

대한민국 과학기술 미래전략 2045

미래를 향한 도전과제와
과학기술정책의 전환

Innovate Korea 2045:
Challenges and Changes
for the Future

대한민국 과학기술 미래전략 2045

미래를 향한 도전과제와 과학기술정책의 전환

Innovate Korea 2045:

Challenges and Changes for the Future

발간사



2020년 올해, 2045년까지의 미래 과학기술 청사진을 설계하는 「대한민국 과학기술 미래전략 2045」를 발간하게 된 것을 매우 뜻깊게 생각합니다. 정부는 지난 1999년부터 매 10년마다 과학기술 장기 비전을 수립하여, 하루가 다르게 발전하는 과학기술의 장기적 목표와 방향성을 제시해 왔습니다. 특히, 최근 4차 산업혁명과 기후변화, 저출산·고령화, 감염병 확산 등 급격한 변화 속에서, 과학기술혁신으로 변화에 대응하고 장기적인 미래를 준비하고자 하는 전략은 중요한 의미를 가진다고 하겠습니다.

현재 우리는 과학기술이 사회 변화의 중심에 있는 세상에 살고 있습니다. 증기기관과 전기, 컴퓨터, 스마트폰과 같은 기술은 우리 삶을 획기적으로 바꾸어 놓았고, 이제는 인공지능, 바이오 등 혁신적인 과학기술들이 새롭게 등장하고 있습니다. 일부 전문가들은 2045년에 이르면 모든 인간의 지능을 합친 것보다 더 뛰어난 인공지능이 등장하여 인류에 닥친 난제를 해결해줄 것이라고도 전망하고 있습니다. 이러한 놀라운 변화를 앞두고, 우리는 과학기술을 주어진 외부환경으로 보고 수동적으로만 받아들일 것이 아니라, 우리가 누릴 수 있는 핵심자산으로 보고 이를 적극적으로 활용해 나가야 합니다.

우리나라가 가진 과학기술의 역량과 잠재력은 매우 뛰어납니다. 우리나라는 세계에서 손꼽히는 과학기술 강국으로서 메모리반도체를 세계에서 가장 많이 수출하는 국가, 5G 통신을 세계 최초로 상용화한 국가이기도 합니다. 최근에는 진단키트의 신속한 생산을 통해 코로나바이러스감염증-19에 성공적으로 대응하고 있고, 세계는 이를 뒷받침하는 우리나라의 우수한 연구역량을 주목하고 있습니다. 우리는 이에 안주하지 않고 과학기술의 발전을 통해 미래에 직면하게 될 경제, 사회, 환경 측면의 다양한 문제를 해결하여 국민, 더 나아가 인류에 기여할 수 있어야 합니다.

이에 과학기술정보통신부는 지난해 4월부터 각계각층의 산학연 전문가들을 중심으로 ‘2045 미래 전략위원회’를 구성하고, 지금으로부터 25년 후인 2045년을 목표로 하는 「대한민국 과학기술 미래 전략 2045」를 수립하였습니다. 「대한민국 과학기술 미래전략 2045」는 현재의 대한민국과 우리가 원하는 미래의 대한민국 사이에 놓인 문제들을 어떻게 해결해 나갈지 방향성을 제시하는 데 그 의의가 있습니다. 그렇기 때문에 다가올 미래를 단순히 예측하기보다 국민들이 원하는 미래 모습을 그리고, 이를 실현하기 위해 해결해야 하는 도전과제와 정책방향 등 과학기술의 역할을 담는 데 초점을 두었습니다.

마지막으로, 그동안 「대한민국 과학기술 미래전략 2045」 발간을 위해 많은 애를 쓰신 정철희 위원장님과 여러 위원님들, 집필과 자문에 참여해주신 모든 분들께 감사의 말씀을 전합니다. 이번 「대한민국 과학기술 미래전략 2045」가 우리가 지향하는 미래에 대한 방향을 제시함으로써 각자의 삶을 설계해 나가는 데 도움이 되는 나침반 역할이 되길 바랍니다.

감사합니다.

2020년 10월

과학기술정보통신부 장관 **최기영**

서 문



2020년 현재 세계는 점점 더 빠른 속도로 변화·발전하고 있습니다. 4차 산업혁명은 이미 우리 현실에 깊숙이 들어와 있으며, 전 세계에 충격을 가져온 코로나 바이러스는 기존의 산업·경제·교육 등 사회를 송두리째 재편하는 시대적 변곡점이 되고 있습니다. 새로운 도전과 변화에 맞서 능동적으로 대응하기 위해서는 과학기술의 발전이 어느 때보다도 중요하게 부각되고 있습니다. 이러한 시점에 과학기술정보통신부 주관으로 여러 전문가와 석학들의 지혜를 모아 마련한 「대한민국 과학기술 미래전략 2045」는 더 큰 의미를 가진다고 할 수 있습니다.

세계경제포럼(World Economic Forum)에 따르면, 다가올 미래의 변화는 그 규모와 범위, 복잡성에서 인류가 경험했던 그 어떤 것보다도 다를 것이라고 합니다. 이렇듯 우리가 직면할 미래는 변화의 양상을 가늠하기 어려울 정도로 불확실성이 크기 때문에 미래를 정확하게 예측하는 것은 불가능에 가까운 일일 것입니다. 하지만 우리나라가 메르스 사태를 계기로 정비한 방역·의료체계를 바탕으로 코로나 바이러스를 극복해 나가고 있듯이, 국가의 미래 과학기술을 잘 준비한다면 다가올 위기도 슬기롭게 대처할 수 있고 국가 발전에도 크게 기여할 것입니다.

「대한민국 과학기술 미래전략 2045」는 국민과 함께 2045년에 원하는 미래를 그려보고, 과학기술을 통해 이를 실현해 나가기 위한 중장기 비전과 정책방향을 제시하는 데 그 목적이 있습니다. 이를 위해 산학연 전문가와 기업가 등 사회 각계각층이 함께 참여하였고, 대국민 설문조사, 지역별 토론회와 같은 폭넓은 의견수렴 과정을 거쳤습니다. 본 전략은 '안전', '건강', '풍요', '편리', '공정', '신뢰', '인류사회 기여' 등 2045년 대한민국의 미래상을 설정하고, 과학기술을 통해 이를 실현해 나가기 위한 도전과제와 정책방향을 담고 있습니다.

미래상을 달성하기 위한 질문에서 시작하여 ‘기후변화, 재난재해, 감염병 등 인류의 생존을 위협하는 요인에 대처’와 같은 8가지 구체적인 도전과제를 설정하고, 각 도전과제를 해결하기 위한 기술 개발 방향성을 제시하였습니다. 이와 더불어 과학기술정책을 미래지향적으로 전환해 나가기 위한 중장기적 정책방향을 제시함으로써, 각 도전과제 해결을 뒷받침하고자 하였습니다.

지난해 4월부터 1년이 조금 넘는 기간은 과학기술을 통해 대한민국의 새로운 미래를 그리는 데 기여할 수 있는 뜻깊은 시간이었습니다. 여섯 차례의 위원회를 거치면서 점차 완성되어가는 전략을 보며, 국민이 꿈꾸는 미래도 상상 속에만 있지 않고 점차 실현될 수 있을 것이라는 희망을 갖게 되었습니다. 2045년은 광복 100주년이 되는 뜻깊은 해이자 다음 세대가 국가를 이끌어 나갈 시기입니다. 새로운 100년을 준비하고, 다음 세대에게 보다 희망적인 미래를 물려준다는 마음으로 「대한민국 과학기술 미래전략 2045」를 마무리하게 되었습니다. 마지막으로 이번 작업에 열정적으로 참여해주신 분과위원장과 위원들, 연구과제를 수행한 과학기술정책연구원·한국과학기술원과 지원 스태프 등 모든 분들께 2045 미래전략위원회를 대표하여 감사의 말씀을 전합니다.

2020년 10월

2045 미래전략위원회 총괄위원장 정 철 희

목 차

요약	8
<hr/>	
1. 대한민국의 미래 100년을 준비하며	14
1-1. 「대한민국 과학기술 미래전략 2045」의 필요성	15
1-2. 전략의 방향성	16
2. 대한민국의 미래상과 과학기술의 비전	20
<hr/>	
2-1. 대한민국의 현재와 미래	21
2-2. 미래의 과학기술: 연결과 확장을 통해 불가능을 가능으로	31
2-3. 과학기술의 미래 비전	35
3. 2045년을 바라본 과학기술 전략	36
<hr/>	
3-1. 미래상과 비전 실현을 위해 해결해야 하는 과학기술 도전과제	37
3-2. 과학기술 도전과제 해결을 위해 추구해야 하는 과학기술 정책방향	46
4. 과학기술 도전과제	64
<hr/>	
4-1. 기후변화, 재난재해, 감염병 등 인류의 생존을 위협하는 요인에 대처	66
4-2. 환경오염 대응을 통한 문명의 지속가능성 확보	76
4-3. 차세대 바이오·의료 기술을 통한 건강한 삶 실현	81
4-4. 인간의 신체적·지적 능력 보완 및 확장	88
4-5. 자원 고갈에 대비한 농어업·제조업·에너지 혁신	94
4-6. 우주 생활권 및 안전하고 편리한 이동 실현	100

4-7. 다양한 소통방식과 신뢰할 수 있는 네트워크 확보	107
4-8. 새로운 삶의 영역을 확보하기 위한 미지의 공간 개척	114
4-9. 도전과제 해결의 토대가 되는 창의적 지식 탐구: 기초과학의 거대질문(Big Questions)	118
5. 과학기술 정책방향	130
5-1. 미래 변화에도 지적 역량이 확보되고 발휘되는 인재정책	132
5-2. 도전적이고 창의적으로 지식을 창출하는 국가연구개발체계	138
5-3. 신성장동력을 키우고 기존 성장동력을 다지는 산업기술개발	144
5-4. 사회문제를 해결하고 삶의 질을 제고하는 공공연구개발	149
5-5. 산학연 주도로 혁신의 중심지가 되는 지역	154
5-6. 국경 없는 글로벌 과학기술혁신체계	160
5-7. 과학기술과 국가정책 간 연계를 강화하는 과학지향 국가	166
5-8. 미래전망과 국가정책 간 연계를 강화하는 미래지향 국가	171
6. 결론 및 실행을 위한 제언	180
6-1. 결론	181
6-2. 실행을 위한 제언	184
[참고 1] 설문조사의 주요 내용	24
[참고 2] 세계 주요국의 장기 미래전략	62
[참고 3] 과학기술 도전과제가 해결된 미래 모습: 2045년 미래사회 시나리오	126
[참고 4] 과학기술정책의 전환이 가져올 미래 모습: 2045년 과학기술 생태계 시나리오	176

요 약

대한민국의 미래 100년을 준비하며

과학기술은 미래사회를 변화시키는 핵심 동인이며, 부존자원이 부족한 우리나라가 원하는 미래를 실현하는 데 가장 중요한 자산이라고 할 수 있다. 그리고 최근 코로나바이러스감염증-19 사태에서 알 수 있듯이 미래를 준비한 국가와 그렇지 못한 국가는 예상하지 못한 위기에 대처하는 능력에서 분명한 차이를 보인다. 따라서 과학기술의 잠재력을 활용하여 우리가 원하는 미래를 개척해 나가기 위한 과학기술 미래전략의 중요성은 아무리 강조해도 지나치지 않을 것이다.

「대한민국 과학기술 미래전략 2045」는 광복 100주년이 되는 2045년을 맞이하여, 우리가 희망하는 미래 모습과 이를 실현하기 위한 과학기술의 장기적인 비전과 전략을 제안한다. 특히, 본 전략은 다음과 같은 사항에 중점을 두어 수립되었다. 첫째, 「2025 과학기술발전 장기비전」, 「2040 과학기술 미래비전」 등 역대 정부의 과학기술 미래전략을 발전적으로 계승한다. 둘째, 그동안 우리 사회의 변화와 국민의 수요를 반영하여, 과거 고속성장 과정에서 상대적으로 중요하게 고려하지 못했던 안전, 건강, 신뢰 등의 질적인 가치들을 우리가 추구해야 할 미래의 목표로 제시한다. 셋째, 우리가 원하는 미래가 단순히 희망사항에 그치지 않고 실현되기 위해서는 과학기술의 역할이 중요하다는 점을 강조하고, 과학기술이 해결해야 하는 도전과제들을 제시한다. 넷째, 이와 같은 도전과제들을 해결하기 위해서는 과학기술정책이 어떤 방향으로 전환되어야 하는지를 제시하고, 특히, 양적 확대보다는 질적 개선, 개별요소 확충보다는 요소 간 연계성 강화가 필요함을 강조한다. 다섯째, 본 전략은 인류와 국가의 미래에 대한 근본적인 질문들을 제시하는 등 전체적으로 미래지향적인 관점을 견지한다.

대한민국의 미래상과 과학기술의 비전

2045년 우리가 원하는 대한민국의 미래상을 제시하기 위해, 현재 대한민국의 상황을 종합적으로 점검하고, 역대 정부의 과학기술 미래전략에 제시된 미래상을 검토하며, 설문조사를 통해 국민들이 원하는 국가의 미래상을 알아본다. 또한, 사회·기술·경제·환경·정치 측면의 메가트렌드를 조망하여, 인구 변

화로 인한 다문화화와 고령화, 신기술의 등장과 산업 패러다임의 전환, 세계 경제의 저성장 장기화와 신흥국의 부상, 기후변화, 환경오염, 자원 고갈, 감염병의 위협, 정치적·사회적 갈등 심화 등을 파악하고, 그에 따라 예상되는 기회와 위협도 전망한다. 이를 바탕으로, 우리나라의 미래상은 ‘안전하고 건강한 사회’, ‘풍요롭고 편리한 사회’, ‘공정하고 차별 없는 소통·신뢰 사회’, ‘인류사회에 기여하는 대한민국’이라고 제시한다.

우리가 원하는 미래를 실현하기 위해서는, 연결과 확장을 통해 끊임없이 발전하여 인류가 직면한 불가능을 가능으로 바꾸고 있는 과학기술을 효과적으로 활용해야 한다. 따라서 국가의 장기적인 과학기술 비전으로 “국민 삶과 경제성장의 질을 높이고 인류사회에 기여하는 과학기술”을 제안한다.

2045년을 바라본 과학기술 전략

전략의 전반부에서는, 미래사회에 대한 질문에서 출발하여 미래상과 비전 실현을 위해 해결해야 하는 과학기술 도전과제를 도출한다. 먼저, ‘안전하고 건강한 사회’를 위해서, “수많은 위협 속에서 인류의 생존을 지켜나갈 수 있을까?”, “인류가 환경오염을 해결하여 문명을 번영시킬 수 있을까?”, “인간은 몇 살까지 건강하게 살 수 있을까?”라는 질문을 통해 각각 “기후변화, 재난재해, 감염병 등 인류의 생존을 위협하는 요인에 대처”, “환경오염 대응을 통한 문명의 지속가능성 확보”, “차세대 바이오·의료 기술을 통한 건강한 삶 실현”이라는 도전과제를 도출한다. 두 번째로 ‘풍요롭고 편리한 사회’를 실현하기 위해서, “인간의 신체적·지적 능력은 어디까지 발전할까?”, “인류는 생존에 필요한 것을 지속적으로 확보할 수 있을까?”, “생활권은 어디까지 넓어지고 이동은 얼마나 편리해질까?”라는 질문으로부터 각각 “인간의 신체적·지적 능력 보완 및 확장”, “자원 고갈에 대비한 농어업·제조업·에너지 혁신”, “우주 생활권 및 안전하고 편리한 이동 실현”이라는 도전과제를 도출한다. 세 번째로 ‘공정하고 차별 없는 소통·신뢰 사회’의 구현을 위해서, “사람은 어디서 어떻게 소통할까?”라는 질문으로부터 “다양한 소통방식과 신뢰할 수 있는 네트워크 확보”라는 도전과제를 제시한다. 마지막으로 ‘인류사회에 기여하는 대한민국’의 실현을 위해서, “인류의 활동영역은 어디까지 확장될까?”라는 질문에서 “새로운 삶의 영역을 확보하기 위한 미지의 공간 개척”이라는 도전과제를 제안한다.

전략의 후반부에서는, 미래 과학기술 생태계에 대한 질문에서 출발하여 과학기술 도전과제 해결을 위해 추구해야 하는 과학기술 정책방향을 제시한다. 먼저 ‘주체’ 측면에서, “인구 감소 및 인공지능 시대에 어떻게 과학기술 인재를 확보하여 역량을 발휘하게 할 수 있을까?”, “세계적으로 인정받는 연구 성과

를 창출하려면 어떻게 해야 할까?”, “우리 경제의 성장동력을 어떻게 강화할 것인가?”, “과학기술이 우리 삶에 실제로 도움이 될까?”라는 질문들로부터 각각 “미래 변화에도 지적 역량이 확보되고 발휘되는 인재 정책”, “도전적이고 창의적으로 지식을 창출하는 국가연구개발체계”, “신성장동력을 키우고 기존 성장동력을 다지는 산업기술개발”, “사회문제를 해결하고 삶의 질을 제고하는 공공연구개발”이라는 정책방향을 도출한다. 다음으로 ‘공간’ 측면에서, “미래 우리나라 지역은 어떻게 발전할 것인가?”, “우리 과학기술의 글로벌 영향력과 위상을 어떻게 높일 수 있을까?”라는 질문에서 각각 “산학연 주도로 혁신의 중심지가 되는 지역”과 “국경 없는 글로벌 과학기술혁신체계를 구축해야 한다는 정책방향을 도출한다. 마지막으로 ‘정책 환경’ 측면에서, “과학기술이 중심이 되는 국가가 되려면 어떻게 해야 할까?”, “미래를 준비하고 개척하는 국가가 되려면 어떻게 해야 할까?”를 질문하여 “과학기술과 국가정책 간 연계를 강화하는 과학지향 국가”와 “미래전망과 국가정책 간 연계를 강화하는 미래지향 국가”를 만들자는 정책방향을 제안한다.

과학기술 도전과제

미래사회의 문제를 해결하여 우리가 원하는 대한민국을 실현하기 위해 과학기술은 다양한 과제에 도전해야 한다. 이를 위해 앞서 도출한 8대 과학기술 도전과제를 구체화하여 “온실가스 감축과 기후변화 적응 및 기상조절·예측” 등 16개 기술개발 방향을 제안한다. 각 기술개발 방향과 관련하여, 미래사회에 그 기술에 대한 수요가 높다는 것을 설명하고, 기술의 현황을 예시적으로 살펴본 다음, 단기(5년 이내), 중기(10년 내외), 장기(20년 이상)로 구분하여 기술개발 방향을 제안한다. 여기서 논의하는 기술들은 기상조절 기술, 재난구조 로봇, 신개념 감염병 백신, 플라스틱 대체 신소재·물질, 핵융합 발전, 세포 치료제, 뇌지도 제작, 인공조직·인공장기, 인공지능 반도체, 미래식량 기술, 유인 우주왕복 수송시스템, 완전 자율주행차, 뇌파통신, 양자암호통신, 재사용 우주 발사체 등 다양한 분야를 망라한다.

본 전략에서 강조하는 것은, 단순히 유망기술을 제시하는 것이 아니라 미래사회의 변화상을 예측하고 인류가 해결해야 하는 도전과제를 제시하는 것이다. 미래에는 과거처럼 정부 주도로 특정 기술 분야를 선정하고 이에 대한 개발을 추진하는 방식이 더 이상 유효하지 않기 때문이다. 과거에 비해 개별 주체들이 가지고 있는 분야별 전문성이나 정보 접근성이 날이 갈수록 높아지고 있고, 정부가 특정 기술을 선정하여 지원을 집중하기에는 미래의 사회와 기술이 너무나 빠르게 바뀌고 있다. 따라서 정부는 거시적인 트렌드를 조망하고 국가적으로 해결해야 하는 문제를 규정하는 등 큰 그림을 그리는 한편, 개인, 기업 등

다양한 주체들이 문제 해결에 적합한 유망기술을 탐색·선택하여 경쟁·협력을 통해 문제를 해결해 나갈 수 있도록 지원하는 역할을 담당해야 한다.

이와 같은 과학기술 도전과제를 해결하기 위해, 그리고 자유롭게 지식을 탐구하여 인류의 지적 영역을 확장하기 위해, 기초과학의 토대가 탄탄하게 갖추어져야 한다. 미래에도 ‘질병, 노화 등 생명의 신비’, ‘인간의 뇌 기능과 기억 및 꿈의 메커니즘’, ‘우주의 생성 및 진화의 원리’, ‘물질의 구성 및 생성원리 파악’을 통한 신물질 개발, ‘수학의 다양한 난제’ 등 기초과학의 거대질문(Big Questions)에 대한 탐구와 도전이 지속적으로 이루어져야 한다.

과학기술 정책방향

과학기술 도전과제를 해결하기 위해서는 우리나라 과학기술이 과거 60년간 성취한 것들과 아직 미흡한 점, 미래사회의 변화 등을 종합적으로 고려하여, 과학기술정책을 미래지향적으로 전환해 나가야 한다. 이를 위해 앞서 도출한 8대 과학기술 정책방향을 구체화하여 “다양한 인재와 인공지능을 활용하여 국가 지적 역량 강화” 등 16개 세부과제를 제안한다. 예를 들어, 미래에는 국가의 지적 역량을 어떻게 강화할 것인지, 대학·출연연은 어떻게 생존하고 발전해야 하는지, 과학기술이 기업의 경영과 국민의 삶에 도움이 되려면 무엇을 해야 하는지, 과학기술 도전과제를 해결하려면 지역·국가·글로벌 차원의 활동이 어떻게 연계되어야 하는지, 국가 정책에서 과학기술과 미래전망의 역할을 강화하려면 무엇을 해야 하는지 등을 논의한다.

본 전략에서는 필요한 정책을 단순히 열거하기보다 정부의 과학기술정책이 미래에 어떤 방향으로 전환되어야 하는지에 중점을 둔다. 인재정책은 인재 규모 확보에서 개인의 역량 발휘 지원으로, 국가연구개발체계는 추적을 위한 연구에서 도전과 창의적 연구로, 산업기술개발은 정부 주도의 특정 분야 선정·지원에서 정부와 기업이 팀이 되어 미래 시장 확보로, 공공연구개발은 전문가 주도의 기술완성형 연구에서 모두가 혜택을 받는 사회문제해결형 연구로 전환해야 한다. 그리고 지역정책은 정부 주도의 지역 균등화를 넘어 지역 산학연 주도의 광역클러스터화로, 글로벌 정책은 선언적이고 개별적인 정책에서 실용적이고 연계적인 정책으로 전환하여 글로벌 과학기술 강국으로 발전해 나가야 한다. 마지막으로 정책의 방향성 측면에서는, 개별 분야로서의 과학기술에서 국정운영 원리로서의 과학기술로, 사후적인 위기 해결 중심에서 선제적인 미래 대응으로 전환해야 한다.

각각의 정책방향과 세부과제는 다음과 같은 공통의 철학을 담고 있다. 첫째, 과학기술정책은 정부뿐만 아니라 현장의 개인과 산학연이 주도적으로 참여하여 추진하고, 그 담당 주체를 명확하게 선정하여 책임성을 높여야 한다. 둘째, 정책의 목표는 구체적인 임무를 정해서 그것을 해결하는 것이 되어야 하며, 임무의 해결이 일회성으로 그치지 않도록 체계를 구축해 나가야 한다. 마지막으로 관리와 평가 측면에서, 미시적·단기적으로 과정을 관리하는 것이 아니라 거시적·장기적으로 성과를 관리함으로써, 모든 주체가 각자의 역량과 열정을 자율적으로 발휘할 수 있도록 해야 한다.

결론 및 실행을 위한 제언

본 전략은 국가 전체의 관점에서, 국가 과학기술 생태계를 구성하는 주체, 즉 과학기술연구자, 기업, 대학, 공공연구기관, 정부, 일반 국민 등 모두에게 도움이 되고자 수립되었다. 각 주체는 본 전략을 활용하여 미래사회의 변화를 상상하면서 각자의 미래를 설계해 나갈 수 있을 것이다. 또한, 본 전략은 영문보고서로도 발간하여, 해외 정부의 과학기술정책 담당자들이 대한민국 과학기술의 현재 상황과 미래 지향점을 이해하고 대한민국을 전략적 파트너로 선택하여 상호 협력을 증진해 나갈 수 있도록 하였다.

본 전략은 역대 과학기술 미래전략, 국가 차원의 종합적인 미래전략, 과학기술기본계획·과학기술예측조사·국가연구개발 중장기 투자전략 등 중·단기 실행전략 및 활동, 국토교통·해양수산·에너지·기후환경·보건의료 등 각 분야별로 수립되는 장기 미래전략 등과 연계성을 갖고 수립되었으며, 이는 차기 전략을 수립할 때에도 견지되어야 한다.

본 전략이 단발성 기획으로 끝나지 않고 차기 전략과 연속성을 유지하기 위해서는 전략 수립 시점에 임시 조직이 만들어지는 것보다는, 과학기술 장기 전략 수립을 지원하는 상시 조직이 운영되는 것이 바람직하다. 해당 조직은 상시적 업무로, 장기적인 외부 환경 변화를 모니터링하고, 과학기술 미래전략과 관련된 성과를 평가하고, 중단기 전략이 미래전략의 방향성에 따라 수립·추진되는지를 점검하며, 산학연 미래예측 전문가들을 연계하고 미래전략 관련 지식을 축적·공유하는 등의 역할을 수행해야 한다.

대한민국 과학기술 미래전략 2045

비전 국민 삶과 경제성장의 질을 높이고 인류사회에 기여하는 과학기술



비전과 미래상 실현을 위해 해결해야 하는 과학기술 도전과제

기후변화, 재난재해, 감염병 등 인류의 생존을 위협하는 요인에 대처

환경오염 대응을 통한 문명의 지속가능성 확보

차세대 바이오·의료 기술을 통한 건강한 삶 실현

인간의 신체적·지적 능력 보완 및 확장

자원 고갈에 대비한 농어업·제조업·에너지 혁신

우주 생활권 및 안전하고 편리한 이동 실현

다양한 소통방식과 신뢰할 수 있는 네트워크 확보

새로운 삶의 영역을 확보하기 위한 미지의 공간 개척

도전과제 해결의 토대가 되는 창의적 지식 탐구: 기초과학의 거대질문(Big Questions)

과학기술 도전과제 해결을 위해 추구해야 하는 과학기술 정책방향

미래 변화에도 지적 역량이 확보되고 발휘되는 인재정책

도전적이고 창의적으로 지식을 창출하는 국가연구개발체계

신성장동력을 키우고 기존 성장동력을 다지는 산업기술개발

사회문제를 해결하고 삶의 질을 제고하는 공공연구개발

산학연 주도로 혁신의 중심지가 되는 지역

국경 없는 글로벌 과학기술혁신체계

과학기술과 국가정책 간 연계를 강화하는 과학지향 국가

미래전망과 국가정책 간 연계를 강화하는 미래지향 국가

1.

대한민국의 미래 100년을 준비하며

1-1. '대한민국 과학기술 미래전략 2045'의 필요성

1-2. 전략의 방향성

1-1.

‘대한민국 과학기술 미래전략 2045’의 필요성

인류는 과거에 경험해 보지 못한 급격한 변화의 시대에 살고 있다. 세계경제포럼(World Economic Forum)은 “다가올 변화가 그 규모, 범위, 복잡성에서 인류가 경험했던 어떤 것보다 다를 것이다”라고 표현하였고,^[1] 영국의 「파이낸셜타임즈(Financial Times)」는 우리가 전혀 없는 리스크에 직면하고 있다고 진단하였다.^[2] 급격한 변화의 중심에 과학기술 혁신(science, technology and innovation, STI)이 있다. 디지털기와 통신, 빅데이터와 인공지능, 바이오·의료 기술, 신에너지, 신물질, 우주개발, 기초과학 등이 주도하는 혁명적인 변화를 우리는 사회 전 분야에서 목격하고 있다.

미래는 우리에게 기회가 될 수도, 위협이 될 수도 있다. 과학기술의 발전으로 인해 인간의 일자리가 줄어들거나 빈부 격차가 심해질 것이라는 우려도 있다. 물론 미래를 준비할 때 이와 같은 부정적인 측면을 대비하는 것도 필요하지만, 과학기술을 활용하여 미래를 개척해 나가겠다는 긍정적이고 적극적인 자세를 갖는 것이 더 중요하다. 미래가 기회가 될지, 위협이 될지는 운명으로 정해진 것이 아니라 우리의 태도와 대응에 달려있기 때문이다. 미래를 정확하게 전망하는 것도, 미래를 우리가 원하는 대로 만드는 것도 어렵다. 하지만, “미래는 현재 우리가 무엇을 하는가에 달려있다”라는 마하트마 간디의 말처럼 우리가 원하는 미래에 다가가기 위해

서는 지금부터 장기적이고 체계적으로 준비해야 한다. 또한, 개인의 발전을 위해서 꿈과 계획이 필요한 것처럼 국가와 인류의 발전을 위해서 미래전략을 수립하는 것 역시 매우 중요하다.

그렇다면 한 치 앞을 내다보기 어려운 급격한 변화의 시대에 미래전략이 필요한 이유는 무엇일까? 어차피 미래를 정확하게 전망하여 대비하는 것은 어려우니 상황이 발생한 이후에 민첩하게 대응하는 것이 효율적이라는 주장이 제기될 수도 있다. 하지만 2020년 코로나바이러스감염증-19(COVID-19) 사태에서 알 수 있듯이 미래를 준비한 국가와 그렇지 못한 국가는 위기에 대처하는 능력에서 분명한 차이를 보인다. 우리나라가 COVID-19에 성공적으로 대응할 수 있었던 것은 병원 병상 수와 고급 의료장비 대수에서 경제협력개발기구(OECD) 국가 중 최고 수준을 기록하는 등 의료 기반이 튼튼했기 때문이기도 하지만, 2015년 중동호흡기증후군(MERS)의 경험을 교훈 삼아 방역 및 의료 체계를 정비하고 진단키트를 개발하는 등 미래를 선제적으로 준비했기 때문이다.

한편에서는, 미래를 준비할 필요가 있다고 하더라도 과학기술이 빠르게 발전하고 있으므로 단기 전략이면 충분하고 장기 전략은 불필요하다는 주장도 나올 수 있다. 그러나 과학기술은, 특히 기초연구나 우주, 소재 등의 분야는 역량을 갖추고 성과를 내기까지 긴 시간이 필요하다는 특수성이 있다. 또한, 국가의 미래대응 역량을 강화하기 위해서는 ‘미래 예측 - 전략 수립 및 실행 - 전략 수정’의 과정을 통해 오랫동안 경험을 축적해야 한다. 따라서 현안

에 민첩하게 대응하는 것뿐만 아니라, 장기적인 관점에서 국가의 방향성과 전략을 준비하는 것도 중요하다. 당장 넘어지지 않으려면 발밑을 살펴야 하지만 원하는 목적지에 가려면 눈을 들어 멀리 봐야 한다.

과학기술은 부존자원이 부족한 우리나라가 원하는 미래를 실현하기 위한 가장 핵심적인 자산이라고 할 수 있다. 세계 역사를 돌아보면 과학기술은 인류 발전의 원동력이었으며, 다양한 발견과 발명을 통해 괄목할만한 진보를 이루어냈다. 일례로 1998년 미국의 「라이프(Life)」지가 지난 천 년간 인류 역사에서 가장 영향력이 컸던 100대 사건을 선정했을 때 상위 20개 항목 중 12개가 과학기술과 관련된 것이었다.^[3] 한편, 우리는 예로부터 과학기술과 관련하여 뛰어난 잠재력을 보여준 민족이었다. 그러나 19세기 말 격동기에 세계 변혁의 흐름을 제대로 읽고 대응하지 못하여 국가적으로 어려움을 겪었다. 현대에 와서도 서양에 비해 200년, 일본에 비해서도 100년이나 뒤떨어진 1960년대에 비로소 과학기술에 본격적으로 도전하기 시작했다. 그럼에도 불구하고 우리나라는 반도체, 정보통신, 자동차, 조선, TV, 스마트폰 등의 분야에서 세계적인 산업을 육성하였고, 2018년에 이른바 '30-50 클럽'(국민소득 3만 달러, 인구 5천만 명 이상)에 세계에서 일곱 번째로 진입하는 등 눈부신 성과를 이루었다. 이는 모두 우리나라의 뛰어난 과학기술 역량이 뒷받침되었기 때문에 가능한 것이었다.

2045년은 우리가 맞이할 미래에서 매우 의미 있는 시점이다. 우선, 2045년은 대한민국 광복 100

주년이 되는 해이다. 우리나라의 과거 100년을 되돌아보고 새로운 100년을 준비한다는 상징적인 의미가 있다. 그리고 2045년은 현재 청소년들, 즉 미래세대가 우리 사회를 주도해 나갈 시기이다. 미래세대가 더 안전하고 건강한 사회, 풍요롭고 편리한 사회, 공정하고 차별 없는 사회, 그리고 인류사회에 기여하는 대한민국에서 살 수 있으려면 우리 모두가 지금부터 미래를 준비해야 한다.

1-2. 전략의 방향성

「대한민국 과학기술 미래전략 2045」는 우리가 희망하는 2045년 대한민국의 모습과 이를 실현하기 위한 과학기술의 장기적인 비전과 전략을 제안한다. 본 전략은 구체적으로 다음과 같은 방향성을 갖고 수립되었다.

첫째, 역대 정부의 과학기술 미래전략을 발전적으로 계승하여 전략의 연속성을 유지한다. 역대 정부는 1999년 「2025 과학기술발전 장기비전」,^[4] 2010년 「2040 과학기술 미래비전」^[5] 등과 같이 10년마다 과학기술을 기반으로 한 미래전략을 수립해왔다. 본 전략은 이 전략들을 종합적으로 검토하여 현재까지의 성과와 미흡했던 점을 평가하였고, 이를 향후 연구개발 및 정책의 방향과 세부과제를 도출하는 데 반영하였다.

둘째, 본 전략은 과거 전략을 계승하는 것에서 더 나아가, 그동안 우리 사회의 변화를 반영하고 미

래 100년을 준비하며 새로운 미래상과 목표를 제시한다. 과거처럼 경제성장률 같은 수치나 '세계 몇 위' 같은 순위를 국가적인 목표로 제시하기보다는, 과거 고속성장 과정에서 상대적으로 중요하게 추구하지 못했던 가치들, 즉 우리 모두의 행복과 이를 위해 필요한 안전, 건강, 공정, 신뢰 등 질적인 가치를 우리가 추구해야 할 미래의 목표로 제시하고자 한다. 또한, 2019년에 발표된 국가 종합전략인 「혁신적 포용국가 미래비전 2045」⁶⁾에서 강조한 포용, 공정, 평화 등의 가치를 반영한 것도 같은 맥락이라고 할 수 있다. 이와 같은 관점에서, 우리나라 과학기술의 목표는 국민 삶의 질을 높이고 경제성장의 질을 높이고 인류사회에 기여하는 것이 되어야 한다고 제안한다.

셋째, 본 전략은 우리가 원하는 미래가 단순히 희망사항(wish list)에 그치지 않고 실현되기 위해서는 과학기술의 역할이 중요하다는 점을 강조하고, 구체적으로 과학기술이 해결해야 하는 '도전과제(challenges)'들을 제시한다. 여기서 도전과제란 난치병, 환경오염 등과 같이 미래에 국가와 사회가 직면할 핵심적인 문제들이다. 본 전략이 단순히 유망기술을 제시하기보다 도전과제에 집중하는 이유는, 미래에는 과거처럼 정부 주도로 특정 기술 분야를 선정하고 이에 대한 개발을 추진하는 방식이 더 이상 유효하지 않을 것이기 때문이다. 과거에 비해 개별 주체들이 가지고 있는 분야별 전문성이나 정보 접근성이 날이 갈수록 높아지고 있고, 정부가 특정 기술을 선정하여 지원을 집중하기에는 미래의 사회와 기술이 너무나 빠르게 바뀌고 있다. 따라서

정부는 거시적인 트렌드를 조망하고 국가적으로 해결해야 하는 문제를 규정하는 등 큰 그림을 그리는 한편, 개인, 기업 등 다양한 주체들이 문제 해결에 적합한 유망기술을 탐색·선택하여 경쟁·협력을 통해 문제를 해결해 나갈 수 있도록 지원하는 역할을 담당해야 한다. 다만, 도전과제 해결에 도움이 될 수 있도록 4장에서 도전과제와 관련된 기술의 현황을 살펴보고 기술개발 방향도 제안하였다.

넷째, 정책과 관련해서는 필요한 사항을 단순히 열거하기보다 정부의 과학기술정책이 미래에 어떤 방향으로 전환(changes)되어야 하는지에 중점을 둔다. 본 전략에서 정책방향의 전환을 특별히 강조하는 이유는, 메가트렌드 등 미래의 변화 양상이 과거와 달리 빠르고 불확실성 또한 커짐에 따라 기존의 틀과 접근 방법으로는 대응하기가 쉽지 않기 때문이다. 또한, 우리나라 과학기술정책은 그동안 인력 양성, 법·제도 정비, 인프라 구축 등의 측면에서 많은 성과를 이루었고 역량을 축적해 왔으나, 이제는 점진적인 개선보다는 획기적인 전환이 필요한 시점이다. 가령, 양보다는 질적인 개선을 목표로 하고, 정부가 주도하는 방식보다는 산학연관 협력에 기반한 방식을 중시하며, 개별 요소를 확충하는 데 그치지 않고 요소 간 연계성을 강화해야 한다. 무엇보다 인재, 연구개발, 성장동력, 지역생태계, 글로벌 협력 등 과학기술과 관련된 정책들은 우리 앞에 놓인 과학기술 도전과제들을 얼마나 효과적으로 해결하는지에 중점을 두어 추진되어야 한다.

다섯째, 본 전략은 전체적으로 미래지향적인 관점을 견지한다. 예컨대, 선진국과의 현재 기술 격차

를 부각시키거나 우리나라 과학기술 생태계의 문제점을 반성하는 것에 그치지보다, 미래사회를 상상하고 통찰함으로써 우리에게 도전과 변화가 필요하다는 점을 강조한다. 본 전략은 상상의 관점을 더하기 위해 미래에 대해 누구나 궁금해할 수 있는 질문으로 논의를 시작하였다. “인간은 몇 살까지 건강하게 살 수 있을까?”, “인구 감소 및 인공지능 시대에 어떻게 과학기술 인재를 확보하여 역량을 발휘하게 할 수 있을까?” 등과 같이 인류, 그리고 국가의 미래에 대한 근본적인 질문들을 진지하게 탐구해보고, 어떤 해답을 제시할 수 있을지, 그리고 우리가 선택해야 하는 전략은 무엇인지 고민해 보았다.

본 전략을 수립하는 작업은 과학기술 기반의 국가 미래전략을 결정하는 중요한 과정이므로, 다양한 분야의 공공 및 민간 전문가들이 참여하고 서로 긴밀하게 협업할 수 있도록 추진체계를 설계하였다. 과학기술정보통신부는 약 20여 명의 산학연 전문가로 ‘2045 미래전략위원회’를 구성하고, 그 아래에 과학기술 분과위원회와 혁신생태계 분과위원회를 두어 주요 의사결정을 수행하도록 하였다. 그리고 과학기술정책연구원과 한국과학기술원의 과학기술정책 및 미래연구 전문가들이 연구팀을 구성하여 전략의 틀을 설계하고 전략을 도출하기 위한 연구를 수행하였다. 폭넓은 의견 수렴을 위해 자연과학, 공학 및 과학기술정책 관련 전문가들과 여러 차례에 걸쳐 자문회의를 개최하였고, 1,000명의 일반 국민을 대상으로 설문조사도 실시하였다. 또한, 전략 수립 과정에서 대전, 광주, 부산에서 지역 토

론회, 서울에서 스타트업 및 창업 동아리 대표 간담회를 개최하여 현장의 생생한 목소리를 청취함으로써 전략의 완성도를 높이고자 하였다. 그리고 본 전략이 일회성으로 그치는 것이 아니라, 우리나라의 지속적인 미래대응 역량 강화로 이어지고 향후 미래전략을 수립하는 이들이 참고할 수 있도록, 전략 수립의 체계적인 과정을 본 전략에 최대한 담아내 고자 하였다.

본 전략의 각 장에서 다루는 내용을 간략하게 설명하면 다음과 같다. 2장에서는 2045년 우리가 원하는 대한민국의 미래상을 ‘안전하고 건강한 사회’, ‘풍요롭고 편리한 사회’, ‘공정하고 차별 없는 소통·신뢰 사회’, ‘인류사회에 기여하는 대한민국’으로 제시하고, 이를 실현하기 위한 과학기술의 역할을 과학기술의 미래 비전으로 표현하였다. 3장에서는 2045년의 미래사회에 대한 질문에서 시작하여 미래상과 비전을 실현하기 위해 우리가 해결해야 하는 과학기술 도전과제와 이를 위해 추구해야 하는 과학기술 정책방향을 도출하였다. 그리고 도전과제와 정책방향의 구체적인 내용과 세부과제에 대해서는 각각 4장과 5장에서 다루었다. 마지막으로 6장에서는 전략의 결론을 제시하였고, 실행을 위한 제언으로 전략의 활용 방법, 다른 전략과의 관계, 차기 전략 수립을 위한 제언을 담았다.

2.

대한민국의 미래상과 과학기술의 비전

2-1. 대한민국의 현재와 미래

2-2. 미래의 과학기술: 연결과 확장을 통해 불가능을 가능으로

2-3. 과학기술의 미래 비전

2-1.

대한민국의 현재와 미래

현재의 대한민국

과거에 우리나라 경제는 높은 성장률을 기록했지만, 앞으로도 이를 지속하기는 어려운 상황이다. 1970~1980년대에 두 자릿수에 달하던 경제성장률이 최근 2~3%대로 하락하는 등 경제성장이 둔화되고 있고, 당분간 회복될 가능성 또한 높지 않다는 것이 전문가들의 의견이다. 가장 대표적인 원인은 저출산·고령화로 인해 경제성장의 원동력인 인구가 줄어들고 있기 때문이다. 지금의 추세대로 간다면 우리나라 인구는 2017년 5,136만 명에서 2028년을 정점으로 감소하기 시작하여 2045년에는 약 5천만 명, 2065년에는 약 4천만 명이 될 전망이다.^[7] 특히, 15~64세의 생산가능인구는 이미 2017년부터 감소하기 시작하여 2067년에는 65세 이상의 고령인구보다 적어지는 현상이 발생할 것이다.^[8]

우리나라 경제는 주력 수출품목에 대한 글로벌 경쟁 심화와 신산업 선점 부진으로 성장 잠재력이 약화되고 있는 상황이다. 우리 경제를 이끌어 온 반도체, 석유화학, 자동차, 디스플레이, 조선 등 주력 산업은 중국 등 후발국가의 추격을 받고 있다. 일부 산업은 핵심 원천기술이 부족하여 주요 소재, 부품, 장비 등을 일본 등 외국에 의존하고 있다. 게다가, 기존 주력산업을 대신할 새로운 성장동력도 아직

찾지 못하고 있다. 예를 들어, 디지털 및 데이터 경제 시대에 산업 주도권을 좌우하는 플랫폼* 사업은 구글, 아마존, 우버, 알리바바 등 미국과 중국 기업들이 독점하고 있다. 아울러, 우리나라의 경제 규모는 세계 10위권에 근접해 있으나, 투자처나 거래처로서의 국가 선호도는 20위권으로, 상대적으로 높지 않은 것으로 나타났다.^[9] 따라서 다른 국가에 비해 국내총생산(GDP)에서 수출입 비중이 커서^[10] 개방성과 대외의존도가 높은 우리나라로서는 세계무대에서의 국가 위상과 이미지를 제고하는 것이 미래에 중요한 과제가 될 것이다.

우리나라는 지난 반세기 동안 경제성장으로 “한강의 기적”을 이루었으나, 압축성장으로 인한 후유증도 함께 겪고 있다. 행복의 척도가 되는 여러 사회지표들이 부정적으로 나타나고 있다는 사실에서 이를 확인할 수 있다. 노인빈곤율은 세계에서 가장 높은 수준이고^[11] 자살률도 OECD 회원국 중 가장 높다.^[12] 또한, 소득불평등이 심화되고 있으며, 이념, 세대, 지역 등이 달라 발생하는 다양한 사회갈등도 불안요소이다. 그밖에도 경제성장과 환경보존, 복지 확대와 증세, 데이터 기반 산업기술의 혁신과 개인의 정보보호 등과 같이 양자 간 균형을 고려해야 하는 가치 충돌 상황도 발생하고 있다. 이를 반영하듯, OECD의 삶의 질 조사(Better Life Index)의 삶의 만족도(Life Satisfaction) 부문에서 우리나라는 조사대상 40개국 중 33위였다.^[13]

* 플랫폼이란 다양한 활동에 공통적으로 사용되는 토대 또는 다양한 주체를 연결하는 매개체를 의미한다. 검색엔진, 온라인쇼핑몰, 소셜네트워킹서비스(SNS) 등이 대표적인 사례이다.

환경적 측면에서는 화석연료 등 에너지를 많이 소비하는 산업구조로 인해 온실가스, 미세먼지 등이 다량 배출되어 기상이변, 환경오염, 생태계 교란 등이 심각해지고 있다. 물론 에너지 소비량이 많다는 것은 그만큼 산업이 발전했기 때문이라고도 볼 수 있지만, 지난 30년간 우리나라의 1인당 에너지 소비량이 매년 약 5%씩 늘어난 데 비해 다수 선진국들은 감소했다는 점을 고려하면^[14] 우리나라의 에너지 소비 구조에 변화가 필요하다고 할 수 있다. 또한, 플라스틱 등 폐기물의 배출이 지속적으로 늘고 있지만^[15] 소각이나 매립이 점차 어려워지면서, 폐기물의 처리가 사회적인 문제가 되고 있다. 따라서 에너지를 적게 소비하는 산업 구조로 전환하고 자원을 재활용하는 순환경제를 구축하는 등 적극적으로 변화를 추구하지 않는다면 국민 삶의 질이 낮아지고 경제성장도 지속가능하지 않게 될 것이다.

하지만 우리의 상황이 비판적이라는 의미는 절대 아니다. 우리나라는 열악한 조건에서도 세계가 부러워하는 경제성장을 이룩해 온 막대한 잠재력을 갖고 있다. 1960년대 세계 최빈국 중 하나에서 2018년 GDP 세계 12위, 수출 5위가 되었고 1인당 GDP가 3만 달러를 넘어서는 경제강국이 되었다.^[16] 인구는 세계 28위, 국토면적은 107위에 불과하고 부존자원이 부족하다는 점을 고려할 때 우리가 현재까지 달성한 성과는 높이 평가받아 마땅하다.

과학기술 측면에서도 우리나라가 본격적으로 투자하기 시작한 것은 주요 선진국에 비해 한참 뒤늦은 1960년대였지만 불과 60여 년 만에 괄목할

만한 성과를 이루어냈다. 우리나라는 세계 최초로 CDMA와 5G 통신망을 상용화하여 현재 세계 최고 수준의 국가 정보통신망을 갖추고 있다. 2020년 스웨덴 국제경영개발원(IMD)의 국가경쟁력 순위에서 조사대상 63개국 중에서 우리나라의 과학인프라는 3위, 기술인프라는 13위로 평가되었다.^[17] 나아가, 뛰어난 과학기술을 바탕으로 산업 패러다임이 전환되던 시기에 효과적으로 대응하여 반도체, 디스플레이, 정보통신 등의 분야에서 글로벌 선두로 도약하였다. 우리의 이러한 성공 경험, 그리고 그 바탕이 된 국민들의 높은 성취동기와 우수한 적응력, 높은 과학기술 역량 등은 우리나라가 미래를 개척해 나가는 데 큰 자산이 될 것이다.

미래의 대한민국

2045년에 우리는 어떤 세상에서 살고 있을까? 또는 어떤 세상에서 살고 싶은가? 국민이 원하는 미래사회의 모습은 시대마다, 그리고 상황에 따라 달라진다. 1945년 광복 이후 수십 년간 우리 국민에게 그 무엇보다 중요한 목표는 “잘 살아 보세”라는 노래로 대표되는 경제의 발전이었다. 하지만 소득 수준이 높아지고 사회가 발전함에 따라 우리가 원하는 미래 모습은 달라져 왔다.

역대 정부가 수립한 과학기술 미래전략에는 당시에 우리가 원했던 미래 모습이 제시되어 있다. 1999년에 수립된 「2025 과학기술발전 장기비전」에서는 과학기술의 발전방향으로 “정보화 사회를 선도”, “21세기 산업경쟁력 강화와 국부창출에 기여”, “선진 수준의 삶의 질을 구현(안전한 삶, 건강

한 삶, 쾌적한 삶, 편리한 삶), “국가안위 보장과 국가 위상 제고”, “지식의 창출과 혁신을 촉진”을 제시했다.^[18] 현재 국가 발전의 초석이 된 ‘정보화’를 선도적으로 제안한 점, 20여 년 전에 이미 ‘삶의 질’을 강조하고 ‘국가 위상’을 중시한 점을 주목할 만하다. 2010년에 수립된 「2025 과학기술발전 장기비전」에서는 “우리가 꿈꾸는 미래 모습”을 “자연과 함께하는 세상”, “풍요로운 세상”, “건강한 세상”, “편리한 세상” 등 4가지 세상으로 제시하고 각각에 대해 미래 삶의 모습을 상상하였다.^[19] 국민들이 미래를 가깝게 느낄 수 있도록 구체적으로 묘사한 점이 이채롭다. 예를 들어 “자연과 함께하는 세상”을 “청정에너지가 풍족한 사회”, “기상예측정보를 활용한 안정된 생활”, “폐기물 발생을 최소화하는 생활환경”이라고 설명하였다.

그렇다면 현재 우리 국민들이 바라는 미래 모습은 무엇일까? 이를 알아보기 위해 설문조사를 하였다. 설문은 2045년의 미래를 어떻게 전망하고 있는지, 미래를 위해 국가가 어떤 문제를 해결해야 하는지, 문제를 해결하기 위해 어떤 전략을 선택해야 하는지 등의 문항으로 구성되었다. 이를 통해 다음과 같은 시사점을 얻을 수 있었다.

첫째, 우리 국민들은 2045년의 미래에 다양한 위기가 발생할 것이라고 염려하고 있다. 현재의 전략을 미래에도 그대로 유지하는 ‘현상 유지 시나리오’를 가정할 경우 소득불평등, 사회적 신뢰, 환경오염, 재난재해, 삶의 만족도 등 다양한 지표가 현재 수준보다 악화될 것이라고 전망하였다. 그 중에서도 소득불평등과 환경오염에 대한 우려가 컸다. 그러나

최선의 대응전략을 수립해 적극적으로 노력하는 ‘개선 시나리오’를 가정하더라도 각종 지표가 소폭만 개선될 것으로 예상하여, 미래에 우리가 처한 상황이 낙관적이지 않다는 것을 알 수 있다. 엄중한 위기감을 가지고 적극적이고 체계적으로 미래를 대비해 나갈 필요가 있는 것이다.

둘째, 우리나라가 2045년까지 해결해야 할 시급한 문제로 환경오염, 인구 감소, 일자리 감소, 경제성장 둔화 등을 지적하였다. 이는 소득불평등과 환경오염을 우려하는 앞선 문항의 결과와 부합하는 내용이다. 그런데 한 가지 주목할 것은 국민들이 삶의 질 저하, 사회적 신뢰 증대, 사회적 투명성 제고 등과 같은 다양한 사회문제들도 중요하게 생각하고 있다는 점이다. 국민들은 우리나라가 환경적 가치, 경제적 가치, 사회적 가치를 모두 균형 있게 추구해야 한다고 생각하고 있음을 알 수 있다.

셋째, 미래사회의 문제를 해결하는 전략에 대해서는 국민들이 다양한 의견을 갖고 있는 것으로 나타났다. 많은 수의 국민들이 저출산·고령화와 같은 사회적 제약이 있더라도, GDP의 일정 부분을 연구개발(R&D)에 지속적으로 투자하여 성장동력을 발굴하고 규제를 개선함으로써 국가를 발전시켜 나갈 것을 주문하였다. 특히, 인공지능·로봇, 바이오, 신재생에너지 등의 분야에 투자하는 것이 필요하다고 응답하였다. 하지만 그와 동시에 소득 분배, 기술 발전에 의한 일자리 감소 대응, 생명윤리·개인정보·안전 관련 규제 강화 등도 중요하게 고려해 줄 것을 당부하였다. 미래에는 이러한 다양한 기술적·사회적 가치들이 상호 충돌할 가능성이 높다. 따라

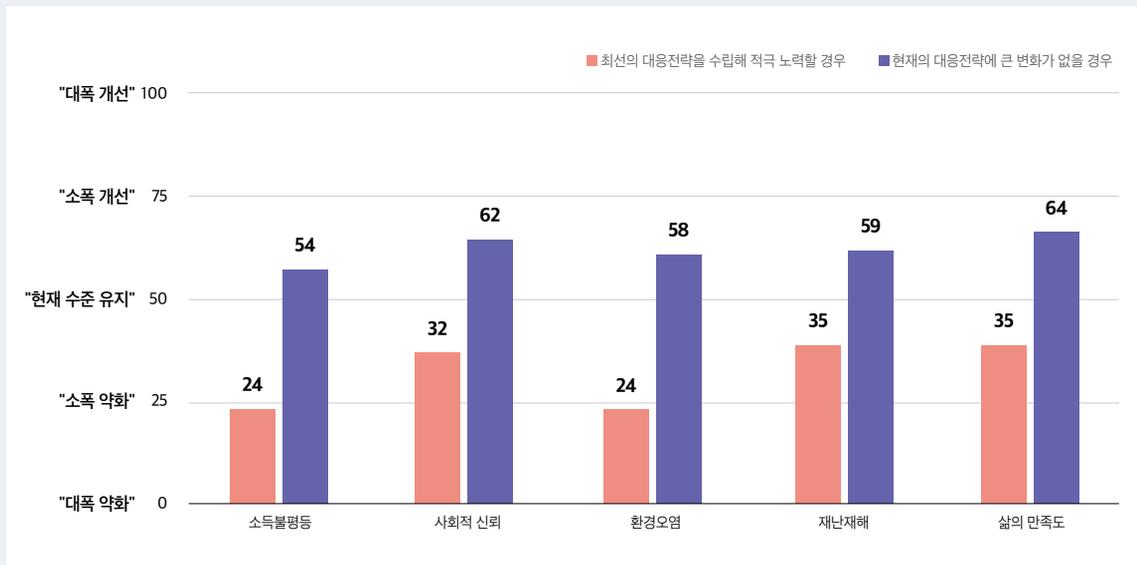
[참고 1] 설문조사의 주요 내용

설문조사는 2019년 7월 9일부터 7월 15일까지 전국에 거주하는 10대부터 60대까지 남녀 1,000명을 대상으로 실시하였다. 조사 대상은 성별, 연령별, 지역별로 안배하였으며, 성별로는 남성이 51.1%, 여성이 48.9%였고, 연령별로는 10대 8.7%, 20대 18.0%, 30대 19.0%, 40대 22.1%, 50대 22.2%, 60대 10.0%였다.

2045년 모습 전망

국민들은 우리나라의 현재 대응전략에 큰 변화가 없을 경우(현상 유지 시나리오) 소득불평등, 사회적 신뢰, 환경오염, 재난재해, 삶의 만족도가 현재보다 소폭 악화될 것이라고 전망했다. 최선의 대응전략을 수립해 적극 노력할 경우(개선 시나리오)에도 현재 수준을 유지하거나 상황이 소폭 개선되는 데 그칠 것이라고 응답했다.

2045년 전망: 현상 유지 시나리오와 개선 시나리오

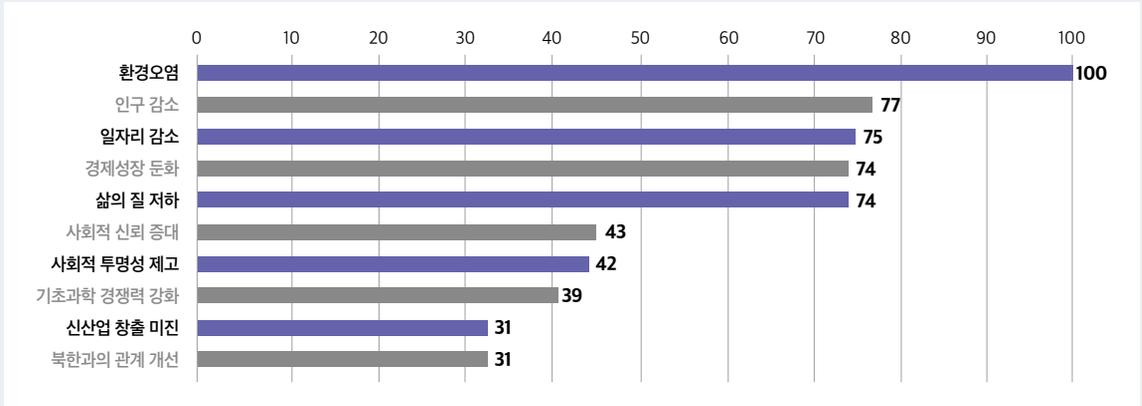


주: 응답자가 “대폭 악화”부터 “대폭 개선”까지 5개 항목 중에서 선택한 결과를 100점 만점으로 환산하였음(“현재 수준 유지” = 50점).

2045년까지 대한민국이 해결해야 하는 문제

우리가 원하는 대한민국을 실현하기 위해 2045년까지 해결해야 하는 문제로는 환경오염(100), 인구 감소(77), 일자리 감소(75), 경제성장 둔화(74), 삶의 질 저하(74), 사회적 신뢰 증대(43), 사회적 투명성 제고(42), 기초과학 경쟁력 강화(39), 신산업 창출 미진(31), 북한과의 관계 개선(31) 등을 꼽았다(괄호 안의 수치는 상대점수).

2045년까지 우선적으로 해결해야 하는 문제(상위 10개)

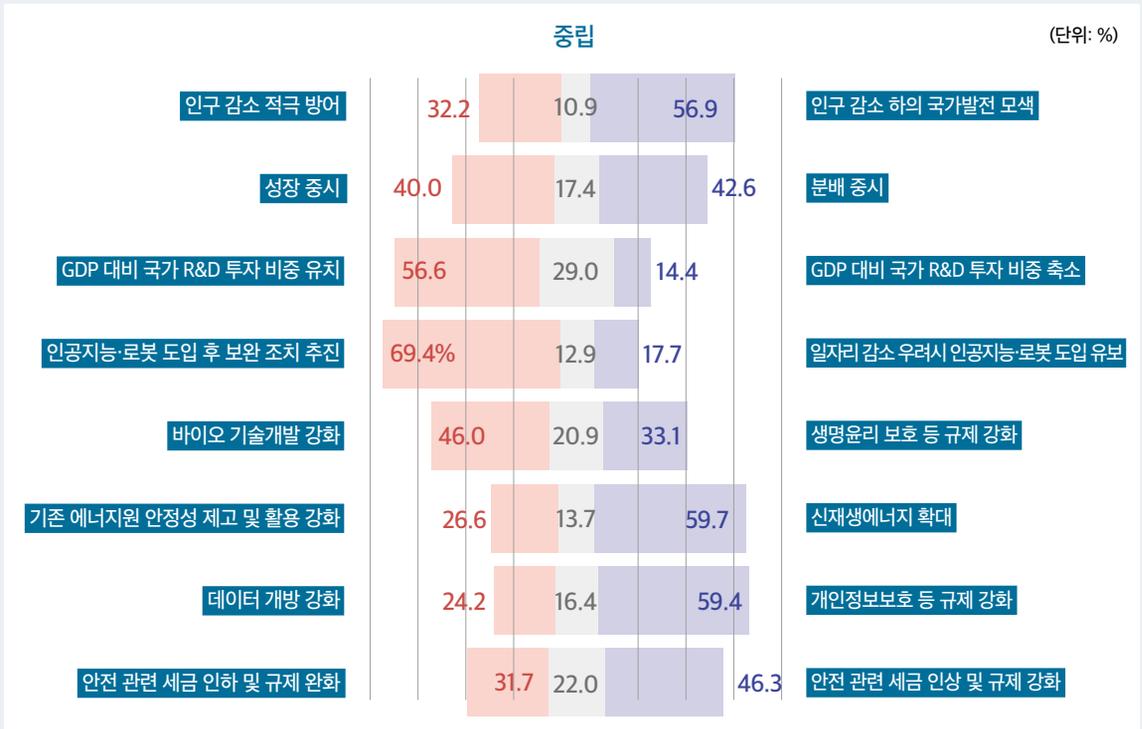


주: 환경오염을 100으로 했을 때의 상대점수.

전략에 대한 선호도

‘인구 감소하의 국가 발전 모색’(56.9%), ‘GDP 대비 국가 R&D 투자 비중 유지’(56.6%), ‘인공지능·로봇 도입 후 보완 조치 추진’(69.4%), ‘바이오 기술개발 강화’(46.0%), ‘신재생에너지 확대’(59.7%), ‘개인정보보호 등 규제 강화’(59.4%), ‘안전 관련 세금 인상 및 규제 강화’(46.3%)가 각각에 대응되는 전략에 비해 선호도가 높았다. ‘성장 중시’(40.0%)와 ‘분배 중시’(42.6%)는 선호도가 서로 비슷하게 나타났다.

전략에 대한 선호도



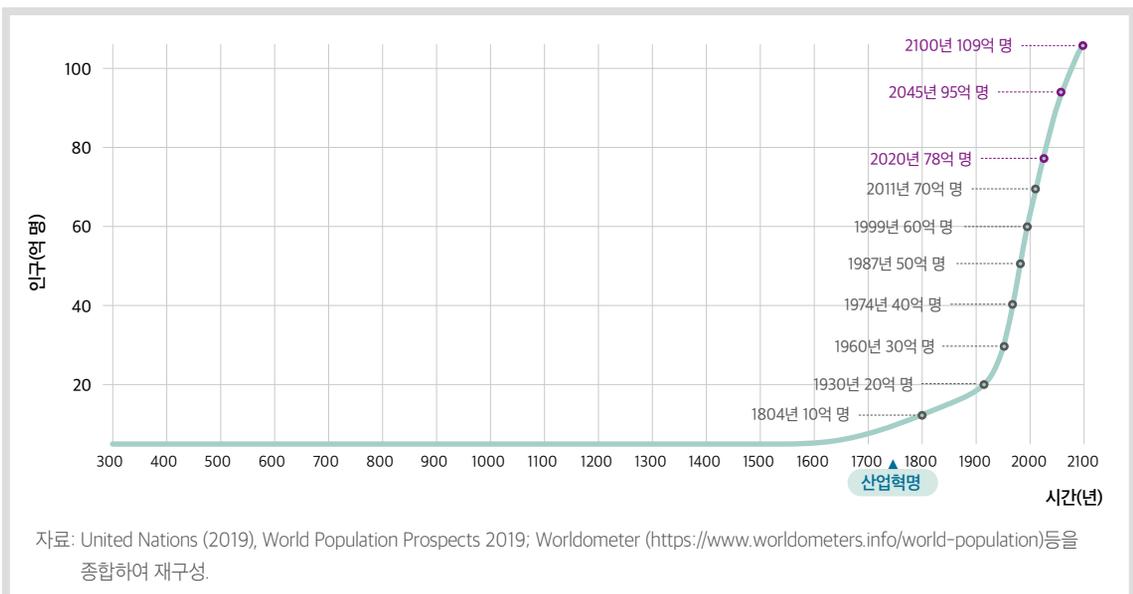
서, 우리가 희망하는 대한민국으로 나아가기 위해서는 우리 사회가 추구하는 다양한 가치들을 고려하여 가치 충돌로 인한 갈등을 완화하고 중재해 나가며 최선의 대안을 찾아나가야 할 것이다.

메가트렌드: 기회와 위협

현재의 대한민국에서 미래의 대한민국으로 가는 길에는 어떤 기회와 위협이 기다리고 있을까? 거시적이고 장기적인 변화의 방향성인 메가트렌드는 우리 삶의 모든 부분에 영향을 미칠 가능성이 높으므로 대한민국의 미래상을 설계하기 위해 중요하게 고려할 필요가 있다. 국내외 다양한 자료들과 전문가들의 의견을 종합해보면 세계적으로, 그리고 국가적으로 주목해야 하는 사회, 기술, 경제, 환경, 정치 측면의 메가트렌드는 다음과 같다.

첫째, 인구 변화로 인한 다문화화와 고령화이다. 많은 전문가들은 미래를 읽을 수 있는 가장 큰 단서가 인구 변화에 있다고 지적한다. 세계인구는 16~17세기까지 4~5억 명 수준이었으나 산업혁명 이후 18~20세기에 급격하게 증가했다. 1804년에 10억 명이 되었고, 약 130년 후인 1930년에 20억 명, 30년 후인 1960년에 30억 명, 14년 후인 1974년에 40억 명, 13년 후인 1987년에 50억 명, 12년 후인 1999년에 60억 명, 다시 12년 후인 2011년에는 70억 명에 이르렀다. 그리고 2020년 현재 78억 명인 세계인구는 2045년 95억 명으로 늘어날 전망이다.^[20] 이 같은 인구 증가는 아시아, 아프리카 등 개도국을 중심으로 진행되고 있고^[21] 대부분의 선진국에서는 인구증가율이 낮아지거나 인구가 감소하고 있다. 선진국과 개도국의 인구 증감은 전쟁과 분쟁, 교

세계인구의 장기적인 추이



통·통신의 발달 등 다른 여러 요인들과 함께 인구의 국가 간 이동을 촉진하여, 우리나라를 포함한 많은 국가에서 다문화화가 지속적으로 진행될 것이다.^[22]

인구 변화와 관련된 또 다른 방향성은 고령화이다. 의료기술의 발달로 평균수명은 늘어나는데 출생인구는 감소하여 전체인구 중 고령인구의 비중이 높아지고 있다. 특히 우리나라는 세계에서 가장 빠른 속도로 고령화가 진행되고 있다. 지금의 추세대로라면 65세 이상 고령인구 비중이 2017년 13.8%에서 2045년에는 37.0%로 늘어나 전 세계에서 가장 고령화된 국가가 될 전망이다.^[23] 과거에 비해 의료기술이 비약적으로 발전했지만 아직도 심혈관질환, 암, 당뇨, 치매 등 많은 난치병이 존재한다. 우리나라 65세 이상 노인 중 두 가지 이상의 만성질환을 보유한 비율은 2017년 73.0%에 달한다.^[24] 미래에는 인류의 수명이 100세 이상으로 연장될 전망이다^[25] 고령인구가 전체인구의 다수를 차지하게 될 것이고, 이들이 늘어난 노년 기간을 어떻게 건강하게 보낼 것인가가 중요한 사회 문제가 될 것이다.

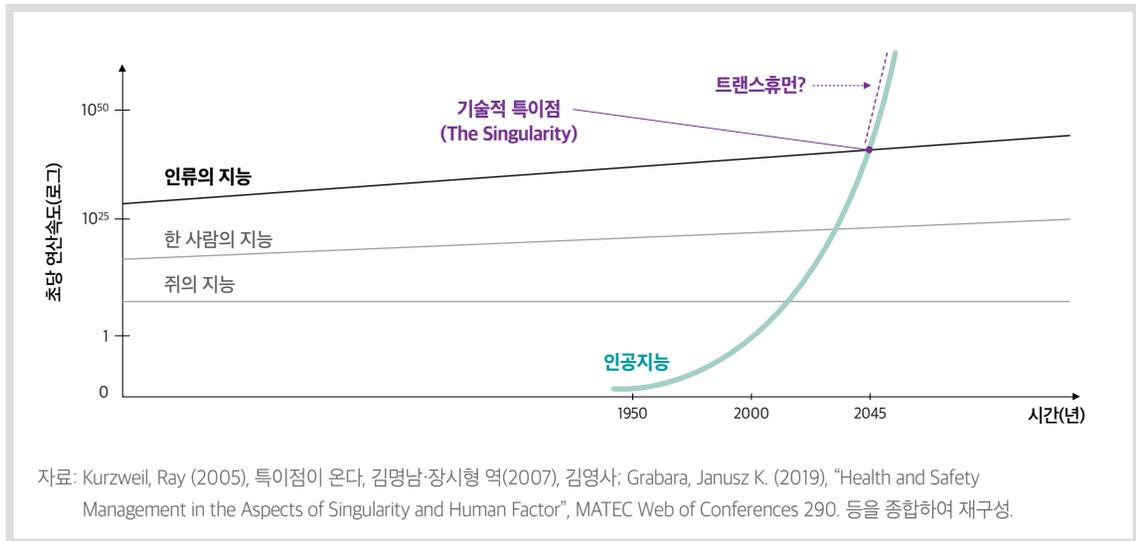
둘째, 신기술의 등장과 산업 패러다임의 전환이다. 미래학자 레이먼드 커즈와일(Raymond Kurzweil)은 인공지능이 점점 발전하여 그 총합이 인류의 지능을 합친 것보다 더 커지는 시점, 즉 기술적 특이점(singularity)*이 2045년이 될 것이라

고 전망했다. 인간의 뇌는 10만 년마다 1세대급인 치씩 커진 반면 컴퓨터의 연산 용량은 1~2년마다 두 배씩 늘고 있기 때문이라는 것이다.^[26] 실제 인공지능이 인류의 지능을 추월할 것인지, 그 시점이 언제가 될 것인지에 대해서는 판단하기 어렵다. 하지만, 우리 삶을 완전히 바꿔놓은 인터넷(1989년 World Wide Web 개발)과 스마트폰(2007년 아이폰 출시)이 본격적으로 활용된 지가 각각 30년과 10년 정도 밖에 되지 않았다는 사실을 생각하면, 20~30년 후 인공지능의 발전 정도와 그것이 우리 삶에 미칠 영향이 상상하기 어려울 정도로 막대할 것이라는 점은 이해할 수 있다.^[27] 미래에 인류는 인공지능 등 디지털기술을 통해 더 논리적으로 생각하고 더 생산적으로 일함으로써 기존 산업의 효율성을 높이고 새로운 산업을 탄생시킬 것이다.

또한 최근에는 바이오 기술도 비약적으로 발전하고 있다. 이를 바탕으로 의료·제약(레드바이오)뿐만 아니라, 농업·식품(그린바이오), 환경·에너지·소재(화이트바이오), 해양(블루바이오) 등 많은 분야에서 혁신이 일어나는 바이오경제(bioeconomy)가 머지않아 실현될 것으로 예상된다. 과거 기계, 전기, 디지털 기술이 여러 차례 산업혁명을 가져왔듯이, 미래에는 바이오 기술, 에너지 기술, 소재 및 제조 기술, 또는 미지의 기술이 넥스트 산업혁명을 촉발하여 새로운 산업 패러다임이 전개될 것이다.

* 특이점이란 우리가 일반적으로 생각하는 기준이 적용되지 않는 점을 말한다. 수학에서는 상수를 0에 한없이 가까워지는 수로 나는 결과처럼 무한히 커지는 값을 뜻하고, 천체물리학에서는 무한대 밀도와 중력을 가진 블랙홀 내의 한 점을 가리킨다. 여기서는 미래에 기술 변화의 속도가 매우 빨라지고 그 영향이 매우 커져서 인간의 생활이 되돌릴 수 없을 만큼 급격히 변화되는 시점이라는 의미로 사용되었다.

기술적 특이점



셋째, 세계 경제의 저성장 장기화와 신흥국의 부상이다. 선진국의 경제성장이 둔화되고 중국, 인도 등의 경제성장률이 과거 대비 낮아지면서 세계 경제의 저성장이 장기적으로 지속될 전망이다. OECD는 세계 경제성장률이 2018년 3.5%에서 2060년 2%로 하락할 것이라고 전망한 바 있다.^[28] 설상가상으로 2020년 전 세계를 강타한 COVID-19의 영향으로 인해 세계 경제는 제2차 세계대전 이후 가장 심각한 불황을 맞이하였으며, 주요국들은 자국 산업을 보호하기 위해 경쟁적으로 보호무역 태세를 취하고 있다. 또한, 많은 국가들이 위기관리의 관점에서 수입 의존도가 높은 기술과 산업에 대해서 국산화에 나서며 따라 글로벌 가치사슬에도 변화가 발생할 것이다. 세계은행(World Bank)은 2020년 세계 경제성장률을 -5.2%로 전망했고 만약 COVID-19에 대한 대응이 지연되거나 각국 재정의 붕괴로 이어질

경우 불황은 더욱 심각해질 것이라고 경고했다.^[29] 저성장이 장기화되고 공급 과잉 및 국가 간 성장불균형이 심화될 경우, 무역 분쟁, 글로벌 금융위기 등 다양한 위험 요소가 발생하게 될 것이다.

