

플랫폼, 서비스 등 산업 간 오픈 이노베이션 생태계를 조성하고 관련 법·제도를 정비함으로써 자생적인 빅데이터 기반 혁신을 유도하고 데이터 부익부 빈익빈 문제 해소가 가능할 것으로 전망된다. 빅데이터 기반 혁신을 바탕으로 기존 플랫폼 사업자 위주의 한정된 수익 모델에서 탈피하여 전기차, 부품, 전기차 기반 서비스, 유통, 소매업 등 다양한 업종에 걸쳐 융복합 비즈니스 모델이 발굴되고, 이를 통해 신규 사업자(new player)들의 진출 및 수익 기반이 마련될 수 있다. 공용플랫폼을 통한 수평적, 통합적 엔지니어링 혁신 기반을 마련하여, 데이터를 기반으로 한 품질의 조기 확보, 고객과의 연결성 강화를 통해 변화 무쌍한 수요에 신속하고 최적화된 대응이 가능하도록 함으로써 향후 'AI-빅데이터 융합 산업' 시대에 국내 전기·수소차 관련 업계의 경쟁력이 강화될 것으로 예측된다. 앞서 제시한 전략망 연계의 경우도 IoT, AI·빅데이터 기술 기반 친환경차 충전전력 및 발전량 예측 기술은 빅데이터 및 IT통신 산업과의 연계모델 중 하나이다. 빅데이터 기반 초연결 인프라가 구축될 경우 메타버스를 통한 이동, 정비, 생활, 경제활동, 정보교환 등 다양한 분야의 활용이 가능해질 것이다.

■ 전망

자동차 역사 100년간 지속된 내연기관 주력체제는 자리가 좁아지고 있다. 기후변화 위기 대응을 위한 글로벌 협력과 규제강화는 지속될 것이다. 그간 빠른 추격전략과 우호적인 외부 환경 등에 힘입어 단기간 내 세계 자동차 강국으로 도약한 한국 자동차산업은 배터리, 모터, 인버터 등 전기동력 핵심부품의 세계적 기술 경쟁력을 확보하였다. 수소차도 국산화율 95% 이상의 기술력과 세계 최초 양산 타이틀을 보유하고 있다. 하지만 리튬이온배터리 기술력이 한계에 다다르고 수소경제로 진입하기 위한 신재생에너지 인프라도 턱없이 부족하다. 친환경차 경쟁은 모든 국가와 업체가 같은 출발선상에 있다. 새로운 경쟁 환경에서 선두권으로 올라서기 위해서는 강점인 자동차기술 발전의 지속적 투자와 함께 파생 융합산업과 사회 전체 인프라와의 조화와 병행발전도 고려해야 한다.

자동차산업의 본질이 '제조'에서 '서비스'로 전환되고 있음을 부정할 수 없다. 자동차는 단순 이동수단에서 초연결(Hyper-Connectivity)을 바탕으로 다양한 서비스를 제공하는 '움직이는 스마트폰'으로 변화하고 있다. 전기·수소차를 기반으로 카셰어링 등 공유 경제, 물류혁신, 인포테인먼트 등 새로운 파생과 연관 서비스가 빠르고 다양하게 출현하고 있다. 기존에 자동차와 관련된 전통적 서비스 또한 판매·AS 중심에서 운전 습관, 차량 상태 등 데이터를 활용한 맞춤형 보험, 광고, 실시간 차량 관리 등 새로운 서비스로 변모하고 있다. 자동차 업계 입장에서도 잘 만드는 것보다 잘 사용하는 전략이 절실한 실정이다.

부 록

부록에서는 융합연구정책센터와 미래융합협의회를 소개하고 2020년에 추진한 주요 활동을 살펴본다. 또한 2020년도 융합연구개발 활성화 시행계획과 구체적인 융합 메가트렌드 선정 프로세스를 수록했다.

부록1 — 융합연구정책센터 소개

부록2 — 미래융합협의회 소개

부록3 — 2020년도 융합연구개발 활성화 시행계획(안)

부록4 — 융합 메가트렌드 선정 프로세스

Chapter 05

융합연구정책센터 소개

1. 융합연구정책센터는?

■ 설립 배경

국가 융합연구 정책 및 전략을 수립하여 혁신성장의 기반을 마련하고 국가 경쟁력을 향상시키기 위해 다양한 분야를 아우르는 시대적 요구에 맞춰 2012년 12월 한국과학기술연구원(KIST)에 설립됨

※ 「제1차 국가융합기술발전기본계획(2009-2013)」* 상 범부처 연계·협력체계 구축(전략6)에 대한 실천 과제로 설치 제안

■ 설립 목적

미래사회 변화에 대해 전략적으로 대응하기 위해 정부차원의 융합연구 정책을 수립하고 신산업·신시장 창출을 위해 융합 R&D 사업을 체계적으로 기획하며, 융합연구 트렌드 자료 제공 및 융합 관련 통계 데이터 구축뿐만 아니라 융합연구의 활성화를 위한 산·학·연 중심의 융합 네트워크 토대 마련을 위해 설립됨

■ 주요 역할

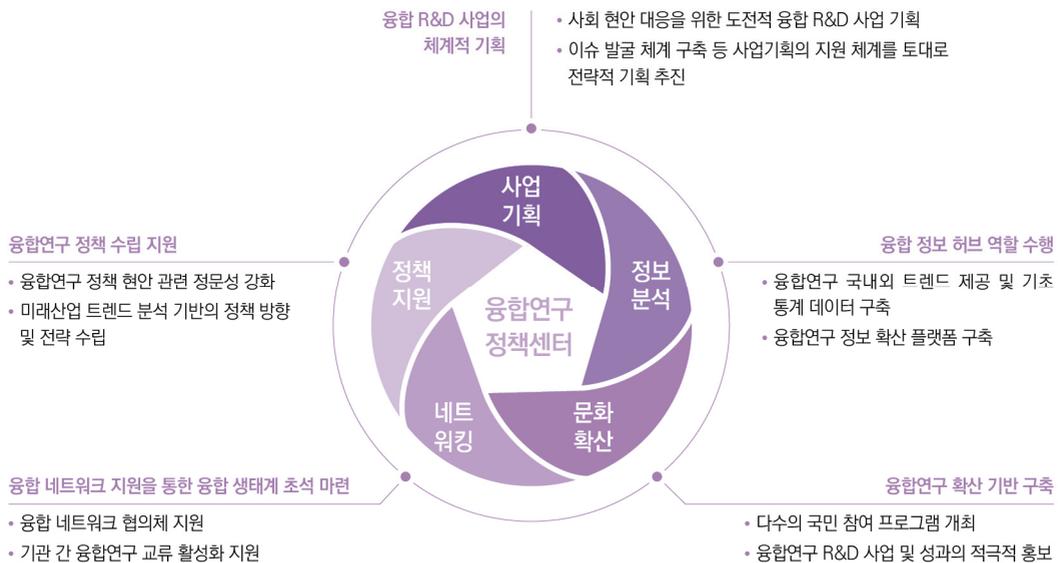
- 「제3차 융합연구개발 활성화 기본계획(2018~2027)」등의 융합연구 촉진정책 수립을 지원하고 융합연구 중장기 계획의 체계적 실행을 위해 연도별 시행계획 수립
- 사회 현안에 선제적으로 대응하고 성장 동력 확보를 위한 정부 부처 및 연구자 수요 기반의 융합 R&D 사업 체계적 기획
- 융합 R&D 사업 및 정책 수립 추진에 필요한 융합 관련 국내외 동향 자료를 제공하고 융합 관련 기초 데이터 구축으로 융합 정보 허브 역할 수행
- 융합연구정책 Fellowship 및 융합연구 활성화 아이디어 공모전 등의 국민 참여 프로그램 추진 그리고 대한민국 과학기술대전에의 참여를 통해 융합연구의 인지도

제고 및 융합연구 확산 기반 구축

- (사)미래융합협의회와 같은 산·학·연 중심의 융합 네트워크 협의체를 구성 및 지원하여 융합 생태계 초석 마련

■ 기대효과

- 융합연구정책센터는 정책지원, 사업기획, 정보 분석, 문화 확산, 네트워킹 등 5대 역할을 중심으로 융합연구 생태계를 조성하고 융합연구의 촉진 및 활성화를 위해 융합연구 문화 확산에 선도적 역할을 수행하는 융합연구 전문 정책기관으로 위상 확립
- 융합연구의 특성을 고려한 R&D 정책 지원, 국가 경쟁력 제고를 위한 미래사회 대응 혁신 이슈 발굴, 융합 R&D 사업기획의 효율적 추진을 위한 체계적인 지원 등으로 부가가치 창출 및 국가 역량 강화에 기여

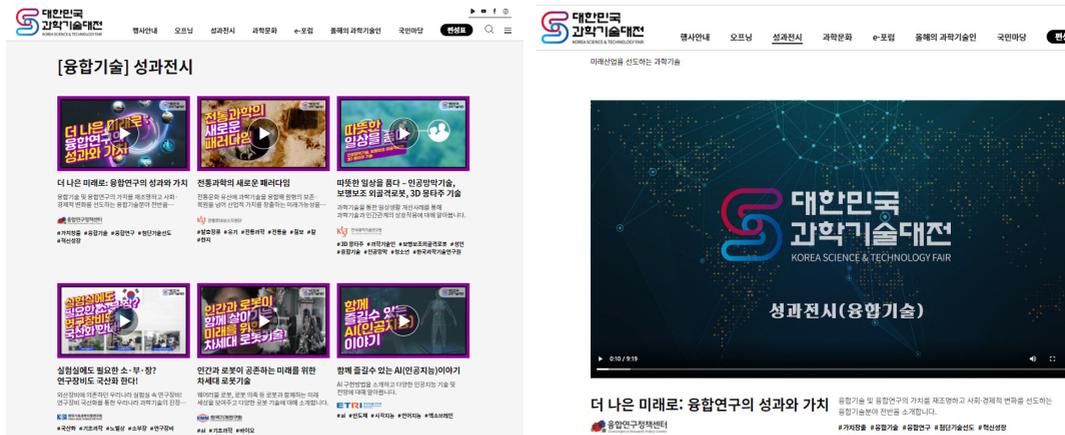


2. 2020년도 융합연구정책센터 주요 활동

■ 「2020 대한민국 과학기술대전」 참여(2020년 12월 23일~27일, 온라인 플랫폼)

- (슬로건) 과학기술로(路), 미래의 희망을 현실로 그리다
- (기간·방식) 2020.12.21(월) ~ 2020.12.27(일), 7일간 / 온라인 플랫폼
 - 각 주제별(주중 5일) 과학기술 성과 및 과학문화 프로그램(주말 2일) 병행
 - ※ 21일(월) 바이오, 22일(화) 기후환경, 23일(수) 융합기술, 24일(목) 거대과학, 25일(금) 기초혁신
 - (주요 내용) 오픈링, 성과전시, e-포럼, 과학문화, 채용박람회로 구성
 - (송출 방식) 「2020 대한민국 과학기술대전」홈페이지, 유튜브, 네이버TV 등에서 송출

- 2020년도 미래융합포럼 대체행사로 성과전시 프로그램에 참여
 - (주제) 더 나은 미래로: 융합기술의 성과와 가치
 - (참여 목적) 4차 산업혁명을 견인하는 융합기술의 성과 및 가치를 홍보하고 융합 연구에 대한 대국민 인식 및 관심도 제고
 - (영상 조회수) 576회(과학기술대전 홈페이지), 39회(유튜브)
 - (주요 내용) 융합연구 개념 정립, 융합연구의 유형 소개 및 융합R&D 성과 홍보 등



■ 미래융합협의회

- (추진 목적) 교육기관, 연구소, 기업 간 자발적 협력을 중심으로 민간 주도의 개방형 융합연구 협력 네트워크를 구축하여 융합연구 허브 역할 수행
- (활동 사항) 융합연구혁신포럼 2020(12.2), 2020 정기총회(12.2), 법인 등기 이사

변경(12.14)

- (주요 내용) 융합연구혁신포럼 2020 개최, 2020 결산 및 2021 계획 승인, 법인 등기 이사 변경



융합연구혁신포럼 2020(12.2)



2020 정기총회(12.2)

■ 융합R&D 신규 사업 기획 이슈 발굴

- (추진 목적) 급변하는 미래사회 대응에 필요한 신성장 동력 창출을 위하여 신규 사업 기획을 위한 이슈 발굴 필요
- (추진 내용) 기존의 융합R&D 사업 방향을 바탕으로 11개의 신규 이슈 발굴
- 발굴 이슈 명

번호	발굴 이슈 명	비고
1	한계 극복형 융복합 무한청정에너지 벨리 구축사업	
2	고령화 및 만성질환자를 위한 IT기반 의료분야 혁신소재 융합기술개발사업	
3	인체의 감각 저장 및 구현 기술개발 사업	
4	아바타 로봇시스템 기술개발사업	
5	초연결 사회 구축을 위한 핵심기술 융합형 대규모 IoT 센서 개발	
6	감각의 전이와 복원은 가능할까?	
7	다중 광대역 단일광자 검출용 광소자 및 검출 다이내믹 범위 확장형 하이브리드 시스템 연구개발사업	
8	체내환경 추적관리 기술개발사업	
9	스마트 미래 사회를 위한 초감각 인지 및 구현 기술개발 사업	
10	초연결형 에너지 팩토리 기술개발사업	
11	인공빛에 대한 휴먼케어 융합 스마트라이프 사업	

2020년도 발간물

○ 융합연구리뷰(월간지)

구분	주제	저자
Vol6.no.1 (1월)	미래 모빌리티 사회를 견인할 “자율주행차”	이재관(한국자동차연구원)
	시속 1,200km 미래교통 - 하이퍼튜브 HTX	이관섭(한국철도기술연구원)
Vol6.no.2 (2월)	미래 첨단교통체계 동향 및 스마트시티 적용 방안	윤태관(국토연구원)
	미래이동수단 기반 모빌리티 서비스 제공을 위한 규제 완화	김규옥(한국교통연구원)
Vol6.no.3 (3월)	메모리 중심 컴퓨팅 기술 동향	오명훈, 김홍연, 고광원(한국전자통신연구원)
	양자통신 및 양자컴퓨팅 분야 소개 및 연구동향	조영욱(한국과학기술연구원)
Vol6.no.4 (4월)	군집 비행 시스템의 동작 원리와 발전 방향	문성태(한국항공우주연구원)
	무인비행체 개발 동향	이현범(경북대학교)
Vol6.no.5 (5월)	위치, 콘텐츠와 결합하다	이택진(한국과학기술연구원)
	인공지능 시대 보안 위협에 대응한 바이오인식 기술 동향	김학일(인하대학교)
Vol6.no.6 (6월)	인공지능 시대의 HCI와 UX: Voice User Interface와 감정 기술	최준호(연세대학교)
	사용자 행동변화를 위한 디자인 -행동이 일어나도록 혹은 일어나지 않도록 유도하는 사용자 인터페이스 디자인-	윤재영(홍익대학교)
Vol6.no.7 (7월)	기존 건축물 에너지효율 향상을 위한 에너지성능 현장 진단 기술	김종훈(한국에너지기술연구원)
	제로에너지 건축기술 및 건축물 관련기술 동향	조동우(한국건설기술연구원)
Vol6.no.8 (8월)	미래의 융합 모델: 디자인과 과학기술의 시너지	김차중(UNIST)
	로봇을 통해서 인간을 탐구하다: HRI의 필요성과 역할	김민규(한국로봇융합연구원)
Vol6.no.9 (9월)	감염병 전파와 방역정책	김찬수(한국과학기술연구원)
	에너지 하베스팅 기술	송현철(한국과학기술연구원)
Vol6.no.10 (10월)	부직포 필터 기술 동향 및 Covid-19 팬데믹에의 대응 현황	도성준(한국생산기술연구원)
	빌딩풍 피해와 대응	이승수(충북대학교)
Vol6.no.11 (11월)	실생활 데이터 기반 인공지능 비전 카메라 영상 융합 기술 연구를 통한 현재 및 미래 사회의 인명사고 문제 예측 및 해결방안 도출	안재홍(한국광기술원)
	홍합 모사 접합 고분자 기반 차세대 탄소 양자점의 개발 및 응용	이경관(경희대학교·한국생명공학연구원)
Vol6.no.12 (12월)	스마트팩토리 핵심기술 및 제조혁신 고도화 전략	정종필(성균관대학교)
	스마트 물류 관련 기술 동향과 도입 사례	신광섭(인천대학교)

○ 융합포커스(주간지)

월	일	분류	제목
1월	13	정책	2019년도 뉴스기사 키워드 분석
	28	산업	차세대 체외진단기기 산업의 현황 및 동향
2월	10	정책	2018년도 국가융합기술 R&D 조사분석
	24	산업	유럽의 배터리 산업분야 발전 계획 -Battery 2030+이니셔티브-
3월	30	정책	자율주행시스템 탑재 이동체를 위한 규칙제정공고(NPRM)

○ TREND WATCH(주간지)

월	일	제목
9월	25	미국 2022년 과학기술R&D 예산 의견서
10월	19	연구·혁신을 위한 새로운 유럽연구분야(ERA) 이니셔티브 개선 계획
	28	메탄 배출 저감을 위한 유럽연합의 메탄 전략
11월	16	아르테미스 협정-평화적 목적으로 달, 화성, 혜성 및 소행성의 민간 탐사 및 사용에서의 협력을 위한 규칙
12월	1	기술 및 혁신 정책에 대한 당선자 바이든의 의제
	11	유럽의 제약 전략
	24	2021년을 위한 가트너의 기술 예측

○ 융합소식 뉴스레터

월	분류	제목	국내외
1월	정책	2020년도 과학기술·ICT 분야 R&D사업 종합시행계획 확정·발표	국내
	기술	인공지능이 CCTV 분석해 범죄발생 예측...ETRI 기술 개발 중	
	기술	도파민 분비 신경세포 잠재우는 파킨슨병 유발 물질 찾았다	
	산업	세계 최초로 '살아 있는 로봇' 나왔다	해외
	산업	바이두, "Xuperchain" 출시	
기술	세계 최초로 '살아 있는 로봇' 나왔다		
2월	기술	빅데이터와 AI기술로 미래 10대 유망기술 예측	국내
	기술	급속충전 가능한 소동이온 하이브리드 전지 개발	
	기술	화면은 '단단'하고 접히는 부분은 '유연'한 폴더블폰용 커버윈도우 개발	
	정책	'신종 코로나 비상'에 국제학술지, 바이러스 최신 정보 공개	해외
	기술	30초 안에 인쇄할 수 있는 3D 프린팅 기술 개발됐다	
정책	인간, 생각보다 많은 양의 메탄 배출		

월	분류	제목	국내외
3월	정책	2021년도 정부연구개발(R&D) 투자방향 및 기준(안) 제시	국내
	기술	KIST “인공 광합성 효율 높이는 나노 촉매 개발”	
	정책	국가과학기술자문회의 제5회 심의회의 개최, ‘제7차 산업기술혁신계획’ 등 3개 안건 의결	
	산업	스페이스X, 우주에 또 통신위성 60기 보냈다	해외
4월	기술	화학연, 냉장 식품 부패 여부 알려주는 스티커 개발	국내
	산업	한국타이어, AI와 디지털 센서 활용한 자동차 검수 시스템 도입	해외
	기술	스프레이어블(sprayable) 유저 인터페이스	
5월	정책	국가 R&D 예산 긴축 없다... “내년 7,000억 더”	국내
	기술	전선 끊어져도 셀프 복원...자가 치유기술 어디까지 왔나	
	기술	ETRI, 660배 감도 뛰어난 비접촉 센서 개발	해외
	기술	로봇, 공원 돌며 “거리 유지하라”...코로나가 바꾼 풍경	
	기술	사람 눈보다 시력 좋은 인공눈 나왔다	
6월	정책	과기정통부, 오랜 숙원법안 국무회의 의결로 연구계·산업계 혁신 가속화 기대	국내
	기술	“식물성 물질 탄닌산 이용 난연성 탄소섬유강화플라스틱 개발”	
	기술	리튬전지 용량 25% ↑... “전기차 100Km 더 달린다”	해외
	기술	사람 눈보다 시력 좋은 인공눈 나왔다	
7월	기술	GPS 추적하듯... 암세포에 신호붙여 항암효과 ↑	국내
	기술	KIST, 혈압 감지·조절하는 단백질 규명	
	기술	3D 바이오프린팅으로 인공 방광암 조직 만들었다	
	기술	3D 프린팅 건축의 진화...2층 주택을 짓다	해외
	정책	아랍권 최초의 화성 탐사선, 발사 성공	
8월	정책	‘VR·AR은 게임, 아니고 산업’ 정부 틀 깬다	국내
	기술	광학현미경의 진화... “한 번 관찰로 두 가지 결과 동시에 본다”	
	기술	핵융합 상용화 난제 해결할 슈퍼컴퓨터 구축 완료	
	기술	투명 고분자 물질 레이저로 초고속 가공하는 기술 개발	해외
	기술	‘소리만 들어도 알아요’, 美 연구진 사물 식별 AI 개발	
	정책	유엔유럽경제위원회, 자율주행 레벨 3 국제 규정 채택	
9월	정책	과기정통부 2021년도 예산(안) 확정	국내
	기술	미세먼지 실제 농도와 체감도 다르다	
	산업	코로나19 비대면 사회로 시스피커·카캠 가입 늘었다	해외
	정책	“정신증 조기발견·치료에 전 세계 27개국 협력”... 美정부 600억 원 투입	
	기술	생활하수 보면 코로나 확산 속도 알수 있다	
	산업	NASA, 코로나19가 바꾼 지구촌 지도 만든다	

월	분류	제목	국내외	
10월 (1)	정책	정부 “2030년까지 ‘인공지능·종합반도체 강국’ 실현한다”	국내	
	기술	UNIST·삼성전자, ‘한번 충전에 1천km’ 전기차 전지 기술개발		
	산업	바이오 분야 출연연, 포스트 코로나 시대 연구 협력		
	기술	코로나19 중증 환자, B세포 항체 정보 뒤쫓박죽된다	해외	
	기술	변신로봇처럼 합체하면 플라스틱 분해 속도 ‘쑹’		
	산업	[IAC 2020]퇴역 4년 앞둔 국제우주정거장 폐기나 재활용이나 갈림길		
10월 (2)	정책	한-영 과학기술공동위…감염병 공동연구 협력키로	국내	
	기술	전기차 고속충전 기술 나왔다…6분 만에 90% 충전		
	산업	코로나19 사회적 거리두기 따라 한반도 공기 맑다 탁했다 오락가락		
	기술	로봇개 애니말, AI 덕에 눈발·자갈길도 자유롭게 이동	해외	
	산업	‘북극의 방귀’ 메탄가스 뿜뿜, 온난화 비상		
	산업	UN “여성이 남성보다 코로나에 취약”		
11월	정책	과기정통부, 1조 7천억 원 규모 내년 기초연구사업 공모 착수	국내	
	기술	“국산 자외선 살균로봇, 코로나 병실서 바이러스 박멸”		
	산업	코로나19 치료제·백신 신속 확보 위한 병원 임상시험 체계 구축한다		
	기술	에어컨없이 시원해지는 법, 사막 낙타 털에서 찾았다	해외	
	산업	“백신 개발” 유례없는 글로벌 협력		
	산업	진공 자기부상 열차 하이퍼루프…첫 유인 시험주행		
12월	정책	“AI 개발·활용, 인간의 존엄성·사회의 공공선 우선해야”	국내	
	산업	“치매 유발 핵심과정 찾았다…뇌 내 중증 반응성 별세포가 범인”		
	기술	한미 연구팀, 사람 피부처럼 온도와 힘 느끼는 인공피부 첫 개발		
	정책	내년 정부R&D 예산 27조 원 시대…3대신산업·감염병·소부장에 ‘몽치돈’		
	산업	한미, AI·양자기술 등 첨단산업 표준 협력 확대		
	기술	암 진단과 치료 동시에 가능한 표적항암제 개발		
	정책	기존기술 한계 극복…과기정통부, 내년 융합연구개발 추진		
	산업	韓 연구진, DNA→mRNA 유전정보 복사과정 전자현미경으로 관찰		
	기술	‘초고감도센서+AI’ 소변검사로 20분 내 전립선암 정밀 진단		
	산업	아바타 통해 코로나 백신 시험을 한다면? 2020년 신기술		해외
	산업	코로나 돌연변이, 감염 빨라지나 백신에는 취약		
	기술	실험실서 몇분만에 다이아몬드 만드는데 성공		
	기술	‘이미 인간 수준’ ... 알파고 만든 구글 딥마인드, 바둑 넘어 단백질 구조 미스터리 파헤쳐		
	산업	상추에서 무까지 쑥쑥…우주경작이 다가온다		
	기술	감자칩에 맥주 마시면 온실가스 줄인다		
	산업	체온 측정 스마트 반지 코로나19 확산 막는 침병될까		
산업	대장암 재발에 관여하는 줄기세포 ‘분자 스위치’ 발견			
기술	살아있는 나방 더듬이 드론에 달아 냄새 추적			

미래융합협의회 소개

1. 미래융합협의회는?

■ 추진 배경

- (미래 혁신 동인으로써 융합연구의 필요성 대두) 산업 패러다임의 변화에 따른 부가 가치 창출의 한계로 신성장 동력을 발굴하고 사회의 복합적 문제 해결을 위해 융합 연구에 대한 요구 및 필요성 증대
- (융합R&D 지원 확대) 융합연구의 중요성에 대한 인식 확산과 기술 중심에서 인문 사회, 문화예술과의 융합으로 변화하는 연구 트렌드에 맞춰 정부R&D 투자 증가
 - ※ 정부 융합R&D 투자: 1.4조 원('08년) → 3.4조 원('16년)으로 연평균 11.3% 증가
- (융합연구 중심축 부재) 융합연구의 중요성 및 수요는 증대되고 있으나, 타 분야 연구자·기관과의 협력활동은 저조한 수준이고 융합연구 지원 체계 및 인프라 구축 미비
 - 융합연구 활성화를 위해 융합연구 생태계 구축 및 범분야 간 정보 공유·연구자 간 교류 촉진 기제를 마련하여 융합 네트워크 강화 및 지속을 위한 노력 필요
 - 연구자 간 그리고 기관 간 연계를 체계적으로 지원함으로써 협력체계 구축을 통해 융합연구 장려 및 융합문화 확산을 위한 노력 필요
 - 미래 융합 인재들에게 융합연구 역량 증대를 위한 참여 프로그램 확대, 융합인재 양성 교육의 내실화 및 융합 R&D 추진 필요성에 대한 국민적 공감대 형성 등 융합 연구의 저변 확대를 노력 필요

■ 미래융합협의회 개요

- (정의) 융합연구 수행, 융합인력 양성, 융합 기반 신산업 창출을 목적으로 하는 민간(산·학·연) 중심의 자발적 융합 협력 네트워크
- (역할) 융합연구 생태계 기반 구축을 위해 ① 융합R&D 기반 구축 및 확대, ② 기관

간 업무협력 연계 및 교류 추진, ③ 융합 관련 기관 간 구심체 역할 수행, ④ 융합연구에 대한 인지도 향상 기제 마련 등

- (주요 사업) ① 융합연구의 신규 분야 발굴 및 융합연구개발 촉진, ② 융합연구 활성화를 위한 법·제도적 기반 구축, ③ 융합연구 홍보를 위한 공모전 개최, ④ 융합연구 인재 양성을 위한 교육 지원 등

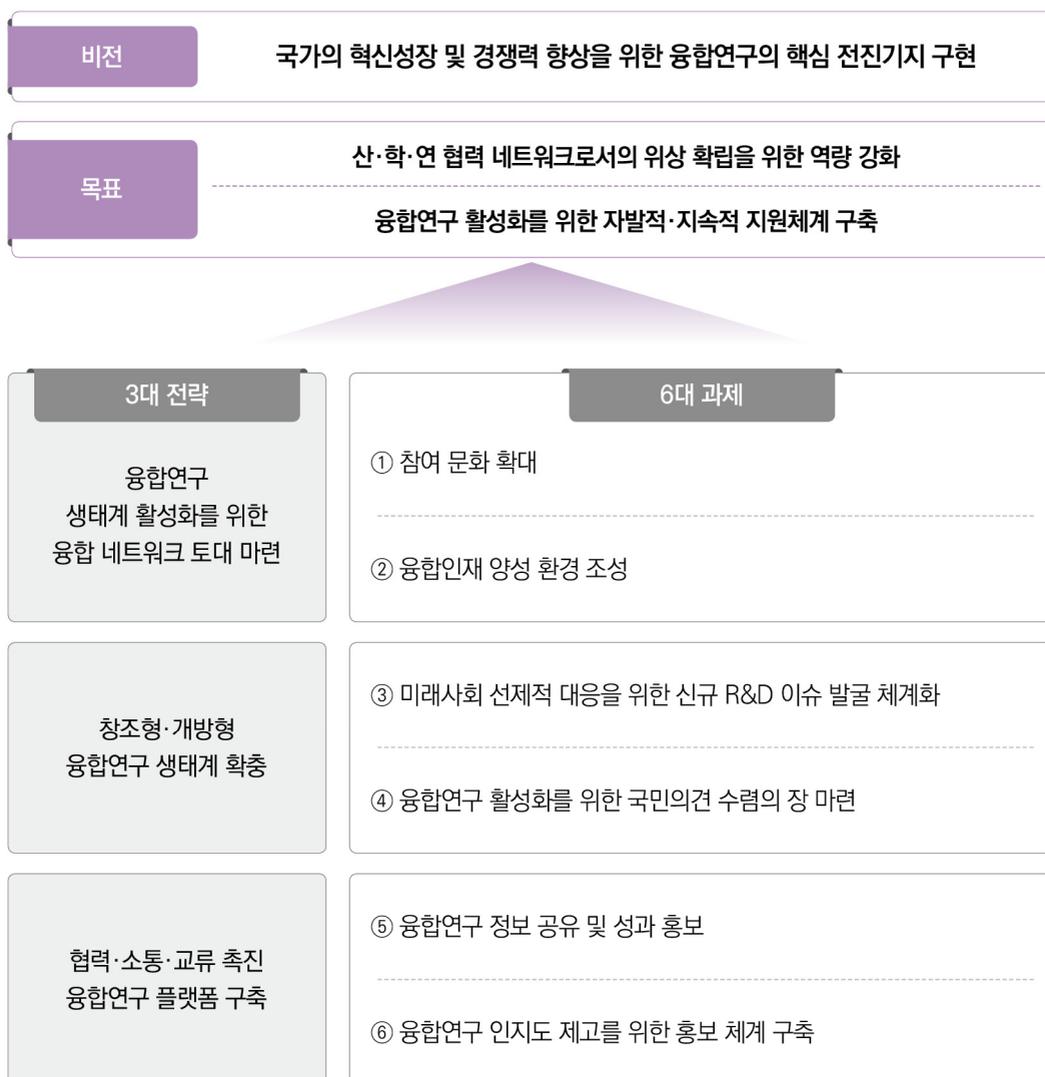


■ 추진 경과

- ('15.9.) 5개 융합교육·연구기관* 및 KIST 융합연구정책센터 중심으로 융합기관 간 교류 촉진 및 협력 필요성 논의
 - ※ 참여기관: 서울대, 연세대, 고려대, 포항공대, KAIST, KIST
- ('16.11.) 6개 기관*간 MOU 체결 및 준비위원회 구성(운영위, 실무위)
 - * 서울대 융합과학기술대학원, 연세대 글로벌융합기술원, 고려대 KU-KIST융합대학원, KAIST EEWS 대학원, 포항공대 미래IT융합연구원, KIST 융합연구정책센터
- ('17.1. - 10.) 준비위원회(운영위원회(4회) 및 실무위원회(15회))의 기획을 통한 발대식 개최
 - 협의회 역할 및 기능, 추진방안 및 추진체계, 향후 발전방안 등 논의
 - 미래융합협의회 발대식 개최(10.25, 과기부 이진규 차관, KIST 이병권 원장 외 400여 명 참석)
- ('17.11.-'18.10.) 미래융합협의회 설립준비
 - 미래융합협의회 설립준비위원회 구성('17.11) 및 창립총회 개최(4.6)
- ('18.10.) 사단법인 미래융합협의회 법인 설립 등기(10.25)
 - 초대 김상은 회장(서울대 융합과학기술대학원 원장) 취임

- ('18.11.) 2018 미래융합포럼 및 정기총회 개최(11.21)
- ('19.12.) 2019 미래융합포럼 및 정기총회 개최(12.4)
- ('20.12.) 융합연구혁신포럼 2020, 정기총회 개최(12.2) 및 사단법인 미래융합협회의 법인 등기 이사 변경(12.14)
 - 제2대 김상은 회장(서울대 융합과학기술대학원 교수) 취임

■ 비전 및 추진 전략



■ 기관 현황(94개 기관/61개 조직, 2020년 12월 31일 현재)

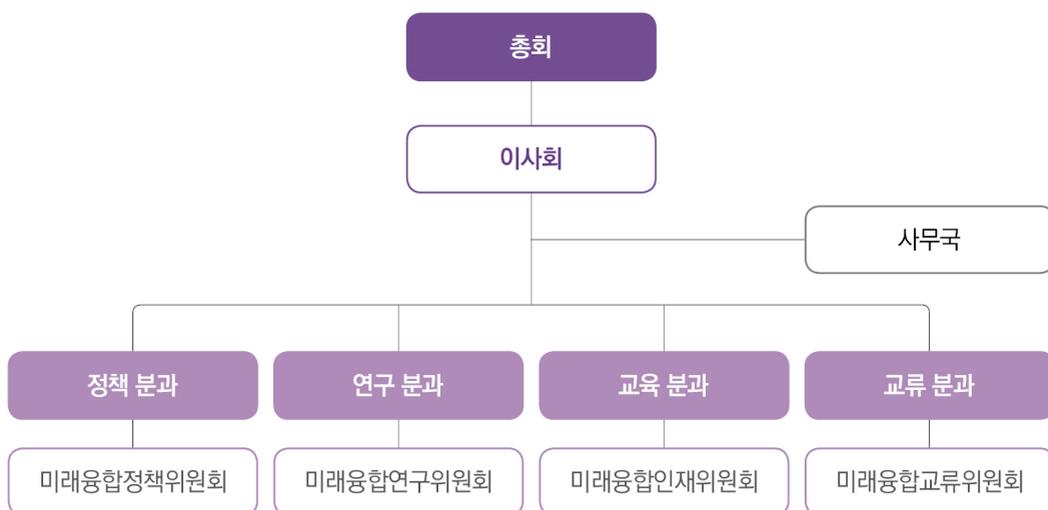
○ (산) 28개 기관, (학) 37개 기관, 36개 조직, (연) 29개 기관, 25개 조직

No.	유형	기관명	융합조직명	No.	유형	기관명	융합조직명
1	산	대선직물		21	학	서울시립대학교	
2		소프트웰스		22		성균관대학교	삼성융합의과학원
3		스페큘립스(주)		23		성균관대학교	성균융합원
4		오스젠 주식회사		24		연세대학교	글로벌융합기술원
5		우리해양(주)		25		연세대학교	미래융합연구원
6		웰트(주)		26		영남대학교	기계IT대학
7		유비온		27		울산대학교	공과대학
8		(주)ZHT		28		인제대학교	나노융합공학부
9		(주)라이트팜텍		29		중앙대학교	미래융합원
10		(주)로투보		30		중앙대학교	경영학과
11		(주)빌리언21		31		중앙대학교	창의ICT공과대학
12		(주)사인바이오		32		차의과대학교	산학협력단
13		(주)소프트로닉스		33		포항공대	나노융합기술원
14		(주)시공미디어		34		한국교통대학교	글로벌융합대학원
15		(주)스탠다임		35		한국산업기술대학교	산업기술경영대학원
16		주식회사 소프트에피		36		한밭대학교	공과대학
17		주식회사 트로닉스		37		한양대학교	소프트웨어융합대학
18		(주)지앤아이씨티		1		연	K-water융합연구원
19	(주)아이티앤베이직		2	건설기계부품연구원	융복합기술본부		
20	(주)유원		3	국가핵융합연구소	플라즈마기술연구센터		
21	(주)젬텍		4	국립암센터	융합기술연구부		
22	(주)지오시스템리서치		5	대구첨단의료산업진흥재단	전략기획본부		
23	(주)캠트로스		6	산업연구원	4차산업혁명연구부		
24	(주)큐비엠		7	선박해양플랜트연구소	정책개발실		
25	(주)해양기술ENG		8	세계김치연구소	연구개발본부		
26	코넷시스(주)		9	오송첨단의료산업진흥재단			
27	과학기술정책플랫폼융합동조합		10	전자부품연구원	융합시스템연구본부		
28	삼일회계법인		11	한국과학기술기획평가원	혁신전략연구소		
1	학	광주과학기술원	미래연구센터	12	한국과학기술연구원	로봇미디어연구소	
2		광주과학기술원	융합기술학제학부	13	한국과학기술연구원	미래융합기술연구본부	
3		광주과학기술원	에너지밸리기술원	14	한국과학기술연구원	차세대반도체연구소	
4		광주과학기술원	고등광기술연구원	15	한국과학창의재단	과학문화협력단	

No.	유형	기관명	융합조직명	No.	유형	기관명	융합조직명
5	학	건국대학교	KU융합과학기술원	16	연	한국광기술원	조명융합연구본부
6		경상대학교	융합과학기술대학원	17		한국기계연구원	
7		경찰대학교	차안정책연구소 과학기술연구부	18		한국생산기술연구원	청정기술연구소
8		고려대학교	KU-KIST융합대학원	19		한국세라믹기술원	융합연구사업단
9		국민대학교	소프트웨어융합대학	20		한국세라믹기술원	전자융합본부
10		국민대학교	인문기술융합학부	21		한국식품연구원	식품기능연구본부
11		국민대학교	자동차융합대학	22		한국전자통신연구원	자율무인이동체연구본부
12		대구경북과학기술원	기초학부	23		한국정보화진흥원	ICT융합본부
13		동국대학교	산학협력단	24		한국지질자원연구원	미래정책부
14		동국대학교	융합소프트웨어교육원	25		한국패션산업연구원	연구개발본부
15		동신대학교	에너지융합대학	26		한국항공우주연구원	무인이동체미래선도 핵심기술개발사업단
16		분당서울대학교병원	핵의학과				
17		서강대학교	언론대학원	27		한국해양과학기술원	ICT융합연구단
18		서울대학교	차세대융합기술연구원	28		전북문화콘텐츠산업진흥원	
19		서울대학교	융합과학기술대학원	29		전북문화콘텐츠산업진흥원	정책기획팀
20		서울시립대학교	자유융합대학				

■ 추진체계

- 융합연구 주체 간·분야 간 협력을 통해 융합 활성화 및 융합연구 문화 확산에 기여



- (분과위원회) 정책, 연구, 교육, 교류 분과 등 협의회의 역할을 총 4개로 나누어 개별 분과로 구성하고 산·학·연이 각 분과에 고르게 참여할 수 있도록 함
※ 기관의 주요 업무에 따라 4개 분과에 중복 참여 가능
- (실무위원회) 회원기관의 실무진 그룹으로 구성하고, 주요 프로그램의 기획을 주도하고 운영 및 관리에 대한 전반적인 실무를 담당

2. 2020년도 미래융합협의회의 주요 활동

■ 융합연구 생태계 관련 법·제도·정책에 대한 신규 아이디어 발굴 교류회 운영

- 산업 패러다임의 변화에 대응하기 위한 신규 사업 아이템을 발굴 후 2가지를 선정 후 추진
- 발굴된 사업 아이템 목록

번호	제안된 신규 아이템 명	비고
1	융합교육 아이디어 공모전	선정
2	융합기술로드맵 기획	
3	융합연구 활성화를 위한 지역별 융합연구 셀 포럼 운영	
4	미래융합신기술 발굴 및 연구협력 촉진사업	
5	융합기술 저변확대 및 미래조명을 위한 전문가 특별강연 사업	
6	융합생태계 구축과제	
7	융합연구 활성화를 위한 실태조사 및 육성전략 수립	
8	국민사회안전을 위한 융합기술 아이디어 공모전 개최	
9	인공 빛에 대한 휴먼케어 원천연구 및 스마트라이프 플랫폼 구축	
10	융합연구 데이터베이스(DB)구축 및 포털서비스 운영	
11	융합연구교류행사 개최	
12	인공지능을 활용한 첨단 나노·소재 분야 융합 연구 시스템 구축	
13	비정형데이터를 활용한 금융시장 안정화 방안	

■ 융합교육 아이디어 공모전 추진

- (목적) 대국민 대상 교육 관련 신규 아이디어 제안 기회 제공 및 책자 발간을 통해 교육자 및 학생에게 새로운 배움의 방향 제시
- (공모 주제) 융합교육 철학과 방법론, 융합교육 사례 및 효과, 국내외 융합 교육 동향 분석, 고등교육 혁신 전략 등 융합교육(고교, 대학 및 대학원 포함)과 관련된 내용

- (참가자) 고교 교사 및 대학 교수, 융합관련 행정·정책·연구 종사자, 학생
- 선정된 아이디어 목록

번호	아이디어 제목	비고
1	COVID-19 이후, 앞으로의 대학 교육 변혁	
2	회화에서 배우는 융합과 철학	
3	해외 대학 융합교육 및 연구 전담기관의 프로그램 운영현황	
4	융합을 다시 쓰다(융합 및 융합교육 철학)	
5	Wide and narrow interdisciplinarity	
6	STEAM교육을 포함한 국내외 융합 교육의 현재와 미래	

■ 융합 문화 확산 기반 구축을 위한 공모전 개최

- (공모전 명) ① 2020 융합연구정책 Fellowship, ② 2020 융합연구 활성화 아이디어 공모전
- (목적) 연구자 및 미래 융합인재들에게 융합 관련 새로운 아이디어를 제안할 수 있는 기회를 제공함으로써 융합연구 역량 강화, 융합연구 활성화 도모 및 융합연구의 인지도 제고
- (공모 주제) 지속가능한 미래 사회 및 미래사회 대응 관련 주제
- (참가자) 신진연구자 및 대학(원)생
 - ※ 융합연구정책센터와 공동으로 추진
- 선정 결과
 - ① 2020 융합연구정책 Fellowship

번호	아이디어 제목	시상내역
1	실생활 데이터 기반 인공지능 비전 카메라 영상융합 기술 연구를 통한 현재/미래 사회의 인명사고 문제 예측 및 해결방안 도출	• 장관상 • 융합연구 리뷰 게재
2	다학제적 융합연구개발 기획을 위한 데이터 기반 융합연구개발영역 탐색 체계 연구	
3	수소기술 특허 빅데이터 분석을 통한 기술융합 및 공백기술 분석 연구	
4	홍합 접촉제 기반 차세대 탄소 양자점의 개발 및 응용 기술	• 융합연구 리뷰 게재
5	항만 생산성 향상을 위한 인공지능 기반의 선석 운영 로직 개발	
6	소비자 기술수용과 저항이 핀테크 플랫폼 사용의도에 미치는 영향 연구	
7	고령화 사회 Elder Care 인력 부족 문제해결을 위한 확률론적 예측 인공지능 연구	

■ 융합기술로드맵 기획

- (목적) 다양하게 논의되고 있는 융합기술 개념의 정립 및 융합기술에 대한 사회적 수요 도출, 기술동향 및 경쟁여건 분석 등 융합 관련 기초연구 수행
- (내용) 문헌분석 및 전문가 인터뷰를 통해 융합기술에 대한 명확한 개념 정립하고 융합 교육 철학과 소셜미디어 데이터, 기술문헌 서지정보 분석 및 설문조사 수행을 통해 융합기술 분야에 대한 사회적 수요 조사 및 기술수준의 정량적 측정을 통해 사회적 수요와 융합기술 간의 Cross point를 도출함으로써 융합기술 로드맵 구축방안 모색

■ 융합연구혁신포럼 2020 개최(2020년 12월 2일, 서울 여의도 콘래드호텔)

- (주제) 융합연구 혁신을 통한 가치창출(Beyond 4.0 Era)
- (목적) 융합인재 육성 현황 진단과 중·장기적 관점의 융합연구 활성화 및 대학 교육이 나아가야 할 방향을 모색하기 위해 산·학·연 연구자, 국민이 소통하는 장 마련
- (참석자) 총 49명*
 - * 코로나-19 사회적 거리두기 2.5단계로 인하여 참석자 49명으로 제한
 - 산·학·연 연구자, 일반 국민 등
- (주요 내용) 융합연구토론회, 출판기념회, 미래융합교육토론, 패널토의 등



■ 융합기술 소개 온라인 콘텐츠 제작

- (목적) 「2020 대한민국 과학기술대전」의 성과전시 프로그램 참여를 통해 융합연구에 대한 관심도 향상 및 융합연구 활성화 도모
- (콘텐츠 제목) 더 나은 미래로: 융합기술의 성과와 가치
- (영상 조회수) 576회(과학기술대전 홈페이지), 39회(유튜브)
- (내용) 융합기술의 정의, 융합연구의 유형, 융합연구로 도출된 우수 융합기술 등 소개
 - ※ 융합연구정책센터와 공동으로 추진

■ 온라인 플랫폼 구축을 위한 홈페이지 개설

- (목적) 시공간 제약 없이 다양한 분야 연구자 간 전문성, 융합연구 자료 및 융합 네트워크 활동 내용을 공유하고 상호 소통 가능한 채널 구축을 통해 융합연구 생태계 기반 마련
- (홈페이지 게시 내용) 융합 네트워크의 연구 활동 내용, 융합연구의 성과DB, 다양한 분야 연구자 간 소통 공간 등



ACER미래융합협의회

협의회소개 회원기관 협의회사업 활동내역 커뮤니티

회원가입 안내 기관 회원가입 안내

회원가입 안내 > 기관 회원가입 안내

기관 회원가입 안내

I 회원의 정의

구분	주요내용
정회원	미래융합협의회 창간 제6조제2항에 의하여 입회한 사를 지칭한다 1. 단행(단행)단체 장(장)의 동의를 통한 가입 신청을 통해 학계, 연구계, 산업계에 있는 기업(단체)의 대표로 임명하는 조직/기관 2. 개인(자연인)의 가입에 의한 조직 구성을 또는 단체 임명에 속하지 아니하므로, 동업을 통해 설립된 기업 장(대표)을 지칭하는 것은 협의회 목적에 부합하지 않는다
준회원	미래융합협의회 창간 제6조제3항에 의하여 입회한 사를 지칭한다

2020년도 융합연구개발 활성화 시행계획(안)

1. 심의주문

- 「2020년도 융합연구개발 활성화 시행계획(안)」을 별지와 같이 의결함

2. 제안 이유

- 「과학기술기본법」 제17조 제4항에 따라, 「제3차 융합연구개발 활성화 기본계획*」(18~'27)의 체계적 실행을 위해 「2020년도 융합연구개발 활성화 시행계획(안)」을 수립·추진하고자 함

* 제1회 국가과학기술자문회의 심의회(다부처공동기술협력특별위원회) 심의·의결('18.6.7)

3. 주요 내용

가. 관계부처 및 대상사업

■ 18개 중앙행정기관*(11부, 1처, 6청), 178개 국가연구개발사업**

* 교육부, 과기정통부, 행안부, 문체부, 농식품부, 산업부, 복지부, 환경부, 국토부, 해수부, 중기부, 식약처, 방사청, 경찰청, 소방청, 농진청, 특허청, 기상청

** 「제3차 융합연구개발 활성화 기본계획」의 7대 중점과제 관련 사업

나. '19년도 추진 실적

■ (투자 규모) 18개(11부·1처·6청) 중앙행정기관이 총 3조 9,471억 원 투자

■ (투자 성과) '19년 융합 R&D 성과로 논문 15,549건, 등록특허 4,191건(국내 3,600건, 국외 591건), 기술료 529억 원, 사업화 10,921건 창출

다. '20년도 추진 계획

■ (투자 규모) 18개(11부·1처·6청) 중앙행정기관이 총 4조 3,574억 원* 투자

* 과기정통부 16,464억 원(37.8%), 산업부 11,220억 원(25.7%), 교육부 3,168억 원(7.3%) 순

〈기본방향 1〉 융합의 제도적·문화적 장애 극복

■ 융합연구 활성화를 위한 법체계 정비 및 부처·기업 간 협력 강화

- (법령 개정) 융합연구개발 환경 변화(예: 기술간 융합 → 주체간 융합)에 대응, 추진체계 고도화 등을 위한 융합연구개발 법령 개정* 추진(과기정통부)

* 기존 「협동연구개발촉진법」을 「(가칭)협동융합연구개발촉진법」으로 전면개정

- (부처·기업 소통 활성화) '다부처협력특별위원회'를 통해 부처협력을 강화*(과기정통부) 하고, 협업 특화기관 운영으로 기업 간 협력 활성화(중기부)

* 연구현장 수요 기반 108개 연구주제 중 4개를 다부처공동사업으로 선정 등(제6회 다부처특위)

■ 융합연구 기반 조성을 위한 교류플랫폼의 활성화

- (정보서비스 고도화) 지능정보기술 기반 맞춤형 정보 제공 및 他플랫폼(특허정보검색 서비스) 연계 강화 등 NTIS 서비스 고도화(과기정통부)

- (협업공간 확산) 산학협력 선도대학(기업협업센터), 혁신클러스터(이노폴리스캠퍼스), 메이커스페이스 등 협업공간* 확대(교육부, 과기정통부, 중기부)

* 메이커스페이스('19년) 128개 → ('20년) 192개) 등

- (산학연 네트워크 활성화) '융합기술 로드맵' 공동 수립, 지역별·분야별 셀 포럼 운영 등을 통한 '미래융합협의회*' 활성화(과기정통부)

* 융합인력 양성, 융합기반 신산업 창출 등을 목적으로 한 산·학·연 중심 융합협력 네트워크

■ 4차 산업혁명 대비를 위한 융합형 미래인재 양성

- (미래세대 육성) 자유학기제 및 창의적 체험활동 등을 활성화하고, STEAM 교육자료 개발과 교사연구회 운영(230개팀) 등 강화(교육부)

- (산업인재 양성) 재직자 재교육 프로그램(30개 이상) 및 신산업별 특화교육* 강화, AI

융합센터(2개→6개) 구축도 추진(교육부, 과기정통부, 산업부)

* 미래 신산업·지역기업 수요 특화형 교육과정 확대: ('19년) 120개 과정 → ('20년) 200개 과정 이상

- (연구인력 글로벌화) 이차전지 등 신산업 분야 전문인력 해외 파견 및 공동연구를 강화하고, 최고급 해외과학자 초빙도 활성화(산업부, 과기정통부)*

* 산업혁신인재성장지원(석박사급연구자 104명 파견), 글로벌핵심인재양성(160명 파견)

〈기본방향 2〉 다양한 융합 시도와 노력 장려

■ 신규 융합연구 아이디어 발굴 및 글로벌 공동연구 활성화

- (융합 선도분야 발굴) 새로운 분야 도전적 연구를 위한 기초연구 지원 확대* 및 융합 클러스터(35개)를 통한 도전적 연구과제 발굴 등(과기정통부)

* 집단연구지원사업 내 새로운 기초연구 지원유형(개척형, 돌파형) 신설 등

- (글로벌 협업) 인류 공통이슈의 전략적 공동연구*와 해외 연구시설 활용 융합연구, 식량난 해소 국제기구 협력연구 등 강화(과기정통부, 농진청)

* 한-북유럽 기후변화 공동대응, 한-호주 수소스테이션 공동연구 등

■ 미래 유망 첨단 융합기술 개발 및 조기 정착 지원

- (첨단 융합기술) 자율주행·신소재·신약·수소에너지 등 첨단 융합기술개발 집중 지원(과기정통부, 산업부, 복지부, 환경부 등)

- 5G, 자율주행 표준 검증(과기정통부), AI 기반 신약개발 플랫폼(복지부, 과기정통부), 에너지클라우드 및 스마트시티(국토부, 과기정통부) 등

- (신기술 조기정착) 추가실증연구(리빙랩 등), 사업화지원(바우처, IP전략 등), 제도개선(규제샌드박스 등) 등 추진(과기정통부, 산업부, 농식품부, 특허청 등)

- 혁신성장동력 실증 지원 및 R&D 바우처(과기정통부), 규제샌드박스 융합신제품 인증(산업부), 기술보증기금을 통한 사업화 지원(중기부) 등

■ 국민 등 수요자가 참여하는 현장 맞춤형 해법 제시

- (문제해결형 융합연구 지원) 국민, 경찰 등 실수요자가 전주기로 참여하여 융합솔루션 제시(과기정통부, 농식품부, 경찰청 등)*

* 농촌현안해결리빙랩프로젝트(농식품부) ('20년 신규 15억 원) 등

- (기술개발 부작용 예방) 기술개발에 따른 미세먼지, 수질오염 등 2차 환경피해의 저감·예방을 위한 연구개발, 영향평가 등 추진(농진청)*

* 농업생산 활동에 따른 농작물 피해 및 농작업자 영향평가 등을 실시

〈기본방향 3〉 융합의 효과와 결실 체감

■ 융합연구 프로젝트 성과·창출·확산

- (과학난제 해결) 과학난제 해결에 필수적인 도전적 융합연구를 본격 추진*하면서 지속적 난제 발굴·검증과 글로벌공동 연구 강화(과기정통부)

* 과학난제 도전 융합연구개발사업('20년 신규 25억 원/2개 연구팀, 과학난제도전협력지원단)

- (다양한 산업 연계) AI, 유전체 등 범부처 협업*을 기반으로 국가적 R&D 역량을 집결하여 첨단융합기술의 산업 접목 본격 확산

* 다부처유전체사업(과기정통부·농식품부·산업부·복지부·해수부 등 7개 부처), 범부처전주기신약개발사업(과기정통부·산업부·복지부, 3개 부처) 등

- (공공서비스 혁신) 첨단기술을 활용하여 대민서비스 개선, 행정의 효율화 등 국민이 즉시 체감토록 공공서비스 고도화*(과기정통부, 행안부)

* 챗봇서비스(행정기관 방문 최소화), 블록체인 수출통관(시간, 비용 절감) 등

■ 새로운 융합연구 선도모델 제시

- (초학제 융합) 학제 간 장벽을 초월한 인문사회·과학기술 융합연구를 통해 인간 중심 과학기술로의 패러다임 전환을 위한 융합시스템*(12종) 개발

* '(가칭) 인간중심 융합연구선도 프로젝트('22년~'31년, 총 6,454억 원)' 예타 추진

- (연구성과 융합) 국가R&D사업에서 창출된 연구성과 간 연계*, 연구성과와 공공기관·기업 수요의 연계 등 융합을 통한 사회·경제적 가치 재창출 지원

* '(가칭) BRIDGE 융합연구기술개발' 등 기획

4. 참고 사항

- 수립 근거: 「과학기술기본법」 제17조(협동·융합연구개발의 촉진), 「제3차 융합연구개발 활성화 기본계획('18~'27)」('18.6)
- 관계부처 협의 완료('20.3)

1. 추진 개요

가. 목적

- 「제3차 융합연구개발 활성화 기본계획*('18~'27)」의 체계적 실행을 위해 매년 R&D 투자실적 및 계획을 담은 시행계획 수립·점검

* 제1회 국가과학기술자문회의 심의회(다부처공동기술협력특별위원회) 심의·의결('18.6.7)

나. 추진 경과

- 「융합기술종합발전기본계획 수립방안」 마련(과학기술관계장관회의, '06.4월)
- 「국가융합기술 발전 기본방침」 수립(국과위, '07.4월)
- 「제1차 국가융합기술 발전 기본계획('09~'13)*」 수립(국과위, '08.11월)
 - * '09~'13년 「국가융합기술 발전 시행계획」 수립(총 5회)
- 「제2차 창조경제 실현을 위한 융합기술 발전전략('14~'18)*」 수립(국과심, '14.2월)
 - * '15~'17년 「융합기술 발전전략 시행계획」 수립(총 3회)
- 「제3차 융합연구개발 활성화 기본계획('18~'27)*」 수립(다부처협력특위 '18.6월)
 - * '18~'19년 「융합연구개발 활성화 시행계획」 수립(총 2회)

다. 수립 방향

- 융합연구개발의 활성화 및 체계적 추진을 위해 제3차 기본계획의 3대 기본방향 및 관련 중점과제(8대)를 지속적으로 모니터링
- 각 부처 소관 융합연구개발사업 추진계획 등을 토대로 부처별 추진내용을 분석하여 '20년도 중점 추진과제로 반영

2. 2019년도 주요 성과

가. 투자 실적

■ '19년 융합연구개발 정부(18개 부·처·청) 투자액은 총 3조 9,471억 원

- (부처별) 과학기술정보통신부 1조 5,192억 원(38.5%), 산업통상자원부 8,551억 원(21.7%), 국토교통부 2,616억 원(6.6%) 순

〈2019년 부처별 융합연구개발 투자 실적〉

부 처	투자액(억 원)	비중(%)	사업 수(개)	비중(%)
과학기술정보통신부	15,192	38.5	63	38.7
산업통상자원부	8,551	21.7	16	9.8
국토교통부	2,616	6.6	10	6.1
중소벤처기업부	2,615	6.6	5	3.1
교육부	2,575	6.5	3	1.8
해양수산부	2,183	5.5	20	12.3
농림축산식품부	1,293	3.3	8	4.9
농촌진흥청	1,183	3.0	9	5.5
보건복지부	1,090	2.8	6	3.7
방위사업청	671	1.7	2	1.2
환경부	539	1.4	9	5.5
문화체육관광부	485	1.2	2	1.2
특허청	212	0.5	1	0.6
기상청	145	0.4	4	2.5
식품의약품안전처	55	0.1	2	1.2
행정안전부	36	0.1	1	0.6
경찰청	18	0.0	1	0.6
소방청	12	0.0	1	0.6
합 계	3조 9,471억 원	(100.0%)	163개*	(100.0%)

* 사업 수는 총 178개 대상사업 중 '19년 투자가 없는 '20년 신규사업(15개)을 제외

나. 주요 추진 내용

■ (기본방향 1) 융합의 제도적·문화적 장애 극복

- (도전적 융합연구 집중 지원) 연구자 주도의 기초연구 예산 확대('18년 1.42조 원 → '19년 1.71조 원) 및 지역혁신분야 선도연구센터 신설
- (과학기술지식정보 통합·공유) 부처별(기관별) 개별적으로 관리되는 과학기술 및 국내외 R&D 관련 지식·정보의 공유·공동 활용 강화*
 - * EU CORDIS 등 해외 유관서비스 연계로 대규모 과기콘텐츠 수집(1억 4,200만 건, '19.12월) 등
- (창작공간의 전국 확대) 전 국민의 창의적 아이디어 구현을 위해 비수도권 중심(비수도권 비중: 66.7%) 창작공간(메이커 스페이스) 전국 확산
- (기업수요 교육프로그램 활성화) 기업-교육기관 협업을 통한 현장적합도가 높은 교육 과정(Match業) 개발 및 활용확대를 위한 법제도 개편* 추진
 - * 매치업 이수를 학점은행제 학점으로 인정(학점인정법 시행령 개정, '19.12월 공포) 등

■ (기본방향 2) 다양한 융합 시도와 노력 장려

- (혁신 원천기술 씨앗 발굴) 산·학·연, 지자체 등이 혁신성장동력 분야의 수요 179건 발굴(4월) 및 사전기획 등을 거쳐 실증과제 8개 선정(8월)
- (공동연구 및 글로벌 협력) 연구한계 극복을 위한 다학제 융합 클러스터 선정 및 국제 기구·해외주요국 등과의 글로벌 협력 강화
- (국민체감 해법 제시) 국민참여 리빙랩을 통해 국민체감형 융합해법 도출 및 개발에 따른 2차 사회문제(미세먼지, 수질오염 등) 예방

■ (기본방향 3) 융합의 효과와 결실 체감

- (과학난제 도전 및 극복) 기술적 한계 극복을 위한 인공지능, 양자컴퓨팅 등 미래유망 분야의 원천기술개발 신규 지원('19년 신규사업)
- (미래 먹거리 확보) 산업수요 연계 주제 발굴, IP전략 컨설팅 등을 통한 미래 신산업 후보군 발굴 및 산업현장 조기 정착
- (맞춤형 문제 해결) 경북(지진·재난), 전북(대기환경) 등 지역·문제 유형별 특성을 반영한 SOS랩 운영 등으로 맞춤형 솔루션 도출

다. 주요 추진 성과(각 부처 사업별 제출실적 기준)

■ (총괄) '19년 융합 R&D 성과로 논문 15,549건, 등록특허 4,191건(국내 3,600건, 국외 591건), 기술료 529억 원, 사업화 10,921건 창출

국내외 논문 (건)	국내특허		국외특허		기술료 (억 원)	사업화 (건)
	출원 (건)	등록 (건)	출원 (건)	등록 (건)		
15,549	6,581	3,600	1,611	591	529	10,921
	10,181		2,202			

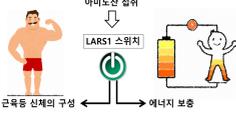
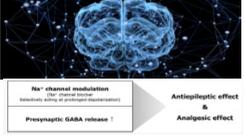
■ 세부 부문별 성과

- (논문) 총 15,549건(SCI(E) 12,612건, 비SCI(E) 2,937건)으로 연구개발비 10억 원 당 약 3.9건 창출(SCI(E) 3.20건, 비SCI(E) 0.74건)
- (국내특허) 총 10,181건(출원 6,581건, 등록 3,600건)으로 연구개발비 10억 원 당 약 2.6건 창출(출원 1.67건, 등록 0.91건)
- (국외특허) 총 2,202건(출원 1,611건, 등록 591건)으로 연구개발비 10억 원 당 약 0.6건 창출(출원 0.41건, 등록 0.15건)
- (기술료) 총 529억 원으로 연구개발비 10억 원 당 약 0.1억 원 발생
- (사업화) 총 10,921건으로 연구개발비 10억 원 당 약 2.8건 발생

〈융합 R&D 투자금액 10억 원 당 성과〉

국내외 논문 (건)	국내특허 (건)	국외특허 (건)	기술료 (억 원)	사업화 (건)
3.9	2.6	0.6	0.1	2.8

〈대표 성과〉

 <p>아سيا 암유전체 데이터 모두 한국에 모인다</p> <p>#ICGC19 @ICGCARGO</p> <p>국제공동연구 허브센터 유치</p>	<ul style="list-style-type: none"> • ICGC-ARGO 아시아 거점 데이터센터 유치 (기초연구기반구축/KISTI) <ul style="list-style-type: none"> - 암유전체 분야 국제공동연구인 ICGC ARGO 아시아 최초의 거점 데이터센터 유치 및 글로벌 허브 기능 강화 ※ 5천억 이상의 가치를 지닌 10만 명 암유전체와 임상데이터 확보 및 삶의 질 향상에 기여하는 데이터 집약형 연구 경쟁력 강화
 <p>사회문제 해결</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 조류인플루엔자(AI)에 대한 백신 국내 최초로 개발 (가축질병대응기술개발/건국대) <ul style="list-style-type: none"> - 최근에 유행하는 조류인플루엔자(H5N1, H5N8, H5N6)에 대한 효능시험 통해 우수 백신을 국내 최초로 개발 ※ 등록특허 SMART 등급 A(76.5점), 논문 mrnIF 82.76
 <p>세계적 저널에 논문 기고</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 우리 몸의 에너지 대사 조절 스위치 발견 (글로벌 프론티어/연세대 의약바이오킴버전스연구원) <ul style="list-style-type: none"> - LARS1 단백질이 세포의 에너지원인 ATP의 수준을 감지하여 아미노산인 류신의 대사의 방향을 조절하는 통합적인 기능을 할 수 있다는 사실을 새롭게 규명 ※ Science 지 게재('19.11.) (Impact factor: 41.063)
 <p>대형 기술이전</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 뇌전증 신약 글로벌 기술이전 (범부처전주기신약개발/SK바이오팀) <ul style="list-style-type: none"> - 기존 뇌전증 치료제 빠펜트(UCB제약)보다 높은 발작 감소효과가 입증되어 美 FDA 신약 승인 ('19.11.22)을 거쳐 20년부터 판매를 시작으로 2024년 매출 1조 원 이상 달성 예상 ※ 「Arvelle Therapeutics(스위스)」기술이전 5,973억 원('19.2.14)
 <p>혁신제품 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 스마트 인명안전관리시스템(IntelEvac) 개발 (사업화연계기술개발/㈜코너스) <ul style="list-style-type: none"> - 민간투자(LB인베스트먼트 20억 원 투자)와 연계한 R&D지원을 받아 미국시장*을 목표로 한 총기안전사고 대비 솔루션 최초 개발 * 미국 별도법인 설립('19.9) 후 美 공공기관·학교에 적용예정 ※ CES 2020 '더 나은 세상을 위한 기술' 부문 Innovation Awards 수상
 <p>핵심기술 국산화</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 해외 의존도가 높은 LCD디스플레이 고청정 금속필터 개발 (구매조건부신제품개발사업/(주)아스플로) <ul style="list-style-type: none"> - 대부분 수입에 의존하고 있는 3nm 크기의 불순물 입자를 99.9%이상 여과할 수 있는 고청정 금속필터 국내 최초로 개발 ※ '19년 국가연구개발우수성과 선정 및 매출액('18년 기준) 19억 원 발생
 <p>융합연구 네트워크 활성화</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 먹거리 안전 선도기술 융합클러스터 활성화 (국가과학기술연구회 융합클러스터 사업/식품연구원) <ul style="list-style-type: none"> - 총 23개 기관, 51명의 연구자 네트워크 구축 및 운영 - '먹거리 안전에 대한 국민 인식 조사' 수행 - 분과·자문회의, 초청소통세미나, 국민생활과학자문단 국민소통포럼·먹거리분과위원회추진 포럼 등 국민소통채널 마련