또한, 해외 주요 연구기관 및 언론의 예측에 따르면 북미, 유럽 중심의 글로벌 경제 리더십이 향후에 재편될 것으로 전망된다. 이러한 전망에 따르면, 2030년부터는 중국이 세계 제1의 경제대국으로 부상하고, 중국을 포함한 아시아가 세계 경제에서 차지하는 비중은 더욱 커질 것이다.^[30] 하지만, 우리나라의 경우 미래에 경제력 감소가 우려된다. 과거 수십 년간은 인구와 1인당 GDP가 같이 증가해 왔지만 향후에는 인구, 특히 생산가능인구가 감소할 전망이다므로 1인당 GDP가 크게 늘어나지 않는다면 총 GDP의 성장을 낙관할 수 없다. 2017년 컨설팅 업체 PwC는 우리나라 경제규모 순위가 2016년 13

위에서 2050년에는 파키스탄, 이란 등에 이어 18위로 하락할 것이라는 비관적인 전망을 내놓은 바 있다.^[31] 1인당 GDP를 획기적으로 높일 수 있는 생산성 향상과 산업구조 전환 및 가치사슬 내 역할 변화가 한국경제의 중요한 과제가 될 것이다.

넷째, 기후변화, 환경오염, 자원 고갈, 감염병의 위협이다. 기후변화가 현재 추세대로 진행된다면, 낙관적인 시나리오를 가정하더라도 2045년 지구 지표온도가 1850~1900년 대비 1.5~2도 상승할 전망이다. 이는 인류의 생존에 큰 위협이 될 것이다. 일례로, 기후변화로 인해 해수면이 상승할 경우 세계 지도는 현재와 완전히 달라지고 해안에 위치한 도시들은 파괴될 것이다.^[32] 대형태풍 등 기상 이변으로 인한 재난재해도 점점 빈번하게 발생함에 따라 인류의 생존이 위협받고 있다. 또한, 도시화와 산업화가 지속됨에 따라 미세먼지와 유해가스 등 대기오염 물질과 생활·산업 폐기물과 유해 화학물질 배출도 증가하고 있다. 이러한 오염물질은 대기, 토지, 해양을 오염시키고 이를 접촉하는 사람에게 호흡기, 피부 및 심혈관 질환 등을 유발할 수 있다.

미래에는 인구 증가, 경제 성장 등으로 인해 세계적으로 물, 식량, 에너지의 부족 문제가 심각해질 것이다. 그리고 세 가지 문제는 서로 밀접하게 연계되어 있어서(water-food-energy nexus), 어느 하나를 해결하려 하면 다른 문제가 악화될 수 있기 때문에 통합적인 접근이 중요하다. 예를 들어 식량 문제를 해결하기 위해 농업 생산량을 늘리려 한다면 그에 비례하여 물과 에너지 사용량이 늘어나 물과 에너지 부족 문제를 심화시킬 수 있다.^[33] 자원 고

갈과 생물다양성 감소도 중요한 리스크 요인 중 하나이다. 예를 들어, 현재까지 확인된 석유매장량은 2018년 기준 1.7조 배럴인데, 이는 현재 연간 석유 생산량을 고려할 때 약 50년 정도 사용할 수 있는 양이다.^[34] 석유 탐사기술의 발달로 인해 확인 매장량이 점차 늘어나고는 있지만 언젠가는 석유가 고갈되는 것이 불가피하다. 생물다양성 감소도 심각해지고 있다. 인간은 지구상의 생명체 중 0.01% 정도에 불과하지만 포유류의 약 83%, 식물의 약 50%를 멸종시켰으며, 현재의 멸종 속도는 과거 1천만 년의 평균에 비해 수십에서 수백 배 빠른 것으로 알려져 있다.^[35] 생물다양성 감소는 생태계의 안정성을 저해하고, 식량, 의약품, 에너지 등 인간이 자연 생태계로부터 얻을 수 있는 다양한 혜택들에 악영향을 미치며, 결국 인류의 생존을 위협하게 될 것이다.

인류의 삶과 건강을 위협하는 또 다른 요인은 감염병이다. 과거부터 다양한 종류의 감염병이 등장하였으나 2003년 사스(SARS), 2009년 신종플루(Pandemic H1N1/09), 2015년 메르스(MERS), 2019년 코로나19(COVID-19) 등의 사례에서 보듯 감염병의 발생과 확산이 점차 빈번하게 발생하고 있다. 새로운 바이러스에 대한 백신 개발은 일반적으로 10년 이상, 최대한 단축하더라도 4년 이상 소요되기 때문에^[36] 감염병이 발생한 이후 대응하는 것만으로는 한계가 있다. 따라서, 미래사회에서는 백신이나 치료제의 개발 속도를 어떻게 단축할 것인가 하는 점이 핵심 이슈가 될 것이다.^[37]

다섯째, 정치적·사회적 갈등 심화이다. 과거 많은 국가들이 세계화를 지향했지만 그로 인해 발생

한 국가 간 불평등에 반발하는 국가들이 최근 탈세계화를 외치며 자국 이익을 우선하는 움직임을 보이고 있다. 또한, 미국이 세계 패권을 주도하던 탈냉전 단극 체제가 막을 내리고 중국, 러시아 등이 미국의 영향력을 견제하는 다극 체제가 되면서 강대국 간 갈등도 심화되고 있다. 주변국 간의 갈등, 테러와 대량 살상무기 등도 세계 평화를 위협하는 요인들이다. 우리나라의 중차대한 과제는 세계 정치지형 및 주변국의 역학관계 변화 속에서 남북관계를 개선해 나가고, 더 나아가 통일을 이루어내는 것이다. 특히, 통일 여부는 우리나라의 미래를 좌우하는 중요한 변수 중 하나이다. 2019년 실시된 조사에서 통일이 필요하다는 의견(53.0%)이 필요하지 않다는 의견(20.5%)보다 많았고, 통일이 필요한 이유에 대해서는 “같은 민족이니까”(34.6%), “전쟁 위협을 없애기 위해”(32.6%), “보다 선진국이 되기 위해”(18.9%), “이산가족의 고통을 해결해 주기 위해”(10.6%) 등으로 나타났다.^[38]

우리나라의 경우 사회적 갈등에 대한 대응도 중요하다. 최근 조사에 따르면 국민들은 사회갈등이 심화되는 것에 대해 우려하고 있으며, 보수와 진보 간 이념갈등, 빈곤층과 중상층 간 계층갈등, 근로자와 고용주 간 노사갈등, 개발과 환경보존 간 환경갈등, 노인층과 젊은 층 간 세대갈등, 수도권과 지방 간 지역갈등 등이 심각하다고 인식하고 있다.^[39]

‘안나 카레니나 법칙’이라고 부르는, 원하는 목표를 이루려면 여러 가지 조건이 모두 만족되어야 하고 만약 그 중 어느 하나라도 크게 어긋난다면 나

머지가 모두 만족되더라도 목표를 이룰 수 없다는 법칙이 있다.^[40] 우리나라의 미래도 이와 같을 것이다. 우리 모두가 바라고 꿈꾸는 대한민국에서 미래세대가 행복하게 살 수 있도록 하기 위해서는, 우리에게 주어진 기회를 살리고 곳곳에 도사리고 있는 리스크를 모두 극복해야 한다. 이것이 우리가 지난 수십 년간 이룬 성과에 안주하지 말고 장기적인 전략을 수립하여 적극적으로 미래를 준비해야 하는 이유이다.

우리가 원하는 대한민국의 미래상

현재 대한민국의 모습, 역대 정부의 과학기술 미래전략에 제시된 미래상, 국민이 바라는 미래상에 대한 설문조사 결과, 그리고 사회·기술·경제·환경·정치 측면의 메가트렌드 등을 종합해 볼 때, 실현하는 방법이나 이행해 가는 경로에 대해서는 개인마다 의견이 다를 수 있지만, 우리가 원하는 이상적인 미래 대한민국의 모습은 다음과 같다.

첫째, 안전하고 건강한 사회이다. 과학기술을 통해 기후변화, 환경오염 등 자연환경의 급격한 변화 위기를 극복하고, 신·변종 감염병, 재난재해처럼 인류의 생명과 안전을 위협하는 요인에 대처한다. 그리고 초고령사회 진입에 대비하여 난치병 치료나 예방의료 기술 등을 고도화하여 평생에 걸쳐 질병 없는 건강한 삶을 실현한다.

둘째, 풍요롭고 편리한 사회이다. 우리나라는 세계에서 손꼽히는 정보통신기술, 디지털기술 강국으로서 기술혁신형 고부가가치 신산업을 창출하여 전 세계를 주도하고 식량, 에너지 등 우리나라에 부족

한 핵심자원들의 해외의존성을 극복해나간다. 그리고 인공지능, 빅데이터, 가상현실 등 첨단기술을 통해 생활 곳곳에서 개인맞춤형 서비스를 확대해나가고, 복잡해지는 도시환경 속에서도 빠르고 편리하게 이동하여 삶의 편의성을 극대화한다. 또한, 상하수도, 에너지, 교통, 통신 등 사회인프라와 교육, 의료, 치안, 행정 등 공공서비스가 원활하게 제공된다.

셋째, 공정하고 차별 없는 소통·신뢰 사회이다. 데이터, 네트워크 등 디지털 인프라와 시민사회의 상호존중을 바탕으로 건강한 소통과 토론이 이루어지고 이 과정에서 사회적 신뢰와 투명성이 강화된다. 또한, 개인, 기업 등 모든 주체에게 기회가 공평하게 주어지고 성별, 계층, 지역, 이념 등에 따른 차별을 해소하여 사회적 갈등을 완화해나간다.

넷째, 인류사회에 기여하는 대한민국이다. 통일을 이루어낸 하나의 대한민국이 세계의 모범국가로서 우수한 과학기술 성과를 창출하여 세계에 전파한다. 특히, 기후변화, 식량 부족, 생물다양성 감소 등 인류가 직면한 보편적인 문제 해결에 기여하는, 자랑스러운 대한민국이 되기를 우리는 희망한다.

본 전략에서 강조하고자 하는 관점은, 국가 경제의 성장뿐 아니라 개인의 '삶의 질'이 국가의 중요한 목표가 되어야 한다는 것이다. 대상 측면에서 모든 국민이 높은 삶의 질을 누려야 한다는 점과, 내용 측면에서 물질적인 가치와 더불어 공정, 평등, 신뢰 등의 '사회적 가치'가 삶의 질의 중요한 요소라는 점을 강조한다. 또한, 국가 위상과 관련해서도 단순히 우리나라가 어떤 측면에서 다른 나라보다 더 나아진다는 것을 넘어, 인류의 보편적인 문제 해

결을 통해 인류사회에 기여함으로써 국격을 높인다는, 보다 폭넓은 관점을 강조한다.

2-2.

미래의 과학기술: 연결과 확장을 통해 불가능을 가능으로

우리는 과학기술이 사회 변화의 중심에 있는 세상에 살고 있다. 증기기관, 전기, 컴퓨터·인터넷 등은 인류사회의 모습을 완전히 바꾸어 놓았고, 미래에도 인공지능, 양자컴퓨팅, 수소에너지, 정밀의료 등이 혁명적인 변화를 예고하고 있다. 하지만, 과학기술은 우리에게 단순히 주어진 환경이 아니라 우리가 활용할 수 있는 자산이다. 과학기술의 발전양상과 잠재력을 정확히 이해하고 효과적으로 활용한다면 우리는 과거에 상상할 수 없을 정도로 막대한 능력을 갖게 될 것이다.

과학기술은 연결과 확장을 통해 끊임없이 발전

미래의 과학기술은 '연결'과 '확장'이라는 키워드로 이해할 수 있다. 먼저, 미래에는 인간과 인간, 인간과 사물, 사물과 사물이 기기·센서, 통신 네트워크, 인공지능 등 디지털기술로 서로 연결되어, 그 잠재력이 폭발적으로 증가할 것이다. 어떤 대상과 연결된다는 것은 그에 대한 데이터가 모인다는 것이며, 이는 그 대상의 과거, 현재, 미래에 대해 더 잘 알게 된다는 것을 의미한다. 이에 따라 현실에서 발생하는 문제해결 역량이 강화될 수 있다. 예를 들

어, 대상에 관한 데이터를 수집·분석하면, 그 대상의 현재 상황을 정확하게 파악하고(description), 미래 상황을 예측하며(prediction), 적절한 대응방안을 제시할 수 있다(prescription). 작게는 냉장고, 에어컨 등의 기기가 홈 네트워크로 연결되고 인공지능을 부여받아 스스로 온도, 습도 등을 최적으로 유지하게 만들 수 있다. 크게는 도시 전체 인프라가 센서 및 데이터 네트워크로 연결되어 도시 내에서의 사고, 자연환경에서 발생할 수 있는 재난재해 등 이례적인 상황을 사전에 예측하여 대응하는 것까지도 가능해질 것이다.

연결의 과학기술을 통해 문제해결 역량이 강화되면 우리가 알지 못하는 새로운 영역을 찾아낼 수 있고, 이는 궁극적으로 인류의 지적 영역과 잠재력을 확장할 것이다. 과학기술자들은 인간과 자연을 더 잘 이해하고 이를 통해 인류의 삶에 도움을 주기 위해 수많은 도전을 하고 있다. 이를 통해 생명이 갖는

비밀을 풀어 수명을 연장하거나 인간 의식의 원리를 규명할 수 있을 것이다. 또한, 우주와 지구의 새로운 공간을 개척할 수도 있고, 미래 에너지원과 소재로 활용될 신물질의 존재나 새로운 자연법칙도 찾아낼 수 있다. 이를 활용하여 새로운 기기를 발명하고 새로운 탈것을 개발하며 새로운 먹거리를 만들어낼 수도 있다. 이처럼 미래에 인간의 잠재력을 확장하는데 과학기술은 큰 역할을 할 것이다.

연결과 확장은 상호 연계되어 서로가 서로를 촉진하는 선순환 관계를 형성한다. 연결의 과학기술은 문제해결 역량을 강화하고 이는 새로운 지식을 창출하거나 새로운 물질과 공간을 발견하는 등 과학기술의 확장을 촉진한다. 그리고 과학기술을 활용한 발견과 발명을 통해 새로운 물질, 기기, 공간 등으로 인류의 활동 범위가 확장되면, 이는 다시 새로운 연결을 만들고 새로운 데이터를 확보할 수 있다. 이러한 연결과 확장의 선순환 관계가 지속되면서 미래의



인공위성으로 촬영한 한반도의 야간 모습 | 자료 : 미국항공우주국 (worldview.earthdata.nasa.gov)

과학기술은 지속적으로 발전해 나갈 것이다.

과학기술은 인류가 직면한 불가능을 가능으로 바꾸는 힘

과학기술이 연결과 확장을 통해 지속적으로 발전하여 그 역량이 커지고 적용 범위가 넓어지면 이제까지 불가능했던 많은 것들이 가능해져 우리 삶의 모습이 완전히 달라질 것이다. 인간과 사회, 이를 둘러싼 사물과 공간, 그리고 이 모든 것들의 토대가 되는 자연 환경 등으로 범위를 확장해 나가면서 미래에 우리 삶이 어떻게 달라질 것인지를 살펴보면 다음과 같다.

우선 인간의 육체적 측면을 보면, 1990~2003년에 진행된 ‘인간 유전체 프로젝트(Human Genome Project)’를 통해 인간의 유전적 특성을 이해할 수 있게 되었다.^[41] 그 당시 인간의 유전체* 분석에 약 13년의 기간과 27억 달러의 비용이 소요되었지만, 최근에는 분석기술의 발전에 힘입어 1~2일 내에 100달러 미만의 비용으로 가능하게 되었다.^[42] 따라서 유전체 분석을 통해 개인의 유전적 특성을 이해하고, 인체에 다양한 센서를 부착해 현재 몸 상태나 생활습관을 파악하게 된다면, 질병을 정확하게 진단하는 것은 물론이고 사전에 예방하는 것도 가능해진다. 또한, 합성생물학(synthetic biology)의 발전으로 인공조직이나 인공장기를 생산해 이를 인체에 적용할 수 있는 시기가 오면 인간의 수명은 대

폭 늘어나고 한층 더 건강한 삶을 살 수 있을 것이다.

다음으로 인간의 정신적 측면을 보면, 인간 두뇌를 구조적으로나 기능적으로 보다 정확히 이해할 수 있게 되어 치매 등 정신질환을 극복하는 길이 열릴 것이다. 2013년부터 유럽연합(EU)과 미국에서 각각 진행하고 있는 ‘휴먼 브레인 프로젝트(Human Brain Project)’와 ‘브레인(BRAIN: Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies) 이니셔티브’가 이와 관련된 대표적인 활동들이다. 또한, 인공지능의 도움을 받아 현재 우리가 느끼는 지적 역량의 한계를 상당 부분 넘어설 것이다. 인공지능이 인간의 자리를 빼앗을 것이라는 우려도 있지만, 인공지능의 역할은 인간을 보조하는 것으로 이해해야 한다. 육체적인 한계를 극복하거나 부담을 줄이기 위해 드릴이나 자동차 같은 도구를 사용하듯이, 인간 두뇌의 한계를 뛰어넘거나 지적 능력을 강화하기 위해 인공지능을 사용하는 것은 자연스러운 일이 될 것이다. 인간의 지적 능력은 앞으로 인공지능과 어떻게 협업하느냐, 즉 인간지능(human intelligence)과 인공지능(artificial intelligence)을 결합한 협력지능(collaborative intelligence)을 어떻게 활용하느냐에 따라 크게 달라질 것이다.^[43]

과학기술은 인간과 인간 간, 인간과 사물 간의 관계에 다양한 변화를 가져올 것이다. 우선 인간과 인간 간의 관계는 데이터 전송속도가 빨라져 현실

* 유전체(genome)는 한 생명체에 존재하는 모든 유전자의 묶음으로서 생명체의 유전적 특성을 결정한다. 따라서 유전체를 분석하게 되면 그 생명체의 유전적 특성에 관한 정보를 모두 파악할 수 있다.

과 거의 유사한 가상현실이 구현되고 한국어 통역 기능이 개발된다면 전 세계인들이 서로 온라인에서 소통하게 될 것이며, 이는 대면 접촉을 상당부분 대체할 것이다. 이에 따라, 학교, 회사, 병원 등 대면접촉으로 이루어지던 삶의 방식에도 변화가 나타날 것이다. 마찬가지로 인간과 사물과의 관계도 달라질 것이다. 통신망을 통해 서로 연결된 인간과 사물은 서로를 더 잘 알게 되고 더 잘 대응하게 될 것이다. 예를 들어, 인간은 외부에서도 스마트폰을 통해 주택과 그 내부의 기기들의 상태를 상세하게 확인하여 조작할 수 있고, 주택은 인간의 조작 없이도 인간이 귀가하는 시점에 맞추어 기기나 스위치들을 스스로 작동하여 쾌적한 상태를 만들어주고, 자체적으로 점검하여 부품을 교체할 시점을 알려 준다.

공간 측면에서는, 교통기술의 발전으로 이동의 편의성이 늘어나고 인간의 활동영역이 크게 확장될 것이다. 완전 자율주행까지는 아직 해결해야 할 과제가 많지만, 20~30년 후에는 자율주행 기술의 완성도가 높아져서 교통사고를 획기적으로 줄이고 인간의 운전 부담을 줄여 줄 것이다. 진공터널을 최고 1,200km/h의 초음속으로 달리는 ‘하이퍼루프’ 열차는 국내외 도시들을 빠르게 연결하여 생활공간을 국내에서 아시아 및 세계로 확장할 것이다. 그리고 인간의 활동영역도 지표 중심에서 심해, 극지, 우주로 확장될 것이다. 예를 들어 사람이나 화물 1킬로그램을 우주로 보내는 비용이 1980년대 초 약 85,000달러였는데 현재 1,000달러 이하로 하락하였으며, 지금 추세대로라면 2045년에는 수십 달러 수준으로까지 하락할 것이다.^[44] 즉, 60킬로그램의

인간이 수천 달러의 비용으로 우주를 여행할 수 있게 된다는 것이다.

마지막으로 자연 환경 측면을 보면, 과학기술을 통해 화석연료 기반에서 친환경 에너지 기반으로 경제체제를 전환하여, 기후위기를 극복하고 이상기후에 대한 예측 정확도를 높여 재난재해의 위험을 최소화할 수 있을 것이다. 현재는 친환경 에너지가 에너지원에서 차지하는 비중이 작지만, 미래에는 태양광, 풍력 등의 발전량이 크게 늘어날 것이다. 그리고 방사능 오염 위험이 거의 없는 핵융합 발전이 개발된다면 인류는 에너지 고갈 위험을 해결할 수 있을 것이다. 한편, 슈퍼컴퓨터 및 컴퓨터 수치모델링의 발전에 따라 예측의 정확도가 크게 높아져 기상이변과 이상기후로 인한 자연재해를 예측하고 대비할 수 있게 될 것이다. 또한, 인공 강우나 강설, 안개 저감, 우박 억제, 태풍 소멸·약화 등 인공적으로 날씨를 조절하는 다양한 기상조절 기술도 획기적으로 발전하게 될 것이다.

물론, 과학기술의 발전이 인간에게 유토피아만을 가져오는 것은 아니다. 오작동이나 해킹으로 인한 사회시스템 마비, 인공지능과 로봇의 인간 일자리 대체로 인한 사회갈등 악화, 기계의 인간 지배 등이 우려된다. 그리고 유전자 편집, 인공지능 등의 신기술이 주는 혜택을 특정 계층만 누리게 된다면 기술을 활용하는 계층과 그렇지 못하는 계층 사이의 불평등 확대가 우려된다. 그렇다고 과학기술을 두려워하고 외면할 수는 없다. 그 위험성까지도 고려하여 최선의 활용법을 찾는 것이 우리의 역할이다.

2-3.

과학기술의 미래 비전

과학기술은 부존자원이 부족한 우리나라가 미래를 대비하기 위한 핵심적인 자산이자 생존 전략이다. 우리는 과학기술의 잠재력을 활용하여 우리가 원하는 미래를 개척해 나가야 한다.

1999년에 수립된 「2025 과학기술발전 장기비전」에서는 “21세기 첫 사반세기 동안 과학기술 경쟁력을 세계적 수준으로 끌어 올려 과학기술에 기반을 둔 선진국 진입을 실현”한다는 비전을 제시했다.^[45] 단계별 목표는 “1단계(~2005년) 아시아 경쟁 상대국보다 우위인 12위권의 과학기술 경쟁력 확보”, “2단계(~2015년) 아시아·태평양권의 연구 중심지 구현”, “3단계(~2025년) 선택된 분야에서 세계적인 주도권 확립으로 7위권의 과학기술 경쟁력 확보”이다. 과학기술 경쟁력 7위, 정보화 지수 5위, 경제성장 기여도 30%, 기술교역지수 1 이상, 연구개발 투자 800억 달러, 연구개발 인력 314,000명 등이 달성되는 2025년의 모습도 제시했다.

2010년에 수립된 「2040 과학기술 미래비전」에서는 과학기술 비전을 “삶의 가치를 높이며 꿈을 실현할 수 있는 사회 구현”으로 설정하였다.^[46] 목표로는 “세계 5위의 ‘글로벌 과학기술 선도국’ 실현”을 제시하였고, 꿈꾸는 미래 모습을 ‘자연과 함께하는 세상’, ‘풍요로운 세상’, ‘건강한 세상’, ‘편리한 세

상’ 등 4가지로 묘사하였다.

「대한민국 과학기술 미래전략 2045」에서는, 앞에서 제시한 ‘안전하고 건강한 사회’, ‘풍요롭고 편리한 사회’, ‘공정하고 차별 없는 소통·신뢰 사회’, ‘인류사회에 기여하는 대한민국’이라는 우리나라의 미래상을 실현하기 위한 과학기술 비전으로 “국민 삶과 경제성장의 질을 높이고 인류사회에 기여하는 과학기술”을 제안한다. 대한민국의 미래 100년을 준비하는 본 전략에서는 과거 고속성장 과정에서 상대적으로 소홀히 다루었던 국민 삶의 질 제고, 경제성장의 질* 제고, 그리고 인류사회 기여를 강조한다. 이 세 가지는 과학기술 관점에서 서로 밀접하게 연계되어 있다. 가령, 우리 국민들의 삶의 질을 높이는 과학기술은 인류사회의 문제 해결에도 기여할 것이며, 동시에 거대한 신규 시장을 창출하는 성장동력이 되어 우리나라 경제를 튼튼하게 할 것이다.

본 전략의 핵심은 연결과 확장의 시대에 도전과 전환으로 대응하자는 것이다. 우리가 원하는 대한민국의 미래로 가기 위해서는 연결과 확장을 통해 끊임없이 발전하며 인류가 직면한 불가능을 가능으로 바꾸고 있는 과학기술을 효과적으로 활용해야 한다. 또한, 과학기술로 국민 삶의 질과 경제성장의 질을 높이고 인류사회에 기여하기 위해서는 미래 사회의 문제에 도전하고 과학기술정책을 전환해야 한다.

* 경제성장의 질(quality of growth)이란 다양한 산업들이 고르게 발전하고 리스크에 강하여 내실있고 안정적으로 성장하는 것을 의미하며, 성장률이 높은 양적인 또는 외형적인 성장과 대비되는 개념이다.

3.

2045년을 바라본 과학기술 전략

3-1. 미래상과 비전 실현을 위해 해결해야 하는 과학기술 도전과제

3-2. 과학기술 도전과제 해결을 위해 추구해야 하는 과학기술 정책방향

3-1.

미래상과 비전 실현을 위해 해결해야 하는 과학기술 도전과제

“국민 삶과 경제성장의 질을 높이고 인류사회에 기여하는 대한민국”이라는 비전을 실현하여 우리가 원하는 미래로 가기 위해서는 미래사회의 기회와 위협, 즉 도전과제들을 해결해야 한다. 그렇다면 미래사회에서 우리는 어떤 도전과제에 직면할 것인가? 이 질문에 답하기 위해서는 미래에 대해, 구체적으로는 국민의 삶, 국가 경제, 인류사회의 모습에 대해 상상하고 통찰해야 한다. 이를 위해 본 전략은 미래사회에 대한 질문에서 출발한다. 그리고 의미 있는 질문을 도출하기 위해 국민들이 전망하는 미래 모습, 메가트렌드 문헌과 SF 영화·애니메이션에 나타난 미래 모습, 해외 주요국의 미래전략에서 전망한 미래 모습 등을 검토하였다.

먼저, 우리 사회가 바라보는 미래 모습을 살펴보기 위해 설문조사를 실시하였다. 국민들에게 2045년에 바람직한 미래를 실현하기 위해 어떤 문제를 시급하게 해결해야 하는지를 질문한 결과, 국민들은 ‘환경오염’, ‘인구 감소’, ‘일자리 감소’, ‘경제성장 둔화’, ‘삶의 질 저하’ 등을 우선적으로 해결해야 한다고 응답했다.

또한, 사회, 기술, 경제, 환경, 정치 측면에서 세계적으로, 그리고 국가적으로 주목해야 하는 메가트렌드에 대해 분석하였다. 그 결과, 인구 변화로 인한 다문화화와 고령화, 신기술의 등장과 산업 패러다임의 전환, 세계 경제의 저성장 장기화와 신흥

국의 부상, 기후변화·환경오염·자원고갈·감염병의 위협, 정치적·사회적 갈등 심화 등이 주요 메가트렌드로 파악되었다. 한편, 미래에 대한 상상력을 높이기 위해 SF 영화나 애니메이션에 그려진 상상 속의 미래 모습도 참고하였다.^[47]

마지막으로, 해외 사회가 전망하는 미래 모습을 살펴보기 위해 독일의 「The High-Tech Strategy 2025」, 영국의 「Industrial Strategy」, 프랑스의 「France Europe 2020」, 일본의 「신산업구조비전」, 미국의 「A Strategy for American Innovation」 등 주요 국가에서 최근에 발표한 미래전략을 검토하였다.^[48] 이를 통해 해외에서 공통적으로 바라보는 미래 모습과 중요하게 생각하는 이슈들을 살펴 보았다. 각국은 공통적으로 건강(헬스케어, 고령화, 의료, 웰빙), 기후변화(친환경, 에너지), 제조업 혁신(스마트생산, 제조업 부흥), 편리한 이동(모빌리티)을 중요한 이슈로 제시했으며, 일부 국가에서는 식량, 우주, 인공지능 등도 미래를 대비하는 차원에서 중요하게 고려해야 하는 이슈로 보았다.

위의 사항들을 종합하여, 전문가 집단 지성을 통해 미래사회의 도전과제를 도출하기 위한 핵심 질문들을 선정하였다.

첫째, 기후변화, 기상이변, 감염병 유행 등 각종 재난재해의 위협이 점차 커지고 있으므로, “수많은 위협 속에서 인류의 생존을 지켜나갈 수 있을까?”라는 질문은 미래사회의 도전과제를 도출하기 위해 중요한 질문이다.

둘째, 플라스틱, 방사능 폐기물 등의 처리가 점점 심각한 문제로 대두되고 있고, 자연 환경이 훼손

되면 인류의 생존도 위협받게 되므로 미래 인류의 모습을 상상하기 위해 “인류가 환경오염을 해결하여 문명을 번영시킬 수 있을까?”라는 질문도 제시해 보고자 한다.

셋째, 지금의 추세대로라면 우리나라가 2045년 전 세계에서 가장 고령화된 국가가 될 것으로 전망되는 상황이므로, “인간은 몇 살까지 건강하게 살 수 있을까?”라는 질문은 우리에게 매우 중요하다.

넷째, 미래에는 고령화된 인류가 노화된 신체를 회복 및 증강할 수 있고, 인간만큼 또는 그 이상으로 똑똑한 인공지능이 인류의 지적 역량 강화에 기여할 것으로 보이므로, “인간의 신체적·지적 능력은 어디까지 발전할까?”에 대해 고려해 봐야 한다.

다섯째, 세계인구가 늘어나고 경제가 성장할수록 언젠가는 식량, 자원, 에너지의 고갈이 위기로 다가온다는 점을 감안하여, “인류는 생존에 필요한 것을 지속적으로 확보할 수 있을까?”라는 질문을 검토해 볼 필요가 있다.

여섯째, 초고속·친환경 이동수단과 자율주행차가 미래 삶의 방식을 완전히 바꿔 놓을 것으로 예상되므로 해외 각국에서는 모빌리티를 미래사회의 중요한 문제로 고려하고 있다. 따라서 “생활권은 어디까지 넓어지고 이동은 얼마나 편리해질까?”라는 모빌리티와 관련된 질문은 미래 사회를 상상할 때 고려되어야 한다.

일곱째, 우편, 전화, 인터넷처럼 시대별로 소통수단이나 방식이 발전해 왔듯이, 미래에는 현실감을 높인 가상현실과 증강현실이 사람 간 소통에서 중요한 역할을 할 것이고, 인간과 기계 간 뇌파통신

같은 혁신적인 기술도 등장할 것이다. 따라서 “사람들은 어디서 어떻게 소통할까?”라는 질문을 통해 미래의 소통과 사회관계에 대해 생각해 볼 수 있다.

여덟째, SF 영화에 나오는 것처럼, 현재 우리가 살고 있는 공간을 넘어 우주나 심해, 또는 극지에서 삶에 필요한 자원을 얻고 삶의 터전을 일구는 모습을 상상하면서, “인류의 활동 영역은 어디까지 확장 될까?”라는 질문을 던져 볼 수 있을 것이다.

아래에서는 앞서 제시한 각각의 질문들에 대해 해답을 찾아가는 과정에서, 우리가 미래에 어떠한 문제에 직면할 것이고 그러한 문제를 풀기 위해 국가적으로 해결해야 하는 과학기술 도전과제들은 무엇인지를 도출해 보았다.

수많은 위협 속에서 인류의 생존을 지켜나갈 수 있을까?

과거로부터 기후변화로 인한 이상기후와 기상이변, 그리고 태풍, 지진, 화재, 감염병 등 각종 재난재해는 인류의 생존을 위협해 온 요인들이었다. 그리고 우리 앞에 놓인 미래도 그렇게 만만하지는 않은 상황이다. 기후변화의 원인이 되는 지구온난화가 심화되고 있고, 이와 맞물려 각종 자연재해도 빈번하게 발생하고 있다. 또한, 글로벌화로 인한 교류 확대나 환경오염의 심화 등 다양한 요인들로 인해 감염병이 출현하여 전 세계적으로 빠르게 확산되고 있다. 이처럼 인류를 위협하고 있는 요인들에 어떻게 대처하는지에 따라 미래 인류의 생존과 삶의 질이 좌우될 것이다.

미래 과학기술에 대한 8가지 질문

미래상	질문	질문의 단서	주요 내용
안전하고 건강한 사회	수많은 위험 속에서 인류의 생존을 지켜나갈 수 있을까?	메가트렌드	· 전 세계적 기후변화에 대응하기 위한 탄소저감 및 친환경 에너지 개발 · 기후·환경 문제에서 야기되는 예상치 못한 재난재해, 신종 질병과 감염병의 주기적 발생
		해외전략	· (독) 기후 대응, (프) 기후변화 적응
	인류가 환경오염을 해결하여 문명을 번영시킬 수 있을까?	설문조사	· “환경오염”을 미래에 해결해야 할 중요한 문제로 지적
		메가트렌드	· 환경보전을 고려한 지속가능한 성장모델 개발, 지속가능한 발전목표(SDGs) 체제, 녹색협약체제 확산
	인간은 몇 살까지 건강하게 살 수 있을까?	메가트렌드	· 의료·바이오 기술의 발전으로 인간의 기대수명 증가
		해외전략	· (독) 헬스케어, (영) 고령화 사회, (일) 건강 유지, (프) 건강과 웰빙
풍요롭고 편리한 사회	인간의 신체적·지적 능력은 어디까지 발전할까?	메가트렌드	· 신체능력이 저하되고 상실되는 고령화 추세 가속
		SF 영화	· 신체기능을 보강하거나 약화된 신체를 회복하는 증강인간, 인간처럼 생각하고 행동하는 인공지능 로봇
	생존에 필요한 것을 지속적으로 확보할 수 있을까?	메가트렌드	· 식량 부족, 에너지 수급의 불안정성, 저탄소 친환경 에너지 체제로 전환 가속화, 에너지 효율화 경쟁
		해외전략	· (독) 산업, 제조, (일) 스마트생산과 조달, (프) 제조업 부흥 촉진
	생활권은 어디까지 넓어지고 이동은 얼마나 편리해질까?	해외전략	· (독), (일) 모빌리티, (영) 모빌리티의 미래, (프) 지속가능한 모빌리티
		SF 영화	· 에어택시, 운전자 없이 움직이는 자동차
공정하고 차별 없는 소통·신뢰 사회	사람들은 어디서 어떻게 소통할까?	메가트렌드	· 전화, 인터넷 등을 뛰어넘는 혁신적인 소통기술이 등장할 전망: (예) 인간·기계 간 뇌파통신(텔레파시) · 사이버 테러·범죄의 증가, 사이버 정보보안 중시
인류사회에 기여하는 대한민국	인류의 활동영역은 어디까지 확장될까?	SF 영화	· “인터스텔라”, “마션” 등 미래 지구를 넘어 새로운 삶의 터전을 찾는 우주탐사 관련 영화

기후변화로 해수면이 1m 상승한다면
세계와 우리나라에는 어떤 일이 일어날까?

신·변종 바이러스가 계속 등장한다면
인류가 대응할 수 있을까?

먼저, 기후변화로 인해 세계 곳곳에서 이상기후 현상이 나타나고 있다. 지구 평균 지표면의 온도는 산업혁명 전에 비해 이미 약 1도 높아졌고, 이와 같은 추세가 지속된다면 2045년에는 현재보다 0.5~1도 정도 더 높아질 것으로 예상된다.^[49] 1도가 작게 여겨질 수도 있지만, 지표 온도가 현재보다 1도 올라간다면 가뭄이 빈번하게 나타나고, 만년빙이 상당 부분 사라지며, 약 5천만 명이 물 부족을 겪고, 약 10%의 육상 생물이 멸종 위기에 처하는 등 심각한 변화가 나타나게 될 것이다.^[50]

전 지구적으로 지진, 태풍, 홍수 등의 자연재해가 빈번하게 발생하여 막대한 인명 피해를 초래하고 있다. 2004년 인도양 지진해일(쓰나미)로 약 23만 명이, 2010년 아이티 지진으로 약 10만 명이 사망하였다. 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)에 따르면, 해수면 상승으로 인한 지진해일 등의 현상이 과거에는 100년에 한 번꼴로 발생했지만 2050년경에는 매년 발생할 수도 있다고 한다.

또한, 신·변종 바이러스로 인한 감염병이 전 세계적으로 유행하며 인류의 생존을 크게 위협하고 있다. 일례로, 2019년 말에 발생한 COVID-19는 2020년 한 해 동안 전 세계를 마비시키다시피 했을 만큼 큰 재난으로 발전하여 현재까지 3천만 명이 넘는 환자와 100만 명 이상의 사망자(2020년 9월

말 기준)를 발생시켰다.^[51] 문제는 이러한 감염병의 원인이 되는 바이러스의 정체를 알고 있음에도 불구하고, 이에 대한 백신이나 치료제를 빠른 시간 내에 개발하기가 어렵다는 것이다. 따라서 미래에는 감염병이 사회 전반으로 확산되기 이전에 상시적으로 감염원을 포착하여 이에 대한 적절한 조치를 취하는 것이 중요하다.

미래에는 기후변화를 정밀하게 예측하여 적응하고, 인공지능, 태풍진로 조절 등 기상현상을 조절할 수 있는 기술 개발에 적극적으로 도전해야 한다. 그리고 다양한 재난재해가 발생하기 전에 예측하여 대처할 수 있는 시스템을 구축하고, 재난재해로 인한 피해를 로봇 등을 활용하여 신속하게 복구해야 한다. 또한, 신·변종 감염병을 조기에 감지하고 확산을 방지하며 예방 및 치료하기 위해 진단장비와 모니터링 시스템, 백신 및 치료제 등의 개발을 추진해야 한다.

인류가 환경오염을 해결하여 문명을 번영시킬 수 있을까?

문명의 발전에 따라 인류가 생산하고 소비하는 소재들은 다양한 형태로 가공되며 새로운 폐기물을 발생시킨다. 그리고 화석연료를 대체해 에너지를 제공해왔던 원자력 발전은 현재 기술로는 완벽하게 처리하기 어려운 방사능 폐기물을 배출한다. 미래에 생활·산업 폐기물과 방사능 폐기물 문제를 해결하지 않는다면, 현재 우리가 누리는 생활수준, 더 나아가 인류의 문명은 지속가능하지 않게 될 것이다.

한때 20세기 기적의 소재로 불렸던 플라스틱은

장기간 썩지 않는 특성 때문에 환경을 심각하게 오염시키고 있다. 성분에 따라 다르겠지만, 우리가 일상생활에서 자주 사용하는 일회용 비닐봉지는 자연에서 분해되는 데 10~20년이나 걸린다. 특히, 플라스틱 폐기물이 분해되면서 나오는 미세플라스틱은 우리가 먹고 마시는 음식과 물, 심지어 공기에도 존재하여 인류의 생명과 건강을 위협하고 있다.

플라스틱이 계속 늘어나고 분해되지 않는다면 언젠가는 우리 생활공간을 뒤덮게 되지 않을까? 제2의 체르노빌, 제2의 후쿠시마 사고로 인류의 생존이 위협받지는 않을까?

원자력 발전은 다른 대안에 비해 값싸고 풍부한 전기를 공급할 수 있고, 태양광 발전 등과 달리 하루 24시간 가동할 수 있으며, 화석연료를 사용함으로써 생기는 기후변화 문제에 대응하는 유력한 대안 중 하나이다. 하지만 방사능 폐기물의 위험을 해결하지 못한다면 아무리 큰 경제적인 편익이 있더라도 원자력 발전을 계속 활용하기는 어려울 것이다. 따라서 미래에는 원자력 발전의 방사능 폐기물을 안전하게 처리하는 기술의 개발이 필요하다.

미래에는 환경오염에 대응하여, 플라스틱 폐기물을 안전하게 처리·재사용·에너지화함으로써 자연스럽게 순환될 수 있도록 해야 한다. 그리고 플라스틱을 대체할 수 있는 친환경 소재도 적극적으로 개발해야 한다. 또한, 미래에는 지금보다 더 안전하게 원자력 기술을 활용하고, 사용 후 방사능 폐기물을 저장 및 처리하는 방법을 과학기술적으로 모색해야 한다. 원대한 목표로서 핵융합 기술 개발에도

도전하여, 미래에도 지속가능한 새로운 에너지를 확보해 나가야 한다.

인간은 몇 살까지 건강하게 살 수 있을까?

병 없이 오래 사는 것, 즉 무병장수(無病長壽)야말로 인간의 가장 오래되고 기본적인 욕구이다. 현대 과학기술의 발전으로 인해 기대수명이 늘어나면서 인류는 이미 어느 정도 장수의 시대에 살고 있다. 과학자들은 인간이 100세를 넘어 최대 150세까지 살 수 있다고 주장하기도 한다. 하지만, 진정한 무병장수의 삶이 되려면 기대수명을 늘리는 것만큼이나 병 없이 건강하게 사는 기간, 즉 건강수명을 늘리는 것이 중요하다. 의학의 발전으로 여러 가지 질병을 치료할 수 있게 되었지만, 극복하지 못한 질병들이 여전히 많이 있다. 만약, 질병을 예방할 수 있거나 조기에 발견하여 악화되기 전에 적절히 치료할 수 있다면, 평생 질병으로 인한 고통을 겪지 않고 사는 것도 가능할 것이다.

100세 이상 사는 시대, 암이나 치매 걱정 없이 살 수 있을까? 미래에는 병이 걸린 후 치료하는 대신 병에 안 걸리게 할 수는 없을까?

현대 의학으로 아직 완전히 극복하지 못한 질병을 난치병이라고 부른다. 그 중에서도 암은 한국인의 사망 원인 1위 질병인 동시에,^[52] 걸릴 경우 생명을 위협하기 때문에 우리나라 국민들이 가장 걱정하는 질병이기도 하다.^[53] 그리고 태어날 때부터 가진 유전질환은 평생 고통스럽고 사회적 손실 비용

도 크다. 또한, 불규칙적인 식사, 부족한 수면, 음주 등 현대인의 생활 습관으로 인해 발생하는 당뇨병, 고혈압, 심혈관 질환 등의 만성질환도 지속적으로 증가하고 있다.

뇌와 관련된 치매, 우울증 등의 질환도 건강한 삶을 위해 우리가 극복해야 하는 질병이다. 우리나라의 경우, 뇌와 관련된 정신질환 환자 수가 해마다 증가하고 있고, 특히 20대를 중심으로 우울증 환자가 늘고 있다. 또한, 우리나라는 2045년 고령인구 비중이 세계에서 가장 높아질 것으로 전망되는데, 고령 인구 증가에 따라 대표적인 고령질환인 치매를 겪는 환자도 2050년에 300만 명을 넘어설 것으로 예상된다.^[54]

미래에는 암이나 유전질환 같은 난치병을 환자의 세포와 유전자를 활용한 개인맞춤형 치료제를 통해 극복하고, 예방 중심 의료 기술을 통해 질병을 조기에 발견하여 제때에 치료하는 것이 중요한 도전과제가 될 것이다. 또한, 우리는 건강한 뇌를 유지하기 위해 과학적으로 뇌 구조와 기능을 탐구하고 다양한 뇌질환의 원인을 분석하여 효과적인 치료법을 찾아내는 데에 도전해야 할 것이다.

인간의 신체적·지적 능력은 어디까지 발전할까?

많은 SF 영화에서 기존의 한계를 넘어선 새로운 인간의 모습을 제시한다. 미래학자들은 신체능력을 회복·증강시켜 주는 증강인간 기술과 기계적으로 인공두뇌를 만드는 인공지능 기술을 통해 신체적·지적 능력이 강화된 트랜스휴머니즘(trans-humanism) 시대가 도래할 것이라고 예상한다.^[55]

트랜스휴머니즘이란 신체의 장애 극복을 넘어 인간의 신체적·지적 향상을 목적으로 과학기술을 활용하고자 하는 생각이다. 이러한 모습은 더 이상 먼 미래의 일이 아니며, 지금도 사람의 신체를 강화하고 지적 능력을 키우기 위해 세계적으로 다양한 과학기술이 개발되고 있다.

SF 영화에 등장하는 초능력 인간은

실제로 만들어질 수 있을까?

미래에는 인공지능 비서와 함께 살며

도움을 받게 될까?

건강한 신체는 인간의 편리하고 윤택한 삶을 보장하는 중요한 요소이다. 신체 일부가 자신의 의지대로 움직이지 않거나 제대로 기능하지 못한다면 삶의 질은 크게 떨어질 것이다. 증강인간 기술은 장애, 사고, 노화로 인해 저하된 신체능력이나 손상된 신체조직을 정상에 가까울 정도로 회복시켜 건강한 삶을 살 수 있게 해 준다. 또한, 힘, 속도, 감각 등을 증가시켜 일반인도 무거운 물건을 손쉽게 들 수 있게 하는 등 통상적인 신체 조건으로는 수행하기 어려운 일들도 가능하게 해 준다.

현재까지 기계는 사전에 입력한 명령어에 따라 인간의 손발을 대신해 제품을 대량으로 생산하거나 인간이 수행하기 어려운 연산을 보조해 왔다. 그러나 미래에는 기계가 단순 반복적이거나 보조적인 역할만 하는 것이 아니라 창의적이고 주도적인 역할을 할 것이며, 특히 인공지능은 인간의 지능을 뛰어넘을 정도로 발전할 것이다. 일부 미래학자들은 인공지능이 인간의 지능을 뛰어넘는 시점인 특이

점을 2045년이라고 예상한 바 있으며, 기술 발전의 가속화로 인해 그 시기가 더 앞당겨질 수도 있다고 주장하는 이도 있다.

미래에 우리나라는 전체인구 중 고령인구의 비중이 높아질 것이므로 노화로 저하된 신체 기능을 회복하고 강화하는 것은 미래 국민들의 삶의 질을 향상시키는 데 우선순위가 높은 과제가 될 것이다. 또한, 사회 각 분야에서 인공지능을 어떻게 발전시키고 효과적으로 활용해 나갈 것인지는 향후 풍요롭고 편리한 삶을 누리기 위해 해결해야 하는 핵심적인 도전과제가 될 것이다.

인류는 생존에 필요한 것들을 지속적으로 확보할 수 있을까?

인류 생존의 문제에서 식량은 가장 핵심적인 요소이다. 전 세계의 인구 증가와 경제 성장으로 인해 식량 등 농산품 수요가 지속적으로 증가하고 있다. UN식량농업기구(FAO)에 따르면, 늘어나는 수요에 부응하기 위해서 인류는 2050년 농업 생산량을 2012년 대비 약 50% 늘려야 할 것으로 전망된다.^[56] 우리나라의 경우, 식량자급률이 50% 미만으로 국내에서 소비되는 식량의 절반 이상이 해외에서 수입되고 있기 때문에^[57] 식량 안보 차원에서 안정적으로 식량을 확보해야 한다. 만약 갑작스러운 가뭄이나 한파로 세계적인 식량 위기가 발생하거나 감염병 확산 등으로 국제 무역에 차질이 생겨서 식량 수입이 어려워진다면 이는 국가적으로 중대한 문제가 될 것이다.

2045년 100억 인구는 무엇을 먹고 살까?

만약 석유가 고갈된다면

그 다음 에너지원은 무엇이 될까?

지구의 자원 고갈 문제는 오래된 난제 중 하나이다. 2019년 현재 인류는 지구가 1년 동안 생산할 수 있는 자원의 1.7배를 매년 소비하고 있다.^[58] 인류가 지금과 같은 수준으로 자원을 소비할 경우 2045년까지 외계에서 지구만큼의 자원을 가진 행성 여러 개를 개척해야 할지도 모른다.

자원을 우리가 소비하는 상품의 형태로 만드는 생산도 인류의 생존을 위해 중요한 활동이며, 동일한 자원으로 얼마나 더 많은 가치를 효율적으로 생산할 수 있는지는 기업은 물론, 국가의 경쟁력으로도 연결된다. 더욱이, 우리나라는 지난 반세기 동안 제조업을 기반으로 성장해 왔다. 우리나라의 GDP 중 제조업 비중은 2018년 약 27%로, OECD 회원국들 가운데 가장 높은 수준이다.^[59] 따라서 제조업의 생산성을 높이는 것은 우리에게 미래를 위한 중요한 과제가 될 것이다.

에너지는 우리 삶을 지탱하는 동력으로서, 에너지원은 1차 산업혁명 시대의 석탄, 2차 산업혁명 시대의 석유와 전기를 거쳐, 그 이후에는 태양광, 풍력 등 신재생에너지로 발전해 왔다. 인류에게 새로운 에너지원의 확보는 기술 문명의 진보를 가져왔지만, 한정된 천연자원을 사용함에 따라 지구의 지속가능성을 훼손하는 결과를 초래했다. 석탄, 석유, 천연가스 등 화석연료는 현재 가장 많이 사용되고 있는 에너지원이지만, 머지않아 고갈될 우려가

있고 온실가스 배출, 대기오염 등 환경문제를 야기하므로 미래에는 오래 사용할 수 있고 깨끗한 에너지를 찾지 않으면 안 된다.

인류의 생존과 국가 경제의 발전을 위해 농업과 제조업에 사물인터넷(IoT), 빅데이터, 인공지능 등을 접목하여 생산성을 높이는 혁신을 추진해야 한다. 또한, 환경친화적이고 지속가능한 에너지원을 찾고, 생산한 에너지를 보다 효율적으로 사용하는 것도 핵심적인 도전과제가 될 것이다.

생활권은 어디까지 넓어지고 이동은 얼마나 편리해질까?

우리의 생활권이 어디까지 넓어질 것인지는 이동하는 데 소요되는 시간을 얼마나 단축할 수 있는가에 달려 있다. 1970년 경부고속도로, 2004년 KTX가 개통되면서 전국이 일일 생활권을 넘어 반나절 생활권이 되었다. 미래에 새로운 고속 이동수단이 개발된다면 아시아, 나아가 전 세계가 하루 또는 몇 시간 생활권으로 가까워질 수 있을 것이다. 한편, 미래의 이동수단은 오염을 낮추어 친환경적이고, 자율주행 등 편리한 기능을 갖추는 방향으로 발전해 나갈 것이다. 또한, 다양한 모빌리티 공유 서비스가 도입됨에 따라 도시의 혼잡이 줄어들고, 출발지에서 목적지까지(door-to-door) 낭비되는 시간을 절약하며 이동할 수 있게 될 것이다.

미래에는 지구 전체가 1일 생활권이 될 수 있을까?

모든 차가 자율주행을 하는 세상에서는

교통사고가 사라질까?

미래의 초음속 또는 극초음속 이동수단은 시공간의 제약을 획기적으로 극복하여 사회경제적으로 막대한 파급효과를 가져올 것이다. 가령, 서울에서 뉴욕까지 2~3시간 만에 이동할 수 있다면, 이전에 없던 새로운 경제활동이 가능해지고 생활권이 확장됨에 따라 사람들의 업무나 여가 등 생활방식에도 변화를 가져올 것이다. 그렇게 된다면 사람과 상품의 국가 간 이동이 현재보다 더욱 활발해지면서 '경제적인 국경'이 사실상 사라지는 세상이 될 것이다.

미래에는 기후변화에 대응하는 것이 중요해지고 환경 규제 또한 강화될 것이므로, 내연기관 자동차는 전기차, 수소차 등 친환경 자동차로 대체될 것이다. 그리고 자율주행차가 개발된다면 운전자의 실수로 인한 교통사고를 줄일 수 있고, 교통 체증이나 운전의 부담으로부터 해방될 수도 있을 것이다. 나아가 하늘을 나는 자동차도 예상해 볼 수 있다.

우리나라는 대외 무역이 중요한 개방경제이므로 세계와의 거리가 가까워질수록 성장가능성이 높아진다. 따라서 미래에 우리나라는 전 세계 모든 국가에 3~4시간 만에 도달하겠다는 목표를 세우고 하이퍼루프, 극초음속 유인항공기 등 초고속 이동수단의 개발에 적극적으로 도전해야 한다. 또한, 교통사고, 교통체증 및 미세먼지 없는 미래를 위해 자율주행차, 플라잉카 등 스마트 모빌리티 기술과 친환경 수소차, 전기차 기술을 확보해 나가야 한다.

사람들은 어디서 어떻게 소통할까?

우리 삶에서 온라인을 통한 소통이 점차 늘어나

고 있지만 아직 오프라인에서의 소통에 비해 현실감이나 효과가 매우 낮다. 미래에는 현실과 유사한 세계를 만드는 가상현실 및 증강현실 기술과 생각만으로도 소통이 가능한 뇌파통신 기술, 그리고 6G, 7G 등의 차세대 통신 네트워크와 보안기술 등을 통해 사람과 사람, 사람과 사물, 사물과 사물 간의 연결이 확대되어 소통의 양과 질이 대폭 개선될 것이다.

*가상 같은 현실, 현실 같은 가상은
과연 구현될 수 있을까?*

*미래사회에서는 개인정보 유출이나
보이스 피싱을 어떻게 해결할까?*

소셜네트워킹서비스(SNS), 인터넷 미디어 등 온라인 소통이 오프라인 소통을 점차 대체해 나가고 있는 가운데, COVID-19 사태는 비대면·비접촉 사회로의 전환을 가속화시키고 있다. 따라서 미래사회에서는 디지털 공간에서의 소통을 효과적이고 원활하게 만드는 기술들이 지속적으로 개발될 것이다. 또한, 기술의 발전을 통해 생각만으로 컴퓨터 등의 기계를 조작하고 동물과 대화를 나누는 일도 가능해질 것이다.

온라인에서의 소통은 직접 사람과 대면하지 않고도 언제 어디서나 편리하게 의견을 나누고 데이터를 주고받을 수 있지만, 위·변조, 사기, 해킹 등의 위험성으로 인해 소통의 신뢰성과 안전성이 상대

적으로 취약하다. 실제 사이버 범죄로 인한 전 세계 피해액은 2015년 3조 달러에서 2021년 6조 달러 이상으로 늘어날 전망이다.^[60] 미래에는 서로 대면하지 않는 온라인 기반의 소통과 거래가 많아질 것이므로, 온라인에서의 해킹·테러 증가로 인한 사이버 보안과 안보 문제가 주요 이슈로 떠오를 것이다. 특히, 미래에는 네트워크를 통한 사물과 사물 간 연결이 확대될 것이므로, 개인정보 해킹 수준의 범죄뿐 아니라 자율주행차 해킹, 가상자산* 위조, 발전 시스템 해킹 등 보다 거시적인 차원의 범죄가 늘어날 수 있다.

미래에는 비대면 사회로의 전환에 대응하여, 온라인 환경에서도 효과적이고 현실감 있는 소통과 교류를 할 수 있어야 한다. 그리고 가상·증강현실, 뇌파통신 등의 기술이 지금은 개발 단계에 있거나 일회성 체험을 즐기는 수준이지만 미래에는 일상적인 소통의 공간 또는 수단으로 자리잡을 것이므로 지속적으로 발전시킬 필요가 있다. 또한, 국가적인 차원에서 블록체인, 양자암호통신 등을 통해, 안전하고 신뢰할 수 있는 사회를 구축해 나가야 할 것이다.

인류의 활동 영역은 어디까지 확장될까?

세계인구는 1960년 30억 명에서 2050년에는 97억 명으로 늘어날 전망이다.^[61] 100년도 채 지나지 않아 3배 이상이 된 것이다. 그렇다면, 지구는 얼마나 더 많은 인구를 수용할 능력이 있을까? 세

* 가상자산이란 경제적 가치를 지닌 것으로서 전자적으로 거래 또는 이전될 수 있는 전자적 증표를 말하며(특정 금융거래정보의 보고 및 이용 등에 관한 법률 제2조 제3항), 현재 사용되고 있는 암호 화폐, 가상 화폐, 가상 통화 등을 대표하는 법률 용어이다.

계인구가 지금과 같은 추세로 계속 증가한다면 지구의 수용 한계를 넘어서, 자원 고갈, 환경 파괴 등이 심각해질 것이다. 따라서 인류는 언젠가 우주, 심해, 극지와 같은 미지의 공간을 개척하여 자원을 획득하고 삶을 영위하는 터전으로 삼아야 한다.

화성 등 지구 밖 행성에서

제2의 지구를 찾을 수 있을까?

우리나라가 심해, 극지 등을 선점하여

자원 강국이 될 수 있을까?

미국 항공우주국(NASA)은 2022년에 소행성 '16 프시케(16 Psyche)'를 탐사할 계획이다.^[62] 이 소행성에는 약 1,000경 달러의 가치를 갖는 금속자원이 매장되어 있을 것으로 추정하고 있다.^[63] 1,000경 달러는 2019년 세계 GDP의 10만 배 이상이나 되는 규모이므로 만약 탐사가 성공하게 된다면 그 경제적 가치는 상상하기 어려울 정도로 막대할 것이다. 이처럼 미국, 중국, 일본 등은 우주자원을 선점하기 위한 기술 개발에 적극적으로 나서고 있다. 또한, 우주 산업은 항공, 위성 등 국방 분야와도 밀접하게 연계되어 있어, 국가 안보 차원에서 독자적인 기술 확보가 매우 중요한 분야이다.

국제법상 누구의 소유도 아닌 공해(公海)를 차지하여 바다 속에 존재하는 다양한 자원을 획득하기 위해, 세계 곳곳에서 국가 간 섬 영유권 분쟁과 각 국가의 배타적 경제수역을 넓히려는 시도가 빈번하게 일어나고 있다. 지구 대륙 부피의 32배나 되는 심해에는 구리, 니켈, 희토류 등 광물자원이 풍부하게 매장되어 있다. 한편, 지구의 극지에 대해서도

세계 각국은 독자적인 기지와 이동 경로 등을 확보하기 위한 경쟁을 펼치고 있다. 극지에는 원유, 천연가스 등 풍부한 에너지 자원이 매장되어 있다고 알려져 있으며, 빙하로부터 고대의 대기 환경을 분석하고 미생물의 흔적을 찾는 등 다양한 연구도 가능하여 연구 측면에서도 가치가 높다.

우주산업은 개발 비용이 많이 들고 실패 가능성도 높지만, 성공할 경우 얻을 수 있는 경제적·사회적 가치가 매우 큰 산업이다. 우리나라는 우주탐사의 후발국이지만 다가올 우주시대를 대비하는 세계적인 흐름에 동참하여 우주기술 개발에 끊임없이 도전해야 한다. 한편, 지구에 있는 미지의 공간인 심해나 극지의 탐사에서도 장기적인 목표와 전략을 수립하여 도전해야 한다.

3-2.

과학기술 도전과제 해결을 위해 추구해야 하는 과학기술 정책방향

3장 1절에서 제시한 과학기술 도전과제들을 해결하기 위해서는 산업계, 학계, 연구계의 모든 개인과 조직이 과학기술을 통한 혁신을 추진할 수 있도록 지원하는 국가 과학기술정책이 필요하다. 즉, 정부와 공공 부문은 과학기술 생태계의 주체별 활동을 연계하여 시너지 효과를 내는 한편, 개별 주체가 수행하기 어려운 인프라 구축, 법·제도 정비, 공통 기반기술 및 공공 목적의 기술 개발에도 힘을 쏟아야 한다. 그렇다면 과학기술 도전과제를 해결하기

미래 과학기술에 대한 질문에서 도출한 과학기술 도전과제 및 기술개발 방향 제안

미래상	질문	도전과제	기술개발 방향 제안
안전하고 건강한 사회	자연 수많은 위협 속에서 인류의 생존을 지켜나갈 수 있을까?	기후변화, 재난재해, 감염병 등 인류의 생존을 위협하는 요인에 대처	온실가스 감축과 기후변화 적응 및 기상조절·예측 재난재해 긴급대응과 복구 및 사전예측 신·변종 감염병의 감염원 감지·퇴치 및 감염자 진단·치료
	오염 인류가 환경오염을 해결하여 문명을 번영시킬 수 있을까?	환경오염 대응을 통한 문명의 지속가능성 확보	폐기물 전주기적 관리와 자원화 및 대체 신소재 개발 원자력의 안전한 활용 및 핵융합 기술개발 도전
	건강 인간이 몇 살까지 건강하게 살 수 있을까?	차세대 바이오·의료 기술을 통한 건강한 삶 실현	난치병 극복 및 예방의료 실현 뇌 기능 규명을 통한 뇌질환 극복 및 기억 회복
풍요롭고 편리한 사회	능력 인간의 신체적·지적 능력 은 어디까지 발전할까?	인간의 신체적·지적 능력 보완 및 확장	장애와 노화를 극복하는 신체적 능력 회복 및 극대화 인공지능 알고리즘·하드웨어 고도화로 지적 능력 향상
	자원 인류는 생존에 필요한 것을 지속적으로 확보할 수 있을까?	자원 고갈에 대비한 농업· 제조업·에너지 혁신	농어업·제조업 스마트화 및 미래식량 개발 친환경 에너지원 확보 및 에너지 효율화 추진
	이동 생활권은 어디까지 넓어지고 이동은 얼마나 편리해질까?	우주 생활권 및 안전하고 편리한 이동 실현	우주를 넘나들고 지상을 고속주파하는 유인 운송수단 개발 친환경·지능형 기술로 안전하고 편리한 이동 실현
공정하고 차별 없는 소통·신뢰 사회	소통 사람은 어디서 어떻게 소통할까?	다양한 소통방식과 신뢰 할 수 있는 네트워크 확보	소통의 현실감 제고 및 방식·대상 다양화 신뢰할 수 있고 안전한 소통 네트워크 구축
인류사회에 기여하는 대한민국	확장 인류의 활동영역은 어디까지 확장될까?	새로운 삶의 영역을 확보하기 위한 미지의 공간 개척	우주·심해·극지 개척으로 자원 확보 및 생활권 확장

주: 도전과제들을 통해 미래상을 실현할 수 있다는 것을 설명하기 위해 편의상 각 도전과제를 하나의 미래상에 연결하였지만, 실제로는 각 도전과제가 여러 가지 미래상에 연결될 수 있다. 예를 들어, 8개 도전과제는 모두 "인류사회에 기여하는 대한민국"에 연결될 수 있다.

위해 구체적으로 어떤 정책이 필요한가? 본 전략은 이 질문에 답하기 위해 미래 우리나라 과학기술 생태계에 대한 질문에서 출발한다. 의미 있는 질문을 도출하기 위해 과거에 수립된 과학기술 미래전략에 제시된 목표와 정책방향을 재점검하고 현재 우리나라 과학기술 생태계의 역량 및 현황을 분석하였다. 또한, 메가트렌드를 고려하고 해외 주요국의 미래 전략에 제시된 정책방향도 검토하였다.

먼저, 과거 과학기술 미래전략으로서, 1999년에 수립된 「2025 과학기술발전 장기비전」과 2010년에 수립된 「2040 과학기술 미래비전」을 종합적으로 검토하였다. 두 전략에서는 각각 5대 정책방향을 다음과 같이 제시하였다.

「2025 과학기술발전 장기비전」의 정책방향

1. 정부주도·개발중심의 혁신체제에서
민간주도·확산중심의 혁신체제로
2. 공급확대를 중시하는 투자확충전략에서
효율적 활용을 중시하는 투자배분전략으로
3. 국내완결형 연구개발체제에서
글로벌 네트워킹형 연구개발체제로
4. 단기적인 수요대응형 기술개발전략에서
장기적인 시장창출형 혁신전략으로
5. 과학기술이 주도하는 국가경영체제로

「2040 과학기술 미래비전」의 정책방향

1. 새로운 영역을 개척하는 창조형·선도형 연구개발 확대
2. 새로운 가치를 창출하는 과학기술인재 육성 및
지식시스템 강화
3. 국제협력을 통한 글로벌 개방형 혁신체제 구축
4. 지속가능 발전을 선도하는 녹색성장형 과학기술 혁신 추구
5. 국민과 사회에 기여하는 과학기술 역할 강화

앞선 두 차례의 미래전략에서 제시한 정책방향 가운데 이미 어느 정도 달성된 것들과 앞으로도 추진되어야 하는 것들을 평가하였다. 예를 들어, 민간 주도의 혁신체제, 효율적 투자 배분, 장기적 시장창출을 위한 기술개발 등은 많은 부분 이미 정책에 반영되어 달성되었거나 추진되고 있으나, 창조형·선도형 연구개발, 과학기술 인재 육성, 글로벌 협력, 과학기술이 주도하는 국가경영체제로의 전환 등에 대해서는 관련 정책이 지속적으로 추진되어야 할 것이다.

한편, 과거 전략에서 설정한 양적 목표가 얼마나 달성되었는지를 살펴보면, 연구개발 투자나 연구원 수, 과학기술 경쟁력 등 많은 양적 목표를 달성하였으나, 기술교역지수와 기술수출액, 연구원 1인당 SCI 논문 수 등에서는 아직까지 목표에 미치지 못하고 있다. 이를 통해, 우리나라는 과학기술에 많은 투자를 하고 있고 과학기술 인적자원도 풍부한 편이지만, 세계를 선도하는 연구 성과를 내기 위해서는 연구 환경 개선 및 인프라에 대한 지원이 지속적으로 이루어져야 함을 알 수 있다. 또한, 과거 전략에서는 과학기술의 글로벌화, 과학기술 주도의 국가정책 추진 등을 질적 목표로 설정한 바 있는데, 본 전략에서도 이러한 목표를 지속적으로 추구해 나가야 할 정책방향으로 설정하고자 한다.

다음으로, 현재 우리나라 과학기술 생태계의 역량 및 현황을 분석하였다. 예를 들어, 「2019년 국가 과학기술혁신역량평가」에 따르면, 우리나라는 다른 OECD 국가들과 비교할 때 글로벌 협력, 민간에 대한 법·제도적 지원, R&D 성과 창출 등에서 상대적

과거 과학기술 미래전략에서 설정한 양적 목표와 질적 목표

전략	양적 목표		현황	달성 여부
2025 과학기술발전 장기비전 (1999)	7위권 과학기술 경쟁력 (2025년)	과학기술 경쟁력: 28위('99) → 7위('25)	과학경쟁력: 3위, 기술경쟁력: 22위('19)	과학은 달성 기술은 미달성 예상
		정보화지수: 22위('99) → 5위('25)	3위('07)	초과 달성
		경제성장기여도: 19%('99) → 30%('25)	36.8%('00~'13)	초과 달성
		기술교역지수: 0.07('99) → 1 이상('25)	0.76('18)(기술무역수지)	미달성 예상
		R&D투자: 128억 달러('99) → 800억 달러('25)	약 779억 달러('18)	달성 예상
		연구개발인력: 13.8만 명('99) → 31.4만 명('25)	51.4만 명('18)	초과 달성
2040 과학기술 미래비전 (2010)	세계 5위의 글로벌 과학기술 선도국 (2040년)	GDP 대비 연구개발투자 비율: 3.37%('08) → 5.0%('40)	4.81%('18)	달성 예상
		인구 만 명당 연구원 수: 48.6명('08) → 120명('40)	100.8명('18)	달성 예상
		세계 랭킹 100위권 내 대학 수: 2개('09) → 10개 이상('40)	5개('19)	달성 예상
		연간 3급 특허 수: 2,488건('07) → 13,500건('40)	12,746건('17)	달성 예상
		기술수출액: 2,530백만 달러('08) → 51,000백만 달러('40)	11,798백만 달러('17)	미달성 예상
		연구원 1인당 SCI 논문 수: 0.151건('05) → 0.420건('40)	0.125건('17)	미달성 예상
전략	질적 목표			
2025 과학기술발전 장기비전 (1999)	1단계(~2005) 아시아 경쟁상대국보다 우위의 과학기술 경쟁력 확보	투자 확대와 효율성 제고		
		법, 제도, 시스템 정비		
		인프라 확충		
	2단계(~2015) 아시아-태평양권 연구중심지 구현	과학기술 교육개혁		
		미래대비 프론티어 연구		
		세계 최선두 수준의 정보화 달성		
		국제화와 글로벌 네트워킹 달성		
		신연구개발문화 정착		
		지식기반 신산업 육성		
	3단계(~2025) 선택된 영역에서 세계적 기술 주도권 확립	기초과학연구 선진화와 세계적 수준의 과학자 배출		
		선진화·개방화된 지식창출·활용·확산 메커니즘 구축		
		과학기술 리더러시의 세계최고 수준화		
		과학기술주도의 국가경경제체 구축		
		세계 과학기술 공동체への 기여		
		남북한 과학기술 통합능력 제고		

주: 「2040 과학기술 미래비전」(2010)에서는 질적 목표를 제시하지 않았음.

으로 미흡했다.^[64] 「과학기술 기반 국민생활(사회) 문제 해결 종합계획」에서는 과학기술의 역할이 과거 경제 발전 중심에서 이제는 건강, 안전, 환경 등 사회문제 해결로 확대되어야 한다고 강조하였다.^[65] 또한, 「국가 R&D 혁신방안 이행 점검결과 및 실행계획 수정(안)」에 따르면, 중소기업 R&D의 효율성을 높이기 위한 정책이 마련되어야 하고, 지역 R&D 추진 시 부처 단위의 개별적 접근이 아닌 범정부 차원의 종합적 접근이 필요하다는 점이 지적되었다.^[66]

또한, 사회, 기술, 경제, 환경, 정치 측면의 메가트렌드도 분석하였다. 미래에는 삶의 질에 대한 가치가 점점 높아져 과학기술의 중요한 목표로 자리 잡을 것이다. 또한, 감염병 대유행, 글로벌 금융 위기, 외교적 갈등과 분쟁 등 예상치 못한 위기로 인해 소재, 부품 등의 글로벌 수급에 차질이 생기고, 에너지, 광물 등 핵심 자원의 수입이 어려워지는 등 산업 리스크가 증가하고 있다. 지속적인 도시화와 지역인구 감소 및 생활권 확대에 의해 초광역도시가 등장하고 있다는 사실에도 주목해야 한다. 종합적으로, 미래에 대한 불확실성과 위험이 증가하고 있음을 정책방향에 반영해야 한다.

마지막으로, 주요 국가의 미래전략을 검토하여 다른 국가들은 어떻게 미래를 준비하고 정책방향을 설정하는지 조사하였다. 예를 들어, 독일의 「The High-Tech Strategy 2025」, 영국의 「Industrial Strategy」, 프랑스의 「France Europe 2020」, 일본의 「신산업구조비전」, 미국의 「A Strategy for American Innovation」 등 해외 전략에서는 공통적으로 새로운 기술과 지식을 창출하는 연구개발

혁신, 인재의 양성과 활용, 데이터 등 사회 전반을 구성하는 인프라와 시스템 구축 등을 미래에 중요한 정책과제로 제시하였다.^[67]

위의 사항들을 종합하여, 전문가 집단 지성을 통해 미래 과학기술 정책방향을 도출하기 위한 질문들을 선정하였다. 미래사회의 급격한 변화와 과학기술 생태계의 복잡성을 고려할 때, 본 전략에서 다루어야 하는 질문들은 매우 많겠지만, 연구자, 기업, 국민 등 혁신을 추진하는 ‘주체’에서 시작하여, 혁신이 이루어지는 ‘공간’과 이 모든 것들의 토대가 되는 ‘정책 환경’으로 생각의 범위를 확장해 나가면서, 미래 과학기술 생태계에 대한 핵심 질문들을 제시하면 다음과 같다.