3. 국내외 융합연구 정책 동향

가. 해외 정책 동향

■ (미국) 미국국립재단(NSF)은 그간에 수립한 NBIC('03), NBIC2('13) 등 융합연구 정책을 기반으로 최근 차기 아이디어 발굴 및 대형투자자 연계

- NSF는 공모전(2026 Idea Machine)*을 통해 융합연구 아이디어 발굴('18~) 및 융합 촉진R&D사업(Convergence Accelerators)에 3,900만불(43개 과제) 지원('19.9월)

* 美대부분 주(州)에서 800개 아이디어 접수('18년下) → 공개토론, 전문가회의 등을 통해 7개 팀 시상 (최우수4팀 2만6천불/팀, 우수3팀 1만불/팀)('20.2월)

■ (EU) 회원국간 협력을 바탕으로 EU를 포함한 인류의 문제해결을 위해 과학기술 혁신프로그램(Horizon 2020)을 운영('14~'20년, 7년간)

- 금년은 혁신프로그램의 마지막 해로, 실행사업 '3차 워크프로그램'('18~'20년, 약 300억 유로)*을 통해 협력·융합연구를 지속적으로 지원

* (예시) 4대 중점영역 중 하나로 '기후변화 대응(저탄소)'를 위해 기술·산업 간의 융합연구를 통해 바이오 경제, 스마트 통합운송 등 다양한 접근으로 문제 해결

■ (일본) 일본정부는 초스마트 사회(Society 5.0) 구현을 위해 '통합혁신전략 2019'를 수립함으로써, 인공지능 등 중점 연구분야* 지원('19.6월)

* (기초기술 분야) AI, 생명공학(로드맵 수립 등), 양자기술(연구거점 조성 등)
(응용기술 분야) 환경·에너지(혁신전략), 안전·안심(자원배분), 농업(스마트 농업) 등

■ (중국) '50년 과학기술 강국 부상을 목표로 혁신역량 강화를 위한 과학기술혁신 2030 중대 프로젝트('16~'30) 등을 추진

* ('20년) 기본적 산업화 → ('30년) 고도의 산업화 → ('50년) 세계 제조강국

- 특히, 인터넷 플러스에서 스마트 플러스 전략으로 전환*함에 따라, 선진 제조업-현대 서비스 산업 융합으로 제조업 업그레이드('19.4월)

* ABC(인공지능, 빅데이터, 클라우드 컴퓨팅)와 같은 신기술을 통하여 사물-사람 연계부터 新비즈니스 모델 탄생까지 모든 부문 혁신 도모

나. 국내 정책 동향

■ (凡부처 융합전략 수립) 3차 융합연구개발 활성화 기본계획('18~'27) 수립*, 그 핵심으로 '융합연구를 통한 도전과 혁신'을 목표로 제시('18.6월)

* (관계부처) 기재부, 교육부, 과기정통부, 행안부, 문체부, 농식품부, 산업부, 복지부, 환경부, 국토부, 해수부, 중기부, 식약처, 방사청, 조달청, 경찰청, 농진청, 특허청, 기상청(이상 19개 부·처·청)

- (대표적 융합R&D 추진) 기본계획 수립 3년차로, 융합적 방법으로 인류난제를 해결하는 '과학난제 도전 융합연구개발' 사업 추진('20년~)

지난 3년간('18~'20) 융합연구 신규사업 추진 현황

- ('18년) 국민생활연구 선도사업(과기정통부), 매치업운영(교육부) 등 12개
 - ('19년) 혁신성장동력 실증·기획 지원(과기정통부), 교통물류연구(도로)(국토부), 농축산 미세먼지 발생실태 및 저감 기술 개발(농진청) 등 23개
 - ('20년) 과학난제 도전 융합연구개발(과기정통부), 농촌현안해결 리빙랩 프로젝트(농식품부), 규제샌드박스 융합 신제품 인증기술개발(산업부) 등 15개
- ※ 출처: 연도별 융합연구개발 활성화 시행계획

■ (융합연구 생태계 조성) 주체간 자발적 참여·협력, 신산업 규제 해소, 창의적 융합인재 양성 등을 통해 융합연구 촉진을 위한 기반 마련

- (다양한 주체간 협력 촉진) 국민·기업-연구자 공동 연구주제 발굴, R&D부처-수요부처 협력, 글로벌 공동연구 등 전방위 협력 촉진
 - 연구자간 연구현장의 융합연구는 물론 원천연구-제품개발-소비 등 전주기적 협력을 통해 당면 이슈해결 및 산업의 혁신 도모

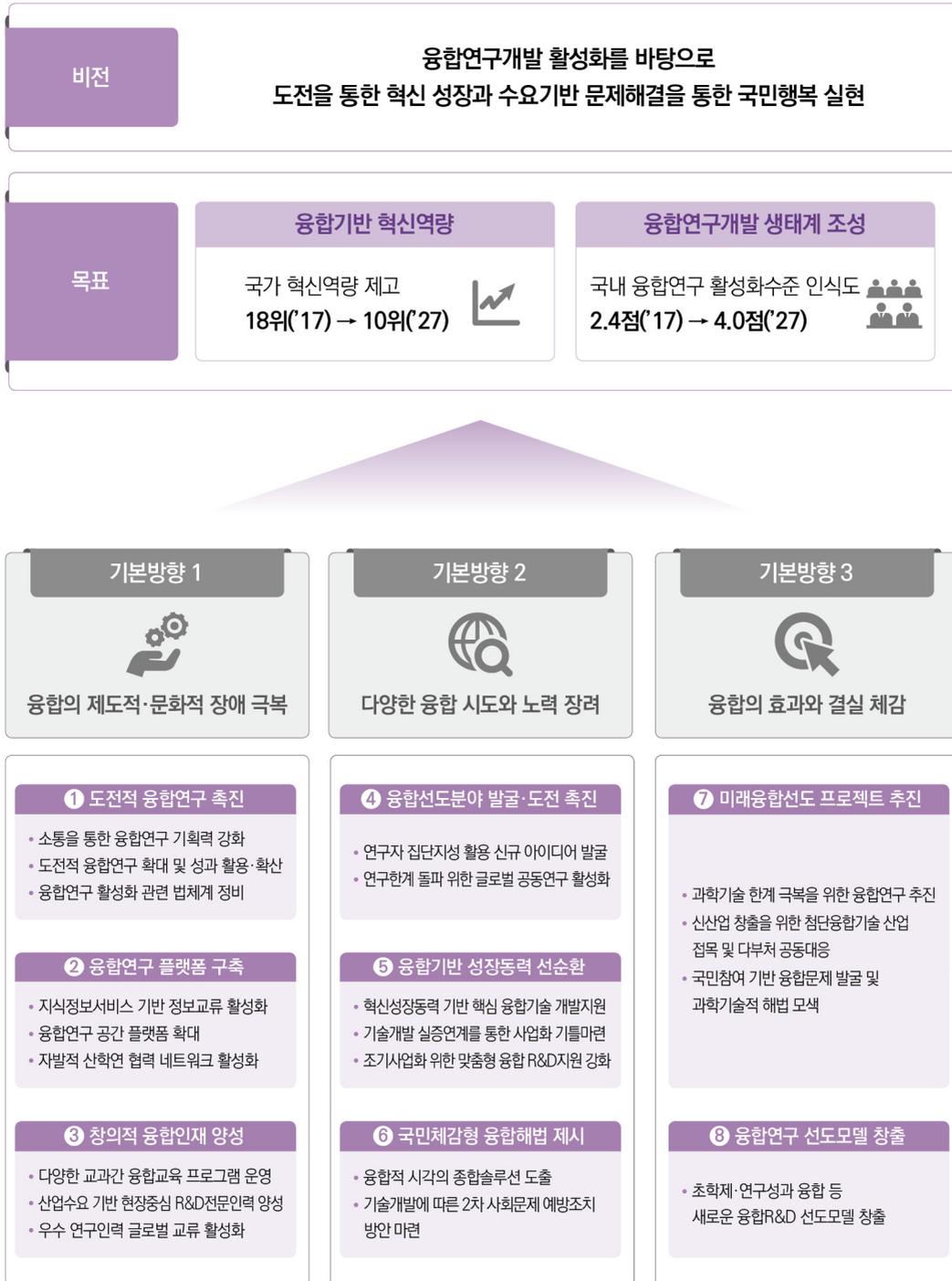
- (신산업 규제 완화) 혁신성장동력 분야의 가시적 성과 창출을 위해 시장진출을 저해하는 규제·제도 발굴 및 시장진출 촉진방안* 마련

* 혁신성장동력 추진계획('17.12월)과 국민체감 실증·기획 및 규제·제도 발굴 추진계획('18.12월)을 바탕으로 '19년부터 혁신성장동력 실증·기획 사업 추진

- (창의적 융합인재 양성) 창의적 교육, 산업수요 기반 新산업 교육, 국제 연구인력 교류 등을 통해 현·미래세대의 융합연구 역량 강화

4. 2020년도 추진 계획

가. 비전 및 추진 방향



〈추진 방향〉

- 융합연구를 체계적으로 촉진·활성화하기 위해 제3차 기본계획의 3대 기본방향 및 관련 중점과제별(8대) 추진현황 지속 모니터링·환류
- 금년도 각 부처 융합연구개발사업의 추진계획, 중점 추진내용 등을 바탕으로 융합연구 투자방향 이행·점검 토대 마련

〈제3차 기본계획의 3대 기본방향 및 관련 중점과제(8대)〉

3대 기본방향	관련 중점과제(8대)
① 융합의 제도적·문화적 장애 극복	(1) 도전적 융합연구 촉진 • 소통을 통한 융합연구 기획력 강화, 도전적 융합연구 확대 및 성과 활용·확산, 융합연구 활성화 관련 법체계 정비 등 (2) 문제해결을 위한 융합연구 플랫폼 구축 • 지식정보서비스 기반 정보교류 활성화, 융합연구 공간플랫폼 확대, 자발적 산학연 협력 네트워크 활성화 등 (3) 창의적 융합인재 양성 • 다양한 교과간 융합교육 프로그램 운영, 산업수요기반 현장중심 R&D 전문인력 양성, 우수 연구인력 글로벌 교류 활성화 등
② 다양한 융합 시도와 노력 장려	(4) 융합 선도분야 발굴·도전 촉진 • 연구자 집단지성 활용 신규아이디어 발굴, 연구한계 돌파 위한 글로벌 공동연구 활성화 등 (5) 융합기반 성장동력 선순환 체계 구축 • 혁신성장동력 기반 핵심융합기술 개발지원, 기술개발 실증연계를 통한 사업화 기틀 마련, 조기 사업화 위한 맞춤형 융합 R&D 지원 강화 등 (6) 국민 체감형 융합해법 제시 • 융합적 시각의 종합솔루션 도출, 기술개발에 따른 2차 사회문제 예방조치 방안 마련 등
③ 융합의 효과와 결실 체감	(7) 미래 융합선도 프로젝트 추진 • 과학기술 한계 극복을 위한 융합연구 추진, 신산업 창출을 위한 첨단융합기술 산업 접목 및 다부처 공동대응, 국민참여 융합문제 발굴 및 과학기술적 해법 모색 등 (8) 융합연구 선도모델 창출* • 초학제, 연구성과 융합 등 새로운 융합 R&D 선도모델 창출

* 융합연구 활성화 관련 대외적인 환경변화를 정책에 반영하기 위해 “중점과제(8)” 추가

나. 투자 규모

- (전체) 18개 중앙행정기관의 178개 사업에 총 4조 3,574억 원* 투자

* '20년 정부 R&D예산 24조 2,195억 원의 18.0% 차지

- (부처별) 부처별 투자액*은 과학기술정보통신부 1조 6,464억 원(37.8%), 산업통상자원부 1조 1,220억 원(25.7%), 교육부 3,168억 원(7.3%) 순

* 3개 부처의 투자액(3조 852억 원)은 총 융합 R&D 투자액의 70.8% 차지

- 사업 수는 과학기술정보통신부(69개), 해양수산부(23개), 산업통상자원부(18개) 순으로, 3개 부처의 사업 수(110개)는 전체의 61.8% 차지

〈2020년 부처별 융합연구개발 투자 계획 및 사업 수〉

부 처	투자액 (억 원)	비중 (%)	사업 수 (개)	비중 (%)
과학기술정보통신부	16,464	37.8	69	38.8
산업통상자원부	11,220	25.7	18	10.1
교육부	3,168	7.3	3	1.7
중소벤처기업부	2,674	6.1	5	2.8
국토교통부	2,238	5.1	10	5.6
해양수산부	2,235	5.1	23	12.9
농촌진흥청	1,475	3.4	12	6.7
농림축산식품부	954	2.2	9	5.1
보건복지부	888	2.0	6	3.4
방위사업청	681	1.6	2	1.1
문화체육관광부	568	1.3	2	1.1
환경부	443	1.0	9	5.1
특허청	319	0.7	1	0.6
기상청	134	0.3	4	2.2
행정안전부	46	0.1	1	0.6
식품의약품안전처	40	0.1	2	1.1
경찰청	22	0.0	1	0.6
소방청	5	0.0	1	0.6
합 계	4조 3,574억 원	(100.0%)	178개	(100.0%)

다. 중점 추진 내용

융합의 제도적·문화적 장애 극복: 융합 잠재력을 높이는 연구기반 조성

중점과제 1 도전적 융합연구 촉진

- ◆ 범부처 및 기업간 융합연구 기반 구축을 강화하고, 도전적 기초연구 지원과 성과 활용·확산을 통해 기술 사업화 선순환 체계 구축

■ 부처·기업 간 원활한 소통을 통한 융합연구의 기획력 강화

- (凡부처 역할 조정) 다부처협력특별위원회*가 부처역할을 조정하여, 다부처 공동사업 및 민·군 부처연계 협력사업 선정(과기정통부)

* 제6회 다부처협력특별위원회를 통해 부처·지자체·연구현장 수요를 통해 발굴된 108개의 연구주제 중 4개를 다부처 공동사업으로 선정('20.2월)

- (중소기업 간 협력촉진) 협업 특화기관을 R&BD 신청과제의 서면검토 서비스 제공 기관으로 지정·운영*함을 본격 추진(중기부)**

* 희망 기업들을 대상으로 네트워크 구성, 서면컨설팅, 상호협력계약 설명회 등 추진

** 네트워크형 기술개발: ('19년) 194억 원 → ('20년) 273억 원

■ 도전적 융합연구 확대 및 성과의 활용·확산

- (도전적 융합연구) 초고난도 연구개발 지원을 위한 '혁신도전 프로젝트'는 전담PM이 국가적 문제 해결을 위한 도전적 목표를 설정하고, 기획, 선정, 평가 등 사업 전주기를 관리하는 시범사업* 추진(과기정통부)

* (연구테마 예시) ① 공공안전을 위한 로봇, ② 지속 가능 환경을 위한 순환경제 등

- (공공연구 성과의 활용·확산) 연구개발서비스기업의 창업팀 구성, 전주기적 기술 사업화 지원, 맞춤형 성과관리 등 추진*(과기정통부)

* 기술 컨설팅 및 마케팅, 성능인증평가, IP 창출컨설팅 등 맞춤형 지원

■ 융합연구 활성화를 위한 법체계 정비

- (법령 개정) 융합연구개발 정의·범주 변화의 대응을 위해 추진체계, 부처역할 등 구체적 방향성을 담은 융합연구개발에 관한 법적*기반 안정적·체계적 지원

* 기존 「협동연구개발촉진법」을 「(가칭)협동융합연구개발촉진법」으로 전면개정

- ◆ 융합연구 활성화를 위해 지능형 정보서비스 구축, 다양한 협업 공간 확충, 자발적인 산학연 네트워크 역할 강화 등을 추진

■ (정보) 지식정보서비스 고도화를 통한 융합연구 정보 교류 활성화

- (정보서비스 고도화) 지능정보기술을 활용한 이용자 맞춤형 정보 서비스 구축* 및 국내외 유관 콘텐츠·플랫폼 연계 확대** (과기정통부)

* 이용자 맞춤형 정보 추천, 대화형 검색 서비스 강화 등

** 국가연구데이터플랫폼, TOD(기술기회탐색), KIPRIS(특허정보검색서비스) 등

■ (공간) 융합연구 활성화를 위한 공간 플랫폼 확대

- (대학의 산학협력) 기업협업센터(ICC, 55개교) 등 대학별 산학협력 강점분야 특화센터 구축·확산을 통한 대학과 기업 간 협업 강화(교육부)*

* 사회맞춤형 산학협력 선도대학(LINC+) 육성: ('19) 2,532억 원 → ('20) 3,126억 원

- (연구개발 특구) 기술수요자·공급자 양방향 발굴, 공공R&D 사업화, 창업지원(이노폴리스캠퍼스 등) 등을 통해 한국형 혁신생태계 조성(과기정통부)

- 특구 연구성과 사업화, 연구소기업·창업성장, 강소특구의 사업화, 지역현안해결형 R&BD 등을 통해 기술-창업-성장의 선순환구조 확립*

* 연구개발특구 육성: ('19년) 734억 원 → ('20년) 1,154억 원

- (창작공간 확대·협력강화) 창작공간(메이커스페이스) 추가* 조성, 전문랩 중심의 지역별·분야별 스페이스 간 연계·협력 강화(중기부)

* 메이커스페이스 조성: ('19년) 128개 → ('20년) 192개(신규 64개)

■ (사람) 연구자 및 기관 간 자발적인 산·학·연 협력 네트워크 활성화

- (전문가 네트워크) 융합연구 생태계 조성을 위해 산학연 주체가 모두 참여하는 미래 융합협회의의 융합연구 본격 추진(과기정통부)

- 융합기술 로드맵 구축 등을 통한 융합연구 정책방향을 제시하고, 지역별(동구권, 서구권) 셀 포럼* 개최로 상호 아이디어 공유('19.9월~)

* 융합연구 현황, 방향 등에 관한 아이디어 교환 및 대국민 홍보 추진

중점과제 3

창의적 융합인재 양성

- ◆ 창의 융합인재 확보를 위해 미래세대 교육과정 개편, 산업수요 맞춤형 인재양성, 글로벌 공동연구·인적 네트워크 구축 등 추진

■ 융합형 미래인재 양성을 위한 다양한 교과 간 융합교육 프로그램 운영

- (미래세대 육성) 초중등 학교 현장에서 교과 수업 외 자유학기제, 창의적 체험활동 등 다양한 창의적 교육과정 도입(교육부)
 - 미디어 콘텐츠 등 다양한 STEAM 교육자료를 개발·보급하고, 교과의 융합 및 협력 분위기 조성을 위해 STEAM 교사연구회 운영('20년 230팀)

■ 새로운 산업수요 기반 현장중심의 R&D 전문인력 양성

- (이공계 전문가 양성) 과기정책대학원 2개 추가 신설, 과기 전문사관·진로지원센터 운영 등을 통한 이공계 진로인식 개선 및 전문가 양성 확대(과기정통부)
- (산업별 특화교육) 산업수요 기반 미래신산업 특화교육 확대* 및 공학교육 혁신포럼 개최('20년下) 등을 통해 산학공동의 인재상 정립(산업부)
 - * 특화교육과정 수: ('19년) 120개 과정 → ('20년) 200개 과정 이상
- (AI전문인력 양성) AI활용 산업별 문제해결을 위한 인공지능융합연구센터* 구축, R&D수행 등을 통해 융합형 AI전문인력 양성(과기정통부)
 - * 인공지능융합연구센터: ('19년) 2개 센터 → ('20년) 6개 센터(4개 센터 신규)
- (산학협력 맞춤형 교육) 기업-교육기관 협업으로 현장적합도가 높은 교육 확대* 및 산업변화 신속대응을 위한 상설자문단 활성화(교육부)
 - * 매치업 프로그램 수: ('19년) 22개 과정 → ('20년) 30개 과정(누적)

■ 우수한 연구인력 글로벌 교류 활성화

- (해외 공동프로젝트 수행) 이차전지 등 미래 신산업을 육성하기 위해 전문인력 파견 ('104명)으로 해외 우수기관과 공동 프로젝트 수행(산업부)
 - 석박사 전문인력을 해외 우수기관에 파견(160명)하여 공동 연구 등 추진(과기정통부)
- (국제 연구인력 교류) 신산업 분야 최고급 해외과학자 초빙, 범부처 해외인재 온라인 창구 신설 등을 통한 국제 연구인력 교류(과기정통부)

중점과제 4

융합 선도분야 발굴·도전 촉진

- ◆ 융합연구 선도 및 촉진을 위해 연구자 집단지성을 최대한 활용하고, 주요대륙 및 국제기구와 함께 글로벌 이슈 해결에도 적극 동참

■ 연구자 집단지성을 활용한 신규 융합연구 아이디어 발굴

- (도전적 기초연구 지원 확대) 새로운 분야의 창의·도전적 연구, 주력산업 분야의 핵심 기술 확보 등을 위해 기초연구 지원* 강화(과기정통부)
 - * 집단연구지원사업 內 새로운 기초연구 지원유형(개척형, 돌파형) 신설
- (융합클러스터 활성화) 융합연구 활성화를 위해 출연(연)이 공동 참여(2개 이상 필수) 하는 융합클러스터의 연구기획, 연구자교류 등 지원(과기정통부)
 - 융합클러스터 35개 발굴 및 축적된 융합연구 기획 아이디어 후속지원

■ 연구한계 돌파를 위한 글로벌 공동 융합연구 활성화

- (글로벌 문제 해결) 인류 공통이슈와 관련된 국제 공동연구 및 기술협력을 통해 글로벌 문제(기후환경, 감염병, 식량부족 등) 선도적 해결
 - 한-중 산학연 전주기 지원, 한-북유럽 기후변화 공동대응, 한-호주 수소스테이션 공동연구 등 전략적 국제 공동연구 확대(과기정통부)*
 - * 전략형 국제공동연구사업: ('19년) 27억 원 → ('20년) 58억 원
 - 세계적 식량난 해소를 위해 아시아, 아프리카, 중남미 등 주요대륙 및 국제기구와의 협력·교류를 통한 첨단 농업기술 개발(농진청)
- (해외시설 활용·확충) ICGC*-ARGO 아시아 데이터센터 등의 대용량 실험데이터 글로벌 서비스 및 해외연구시설 활용(신규사업단 4개) 연구 지원(과기정통부)
 - * 다양한 형태의 암에 존재하는 유전체 변화 규명을 위해 암유전체 데이터를 확보·공유하여 공동연구를 추진 하는 컨소시엄(22개국 참여)

중점과제 5

융합기반 성장동력 선순환 체계 구축

- ◆ 성장동력의 선순환 체계 구축을 위해 다부처 공동기획, 핵심분야별 R&D 및 실증·사업화 지원, 산업촉진 저해제도 개선 등을 추진

■ 혁신성장동력을 위한 분야별 핵심 융합기술 개발 지원

- (핵심 융합기술 개발) 자율주행차, 신약개발, 수소에너지 등 미래 융합신산업 선점을 위해 ICT, BT, NT 등 분야별 핵심 융합기술 개발
 - (ICT 융합) 5G, AI 등 ICT 융합플랫폼 기술개발을 통한 기술자립화 및 자율주행 국제표준 기술검증 등을 통한 신산업 선점의 발판 마련(과기정통부)*
 - * 5G 기반 장비단말부품 및 디바이스 기술개발: ('20년) 신규 103억 원
휴먼플러스융합연구개발챌린지사업: ('19년) 19억 원 → ('20년) 38억 원
 - (BT 융합) 뇌과학, 유전체, 의료기기 등의 기술 고도화 및 신약개발플랫폼 등 신시장 기반 지원으로 미래 바이오시장 선도(과기정통부)*
 - * 3D생체조직칩 기반 신약개발플랫폼 구축기술개발: ('20년) 신규 25억 원
범부처전주기의료기기연구개발: ('20년) 신규 932억 원 (과기부 296억 원)
 - (NT 융합) 표준나노물질(CRM) 신규 개발, 시스템반도체 공정지원 등을 통해 나노·소재 기술의 혁신성장 견인 및 제조업 한계 극복(과기정통부)
 - (ET 융합) 친환경 에너지시장 확대에 에너지 클라우드 환경 구축, 수소에너지 개발, 스마트시티 등을 지원하여 미래 환경·에너지 선도(과기정통부, 국토부)

■ 기술개발과 실증 연계를 통한 사업화 기틀 마련

- (시험·실증기반 구축) 분야별 정부부처·전문가 중심의 사업 기획 및 지자체·사회경제 조직의 실증·실용화 참여로 국민체감 확대(과기정통부)
 - 다부처 R&D사업에 대한 부처협업, 성과공유 등을 추진
- (산업기반 인프라 구축) 점프-업 융복합 기술개발과 테크비즈 프라자 및 Co-LAB 조성 등 산업기반 구축 병행으로 미래형 생태계 구축(산업부)*
 - * 상용차산업 혁신성장 및 미래형 산업생태계 구축: ('20년) 신규 114억 원
- (규제 개혁) 규제샌드박스(실증특례, 임시허가) 허가품목 대상 제·개정, 적합성 인증 신규 기준 마련 등의 융합신제품 규제제도 개선(산업부)*
 - 또한, 적합성 인증기준 충족을 위한 제품성능·안정성 개선 연구 지원
 - * 규제샌드박스 융합신제품 인증기술개발사업: ('20년) 신규 43억 원

- (신산업 촉진제도 도입) 분야간 융합과 다부처 협력 기반의 실증 지원 및 시장진출 촉진을 위한 제도적인 지원방안 마련(과기정통부)*

* 혁신성장동력 실증·기획 지원: ('19년) 27억 원 → ('20년) 74억 원

■ 조기산업화를 위한 맞춤형 융합R&D 사업화 지원 강화

- (기술개발 완성도 제고) 경쟁형 R&D를 거쳐 아이디어 구현이 성공한 과제에 한해 기업과 협업하여 사업화를 위한 추가 기술개발 지원

- 단계평가 시 사업화 전문가 참여*로 기술상용화 등을 점검(과기정통부)**

* 보유기술 기반 원천기술(특히) 확보, 실증계획, 상용화 가능성 등을 집중 평가

** 미래소재디스커버리지원사업: ('19년) 350억 원 → ('20년) 512억 원

- (산업분야별 맞춤형 사업화) 농식품, 신약개발, 환경 등 분야별로 R&BD, 임상연구, 측정장비 고도화 등 맞춤형 사업화 지원

- (농식품 산업) 초기 벤처·창업기업이 보유한 사업 아이템의 보완·성장에 필요한 기술 개발 및 창업이 가능토록 R&BD 지원(농식품부)

- (신약개발 산업) 후보물질 후속개발, 초기임상 지원, 위탁연구기관(CRO) 활용 등을 지원함으로써 산업 생태계 활성화 추진(복지부)

- (환경기술 산업) 유망한 6대 환경기술에 전략적으로 집중 투자하고, 측정장비 고도화를 비롯한 실용화 및 실증사업화를 지원(환경부)

- (산업수요 기반 R&D 성과 활용) 투자기업 등 산업수요에 기반한 R&D 발굴 및 성과에 대한 수요처 활용 촉진 지원

- 기업의 개발 요청-전문연구기관(대학, 출연(연) 등) 개발-기술이전 등의 R&D 바우처를 통해 기업의 연구성과 활용 지원(과기정통부)*

* ICT R&D 혁신 바우처: ('20년) 신규 129억 원

- 중소벤처기업진흥공단 등 사업화 지원 유관 공공기관*과 연계하여 기술이 사업화 성과 창출로 연결될 수 있도록 적극 지원(중기부)

* 중소벤처기업진흥공단(사업화 용자 자금), 기술보증기금(기술보증), 은행(중소기업 전용 대출상품), 중소기업 유통 센터(마케팅 지원) 등

- (IP의 전략적 확보) 중소·중견기업의 공통 애로기술 관련 IP-R&D, 제품개발 전략 등을 지원함으로써 전략적인 지재권 선점(특허청)*

* IP-R&D 전략지원 사업: ('19년) 212억 원 → ('20년) 319억 원

- ◆ 국민이 체감하는 사회문제 해결을 위해 새로운 융합연구, 국민참여형 실증랩 등을 지원하고, 이에 따른 2차 사회문제 예방을 병행

■ 다양한 이해집단에 의한 융합적 시각의 종합솔루션 도출

- (새로운 해결방안 제시) 복잡한 사회문제 해결을 위해 과학기술과 인문·예술의 융합을 통한 새로운 접근으로 종합솔루션 도출(과기정통부)
- (국가현안 해결) AI, 구제역, 기후변화 등 국민 모두에게 심각한 영향을 미치는 국가 현안 해결을 위한 연구개발 지원
 - AI·구제역 등 국가재난 수준의 가축질병에 효과적인 대응을 위해 전주기적 기술개발 및 범부처 차원의 공동연구 지원(농식품부)
 - 이산화탄소 포집·저장 기술개발·표준화, 국제협력 등을 지원하여, 지구온난화 등의 기후변화에 효과적으로 대응(환경부)
- (국민참여 및 실증랩 운영) 국민, 경찰 등의 실수요자와 연구자 협업 및 R&D 실증랩 병행을 통해 현장 맞춤형 융합해법 도출
 - 국민이 체감할 수 있는 치안의 개선을 위해 용용·개발기술 개발 및 연구자-사용자(경찰)가 협업하는 실증랩 구축(과기정통부·경찰청)
 - 농촌 현안해결을 위한 국민참여형 R&D 및 실증랩 운영(농식품부)*
 - * 농촌현안해결리빙랩프로젝트: ('20년) 신규 15억 원
 - 국민안전 수준을 효율적으로 개선하기 위해 스마트 안전 리빙랩 표준 가이드라인 고도화 및 통합 실증플랫폼 확대 조성(산업부)

■ 기술개발에 따른 2차 사회문제의 예방조치 방안 마련

- (국민피해 사전예방) 국민의 먹거리 확보를 위한 농축산 관련 기술 개발에 따른 미세 먼지 등 환경 피해저감 활동 지원(농진청)
 - 농축산물 생산에 따른 전국의 농업용수 유해세균 오염실태 조사, 농업 분야 미세먼지 발생저감 기술개발 등을 지원