첫째, 미래에 우리나라 과학기술 인재를 양적으로 감소할 우려가 있고, 인간과 인공지능이 어떻게 조화롭게 경쟁 및 협력할 것인가라는 문제를 해결해야 하는 상황이다. 해외전략에서도 미래인재의 육성과 활용, 교육 시스템의 개선, 인공지능의 활용 등을 공통적으로 강조하고 있다는 점에서, “인구 감소 및 인공지능 시대에 어떻게 과학기술 인재를 확보하여 역량을 발휘하게 할 수 있을까?”라는 질문을 검토할 필요가 있다.

둘째, 우리나라 과학기술계는 과거 60년 간 양적 목표는 상당 부분 달성하였으나 이제는 질적인 도약이 필요한 시점이다. 해외 주요국들은 미래사회의 도전과제에 주목하면서 창의적인 지식의 중요성을 강조하고 있다. 따라서 현 시점에서 “세계적으로 인정받는 연구 성과를 창출하려면 어떻게 해야 할까?”라는 질문을 고려하는 것은 의미가 있다.

셋째, 세계 경제의 저성장이 장기화되고 글로벌 금융위기, 국가 간 외교분쟁, 전염병 대유행 등 예상치 못한 상황으로 인해 산업 리스크가 증가하고 있다. 미래에는 새로운 성장동력을 발굴하고 리스크를 줄이기 위한 과학기술의 역할이 더욱 중요하기 때문에, “우리 경제의 성장동력을 어떻게 강화할 것인가?”라는 질문을 고려하고자 한다.

넷째, 소득 수준이 높아지고 사회가 발전하면서 삶의 질에 대한 욕구가 증대되고 있고, 환경오염, 재난재해, 감염병 등 각종 사회문제가 심각해지면서, 과학기술의 역할이 과거 경제 발전에서 사회문제 해결로 확대될 필요가 있다. 따라서 미래 정책방향을 설계하기 위해서는 “과학기술이 우리 삶에 실제로 도움이 될까?”라는 질문을 고려해야 한다.

다섯째, 미래에는 도시와 도시 간에 연계망이 확충되며 초광역도시가 등장하는 등 지역 환경에 변화가 나타날 것이다. 그리고 민간 부문의 역할이 중요해짐에 따라 중앙정부 중심의 하향식 정책 기획과 추진에는 한계가 있을 것으로 예상되므로, 지역 정책을 논의하기 위해 “미래에 우리나라 지역은 어떻게 발전할 것인가?”라는 질문을 검토할 필요가 있다.

여섯째, 과거부터 과학기술의 글로벌화를 추진해 왔으나, 타 OECD 국가들과 비교할 때 글로벌 협력이 여전히 미흡하다. 미래에 복잡하고 다양한 과학기술 도전과제들을 해결하려면 국제 협력을 통한 과학기술의 외연 확대가 필수적이기 때문에, “우리 과학기술의 글로벌 영향력과 위상을 어떻게 높일 수 있을까?”도 미래에 대한 질문으로 제시해 볼

수 있다.

일곱째, 정책적인 의사결정을 할 때 개인적인 경험이나 직감에 의존하는 방식에서 과학적인 합리성과 데이터 기반의 분석을 중시하는 방식으로 전환해야 한다. 해외 주요국들은 공통적으로 데이터 및 과학기술 인프라 구축을 중요한 과제로 제시하고 있다. “과학기술이 중심이 되는 국가가 되려면 어떻게 해야 할까?”라는 질문을 통해 구체적인 방안을 모색해 보고자 한다.

여덟째, 미래사회는 변동성과 불확실성이 증가하고, 감염병 확산, 통신망 마비 등과 같이 예상하기 어렵지만 일단 발생할 경우 사회에 엄청난 파급력을 가져오는 사건들이 지속적으로 나타날 것이다. 이러한 미래에 대해 사전에 대응하고 준비하는 자세가 중요하다는 관점에서, “미래를 준비하고 개척하는 국가가 되려면 어떻게 해야 할까?”를 마지막 질문으로 제시하고자 한다.

아래에서는 앞서 제시한 각각의 질문에 대해 해답을 찾아가는 과정에서, 우리 과학기술 생태계의 역량을 높이고 우리가 직면한 과학기술 도전과제를 해결하기 위해 우리나라 과학기술 정책방향을 어떻게 수립해야 하는지 알아본다.

인구 감소 및 인공지능 시대에 어떻게 과학기술 인재를 확보하여 역량을 발휘하게 할 수 있을까?

미래에 우리나라 인재정책과 관련해서는 인구 감소, 인공지능 발전 등 중대한 환경 변화가 일어날 것으로 예상된다. 우선, 저출산으로 인해 과학기술계에 새로운 인재의 유입이 감소하여 인재의 규모

미래 과학기술 생태계에 대한 8가지 질문

구분	질문	질문의 단서	주요 내용
주체	1. 인구 감소 및 인공지능 시대에 어떻게 과학기술 인재를 확보하여 역량을 발휘하게 할 수 있을까?	메가트렌드	· 저출산·고령화로 인해 과학계로 젊은 인재 유입 감소 · 과학기술 분야에 고령자 및 해외인재 비중 증가
		해외전략	· (독) 역량 기반(인재, 교육), (영) 사람(인재), 인공지능 (일) 인재육성·활용시스템, (미) 인재
	2. 세계적으로 인정받는 연구 성과를 창출하려면 어떻게 해야 할까?	과거·현재에 대한 평가	· 과학기술의 양적 목표는 많이 달성되었으나, 질적으로 의미있는 연구 성과를 달성하기 위한 정책적 지원 필요
		해외전략	· (영) 지식·생각, (미) 인프라(지식재산권)
3. 우리 경제의 성장동력을 어떻게 강화할 것인가?	메가트렌드	· 글로벌 저성장 추세 지속 · 중국의 경제규모와 경제적 영향력 증가 · 금융위기, 외교분쟁, 전염병 등으로 산업 리스크 증가	
	해외전략	· (독) 기업가정신 강화, (영) 사업환경(창업, 스타트업), (미) 투자(기업가정신, 창업)	
4. 과학기술이 우리 삶에 실제로 도움이 될까?	과거·현재에 대한 평가	· 과학기술의 역할을 경제 발전 중심에서 건강·안전·환경 등 사회문제 해결로 확대 필요	
	메가트렌드	· 환경오염, 재난재해, 감염병 등 각종 사회문제에 대한 과학기술 기반의 해결책 필요	
공간	5. 미래에 우리나라 지역은 어떻게 발전할 것인가?	메가트렌드	· 도시 연계망이 확충되며 초광역도시가 등장
	6. 우리 과학기술의 글로벌 영향력과 위상을 어떻게 높일 수 있을까?	과거·현재에 대한 평가	· 「2019년 국가 과학기술혁신역량평가」 결과, 타 OECD 국가 대비 글로벌 협력 미흡
정책 환경	7. 과학기술이 중심이 되는 국가가 되려면 어떻게 해야 할까?	과거·현재에 대한 평가	· 과학기술 주도의 국가경영 및 국가정책 추진 시 과학적 합리성과 데이터를 기반으로 한 판단 중요
		해외전략	· (독) 지식·혁신의 네트워크, (미) 차세대 디지털인프라, 테스트베드
	8. 미래를 준비하고 개척하는 국가가 되려면 어떻게 해야 할까?	메가트렌드	· 미래사회의 변동성과 불확실성 증가 · 미래에는 예상하기 어렵지만 사회적 파급력이 큰 사건이 빈번하게 발생

가 축소될 위협에 처해 있다. 저출산으로 초·중·고 학생이 감소하면^[68] 대학생·대학원생도 줄어들어, 과학기술 인재 규모도 필연적으로 축소되기 때문이다. 또한, 미래에는 인간이 인공지능과 경쟁하기도 하고 협력하기도 하면서 공존하는 세상이 도래할 것이다. 그 때가 되면 다량의 자료 검색이나 어려운 계산은 인공지능에게 맡기고 인간은 문제를 정의하거나 창의적인 아이디어를 내는 등 일의 성격이 지금과 많이 달라질 것이다. 우리가 원하는 미래 모습은 이와 같은 변화에도 불구하고 우수한 인재들이 과학기술 분야로 모여들고 자신이 원하는 분야에서 열정을 다해 역량을 발휘하는 것이다.

*인구가 줄어들면 자연스럽게 과학기술 인재도 줄어들어 국가 경쟁력이 낮아지지 않을까?
인공지능이 발전하면 인간은 어떤 일을 하게 될까?*

과거의 과학기술 인재정책은 상대적으로 인재의 양적인 측면을 중시했고, 정부가 분야별로 인력의 수급과 양성을 주도해 왔다. 예를 들어, 특정 분야의 인력 수요가 늘어날 것으로 전망되면, 정부가 관련학과 신설, 정원 확대, 직업교육 프로그램 제공 등을 추진하는 방식이었다. 하지만, 과학기술 인재를 확보하고 육성하는 것을 정부가 주도하는 방식은 미래의 빠른 변화 속도에 대응하기가 어렵기 때문에 더 이상 적합하지 않다.

인구 감소, 인공지능 발전 등 미래의 기술적·사회적 변화에도 우수한 인재를 확보하고 육성하는 것은 우리나라 과학기술의 잠재력을 높이기 위해

해결해야 하는 중요한 과제 중 하나이다. 이를 위해서는 과학기술의 매력도를 높이고 분야 선택의 장 애요인을 개선하여 다양한 인재들이 과학기술로 유입될 수 있도록 해야 한다. 또한, 인간과 인공지능의 역량을 합친 국가의 지적 역량을 강화한다는 관점에서 인간과 인공지능 간의 효율적인 협업 체계도 모색해야 한다. 그리고 인재들이 미래사회에 필요한 역량을 다양한 경로로 습득할 수 있도록, 유연하고 역동성 있는 교육 인프라와 환경을 제공해야 한다. 인재를 확보하는 것뿐 아니라, 이들이 적재적소에서 역량과 열정을 충분히 발휘하도록 환경을 조성하고 동기를 부여하는 것도 중요한 과제이다. 각자 원하는 일을 할 수 있도록 조직 간, 분야 간 인재 유동성을 높이고, 개성과 자기주장이 강한 미래 세대의 역량을 최대한 끌어낼 수 있도록 동기를 부여해야 한다.

세계적으로 인정받는 연구 성과를 창출하려면 어떻게 해야 할까?

미래에도 전 세계 과학기술자들은 인류의 한계를 극복하기 위한 여러 가지 도전과 창의적 지식 창출을 계속해 나갈 것이다. 인류의 지적 영역이 넓어지고 이를 바탕으로 거대한 신산업이 탄생하여, 인류의 삶은 획기적으로 개선될 것이다. 지금까지 우리나라는 과학기술 분야에서 눈부신 성과를 거두었지만, 세계적으로 인정받는 연구 성과의 대부분은 주요 선진국들의 몫이었다.^[69] 우리가 원하는 미래의 모습은, 선진국이 주도해 왔던 과학기술 분야에서 이제부터는 우리가 도전적이고 창의적으로 연구

성과를 창출하여 인류사회에 기여하고 국가의 위상과 국민적 자긍심을 높이는 것이다.

미래에는 우리나라 과학자가

노벨상을 수상할 수 있을까?

미래에도 생존하고 발전하려면

공공연구기관과 대학은 어떻게 달라져야 할까?

과거의 과학기술정책에서도 도전적 연구와 창의적 연구*의 중요성이 강조되어 왔고,^[70] 이와 관련된 투자와 지원이 지금도 이루어지고 있다. 전자는 특정한 목표를 이루기 위해 추진하는 것이고 후자는 특정한 목표를 염두에 두지 않고 호기심에서 출발하는 것이므로, 두 종류의 연구는 목적이 다르고 성과에 이르는 메커니즘 또한 상이하다. 그런데 체계적으로 관리되어야 한다는 관점과 창의성을 높이기 위해 자율성을 강화해야 한다는 관점이 혼재되어 있는 상황이다. 예를 들어, 연구의 평가 방식 개선에 대한 많은 논의에도 불구하고, 여전히 두 종류의 연구에 대해 논문, 특허 등 동일한 평가기준이 적용되는 경우가 많다.^[71]

미래에 우리나라가 과학기술 분야에서 도전과 지식 창출의 주역이 되기 위해, 정부는 도전적 연구와 창의적 연구를 유사한 방식으로 관리하던 체계에서 전자는 성과 중심의 관리를 강화하고 후자는 과감하게 관리를 최소화하는 체계로 전환해야 한

다. 먼저, 도전적 연구에 대해서는 도전 목표를 명확히 결정하고 과정을 체계적으로 관리하되, 실패를 용인하여 도전을 촉진해야 한다. 그리고 국가적으로 중요한 도전과제의 경우 이를 수행하는 데 적합한 공공연구기관에 명확한 임무를 부여해야 한다. 다음으로, 창의적 연구에 대해서는 연구자가 자율적인 연구 환경에서 한 분야에 장기간 집중하고 다른 분야의 연구자들과 협력하며 성과를 축적해 나갈 수 있도록, 지원 방식을 설계해야 한다. 그리고 대학의 경우, 대학연구소 중심의 특화된 연구를 하도록 장려하고, 과감하고 실험적인 교육을 시도할 수 있도록 변화시켜 나가야 한다.

미래에 우리 경제의 성장동력을 어떻게 강화할 것인가?

미래에 우리나라 경제를 낙관할 수 없게 만드는 여러 가지 요인들이 존재한다. 첫째, 경제성장을 주도해 온 반도체, 전자, 화학, 자동차 등 주력 산업에서 다른 국가들과의 경쟁이 치열해지고 있다. 지난 20여 년간 우리나라 주력 수출품목은 반도체, 자동차, 석유제품, 철강판 등으로 거의 변화가 없는 데,^[72] 여러 산업이 중국 등의 급속한 기술 추격을 받아 경쟁력을 위협받고 있다.^[73] 둘째, 인구 감소로 인해 우리나라 경제 규모가 축소될 우려가 있다. 과거에는 인구와 1인당 GDP가 함께 증가해 왔지만

* 본 전략에서 도전적 연구는 국가가 전략적으로 대상을 선정하는 목적 기초연구(Top-Down)와 거대과학(big science)을 의미하고, 창의적 연구는 자유 공모 방식의 순수 기초연구(Bottom-Up)를 말한다. 하지만, 현실적으로는 두 종류의 연구를 명확하게 구분하기 어려울 수도 있다.

향후에는 인구가 감소할 전망이므로 1인당 GDP, 즉 생산성이 크게 높아지지 않는다면 경제성장을 낙관할 수 없다. 셋째, 글로벌 저성장이 장기화되며 반글로벌화(anti-globalization) 또는 탈세계화(degloabalization) 경향이 강해지고 있다. 따라서 상품·서비스의 글로벌 가치사슬(value chain)이 앞으로도 유지될 것이라는 가정은 더 이상 유효하지 않다.

2045년 우리나라의 주력산업은 무엇일까?

우리 경제가 미래 리스크에 강해지려면 무엇이 필요한가?

과거 우리나라는 양적으로 또는 외형적으로 고속의 경제성장을 이루어 냈지만, 그 내용을 들여다 보면 성장의 질은 높지 못한, 취약한 성장이었다.^[74] 성장을 견인해 온 일부 주력 산업의 경우 핵심 기술이 부족하여 주요 소재, 부품, 장비, 엔지니어링^[75] 등을 일본, 미국, 유럽 등 해외로부터 조달하고 있고, 검색, 클라우드 등 디지털 플랫폼 분야에서도 구글, 아마존 등 글로벌 기업에 의존하고 있다. 산업 포트폴리오 측면에서도 독일, 프랑스, 영국 등 주요 선진국과 비교할 때, 바이오·제약 등 고부가 가치 산업이나 금융 등 서비스 산업이 취약한 상황이다.

미래에 우리 경제의 성장을 지속하기 위해서는 첫째, 성장동력 정책의 주체를 정부 주도에서 기업과 정부가 팀을 이루는 체계로 전환해야 한다. 이를 위해 정부는 현재처럼 성장동력으로 육성할 대상을 구체적으로 정하여 선언하는 방식에서 벗어나,^[76]

신사업 기회가 될 수 있는 미래사회의 도전과제를 제시하는 한편, 기업이 조기에 성과를 낼 수 있도록 기술개발 단계뿐 아니라 사업화 전 과정을 지원하는 역할을 담당해야 한다. 둘째, 산업이 지속적으로 성장할 수 있도록 산업의 체질을 강화해 나가야 한다. 이를 위해, 정부는 대·중소기업, 스타트업, 대학, 연구소 간에 서로 경쟁하고 협력하는 건강한 생태계가 조성될 수 있도록 지원하고, 다가올 리스크에 기업과 함께 선제적으로 대응해 나가야 한다.

과학기술이 우리 삶에 실제로 도움이 될까?

인류는 기후변화, 사회 갈등, 고령화 등 많은 사회문제에 직면하고 있다. 대기오염, 살인적인 폭염과 한파, 미세플라스틱 등에 의해 고통받는 세상, 인간의 수명이 150세까지 연장되지만 사회 불평등으로 인해 소득 양극화가 수명 양극화로 이어지는 세상, 극단적인 개인화로 치열한 경쟁 속에 놓이는 세상 등 우울한 미래가 올 것이라고 우려하는 목소리도 나온다.^[77] 과학기술은 눈부시게 발전하고 있지만 앞으로도 과학기술로 해결해야 할 과제들은 산적해 있다. 과학기술을 통해 사회문제를 해결할 수도 있지만, 반대로 가상현실, 자율주행, 유전자 편집 등의 신기술이 범죄, 사고, 생명윤리 위배 등 새로운 사회문제를 제기할 수도 있다. 우리가 원하는 미래를 실현하기 위해서는 과학기술의 순기능과 역기능을 모두 고려해야 한다.

과거 연구개발 투자는 경제 발전에 치중되어 있었지만,^[78] 이제 우리 국민들은 국가 경제가 발전하는 것뿐만 아니라 개인의 ‘삶의 질’도 높아지기

를 원하고 있다. 또한, 소득 수준이 높아지고 사회가 발전할수록 물질적인 가치와 함께 공정, 신뢰 등의 사회적 가치도 삶의 질의 중요한 요소들로 부각된다. 선진국 문턱에 다다른 우리나라가 한 단계 더 도약하기 위해서는, 고속성장 과정에서 소홀히 했던 사회문제 해결과 삶의 질 제고에 대한 국가적인 관심이 높아져야 한다. 그리고 과학기술정책의 목표를 경제 발전뿐 아니라 사회 발전까지도 포함하도록 확대해야 한다.^[79]

과학기술은 인류가 직면한 수많은 문제를 해결할 수 있을까?

사회문제 해결을 위한 과학기술은 기존 과학기술과 어떻게 다른가?

미래사회의 도전과제들을 과학기술로 해결하기 위해서는 첫째, 현재 기술개발 중심으로 구성된 연구개발 추진체계를 문제해결 중심으로 전환해야 한다. 어떤 문제를 해결할 것인지 명확한 목표를 설정하고 공공 부문의 ‘혁신가(entrepreneur)’를 지정해야 한다. 정부는 이 혁신가가 문제해결의 전 과정을 책임지고 추진할 수 있도록 권한을 부여하고 종합적으로 지원해야 한다. 둘째, 국민의 관점에서 실제로 해결이 시급한 사회문제를 발굴하고 이를 해결하는 다양한 아이디어를 수렴하기 위해, 연구와 정책 결정의 모든 과정에 국민의 참여를 확대해야 한다. 또한, 과학기술이 가져다주는 혜택만 누리려 할 것이 아니라, 그 역기능에 대해서도 선제적으로 대비해야 한다.

미래에 우리나라 지역은 어떻게 발전할 것인가?

미래에 우리나라의 각 지역은 인구 이동이나 경제 발전 측면에서 큰 변화를 경험하게 될 것이다. 도시화는 세계적으로 공통적인 현상이며,^[80] 우리나라도 도시인구 비율이 1970년 50.1%에서 1990년 81.9%, 2019년 91.8%로 지속적으로 증가해 왔다.^[81] 미래에는 모빌리티 기술의 발전에 따라 도시화가 주변 지역에서 도시로 인구가 이동하는 형태를 넘어 도시와 도시가 연결되고 경쟁하는 형태로 새롭게 전개될 전망이다. 에어택시, 하이퍼루프, 극초음속 항공기 등 미래에 등장할 다양한 모빌리티 기술은 도시와 도시 간 교류를 더욱 활발하게 하여 도시의 광역화를 촉진함으로써 대도시(metropolis)를 넘어 초거대도시(megalopolis)의 등장을 예고한다. 또한, 과거에 경부고속도로나 KTX가 우리 생활의 범위를 전국으로 넓힌 것처럼, 미래의 모빌리티 기술은 우리의 생활권 및 경제권을 아시아, 나아가 전 세계로 확대시킬 것이다. 따라서 미래에는 어느 지역의 경쟁 상대가 국내 다른 지역이 아니라 아시아나 세계의 어떤 지역이 될 것이다.

미래에는 수도권 집중 현상이 해결될 수 있을까?

인구 감소와 글로벌 경쟁 시대에

우리나라 지역의 생존전략은 무엇인가?

과거 미래전략에서도 지역 혁신을 중요한 정책 과제로 제시하였고,^[82] 그동안 정부는 「지방 과학기술 진흥 종합계획」 수립, 「국가균형발전 특별법」

제정, 테크노파크·연구개발특구 지정, 지역 주력산업 육성 등 다양한 노력을 기울여왔다. 하지만, 현재 지역 과학기술 생태계는 장기간의 중앙정부 지원에도 불구하고 자생력이 부족하여, 여전히 중앙정부에 의존하고 있고, 과학기술혁신역량의 수도권 집중현상이 고착화되어 있는 상황이다. 예를 들어, 「2018년 지역 과학기술혁신역량평가」에 따르면, 경기·서울·대전 지역과 이를 제외한 대부분의 비수도권 지역은 과학기술혁신역량에서 거의 2배 차이가 나는 것으로 나타났다.^[83] 또한, 향후 비수도권의 성장률이 수도권의 성장률보다 낮을 것으로 전망되어 수도권과 비수도권 간의 혁신역량의 격차는 더욱 확대될 전망이다.^[84] 앞으로도 이와 같은 추세가 지속된다면, 최악의 경우 일부 지역의 과학기술 생태계가 사라질 우려가 있다.

미래에 우리나라 지역의 생존 전략은 과거 지역 혁신 정책의 한계를 냉정하게 인식하고, 민간 주도로 산학연이 연계되며 글로벌 허브로 발전하도록 유도하는 것이 되어야 한다. 이를 위해서 첫째, 지역의 광역화 추세와 지역 간 혁신역량의 격차를 고려하여, 현행 시·도의 경계를 넘어선 광역 클러스터로 성장하도록 유도하는 방향이 바람직하다. 정부는 광역클러스터 간 경쟁과 협력을 촉진하여, 이들이 자발적으로 성장·결합함으로써 궁극적으로는 수도권과 비수도권 구도를 벗어난 새로운 지역 개념으로 자리 잡을 수 있도록 노력해야 한다. 둘째, 지역 혁신의 주체를 중앙정부에서 지방정부로, 더 나아가 민간으로 전환해야 한다. 정부는 지역별 목표에 맞게 지역 산·학·연 등 혁신 주체를 명확하게

설정하고 종합적으로 지원할 수 있어야 한다. 또한, 지역 산학연 간 협업을 촉진하기 위해 과학기술의 수요와 공급을 매개하는 역할을 수행하고, 지식 클러스터, 테스트베드 등 혁신친화적 공간을 조성해 나가야 한다.

우리 과학기술의 글로벌 영향력과 위상을 어떻게 높일 수 있을까?

미래에 과학기술이 해결해야 하는 문제의 복잡성과 국내 자원의 한계를 고려할 때, 글로벌 협력은 선택이 아니라 필수이다. 특히 인재, 상품, 데이터 등의 국가 간 이동이 활발해짐에 따라, 해외 자원의 활용 여부가 국가의 과학기술 성과를 좌우할 것이다. 예를 들어, 인재의 경우 국내에 거주하는 한국인뿐만 아니라 국내에 거주하는 외국인, 해외에 거주하는 한국인과 외국인이 모두 우리의 과학기술 인재가 될 수 있다. 비록 우리나라의 물리적 영토는 좁지만, 우리의 노력으로 '경제 영토'(예를 들어, 자유무역협정(FTA)을 체결한 국가들의 경제 규모의 합), '두뇌 영토'(예를 들어, 우리나라 인재와 교류하는 글로벌 인재 및 인공지능(AI) 역량의 합), '디지털 영토'(예를 들어, 네트워크, 데이터 등 디지털 인프라의 구축 및 활용 정도)는 얼마든지 확장할 수 있다. 우리가 바라는 미래의 모습은 우리나라 과학기술인들이 글로벌 자원을 효과적으로 이용하고 해외와 활발하게 협력하여 성과를 내며, 국제사회의 의제를 주도함으로써 우리나라의 위상을 높이는 것이다.

2045년 우리 과학기술의 세계 속 위상은 어느 수준일까?

우리의 과학기술도 한류처럼 세계적으로 성공할 수 있을까?

「2025 과학기술발전 장기비전」, 「과학기술 미래비전 2040」 등 과거 미래전략에서도 글로벌 협력이 강조되어 왔지만, 우리나라의 글로벌화 수준은 여전히 높지 않은 상황이다. 예를 들어, 「2019년 국가 과학기술혁신역량평가」에 따르면, 연구자 1,000명 당 국제 공동특허 수는 OECD 주요 35개국 중에서 15위, GDP 대비 해외·외국인 투자비율은 12위를 기록하였다.^[85] 낮은 글로벌화 수준은 대외적인 매력도나 영향력에 영향을 미치고 있으며, 2019년 국가 소프트파워 순위에서 우리나라는 19위로, 경제력에 비해 낮은 평가를 받았다.^[86] 그러나 우리는 과학기술을 바탕으로 고속 성장을 이루었고 우리의 글로벌 기업들이 높은 실적을 내고 있으며 한류 대중문화 또한 세계적으로 널리 퍼지고 있다. 이와 같은 특수한 성공 경험은 앞으로 우리나라가 과학기술의 글로벌화를 추진하는 데 매우 긍정적인 요인으로 작용할 것이다.

우리 과학기술의 글로벌 영향력과 위상을 높이려면 첫째, 글로벌 협력 관련 투자를 확대하고, 인재와 자본의 유입과 진출을 지원하며, 제도적 기반도 구축하여 우리나라 과학기술 생태계를 세계에 개방하고 확장해 나가야 한다. 이를 통해, 궁극적으로 전 세계의 연구자와 연구기관이 국경 없이 과학기술 분야에서 협력하고 공동연구를 추진할 수 있

어야 한다. 둘째, 기존 글로벌 의제에 대응하는 차원을 넘어, 미래에는 새로운 글로벌 의제를 제안하고 선도하는 리더십을 강화해 나가야 한다. 이를 위해서는, 우리나라 과학기술이 도전해야 할 과제를 발굴하고, 지속가능한 발전목표(SDG) 등 국제적인 체제에 대응하여 우리의 의제를 제시할 수 있어야 한다. 그리고 국가·권역별 전략을 연계해 체계화된 국제협력을 추진해 나가야 한다.

과학기술이 중심이 되는 국가가 되려면 어떻게 해야 할까?

미래에는 과학기술이 인류사회에 미치는 영향력이 더욱 증대될 것이다. 과학기술은 사람과 사람, 사람과 사물, 사물과 사물을 연결하여 시간과 공간을 확장함으로써 인간 생활의 모든 영역에서 불가능한 것을 가능한 것으로 만들어 가고 있기 때문이다. 이를 통해, 과학기술은 환경오염, 사회갈등, 고령화 등 사회문제를 해결하고 개인과 조직의 생산성을 높일 수 있는 효과적인 수단을 제공한다. 다른 한편으로는, 과학기술의 영향력이 커지면서 사생활 침해나 생명윤리 위배 등의 문제로 인간의 행복이 위협을 받을 수도 있다. 일자리가 줄어들거나, 기술을 소유한 계층과 그렇지 못한 계층 간에 신체적·지적 격차가 벌어진다면,^[87] 사회 갈등이나 양극화를 부추길 수도 있다. 따라서 과학기술을 어떻게 활용하느냐에 미래의 국운이 달려 있다고 해도 과언이 아닐 것이다.

「2025 과학기술발전 장기비전」에서는 “과학기술이 주도하는 국가경영체제로”의 전환을 정책기조로 천명하였고, 「2040 과학기술 미래비전」에서는

“과학기술정책 범위의 대폭 확대”와 “통합형 과학기술정책으로의 전환”을 정책과제로 제시하였다. 하지만 사회 전반에 “과학기술은 과학기술일 뿐”이라는, 과학기술을 하나의 분야로만 보는 인식이 일반적이어서, 과학기술의 중요성에 대한 공감대가 여전히 부족한 상황이다. 사회 전체가 과학기술 지향적 또는 과학기술 친화적으로 변화되지 않고서는 과학기술에 대한 적극적인 투자와 연구개발 성과의 사회적 확산이 어려워져, 과학기술의 잠재력을 제대로 활용하기 어렵다.

과학기술은 인류에게 축복일까 재앙일까?

우리나라의 과학기술 활용 역량은

어느 수준인가?

국가 정책의 모든 영역에서 과학기술을 중시하는 과학지향적 국가가 되기 위해서는 첫째, 과학기술에 대한 투자를 지속적으로 늘리고 데이터 인프라, 과학실험 공간, 테스트베드 등 물리적 인프라와 과학문화·소통 등 문화적 인프라를 확충하여, 국가의 전반적인 과학기술 역량을 강화하는 것을 최우선 목표로 삼아야 한다. 둘째, 국가 정책의 모든 부문에서 과학기술을 중심에 두고, 과학기술을 활용한 성공 경험을 바탕으로 국가 정책을 추진하고 효과적인 의사결정을 내릴 수 있어야 한다. 이를 위해서, 정부는 콘트롤타워형 거버넌스에서 플랫폼형 거버넌스로 전환해야 한다. 모든 정보를 종합하여 의사결정을 내리는 콘트롤타워형 거버넌스에 비해 플랫폼형 거버넌스는 생태계 전체를 운영하고 생태계 참여자들을 매개하는 역할을 한다. 또한, 과학기

술을 통한 합리적 의사결정 절차를 마련하며, 의사결정 과정에 국민과 과학기술 전문가들이 널리 참여할 수 있도록 해야 한다.

미래를 준비하고 개척하는 국가가 되려면 어떻게 해야 할까?

미래사회는 현재보다 더 많은 위험과 기회가 상존하여 미래대응의 중요성이 더욱 높아질 것이다. 미래에 닥칠 위험의 특징은 불확실성이 높고 그로 인한 영향력 또한 막대하다는 것이다. 특히, 지진, 태풍 등 자연재난뿐 아니라 사회기반시설의 정지, 대형 화재, 방사능 유출 등 사회재난에도 노출될 가능성이 높아지고 있다. 전 세계가 서로 연결되고 거리가 가까워지면서 위험의 파급범위도 넓어지고 있다. 예를 들어, COVID-19와 같은 전염병이 어느 한 지역에서 발생하더라도 전 세계로 확산될 가능성이 높아진 것이다. 이렇게 불확실성이 높은 미래에 대비할 수 있는 국가 차원의 전략이 필요하다.

미래에는 어떤 기회와 위협이

우리를 기다리고 있을까?

우리나라의 미래대응 역량은 어느 수준인가?

그동안 국내 미래연구 생태계는 대학이나 정부 부처를 넘어 공공연구기관, 기업, 일반 국민으로 확장되면서 양적·질적으로 성장해 나가고 있지만, 국가의 전반적인 미래 역량은 여전히 취약하다. 정부의 운영 방식은 아직까지 단기적 현안에 치중하거나 사후 대응 위주이며, 조직과 그 구성원 역시 장기적인 미래에 대한 관심과 이해가 부족한 상황이

다. 더욱이, 과학기술 관점에서 미래에 대응하기 위한 정부 내 전담 조직도 거의 없는 상황이다. 인공지능 등 디지털 혁명에 대해 해외 주요국보다 몇 년이나 늦게 대응한 것은 어찌 보면 당연한 결과일지도 모른다.^[88] 이에 반해, 해외 주요국들은 미래대응 체계를 정비하고 관련 활동을 상시화하면서 미래 역량을 강화해 나가고 있다.

선제적이고 효과적으로 미래에 대응하는 미래지향적 국가가 되기 위해서는 첫째, 데이터를 기반으로 한 미래전망 역량을 강화해야 한다. 데이터 분석 등 과학적인 방법론을 활용하여 국가 차원에서 주목해야 할 미래의 변화를 탐색하고, 이를 바탕으로

국가적으로 해결해야 하는 도전과제가 무엇인지에 대해 사회적 공감대를 형성해 나가는 한편, 이에 대한 투자가 장기적으로 이루어지도록 해야 한다. 둘째, 강화된 미래전망 역량을 국가 정책 전반에 활용하기 위한 거버넌스를 구축해야 한다. 미래 문제와 관련된 국가의 여러 주체들을 연계하여 대응해 나가기 위해, 상시적으로 운영하는 과학기술 미래전략 기구를 조직하는 등 국가 미래대응 거버넌스를 강화해야 한다. 또한, 미래전망과 데이터 분석을 통해 얻은 통찰을 바탕으로 공공서비스 및 정부정책과 관련된 역량을 지속적으로 향상시켜야 한다.



미래 과학기술 생태계에 대한 질문에서 도출한 과학기술 정책방향 및 세부과제

구분	질문	정책방향	세부과제
주체	인재 인구 감소 및 인공지능 시대에 어떻게 과학기술 인재를 확보하여 역량을 발휘하게 할 수 있을까?	미래 변화에도 지적 역량이 확보되고 발휘되는 인재정책	다양한 인재와 인공지능을 활용하여 국가 지적 역량 강화 언제 어디서나 역량과 열정을 발휘할 수 있는 미래인재
	연구자 세계적으로 인정받는 연구 성과를 창출하려면 어떻게 해야 할까?	도전적이고 창의적으로 지식을 창출하는 국가연구개발체계	미지의 세계에 대한 임무 중심의 도전연구 체계 구축 창의적 지식 창출을 위한 자율·교류·축적의 기초연구 지원
	기업 우리 경제의 성장동력을 어떻게 강화할 것인가?	신성장동력을 키우고 기존 성장동력을 다지는 산업기술개발	혁신의 전 과정을 지원하며 기업과 함께 미래 성장동력 창출 기술경쟁력 있는 기업이 성장하고 리스크에 대응하는 생태계 조성
	국민 과학기술이 우리 삶에 실제로 도움이 될까?	사회문제를 해결하고 삶의 질을 제고하는 공공연구개발	기술개발만이 아닌 문제해결을 위한 연구개발 추진체계로 전환 국민 모두가 참여하고 모두가 혜택을 누리는 과학기술
공간	지역 미래 우리나라 지역은 어떻게 발전할 것인가?	산학연 주도로 혁신의 중심지가 되는 지역	혁신이 활발하게 일어나는 광역화된 클러스터 지역 산학연 중심으로 강화되는 지역혁신생태계
	글로벌 우리 과학기술의 글로벌 영향력과 위상을 어떻게 높일 수 있을까?	국경 없는 글로벌 과학기술혁신체계	과학기술 생태계의 글로벌 개방성 강화 국제무대에서 과학기술 의제를 선도
정책 환경	과학지향 과학기술이 중심이 되는 국가가 되려면 어떻게 해야 할까?	과학기술과 국가정책 간 연계를 강화하는 과학지향 국가	끊임없이 확대되는 과학기술 투자와 인프라 공정하고 합리적인 과학적 정책의사결정체계
	미래지향 미래를 준비하고 개척하는 국가가 되려면 어떻게 해야 할까?	미래전망과 국가정책 간 연계를 강화하는 미래지향 국가	데이터를 기반으로 한 체계적인 미래예측과 전망 미래변화에 안정적이고 선제적으로 대응하는 거버넌스 구축

[참고 2] 세계 주요국의 장기 미래전략

세계 주요국들은 국가적으로 중요한 미래 도전과제들을 제시하고, 과학기술혁신을 통해 이들을 해결하는 것을 국가의 장기적인 목표로 설정하고 있다. 미래 도전과제들은 국가별로 사회적 도전과제(Societal Challenges), 거대 도전과제(Grand Challenges) 등과 같이 명칭은 다르지만 그 내용은 공통점을 보인다.

1. 독일의 「하이테크 전략 2025 (The High-Tech Strategy 2025: Research and innovation that benefit the people)」(2018)

- (목표) 과학기술혁신을 통해 삶의 질과 사회 통합, 국가 번영과 성장, 국제적 위상을 제고하며, 이를 위해 2025년까지 연방정부와 민간이 함께 GDP 대비 R&D 투자 비중을 3.5% 이상으로 증가
- (3대 전략) (1) 국민의 삶과 관련된 연구개발과 기술적·사회적 혁신을 통해 사회적 도전과제 해결 (2) 독일의 미래 역량 개발(기술 기반 강화, 인재 교육·훈련, 시민 참여) (3) 개방형 혁신 환경과 벤처 문화 조성(지식의 실용화, 기업이 정신 강화, 국내외 협력 네트워크 활용)
- 6개 사회적 도전과제: ① 건강과 보건 ② 지속가능성, 기후변화 대응, 에너지 ③ 이동성 ④ 도시와 농촌 ⑤ 안전과 안보 ⑥ 경제 및 노동 4.0

2. 영국의 「산업 전략 (Industrial Strategy: Building a Britain fit for the future)」(2017)

- (목표) 미래 기술을 활용하여 모든 영국 국민을 위해 생산성과 수익성이 높은 경제로 전환하고 삶의 질을 제고
- (전략) 영국이 미래 산업을 선도하도록 하기 위해 거대 도전과제를 제시
- 4개 거대 도전과제: ① 인공지능과 데이터 경제 ② 깨끗한 성장 ③ 이동성의 미래 ④ 고령화 사회
- (정책) 경제의 생산성을 높이기 위해 5가지 분야의 정책을 추진
- 5가지 분야의 정책: ① 지식(2027년까지 GDP 대비 R&D 투자 비중을 2.4%로 증가, '산업전략 도전과제 기금' 조성 및 투자) ② 인재(STEM 교육 강화, 국가 재교육 체계 구축) ③ 인프라(전기차 및 디지털 인프라 투자 확대) ④ 사업 환경(산업별 생산성 강화에 정부·기업 공동 투자, 중소기업 성장 지원) ⑤ 공간(지역별 차별화 전략 추진, 지역 내 교통망 확충)

3. 프랑스의 「프랑스 유럽 2020 (France Europe 2020: A Strategic Agenda for Research, Technology Transfer and Innovation)」(2013)

- (목표) 연구, 기술 이전 및 혁신을 통해 사회적 도전과제를 해결하고 국가 경쟁력을 제고
- (9대 전략) (1) 과학기술 생태계가 협력하여 주요 사회적 도전과제 해결 (2) 과학기술정책 거버넌스 재편 (3) 핵심 기술 연구역량 강화 (4) 디지털 교육 및 인프라 구축 (5) 혁신 및 기술 이전 촉진 (6) 과학 문화 조성 및 과학과 사회의 소통 촉진 (7) 주요 연구개발을 위한 프로그램 개발 (8) 주체간·지역간 일관성 추구 (9) 프랑스 연구의 글로벌 위상 강화
- 9개 사회적 도전과제: ① 자원과 기후 변화 ② 에너지 ③ 산업 재도약 ④ 건강과 복지 ⑤ 식품 안전과 인구 문제 ⑥ 모빌리티와 도시 ⑦ 정보 및 통신 ⑧ 사회 혁신, 통합 및 적응 ⑨ 우주 개발

4. 일본의 「신산업구조비전(新産業構造ビジョン)」(2017)

- (목표) 다양한 사람·조직·기계·기술·국가를 연결하여 새로운 부가가치를 창출하고 사회문제를 해결함으로써, 모든 사람이 질이 높은 사물·서비스를 제공받고 차별을 넘어 건강하고 쾌적하게 살아갈 수 있는 초스마트 사회(Society 5.0)를 실현
- (전략) 2030년까지 해결되어야 하는 과제를 4개 전략 분야로 제시
 - 4개 전략 분야: ① 이동(사람, 물품) ② 생산 및 구매(생산성, 온실가스) ③ 건강 유지 및 평생활동(건강, 의료, 간호) ④ 생활(새로운 도시 만들기, 공유경제, 핀테크)
- (정책) 새로운 경제사회 시스템 구축을 위한 공통적인 전략을 7개 횡단 전략으로 제시
 - 7개 횡단 전략: ① 법·제도의 고도화 ② 인재 육성·활용 시스템 ③ 혁신 생태계 ④ 경제 신진대사 시스템 ⑤ 사회보장 시스템 ⑥ 지역·중소기업 시스템 ⑦ 글로벌화 추진

5. 미국의 「미국 혁신 전략 (A Strategy for American Innovation)」(2015)

- (목표) 과학기술을 통해 혁신을 선도하는 국가의 지위를 유지하여 경제 성장, 생산성 제고 및 고품질 일자리 창출
- (전략 방향) (1) 양질의 고용 창출 및 경제 성장 지속(첨단 제조업 강화, 미래 산업 투자, 포용적 혁신) (2) 국가적 우선 과제 해결을 위한 혁신 촉진(거대 도전과제 해결, 정밀 의료, 브레인 이니셔티브(BRAIN Initiative), 헬스케어 혁신, 교통 사고 감소, 스마트 도시, 에너지, 에듀테크, 우주 기술 혁신, 차세대 컴퓨팅, 세계 빈곤 해소) (3) 국민과 함께 국민을 위한 혁신 정부 구현(공공 문제 해결, 혁신 문화, 디지털 기반 공공서비스, 증거 기반 혁신)
- (기반 구축) (1) 혁신 기반에 대한 투자(기초연구, STEM 교육, 이민 정책, 물리적·디지털 인프라) (2) 민간 혁신활동 지원 (R&D 세액공제, 창업 지원, 혁신 환경, 연방 데이터 공개, 공공 R&D 사업화, 지역 혁신생태계, 해외 진출) (3) 국민의 혁신 활동 촉진(포상 제도, 크라우드 소싱, 시민 참여)

6. 중국의 「국가혁신구동발전전략강요(国家创新驱动发展战略纲要)」(2016)

- (목표) (1) 2020년까지 혁신형 국가 대열 진입 (2) 2030년까지 혁신형 국가의 선두권 진입 (3) 2050년까지 세계 과학 기술 혁신강국으로 부상
- (전략적 배치) 2개의 혁신, 1개의 시스템, 6가지 전환 추진
 - 2개의 혁신: ① 과학기술혁신 ② 체제·메커니즘 혁신
 - 1개의 시스템: 국가혁신 시스템(정부·기업·연구기관·사회조직, 정책 및 제도, 혁신 장려 환경)
 - 6가지 전환: ① (성장방식) 양적 확장 중심 성장 → 질적 효과 중심 지속가능한 성장 ② (발전요소) 전통적 요소 주도 → 혁신 요소 주도 ③ (산업분업) 가치사슬 중/저 단계 → 중/고 단계 ④ (혁신능력) 추격 중심의 추격, 병행, 선도 동시 진행 → 병행과 선도 위주 ⑤ (자원배치) 연구개발 집중 → 산업사슬, 혁신사슬, 자금사슬을 고려한 자원 배분 ⑥ (혁신주체) 과학기술자 등 소수 중심 → 대중의 혁신과 창업의 상호 연계
- (전략적 임무) 산업기술 시스템 혁신(차세대 정보 네트워크, 스마트 녹색 제조기술, 녹색·고효율·안전 농업기술, 안전·청정·고효율 에너지, 자원절약 및 친환경, 해양경제·우주경제, 스마트 도시, 중대 질병과 고령화, 서비스업, 파괴적 기술), 기초연구 강화, 지역 혁신, 군·민 융합, 혁신 주제 육성, 중대 과학기술 프로젝트 실시, 인재 양성, 창업 활성화

4.

과학기술 도전과제

-
- 4-1. 기후변화, 재난재해, 감염병 등 인류의 생존을 위협하는 요인에 대처
 - 4-2. 환경오염 대응을 통한 문명의 지속가능성 확보
 - 4-3. 차세대 바이오·의료 기술을 통한 건강한 삶 실현
 - 4-4. 인간의 신체적·지적 능력 보완 및 확장
 - 4-5. 자원 고갈에 대비한 농어업·제조업·에너지 혁신
 - 4-6. 우주 생활권 및 안전하고 편리한 이동 실현
 - 4-7. 다양한 소통방식과 신뢰할 수 있는 네트워크 확보
 - 4-8. 새로운 삶의 영역을 확보하기 위한 미지의 공간 개척
 - 4-9. 도전과제 해결의 토대가 되는 창의적 지식 탐구: 기초과학의 거대질문(Big Questions)

본 장의 핵심 키워드는 ‘도전’이다. 미래사회의 문제를 해결하여 우리가 원하는 대한민국을 실현하기 위해, 그리고 자유롭게 지식을 탐구하여 인류의 지적 영역을 확장하기 위해, 과학기술은 다양한 과제에 도전해야 한다.

첫째, 인간이 능동적 삶을 살 수 있도록 지원해야 한다. 미래에 인간은 평균적으로 더 오래 생존하겠지만 길어진 삶이 행복하기 위해서는 많은 문제가 해결되어야 한다. 차세대 바이오·의료 기술을 통해 건강한 삶을 실현해야 하고, 더 나아가 인간의 신체능력을 보조하는 증강인간 기술을 통해 장애나 노화로 인해 저하된 신체능력을 회복시켜야 한다. 그리고 인간의 사고 수준으로 지적 역량이 강화된 인공지능 개발을 통해 인간의 판단을 보조할 수 있어야 한다. 한편, 사회적으로는 현실과 유사한 가상·증강현실과 뇌파통신 등을 통해 사람들 간의 소통이 편리하고 투명하며 신뢰성이 높아지도록 해야 한다.

둘째, 인간이 공간의 한계를 극복해나갈 수 있도록 해야 한다. 인류가 공간적 한계를 뛰어넘어 문명을 발전시켜 왔듯이 미래에도 편리한 삶과 문명의 진보를 이루기 위해서는 개인의 이동성은 높아지고 인류의 활동영역은 확장되어야 한다. 생활권 확장과 이동의 편리성을 위해 신개념 이동수단을 개발하고 보급을 확대해 나가야 한다. 더 넓게는 새로운 삶과 자원 획득을 위해 우주, 심해, 극지 등 미지의 공간을 끊임없이 개척해 나가야 한다.

셋째, 인간을 둘러싼 자연 환경을 조화롭게 활용하여 미래에도 지속될 수 있게 만들어야 한다. 자연

환경은 인간의 삶의 터전으로서 생존에 필요한 모든 것을 제공하지만 잘못 관리하게 되면 우리에게 위협이 될 수 있다. 기후변화와 재난재해에 대한 정확한 예측과 능동적인 대응이 이루어져야 하고 미래에 주기적으로 발생할 것으로 우려되는 감염병에 효과적으로 대처해야 한다. 그리고 문명의 지속가능성을 확보하기 위해 환경오염 문제를 해결해 나가야 한다. 또한, 자원 고갈에 대비하여 에너지·식량·제조기술의 혁신도 필요하다.

이와 같은 과학기술 도전과제를 해결하기 위해서는 기초적인 토대가 탄탄하게 갖추어져야 한다. 가령 ‘질병, 노화 등 생명의 신비’, ‘인간의 뇌 기능과 기억 및 꿈의 메커니즘’, ‘우주의 생성 및 진화의 원리’, ‘물질의 구성 및 생성원리 파악을 통한 신물질 개발’, ‘수학의 다양한 난제’ 등 기초과학의 거대 질문(Big Questions)에 대한 탐구도 지속적으로 이루어져야 한다.

이하에서는 8대 과학기술 도전과제를 제시하고 기초과학의 거대질문들을 예시적으로 소개한다. 그리고 도전과제를 해결하기 위해 어떤 기술들이 필요한지 단기(5년 이내), 중기(10년 내외), 장기(20년 이상)로 구분하여 제안하였다. 다만, 이러한 기술들은 사례로서 제시한 것이며, 구체적인 기술이나 연구주제는 급변하는 환경에 맞게 연구자가 유연하게 선택하는 것이 바람직하다.

8대 과학기술 도전과제 및 기술개발 방향 제안

도전과제	기술개발 방향 제안
1 기후변화, 재난재해, 감염병 등 인류의 생존을 위협하는 요인에 대처	1-1. 온실가스 감축과 기후변화 적응 및 기상조절·예측
	1-2. 재난재해 긴급대응과 복구 및 사전예측
	1-3. 신·변종 감염병의 감염원 감지·퇴치 및 감염자 진단·치료
2 환경오염 대응을 통한 문명의 지속가능성 확보	2-1. 폐기물 전주기적 관리와 자원화 및 대체 신소재 개발
	2-2. 원자력의 안전한 활용 및 핵융합 기술개발 도전
3 차세대 바이오·의료 기술을 통한 건강한 삶 실현	3-1. 난치병 극복 및 예방의료 실현
	3-2. 뇌 기능 규명을 통한 뇌질환 극복 및 기억 회복
4 인간의 신체적·지적 능력 보완 및 확장	4-1. 장애와 노화를 극복하는 신체적 능력 회복 및 극대화
	4-2. 인공지능 알고리즘·하드웨어 고도화로 지적 능력 향상
5 자원 고갈에 대비한 농어업·제조업·에너지 혁신	5-1. 농어업·제조업 스마트화 및 미래식량 개발
	5-2. 친환경 에너지원 확보 및 에너지 효율화 추진
6 우주 생활권 및 안전하고 편리한 이동 실현	6-1. 우주를 넘나들고 지상을 고속주파하는 유인 운송수단 개발
	6-2. 친환경·지능형 기술로 안전하고 편리한 이동 실현
7 다양한 소통방식과 신뢰할 수 있는 네트워크 확보	7-1. 소통의 현실감 제고 및 방식·대상 다양화
	7-2. 신뢰할 수 있고 안전한 소통 네트워크 구축
8 새로운 삶의 영역을 확보하기 위한 미지의 공간 개척	8-1. 우주·심해·극지 개척으로 자원 확보 및 생활권 확장

4-1. 기후변화, 재난재해, 감염병 등 인류의 생존을 위협하는 요인에 대처

4-1-1. 온실가스 감축과 기후변화 적응 및 기상조절·예측

1) 미래의 기술수요

산업혁명 이후 이산화탄소나 메탄가스 등 온실가스 배출이 증가함에 따라 기후변화*가 전 지구적으로 해결해야 할 과제로 떠오르고 있다. 지구 평균 기온은 최근 100여 년 동안 1도 가까이 높아졌고, 해수면의 높이는 약 0.2미터 상승하였다.^[89] 그리고, 이와 같은 추세가 지속된다면 2045년에는 지구 평균기온이 현재보다 0.5~1도 정도 더 높아질 것으로 예상된다.^[90] 실제로, 세계 곳곳에서 기후변화

* 기후변화란 지구가 태양빛을 반사하는 복사열이 온실가스의 작용으로 지구 대기권을 벗어나지 못해 지구의 평균온도가 높아지는 지구 온난화와 그로 인해 발생하는 폭염, 한파 등의 이상 현상을 포괄적으로 지칭하는 개념이다.

로 인해 폭염·한파·폭우·가뭄 등의 기상이변이 나타나고, 빙하가 녹아 해수면이 상승하여 해안 지역이 침수되며, 생태계가 파괴되고 식량자원이 감소하는 등 다양한 문제가 발생하고 있다.^[91]

기후변화로 인한 위협에 대응하기 위해 2015년 세계 각국은 온실가스 감축 목표 설정과 이행을 내용으로 하는 신기후체제인 파리협정을 채택하였다. 파리협정은 산업혁명 이전 수준과 비교하여 지구의 평균온도 상승을 2도로 제한하고 1.5도를 달성하기 위해 노력한다는 목표를 설정하고 그에 맞게 온실가스 배출량을 줄이기로 합의하였다.^[92] 파리협정에 참여한 국가들은 온실가스 배출을 엄격하게 규제할 계획이며, 이에 따라 우리나라도 온실가스 배출 감축 목표를 달성하고 규제 기준을 충족시킬 수 있는 기술개발을 추진해 나가야 하는 상황이다.^[93] 또한, 가뭄, 태풍 등의 기상이변 상황을 인공적으로 제어하거나 정확하게 예측하는 기술을 확보할 수 있다면, 기후변화로 인한 피해를 줄이고 우리 삶의 예측가능성을 높이고 데 크게 도움이 될 것이다.

2) 기술의 현황

기후변화와 관련된 기술은 크게 온실가스 감축, 기후변화 적응*, 기상조절과 예측 등으로 구분할 수 있다.

온실가스 감축 기술에는 온실가스 배출량을 줄이는 기술과 이미 배출된 온실가스를 흡수하는 기

술이 있다. 전자의 예로는 기존 화석연료를 대체하는 태양광 발전, 바이오매스 등 친환경 에너지 기술이 있고, 후자의 예로는 발전소 등에서 대량으로 배출되는 이산화탄소를 포집하여 지하나 바다에 저장하거나 다른 화학물질로 전환하여 활용하는 이산화탄소 포집·저장 기술(CCS)이 대표적이다.

기후변화 적응과 관련해서는 기후변화 취약성 지도 작성 등 기후변화의 영향과 리스크를 파악하는 기술, 생물다양성 보전 등을 통해 피해를 최소화하는 기술, 더 나아가 기후변화 대응 작물·품종 개발을 통해 농업 등 산업 경쟁력을 강화하는 기술이 개발되고 있다.^[94]

기상조절 기술에는 날씨를 인공적으로 제어하여 비나 눈을 내리게 하거나, 안개나 우박의 발생을 억제하고, 태풍을 소멸시키거나 위력을 약화시키는 기술 등이 있다. 예를 들어, 인공강우 기술은 요오드화은(AgI)을 뿌려 구름 속의 수증기를 응결시켜서 빗방울을 만드는 기술이지만, 최근에는 구름이 없는 날씨에서도 구름 자체를 생성하여 비를 내리는 기술도 연구되고 있다.

기상예측 분야에서는 해외 여러 나라에서 지구시스템과학 이론에 기반하여 지구시스템모형을 개발하는 노력을 기울이고 있다. 지구시스템모형이란 지구를 구성하는 대기, 해양, 대륙, 극지 등 권역 간의 상호작용과 순환에 대한 이해를 통해 기후나 환경의 변화를 예측하는 모델을 말한다. 유럽연

* 기후변화에 대응하는 방법은 온실가스 감축과 기후변화 적응으로 구분된다. 온실가스 감축은 온실가스 배출을 줄여서 기후변화를 최소화하는 것이고, 기후변화 적응은 이미 배출된 온실가스로 인한 위협을 줄이고 기회로 활용하는 것이다.

합(EU) 등에서는 지구시스템모델을 통해 초단기 기상 예측부터 계절 예측, 단·장기 기후변화 예측 등을 통합적으로 수행하는 것을 궁극적인 목표로 삼고 연구를 추진하고 있다. 국내에서도 기상청, 한국해양과학기술원, 극지연구소 등에서 지구시스템모델을 개발하고 있다.

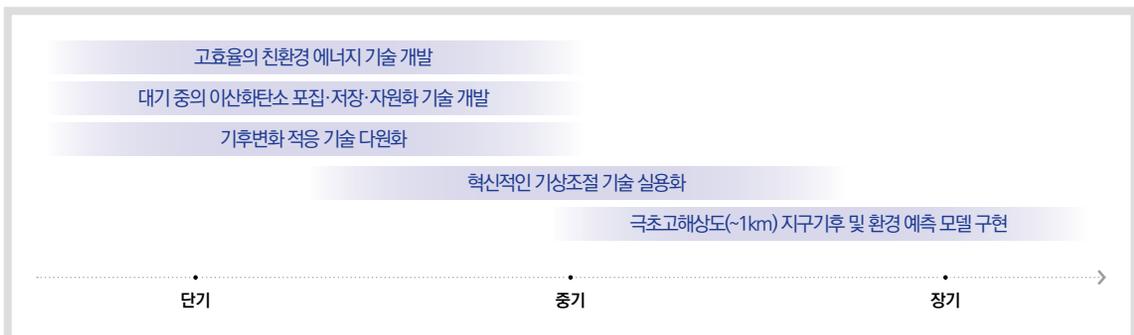
3) 기술개발 방향 제안

단기적으로는 태양광이나 풍력 등 친환경 에너지의 경제성을 높이는 기술개발이 필요하다. 기존 화석연료 대비 친환경 에너지의 경제성을 개선하기 위해 발전효율을 높이고 발전설비의 고가의 소재나 부품을 대체하여 제작원가를 낮추어야 한다. 더 나아가 차세대 친환경 에너지 기술의 개발도 적극적으로 추진해야 한다. 예를 들어, 무게가 가볍고 소재가 유연하고 투명하여 건물 창문 등에 부착해도 시야를 가리지 않는 건물일체형태양광, 바다 한가운데 띄워진 상태로 전기를 생산하는 부유식 해상 풍력발전 등이 있다. 그리고 기후변화의 원인이 되는 이산화탄소를 포집·운송·저장하고 활용하는 기

술도 고도화해야 할 것이다. 예를 들어, 포집한 이산화탄소를 바이오디젤, 메탄올 등 유용한 물질로 만들어내는 탄소 자원화기술 개발을 추진할 수 있을 것이다. 또한, 다양한 분야에서 기후변화에 적응하는 기술도 개발되어 활용되어야 한다. 예를 들어, 해수면 상승, 태풍, 폭우로 인한 침수 및 범람 예측 기술의 고도화, 곤충·야생동물의 서식지 이동으로 인한 바이러스 감염과 열사병이나 일사병 같은 온열질환 등 기후변화 질환에 대한 대응, 기후변화로 인한 병충해·외래종에 대한 대응, 유전자 편집 기술로 가뭄·침수·고온에 강한 작물·품종 개발 등을 고려할 수 있다.

중기에는 기상이변에 대비한 다양한 기상조절 기술을 고도화하고 실용화해야 할 것이다. 인공강우 기술의 경우 최근에는 구름이 없는 날씨에도 태양에너지에 의한 상승기류를 만들어 구름 자체를 생성하는 기술도 연구되고 있다. 이를 통해 우박이나 집중호우가 예상될 때에는 미리 비를 내려 피해를 최소화하거나 가뭄을 해소할 수 있을 것이다. 그리고 도전적인 과제이지만 태풍 발생 초기에 비를

온실가스 감축과 기후변화 적응 및 기상조절·예측을 위한 기술개발 방향 제안



내리도록 하여 태풍의 위력을 감소시키거나 진로를 변경하여 피해를 방지하는 것도 예상해 볼 수 있다. 또한, 번개가 칠 때의 기압, 기온, 습도 등을 인공지능이 학습해 30km 반경 내의 번개 발생을 예측하고, 번개에 레이저를 발사하여 지상이 아닌 구름 위로 번개가 치도록 유도하는 기술도 개발되고 있다. 또한, 인공강우로 원하지 않는 지역에 가뭄이 오거나 태풍의 경로 조절 시 주변 지역이 피해를 입게 되는 일이 없도록 기상조절 기술의 부작용을 최소화하는 기술도 필요하다.

장기적으로는 지구시스템모델의 해상도를 높이고 대상 범위를 확장하여 기상·기후 및 환경 변화를 정확하게 예측하는 기술이 개발되어야 한다. 현재의 지구시스템모델은 지면을 기준으로 30km 범위에서 일어날 기상 변화를 시뮬레이션하는 것은 가능하나, 이를 좀 더 세분화해 5km 이하의 범위에서 일어날 기상 변화를 예측하는 것은 어렵다. 예를 들어 서울에 비가 내릴지는 알 수 있어도 광화문에 비가 내릴지는 알기 어렵다는 뜻이다. 또한, 한정된 용도와 범위에서 분절적으로 이용되고 있다. 일례로, 현재는 날씨 예보, 계절기후 예측, 미래 기후 변화 전망 등이 별도의 예측 모델로 이루어져 있다. 따라서, 미래에는 극초고해상도(~1km) 관측 장비를 도입하여 세밀한 관측망을 구축하고, 여기에 드론이나 인공위성 등을 활용해 해양과 육상의 기상

조건을 수집하여 실시간으로 변하는 기후환경을 실시간으로 관측할 수 있어야 한다. 그리고 다양한 용도와 범위에서 개발되고 있는 모델을 연계하여 지구적인 기상·기후 및 환경변화를 정확하게 예측하는 통합 지구시스템 모델이 개발될 수 있을 것이다. 또한, 뛰어난 계산 성능을 가진 슈퍼·양자컴퓨터 등을 활용하여 예측의 정밀도와 정확성을 높여야 한다. 이러한 예측 모델을 개발하기 위해서는 지구의 환경을 이해하는 것이 중요한데, 지구를 구성하는 대기, 해양, 대륙, 극지 등 자연 생태계 간의 복합적인 상호작용을 이해하기 위해 지구과학 분야의 기초연구도 뒷받침되어야 할 것이다.

4-1-2. 재난재해 긴급대응과 복구 및 사전예측

1) 미래의 기술수요

우리나라에서 폭염, 태풍, 홍수 등 자연재난*의 발생 빈도와 강도가 점점 증가하는 추세이다. 「2019년 이상기후 보고서」에 따르면, 최근 10년(2010~2019년) 동안 우리나라의 평균기온은 과거(1981~2010년)보다 0.5℃ 상승하였고, 33℃ 이상 폭염일수는 2000년대에 연평균 10회에서 2010년대에는 15.5회로 증가하였다.^[95] 그리고 2018년 국내에서 발생한 규모 2.0 이상 지진은 115회로, 이는 디지털 지진 관측을 시작한 1999년부터 2017

* 자연재난은 태풍, 홍수, 호우(豪雨), 강풍, 풍랑, 해일(海溢), 대설, 한파, 낙뢰, 가뭄, 폭염, 지진, 황사(黃砂), 조류(藻類) 대발생, 조수(潮水), 화산활동, 소행성·유성체 등 자연우주물체의 추락·충돌, 그 밖에 이에 준하는 자연현상으로 인하여 발생하는 재해를 말한다(재난 및 안전관리 기본법 제3조1항).

년까지의 연평균 지진 발생횟수인 67.6회의 2배 가까이 많은 수준이다. 2016년 9월 경주 지진(규모 5.8), 2017년 11월 포항 지진(규모 5.4), 2018년 2월 포항 지진(규모 4.6) 등 규모가 큰 지진도 최근 지속적으로 발생하고 있다.^[96] 또한, 미세먼지에 따른 위협도 점점 커지고 있다. OECD에 따르면 우리나라는 세계보건기구(WHO) 권고치 농도($10\mu\text{g}/\text{m}^3$)의 2배 이상의 초미세먼지에 노출된 인구 비중이 55.1%로 OECD 회원국 중에 가장 높다.^[97]

한편, 과거와 마찬가지로 미래에도 화재, 붕괴, 폭발, 교통사고 등 예기치 못한 사회재난*이 지속적으로 발생할 것이며, 막대한 인명 및 재산피해를 가져올 것이다.^[98] 2014년 진도해상에서 발생한 세월호 침몰사고, 2016년 오션탱크호 좌초로 인한 유류오염사고, 2018년 강릉 KTX 탈선사고 등이 대표적이다. 그리고 1970~1980년대 경제성장기에 집중적으로 지어진 사회기반시설이 30여년이 경과하여 노후화되고 있어, 최근 싱크홀 발생, 상수도관 파손, 수돗물 오염 등의 사고도 증가하고 있다. 또한, 인간의 활동영역이 우주공간으로 확대됨에 따라 인공위성, 우주잔해물, 소행성 등 우주물체에 의한 재난에 대한 대응도 필요한 상황이다.^[99]

이처럼 자연재난과 사회재난은 국민의 안전과 국가경제에 막대한 영향을 주기 때문에 발생했을 경우 긴급대응과 복구를 하는 것이 중요하지만, 피

해를 최소화하기 위해서는 사전에 예측하여 대응하는 것도 필요하다. 각 재난별로 대응에 필요한 최소한의 시간을 확보할 수 있도록 '1일 전', '10시간 전' 등과 같이 예측 목표를 정하고 이를 달성하기 위한 과학기술의 개발에 도전해야 한다. 예를 들어, 현재 태풍은 수 일 또는 수 주 전에 예측할 수 있지만, 지진은 그렇지 못한 상황이므로 몇 시간 전이라도 예측하여 경보할 수 있다면 세계적으로 수백만 명의 인명을 구할 수 있을 것이다.^[100]

2) 기술의 현황

재난재해 관련 기술은 크게 재난재해에 긴급대응하고 복구하는 기술과 재난재해를 사전예측하는 기술로 구분할 수 있다.

재난재해에 긴급대응하고 복구하는 기술에는 재난재해 모니터링, 재난용 로봇 등이 있다. 재난재해 모니터링은 다양한 센서나 기기를 활용하여 기상, 지각의 상태, 해양, 하천 등을 정기적으로 점검하고, 재난재해 데이터와 피해 현황을 실시간으로 파악한다. 그리고 미래에는 재난현장에서 사람을 대신하여 인명구조 및 시설복구 임무를 수행하는 로봇과 무인기기의 역할이 중요해질 것이다. 대형 화재, 건물 붕괴, 방사능 유출, 해양 사고 등의 다양한 재난 현장은 사람이 투입되기 어려운 극한 환경이며, 재난 구조·복구 과정에서 추가적인 인명 피

* 사회재난은 화재·붕괴·폭발·교통사고(항공사고 및 해상사고를 포함한다)·화생방사고·환경오염사고 등으로 인하여 발생하는 대통령령으로 정하는 규모 이상의 피해와 국가핵심기반의 마비, 「감염병의 예방 및 관리에 관한 법률」에 따른 감염병 또는 「가축전염병예방법」에 따른 가축전염병의 확산, 「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법」에 따른 미세먼지 등으로 인한 피해를 의미한다(재난 및 안전관리 기본법 제3조1항).

해가 발생할 수도 있기 때문이다. 재난용 로봇은 붕괴된 건물 잔해 등 구조 인력이 투입되기 어려운 공간에 진입해 구조가 필요한 사람을 확인해서 응급 조치를 취하고, 현장의 복구를 지원하며, 해상 사고에서 사람을 수색하는 등의 작업에 활용될 수 있다. 일본의 경우 2011년 동일본대지진 이후 원자력 발전소와 같은 재난 현장에서의 인명 탐색과 구조를 위한 로봇 R&D에 투자하고 있으며, 유럽연합(EU)은 무인항공기와 무인차량을 이용한 실종자 수색 및 구조 기술을 연구하고 있다. 이 밖에, 재난재해의 피해를 최소화하고 정상상태로 가능한 빠르게 되돌릴 수 있는 회복력(resilience)을 갖춘 도시를 설계하는 기술도 개발되고 있다.

재난재해 사전예측 기술은 화산, 지진, 홍수, 산사태, 산불, 해일, 소행성 지구충돌 등의 자연재난이 발생하기 전에 발생 지점과 규모, 확산 경로 등을 예측하고, 화재, 건물 붕괴, 폭발 등 우리 주변에서 일어날 수 있는 사회재난의 발생가능성을 진단한다. 예를 들어, 미국에서는 재해위험평가 소프트웨어를 개발하여 지진, 허리케인, 홍수 등의 재난이 발생하기 전에 그 영향을 평가하고 긴급대응 및 복구 계획을 수립하고 있다.^[101]

3) 기술개발 방향 제언

단기적으로는 재난재해를 실시간으로 모니터링 하는 기술을 고도화할 필요가 있다. 인공위성을 통

한 실시간 재난재해 모니터링, 무인항공기를 활용한 재난정보 자동 수집·전송 기술, 센서를 통한 미세먼지 측정 및 패턴 집계 등을 고려할 수 있을 것이다. 화산·지진에 대비한 지각구조 분석, 싱크홀* 등에 대비한 도시 지하공간·시설물 지도 구축 등과 연계할 경우 효율성을 높일 수 있다. 이렇게 수집된 다양한 데이터와 국내외 유관기관과 각종 신고센터 등을 통해 취합된 재난정보가 유기적으로 연계된다면 재난재해에 효과적으로 대응할 수 있을 것이다.

중기에는 현장에 투입할 수 있는 수준의 완성도를 갖춘 재난용 로봇이 개발되어야 한다. 현재도 많은 국가의 연구팀들이 재난용 로봇의 개발을 추진하고 있지만, 아직 현장에서 활용하기에는 부족한 수준이다. 하지만, 로봇 관련 기술이 빠르게 발전하고 있고 우리나라의 기술력과 잠재력이 높기 때문에 도전할만한 가치가 있다. 예를 들어, 2015년 미국에서 개최된 제2차 방위고등연구계획국 로봇경진대회(DARPA Robotics Challenge)에서 우리나라 KAIST 연구팀이 개발한 로봇 'DRC후보II'가 1등을 차지한 바 있다. 재난용 로봇을 개발하기 위해서는 극한의 환경에서도 장비를 운용할 수 있는 열·압력·충격 저항성 소재, 극한 환경에서 작동하는 반도체 등의 전자부품, 주변상황 인지 등을 위한 센서와 통신기술, 임무의 중요도에 따라 우선순위를 판단하고 실행하는 인공지능 등의 기반 기술도 개발되어야 한다. 또한, 우리나라에서 심각한 문

* 싱크홀(Sinkhole)이란 땅이 지하의 빈 공간으로 무너져 생기는 원형 구멍 또는 지반침하를 의미한다. 최근에는 지하수 개발, 상하수도 관 같은 지하 시설물의 파손 등으로 인해 도시에서의 싱크홀 발생이 증가하고 있다.

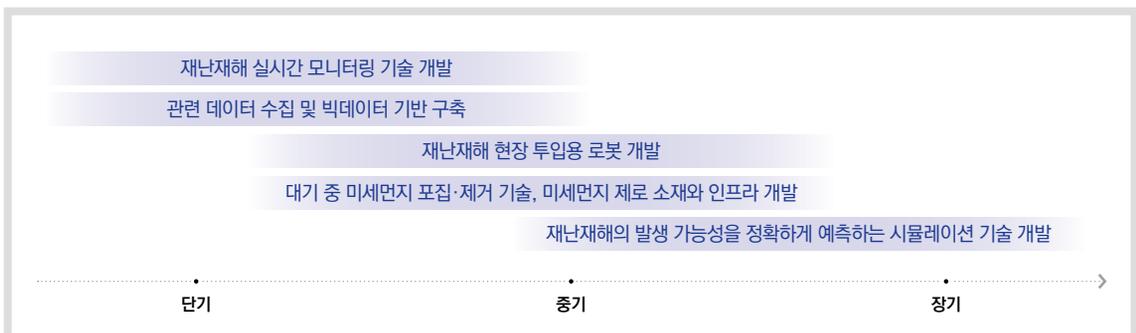


제가 되고 있는 미세먼지에 대해서는 전기장, 플라즈마 장치 등을 활용해 대기 중의 미세먼지를 높은 효율로 포집하여 제거하는 기술을 개발하거나, 미세먼지가 발생하지 않는 미세먼지 제로소재를 개발하여 도로 등 도시 인프라를 구축해 나갈 수도 있을 것이다.

장기적으로는 재난재해를 정확하게 예측하는 시뮬레이션 모델의 개발에 도전할 필요가 있다. 이를 위해서는 다양한 자연재난이나 사회재난의 상황을 파악할 수 있는 초정밀센서의 개발과 인공위성, 레이더 등으로부터 얻어진 실시간 데이터의 연계와

인공지능을 활용한 재난재해 시뮬레이션시스템이 필요하다.^[102] 시스템의 범위가 크고 다루는 데이터의 양과 종류가 방대할 경우 시뮬레이션의 정밀도와 신뢰도를 높이기 위해서 슈퍼컴퓨터, 양자컴퓨터 등의 기술도 갖추어져야 한다. 이를 통해 예측의 정확도와 해상도를 높여서, 소규모 지역 단위의 예측도 구현해 나가야 할 것이다. 그 밖에도, 건물, 다리, 도로 등 시설물의 손상 및 노후 상태를 표시해주는 재료, 도로 등의 신소재가 개발된다면 별도의 측정장비 없이도 체계적인 보수와 관리가 가능할 것이다. 그리고 구조물의 손상된 부위를 관찰·진단

재난재해 긴급대응과 복구 및 사전예측을 위한 기술개발 방향 제안



하여 3D프린팅 등 기술로 손상 부분을 빠르게 복원하는 기술도 예상해 볼 수 있다.

4-1-3. 신·변종 감염병의 감염원 감지·퇴치 및 감염자 진단·치료

1) 미래의 기술수요

감염병은 인류의 미래를 위협하는 중요한 요인 중 하나로 떠오르고 있다. 지난 20년간 2003년 사스, 2009년 신종플루, 2015년 메르스, 2019년 COVID-19 등 신종 감염병이 매우 빈번하게 발생했다. 특히, 사스, 메르스, COVID-19 등과 같이 인간과 동물 간 전염이 가능한 인수 공통 감염병이 자주 발생하고 있는데, 이는 인구 증가와 도시화, 그리고 경제발전과 토지개발로 인한 생활권 확장으로 인해 인간과 야생동물 간 접촉이 늘어나고 있기 때문이다. 세계보건기구(WHO)는 2018년 감염병 목록에 '질병 X(Disease X)'라는 항목을 추가하여, 지금은 알지 못하는 수많은 병원균과 바이러스가 미래에 지속적으로 등장할 것이라고 경고하였다.^[103]

감염병은 인류의 건강과 생명을 위협한다. 감염병의 원인이 되는 바이러스는 인체를 숙주로 삼아 증식하면서 발열, 오한, 복통 등의 증상을 유발하며, 심한 경우 사망에까지 이르게 한다. 1918~1920년 스페인 독감으로 인해 5천만 명이

상이 사망하였고, 최근 발생한 COVID-19의 경우에도 2020년 9월 말 현재 세계적으로 3천만 명이 넘는 환자와 100만 명 이상의 사망자가 발생하였다.^[104] 미래에는 과거보다 전염율이나 치사율이 높은 감염병이 발생할 수도 있다.

또한, 사람들이 환자와의 접촉으로 인한 감염을 우려하여 외부 활동을 줄이고 서로 거리를 두게 되면서 소외감과 우울증을 겪게 된다. COVID-19 사태에서도 전염병 확산이 장기화되면서 우울증이나 불안장애 등 정신질환을 앓거나 기존 정신질환이 악화되는 경우가 발생해 사회적 문제가 되기도 하였다. 국가나 사회적으로는 소비나 투자 등 경제활동이 위축되면서 경기침체가 발생할 수 있다. 이처럼 감염병은 개인의 삶의 질을 낮출 뿐만 아니라 더 나아가 경제와 사회를 마비시키기도 한다.

미래에 언제 어디서 발생할지 모르는 감염병이라는 위협에 대해 과학기술을 활용하여 적극적으로 대응해 나가야 한다. 이는 우리 국민의 건강과 생명을 위한 것인 동시에 모든 인류를 지키기 위한 것이기도 하다. 국가 간 교류가 활발해지면서 대부분의 감염병은 더 이상 한 지역이나 국가에 국한된 재난이 아니라 세계적인 대유행, 즉 팬데믹(pandemic)*으로 확산되고 있기 때문이다.

* 팬데믹(pandemic)은 감염병의 세계적인 유행을 지칭하는 것으로, 세계보건기구(WHO)에서 정의한 감염병 단계 중 최상위 단계인 6단계에 해당한다. 참고로, 에피데믹(epidemic)은 팬데믹 전 단계 수준의 감염병 유행을 의미하며, 엔데믹(endemic)은 특정 지역에서 주기적으로 발생하는 감염병을 의미한다.

2) 기술의 현황

감염병에 대응하는 기술은 크게 감염병의 원인이 되는 세균이나 바이러스 등 감염원을 감지하는 기술, 인간 또는 동물이 감염병에 감염되었는지 진단하는 기술, 백신이나 치료제를 통해 감염원을 퇴치하고 감염자를 치료하는 기술로 구분할 수 있다.

첫째, 감염원 감지 기술은 화학적·생물학적 반응을 이용한 센서를 통해 특정 바이러스의 유무를 판별하는 기술이다. 특정 공간에 확진자가 들어오거나 공기 중 바이러스가 유입되면 센서 내의 미생물 세포가 그 바이러스에 있는 특정 화합물과 반응하는 방식이다.^[105] 바이러스나 세균 등 감염원의 유전자가 어떻게 배열되어 있는지 정밀하게 분석하여 성질을 파악하는 유전자 염기서열분석 기술도 활용되고 있다. 그리고 감염원을 감지하기 위해 빅데이터와 인공지능 등 정보통신기술을 활용할 수도 있다. 인구 수, 지리적 위치, 바이러스의 감염 방식과 잠복기, 기존의 다른 감염병의 확산 양상 등 다양한 종류의 데이터를 인공지능으로 분석하여 특정 지역에 감염병이 나타날 가능성을 예측하는 것이다.^[106]

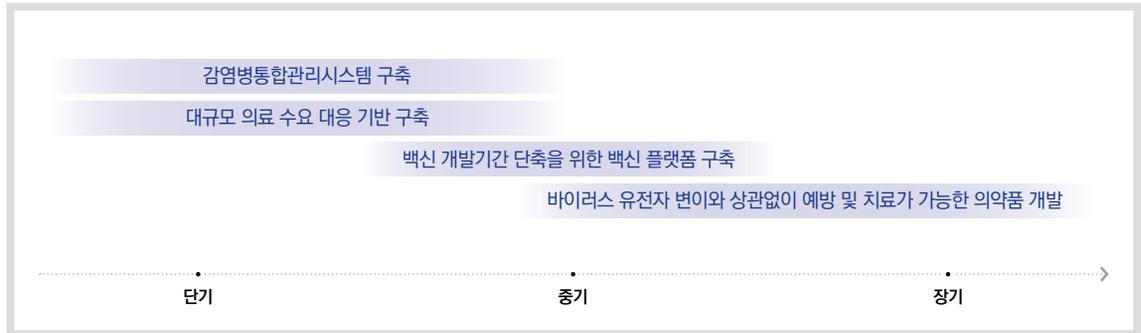
둘째, 감염병 진단 기술은 검체를 채취한 후 감염원 유전자나 단백질, 또는 인체 내 항체 생성 여부 등을 검출하는 방법이며, 감염원의 종류나 감염 부위에 따라 혈액, 채액 등 다양한 검체와 검출방법을 사용한다. 분석에 용이하도록 미세한 양의 유전자를 원하는 부분만 양적으로 증대시키는 유전자 증폭기술도 활용된다. 그 밖에 감염병 진단을 위해 컴퓨터단층촬영(CT) 등 영상의학적 방법을 활용하기도 한다.

셋째, 감염원 퇴치 및 감염자 치료 기술은 환자에게 처방하여 치료하거나 증세를 완화시키는 치료제, 항원(감염원)을 약하게 만들어 인체에 주입하여 항체를 형성하고 후천적으로 면역이 생기게 하여 감염병을 예방하는 백신 등을 개발하는 것이다. 최근 에이즈, 인플루엔자 등 감염성 질환의 백신 후보물질에 대한 연구가 이루어지고 있으며, 유전자 백신에 대한 연구개발도 활발하게 진행되고 있다. 유전자 백신은 바이러스의 유전자를 모방한 유전체를 주입하여 병의 원인이 되는 항원 단백질을 만들어 내고 인체 내 면역반응을 유도한다.

3) 기술개발 방향 제안

단기적으로는 사람-동물-환경을 하나의 방역체계 안에서 관리하는 원헬스(One health)의 관점에서 감염병을 탐지하고 발생·확산을 모니터링하며 예측할 수 있는 감염병통합관리시스템을 마련해야 한다. 이를 위해서는 현재 하루 정도 소요되는 분석 시간을 수 시간이나 수 분 내로 단축하는 신속한 진단 기술, 소량의 혈액 등으로부터 바이러스를 검출하고 치료에 적절한 항생제를 제시하는 진단 기술, 바이러스의 표면 단백질을 정밀하게 인식하는 광학센싱 기술, 신종·변종 바이러스의 종류와 특성을 판별하는 유전체 분석 기술, 실험실이 아닌 외부 환경에서 유전자 염기서열분석과 증폭이 가능한 초소형 바이오센서·장비, 일상생활에서 의료인 도움 없이도 간편하게 감염병 진단이 가능한 스마트폰·스마트워치·밴드 등 웨어러블 장비, 무인드론을 활용한 광범위한 감염원 감지 기술, 데이터·인공지능

신·변종 감염병의 감염원 감지·퇴치 및 감염자 진단·치료를 위한 기술개발 방향 제안



능 기반으로 감염병 조기감지 및 확산예측 시뮬레이션 모델 등 다양한 요소기술의 개발이 이루어져야 한다. 또한, COVID-19 사태 같은 감염병 확산 및 대유행에 따라 환자가 대규모로 발생하여 의료 공백이 생길 수 있다. 따라서 미래에는 전문 의료인을 보조·대체하거나 비대면·비접촉으로 의료행위가 이루어질 수 있도록 가상현실(VR)·증강현실(AR) 영상 진료 기술을 개발하고, 진단·치료·방역과 의료폐기물 운반 등의 목적으로 사용할 수 있는 의료로봇 기술, 드론을 활용한 의약품 및 생필품 배송 기술 등의 개발도 필요하다.

중기에는 ‘하나의 감염원-하나의 백신(one bug, one drug)’ 개념이 아니라 기존 바이러스와 유사한 이종·변종 바이러스에 대해 광범위하게 대응이 가능하고 백신 개발 속도를 단축시킬 수 있는 백신 플랫폼의 개발이 필요하다. 백신 플랫폼이란 기존 백신을 일부만 변경해 반복해서 사용하는 것을 말한다. 새로운 바이러스가 등장하면 기존에 있던 백신 플랫폼에 새 바이러스의 항원을 넣어서 백신을 만들면 되기 때문에 신속하게 백신을 개발할 수 있다.

따라서 백신을 개발하는 데 10년 가까이 소요되기 때문에 감염병이 잦아들면 백신 개발의 효용성이 낮아져 개발이 중단되곤 하는 현재의 문제점을 해결할 수 있을 것이다. 또한, 개발되는 백신의 형태가 기존의 주사형에서 피부에 붙이는 패치, 먹는 알약, 또는 초소형 나노 로봇 등으로 점차 사용편의성이 높아지는 방향으로 진화해 나갈 것이다.

장기적으로는 갑작스럽게 등장한 신종 바이러스에 대해서도 대응이 가능한 의약품, 예를 들어 범용 백신(universal vaccine)을 개발하기 위한 도전을 시도할 가치가 있다. 예를 들어, 인체의 항바이러스 면역을 증강시키는 방식으로 예방과 치료 기능을 동시에 갖는 의약품의 개발이 가능할 것이다. 이처럼 기존의 백신이나 치료제의 패러다임을 바꾸는 새로운 개념의 대응 방안을 선제적으로 모색하기 위해서는 각종 바이러스가 인체의 면역체계를 회피하는 과정, 증식하고 복제하는 과정 등 감염병과 바이러스에 대한 기초연구가 지속적으로 이루어져야 한다.

4-2.

환경오염 대응을 통한 문명의 지속가능성 확보

4-2-1. 폐기물 전주기적 관리와 자원화 및

대체 신소재 개발

1) 미래의 기술수요

우리나라에서 2018년 한 해에만 약 1.6억 톤의 폐기물이 발생하였다.^[107] 이는 지하에 매립할 경우 매년 여의도 면적의 약 5배에 해당하는 면적이 필요한 규모이다. 폐기물의 배출량이 매년 늘어나고 있지만 환경오염과 부지 부족으로 인해 소각이나 매립이 점차 어려워지고 있다. 그리고 개도국으로의 폐기물 이동도 국제여론의 비판을 받는 등 사회적인 문제가 되고 있다. 과거에도 선진국에서 발생한 폐기물이 개도국으로 이동 및 방치되는 사례가 많이 발생하여 세계적으로 유해 폐기물의 국가 간 이동을 금지하는 바젤협약이 채택되어 시행되고 있다.^[108]

폐기물 발생을 줄이고 자원을 재활용하는 등 지금부터 적극적으로 대응하지 않는다면 폐기물로 인해 국민 삶의 질이 낮아지고 경제성장도 지속가능하지 않게 될 것이다. 또한, 최근에는 무역 분쟁, 감염병 확산 등으로 글로벌 자원 공급이 불안정해짐에 따라, 자원의 대부분을 수입에 의존하는 우리나라는 폐기물의 재활용을 통한 자원 순환의 중요성이 더욱 커지고 있다. 2018년 기준 전체 폐기물의 87.1%를 재활용으로 처리하고 있다고 공식적으로 집계되고 있으나,^[109] 산업폐기물 중 일부는 생활쓰

레기로 버려져 집계가 되지 않기도 하고, 불순물 등으로 인해 재활용하기 어려운 폐기물은 다시 버려지거나 매립되고 있어서 실제로 재활용되는 비율은 낮은 편이다.

폐기물을 구성하는 요소 중에서 플라스틱은 다용도로 가공이 용이하고 경제적이어서 국민 생활 활과 산업 분야에 없어서는 안 될 소재이다. 그러나 분해에 오랜 시간이 걸리고,^[110] 재활용 시 품질이 저하되어 재활용률이 낮다는 것이 문제이다. 또한, 폐플라스틱은 땅에 매립되기도 하지만 상당량이 바다나 하천 등으로 흘러 들어가고, 잘게 부서져 미세 플라스틱이 된다. 그리고 미세플라스틱은 해산물이나 식수 등을 통해 또는 호흡을 통해 인체로 유입된다. 최근에는 한 사람이 매주 신용카드 한 장 무게인 약 5그램의 미세플라스틱을 섭취한다는 연구결과도 발표된 바 있다.^[111]

세계 각국은 플라스틱의 사용을 줄이기 위한 정책을 펼치고 있고, 우리나라도 2030년까지 “플라스틱 폐기물 발생량 50% 감축, 70% 재활용”을 목표로 하고 있다.^[112] 장기적으로는 2045년까지 “제로 플라스틱 사회의 구현”을 목표로 설정할 수도 있을 것이다. 하지만 현재 플라스틱을 완전히 대체할 수 있는 소재가 없는 상황이다. 우리가 플라스틱 대체 소재를 개발한다면 이는 환경을 보호할 뿐만 아니라 국가적인 미래 성장산업이 될 수도 있다.

2) 기술의 현황

폐기물 문제를 해결하는 기술에는 폐기물 전주기적 관리, 폐기물 자원화, 대체 신소재 개발 등이

있다.

먼저, 폐기물 전주기적 관리 기술은 폐기물 감소와 재활용을 위해 폐기물의 현황에 대한 정확한 파악이 필요하므로 기본적으로면서도 중요한 기술이다. 해외 주요국에서는 지역 및 폐기물 종류별로 폐기물에 대한 물질흐름분석(material flow analysis) 개념을 도입하여 다양한 폐기물이 어디로 이동하여 관리되고 있는지를 분석하고 있다. 국내에서는 10여년 전부터 폐전기·전자제품, 이차전지, 폐플라스틱, 건설폐기물 등 개별 물질을 대상으로 꾸준히 진행되고 있으나, 폐기물 관리시스템 전반으로 확대하여 통합적인 평가가 필요한 상황이다.^[113]

폐기물 자원화 기술은 재활용과 에너지화로 나눌 수 있다. 재활용과 관련해서는, 폐기물 중 재활용이 가능한 것을 정확하게 골라내는 분류 기술이 중요한데, 아직까지 효율적이고 정밀한 분류가 어려운 한계가 있다. 한편, 에너지화 기술은 플라스틱 등의 폐기물을 소각하여 열에너지를 얻거나 화학적 처리를 거쳐 석유와 유사한 화학연료를 얻는 기술이다. 현재 우리나라는 대부분의 폐플라스틱을 소각하여 처리하고 있고 화학적 처리를 위한 기술 개

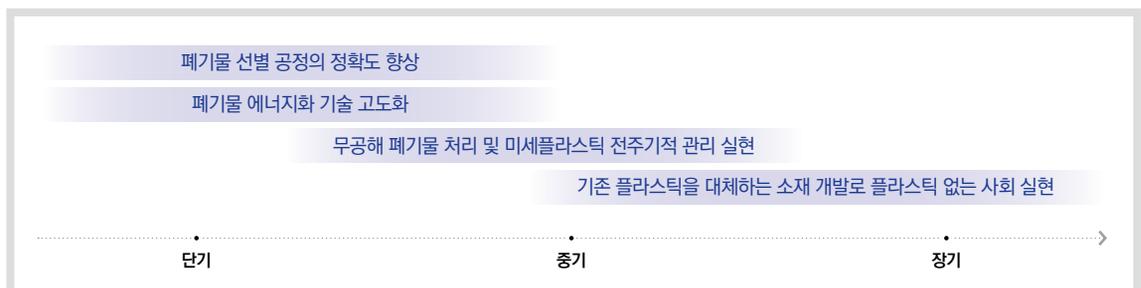
발은 미흡한 실정이다.

대체 신소재 개발은 생분해성 플라스틱 기술이 대표적이다. 이는 사용 후 폐기하였을 때 미생물이나 효소 등의 작용으로 물과 이산화탄소로 분해되는 소위 ‘썩는 플라스틱’을 말한다. 국내외 많은 기업들이 식물에서 추출한 성분을 토대로 수년 내에 분해되는 생분해성 플라스틱을 개발하고 있다. 또한, 기존의 페트병을 분해하는 효소도 연구되고 있으나, 상용화까지는 오랜 시간이 걸릴 것으로 보인다.^[114]

3) 기술개발 방향 제안

단기적으로는 재활용을 위해 폐기물 선별 공정의 정확도를 높이는 기술을 개발할 필요가 있다. 여러 폐기물 중에서 재활용이 가능한 폐기물을 정확하게 분리하고, 종류별 또는 유사한 성분의 폐기물끼리 분류·선별해야 하며, 전체 공정을 단순화하여 비용을 낮추어야 한다. 또한, 폐기물 에너지화 기술을 고도화해야 한다. 현재는 소각이나 화학 공정에 드는 에너지에 비해 얻을 수 있는 에너지가 많지 않다는 것이 단점이다. 소각 및 화학 공정을 안정적으로 운용하는 기술, 에너지로 활용되는 가스만을 불

폐기물 전주기적 관리와 자원화 및 대체 신소재 개발을 위한 기술개발 방향 제안



순물 없이 추출하는 기술 등을 통해 에너지 회수 효율을 높여야 한다.

중기에는 폐기물 처리과정에서 배출되는 유해물질을 최소화하는 무공해 폐기물 처리 기술이 개발되어야 한다. 현재 소각 과정은 타르 등 유해물질이 발생하여 환경오염을 유발하므로 추가적인 처리 비용이 소요된다는 단점이 있다. 따라서 무공해 폐기물 처리를 통해 폐기물 소각 시 배출되는 유해물질과 온실가스를 효과적으로 처리하고, 폐건전지 등 폐기물이 가진 유해한 중금속을 안정적으로 처리하여 자원화할 수 있어야 한다. 다음으로, 미세플라스틱의 전주기적 관리도 필요하다. 미세플라스틱의 측정에서부터 인체 유해성 평가 및 친환경적 처리까지 전 단계에 걸쳐 관리가 이루어져야 한다. 미세플라스틱의 발생, 확산 및 인체 유해성 연구, 토양이나 바닷물 등 불균일한 혼합물 속에서 미세플라스틱 함량을 정확하게 파악하여 포집 및 제거하는 기술, 바닷물이나 인체에 존재하는 미세플라스틱을 분해·제거하는 기술 등이 필요하다.

장기에는 기존의 플라스틱을 대체하는 새로운 소재가 개발되어야 할 것이다. 최근 폐플라스틱으로 인한 환경오염을 줄이고자 미생물이나 효소에 의해 분해되는 생분해성 플라스틱이 개발되고 있으나, 내구성이 약하고 경제성이 낮다는 단점이 있다. 또한 바닷물 속에서는 분해가 어렵기 때문에 기존 플라스틱처럼 땅에 매립해야 한다는 점도 문제점으로 지적된다. 일상생활에서부터 산업현장까지 다양한 용도로 사용할 수 있고, 토양, 바다 등 여러 환경에서 분해가 가능하고 경제적인 소재를

개발하여 플라스틱 없는 사회를 실현해 나가야 할 것이다.

4-2-2. 원자력의 안전한 활용 및 핵융합 기술개발 도전

1) 미래의 기술수요

부존 에너지 자원이 부족한 우리나라는 그동안 국가 주도로 원자력 발전을 주요 에너지원으로 개발해 왔다.^[115] 그러나 2011년 발생한 일본 후쿠시마 원전 사고로 인해 국민들은 방사능 유출, 핵폐기물 처리 등 원자력 발전의 안전성에 대한 경각심을 갖게 되었다. 특히, 국내에서 원자력 발전 후 발생하는 폐기물을 저장하는 시설의 대부분이 10년 내외로 포화될 것으로 전망되고 있다. 따라서 미래에도 원자력 발전을 활용하기 위해서는 방사능 유출을 완벽히 차단하고 핵폐기물을 안전하게 보관하며 재처리할 수 있는 기술이 반드시 필요하다.

또한, 전 세계에서 현재 운영 중인 원전들의 설계수명 종료가 임박함에 따라 해체할 원전의 수가 늘어나고 있다. 세계적으로 원전 해체 시장의 규모는 2110년까지 약 440조 원으로 예상된다.^[116] 이에 따라, 안전하게 원전 시설과 부지를 철거하고 방사능 오염을 제거하기 위한 원전 해체 기술이 유망 분야로 떠오르고 있다.

한편, 미래의 에너지원으로 알려져 있는 핵융합 기술에 대한 연구도 진행되고 있다. 기존의 원자력 발전이 원자핵이 분열할 때 나오는 에너지로 발전을 하는 것과 달리, 핵융합 발전은 원자핵이 융합하



초전도 핵융합 연구 장치(K-STAR) | 자료 : 국가핵융합연구소



프랑스에 건설 중인 국제 핵융합 실험로(ITER) | 자료 : 국가핵융합연구소

는 과정에서 나오는 에너지로 전기를 생산한다.* 핵융합 발전은 에너지원이 고갈될 염려가 없고, 방사능 물질의 발생이나 폭발의 위험성이 거의 없어서 안전하고 깨끗하기 때문에, 에너지 고갈, 기후변화 등 인류가 직면한 난제들을 해결할 수 있는 에너지로 평가받고 있다. 물론, 기술의 난이도가 높고 성공까지는 장기간이 소요될 것으로 전망되지만, 국제적인 협력이 이루어지고 있고 우리나라도 경쟁력을 높여가고 있으므로 기술개발에 도전해야 한다.^[117]

2) 기술의 현황

원자력을 안전하게 활용하는 기술에는 핵폐기물 처리, 원전 해체, 차세대 원자력 기술 등이 있다. 핵폐기물 처리와 관련해서는 핵폐기물 소각로에서 사용 후 핵폐기물을 안전하게 처리하는 기술, 핵폐기물에 포함된 방사능의 양을 줄이고 방사성 물질이

자연적으로 절반으로 줄어드는 기간인 반감기를 단축시키는 기술 등이 개발되고 있다. 원전 해체 기술은 해체 준비, 방사능 물질 제거, 시설 및 구조물 절단, 폐기물 처리, 환경 복원 등의 단계로 이루어진다. 한편, 해외 주요국들은 사고저항성핵연료, 초고온가스로, 소듐냉각고속로 등 차세대 원자력 기술을 개발하고 있다. 사고저항성핵연료(incident tolerant fuel)는 후쿠시마 원전 사고처럼 원전 건물 파손 등의 사고로 원전의 냉각 기능이 상실되더라도 기존 핵연료보다 온도가 높게 올라가지 않거나 쉽게 폭발하지 않아 안전성이 높은 핵연료를 말한다. 차세대 원자력 기술의 경우, 발생하는 핵폐기물을 줄이고 핵무기로의 전용가능성을 낮춰 기존 원전보다 안전성과 지속가능성, 핵 비확산성 등을 높이는 데 초점을 두고 있다.

핵융합 발전을 하려면 초고온의 환경을 만들어

* 핵분열은 우라늄과 같은 무거운 원자의 핵이 깨지면서 감소하는 질량이 에너지로 변환되지만, 핵융합은 수소와 같은 가벼운 원자핵이 융합되는 과정에서 에너지가 발생한다. 태양의 에너지도 핵융합 반응으로 발생하므로 핵융합 장치를 '인공태양'이라고 부르기도 한다.

야 하므로, 1억 도 이상의 초고온 플라즈마, 핵융합의 연료가 되는 중수소와 삼중수소,* 플라즈마를 가두는 핵융합 장치 등 세 가지 요소가 필요하다. 플라즈마란 초고온에서 음전하를 가진 전자와 양전하를 가진 이온으로 분리된 기체 상태로, 고체·액체·기체와 다른 ‘물질의 제4의 상태’라고 부른다. 이 상태를 유지하려면 1억 도 이상을 형성해야 하기 때문에 기술 개발의 난이도가 매우 높다.^[118] 이외에도 초고온 플라즈마 상태가 불안정해져서 붕괴될 경우에 대비하여, 이를 예측하고 붕괴 에너지를 분산하여 핵융합로의 손상을 방지하는 기술도 개발이 진행되고 있다.

3) 기술개발 방향 제안

단기에는 원자력 발전으로 인한 핵폐기물이 환경에 피해가 가지 않도록 안전하게 재처리하는 기술이 개발되어야 한다. 한미원자력협정에서 제한하지 않는 범위까지 핵폐기물을 분리·보관하고, 이를 재처리하는 기술이 개발될 수 있다. 그리고 소듐소각로 등 소각 기술을 통해 핵연료 폐기물의 방사능 강도를 낮추고 반감기를 대폭 감소시켜야 한다.^[119] 아울러, 사용 후 핵연료는 연료 물질 이외에도 독성 물질을 포함하고 있는데, 두 개 물질을 서로 분리하여 연료 물질은 회수하고 독성 물질은 연소시켜 최종 폐기물의 부피와 독성을 감소시키는 기술도 필

요하다. 또한, 노후화된 원자력 시설을 안전하게 해체하는 기술도 각광받을 것이다.

중기에는 원자력을 안전하게 활용하기 위한 차세대 원자력 기술이 개발되어야 한다. 예를 들어, 우리나라가 1997년부터 개발해온 ‘다목적일체형 소형원자로(SMART)’는 크기가 작아서 이동성이 높기 때문에 육지로부터 멀리 떨어진 섬이나 산간 지역 등의 오지에 손쉽게 전력을 공급할 수 있을 것이다. 또 해수를 담수화하거나 난방열을 안정적으로 공급할 수도 있고, 일체형으로 안전성이 높기 때문에 선박의 추진 연료로 사용되는 등 다양한 용도로 활용될 것이다. 미래에는 사고저항성핵연료 기술 개발을 통해 원전 사고가 발생할 경우 핵연료 온도를 효과적으로 낮추고 핵물질이 외부로 유출되는 것을 방지할 수 있다. 그리고 온실가스 배출 없이 대량의 수소를 생산하는 데 초고온가스로를 활용한다면 에너지 확보나 기후변화에 쉽게 대응할 수 있다. 또한, 인공지능 기술을 원전에 적용하여 원전 상태를 신속히 인지하고 예측·제어하는 ‘지능형원전제어기술’을 통해 사람의 실수를 줄이고 원전의 안전성을 높이는 시도도 가능할 것이다.

장기적으로는 2050년대 핵융합 에너지 실현을 목표로 하는 국제 프로젝트인 국제핵융합실험로(ITER)에 적극적으로 참여하고, 국내 기술개발, 인력양성 등을 지속적으로 추진해나가야 한다. 그리

* 중수소와 삼중수소는 수소에 중성자가 덧붙여진 것으로, 일반 수소의 핵은 양성자 1개로 이루어져 있지만, 중수소의 핵에는 양성자 1개와 중성자 1개, 삼중수소의 핵에는 양성자 1개와 중성자 2개가 있다. 중수소는 안정적이지만 삼중수소는 중수소보다 중성자를 1개 더 가지고 있어서 불안정하여 방사능을 가진다.

원자력의 안전한 활용 및 핵융합 기술개발 도전을 위한 기술개발 방향 제안



고 초고온에서 플라즈마를 생성하고 유지하는 기술, 플라즈마 상태에서 불규칙한 흐름을 보이는 난류를 특정 부분으로 집중시켜 플라즈마 유동과 전류를 발생시키는 기술, 핵융합 연료의 핵심이 되는 중수소와 삼중수소를 확보하기 위하여 바닷물에서 중수소를 대량으로 분리하는 기술과 핵융합로 내에서 리튬과 중성자의 반응을 통해 삼중수소를 대량으로 확보하는 기술, 이 과정에서 삼중수소의 방사능을 효과적으로 제어하는 기술, 핵융합 반응이 일어나는 대형 초고온 플라즈마 핵융합로를 설계하고 시공하는 기술 등이 개발되어야 한다. 또한, 1억 도 이상의 고온 플라즈마가 만드는 고온·고열의 환경에서도 견딜 수 있는 소재 개발도 필수적이다.

4-3.

차세대 바이오·의료 기술을 통한 건강한 삶 실현

4-3-1. 난치병 극복 및 예방의료 실현

1) 미래의 기술수요

미래에는 인류의 수명이 연장되고 우리나라가 고령화됨에 따라 전체인구의 다수를 차지하게 될 고령인구가 늘어난 노년 기간을 건강하게 보낼 수 있을 것인지가 중요한 사회 문제가 될 것이다. 2018년 기준 우리 국민의 기대수명은 82.7세로 비교적 높지만, 건강하게 생활할 수 있는 건강수명은 64.4세여서, 약 18년 동안 질병과 함께 사는 것으로 나타났다.^[120] 과거에 비해 의료기술이 비약적으로 발전하긴 했지만 아직도 암, 심혈관질환, 당뇨, 치매 등 많은 난치병이 존재한다. 우리나라 65세 이상 노인 중 두 가지 이상의 만성질환을 보유한 비율은 2017년 73.0%에 달한다.^[121] 만약 미래에도 질병을 정복하지 못한다면 늘어난 수명은 축복이 아니라 저주가 될 수도 있다. 또한, 질병에 걸리게 되면 환자 개인의 고통뿐 아니라 가족의 삶의 질이 저하되고 건강보험 재정 부담으로 국가경제에도 큰 손실이 발생하게 된다.

특히, 암은 한국인의 사망 원인 1위 질병으로, 국민의 삶의 질을 높이기 위해 반드시 극복해야 하는 대상이다. 2017년 기준 우리나라 국민이 기대수명까지 생존할 경우, 암에 걸릴 확률은 35.5%이고, 최근 5년간(2013~2017년) 진단받은 암환자의 5년

상대생존율*은 70.4%이다.^[122] 즉, 우리나라 국민은 평생 10명 중 3명 이상이 암에 걸리고 그 중 1명은 발병 후 5년 이내에 사망하는 셈이다.

개인의 유전적 특성을 파악하고 실시간으로 건강상태를 파악함으로써 암 발생확률을 낮추고 암에 대한 획기적인 치료법을 개발하여 생존율을 높인다는 국가적인 목표를 설정하고 과학기술을 통해 이를 실현해 나가야 할 것이다. 예를 들어 “모든 종류의 암에 대해 10% 미만의 발생확률과 90% 이상의 상대생존율” 등과 같이 목표를 구체화하는 것이 바람직하다. 이렇듯 사전에 질병을 예방하고 발병 시 효과적으로 치료할 수 있다면 100세 시대를 넘어 150세 시대에도 건강한 삶을 누릴 수 있을 것이다.

2) 기술의 현황

암 등의 난치병을 치료하기 위한 차세대 의료가 술로는 세포 치료제와 유전자 치료제 등이 있다.

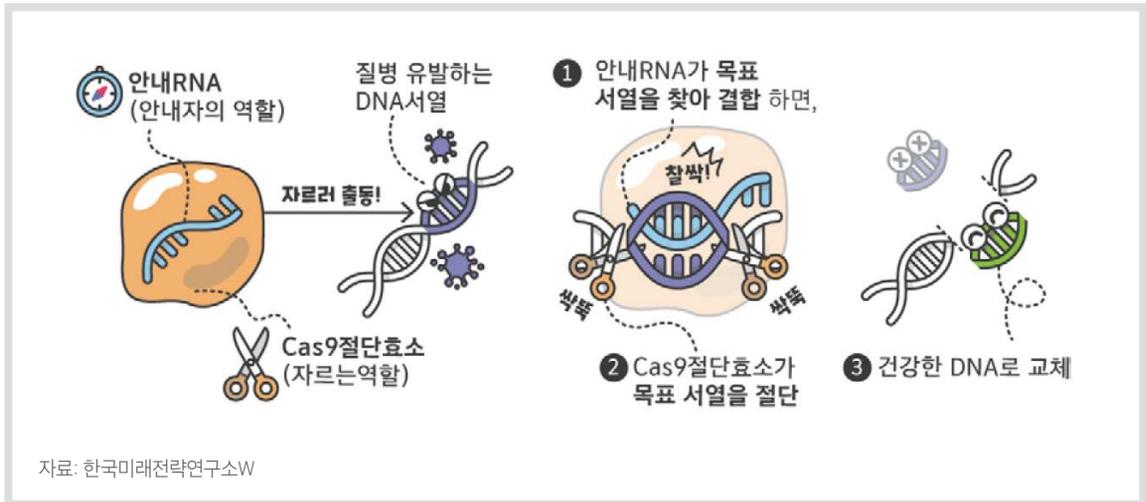
세포 치료제는 본인이나 타인의 살아있는 세포를 활용하여 손상되거나 질병이 있는 세포 또는 조직을 치료하며, 줄기세포 치료제와 면역세포 치료제로 나눌 수 있다. 줄기세포 치료제는 어떤 조직으로든 발달할 수 있는 초기 단계의 세포인 줄기세포를 활용하여 손상된 조직이나 장기를 재생시킨다. 성인의 혈액이나 골수에서 얻은 성체줄기세포나 수정란으로부터 얻은 배아줄기세포를 활용할 수 있다. 면역세포 치료제는 신체의 면역세포에 조작을

가해 치료에 직접 사용하는 것으로, 특히 면역항암 치료제가 주목받고 있다. 그 원리는 인공의 면역단백질을 체내에 주입하여 선택적으로 암세포만을 공격하도록 유도하는 것이다. 면역세포의 기능을 강화해 치료하는 방식이므로, 치료제 투약을 중단해도 인체 면역체계의 기억에 의해 장기간 암세포를 공격하기 때문에 치료 효과가 크고 부작용도 거의 없는 편이다.^[123]

유전자 치료제는 유전자의 기능을 생성, 강화, 또는 저해할 목적으로 유전물질 또는 유전물질이 주입된 세포를 인체에 투여하거나, 유전자 편집 기술을 활용하여 인체 내 세포의 유전자를 직접 편집·교정함으로써 병을 치료하는 기술이다. 전자의 경우, 유전자의 기능이 상실되거나 부족할 경우 이를 외부에서 보충하는 치료제가 있고, 이와 반대로 질병과 관련된 특정 유전자의 기능을 억제하는 치료제도 있다. 후자는 흔히 유전자가위라고 부르는 기술로, 질병의 원인이 되는 DNA에서 돌연변이를 찾아내 잘라내고 정상 DNA를 붙여 교정하는 기술이다. 돌연변이가 생겨 시력을 잃거나 퇴행성 뇌질환, 혈액 질환 등 유전질환을 앓는 환자를 근본적으로 치료할 획기적인 기술로 평가받는다. 이 기술은 단계적으로 발전하는 중인데, 기존의 1·2세대 유전자가위는 제작하는 데 비용과 기간이 많이 들고 효율이 낮다는 단점이 있었다. 이를 보완한 3세대 유전자가위인 크리스퍼(CRISPR)는 이전 세대의 기

* 5년 상대생존율이란 암환자의 5년 생존율과 일반인의 5년 기대생존율의 비율로, 일반인과 비교하여 암환자가 5년간 생존할 확률을 의미한다.

크리스퍼 유전자가위의 작동 원리



술보다 효율이 매우 높고, 제작이 간편하며, 유전자 염기서열의 변화를 쉽게 유도할 수 있다.

예방 중심 의료는 질병에 걸린 후 치료하는 것이 아니라 일상생활에서 건강을 관리하여 질병을 예방하는 패러다임이다. 이를 구현하기 위해서 생체정보를 측정하는 기기를 활용하여 건강 상태를 수시로 확인하고, 유전체 분석 기술을 활용하여 유전적 특성을 파악하는 등 다양한 방법이 활용될 수 있는데, 그 핵심은 개인에 대해 다양한 데이터를 적시에 축적하여 질병의 발생가능성을 최소화하는 것이다.

3) 기술개발 방향 제언

단기적으로는 먼저, 3세대 유전자가위(CRISPR) 기술의 문제점들을 해결하여 질병치료에 널리 활용해야 할 것이다. 예를 들어, 3세대 유전자가위 기술은 유전자의 결손(deletion)이나 삽입(insertion)과 관련된 치료의 효율은 비교적 높은 편이나, 유전

자를 원하는 대로 교정(correction)하는 기술은 치료 효율이 높지 않은 편이고, 목표하지 않은 유전자에서 작용(off-target)할 수도 있으므로 교정의 정확도를 높이는 기술이 필요하다. 그리고 유전자가가위가 체내에서 일으키는 염증반응을 완화하는 기술이 개발된다면 치료의 안정성을 크게 높일 수 있을 것이다. 또한, 인체 내 치료부위로 유전자가위를 운반하는 전달체가 필요한데, 전달체에 따라 전달할 수 있는 유전자의 크기가 제한되어 있다. 따라서 크기가 작은 유전자가위를 개발하는 것도 중요한 과제이다. 다음으로, 예방 중심 의료를 구현하기 위한 기반으로, 휴대용 생체정보 측정기기를 통해 개인의 생체정보를 시간과 장소에 구애받지 않고 수집하고 건강상태를 지속적으로 모니터링하도록 해야 한다. 현재는 주로 밴드나 반지, 패치 같은 형태의 외장형 웨어러블 기기로 측정을 하지만 앞으로는 작은 알약 같은 삽입형 측정기기를 통해 인체 내

장기에 바로 접촉하여 의료정보를 수집할 수도 있을 것이다. 그리고 이렇게 실시간으로 측정된 생체 정보는 의료기관에 전송되어 의료인이 건강상태를 모니터링하고, 발생할 가능성이 있는 질환 등을 예측하고 관리한다. 기기가 수집한 개인의 생체정보와 의료기관의 진료정보가 국가 차원의 빅데이터로 수집되어 활용된다면 차세대 의료기기 및 신약 개발에도 기여할 것이다.

중기에는 줄기세포 치료제 중에서 역분화줄기세포 치료제 개발에 도전할 필요가 있을 것이다. 성체 줄기세포는 다양한 조직으로 발달하기가 어려워 치료제 개발에 한계가 있고, 배아줄기세포는 인체의 모든 조직으로 발달이 가능하지만 수정란을 파괴해서 얻는다는 점에서 생명윤리 이슈가 있다. 이 때문에 성인에게서 얻은 체세포에 유전자 변이를 가해 초기 배아상태의 줄기세포로 되돌리는 역분화줄기세포 또는 유도만능줄기세포가 주목받고 있다.^[124] 다만, 역분화줄기세포는 다른 조직으로 발달하는 과

정에서 암세포로 변이될 수도 있으므로 그 가능성을 낮추는 기술이 필요하다. 또한, 현재 10만 개의 성체세포를 역분화하면 300~400개의 줄기세포만을 얻을 수 있으므로 줄기세포의 생산 효율을 높이는 것도 필요하다. 이처럼 역분화줄기세포 치료제의 안정성과 생산효율이 높아진다면, 혈관 재생을 통한 심혈관 질환 치료, 뇌신경세포의 재생을 통한 뇌졸중 및 파킨슨병 치료 등에 기여할 것으로 예상된다.

면역세포 치료제 중에서는 한국인에게 자주 발생하는 5대 암, 즉 위암, 간암, 대장암, 유방암, 자궁경부암에 대한 면역항암 치료제 개발에 도전할 필요가 있다. 이를 위해 인체의 면역세포가 암세포를 식별·공격·기억하는 기능을 효과적으로 조절하여 치료 효과를 높일 수 있어야 한다. 그리고 암세포는 인체의 면역작용을 회피하기 위해 단백질을 만들어 내는데, 이러한 단백질을 억제하면 면역세포가 정상적으로 암세포를 공격할 수 있게 된다. 따라서 암의 종류별로 면역세포 치료제와 같이 투여하여 약효를 획기적

난치병 극복 및 예방의료 실현을 위한 기술개발 방향 제안



로 높일 수 있는 신규 타겟 단백질을 확보하고, 그 활성을 조절할 수 있는 물질의 개발도 추진해야 한다.

유전자 치료제 분야에서는, 최근 개발된 프라임 에디팅(Prime editing)이라고 불리는 4세대 유전자 가위 기술이 상용화될 수 있을 것이다. 예를 들어, DNA를 절단하여 치료하는 방식뿐만 아니라 마치 워드프로세서에서 글자를 고치듯이 DNA를 수정하여 치료할 수 있는 기술이 개발될 수 있을 것이다. 정확성도 높아져 질병과 관련 없는 유전자를 제거할 위험성도 현저히 낮아질 것이다. 다만, 4세대 유전자 가위는 3세대 유전자 가위보다 분자 크기가 커서 세포 내 주입에 어려움이 있으므로 4세대 유전자 가위를 세포 내에 전달하는 기술의 개발이 필요하다. 만일 4세대 유전자 가위가 상용화될 수 있다면 현재 유전병의 원인으로 확인된 7,500여 개의 변이 유전자 중 약 89%를 고칠 수 있을 것으로 기대된다.^[125]

예방 중심 의료 측면에서는, 개인의 생체정보, 의료기관의 진료정보 등 축적된 의료정보와 유전체 분석 정보를 종합하고 인공지능 분석·진단기술을 활용하여 개인의 건강상태를 정밀하게 분석 및 진단하고 질병의 발생가능성을 예측할 수 있을 것이다. 이를 통해 개인에게 맞는 건강관리 방법을 선택하여 제시할 수 있을 것이다.

장기적으로는 개인의 유전 및 암세포 특성을 반영한 개인맞춤형 면역항암 치료제가 개발될 수 있을 것이다. 환자 본인의 세포를 활용하는 환자 유

래세포 면역항암 치료제를 사용한다면 면역 거부 반응이 없어 치료의 안전성을 높이고 부작용도 낮출 수 있을 것이다. 그리고 최근에는 면역항암 치료제 이외에도 암 변이 세포를 죽이지 않고 정상세포로 되돌리는 연구도 시도되고 있다.^[126] 예방 중심 의료와 관련해서는, 기술 고도화를 통해 의료기관 중심의 질병 치료에서 개인이 건강관리의 주체가 되는 예방 의료로 전환해야 한다. 각종 생체정보 측정기기는 무자각 상태에서 실시간으로 측정·관리하여 편리성, 정밀도 및 신뢰도를 높여야 한다. 이를 통해 정기적으로 병원을 찾지 않고도 당뇨병, 고혈압 등의 질환을 관리하는 것은 물론이고 자동 투약 같은 물리적 행위도 가능할 것이다. 특히 조기에 발견할 경우 치료 가능성이 높은 암, 치매, 백혈병 등 고위험 질병군에 보다 적극적으로 대처할 수 있어서 삶의 질이 크게 높아질 것이다.

4-3-2. 뇌 기능 규명을 통한 뇌질환 극복 및 기억 회복

1) 미래의 기술수요

우리나라는 고령화사회와 고령사회를 지나 세계에서 가장 먼저 초고령사회의 진입을 앞두고 있다.^[127] 사회가 고령화될수록 치매, 알츠하이머병, 파킨슨병* 등 뇌질환 환자도 급격히 늘어나게 되어, 우리나라의 65세 이상 치매환자 수는 2019년

* 치매(dementia)는 노화나 질병 등으로 뇌의 기능이 퇴화하여 발생하는 퇴행성 신경계 뇌질환의 상위 개념이다. 알츠하이머병(Alzheimer's disease)과 파킨슨병(Parkinson's disease)은 치매에 포함되므로 각각 알츠하이머형 치매, 파킨슨형 치매라고도 부른다. 알츠하이머병은 인지 장애가 먼저 나타난 후 운동장애가 동반될 수 있고, 파킨슨병은 운동장애가 먼저 나타난 후 인지장애가 동반될 수 있다는 것이 차이점이다.

약 79만 명에서 2050년에는 303만 명으로 증가할 전망이다.^[128] 만약 이렇게 된다면, 2050년 전체 인구가 약 4,800만 명, 65세 이상 고령인구가 약 1,900만 명으로 전망되므로 대략 전체인구 16명 중 1명, 65세 이상 고령인구의 6명 중 1명은 치매환자가 되는 셈이다. 세계적으로도 치매환자는 2018년 약 5,000만 명에서 2050년에는 1억 3,000만 명 이상으로 늘어날 전망이다.^[129]

치매 등 뇌질환은 환자 개인뿐만 아니라 가족의 고통과 부담도 크고, 국가적으로도 의료비 지출 등 막대한 경제적·사회적 비용이 소요된다.^[130] 우리나라는 치매의 사회적 중대성을 고려하여 2017년 ‘치매국가책임제’를 시행하고 있다.^[131]

그러나 치매 등 뇌질환은 아직 정확한 발병 원인이 밝혀져 있지 않아서,^[132] 현재 치매에 대한 치료제는 인지기능 저하의 진행속도를 지연시키는 인지기능 개선제 수준에 머무르고 있고, 아직까지 원인을 치료하는 근본적인 치료제 개발은 쉽지 않은 상황이다. 즉, 현재 치매는 이 병에 걸린 10명 중 9명이 정상 수준으로 호전될 가능성이 없는 비가역성 질환이다. 따라서 치매를 조기에 발견하여 치료를 시작하고 지속적인 예방과 관리를 하는 것이 무엇보다 중요하다. 그리고 과학기술을 통해 약물치료나 수술치료 방법을 지속적으로 찾아 나가야 한다.

뇌질환에 대한 근본적인 치료법을 찾기 위해서는 뇌의 기능을 규명하는 연구가 필요할 것이다. 인간의 뇌는 약 860억 개의 신경세포(뉴런)와 신경세포를 연결해 신호를 전달해 주는 약 100조 개의 시냅스로 구성되어 있는데, 이를 지도로 데이터화하면 1

테라바이트 용량의 외장하드 1억 개에 달하는 방대한 양이다. 최근 인공지능이나 빅데이터 기술의 발전으로 막대한 양의 뇌 데이터 분석 연구가 활발하게 진행되고 있다. 미래에는 뇌의 기능을 규명하여 치매를 비롯해 우울증, 자폐증, 조현병 등 각종 뇌질환 치료제를 개발하는 것에 도전해야 할 것이다.

2) 기술의 현황

뇌질환을 극복하고 뇌 기능을 회복하는 기술은 뇌 기능 규명, 뇌질환 치료, 기억 회복 등으로 나누어볼 수 있다.

뇌 기능 규명과 관련된 주요 활동으로는 뇌지도 제작, 뇌 시뮬레이션 등이 있다. 뇌지도란 뇌 속에 있는 신경세포들(뉴런)의 연결을 시각화한 것이다. 일종의 뇌 설계도라고 할 수 있고 커넥톰(Connectome)이라고도 부른다. 전 세계 많은 국가와 기업들이 뇌 기능을 규명하려는 연구를 활발히 추진하고 있고,^[133] 우리나라도 2016년 「뇌과학 발전전략」을 수립하고 뇌지도 작성과 뇌질환 치료 연구 등을 진행하고 있다.^[134] 뇌 전체의 신경망과 신경세포에 대한 정보를 얻고 뇌를 시뮬레이션할 수 있게 된다면 각종 뇌질환의 원인을 파악하고 치료법을 개발하는 데에 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

뇌질환 치료는 치료제 개발과 진단기기 개발 등이 진행되고 있다. 치매 치료제 개발에는 전 세계의 수많은 제약사들이 도전하고 있으나 아직 의미 있는 성과를 거두지 못하고 있다.^[135] 예를 들어, 알츠하이머병은 베타아밀로이드 단백질, 타우 단백질

질 등이 뇌 신경세포에 쌓이면서 이를 손상시켜 발생하는 것으로 알려져 있다. 이 단백질들을 만드는 효소를 억제하거나 이 단백질들을 공격해서 없애는 물질을 개발하는 것이 필요하다. 또한, 뇌 자기공명 영상(MRI)을 분석해 치매 환자의 뇌와 비교하여 진단을 내리는 기기도 개발되고 있다.^[136]

기억을 회복하기 위해 인간 뇌의 기억을 저장하거나 대체하는 기술도 시도되고 있다. 뇌에 이식된 칩을 통해 기억을 저장하고 이를 외부로 전송하여 별도의 매체에 저장하거나 필요 시 다시 뇌에 저장하는 것이다.^[137]

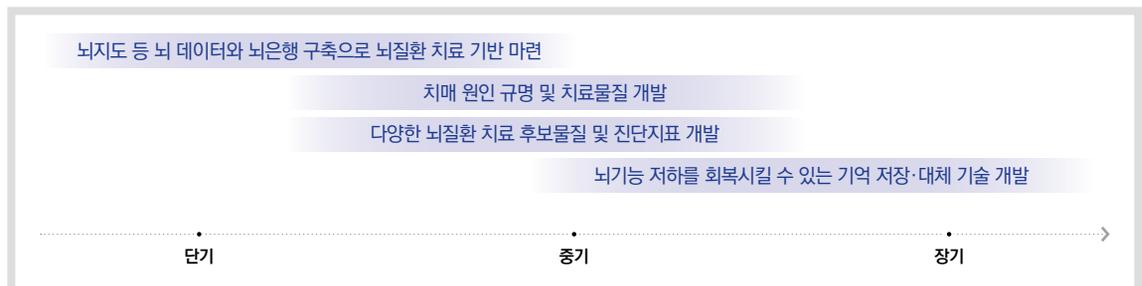
3) 기술개발 방향 제안

단기적으로는 뇌지도 등의 뇌 데이터를 구축하여 각종 뇌질환 치료의 기반을 마련하는 것이 필요하다. 예를 들어 학습과 기억, 감정, 지각 등의 기능을 담당하는 뇌지도를 구축한다면, 이를 통해 노화 및 치매, 자폐, 정서질환 등의 다양한 질환에 따른 뇌 신경망의 변화를 이해하고 원인을 규명할 수 있을 것이다. 한편, 뇌질환은 장시간에 걸쳐 진행되고

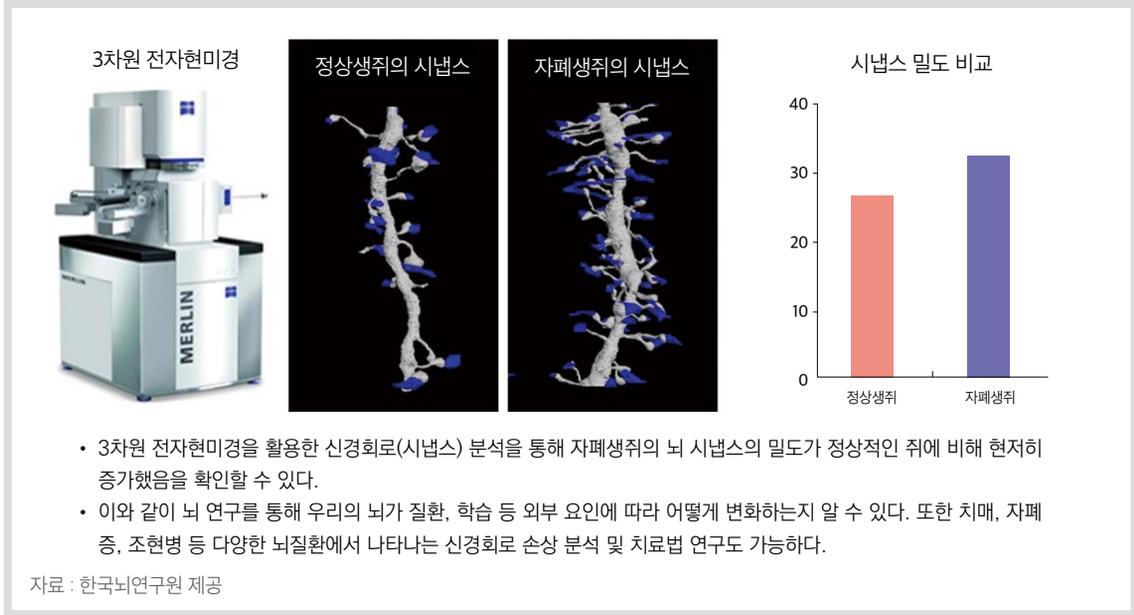
사람 간 발현 시기, 정도, 원인 등의 편차가 크기 때문에 연구에 어려움이 많다. 이런 변수를 극복하기 위해서는 해당 질환을 앓고 있는 다수의 환자는 물론이고 이들과 비교할 수 있는 대조군을 확보하여 장기간 추적연구를 할 필요가 있다. 또한 국제 기준에 준하는 뇌조직과 뇌척수액, 혈액 등의 조직 샘플 확보도 중요하다. 이를 위해 뇌은행, 뇌 데이터베이스 등 국가 통합관리시스템을 마련하고 연구자들과 공유하는 체계를 마련해야 할 것이다.

중기에는 대표적인 뇌 질환인 치매의 원인을 규명하여 효과적인 치료제를 개발하고, 그 외에 여러 뇌질환을 치료하는 방법도 개발해야 한다. 치매 치료제를 개발하기 위한 기존의 방법이 성과를 거두지 못하고 있으므로, 새로운 원인물질이 있는지, 원인물질을 제거하면 뇌세포 파괴를 막을 수 있는지에 대한 근본적인 연구가 필요하다. 또한, 뇌지도만으로는 확인이 어려운 뇌세포 내 현상들을 환자의 조직샘플 분석과 동물실험 등을 통해 밝혀 뇌질환의 원인을 명확하게 규명해야 한다. 이를 통해, 치매를 포함한 우울증, 자폐증, 조현병 등 각종 뇌질

뇌기능 규명을 통한 뇌질환 극복 및 기억 회복을 위한 기술개발 방향 제안



정상적인 쥐와 자폐증이 있는 쥐의 뇌 신경회로 비교



환의 치료 후보물질과, 뇌질환을 정확하게 진단할 수 있는 진단지표, 즉 바이오마커*를 개발할 수 있을 것으로 예상된다. 한편, 효과적인 치료제 개발을 위해서는 다양한 치료제 후보물질을 발굴하고 효능을 평가·시험하는 기술이 필요하다. 인공지능을 활용하여 치료제 후보물질을 탐색한다면 치료제 개발 기간과 비용을 크게 낮출 수 있을 것이다. 또한, 줄기세포를 이용해 뇌조직, 신경세포를 재생하는 기술을 개발하여 뇌질환 치료에도 활용할 수 있다.

장기적으로는 인간의 기억을 회복하는 기술에 도전해 볼 필요가 있다. 기억을 영상화하거나 저장할 수 있는 매체와 저장된 기억을 다시 인간의 뇌에

전달할 수 있는 방법이 개발된다면 가능할 것이다. 이를 통해 본인의 기억을 주기적으로 저장하고, 치매나 노환으로 인해 기능이 저하되거나 사고로 인해 기억이 손상되더라도 두뇌능력을 건강한 상태로 회복할 수 있을 것이다.

4-4.

인간의 신체적·지적 능력 보완 및 확장

4-4-1. 장애와 노화를 극복하는 신체적 능력 회복 및 극대화

* 바이오마커란 몸 안의 변화를 통해 질병을 진단할 수 있는 지표이다. 예를 들어, 암은 암세포가 증식하며 특정 단백질을 혈액으로 배출하는데, 이 단백질을 바이오마커로 활용하여 이와 반응하는 진단시약을 사용하면 간단한 혈액검사만으로 암을 진단할 수 있다.

1) 미래의 기술수요

우리나라에는 2017년 기준 267만 명의 장애인이 있는 것으로 추정되고, 유형별로는 지체장애 128만 명, 뇌병변장애 31만 명, 청각장애 29만 명, 시각장애 27만 명, 지적장애 22만 명 등의 순서이다.^[138] 세계보건기구(WHO)에 따르면, 세계적으로는 10억 명 이상이 한 가지 이상의 중증·경증 장애를 갖고 있다고 한다.^[139] 바이오, 디지털, 로봇 기술 등을 융합하여 인간의 신체적 능력을 높이는 증강인간 기술로 장애인들의 불편을 일정 부분이라도 해결할 수 있다면 인류의 복지 향상에 크게 기여할 수 있을 것이다.

증강인간 기술은 저출산·고령화 문제에 대응하는 데에도 활용될 수 있다. 우리나라는 생산가능인구가 점점 감소하고 고령인구가 증가하여 2067년에는 고령인구 비중(46.5%)이 생산가능인구 비중(45.4%)을 추월할 전망이다.^[140] 따라서 미래에는 고령인구가 어떤 형태로든 생산활동에 참여할 가능성이 높기 때문에 약해진 근력을 보조하는 증강인간 기술이 필요하게 될 것이다.

또한, 증강인간 기술은 장애나 노화로 인해 몸이 불편한 사람뿐 아니라 군인, 노동자 등 특정 업무를 하는 사람들에게도 활용될 수 있다. 근력을 지원하여 무거운 물건을 들고 빠르고 안전하게 목적지까지 이동할 수 있도록 돕는 것이다. 이처럼 미래에는 증강인간 기술이 특정한 대상만이 아니라 누구나 활용할 수 있는 보편적인 기술로 자리매김할 것으로 전망된다.

국가 차원에서 다양한 종류의 장애나 노화를 극

복하고 특정 업무를 지원하는 증강인간 기술을 개발하고 이를 다수에게 보급한다는 목표를 설정하여 과학기술을 통해 실현해 나가야 할 것이다. 예를 들어 “2045년까지 5대 장애를 극복하는 증강인간 기술 개발, 보급률 50%”, “근력을 10배 높여주는 군사용 웨어러블 로봇 개발 및 실전 배치” 등과 같이 목표를 구체화할 수 있을 것이다.

2) 기술의 현황

인간의 신체적 능력을 높이는 증강인간 기술은 부착·착용하는 방식(웨어러블), 신체 내외부에 이식하는 방식, 신체 조직이나 장기를 대체하는 방식 등으로 나눌 수 있다. 용도에 따라 다르긴 하겠지만 대체로 기술이 발전함에 따라 부착·착용, 내부 이식, 조직·장기 대체 등의 순서로 진화해 나갈 것으로 예상된다.^[141]

부착·착용 방식은 지체장애인, 시각장애인, 군인이나 작업자 등을 대상으로 한 장비들이 개발되고 있다. 지체장애인을 위한 장비로는 하반신 마비 장애인이 일어나기, 걷기, 계단·경사 오르내리기 등을 할 수 있도록 하는 착용형 로봇 다리,^[142] 인간의 피부와 근육·골격·관절 등을 모방하여 생각대로 움직이고 느낄 수 있는 착용형 인공팔^[143] 등이 있다. 시각장애인을 위한 장비로는 사용자가 착용하면 원하는 목적지에 도달하도록 안내해주는 기기가 개발된 바 있다.^[144] 군인·작업자용 장비는 무거운 것을 들거나 힘들지 않게 걷거나 불편한 자세를 유지하는 것을 돕는 다양한 장비들이 개발된 바 있다.^[145]

내부 이식 방식의 대표적인 사례는 ‘전자 눈

(electronic eye)’이다. 전자 눈의 원리는 먼저 망막에 백금 칩을 이식한 후, 안경에 부착된 소형 카메라가 전방을 촬영한 이미지를 허리에 착용한 컴퓨터로 보내고, 여기서 영상을 데이터로 변환해 망막에 내장된 칩을 거쳐 시각 중추로 전달하는 것이다.^[146] 카메라가 촬영한 이미지를 전기 신호로 바꾸고 이를 두개골과 뇌 사이에 심겨진 전극 배열을 거쳐 뇌의 신경계로 보내서 시각정보를 인식하도록 하는 기술도 개발되고 있다.

조직·장기 대체는 인체의 각 부분을 모방하여 인공장기, 인공피부, 인공뼈, 인공혈액 등을 설계하여 만드는 것이다. 신체조직과 장기를 복원·재생·대체하는 인공조직이나 인공장기 기술의 경우, 현재는 재생의학 관점에서 인공피부나 연골과 같은 일부 조직에 한정하여 연구를 진행하고 있으며, 이와 병행하여 인체를 구성하는 다양한 조직, 기관으로 자라날 수 있는 줄기세포에 대한 연구도 이루어지고 있다. 특히, 완전히 자란 체세포를 반대로 분화시킴으로써 줄기세포를 만드는 역분화줄기세포 기술이 주목을 받고 있다. 또한, 인체 세포를 3차원 구조로 쌓아 인공장기를 만드는 3D바이오프린팅 기술도 발전하면서 인공장기의 실현과 상용화의 가능성을

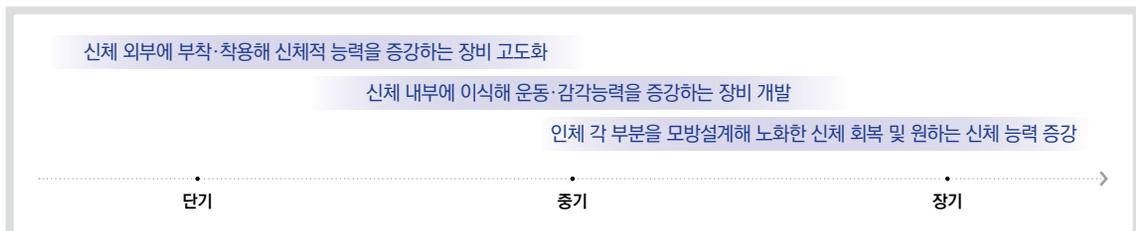
높이고 있다. 인공혈액의 경우 혈액의 가장 중요한 역할인 세포로 산소를 전달하는 기능을 할 수 있도록 동물 등을 통해 적혈구를 만드는 기술이 개발되고 있다.

3) 기술개발 방향 제안

단기에는 신체 외부에 부착하거나 착용하여 근력 등 신체능력을 보완하고 증강시키는 웨어러블 장비를 고도화하는 것이 필요하다. 특히, 사용자가 착용했을 때 불편함을 느끼지 않도록 사용자의 자세와 움직임을 파악해 작동해야 한다. 또한, 유연한 소재, 새로운 구동장치의 개발도 이루어져야 한다. 신체와 컴퓨터(기계)를 연결하여 운동이나 감각 기능을 보다 정교하게 만드는 기술, 착용자의 의도를 파악하는 알고리즘, 다리 근육이나 힘줄의 움직임을 모방하여 걷기, 달리기, 높이뛰기 등의 동작에 필요한 에너지를 줄여주는 기술도 개발될 수 있다.

중기에는 신체 내외부에 직접 이식하여 상실 또는 퇴화된 신체기능을 회복하거나 신체능력을 증강시키는 기술이 개발될 수 있을 것이다. 대표적으로, 눈 또는 귀에 장비를 이식하여 시각정보나 음성 정보를 전자신호로 변환하고 뇌까지 전달하여 상

장애와 노화를 극복하는 신체적 능력 회복 및 극대화를 위한 기술개발 방향 제안



실된 시각이나 청각 기능을 회복시키는 기술, 피부에 이식하여 촉감을 인지하는 기술 등을 고려할 수 있다. 또한, 이러한 장비들은 인체에 직접 이식되기 때문에, 면역거부반응이 적고 생체적합도가 높아야 한다. 그리고 이식된 기기나 장비가 마치 한 몸처럼 움직이며, 사용자와 장비 간 유기적인 상호작용이 가능해야 한다. 특히, 인간의 뇌 신호로 직접 장비, 기기 등을 움직이고 촉감, 질감 등 감각까지 온전하게 느낄 수 있게 하는 신경망 인터페이스 및 제어 알고리즘 연구가 이루어져야 한다.

장기적으로는 인공장기, 인공피부, 인공뼈, 인공혈액 등의 기술이 상용화될 수 있을 것이다. 이 경우에도 신체에 이식하는 경우와 마찬가지로 인체의 거부반응을 최소화하는 것이 중요하므로, 환자로부터 얻은 줄기세포를 활용해 장기를 배양하거나 환자의 체세포를 이용한 바이오잉크 프린팅 소재를 활용하여 면역거부 반응이 적은 맞춤형 장기를 생산할 수 있어야 한다. 산소를 운반하는 적혈구, 면역작용을 하는 백혈구, 지혈작용을 하는 혈소판 등을 모두 포함하여 인간의 혈액을 거의 완전히 대체할 수 있는 인공혈액의 개발도 도전할 필요가 있다.

4-4-2. 인공지능 알고리즘·하드웨어 고도화로 지적 능력 향상

1) 미래의 기술수요

인공지능은 인류의 삶을 근본적으로 변화시킬 범용기술(general purpose technology)*로 주목받고 있다. 인공지능은 1997년 체스, 2011년 퀴즈 대결에 이어 2016년 가장 고차원적인 게임인 바둑에서도 차례로 인간 챔피언을 이기며 지적 능력을 과시했다. 실생활에서는 우리가 원하는 인터넷 정보를 찾아주고, 이메일 수신함에서 스팸메일을 걸러주며, 인간과 대화하여 통역·번역을 수행하고, 개인별로 선호하는 음악이나 영화를 추천해준다. 그리고 주식 등 투자할 금융상품을 결정하고 대출희망자의 과거 금융거래와 인터넷 기록을 분석하여 대출 여부를 심사한다. 의료영상을 판독하여 의료인에게 질환의 유무를 조언하기도 하고, 방대한 의료기록을 분석하고 후보 물질을 도출하여 신약 개발기간을 단축하기도 한다.^[147] 사람 대신 자동차를 운전하고, 제조나 발전 설비를 최적의 상태로 운영하면서 언제 부품을 교체해야 할지 알려준다. 또한, 전문가도 구별하기 어려운 정도로 웹브란트처럼 그림을 그리고 바흐처럼 음악을 작곡하며 엘리엇처럼 시를 쓰기도 한다. 이처럼 인공지능은 산업 및 사회 각 분야에서 활용되며 인류의 삶에 막대한 영향을 미치고 있다.

그러나 인공지능은 학습을 하려면 많은 양의 데이터가 필요하고, 한 분야에서 학습한 지능을 다른 분야로 확장하기 어려우며, 문맥 파악 등 복잡한 상황에서는 활용하기 어렵고, 결과물이 도출된 과정이나 근거에 대한 설명이 어렵다는 단점들도 지적

* 범용기술이란 증기기관, 전기, 인터넷 등과 같이, 다른 분야로 급속히 확산되고, 지속적 개선이 가능하며, 혁신을 유발하여 경제사회에 큰 파급효과를 미치는 기술을 의미한다(관계부처합동(2016.12.27.), 제4차 산업혁명에 대응한 지능정보사회 중장기 종합대책).

되고 있다. 이를 해결하려는 노력이 다양한 방식으로 시도되고 있으나 아직 충분한 성과는 나오지 않은 상황이다. 또한, 한편에서는 최근 인공지능에 대한 기대가 과도한 수준이라며 인공지능 만능주의를 경계하는 목소리도 나오고 있다.^[148]

과거에도 인공지능에 대한 기대와 실망이 반복되어 왔지만,^[149] 이제는 인공지능의 잠재력에 대한 확고한 믿음을 토대로 실용주의적 접근이 필요한 시점이다. 어떤 기술의 잠재력과 한계는 사전에 정해져 있는 것이 아니라 인간이 어떻게 활용하는지에 따라 결정되기 때문이다. 인공지능이 풍부한 데이터로부터 패턴을 발견하는 능력이 탁월하다는 사실은 이미 충분히 검증되었다. 따라서 인공지능의 단점을 해결해 나가는 한편, 분야별로 인공지능을 적용하여 산업 및 사회의 효율성을 높여 나간다는 국가적인 목표를 설정하고 지속적으로 추진해 나가야 할 것이다.

2) 기술의 현황

인공지능이 작동하기 위한 필수적인 요소는 알고리즘, 컴퓨팅, 데이터이므로,^[150] 인공지능 기술도 이에 따라 3개 분야로 구분할 수 있다.

인공지능 알고리즘은 다시 연역적 방법과 귀납적 방법으로 구분된다.^[151] 연역적 방법은 인간이 알고 있는 지식이나 규칙을 컴퓨터 프로그램으로 작

성한 다음 여기에 데이터를 입력하여 원하는 결과를 얻는 방식이며, 1980년대부터 활용되고 있는 전문가시스템이 이에 해당된다. 연역적 방법은 발생가능한 모든 상황에 대해 인간이 지식이나 규칙을 알고 있을 경우에 유용하다. 귀납적 방법은 많은 데이터를 수집한 다음 이를 컴퓨터가 분석하여 지식이나 규칙을 스스로 찾도록 하는 방식이며, 기계학습(machine learning)이라고도 부른다. 문제의 복잡성과 불확실성이 증가함에 따라 기계학습이 인공지능을 주도하고 있다. 그 중에서도 최근에는 인간의 뇌에서 일어나는 인지적 과정을 모방하여 만든 딥러닝(deep learning) 기술이 각광받고 있다.*

컴퓨팅 기술은 인공지능을 구동하는 하드웨어를 만드는 기술로, 그래픽처리장치(graphics processing unit, GPU)가 대표적이다. GPU는 과거에는 PC의 중앙처리장치(central processing unit, CPU)를 보완하여 주로 그래픽처리에 사용되었으나, 인공지능에서 높은 성능을 구현하면서 CPU를 대체하는 반도체로 주목받고 있다. 그 이후 인공지능에 최적화된 처리장치로 신경망처리장치(neural processing unit, NPU), 인간의 뇌를 모방한 뉴로모픽칩(Neuromorphic chip) 등이 개발되고 있다. 또한, 차세대 인공지능 하드웨어로서 기존 슈퍼컴퓨터보다 연산능력이 수억 배 이상 빠른 양자컴퓨팅(quantum computing)**에 대한 연구도

* 인공지능, 기계학습, 딥러닝 등의 개념 정의와 기술 분류는 연구자에 따라 다소 차이는 있지만, 인공지능에 기계학습이 포함되고, 기계학습에 딥러닝이 포함된다고 보는 것이 일반적이다.

** 양자컴퓨팅은 0과 1뿐만 아니라 수많은 상태를 가질 수 있는 양자의 특징을 이용하여 대량의 데이터를 빠르게 계산하는 컴퓨팅이다. 기존의 이진법 기반 컴퓨팅에서는 정보를 저장하는 단위로 비트(bit)를 사용하는데, 양자컴퓨팅에서는 큐비트 또는 쾨텀비트(qubit, quantum bit)를 사용한다.

활발하게 진행되고 있다.^[152]

데이터 기술은 주로 빅데이터, 즉 양이 많고 (volume), 형태가 다양하며(variety), 생성 속도가 빠른(velocity) 데이터를 수집, 저장, 관리하는 기술이다. 예를 들어, 여러 대의 컴퓨터를 연계하여 대용량 데이터를 처리하는 하둡(Hadoop), 대용량의 데이터를 분산해서 병렬적으로 처리하는 맵리듀스(MapReduce) 등이 있다.

3) 기술개발 방향 제언

단기적으로는 현재 주로 활용되고 있는 딥러닝 알고리즘을 개선하는 기술이 개발되어야 한다. 의료, 교통 등 사고의 가능성이 있는 분야에 딥러닝이 본격적으로 활용되기 위해서는 결과물이 도출된 과정이나 근거를 제공하는, 즉 '설명 가능한 인공지능(explainable AI)'이 필요하다. 데이터가 적은 경우에도 효과적으로 학습할 수 있는 알고리즘도 유용할 것이다. 또한, 인간과 협업하는 인공지능, 즉 협력지능(collaborative intelligence)도 개발되어야 한다.^[153] 인공지능의 좌뇌와 인간의 우뇌가 결합되면 더 나은 의사결정을 할 수 있기 때문이다. 하드웨어 측면에서는, 초저전력, 고성능 인공지능 반도체 기술이 개발될 수 있을 것이다. 특히, 사람의 신경망을 모방한 데이터 회로를 구현하기 위해 회로를 구성하는 소자의 개발과 신경망 회로의 설계가 필요하다. GPU, NPU 등 비메모리 반도체 이외에도, 기억(메모리)과 연산(프로세서)을 통합한 반도체인 PIM(processing-in-memory)도 개발될 수 있을 것이다.