중점과제 7

미래 융합선도 프로젝트 추진

- ◆ 다양한 부처, 기업, 시민 등의 협업을 기반으로 한 기초연구 및 성과의 실증·확산 등을 지원하여 연구성과의 가시적 성과 확보

■ 과학기술 한계 극복을 위한 융합연구 추진

- (개척형 연구) 양자컴퓨팅 등 새로운 연구 분야 도전을 통해 글로벌 선도 분야 개척 및 현재 마주하고 있는 인류공동의 문제 해결
 - 꿈의 컴퓨팅 기술로 주목받는 양자컴퓨팅 분야의 핵심기술 개발 및 시스템 실증을 통한 신기술 분야를 선도(과기정통부)
 - 최근 기후변화에 따른 농업분야에서의 선제적 재해대응 체계 구축* 및 미생물 활용 등 환경개선 新농업기술 개발** (농진청)
 - * 신농업기후변화 대응체계 구축: ('20년) 신규 235억 원
 - ** 미생물 활용 농업환경문제개선기술 개발: ('20년) 신규 53억 원
- (선도적 융합연구) 난제해결에 필수적인 도전적 융합연구사업 본격 추진, 지원단은 지속적인 난제 발굴·검증과 글로벌공동 연구 지원(과기정통부)*
 - * 과학난제 도전 융합연구개발: ('20년) 신규 25억 원

■ 신산업 창출을 위한 첨단융합기술의 산업 접목 및 다부처 공동 대응

- (첨단기술-산업 융합) AI, 유전체, 무인이동체 등 첨단기술의 산업 접목을 통해 기존 산업의 고도화 및 新시장·산업 창출
 - 유전체, 무인이동체 등 첨단 기술의 농산업 분야의 접목을 통해 고품질의 안정적 생산 기반 확보(농진청)*
 - * 과수화상병 등 현안문제 병해충 피해경감기술 개발: ('20년) 신규 48억 원
- (다부처 공동 대응) 유전체, 신약, NT 등 미래유망 분야의 글로벌 선도국가로 발돋움 하기 위해 다부처 공동사업 추진
 - 미래사회 대비를 위해 범정부 차원의 전주기적 유전체 연구 및 실용·산업화 지원 (과기정통부·농식품부·산업부·복지부·해수부)

- 글로벌 신약개발 강국 도약을 위해 각 부처의 개별적 신약개발·제품화를 넘어서 범부처 협업 추진(과기정통부·산업부·복지부)*

* '20년 사업종료에 따라 마일스톤 사업관리·평가, 중개연구, 자산DB화 등 추진

- 나노분야의 높은 기술경쟁력(세계4위) 대비 시장창출 부족 한계를 극복하기 위해 시장수요-사업화 능력-기술 연계(과기정통부·산업부)*

* 나노기술 연구성과와 산업부문 실제 수요를 연계한 R&BD 과제 지원

■ 국민참여 기반의 융합문제 발굴 및 과학기술적 해법 모색

- (국민주도 공공이슈 발굴) ICT 사회이슈발굴단('20년 발족)을 통해 공공(사회)이슈 도출 및 실수요자(지자체·시민 등)참여 R&D 추진(과기정통부)*

* ICT기반사회문제해결기술개발(복지증진기술개발): ('20년) 신규 21억 원

- (공공서비스 혁신) 첨단기술을 활용하여 공공서비스 고도화 추진

- 첨단 ICT 기술을 활용해 실종아동 찾기 등 공공서비스 고도화, 행정기관 업무 효율화 및 대민서비스 개선 도모(과기정통부, 행안부)*

* 관세청(블록체인 전자상거래 수출통관), 법무부(IoT 범죄 피해자 접근 보호) 등

중점과제 8

융합연구 선도모델 창출

- ◆ 새로운 R&D 패러다임으로의 전환을 위한 '인간중심 융합연구선도 프로젝트' 추진 및 연구성과 융합을 통해 선도모델 제시

■ 초학제·연구성과 융합 등의 새로운 융합R&D 선도모델 창출

- (초학제 융합) 과학기술 경계를 넘어선 융합적 사고로 연구주제 선정 및 과학기술과 인문사회를 아우르는 초학제적 융합연구* 추진(과기정통부)

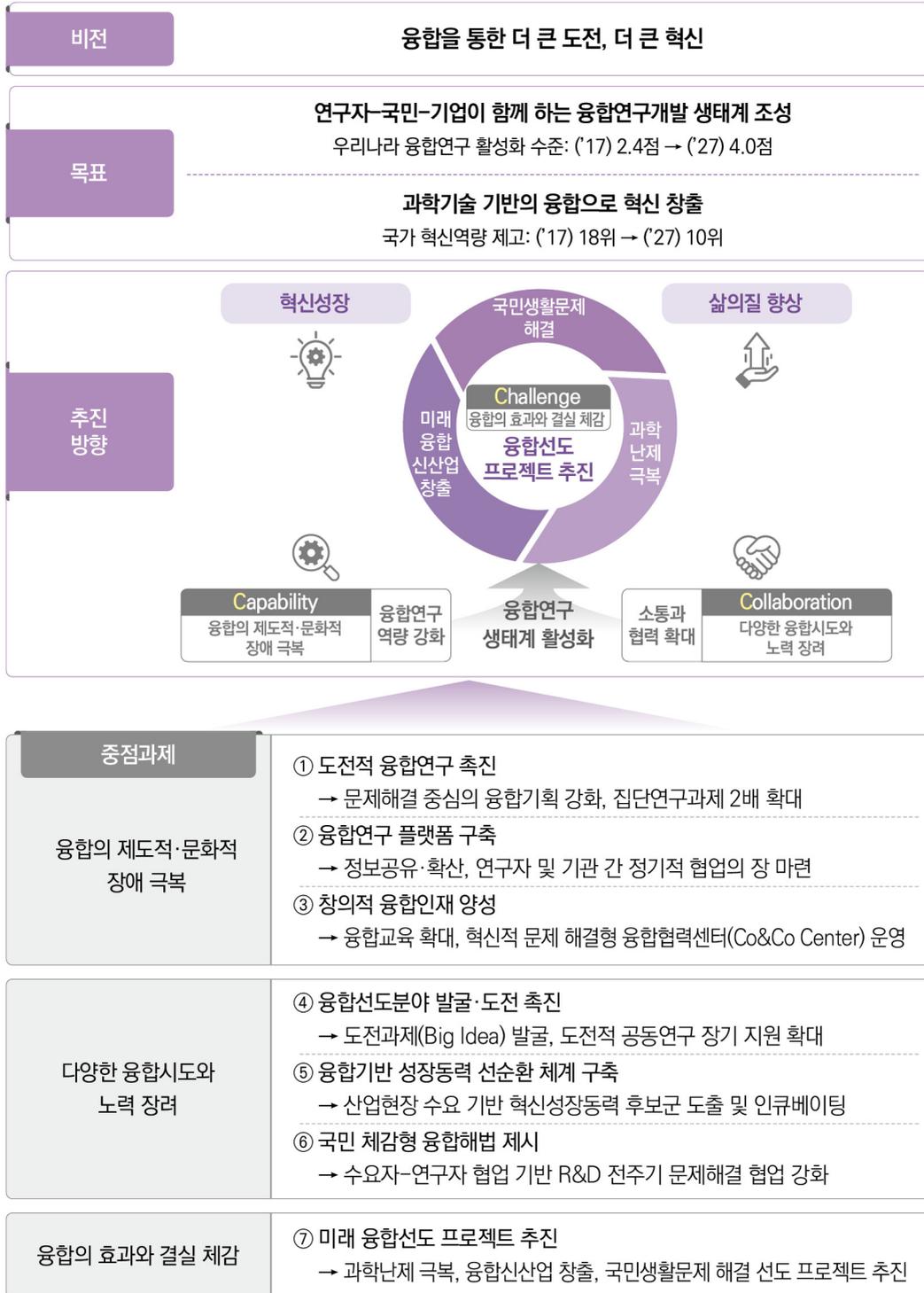
* 초학제 융합 기반 12대 인간중심 솔루션 창출('22년~'31년, 총 6,454억 원)

- 수혜대상자(국민, 지자체, 기업 등) 커뮤니티 기반의 사회적 가치 실증모델 구축

- (연구성과 융합) STEAM연구 사업 등 국가R&D사업의 연구성과 간 융합을 통해 기존 기술의 새로운 가치와 혁신을 창출(과기정통부)

- 그간 개발된 연구성과 간 연계, 공공기관·기업 수요와의 연계 등 융합연구 촉진을 통해 사회·경제적 가치 재창출 기획을 추진

붙임 1 제3차 융합연구개발 활성화 기본계획('18~'27)」개요



기본계획의 핵심 추진방향(안)

- ◆ '새로운 문제에 대한 도전적 시도'와 '기존 문제에 대한 혁신적 해결'을 위한 연구개발 전반의 융합 혁신방안 마련

■ 개방과 협력을 통한 연구자 주도 융합생태계 활성화 지원

- 융합연구개발을 가로막는 제도를 개선하고, 다양한 혁신주체가 참여하는 개방형 기획을 통해 연구개발 과정에서 협업을 활성화
 - 도전적 연구를 위해 융합연구를 스스로 설계하고, 기술한계를 극복하거나 인류 공동의 문제에 대응할 수 있는 자발적 협업체계를 확보

■ 한계에 도전하여 새로운 패러다임을 바꾸는 목적형 융합 추진

- 과학난제 극복, 미래 新시장 창출 및 복잡·다양한 국민생활문제를 해결하는 연구를 확대하고 미래 융합선도 프로젝트 시범 실시
 - 글로벌 아젠다 해결 및 고부가가치 성과로 연결될 수 있는 도전적 연구를 지원 하여, 글로벌 융합 선도영역 확보 및 연구 커뮤니티 육성
 - 미래성장성이 높은 유망 융합기술을 육성하여 혁신성장동력으로 연계하는 융합 이어달리기 활성화
 - 국민생활과 밀접한 영역에서 국민이 체감할 수 있는 융합해법 제시

〈3대 유형별 미래융합선도프로젝트 추진〉

과학 난제 극복	미래 융합 신산업 창출	국민생활문제 해결
<p>연구 목표 • 과학기술 사회적 난제 도출 및 솔루션 탐색</p> <p>지원대상 • 과학기술 연구자 중심 융합그룹 / 10년 이상</p>	<p>연구 목표 • 융합 신산업 창출을 통한 미래 먹거리 창출</p> <p>지원대상 • 산학연 협력 기반 연구그룹 / 5년~10년</p>	<p>연구 목표 • 사회문제해결형 융합연구를 통한 국민 삶의 질 향상</p> <p>지원대상 • 산학연 + 인문사회 전문가 연구그룹 / 5년 이내</p>
<p>글로벌 선도 대학 연구 기관</p> <p>한계를 돌파하는 파괴적 혁신창출로 난제 해결</p> <p>연구자주도의기획 장기도전</p> <p>글로벌 협력</p>	<p>산업계 대학 연구 기관</p> <p>분야간·부처간 융합 이어달리기로 혁신성장 가속화</p> <p>부처간협력 혁신원천공급</p> <p>규제개선</p>	<p>국민 대학 연구 기관 인문 사회</p> <p>융합해법 제시로 건강하고 안전한 국민생활 지원</p> <p>국민 아이디어 공공수요</p> <p>리빙랩</p>
<p>• Big Idea중심 연구자간 탐색형 연구 강화</p> <p>• X-프로젝트 등 문제 중심의 연구 지속</p>	<p>• 혁신성장동력으로 육성가능한 분야 집중 지원</p>	<p>• 유형별 국민체감형 과학기술 기반 해법 제시</p>

교육부

- ◆ (사업수) 3개(중점사업 3개)
- ◆ (투자액) '19년 2,575억 원 → '20년 3,168억 원(23.0% 증가)

■ 사회맞춤형 산학협력 선도대학(LINC+) 육성 사업

- ('20년 계획) 문제해결형 창의적인 미래인재 체계적 양성·지원 확대, 기업협업센터(ICC) 등 대학별 산학협력 강점분야 특화센터 구축·확산 등
- ('19년 실적) 산업계와 지역 협업 기반의 현장중심 교육과정 운영, 전문대 R&D 역량 기반 기업신속대응센터(URI) 활성화 지원 등

■ 융합형 과학기술인재양성 기반 구축

- ('20년 계획) 책자형태에서 미디어 콘텐츠 활용 수업모델로 전환, 다양한 교과 교원이 참여한 STEAM 교사연구회 운영(230개 팀)
- ('19년 실적) STEAM 수업 프로그램 개발 및 보급(5개 분야, 53종), STEAM 수업 아이디어 UCC 공모대회 개최('19년 5~10월)

■ 매치업(Match業) 운영

- ('20년 계획) 기업-교육기관 협업으로 현장적합도가 높은 교육과정 개발(30개), 분야별 협의체 연계 상설자문단을 지원기구로 개편
- ('19년 실적) 매치업 신규 분야(스마트팜, 신에너지 자동화, 블록체인) 및 인증결과 활용기업(50개) 발굴, 매치업 강좌의 수강인원 증가('19.3월 978명 → '19.11월 4,247명) 등

[중점사업] '19년 2,575억 원 → '20년 3,168억 원(23.0% 증가)

(단위: 백만원, %)

사업명	2019년	2020년	증감률
사회맞춤형 산학협력 선도대학(LINC+) 육성 사업	253,181	312,551	23.4
융합형 과학기술인재양성기반구축	2,617	2,617	-
매치업 운영	1,672	1,587	△5.1
합 계	257,470	316,755	23.0

- ◆ (사업수) 69개(중점사업 51개, 관련사업 18개)
- ◆ (투자액) '19년 1조 5,192억 원 → '20년 1조 6,464억 원(8.4% 증가)

■ 집단연구지원

- ('20년 계획) 기초연구실 내 신규 유형(개척형, 돌파형) 신설 및 연구몰입도 제고를 위해 지원인원을 '3~5인→3~4인'으로 변경 등
- ('19년 실적) 연구자 주도 기초연구예산을 확대('17년 1.26조 원→'19년 1.71조 원), 지역 혁신분야 선도연구센터 신설 등

■ 미래유망융합기술파이오니어

- ('20년 계획) 사업 일몰('19년)에 따라 R&D 컨설팅을 포함한 기술성, 사업성, 경제 파급 효과 등을 종합하여 최종평가를 실시
- ('19년 실적) STEAM연구 사업의 대표과제를 선정하여 우수과제 성과 발표 및 전시회 개최 등 추진

■ 연구산업육성

- ('20년 계획) 대학·출연연 연구자-연구개발서비스기업의 창업팀 구성, 민간TLO 육성, IP 창출 컨설팅, 기술마케팅 등 수요자 맞춤형 기술컨설팅·성과관리 추진
- ('19년 실적) 민간·공공 TLO와 유관기관의 협업, 추가 R&D 지원, BM수립 컨설팅 및 기술마케팅 등을 통해 기술이전 208건 달성

■ 국가과학기술 지식정보서비스 구축·운영

- ('20년 계획) 지능정보 활용 맞춤형 정보서비스 구축 확대, 국내외 유관 콘텐츠·플랫폼 등과의 연계 확대, 국가R&D전주기 데이터 구축·연계, 분석서비스 고도화 등을 통해 이용자 중심 NTIS 구축
- ('19년 실적) NTIS 정보 개방 항목 확대(77.9%→81.2%) 및 해외 유관 서비스 연계 확대 ('19년 영국 UKRI 신규연계), 분류체계기반 국가R&D 비교·분석 시각화, GPU 서버 및 클러스터 구축방안 수립 등을 추진

■ 전통문화융합연구개발

- ('20년 계획) 연구결과 발표 및 사업홍보 지속 추진 및 기술협력 네트워크, R&D 지원 인프라 구축 등을 통해 개방형 기술 혁신
- ('19년 실적) 스토리텔링 기법으로 성과물 전시 및 사업화 가능 성과 창출 여부·가능성·비즈니스 로드맵 수립 계획 등을 평가

■ 연구개발특구 육성(R&D)

- ('20년 계획) 공공연구기관-기술수요자의 양방향 발굴·연계, 특구 혁신자원을 활용한 지역 R&D 현안 해결, 자립적 기술사업화 생태계 조성 등을 추진
- ('19년 실적) 연구소기업 증가('17년 520개→'18년 704개→'19년 891개), 기술창업 184건, 기술금융 연계 기업투자 125억 원 등을 달성

■ 과학기술인력 육성지원 기반 구축

- ('20년 계획) 법정 과학기술인력 통계조사 확대 실시, 4차 기본계획 수립 및 정책이슈 연구, 과학기술정책대학원 2개 대학 신규 선정 등
- ('19년 실적) 과학기술 분야의 진로탐색·체험프로그램, 과학기술 드림톡 콘서트 개최 등을 통해 진로지원 실시(36,000명 참여), 과학기술전문사관 소위 임관 및 ADD 배치(59명) 등

■ 국제 연구인력 교류

- ('20년 계획) 신산업 분야 최고급 인재 유치를 위한 BP사업 신설, 해외인재 대상 정보 교류 등이 가능한 범부처 온라인 창구 신설, 국내외 저명 학회와 공동 학술행사 개최 등을 추진
- ('19년 실적) 국제 학술대회 초청강연 12회, 후속연구 14건, 해외 우수 연구자 218명 신규 유치 등을 달성

■ 글로벌 핵심인재 양성

- ('20년 계획) 해외 선도연구 환경 제공을 위한 지원체계 개편, 해외 협력기관 마련, 사업 성과관리 강화 등의 사업 내실화 추진

- ('19년 실적) 美카네기멜론대학(AI세계1위)에 국내석박사 위탁교육(70명), 해외 ICT 선도기관 인턴십(8명) 및 협력연구(85명) 등 실시

■ 현장맞춤형 이공계 인재양성 지원사업

- ('20년 계획) 사업의 3단계 진입에 따라 연구단별 인재양성 및 산학협력 선도 모델 정립·고도화, 참여학생 주도 X-Corps 기획 등
- ('19년 실적) 제2회·제3회 X-Corps(연구성과 경진대회) 페스티벌 개최, 신규과제 11개 선정, 기업 실전문제 해결(연구성과활용계획서 91건) 등

■ 국가과학기술연구회 융합클러스터 사업

- ('20년 계획) 신규 융합클러스터 발굴(35개), 연구회 '핵심연구분야 우수인력발굴사업(YS) 연계, 융합연구 기획 아이디어 후속 지원 등
- ('19년 실적) 선정기준 및 성과평가 개선 등 융합클러스터 운영규칙 개정('19.8월), 지역 균형발전 목적 융합클러스터 선정·지원 등

■ 과학난제도전융합연구개발('20년 신규, 6년)

- ('20년 계획) '20년 사업의 첫 해로써, 선도형 융합연구 신규과제 2개(20억 원) 지원, 과학난제도전협력도전단(5억 원) 지원 등을 추진

■ 기초연구 기반 구축

- ('20년 계획) 분야별 연구정보센터 신규 선정(6개), 국내 대형연구장비 기반 대용량 공유·분석 서비스 고도화, 해외대형연구시설 활용지원을 위한 신규사업단 4개 내외 선정 등
- ('19년 실적) 4개 센터(화공소재, 의과학, 기계·건설, 전자정보)의 국내 연구소 순위 50위 내 기록('19.8월), ICGC-ARGO의 아시아 데이터센터 유치 MoU('19.5월), CMS 검출기 업그레이드 MoU('19.4월) 등

■ 전략형 국제공동연구

- ('20년 계획) 한-중 공동연구의 기초연구-실용화까지 지원, 노르딕 국가와 기후변화 대응 및 소재·부품 등에서 공동연구 추진, 한-호주 공동연구로 고효율 컴팩트 수소

스테이션 기술개발 등 추진

- ('19년 실적) 한-중 공동연구 메모교환을 통해 3개 분야(BT, ICT, 신재생에너지)의 공동 연구 추진, 유럽과의 공동연구 추진(미세먼지 공동 해결 등), 중동과 공동연구 추진(메르스, 감염병 등) 등

■ ICT융합 자율주행 기반구축

- ('20년 계획) 자율주행 시험환경·장비 등 확장 구축, 국제공인시험서비스 제공 4건, 스타기업 발굴 및 제품 현지화 등을 통한 5개 기업의 해외진출 지원 등
- ('19년 실적) 국제공인 시험환경 3종, 상호운용성 시험장비 3종, 이동형 성능품질 시험 장비 2종 등 구축, 국제표준화기구 표준화 기고서 채택 2건 등 자율주행 산업활성화 기반 마련 등

■ 나노·소재기술개발

- ('20년 계획) 2단계 연구지원 대상과제('17년 선정) 심층검토, 표준 나노물질(CRM) 신규 개발 및 보급, 나노팹 장비보완 등 추진
- ('19년 실적) 도전형 소재과제 차기단계 지원, 지식클라우드 R&D 본격 추진, 표준측정 절차서 보급, 후속사업 예비타당성 통과 등

■ 다부처공동기획연구지원

- ('20년 계획) 혁신성장 '13대 분야별 정부부처·전문가', 사회문제 해결 '지자체·사회적 경제조직' 등 사업별 특성에 맞는 전문가 참여 유도
- ('19년 실적) 공동기획 연구 12건(사회문제 해결 6, 혁신성장 6) 지원, 다부처 R&D 수요 조사 대상 확대, 경쟁형 기획연구자 선정·기획 등

■ 미래뇌융합기술개발

- ('20년 계획) 자연신경망(뇌) 이해 기반 AI 기술개발, 뇌신경과학기술의 사회·경제·법률·윤리적 문제에 선제적 대응을 계속 지원
- ('19년 실적) 서울1339응급의료센터-소방청 '유헬스케어 다기능 플랫폼 장치' 공동 시범서비스 운영 등의 조기성과 달성

■ 수소에너지혁신기술개발

- ('20년 계획) 5년 내 실증이 가능한 3개(알칼라인 수전해, 고분자 전해질 수전해, 액상유기화합물 수소저장) 분야의 원천기술 개발 등
- ('19년 실적) 수전해 전극 내구성 향상 및 저가 촉매 개발 등의 고효율·저가 소재 기반의 차세대 수소 생산·저장 핵심기술 개발

■ 에너지클라우드기술개발

- ('20년 계획) 30W급 SBH 에너지서버 프로토타입 효과 실증, 에너지 저장 소재 DB 구축, 신·재생 에너지 변환 효율 평가, 디지털 트윈 기반 에너지 클라우드 데모 사이트 구축 및 시험 운영 등
- ('19년 실적) 스마트그리드 ABM 프로토타입, 디지털 트윈 기반 개방형 데이터 플랫폼 설계, PCS 예측 모델, 소재 연구 등 추진

■ 오믹스기반정밀의료기술개발

- ('20년 계획) 질환별 환자 모집 및 오믹스 정보, 의료정보 등 각종 정보 획득 및 오믹스 정보 분석, 질환별 바이오마커 발굴 등 추진
- ('19년 실적) '19년 신규사업으로 유전체·단백체 등의 생체정보(오믹스) 대량 분석을 통한 난치성 질환과 관련된 생체지표(바이오마커) 발굴 및 예측·진단기술 개발 신규과제 선정

■ 인공지능 신약개발 플랫폼 구축

- ('20년 계획) 계속과제 지원, 정기 운영위원회를 통해 연구과제 간 네트워크 및 성과 관리 수행 등 추진
- ('19년 실적) '19년 신규사업으로 3개 분야(후보물질 발굴, 신약 재창출, 스마트 약물감시)의 연구과제 6개, 지원과제 1개 선정

■ 자율주행 솔루션 및 서비스 플랫폼 기술개발

- ('20년 계획) 비정형 기반의 자율주행 플랫폼 및 통합시스템 구축, 실측데이터를 통한 자율주행 시뮬레이터 검증 등 추진

- ('19년 실적) 비정형 자율주행 관련 실증지역 선정, 정밀지도 구축, DB화, 운용설계 범위(ODD) 정의화 등 추진

■ 혁신성장동력 실증·기획 지원

- ('20년 계획) 수요조사 대상 다변화, 민간전문가 자문을 통한 중소기업 사전기획 역량 보완, 도전적 스펙을 제시한 미션 달성형 과제 추진 등
- ('19년 실적) '19년 신규사업으로 사업 기본계획 수립('19.3월), 16개 사전기획과제 선정 → 실증과제 8개 최종 선정 등 추진

■ 혁신신약파이프라인발굴

- ('20년 계획) 글로벌 수준 혁신신약 개발을 위한 후보물질 파이프라인 발굴 및 IND 승인 신청을 위한 준비 수행(1단계 완료) 등
- ('19년 실적) '19년 신규사업으로 혁신신약 유망 후보물질을 발굴(24개×3억 원), 사업단 중심으로 진도관리 및 사업화 지원(8억 원)

■ 휴먼플러스 융합연구개발 챌린지

- ('20년 계획) 바이오-인공지능-로봇 기술간 융합을 통한 인간증강 중점기술 발굴, 인간-기계 협업·공존을 위한 동반자적 모델 구축, 미래사회를 디자인하는 중소형 융합 연구그룹 육성 등 추진
- ('19년 실적) 경쟁 기반 챌린지형 R&D 추진으로 인지·신체·오감 능력 강화를 위한 3개 분야 본연구 과제 선정·지원(15.3억 원)

■ 범부처전주기의료기기연구개발('20년 신규, 6년)

- ('20년 계획) 4개 부처(과기부, 산업부, 복지부, 식약처) 공동으로 추진, 사업 첫째로 사업단 구성, 단장 선임, 신규과제 선정 등을 추진

■ 3D생체조직칩 기반 신약개발 플랫폼 구축 기술개발('20년 신규, 4년)

- ('20년 계획) 3D생체조직 기능측정기술개발 및 3D생체조직 기반 약물평가시스템 개발 지원을 위한 신규과제 선정 및 연구착수

■ 혁신성장동력 프로젝트(인공지능)

- (20년 계획) 지능형 의회정보융합 분석시스템 개선, 클라우드 환경 오피스 문서 데이터 기반 지식베이스 구축, 딥러닝 기반 비디오 장면 분할 기술 활용 상황학습 콘텐츠 개발 등
- (19년 실적) 차세대 AI 원천기술 신규과제 기획 및 선정, 계속 과제의 맞춤형 평가 진행, 글로벌 수준 인공지능 R&D 기획 및 대내외 환경변화 분석 등

■ 미래소재디스커버리지원사업

- (20년 계획) 신규과제 대상 DMP(Data Management Plan) 확대, IP-R&D 조기착수 (3차년도→2차년도), 대외의존도가 높은 핵심품목 연계 10개 기술분야 발굴, 기술 공급자-기술수요자의 전주기 협업 등
- (19년 실적) 기존 9개 연구단 우수 평가 달성, 특허등록 48건 확보, 조기 실증을 위한 우선추진 품목 5개 도출 등

■ ICT R&D 혁신 바우처(20년 신규, 5년)

- (20년 계획) 혁신성장 8대 선도기술 분야와 AI, ICBM, 블록체인 등 핵심기술 분야의 응용·사업화 기술개발 지원(융합촉진형 20개 과제, 중기지원형 15개 과제)

■ 치안현장 맞춤형 연구개발(폴리랩)

- (20년 계획) 치안현장 중심 R&D 분류체계 개편, 개발된 솔루션 실증의 반복적 수행, 경찰관 및 국민의 체험기회 확대 추진 등
- (19년 실적) 치안현장 문제은행 구축, 제1회 국제 치안산업박람회 개최(19.10월), 신규과제 2개 선정 및 계속과제의 연차점점 실시 등

■ 과학기술인문사회융합연구사업

- (20년 계획) 종합솔루션의 기술적 구현과 실증·인증 및 소비자·공동체·시장 피드백 최종평가로 우수과제 1년간 심화연구 지원
- (19년 실적) 종합솔루션 구현과 실증을 위한 시나리오·실현가능성 평가, 솔루션 제공 및 사회(공공복지)·경제(기술이전) 가치 평가 등

■ 글로벌 프론티어 지원

- ('20년 계획) 자산 DB화, 사업종료 후 관리·활용 실태조사, 공동성과발표회 개최('20.11월), 종료연구단 지원 등
- ('19년 실적) 연구단별 대표성과 발굴 및 성과 점검, 전담평가단의 대형연구단 전주기적 관리, 과학기술일자리진흥원 연계 기술사업화 지원 등

■ 양자컴퓨팅 기술개발

- ('20년 계획) '19년 선정과제의 계속지원 및 알고리즘 및 응용SW 개발(8개) 등 '20년 총 12개 신규과제 선정·지원
- ('19년 실적) 사업의 첫 해로, 핵심원천기술(5개), 유망기반기술(8개), 연구생태계 조성(1개) 등 총 14개 신규과제 선정·지원(60억 원)

■ 첨단사이언스교육허브(EDISON)

- ('20년 계획) 중앙센터-전문센터 연계 강화, 1단계 목표달성 여부 및 2단계 통합시스템 개발계획 평가를 통해 2단계 진행
- ('19년 실적) 계산과학공학포털 서비스 개발 및 고도화, 미들웨어 활용기술 개발을 통한 개방형 EDISON 환경 구축, 한국창의재단 학부생 연구프로그램(URP) 사업과 연계 추진 등

■ 미래선도기술개발사업(현안해결형)

- ('20년 계획) 리빙랩 운영을 통한 실용화 수준의 기술·제품·서비스 시스템 중점 개발, 수요기업 주도 시험 성능평가 수행 등
- ('19년 실적) 경쟁형 단계평가 추진(1단계 4개 → 2단계 2개 과제), 환경 및 먹거리 안전 분야 계속과제(2개) 지원 등

■ 인공지능 식별 추적시스템 구축

- ('20년 계획) 공항 출입국 관리 활용을 위한 얼굴인식, 위험·이상 상황탐지 AI 시스템 개발, 실증랩(상암 누리꿈스퀘어) 구축 등
- ('19년 실적) 법무부의 안면정보 활용 법률 검토('19.3월), 과기부-법무부 부처합동

계획 수립 및 업무 협약 체결('19.4월), 인공지능식별추적시스템 공모사업 및 실증랩 구축 추진('19.5~12월) 등

■ 인공지능 융합 선도프로젝트

- ('20년 계획) 인공지능융합연구센터 고유 역할 강화, AI 분야별 융합연구에 특화된 인재양성 추진, 11개의 신규과제 선정·지원 등
- ('19년 실적)'19년 첫 사업으로, 인공지능융합연구센터 2개, 인공지능전문기업육성 7개 신규과제 선정·지원

■ 5G기반 장비·단말부품 및 디바이스 기술개발('20년 신규)

- ('20년 계획) 사업 첫해로써, 5G 핵심부품·모듈 및 각종 스마트 디바이스 국산화 기술 개발 지원(11개 과제)

■ 나노융합 2020

- ('20년 계획) 사업 마지막해로, 연구성과-산업수요 연계한 R&BD 과제 계속 지원(17개), 공백기술·회피기술 탐색, 전문가(3~4인)의 사업화 주관기업 현장방문 및 기술자문 수행 강화
- ('19년 실적) R&BD 신규과제 8개 발굴, 산학연 기술교류회 개최, IP 전략 컨설팅을 통해 시장진입 및 사업화 기술보호 능력 확보 등

■ 범부처 전주기 신약개발

- ('20년 계획) 사업 마지막해로, 잔여 사업기간을 고려한 마일스톤 관리·평가, 신약 개발, 중개연구 등을 위한 워크숍 추진, 사업단 축적 노하우 등을 종합해 후속 국가연구 개발에 전수
- ('19년 실적) 신약 임상개발 컨설팅, 글로벌 라이선싱 및 Bridge지원, 글로벌 C&D 지원 등을 통해 사업 후반기 성과 제고

■ 포스트게놈 신산업육성을 위한 다부처 유전체 사업

- ('20년 계획) 코디네이터 중심 단일 사업단 체계 운영으로 다부처 협력연구 활성화, 다부처간 후속사업 기획방안 수립 등

- ('19년 실적) 국가생명연구자원정보센터(KOBIC)에 유전체데이터 73개 세트 등록, 개방형 온라인 강의 이러닝 시스템(KGOL) 구축 등

■ 사회문제해결형 기술개발

- ('20년 계획) 사업의 마지막 해로, 목표달성 가능성 등을 평가해 계속지원 여부 등을 판단, 컨설팅 방식의 성과 관리, 성과 활용 극대화를 위한 활용기관과의 지속적 협력 추진
- ('19년 실적) 고령자 삶의 질 향상을 위한 디지털 컴패니언 개발, 생활화학제품 관련 DB 구축(1만명 대상 소비자 인식 조사 추진) 등