중기에는 지금까지 언어, 시각, 음성 등 단일 기능만을 처리할 수 있었던 한계를 극복하여, 여러 기능을 동시에 복합적으로 처리할 수 있는 복합기능(integrated intelligence) 알고리즘이 개발될 수 있을 것이다. 이를 위해 형태가 정해지지 않은 텍스트, 이미지, 영상 등에 포함된 디지털 데이터를 이해하는 기술, 인간과 상호작용하고 협력하기 위해 대화를 생성하는 기술 등이 확보되어야 한다. 또한, 현재는 로봇과 인공지능 기술이 독립적으로 개발되고 있는데 이 둘을 결합하는 시도가 이루어져야 한다. 이를 통해 인공지능 탑재 로봇은 인간처럼 현실 세상과 직접 소통하며 학습해나갈 수 있을 것이다.^[154]

장기적으로는 인공지능 알고리즘과 인공지능 반도체 기술이 발전함에 따라 인간 두뇌를 완벽히 모사하여, 인간과 인공지능 간 자유로운 소통뿐만 아니라 창의적 사고나 지적 교감까지도 가능한 인공지능 휴머노이드(인간형 로봇)도 구현할 수 있을 것이다. 이를 통해 부족해진 노동력을 대체하거나 고령인구의 고독감이나 소외감을 해결하여 생산가능 인구 감소와 고령화 문제 해결에 기여할 것이다. 한편, 미래에는 양자컴퓨팅을 기반으로 하여 인공지능이 더욱 고도화될 수 있다. 따라서 지금은 쉽게 풀기 어려운 기상기후 예측이나 감염병 확산경로 예측 등 복잡한 문제의 해결에 활용할 수 있다.

인공지능 알고리즘·하드웨어 고도화로 지적 능력 향상을 위한 기술개발 방향 제안



4-5. **자원 고갈에 대비한 농어업·제조업·에너지 혁신**

4-5-1. **농어업·제조업 스마트화 및 미래식량 개발**

1) **미래의 기술수요**

미래에 생산가능인구 감소로 인한 노동력 부족에 대응하기 위해 제조업의 효율성을 높이는 것이 필요하다. 우리나라의 15~64세 생산가능인구는 2045년에 2,658만 명이 될 것으로 전망되는데 이는 2017년의 약 71% 수준에 불과하다.^[155] 또한, 우리나라는 해외 주요국에 비해 제조업 비중이 높고^[156] 경제성장에서 중요한 역할을 하고 있기 때문에 제조업의 혁신이 더욱 중요하다.

세계적으로 제조업의 효율성을 높여 자원을 절약할 수 있다면 지구의 자원 고갈 문제를 해결하는데 일정 부분 기여할 수 있을 것이다.^[157] 현재 인류는 지구가 생산할 수 있는 것보다 많은 자원을 소비하고 있기 때문에 미래에는 자원 소비량을 줄임으로써 자원 고갈 문제를 해결하지 않으면 안 될 것이다.

전 세계 인구가 2019년 77억 명에서 2067년 104억 명으로 증가할 것으로 전망됨에 따라,^[158] 기존 식량의 생산성 증대와 미래식량의 개발이 필요한 상황이다. 기아 해결은 UN이 선정한 2030년까지 달성해야 하는 17개 지속가능발전목표(SDGs) 중 하나이다. 2015년 기준 세계인구의 약 9%인 7억 명이 굶주림을 겪고 있고 그 중 1억 3,500만 명은 심각한 기아 상태이다.^[159] 우리나라 관점에서도 식량 문제는 중요하다. 2018년 기준 우리나라의 식량자급률이 46.7%에 불과함을 고려할 때,^[160] 식량안보 차원에서 식량의 생산성을 높이는 기술혁신은 국가 차원에서 중점적으로 추진해야 할 과제이다.

또한, 미래식량의 개발은 단순히 식량 부족 문제뿐만 아니라 건강 측면에서도 중요하다. 2016년 기준 전 세계의 18세 이상 인구의 39%인 19억 명이 과체중이고 13%인 6억 5천만 명은 비만이다.^[161] 그리고 전 세계의 당뇨병 환자는 1980년 약 1억 1천만 명에서 2014년 4억 2천만 명으로 급격히 증가했다.^[162] 비만, 당뇨 등을 해결하는 건강식이나 기능성 식품의 개발은 사회 문제를 해결하는 동시에 미래 유망산업이 될 것이다.

2) 기술의 현황

제조 효율화와 관련해서는 센서, 사물인터넷, 빅데이터 등의 기술을 접목하여 공장설계부터 제품생산, 품질관리까지 전 과정을 관리하는 디지털 제조 시스템 또는 스마트 공장이 개발되고 있다. 이 시스템은 데이터 플랫폼과 연계되어 생산 공정에서 수집된 데이터를 토대로 공정을 최적화하고, 사전에 부품 교체 시기나 고장 가능성을 예측하여 가동률을 높임으로써 생산성을 높인다. 가상물리시스템(cyber physical system) 또는 디지털 트윈(digital twin)도 제조공정에 적용되고 있다. 이는 공장의 데이터를 바탕으로 현실과 동일한 가상의 공정이나 제품을 구현하여 발생 가능한 상황을 시뮬레이션하는 기술이다. 이를 통해 공정이나 제품을 변경할 때 나타날 수 있는 시행착오나 결함을 줄일 수 있어, 비용을 절감하고 공정의 효율과 제품의 완성도를 높일 수 있다. 또한, 조립 등 단순반복 작업을 자동화하기 위해 산업용 로봇의 개발 및 적용도 늘어나는 추세이다.

농어업 효율화와 관련해서도 농장과 양식장에 정보통신기술을 활용한 스마트팜(smart farm)과 아쿠아팜(aqua farm)이 운영되고 있고 관련 기술 개발도 활발하게 추진되고 있다.^[163] 과거의 경험에만 의존하던 재배·사육·양식 방법에 품종, 환경 등 다양한 데이터를 바탕으로 한 최적의 재배·사육·양식 알고리즘을 적용함으로써 적정투입 및 최적제어를 통해 산출량을 늘릴 수 있다.^[164] 이는 생산원가 절감뿐 아니라 고령화로 인한 인력 부족, 기후변화^[165] 등의 문제를 해결하는 데에도 기여할 것이다.

최근에는 수직으로 세워진 계단 형태의 공간에 1년 내내 농작물을 재배하는 수직농업도 시도되고 있다.

푸드테크는 식품에 디지털·바이오·나노 등의 기술을 적용하여 부가가치를 높이거나 새로운 식품을 만드는 기술이다. 기존 식품에서 칼로리 등은 낮추고 특정 영양소의 함량은 높이는 기술, 와인의 숙성 기간을 단축하는 기술, 설탕·육류 등과 같이 건강과 환경에 유해한 식품을 대체하는 식품을 개발하는 기술 등이 있다. 특히 최근에는 인공육이 식량 부족, 만성질환, 환경오염 등을 해결하는 유망기술로 주목받으면서 많은 스타트업이 등장하고 있다.^[166]

3) 기술개발 방향 제안

단기에는 스마트공장 구현을 위한 부품 및 장비 등의 기반기술이 개발되어야 한다. 대표적으로 감속기, 구동기, 모터 등 로봇 및 제조장비의 핵심 부품과 기존 제조공정을 빅데이터 기반의 제품설계·생산 공정으로 전환하기 위한 기술이 필요하다. 스마트 공장을 고도화하기 위해 기존의 산업용 로봇을 보완하는 협업제조로봇의 개발도 필요하다. 협업제조로봇이란 생산 현장에서 사람과 상호작용하여 단순반복작업, 정밀작업, 위험작업 등을 수행하는 로봇이다. 또한, 3D프린팅의 경제성을 높이는 기술도 개발되어야 한다. 3D프린팅은 기존 제조업을 혁신할 기술로 주목받았지만 기존 제조방식에 비해 속도가 느려서 경제성이 낮았다. 제조속도를 높일 수 있는 공정·소재, 고정밀도의 대면적 인쇄가 가능한 3D프린터 등이 개발된다면 3D프린팅이

시제품이나 부품 생산 등 다양한 곳에 활용될 수 있을 것이다. 농어업 분야에서는 스마트농업을 구현하여 식량 생산성을 높이기 위해 자율주행 농기계, 수확 및 운반 자동화 기계 등 지능형 농기계, 영상·센서 기반의 무인감시시스템을 활용한 디지털 식물 생육제어시스템 등이 개발될 필요가 있다.

중기에는 완전자동화된 스마트공장이 상용화되어 산업 전반으로 확산될 수 있을 것이다. 산업 장비에 사물인터넷과 인공지능이 적용되어 다양한 제조 공정이 비대면·비접촉으로 관리되고 자동화·무인화 될 것으로 예상된다. 농어업 분야에서는 스마트화된 농장이 저장·유통·소비 단계 빅데이터를 연계하고 이를 분석해 최적의 수확 시기를 결정하여 종자, 비료, 농약을 살포하고 자동으로 온도와 습도를 조절하는 등 완전자동화된 식량생산시스템이 실현될 것이다. 이러한 시스템에서 식물이 자라는 최적의 환경을 유지하기 위해, 초정밀센서, 농장 관리용 소프트웨어, 드론, 무인 농업로봇 등의 기술이 필요할 것이다. 이를 통해 인간의 노동력 없이 24시간, 365일 자동으로 운영되는 농장도 상상해볼 수 있다.

장기적으로는 4D프린팅 등 새로운 제조 기술의

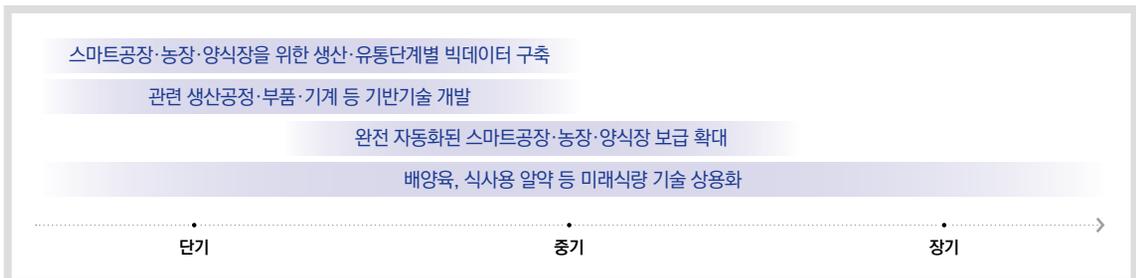
개발에도 도전해야 할 것이다. 4D프린팅이란 3D로 프린팅한 물체가 열이나 공기 같은 외부 요인에 의해 스스로 변형하여 사용자가 바라는 결과물을 만드는 기술을 말한다. 4D프린팅을 구현하기 위해서는 형상기업합금, 형상기업섬유 등 새로운 소재의 개발도 함께 이루어져야 한다. 이를 통해 상황이나 환경에 따라 형상이 달라지는 제품의 개발도 가능할 것이다.^[167] 농어업 분야에서는 미래식량 개발을 적극적으로 추진해야 한다. 예를 들어, 인공육은 식물성 단백질로 만드는 식물육과 동물의 세포조직을 배양해 만드는 배양육으로 구분된다. 사회의 수요에 따라 두 가지 기술이 함께 발전해 나갈 것이며, 인공육의 성분을 개량하고 생산 속도를 높이는 등의 기술개발이 이루어질 수 있을 것이다. 또한, 미래에는 필수영양소와 포만감을 제공하는 식사용 알약의 개발도 상상해 볼 수 있다.

4-5-2. 친환경 에너지원 확보 및 에너지 효율화 추진

1) 미래의 기술수요

에너지는 우리 생활과 산업에 필수적인 요소

농어업·제조업 스마트화 및 미래식량 개발을 위한 기술개발 방향 제안





이므로, 에너지를 안정적으로 생산하고 효율적으로 사용하는 것은 세계적으로나 국가적으로나 매우 중요한 과제이다. 인구가 증가하고 산업이 발달함에 따라 미래에는 현재보다 더 많은 에너지를 사용할 것이다. 국제에너지기구(IEA)의 2018년 세계 에너지 수요 전망에 따르면, 2040년경 세계는 지금보다 25% 이상 더 많은 에너지를 사용할 전망이다.^[168] 특히 우리나라는 급속한 경제성장으로 인해 1인당 에너지 소비량이 세계 평균에 비해 매우 높고 지난 30년간 매년 약 5%씩 늘어나고 있어서,^[169] 향후 에너지 생산 및 소비 구조에 변화가 필요하다. 또한, 우리나라는 2018년 기준 에너지 수입 의존도가 93.7%에 달하므로,^[170] 에너지 안보 측면의 고려도 필요하다.

먼저, 에너지 공급 측면에서는 현재 주로 사용하고 있는 석탄, 석유 등의 화석에너지가 매장량이 한정되어 무한히 사용할 수 없다. 온실가스와 미세먼지 등 대기오염물질을 배출하는 것과 생산과 소비에 따라 가격변동성이 크다는 것도 단점이다. 따라서 미래에 오랫동안 사용할 수 있고 깨끗한 에너지

를 찾는 노력을 기울여야 한다. 정부는 2030년까지 재생에너지 발전량 비중을 20%로 늘린다는 '재생에너지 3020' 정책을 추진하고 있다.^[171] 향후에도 "2045년까지 재생에너지 발전량 비중 30%" 등과 같이 구체적인 목표를 설정하고 이를 실현하기 위한 정책을 추진할 필요가 있다.

에너지 수요 측면에서는 에너지 절약과 병행하여 에너지 효율화를 위한 노력이 필요하다. 에너지 효율화란 관련 기술의 개선을 통해 기존보다 적은 양의 에너지로 동일한 효율을 만들어 내는 것이다. 즉, 에너지 절약이 에너지를 적게 사용하는 것이라면 에너지 효율화는 같은 양의 에너지를 보다 효율적으로 사용하는 것이다. 에너지 효율화를 위해서는 에너지 수요와 공급을 효율적으로 매칭하고 손실을 최소화해야 한다.

2) 기술의 현황

에너지 기술은 크게 공급과 수요로 구분할 수 있다. 공급 기술은 에너지를 생산하는 것으로, 태양광 발전, 수소에너지, 풍력 발전 등이 있고, 수요 기

술은 생산된 에너지를 활용하는 것으로, 효율 향상, 수요 반응 등이 있다.

태양광 발전은 햇빛을 받으면 광전효과(photovoltaic effect)에 의해 전기가 발생하는 태양전지를 이용한 발전방식이다. 무한한 태양에너지를 활용하여 무공해 에너지를 얻을 수 있지만, 넓은 설치면적이 필요하고 발전량이 일사량에 의존한다는 단점이 있다. 발전시설을 주로 지상에 설치하지만 수상 또는 해상에도 설치하고 있고, 최근에는 우주에서도 추진되고 있다. 우주 태양광 발전은 지구 궤도를 도는 거대한 태양전지판으로 전기를 생산하고 이를 지구로 전송한다.

풍력 발전은 바람을 이용하여 터빈을 회전시켜 발전을 하는 방식이다. 발전을 하기 위해서는 일정 수준 이상의 풍속이 필요하기 때문에 발전설비를 주로 해안이나 산간에 설치한다. 최근에는 바다에 설치하는 부유식 해상풍력 발전도 추진되고 있다.^[172]

수소에너지는 수소 형태로 에너지를 저장하고 이를 연료전지에서 산소와 결합하여 전기를 얻는 방식이다. 연료전지(fuel cell)란 연료에 전기화학적 반응을 일으켜 전기에너지를 발생시키는 장치이다. 수소에너지는 수소로 전기를 생산할 때는 부산

물이 물뿐이므로 친환경적이라고 할 수 있지만, 그 수소를 어떻게 생산할 것인가가 관건이 된다.^[173] 현재 수소는 주로 물을 전기분해하거나 화석연료에서 수소를 분해하여 얻는데, 태양광 등 친환경 에너지를 활용하여 물을 전기분해하면 친환경적이지만 경제성이 낮고, 화석연료를 사용하여 수소를 생산하면 환경성이 낮아진다.

효율 향상은 에너지 효율이 높은 기기와 시스템을 사용하여 에너지 사용량을 줄이는 것이다. 주로 LED 조명, 단열설비 등의 고효율 기자재가 활용되고, 에너지관리시스템(EMS)으로 측정 및 관리를 수행한다. 에너지관리시스템은 정보통신기술을 활용하여 에너지 사용량을 측정하고 낭비요인을 파악하여 개선하는 시스템이다. 또한, 단열 성능을 극대화하고 친환경 에너지를 활용하여 건물에 필요한 에너지를 자체적으로 공급하여 에너지 자립을 구현하는 제로 에너지(zero-energy) 빌딩도 추진되고 있다.^[174]

수요 반응(demand response)은 에너지 수급에 따라 가격을 조정하여 소비자가 그에 따라 소비를 조절하도록 하는 것이다. 이를 구현하기 위해서는 스마트그리드의 구축이 필요하다.^[175] 스마트그리드(smart grid)란 정보통신 기술을 활용하여 전력 생

전지의 종류별 정의 및 예시

구분	정의	예시
1차 전지	한 번 사용하고 나면 재사용이 불가능한 배터리	시계, 리모컨 등에 사용되는 건전지
2차 전지	방전된 후 충전과정을 거쳐 반복사용이 가능한 배터리	스마트폰, 노트북 등에 사용되는 리튬이온 배터리
3차 전지(연료전지)	연료의 화학반응으로 전기를 만들어내는 장치	수소로 전기를 만들어내는 수소차 연료전지

산 및 소비 정보를 양방향 및 실시간으로 교환하여 에너지 수급을 효율화하는 전력망이며, 스마트미터기, 에너지저장시스템(ESS) 등으로 구성된다. 에너지저장시스템(ESS)은 생산된 에너지를 저장했다가 필요한 시기에 공급할 수 있는 장치를 말한다.

3) 기술개발 방향 제안

단기적으로는 태양전지의 효율을 높이는 기술을 개발할 필요가 있다. 예를 들어, 최근 페로브스카이트(perovskite)라는 광물을 사용한 태양전지가 개발되고 있는데, 실리콘 태양전지에 비해 제조공정이 단순하고 비용이 낮다. 실리콘과 페로브스카이트를 함께 사용하면 발전효율을 더 높일 수 있다고 알려져 있다.^[176] 그리고, 2차전지 기술의 고도화가 필요하다. 배터리의 사용시간을 늘리기 위해 전국 내 에너지 저장능력을 높이는 기술이 필요하다. 수소에너지의 경우 청정수소의 안정적인 확보가 필요하다. 물의 전기분해를 통해 수소를 얻는 수전해기술 수준

을 높이고, 태양광·풍력 등의 친환경 에너지원에 의한 수소 생산단가를 화석연료 수준에 근접하게 낮추는 것이 필요하다. 또한, 연료전지의 에너지 전환 효율을 높여야 하며, 안전한 저압형의 고체수소 저장방식을 도입하고 수소 공급 인프라를 구축해야 한다. 에너지 효율화 분야에서는 스마트그리드 기술의 고도화가 필요하다. 최근에는 기존의 스마트그리드에 태양광 발전 등 친환경 에너지를 연결한 분산전원 스마트그리드가 주목받고 있다. 스마트그리드에 인공지능을 접목하여 지역, 도시, 건물의 에너지 생산·관리 시스템을 갖추고, 에너지를 효율적으로 사용해 나가야 할 것이다.

중기에는 태양광의 경우 장소의 제약 없이 발전이 가능하도록, 건물의 유리창, 외벽, 도로 등 다양한 곳에 투명 태양광 패널을 설치해 전력을 생산하는 것을 예상해 볼 수 있다. 이를 위해 유연성, 내구성, 투광성을 갖춘 태양광 소재 및 패널 개발이 필요하다. 차세대 에너지 저장 기술의 개발도 필요하다.

친환경 에너지원 확보 및 에너지 효율화 추진을 위한 기술개발 방향 제안



예를 들어, 배터리의 내부를 채우는 기존 액체 전해질*의 폭발 위험성을 개선한 고체 전해질 기술을 개발해야 한다. 초에너지 밀도의 전지 개발을 위해 수 개의 단위 전극을 직렬로 연결하여 높은 에너지 밀도와 전압을 얻을 수 있는 바이폴라구조 등의 개발도 필요하다. 그리고 도전적인 목표이지만 별도의 충전 없이도 반영구적으로 사용 가능한 배터리의 개발도 예상해 볼 수 있다. 현재 방사성 원소에서 방출된 전자가 반도체에 충돌하여 전기를 생산하는 연료감응 배터전지가 연구되고 있는데 충전 없이도 오랫동안 사용할 수 있어서 우주·의료 분야에 활용될 것으로 기대된다. 또한, 재생에너지 보급 증대에 따라 전력망의 안정성과 재생에너지의 기저전력화를 위해 대용량, 저비용의 전력저장 시스템이 필요하다. 두 개의 전해질을 반영구적으로 사용하는 플로우 배터리(flow battery), 대용량의 전력을 열 형태로 저장하는 기술 등이 개발되고 있다.

장기적으로는 고효율의 우주 태양광 발전을 통해 대량의 에너지를 공급받을 수도 있을 것이다. 우주에서는 태양광이 지구 대기권에 의해 감소하지 않으므로 높은 효율의 발전이 가능할 것으로 예상되나, 높은 설치비용이나 생산한 에너지의 손실을 최소화하여 지구로 전송하는 문제는 앞으로 해결해야 할 과제이다. 수소에너지의 경우 단기와 중기에 걸친 수소 생산·공급 기술의 개발을 통해 수소에너지를 사용하는 선박, 버스, 기차, 드론, 항공기 등 각종

수소 운송수단이 확산·보급될 것으로 예상된다.

4-6.

우주 생활권 및 안전하고 편리한 이동 실현

4-6-1. 우주를 넘나들고 지상을 고속주파하는 유인 운송수단 개발

1) 미래의 기술수요

연결은 소통과 교류이며, 연결의 속도는 소통과 교류의 활성화 정도를 결정한다. 이는 디지털 세상에서 뿐만 아니라 현실 세상에서도 똑같이 적용되며, 우리나라는 1970년 경부고속도로와 2004년 KTX를 통해 이미 경험한 바 있다. 따라서 고속 운송수단의 개발은 인류를 제약해 왔던 공간과 시간의 한계를 넘어 소통과 교류를 가능하게 하여 삶의 질을 높인다.^[177]

서울과 세계 각 지역 간의 거리를 보면,^[178] 아시아의 베이징은 954km, 도쿄는 1,153km이고, 유럽의 파리는 8,967km, 북아메리카의 뉴욕은 11,056km, 아프리카의 케이프타운은 13,719km이며, 지구 상에서 우리나라의 정 반대편에 있는 남아메리카의 부에노스아이레스는 19,439km이다. 이착륙, 비행경로 등을 고려하지 않고 단순하게 계산한다면, 운송수단의 속도가 시속 1,000km라면 모든 지역을 20시간 이내에, 시속 6,000km라면 4

* 전해질은 전지 내에서 이온이 양극(+)과 음극(-) 사이를 잘 이동할 수 있게 해 주는 물질이다. 참고로, 2차전지는 양극, 음극, 전해질, 분리막 등 4개 요소로 구성된다.

시간 이내에 이동이 가능하게 되는 셈이다. 즉, 운송수단의 발전에 따라 전 세계가 1일 생활권이 되는 미래도 상상할 수 있다.

고속 운송수단을 통해 전 세계로 이동하는 시간이 몇 시간 안으로 줄어든다면 많은 변화가 일어날 것이다. 예를 들어, 서울에서 뉴욕까지 2~3시간 만에 이동할 수 있게 되면, 사람들의 업무나 여가 등 생활방식에 변화가 생기고 이전에 없던 새로운 경제활동이 가능해질 것이다. 또한, 현재는 부산에서 유럽까지 해상 운송으로 수십 일이 걸리지만, 미래에는 하이퍼루프 등을 통해 하루면 충분할 수도 있다.

우리나라는 대외무역이 중요한 개방경제이므로 세계와의 거리가 가까워질수록 성장가능성이 높아진다. 따라서 우리나라는 전 세계 모든 국가에 3~4시간 만에 도달하겠다는 구체적인 목표를 세우고 초고속 운송수단의 개발에 적극적으로 도전해야 한다.

2) 기술의 현황

초고속 운송수단으로는 공중의 극초음속 항공기, 유인 우주왕복 수송시스템, 지상의 하이퍼루프 등이 있다.

극초음속 항공기는 음속의 5배(마하 5)인 시속 6천km 이상의 속도로 비행하는 항공기로, 이는 일반 항공기 속도의 약 7배에 이른다. 일반적으로 제트엔진에서 얻을 수 있는 비행속도가 제한되는 이유는 엔진으로 유입되는 공기의 속도를 엔진의 연소속도에 맞게 감속해야 하기 때문이다. 따라서 극초음속 항공기 기술의 핵심은 유입되는 공기의 속

도를 초음속으로 유지하면서 연료와 혼합되어 연소가 이루어지도록 하는 것이다. 2004년 이후 미국 등에서 시험비행이 이루어지고 있다.^[179]

유인 우주왕복 수송시스템은 현재의 보잉747, 에어버스380 등의 항공기처럼 비행하지만, 사람을 태우고 우주(지구 저궤도)로 날아갔다가 다시 지구로 돌아오는 수송시스템이다. 유인 우주왕복 수송시스템은 비행기 제트엔진 시스템으로 공항에서 이륙하고, 이륙 후에는 우주 공간에 진입하여 발사체 엔진시스템으로 비행하며, 다시 공항에 착륙할 때에는 비행기 엔진시스템으로 작동한다. 이러한 수송시스템 구축에서 가장 핵심적인 기술은 가변사이클 엔진(variable cycle engine)이다. 이는 마하 이하, 초음속 등 다양한 비행 조건에 맞게 효율적으로 작동하도록 설계된 제트엔진이다.

하이퍼루프는 전용 선로구조물(guideway)을 통해 음속에 가까운 시속 1,200km의 속도로 도시와 도시를 연결하는 교통시스템이다. 철도와 유사하지만, 바퀴가 없는 캡슐형태의 차량(pod)을 거의 진공에 가까운 밀폐된 원형관(tube)에서 자기부상 방식으로 운행한다. 이러한 자기부상 방식은 전자기력으로 차량을 띄워서 원형관과 차량 간 마찰력을 최소화할 수 있다. 하이퍼루프 기술은 운영비용은 상대적으로 낮지만, 전 구간에 원형 구조물을 설치하고 선로에 자기장을 발생시키는 코일을 깔아야 하므로 초기 비용이 많이 든다. 그래서 아직까지는 단거리 구간에서 실험을 하는 수준에 그치고 있다.^[180]

3) 기술개발 방향 제안

단기적으로는 극초음속 항공기의 설계·제작 기술의 확보가 필요하다. 음속을 넘는 속도에서는 항공기가 받는 저항력이 커지고 이에 비례하여 연료 소모도 커지기 때문에 이를 개선하기 위해 탄소섬유 등 신소재를 적용하여 경량화하고 공기 저항력을 줄이는 비행기 동체 디자인을 개발해야 한다. 또한, 극초음속 항공기가 음속을 돌파할 때는 그 충격파로 인해 폭발음이 발생하고 주변 지역의 건물 창문이 흔들릴 정도로 큰 굉음을 일으키는데, 이를 소닉붐(sonic boom)이라고 한다.^[181] 따라서 소닉 붐을 지상이 아닌 대기 중으로 퍼트리는데 등의 방법으로 제거·감소시키는 기술의 개발도 필요하다.^[182] 유인 우주왕복 수송시스템을 개발하기 위해서는 우주공간의 비행환경에 대한 데이터를 확보하고 초고속 추진장치를 검증하는 등 기반기술 개발이 필요하다. 특히, 열 차폐 등 비행 중 탑승객의 생명을 보호하는 기술, 비행체가 안전하게 대기권에 재진입하는 기술, 고속 비행체의 안전한 운항을 위한 정

밀 비행제어 및 관제 기술, 비행체 재사용 기술 등도 확보해야 한다. 하이퍼루프의 경우 차량을 고속으로 움직이고 멈추게 하는 전자기 모터 추진 및 제동 시스템을 개발해야 한다. 차량이 선로구조물 내에서 부상하도록 하는 자기부상시스템, 여객 및 화물을 수송하는 차량 제작기술도 확보해야 한다.

중기에는 마하5 이상의 추진력을 가진 엔진을 개발하여 소형 극초음속 항공기의 상용화에 도전해야 한다. 항공기의 속도가 마하2 이상의 고속으로 올라가게 되면 엔진 연소에 필요한 산소 공급이 어려워지는 등 추진력의 한계가 나타난다. 이를 해결하기 위해 산소 흡입장치를 획기적으로 개선하거나, 제트엔진과 로켓 기술을 동시에 이용한 하이브리드 형태의 엔진도 개발될 수 있다. 유인 우주왕복 수송시스템의 경우 초음속 항공기용 상용엔진과 우주 발사체 로켓엔진이 가변적으로 전환될 수 있는 가변사이클 엔진을 개발하고 수백에서 수천 회를 사용해도 안정성을 유지하고 작동에 이상이 없는 신뢰도를 확보해야 한다. 이 과정에서 한국형 발

우주를 넘나들고 지상을 고속주파하는 유인 운송수단 개발을 위한 기술개발 방향 제안





하이퍼루프 수송차량 및 구조물 | 자료 : 한국철도기술연구원



극초음속 비행기 디자인 컨셉

사체 개발을 통해 확보한 우주 발사체 엔진 설계와 제작 경험을 활용할 수 있을 것이다. 또한, 초음속, 극초음속의 비행 중이나 우주에서 대기권으로 진입할 때 공기마찰로 발생하는 2,000도 이상의 고열을 견디고 차폐하기 위한 소재와 구조설계 기술도 필요하다. 하이퍼루프의 경우 수중과 지상의 다양한 지형을 고려한 직선 및 곡선 형태의 구조물 설계 및 건설, 수중의 수압과 지상의 외부 열로 인한 변형을 해결하는 기술, 지진 등의 자연재해에 견딜 수 있는 내진 설계 등이 필요하다.

장기적으로는 대형 극초음속 항공기의 상용화를 추진해 볼 수 있다. 극초음속 항공기는 공기 저항을 줄이기 위해 높은 고도에서 운행되는데, 해당 고도에서 배출되는 온실가스는 기후변화에 더 큰 영향을 미칠 수 있으므로 수소를 항공기의 연료로 활용하는 등 온실가스 배출을 저감하기 위한 기술개발이 필요하다. 그리고 재사용 가능한 유인 우주왕복

수송시스템의 개발을 통해 세계를 단시간 내에 이동하는 모습도 기대해 볼 수 있다. 하이퍼루프도 상용화되어 국내 도시 간, 그리고 국내와 해외를 연결하는 하이퍼루프 시스템이 구축될 수 있을 것이다. 하이퍼루프는 일반 철도보다는 수송 가능한 인력이 적기 때문에 현재 자율주행차에서 개발되고 있는 군집주행기술*을 적용하여 대량 인원을 수송하는 것도 추진해 볼 수 있다. 만약 우리나라에서 중국, 유럽을 잇는 하이퍼루프가 건설된다면 21세기 실크로드의 역할도 기대할 수 있을 것이다.

4-6-2. 친환경·지능형 기술로 안전하고 편리한 이동 실현

1) 미래의 기술수요

기후변화, 환경오염 등에 대응하기 위한 세계적인 환경규제 강화로 인해 가솔린, 디젤 등 화석연료

* 군집주행(platooning)은 차량 여러 대가 네트워크로 연결되어 방향, 신호, 위치, 속도 등 다양한 정보를 빠르게 주고받으면서 선두 차량을 따라 후방 차량이 일정한 거리를 두고 주행하는 것이다.

를 사용하는 내연기관 이동수단의 입지가 좁아지고 있다. 2020년 6월 현재 17개 국가가 2030~2050년에는 내연기관 차량의 운행을 제한되거나 판매를 금지하고 공해물질을 배출하지 않는 차량(zero-emission vehicle)으로 100% 대체한다고 선언하였고, 2019년 12월 프랑스가 2040년을 목표로 법을 제정한 것을 시작으로 다수 국가의 법제화가 이어질 것으로 예상된다.^[183] 이에 따라 동력원으로 전기·수소를 사용하는 친환경 이동수단으로의 전환은 선택이 아닌 필수가 되었다.

이동수단의 전환은 안전 측면에서도 큰 의미를 가진다. 교통사고는 세계인구의 사망 원인 순위에서 8번째로, 2016년에는 140만 명이 교통사고로 목숨을 잃었다.^[184] 교통사고의 약 90%는 운전자의 음주, 운전미숙, 피로, 과실 등이 원인이다. 따라서 자율주행차* 이용이 확대되면 교통사고로 인한 사상자와 물적 손실을 줄일 수 있다. 인간보다 사고 유발 가능성이 낮고 24시간 365일 이동이 가능한 자율주행 트럭이나 로봇을 물류, 배송 등에 활용하여 안전성과 경제성을 높일 수도 있다. 자율주행차는 고령자, 아동, 장애인 등 스스로 이동수단을 운전하기 어려운 교통약자^[185]와 인구 저밀도 지역 주민의 이동성을 높이는 데에도 활용될 수 있다. 또한, 자율주행차가 대중화될 경우 사람들의 차량 이용시간이 현재와 같다고 가정하면, 필요한 차량의 수가 감소하여 교통 혼잡, 주차 공간 등도 줄어들

것으로 기대된다.^[186] 일반 승용차의 경우 이용률이 10% 미만으로 약 90% 이상의 시간동안 유휴 상태이지만, 자율주행차는 다수 이용자가 공유하여 이용률이 높기 때문이다. 한 연구에 따르면, 자율주행차가 대중화될 경우 차량 수, 교통사고, 오염배출량, 주차공간이 각각 8~59%, 55~87%, 23~35%, 5~54% 감소할 것으로 전망된다.^[187]

친환경·지능형 이동수단은 인류가 직면한 기후 변화, 교통사고 등의 문제를 해결하는 데 기여할 뿐만 아니라 글로벌 시장을 주도하는 신성장동력이 될 수도 있다. 국가적으로 “2045년 완전 자율주행차 개발” 등과 같은 구체적인 목표를 제시하고, 친환경·지능형 이동수단의 개발과 보급에 노력해야 할 것이다.

2) 기술의 현황

친환경 이동수단에는 전기차, 수소차 등이 있고, 지능형 이동수단에는 자율주행차와 플라잉카(flying car) 등이 있다.

전기차에서는 모터, 2차전지(배터리), 충전기 등이 중요한 요소이다. 모터는 현재 인라인(in-line) 방식이 주로 사용되고 있으나 인휠(in-wheel) 방식도 개발되고 있다. 인라인 방식은 모터를 차축에 연결해 축에 연결된 2개의 바퀴를 동시에 구동하는 것이고, 인휠 방식은 바퀴 자체에 모터를 장착해 각 바퀴를 독립적으로 구동하는 것이다. 2차전지의 경

* 자율주행차(self-driving car, autonomous vehicle)는 스스로 환경을 인지하고(sense) 경로를 판단하여(think) 움직임을 제어함으로써(act) 이동하는 차로, 인간 운전자를 보조하거나 대신한다.



안전 자율주행차의 상상 이미지

미래형 도심 개인이동수단(UPMV) 시험제작 모델
자료 : 한국전기연구원

우 충전시간을 최대한 줄이고 주행거리를 늘리기 위해 대용량 전지 개발이 진행되고 있다. 충전기의 경우 기존 완속 충전기는 4~5시간 이상이 소요되었지만 급속 충전기에서는 30분 만에 80%까지 충전할 수 있게 되었다. 전기차의 배터리 용량이 늘어나면서 전압과 전력공급 용량을 늘리는 고속충전 기술이 개발되고 있고 이에 따라 충전 시간이 지속적으로 단축되고 있다.

수소차는 전지에 저장된 전기로 모터를 구동하는 전기차와 달리, 연료전지에서 수소와 공기 중 산소의 전기화학반응으로 생성된 전기로 모터를 구동한다. 현재 기술개발은 연료전지 시스템을 고도화하고 생산원가를 낮추어 양산 체계를 구축하고, 수소를 안정적으로 확보 및 공급하는 방향으로 이루어지고 있다.

자율주행차는 엔진·모터 등 기존 자동차 기술 외에 레이더(전파로 사물을 탐지하여 거리를 측정),

라이다(레이저를 이용하여 사물을 식별), 카메라 등 각종 센서와 차량과 외부사물 간 통신* 등으로 구성된다. 운전자를 도와 사고 위험을 낮추는 단계까지는 도달했지만 운전자의 판단을 대체할 수준에는 이르지 못했고, 현재 기술 수준은 자율주행 단계 중 레벨 3에 해당하는 ‘부분 자율주행’에 근접한 것으로 평가된다.

플라잉카는 수직으로 이착륙이 가능하여 도로주행과 공중비행이 가능한 차량을 말한다. 플라잉카의 상용화를 위해서는 차체 설계, 비행 소프트웨어 확보, 승객 안전기술^[188] 개발, 이착륙 인프라 구축 등이 필요하다. 국내외에서 항공기·자동차 분야의 많은 기업들이 도전하고 있고, 우리나라는 2025년 상용화를 목표로 2019년 「미래자동차 산업 발전전략」, 2020년 「한국형 도심항공교통 로드맵」을 발표하였다.

* 차량과 외부사물 간 통신(vehicle-to-everything communication, V2X)은 차량과 인프라 간 통신(vehicle-to-infrastructure, V2I), 차량과 차량 간 통신(vehicle-to-vehicle, V2V), 차량과 보행자 간 통신(vehicle-to-pedestrian, V2P) 등을 모두 포함한다.

3) 기술개발 방향 제안

단기적으로는 전기차 전지의 대용량화와 경량화 기술이 개발되어야 하고, 충전시간을 단축하고 충전용량을 늘리기 위한 고속충전 기술도 필요하다. 수소차의 경우 발열 문제를 해결하는 기술이 개발되어야 한다. 내연기관의 경우 연료가 연소되며 발생하는 열의 대부분이 배기가스와 함께 방출되지만, 연료전지는 냉각수를 강제순환시켜 열을 흡수하고 라디에이터로 방출한다. 따라서 출력을 높이기 위해서는 대용량의 냉각수와 라디에이터가 필요하다는 한계를 극복해야 한다. 자율주행차의 경우 핵심 부품이 되는 레이더·라이더 등 센서, 디지털 지도, 차량과 외부사물 간 통신기술 등의 개발이 필요하다. 동시에 차량용 인공지능 기술을 고도화하여 레벨 4 수준의 자율주행 기술을 확보해야 한다. 플라잉카를 상용화하기 위해서는 분산추진 기술의 개발이 필요하다. 플라잉카는 1~2개의 프로펠러를 이용하는 헬기와 달리 최소 4~6개의 분산 추진기를 활용하므로, 보다 안정적으로 비행하고 일부 추

진기에 이상이 생기는 비상시에도 안전하게 비행이 가능해야 한다.

중기에는 전기차의 사용편이성을 높이기 위해 10분 내에 80% 이상 충전할 수 있는 기술 개발이 필요하다. 그리고 수소차의 장거리 주행을 위해 수소를 고밀도로 충전할 수 있는 수소저장기술도 개발해야 한다. 자율주행차의 경우 이상적인 목표인 레벨 5에 해당하는 ‘완전 자율주행’ 시스템의 개발에 도전해야 한다. 이 시스템에서는 운전자의 개념이 사라지고, 탑승객이 목적지를 입력하거나 탑승객 없이 차량 스스로 주변 환경을 인식하여 안전하게 목적지까지 이동한다. 플라잉카의 경우 지상의 자동차, 플라잉카, 기타 항공기 등을 연계하는 종합 교통제어 시스템이 구축되어야 한다. 차선이 없는 공중을 비행하기 때문에 다른 공중비행 물체와의 사고를 방지하고 다른 교통수단과 연계할 수 있는 교통관제 체제가 필요하다.

장기적으로는 발전된 전기차 및 수소차 기술이 모든 교통수단에 적용되어야 할 것이다. 플라잉카

자율주행차 발전 단계(미국 자동차공학회 기준)

- 레벨 0(비자동주행): 운전자가 항상 운행하며, 시스템은 긴급 상황 시 일시적 개입, 경고만 수행
- 레벨 1(부분 보조주행): 속도 및 차간 거리 유지, 차선 유지 등 기능이 단독적으로 작동
- 레벨 2(보조주행): 속도 및 차간 거리 유지, 차선 유지 등 기능이 동시에 복합적으로 작동
- 레벨 3(부분 자율주행): 고속도로와 같은 제한된 조건에서 자율주행 가능, 필요 시 운전자 개입
- 레벨 4(고도 자율주행): 거의 대부분의 도로에서 자율주행 가능, 비상 시 운전자 개입
- 레벨 5(완전 자율주행): 탑승자는 목적지만 입력, 운전자의 개입 불필요

친환경·지능형 기술로 안전하고 편리한 이동 실현을 위한 기술개발 방향 제안



의 경우 차량 자체에서 장애물을 탐지하여 항로를 재설정하는 완전자율 플라잉카를 선보일 수 있을 것이다. 이를 위해 항공기에서 사용되는 오토파일럿 기능을 저비용으로 구현하여 활용할 수 있다. 또한, 모빌리티의 범위를 공중, 지상뿐 아니라 라스트 마일(대중교통으로 도착 후 최종 목적지까지의 이동), 실내 환경으로도 확장하여, 플라잉카, 자동차, 자전거, 전동 킥보드, 초고속으로 건물과 지하를 수직·수평·3차원으로 이동하는 엘리베이터 등이 연계되는 미래도 상상할 수 있다.

4-7.

다양한 소통방식과 신뢰할 수 있는 네트워크 확보

4-7-1. 소통의 현실감 제고 및 방식·대상 다양화

1) 미래의 기술수요

2045년 우리가 원하는 미래 모습인 “공정하고

차별 없는 소통·신뢰 사회”를 구현하는 것은 쉽지 않은 과제이지만, 사회적인 소통과 교류가 효율적이고 활발하게 이루어지도록 한다면 조금씩 그 사회에 가까워질 수 있을 것이다. 특히, COVID-19 사태를 통해 우리 사회가 급속도로 비대면·비접촉 사회로 전환되고 있으므로, 미래에는 온라인 환경에서 효과적인 소통이 이루어지도록 하는 것이 더욱 중요한 과제가 되고 있다.

소통이 효과적으로 이루어지는 사회를 만들기 위해서는 정치·사회적인 노력도 필요하지만 과학기술의 역할도 중요하다. 예를 들어, 사회적으로 중요한 의사결정이 이루어질 때 관련된 데이터가 투명하게 공개되도록 하고, 의사결정 과정을 국민들이 감독하거나 직접 참여할 수 있도록 하며, 건강하고 활발한 소통과 토론을 매개하여 사회적인 공감대가 형성되도록 하는 것이다. 또한, 교육 등의 공공서비스가 지역이나 장애 유무와 관계없이 모두에게 제공되고, 이를 통해 소외되는 계층 없이 모든 이에게 기회가 공정하게 주어지도록 하는 것도 과학기술이 해야 할 역할이다.

온라인 공간에서 효과적인 소통이 이루어지기 위해서는 먼저, 소통의 현실감을 높이는 것이 중요하다. 현재 우리는 주로 문자, 음성, 영상을 통해 정보를 주고받고 있지만, 가상현실, 홀로그램 등의 기술로 현실과 비슷한 가상 환경을 구현할 수 있다면 소통의 양과 질이 크게 높아질 것이다. 다음으로, 과거에는 존재하지 않았던 방식으로 소통할 수 있고 이를 통해 과거에는 소통하지 못했던 장애인, 노인, 유아, 더 나아가 기계나 동물 등의 대상과 소통하는 것에도 도전해야 한다. 언어 기능이 부족한 장애인, 노인, 유아와 소통하게 된다면 그들의 니즈를 더 정확하게 이해하여 대응할 수 있을 것이고, 기계나 동물 등 인간을 둘러싼 더 많은 대상들과 소통하게 된다면 인간의 위협이나 자연환경의 상황을 제대로 파악함으로써 세상에 대한 인식의 폭도 한층 넓어질 것이다.

새로운 소통 기술은 다양한 분야에 활용되어 막대한 경제적인 부가가치도 창출할 것으로 전망된다. 반도체, 디스플레이, 통신 등의 분야에서 신규 기기의 수요를 창출하고, 가상현실 콘텐츠를 통해 미디어 산업을 성장시키며,^[189] 학교, 의료, 제조·서비스, 군사 등의 분야에서 설계나 교육·훈련에도 활용될 수 있을 것이다.^[190]

2) 기술의 현황

소통을 원활하게 하는 기술로는 가상현실, 홀로그램 등과 같이 현재 소통방식의 현실감을 높이는 기술과 뇌파통신 등과 같이 새로운 소통방식을 만드는 기술 등을 고려할 수 있다.

가상현실*은 현실에 가상의 데이터를 더하거나 새롭게 가상의 공간을 만드는 기술이다. 예를 들어, 안경이나 고글을 착용하면 거리에 만화 캐릭터가 등장하고 눈앞에 보이는 사람이나 건물에 대한 데이터가 나오거나, 원격지에 있는 대상과 마주하거나 현재 존재하지 않는 미래 세상에 있는 것 같은 느낌을 주는 것이다.^[191] 가상현실은 사용자가 가상의 세상을 현실처럼 느끼게 하는 것이 중요하다. 사용자의 눈앞에 영상을 띄우기 위해 고글 등과 같이 머리에 착용하는 디스플레이 장치(head-mounted display, HMD)가 주로 사용된다. 최근에는 시각, 청각뿐만 아니라 촉각도 활용하기 위해 팔찌나 밴드 형태의 웨어러블 장치도 개발되고 있다. 또한, 두 개의 레이저가 만나 일으키는 빛의 간섭 현상을 이용하여 3차원 공간에서 영상을 구현하는 홀로그램도 가상현실 기술에 포함된다. 이와 같은 가상현실을 구현하려면 3차원 이미지를 잔상 없이 표현하고 사람의 신경반응 속도만큼 빠르게 데이터를 주고받기 위해 초고속·초저지연 네트워크가 필요하다.^[192]

* 현실세계와 가상세계를 결합하는 기술과 관련하여 안경, 고글 등의 장치를 착용하면 실제 현실의 모습에 가상의 이미지를 겹쳐 보여주는 증강현실(augmented reality, AR), 가상의 이미지를 통해 실제로는 존재하지 않는 가상의 공간을 현실처럼 느끼게 하는 가상현실(virtual reality, VR), 가상현실에 현실적인 요소를 강화한 혼합현실(mixed reality, MR) 등이 존재한다. 여기서는 이들을 통칭하여 가상현실이라고 부르기로 한다.

를 파악하여 외부 기계장치를 조작하는 것이다.

중기에는 인간의 망막에 직접 3차원 영상을 투사하는 가상망막디스플레이(virtual retina display), 특수 소재를 활용해 고화질의 영상을 구현하는 메타 홀로그램, 360도 전 방향에서 동시에 시청 가능한 3차원 영상을 재현하는 기술 등 가상현실 기술이 고도화될 수 있을 것이다. 그리고 현재는 가상현실을 통해 사용자에게 시각, 청각, 촉각 정보 정도만 제공하지만, 화학물질의 합성을 통해 다양한 음식의 맛이나 냄새를 제공하는 미각과 후각 관련 기술도 개발될 수 있을 것이다. 또한, 세계 각지의 사람들이 모여 소통하는 가상현실 세계가 구축될 수도 있을 것이다. 그렇게 된다면 신체가 불편해 외출이 어려운 장애인이나 노인도 사회생활을 할 수 있게 될 것이다. 뇌파통신의 경우 인간의 뇌와 인공지능이 상호작용하는 뇌-AI 인터페이스(brain-AI interface) 기술이 개발될 수 있을 것이다. 인간의 뇌신경망과 인공지능이 구현한 인공신경망이 서로 연결되어 직접 정보를 교환한다면, 인공지능이 인간의 의사결정을 지원하고, 인간이 자

는 동안 뇌 활동을 기록해 꿈을 저장하는 등 인간의 인지 기능을 증강시킬 수 있을 것이다.

장기적으로는 사람과 사람, 사람과 동물 간의 소통이 가능한 뇌파통신이 개발될 것으로 전망된다. 인간의 뇌에 이식하거나 신체에 부착 가능한 통신 칩을 통해 인간의 뇌파를 측정하고, 이를 인공지능을 통해 분석하여 다른 사람에게 의사를 전달하는 기술이다. 이를 통해 언어기능을 상실한 중증장애인도 수화 없이 사람들과 의사소통을 할 수 있게 될 것이다. 통번역 기술과 접목된다면 외국인과 자유롭게 의사소통을 하게 것도 상상해 볼 수 있다. 또한 동물의 뇌파도 분석할 수 있다면 인간과 반려동물이 서로 의사소통을 할 수 있게 될 것이다.

4-7-2. 신뢰할 수 있고 안전한 소통 네트워크 구축

1) 미래의 기술수요

우리 사회는 신뢰를 기반으로 유지된다. 예를 들어, 어떤 사회에서 만약 중앙 및 지방 정부가 국민들이 낸 세금을 옳지 않은 용도로 사용하거나, 모



가상현실 기기(HMD)를 착용한 모습



홀로그램을 활용하여 회의하는 모습

금자가 국민들이 어려운 이웃을 돕기 위해 낸 기부금을 원래 목적이 아닌 곳에 사용한다면 어떻게 될까? 그리고 온라인 투표에서 내가 낸 의견이 누군가의 이익을 위해 조작된다면 어떻게 될까? 아마도 그런 사회에서는 구성원 간에 갈등이 높아지고 신뢰는 형성될 수 없을 것이다.

신뢰와 함께 우리 사회를 유지시키는 중요한 가치는 안전이다. 만약 내가 금융기관에 맡겨놓은 자산이 하루아침에 사라지거나, 누군가 내 컴퓨터의 데이터를 파괴한다면 어떻게 될까? 또는, 내가 가족들과 하는 대화나 기업 내에서 주고받는 데이터를 다른 누군가가 몰래 엿듣거나 가져간다면 어떻게 될까? 아마도 그런 사회에서는 정상적인 경제활동이나 사회생활을 유지하기가 어려울 것이다.

반대로, 우리 사회의 신뢰와 안전 수준이 높아진다면 현재보다 더 나은 사회를 만들 수 있다. 예를 들어, 국민들이 낸 세금이나 기부금이 원래 목적에 맞게 올바르게 사용된다면 국민들은 높은 세율에 대한 공감대를 형성하고 더 많은 기부를 하여 복지 수준을 높일 수 있을 것이다. 온라인 투표의 신뢰성이 높아지고 필요성에 대한 사회적인 공감대가 형성된다면 국민들이 선거나 의견수렴 등을 통해 국가의 의사결정에 더 많이 참여할 수 있을 것이다. 또한, 우리가 먹는 농축산물의 원산지과 품질에 대해 신뢰할 수 있다면, 소비자들의 지불의사는 높아지고 정직하고 품질 좋은 농축산물을 공급하는 생산자들은 늘어날 것이다. 더 나아가, 온라인 거래나 계약에 대한 신뢰와 안전이 보장된다면 부동산, 에너지, 지식 등의 분야에서 경제의 효율성을 높이는

다양한 거래가 활성화될 수 있을 것이다.

미래사회에서도 신뢰와 안전이 유지되도록, 더 나아가 증진되도록 국가적으로 소통 및 거래의 신뢰성과 안전성을 높이는 기술을 개발하고 활용해야 한다. 구체적으로, 데이터의 저장과 관리를 투명하고 안전하게 할 수 있는 기술, 해킹이나 데이터 위변조 등을 막을 수 있는 기술 등이 필요하다. 특히, COVID-19 사태를 계기로 우리 사회가 비대면·비접촉 사회로 전환될수록, 그리고 자동차, 가정용 기기, 전력 인프라 등 더 많은 것들이 서로 연결될수록, 온라인 소통이나 거래의 신뢰와 안전은 더욱 중요해질 것이다.

2) 기술의 현황

소통의 신뢰성과 안전성을 높이는 대표적인 기술에는 블록체인, 양자암호통신 등이 있다.

블록체인(blockchain)은 데이터가 담겨 있는 블록(block)을 체인(chain) 형태로 서로 연결하고 수많은 사용자들에게 동시에 복제하여 저장하고 관리하는 기술이며, 분산원장기술(distributed ledger technology)이라고도 부른다. 데이터가 적게는 수십에서 많게는 수십 만 곳에 분산되어 저장되기 때문에 조작은 사실상 불가능하다. 예를 들어, 세금 등 정책자금의 흐름을 블록체인 기술로 관리한다고 가정하면, 항목별 예산에 꼬리표가 부착되어 자금이 제대로 집행되는지, 자금의 출발지부터 최종 도착지까지 납세자가 확인할 수 있다. 블록체인은 현재 비트코인 등의 가상자산 거래에 주로 활용되고 있지만, 향후에는 스마트계약의 형태로 다양한 분

야에 활용될 것으로 예상된다. 스마트계약(smart contract)은 블록체인 기술을 금융, 보험 등과 같은 산업 분야에 적용한 것으로, 서면으로 이루어지던 계약을 특정 조건이 충족되면 이행되도록 계약을 자동화한 것이다. 예를 들어, 부동산 거래에 스마트계약이 적용되면 각종 부동산 정보의 위·변조 방지, 실시간 공유 및 거래과정의 단축으로 인해 효율성을 높일 수 있다.

양자암호통신은 쪼갤 수 없는 물리량의 최소 단위인 양자(quantum)를 활용하여 데이터를 송수신하는 기술로, 차세대 통신 보안기술로 주목받고 있다. 기존 암호화 기술은 풀기 어려운 수학적 문제를 이용하므로 컴퓨터의 계산속도가 충분히 빨라진다면 무력화시킬 수 있다. 반면, 양자암호통신은 제3자가 데이터에 접근하면 양자의 상태가 변하므로 그 시도를 파악하고 새롭게 암호화함으로써 복제·해킹을 방지한다. 최근 국내외에서 기반기술이 개발되고 시범 네트워크 구축이 이루어

지고 있다.^[193]

3) 기술개발 방향 제안

단기적으로는 블록체인 기술의 산업적 활용을 촉진하기 위해 차세대 합의 알고리즘의 개발이 필요하다. 블록체인은 서로 동일한 정보를 공유하여 정보의 신뢰성을 확보하는데, 정보를 공유하기 위해 합의하는 방식을 합의 알고리즘이라고 한다. 즉, 블록체인은 은행과 같은 중앙관리자가 없기 때문에 합의 알고리즘을 통해 거래의 정확성과 보안을 확보한다. 현재 개발된 합의 알고리즘 중에서는 비트코인에 적용된 작업증명(proof of work) 알고리즘이 대표적인데, 막대한 전기 에너지를 사용하여 비용이 높고, 거래의 처리속도가 느리기 때문에 산업적으로 활용하기 어렵다는 한계가 있다. 따라서 블록체인이 다양한 산업 분야에서 활용되기 위해서는 중앙관리자 없이 데이터를 분산 저장하여 거래를 처리한다는 분산성을 충분히 갖추면서도, 빠른

신뢰할 수 있고 안전한 소통 네트워크 구축을 위한 기술개발 방향 제안



거래처리 속도와 경제성을 보장하는 합의 알고리즘을 개발해야 한다. 양자암호통신의 경우 상용화를 위한 기반기술이 개발되어야 한다. 제3자가 도청이 불가능한 양자 암호키를 생성하여 안전하게 공유하는 암호키 분배 기술, 암호키 생성 속도를 높이고 일대일 통신을 넘어 다대다 통신이 가능하도록 하는 기술, 기존의 광섬유 통신망의 통신 거리 한계(100km 내외)를 넘어설 수 있는 양자암호통신 위성 기술 등이 필요하다.

중기에는 블록체인의 개인정보 보호에 대한 필요성이 증대될 것이다. 블록체인은 모두에게 정보를 공개함으로써 정보에 대한 투명성과 신뢰를 보장하지만, 반대로 누구나 정보에 용이하게 접근할 수 있기 때문에 개인정보 침해의 위험이 있다. 따라서 데이터를 암호화한 상태에서 연산하는 동형 암호화(homomorphic encryption), 필수정보 외에는 노출되지 않도록 하는 영지식증명(zero-knowledge proof) 등 개인정보를 보호하는 암호화 기술이 필요하다. 그리고 스마트계약이 다양한 분야에서 활용되려면 전문가뿐 아니라 일반 사용자 관점에서 사용자 인터페이스(UI) 및 사용자 경험(UX)*을 개선하여 편의성을 높여야 한다. 또한, 사용자가 자신의 신원증명을 직접 관리하고 공개 대상과 범위를 스스로 선택할 수 있는 블록체인 기반의 신원정보 관리 기술의 개발도 필요하다. 양자암

호통신의 경우 실제 응용분야별로 안전성에 대한 검증을 추진하고, 국방, 전력, 원전 등 국가 기간시설에 점차적으로 적용해 나가야 한다.^[194]

장기적으로는 블록체인의 트릴레마 문제를 해결하는 기술이 개발될 것으로 기대된다. 블록체인의 트릴레마(trilemma)란 중앙관리자 없이 데이터를 다수가 저장하는 분산성, 더 많은 데이터를 처리할 수 있는 확장성, 위·변조를 방지하는 보안성을 동시에 모두 만족시키는 시스템을 구현하기가 어렵다는 것이다. 예를 들어, 데이터가 많은 사용자에게 공유될수록 분산성과 보안성은 높아지지만, 데이터 양이 늘어나므로 처리속도가 느려져 확장성은 감소하게 된다. 이와 같은 트릴레마 문제는 블록체인의 본질에 기인하기 때문에 완전한 해결은 어렵겠지만 합의 알고리즘을 간소화하거나 대규모 블록체인의 데이터를 분산하여 저장하고 고속으로 분석하는 기술, 필수 데이터만을 저장하는 기술 등을 통해 완화시킬 수 있을 것이다. 더 나아가서 트릴레마와 같은 한계를 갖지 않는 블록체인 이후의 기술을 개발하는 것에도 도전해야 할 것이다. 양자암호통신의 경우 의료, 금융 등 산업 전반에 적용되어 신뢰할 수 있고 안전한 소통을 구현하는 데 기여할 것으로 기대된다.

* 사용자 인터페이스(user interface)는 사용자가 서비스의 사용법을 쉽게 익힐 수 있도록 하는 기능이며, 사용자 경험(user experience)은 사용자가 서비스를 사용할 때의 느낌을 말한다. 누구나 쉽게 서비스를 활용할 수 있고 좋은 느낌을 받는다면 사용자 인터페이스와 사용자 경험이 잘 설계되었다고 평가할 수 있다.

4-8.

새로운 삶의 영역을 확보하기 위한 미지의 공간 개척

4-8-1. 우주·심해·극지 개척으로 자원 확보 및 생활권 확장

1) 미래의 기술수요

우주, 심해, 극지는 단순한 '탐험의 대상'을 넘어 인류가 개척하여 새로운 자원을 획득하고 거주를 모색하는 '경제적 공간'으로 의미가 확장되고 있다. 현재 인류의 활동 영역은 지구 지표 상의 일부 지역에 한정되어 있지만, 미래에는 심해, 극지 및 지구 밖 공간에서 희귀 자원을 채취하고^[195] 발전소를 운영하며 생활공간을 건설하는 등 그 범위가 크게 확장될 것으로 전망된다. 예를 들어, 북극, 남극, 심해는 막대한 양의 광물, 생물, 신물질 등이 매장되어 있는 자원의 보고이다. 인구 증가, 자원 고갈, 환경 파괴 등 현재 지구의 상황을 고려할 때 미래에는 새로운 공간의 개척이 선택이 아닌 필수가 될 것이다.

그동안 소수 국가의 전유물이었던 우주, 심해, 극지 등의 미개척 공간은 기술혁신의 가속화로 접근의 문턱이 크게 낮아지면서 많은 국가가 개척에 나서고 있다. 미국, 러시아, 유럽연합, 중국, 일본 등을 비롯해 인도, 아랍에미리트, 호주까지도 총성 없는 전쟁에 참여하고 있다. 원칙적으로는 우주, 심해, 극지 등을 어느 한 국가가 독점할 수는 없지만, 현실적으로는 투자나 연구를 많이 수행한 국가가 향후 경쟁에서 유지한 고지를 점할 수 있고, 더 나아가 실효적 점유나 영유권을 주장하는 상황도 배

제할 수 없다. 예를 들어, 남극의 경우 1961년 남극 조약 발효 이후 군사적 영토가 아닌 과학연구의 터전이 되어 왔지만, 남극조약이 만료되는 2048년 이후에는 국가들의 영유권 주장이 다시 제기될 수 있다는 우려가 나온다.^[196]

우주, 심해, 극지 등에 대한 도전은 그 자체로도 의미가 있지만, 혁신적인 기술의 개발을 통해 항공, 국방, 조선, 자원·에너지 등의 산업을 성장시키는 한편, 그 밖의 모든 산업과 기초과학 연구가 발전하는 데 필요한 토대를 제공한다. 미국의 GPS 등 위성항법시스템이 현재의 스마트 혁명을 가능하게 했고, NASA의 허블망원경 기술이 의료 분야의 내시경 개발로 이어졌으며, 우주복 단열재로 사용되었던 에어로젤(aerogel)이 건물이나 장비의 단열재로 주목받고 있는 등 그 사례는 헤어릴 수 없을 정도로 많다. 물론, 국가 위상을 제고하고 국민적 자긍심을 고취하는 가치도 금전적으로 환산하기 어려울 정도로 크다. 우리나라도 신대항해시대의 글로벌 경쟁에 뒤처지지 않기 위해 미지의 공간 개척에 대한 투자를 확충해야 한다.

2) 기술의 현황

우주 기술에는 실제 임무를 수행하는 위성체·탐사체, 이를 우주로 보내기 위한 발사체, 그리고 이들과의 통신 및 제어를 위한 지상국, 사람이 우주에 머물 수 있도록 만들어진 우주정거장 등이 있고, 그 밖에 위성항법시스템도 포함된다.

위성체는 지구 주위를 돌도록 쏘아 올린 장치이다. 우리나라는 1992년 과학위성인 '우리별 1호'를

시작으로, 정지궤도위성 ‘천리안’ 위성과 다목적실용위성 ‘아리랑’ 위성을 개발하여 활용하고 있다.* 탐사체는 지구나 다른 천체를 탐사하기 위해 우주로 쏘아 올린 장치이다. 우주는 온도 변화, 진공, 방사능 등으로 인해 인간이 직접 탐사하기에 가혹한 환경이므로 로봇에 의한 원격 무인탐사가 연구되고 있다. 우리나라는 현재 달 탐사 사업을 추진하고 있고, 달 탐사로봇도 개발하고 있다.

발사체는 탑재물을 지구 표면으로부터 우주 공간으로 옮기는 데 사용되는 3단의 로켓이다. 소수의 국가만 기술을 보유하고 있고 이들의 기술보호로 인해 독자 개발이 필수적이다. 우주 강국들은 자국의 우주 발사체로 독자 우주개발을 추진할 뿐만 아니라 타국의 인공위성을 발사해주는 상업 발사 시장도 주도하고 있다. 우리나라는 2013년 러시아와 협력하여 개발한 ‘나로호’의 발사에 성공한 이후 한국형 발사체인 ‘누리호’를 개발하고 있다.

지상국과 탐사체와의 우주통신은 현재 마이크로파를 사용하는 미국 NASA의 심우주통신망(Deep Space Network)이 활용되고 있으나, 거리가 멀수록 전송 속도가 급감하고 태양계 내에서만 통신이 가능하다는 문제점이 있다. 이를 해소하기 위해 직진성이 강한 레이저를 활용한 우주공간광학통신(free space optical communication)이 연구되고 있다.

우주정거장 관련해서는 미국이 초대형 달탐사 프로젝트인 ‘아르테미스 계획’을 통해 우주정거장 ‘달궤도플랫폼게이트웨이(LOP-G)’와 유인기지의 건설을 추진하고 있다.^[197] 우리나라도 달궤도플랫폼게이트웨이 프로젝트 참여를 추진 중이다.

위성항법시스템(global navigation satellite system, GNSS)**은 위성으로부터의 전파를 이용해 지구상의 위치를 측정한다. 우리나라는 해외의 위성항법시스템을 보정해 정확도를 높일 수 있는 한국형위성항법보강시스템을 개발하고 있고, 독자 위성항법시스템을 구축하기 위한 연구도 추진 중이다.^[198]

심해 탐사를 위한 기술에는 탐사선, 심해무인·유인잠수정, 해저기지 등이 있다. 우리나라는 탐사선과 심해무인잠수정을 보유하고 있고^[199] 심해 공학기술의 ‘꽃’이라고 할 수 있는 심해유인잠수정 개발을 추진하고 있다. 심해유인잠수정은 심해에서도 안전하게 운용되어야 하므로 높은 수압을 견디는 소재 및 구조설계 기술, 생명유지 기술, 안전장치, 내압 전자기기 등이 필요하다. 현재 6,000미터급 심해유인잠수정을 보유한 국가는 미국, 러시아, 프랑스, 일본, 중국 등 5개국이며, 7,000미터급 유인잠수정을 확보하면 세계 해역의 99%에 달하는 영역을 탐사할 수 있을 것으로 예상된다. 해저기지는 엄청난 수압을 견디면서도 산소, 물, 식량 공급이

* 정지궤도위성은 지구 주변을 도는 공전 각속도가 지구가 자전하는 각속도와 일치해 항상 지구의 같은 지점을 관측할 수 있어서 기상 관측, 통신 중계 등에 주로 활용되고, 다목적실용위성은 저궤도에서 광학, 적외선 등을 통해 지구를 정밀하게 관측한다.

** 위성항법시스템은 미국의 GPS(Global Positioning System), 러시아의 글로나스(GLONASS), 유럽의 갈릴레오(Galileo) 등을 통칭한다. 최근에는 중국이 미국의 GPS에 대항하는 자체 위성항법시스템 ‘베이더우(北斗)’의 구축을 완료했다.

가능해야 한다. 현재 사람이 거주할 수 있는 해저기 지로는 미국이 과학연구를 위해 건설한 ‘아쿠아리우스(Aquarius)’가 유일하다.^[200]

극지 관련 기술에는 과학기지, 쇄빙선 등이 있다. 우리나라는 1985년 첫 남극 관측탐험 이후로 남극세종과학기지(1988), 북극다산과학기지(2002), 남극장보고과학기지(2014) 등 세 곳의 과학기지를 보유하고 극지 연구를 수행 중에 있다.^[201] 극지에서는 국가 간 협력연구가 활발하게 수행되고 있는데, 우리나라는 북극의 환경변화를 관측하는 모자이크 프로젝트와 남극의 경우 기후변화가 빙하에 미치는 영향을 분석하는 스웨이츠 빙하 프로젝트에 참여하고 있다. 쇄빙선은 바다의 얼음을 부수며 운항하는 선박으로, 남북극해를 자유롭게 왕래하기 위한 필수 이동수단이다. 우리나라는 남북극 결빙 해역에서의 독자적인 극지 연구와 과학기지 보급 및 인원 수송을 위해 두께 1미터의 얼음을 분쇄할 수 있는 7,500톤 쇄빙선 ‘아라온호’를 운용하고 있다. 북극해의 해빙은 2~5미터이기 때문에 향후에는 3미터 이상의 얼음을 분쇄하여 운항할 수

있는 쇄빙선의 확보가 필요하다.

3) 기술개발 방향 제안

단기적으로 우주 분야에서는 2013년 나로호 발사 성공 경험을 토대로 한국형 발사체 기술을 완성해야 한다. 우리나라는 발사체의 소재 개발, 제작, 시험, 발사 운영 등 전 개발 과정을 국내 주도로 추진하고 있다. 한편, 발사체 개발과 더불어 차세대 우주통신 기술의 개발도 필요하다. 현재 연구되고 있는 레이저를 활용한 우주공간광학통신(FSO)은 심우주통신망보다 고대역의 다양한 주파수를 활용할 수 있기 때문에 상대적으로 먼 거리에서도 신호의 강도를 유지하고 대용량의 정보 전송이 가능하다. 따라서 우주공간광학통신이 개발된다면 기가바이트(GB)급의 고속 우주통신이 가능해질 것으로 보인다. 심해 분야의 경우 심해유인잠수정 개발을 위한 잠수정의 소재, 전자기기, 심해-육지 간 통신기술 등의 연구가 수행되어야 한다. 극지 분야에서는 효과적인 극지 연구를 위해 쇄빙선과 같은 이동수단의 확보가 필요하다. 한편, 남극 연구는 과거



시험발사체 발사모습 | 자료 : 한국항공우주연구원
* 시험발사체는 75톤급 액체엔진 성능 검증을 위한 발사체임



75톤급 액체엔진 연소시험 | 자료 : 한국항공우주연구원

에 연안 중심으로 이루어졌으나 2014년 남극장보고과학기지 건설 이후 본격적으로 내륙으로 확장되고 있어서 극지의 온도에서도 정상적으로 작동하는 헬리콥터, 항공기 등 이동수단의 개발이 필요할 것이다.

중기에는 한국형 발사체 플랫폼을 바탕으로 500 kg 이하의 소형위성을 자력으로 발사할 수 있게 되고, 발사체 재사용 기술의 개발을 통해 우주탐사 시대가 열릴 것이다. 기존의 발사체는 한번 발사되면 버려졌지만 최근 해외에서 1단 로켓을 재활용하는 재사용 발사체가 개발되어서 향후 발사비용을 획기적으로 낮출 것으로 기대된다. 또한, 인간을 대신해 일정 기간 자율적으로 임무를 수행할 수 있는 지능형 무인탐사로봇의 개발이 필요하다. 이를 위해 행성 표면의 환경과 외부 물체의 위치와 상태를 3차원으로 파악하고, 주어진 임무의 종류, 우선순위 등을 자체적으로 판단하며, 고장 시에도 스스로 문제를 찾아내어 수리하는 기술의 개발이 필요할 것이다. 심해 분야의 경우 단기에 수행한 연구를 바탕으로 7,000미터급 심해유인잠수정이 개발될 수 있을

것으로 기대된다. 아울러, 첨단 실험장비와 데이터 처리 장비 등을 탑재하고 해상에서 심해유인잠수정의 운용을 지원하는 모선 선박의 건조도 병행되어야 한다. 극지 분야에서는 남북극해의 해저 생태와 자원을 탐사할 수 있는 잠수정 등의 탐사 장비, 그리고 광물이나 생명자원 등의 채취를 위한 해저·빙하 시추장비 등 자원개발 장비가 필요할 것으로 보인다. 이를 통해 남극조약이 만료되는 2048년 이후 남극의 자원 탐사 등에 있어서 우위를 점할 수 있는 기술을 확보해야 할 것이다.

장기적으로는 재사용이 가능한 대형 발사체 개발이 필요하다. 대형 발사체가 개발될 경우 3톤 이상의 대형 인공위성과 태양계 탐사선을 자체적으로 발사하는 등 다양한 목적으로 활용할 수 있을 것이다. 우주정거장 건설에도 도전해볼 수 있을 것이다. 이를 위해 우주공간의 자원을 활용한 건축기술, 고효율의 산소 생산 및 실내 공기 정화기술, 종자 개량 및 식량 생산기술 등이 필요할 것으로 예상된다. 그리고 우주기지의 지속적인 운영을 위해 자체적으로 에너지를 생산해야 하므로 우주 태양광 발전시

우주·심해·극지 개척으로 자원 확보 및 생활권 확장을 위한 기술개발 방향 제안



스텝의 개발도 이루어져야 할 것이다.^[202] 또한, 위성항법시스템의 산업적 중요성을 고려하여 미국의 GPS를 보완 및 대체하는 한국형 위성항법시스템(Korean Positioning System, KPS)의 구축도 추진되어야 한다.

심해 분야의 경우 우주에 우주정거장이 있는 것처럼 해저에도 수중 기지나 도시가 건설될 수 있을 것이다.^[203] 이를 위해서는 수압 조절, 산소 생성·순환, 해수 담수화, 수중 식물재배 등의 기술 확보가 필요하다. 또한 자체적인 에너지 생산도 필요하므로 수소자동차처럼 해저 미생물로부터 얻은 수소로 전기를 생산하거나, 해류나 파도의 힘을 이용한 발전, 바닷속 깊이 매장되어 있는 고체연료인 메탄 하이드레이트를 채취하여 에너지로 활용하는 것도 고려해 볼 수 있다.