■ 지역균형발전 SW·ICT융합 기술개발사업

- ('20년 계획) SOS랩 구축 및 대국민 SW서비스 개발·확산(신규 5, 계속 3), SW·ICT 기술개발 및 실증 적용 지원 등
- ('19년 실적) 주민참여 중심 지자체(대전, 경북, 전북)별 SOS랩 운영, 지역현안 해결을 위한 ICT융합 디바이스 개발(3개 과제) 등

■ ICT기반 사회문제해결기술개발(복지증진 기술개발)('20년 신규, 5년)

- ('20년 계획) ICT 사회이슈발굴단 발족('20년 상반기) 및 운영, AR기반 치매 선별용 후각 방향 시스템 개발 및 현장검증단 운영 등

■ 국민생활연구 선도사업

- ('20년 계획) 국민생활연구 선도사업(국가현안 2개 과제, 지역현안 4개 과제) 2차년도 과제 정상 추진
- ('19년 실적) 구제역, 실내공기품질 등 국가현안 과제와 도심 복합약취, 낙동강 녹조 등 지역현안에 대한 1차년도 과제 추진

■ 공공조달 연계형 국민생활연구 실증·사업화

- ('20년 계획) 기추진 과제 현장컨설팅, 리빙랩 운영, 시제품·서비스 및 인·허가 지원 등을 통해 사업성공률 제고

- ('19년 실적) 사업의 첫해로, 국민생활 관련기관 대상 수요조사를 통해 3개 분야 내의 선정, 조달청을 통해 수요기관 조달 추진 등

■ 미세먼지 범부처 프로젝트

- ('20년 계획) 사업의 마지막 해로, 4대 분야 기술개발 계속 지원 및 성과 심포지엄, 포럼, 국제워크숍, 성과공유회 등을 개최
- ('19년 실적) 미세먼지 4대 분야(발생·유입, 집진·저감, 측정·예보, 보호·대응)의 체계적 기술 개발을 통한 과학적 문제 해결

■ 실종아동 등 신원확인을 위한 복합인지기술개발

- ('20년 계획) 유전정보 기반 나이인식, 신원확인, 고효율 동선 추적, 트리오 가계 유전자 정보 데이터베이스 확충 등의 기술 고도화
- ('19년 실적) 복합인지 기반 통합관계 프로토타입 구축, 유전정보-얼굴 데이터베이스 구축, NCMEC 등 세계적 실종아동전문기관과 협력 등

■ 에너지·환경 통합형 학교 미세먼지관리기술

- ('20년 계획) 소음저감 필터 시험표준(KS제안) 개발, 리빙랩을 통한 다양한 공기환경 개선 시스템 적용, 실태조사 온라인 설문 등
- ('19년 실적) 학교 실내외 미세먼지 관련 포괄적 성분 분석(50개교 이상), 미세먼지 노출·건강영향평가 패널 구축(100명 이상), 법·제도 관련 해외사례 검토 등 추진

[중점사업] '19년 7,286억 원 → '20년 9,252억 원(27.0% 증가)

(단위: 백만원, %)

사업명	2019년	2020년	증감률
집단연구지원사업	221,025	278,910	26.2
미래유망융합기술파이오니어사업	3,795	1,265	△66.7
연구산업육성	6,950	5,734	△17.5
국가과학기술지식정보서비스	7,960	6,305	△20.8
전통문화융합연구개발사업	7,323	7,323	-
연구개발특구육성(R&D)	73,377	115,427	57.3
과학기술인력 육성지원 기반 구축	2,588	3,603	39.2

사 업 명	2019년	2020년	증감률
국제 연구인력 교류	20,320	24,495	20.5
글로벌 핵심인재 양성	7,900	22,760	188.1
현장맞춤형 이공계 인재양성 지원사업	8,932	6,771	△24.2
국가과학기술연구회 융합클러스터 사업	1,265	1,415	11.9
과학난제도전용합연구개발	-	2,500	순증
기초연구기반구축	10,732	11,482	7.0
전략형 국제공동연구	2,667	5,750	115.6
ICT융합 자율주행 기반구축	2,000	3,600	80.0
나노·소재기술개발사업	58,445	71,092	21.6
다부처공동기획연구 지원	1,500	1,500	-
미래뇌융합기술개발사업	3,575	4,722	32.1
수소에너지 혁신기술개발	10,240	11,767	14.9
에너지클라우드 기술개발	4,000	4,445	11.1
오믹스기반 정밀의료 기술개발사업	6,000	4,167	△30.6
인공지능 신약개발 플랫폼 구축	5,000	5,555	11.1
자율주행 솔루션 및 서비스플랫폼기술개발	3,800	4,000	5.3
혁신성장동력 실증·기획 지원	2,700	7,410	174.4
혁신신약파이프라인발굴사업	8,000	8,800	10.0
휴먼플러스 융합연구개발 챌린지사업	1,875	3,810	103.2
범부처전주기의료기기연구개발	-	29,599	순증
3D 생체조직칩 기반 신약개발 플랫폼 구축 기술개발	-	2,500	순증
혁신성장동력 프로젝트(인공지능)	26,037	27,233	4.6
미래소재디스커버리지원사업	35,025	51,175	46.1
ICT R&D 혁신 바우처	-	12,854	순증
치안현장 맞춤형 연구개발사업(폴리랩)	1,815	1,839	1.3
과학기술인문사회융합연구사업	4,084	3,917	△4.1
글로벌 프론티어 지원	75,301	52,648	△30.1
양자컴퓨팅 기술개발	6,000	8,434	40.6
첨단사이언스교육허브개발(EDISON)	4,310	4,904	13.8
미래선도기술개발사업(현안해결형)	2,000	1,666	△16.7
인공지능 식별 추적시스템 구축	8,000	10,553	31.9
인공지능 융합 선도프로젝트	4,997	12,813	156.4
5G기반 장비·단말부품 및 디바이스 기술개발	-	10,300	순증
나노융합2020	5,450	6,300	15.6
범부처전주기신약개발	9,549	500	△94.8

사업명	2019년	2020년	증감률
포스트게놈신산업육성을 위한 다부처 유전체 사업	14,790	15,884	7.4
사회문제 해결형 기술개발사업	3,691	2,188	△40.7
지역균형발전 SW·ICT융합 기술개발사업	2,700	9,125	238.0
ICT기반사회문제해결기술개발(복지증진 기술개발)	-	2,050	순증
국민생활연구 선도사업	16,000	16,000	-
공공조달 연계 국민생활연구 실증·사업화	2,500	3,714	48.6
미세먼지 범부처 프로젝트	15,824	5,276	△66.7
실종아동등 신원확인을 위한 복합인지기술개발	4,500	3,600	△20.0
에너지·환경 통합형 학교 미세먼지관리기술개발	4,015	5,500	37.0
합 계	728,557	925,180	27.0

[관련사업] '19년 7,907억 원 → '20년 7,212억 원(8.8% 감소)

(단위: 백만원, %)

사업명	2019년	2020년	증감률
데이터 바꾸쳐 지원	59,356	57,481	△3.2
SW컴퓨팅산업원천기술개발	106,546	96,316	△9.6
뇌 과학 원천기술개발사업	51,591	47,831	△7.3
무인이동체 미래선도 핵심기술 개발	7,280	3,000	△58.8
바이오·의료기술개발사업	269,728	268,410	△0.5
바이오닉암메카트로닉스융합기술개발	6,150	1,370	△77.7
차세대정보·컴퓨팅기술개발사업	13,430	14,416	7.3
ICT 유망기술개발지원	5,505	-	순감
ICT융합 Industry4.0S(조선해양)	16,575	3,784	△77.2
디지털콘텐츠 원천기술개발	12,624	4,500	△64.4
민군기술협력원천기술개발사업	800	-	순감
방송통신산업기술개발	90,167	94,461	4.8
스마트미디어기술개발사업화(R&D)	5,970	5,914	△0.9
스포츠과학융합연구사업	1,247	367	△70.6
웨어블스마트 디바이스부품 소재사업	6,758	5,132	△24.1
첨단융복합콘텐츠 기술개발	26,422	10,526	△60.2
국민안전 감시 및 대응 무인항공기 융합시스템 구축 및 운용	10,934	4,188	△61.7
기후변화대응기술개발사업	99,598	103,533	4.0
합 계	790,681	721,229	△8.8

행정안전부

- ◆ (사업수) 1개(중점사업 1개)
- ◆ (투자액) '19년 36억 원 → '20년 46억 원(27.8% 증가)

■ 첨단 정보기술 활용 공공서비스 촉진

- ('20년 계획) 첨단 정보기술 활용 공공서비스 추진과제 확정 및 추진(신규 3건, 확산 2건), '18~'19년 추진과제 성과측정·분석 및 환류
- ('19년 실적) AI 챗봇 서비스 확대를 통한 편리한 민원서비스 제공, ICT 기술을 통한 행정효율 향상 및 범죄 피해자 보호서비스 개선 등

[중점사업] '19년 36억 원 → '20년 46억 원(27.8% 증가)

(단위: 백만원, %)

사업명	2019년	2020년	증감률
첨단 정보기술 활용 공공서비스 촉진	3,600	4,600	27.8
합 계	3,600	4,600	27.8

문화체육관광부

- ◆ (사업수) 2개(관련사업 2개)
- ◆ (투자액) '19년 485억 원 → '20년 568억 원(17.1% 증가)

[관련사업] '19년 485억 원 → '20년 568억 원(17.1% 증가)

(단위: 백만원, %)

사업명	2019년	2020년	증감률
문화기술연구개발사업	47,897	56,807	18.6
스포츠산업기술기반조성(R&D)	600	-	순감
합 계	48,497	56,807	17.1

- ◆ (사업수) 9개(중점사업 8개, 관련사업 1개)
- ◆ (투자액) '19년 1,293억 원 → '20년 954억 원(26.3% 감소)

■ 기술사업화지원사업

- ('20년 계획) 18년 사업일몰로 1개 계속과제에 한해 2억 원 지원, 20년말까지 25개 과제에 대한 최종평가로 사업 종료
- ('19년 실적) 계속과제로 현장연계 제품사업화에 63억 원을, 민간연구지원 조직육성에 8억 원을 각각 지원

■ 농생명산업기술개발

- ('20년 계획) 생명자원 생산·관리기술 개발을 위해 74억 원(계속과제 25개), 생명자원 부가가치 제고를 위해 74억 원(계속과제 27개) 지원
- ('19년 실적) 비병원성 균주 활용 시들음병 억제 기술개발, 농생명 소재 활용 혈행개선 제품 개발 등에 8.3억 원 신규 지원

■ 농식품 벤처기업 바우처 지원

- ('20년 계획) 3년 사업('18~'20)의 마지막해로서, 성장잠재력이 있으나 R&D 역량이 부족한 기업 대상 11개 계속과제에 10억 원 지원
- ('19년 실적) 연구역량 부족 창업예정자에게 창업, 시장진입 유도, 사업화 지원 등의 R&BD 지원(7개 과제), 벤처·창업기업 초기사업 아이템의 보완·성장을 위한 기술개발 지원(16개 과제)

■ 가축질병대응기술개발

- ('20년 계획) AI·구제역 진단·예방, 검역·방역 기술개발 계속지원, 동물감염병 예방 백신, 가상방역훈련 체험 콘텐츠 개발 등 지원
- ('19년 실적) AI·구제역 관련 사전예방, 신속차단, 안전관리 시스템, 방역, 사후관리 지원(약 72억 원), 동물의약품(23.36억 원), 사회문제해결형감염병대응(27.35억 원), 범부처 방역연계 감염병 공동연구개발(9억 원) 등

■ 농촌현안해결리빙랩프로젝트('20년 신규, 3년)

- ('20년 계획) 농업·농촌현장과 국민생활에 영향을 주는 사회문제를 국민참여형 R&D로 해결(야생조수류 피해방지 등 신규과제 4개 지원)

■ 첨단생산기술개발

- ('20년 계획) 빅데이터 활용 돼지도체 화상경매 등 첨단 ICT 활용 신규과제 지원 및 ICT 융복합 시스템 개발, 첨단농기계, 사막형 스마트팜패키지 등 58개 계속과제 (210억 원) 지원
- ('19년 실적) 첨단 농업기계 시스템 및 농업생산 자동화 기술개발, 농업기계화·품질 고도화를 위한 논·밭농업기계 기술개발을 집중지원

■ Golden Seed 프로젝트

- ('20년 계획) 국제박람회와 K-Seed Day 개최, GSP 품종 홍보동영상 및 e-book 제작, 유관기관 수출지원사업 참여 확대, 시험·전시포 활용 바이어 초청 생육평가회 확대('19년 1개국 4회 → '20년 3개국 8회) 등
- ('19년 실적) 국제박람회(중국, 우즈베키스탄, 스페인, 카자흐스탄) 참여, 참여기업 유관기관 수출지원 8개 사업 참여, BuyKOREA(코트라 온라인몰) 40개 기업 112개 품종 등록 및 온라인 마케팅 지원 등

■ 포스트게놈 신산업 육성을 위한 다부처 유전체 사업

- ('20년 계획) 사업화 진입을 위한 전략분야 미생물의 핵심 유전체정보 생산 등 지원 (18개 과제, 51억 원), 동·식물 병원성 미생물 작용 매커니즘 규명 및 질병 방제 기술 개발 등 지원(4개 과제, 11억 원)
- ('19년 실적) 식품분야 미생물 생물자원 확보 등 산업화지원미생물유전체전략연구 (51.5억 원), 미생물-숙주 상호작용연구 기반 동식물 병원균 제어 등 부처공동연구 (Host-Microbe Interaction) 지원(11억 원)

[중점사업] '19년 1,083억 원 → '20년 886억 원(18.2% 감소)

(단위: 백만원, %)

사업명	2019년	2020년	증감률
기술사업화지원사업	7,181	205	△97.1
농생명산업기술 개발사업	23,903	15,249	△36.2
농식품 벤처기업 바우처 지원	2,600	1,000	△61.5
가축질병대응기술개발사업	13,581	15,419	13.5
농촌현안해결리빙랩프로젝트	-	1,500	순증
첨단 생산기술 개발사업	28,505	23,547	△17.4
Golden Seed 프로젝트	26,199	25,280	△3.5
포스트게놈신산업육성을 위한 다부처 유전체 사업	6,355	6,446	1.4
합 계	108,324	88,646	△18.2

[관련사업] '19년 210억 원 → '20년 67억 원(68.0% 감소)

(단위: 백만원, %)

사업명	2019년	2020년	증감률
고부가가치식품기술개발사업	20,981	6,708	△68.0
합 계	20,981	6,708	△68.0

산업통상자원부

- ◆ (사업수) 18개(중점사업 14개, 관련사업 4개)
- ◆ (투자액) '19년 8,551억 원 → '20년 1조 1,220억 원(31.2% 증가)

■ 산업혁신인재성장지원

- ('20년 계획) 미래형자동차 등 22개 분야 계속과제와 이차전지 등 12개 분야의 신규 과제 추진, 해외 우수기관과 공동 프로젝트를 수행할 석박사급 연구자 104명 파견 등
- ('19년 실적) 로봇 등 21개 업종 및 스마트디지털 엔지니어링 등 9개 공공분야에서 석박사급 전문인력을 양성 및 교육(3,000명), 해외 연구기관에 국내 석박사급 연구자 108명 파견 등

■ 창의융합형공학인재양성지원

- ('20년 계획) 미래신산업 특화교육 확대(200개 이상), 교수 역량강화 아카데미(20회 350명 이상), 창의문제 해결·융합 역량 강화를 위한 EPIC 특화센터 지정(30개), 공학페스티벌(11월), 공학교육 혁신포럼('20년下) 등
- ('19년 실적) 'AI시대 대학교육 방향' 총장·정부·산업계 간담회('19.5월), 2019 공학페스티벌 2만명 참관('19.11월) 등 혁신성과 공유 확산

■ 규제샌드박스 융합신제품 인증기술개발사업('20년 신규, 5년)

- ('20년 계획) 규제샌드박스 허가품목 대상 기준 제·개정을 위한 기술기준 개발(15건), 인증기준개발·검증 지원(15건), 중소·중견 기업 제품 성능·안정성 개선 연구지원(12건) 등

■ 상용차산업 혁신성장 및 미래형 산업생태계 구축('20년 신규, 5년)

- ('20년 계획) 상용차 점프-업 융복합 기술개발(6개 과제), 기술개발 성과 극대화를 위한 Co-Lab 기반 조성, 테크비즈 프라자 구축 및 점프-업 기업육성 사업 추진 등

■ 산업융합기반구축

- ('20년 계획) 생활안전분야의 스마트안전 리빙랩 평가장비 3종 구축 및 표준 가이드라인 고도화, 융합신제품·서비스 소프트웨어 테스트 통합 시스템 적용분야 확대 등
- ('19년 실적) 화성시 스마트 안전 리빙랩 개소('19.12월), 스마트 안전 리빙랩 성과확산 정책토론회 개최('19.10월), 융합신제품 신규 서비스디자인 기반 비즈니스 모델 개발 지원

■ 산업소재핵심기술개발

- ('20년 계획) 대표적 소재부품산업 5개 분야(화학공정소재, 금속재료, 섬유의료, 세라믹, 첨단 뿌리산업) 핵심원천기술개발 지원(계속과제 117개)
- ('19년 실적) 수송기기용 플라스틱 소재·공정기술 등 화학공정소재 분야 신규(7개) 및 계속과제(42개) 지원, 공정단축형 주조-암출 복합 성형기술 등 첨단뿌리산업 분야 신규(11개) 및 계속과제(25개) 지원 등

■ 소재부품기술개발

- ('20년 계획) 소재·부품·장비 관련 수요산업 니즈, 상위정책, 기술수요 등을 연계한 100+α 핵심전략품목 개발을 지원하여 공급안정화 도모
- ('19년 실적) 제4차 소재·부품발전 기본계획, 소재부품장비 경쟁력강화대책 등을 수립하여, 신소재·부품 개발 지원 및 산업 경쟁력 강화

■ 나노융합 2020

- ('20년 계획) 20년 사업일몰로 인해 연구성과-산업수요 연계 R&BD 과제 17개, IP 전략 컨설팅 연계, 사업화 주관기관 현장방문 및 기술자문 등에 대하여 계속 지원
- ('19년 실적) 2019년 10대 나노기술에 2개(CNT 기반 디지털 엑스선 소스, 고굴절 프리즘 필름 코팅 상용화 기술) 선정, 나노융합기술 사업화 성공을 통해 2019년 정부투입 대비 8.5배의 높은 경제효과 달성

■ 로봇산업핵심기술개발

- ('20년 계획) 범부처 협력 로봇기술 활용 융합제품화 기술 개발, 핵심 부품 및 공통 활용 가능 S/W, 표준 기술 등 로봇 핵심공통 기반기술 개발 지원 등을 지원
- ('19년 실적) 지능형 로봇 기본계획 발표('19.8월), 과기부(AI)-산업부(로봇) 공동기획·평가 등을 통해 신규경진대회형 R&D 과제 착수

■ 범부처 전주기 신약개발

- ('20년 계획) 사업 후반부 성과 달성 및 성공적 마무리를 위한 마일스톤 관리·평가 및 중개연구 활성화를 위한 워크숍 추진 등
- ('19년 실적) 사업단 축적 노하우, 인적 네트워크, 해외기술이전 관련 네트워크 등을 총합, 산업계 확산 및 후속 연구개발 프로그램에 전수

■ 포스트게놈 신산업 육성을 위한 다부처 유전체 사업

- ('20년 계획) 장내 미생물 정보연계 만성질환 조기진단, 유전체 데이터 기반 인공지능 분석 산업 플랫폼 등을 통해 유전체 조기 상용화 모델 기술개발 및 인프라 구축
- ('19년 실적) 한국인 게놈지도 정보의 한국바이오안전성정보센터(KBCH) 정보시스템 이관 및 유전체 산학연 공개 활용 유도 등

■ 국민안전증진기술개발('19년 일몰)

- ('19년 실적) 성범죄예방 서비스디자인 등 계속과제 실증 및 사업화, 종료과제 4건에 대한 목표달성 및 성과활용 모니터링

■ 기술성과활용촉진

- ('20년 계획) 국가R&D 산출 기술의 이전·사업화를 위한 인프라 조성 및 미활용 공공 R&D성과물의 민간이전 및 추가 상용화 개발지원
- ('19년 실적) 대기업 미활용 기술의 적극 개방으로 대·중소동반 성장 협력체계 구축, 기술수요 발굴('10~'19년, 23,764건), 기술이전수익 2,570억 원, 투자유치 2,206억 원, 해외계약 3,443억 원 체결 등

■ 사업화연계 기술개발

- ('20년 계획) 사업일몰('20년)에 따른 기존사업의 안정적 종료 및 후속사업(예타)에 대한 체계적 준비, 후속사업 고려·적용가능 개선 사항을 반영하여 '20년 시범적으로 적용 추진(시행계획 반영)
- ('19년 실적) '19년 하반기 예타신청 신청 및 기술성평가 통과, '스마트 인명안전관리 시스템(코너스)' CES 2020 혁신상 수상 등

[중점사업] '19년 7,047억 원 → '20년 9,768억 원(38.6% 증가)

(단위: 백만원, %)

사업명	2019년	2020년	증감률
산업혁신인재성장지원	97,418	101,548	4.2
창의융합형공학인재양성지원	14,549	15,200	4.5
규제샌드박스 융합신제품 인증기술개발사업	-	4,260	순증
상용차산업 혁신성장 및 미래형 산업생태계 구축	-	11,408	순증
산업융합기반구축사업	3,800	2,126	△44.1
산업소재핵심기술개발	123,819	96,474	△22.1
소재부품기술개발	300,991	602,746	100.3
나노융합2020	6,327	5,700	△9.9
로봇산업핵심기술개발	82,158	77,471	△5.7
범부처전주기신약개발	9,549	500	△94.8

사 업 명	2019년	2020년	증감률
포스트게놈신산업육성을 위한 다부처 유전체 사업	5,725	5,496	△4.0
국민안전증진기술개발	533	-	순감
기술성과활용촉진	21,912	20,996	△4.2
사업화연계기술 개발사업	37,958	32,903	△13.3
합 계	704,739	976,828	38.6

[관련사업] '19년 1,504억 원 → '20년 1,451억 원(3.5% 감소)

(단위: 백만원, %)

사 업 명	2019년	2020년	증감률
나노융합산업핵심기술개발	23,092	18,977	△17.8
바이오산업핵심기술개발	59,315	88,217	48.7
스마트그리드 핵심기술개발	35,862	27,561	△23.1
전자시스템산업핵심기술개발사업	32,136	10,382	△67.7
합 계	150,405	145,137	△3.5

보건복지부

- ◆ (사업수) 6개(중점사업 3개 관련사업 3개)
- ◆ (투자액) '19년 1,090억 원 → '20년 888억 원(18.5% 감소)

■ 국가항암신약개발

- ('20년 계획) 항암신약 후보물질의 비임상·임상 개발(계속 9건) → 기술이전 계약 체결(2건), 2개 후보물질 동반진단 기술 개발, 위탁연구·생산기관 활용 극대화 등을 통한 생태계 활성화 추진
- ('19년 실적) 목표(1건) 대비 임상시험 진입 7건 초과 달성, 임상·비임상 위탁기관 32건 신규 계약, 국제 컨퍼런스 개최 2건 등

■ 범부처 전주기 신약개발

- ('20년 계획) 20년 사업일몰에 따라 최종평가 진행 및 기술이전 단계별 성과관리 추진, 자산의 DB화 등을 통한 사업후속 관리방안 수립, 사업단별 성과대전 개최 및 신약개발 백서 등 추진

- ('19년 실적) 기술이전 10건(글로벌 4건, 국내 6건)을 통해 정액기술료 2.29조 원 달성, 미국 FDA 신약허가(1건, SK바이오팜의 뇌전증 치료제, '19.11월) 및 희귀의약품 지정(1건, 대웅제약의 폐섬유증 치료제, '19.8월) 등

■ 포스트게놈 신산업 육성을 위한 다부처 유전체 사업

- ('20년 계획) 오믹스 활용 진단·치료법 임상검증, 인허가를 위한 실용화 임상유전체 연구분야 중점 지원, 국가생명 연구자원정보센터(KOBIC)와의 정보연계 지속 추진
- ('19년 실적) 임상유전체 생명정보시스템(CODA)을 통해 '19년까지 48,012건의 유전체 정보 수집 및 72,000명의 한국인 칩 기반 유전체정보 생산과 확산·산업화를 위한 유전체 정보 공개

[중점사업] '19년 339억 원 → '20년 219억 원(35.4% 감소)

(단위: 백만원, %)

사업명	2019년	2020년	증감률
국가항암신약개발사업	14,224	12,156	△14.5
범부처전주기신약개발	9,549	500	△94.8
포스트게놈신산업육성을 위한 다부처 유전체 사업	10,100	9,232	△8.6
합 계	33,873	21,888	△35.4

[관련사업] '19년 751억 원 → '20년 669억 원(10.9% 감소)

(단위: 백만원, %)

사업명	2019년	2020년	증감률
첨단의료기술개발사업	52,164	50,588	△3.0
감염병위기대응기술개발	22,645	16,192	△28.5
사회서비스R&D	311	150	△51.8
합 계	75,120	66,930	△10.9

- ◆ (사업수) 9개(중점사업 5개, 관련사업 4개)
- ◆ (투자액) '19년 539억 원 → '20년 443억 원(17.7% 감소)

■ **글로벌탑 환경기술개발**

- ('20년 계획) IT, 사물인터넷, 빅데이터, 드론을 활용해 4차 산업혁명에 대응 가능한 상수도, 하폐수, 측정기기 등 기술개발 추진
- ('19년 실적) IoT와 연동한 상수관망 모니터링 시스템 등의 실용·실증 연구를 통해 환경기술 수출사업화 확대

■ **폐자원에너지화기술개발**

- ('20년 계획) 20년 사업 일몰에 따라 부산물 에너지 이용방안조사, 액화·탈산소 공정의 경제성 분석, 개발기술의 활용방안 등 마련
- ('19년 실적) 유기성 폐자원에너지화 기존과제의 지속적인 지원으로, 세계최초 폐목재 활용 바이오부탄의 상업적 생산기술개발에 성공

■ **CO₂ 저장 환경관리기술개발**

- ('20년 계획) CO₂모델링, 예측, 누출감지, 자동 모니터링 등 CO₂저장 환경기술 완성도 제고 및 표준화 방안 마련, CCS 환경관리기술 표준화 등 CO₂저장 환경관리 기반 구축 추진
- ('19년 실적) '21년 다부처 공동사업인 CCUS(CO₂포집·활용·저장) 사업과 본 CCS사업(CO₂포집·저장)을 상호 호환하여 진행

■ **지능형 도시수자원 관리사업**

- ('20년 계획) 도시 내 수자원 가용량 분석 및 예측 기술 개발, 스마트시티와 연계한 지능형 수자원 관리기술 실증화를 위한 테스트베드 선정 및 실증계획 마련
- ('19년 실적) 물수요·물공급(SWG)·물순환(LID) 데이터 통합관리 초연결 플랫폼 기술 개발 및 표준화

■ 환경산업 선진화 기술개발

- ('20년 계획) 20년 사업 일몰에 따라 계속과제 Bridge 프로그램(살균수 시스템)과 리빙랩(버스정류장 미세먼지 저감)에 대한 현장점검 추진
- ('19년 실적) 자연환기용 나노파이버 필터, 생물독성 오염물질 제어, 유해화학물질 저감 소재 개발 등 Bridge 프로그램 5개 과제, 리빙랩(버스정류장 미세먼지 저감) 1개 과제 계속 지원

[중점사업] '19년 117억 원 → '20년 96억 원(18.0% 감소)

(단위: 백만원, %)

사업명	2019년	2020년	증감률
글로벌탑 환경기술개발사업	4,803	4,178	△13.0
폐자원에너지화기술개발사업	530	570	7.5
CO2 저장 환경관리기술개발사업	2,565	1,165	△54.6
지능형 도시수자원 관리사업	500	2,372	374.4
환경산업 선진화 기술개발사업	3,291	1,300	△60.5
합 계	11,689	9,585	△18.0

[관련사업] '19년 422억 원 → '20년 348억 원(17.6% 감소)

(단위: 백만원, %)

사업명	2019년	2020년	증감률
기후변화대응 환경기술개발사업	8,457	8,034	△5.0
생활공감환경보건 기술개발사업	15,404	11,628	△24.5
환경정책기반공공 기술개발사업	1,250	1,435	14.8
물관리연구사업	17,055	13,656	△19.9
합 계	42,166	34,753	△17.6

- ◆ (사업수) 10개(중점사업 3개, 관련사업 7개)
- ◆ (투자액) '19년 2,616억 원 → '20년 2,238억 원(14.4% 감소)

■ 혁신성장동력 프로젝트(스마트시티)

- ('20년 계획) 스마트시티 데이터허브 연동 시험, 대구시와 시흥시의 맞춤형 데이터 허브 구축 및 스마트시티 서비스 실증 추진
- ('19년 실적) 스마트시티 기반 단위기술 개발 및 실증도시 데이터허브 ISP 수립, 대구 시민 문제해결 시나리오 도출, 시흥시 포용적 성장을 위한 시나리오 도출 등

■ 교통물류연구

- ('20년 계획) 자율주행 교통안전관리 법제도 및 선진화 기술 개발, 대체 에너지 이용 교통기반 마련, AI·로봇 기술 활용 물류시스템 자동화 및 고도화 기술 개발
- ('19년 실적) 자율주행차 3대 핵심(주행·고장, 통신보안, 제어권전환) 안전성 평가 및 상용화 대비 기술 개발, 교통약자 이동편의증진 및 로봇 활용 물류환경 개선·자동화 기술 개발 투자 확대 등

■ 주거환경연구

- ('20년 계획) 건강관리 및 에너지 절약을 위한 미래형 주택, 다양한 주택수요 대응 중고층 모듈러 주택, 공동주택 리모델링을 위한 저비용·고효율 수직증축 리모델링, 빅데이터 주택 시장 분석 등
- ('19년 실적) 비용절감형 장수명 주택 실증단지(세종 행정중심복합도시 2-1생활권 M3블럭), 주택성능기준 확보 저층 조립식 주택 실증단지(천안 두정동 공동주택 1개동 40세대) 등 구축

[중점사업] '19년 836억 원 → '20년 802억 원(4.1% 감소)

(단위: 백만원, %)

사업명	2019년	2020년	증감률
혁신성장동력 프로젝트(스마트시티)	14,009	12,790	△8.7
교통물류연구	48,488	45,610	△5.9
주거환경연구사업	21,113	21,812	3.3
합 계	83,610	80,212	△4.1

[관련사업] '19년 1,780억 원 → '20년 1,436억 원(19.3% 감소)

(단위: 백만원, %)

사업명	2019년	2020년	증감률
도로기술연구	13,948	19,714	41.3
스마트 도로조명 플랫폼 개발 및 실증연구	1,200	1,700	41.7
국토공간정보연구사업	40,032	28,182	△29.6
무인비행체안전지원기술개발	7,925	5,150	△35.0
항공안전기술개발사업	28,480	10,717	△62.4
건설기술연구사업	51,506	38,506	△25.2
도시건축연구사업	34,864	39,617	13.6
합 계	177,955	143,586	△19.3

해양수산부

- ◆ (사업수) 23개(중점사업 2개, 관련사업 21개)
- ◆ (투자액) '19년 2,183억 원 → '20년 2,235억 원(2.4% 증가)

■ 미래해양산업기술개발('19년 일몰)

- ('19년 실적) 19년 사업 일몰에 따라 미래해양기술개발, 해양중소벤처지원, 해양수산 기술사업화지원을 계속 지원하여, 중소·중견기업의 R&D 성장기반 확대 및 고용 창출·창업활성화 제도 개선

■ 포스트게놈 신산업 육성을 위한 다부처 유전체 사업

- ('20년 계획) 해양수산물 33종 전장유전체 해독, 19건 유용유전자 확보, 34명 유전체 전문인력 양성 추진
- ('19년 실적) 단세포 홍조식물 유전체 Porphyridium 고도화, 울릉도 해양 박테리아에서 신규 생리활성물질 발견, 할로젠화효소 유전자 발굴, 해양 로티퍼 전체 유전체 서열 확보 등

[중점사업] '19년 172억 원 → '20년 39억 원(77.3% 감소)

(단위: 백만원, %)

사업명	2019년	2020년	증감률
미래해양산업기술개발사업	12,220	-	순감
포스트게놈신산업육성을 위한 다부처 유전체 사업	4,930	3,900	△20.9
합 계	17,150	3,900	△77.3

[관련사업] '19년 2,011억 원 → '20년 2,197억 원(9.2% 증가)

(단위: 백만원, %)

사업명	2019년	2020년	증감률
수산전문인력양성	2,789	5,775	107.1
해양수산생명공학기술개발사업	24,892	11,292	△54.6
해양청정에너지기술개발사업	18,320	17,948	△2.0
해양장비개발 및 인프라구축	32,735	19,195	△41.4
해양산업수요기반기술개발사업	4,500	12,684	181.9
해양장비 연구성과 활용촉진사업	2,000	6,200	210.0
IMO선박 국제규제 선도기술개발	6,714	12,672	88.7
LNG 벙커링 핵심기술 개발 및 체계구축사업	5,480	13,748	150.9
안전항 항만 구축 및 관리기술개발	4,370	7,523	72.2
해양과학조사 및 예보기술개발	19,855	25,042	26.1
스마트 항만 컨테이너 자동통합 검색 플랫폼 기술개발	-	5,500	순증
수소선박안전기준개발사업	-	3,737	순증
차세대 수산물 품질관리 및 검역시스템 구축사업	1,500	5,404	260.3
수산실용화기술개발사업	15,513	9,840	△36.6
차세대 안전복지형 어선개발사업	4,949	6,501	31.4
첨단항만물류기술개발	2,700	2,700	-
해양바이오전력소재개발 및 상용화 지원	4,980	8,352	67.7
해양안전 및 해양교통시설기술개발	43,878	19,949	△54.5
해양플라스틱 쓰레기 저감을 위한 기술개발사업	-	7,500	순증
선박배출 미세먼지 통합저감 기술개발사업	2,500	11,000	340.0
어업현장의 현안해결 지원사업	3,400	7,101	108.9
합 계	201,075	219,663	9.2

- ◆ (사업수) 5개(중점사업 5개)
- ◆ (투자액) '19년 2,615억 원 → '20년 2,674억 원(2.2% 증가)

■ 네트워크형 기술개발

- ('20년 계획) 과제에서 기업별로 현금계상기준 규정 개선, 협업특화 기관을 R&BD 직접 신청과제의 서면검토 서비스 제공기관으로 지정·운영, K-ESP 기관정보 활용 네트워크 구성 우선 매칭 등
- ('19년 실적) R&BD기준 최고경쟁률 달성(10.9: 1), 협력조건의 사전조율·계약체결을 통해 협력 리스크 최소화 및 계약문화 확산

■ 메이커 스페이스 구축

- ('20년 계획) 전국 공모를 통해 64개 메이커스페이스 추가 구축(일반랩 60개, 전문랩 4개), 지역·분야별 스페이스 연계·협력 강화
- ('19년 실적) 메이커 운동의 전국적 확산 및 지역주민 서비스 제공 확대를 위해 비수도권 선정 확대('18년 53.8% → '19년 66.7%)

■ 구매조건부신제품개발

- ('20년 계획) 민간부담금의 수요처 부담비중 상향(15%→20%)을 통한 수요처 구매 책임성 강화, 투자기업 출연금의 자율적 사용 환경 조성, 정책수요자 중심의 평가제도 개선
- ('19년 실적) 과제당 매출 32.8억 원, 수출 22.9억 원, 신규고용 11명 등 경제적 성과 달성 및 과제수행 전후 선진국 대비 기술격차 3년 단축 등 기술적 성과 달성, 투자 협력기금 6,900억 원 규모 조성 등

■ 산학연협력기술개발

- ('20년 계획) 20년 일몰에 따라 종료과제(성공과제) 대상 사업화 지원 유관기관의 프로그램 추천을 통해 사업화 성과 창출 유도
- ('19년 실적) 계속과제 관리를 강화하여 부적정 과제수행 사전 방지 및 원활한 과제 수행을 위한 잔여사업비 조기 집행 추진

■ 제품서비스기술개발('19년 일몰)

- ('19년 실적) 소 과제 전략분야 지원 및 BM-IP 융합형 패키지 도입을 통해 사업운영 전략성 강화, 기술성 중심에서 서비스 개발에 적합한 사업계획서로 개편('18년 기술성 중심 9개 목차 → '19년 BM 사업화 중심 4개 목차로 축소) 등 BM 평가관리체계 개선

[중점사업] '19년 2,615억 원 → '20년 2,674억 원(2.2% 증가)

(단위: 백만원, %)

사업명	2019년	2020년	증감률
네트워크형 기술개발	19,380	27,261	40.7
메이커스페이스구축사업	28,520	33,180	16.3
구매조건부신제품개발사업	158,851	202,515	27.5
산학연협력기술개발	42,614	4,425	△89.6
제품서비스기술개발사업	12,133	-	순감
합 계	261,498	267,381	2.2

식품의약품안전처

- ◆ (사업수) 2개(관련사업 2개)
- ◆ (투자액) '19년 55억 원 → '20년 40억 원(28.2% 감소)

[관련사업] '19년 55억 원 → '20년 40억 원(28.2% 감소)

(단위: 백만원, %)

사업명	2019년	2020년	증감률
안전성평가기술 개발연구 (한국인 임상시험·평가기반 구축 연구)	630	903	43.3
의료기기 등 안전관리 (미래 의료환경 대응 의료기기 평가기술 개발)	4,914	3,075	△37.4
합 계	5,544	3,978	△28.2

방위사업청

- ◆ (사업수) 2개(관련사업 2개)
- ◆ (투자액) '19년 671억 원 → '20년 681억 원(1.5% 증가)

[관련사업] '19년 671억 원 → '20년 681억 원(1.5% 증가)

(단위: 백만원, %)

사업명	2019년	2020년	증감률
신개념기술시범사업	6	299	4,883.3
민군기술협력사업	67,108	67,844	1.1
합 계	67,114	68,143	1.5

경찰청

- ◆ (사업수) 1개(중점사업 1개)
 - ◆ (투자액) '19년 18억 원 → '20년 22억 원(18.5% 증가)
- ※ 과기정통부·경찰청 공동사업으로, 주요 내용은 과기부 추진계획과 동일

[중점사업] '19년 18억 원 → '20년 22억 원(18.5% 증가)

(단위: 백만원, %)

사업명	2019년	2020년	증감률
치안현장 맞춤형 연구개발(플리스크랩) 시범사업	1,815	2,151	18.5
합 계	1,815	2,151	18.5

소방청

- ◆ (사업수) 1개(관련사업 1개)
- ◆ (투자액) '19년 12억 원 → '20년 5억 원(61.6% 감소)

[관련사업] '19년 12억 원 → '20년 5억 원(61.6% 감소)

(단위: 백만원, %)

사업명	2019년	2020년	증감률
국민안전감시 및 대응 무인항공기 융합시스템 구축	1,199	461	△61.6
합 계	1,199	461	△61.6

- ◆ (사업수) 12개(중점사업 12개)
- ◆ (투자액) '19년 1,183억 원 → '20년 1,475억 원(24.8% 증가)

■ 국제농업기술협력

- ('20년 계획) 국내외 현안이슈 대응, 글로벌 네트워크 참여, 해외 주요국과의 정책연계 협력 확대, 해외협력연구실 운영 등 추진
- ('19년 실적) 국제기구(9개 기관)와의 협력사업 및 해외주요국(15개 국) 협력사업 추진, 유엔기회변화협약 총회 등에서 세계농업쟁점 관련 기술적 대응 강화 등 추진

■ 해외농업기술개발지원

- ('20년 계획) 외교정책과 부합한 KOPIA사업 확대(신규개소 2개국), ODA 성과제고를 위한 부처간 협업 강화, 국제기구와의 협력 및 전문가 인력 교류 등을 추진
- ('19년 실적) 개도국을 지원하는 해외농업기술협력사업 추진, 한국 농업인재 양성 지원, 기후변화 대응 품종개발, 아프리카 농업생산성 증대기술, 국제농업기관 연계 사업 효율화 등을 추진

■ 농축산 미세먼지 발생실태 및 저감기술 개발

- ('20년 계획) 농업분야 미세먼지 대응 관련 암모니아 배출량실태조사 및 미세먼지 저감 기술개발, 농업생산에 따른 농작물 피해 영향평가 실시 등을 추진
- ('19년 실적) 농업활동의 미세먼지 발생특성 및 인벤토리 구축, 미세먼지 노출 농업인 건강검진 실시, 주거공간 배치 형태에 따른 식물 모델 설정(4종), 공기정화 식물, 실내 도입 식물별 선발(42종) 등

■ 농축산물 생산현장의 안전관리기술 개발

- ('20년 계획) 전국 농업용수 유해세균 오염실태 및 잔류농약변동 조사, 축산물 생산 위해요소 오염저감, 고추·복숭아 병해 현장진단 휴대장비 개발, 과수화상병 매몰지 안전관리 연구 등 추진
- ('19년 실적) 경기·강원 농업용수 위생지표세균 조사, 토양·농업용수의 잔류농약

다성분 분석법 설정, 항균활성 보유 유용균 목록화(55종), 식물바이러스 진단 기내 미니항체 생산기술 개발 등을 추진

■ 한국형 축산업을 위한 가축사육 신기술 개발

- ('20년 계획) 돈사 환경개선 미생물제재 냄새저감 평가시스템 구축, 축산 복합악취 모니터링 소프트웨어 개발, 밀폐형 퇴비화장치의 최적의 운영 조건 설정 등 추진
- ('19년 실적) 가축분뇨 배출원단위 재산정 추진, 가축분뇨 및 농업 분야 재활용 자원의 통합협기소화 기술 개발 등

■ 농업기후변화 대응체계 구축('19년 일몰)

- ('19년 실적) 농업분야 기후변화대응기술개발을 비롯하여 농업시설 효율화를 통한 에너지 절감 및 농업분야의 기후변화 실태·취약성 평가 등을 통해 기후변화에 효과적으로 대응하는 농업 생산기술 개발

■ 신농업기후변화 대응체계 구축('20년 신규, 8년)

- ('20년 계획) 농업분야에서 기후변화의 효과적 대응을 위해 농업 생산성 변동예측 및 평가기술 개발, 기후적응형 농축산 재배·사양기술 개발, 농업 기상재해 피해저감 기술개발, 기후변화 완화 및 저탄소 농업기술 개발 등을 추진

■ 차세대바이오그린21

- ('20년 계획) 농생물 자원 활용 유전체 해독 및 생물정보 활용 강화, 시스템·합성생물 및 생물정보 네트워크 분석 활용기술 개발, 농축산업 고부가 창출을 위한 식의약·산업 소재화 기술 개발 등
- ('19년 실적) 농생물 유전체 정보의 농업적 활용 확대, 새로운 육종기술 도입 생명공학 작물 연구, 농작물 분자유종 기반 고도화, 농림축산식품 바이오정보 고도화 등 추진

■ 미생물 활용 농업환경문제 개선기술 개발('20년 신규, 5년)

- ('20년 계획) 농업용 폐플라스틱 분해 핵심 미생물 선발·활용 기술 개발, 군집미생물 활용 잔류농약 분해 미생물 조합 구축, 국내 농산물 유래 효소자원 확보 및 실용화 기술 개발 등 추진

■ 첨단기술 융복합 차세대 스마트팜 기술개발

- ('20년 계획) 스마트팜 ICT기기 부품 호환성 증진을 위한 표준화 확대 및 고도화, 토마토·딸기 병해 판별 및 검출성능 향상(75%→90%), 농업용 로봇 적용을 위한 운용 및 관리 가이드라인 제시 등
- ('19년 실적) 정밀생육관리기술 고도화·현장실증 등을 통해 지능형 농업 생산성 향상 기술 개발, 사막형 스파트팜 패키지 기술 개발 등

■ 무인 이동체(드론) 활용 농경지 관측과 현장적용 기술개발

- ('20년 계획) 수급민감 농작물 농업관측 정보생산·DB 구축(작물 3개), 식량·동계작물 및 채소 대상 무인기 활용 정보생산 기술 개발 등
- ('19년 실적) 수급민감 채소 분석정보 생산 및 정책·실무부서 제공, 무인기 영상-작물 모형 연계 농업인 농작업 의사결정 지원 등

■ 과수화상병 등 현안문제 병해충 피해경감기술 개발('20년 신규, 5년)

- ('20년 계획) 과수화상병 관련 생물학적 특성 구명 및 방제, 확산방지 등의 기술개발 지원, 국가관리 바이러스 분포조사 및 관리 매뉴얼 개발 등 추진

[중점사업] '19년 1,183억 원 → '20년 1,475억 원(24.8% 증가)

(단위: 백만원, %)

사업명	2019년	2020년	증감률
국제농업기술협력	3,317	3,323	0.2
해외농업기술개발지원	21,114	23,240	10.1
농축산 미세먼지 발생실태 및 저감기술 개발	4,312	7,612	76.5
농축산물 생산현장의 안전관리기술 개발	4,000	4,000	0.0
한국형 축산업을 위한 가축사육 신기술 개발 (축산시설 환경 개선 기술 개발)	2,200	2,200	-
농업기후변화 대응체계 구축	17,445	-	순감
신농업기후변화 대응체계 구축	-	23,500	순증
차세대바이오그린21	53,686	53,757	0.1
미생물 활용 농업환경문제 개선기술 개발	-	5,300	순증
첨단기술 융복합 차세대 스마트팜 기술개발	9,200	16,817	82.8
무인이동체(드론)활용 농경지관측과 현장적용 기술개발	3,000	3,000	-
과수화상병 등 현안문제 병해충 피해경감기술 개발	-	4,800	순증
합 계	118,274	147,549	24.8

특허청

- ◆ (사업수) 1개(중점사업 1개)
- ◆ (투자액) '19년 212억 원 → '20년 319억 원(50.7% 증가)

■ IP-R&D 전략 지원

- ('20년 계획) 소재·부품·장비 분야의 IP-R&D 확대, 특허·디자인·브랜드 종합전략 및 제품-서비스 융합 IP 전략 지원 확대, 다수 기업의 공통 애로기술에 대한 기업群 공통핵심기술 IP-R&D 지원
- ('19년 실적) 부처 협업을 통한 R&D 성과 제고 및 IP-R&D 확산 및 혁신성장동력 분야 중심 IP-R&D 고도화, 지적권 전략을 통한 일본 수출규제 극복 지원, IP-R&D 확산 인프라 구축 등 추진

[중점사업] '19년 212억 원 → '20년 319억 원(50.7% 증가)

(단위: 백만원, %)

사업명	2019년	2020년	증감률
IP-R&D 전략지원 사업	21,200	31,944	50.7
합 계	21,200	31,944	50.7

기상청

- ◆ (사업수) 4개(관련사업 4개)
- ◆ (투자액) '19년 145억 원 → '20년 134억 원(7.9% 감소)

[관련사업] '19년 145억 원 → '20년 134억 원(7.9% 감소)

(단위: 백만원, %)

사업명	2019년	2020년	증감률
예보기술 지원 및 활용연구	1,724	2,876	66.8
기상·지진 See-At기술개발연구(기후과학기술)	4,585	4,585	-
기상·지진 See-At기술개발연구(지진화산기술)	7,016	4,578	△34.7
연직바람 관측장비 융합기술개발	1,195	1,339	12.1
합 계	14,520	13,378	△7.9

융합 메가트렌드 선정 프로세스

1. 개요

- 국내외 전문기관(국제기구, 컨설팅 기관, 연구원 등)에서 발간한 37개 보고서의 내용을 분석하여 융합기술과 연관된 세부 트렌드를 정리한 뒤 6개의 사회 트렌드와 4개의 기술 트렌드로 구성
- 또한 2020년에 수행된 NTIS 연구개발 과제들을 분석하여 사회적 이슈에 대응하는 융합연구테마를 도출
- 이러한 과정으로 도출된 사회·기술 트렌드와 융합연구테마는 총 6차례 편찬위원회의를 거쳐 범위, 지속성, 융합성, 화제성 등을 전문가의 시각으로 종합적으로 평가·조정하여 최종 선정

2. 사회·기술 트렌드

■ 기관(국제기구, 컨설팅*, 연구원, NGO)·지역별(미국, 유럽, 일본, 국내 등)로 대표적인 조사분석 전문 기관 발간자료 수집(총 37개: 국내 10개, 국외 27개)**

* Vault 기준 과학기술 관련 상위 10개 컨설팅 기관 중 7곳의 보고서를 포함하는 등 국내외 공신력 있는 조사 분석 기관의 정책 및 트렌드 보고서를 최대한 참고

** 36개는 2020년 이후에 발간, 1개는 2019년 발간

- 국내는 KDB 미래전략연구소, 한국과학기술기획평가원(KISTEP), 과학기술정책연구원(STEPI) 등 정부기관 및 연구기관과 딜로이트, 현대경제연구원 등 민간연구기관의 트렌드 분석자료를 조사·분석
- 국외는 OECD, NATO, EU 등 국제기구 및 정부기관과 맥킨지(McKinsey & Company), 가트너(Gartner), 프라이스워터하우스쿠퍼스(PwC) 등 컨설팅 및 시장분석 기관의 트렌드 분석자료를 조사·분석

번호	발간물	발행처	년도
1	Disruptive Technologies for 2021 and Beyond	NTT	2021
2	The Next Normal Arrives: Trends that Will Define 2021 and Beyond	McKinsey	2021
3	Top Strategic Technology Trends for 2021	Gartner	2020
4	Tech Trends 2021	Deloitte	2020
5	Critical External Drivers Shaping Global IT and Business Planning 2021	IDC	2020
6	Foresight 2021: Top Emerging Technologies to Watch	Lux Research	2020
7	2020 Tech Trends Report	Future Today Institute	2020
8	IT Industry Outlook 2021	CompTIA	2020
9	Science & Technology Trends 2020–2040	NATO	2020
10	Ten Technology Trends Moving into 2021	Bain & Company	2020
11	Tech Trends 2021	Accenture	2020
12	Technology Vision 2020	Accenture	2020
13	FutureScape: Worldwide IT Industry 2021 Predictions	IDC	2020
14	OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2021	OECD	2020
15	Global Trends 2020	Ipsos	2020
16	Megatrends 2020 and Beyond	EY	2020
17	Top Risks and Megatrends 2020	airmic	2020
18	Global Trends to 2030 Challenges and Choices for Europe	ESPAS	2019
19	President-Elect Biden's Agenda on Technology and Innovation Policy	ITIF	2020
20	Megatrends in a Post-COVID World	Applied Value Group	2020
21	A new ERA for Research and Innovation	EU	2020
22	COVID-19 Induced Business Trends: Preparing for the New Normal	Deloitte	2020
23	2030 Thematic Roadmap: 150 Trends	Barclays	2020
24	Navigating the Rising Tide of Uncertainty	PwC	2020
25	Shaping the Trends of Our Time	UN	2020
26	글로벌 트렌드로 살펴본 '다가올 미래'	IITP	2020
27	포스트 코로나 뉴노멀 2.0 시대의 환경변화	KDB미래전략연구소	2020
28	COVID-19 이후를 관통할 핵심 이슈 5가지	딜로이트	2020
29	디지털 전환과 혁신을 이끌 메가테크놀로지	딜로이트	2020
30	2021년 비즈니스 트렌드(RESTART) 선정	우리금융경영연구소	2020
31	2021년 한국 경제의 10대 키워드	현대경제연구원	2021
32	포스트 코로나 시대의 미래전망 및 유망기술	KISTEP	2020
33	미래유망기술선정에 관한 연구: 초연결, 초지능 시대를 대비하는 미래유망기술	KISTEP	2020
34	STEPI Outlook 2021	STEPI	2020
35	대한민국 과학기술 미래전략 2045	STEPI	2020
36	10 Breakthrough Technologies 2020	MIT	2020
37	Top 10 Emerging Technologies 2020	WEF	2020

■ 자료별 리뷰 및 분석

- 총 37개 전문기관 보고서 기반 문헌 연구를 통해 세부 트렌드 추출
- 세부 트렌드 정리: 융합기술과 관련된 트렌드를 추출하고 레벨링을 통해 트렌드 간 층위 조정
 - 1단계: 과학·기술과의 연관성이 높은 348개 세부 트렌드 도출

세부 트렌드(예시)	과학기술과의 연관성
코로나-19로 인해 가속화된 시와 머신러닝 및 디지털화(헬스케어의 원격화 등)	○
행동인터넷(Internet of Behaviors)으로 인한 개인정보 수집 확대 및 그로 인한 개인 행동 영향 전망	○
불확실성 증가로 조직의 전략 톨로씨의 AI, 고급 데이터 분석, 자동화 플랫폼 활용	○
기업의 플라스틱 재활용을 통해 부가가치를 창출, 순환경제를 작동, 환경오염을 개선하려는 추세 강화	○
코로나-19 이후 재정문제 해결의 중요성 증대	X
탈세계화와 지역화 추세 강화	X

- 2단계: 정리된 세부 트렌드에서 내용이 미래나 해외에 치중된 항목은 삭제하고, 융합 기술과 연관된 항목을 중심으로 201개 융합 세부 트렌드 추출

세부 트렌드(예시)	국내 관련	2020년 관련	융합기술과의 연관성
대규모 생물학적 문제를 해결하기 위한 디지털 역량 바이오인 포매틱스의 성장	○	○	○
AI, 데이터분석, 자동화, 센서 등 기술 발전으로 자율주행차의 안전성과 효율성의 개선	○	○	○
IoT, 모바일 기기 등으로부터 얻은 데이터를 머신러닝, 시로 분석하고, 자동화로 유연한 의사결정과 최적화하는 시대 도래	○	○	○
한국의 대규모 감염진단키트, 자가격리 제도 등 전염병대비 (국내외 차원의 의료시스템 구축)	○	○	○
온라인 쇼핑 및 디지털 서비스 컨설팅 제공의 확대	○	○	△
우주 탐구 확대(우주쓰레기, 우주 인터넷 등)	X	X	○
미국, 중국, 러시아, 영국, 프랑스, 인도 등 초음속무기시스템 (HWS) 연구개발 및 테스트 추진	X	△	○
차세대 양자 기술이 적용된 저전력, 소형, 분산형 인공위성용 양자센서 20년 뒤 상용화 전망	△	X	○
조직, 세포, 분자 구성물을 조작하여 인간의 기능이나 형태를 건강을 위해 증강하는 바이오 인간 증강 기술(BHET) 개발 활성화	△	X	○

■ 사회 트렌드 도출

- 1단계: 201개 융합 세부 트렌드를 사회적 관점에서 클러스터링하여 12개 사회 이슈로 구성
- 2단계: 12개 사회 이슈를 다시 메가트렌드 관점에서 클러스터링하여 6대 사회 트렌드로 최종 도출

융합 세부 트렌드(201개)	사회이슈(12개)	사회 트렌드(6대)
코로나-19로 인해 생물학과 생명공학의 투자 증대 의료 국제 공조 확대, 한국산 마스크 및 진단키트로 인한 위상 강화 등	① 감염병	코로나-19와 비대면 사회 부상
-	② 원격화 서비스 수요 증대	
원격기반 지식 근로자 근무 및 원격기계 작동 보편화 생체인식기술에 기반한 비접촉 제품과 서비스의 공급의 확대	③ 질병 및 노환	고령화와 저출산 가속화
-	④ 맞춤형 서비스 수요 증가	
고령화에 따른 의료기술 발전으로 의료비용 절감 및 맞춤형 의료 성장 의료 및 바이오기술의 발전으로 인간 기대수명 증가	⑤ 교통 문제	수도권 거대화
-	⑥ 개인정보관련 데이터 증가	
스마트폰으로 수집된 데이터 기반으로 운전습관연계보험 시장 성장 MZ 세대의 구매력 증대에 따라 데이터 분석 기반 맞춤형 서비스 확대	⑦ 과학·기술·산업 데이터 증가	디지털 사회로의 전환 가속
-	⑧ 가상현실서비스 수요 증가	
개인 맞춤형 라스트마일 모빌리티, 통합교통서비스(MaaS) 등 디지털 트윈 컴퓨팅(DTC)과 교통 혼잡도 등에 예측적 분석 활용	⑨ 연결성 확대	
-	⑩ 기술 위협	
행동인터넷으로 인한 개인정보 수집 확대 및 그에 따른 영향 전망 활용가능한 개인정보가 방출되기 시작(디지털 방출)	⑪ 환경 파괴	환경파괴 및 기후위기 대응 본격화
-	⑫ 기후 변화	
대기업의 스마트 팜 등 농업 분야 진출 확대 추세 실시간 스트리밍 모니터링과 지능형 데이터 분석에 기반한 시스템 및 기기 이상 징후를 예측하는 기술(스마트팩토리에 필요) 개발		
-		
실감형(AR/VR) 교육을 위한 가상·혼합현실기술, 맞춤형(AI) 교육 페이스북 디지털 국제 화폐 Libra 공개, 중국 정부 디지털 위안화 개발 발표 등 디지털 화폐, 암호화폐 개발 가속화		
-		
클라우드 기반의 조직 자동화 및 효율성 제고 대규모 비용에도 불구하고 클라우드 플랫폼으로 기반을 이전하는 추세		
-		
코로나19가 초래한 사이버 범죄 증가와 기업에 특화된 사이버 보안 기술 데이터 기술의 발전으로 페이크뉴스 등 사이버 범죄가 증가하는 추세		
-		
기업의 플라스틱 재활용을 통해 부가가치를 창출 등 환경오염 개선 환경오염을 해결하기 위한 폐기물 전주기적 관리 및 대체 신소재 개발		
-		
전세계적으로 배터리, CCS, 전기차에 대한 투자 확대로 기후변화 대응 기후변화로 탈탄소화, 탄소중립, 친환경에너지 중요성		
-		

- 3단계: 사회 트렌드 1차(안)에 대하여 편찬위원회 전문가 검증 및 조정을 통해 최종(안) 도출

1차(안)	편찬위 주요의견	최종(안)
감염병 확산과 언택트 사회	• 감염병의 어감이 약하며 언택트 사회는 동사구가 붙지 않아 어색	코로나-19와 비대면 사회 부상
고령화의 가속화	• '고령화의 가속화' 어감이 어색하며 저출산과 인구감소 추세 반영 필요	고령화와 저출산 가속화
초개인화의 부상	• 초개인화라는 용어 생소	개인화
수도권 집중화	• '수도권 집중화'라는 용어가 진부	수도권 거대화
정보의 디지털화	• 디지털화는 포괄적이지만 부정확 • 정보 디지털화는 2000년대부터 진행, 작년 디지털 전환이 사회적 화두	디지털 사회로의 전환 가속
환경파괴 및 기후위기 본격화	• 환경파괴와 기후변화에 대한 대응과 노력이 본격화된 추세 반영 필요	환경파괴 및 기후위기 대응 본격화

■ 기술 트렌드 도출

- 1단계: 201개 융합 세부 트렌드를 기술적 관점에서 클러스터링하여 35개 기술 분야로 구성
- 2단계: 35개 기술 분야를 다시 메가트렌드 관점에서 클러스터링하여 4대 기술 트렌드로 최종 도출

세부트렌드(201개)	기술 세부 분야(35개)	기술 트렌드(4대)
5G로 인한 제조업 혁신 ...	5G	데이터 기반 지능 고도화 (18)
기업의 클라우드 인프라 구축 ...	클라우드	
빅데이터 기반 맞춤형 교육 ...	빅데이터 수집/저장/분석	
IoT, 모바일 기기로부터 데이터 획득 및 AI ...	IoT	
디지털 트윈 컴퓨팅과 이를 통한 예측·분석 ...	디지털 트윈	
가상현실을 통한 디지털 치료 ...	증강/가상/혼합 현실	
디지털 화폐, 암호화폐 개발 가속화 ...	가상화폐	
반려 로봇 서비스 확대 ...	로봇	
AI 기반 재난재해 예측 ...	AI	
드론을 활용한 고정밀지도 제작기술 ...	드론	
자동화로 인한 실업 증가 ...	자동화	
초고속·친환경 모빌리티와 자율주행차 ...	자율주행	
블록체인, 금융, 보험 등 스마트 비즈니스 ...	블록체인	
차등개인정보(differential privacy) 기술 활용 ...	차등정보보호	
코로나로 인한 온라인 쇼핑 확대 ...	전자상거래	

세부트렌드(201개)	기술 세부 분야(35개)	기술 트렌드(4대)
원격근무 등 디지털화의 가속화 ...	원격근무	데이터 기반 지능 고도화 (18)
처리속도를 높이는 양자 컴퓨팅 개발 ...	양자 컴퓨팅	
엣지 컴퓨팅 개발 가속화 ...	엣지 컴퓨팅	그린테크 저변 확대 (8)
고용량 장수명 배터리 기술 개발 ...	배터리	
전 세계적으로 CCS 투자 확대 ...	CCS	
전기차 개발 확대 ...	전기차	
기후변화 대응으로 재생에너지 확대 추세 ...	재생에너지	
에너지 효율화 등 지속가능한 생존 ...	에너지 효율화	
모빌리티, 산업용 에너지 등 녹색수소 활용 ...	수소	
저탄소 시멘트 기술 ...	저탄소 원료	
플라스틱 재활용 통한 부가가치 창출 ...	플라스틱 폐기물 저감	나노·소재 기술의 융합 가속 (3)
3D 프린팅을 통한 제조업 자동화/다기능화 ...	3D 프린팅	
AI 기반 화학 및 소재 개발 ...	소재 인포매틱스	
코팅, 센서 및 정화기술 등 첨단 소재 기술 ...	첨단 소재 기술	바이오·의료 신기술 도약 (6)
팬데믹으로 인한 mRNA 기반 백신 개발 ...	백신	
대규모 감염진단키트 ...	감염진단 기술	
합성생물학 통한 신약개발 ...	합성생물학	
디지털 역량 바이오인포매틱스 성장 ...	바이오인포매틱스	
마이크로니들을 활용한 백신, 당뇨병 치료 등 ...	마이크로니들	
유전자 검사 통한 맞춤형 약물 개발 ...	맞춤형 의료	

- 3단계: 기술 트렌드 1차(안)에 대하여 편찬위원회 전문가 검증 및 조정을 통해 최종(안) 도출

1차(안)	편찬위 주요의견	최종(안)
디지털 기반 지능 고도화	• 기존(안)은 무엇의 지능이 고도화되었는지 불분명	데이터 기반 지능 고도화
그린테크 저변 확대	-	그린테크 저변 확대
나노·소재 기술 범용화	• '범용화'라는 용어의 어감이 부적절	나노·소재 기술의 융합 가속
바이오·의료 신기술 도약	-	바이오·의료 신기술 도약

■ 2020년도 사회·기술 트렌드 선정 결과

- 2019년 7개 사회 트렌드 가운데 ‘고령화’는 ‘고령화와 저출산 가속화’로, ‘도시화’는 ‘수도권 거대화’로, ‘산업의 스마트화’는 ‘디지털 사회로의 전환 가속’으로, ‘그린 에너지’는 ‘환경파괴 및 기후위기 대응 본격화’로 명칭 변경하였으며, ‘개인화’는

그대로 유지했고, ‘코로나-19와 비대면 사회 부상’은 신규 추가하였으며, ‘인간-기계 융합’과 ‘경제·사회적 안전위험 증가’는 삭제하고 각각 ‘디지털 사회로의 전환 가속’과 ‘환경파괴 및 기후위기 대응 본격화’, ‘코로나-19와 비대면 사회 부상’으로 흡수·통합