4-9.

도전과제 해결의 토대가 되는 창의적 지식 탐구: 기초과학의 거대질문(Big Questions)

기초과학은 자연현상의 원리를 규명하고 우리가 살고 있는 세상의 본질을 통찰함으로써 인류 지식의 폭을 확장시킨다. 일반적으로 기초과학에서는 응용 가능성을 고려하거나 최종 결과물의 가치를 예상하여 연구하지는 않는다. 그럼에도 불구하고 기초과학은 모든 과학기술 분야를 연구하는 토대를 제공함으로써, 지금 인류가 누리는 수많은 과학기술적 진보와 이에 따른 경제적인 풍요의 원천이 되

어 왔다. 따라서 미래에도 도전적인 목표를 설정하여 지적인 탐구를 계속하는 것이 기초과학의 역할이라고 할 수 있다.

인류가 도전해야 하는 기초과학의 연구주제들은 너무나 많고 미래에도 흥미진진한 연구주제들이 새롭게 등장하겠지만, 여기서는 몇 가지를 예시적으로 소개한다.

1) 인간의 질병과 노화 등 생명의 신비에 대한 이해

건강하게 오래 사는 것은 모든 인간의 공통된 소망이다. 인간의 기대수명은 지난 2세기 동안 두 배 이상 늘었다. 그렇다면, 인간의 한계수명은 어느 정도까지 연장될 수 있을까?

인간의 한계수명은 노화 극복을 통해 가능하다고 보는 입장과 불가능하다고 보는 입장으로 나뉜다.^[204] 가능론자들은 2150년이 되면 150세까지 사는 사람이 나올 수 있을 것이라고 주장한다. 앞으로 노화의 주범인 활성산소에 의한 세포 손상을 약물과 유전자 치료로 막을 수 있다는 것이다. 불가능하다고 주장하는 전문가들은 2150년이 되어도 인간 수명이 130세 이상으로 연장되지는 않을 것이라고 주장한다. 인간의 유전자에 입력된 수명의 한계는 125세이며 의학이 아무리 발전해도 수명의 한계를 넘어설 수는 없다는 것이다.

한편, 현대의학의 눈부신 발전에도 불구하고, 인간은 죽음과 질병 앞에서 여전히 나약한 존재이다. 오늘날 의료기술은 많은 질병을 치료할 수 있지만 정복하지 못한 불치병들도 많고, 인류는 지금도 다양한 질병에 노출되어 있다.^[205] 그리고 COVID-19

팬데믹을 겪으면서 바이러스에 대한 인류의 공포는 다시 커지고 있다. 인간이 질병 없이 사는 것은 과연 가능할까?

흥미로운 것은 질병과 관련된 최근의 연구 결과들이다. 2019년 노벨 생리의학상을 수상한 연구에 따르면, 세포가 저산소 환경에 적응하는 원리를 활용해 질병을 치료할 수 있다. 산소를 원활하게 공급 받지 못하면 세포에 손상이 발생하므로 많은 질병은 세포의 산소 전달과 관련되어 있다. 예를 들어 빈혈은 적혈구의 부족으로 산소 공급이 원활하지 않아 생기는 질병이고, 심장마비나 뇌졸중은 심장이나 뇌 등의 기관에 산소 전달이 중단되면서 조직이 손상되는 것이다. 그러나 암세포는 저산소 환경에서도 손상 없이 살아남는데, 이러한 생존의 비법을 역으로 이용함으로써 저산소로 인한 세포 손상을 막아 질병을 치료할 수 있다는 것이다.

또한, 어떤 연구자들은 인간의 생로병사에 영향을 끼치는 질병을 자연환경에 만연한 각종 독소에 적응하는 인체의 대응 메커니즘으로 본다. 외부 환경에 존재하는 다양한 독소와 위협으로부터 자신을 지키기 위한 일종의 경보 및 방어 시스템인 셈이다. 이러한 시각에서 보면, 역설적이게도 질병은 인간에게 없어서는 안 될 중요한 방어기제라고 할 수도 있다.

이와 같이 세포, 유전자, 단백질 등 우리 몸을 구성하는 기본 단위에 대한 기초연구는 질병에 대한 치료법을 개발하는 데 활용될 수 있다.

2) 인간의 뇌 기능과 기억 및 꿈에 대한 연구

인간은 어떻게 의식하고 기억하고 꿈꾸는 것일

까? 뇌는 우리 몸에서 작은 부분을 차지하지만, 매우 세밀하고 복잡한 기관이다. 뇌 안에서는 약 860억 개의 뉴런(신경세포)을 통해 정보처리가 이루어진다. 각각의 뉴런은 다른 수천 개의 뉴런과 직접 연결되지 않고 시냅스(synapse)라는 중간 매개체를 통해 접속된다. 그리고 이러한 뉴런 사이의 연결은 100조 개 이상으로 추정된다.

뇌 과학은 여러 과학 분야를 총망라하는 종합 학문이자 과학의 최전선이라고 할 수 있다. 또한, 여전히 미지의 영역이 많아서 과학자들의 지적 호기심을 끊임없이 자극하고 있다. 2013년 6월 「네이처(Nature)」지는 뇌 과학을 특집으로 다루었는데, 그 내용은 그간의 수많은 연구에도 불구하고 우리는 아직 뇌가 무엇이고 어떻게 작동하는지에 대해 아는 것이 거의 없다는 것이었다.^[206] 다소 무기력하게 들리겠지만, 이는 과학자들의 솔직한 자기고백이자 뇌 연구의 현주소이다. 유사 이래 인간의 관심을 사로잡아온 의식, 기억, 꿈 등 근본적인 문제들에 대한 해답의 열쇠는 분명히 뇌의 어딘가에 있을 것이다. 신경과학(neuroscience)은 뇌 구조와 기능, 뇌의 발달, 뉴런과 뉴런 간의 상호작용, 뇌 명령의 출력 장치인 행동과 경험 등 뇌와 관련된 모든 주제를 연구한다.

뇌 구조와 기능에 대한 연구는 크게 두 방향으로 진행되고 있다. 첫 번째는 뇌 안의 모든 뉴런의 위치와 연결을 나타내는 지도를 만드는 것이다. 이 지도는 커넥톰(Connectome)이라고 하고 이러한 커넥톰을 작성하고 분석하는 것은 커넥토믹스(Connectomics)라고 부른다. 2005년 커넥토믹

스 연구가 시작됐고, 2009년에는 「인간커넥토프로젝트(Human Connectome Project, HCP)」 5개년 계획이 시작됐다. 그리고 2010년 미국 국립보건원(NIH)은 프로젝트에 막대한 연구비를 지원했고, 2013년 오바마 대통령은 「브레인 이니셔티브(BRAIN Initiative)」를 발표했다. 두 번째는 뇌를 분자 수준까지 역설계*해서 인공 뇌 또는 디지털 뇌를 만드는 것이다. 예를 들어, 유럽연합이 추진하고 있는 인간 뇌 프로젝트(Human Brain Project, HBP)는 인간 두개골 안의 뉴런 860억 개와 이들 간의 100조 개 연결을 컴퓨터 시뮬레이션하는 작업을 추진하고 있다.^[207] 뇌의 디지털 시뮬레이션을 구축된다면 신경과학, 의학, 컴퓨터 기술에 혁명적 변화가 일어날 것이다.

이와 같이 뇌 연구의 발전으로 뇌 신경세포의 연결지도가 완성되고, 디지털 뇌가 만들어진다면 현대과학이 여전히 풀지 못하고 있는 의식의 근원, 무의식의 세계에 대한 실마리도 찾을 수 있을 것이다.

한편, 인간 행동에 큰 영향을 주는 기억의 중요성에 비해 실제 기억에 대해 과학적으로 밝혀져 있는 것은 그리 많지 않다. 한 가지 주목할 만한 성과는 2014년 노벨 생리의학상을 수상한 연구이다. 이 연구에서는 뇌 속에서 장소와 관련된 기억을 저장하는 장소세포(place cell)와 공간과 거리를 감지하는 격자 세포(grid cell)가 존재한다는 사실을 발견했다. 즉, 인간이 자기 자신이 어디에 있는지를 지

각하는 ‘몸 안의 GPS’ 메커니즘을 밝혀낸 것이다. 최근 인간의 기억에 대한 연구들이 늘어나고 있고 우수한 성과들도 나오고 있다. 그럼에도 불구하고, 기억의 형성이나 회상 등 기억과 관련된 많은 부분이 여전히 밝혀지지 않고 있다. 기억의 보관 장소인 뇌에 대한 이해가 부족하고 살아있는 인간을 대상으로 한 연구가 제한적인 점 등은 기억에 관한 연구를 제약하고 있다.

잠을 자는 중에 이루어지는 정신적 활동인 꿈 또한 우리의 호기심을 일으키는 영역이다. 잠을 자는 동안 활성화되는 뇌의 부위를 기능성 자기공명영상(fMRI)을 통해 알아낼 수는 있지만, 아직까지 그 내용을 완전히 기록하는 것은 불가능하다. 불완전하게나마 실험자가 꿈을 꿀 때 보고 있는 대상이나 상황을 알아낼 수 있을 뿐이다. 미래에는 기술의 발전을 통해 잠자는 동안 꿈의 영화를처럼 기록하여 다시 보는 것도 상상해 볼 수 있을 것이다.

3) 우주의 생성 및 진화의 원리 규명

“우리는 어디에서 왔는가? 우리는 누구인가? 우리는 어디로 가는가?” 스위스에 있는 유럽입자물리연구소(CERN) 입구에 영어, 프랑스어, 독일어 등 각국 언어로 적혀 있는 질문이다. 인류와 우주 만물이 어디에서 왔는지, 즉 우주의 근원은 무엇인지에 대해 알고자 하는 것은 인간의 근본적인 호기심이자 과학의 본질적인 과제이다. 우주에 대한 탐구는

* 역설계(reverse engineering)란 제품을 분해한 후 제품의 구조 설계를 역으로 분석하여 모방하는 기술이다.

우주의 탄생인 빅뱅부터 현재까지 모든 것의 기원과 생성, 그리고 발전을 시간의 흐름에 따라 탐구하여야 하므로, 그 과정만으로도 굉장히 벅찬 일이다. 그러나 우주가 탄생하고 진화해 온 과정을 과학적으로 밝혀낼 수 있다면, 현재 우리가 살고 있는 세계에 대해 더 많은 것들을 설명할 수 있을 것이다.

우주를 연구하는 학자들은 우주의 시간과 공간, 물질과 자연법칙에 대한 지식을 총동원하여 우주의 기원과 진화를 이해하려고 노력하는 과정에서 중요한 단서를 발견했다. 그것은 바로 암흑물질이다. 암흑물질이란 우주의 상당 부분을 차지하고 있는 것으로 예측되는 가상의 물질이며, 우주의 밀도와 물질 분포에 큰 영향을 준다. 우주를 구성하는 다양한 요소들 중 우리가 실제 관측할 수 있는 것은 단 5%에 지나지 않으며, 나머지 25%는 암흑물질이고 70%는 암흑에너지이다. 그러므로 암흑물질은 우주가 탄생하는 빅뱅 과정에서 물질이 어떻게 퍼져 나갔는지, 자연계의 에너지들이 어떻게 작용하고 분화해 나갔는지, 지금의 천체와 은하가 어떤 과정으로 만들어졌는지 등에 대한 실마리를 제공해 준다. 하지만 현재까지 암흑물질에 대해 과학적으로 밝혀진 것은 그리 많지 않다.^[208] 20세기 후반 들어 관측 수단과 기술이 급속히 발전하면서 허블 우주망원경 관측 등을 통해 암흑물질의 증거가 속속 보고되기 시작했고, 지금은 단순히 암흑물질의 존재를 증명하는 수준을 넘어 암흑물질의 분포를 알아내는 단계로까지 발전하고 있다. 최근에는 많은 과학자들이 우주 암흑물질의 후보로 '액시온(axion)'을 제시하였고, 이를 검출하기 위해 노력하고 있다.^[209] 많은 과학자

들의 노력이 결실을 맺는다면 우주 암흑물질, 그 미지의 세계에 한 걸음 더 다가갈 수 있을 것이다.

우주의 진화 과정을 관측할 수 있는 단서로 중력파도 주목받고 있다. 중력파는 별의 폭발, 블랙홀 생성 등 우주에 큰 에너지 사건이 발생했을 때 주위의 시공간의 요동이 물결처럼 퍼져나간 것을 말한다. 과거 아인슈타인은 중력파의 존재를 예측했지만, 워낙 미세한 변화이기 때문에 인간이 측정할 수는 없을 것이라고 생각했다. 하지만, 한 세기 만에 중력파가 실제로 검출됐고, 세계 과학계는 우주의 비밀을 풀 수 있는 새로운 열쇠가 주어진 것이라고 고무되었다. 과학자들이 중력파에 열광하는 이유는 우주를 바라볼 수 있는 일종의 망원경을 찾았기 때문이다. 인류는 지금까지는 우주에서 발생하는 현상을 빛이나 전파를 통해 관측해 왔지만, 중력이 강한 블랙홀에서는 빛과 전파가 빠져나오지 못하므로 이를 관찰할 수 있는 방법이 없었다. 하지만, 중력파를 활용하면 이런 한계를 극복하여 우주공간에서 발생하는 거대한 사건을 탐지할 수 있다. 블랙홀과 중성자별과 같은 초대질량 물체의 변화는 지구에서 감지할 만큼의 중력파를 생성하기 때문이다. 향후 중력파 망원경 관측기술이 발전하면, 블랙홀·중성자별·초신성 같은 거대 천체 현상의 이해가 가능해질 것이다. 또한, 중력파 연구는 빅뱅 흔적으로 지금 우주에 배경처럼 널리 퍼진 '배경 중력파'를 이해하는 길로도 이어질 수 있다.

이처럼 우주에 대한 연구는 우주의 비밀을 밝혀내기 위한 것이지만, 미래에 인류가 우주에서 살아남기 위해 필요할 수도 있다. 예를 들어, 스티븐 호

킹(Stephen Hawking) 박사는 미래 인류의 생존은 외계에 새로운 정착지를 찾을 수 있는지 여부에 달려 있다고 주장한 바 있다. 소행성 충돌처럼, 발생할 가능성은 매우 낮으나 발생할 경우 인류의 생존을 위협하는 사건이 미래에 생길 수도 있기 때문에 인류가 지구에서 살기 어려워질 경우 우주는 새로운 삶의 터전이 되어야 한다는 것이다.

4) 물질의 구성과 생성원리 파악을 통한 신물질 개발

세상은 무엇으로 이루어져 있는가? 과학자들은 눈에 보이는 물질뿐 아니라 물질을 구성하는 세부 단위인 원자와 더 작은 입자에도 관심을 갖는다. 왜냐하면, 이러한 작은 입자들이 어떻게 배열되고 움직이는지에 따라 물질의 특성이 결정되기 때문이다. 가령, 동일한 탄소라는 원자가 어떻게 결합하느냐에 따라 다이아몬드가 되기도 하고 연필심에 쓰이는 흑연이 되기도 한다. 따라서 가장 작은 단위의 입자들을 관찰하는 연구가 신물질 연구의 기초가 된다.

입자의 구성과 배열을 관찰하고 이에 변화를 줌으로써 새로운 성질을 갖는 신물질을 만들어 내려는 연구가 이루어지고 있다. 그렇다면, 물질을 구성하는 입자에는 어떤 것들이 있을까? 우리가 흔히 알고 있는 원자는 원자핵과 양성자·중성자·전자 등으로 구성되며, 이러한 입자들을 더 잘게 쪼개면 현재까지 밝혀진 가장 작은 입자인 렙톤이나 쿼크 등 기본 입자로 분해된다. 과학자들은 눈에 보이지 않는 수준까지 원자의 구조와 배열을 관찰하기 위해 전자파를 쏘아 입자가 확대된 상을 보는 전자현미

경을 사용한다. 그리고 전자현미경으로도 관찰하기 어려운 기본 입자나 원자핵 등의 내부구조는 입자가속기를 통해 관찰한다. 입자가속기란 관찰하려는 입자를 빛의 속도에 가까운 빠른 속도로 쏘아 충돌시키는 장비인데, 충돌 후 검출되는 입자를 분석하여 입자 구성이나 배열 등을 파악할 수 있다.^[210] 그동안 이론적으로만 존재가 알려졌던 힉스 보손 입자라는 기본 입자를 2012년에 입자가속기를 통해 발견하기도 했다.

새로운 물질로서 반물질(antimatter)이라는 개념 또한 신물질 연구에서 이목을 끄는 주제이다. 반물질이란 세계를 이루는 물질과 비교할 때 그 질량과 에너지는 같지만 전기 성질이 정반대인 물질을 가리킨다. 예를 들어, 음의 전하를 갖는 전자의 반물질은 양의 전하를 띠면서 질량과 에너지는 똑같은데, 이를 ‘반전자’ 또는 ‘양전자’라고 부른다. 이러한 반물질은 실제로 관측되어 그 존재가 확인되었으나, 자연 상태에서 반물질을 생성하고 유지하는 것은 매우 어렵다. 다만, 물질과 반물질이 합쳐지게 되면 소멸되며 질량은 사라지고 핵융합 반응처럼 엄청난 에너지만 발생하는 매우 신기한 현상이 나타나는데, 미래에는 이를 에너지원으로 활용할 수도 있을 것이다. 다만, 이를 위해서는 반물질을 만들어 장시간 유지할 수 있는 기술이 필요한데, 현재로서는 이를 만들기도 쉽지 않고 유지할 수 있는 기술도 없는 상황이다.

또한, 연구계에서 주목받아 온 대표적인 신물질로 초전도체가 있다. 초전도체란 특정온도(임계온도) 이하에서 전기저항이 사라지는 물질인데, 저항

이 없으면 전력 손실 없이 전류가 계속 흐를 수 있고 배터리 등 전기저장 장치에 손실 없이 전력을 저장할 수 있기 때문에, 초전도체는 말 그대로 꿈의 물질로 불린다. 하지만, 현재 기술로는 영하 240도 정도의 낮은 온도에서만 저항이 사라지는 저온초전도체만 구현이 가능하여, 이를 산업적으로 활용하기에는 어려움이 있었다. 이를 극복하기 위해 임계온도가 영하 240도 이상인 고온초전도체와 영상 20도에서 구현되는 상온초전도체를 개발하는 연구가 활발하게 진행되고 있다.

최근에는 인공지능을 이용해 신물질 후보를 발굴하는 노력도 꾸준히 진행되고 있다. 2020년 3월 매사추세츠공과대학(MIT) 연구팀은 대용량 전력저장에 사용되는 플로우배터리(Flow Battery)의 후보물질의 발굴에 성공했다고 발표했다. 약 3백만 개의 후보물질 중 가장 유망한 8개의 물질을 찾아낸 것인데, 전통적인 분석 방법으로는 50년이 걸릴 작업이었지만, 연구팀은 인공지능을 이용해 단 5주 만에 찾아냈다. 이처럼, 물질 적합성을 검증하기 위해 수작업으로 실험했던 기존 방식 대신에 인공지능을 이용해 데이터를 분석해 후보 물질을 골라내는 방식은 인공지능이 지속적으로 발전함에 따라 신물질 연구에 널리 활용될 것으로 예상된다.

지구상의 대부분의 물질은 우주 형성 초기에 초고온, 초고압의 극한환경에서 형성되었다. 따라서 물질이 형성되는 근본적인 메커니즘을 이해하기 위해서는 초고온, 초고압의 극한 환경에서의 물성 연구와 신물질 개발 연구가 이루어져야 한다. 이를 통해 물질의 응집을 원자 수준에서 조절하여 자연에

존재하지 않는 새로운 성질을 가진 신물질을 개발하는 노력이 진행되고 있다.

5) 불확실성 속에서 확실성을 찾아가는 수학 연구

수학은 불확실성 속에서 구조와 패턴을 발견하고 새로운 구조와 패턴을 만드는 학문이다. 예를 들어, 날씨 예보의 정확도를 높이고, 유전체 데이터베이스를 통해 맞춤형 의료서비스를 구현하며, 휴대폰 통화내용을 암호화하는 데에도 모두 수학이 사용된다. 영국의 공학및물리과학연구협회의회(Engineering and Physical Sciences Research Council, EPSRC) 보고서에 따르면, 수학은 물리, 인공지능, 동물학, 스포츠 등 22개 분야에 영향을 준다. 미래에 대한 불확실성이 커질수록 변화의 패턴을 찾고 예측하기 위해 수학의 중요성은 더욱 강조될 것이다.

수학은 대수학, 기하학, 해석학 등 세부 분야별로도 발전해 나가는 한편, 이들을 종합적으로 활용하여 세상의 모든 움직임을 수치화·정형화하고 이를 분석하여 구조와 패턴을 만들고 예측하는 수학적 모델링이 향후 폭넓게 활용될 것이다. 예를 들어, COVID-19와 같은 바이러스의 확산 패턴 분석과 예측에도 수학적 모델링이 필요하다.

수학은 미래의 핵심기술인 인공지능을 효과적으로 활용하기 위해서도 반드시 필요하다. 예를 들어, 인공지능의 학습에 사용되는 데이터와 계산 결과는 모두 벡터(vector)와 행렬(matrix)로 표현된다. 벡터와 행렬은 다차원 공간에서 데이터를 체계적으로 표현하는 방법이다. 또한, 인공지능의 학습 과정에

서 수학의 미분과 적분 개념이 사용된다. 따라서 인공지능의 작동 원리를 이해하고 그 알고리즘을 개발하기 위해서는 수학의 역할이 필수적이다.

전통적인 수학 난제에 대한 도전도 지속적으로 이루어져야 한다. 특히, 미국 클레이수학연구소가 2000년에 선정한 7대 밀레니엄 수학 난제, 즉 ① P-NP 문제, ② 리만 가설, ③ 양-밀스 이론과 질량 간극 가설, ④ 나비에-스토크스 방정식의 해의 존재와 매끄러움, ⑤ 호지 추측, ⑥ 버츠와 스위너튼-다이어 추측, ⑦ 푸앵카레 정리 등에 대한 도전은, 비록 그 과정이 어렵더라도 의미 있는 작업이다.^[211] 이러한 난제 풀이의 성과는 수학의 발전에 어떤 형태로든 기여하게 되고 우리 실생활이나 산업 발전에도 활용된다. 예를 들어, ‘나비에-스토크스 방정

식의 해의 존재와 매끄러움’ 난제에서 나비에-스토크스 방정식은 물, 공기, 가스와 같은 유체에 작용하는 힘과 운동량의 변화를 기술하는 편미분 방정식이고, 이 방정식의 해가 3차원에 존재하는지를 밝히는 것이 난제이다. 지금까지는 컴퓨터 계산을 통해 정확한 해는 아니지만 충분히 근사한 해를 구할 수 있었는데, 이 근사해만으로도 항공기와 자동차의 설계, 기상 예측 등을 발전시켜 왔다. 향후 난제가 풀려 방정식의 정확한 해를 구하게 된다면 공기저항을 줄이도록 항공기나 자동차를 설계할 수 있고, 구름이나 태풍 등의 기상 흐름을 더 정밀하게 측정할 수 있을 것이다.



밀레니엄 7대 수학 난제의 개요

난제	개요
① P-NP 문제	"알고 보면 풀기 쉬운 문제(NP)가 답을 알기 전에도 쉬운 문제(P)인지를 증명하라."라는 문제이다. 여기서 P는 1 더하기 1처럼 보기만 해도 바로 풀리는 쉬운 문제를 말한다. 반면에, NP의 예로는 "1147을 두 개의 소수의 곱으로 표현하라."라는 문제가 있는데, 이 문제는 답을 모르는 상태에서는 풀기 어렵지만, 두 소수의 곱 31×37 이 1147이라는 답을 안다면 풀기 쉬운 문제이다.
② 리만가설	소수의 분포에 관한 추측으로, 3, 5, 7 등 1과 자신으로만 나눌 수 있는 소수들은 단순히 보면 불규칙적으로 등장하는 것 같지만, 일정한 등장 패턴이 존재할 수 있음을 증명하는 가설이다.
③ 양-밀스 이론과 질량간극 가설	양자물리학에서 나온 양-밀스 이론과 질량 간극가설을 수학적으로 증명하는 문제이다. 양-밀스 이론은 양성자를 구성하는 쿼크와 글루온이 각각 질량이 없음을 설명해야 하는데, 이 둘이 모인 양성자는 질량이 있는 모순이 생겨, 이에 대한 수학적 증명을 필요로 하는 것이다.
④ 나비에-스토크스 방정식 해의 존재와 매끄러움	나비에 스토크스 방정식은 물처럼 흐르는 유체의 움직임을 나타내는 편미분 방정식으로, 이 방정식의 해(solution)가 3차원에서 존재하는지에 대해 아직 밝혀지지 않았다. 이를 해결하게 되면, 3차원 공간에서 유체의 움직임, 즉 구름이나 태풍의 경로, 해류의 흐름 등 자연환경의 운동을 설명하고 예측할 수 있게 된다.
⑤ 호지 추측	일반적인 용어로 적절하게 설명하기는 어렵지만, 어떤 대상체도 모두 기하학 조각의 조합이라는 사실을 증명하라는 문제이다.
⑥ 버츠와 스위너튼-다이어 추측	역시 일반적인 용어로 적절하게 설명하기는 어렵지만, 타원곡선을 유리수로 정의하는 방정식이 유한 개의 유리수 해를 가지는지 무한 개의 해를 가지는지 알 수 있는 간단한 방법을 구하라는 문제이다.
⑦ 푸앵카레 정리	3차원의 두 물체가 특정 성질을 공유한다면 두 물체는 같은 것인지를 증명하는 문제이다. 단순화하여 표현하면, 가운데 구멍이 뚫린 도넛과 손잡이가 있는 머그컵은 구멍이 뚫린 성질을 공유하기 때문에 위상수학 측면에서 같은 물질(위상동형)이라는 증명을 하는 것이다.

[참고 3] 과학기술 도전과제가 해결된 미래 모습: 2045년 미래사회 시나리오

과학기술은 연결과 확장을 통해 발전하며 인류가 직면한 도전과제를 해결함으로써 미래에 많은 변화를 만들 것으로 기대된다. 이하에서는 과학기술이 변화시킬 미래사회의 모습을 인간, 공간, 환경 측면에서 예상해 본다.

2045년 미래사회 시나리오

인간의 능동적 삶을 지원하는 과학기술

생명과학과 지능정보기술이 접목되면서 암과 치매를 포함한 난치성 질환에 대한 예방과 치료의 길이 열렸다. 특히, 21세기 초반부터 주기적으로 나타나기 시작한 감염병 팬데믹(pandemic) 현상은 다양한 종류의 백신 개발을 촉진하였다. 이와 같은 의료기술의 비약적 발전은 인류의 건강수명 증가에 커다란 기여를 하였으나, 동시에 의료기술 혜택의 양극화라는 사회적 문제도 유발하였다. 특히, 의료보험 혜택이 적용되지 않는 유전자 편집 기술의 발전은 상위 극소수의 계층에게만 활용되고 있다. 이러한 유전자 편집을 통해 난치병 치료, 노화 지연 등의 신체적 이점을 부유 계층이 독점하게 되고, 이것이 후대에까지 이어질지 모른다는 우려를 낳고 있다.

그러나 이러한 부작용에도 불구하고, 의료기술의 비약적 발전은 인간의 삶을 보다 능동적으로 변화시켰다. 노화로 쇠퇴한 치아나 뼈, 피부, 혈액, 장기 등을 교체하는 기술의 적용 범위가 크게 확대되어 많은 사람들이 신체의 일부가 노화되거나 손상을 입으면 새것으로 교체하고 있다. 물론 의료보험이 적용되어 큰 비용은 들지 않는다. 뇌에 칩을 이식하거나 뇌를 기계로 자극해서 기억과 판단력, 상실된 언어능력을 회복하고 정서까지 조절하는 기술을 통해 나이가 들어도 젊을 때와 같은 정신 상태를 유지할 수 있다. 고령자의 세포 수명을 신생아 상태로 되돌리는 기술도 개발되었으나, 여전히 생명윤리 논란이 있어서 상용화될 수 있을지는 미지수다.

건강수명이 획기적으로 증가하면서 인간의 활동 범위는 ‘나이’라는 굴레로부터 일정 부분 해방되었다. 2045년 현재 65세 이상이 고령자라는 등식은 더 이상 성립되지 않고, 고령이라는 이유로 차별을 받거나 활동에 제약을 받는 일도 사라졌다. 고령자라 해서 운전면허를 반납할 필요도 없고, 높은 보험료를 낼 필요도 없다. 21세기 초반에 우려했던 고령화의 재앙은 이제 옛이야기가 되었다. 나이가 들어도 젊을 때의 정신과 신체적 기능을 유지하는 경우가 많아지면서, ‘노령(老齡)’ 대신 ‘장생(長生)’이라는 개념이 보편화되었다.

인간이 건강을 유지하며 오래 살게 되면서 교육, 직업, 결혼 및 출산, 은퇴라는 생애주기가 적어도 한 번

이상은 반복되는 순환 과정으로 변하고 있다. 먼저, 교육은 평생교육을 넘어 일정 기간 동안의 주기적인 집중 교육과 학습이 일반화되었다. 직장도 마찬가지다. 20대 중후반에 처음 취직을 하고 60세 전후에 은퇴를 하는 20세기 시스템은 더 이상 유효하지 않다. 많은 사람들이 은퇴 이후에도 일정 기간의 집중적인 재교육을 통해 새로운 직종과 직장을 찾고 있다. 특히, 지능화된 기계와의 협업이 보편화되면서 생산성은 20년 전에 비해 3배 이상으로 증가했다. 여가와 소비문화의 경우 과거보다 연령대별 차이가 줄어들고 있다. 젊은 이들은 근무시간이 단축되면서 주말이 아니더라도 여가 활동에 많은 시간을 쓰고 있고, 노인들은 은퇴 시점이 늦어지고 평생교육에 힘쓰고 있기 때문이다. 한편, 장생 시대가 도래하고 개인의 자율성이 강화되어 재혼은 이전처럼 선택이 아니라 매우 보편적인 현상이 되고 있으며, 70세가 넘어서도 출산과 양육을 하는 부부들이 늘고 있다.

정보통신 기술이 발전하면서 사람 간의 소통이나 사회관계가 크게 달라지고 있다. 가상·증강현실 기술이 발전하여 현실이 아닌 가상세계에서 전 세계 어느 곳으로든 여행을 떠나고, 현실에서 가기 어려운 우주 공간을 경험하기도 한다. 사람들은 서로 대면하지 않고도 현실감 넘치는 소통을 할 수 있고, 마을마다 설치된 스마트워치센터에서는 현실과 구별이 어려울 정도의 홀로그램 영상과 가상현실이 구현됨으로써 노인이나 장애인, 아동 등 사회적 약자가 굳이 멀리 이동하지 않고도 원하는 장소 어디서나 사회활동을 하고 원격업무를 해낼 수 있다. 또한, 뇌파통신 기술로 인해 뇌와 기계를 연결하여 컴퓨터를 통해 뇌파 신호를 읽고 해석하는 기술이 개발됨에 따라 사람들은 별다른 동작 없이 생각만으로 기계를 움직일 수 있게 되었다. 이 기술은 다양한 분야에 적용되었고, 지금은 부모가 어린 아이의 생각을 읽거나 동물과의 간단한 소통을 하는 것까지 가능하게 되었다. 한편, 부작용도 있어서 부모들은 자녀의 스마트폰 중독뿐 아니라 가상·증강현실 중독을 염려하고 있고, 가상과 현실 세계를 구분하지 못하는 이들이 늘어나면서 사회적으로 문제가 되기도 한다.

공간의 한계를 극복하는 과학기술

산업혁명부터 진행된 도시화는 21세기 중반에도 멈추지 않고 있다. 현재 대한민국 거주자의 95%가 ‘스마트도시’라는 새로운 주거 형태에서 살고 있다. 스마트도시는 친환경 저탄소 에너지를 기반으로 운영되고 있기 때문에 환경오염을 찾아볼 수 없을 정도로 깨끗한 대기 속에서 건강한 삶을 누릴 수 있다. 도시 곳곳에는 전기차 충전센터, 수소차 충전소가 있는데 이는 과거의 주유소를 대체한 시설들이다. 공공 교통수단은 전부 전기로 움직이고 있으며, 내연기관 차량은 더 이상 찾아보기 힘들다. 도심지의 상업용 빌딩 대부분은 자체 태양광발전과 전력 저장 시설을 갖추고 있어서 외부 에너지를 거의 쓰지 않는 ‘에너지 제로’ 빌딩으로 운영되고 있다. 스마트도시가 사용하는 에너지는 도시 주변 5km 이내 태양광이나 풍력 등 신재생에너

지로부터 공급된다. 또한, 핵융합 부문에서 고난도 기술이 단계적으로 개발됨에 따라 핵융합 발전이 상용화되었으며, 핵융합 에너지가 우리 삶에서 차지하는 비중도 점점 높아지고 있다.

자율주행차 전용 도로가 도시 곳곳에 깔리면서 차량 간 접촉 및 대인 교통사고가 현격하게 줄었다. 스마트도시에 거주하는 학부모들은 언젠가부터 아이들에게 차를 조심하라는 말을 더 이상 하지 않는다. 일 상에서 시민들의 안전을 세심하게 챙기는 인공지능 보안 서비스가 대중화됨에 따라, 아이를 잃어버렸다고 신고하는 일도 거의 사라지고 안전 부주의와 관련된 사고 및 범죄 위험도 크게 줄었다.

초고속 운송기술의 발전은 지구라고 하는 공간 범위를 일일 생활권으로 축소시켰다. 서울과 뉴욕을 2시간 내에 주파할 수 있을 정도로 항공기술이 발달한 덕택이다. 현재 서울과 미국 LA 간을 2시간 내에 주파가 가능한 하이퍼루프용 해저터널이 공사 중이며, 곧 개통을 앞두고 있다. 많은 전문가들은 초고속 운송 기술의 발달로 앞으로는 ‘국가’의 경계가 사라지고, ‘도시’가 그 역할을 대신할 것이라고 전망하고 있다.

21세기 초반만 하더라도 해저와 극지, 우주를 탐사하는 일은 남의 나라 이야기였다. 그러나 2045년 현재 대한민국은 해저 탐사 분야에서 세계를 선도하면서 화석연료를 대체할 수 있는 새로운 에너지를 해저로부터 공급받고 있다. 극지 탐사에서도 큰 성과를 거두면서 인류의 새로운 공간 개척에 일익을 담당하고 있다. 대한민국은 자체 발사체 개발을 통해 달뿐 아니라 화성 탐사에 성공하였으며, 10년 전 공사에 들어간 우주정거장도 곧 완성될 예정이다.

자연환경의 지속가능성을 보장하는 과학기술

20세기 후반부터 기후변화가 대재앙을 가져올 것이라는 지속적인 경고가 있었음에도 불구하고 이를 막기 위한 노력을 기울이는 나라는 많지 않았다. 기후변화의 주요 원인이 온실가스 배출에 있다는 객관적이고 과학적인 사실이 밝혀졌으나 국가 간 협력은 좀처럼 이루어지지 않았다. 특히, 신흥공업국들은 지속적인 경제성장을 위해 값싸고 쉽게 구할 수 있는 화석연료의 사용을 필요로 하였고, 이는 결국 온실가스 배출 완화의 실패와 기후변화, 기상이변, 자연재해의 증가로 이어졌다.

결국 2025년부터 3년에 걸쳐 진행된 전 세계적인 폭염과 가뭄은 인류에게 유례없는 재앙이라고 할 만한 결과를 초래했으며, 전 세계가 기후변화와 기상이변의 심각성을 깨닫는 결정적인 계기로 작용하였다. 폭염, 가뭄이 몇 개월간 지속되었고, 인류의 식량원으로 쓰일 가축, 작물 등이 대다수 폐사하거나 고사하였다. 다행히, 고온의 건조한 환경에서도 잘 적응하여 자라는 식물 종자를 개발하여 영양분 높은 식물 기반의 식품을 충분히 공급할 수 있었다. 또한, 도시 빌딩 내에 설치된 스마트 농장은 자동으로 온도·습도를 조절하고 최적의 조건으로 높은 생산성을 내고 있다. 그리고 가축을 키우지 않고도 고기를 얻을 수 있는 배양육 기술 등을 통해 많은 국가가 식량문제를 해결할 수 있었다.

이런 과정을 겪은 후 인류는 경제성장보다는 자신들의 생존을 위한 지속가능성을 최우선으로 해야 한다는 국제적인 공감대와 협력을 이루기 시작했다. 이러한 국제적인 협력이 가장 우선적으로 추진된 분야가 바로 과학기술 분야이다. 선진국들은 탄소 저감 기술, 신재생에너지 기술, 재난재해 대비 노하우 등 그들이 보유한 기술들을 개발도상국들과 적극적으로 공유했으며, 개별 국가 차원에서도 기후변화에 대응한 기술 개발에 많은 노력을 기울였다. 탄소 저감을 위한 탄소의 포집과 저장 기술을 지속적으로 개발·확산하였으며, 신재생에너지로의 전환 정책도 부작용을 최소화하면서 실행하였다.

인간에게 영향을 미치는 신종·변종 감염병도 주기적으로 등장하고 있으나, 이전보다 감염병 위협에 따른 우려는 크지 않다. 먼저, 우리 주변에서 발생하는 감염병을 인공지능이나 빅데이터 기반 감염병 확산 예측시스템이 빠르게 포착해 낼 수 있다. 그리고 다년간의 데이터와 경험으로 축적된 감염병 백신 플랫폼은 새로 발생한 감염병에 적합한 예방백신, 치료제 등을 빠른 시일 내에 개발할 수 있게 한다. 감염병 유행으로 인한 갑작스러운 의료 수요 증가에 대비하여 의료인을 대신하여 시술·진단하는 보조로봇 등 인공지능 의료로봇 기술도 뒷받침되고 있다.

21세기 초 시민들을 괴롭히던 미세먼지는 어느 순간부터 옛 이야기가 되었다. 해외 국가들과 협력해서 개발한 미세먼지 정화기술 덕분이다. 미세먼지가 사라지면서 공기는 맑아졌으며, 도심 속 숲길을 걷는 시민들이 건강하고 행복해 보인다. 한동안 전 세계적인 환경오염의 주범으로 인식되었던 플라스틱 쓰레기 문제도 플라스틱을 대체하는 신물질 개발과 플라스틱 쓰레기를 에너지원으로 활용하는 발전 설비 구축을 계기로 상당 부분 해결되고 있다. 플라스틱을 포함한 각종 폐기물의 에너지화는 재생에너지 분야에서 가장 각광받는 산업으로 성장하였으며, 자원고갈 문제를 완화하는 데에도 커다란 기여를 하고 있다.

21세기 중반에 들어서면서 환경 분야에서 가장 괄목할 만한 기술의 발전은 기후에 대한 인위적인 조절이 가능해졌다는 점이다. 인위적인 기후조절이 결국 다시 인간에게 재앙으로 돌아올 것이라는 일부 전문가들의 경고도 있었지만, 강우량, 기온 조절 등에서 조심스러운 실험이 이루어졌으며, 일정 부분 성과도 나타나고 있다. 또한 빅데이터를 활용한 자연재해의 실시간 모니터링 시스템이 구축되면서, 자연재해의 예측 정확도 또한 크게 높아졌다. 이러한 과학기술의 발전 덕분에 대한민국은 쾌적하고 깨끗한 세계적인 환경친화국가로 거듭났으며, 시민들은 건강하고 안전한 삶을 영위하고 있다.



5.

과학기술 정책방향

-
- 5-1. 미래 변화에도 지적 역량이 확보되고 발휘되는 인재정책
 - 5-2. 도전적이고 창의적으로 지식을 창출하는 국가연구개발체계
 - 5-3. 신성장동력을 키우고 기존 성장동력을 다지는 산업기술개발
 - 5-4. 사회문제를 해결하고 삶의 질을 제고하는 공공연구개발
 - 5-5. 산학연 주도로 혁신의 중심지가 되는 지역
 - 5-6. 국경 없는 글로벌 과학기술혁신체계
 - 5-7. 과학기술과 국가정책 간 연계를 강화하는 과학지향 국가
 - 5-8. 미래전망과 국가정책 간 연계를 강화하는 미래지향 국가

본 장의 핵심 키워드는 ‘전환’이다. 4장에서 제시한 과학기술 도전과제를 해결하기 위해서는 우리나라 과학기술이 과거 60년간 성취한 것들과 아직 미흡한 점, 미래사회의 변화 등을 종합적으로 고려하여, 과학기술정책을 미래지향적으로 전환해 나가야 한다.

먼저, 과학기술의 주체인 인재, 연구자, 기업, 국민을 위한 정책의 전환이 필요하다. 첫째, 인재에 대한 정책은 목표를 인재 규모의 확보에서, 개인의 역량 발휘 지원으로 전환하여 미래의 기술적·사회적 변화에도 지적 역량이 확보되고 발휘되도록 해야 한다. 둘째, 연구자를 위한 국가연구개발 정책은 추격을 위한 연구에서, 도전과 즐거움을 위한 연구로 전환하여 도전적·창의적 지식이 지속적으로 창출되도록 해야 한다. 셋째, 기업과 국가의 산업 발전에 기여하는 산업기술개발은 정부 주도로 특정 분야를 선정·지원하는 방식에서, 정부와 기업이 팀이 되어 미래 시장을 확보하는 방식으로 전환하여 기업이 새로운 성장동력을 만들고 기존 성장동력을 다질 수 있도록 정부가 종합적으로 지원해야 한다. 마지막으로, 사회 전반과 국민의 삶에 기여하는 공공연구개발은 전문가 주도의 기술완성형 연구에서, 모두가 함께 하는 문제해결형 연구로 전환하여 실제로 사회문제를 해결하고 삶의 질을 높이도록 해야 한다.

다음으로 과학기술의 공간인 지역과 글로벌 관점에서도 정책의 전환이 필요하다. 지역정책은 정부 주도로 모든 지역을 균등하게 성장시키는 방향에서, 지역 산학연 주도로 개별 지역이 유기적으로

연계하고 결합하여 광역화된 클러스터로 성장할 수 있도록 유도하는 방향으로 전환할 필요가 있다. 이러한 클러스터에서 국제적인 교류가 이루어지고, 클러스터 하나하나가 세계적인 연구·산업 경쟁력을 갖춘 과학기술의 허브(hub)로 성장하도록 지원해야 한다. 한편, 글로벌 정책은 선언적이고 개별적인 글로벌화에 그치지 않고, 실용적이고 연계적인 글로벌화로 관점을 전환해야 한다. 이를 통해 과학기술 생태계의 글로벌 개방성을 높임으로써 국제무대에서 과학기술 의제를 선도할 수 있을 것이다.

마지막으로 과학기술정책의 종합적인 방향성 측면에서도 변화가 요구된다. 과학기술이 국가정책에서 개별 분야가 아니라, 국정운영 원리로서 자리매김하도록 하여 과학기술과 국가정책 간 연계가 강화되어야 한다. 특히, 국정 전반에 과학기술적 합리성과 데이터를 기반으로 한 의사결정 방식을 접목하고, 인공지능, 블록체인 등 과학기술적 수단을 활용해 정책을 혁신해 나가야 한다. 또한, 미래에 대한 전망이 항상 국가정책에 연계될 수 있도록 해야 한다. 즉, 국가적 위기가 발생하고 나서야 사후적으로 대응 조직을 만들고 관련 정책을 구상하는 것이 아니라, 상시적으로 미래 이슈를 탐지하고 선제적인 대응을 할 수 있는 체계를 구축하는 방향으로 전환해야 한다.

아래에서는 8대 과학기술 정책방향을 제시하고 각각에 대해 세부과제를 제안한다. 각각의 정책방향과 세부과제는 다음과 같은 공통의 철학을 담고 있다. 첫째, 과학기술정책은 정부뿐만 아니라 현장의 개인과 산학연이 주도적으로 참여하여 추진하

8대 과학기술 정책방향 및 16개 세부과제

도전과제	세부과제
1 미래 변화에도 지적 역량이 확보되고 발휘되는 인재정책	1-1. 다양한 인재와 인공지능을 활용하여 국가 지적 역량 강화
	1-2. 언제 어디서나 역량과 열정을 발휘할 수 있는 미래인재
2 도전적이고 창의적으로 지식을 창출하는 국가연구개발체계	2-1. 미지의 세계에 대한 임무 중심의 도전연구 체계 구축
	2-2. 창의적 지식 창출을 위한 자율·교류·축적의 기초연구 지원
3 신성장동력을 키우고 기존 성장동력을 다지는 산업기술개발	3-1. 혁신의 전 과정을 지원하며 기업과 함께 미래 성장동력 창출
	3-2. 기술경쟁력 있는 기업이 성장하고 리스크에 대응하는 생태계 조성
4 사회문제를 해결하고 삶의 질을 제고하는 공공연구개발	4-1. 기술개발만이 아닌 문제해결을 위한 연구개발 추진체계로 전환
	4-2. 국민 모두가 참여하고 모두가 혜택을 누리는 과학기술
5 산학연 주도로 혁신의 중심지가 되는 지역	5-1. 혁신이 활발하게 일어나는 광역화된 클러스터
	5-2. 지역 산학연 중심으로 강화되는 지역혁신생태계
6 국경 없는 글로벌 과학기술혁신체계	6-1. 과학기술 생태계의 글로벌 개방성 강화
	6-2. 국제무대에서 과학기술 의제를 선도하는 대한민국
7 과학기술과 국가정책 간 연계를 강화하는 과학지향 국가	7-1. 끊임없이 확대되는 과학기술 투자와 인프라
	7-2. 공정하고 합리적인 과학적 정책의사결정체계
8 미래전망과 국가정책 간 연계를 강화하는 미래지향 국가	8-1. 데이터를 기반으로 한 체계적인 미래예측과 전망
	8-2. 미래변화에 안정적이고 선제적으로 대응하는 거버넌스 구축

고, 그 담당 주체를 명확하게 선정하여 책임성을 높여야 한다. 둘째, 정책의 목표는 구체적인 임무를 정해서 그것을 해결하는 것이 되어야 하며, 임무의 해결이 일회성으로 그치지 않도록 체계를 구축해 나가야 한다. 마지막으로 관리와 평가 측면에서, 미시적·단기적으로 과정을 관리하는 것이 아니라 거시적·장기적으로 성과를 관리함으로써, 모든 주체가 각자의 역량과 열정을 자율적으로 발휘할 수 있도록 해야 한다.

5-1.

미래 변화에도 지적 역량이 확보되고 발휘되는 인재정책

5-1-1. 다양한 인재와 인공지능을 활용하여 국가 지적 역량 강화

1) 우수 인재가 과학기술로 유입되고 인공지능과 협업하는 환경을 조성하자

미래에는 성별, 연령, 전공, 국적 등의 구분 없이 우수한 인재들이 과학기술 분야로 지속적으로 유입 되도록 해야 한다. 이들이 탁월한 연구 및 사업 성과를 창출하여, 부를 얻고(금전적 보상), 보람과 성취감을 느끼며(심리적 보상), 과학기술자로서 많은 이들에게 존경과 선망의 대상이 되어야 한다(사회적 보상). 이를 통해, 또 다른 인재들이 과학기술로 모여드는 선순환이 이루어질 수 있다. 골프나 피겨스케이팅 분야의 스포츠 스타, 연예계 아이돌 그룹 등의 사례에서 볼 수 있듯이, 과학기술 분야에서도 앞서 진출한 이들이 탁월한 성과를 내고 이것이 사회적으로 화제가 되면서, 많은 청소년들이 '제2의 누구'를 꿈꾸며 과학기술로 모여들도록 해야 하는 것이다. 이처럼 우수 인재의 유입 등을 통해 국가의 지적 역량을 강화하기 위한 방법은 다음과 같다.

첫째, 과학기술의 매력도를 높이는 것이다. 과학기술인의 연구 환경과 금전적·심리적·사회적 보상 및 복지 수준을 조사하여 개선해야 한다. 이를 위해 현장의 생생한 목소리를 주기적으로 청취하여 정책에 반영해야 하고, 과학기술인 자신의 의견뿐 아니라 일반 국민들이 과학기술인에 대해 갖고 있는 생각도 파악해야 한다. 만약, 미래에 과학기술자가 인기 있는 직업이 된다면 과학기술의 매력도가 높아졌다고 할 수 있을 것이다.^[212]

둘째, 인재가 과학기술 분야로 진출하는 데 장애가 되는 요인이나 차별을 해소하고 우수한 해외 인재를 확보해야 한다. 여성의 사회 진출이 과거에 비해 확대되고는 있으나 과학기술 분야에서 여성의 활동성을 더욱 높일 필요가 있다.^[213] 이를 위해 과

학기술 관련 교육 및 체험 기회 제공, 가족친화적 연구 환경 조성, 출산·육아로 인한 경력 단절 방지 등을 지속적으로 추진해야 한다. 또한, 해외 주요국처럼 우리나라도 해외 인재를 우리 과학기술 역량 강화의 주요 원동력으로 활용해야 한다.^[214] 우리나라를 다양한 국적의 과학기술 인재가 활동하는 장으로 만들기 위해, 더 나아가 우리 과학기술인의 무대를 전 세계로 넓히기 위해, 국내에서 활동하는 해외 과학기술인, 해외에서 교류·협력하는 외국인 및 한국인의 네트워크를 지속적으로 확장해 나가야 한다. 이를 위해서는 이민과 비자 제도의 선진화, 이중국적 허용, 정주 여건 개선, 단기연구 지원 프로그램 제공, 교류 네트워크 운영 등을 통해 글로벌 인재들이 참여할 수 있는 매력적인 대안을 제시해야 한다.

물론, 인재의 유입뿐 아니라 유출에 대한 대비도 필요하다. 우리나라는 인재의 유출이 많고, 해외 인재의 유입도 부족한 상황이다.^[215] 핵심 기술을 보유한 국내 인재의 해외 유출 자체를 인위적으로 막기는 어렵지만, 현황을 모니터링하고 인재가 머물고 싶은 국내 연구개발 환경을 조성하는 등 지속적인 노력을 기울여야 할 것이다.

셋째, 우수 인재가 인공지능과 협업할 수 있는 환경이 조성되어야 한다. 국가의 지적 역량은 인간과 인공지능의 역량의 합이라고 할 수 있으므로 이를 강화하기 위해 인공지능을 적극적으로 활용해야 한다. 인간이 현재 육체활동에서 도구나 자동차 등 기계의 도움을 받는 것처럼, 미래에는 연구개발 같은 정신활동 분야에서도 인공지능의 도움을 일상적으

로 받게 될 것이다. 인간이 기계로부터 단순 연산부터 창의적인 아이디어를 내는 것에 이르기까지 도움을 받거나, 인간의 인지·기억 능력을 기계에 접목하여 인간의 역할을 대신하는 기계를 만드는 등 다양한 방식의 지적 협업을 시도해야 한다. 예를 들어, 연구 활동의 경우, 연구 주제 탐색, 문헌 및 데이터 분석, 실험 수행, 연구 결과 작성 등과 같이 연구자 혼자서 수행해 온 다양한 작업들을 인간과 인공지능 간 협업 체계를 구성하여 보다 효율적으로 수행할 수 있도록 해야 한다.

2) 과학기술 인재들이 전 생애에 걸쳐 다양한 영역에서 역량을 발휘할 수 있도록 지원하자

인구 감소와 고령화로 인해 미래세대는 일생동안 현재세대보다 더 다양한 직업을 갖게 되고, 은퇴 후에도 경력을 이어가게 될 것이다. 미래에 인간의 평균수명이 늘어나는 것도 한 가지 이유이겠지만, 무엇보다도, 기술과 사회가 빠른 속도로 변화함에 따라 산업, 직종, 그리고 일자리의 구조가 급격하게 달라질 것이기 때문이다. 때로는 금융 위기, 대형 재난 등 국가적 위기 상황으로 인해 단기적으로 고용 충격이 나타날 수도 있다. 또한, 미래에는 과학 기술 등 모든 분야에서 인재들이 인공지능과의 협업 속에서 문제를 정의하거나 기존에 없던 대안을 제시하는 등 보다 복잡하고 창의적인 일을 하게 될 것이다. 또한, 과학기술, 경영·경제, 인문·예술, 법·제도 등 다양한 전문성을 가진 인재들이 함께 협업해야 하는 융합형 업무도 늘어날 것이다. 따라서, 미래의 인재들이 직종과 분야를 넘나들며 유연하게

경력을 개발하고 여러 분야에 널리 활용될 수 있는 공통역량을 키워 나가도록 하는 한편, 고경력 과학기술인들이 전문역량과 경험을 지속적으로 발휘하도록 해야 한다. 이를 위해서는 다음과 같은 사항이 필요하다.

첫째, 인재들이 전 생애에 걸쳐 경력관리와 역량 개발을 할 수 있도록 지원해야 한다. 특히, 고경력 과학기술인이 전문역량과 경험을 발휘할 수 있는 활동 영역을 지속적으로 발굴하고 경력관리와 활동매칭 등의 지원이 필요하다. 베이비붐 세대 과학기술인들의 은퇴가 향후 수년 내 본격화될 것으로 예상되는데 이는 국가 인적 자원에 큰 손실이 될 것이다. 이들이 평생 동안 축적한 노하우를 더 오랜 기간 활용할 수 있도록 하는 방안을 찾아야 할 것이다. 예를 들어, 미래에는 인구 감소로 청년 실업 문제가 완화될 전망이므로 정년 연장을 점진적으로 검토하거나, 퇴직 이후에도 기획, 자문, 교육 등에 참여할 수 있는 기회를 제공할 수 있을 것이다. 또한, 정부는 과학기술인들이 연령이나 경력과 무관하게 새로운 일자리와 일하는 방식의 변화에 적응하고 실질적인 역량을 제고할 수 있는 교육이 확대되도록 해야 한다. 취업과 연계된 실무 기능 중심으로 이루어지는 재교육(re-skill)을, 대학과 전문기관의 최신 과학기술 시설, 지식 등을 기반으로 한 재직자 역량제고(up-skill) 교육 관점으로 확대해 나가야 한다.

둘째, 조직 간, 분야 간 인재의 이동을 제약하는 제도를 개선하여, 조직과 분야를 넘나들며 공공·민간의 다양한 인재들이 협업하는 환경을 조성해야 한다. 현재는 과학기술 인재가 조직과 분야를 넘어

이동하거나 교류하는 것이 상당히 제한적으로 이루어지고 있다. 주요 선진국에서 인재들이 기업, 공공 연구기관, 대학 사이를 활발하게 이동하는 것과 달리, 우리나라는 ‘민간기업 → 공공연구기관 → 대학’으로의 일방향적 이동이 많고^[216], 본업 이외의 활동을 하는 점직도 일반적으로 금지되어 있다. 인재 유동성을 높이기 위해서는 사회 모든 부문에서 다양한 대안들이 추진되어야 한다. 예를 들어, 산학연간 파견을 장려하기 위한 다양한 유인책을 마련하고, 연구자가 소속 기관 이외의 타 기관에서도 연구할 수 있는 이중소속 제도도 활성화할 필요가 있다. 또한, 타 기관 파견자가 승진이나 평가 상의 불이익을 받게 되는 등 인재의 이동과 교류를 제한하는 제도적 요인들도 개선해야 한다.

또한, 현재 공공과 민간 부문 모두 다양한 조직에 속한 인재들이 함께 협업하는 경우는 많지 않다. 그리고 문과(인문계)와 이과(자연계)의 구분은 학교 교육에서 점차 벌어지고 있지만, 인사 채용, 세제 지원, 국가연구개발사업 참여 여부 등을 개인의 출신 학과에 따라 결정하는 등 사회적으로는 여전히 많은 영향을 미치고 있다.^[217] 조직과 분야를 넘나드는 협업이 쉽지는 않지만 계속적으로 시도될 필요가 있다. 예를 들어, 국가적인 도전과제를 해결하는 프로젝트를 추진하기 위해 조직과 분야를 망라하여 우수한 인재로 ‘드림팀’을 구성할 수 있고, 기업에서도 이와 유사하게 부서 간 또는 기업 간 인재를 모아 미래의 신사업을 발굴하게 할 수 있을 것이다. 또한, 사회 전반에 걸쳐 개인을 평가할 때 학력이나 출신 대학 및 학과가 아니라 역량과 전문성을 중심

으로 평가할 수 있는 문화가 조성되어야 한다.

셋째, 수요자(인재)와 공급자(기업 등 조직)가 각각 서로를 정확히 파악하고 연결될 수 있도록 돕는 데이터 플랫폼이 구축되어야 한다. 미래에는 조직과 인재가 서로를 탐색하고 구인·구직하는 과정이 현재와 많이 다를 것이다. 즉, 채용 공고를 내고 다수 후보자를 모아 면접을 하거나 기존 인력의 인맥에 의존하여 소개를 받는 것보다 더 체계적으로 조직과 인재를 연결하는 방법이 활용될 것이다. 예를 들어, 조직과 인재가 각자에 대해 입력한 데이터와 다른 종류의 빅데이터를 연계하여 최적의 인재나 분야와 직종 등을 추천해주고 조직관리 및 경력개발을 지원하는 다양한 서비스가 제공될 것이다.^[218] 정부는 인재의 유동성을 높이는 다양한 사업모델이 개발될 수 있도록 공공 데이터를 축적하여 제공하고, 잘못된 정보가 유통되지 않도록 모니터링하는 역할을 담당해야 한다. 또한, 전체 인재의 흐름을 경력 단계, 성별, 수도권·지방, 국내·해외 등의 차원에서 종합적으로 파악하여 국가 인재 지형도(national talent map)를 작성하고 그 추이를 분석하여 인재의 흐름을 촉진하는 정책을 지속적으로 추진해야 한다.^[219]

5-1-2. 언제 어디서나 역량과 열정을 발휘할 수 있는 미래인재

1) 미래인재가 다양한 역량을 갖추도록 지원하는 유연한 교육 체계로 전환하자

미래의 인재들은 수명의 연장으로 인해 일을 하

는 기간이 늘어나므로 일생 동안 한 가지 직업을 유지하기보다는 제2, 제3의 직업을 갖게 될 가능성이 높고, 플랫폼 노동(platform work), 즉 애플리케이션이나 소셜네트워크킹서비스 등을 매개로 한 근로 형태가 점차 확대되면서 본업과 다른 전문적인 일을 병행하는 경우도 많아질 것이다. 현재 교육 체제는 '특정 기간'(아동·청소년기) 동안 '특정 장소'(학교·학원)에서 모두에게 '동일한 내용'(검인정 교과서)을 제공하는, 경직된 형태이다. 미래에는 전 생애 주기에 걸쳐 교육이 필요하고 그 내용도 개인별로 달라져, 현재와는 비교할 수 없을 정도로 다양해질 것이다. 미래 인재에게 요구되는 창의성, 문제해결능력 등의 역량과 수많은 분야별 전문 지식을 각 개인에게 맞게 제공해야 한다. 미래세대에게는 가능하면 많은 선택 대안을 제공하여 유연성을 극대화하는 '전 생애 개인맞춤형 교육 체계'가 요구되는데, 이를 구현하기 위해 필요한 것은 다음과 같다.

첫째, 시간의 유연성이다. 현재는 '초등 교육 6년, 중등 교육 3년, 고등 교육 3년, 대학 교육 4년에, 선택에 따라 대학원'이라는 정규 교육 학제로 인해, 박사급 연구자로 활동하려면 20년 이상을 학교에서 보내야만 한다. 미래에는 개인의 능력이나 상황에 따라 기간을 단축하거나 확대하는 등 다양한 교육 경로를 제공해야 한다. 예컨대, 공공 교육에서, 정규 교육이나 학위 과정을 대체할 나노·마이크로 디그리

(nano·micro degree)* 등 대안적인 교육의 비중을 늘려 나가야 한다. 또한, '선 학습 후 사회 진출'의 선형적인 모델이 아닌, 학습과 적용이 동시에 진행되는 프로젝트 해결형, 현장 중심형, 일-학습 병행, 사회 진출 후에도 다시 학습하는 리커런트 교육(recurrent education) 등 대안적인 형태의 교육도 필요하다.

둘째, 교육 공간과 매체의 유연성이다. 미래에는 각자가 언제 어디서나 학습할 수 있도록, 온라인 대중 공개수업(massive open online course, MOOC)과 같이 온라인으로 실시간 참여가 가능한 교육의 비중이 늘어날 것이다. 더불어, 급변하는 기술, 산업, 사회의 변화를 반영해 끊임없이 업데이트되는 실시간 교육, 지식을 일방향으로만 전달하는 것이 아니라 서로의 의견을 공유하는 양방향 교육이 늘어날 것이다. 교육에 신기술이 접목되면서 다양한 디지털 매체가 기존의 서적을 보완 및 대체해 나갈 것이다. 그리고 가상현실·증강현실(VR/AR), 홀로그램, 데이터분석 등 신기술을 활용한 교육도 미래에는 일상화될 것이다.^[220] 우리나라는 COVID-19 사태로 인해 2020년 온라인 개학과 수업을 진행한 바 있는데, 앞으로는 온라인 교육 환경을 개선하여 비상 상황에 대비함은 물론, 평상시에도 누구나 시간과 공간의 제약 없이 교육을 받을 수 있도록 해야 한다.

셋째, 교육 내용과 방식의 혁신이다. 미래인재에게 필요할 것으로 예상되는 디지털기술 활용 능력,

* 나노 또는 마이크로 디그리(학점 당 학위제 또는 미세전공 제도)는 기존 학위제도와 다르게 분야별로 지정된 최소 학점을 단기간에 이수하면 학사학위와 별개의 미니 학위를 주는 제도이다. 급격한 기술변화 등에 대비해 맞춤형으로 최신의 기술이나 지식을 습득하고 이에 대해 기업의 인증까지 연계시킬 수 있다.



창의성, 복잡한 문제를 해결하는 역량, 협업·소통 능력 등은 물론, 각 개인에게 실제로 필요한 전문적인 역량도 키울 수 있는 교육을 제공해야 한다.^[221] 이를 위해, 초중고에 있어서는 창의성, 문제해결역량 등을 배양하기 위해 경험에 기반한 자기주도형 학습을 할 수 있도록 하고, 대학은 첨단기술을 토대로 한 프로젝트 해결형 실전교육의 장이 되어야 한다. 또한, 모든 학생에게 동일한 수준의 내용을 가르치고 우열을 평가하는 것이 아니라, 각 개인의 선호와 수준에 맞는 내용을 단계적으로 습득하여 성취해 나가는 학습자 맞춤형 교육이 되어야 할 것이다. 이 과정에서 디지털 기술을 활용해 교육 빅데이터를 추적하고 인공 지능을 통해 학습자의 수준에 맞는 교육 콘텐츠를 제공할 수 있어야 한다.

2) 개성과 자기주장이 강한 미래세대의 특성에 맞게 일하는 방식 및 동기부여 수단을 마련하자

2045년경에는 미래세대, 즉 Z세대* 또는 90년대생과 그 이후 세대가 우리 사회의 주역이 되는 때이므로, 이들이 역량과 열정을 발휘하도록 하는 정책이 필요하다. 미래세대는 대체적으로 어려서부터 인터넷과 소셜미디어에 익숙하고, 기존 사회관습이나 위계질서보다 수평적 관계를 추구하며, 조직보다 개인을 중시하고 개성과 자기주장이 강한 성향이 있다. 우리나라 국민들은 세계에서 지능이 높다고 알려져 있으며, 교육 수준이 높고 근면하며, 목표에 대한 공감대가 형성되고 동기가 부여되면 최선을 다하는 높은 성취동기를 갖고 있다. 따라서 미래에는 각 개인이 자율적으로 목표를 설정하여 자신의 방식으로 일할 수 있도록 하고, 성과에 걸맞은

* Z세대는 세계적으로 정확한 사회적 합의는 없지만 대체적으로 1995~1996년부터 약 10년간 출생한 세대를 가리키는 말이므로 90년대생과 정확히 일치하지는 않지만 편의상 같은 의미로 사용되기도 한다.

보상 등 효과적으로 동기를 부여하는 정책이 마련되어야 한다. 이를 위해서는 다음과 같은 것들을 고려해야 한다.

첫째, 일의 자율성을 높여야 한다. 모든 과학기술인들이 자신이 원하는 연구를 할 수 있는 시간을 갖도록 하고,^[222] 국가나 소속 기관에서 부여받은 임무를 수행할 때에도 추진 방법을 결정하거나 상황 변화에 따라 목표를 수정하는 등의 권한을 최대한 부여해야 한다. 그리고 본연의 업무에 집중할 수 있도록 행정적인 측면의 자율성도 높여야 한다. 예를 들어, 연구과제 시작 전에 일정 한도 내에서 연구비 집행을 허용하거나, 다년도 과제의 경우 연구비를 연도 간에 유연하게 배정할 수 있도록 하고, 마일스톤에 따른 연구단계 전환에 대해서도 유연성을 부여해야 한다. 그리고 과학기술 연구개발은 장기적 시계를 바라보며 안정적이고 지속적인 투자가 이루어져야 하므로, 예외적으로 다년도 회계를 인정하여 예산 과정을 현재의 단년 주기에서 2년 주기로 연장하는 것도 고려해 봐야 한다.^[223]

둘째, 높은 성과를 내면 그에 상응하는 금전적·비금전적 보상을 받을 수 있다는 확실한 보상 기준을 제시하여 명확한 동기를 부여해야 한다. 먼저, 금전적 보상 측면에서는 안정된 급여를 보장하고 초과 성과를 달성했을 경우 이에 대한 보상을 제공하는 것이 필요하다. 특히, 공공연구개발의 지식재산 귀속제도는 연구개발 활동의 결과물인 지식재산이 누구에게 귀속되어야 하는지를 규정하는데, 결과물을 내는 데 많은 기여를 한 연구자일수록 그에 합당한 보상을 받는 방향으로 해당 제도를 개선해나가야 한

다.^[224] 또한, 연구자에게 좋은 연구 환경을 제공하고 연구를 통해 국가에 기여한다는 자부심을 갖도록 하는 등 비금전적 보상도 중요하다. 특히, 안정적인 연구 환경에서 연구자가 연구 성과를 축적하고 지속적으로 성장할 수 있는 환경을 조성해 주는 것이 우수한 성과를 이끌어 내는 효과적인 동기 부여 수단일 것이다.^[225]

5-2.

도전적이고 창의적으로 지식을 창출하는 국가연구개발체계

5-2-1. 미지의 세계에 대한 임무 중심의 도전연구체계 구축

1) 도전의 대상, 목표 및 실패가능성에 대해 사회적 공감대를 형성하고 도전 추진체계를 강화하자

미래에는 기존의 기술적 한계를 극복하고 새로운 영역을 개척하는 고위험 고수익(high risk, high return)의 도전연구의 중요성이 강조될 것이다. 이와 같은 도전연구의 대표적 사례는 거대과학(big science)이다. 거대과학은 막대한 자본과 인력, 그리고 대규모 연구시설물과 글로벌 네트워크를 필요로 하는 기초과학 분야를 의미한다.^[226] 새로운 물질과 소재, 인간과 생명체, 지구와 우주 등을 다루는 입자물리학, 고체물리학, 뇌과학, 합성생물학, 천문학 등이 대표적인 사례이다. 이 분야는 국가전략적 활용도나 경제사회적 기여도 등 연구 성과의 파급

효과가 매우 크지만, 대규모 투자가 필요하고 실패 가능성도 높기 때문에 정부의 역할이 중요하다.^[227] 연구자들이 실패를 무릅쓰고 과감하게 도전할 수 있도록 국가는 연구자들을 전폭적으로 지원해 나가야 하는데, 이를 위해서는 다음과 같은 사항을 고려해야 한다.

첫째, 연구자의 도전적인 활동과 투자를 장려하기 위해서는 실패를 인정하고 도전을 복돋아 주는 제도적 장치를 강화해야 한다. 기본적으로, 연구 수행 과정에서 연구자의 성실성이 인정된다면 실패에 대한 책임을 부과하지 않도록 하여, 연구자들이 실패를 두려워하지 않는 환경을 조성해야 한다. 그리고 실패를 자산으로 축적하여 재활용할 수 있도록, 실패 경험을 통해 축적된 지식과 경험을 명문화하여 축적하고 공유하는 ‘실패 플랫폼’도 구축할 필요가 있다. 또한, 동일한 목표에 대해 복수의 연구를 추진함으로써 일부는 실패하더라도 연구자 간 치열한 경쟁과 상호학습을 통해 목표 달성 확률을 높이는 ‘경쟁형 R&D’ 방식의 도입도 확대해야 한다. 더불어, 성공한 연구에 대해서 연구자에게 확실한 금전적 보상을 제공하는 ‘R&D 포상금’ 제도도 적극적으로 활용해야 한다. 마지막으로, 가장 중요한 것은 연구자들의 도전을 장려하기 위해 시행착오나 실패의 중요성에 대해 사회적인 공감대를 형성해 나가는 것이다. 고수익을 추구하면서 이에 수반되는 고위험을 수용하지 않는다면 도전은 시도되지 않는다.

둘째, 중장기적인 관점에서 추진되는 도전연구를 활성화하고, 적합한 추진체계를 마련하여 효과적으로 관리해야 한다. 최근 정부는 ‘혁신도전 프로

젝트’, ‘과학난제 도전 융합연구개발’, ‘산업기술 알키미스트 프로젝트’ 등 다양한 도전연구 프로젝트를 추진하고 있다. 도전연구는 기업 등 개별 주체가 추진하기 어렵기 때문에, 앞으로도 국가 차원에서 지속적으로 투자해야 한다. 또한, 도전연구는 많은 경우 대규모의 자원 투입이 필요하므로 한정된 국가자원을 고려한 선택과 집중 전략과 효과적인 추진체계가 필수적이다. 과학계뿐만 아니라 산업계, 국민, 정책 담당자의 의견을 모두 담아내고, 국가 전략 측면에서의 중요도와 경제사회적 기여도, 국내 역량 등을 고려하여 우선적으로 투자할 대상과 목표를 선택해야 한다. 추진체계에서도 연구자가 도전에만 집중할 수 있도록 사업책임자가 기획부터 평가까지 사업 전 주기를 전문적으로 관리하는 사업관리자(project manager, PM) 제도, 복수의 연구팀을 선정하는 경쟁형 R&D, 점수나 등급을 매기지 않는 컨설팅 평가, 해외 동료 평가, 자유로운 목표 재조정 및 조기 종료 등 유연한 방식을 도입하여 적용하고, 그 성공 및 실패 경험을 축적해 나가야 한다.

2) 공공연구기관에 명확한 임무를 부여하고

임무·성과·지원 간의 연계를 강화하자

미래사회의 문제를 해결하기 위해서는 국가연구개발체계의 모든 주체의 참여와 협력이 필요하지만, 3장과 4장에서 제시한 도전과제를 해결하기 위해서는 특히 공공연구기관의 역할이 중요하다. 공공연구기관은 정부 수립 이후 정부조직인 국립연구소를 시작으로, 1967년에는 정부출연연구소, 1990

년에는 전문생산기술연구소 등이 설립되며 확대되었고,^[228] 그 동안 성장동력 발굴·육성 등 과학기술 발전과 국가 성장기반 조성에 기여해 왔다. 그러나 과거에 비해 민간의 R&D 역량이 높아지고 사회적 도전과제가 지속적으로 나타남에 따라 공공연구기관에 대해 새로운 역할이 요구되고 있다. 공공연구기관의 역할을 새롭게 정하고 이에 대한 지원 방식을 설계하기 위해서는 다음과 같은 사항들을 고려해야 한다.

첫째, 공공연구기관의 역할 측면에서는 국가적으로 달성해야 하는 중요한 임무* 중심으로 연구를 수행하도록, 임무지향적으로(mission-oriented) 전환해야 한다. 많은 공공연구기관이 현재 임무가 불분명한 경우가 많고, 임무의 결정도 개별 기관 단위로 이루어지고 있어서 기관 간 협업에 어려움이 있다. 이를 개선하기 위해서는 국가가 달성해야 하는 임무들을 명확하게 정의하고 각 임무에 적합한 공공연구기관에게 임무를 부여해야 한다. 정부는 국가 차원의 수요를 제시하고, 각 기관은 전문분야별 기술전망과 내부역량 분석을 바탕으로 각자에게 맞는 임무를 지속적으로 탐색하여 제안할 필요가 있다. 또한, 국가적인 임무가 점점 복잡해짐에 따라 어느 한 기관의 노력만으로는 달성하기 어려운 경우가 늘어나고 있다. 따라서 현재의 공동연구 형태보다 국가적인 임무를 해결하기에 더 효과적인 체계를 만들어야 한다. 가령, 여러 기관이 함께 달성해

야 하는 임무의 경우에는 다수 기관, 더 나아가 산업계와 학계도 참여하는 공동연구단 같은 임시조직을 구성하고 여기에 임무를 부여하는 것이 바람직하다.^[229]

둘째, 지원 방식은 각 기관이 임무를 효과적으로 달성하면서도 자율성을 확보할 수 있는 방향으로 설계되어야 한다. 기관의 예산은 출연금과 수탁과제 수입으로 구성된다. 출연금은 본래, 기관이 본연의 임무를 수행할 수 있도록 정부가 기관에 지급하는 예산인데, 현재는 기관의 임무에 대한 성과 평가와 이에 연계한 출연금 관리가 제대로 이루어지지 않고 있다. 따라서 기관 입장에서는 추가적인 노력 없이도 확보할 수 있는 출연금을 통한 연구보다는 수탁과제를 수주하는 데 치중하게 되어, 기관 본연의 임무 수행에 상대적으로 소홀해지기 쉽다.

기관 본연의 임무 수행에 집중할 수 있도록 출연금 비중을 높여야 한다는 공공연구기관 연구자들의 요구에 부응하려면 기관의 임무와 출연금 간의 연계성을 높이는 것이 선행되어야 한다. 즉, 공공연구기관의 예산 구조를 임무지향적으로 설계해야 한다. 예를 들어, 정해진 미래 시점까지 기관별로 특정 바이러스에 대한 백신을 개발하거나, 6G 등 차세대 통신 시스템을 개발하거나, 우리 기술로 위성용 발사체를 개발하는 등의 구체적인 임무와 그 시점까지의 출연금 규모를 연계하는 것이다. 정부와 각 공공연구기관은 기관의 임무를 어떻게 정할지, 그 임무에 소요되는 비용은 얼마나 되는지를 협의

* 여기서 임무는 3장과 4장에서 제시한 과학기술 도전과제(예. “차세대 바이오·의료 기술을 통한 건강한 삶 실현”)가 될 수도 있고, 도전과제별로 목표 시점과 결과물을 구체화한 세부과제(예. “2025년까지 특정 바이러스 백신 개발”)가 될 수도 있다.

하여 출연금 비중의 상향 또는 하향을 결정하고, 출연금 이외의 예산은 수탁과제를 통해 확보하도록 한다. 한편, 경쟁을 통해 수탁과제를 수주하는 것은 그 기관의 경쟁력이 높다는 사실을 반증하므로, 수탁과제를 수주한 규모에 연계해 출연금을 추가로 지급함으로써 공공연구기관이 경쟁력 제고를 위해 지속적으로 노력하도록 유도하는 것도 검토해 볼 수 있다.^[230]

한편, 임무에 대한 평가는 페널티보다는 동기 부여 및 인센티브 관점에서 설계하여 기관이 실패를 두려워하지 않고 과감히 목표에 도전할 수 있도록 해야 한다. 또한, 임무는 구체적으로 부여하더라도 이를 달성하는 과정에 대해서는 자율성을 확대하여, 미시적인 과정 관리에서 거시적인 성과 관리로 전환해야 한다. 기관이 임무를 달성해 나가는 과정에서의 중간 개입은 최소화하여, 어떤 방법을 선택하고 어떤 기관과 협력하는지 등의 세부적인 내용은 각 주체에 자율적으로 맡겨야 한다.^[231]

5-2-2. 창의적 지식 창출을 위한 자율·교류·축적의 기초연구 지원

1) 기초연구 정책은 연구자가 창의성을 가장 잘 발휘할 수 있는 환경 조성에 초점을 맞추자

“한국인 과학자, 드디어 노벨상 수상!” 미래에 우리가 보고 싶은 뉴스이다. 하지만 노벨상 등 과학기술 분야의 상들은 그 자체가 목적이라기보다는 우리나라 과학기술의 위상을 객관적으로 인정받는다는 점에서 가치가 있다. 노벨상 수상이라는 외적 성취

에만 주목할 것이 아니라 세계적으로 인정받는 연구가 많이 나오도록 기초연구 분야의 연구 환경을 개선하는 것이 선행되어야 한다. 많은 전문가들은 세계적으로 인정받는 탁월한 연구의 생명은 창의성이며, 이는 자율과 교류, 그리고 축적의 산물이라고 말한다. 자유롭게 연구하고 다양한 분야의 연구자들과 활발하게 교류하며 전문성이 장기간 축적되면 창의성은 자연스럽게 발현된다는 것이다. 따라서 향후 기초연구 정책은 창의성이 가장 잘 발현될 수 있는 환경을 조성해 나가는 데 초점을 맞추어야 한다. 이를 위해서는 다음과 같은 사항을 고려해야 한다.

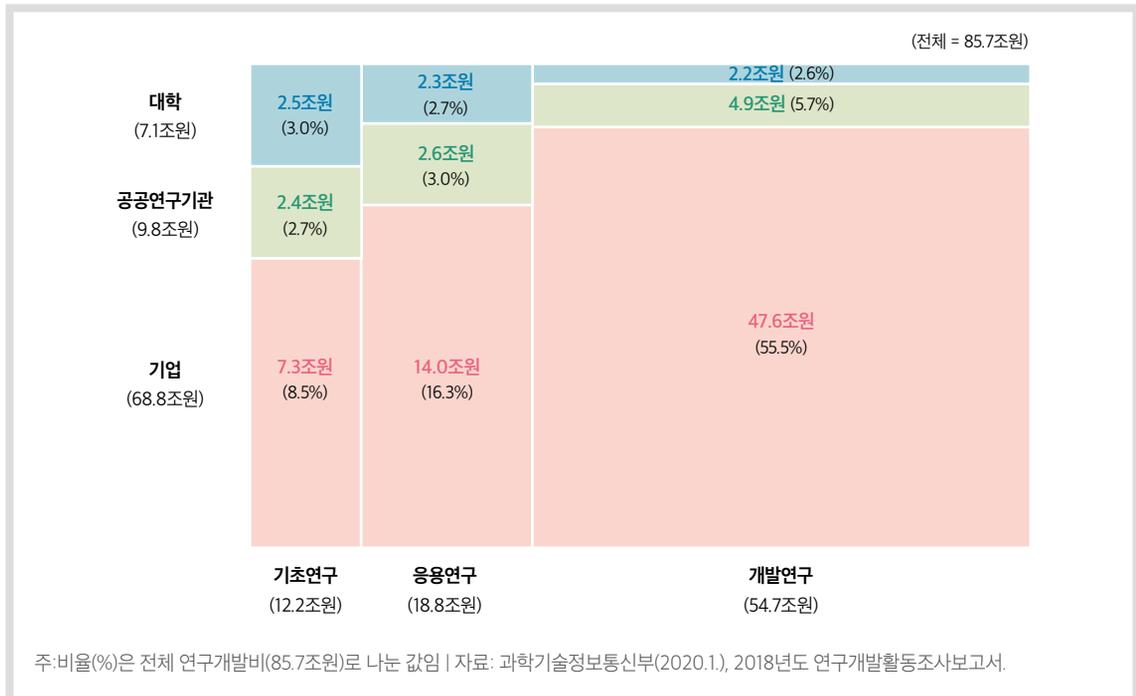
첫째, 연구의 자율성을 높이기 위해서는 연구자가 해당 기초연구 분야와 관련된 중요한 의사결정에 참여할 수 있도록 해야 한다. 모든 연구와 혁신은 그 활동을 하는 주체가 최대한의 역량을 발휘하는 것이 핵심이므로, 정부는 그런 환경을 조성하는 역할에 주력해야 한다. 국가가 기초연구에서 어떤 분야나 도전과제에 얼마나 투자할 것인지, 연구와 관련된 제도를 어떤 방향으로 제·개정할 것인지 등의 문제에 대해 전문가들이 단순히 논의에 참여하는 수준이 아니라 주도적으로 의사결정을 하도록 해야 한다. 또한, 연구를 수행하는 과정에서도 연구책임자에게 연구계획 수립이나 조직 구성 등의 과정에 대해 전권을 부여하여 자율적으로 사업을 이끌어 나갈 수 있도록 해야 한다. 연구기관 차원에서 이루어지는 연구과제의 선정이나 그에 대한 예산 책정이 정치적 이슈 등 외부 요인에 휘둘리지 않도록 기관의 자율성을 보장해 주는 것도 중요하다.

둘째, 정부는 연구자 커뮤니티의 규모^[232], 범위,

분야를 확대하여 연구자 간 교류가 활발하게 일어나도록 촉진해야 한다. 먼저, “기초연구는 대학, 응용연구는 공공연구기관, 개발연구는 기업” 식의 선형적인 구분에서 벗어나, 연구개발 주체와 단계를 뛰어넘어 교류가 활성화되도록 해야 한다. 예를 들어, 응용·개발(상용화) 단계에서 파생되는 기초연구 등 연구 단계를 자유롭게 오가는 협력연구를 촉진해야 할 것이다. 그리고, 기초과학의 여러 난제를 해결하기 위해서는 다양한 분야의 지식이나 이론, 방법론 등이 연계되어야 하므로, 분야 간 공동·융합 연구를 강화하는 것이 중요하다. 분야를 뛰어넘는 공동·융합 연구는 개별 대학이나 출연연 단독으로는 수행하기 어렵기 때문에, 기초과학연구원

등의 기관을 중심으로 대학·공공연·기업의 연구자와 해외 연구자가 참여하는 공동연구단 혹은 융합연구단 운영하여 활성화할 필요가 있다. 또한, 기초연구 예산을 배분할 때 수월성과 형평성 중에서 무엇을 중시할 것인지도 중요한 문제이다. 연구자 커뮤니티의 범위를 확대한다는 측면에서는 가능하면 많은 연구자에게 배분되도록 하는 것이 바람직하다.^[233] 특히 신진연구자처럼 커뮤니티에 새로 진입하는 연구자에 대한 지원을 강화해야 한다. 아울러, 국내 커뮤니티뿐 아니라 전 세계로 교류의 범위를 확대할 수 있도록 과학기술 외교를 강화하고, 주기적으로 연구 교류, 인적 교류, 국제 공동연구 프로그램 등을 제공하여 교류의 지역적 범위를 넓

연구개발 주제 및 단계별 연구개발비(2018년)



하는 것도 필요하다.

셋째, 정부는 기초연구의 전문성 축적을 위해 대규모 첨단 연구 인프라를 확충하고, 연구자가 한 분야에 장기간 집중할 수 있는 환경을 조성해야 한다. 먼저, 연구 인프라 측면에서는 중이온가속기, 슈퍼컴퓨터 등 고가의 핵심 연구시설과 장비를 확보함과 동시에, 대외에 널리 개방하여 모든 연구자들이 자유롭게 활용할 수 있도록 해야 한다. 다음으로, 연구자가 한 분야에 장기간 집중할 수 있는 환경을 조성하려면, 대가를 바라지 않는 지원을 지속적으로 제공할 필요가 있고, 비록 단기적인 성과가 미흡하더라도 지원을 유지해야 한다.^[234] 세계적으로 인정받는 우수한 연구는 아무도 중요하다고 생각하지 않을 때, 그 분야를 꾸준히 연구해 온 연구자로부터 나온다. 과거와 유사한 주제라는 이유로 ‘한 우물 파기’ 연구를 외면하는 현재의 풍토는 개선되어야 한다. 연구비의 형태도 결과의 유용성을 중시하여 계약(contract)에 의해 지원되는 방식에서 결과의 유용성을 고려하지 않고 연구자에게 보조금(grant) 형태로 지원하는 방식으로 전환해야 한다.^[235] 아울러 연구자가 연구에 집중할 수 있도록 행정절차를 간소화하고, 연구행정 전담인력, 연구장비·시설 전문기술자 등 연구자를 지원하는 인력도 충분히 확보해야 한다.

2) 대학이 미래변화에 대응해 연구와 교육 기능을 변화시켜 나가고 자율적으로 특성화하도록 하자

미래에는 저출산으로 인해 학령인구가 감소함에 따라 대학의 구조조정이 가속화될 수도 있고,^[236] 반대로 고령화와 경제활동 기간 연장에 따라 다양한

연령대의 교육 수요가 증가하여 대학의 역할이 늘어날 수도 있다. 또한, 인구 감소와 지역 간 격차 확대로 인해 지역경제가 침체될 경우 일부 대학에게는 위기가 될 수도 있고, 디지털기술과 교통수단의 발전으로 인해 거리의 제약이 줄어들 경우 전국 어느 지역의 대학이라도 경쟁력만 갖추고 있다면 성장할 수 있는 기회가 될 수도 있다. 우리나라 대학은 인재 교육의 산실이자 기초과학 등 창의적 지식의 보고로서의 역할을 수행하면서 성장해 왔지만, 미래사회의 변화에 직면하여 생존과 발전을 도모하기 위해서는 많은 변화가 필요하다. 무엇보다도 대학 스스로 변화하려는 자발적인 노력이 필요하며, 정부 또한 변화를 시도하는 대학에 대해서는 제도 개선 등 지원을 아끼지 않는 한편, 변화를 시도하지 않는 대학에 대해서는 지원을 축소함으로써 대학의 자율적인 노력을 촉진해야 한다. 이를 위해서는 다음과 같은 방안을 모색할 필요가 있다.

첫째, 미래 대학의 연구 기능과 관련해서는 국책 연구소 수준의 우수한 대학연구소를 육성해야 한다. 현재 대학에서의 연구는 교수 개인 단위로 이루어져, 교수와 지도학생이 현재 수행하고 있는 과제가 종료되면 다른 주제의 과제로 옮겨가게 되므로, 동일한 주제의 연구에 장기간 집중하기 어려운 구조이다. 한 분야에서 장기적으로 연구를 지속하기에는 대학연구소 체계가 더 효과적일 수 있다. 그리고 대학연구소의 중점 분야에 특성화된 전문연구원을 육성하고 이들이 교육에도 참여하도록 한다면, 해당 분야에서 뛰어난 후속 인재들을 계속 양성해 나갈 수 있다. 이를 통해 뛰어난 연구 성과를 내고

인재를 육성하는 연구 및 산업 생태계가 조성되면서 대학은 글로벌 연구중심 대학으로 성장해 나갈 수 있을 것이다.^[237]

둘째, 대학이 과감하고 실험적인 형태의 연구 및 교육 환경을 시도하고 확대할 수 있도록, 규제를 점진적으로 축소하고 제도의 유연성을 제고해야 한다. 대학은 시대적 변화에 맞춰 새로운 교수·학습 방법을 시도하는 것이 필요하다. 기존의 교육환경이 동일한 학생·시간·장소라는 '3S(same people, same time, same place) 교육'이었다면, 앞으로는 시간과 장소에 구애받지 않고 누구든지 교육을 받을 수 있는 '3A(anytime, anywhere, anyone) 교육'으로 변화해야 한다. 현재 세계 각국에서 과감하고 실험적인 형태의 대학들이 시도되고 있는데^[238], 이런 경향은 향후에도 점차 확대될 것이다.

학령인구가 많았던 과거의 대학교육은 대학이 중심이 되는 공급자 주도의 시장이었고, 따라서 정부의 규제가 필요했다. 하지만 인구가 감소하는 미래의 대학교육은 수요자인 학생 주도의 시장으로 바뀌게 될 수 있고, 일부 상위권 대학을 제외하면 많은 대학들이 경쟁에 직면하여 일정 부분 구조조정을 할 수밖에 없을 것이다. 따라서 사회적인 논의를 통해 학과 설립, 입학 정원, 등록금, 원격수업 등에 대한 정부 규제를 점진적으로 축소해야 한다. 또한, 정부는 대학에 대한 지원사업의 구조를 정비하고, 대학이 연구 중심, 산학 협력, 지역 협력 등 다양한 방향으로 특성화하여 성장하도록 지원해야 한다. 현재 국내 대학들은 연구비 규모나 학생 수 등 연구 및 교육 여건 차이가 크고,^[239] 앞으로는 지역인구 감소 등

에 따라 격차가 확대될 가능성이 있다. 따라서 대학은 각자의 상황에 따라 글로벌 연구중심 대학, 산학 협력 거점 대학, 지역특성화 거점 대학, 평생교육 거점 대학 등 차별화된 성장모형을 설계하여 발전시켜 나가야 한다. 또한, 대학을 논문 수 등 정량적인 지표 위주로 평가하는 방식에서 특성화 성과를 정성적으로 평가하는 방식으로 전환해야 한다.

5-3.

신성장동력을 키우고 기존 성장동력을 다지는 산업기술개발

5-3-1. 혁신의 전 과정을 지원하며 기업과 함께 미래 성장동력 창출

1) 성장동력 발굴 방식을 정부 주도에서 기업과 정부의 팀 체계로 전환하자

미래에 좋은 일자리가 충분히 공급되고 국민들의 소득이 높아지며 국가경제가 성장하기 위해서는 성장동력이 지속적으로 창출되어야 한다. 미래의 성장동력은 어디에서 창출될 것인가? 물론, 생존과 건강, 의식주, 관계와 소통, 이동, 학습과 오락 등 미래사회의 소비욕구를 충족시키는 데에서 창출될 것이라는 점은 분명하지만, 구체적인 기술이나 상품을 예측할 수는 없다. 성장동력 발굴은 환경 변화를 조기에 포착하고 수많은 시행착오를 거쳐 시장을 만들어 내는 기업들의 민첩성과 적극성이 발휘되어야만 가능하다. 따라서 미래에는 성장동력 발

굴과 관련하여 정부와 민간의 역할이 과거와는 달라져야 한다.

첫째, 성장동력을 발굴하는 방식을 전환해야 한다. 기존처럼 정부가 주도하는 것이 아니라 정부와 기업이 팀이 되어 함께 발굴하는 것이다. 과거 성장동력 정책의 핵심은 정부가 10여 개의 성장동력 분야를 선정하여 R&D를 중심으로 집중 투자하는 것이었다. 이와 같은 정부 주도의 패러다임은 정부가 민간 기업에 비해 정보력이나 의사결정의 효율성에서 앞섰던 과거에는 효과적이었다. 하지만 이제는 민간 부문의 괄목할 만한 성장으로 인해 정부가 특정 기술이나 산업 분야를 육성하는 방식은 더 이상 유효하지 않게 되었다. 또한, 정치적 변화에 따라 중점 성장동력 분야가 자주 변경되면, 정책의 일관성과 추진력도 낮아진다. 해외 주요 선진국에서도 정부가 특정 기술이나 산업을 성장동력으로 선정하는 사례는 찾아보기 어렵다. 따라서 정부는 구체적인 성장동력을 선정하는 것이 아니라 기후변화, 고령화, 감염병 같은 미래사회의 도전과제를 제시하는 등 큰 그림(big picture)을 그리고, 기업은 이를 참고하여 각자의 전문성을 바탕으로 실제로 유망 기술과 상품을 탐색하여 성장동력으로 키워 나가야 한다.

둘째, 정부는 성장동력 발굴을 위해 필요하지만 기업이 하기는 어려운 활동들을 수행해야 한다. 예를 들어, 민간 부문에서 수행하기 어려운, 실패 가능성이 크지만 성공할 경우 미래에 다양한 성장동력을 만들어 낼 수 있는 고위험 대형 연구에 장기적으로 투자해야 한다. 아울러, 인공지능, 양자컴퓨팅, 블록체인 등 산업 및 사회 구조에 광범위한 변

화를 가져오고 전 산업에 활용될 수 있는 미래 범용기술에도 투자함으로써, 혁신의 기반을 강화해야 한다. 또한, 정부는 기업의 ‘국가 마케팅’을 지원하여, 기업이 글로벌 시장을 확대할 수 있도록 해야 한다. 국가 마케팅이란 특정 국가에 단기적인 수익만을 위해 진출하거나 단품을 판매하는 것이 아니라, 진출 대상국의 경제 발전에 기여하면서 장기적으로 상생하기 위해 다양한 산업의 기업들이 협력해 관련된 사업을 일괄 제공하는 해외진출 전략을 의미한다.^[240] 개도국을 대상으로 지역 개발, 자원 개발, 국가 경제 컨설팅 등을 묶음으로 제공하는 형태가 대표적이다. 이미 우리나라 기업들이 국가 마케팅을 활발하게 전개하고 있지만, 국가 간 외교, 기업 간 협력 조율 등 정부가 담당해야 하는 역할도 분명히 존재한다. 정부는 유망기술 분야별로 마케팅 대상 국가를 지속적으로 발굴하고, 국내의 다양한 산업의 대기업과 중소기업이 해외 시장에 진출할 수 있도록 지원해야 한다.

2) 성장동력 정책 범위를 R&D 중심에서 혁신의 전 과정으로 확장하자

미래에는 다양한 신기술이 등장하고 산업의 패러다임이 전환될 것으로 전망되므로 성장동력 정책에도 새로운 발상이 필요하다. 역사를 돌아보면 기존과는 전혀 다른 불연속적인 기술이 등장하는 시기가 전개되고 그 이후 점진적인 기술의 개선이 이루어지는 시기가 도래하며, 다시 또 다른 불연속적인 기술이 등장하는 시기가 반복되는 패턴을 보인다.^[241] 그런데 향후 수십 년간은 점진적인 개선이 이루어지는

시기가 아니라 인공지능, 바이오, 우주 등 다양한 과학기술 분야에서 새로운 발견과 발명이 등장하여 산업과 생활의 틀을 급진적이고 불연속적으로 변화시키는 시기가 될 가능성이 크다. 따라서 성장동력 정책도 시대의 변화에 맞추어 기술과 산업의 틀이 새롭게 재편될 수 있도록 수립되어야 하는데, 그러기 위해서는 다음과 같은 사항을 고려해야 한다.

첫째, 기술 확보 방식을 전통적인 R&D 중심에서 외부기술 연계 개발(C&D), 인수 후 개발(A&D) 등으로 다양화하는 것이 필요하다.^[242] 과거에는 성장동력의 핵심 원천기술을 확보하기 위해 R&D 사업을 중심으로 정책을 추진해 왔다.^[243] 그러나 미래에는 기술의 수명이 점점 단축됨에 따라 오랜 시간이 소요되는 R&D에만 의존해서는 혁신의 속도를 따라가기 어렵다. 또한, 하나의 혁신 상품을 개발하기 위해서는 다양한 종류의 기술이 필요하므로

모든 기술을 자체적으로 개발하기도 어렵다. 따라서 기업 내부뿐 아니라 외부에서도, 그리고 직접 개발하는 방식 뿐 아니라 기술 구매 등 다른 방식으로도 기술을 확보할 필요가 있다. 따라서 정부는 기존 R&D 사업 중심의 지원에서 벗어나서 다양한 지원 수단을 통해 기업이 기술 확보 방식을 다각화할 수 있도록 돕는 것이 중요하다. 예를 들어, 기술을 확보하려는 기업에게 기술거래 플랫폼을 통해 대학, 출연연, 연구개발서비스 기업 등이 보유한 기술을 중개해 줄 수도 있고, 기술 인수 후의 후속 연구개발을 대학, 출연연, 연구개발서비스 기업 등과 함께 추진할 수 있도록 지원할 수도 있다.

둘째, 기업의 기술 확보뿐만 아니라 협업 촉진, 이해관계 조정, 시제품 제작, 인증·실증, 공공 구매, 시장 개척, 법·제도 개선 등 비R&D적 요소까지 종합적으로 연계해서 지원하는 것이 필요하다. 실제



기업들은 실제로 R&D에 성공하고도 사업화 및 시장 진출에 어려움을 겪는 경우가 많다. 특히, 산업 패러다임이 전환되는 시기에는 기술개발의 성공이 실제 상품의 성공으로 연결되기가 더욱 어렵다. 따라서 기업의 취약한 부분을 지원해 사업 성공률을 높이기 위해서는 종합적인 연계 지원이 필요하다. 특히, 최근 신산업 창출과 관련하여 모든 문제가 규제로 귀결되는 현실을 고려할 때, 제도적 한계를 그대로 둔 채 정부가 R&D 위주로 지원하는 방식은 효과를 거두기 어려울 것이다. 우리나라의 규제 강도는 미국, 중국 등에 비해 높다고 평가되고 있으며,^[244] 국가연구개발사업과 관련해서도 공급자 중심의 복잡한 평가·관리 체계와 수직적 행정절차 등이 문제점으로 지적된다.^[245] 따라서 우리의 제도를 진단하여, 기업이 기술개발 성과를 사업화하는 데 걸림돌이 되는 규제를 사전에 정비하는 것이 필요하다. 세계에서 가장 혁신적인 환경을 구축하기 위해 현재 추진 중인 규제프리존, 규제샌드박스 등을 확대할 필요도 있다.* 동시에, 개별 규제에만 집중하기보다는 산업 간의 칸막이를 실질적으로 낮추어 새로운 기술과 아이디어가 분야를 넘어 자유롭게 실증·사업화될 수 있도록 해야 한다.

5-3-2. 기술경쟁력 있는 기업이 성장하고 리스크에 대응하는 생태계 조성

1) 기업이 기술력을 중심으로 성장할 수 있는 건강한 산업 생태계를 조성하자

우리나라 산업의 바람직한 미래 모습은 대기업과 중소기업이 모두 강해지고 경쟁력 있는 벤처기업이 지속적으로 등장하여 성장하는 것이다. 즉, 국가 경제의 성장을 이끄는 주체가 기존의 대기업에서 중소기업·벤처기업으로 바뀌는 것이 아니라, 현재와 미래의 대기업, 중소기업, 벤처기업이 모두 성장하여 국가 성장에 기여하는 것이다. 그리고 우리나라의 주력 산업과 기업이 달라지는 것이 아니라 확장되는 것이다. 따라서 미래에 우리나라에는 더 많은 대기업이 나와야 하고,^[246] 더 많은 중소·벤처기업이 글로벌 경쟁력을 가진 기업으로 성장해야 해야 한다.^[247] 즉, 성장정책의 목표가 규모에 따라 대상을 구분하여 직접적으로 지원하는 것이 아니라 규모와 관계없이 경쟁력 있는 기업이 탄생하여 성장할 수 있는 환경을 조성하는 것이 되어야 한다. 이를 위해서는 다음과 같은 사항을 고려해야 한다.

첫째, 기술력 있는 스타트업이 지속적으로 만들어질 수 있는 창업 생태계를 조성해야 한다. 세계 각지에는 경쟁력 있는 창업 생태계가 다수 형성되어 있고 현재도 계속 만들어지고 있다.^[248] 창업 생태계에서 기술력 있는 스타트업이 계속 나오려면 스타트업의 성장주기에 따라 자금, 지식재산, 표준, 규제 등의 측면에서 세심한 지원이 필요하다. 예를 들어 규제의 경우, 인공지능 등 신기술이 발전하며

* 규제프리존과 규제샌드박스는 기존 시장에는 없는 창의적이고 혁신적인 제품이나 서비스를 출시하려 할 때 기존 규제에 막혀 지체되거나 무산되는 일이 없도록 하기 위한 제도들이다. 규제프리존은 일정 지역 내에서, 규제샌드박스는 일정 기간 동안 기존 규제의 적용을 하지 않거나 유예해주는 시장

각 산업 분야와 접목되어 새로운 사업 기회를 만들고 있는데 그 산업의 기존 규제가 이를 막고 있지는 않은지 살펴야 한다.^[249] 무엇보다도, 사회 전반에 창업에 대한 긍정적 인식을 형성하고 창업을 촉진하기 위해 기업가 정신을 함양하기 위한 교육과 훈련이 강화되어야 한다. 그래서 창업가가 롤모델(role model)인 사회를 만들어 나가야 한다.

둘째, 규모와 관계없이 모든 기업이 성장할 수 있는 건강한 산업 생태계를 육성해야 한다. 먼저, 기업 규모가 크다는 이유로 성장의 제한을 받아서는 안 된다. 국가경제의 성장을 지향하면서 “대기업 주도 성장을 중소·벤처기업 주도 성장으로 바꾸자”라는 주장처럼 대기업을 배제하는 것은 현실성이 없다. 따라서 경쟁력과 무관하게 기업 규모를 기준으로 사업 참여에 제한을 두는 제도와 관행들은 지속적으로 개선해 나가야 한다. 반대로, 기술력이 있지만 기업 규모가 작다는 이유로 차별을 받아서도 안 된다. 정부는 공공구매 제도 등을 적극적으로 활용하여 기술력 있는 중소기업과 스타트업들에게 사업기회를 제공해야 한다. 또한, 정부는 대기업, 중소기업, 벤처기업, 더 나아가 공공 부문이 기술, 인력, 자본 등을 활발하게 교류 및 협력하며 함께 성장해 나갈 수 있도록 지원해야 한다. 특정 산업에서 기술적인 진입 장벽이 있을 경우 공동연구 프로젝트를 추진하여 해결하고,^[250] 협력에 장애가 되는 제도적 요인들도 개선해 나가야 한다.^[251]

2) 기업과 산업이 직면할 리스크에 선제적으로 대응하고 핵심자원을 확보하자

미래에 우리 산업은 단순히 높은 성장률만이 아니라 내실 있고 튼튼한 성장을 추구해야 한다. 미래에는 전 세계 또는 특정 지역의 전염병 발생, 극단적 기상이변 등 다양한 리스크가 나타날 것으로 예상되고, 강대국 간 갈등을 비롯하여 세계 각국의 자국 우선주의가 심화되면서 자신들이 우위를 가진 분야를 전략 무기로 활용하려는 경향이 강해질 것이기 때문이다. 따라서 미래의 성장동력 정책은 새로운 산업을 발굴하는 것에 그치는 것이 아니라, 그 산업에 위협이 되는 요인이 무엇인지 파악하여 국가 차원에서 선제적으로 대응하는 것까지 포괄해야 한다. 이를 위해서는 다음과 같은 방안을 모색할 필요가 있다.

첫째, 우리나라 산업이 과도하게 해외 특정 국가 또는 기업에 의존하고 있어서 공급 중단 등의 리스크에 노출되어 있는 부문은 없는지 상시적으로 점검하고 업계와 공동으로 대응해 나가야 한다. 최근에 정치·외교적 갈등이 무역 분쟁으로 번지거나, COVID-19 사태와 같은 예상치 못한 전염병 리스크가 발생하며, 글로벌 분업 체계의 취약성이 드러나고 있다. 따라서 우리 주력산업의 핵심 소재·부품·장비·소프트웨어와 해외 글로벌 기업들이 주도하고 있는 클라우드·인공지능 등의 플랫폼이 향후에도 안정적으로 확보될 수 있도록 자체 개발 병행, 해외 공급선 다변화 등과 같은 여러 가지 대안을 마

에서 새로운 기술을 검증하는 것을 허용해주는 것을 말한다.

련해 두어야 한다.^[252] 또한, 점차 증대되고 있는 우리나라 기업에 대한 특허 괴물의 공세에도 공동 대응이 필요하다.* 특허 괴물은 우선 대기업을 대상으로 소송을 제기하고 대기업을 합의하여 특허료를 지급하면 이후에 중소기업을 공격하는 전략을 사용하므로 특허 괴물의 공세 초기부터 대기업과 중소기업의 공동 대응이 필요하다.

둘째, 전 지구적으로 자원 고갈이 미래의 핵심 도전과제가 되고 있는 가운데, 유무형의 미래 핵심 자원을 확보·공유·활용하는 전략이 필요하다. 우리나라가 목표로 하고 있는 다양한 신산업에는 리튬, 코발트, 희토류, 망간 등의 광물자원이 필수적으로 사용된다. 이 광물자원은 국내외적으로 수요가 증가하고 있는데, 우리나라에 거의 매장되어 있지 않아 향후 안정적인 확보 방안이 마련되어야 한다. 또한 생물자원, 생물다양성, 생명정보 등의 생명자원은 고부가가치 천연자원으로, 산업적으로도 중요할 뿐만 아니라, 안전한 먹거리, 질병 조기 진단, 맞춤치료 등 인간의 안전한 삶과도 밀접하게 관련되어 있다. 특히, 급격한 기후변화가 발생하게 될 경우 이에 잘 적응할 수 있는 동식물 종자를 개발하는 것도 미래 식량주권의 확보에 중요한 과제가 될 것이다. 또한, 동물, 식물, 미생물 등의 방대한 생명자원 데이터를 얼마나 효율적으로 수집·공유·활용하여 새로운 가치를 창출하는지가 미래 산업 경쟁력의 중요한 지표로 작용할 것이다. 한편, 에너지에

대한 해외 의존율이 97%에 달하는 우리나라로서는 에너지 자원을 안정적으로 확보하는 것도 매우 중요한 과제이다. 미래에 발생할 수 있는 국가 간 에너지 분쟁에 대비하여 수입 다변화, 국내 신재생에너지 비중 확대 등을 장기적인 안목에서 추진하여 국가 에너지 안보를 강화해야 한다.

5-4.

사회문제를 해결하고 삶의 질을 제고하는 공공연구개발

5-4-1. 기술개발만이 아닌 문제해결을 위한 연구개발 추진체계로 전환

1) 사회적 난제 해결을 위한 문제해결형 R&D 추진 체계를 설계하자

미래사회에는 많은 도전과제가 등장할 것이며, 급속도로 발전하는 과학기술이 이를 해결해야 한다는 사회적 기대도 높아질 것이다. 현재 과학기술을 통한 사회문제 해결이 어려운 이유는 연구개발의 목표와 평가지표가 문제의 직접적인 해결과는 관련성이 낮기 때문이다. 기존의 공공연구개발 체계는 실제 문제 해결과는 거리가 있는 단일 기초기술이나 요소기술 개발에 치중하는 ‘기술완성형’이었다. 미래에는 공공연구개발 체계를 실제 해결해야 하는

* 특허 괴물(patent troll)은 개인 또는 기업으로부터 특허 기술을 저가로 매입한 후 특허권 침해 기업에 소송을 제기하여 막대한 로열티를 얻어 이익을 창출하는 기업이다.

문제를 구체적으로 정의하고 이를 단계별로 완성해 나가는 ‘문제해결형’으로 전환해야 하는데, 그 구체적인 방안은 다음과 같다.

첫째, 기획 단계에서 국가적으로 해결해야 하는 사회적 난제에 대해 사회적 공감대를 형성하고, 공공연구개발로 해결하고자 하는 문제와 목표를 구체화해야 한다. 모호하거나 선언적인 목표를 지양하고, 연구개발이 성공했을 때 기술·제품·서비스 등의 결과물이 누구에게 어떤 가치를 제공하는지, 누구의 어떤 불편을 해소하는지를 결정해야 한다. 이를 통해 예상 결과물의 수혜자, 성능, 기대효과 등을 구체화·정량화하여, 가능하다면 과제명이나 개발 목표에 명시하는 것이 바람직하다.^[253] 신약을 개발하는 과정에서 활용되는 목표제품개요(target product profile, TPP)가 하나의 좋은 사례가 될 수 있다. 이는 일종의 ‘제품 명세서’를 연구자에게 제공하는 것인데, 연구자가 개발 단계에서부터 신약의 기능, 적용 대상 및 기간, 투약 방식 등 구체적인 사항을 고려하도록 함으로써, 연구개발의 목표를 구체적으로 이해할 수 있게 한다. 여기서 한 가지 주의할 점은 목표를 달성하는 데 필요한 기술이나 방법은 연구자가 선택하도록 해야 한다는 것이다. 목적지는 구체화하되 거기까지 도달하는 경로는 자율성을 부여함으로써, 연구개발 수행 주체가 분명한 방향성을 가지고 문제해결에 집중할 수 있도록 해야 한다.

둘째, 추진 및 평가 단계에서 개별 요소기술 개발이 아니라 각 기술이 연계된 시스템의 완성 여부를 관리 및 평가해야 한다. 현재 출연연 등의 연

구 방식에 대한 문제점으로는 연구책임자별로 수행하는 연구가 분리되어 상호 연계성이 부족하고, 연구자 간 협력이 약하다는 점이 지적된다.^[254] 그리고 대부분의 경우 현장의 문제를 해결하기 위해서는 몇몇 기술이 개발되는 것만으로는 부족한 경우가 많다. 따라서 개발되어야 하는 전체 기술을 염두에 두고 관련된 요소기술의 개발이 전체 시스템의 완성으로 이어질 수 있도록 체계적으로 관리해야 한다. 성과를 평가할 때도 논문 수나 특허 수 등 정량적 지표나 특정 기술의 완성도(technology readiness level)를 활용할 것이 아니라, 목표로 설정한 시스템 전체의 완성 여부를 평가해야 한다. 예를 들어 미국, 영국 등에서 활용하고 있는 ‘시스템 완성도(system readiness level)’라는 개념을 도입하는 것도 검토할 수 있다.^[255] 여기서 시스템이란 단순히 요소기술이 확보되는 것에 그치지 않고, 기술이 결합되어 만들어지는 제품, 그리고 제품에 사용되는 소프트웨어가 개발되고, 제품이 안정적으로 생산되는 체계가 완성되는 것까지를 포함한다. 또한, 시스템의 완성도를 평가할 때 기술적인 측면뿐만 아니라 사회적으로 어떤 영향이 있는지도 고려해야 한다.

마지막으로, 사회문제 해결을 위해 공공 부문의 장기적이고 선제적인 대규모 투자가 이루어져야 하며, 투자를 유도하기 위한 인센티브가 제공되어야 한다. 실질적으로 사회문제를 해결하기 위한 공공 기술들은 경제성이 부족한 경우가 많아서, 민간 기업에게 특별한 인센티브가 주어지지 않으면 개발되기 어렵다. 따라서 이러한 공공성의 성격이 강한 기

술개발을 촉진하기 위해서는, 연구개발비 산정기준이나 예비타당성 조사 평가기준 등에 있어서 별도의 기준을 적용하는 것을 검토해야 한다.

2) 문제해결을 주도할 혁신가(entrepreneur)를 선정하여 권한을 부여하고 종합적으로 지원하자

미래사회의 변화 속도와 복잡성을 고려할 때, 문제해결 과정을 미시적으로 관리하는 것보다는 역량과 열정을 가진 주체에게 임무와 권한을 부여하고 그가 최선을 다할 수 있는 제반 여건을 조성하는 것이 효과적이다. 여기서 주체란 민간 부문에서는 기업가에 해당하지만, 공공 부문에서는 누구인지가 불분명한 경우가 많다. 현재 공공 부문의 연구개발 체계는 누구도 손해 보지 않고 누구도 책임지지 않는 시스템이라는 평가를 받고 있다. 연구자, 관료, 산업계와 학계 모두 국가 예산과 거기서 파생되는 책임을 배분하므로 결과적으로 수요자인 국민은 누구에게 책임이 위임되었는지 알 수 없으며 누구에게도 책임을 물을 수 없다. 따라서 공공 부문의 혁신이 이루어지려면 문제해결을 책임지고 추진할 혁신가(entrepreneur)의 역할이 필요하다.

첫째, 문제해결 과정에서 다양한 이해관계자를 모아 사회문제 해결을 책임지고 추진할 혁신가를 확보하여 임무를 명확하게 부여해야 한다. 기후변화, 고령화, 사회갈등 같은 사회적 도전과제를 해결하는 과정에서는 예상하지 못한 다양한 문제들이 발생하기 마련이다. 특히, 문제를 해결하려면 여러 분야의 전문성을 활용하고 다양한 의견을 수렴해야 하므로 조정과 연계가 핵심적인 이슈가 된다. 따라

서 참여자의 전문성을 연계하고 이해관계를 조율하며 연구개발부터 사업화까지의 모든 과정을 주도적으로 추진할 인물, 즉 혁신가가 필요하다. 각 문제의 해결에 적합한 역량 있는 전문가를 어떻게 찾아낼 것인가가 매우 중요하다. 예를 들어, 미국 방위고등연구계획국(DARPA)의 경우처럼 민간 전문가를 사업관리자(program manager, PM)로 초빙하여 공공의 문제해결에 도전하도록 하고, 성공할 경우 그 경력을 바탕으로 다른 조직으로 승진하는 기회를 제공하는 것도 가능할 것이다.

둘째, 혁신가의 역할을 정의하고 그에게 전권을 준다고 해서 문제가 해결되는 것은 아니므로, 혁신가가 부여받은 역할을 원활하게 수행할 수 있도록 정부가 적절한 환경을 조성해 주어야 한다. 중소기업·벤처기업이 현장의 애로 사항을 겪을 때 인적·물적 자원과 기술자문, 경영컨설팅 등의 서비스를 체계적으로 제공하는 것처럼, 사회문제를 해결하는 혁신가에게도 이와 같은 ‘원스톱 지원’이 필요하다. 특히, 혁신가가 연구나 기술개발보다는 성과 달성을 위한 종합적인 관리에 집중할 수 있도록 해야 한다. 이를 위해 필요한 인력, 예산 등을 자율적으로 조정할 수 있도록 권한을 주고, 정부 또는 민간전문가와 소통하여 기술, 정책 정보 등을 원활하게 얻을 수 있도록 지원해야 한다. 또한, 정부 부처의 통제나 간섭, 경직적이고 획일적인 규정에서 벗어나 마음껏 역량과 열정을 발휘할 수 있도록 법적·제도적으로 뒷받침해 주어야 한다.

5-4-2. 국민 모두가 참여하고 모두가 혜택을 누리는 과학기술

1) 과학기술 연구와 정책 과정에 국민의 참여를 확대하자

미래에는 과학기술 연구와 정책의 수요자이자 생산자로서 국민의 역할이 더욱 커져야 한다. 과학기술이 사회문제나 일상생활의 불편 등 국민들이 경험하는 문제들을 더 잘 해결하기 위해서는 연구개발 투자를 결정하거나 정책을 결정하는 과정에 국민이 더 많이 참여하여 의견을 제시해야 한다. 또한, '집단 지성(collective intelligence)'이라는 말도 있듯이, 비록 해당 분야의 전문가는 아니더라도 국민들이 내는 아이디어나 데이터가 연구와 정책에 큰 도움이 될 수 있다. 따라서 과학기술의 주체를 소수의 전문가에서 다수의 국민으로 확장할 경우 과학기술의 문제해결력과 사회적인 공감대는 한층 높아질 것이다.^[256] 과학기술 연구와 정책 결정에 국민의 참여를 확대하기 위해서는 다음과 같은 방안을 검토해 봐야 한다.

첫째, 국민이 참여할 수 있는 채널을 다양화하고 연구개발 및 정책 수립 과정에서 국민이 담당하는 역할을 확대해야 한다. 국민들이 실제 생활하는 공간을 실험실로 삼아 교통 혼잡 해소, 공기 질 개선, 생활쓰레기 줄이기 등 다양한 사회문제의 과학기술적 해법을 찾아보는 '리빙랩(living lab)'^[257]이나 본격적으로 정책을 실행하기 전에 이해관계자가 참여하는 시범적인 정책 실험을 통해 정책이 사회에 미칠 영향이나 수용도 등을 평가하는 '정책랩(policy

lab)'^[258]과 같은 방식을 더 많은 문제에 활용해야 한다. 또한, 문제 발견, 대안 탐색, 실험과 실증, 평가 등의 연구개발 과정과 사업화, 법·제도 개선 등 문제가 해결되는 전체 과정에 현장의 시민사회와 이해당사자들이 참여하여 다양한 논의와 실험을 통해 대안을 탐색해 나가야 한다. 모두 함께 혁신 아이디어를 발굴하고 정책을 결정해 나간다면(co-creation), 의사결정까지의 시간은 비록 더 오래 걸릴 수 있으나 실행과 사회적 수용까지의 시간은 크게 단축될 것이다.

둘째, 큰 부담을 주지 않으면서 다수의 국민으로부터 아이디어나 데이터를 모을 수 있는 방법들을 개발하여 활용해야 한다. 국민의 아이디어나 데이터를 손쉽게 수집할 수 있도록 센서, 스마트폰 앱이나 카메라, 데이터 분석 등과 같은 도구를 활용해 볼 수 있다. 예를 들어, 특정 지역 내 거주자들이 연구자가 배포한 센서로 공기 질을 측정하거나, 스마트폰 앱으로 위치별로 지진의 규모를 감지하거나, 스마트폰 카메라로 주변 동식물 생태를 촬영한 사진을 공유하는 등 다양한 시도가 실제로 이루어지고 있다. 또한, 소셜네트워크서비스에 게시된 대량의 데이터를 분석하여 의미 있는 결과를 뽑아내는 텍스트 마이닝(text mining)을 통해 정책 수요를 발굴하거나 특정 정책에 대한 국민들의 반응을 조사할 수도 있다. 한편, 공통된 특성이나 경험을 갖는 사용자 집단을 일정 기간 동안 추적·조사하는 코호트(동질 집단, cohort) 분석이 의료 연구나 복지 정책에서 활용되고 있는데,^[259] 그 적용 분야와 조사 규모의 확대를 고려할 필요가 있다.

2) 과학기술 역기능에 대응하고 모두가 혜택을 누릴 수 있도록 사회에 책임지는 연구를 수행하자

미래에 과학기술이 인류의 삶의 질을 높이는 데 기여하기 위해서는 문제 해결뿐 아니라 과학기술 자체의 역기능에 대한 대응도 중요하다. 새로운 과학기술은 사회문제를 해결하여 삶의 질을 높일 수도 있지만, 한편으로는 법적·윤리적 문제 등 부정적인 영향도 함께 가져올 수 있기 때문이다. 예를 들어, 유전자 편집 기술을 활용하여 아기를 출산해도 되는가의 문제는 세계적으로 논란이 되고 있다. 또한 인공지능(AI)이 학습한 데이터의 특성이나 알고리즘에 따라 편향되거나 비윤리적인 판단을 내릴 수도 있다. 즉, 인간의 인종 차별적인 생각이 반영된 데이터를 학습한 인공지능은 똑같이 인종 차별적인 판단을 내릴 것이다. 이렇듯 신기술이 우리 사회에 미칠 수 있는 영향을 예상해 보고 이에 대한 대응 방안을 마련하는 것은 매우 중요하다. 이를 위해 다음과 같은 사항이 필요하다.

첫째, 연구 활동의 목적, 과정, 결과에 대해 사회적 책임을 중시하는 ‘사회에 책임지는 연구와 혁신(RRI, responsible research and innovation)’의 개념이 연구와 정책 결정 과정에서 확산되고 강화되어야 한다.^[260] 현재도 블록체인, 소셜로봇 등 새롭게 등장하는 다양한 기술에 대해 사회적·윤리적 영향을 평가하는 기술영향평가가 수행되고 있다. 여기서 더 나아가, 연구개발사업 등의 기획, 선정, 추진, 평가하는 전 과정에서 사회적으로 수요가 큰 연구에 우선적으로 투자하거나 선정·평가 등의 과정에 국민의 의견을 상시적으로 반영할 수 있어야

한다. 예를 들어, 연구개발사업을 기획할 때 개발될 기술로 인한 부작용과 위험을 예상하여 기재하거나, 사업을 평가할 때 연구 과정에서 다양한 이해당사자와 일반시민의 참여가 얼마나 이루어졌는지를 반영하는 것 등을 고려할 수 있다. 또한, 기술개발로 인해 예상되는 역기능이나 위험을 예측하여 이를 완화하는 기술을 함께 개발하는 것도 필요할 것이다. 이를 통해 연구와 정책 결정의 모든 단계에 걸쳐 사회적 책임성을 높이고 신기술이 원활하게 사회에 도입되고 정착하는 데 기여할 수 있다.

둘째, 과학기술과 관련된 윤리와 도덕에 대해서도 면밀한 검토가 필요하다. 인공지능, 인공지능, 로봇 등 사회적 파급력이 큰 기술들은 윤리적이고 도덕적인 측면에서 다양한 문제들을 제기한다. 가령, 인공지능을 활용한 챗봇(chatbot) 서비스가 인종 차별적 표현을 사용하거나, 인공지능이 신체의 부품으로 여겨져 위조지폐처럼 위조장기가 거래될 수도 있다. 따라서 신기술 개발로 인해 초래될 수 있는 윤리적·도덕적 문제에 관한 연구를 강화하고 개발 단계에서 개발자에게 지침을 제공하는 등의 정책적 방안을 모색해야 한다.^[261] 또한, 새로운 과학기술이 등장함에 따라 고려해야 하는 사항을 법이나 제도에 반영하여 보완해야 한다. 최근 인공지능이 지켜야 할 윤리적·도덕적 사항에 대한 논의가 활발하게 이루어지고 있고, 그 내용을 법이나 규정에 담아야 한다는 주장이 나오고 있다. 예를 들어, 유럽연합은 데이터 분석과 인공지능 시대를 맞이하여 개인정보 보호를 규정하는 개인정보보호법(General Data Protection Regulation, GDPR)을 제정하였다.

셋째, 과학기술의 혜택과 성과를 모두가 공정하고 차별 없이 향유할 수 있도록 만들어야 한다. 소득이나 연령의 차이에 따라 컴퓨터나 인터넷 활용 능력과 혜택에서 격차가 발생하는 ‘디지털 디바이드’^{*}가 인공지능 시대에는 인공지능 활용능력과 혜택에서 격차가 발생하는 ‘인텔리전스 디바이드’로 이어져 사회적 불평등을 심화시킬 우려가 있다. 따라서 사회 전체가 디지털 기술과 인공지능을 충분히 접하고 활용할 수 있도록 인프라에 대한 투자와 교육이 제공되어야 한다. 또한, 기술개발에 있어서도 노인, 장애인 등 사회적 약자를 위한 신체보조·간호 로봇, 노인친화적 식품·의료용품 등의 개발을 촉진하여 과학기술이 사회적 차별이나 격차를 줄여 나가는 데 이바지할 수 있어야 한다.

5-5.

산학연 주도로 혁신의 중심지가 되는 지역

5-5-1. 혁신이 활발하게 일어나는 광역화된 클러스터

1) 국가 혁신 목표와 연계하여 지역 혁신 목표를 설정하자

우리가 원하는 미래의 모습은 각 지역마다 연구개발과 혁신 활동을 활발하게 추진하여 지역 문제

를 해결하고, 이를 통해 국가의 연구개발과 혁신 활동에 기여하여 국가가 사회문제를 해결할 수 있도록 하는 것이다. 즉, 국가 차원의 혁신 목표가 지역에서 실제로 구현되고, 동시에 각 지역의 혁신 목표들이 모여 국가의 혁신 목표가 수립되는 등 지역혁신생태계(regional innovation system, RIS)가 국가혁신생태계(national innovation system, NIS)와 밀접하게 연결되어야 한다. 국가 발전과 지역 발전, 그리고 한 지역과 다른 지역의 발전이 각각 별개로 추진되는 것이 아니라 서로 연계되어 추진될 때 충분한 동력을 확보할 수 있다. 이를 위해서는 다음과 같은 사항을 고려해야 한다.

첫째, 국가적으로 설정한 혁신 목표를 반영하고 지역의 상황을 고려하여 지역의 혁신 목표를 명확하게 설정해야 한다. 국가의 혁신 목표란 앞서 3장과 4장에서 제시한 도전과제들과 5장 1~4절에서 제시한 인재 역량 발휘, 도전적·창의적 지식 창출, 성장동력 강화, 사회문제 해결 등을 의미한다. 이를 참고하여, 지역별로 지역 인재 지원, 대표 산업 육성, 일자리 창출, 지역의 교육·환경·복지 문제 해결 등 지역 활성화를 위해 가장 필요한 사항을 지역의 목표로 설정할 수 있다. 지역의 혁신 목표를 설정할 때 가장 경계해야 할 점은 너무 많은 목표를 동시에 추구하다가 결국 어떤 목표도 제대로 이루지 못하는 것이다.^[262] 지역 내 이해관계자들의 목소리를 모

* 디지털 디바이드(digital divide)란 사회계층 간에 디지털 기술을 활용하는 능력과 그로 인해 얻는 혜택에서 격차가 발생하는 현상을 말한다. 예를 들어, 컴퓨터와 인터넷을 보유한 중산층 이상의 가정에서는 이를 활용하여 많은 정보를 쉽게 얻을 수 있지만, 그렇지 못한 저소득층 가정에서는 정보를 얻지 못함으로써 좋은 기회를 놓치거나 경제적 손실을 입을 수도 있다. 또한, 디지털 디바이드는 새로운 기술 습득에 익숙한 젊은 층과 그렇지 못한 노년층 사이에서도 나타날 수 있다.

미래 과학기술로 인해 예상되는 역기능 또는 부작용

역기능 또는 부작용	주요 내용 예시
① 기술적 결함 및 오작동 사고	<ul style="list-style-type: none"> 유전자 가위가 질병과 관련 없는 유전자를 제거하거나 관련 유전자를 제거 후 치료 과정에서 부작용 발생 배터리 이상으로 인한 에너지저장시스템(ESS) 화재, 수소의 운반, 사용, 저장 등 과정에서 수소탱크 폭발 재난재해 예측시스템의 오보로 인한 사회적 혼란과 경제적 피해
② 육체적·정신적 거부반응	<ul style="list-style-type: none"> 바이오 인공장기, 뇌파통신장비 등을 이식할 때 인체의 거부반응 가상현실 기술로 인해 현실공간과 가상세계를 혼동하고 현실생활에서 장애를 경험
③ 환경오염 및 생태계 교란	<ul style="list-style-type: none"> 극초음속 항공기는 연료를 많이 소모하고 높은 고도에서 운행되어 에너지 사용량 및 대기오염 증가 우주, 심해, 극지 등에 대한 경쟁적인 개발로 인한 환경 파괴 인공강우로 원하지 않는 지역에 가뭄이 오거나 태풍의 경로 조절 시 주변 지역이 피해를 입게 됨
④ 자원의 과소비·낭비	<ul style="list-style-type: none"> 블록체인은 참여자 간 모든 정보를 공유하는 특성으로, 전력, 통신망 등 많은 자원을 소비 우주, 심해, 극지연구는 높은 비용이 투입되나, 경제적인 효과는 장기적으로 실현되므로 경제적 논란 존재
⑤ 범죄 악용 및 범죄 유발	<ul style="list-style-type: none"> 무인드론을 이용한 대량 인명 살상 인공지능을 활용해 만든 딥페이크 영상(위조영상)을 사기, 여론조작, 명예훼손 등에 악용 바이오 인공장기의 제작을 위해 인체세포를 얻는 과정에서 폭력 등 불법적 행위 발생
⑥ 사생활·인권 침해	<ul style="list-style-type: none"> 맞춤형 서비스, 감염병 대응, 실시간 예방의료 등을 위해 수집된 개인정보(금융정보, 의료정보, 일상생활 등)의 유출 무인드론이 개인의 물리적 공간을 침범 빅데이터 분석으로 파악한 '잠재적 범죄자'에 대한 집중 감시가 이루어질 경우 인권침해 가능
⑦ 실업 등 사회문제	<ul style="list-style-type: none"> 인간 능력을 뛰어넘는 인공지능이 일자리를 대체하여 실업 증가 기존의 제조 공장, 농장이 자동화되면서 해당 부문에 고용되어 있던 인력들이 직장을 잃게 되며 대규모 실업 발생
⑧ 사회적 차별 심화	<ul style="list-style-type: none"> 인공지능 알고리즘에 개발자가 가지고 있는 편견이나 편향적인 데이터가 반영되어 인간을 차별 유전자 시술로 열성인자를 제거한 '적격자(Valids)'와 자연임신에 의해 태어난 '부적격자(Invalids)' 간 차별 심화
⑨ 생명윤리 위배	<ul style="list-style-type: none"> 태아의 유전자 교정을 허용할 경우 부모가 원하는 유전형질만 넣은 '맞춤형 아기' 생산 인공장기 개발을 위해 인간세포를 거래하는 등 비윤리적 행위
⑩ 사고책임 등 법적 분쟁	<ul style="list-style-type: none"> 자율주행차, 플라잉 카 등 무인 교통수단에 의해 사고가 발생할 경우 실제로 타고 있었던 탑승자, 자율주행 기능을 만든 개발사, 제조사 간의 사고책임의 소재 불분명
⑪ 국가 간 갈등 및 충돌	<ul style="list-style-type: none"> 전염병 백신을 특정국가가 독점하거나 국제 권력으로 이용하려는 백신 패권주의 우주, 심해, 극지 등 영토와 자원 확보과정에 과잉 경쟁으로 인해 국가 간 갈등이나 충돌 발생 가능
⑫ 군사적 용도로 오남용	<ul style="list-style-type: none"> 신체능력 증강을 위해 사용되는 증강인간 기술이 사이버보안 군대, 바이오로봇 등 군사적 용도로 사용 ICT, 우주기술이 발전하며, 현실에서의 전쟁을 넘어 미래 사이버, 우주전쟁으로까지 번질 우려
⑬ 디지털 격차 및 접근성	<ul style="list-style-type: none"> 고령자, 장애인, 다문화가정 등 사회계층이 디지털, ICT 등 빠르게 변화하는 기술에 적응하기 어렵고 소외됨에 따라 지식이나 정보의 격차로 이어질 가능성

두 반영하느라 너무 많은 목표를 설정하게 되면 실제 추진 과정에서 자원과 노력이 분산되어 성과를 내기 어렵다. 따라서 지역 차원에서 우선순위가 높은 목표를 먼저 선택하여 추진하고, 여기서 성과를 낸 이후 점차 다른 목표로 확장해 나가는 것이 바람직하다.

둘째, 부처별·사업별로 파편화되어 있는 지역 사업의 목표를 지역 혁신 목표 관점에서 통합·연계해야 한다. 신규 사업을 기획할 때는 지역 혁신 목표에 부합하는지를 가장 중요하게 고려해야 하며, 기존 사업의 경우에도 유사한 목표를 가진 사업들 간의 연계성을 강화해야 한다. 이를 통해 시도 간, 시도 단위, 시군구 단위의 다양한 지역 사업들이 공통의 목표를 가지고 추진되도록 해야 한다.^[263] 이처럼 지역 사업간 목표의 연계성을 높이기 위해서는 각 정부 부처가 지자체와 별도로 연구개발사업을 기획하여 일종의 칸막이식으로 운영되는 체계에서,^[264] 여러 정부 부처가 공동으로 지자체와 사업을 기획하는 체계로 전환해야 한다. 이를 통해 유사·중복되는 사업을 조정할 수 있고 주어진 지방 재원을 효율적으로 활용할 수 있을 것이다.

2) 각 지역이 경쟁력 있는 광역클러스터로 진화하도록 지원하자

미래에도 과학기술혁신 활동에서 지리적 근접성은 여전히 중요하지만, '근접성'의 개념은 현재와 많이 달라질 것이다. 과거에 고속도로와 KTX 개통이 전국을 일일 생활권으로 만든 것처럼, 에어택시, 초음속 항공기, 하이퍼루프 등 미래 모빌리티 기술

의 발달은 베이징, 도쿄 등 동아시아, 더 나아가 세계를 일일 생활권으로 연결할 것이다. 미래에는 각 지역이 국내 다른 지역과 경쟁할 뿐 아니라 세계의 다른 지역과 경쟁하게 될 것이다. 따라서 지역 발전 정책을 추진할 때 과거와 같이 국내에 시각을 한정해서 수도권과 기타 지역 간 격차를 줄이는 것에 치중하는 것이 아니라, 각 지역의 절대적인 역량을 높여서 자생력, 더 나아가 글로벌 경쟁력을 갖도록 하는 접근법이 필요하다. 이를 구현하기 위해 필요한 것은 다음과 같다.

첫째, 각 지역이 서로 경쟁하고 협력하는 과정을 통해 혁신 목표가 유사한 인접 지역과 자발적으로 연계·결합하여 효율적이고 유기적인 형태의 광역 클러스터로 진화하도록 유도해야 한다. 기존의 수도권·비수도권 또는 행정구역상의 시·도 단위의 개념으로 지역의 균형적인 발전을 도모하는 것도 물론 필요하지만, 인재·지식·자본 등 자원의 '규모의 경제' 효과를 발휘하고 향후에 글로벌 경쟁에 대비해 나간다는 측면에서는 광역클러스터가 더 효과적일 것이다. 즉, 현재의 행정구역 단위의 세분화된 지역 구분에서 혁신의 테마 관점의 광역클러스터화로 관점을 전환하는 것이 필요한데, 여기서 중요한 것은 '진화'의 관점이다. 현재 지역과 관련하여 혁신도시, 연구개발특구, 복합단지 등 다양한 공간이 조성되어 있고 테크노파크, 창조경제혁신센터, 협의체 등이 활동하고 있는데,^[265] 각 주체가 개별적이고 파편화된 형태로 운영되어서는 안 되겠지만, 그렇다고 해서 어느 한 주체가 전체 계획을 모두 수립하고 추진하는 것도 사실상 불가능하다. 따라서 각

지역 주체들이 자발적으로 서로 연계하고 결합하여 점차 효율적이고 유기적인 형태로 진화해 가도록 유도해야 한다. 이 과정에서 중앙정부는 혁신의 마중물인 예산을 모든 지역에 균등하게 배분하는 대신에, 지역의 기술 수준, 기업 유치 성과, 지방정부의 R&D 예산 비중 등을 종합적으로 평가하여 우수한 성과를 낸 지역에 선택적으로 지원해야 한다.

둘째, 광역클러스터 내에 기업·대학·연구소 유치·신설 및 주거·근로 환경 개선 등을 통해 우수한 인적자원을 확보하여 광역클러스터의 역량을 강화하도록 지원해야 한다. 현재 정책방향은 지역 주도의 혁신체제로 전환하는 것을 지향하고 있지만^[266] 아직 구현되지 못하고 있는 이유는 지역의 자원 및 역량이 부족하기 때문이다. 지역 경제를 활성화하고 일자리를 창출할 기업·대학·연구소가 부족하여 지역 인재가 외부로 유출되고, 이는 다시 기업·대학·연구소의 유치를 어렵게 하는 악순환으로 이어진다. 각 지역이 정부의 지원에 의존하지 않고 자생적인 경쟁력을 갖춘 산업·교육·연구 생태계를 만들기 위해서는 역량 있는 기업·대학·연구소를 적극적으로 유치해야 한다. 특히, 지역의 대표 산업 육성, 교육·환경·복지 문제 해결 등 지역의 혁신 목표에 맞는 기관을 지역으로 유치하기 위해서는 중앙 및 지방정부의 역할이 중요하다. 사회인프라 확충 등 기업에 친화적인 환경을 조성하고 조세 지원 등 다양한 인센티브를 제공하여, 지역의 기존 기업을 유지하는 한편 신규 기업의 유치에도 노력해야 한다. 대기업의 제2 본사,^[267] 글로벌 기업의 아시아지역 본부, R&D 센터 등도 경제 활성화와 고용 창출 측

면에서 지역 발전에 크게 기여할 것이고, 지역 혁신 목표에 맞는 대학이나 연구소를 신규로 설립하는 것도 고려해 볼 수 있다.^[268]

5-5-2. 지역 산학연 중심으로 강화되는 지역혁신 생태계

1) 지역 산학연 컨소시엄을 혁신의 주체로 선정 하자

미래에는 지역 생태계가 정부 정책의 수동적인 수혜자에서 능동적인 협력자로 변화해야 하며, 이를 위해서는 지역혁신 추진체계를 강화하고 주체를 명확하게 정해야 한다. 현재 중앙정부 부처, 지자체, 부처 전담기관, 협의체 등 많은 기관들이 지역 혁신 활동에 참여하여 노력하고 있으나 계획 수립, 성과 분석 등 사업을 책임 있게 실행하는 체계는 아직 미흡한 상황이다. 현재까지 지역 내 협력은 양적으로 확대되어 왔으나, 아직까지는 그 실효성이 미흡하고 관련 협의체가 난립해 있다. 지역 혁신에 대한 투자가 향후에도 지속적으로 늘어날 전망이지만,^[269] 책임 주체나 역할이 불분명할 경우 향후에도 성과를 내기가 구조적으로 어려울 수 있다. 이런 점을 감안하여 효율적인 지역혁신 추진체계를 만들기 위해서는 다음과 같은 사항을 고려해 봐야 한다.

첫째, 지역 혁신을 기획부터 실현까지 주도적으로 추진할 수 있도록, 지방정부 내에 중앙정부 수준의 과학기술추진체계를 구축하고, 지역혁신 목표를 잘 구현할 산학연 컨소시엄 등의 협력조직을 활용해야 한다. 중앙정부에서 지방정부로 주도권을 이

전하는 정책들이 이미 추진되고 있으며, 미래에는 지방정부의 권한과 역량이 크게 강화될 것이다. 이러한 지방정부가 주도적으로 혁신을 기획하고 실행하며 성과를 관리·확산할 수 있도록 과학기술 전담 부서를 운영하는 등 과학기술추진체계를 구축해 나가야 한다. 또한 지방정부는 지역의 혁신목표 구현을 위해 지역에 기반하며 지역 현황이나 문제들에 대해 이해도가 높은 지역 산학연 컨소시엄을 활용해야 한다. 컨소시엄의 구성은 구성 목적이나 지역 및 주체별 상황에 따라 기업, 대학,^[270] 연구기관 누구든지 주도할 수 있고, 지방정부는 구성된 산학연 컨소시엄 중에서 대표 산업 육성, 지역의 교육·환경·복지 문제 해결, 일자리 창출 등 지역 혁신 목표를 가장 잘 구현할 수 있는 컨소시엄을 혁신의 주체로 선정해야 한다.

둘째, 지방정부와 지역 산학연 간의 역할을 분담

해야 한다. 현재처럼 지방정부가 주력 산업을 선정하고 사업 예산을 참여 기업들에게 분배하는 것이 아니라, 주력 산업 선정 때부터 지역 산업에 대한 전문성과 현장의 정보력이 풍부한 산학연 컨소시엄이 직접적으로 참여하여 목소리를 낼 수 있게 해야 한다. 기업이 현실적인 성과 목표를 설정하여 사업을 추진하는 과정에서, 지방정부는 성과를 평가하고 관리하며, 기업과 함께 애로 사항을 해결하는 역할을 맡는다. 장기적으로는 ‘경쟁형 R&D’ 방식으로 복수의 컨소시엄에 특정 기간 동안 지역 혁신의 임무를 부여한 후, 지역 산업 육성 등의 성과를 평가하여 보다 우수한 성과를 낸 컨소시엄에 정부 지원을 집중하는 것이 바람직하다. 기존의 지역 R&D 사업들은 과제당 5억 원 내외의 소규모·분산 투자, 산업별 예산 균등배분이라는 한계가 있었는데,^[271] 성과를 창출하고 경쟁력 있는 생태계를 조성하기



한국과학기술원(KAIST)



광주과학기술원(GIST)



대구경북과학기술원(DGIST)



울산과학기술원(UNIST)

위해서는 대규모·집중 투자로의 전환이 필요하다.

2) 산학연 간 협업을 촉진하기 위해 과학기술 수요와 공급 간 매개를 강화하고 지식클러스터, 테스트베드 등 혁신 친화적 공간을 조성하자

미래에는 정부에 비해 해당 산업의 전문성이나 현장 상황에 대한 정보와 대응력에서 앞서는 지역 산학연의 역할이 점점 더 커질 것이다. 이에 따라 중앙·지방정부의 역할은 전략 및 목표 수립, 추진 체계 구축, 주체 간 협력 촉진, 동기 부여, 장애 요인 해소, 인프라 확충 등 개별 주체들이 수행하기 어려운 역할로 전환되어야 한다. 특히, 현재는 지역에 소재한 기업들의 연구개발 여건이 열악한 편이므로, 정부는 지역 생태계를 활성화시켜 나가기 위해 지역 기업의 기술개발뿐만 아니라 지역 대학이나 연구기관이 보유한 기술의 이전과 사업화*를 지원할 필요가 있다. 기술혁신을 바탕으로 시장에서 성과를 창출하기 위해서는, 아이디어에서 기술개발과 제품 양산까지의 험난한 과정(Death Valley)과 제품 양산 후 시장에서 경쟁을 이겨내고 성장하는 과정(Darwinian Sea)을 거쳐야 하는데, 이를 위해 고려할 사항은 다음과 같다.

첫째, 기술의 개발과 활용의 간극을 줄이기 위해 출연연 등 기관 내에 사업화를 지원하는 전담 조직을 운영하여, 연구개발 전 주기에 걸쳐 사업화와 관련된 업무를 포괄적으로 수행하도록 해야 한다. 이

조직은 규모나 전문성에서 한계가 있는 기존 기술을 전 조직(technology licensing office, TLO)을 보강하여 기술인큐베이션, C&BD 네트워크 운영 등 수요와 공급을 매개하는 활동을 종합적으로 추진해야 한다. 기술인큐베이션이란 실험실 수준의 초기 기술을 제품이나 서비스에 활용 가능한 숙성 기술로 전환하는 일련의 과정을 의미하고, C&BD (connect & business development)는 연구개발과 관련된 다양한 주체가 참여하여 주체 간 연계, 사업 간 연계, 성과 간 연계 등을 통해 기술사업화를 이루어내는 활동을 말한다.^[272] 사업화 전담 조직은 지역별로 기업, 대학, 연구기관, 관리기관 등의 현황과 산업 특성을 고려하여 지역맞춤형 기술인큐베이션 모델을 수립하여야 한다. 또한, 주체 간 소통, 연계 등을 활성화하는 C&BD 네트워크를 구축하여 산학연 간에 기술·시장에 대한 전문성과 이해도가 서로 달라 발생하는 인식의 간극을 줄여나가야 한다.^[273]

둘째, 혁신의 성과를 공유하고 지식 순환을 촉진하는 데이터 및 지식 공유 인프라에 투자해야 한다. 지역 생태계가 경쟁력을 갖추고 지속적으로 성장하려면, 연구개발의 성과, 경험, 노하우 등의 혁신 결과물이 공유·축적·순환되어야 한다. 이를 위해 연구 데이터와 성과를 공유하고 기술을 거래하는 등의 기능을 갖는 유무형의 플랫폼이 필요하다. 이는 민간 주도로 구축되고 운영되는 것이 바람직하지만, 초기에 이를 지원하는 정부의 역할도 중요하다.

* 기술 사업화는 “기술을 이용하여 제품을 개발·생산 또는 판매하거나 그 과정의 관련 기술을 향상시키는 것”이다(「기술의 이전 및 사업화 촉진에 관한 법률」 제2조 3항).

이와 같은 인프라를 통해 기존 산학연 간의 협업이 촉진되는 동시에 신생 기업들이 모여들어 지식을 공유함으로써, 성공한 기업들이 후발 기업의 성장에 기여하는 성공의 선순환 구조도 구현될 수 있을 것이다.

셋째, 과학기술혁신의 성과가 현장에서 구현 가능한지 확인해볼 수 있도록 클러스터별로 차별화된 테스트 베드(test bed)를 구축해야 한다. 우리나라는 세계 최고 수준의 정보통신 인프라, 첨단기술에 익숙한 소비자 시장 등 혁신 활동을 하기에 좋은 요건을 갖추고 있다. 이러한 강점을 살려서 효과적인 테스트 베드를 구축하여 활용하고 이를 세계에도 개방한다면, 각 지역은 글로벌 혁신의 중심지로 성장해 나갈 수 있을 것이다.^[274] 제도적으로는, 지역별 주력 산업과 연계하여 규제프리존을 지정하고 규제샌드박스 제도를 적극적으로 활용해야 한다. 이를 활용하여 테스트베드 내에서 신기술을 활발하게 적용해 보고 그 결과를 반영해 규제를 합리화해 나간다면, 우리나라는 규제 분야에 있어서도 혁신을 주도할 수 있다.

5-6.