〈2019년 대비 2020년도의 메가트렌드 변화〉



- 2019년도 연감 대비 사회 트렌드 명칭 수정 및 수정 근거

사회 트렌드 수정(안)		트렌드 수정 근거
NA	⇒ 감염병 확산과 언택트 사회	경제·사회 전반을 관통하는 코로나-19 팬데믹 확산
고령화	⇒ 고령화와 저출산 가속화	2020년 첫 베이비부머 세대가 노령 인구가 편입 및 저출산 문제 심화
개인화	⇒ 개인화	유지
데이터화	⇒ 디지털 사회로의 전환 가속	많은 부문에서 빅데이터화가 진행, AI 기반 데이터 수집 능력 향상으로 개인정보는 물론 과학·기술·산업 부문도 정보의 디지털화 작업이 진행되는 추세
도시화	⇒ 수도권 거대화	2020년 처음으로 수도권 인구가 비수도권 인구를 추월
그린에너지	⇒ 환경파괴 및 기후위기 대응 본격화	‘그린에너지’라는 명칭은 기술 트렌드에 가까우며, 그린에너지 개발의 사회·환경적 배경을 드러낼 수 있는 명칭으로 변경
인간-기계 융합	⇒ 해당 트렌드 삭제	‘디지털 기반 지능 고도화’라는 기술 트렌드에 편입
경제·사회적 안전위험 증가	⇒ 해당 트렌드 삭제	명칭이 너무 광범위하다는 편찬위원회 지적에 따라 삭제

- 2019년도 연감 대비 기술 트렌드 명칭 수정 및 수정 근거

기술 트렌드 수정(안)		트렌드 수정 근거	
디지털화 가속	⇒	디지털화, 지능화, 자동화 등 IT 기반 기술을 하나의 명칭으로 통합하고, 고도화되는 추세를 반영	
지능화	⇒		
정밀화 및 자동화	⇒		
	⇒	나노·소재기술의 융합 가속	대부분의 융합기술에 플랫폼 기술로 활용되는 나노·소재 기술의 범용적 특성을 반영
융합·연결을 통한 창조	⇒	해당 트렌드 삭제	'융합·연결을 통한 창조'는 융합 모든 트렌드에 해당하는 광범위한 명칭이므로 삭제하고 신규 기술 트렌드 2개 추가
NA	⇒	바이오·의료 신기술 도약	감염병 확산으로 mRNA 백신 등 바이오·의료 신기술 투자와 연구개발 확대 추세 반영
NA	⇒	그린테크 저변 확대	기후변화와 환경오염에 대응하는 녹색기술의 저변이 확대되는 추세를 반영

3. 융합연구테마 선정

■ 기술 트렌드 도출 시 활용되었던 35개 기술 분야를 핵심 키워드로 하는 NTIS 연구과제를 추출한 후, 이를 위의 12개 사회 이슈와 연결하여 융합연구테마 도출

- 1단계: 35개 기술 분야를 핵심 키워드로 포함하는 2020년 NTIS 연구과제 약 33,000개 추출

- 2단계: 과학기술표준분류 소분류 기준 3개*로 구성된 융합연구과제 약 10,500개 추출

* 국가연구개발사업 조사분석(KISTEP)에서는 과학기술표준분류 기준 2개 이상을 융합과제로 분류하고 있으나, 융합연구연감 특성상 본고에서는 보다 엄격하게 과학기술표준분류 소분류 기준 3개를 융합과제로 정의

(각 과제 책임자는 과학기술표준분류 소분류 기준 최대 3개까지 기입 가능)

- 3단계: 35개 기술 분야 소분류 조합 빈도와 투자액이 큰 과제를 우선적으로 추출하고 해당 과제들을 다시 12개의 사회 이슈와 매칭하여 총 53개 예비 융합연구테마(관련 과제 525개) 도출

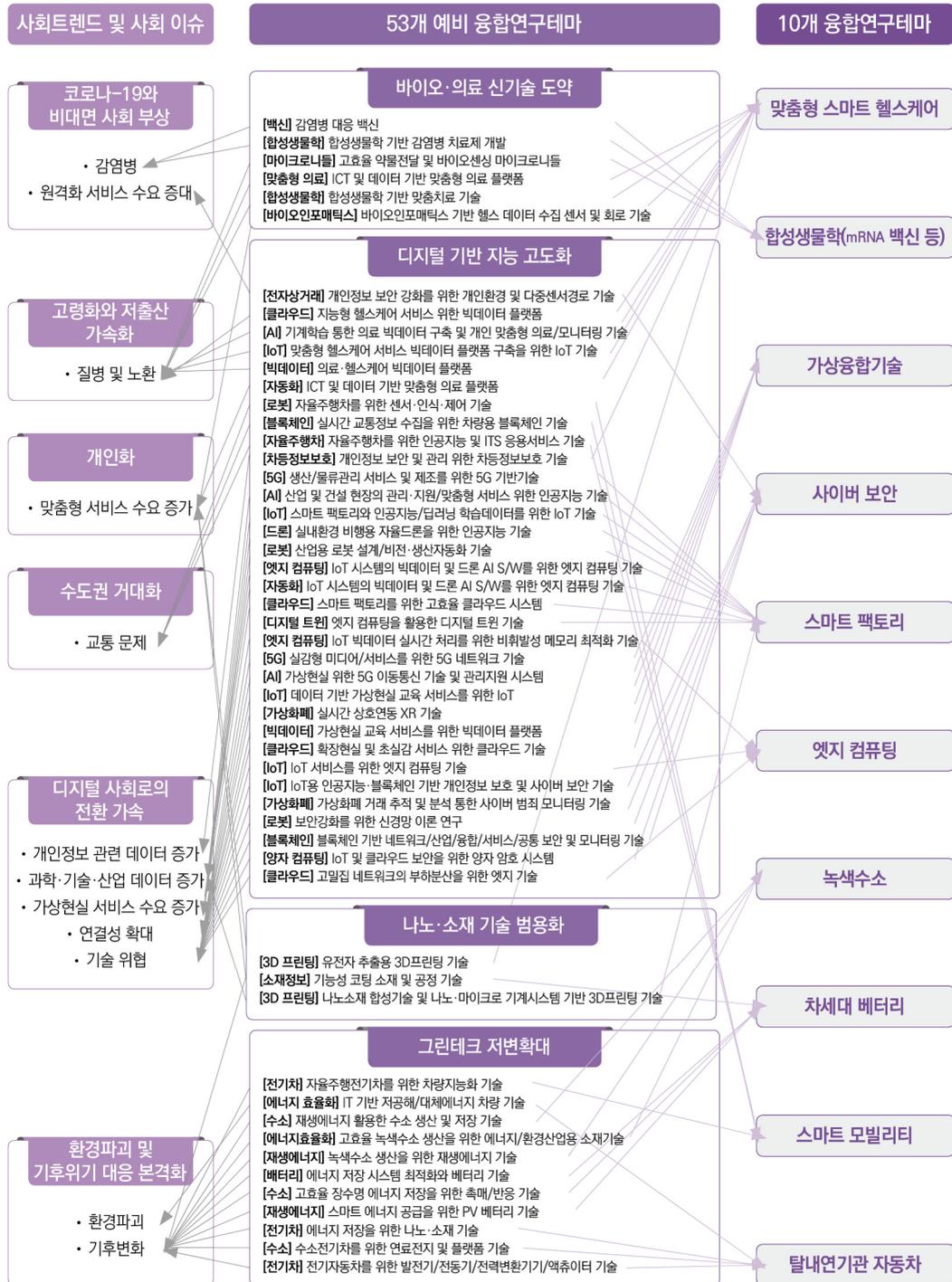
〈(예시) 예비 융합연구테마 구성 및 테마별 기술 간 융합 대표 조합〉

	예비 융합연구테마	제1기술	제2기술	제3기술	과제수
AI	[1] 기계학습을 통한 의료 빅데이터 구축 및 개인 맞춤형 의료/모니터링	인공지능	알고리즘	S/W솔루션 데이터베이스	12개
	[2] 가상현실을 위한 5G 이동통신 기술 및 관리지원 시스템	S/W솔루션	System Integration	인공지능	10개
		이동통신 시스템	이동통신 서비스	기타 이동통신	
[3] 산업 및 건설 현장의 관리·지원/ 맞춤형 서비스 위한 인공지능 기술	S/W 솔루션	임베디드 S/W	U-컴퓨팅 플랫폼/응용기술 조선/해양 시스템 관련 S/W	20개	
	인공지능	S/W솔루션	U-컴퓨팅 플랫폼/응용기술		
3D 프린팅	[4] 유전자 추출용 3D 프린팅 기술	바이오칩	나노생물 융합 공정	바이오 엔지니어링	2개
	[5] 나노·소재 합성기술 및 나노·마이크로 기계시스템 기반 3D 프린팅 기술	기타 정밀생산기계	나노·소재 합성기술 기타 나노/마이크로 기계시스템	복합 부품 기타 에너지/환경 시스템	2개
IoT	[6] 맞춤형 헬스케어 서비스 빅데이터 플랫폼 구축을 위한 IoT 기술	U-컴퓨팅 플랫폼/응용기술	임베디드 S/W	System Integration	3개
		인공지능	알고리즘 클라우드 컴퓨팅	의학지식 표현 산업보안/ 융합보안	
∴	∴	∴	∴	∴	∴
	합계				총 525개

〈53개 예비 융합연구테마〉

53개 예비 융합연구테마	
(1) 기계학습 통한 의료빅데이터 및 개인맞춤형의료/관리	(28) 가상현실 교육 서비스를 위한 빅데이터 플랫폼
(2) 가상현실을 위한 5G 이동통신 기술 및 관리지원 시스템	(29) 기능성 코팅 소재 및 공정 기술
(3) 산업현장 관리·지원/맞춤형서비스 위한 인공지능 기술	(30) 재생에너지를 활용한 수소 생산 및 저장 기술
(4) 유전자 추출용 3D 프린팅 기술	(31) 고효율 장수명 에너지 저장을 위한 축매/반응기술
(5) 나노기술 기반 3D 프린팅 기술	(32) 수소전기차를 위한 연료전지 및 플랫폼 기술
(6) 맞춤형헬스케어 빅데이터 플랫폼 구축을 위한 IoT기술	(33) IoT및 클라우드 보안을 위한 양자 암호 시스템
(7) IoT인공지능·블록체인기반 개인정보보호 및 사이버보안	(34) 고효율 녹색수소를 위한 에너지/환경산업용소재기술
(8) 데이터 기반 가상현실 교육 서비스를 위한 IoT	(35) IT 기반 저공해/대체에너지 차량 기술
(9) 스마트팩토리와 인공지능/딥러닝학습데이터를 위한 IoT	(36) IoT시스템 빅데이터 및 드론AI S/W위한 엣지컴퓨팅
(10) IoT서비스를 위한 엣지컴퓨팅 기술	(37) IoT빅데이터 실시간 처리 위한 비휘발성 메모리 최적화
(11) 실감형미디어/서비스를 위한 5G 네트워크 기술	(38) 맞춤형 헬스케어 웨어러블기기 및 애플리케이션
(12) 생산/물류관리 서비스 및 제조를 위한 5G 기반기술	(39) 산업용 로봇 플랫폼 및 운영을 위한 로봇설계·제어·지능화
(13) 가상화폐거래 추적 및 분석 통한 사이버 범죄 모니터링	(40) 자율주행차를 위한 인공지능 및 ITS 응용서비스기술
(14) 실시간 상호연동 XR 기술	(41) 녹색수소 생산을 위한 재생에너지 기술
(15) 실내환경 비행용 자율 드론을 위한 인공지능 기술	(42) 스마트 에너지 공급을 위한 PV 배터리 기술
(16) 엣지컴퓨팅을 위한 디지털 트윈 기술	(43) 에너지 저장을 위한 나노·소재 기술
(17) 보안강화를 위한 신경망 이론 연구	(44) 자율주행전기차를 위한 차량지능화기술
(18) 산업용 로봇 설계 및 비전/생산자동화기술	(45) 전기자동차용 발전기/전동기/전력변환기기/액추에이터
(19) 자율주행차를 위한 센서인식제어기술	(46) 개인정보 보안 강화를 위한 개인환경 및 다중센서경로
(20) 고효율 약물전달 및 바이오센싱 마이크로니들	(47) 개인정보 보안 및 관리 위한 차등정보보호 기술
(21) ICT 및 데이터 기반 맞춤형 의료 플랫폼	(48) 지능형 헬스케어 서비스 위한 빅데이터 플랫폼
(22) 바이오인포매틱스 기반 헬스 데이터 수집 센서 및 회로	(49) 확장현실 및 초실감 서비스를 위한 클라우드기술
(23) 에너지 저장 시스템 최적화와 배터리 기술	(50) 스마트팩토리를 위한 고효율 클라우드 시스템
(24) 감염병 대응 백신	(51) 고밀집네트워크의 부하분산을 위한 엣지기술
(25) 블록체인가산 네트워크/산업/융합/서비스/공통 보안	(52) 합성생물학 기반 맞춤치료 기술
(26) 실시간 교통정보 수집을 위한 차량용 블록체인기술	(53) 합성생물학 기반 감염병치료제 개발
(27) 의료·헬스케어 빅데이터 플랫폼	

- 4단계: 총 53개 예비 융합연구테마별 주제의 유사성에 따라 아래와 같이 10대 융합 연구테마로 최종 도출



■ 2020년도 융합연구테마 선정 결과

- 앞서 도출된 10개의 융합연구테마를 편찬위원회 회의를 거쳐 다음과 같이 총 10개로 최종 선정

1차(안)	편찬위 주요 의견	최종(안)
맞춤형 스마트 헬스케어	-	맞춤형 스마트 헬스케어
mRNA 백신	• mRNA 백신으로 한정하면 국내 동향에 작성할 성과나 내용이 부족	합성생물학(mRNA 백신 등)
가상융합현실	• 국가 연구 보고서에서는 '가상융합기술'이라는 용어가 더 적합	가상융합기술
AI 기반 사이버보안	• 양자기술 기반 보안이나 블록체인의 내용까지 포괄하려면 '사이버보안'이 더 적합	사이버보안
첨단제조	• 너무 광범위하여 구체적인 주제로 국한 필요	스마트팩토리
옛지 컴퓨팅	-	옛지 컴퓨팅
녹색수소	-	녹색수소
차세대 배터리	-	차세대 배터리
스마트모빌리티	-	스마트모빌리티
자동차의 탈내연기관화	• 다른 융합연구테마와의 용어적 통일성을 위해 '탈내연기관 자동차'로 수정하는 것이 적합	탈내연기관 자동차

- 2019년의 10개 융합연구테마와 비교한 2020년의 10개 융합연구테마는 다음과 같음
 - 다른 융합기술의 기반기술이 되는 인공지능 혹은 AI·로보틱스는 다른 기술과 통합하여 신규 융합연구테마(합성생물학, 사이버보안, 스마트팩토리, 스마트모빌리티 등) 추가
 - 스마트 맞춤형 의료, 다중경험 플랫폼, 수소에너지는 각각 맞춤형 스마트 헬스케어, 가상융합기술, 녹색수소 등으로 명칭 수정

〈2020년도 융합연구연감 융합연구테마 및 융합 메가트렌드〉



기술트렌드 사회트렌드	바이오·의료 신기술 도약	데이터 기반 지능 고도화	나노·소재기술의 융합 가속	그린테크 저변 확대
코로나-19와 비대면 사회 부상	합성생물학(mRNA 백신 등)			
고령화와 저출산 가속화	맞춤형 스마트 헬스케어			
개인화	가상융합기술		스마트 팩토리	
디지털 사회로의 전환 가속	엣지 컴퓨팅			
수도권 거대화	사이버 보안	스마트 모빌리티	차세대 배터리	탈내연기관 자동차
환경파괴 및 기후위기 대응 본격화			녹색수소	

<37개 전문기관 발간물에서 도출한 201개 융합 세부 트렌드 리스트>

#	키워드	세부트렌드
1	광자네트워크	광자 네트워크를 통한 고품질 및 대량의 데이터 전송 속도 증가 및 IT 장비 에너지 사용 감소(APN)
2	CF 정보처리	가상화된 ICT 자원과 다양한 시스템 및 네트워크 연결을 활용하는 CF(Cognitive Foundation) 정보처리 플랫폼(IoT) 및 스마트 시티에 대한 적용 방안
3	디지털트윈	실재와 가상을 통합하는 디지털 트윈 컴퓨팅(DTC)과 그에 대한 활발한 연구개발로 예측적 분석이 가능해질 것(교통 혼잡도 예측, 질병 관리 예측 등에 활용)
4	시민개발자 플랫폼	AWS 등의 클라우드 서비스와 로봇 프로세스 자동화(RPA)로 인해 '시민 개발자'가 등장할 수 있는 기반 제공(서비스로서의 시와 서비스로서의 데이터)
5	양자/엣지 컴퓨팅	처리속도를 높이는 양자 컴퓨팅과 클라우드의 단점을 보완할 수 있는 엣지 컴퓨팅에 대한 개발 활성화
6	기술개발과 공급망 변경	공급체인 재규형 및 전환(데이터 활용, 인간-기계 상호작용, 첨단로봇, 3D 프린터 기술 등으로 인한 개도국 및 선진국 간 노동비용 차이 절감 진행 중)
7	가속화된 지능화와 디지털화	코로나로 인해 가속화된 AI와 머신러닝 및 디지털화(헬스케어의 원격화 등)
8	소비 문화 변화	팬데믹으로 인한 온라인 쇼핑 대폭 성장하는 추세
9	AI와 데이터 분석	AI 및 데이터 분석 등을 통한 밸류체인 연구
10	mRNA 백신	팬데믹으로 인한 mRNA 기반 백신(바이오품학, 유전자 시퀀싱, 컴퓨팅, 데이터 분석, 자동화, 머신러닝, AI의 협업) 등 의료기술 혁신
11	기후변화 대응	전세계적으로 배터리, CCS, 전기차에 대한 투자 확대로 기후변화 대응
12	전염병 대비	한국의 대규모 감염진단키트, 자가격리 제도 등 전염병대비(국내외 차원의 의료시스템 구축)
13	행동인터넷	행동인터넷(Internet of Behaviors)으로 인한 개인정보 수집 확대 및 그로 인한 개인 행동 영향 전망
14	총체적경험	기업의 다중경험(MX), 고객경험(CX), 직원경험(EX) 및 사용자경험(UX)의 통합인 총체적 경험(TX)의 제공으로 타 기업과 차별화
15	보안기술	신뢰환경구축, 분산화된 데이터처리 및 분석(개인정보 보안 머신러닝), 전처리과정(동형암호화 등) 등을 아우르는 개인정보 보호 강화 컴퓨팅의 성장
16	분산형 클라우드	분산형 클라우드(온프레미스 퍼블릭 클라우드-개발 초기단계, IoT 엣지 클라우드, 5G 모바일 엣지 클라우드 등) 기반 퍼블릭 클라우드
17	기술 인프라(클라우드, 엣지)	디지털화로 인한 기술 인프라(제로트러스트 네트워크, 보안접근서비스엣지(SASE), 클라우드 및 엣지 인프라(IoT, API, 클라우드, AI 등이 융합된 엣지 프로세스)), 경영방식, 보안 및 운영 정책, 직원 및 고객 참여 모델의 변화로 고객 원격지원 인프라 구축
18	분산형 온라인 보안	팬데믹으로 가속화된 온라인 보안 매쉬(분산형 온라인 보안) 필요성 증가
19	개인화된 어플	기업의 개인화된 앱 제공 등 기술 플랫폼의 변화 필요성 증대
20	AI 기반화	인공지능(AI) 기술의 기반화(AI 프로토타입 과제가 실제 생산 및 프로젝트로 연계되는 것은 53% 수준, 이에 대해 기업의 IT 관리자가 활용할 수 있는 도구가 부족하기 때문이라고 지적)

#	키워드	세부트렌드
21	초자동화 필요	코로나로 인한 디지털화 가속화와 기업의 효율 증대를 위한 초자동화(AI, 머신러닝, RPA 등의 기술 활용)의 필요성 증대
22	자동화 플랫폼	불확실성 증가로 조직의 전략 톨로써의 AI, 고급 데이터 분석, 자동화 플랫폼 활용
23	클라우드	대규모 비용에도 불구하고 클라우드 플랫폼으로 기반을 이전하는 추세 확대
24	공급체인 효율화	공급체인에 걸친 데이터 분석과 로봇, 드론, 고급 이미지 인식기술 등으로 공급체인의 효율화, 안전화 추구, 고객 중심 공급 체인으로 선회
25	머신 러닝	고급 머신러닝 모델을 통해 복잡한 패턴을 효과적으로 이해하고 인사이트 창출하여 조직적 성과를 증대
26	데이터 운영	머신러닝 기반의 기업 의사결정 및 운영을 위해 데이터 운영 방식 전환(데이터 수집 및 구조화 능력, 랜덤 데이터 분석 기법, 차세대 클라우드 기반 데이터 수용 공간) 진행
27	제로 트러스트	제로 트러스트 인프라 구축(사이버 보안 문제 해결, 매뉴얼 프로세스의 자동화, 보안 조직과 기술 기반 및 기업의 전환적 변화)
28	원격근무	코로나로 인한 원격근무 확산과 조직 효율을 높이기 위해 원격근무를 통한 직원 관련 데이터 수집 및 데이터 활용
29	DEI	고급 분석, 자동화, AI, NLP, 머신러닝을 통해 DEI(Diversity, Equity, Inclusion)에 기반한 솔루션을 수행할 수 있으며 이의 효과를 측정하고 알릴 수 있음
30	디지털화 가속	코로나-19로 인한 산업계의 디지털화 가속화
31	자동화된 의사결정	IoT, 모바일 기기 등으로부터 얻은 데이터를 머신러닝, AI로 분석하고, 자동화로 유연한 의사결정과 최적화하는 시대 도래
32	디지털 플랫폼	기업에서 지속가능하고 확대가능한 디지털 플랫폼의 중요성이 증가
33	온라인 신뢰	코로나-19로 인해 디지털 채널로 거래 및 소통함에 따라 파트너와 소비자들 간 신뢰에 새로운 위협 발생 및 가속화(온라인 거래, 랜섬웨어, 사이버 범죄)
34	디지털 플랫폼	코로나-19로 인한 소비자 니즈(안전성, 지속가능성, 사회적·환경적 정의 선호)와 참여 방식(개인화된 디지털 플랫폼)의 변화 및 이에 대한 기업의 접근 방법 변화
35	디지털 불평등	원격근무 등 디지털화가 코로나-19로 가속화되면서 디지털 불평등의 문제가 심화
36	디지털화와 자동화의 노동기술 재정의	코로나로 가속화된 디지털화와 자동화로 노동과 기술 재정의
37	새로운 조직 학습능력	데이터와 AI를 활용해 운영, 생산방식, 생산품 등을 개선하는 조직의 학습능력과 데이터의 중요성이 증대되는 추세
38	자율주행차	AI, 데이터분석, 자동화, 센서 등 기술 발전으로 자율주행차의 안전성과 효율성의 개선
39	플라스틱 재활용	기업의 플라스틱 재활용을 통해 부가가치를 창출, 순환경제를 작동, 환경오염 개선하려는 추세 강화
40	AI 머신러닝 기반 센서	AI와 머신러닝 기반 센서의 최근 발전으로 개발자와 사용자가 센서를 통해 더 많은 정보를 획득
41	녹색수소	모빌리티, 산업용 에너지와 에너지 저장 및 운송을 위한 녹색수소의 활용 가능성 증대
42	식물성 대체단백질	식물성 대체단백질 시장의 급격한 성장(단백질 수요 대응)
43	3D 프린트 기술 활용범위확대	항공, 의료, 모빌리티, 석유·가스, 해양, 건설 부문 등 3D 프린터 기술 활용 범위 확대 추세

#	키워드	세부트렌드
44	자연언어처리	머신러닝, 딥러닝의 성장으로 자연언어처리(NLP) 발전 추세
45	공유차량/마이크로트랜짓	공유차량 서비스의 구독 및 마이크로트랜짓(microtransit) 등의 형태로 전통적 모빌리티 산업 위협
46	소재 인포매틱스	AI 기술을 활용하여 화학 및 소재 개발을 촉진(소재 인포매틱스)
47	바이오인포매틱스	대규모 생물학적 문제를 해결하기 위한 디지털 역량 바이오인포매틱스의 성장(의료, 제약, 식품, 건강에도 활용범위 확대 추세)
48	정밀 농업	디지털 톨로 농업을 혁신하고 생산품의 품질을 향상하고 환경 영향을 최소화하는 정밀 농업의 발전
49	합성생물학	합성생물학의 재생가능한 원료로부터의 다양한 화학물질 생산과 농업 및 헬스케어에도 활용 범위 확대
50	자동화	AI, 머신러닝, 딥러닝 등을 통해 인간 프로세스가 점차 자동화 될 전망
51	합성미디어, 합성생물학	합성의 시대 도래(디지털 트윈, 합성 미디어, 합성생물학, 대체단백질, 백신)
52	오디오 증강	스마트 이어버드와 글래스를 통한 AAR(오디오 증강현실) 기술과 그 생태계
53	디지털 혁신	RPA(로봇자동화)에서 클라우드의 GPU까지 마이크로소프트, IBM, 구글 등은 AI와 데이터를 활용하여 디지털 혁신을 일으키는 중
54	가정과 사무실 자동화	주요 가전제품에 로봇과 인공지능 기능을 탑재하여 가정과 사무실의 자동화가 가속화될 것으로 전망
55	자동화	기업·정부의 자동화된 시스템으로 인한 개인 데이터수집 및 분석
56	신뢰 경제	딥페이크 등으로 조성된 신뢰 경제(딥페이크 감지 기술 등)
57	생물학 및 생명공학 투자 증대	코로나-19로 인해 생물학과 생명공학의 투자 증대(헬스케어 체계 및 진단키트 등 창출)
58	양자/엡지 컴퓨팅	더 많은 양의 데이터를 신속하게 처리할 수 있는 양자와 엡지 컴퓨팅 개발 중
59	대기업 농업분야	마이크로소프트, 아마존, 월마트 등 대기업의 농업 분야 진출(데이터 분석 활용, 수직농법 등)
60	군사기술의 현대화	AI, 데이터 및 알고리즘을 활용한 군사기술 산업의 발전
61	디지털 방출	활용가능한 개인정보가 방출되기 시작(디지털 방출, digital emission)
62	클라우드	디지털화로 인해 기업의 클라우드 인프라 구축이 중요해지고 있는 추세
63	자동화	클라우드 기반의 조직 자동화 및 효율성 제고
64	제로 트러스트	데이터분석 기법 및 머신러닝을 활용한 제로 트러스트(사이버보안)의 부상
65	인간 이해 증대	분산형 센서, 5G, 사회-인지적 가상공간, 디지털트윈 등 빅데이터와 고급 데이터 분석 기술로 인간, 물리적 공간, 정보에 대한 이해가 증대될 것으로 전망(현재는 프로토타입 시범 정도만 가능한 단계)
66	AI 기술 투자 확대	대폭 증가하는 데이터량에 따라 고급 알고리즘, 응용 AI, 인간-기계 공생 등 AI 기술에 대한 투자 확대와 전망
67	양자기술	양자얽힘과 양자중첩(양자물리학)을 활용한 양자기술의 암호화, 컴퓨팅, 정밀항법, 감지 및 이미징, 커뮤니케이션, 소재 등에 적용
68	첨단소재기술	내열성 코팅, 스텔스 코팅, 에너지 수집&저장, 첨단 센서 및 정화기술 등 <첨단 소재기술>과 3D 프린트 등 <적층제조> 연구개발 중
69	빅데이터-AI-자동화 융합과 활용방안	빅데이터-AI-자동화 기술의 융합과 그 활용분야(우주, 바이오, 양자기술)가 사이버 보안, 정보 전쟁 등에서 NATO의 전략적 이득이 될 것으로 전망

#	키워드	세부트렌드
70	데이터-AI-소재 융합	데이터기술-AI-소재기술 융합을 통해 화학적 반응 조작, 새로운 소재 발견 등으로 제조 기술의 발전을 이룩할 수 있을 것으로 전망
71	엣지 컴퓨팅	코로나-19로 엣지 컴퓨팅 개발 가속화 및 산업용 모터와 펌프 등에 적용 방안 개발
72	5G 기반 제조업 혁신	5G로 인한 제조업 혁신(IBM+삼성+M1 등의 합작으로 장비 모니터링과 예측적 관리를 AI 이미지 인식 및 비디오 분석을 통해 수행)
73	데이터 기반 보험 시장 성장	스마트폰으로 수집된 데이터 기반으로 운전습관연계보험(Usage-based insurance) 시장 성장
74	AI 금융부문 응용	자동화/설명가능 AI의 금융부문 응용(사이버 사기 예방, 고객 선호도 예측 등)
75	사이버보안	코로나-19가 초래한 사이버 범죄 증가와 기업에 특화된 사이버 보안 기술
76	스마트 헬스케어	AI와 머신러닝 등 디지털 역량을 통한 헬스케어 데이터 분석과 그 응용을 통한 치료 개선
77	순환경제 및 공유경제	기술발전으로 인한 순환경제 및 공유경제
78	음식폐기물 저감	대규모 식품 소매업자, 지역 비즈니스, 제조업자, 도매업자들이 잉여 식품을 소비자들에게 반값에 제공하거나 기부할 수 있도록 하는 어플 개발 등 음식물쓰레기 저감
79	소비자 패턴 변화	코로나로 인한 소비와 근무의 패턴 변화(물리적 접촉을 대체하는 증강현실과 같은 방안 추구 필요)
80	1인 창조 플랫폼	사람들이 스스로 콘텐츠를 제작할 수 있는 1인 창조 도구 및 플랫폼 설계 시작
81	원격근무	재택근무를 돕는 하드웨어, 소프트웨어, 인터페이스가 일반화되는 추세
82	저탄소 데이터 인프라	탄소를 발생시키지 않는/적게 발생시키는 소프트웨어 사용과 데이터 인프라 구축 필요성
83	개인화된 디지털 경험	일방향으로 수용하던 고객을 활동적인 참여자로 전환하는 개인화된 디지털 경험의 확대와 그에 따른 데이터 수집 및 저장 전략 필요
84	AI 개발 촉진 노력	AI 개발 촉진을 위한 정책개발 및 AI 적용 분야 개발 필요성
85	스마트화	고객의 5년 내 니즈를 미리 예측하는 스마트 시스템을 위한 센서와 기술이 무엇인지 고려할 필요
86	로봇 및 5G	로봇 개발을 위한 연구 시스템을 구축하고 5G가 적용될 수 있는 산업 부문 모색 필요
87	클라우드 인프라 및 고객경험 향상	클라우드 중심의 디지털 인프라 전환, 고객경험 향상 등 지속적인 산업혁신 지원 필요
88	분산형 엣지	중앙 집중형 클라우드에 연결된 분산형 엣지 기반 인프라 및 데이터, 코드 배포 및 관리 필요성 증대
89	차세대 클라우드	근로자와 고객 모두에게 유연한 기능을 제공할 수 있는 디지털-클라우드 플랫폼 설계의 중요성
90	디지털 비즈니스	디지털을 활용한 비즈니스의 탄력적이고 지속적인 운영 가능
91	클라우드	어디서나 접근 가능하지만 중앙에서 관리되는 클라우드 생태계에 자동화 솔루션의 구축이 확대될 전망
92	자체 AI 소프트웨어 개발	지적재산권 소유를 위한 자체 AI 소프트웨어 개발 필요
93	데이터 기반 플랫폼	외부 파트너와 연결될 수 있는 데이터 기반 밸류체인으로 전환 필요
94	로봇공학 연구개발	자율주행, 드론, 실험실, 우주, 의료 등 로봇기술이 적용될 수 있는 범위는 넓으며, 정부는 로봇공학 연구개발 투자 확대와 규제 개발 필요

#	키워드	세부트렌드
95	합성생물학 응용	합성생물학(공학, 생물학, 데이터 과학, 물리과학 등의 분야를 넘나드는)의 플랫폼 기술로서의 다양한 분야(백신, 에너지, 제약, 환경, 무기)에서의 활용과 육성 방안(바이오파운드리 등)
96	기술 티핑 포인트	기술 티핑 포인트(빅데이터/사물인터넷(IoT)/AI/생명과학/스마트홈)
97	사이버 범죄	데이터 기술이 발전함에 따라 페이스북 등 사이버 관련 범죄가 증가하는 추세
98	기후변화 대응 및 부정	기후변화에 대한 대응노력(재생에너지, 플라스틱 폐기물 저감, 삼림화)과 기후변화에 대한 부정(전통적 민족주의와 연관) 공존
99	빅데이터 및 맞춤형 서비스	빅데이터에 대한 우려와 동시에 개인정보 공유를 통한 맞춤형 서비스를 제공받는 것에는 긍정적으로 인식하는 추세
100	기술애호가와 기술 공포증	기술의 급속한 발전에 따라 테크노필리아(기술 애호가)와 테크노포비아(기술 공포증) 공존
101	인간 증강	5G, 엣지 컴퓨팅, 차세대 배터리, 데이터 정밀센서 등의 기술 개발로 인한 인간증강 추세 발전
102	탄소 저감 솔루션	전기화, 디지털 최적화, 분산형 에너지 채택 등 탄소를 저감하는 솔루션이 증가하는 추세
103	인간증강기술	인간증강기술(AI, 로봇, 자율주행)이 행동과 인지에 미치는 영향
104	유전적 혁신	세포 기능 설계 및 구축하는 합성생물학을 통해 전통적인 유전공학보다 신속하게 유전적 혁신 가능할 전망
105	사이버 위협 증가와 보안	디지털 기술 발전에 따른 상호연결 증가 및 사이버 위협증가와 이에 대한 보안전략 필요성 증대
106	신재생에너지	기후변화로 인한 손실과 그에 따른 유럽의 신재생에너지 확대 추세
107	에너지 소비 증가 및 재생가능한 에너지	에너지 소비 증가(연간 1.7%)와 재생가능한 에너지 집중 및 국가 간 에너지 경쟁 심화
108	디지털화와 물류이동 증가	인터넷 접속 장치 증가와 디지털화 및 개선된 인프라를 통한 항공화물 등 물류 이동 증가
109	데이터 보호, 사이버 보안 규제 추진	AI 및 IoT 등 신기술 경쟁력 확보와 디지털 기술을 활용한 의료, 교육, 공공서비스를 개선하기 위해 데이터 보호, 사이버 보안 등 규제 추진 전망
110	첨단제조	미국 제조부문의 전략 개발과 첨단제조에 집중할 것으로 전망
111	기후변화 대응	기후변화에 대한 대응으로 에너지 R&D 자금 확대 및 2050년까지 제로카본 달성 목표
112	기술 혁신 가속	디지털화로 비즈니스 수행 방식이 바뀌고 기술혁신이 가속화되고 있음(자동화로 인한 실업, 의료부문 혜택 등)
113	녹색 및 디지털전환	유럽의 경쟁력 확보를 위한 녹색 및 디지털 전환에의 투자와 개혁 계획(호라이즌 유럽, 기후변화 대응(배터리, 수소, 스마트그리드 등) 및 핵심 디지털 기술(AI, 차세대 인터넷, 우주기술)에 대한 투자 증가)
114	원격 서비스	사회적거리두기로 인해 등장한 원격회의, 스트리밍 서비스의 확산
115	디지털 기술로 소통	비대면 사회화 및 상호작용을 위한 디지털 기술 활용
116	온라인 쇼핑 및 디지털 서비스	온라인 쇼핑 및 디지털 서비스 컨설팅 제공의 확대
117	가상 경제	미래 가상 의료 온라인 상담, 온라인 전시회 등 혁신적 디지털 경험과 가상 경제를 위한 기반 마련
118	전자상거래 확대	전자상거래 추세와 이에 대한 기업의 투자 확대 필요성
119	스트리밍 서비스	코로나 이전보다 증가한 스트리밍 서비스와 그 잠재력에 대한 기업의 전략적 고려 필요
120	언택트 결제 서비스	언택트 결제 서비스의 성장(앞으로 40% 이상 성장 전망) 전망

#	키워드	세부트렌드
121	기술과 혁신	기술과 혁신 분야(IoT, 5G, AI, 핀테크, 엣지 컴퓨팅, 스마트홈, 양자컴퓨팅, 디지털 트윈 등)
122	소비자 식품 및 소매업 혁신	소비자 식품 & 소매업 혁신(GM food, 스마트 슈퍼마켓 맞춤형 영양, 음식폐기물, 지속가능한 패키징 등)
123	첨단산업, 제조, 교통	첨단 산업, 제조, 교통(스마트시티, 산업용 로봇, 스마트빌딩, 3D 프린터, 자율주행차 등)
124	의료 신기술	현대과학과 의료기술(AI, 신약발견, 로봇 수술, 맞춤형·원격 의료 등, DNA 데이터 저장소 등)
125	에너지 및 환경	에너지와 환경(CCS, 탄소세, 재생에너지, 지속가능한 식품 체계 등)
126	디지털화 및 4차 산업혁명, AI 발전에 따른 표준 및 규제 필요성	급격한 디지털화와 4차 산업혁명 및 AI 발전에 따른 사이버공간에 대한 표준 및 규제 필요성
127	자동화로 인한 실업	자동화로 인한 실업 증가와 그에 따른 인재개발의 중요성
128	기후변화 및 탈탄소화	기후변화와 탈탄소화, 탄소중립, 친환경에너지 중요성
129	디지털 기술 도래와 그에 대한 제도 및 규제 필요	디지털기술의 도래와 그에 따른 제도 및 규제 수립 필요성
130	AI의 노동력 대체	AI가 물리적 자본인 동시에 노동력을 대신하는 생산요소로 부상
131	자율주행차	레벨3의 자율주행차가 20~22년 경에 상용화 예정이며 자율주행차를 활용한 공공서비스 추진
132	스마트 비즈니스	블록체인, 금융, 보험, 공유서비스 등 스마트 비즈니스 모델 확산
133	가상현실	5G 시대를 맞이하여 가상현실 기술을 활용한 콘텐츠가 주류를 이룰 전망
134	반려 로봇	고령화 및 1인 가구 증가 등으로 '반려' 로봇 서비스가 확대될 전망
135	기술 위험	불안한 기술 위험(자율주행, IoT 해킹 위험 및 AI 윤리)
136	의료비용 절감 및 맞춤형 의료 기술 성장	고령화에 따른 의료기술 발전으로 의료비용 절감 및 맞춤형 의료 기술 성장
137	자동화 및 시로 인한 부가가치 창출 및 성장 불연속성 초래	자동화 및 AI 기능의 발달로 부가가치를 창출함과 동시에 글로벌 경제 내에서 성장의 불연속성 초래
138	자동화와 온디맨드형 서비스로 인한 노동 해체 추세	자동화와 온디맨드형 서비스로 인한 전통적 노동이 해체되는 추세 지속
139	자동화 및 다기능화	3D 프린팅과 디지털 프로그래밍을 통한 제조업 전반의 자동화 및 다기능화 추세
140	합성생물학 통한 대체 원재료	합성생물학 기술을 통해 지역에 관계 없이 원재료(펄프, 육류, 연료) 생산이 가능해지는 추세
141	원격근무	원격기반 지식 근로자 근무 및 원격기계 작동 보편화
142	AI의 노동력 대체	연구, 자문, 설계, 마케팅 등 다수의 전문 업무에서 AI가 사람 개입을 대체하는 추세
143	기업의 디지털 전환	기업의 디지털 전환으로 인한 생산비용 감소 추세
144	디지털 전환 가속화	디지털 경제로의 전환 가속화 및 온오프라인 융합시대 도래할 전망, 비대면 산업은 5G, 디지털 플랫폼, 4차 산업혁명 등을 활용한 기회산업으로 부상할 전망
145	디지털 및 그린전환	사회 안전망 강화 및 디지털-그린 경제전환 등 정부역할 확대
146	디지털 경험	글로벌 대기업들은 음성분석 및 센서, AI를 통합하여 개인의 행동과 선호도, 감정에 따라 맞춤형 감성적 디지털 경험을 창조하는 추세

#	키워드	세부트렌드
147	디지털 기술을 이용한 의사결정	클라우드, 핵심 시스템의 현대화, 인지 기술 등의 발전으로 데이터 분석 기술이 중요한 인사이트를 창출
148	클라우드 기술 활용 가속화	90%의 기업이 클라우드 기술 활용 중이며 이런 추세는 앞으로도 가속화될 전망이며 이는 애널리틱스, 블록체인, 디지털 리얼리티, 양자 기술 등 메가테크놀로지의 혁신을 지원하는 기반으로 자리잡고 있음
149	디지털 전환	디지털 전환 투자 증대, 데이터 집약적 알고리즘 등장으로 핵심 시스템의 현대화 필요성 증대(즉각적, 맞춤형된 상호작용 접근 방식 필요)
150	디지털 리얼리티	자연스럽고 직관적인 상호작용을 목표로 하는 디지털 리얼리티(AR, VR, 디지털트윈) 기술의 상용화 추세(예: 디지털 트윈 등)
151	인지기술 잠재력	인지 기술(머신러닝, 뉴럴 네트워크, RPA, 로봇, 자연어처리 및 AI)의 잠재력
152	블록체인	금융 서비스, 핀테크 기업이 주도적으로 블록체인을 개발 중이지만 정부 및 다른 산업에서도 개발 계획을 진전시키고 있는 추세
153	맞춤형 서비스	디지털 네이티브인 MZ 세대의 구매력 증대에 따라 구매 데이터 분석 기반 맞춤형 서비스 확대
154	맞춤형 금융 서비스	감성분석에 기반한 맞춤형 상품 등 MZ 세대에 맞는 맞춤형 금융서비스로 재편될 전망
155	비접촉 제품과 서비스	생체인식기술(Biometrics)에 기반한 비접촉 제품과 서비스의 공급이 빠르게 확대될 전망
156	IT보안강화 필요	클라우드, 초연결이 가능해짐에 따라 사이버 공격에 노출될 가능성 확대되었고 이에 따라 IT 보안 강화가 필요
157	휴머니즘 가미된 디지털 기술	기술에 대한 공포감과 저항감을 휴머니즘이 가미된 디지털 기술(AI) 부각
158	수소산업 밸류체인 수요 증가	수소에 대한 정부의 다양한 정책지원으로 수소산업 밸류체인 전반에 걸쳐 수요가 크게 증가할 것으로 예상
159	탄소 절감 노력	정부의 석탄발전 비중 저감과 신재생에너지 비중 증대에 대한 계획 수립
160	비대면 사회	비대면사회로의 전환과 그로 인한 소상공인 몰락, 해킹 위험성 증가 등의 문제 발생
161	바이오헬스 시장	의료분야 국제 공조 확대, 한국산 마스크 및 진단키트로 인한 위상 강화, 바이오헬스 분야 시 필요성 증대
162	헬스케어 신기술	헬스케어(디지털 치료제, AI 기반 실시간 질병진단 기술, 감염병 확산 예측, RNA 바이러스 대항 백신기술)
163	실감형(AR/VR), 맞춤형(AI)교육	실감형(AR/VR) 교육을 위한 가상·혼합현실기술, AI 및 빅데이터 기반 맞춤형(AI) 교육
164	유통물류센터 스마트화	ICT 기반 물류정보 통합 플랫폼, 배송용 자율주행로봇, 유통물류센터 스마트화
165	첨단제조	디지털트윈, 인간증강기술, 협동로봇 등을 활용한 첨단제조
166	의료폐기물용 로봇 및 감염병 통합관리 기술	의료폐기물 수집 및 운반 로봇, 인수공통감염병 통합관리 기술
167	교통 분야 유망기술	감염의심자 이송용 자율주행차, 개인 맞춤형 라스트마일 모빌리티, 통합교통서비스(MaaS)
168	정보 보안	화상회의 보안성 확보기술, 양자암호 기반 보안기술, 동형암호 이용 동선 추적 시스템 등 정보 보안
169	문화산업 제품/서비스의 제작 유통 소비 형태 변화	실감 중계 서비스, 딥페이크 탐지기술, 드론 기반 GIS 구축 및 3D 영상화 기술 등 문화산업 제품/서비스의 제작 유통 소비 형태 변화

#	키워드	세부트렌드
170	AI 기반 헬스케어 기술	AI 기반 생체정보 패턴 분석기술, 디지털 헬스용 스마트 의료기기, 헬스케어 빅데이터 수집 등 치료의 영역을 넘어 관리의 영역으로 확대 발전하는 헬스케어 기술
171	고용량 장수명 배터리 기술	기존 배터리에 비해 에너지 밀도를 혁신적으로 향상시키고 있는 고용량 장수명 배터리 기술 개발
172	AI 기반 기후변화 및 자연재해 예측 및 능동대응 기술	AI 기반 기후변화 및 자연재해 등 스마트 재난 예측 및 통합 능동대응기술 발전 중
173	고정밀지도 제작기술	드론, 레이저 스캐너, 초고속 통신 인프라 등을 활용한 고정밀지도 제작기술- 후에 자율주행차와 연계 가능
174	시스템 및 기기 이상징후 예측 기술	실시간 스트리밍 모니터링과 지능형 데이터 분석에 기반한 시스템 및 기기 이상징후를 예측하는 기술(스마트팩토리에 필요) 개발
175	내외부자 해킹차단 및 개인정보 관리 기술	개인정보 흐름 파악하고 시각화하여 정보주체에 제공하고 내외부자 해킹 차단 및 개인정보 관리 기술 개발
176	정보진위 판별 기술	정보 원천정보 확인하여 신뢰성을 판단하고 필터링하는 정보진위 판별 기술 개발
177	초실감 인터랙션 기술	증강현실 웨어러블 장치, 햅틱 기술 등을 통해 가상정보와 실제정보를 동시에 이용할 수 있는 초실감 인터랙션 기술 개발
178	코딩 없이 설계 가능한 AI 플랫폼 기술 개발	코딩 없이 클릭만으로 딥러닝/머신러닝 모델 설계 가능한 AI 플랫폼 구축 기술 개발
179	설명가능 AI	AI가 결과를 산출해내는 의사결정 프로세스를 사용자가 이해할 수 있게 설명해주는 기술 개발
180	녹색전환 및 디지털전환	한국판 뉴딜(녹색전환, 디지털전환)을 통한 혁신을 위한 자유로운 연구와 논의가 필요
181	AI 확장, 디지털화로 기업 회복 탄성력 강화 및 공공기관 역량 강화 필요성	AI의 확장과 디지털 경제 재편으로 기업의 회복 탄성력 강화 및 정부, 공공기관의 역량 강화(비대면 서비스, AI기반 지능형 서비스 구축)가 필요
182	디지털 오일필드	디지털 기술(빅데이터, 클라우드, AI 등) 활용하고 온라인으로 운영하는 디지털 오일필드 분야 경쟁력 강화 필요성 증가
183	기후변화로 초래된 재난 및 대응	기후변화로 초래된 재난, 질병, 감염병과 기후변화에 대응하기 위한 친환경에너지 개발, 감염병 진단 및 치료
184	환경오염과 이에 대응하는 폐기물 관리 및 신소재 개발	환경오염과 이를 해결하기 위한 폐기물 전주기적 관리 및 대체 신소재 개발
185	의료 및 바이오기술 발전	의료 및 바이오기술의 발전으로 인간 기대수명 증가
186	지속가능한 생존	지속가능한 생존(식량부족, 에너지 수급문제 위한 저탄소 친환경에너지 전환, 에너지 효율화)
187	첨단 모빌리티	초고속·친환경모빌리티와 자율주행차에 대한 투자
188	사이버 테러 및 정보 보안	사이버 테러와 범죄의 증가 및 사이버 정보 보안 중시
189	맞춤형 약물	유전자 검사를 통한 맞춤형 약물 개발 초기 단계
190	암호화폐 개발 가속화	페이스북 디지털 국제 화폐 Libra 공개, 중국 정부 디지털 위안화 개발 발표 등 디지털 화폐, 암호화폐 개발 가속화
191	차등 개인 정보 기술	데이터에 일부러 노이즈를 추가하여 보호하는 차등 개인 정보(differential privacy) 기술의 활용

#	키워드	세부트렌드
192	기후 시뮬레이션 분석 및 예측	고성능 컴퓨터로 홍수, 해수면 상승 등 기후 시뮬레이션 분석 및 예측
193	마이크로니들	마이크로니들(무통증 주사)을 활용한 백신, 당뇨병, 암에 활용하는 방안은 시범 단계
194	태양에너지와 탄소 활용	태양에너지를 활용하여 전기를 만들고 동시에 이산화탄소를 활용도 높은 화학물질(약, 세제, 비료 등)로 전환하는 기술 개발 중
195	가상환자기술	백신 실험 등 시뮬레이션을 활용한 가상 환자 기술 개발 중
196	디지털트윈	아마존-구글, 가상현실과 증강현실로 디지털 공간과 물리적 공간을 결합하는 공간 컴퓨팅과 디지털 지도 생성 및 디지털 트윈 기술 투자 확대
197	디지털 진단 및 치료	스마트 모바일 기기를 통한 이용자 헬스케어 데이터 수집 및 AI 기반 분석 통한 디지털 진단 어플리케이션 및 가상현실 통한 디지털 치료
198	저탄소 시멘트	화학적 과정을 거쳐 열을 덜 사용하게 하거나, 탄소를 결정화하여 가두거나, 박테리아를 활용하여 탄소를 흡수하는 등의 다양한 저탄소 시멘트 기술 개발
199	양자 센서 소형화	양자 센서의 소형화, 비용절감, 응용범위 확대를 위한 투자 강화
200	녹색 수소	녹색수소의 비용절감을 위한 기업의 투자확대(풍력단지에서 전기분해로 녹색수소 생산하는 방안 등)
201	합성생물학 통한 신약개발	바이오 게놈 합성 등 합성생물학을 통한 신약개발, 나아가 유전병 치료를 위해 연구개발 중

〈53개 예비 융합연구테마별 기술 간 융합 조합 및 관련 과제 수〉

기술 분야	예비 융합연구테마	기술간 융합 대표조합			6테마별 총 과제수
		제1 세부기술	제2 세부기술	제3 세부기술	
AI	[1] 기계학습을 통한 의료 빅데이터 구축 및 개인 맞춤형 의료/모니터링	인공지능	알고리즘	S/W솔루션 데이터베이스	12
	[2] 가상현실을 위한 5G 이동통신 기술 및 관리지원 시스템	S/W솔루션	System Integration	인공지능	10
		이동통신 시스템	이동통신 서비스	기타 이동통신	
	[3] 산업 및 건설 현장의 관리·지원/맞춤형 서비스 위한 인공지능 기술	S/W 솔루션	임베디드 S/W	U-컴퓨팅 플랫폼/응용기술 조선/해양 시스템 관련 S/W	20
		인공지능	S/W 솔루션	U-컴퓨팅 플랫폼/응용기술	
	3D 프린팅	[4] 유전자 추출용 3D 프린팅 기술	바이오칩	나노생물 융합 공정	바이오 엔지니어링
[5] 나노·소재 합성기술 및 나노·마이크로 기계시스템 기반 3D 프린팅 기술		달리 분류되지 않는 정밀생산기계	나노·소재 합성기술 기타 나노/마이크로 기계시스템	복합 부품 기타 에너지/환경 시스템	2
IoT	[6] 맞춤형 헬스케어 서비스 빅데이터 플랫폼 구축을 위한 IoT 기술	U-컴퓨팅 플랫폼/응용기술	임베디드 S/W	System Integration	3
		인공지능	알고리즘	의학지식 표현 클라우드 컴퓨팅	
	[7] IoT용 인공지능·블록체인 기반 개인 정보 보호 및 사이버 보안 기술	U-컴퓨팅 플랫폼/응용	임베디드 S/W	클라우드 컴퓨팅	3
		S/W 솔루션	인공지능	서비스/ 응용보안	
		인공지능	알고리즘	컴퓨터 이론	
	[8] 데이터 기반 가상현실 교육 서비스를 위한 IoT 기술	S/W 솔루션	System Integration	가상현실/가상세계	2
	[9] 스마트팩토리와 인공지능/딥러닝 학습 데이터를 위한 IoT 기술	U-컴퓨팅 플랫폼/응용기술	임베디드 S/W	RFID/USN 서비스	13
		인공지능	클라우드 컴퓨팅	Human Computer Interface 데이터베이스	
			임베디드 S/W	U-컴퓨팅/주변기기	
	[10] IoT 서비스를 위한 엣지 컴퓨팅 기술	S/W 솔루션	인공지능	클라우드 컴퓨팅	4
U-컴퓨팅 플랫폼/응용기술		실시간 시스템 통신단말기			

기술 분야	예비 융합연구테마	기술간 융합 대표조합			6테마별 총 과제수
		제1 세부기술	제2 세부기술	제3 세부기술	
5G	[11] 실감형 미디어/서비스를 위한 5G 네트워크 기술	이동통신 서비스	인공지능	클라우드 컴퓨팅	3
		네트워크 구조설계/운영지원	서비스/제어	이동통신 시스템	
	[12] 생산/물류관리 서비스 및 제조를 위한 5G 기반기술	이동통신 서비스	이동통신 시스템	클라우드 컴퓨팅	19
가상 화폐	[13] 가상화폐 거래 추적 및 분석 통한 사이버 범죄 모니터링 기술	서비스/ 응용보안	네트워크 시스템 보안	기타 정보보호	3
			산업보안/ 융합보안	System Integration	
		실시간 시스템	인터넷 S/W	서비스/응용보안	
	[14] 실시간 상호연동 XR 기술	가상현실/ 가상세계	모바일/ 뉴미디어 콘텐츠	게임콘텐츠	1
드론	[15] 실내환경 비행용 자율드론을 위한 인공지능 기술	인공지능	로봇 비전/ 생산자동화 기술	디지털 영상	16
디지털 트윈	[16] 엣지 컴퓨팅을 위한 디지털 트윈 기술	S/W 솔루션	오피레이팅 시스템	클라우드 컴퓨팅	7
		U-컴퓨팅 플랫폼/응용기술	서버기술	System Integration	
로봇	[17] 보안강화를 위한 신경망 이론 연구	인공지능	알고리즘	컴퓨터 이론	3
	[18] 산업용 로봇 설계 및 비전/생산자동화 기술	로봇 제어/지능화 기술	로봇 설계기술	나노마이크로센서	33
			로봇/자동화 기계 관련 S/W	로봇 설계기술	
		인공지능	로봇 비전/ 생산자동화 기술	임베디드 S/W	
	[19] 자율주행차를 위한 센서·인식·제어 기술	로봇 설계기술	차량지능화 기술	예측/시뮬레이션기술	5
로봇 제어/지능화기술		자동화 관련 계측/ 센서 기술	로봇/자동화기계 관련 S/W		
인공지능		로봇 비전/ 생산자동화 기술	임베디드 S/W		
		임베디드 S/W	기타 정보통신 모듈/부품		
마이크 로니들	[20] 고효율 약물전달 및 바이오센싱 마이크로니들	약물전달시스템	바이오센서	바이오칩	3
맞춤형 의료	[21] ICT 및 데이터 기반 맞춤형 의료 플랫폼	u-Health 서비스 관련기술(u-EHR)	데이터베이스	인공지능	22
			생활지원기기/시스템	원격/재택의료	
			원격/재택의료	노인 및 가족보건	
		혈액/증양학	생물정보학	오믹스학	
			분자세포생물학	의료정보 표준화	

기술 분야	예비 융합연구테마	기술간 융합 대표조합			6테마별 총 과제수
		제1 세부기술	제2 세부기술	제3 세부기술	
바이오 인포 매딕스	[22] 바이오인포매딕스 기반 헬스 데이터 수집 센서 및 회로 기술	U-컴퓨팅 플랫폼/응용기술	정보행위/이용자연구	건강증진/보건교육	3
배터리	[23] 에너지 저장 시스템 최적화와 배터리 기술	마이크로 그리드 기술	인공지능	수요예측/관리기술	14
		이차전지	에너지소재기술	에너지 변환/저장 전기화학	
백신	[24] 감염병 대응 백신	감염학 백신	세포성/체액성 면역 면역학	분자유전학 미생물/기생생물학	18
			유전약품	약효검색	
블록 체인	[25] 블록체인 기반 네트워크/산업/융합/서비스/공통 보안 및 모니터링 기술	S/W 솔루션	인터넷 S/W	서비스/응용보안	12
		산업보안/융합보안	공통 보안기술	네트워크 시스템 보안 서비스/응용보안	
				네트워크 시스템 보안	
			서비스/응용보안	네트워크 시스템 보안 콘텐츠 유통/서비스	
		서비스/응용보안	공통 보안기술	네트워크 시스템 보안 산업보안/융합보안	
				서비스/응용보안	
[26] 실시간 교통정보 수집을 위한 차량용 블록체인 기술	서비스/응용보안	네트워크 시스템 보안	공통 보안기술	2	
빅 데이터	[27] 의료·헬스케어 빅데이터 플랫폼	S/W 솔루션	System Integration	가상현실/가상세계	11
			달리 분류되지 않는 소프트웨어	신호처리	
	[28] 가상현실 교육 서비스를 위한 빅데이터 플랫폼	S/W 솔루션	System Integration	가상현실/가상세계	4
소재 정보	[29] 기능성 코팅 소재 및 공정 기술	고분자 박막/코팅 제조기술	전기/전자/광특성 고분자	전자산업용 정밀화학소재	3
수소	[30] 재생에너지 활용한 수소 생산 및 저장 기술	수소	연료전지	태양광	21
			태양광	에너지/환경산업용 소재기술 풍력	
	축매/반응기술	태양광	수소		
	[31] 고효율 장수명 에너지 저장을 위한 축매/반응기술	축매/반응기술	나노·소재 합성기술	기초무기소재 공정기술	9
	[32] 수소전지차를 위한 연료전지 및 플랫폼 기술	수소	연료전지	저공해/대체에너지 차량기술	9
연료전지		수소	복합재료제조기술		

기술 분야	예비 융합연구테마	기술간 융합 대표조합			6테마별 총 과제수		
		제1 세부기술	제2 세부기술	제3 세부기술			
양자 컴퓨팅	[33] IoT 및 클라우드 보안을 위한 양자 암호 시스템	공통 보안기술	서비스/응용보안	산업보안/융합보안	12		
			선형대수	수론			
에너지 효율화	[34] 고효율 녹색수소 생산을 위한 에너지/환경산업용 소재기술	수소	태양광	에너지/환경산업용 소재기술	10		
	[35] IT 기반 저공해/대체에너지 차량 기술	IT기반 고부가 서비스 기술	저공해/대체에너지 차량기술	시스템제어/통합기술	3		
엣지 컴퓨팅	[36] IoT 시스템의 빅데이터 및 드론 AI S/W를 위한 엣지 컴퓨팅 기술	오퍼레이팅 시스템	컴퓨터 이론	실시간 시스템	2		
		인공지능	S/W 솔루션	U-컴퓨팅 플랫폼/응용기술			
	[37] IoT 빅데이터 실시간 처리를 위한 비휘발성 메모리 최적화 기술	오퍼레이팅 시스템	컴퓨터 이론	실시간 시스템	1		
자동화	[38] 맞춤형 헬스케어 웨어러블 기기 및 어플리케이션	생체신호 측정/진단기기	자동화 관련 계측/센서기술	인간공학기술	4		
				로봇 설계기술	로봇 제어/지능화기술	로봇 비전/생산자동화기술	24
					액츄에이터	자동화 관련 계측/센서기술	
				로봇 제어/지능화기술		로봇 설계기술	나노마이크로센서
자율 주행차	[40] 자율주행차를 위한 인공지능 및 ITS 응용서비스 기술	ITS 응용서비스	교통운영관리기술	수리계획법/최적화이론	20		
			차량지능화기술	USN 기술		교통안전기술	
		인공지능	차량지능화기술	자동차기반기술			
		차량지능화기술	인공지능	신호처리			
재생 에너지	[41] 녹색수소 생산 위한 재생에너지 기술	수소	연료전지	태양광	25		
	[42] 스마트 에너지 공급을 위한 PV 배터리 기술	태양광	마이크로 그리드 기술	전력전자기술	10		

기술 분야	예비 융합연구테마	기술간 융합 대표조합			6테마별 총 과제수
		제1 세부기술	제2 세부기술	제3 세부기술	
전기차	[43] 에너지 저장을 위한 나노·소재 기술	이차전지	에너지소재기술	나노복합재 제조기술 나노세라믹 복합재료기술	8
	[44] 자율주행전기차를 위한 차량지능화 기술	차량지능화기술	인공지능	전기/전자장치	7
			전기/전자장치	달리 분류되지 않는 자동차/철도차량	
	[45] 전기자동차를 위한 발전기/전동기/전력변환기기/액츄에이터 기술	발전기/전동기 및 제어	전력변환기기	기계자동화기술 전기/전자장치	8
			전동용 요소부품	액츄에이터	
		이차전지	전자재료	제조/측정평가 장비	
전자상거래	[46] 개인정보 보안 강화를 위한 개인환경 및 다중센서경로 기술	서비스/응용보안	U-컴퓨팅 플랫폼/응용기술	응용 인지과학	3
차등정보보호	[47] 개인정보 보안 및 관리 위한 차등정보보호 기술	인공지능	데이터마이닝/CRM	정보시스템보안	3
		데이터마이닝/CRM	수리/확률통계모형	정보시스템보안	
		공통 보안기술	네트워크 시스템 보안	Cloud computing/Grid computing	
클라우드	[48] 지능형 헬스케어 서비스 위한 빅데이터 플랫폼	인공지능	Cloud computing/Grid computing	산업보안/융합보안	3
	[49] 확장현실 및 초실감 서비스 위한 클라우드 기술	S/W 솔루션	System Integration	인공지능	3
			모바일/뉴미디어 콘텐츠	가상현실/가상세계	
	[50] 스마트팩토리를 위한 고효율 클라우드 시스템	U-컴퓨팅 플랫폼/응용기술	임베디드 S/W	RFID/USN 서비스	12
		이동통신 시스템	이동통신 단말기	이동통신 서비스	
[51] 고밀집 네트워크의 부하분산을 위한 엣지 기술	S/W 솔루션	인공지능	Cloud computing/Grid computing	8	
	이동통신 시스템	이동통신 단말기	이동통신 서비스		
합성생물학	[52] 합성생물학 기반 맞춤형 치료 기술	신호전달	유전자 발현조절	분자세포생물학	17
	의약품 합성/탐색		당생물학		
	[53] 합성생물학 기반 감염병 치료제 개발	의약품 합성/탐색	분자세포생물학	바이오이미징	3

2020년도 융합연구연감 참여하신 분들

편찬위원회

이주원 과학기술정보통신부 융합기술과 과장
이차연 과학기술정보통신부 융합기술과 사무관
정윤채 한국연구재단 정보·융합기술단 단장
김현우 KIST 융합연구정책센터 소장
서윤호 고려대학교 산업경영공학부 교수
나준호 LG 경제연구소 연구위원
박방주 가천대학교 전자공학과 교수
이승무 한국예술종합학교 교수
이승민 ETRI 기술정책연구본부 책임연구원
이은우 건양대학교 교수
하성도 기초과학연구원 부원장

편집진

김상식 KIST 융합연구정책센터 정책지원팀 팀장
김동윤 KIST 융합연구정책센터 연구원

2020년도 융합연구연감

CONVERGENCE RESEARCH ANNUAL 2020

발행일

2021년 9월

발행처



서울특별시 성북구 화랑로 14길 5

Tel. 02-958-4976

제작·편집·디자인

(주)디자인여백플러스 | Tel. 02-2672-1535

- * 본 연감에 대한 내용은 과학기술정보통신부의 공식 견해와 다를 수 있습니다.
- * 본 연감 내용에 대한 무단 전재를 금하며, 가공·인용 시에는 반드시 '2020년도 융합연구연감'이라고 출처를 밝혀주시기 바랍니다.

이 보고서는 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 사업임 (No. NRF-2012M3C1A050726)