국경 없는 글로벌 과학기술혁신체계

5-6-1. 과학기술 생태계의 글로벌 개방성 강화

1) 과학기술 생태계를 국내 중심에서 세계로 개방하여 확장하자

미래에 우리나라 과학기술의 성과는 국내외 자원을 얼마나 잘 연계하여 활용하는가, 그리고 해외 과학기술계와의 교류와 경쟁 및 협력을 통해 우리 과학기술의 역량을 얼마나 높일 수 있는가에 따라 좌우될 것이다. 즉, 미래에는 과학기술 분야가 현재보다 더 글로벌화되어야 한다. 예를 들어, 인력, 자본, 기술, 데이터 등의 국내외 교류 및 거래가 활발하게 이루어지고, 해외 연구자와의 공동 연구와 해외 현지에서의 연구가 적극적으로 추진되는 등 과학기술 활동이 국경을 초월하여 이루어져야 한다는 것을 의미한다. 과거부터 과학기술의 글로벌화가 지속적으로 추진되어 왔지만, 그 성과는 아직 충분하지 않다. 예를 들어, 정부 연구개발 예산 중 글로벌 협력 관련 예산은 감소하는 추세를 보였고,^[275] 우리나라 연구개발에 대한 외국의 참여도 전반적으로 미흡한 상황이다.^[276] 기존에는 과학기술 분야의 글로벌 협력을 국가 위상을 높이기 위한 외교 지원의 일부 정도로 여겨, 그 중요성을 간과하는 경향이 있었다. 앞으로는 우리나라 과학기술의 경쟁력을 높이고 대외적인 영향력을 확대한다는 실용적인 관점에서 접근할 필요가 있다. 단기에 가시적인 성과를 기대하기보다는 글로벌 협력을 지속적이고 꾸준하게 시도하여 성공 사례를 만들고 성공 경험을 축적해 나가야 한다. 우리 과학기술 생태계를 글로벌화하기 위해 필요한 사항은 다음과 같다.

첫째, 글로벌 협력을 위한 투자를 확대하여, 국내외 연구자 및 연구기관 간 공동 연구를 활성화하고 R&D 상호 개방을 추진해야 한다. 예를 들어, ‘글로벌 연구실’ 사업과 같이 국내 연구자들이 세

계 정상급 연구자들과 공동연구를 수행할 수 있는 기회를 더 많이 만들어야 한다. 나아가, 우리나라가 주도권을 가지고 선도하는 대규모 국제 프로젝트도 만들어 나가야 한다. 이번 COVID-19 대응을 예로 들면, 진단키트나 의료기기 등 바이오헬스 분야의 기술개발을 선도하고 감염병 방역 관련 국제 공조를 주도적으로 제안하여, 우리나라 주도의 국제 프로젝트로 성장시켜 나갈 수 있을 것이다. 또한, EU의 Horizon 2020, Horizon Europe^[277] 등 해외 연구지원 사업이나 전 세계의 다수 국가가 참여하는 대형 공동프로젝트^[278]에 우리 연구자가 능동적으로 참여할 수 있도록 하는 방안을 마련해야 한다. 반대로, 해외 연구자들에게 국가연구개발사업 등 국내 연구개발 활동을 전담 또는 공동 연구의 형태로 개방하고 참여를 활성화하는 것도 필요하다. 현재 국가연구개발사업 관련 법규에는 해외 연구기관에 대한 규정이 명시적으로 없으므로 참여 자격이나 지적재산권에 대한 규정을 마련해야 한다. 일례로 EU의 Horizon 2020, Horizon Europe 프로그램의 경우, 연구개발사업에 참여하는 기관을 국적에 따라 유형화하고 자금지원 여부 등을 차등 적용하며, 지적재산권에 대해서는 EU가 소유권을 주장하지 않는 등의 규정을 마련하고 있다.

둘째, 해외 우수 인재의 국내 유입을 촉진하기 위해 우리의 연구 환경을 해외 수준과 비교·평가하여 더 매력적으로 만들어야 한다. 이를 위해 해외고급과학자초빙, 해외우수신진연구자유치 등 기존 해외 인재 유치 사업에 대한 지원을 강화하는 한편, 비자와 영주권 제도, 세제 지원 등 가능한 수단을

모두 활용해야 한다. 또한, 우리나라 우수 인력이 해외에 진출하도록 하는 ‘아웃바운드’ 전략도 적극적으로 구사할 필요가 있다. 예를 들어, 현재는 연구자의 해외 파견이 안식년과 연계되어 재충전 휴가의 관점에서 이루어지는 경우가 많은데, 이에 부가하여 해외 연구기관과의 공동연구 수행을 위한 파견 등 전략적인 진출 기회도 확대해야 한다.

셋째, 국내 연구기관의 해외 거점 설치 및 해외 연구기관이나 다국적 기업 등의 국내 거점 유치를 장려하고, 정부는 더 많은 해외 진출 또는 해외 기관 유치 사례가 나올 수 있도록 지원 규모를 확대할 필요가 있다.^[279] 우리나라 주도로 해외에 공동 연구 시설이나 연구 프로그램을 설치하여 운영하고, 이를 통해 글로벌 교류가 활성화된다면 해외 연구자와 시설의 국내 유입 또한 자연스럽게 늘어날 수 있을 것이다. 또한, 최근 국가 이미지의 상승과 국내 기업들의 성장으로 인해 과거에 비해 입지 경쟁력이 높아지고 있으므로 해외 연구기관, 글로벌 기업의 R&D 센터 등의 유치에 중앙정부와 지방정부, 관련 기업 등이 함께 노력해야 한다.

2) 과학기술 생태계의 개방성 확대를 위한 제도적 기반을 구축하자

미래에 우리가 바라는 모습은 국내와 해외 등 장소를 가리지 않고 해외 인재 및 기관과 활발하게 교류하는 ‘국경 없는 과학기술 연구개발’을 실현하는 것이며, 이를 위해서는 제도적인 기반이 뒷받침되어야만 한다. 예를 들어, 국가 또는 기관 차원에서 공식적인 국제협력을 추진할 때 대응하는 정부 부

처나 담당자가 불명확하거나 여러 조직에 산재해 있다면, 협력 대상자에게 혼란을 주고 대외적인 신뢰도도 낮아질 것이기 때문이다. 또한, 국제협력에 합의하여 실제로 추진해 나가는 과정에서 각국의 제도 차이 등으로 인해 문제가 발생하거나 실행이 지연된다면 해외와의 협력이 활성화되기 어렵다. 따라서 국경 없는 과학기술을 위한 제도적인 기반을 구축하려면 다음과 같은 사항을 고려해야 한다.

첫째, 국가 또는 기관 차원의 공식적인 국제협력을 추진할 때에 추진 방향과 사업 조정을 논의하는 유관기관 협의체를 구성하는 등 종합적인 지원 체계를 수립해야 한다. 우리나라 주도의 국제 프로젝트 추진, 해외 기업이나 연구기관의 국내 유치 등과 같이 중요한 사안의 경우 범 정부 협의체를 통해 관련된 여러 정부 부처가 함께 대응해야 한다. 그리고 현재 정부출연연구소 등 공공연구기관의 국제협력 활동이 개별적으로 이루어지고 있는데, 융복합화되

는 글로벌 이슈에 통합적으로 대응하기 위해 전체 공공연구기관을 아우르는 공공연구기관 협의체를 마련해야 한다. 범 정부 협의체나 공공연구기관 협의체 같은 유관기관 협의체의 역할은 국가 또는 기관 차원에서 공식적인 국제협력을 추진할 때에 소통과 조율을 통해 주제에 맞는 담당 부처나 기관을 지정하여 대응하도록 하는 것이다. 그리고, 글로벌 협력사업의 성과를 분석하고 데이터베이스화함으로써 국제협력의 성공 경험을 축적하고 공유하여 향후 활동에 활용하도록 하는 역할도 수행해야 한다. 또한, 협의체 활동을 통해 과학기술적 전문성과 외교적 노하우를 고루 갖춘 국제협력 전문가를 양성해 나가는 것도 필요하다.

둘째, 과학기술 국제협력과 관련된 제도를 개선하고 산학연의 수요를 청취하여 반영함으로써 국제협력을 추진해 나가는 과정이 원활하게 진행될 수 있도록 해야 한다. 예를 들어, 연구개발 제도에



서 주관기관 선정, 연구과제 평가, 연구 성과물 소유, 연구비 정산 등의 규정을 국제 공동연구의 특성을 반영하여 개선해 나가야 한다. 또한, 국제 연구 협력이 단순히 기술 습득이나 정보 교류 수준에 그치지 않고 실제 연구와 산업의 성과로 이어질 수 있도록, 유관기관 협의체를 중심으로 연구 및 산업 현장의 수요를 적극적으로 청취하고 성과를 공유해야 한다.

5-6-2. 국제무대에서 과학기술 의제를 선도

1) 우리나라 과학기술 도전과제를 반영한 글로벌 의제를 발굴하여 제안하자

우리가 바라는 미래 과학기술의 모습은 도전적·창의적 지식을 창출하고 성장동력을 강화하며 사회 문제를 해결함으로써 우리나라뿐 아니라 인류사회에 기여하는 것인데, 이를 실현하기 위해서는 과학기술의 글로벌화가 필수적이다. 미래 문제는 국내뿐 아니라 전 세계에 걸쳐 광범위하게 발생하고, 한 국가의 역량만으로는 해결하기 어려운 문제가 늘어나고 있기 때문이다. 과학기술을 글로벌화하기 위해서는 글로벌화가 단순히 교류나 협력을 증진하는 차원을 넘어, 기초연구 및 산업·공공기술개발에서 국가적 목표를 달성하는 데 필수적이라는 인식이 필요하다. 즉, 선언적인 글로벌화에서 과학기술 정책의 핵심 수단으로서의 실용적인 글로벌화로 전환해야 한다. 글로벌화는 그 자체가 하나의 독립된 분야가 아니라 다른 모든 분야들과 연결되어 있는 횡단적 관점이며, 연구개발의 글로벌화, 성장동력의

글로벌화, 사회문제 해결의 글로벌화 등과 같이 분야와 공간이 종(縱)과 횡(橫)으로 밀접하게 연계되어야 한다. 우리 과학기술이 글로벌화된다면 대외적인 영향력이 커지게 되어, 단순히 글로벌 현안 이슈에 대응하는 데 그치지 않고 우리나라 주도로 의제를 발굴하고 이를 선도해 나갈 수 있을 것이다. 이렇게 우리나라가 글로벌 과학기술 의제를 선도하기 위해서는 다음 사항을 고려해야 한다.

첫째, 도전적·창의적 지식 창출, 성장동력 강화, 사회문제 해결 등을 실현하기 위한 글로벌 전략의 역할을 명확하게 정의하고, 이를 글로벌 의제로 발굴해야 한다. 전 세계가 밀접하게 연결되고 우리의 활동 무대가 세계로 확장되는 미래에는 국내에 한정된 과학기술만으로는 정책 목표를 달성할 수 없기 때문에 글로벌 차원에서 추진되어야 할 전략들이 수립되어야 한다. 예를 들어 앞서 제시한 8대 과학기술 도전과제를 해결하기 위해서는 이를 글로벌 의제화하는 것이 효과적이다. 그 중에서 우리나라 상황에서 중요하고 향후 많은 국가에서도 나타날 수 있으며, 국내적 해결이 어렵고 국제 공조가 필요하며, 우리나라가 과학기술적으로 비교우위를 가지고 있는 도전과제를 의제로 선정하는 것이 바람직하다. 예를 들어, 이번 COVID-19 사태를 통해 세계 각국에 우리나라 진단키트가 확산되고 방역과 관련된 우리의 노하우와 기술이 공유되어, ‘K-팝’처럼 ‘K-바이오’, ‘K-방역’이 국제 사회에서 위상이 높아지게 되었다. 이를 바탕으로 감염병과 관련된 글로벌 의제를 지속적으로 발굴하고 주도해 나가야 할 것이다.

둘째, 우리가 발굴한 글로벌 의제를 국제사회에 제시하고 주도해 나갈 수 있는 구체적인 프로그램을 실행해야 한다. 먼저, UN이 국제적 목표로 제안한 지속가능발전목표(SDGs, Sustainable Development Goals) 체제에서 우리나라가 중점적으로 추진할 과제를 선정하고, 관련 의제에 적극적으로 대응해 나가야 한다. 지속가능발전목표란 전 지구적으로 지속가능한 발전을 하기 위해 2030년까지 사회, 환경, 경제, 평화, 파트너십 분야에서 세계 각국이 노력하여 달성하고자 합의한 목표를 말한다. 그 다음으로, 우리의 글로벌 의제 대응 역량을 바탕으로 우리가 발굴한 의제를 국제 사회에 적극적으로 제안해야 한다. 그동안 우리나라는 OECD, APEC, ESCAP, ASEAN, UNDP 등 국제기구의 회원국으로서 과학기술 분야의 국제협력을 활발하게 수행해 왔다. 이와 같은 경험을 바탕으로 국제무대에서 높아진 경제적·사회적 위상을 활용하여, 해당 의제의 심각성을 이해시키고 국제 여론을 조성하여 다양한 국가의 참여를 유도해야 한다. 우선적으로는, 우리와 지리적으로 근접하고 유사한 상황에 놓여있는 아세안 국가들을 중심으로 우리나라 주도의 협력 프로그램을 만들고 리더십을 확보해나가는 것도 필요할 것이다. 예를 들어, EU의 Horizon 사업을 참고하여 신남방 정책지원을 연계한 ‘아시아판 Horizon 사업’을 추진하는 것도 검토해 보아야 한다.

한편, 미래의 새로운 핵심자원으로 여겨지는 데이터에 대한 글로벌 주도권 확보도 중요한 의제가 될 것이다. 데이터에 대한 국가 간 교류와 활용을

촉진하고 상호 운용성을 확보하기 위한 글로벌 협력을 강화하여 우리나라가 스마트제조, 전기차, 자율차, 지능형로봇, 사물인터넷, 스마트시티 등 데이터를 기반으로 하는 각종 신산업에서 주도권을 확보할 수 있도록 해야 한다.

2) 국가별·권역별 전략을 연계하여 과학기술 국제 협력을 체계적으로 추진하자

미래에 과학기술 국제협력은 마치 지그소 퍼즐(jigsaw puzzle)의 조각조각이 맞춰지듯이, 글로벌 차원에서 큰 그림의 전략이 수립되고 국가 및 권역별 전략이 연계되는 것이 바람직하다. 예컨대, 중국의 ‘일대일로’^[280]와 일본의 ‘아세안 인프라 프로젝트’^[281]처럼, 국가 차원에서 글로벌 관점의 종합적인 전략을 수립하고, 그에 따라 특정 국가 및 권역별로 세부 전략을 구성할 필요가 있다. 물론, 국가별로 자연환경, 산업 현황, 과학기술 역량이 상이하므로 협력할 분야나 방식은 달라질 수밖에 없다. 따라서 우리나라가 대응하거나 주도할 글로벌 과학기술 의제와 해외 국가 및 권역별 수요 등을 종합적으로 고려하여, 적합한 과학기술 국제협력에 적합한 테마와 콘텐츠를 발굴해야 한다. 예를 들어, 선진국과는 최첨단의 거대기술(super technology)과 관련된 협력을 추진하고, 개도국에는 적정기술(appropriate technology) 또는 중간기술(intermediate technology)^[282]을 제공할 수 있을 것이다. 다만, 중요한 것은 국가별 전략이 전체 글로벌 전략과 일관성을 가져야 한다는 것이다. 이렇게 국가별·권역별 과학기술 국제협력을 서로 연계하

여 강화하려면 다음과 같은 사항을 고려해야 한다.

첫째, 지리적으로 근접한 지역부터 국제협력 테마와 콘텐츠를 발굴하여 협력을 추진해야 한다. 중국과 일본의 경우 세계적인 과학기술 강국이라는 점을 이용하여 한·중·일 간의 공동연구 협력체계를 구축할 수 있을 것이다. 대륙을 통해 몽골과 러시아 까지 있는 '신북방정책'의 대상 국가들의 경우 풍부한 자원의 공동개발 및 고부가가치화를 중점적으로 추진할 수 있을 것이다.^[283] 그리고 바다를 통해 아세안과 인도까지 있는 '신남방정책' 대상 국가들의 경우, 중국을 대체하는 생산 및 물류 거점을 구축하여 이를 통해 스마트제조, 블록체인 활용 물류 시스템 등의 분야에서 협력할 수 있다. 또한, 우리나라의 압축적인 성공 경험을 바탕으로 한 과학기술 개발, 교육 등도 개발도상국에 공유할 훌륭한 콘텐츠가 될 수 있다.

아울러, 과학기술 글로벌화와 관련하여 잊지 말아야 할 대상은 북한이다. 정치적·사회적 관점에서 뿐만 아니라 경제적 관점에서도 통일은 반드시 이루어져야 하며, 통일을 통해 대한민국의 재도약을 이룰 수 있다.^[284] 만약, 2045년에 통일이 된다면 통일 대한민국의 역량을 극대화하기 위해, 만약 통일이 되지 않는다면 남북한 관계를 개선하여 통일을 앞당기기 위해, 과학기술이 제 역할을 다해야 한다. 상대적으로 협력이 용이한 기초과학 분야에서부터 시작하여 연구자들 간의 공동 연구 등 교류와 협력을 단계적으로 확대해 나가야 한다. 장기적으로는 남한과 북한의 과학기술, 산업, 경제에 대한 이해를 바탕으로 남한의 과학기술과 자본, 북한의 자원과

인력을 결합하는 등 남북한의 역량을 극대화할 수 있는 방안을 모색해 나가야 할 것이다.

둘째, 글로벌한 차원의 협력 테마 및 콘텐츠를 발굴하려면 국제기구 및 해외 국가들의 동향과 과학기술 수요를 파악해야 하므로, 국제기구를 통한 국제협력 활동에 국내 연구자들의 참여를 확대하고 지역별 전문가 네트워크를 강화해야 한다. 예를 들어, 우수한 청년 인력들이 국제기구나 다양한 공적 개발원조에서 활동할 수 있도록 지원해야 하고, 우리나라 연구자들이 OECD 국제미래연구프로그램 같은 국제 연구 활동에 보다 적극적으로 참여하도록 해야 한다. 또한, 해외 국가 및 글로벌 기업 등을 대상으로 교류 네트워크를 확충해야 하고,^[285] 해외 한인 과학자와의 교류도 강화해야 한다.^[286] 나아가, 과학기술 전문성, 지역 전문성, 외교적 노하우를 고루 갖춘 과학기술 국제협력 전문가를 양성하고 국제기구에서 고위직 진출을 확대하여,^[287] 우리의 목소리가 국제무대에서 영향력을 높이도록 노력해야 한다.

셋째, 공동 연구, 인적 교류, 공적개발원조(ODA), 국제기구 활동, 한류 확산 등 글로벌화와 관련된 모든 활동들을 과학기술 국제협력 테마 및 콘텐츠와 연계해야 한다. 그동안 우리나라의 국제협력 활동은 종합적인 관점에서 유기적으로 연계되지 못했다. 예를 들어, 공적개발원조의 경우만 보더라도 여러 부처나 기관들이 개별적으로 추진하는 체계여서 향후 효율적인 연계와 협력이 필요한 상황이다. 국제협력 활동들의 연계성을 높이면 우선, 각각의 활동에 대한 현황과 데이터를 확보하고

공유하여 관련 주체들이 전체적인 상황을 파악해야 한다. 이를 바탕으로 여러 가지 활동들을 연계하여 특정 국가나 권역에 최적화된 협력 방안을 마련하고 각 주체별 역할을 설정해야 한다. 이를 통해 우리나라 국제협력의 효과성을 높일 수 있고, 이러한 성과들이 모이고 한류로 키워 온 소프트파워가 더해진다면 해외 우군 네트워크를 확장하여 글로벌 리더 국가로 발돋움해 나가는 데 큰 힘이 될 것이다.

5-7.

과학기술과 국가정책 간 연계를 강화하는 과학지향 국가

5-7-1. 끊임없이 확대되는 과학기술 투자와 인프라

1) 과학기술에 지속적이고 전략적으로 투자하자

미래에도 인류사회에는 수많은 도전과제들이 나타날 것이고, 이를 해결하기 위한 과학기술의 역할이 더욱 중요해질 것이다. 즉, 과학기술이 이집트, 메소포타미아 등 고대 문명 발상지에서 강의 범람을 해결하기 위한 측량·건축술, 농업을 위한 천문학 등을 통해 발전해 온 것처럼, 인류가 직면할 문제와 이를 해결하는 과학기술의 발전은 앞으로도 계속될 것이다. 국가적으로도 성장동력 및 일자리 창출, 사회문제 해결, 창의적 지식 탐구 등을 위한 과학기술의 중요성은 더욱 강조될 것이다. 하지만 미래에 인구가 감소하면 세수가 감소하고 재정 수지가 악화될 것이므로,^[288] 과학기술 분야 같은 미래

에 대비한 투자를 줄여야 한다는 주장이 제기될 우려가 있다. 따라서 미래사회의 환경 변화에도 과학기술에 대한 투자를 지속하기 위한 국가적인 원칙과 정책을 세워야 하는데, 이를 위해서는 다음과 같은 사항을 고려해야 한다.

우선, 정부 예산의 일정 비율을 과학기술에 지속적으로 투자한다는 원칙을 수립해야 한다. 2018년 우리나라의 GDP 대비 R&D 투자는 세계 최고 수준이고 정부 R&D 투자 총액도 OECD 국가 중 4위권이므로^[289] R&D 투자는 충분하다는 일부의 견해가 있다. 하지만 R&D 투자의 절대 규모가 미국의 1/6, 일본의 1/2 수준이고 과거 30년 동안 연구개발투자의 누적 규모가 미국의 1/9, 일본의 1/3 수준에 불과한 상황임을 고려할 때, 과학기술에 대한 투자를 줄이는 것은 미래를 준비하는 관점에서 바람직하지 않다. 물론, 투자를 늘리는 것이 성과를 보장하는 것은 아니지만, 우리나라에서 과학기술의 중요성을 고려하면 과학기술에 대한 투자는 신중한 논의와 폭넓은 공감대에 기반하여 미래에도 지속되어야 한다. 따라서 국가 차원에서 'GDP 대비 5.0%' 등과 같이 일정 비율을 과학기술에 투자한다는 원칙을 세우는 것이 필요하다.^[290]

또한, 단순히 투자의 절대 규모를 확보하는 것뿐만 아니라, 투자에 대한 사회적 공감대를 얻을 수 있도록 투명성을 높이고, 투자된 예산이 실제 성과로 이어질 수 있도록 전략성을 높여야 한다. 투명성과 관련해서는, 현재 정부와 기업의 연구개발 투자 금액에 실제 연구개발과는 관련성이 낮은 항목이 포함되어 있거나 비효율적으로 예산이 집행되고 있

다는 인식이 다소 존재한다. 이를 해소하기 위해서는 연구개발 투자의 개념과 범위를 명확히 설정하고 검증해야 하며, 국회나 일반 국민이 연구개발 투자의 내용과 흐름을 정확하게 파악할 수 있도록 투명하게 공개할 필요가 있다. 전략성과 관련해서는, 여러 정부에 걸친 장기적인 사업을 추진하기 위한 투자와 각 정부가 지향하는 정책 의제에 부합하는 사업을 추진하거나^[291] COVID-19 확산 등과 같은 환경 변화에 대응하기 위한 투자를 어떻게 조화시킬 것인가가 중요하다. 환경 변화에도 변하지 않는 일관된 투자와 환경 변화에 민첩하게 대응하는 전략적인 투자 모두가 중요하기 때문이다. 이를 위해 각 정부가 정책 의제를 추진하기 위해 투자하거나 급격한 환경 변화에 대응하는 데 활용하는 ‘전략적 투자예산’을 별도로 배정하거나^[292] ‘예비비 제도’를 활용할 필요가 있다.^[293] 이렇게 함으로써 정치적 변화에도 미래를 위해 투자하는 ‘지속적 투자예산’을 일관되게 유지할 수 있을 것이다.

2) 과학기술의 물리적·문화적 인프라를 확충하고 접근성을 높이자

미래사회의 ‘경부고속도로’와 ‘초고속인터넷’은 무엇일까? 1960년대 말 건설된 경부고속도로를 통해 상품이 자유롭게 이동하여 산업화가 촉진되었고, 1990년대 말 구축된 초고속인터넷을 통해 정보가 원활하게 이동하며 정보화가 가능해졌다. 이와 같이, 현재에 우리가 구축하는 인프라는 미래에 우리 삶을 윤택하게 하고 경제를 활성화시킬 것이다. 미래사회는 산업화 시대의 경부고속도로와 정보화

시대의 초고속인터넷을 뛰어넘는 새로운 과학기술 인프라를 필요로 하므로 지금부터 장기적인 지속적인 관점에서 지속적으로 강화해 나가야 하는데, 이를 위해 필요한 사항은 다음과 같다.

첫째, 데이터 인프라, 실험 공간, 신기술 테스트 베드 등 과학기술의 물리적 인프라에 지속적으로 투자하고, 국민 모두가 쉽게 활용할 수 있도록 이에 대한 접근성(accessibility)을 높여야 한다. 우선, 데이터 인프라는 데이터를 수집하는 센서·기기, 수집된 데이터를 전송·공유하는 네트워크, 데이터를 저장하는 클라우드, 데이터를 활용하는 소프트웨어·기기 등으로 구성된다. 우리 사회를 인체에 비유한다면 디지털 시대에 데이터는 혈액에 해당한다. 피가 몸 곳곳에 잘 순환되어야 건강을 유지할 수 있듯이 데이터가 필요한 곳에 원활하게 공급되어야 우리 사회가 발전할 수 있다. 따라서 새로운 데이터를 수집하고 유통, 저장 및 활용하는 전 과정이 원활하게 이루어져야 한다. 다음으로, 공작기계, 레이저커파터, 3D프린터 등의 장비를 이용하여 구상하고 있는 아이디어를 실제 제품으로 만들어 볼 수 있는 ‘메이커스페이스(maker-space)’ 같은 제조 공간을 확충하고, 고성능현미경, 세포배양기, 질량분석기 등의 장비를 사용하여 생물학·생명공학 실험을 해 볼 수 있는 ‘생물학 실험실(biological lab)’ 같은 실험 공간 역시 풍부하게 제공해야 한다. 그리고 연구 결과를 실제 현실에 적용해 볼 수 있는 신기술 테스트 베드도 충분히 구축되어야 한다. 정부는 이러한 과학기술 인프라의 혜택이 모든 기업에게, 그리고 고령자와 장애인을 포함한 모든 국민에게 제공되어

과학기술 격차가 발생하지 않도록 과학기술의 접근성(accessibility)을 높이는 노력을 기울여야 한다. 예를 들어, 공공기관이 보유한 연구 기자재, 소프트웨어, 연구실 등의 자산을 일반 국민과 기업들에게 개방하는 사업을 확대해 나간다면, 자산의 효율성을 높일 수 있을 뿐만 아니라 과학기술에 대한 사회적 관심과 참여도 유도할 수 있을 것이다.

둘째, 국민들이 과학기술을 이해하고 활용하며 우리 사회가 과학기술자들이 존경받는 과학친화적인 사회가 되도록 과학기술의 문화적 인프라를 강화해야 한다. 과학기술의 문화적 인프라 또는 과학기술문화란 과학기술과 관련된 삶의 양식과 객관성, 합리성, 과학적 가치를 존중하는 태도와 과학기술친화적인 사회문화적 환경을 모두 포함한다.^[294] 산업화 시대에 상품 유통을 위한 도로 같은 인프라가 중요했고 정보화 시대에 정보 유통을 위한 통신망 같은 인프라가 중요했다면, 빅데이터와 집단지

성(collective intelligence)이 중요해지는 미래에는 다수 대중의 지식과 아이디어를 ‘유통’하기 위한 과학기술의 문화적 인프라가 더욱 중요해질 것이다. 특히, 최근에 국민들의 과학기술에 대한 관심도가 낮아지고 있기 때문에,^[295] 과학기술의 문화적 인프라를 강화하여 과학기술에 대한 국민의 정서적 거리감을 좁히는 것은 중요하다.

우선, 과학기술이 국민에게 다가가기 위해서는 과학기술의 발전 모습과 성과, 그리고 이 같은 성과가 인류의 삶에 어떻게 기여하고 있는지 등을 담은 과학 콘텐츠가 풍부하게 개발되어야 하고, 이를 강연이나 전시 활동 등을 통해 적극적으로 알려야 한다. 그리고 과학관 같은 물리적 채널뿐만 아니라 유튜브, 팟캐스트, 소셜네트워크서비스, 웹툰 등 온라인 채널, 과학 공연이나 과학 버스킹과 같은 대중적인 오프라인 활동도 활용해야 한다. 여기에 더해 사람들의 관심을 끌 수 있도록 가상현실·증강현실



국립과천과학관

(AR/VR) 등 신기술을 활용한 과학 콘텐츠 개발도 필요하다. 이를 위해서는 더 많은 과학 커뮤니케이터와 대중적 과학자의 롤모델이 필요하며,^[296] 과학기술자들의 대중과의 소통도 확대되어야 한다. 반대로, 국민이 과학기술에 다가오도록 하기 위해서는 국민들이 과학기술에 대해 얼마나 알고 있고 어떤 아이디어를 갖고 있는지, 어떤 과학기술을 원하는지 등을 파악할 필요가 있는데, 이를 위해서는 아이디어 공모전, 과학경연대회 등 다양한 활동을 활성화시킬 필요가 있다.

5-7-2. 공정하고 합리적인 과학기술 정책의사결정체계

1) 과학기술정책 거버넌스를 컨트롤타워형에서 플랫폼형으로 전환하자

미래에는 국가적으로 새로운 형태의 과학기술 거버넌스가 필요해질 것이다. 왜냐하면, 모든 분야에서 과학기술로 해결해야 하는 문제나 과학기술로 인해 발생하는 문제가 많아져서 누구나 과학기술을 이해하고 활용하며 그에 대한 의사결정을 해야 하는 시대가 될 것이기 때문이다. 또한, 어느 한 개인이나 조직이 모든 분야의 상황을 파악하여 제때에 의사결정을 하기 어려워져서 과학기술 관련 의사결정이 점점 분권화될 것이기 때문이다. 따라서 우리는 과학기술과 관련된 문제를 해결하기 위해 관련 주체들을 모으고 매개 및 조율하여 문제를 해결해 나가는 새로운 형태의 과학기술 거버넌스를 다음과 같이 구축해야 한다.

첫째, 정부 부처별로 과학기술 전담 조직을 신설

또는 확대하고 과학자문관을 임명하여, 모든 부처가 과학기술 역량을 강화하고 정책 담당자가 전문성과 책임성을 높이도록 지원해야 한다. 과학기술과 사회 간의 연계성이 높아지는 미래에는 모든 정부 부처가 과학기술에 대한 이해도와 전문성을 갖추어야 한다. 이를 위해, 과학기술 전담 인력이 없거나 소수인 정부 부처에서는 과학기술 전담 조직을 신설 또는 확대하고, 과학기술 전문성을 갖춘 공무원을 양성하여 적절하게 배치해야 한다. 그리고 각 부처의 장관과 관련 부서에 과학기술 관련 자문에 응하는 과학자문관을 임명하여 전문성 있는 정책을 추진해야 할 것이다.^[297] 또한, 정책 담당자의 전문성과 책임성, 그리고 정책 추진의 일관성을 높이기 위해 장기 프로젝트나 국가 주요 프로젝트의 담당자는 프로젝트 기간동안 순환보직제를 적용하지 말아야 한다. 이는 우주 개발 등 장기적인 시각이 중요한 분야나 국제 협상 등 다년간의 경험이 필요한 분야의 경우 수년마다 담당자가 바뀌거나 프로젝트 수행 중에 담당자가 달라지면 전문성 확보와 책임성 있는 정책 추진이 어렵기 때문이다.

둘째, 컨트롤타워형에서 플랫폼형으로 과학기술 정책 거버넌스를 전환해야 한다. 과거에는 모든 정보를 중앙에 집중하여 의사결정하는 컨트롤타워 역할이 필요했지만, 미래에는 각 주체가 직접 의사결정을 해야 하는 경우가 많아질 것이기 때문에 관련 주체들을 매개하고 조율하여 정책 생태계를 관리하고 발전시켜 나가는 플랫폼형 정부(government as a platform)^[298]가 요구된다. 플랫폼형 정부의 역할은 오케스트라에서 지휘자의 역할에 비유할 수

있다. 먼저, 관련 주체들을 과학기술 생태계로 모으고 교류를 활성화한다. 그리고 문제 해결이 필요한 경우에는 참여 주체들이 문제해결에 도움이 되는 방향으로 협업하도록 각자의 역할을 정하고 협업 과정을 조율하는 한편, 성과를 공유하는 규칙을 마련하고 이를 적용한다. 예를 들어, 과학기술을 활용하여 문제를 해결할 때에는 연구개발, 실증, 규제 개선, 초기시장 조성, 관련 산업 지원 등의 전 과정을 지휘하여 결과를 만들어 내는 것이다. 또한, 정부는 싱크탱크와의 협업을 통해 전문 지식이나 사례 등의 정보를 축적하여 생태계 참여자들에게 제공하고, COVID-19 사태 때의 공적 마스크 유통 사례와 같이,^[299] 문제 해결을 위해 민간 기업, 시민사회 등과도 협업하는 역할을 수행해야 한다. 이 같은 형태의 정부는 빠르게 변화하는 글로벌 환경에 신속하게 반응하고, 국가 위기 상황에서 기업, 시민사회, 정부기관 등의 자원을 효과적으로 활용하여 위기를 대처할 수 있다.

2) 국민이 참여하는 과학적인 정책 결정을 통해

다양한 국가 문제를 해결하자

미래에 우리가 원하는 정부는 과학적으로 의사결정하고 과학기술을 효과적으로 활용하여 문제를 해결하는 ‘과학적인 정부’이다. 미래의 정부는 정책을 수립하고 집행하는 과정에서 과거의 경험이나 직관에만 의존하는 것이 아니라 근거(evidence)와 데이터에 기반하여 객관적으로 분석하고 국민을 설득한다. 또한, 과학기술의 연구개발에 투자하는 동시에 얻어진 결과물의 수요자가 되어 문제 해결에

적극적으로 활용한다. 그리고 이와 같은 성과물을 국민에게 제공하여 과학기술의 유용성과 지속적인 투자의 필요성에 대한 공감대를 확산해 나간다. 우리 정부가 이런 방향으로 나아가기 위해서는 다음과 같은 사항을 고려해야 한다.

첫째, 인공지능, 블록체인, 로봇 등 급속도로 발전하는 새로운 과학기술을 사법이나 복지 등 공공서비스에 적극적으로 활용하여 공공서비스의 품질, 효율성, 투명성을 높여야 한다. 방대한 데이터를 분석하여 특정 내용이나 패턴을 발견하는 데 뛰어난 인공지능을 공공서비스에 활용하면 품질과 효율성을 획기적으로 높일 수 있다. 예를 들어, 법률이나 치안 분야에서 인공지능은 방대한 자료를 찾아서 분석하고, 인간은 이를 바탕으로 판단하고 현실에 적용하는 방식으로 협업하면 의사결정의 정확성을 높이고 시간을 단축할 수 있다. 블록체인 기술은 중요한 데이터를 참여자들이 모두 공유하여 특정 개인이 임의로 변경하지 못하도록 하고 다수의 합의를 통해서만 변경하도록 함으로써, 데이터의 위조나 변조를 방지할 수 있다. 예를 들어, 복지 분야에서 도움을 필요로 하는 사람들에게 기부금이 제대로 사용되고, 이를 기부한 사람이 확인할 수 있도록 함으로써 사회적으로 기부를 촉진할 수 있다. 이렇게 새로운 과학기술을 공공서비스에 실제로 적용한 결과를 평가하고 지속적으로 개선해 나감으로써, 과학기술이 국민의 삶에 실제로 기여하도록 하고 국민의 호응을 높여서, 과학기술의 필요성에 대한 사회적 공감대를 형성할 수 있다.

둘째, 정책 대안을 도출하고 최선안을 선택할 때

과학적인 방법론을 활용하는 합리적인 의사결정 절차를 확립해야 한다. 우선, 어떤 문제를 해결하고자 할 때 문제의 의미와 중요성에 대해 합리적 근거를 기반으로 관련 주체들의 공감대를 형성한다. 국민과 다양한 분야의 전문가들이 참여하여 다학제적 관점에서 복수의 정책 대안을 도출하고, 각 정책 대안에 대한 객관적인 데이터를 충분히 확보한다. 다음으로, 체계적인 논리와 과학적인 데이터 분석을 활용하여 각 대안별 장단점과 실현가능성을 비교해 최선안을 제시한다. 물론, 실행 과정에서 나타날 수 있는 부작용이나 이해관계자의 반대도 고려하여 이를 해결할 방안을 마련한다. 또한, 이 모든 과정이 원활하게 이루어지도록 국민과 다른 분야 전문가들의 과학기술의 이해도를 높이는 활동을 지속적으로 추진한다. 이와 같은 합리적인 의사결정 절차를 통해 과학기술이 실제 국가의 문제해결에 기여하고 그 경험이 축적되어 나간다면, 우리나라는 진정으로 과학기술을 국가 정책의 중심에 두는 과학지향 국가가 될 수 있을 것이다.

5-8.

미래전망과 국가정책 간 연계를 강화하는 미래지향 국가

5-8-1. 데이터를 기반으로 한 체계적인 미래예측과 전망

1) 장기적으로 미래에 투자하자

국가와 인류의 미래를 준비하며 장기적으로 투자하는 국가와 그렇지 못한 국가의 미래는 분명히 다를 수밖에 없다. 특히, 우리나라는 저출산·고령화로 인한 인구 변화를 세계에서 가장 먼저 경험하고 있고, 주변국의 영향으로 방사능, 미세먼지 등 환경 리스크에 노출되어 있으며, 강대국들에 인접해 있어 세계 정치 변화에 막대한 영향을 받지 않을 수 없다. 따라서 우리나라로서는 미래에 투자하는 것의 중요성을 아무리 강조해도 지나치지 않을 것이다. 미래를 준비하며 투자해야 할 것들은 많지만 그 중에서도 다음과 같은 사항들을 중요하게 고려해야 한다.

첫째, 미래에 국가와 인류에 어떤 기회와 위협이 다가올 것으로 예상되는지, 국가적으로 어떤 문제를 우선적으로 해결해야 하는지에 대해 국민과 함께 고민하고 토론하며 공감대를 형성해 나가야 한다. 본 전략이 과학기술 분야의 미래전략으로서 단순히 유망 기술을 제시하기보다 국가 차원에서 장기적으로 해결해야 하는 도전과제(challenges)를 제시한 것은 이 때문이다. 본 전략은 도전과제를 도출하기 위해 일반 국민과 전문가를 대상으로 설문 조사를 실시하였고, 역사, 심리 등 다양한 인문학 문헌과 미래 트렌드와 사회 모습을 상상한 다양한 미디어 콘텐츠를 바탕으로 전문가 토의를 진행하였으며, 해외 주요국의 전략에서 주목하고 있는 미래 도전과제들도 종합적으로 참고하였다. 향후에 미래 전략을 수립할 때에도 전문가 및 일반 국민과 함께 지속적으로 토론의 장을 마련해 나간다면, 사회적 공감대를 형성하여 투자를 실행하고 정책을 추진해

나가는 데 용이할 것이다.

둘째, 미래에 대해 상상하고 분석하고 논의하여 기회와 위협을 찾아내는 미래연구 역량에 투자해야 한다. 국내 미래연구 생태계는 대학과 정부 부처뿐 아니라 공공연구기관, 기업, 일반 국민 등으로 확장되면서 양적으로나 질적으로 성장해왔다. 과학기술 분야에서 정부 과학기술 미래전략, 과학기술기본계획, 과학기술예측조사, 기술영향평가 등 미래를 준비하는 활동들을 활발하게 추진하고 있다. 다만, 과학기술 미래전략은 10년마다, 과학기술기본계획과 과학기술예측조사는 5년마다 수립하고 있고, 기술영향평가는 1년에 1~2개의 기술만을 대상으로 하고 있어서, 전체적으로 아직은 활동이 충분하지 않은 상황이다. 정부는 새로운 과학기술이 변화시킬 미래사회의 모습을 전망하고, 미래사회가 요구하는 과학기술의 특성을 탐색하고, 이와 같은 전망들을 종합적으로 반영하여 우리나라의 과학기술 미래전략을 수립하는 연구들을 보다 적극적으로 추진해야 할 것이다.

2) 다양한 미래 신호(signal)를 체계적으로 탐색하자

미래를 준비하기 위해 갖추어야 할 것은 다양한 미래 신호를 체계적으로 탐색하는 것이다. 즉, 과학기술에 기반하여 향후 국가 차원에서 주목해야 하는 기회 및 리스크 요인을 주기적으로 탐색해야 한다. 과학기술에 기반하여 미래를 탐색한다는 것은 데이터, 분석 알고리즘 등 과학적 방법론을 활용한다는 것과 과학기술이 미래의 사회 변화를 주도하고 문제를 해결하는 핵심 수단임을 이해한다는 것

을 모두 포함한다. 이렇게 미래의 주요 기회와 리스크를 탐색하기 위해서는 주체와 내용 측면에서 다음과 같은 사항을 고려해야 한다.

먼저 주체 측면에서는, 사회의 모든 주체가 미래에 대한 데이터를 수집하고 이를 효과적으로 공유해야 한다. 정부, 기업, 대학, 공공연구기관, 사회단체 등 개별 주체들은 각자 자신이 속한 분야에서 데이터를 수집하는 한편, 다른 분야의 데이터와 결합되어 의미 있는 정보가 될 수 있도록 공유해야 한다. 정부는 개별 주체가 확보한 각종 데이터를 모으고 연계하여 일종의 ‘미래탐색시스템’을 구축해야 한다. 그리고 이를 활용하여 미래사회의 특이 징후를 조기에 감지하고 변화 추이를 모니터링하는 한편, 그 결과를 공유하는 사회적인 장을 지속적으로 마련해야 한다. 다양한 영역에서 제때에 미래를 탐색하는 것이 개별 주체의 역할이라면, 이들을 연계하여 미래에 대한 큰 그림을 그리고 대응 전략을 마련하는 것은 정부의 역할이다.

내용 측면에서는, 인공지능, 기후변화, 고령화 등 이미 우리가 잘 알고 있는 트렌드에 대해서 지속적으로 그 전개 양상을 살피는 동시에, 현재는 미약해 보이지만 미래에 중요한 트렌드로 발전할 수 있는 약한 신호(weak signal)도 포착해야 한다. 특히, ‘X이벤트’에 주목해야 한다. X이벤트는 원래 ‘발생 가능성은 낮지만 일단 발생하면 사회적 영향력이 큰 사건(low possibility, high impact)’을 지칭하는 말이었고, 2013년 수행된 연구에서는 인터넷 단절, 75세 은퇴시대 도래, 동북아 원전 사고, 에너지 가격 급변, 식량 위기, 신종 전염병 창궐 등을 한국

적 맥락에서 살펴본 X이벤트로 선정한 바 있다.^[300] 그런데 이런 사건들이 점차 발생 빈도가 높아지고 상시화되는 경향을 보이고 있으므로 더욱 경계해야 한다. 또한, 이와 같은 위기 요인을 제시하며 사회에 경종을 울리는 것과 동시에, 우리가 원하는 미래를 창조하는 데 도움이 될 수 있는 기회 요인에 대한 탐색도 균형적으로 이루어져야 한다.

5-8-2. 미래변화에 안정적이고 선제적으로 대응하는 거버넌스 구축

1) 국가 역량을 결집하여 미래에 대응하는 체계를 구축하자

미래에 다가올 기회와 리스크에 효과적으로 대응하여 우리가 원하는 미래 지향점에 도달하려면, 사회 모든 주체의 역량을 모아서 발휘할 수 있어야 한다. 특히, 미래에 다가올 대부분의 기회와 리스크는 서로 연계되어 있고 융복합적인 특성을 갖고 있어서 다양한 분야에 속한 전문가들 간의 다학제적 협력(interdisciplinary collaboration)이 필수적이다.^[301] 이러한 활동이 원활하게 이루어지기 위해서는 정부가 미래에 대응할 체계를 설계하고 구현하는 것이 매우 중요한데, 이를 위해서 고려할 점은 다음과 같다.

첫째, 정부 부처, 산학연 등 사회 각 주체의 미래 대응 조직이 강화되어야 한다. 예를 들어, 국가과학기술연구회 25개 및 경제인문사회연구회 26개 정 정부출연연구기관에 미래 기술예측 및 정책 발굴을 위한 조직을 설치하여 각 기관의 전문성에 맞는 미

래 데이터를 발굴하는 역할을 담당하도록 해야 한다. 또한, 이들과 함께 국가 차원의 장기 미래전략을 수립하고 분야별 정책과 연계를 담당하는 상시적인 국가 미래전략 기구도 필요하다. 기존 조직이 그 역할을 담당할 수도 있고 신규 조직으로서 '과학기술 미래전략 기구'의 설치도 고려할 수 있다. 이 조직의 역할은 다양한 이해관계자들을 모으고 미래대응의 방향성과 가이드라인을 제시하는 것이다. 그리고 미래와 관련된 각종 데이터를 추적하고 교류해야 한다. 공공과 민간에 존재하는 다양한 미래 연구 조직들은 과학기술 미래전략 기구를 중심으로 서로 연계되어, 폭넓게 퍼져 있는 전문가 간 소통이 원활하게 이루어질 수 있도록 해야 한다. 또한, 장기적인 과학기술 미래전략 수립을 위해 5~10년 주기로 구성되는 태스크포스 팀(TFT)을 꾸리는 일도 해당 기구가 담당해야 할 역할이다.

둘째, 국가 미래대응 체계를 현재의 사후적인 위기해결형에서 선제적인 미래대응형으로 전환해야 한다. 사후적인 위기해결형은 사전 준비보다는 재난재해 등 중대한 사건이 발생한 후 중앙재난안전대책본부 등과 같은 컨트롤타워를 구성하여 해결하는 방식이고, 선제적인 미래대응형은 평시에는 과학기술 미래전략 기구 등 매개조직을 중심으로 동향 파악, 미래 전망, 대응전략 준비 등을 수행하며 유연하게 운영하고 비상시에 컨트롤타워로 전환하여 체계적이고 유기적으로 대응하는 방식이다. 예를 들어, 공공연구기관을 중심으로 주요 리스크 상황별로 거점 연구기관을 지정하여,^[302] 평상시에는 사전 감시, 대응 시나리오 및 매뉴얼 준비 등을 수

행하다가 비상시에 거점 연구기관을 중심으로 관련 기관들이 함께 긴급 대응 연구를 수행하여 해결 방안을 도출할 수 있다.

2) 미래연구를 정책에 활용하고 축적하여 역량을 지속적으로 향상시키자

미래에 우리가 원하는 정부의 모습은 정부가 단기적으로 현안 해결에만 집중하기보다는 장기적으로 미래를 준비하고 국민에게 비전을 제시하는 정책을 수립하는 것이다. 특히, 정부는 개별 이슈에 대해 단편적인 처방을 내리기보다는 경제, 사회, 안전·환경 등 다양한 관점에서 데이터를 분석하여 종합적인 해결 방안을 제시해야 한다. 그리고 그 과정에서 다양한 데이터를 지속적으로 축적하여 문제해결 역량을 강화하고, 축적된 데이터를 과학적인 근거로 제시하여 국민들을 설득하고 활발하게 소통해야 한다. 이러한 정부를 구현하기 위해서는 다음과 같은 사항을 고려해야 한다.

첫째, 국방, 보건의료, 환경, 교육, 교통, 치안 등 다양한 공공서비스를 제공하거나 정책을 수립 및 집행할 때 ‘미래와 현재와의 대화’를 끊임없이 해야 한다.^[303] 우선, 미래에서 현재를 바라보는 관점에서 ‘백캐스팅(backcasting) 접근법’을 활용해야 한다. 백캐스팅이란 미래에 원하는 모습을 그리고 이를 달성하기 위한 다양한 경로를 비교하여 선택하는 접근법이다.^[304] 특히, 정책을 통해 구현하고자 하는 미래 지향점에 대한 사회적인 공감대를 얻고자 할 때 널리 활용될 수 있다.^[305] 반대로, 현재에서 미래를 보는 관점에서 ‘정책영향평가’도 강화해 나

가야 한다. 정책영향평가란 정책이 경제, 사회, 문화 등 전반에 미칠 긍정적·부정적 영향을 평가하고 다양한 가능성을 입체적으로 고려하는 것이다. 나아가, 정책이 각 주체에 미칠 영향, 주체의 대응, 장애 요인 등을 종합적으로 고려할 필요도 있다. 과학기술정책에 대해 정책영향평가의 활용을 확대하고 그 결과를 정책 수립에 반영해야 한다. 앞으로는 정책영향평가의 체계적인 수행을 위해 방법론과 지표를 개발하고 이를 제도화해 나갈 필요가 있다.

둘째, 정부는 사전에 미래를 전망하는 작업과 사후에 미래에 대응하는 작업을 밀접하게 연계하고, 그 결과를 지속적으로 축적하고 공유하여야 한다. 과거의 전망이 실제로 어떻게 전개되었는지, 과거에 고려했던 정책 대안이 얼마나 효과적이었는지를 비교·분석하고 축적·공유하지 않는다면, 역사의 교훈을 배우지 못하고 공허한 전망과 임시변통의 대응만을 반복하게 될 것이다. 미래전망과 이에 대한 대응을 연계하고 이를 축적하고 공유하기 위한 하나의 방안은 사회의 각 주체가 탐색한 미래의 기회와 리스크의 신호들과 그에 대한 실제 대응 상황을 기록하여 「(가칭)국가 미래전망 보고서」를 일정한 주기마다(반기 또는 매년) 발간하고, 이를 차기 「대한민국 과학기술 미래전략」을 수립하는 데 반영하는 것이다. 국가적으로 어떤 기회와 리스크가 중요한지, 이를 어떻게 활용하고 거기에 대응해야 하는지에 대한 전망과 경험을 지속적으로 기록하고 개선해 나간다면 우리나라는 미래를 적극적으로 개척해 나가는 ‘미래강국’이 될 수 있을 것이다.



2016년 8월 12일 한국천문연구원 전영범 박사가 촬영한 페르세우스 유성우 사진 | 자료: 한국천문연구원

[참고 4] 과학기술정책의 전환이 가져올 미래 모습: 2045년 과학기술 생태계 시나리오

과학기술정책의 전환은 개인과 조직이 역량과 열정을 발휘하도록 하여 우리 과학기술 생태계의 역동성과 효과성을 높임으로써 우리나라와 인류가 직면한 많은 도전과제들을 해결하는 데 기여할 것으로 기대된다. 우리나라 과학기술 생태계의 미래 모습을 주제, 공간, 정책 측면에서 예상해 보면 다음과 같다.

2045년 과학기술 생태계 시나리오

모든 주체가 능동적으로 참여하고 협력하는 과학기술 생태계

“한국, 세계에서 세 번째로 70-50 클럽 가입!” 오늘 국내 주요 일간지들의 헤드라인이다. 우리나라가 인구가 5천만 명 이상인 국가들 중에서 세 번째로 1인당 국민소득이 7만 달러 이상이 된 것이다. 우리나라 경제는 2020년 발생한 코로나바이러스 사태로 인해 다른 나라들과 마찬가지로 몇 년 동안 침체를 겪었지만, 그 이후 3%대의 안정적인 성장세를 지속해 왔다. 그 결과, 1인당 국민소득이 2029년에 4만 달러가 되었고, 2035년에 5만 달러, 2040년에 6만 달러에 도달하였고, 올해 드디어 7만 달러가 된 것이다. 물론, 인구가 과거보다 소폭 감소한 것도 1인당 국민소득에 영향을 미쳤다. 한때 우리나라 인구가 지속적으로 감소할 것이라는 전망도 있었지만, 경제 호황으로 일자리가 풍부해지고 육아, 교육 등의 여건이 나아짐에 따라 출산율이 높아져서, 현재 인구는 5천만 명 수준을 유지하고 있다.

하지만, 한국 경제가 지속적으로 성장하게 된 가장 큰 이유는 세계 시장에서 높은 성과를 내고 있는 우리 기업들 때문이다. 예를 들어, 매출액 기준으로 세계 500대 기업을 선정하는 ‘포춘 글로벌 500(Fortune Global 500)’에 올해 25개가 선정되어 과거에 비해 10개 가까이 늘었다. 지난 수십 년 간 경제를 이끌어 온 반도체, 석유화학, 자동차, 디스플레이, 조선 등 주력산업들이 거듭되는 위기를 잘 극복하며 성장해 나가고 있는 가운데, 여러 산업에서 실력 있는 기업들이 등장하여 우리 경제에 활력을 불어넣고 있다.

최근 급성장하고 있는 대표적인 산업은 제약 분야이다. 2025년 또다시 변종 코로나바이러스가 세계적으로 발생했지만, 수년 전 해외 제약사들과 협력했던 경험을 바탕으로 백신과 치료제를 독자적으로 개발하여 사태 해결에 기여하였다. 세계적으로 주목받는 또 하나의 분야는 소재인데, 그간의 성과를 돌아보면 정부와 연구계 및 산업계의 합작품이라고 할 수 있다. 플라스틱 폐기물이 점점 늘어나 처리가 어려워지고, 미세 플라스틱이 인체에 심각한 영향을 미친다는 연구 결과가 속속 발표되면서, 플라스틱을 대체할 수 있는 소재를 개발해야 한다는 사회적 수요가 높아졌다. 여러 대학과 공공연구기관이 연합하여 생분해성 플라스틱을

개발하는 국가연구개발사업을 추진하였고, 그 성과를 바탕으로 2030년 주식회사 ‘한국미래소재’가 설립되었다. 한국미래소재의 생분해성 플라스틱은 세계 시장 점유율 50%에 이르는 우리나라의 대표상품이 되었다.

국가적으로 중요한 연구 프로젝트를 추진할 때 분야와 소속을 가리지 않고 우수한 인재를 선발해 ‘코리아 드림팀’을 구성하는 경우가 많아졌다. 드림팀에 참여했다는 사실이 개인의 경력에 큰 도움이 되어, 대학 출신 참여자가 기업에 고액 연봉을 받고 스카우트 되거나 기업 출신 참여자가 공공연구소로 이직하는 사례가 많아지고 있다. 산학연 공동 프로젝트는 연구자라면 누구나 참여하고 싶은 선망의 대상이 되었다.

우리 과학기술자들의 활약은 학술적인 면에서도 나타나고 있다. 2030년 온 국민이 기다리던 첫 노벨상(Nobel Prize) 수상자가 나온 이후 벌써 다섯 명이 수상의 영광을 안았다. 그 밖에, ‘실리콘밸리의 노벨상’이라고 불리는 브레이크스루상(Breakthrough Prize), ‘수학계의 노벨상’ 필즈 메달(Fields Medal)과 아벨상(Abel Prize) 등 주요 국제상에서 우리나라 연구자들이 수상자로 선정되는 경우가 많아졌다.

또한 과학기술 연구나 정책에 대한 국민들의 참여가 활발해져서 과학기술의 저변이 많은 국민들이 생활 속의 문제를 과학기술로 해결하는 ‘리빙랩(living lab)’이나 정책을 시행하기 전에 실험을 하는 ‘정책랩(policy lab)’에 참여하고 있다. 또한, 스마트폰 앱으로 미세먼지, 폭우, 지진 등에 대한 위치별 실시간 정보를 제공하는 것뿐만 아니라 스마트폰 센서로 현장의 데이터를 종합정보센터로 전송하여 국가적인 대응을 돕기도 한다. 과학기술이 우리 삶에 실제로 유용한지, 부작용은 없는지 등의 질문은 계속 제기되고 있지만 국민들은 과학기술을 멀리하거나 두려워하기보다는 적극적으로 의견을 제시하여 반영해 나가고 있다.

우리나라 과학기술자들의 위상이 높아지고 국민들이 과학기술과 가까워졌다는 사실은 최근 조사에서도 확인할 수 있다. 교육부의 발표에 따르면 올해에

도 초·중·고등학생이 가장 되고 싶은 직업 1위는 과학자로 나타났다. 학생들은 인터뷰에서 과학자를 선호하는 이유를, 세계적인 연구를 통해 명예를 높일 수 있고, 대기업에 취업하거나 창업을 해서 고소득을 얻을 수 있으며, 사회적으로 존경받는 직업이기 때문이라고 응답했다.



공간의 한계를 넘어 세계로 확장되는 과학기술 생태계

“이노베이션 원더랜드(Innovation Wonderland).” 얼마 전 영국의 「이코노미스트(Economist)」지는 한국 특집 기사를 내면서 우리나라를 이렇게 표현했다. 이코노미스트는 지금으로부터 약 40년 전인 2004년에 미국 「포춘(Fortune)」지가 한국의 통신 인프라를 극찬하며 ‘브로드밴드 원더랜드(Broadband Wonderland)’라고 부른 것을 상기하면서, 세계 여러 나라가 고민해 온 미세먼지 저감, 플라스틱 대체 소재 개발 등의 문제들에 대한 혁신적인 해결책을 한국이 만들어 내고 있다고 소개했다. 그리고 그 비결은 과학 기술을 잘 이해하고 활용하는 국민, 풍부한 과학기술 인프라, 그리고 정부의 적극적인 지원이라고 평가하였다.

한국행을 선택하는 글로벌 기업들도 늘고 있다. 최근 주목받고 있는 지역은 부산-광주이다. 두 도시 간의 직선거리 200km를 시속 1,200km의 하이퍼루프가 10분 내로 연결하고 에어택시가 연계되어 있어서, 어디라도 빠르고 편리하게 이동할 수 있다. 이제 부산과 광주는 연구와 산업 관점에서 사실상 하나의 권역으로 인식되고 있고, 서울광역 클러스터, 대전 광역클러스터에 이어 제3의 광역클러스터로 자리매김 하고 있다. 10년 전 구글이 광주에 R&D센터를, 아마존이 부산에 물류센터를 설립한 이후로 수많은 글로벌 기업들이 이 지역의 풍부한 인재와 물류 인프라, 규제프리존 등의 제도적 지원을 이유로 진출하고 있다. 이는 해외 우수 대학들의 한국 캠퍼스 설립 붐으로도 이어지고 있다.

우리나라 과학기술자 및 정책 전문가들의 활동 무대도 세계로 넓어지고 있다. 대부분의 공공연구기관들은 해외 연구소를 설립하고 해외 연구자들과의 교류를 강화하고 있으며, 우리나라 연구기관과 해외 연구기관 간의 방문연구원 수가 해마다 증가하고 있다. 유엔분담금 10위권 국가의 위상에 걸맞게 우리나라 전문가들이 국제보건기구(WHO), 국제전기통신연합(ITU), 유엔식량농업기구(FAO) 등의 사무총장을 역임하는 등 국제기구의 고위직 진출 사례도 늘어나고 있다.

글로벌 이슈에 대해 우리나라와 공감대를 형성하며 동반자 관

계를 맺는 국가들이 많아지고 있다. 음악, 드라마 등

의 한류가 바탕이 되었고, 개발도상국을 대상으로 정부는 공적개발원조(ODA)를 통해 경제적인 지원을 제공하고 기업들은 ‘국가 마케팅’을 통해 지역 개발, 국가 경제 컨설팅 등을 추진해 온 것이 긴밀한 협력 관계로 이어지게 된 것이다. 우리나라가 개발한 미세먼지 저감 기술이나 플라스틱 대체 소재 등이 세계 여러 나라



에 확산될 수 있었던 것도 이 때문이다. 국제 사회에서 우리나라의 위상이 높아지면서 통일에 대한 기대감도 높아지고 있다. 다양한 분야에서 북한과의 교류가 양적으로나 질적으로 확대되고 있고, 통일을 준비하기 위한 논의도 몇 년 전부터 구체화되고 있다.

주요 정책의 중심에 과학기술과 미래전망을 두는 과학기술 생태계

“범죄 발생 건수, 역대 최저치 기록.” 경찰청은 최근 보도자료를 통해 2044년 전체 범죄의 발생 건수와 인구 10만 명당 발생 건수인 발생률이 모두 역대 최저치를 기록했다고 발표했다. 범죄가 지속적으로 감소하게 된 것은 사회의 도덕의식과 준법정신이 높아졌기 때문이기도 하지만, 올해로 구축 20주년을 맞는 인공지능 기반 치안 시스템의 역할도 컸다. 경찰청은 지역별 범죄 건수, 발생 원인 등에 대한 데이터를 분석하여 범죄 예방에 활용하고 있으며, 관련 데이터를 공개한다. 초기에는 지역 주민들의 반발도 있었지만, 투명한 데이터 공개가 문제를 해결하는 출발점이라는 인식이 확산되면서 인공지능 기반 치안 시스템에 대한 사회적 공감대가 형성되었다. 매년 이 시스템에 반대한 데이터가 축적되고 이를 활용하여 지역별로 치안을 강화하면서 전체 지역의 범죄율이 하향평준화되는 긍정적인 효과를 가져왔다.

과학기술을 활용함으로써 정부정책이나 사회 전반에 대한 투명성과 신뢰도가 높아졌다. 예를 들어, 중요한 데이터를 참여자들이 모두 공유하여 특정 개인이 임의로 변경하지 못하도록 하는 블록체인 기술을 통해 내가 낸 세금이나 기부금이 적절한 용도로 사용되고 있는지 국민들이 확인할 수 있게 되었다. 블록체인 기술이 선거와 여론조사에도 활용되어 정부는 국민들의 의견을 자주 그리고 폭넓게 청취하여 정책 수립에 반영하고 있다. 아울러, 정부가 정책을 수립하는 과정에서도 ‘백캐스팅(backcasting)’을 통해 먼저 미래에 원하는 구체적인 모습을 제시하고 이를 실현하기 위한 다양한 정책을 비교하여 선택하며 근거를 가지고 국민들을 설득함으로써 정책에 대한 국민들의 만족도가 과거에 비해 높아졌다.

정부의 위기 대응 능력이 높아진 것도 국정 운영에 대한 국민들의 만족도가 높아진 이유 중 하나이다. 현재 모든 정부 부처와 주요 지자체는 종합정보센터를 운영하여, 전력·인터넷·교통·상하수도 등의 인프라, 미세먼지·환경오염·자연재해 등의 상황에 대한 데이터를 실시간으로 모니터링하고 있고, 이상징후가 포착될 경우 경보를 발령하여 조기에 대응하고 있다. 예를 들어, 한 통신사 지사에서 대규모 화재가 발생했는데 과거였다면 많은 지역에서 인터넷이 마비될 수도 있었겠지만, 사전에 상황을 탐지하고 대응한 덕분에 피해를 최소화할 수 있었다. 정부는 미래에 발생할 수 있는 300가지 돌발 상황에 대한 대응 매뉴얼과 상황별 세부 매뉴얼을 준비하고 수시로 모의 훈련을 하고 있다.

6.

결론 및 실행을 위한 제언

6-1. 결론

6-2. 실행을 위한 제언

6-1. 결론

우리가 원하는 미래의 대한민국으로 가는 길

「대한민국 과학기술 미래전략 2045」의 주요 내용을 요약하면, 광복 100주년이 되는 2045년을 맞이하며 과거 우리의 모습을 되돌아보고 새로운 100년을 지금부터 장기적으로 준비하자는 것이다. 우리가 원하는 미래, 즉 ‘안전하고 건강한 사회’, ‘풍요롭고 편리한 사회’, ‘공정하고 차별 없는 소통·신뢰 사회’, ‘인류사회에 기여하는 대한민국’으로 가기 위해, 연결과 확장의 과학기술을 활용하여 국민 삶의 질을 높이고 질 높은 경제성장을 도모해 인류사회에 기여하자는 것이다. 그리고 이를 실현하기 위해서는 과학기술 도전과제들을 해결해야 하고, 과학기술정책을 전환해야 한다는 것이다.

우리가 원하는 미래의 모습은 이상에 불과한 꿈이나 단순한 희망사항이 아니다. 우리가 본 전략에서 제시한 과학기술 도전과제들을 해결해 나간다면 우리와 미래세대가 맞이하게 될 대한민국의 모습이다. ‘안전하고 건강한 사회’는 ‘기후변화, 재난재해, 감염병 등 인류의 생존을 위협하는 요인에 대처’, ‘환경오염 대응을 통한 문명의 지속가능성 확보’, ‘차세대 바이오·의료 기술을 통한 건강한 삶 실현’ 등을 통해 구현해 나갈 수 있다. ‘풍요롭고 편리한 사회’는 ‘인간의 신체적·지적 능력 보완 및 확장’, ‘자원 고갈에 대비한 농어업·제조업·에너지 혁신’, ‘우주 생활권 및 안전하고 편리한 이동 실현’ 등을 통해서, 그리고 ‘공정하고 차별 없는 소통·신뢰 사

회’는 ‘다양한 소통방식과 신뢰할 수 있는 네트워크 확보’를 통해 만들어 나갈 수 있다. 또한, ‘새로운 삶의 영역을 확보하기 위한 미지의 공간 개척’을 포함하여 본 전략에서 제시한 8개의 도전과제들 중 어떤 것이라도 우리가 해결하고 그 성과를 세계와 나눈다면 우리는 ‘인류사회에 기여하는 대한민국’이 될 수 있을 것이다.

위와 같은 과제를 해결하기 위한 도전이 성공하려면 우리나라 과학기술 생태계를 활성화시키는 정책이 추진되어야만 한다. 즉, ‘미래 변화에도 지적 역량이 확보되고 발휘되는 인재정책’과 ‘도전적이고 창의적으로 지식을 창출하는 국가연구개발체제’를 통해 인재와 지식을 모으고, ‘신성장동력을 키우고 기존 성장동력을 다지는 산업기술개발’과 ‘사회 문제를 해결하고 삶의 질을 높이는 공공기술개발’을 통해 민간과 공공 부문이 효과적으로 분업 및 협력하도록 해야 한다. 또한 ‘산학연 주도로 혁신의 중심지가 되는 지역’과 ‘국경 없는 글로벌 과학기술 혁신체제’를 통해 지역과 국가와 글로벌 관점이 연계된 정책을 추진해야 한다. 그리고 ‘과학기술과 국가정책 간 연계를 강화하는 과학지향 국가’ 및 ‘미래전망과 국가정책 간 연계를 강화하는 미래지향 국가’가 되도록 ‘과학기술’과 ‘미래’를 국가 정책의 중심에 두어야 한다.

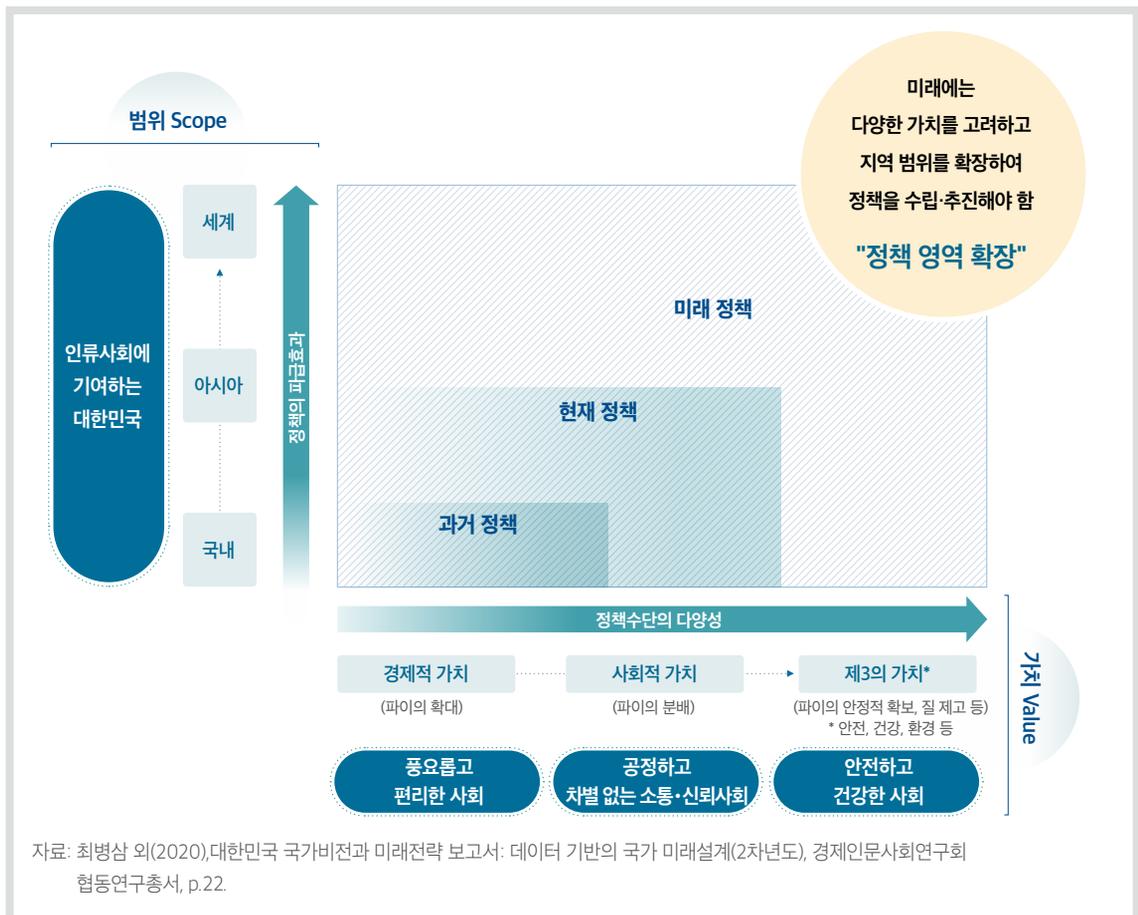
미래를 함께 보고 함께 만들어 가는 대한민국

미래전략이란 현재의 대한민국과 우리가 원하는 미래의 대한민국 사이에 놓인 문제들을 어떻게 해결할 것인지에 대한 계획이다. 따라서 미래전략 수립에서 중요한 것은 우리가 원하는 대한민국의 미래 모습을 국민들과 함께 구체적으로 설계하는 것이다. 이를 위해 본 전략에서는 미래사회의 삶, 과학기술의 발전방향 및 영향, 우리나라 과학기술 생태계의 미래 등에 대해 많은 질문을 던지고자 노력

하였다. 미래를 장기적이고 체계적으로 준비하기 위해서는 현안에 매몰되지 말고 미래에 대해 더 많이 질문하고 상상하고 대화해야 한다.

본 전략에서는 1999년 「2025 과학기술발전 장기비전」과 2010년 「2040 과학기술 미래비전」이 수립된 이후 우리 사회의 변화를 반영하고 과거 고속성장 과정에서 상대적으로 소홀히 다루었던 국민 삶의 질 향상, 질 높은 경제성장 추구, 그리고 인류사회에 대한 기여를 강조하였다. 미래의 대한민

과거, 현재, 미래의 정책 영역



자료: 최병삼 외(2020),대한민국 국가비전과 미래전략 보고서: 데이터 기반의 국가 미래설계(2차년도), 경제인문사회연구회 협동연구총서, p.22.

국은 경제, 사회, 안전·건강·환경 등 다양한 가치를 아우르고, 산학연관이 활동하는 범위를 세계로 넓히는 등 정책 영역을 확장해야 한다. 먼저, 가치 측면에서는 삶의 질을 높이기 위해 소득뿐만 아니라 공정·신뢰·평등, 그리고 안전·건강·환경 등 다양한 가치가 중시되어야 한다. 파이를 키우는 경제적 가치 창출만큼이나 파이를 공평하게 배분하는 사회적 가치 구현, 나아가 그 밖의 다양한 가치들도 중요하기 때문이다. 지역 범위 측면에서는, 우리나라의 세계적인 인지도가 높아지고 국력이 상승할수록 한국, 아시아를 넘어 세계를 무대로 국가 전략을 수립할 필요가 있다. 지리적인 인접성이 중요한 이슈들의 경우에는 아시아 주변국을 대상으로 정책을 수립하되, 전반적으로 정책의 범위를 세계로 넓힘으로써 파급효과를 높이도록 노력해야 한다.

우리가 원하는 미래를 실현하는 방법으로 과학 기술 도전과제 해결과 정책방향의 전환을 제시했는데, 여기서 무엇보다 강조할 것은 각각의 활동을 연계해야 한다는 것이다. 어떤 과학기술 도전과제를 해결하기 위해서는, 먼저 그 문제가 얼마나 시급하고 중요한지, 그리고 우리나라가 그 분야에서 역량을 보유하고 있거나 확보할 수 있는지에 대한 사회적인 공감대를 형성해야 하며, 그 과정에서 관련 전문가들과 국민이 함께 문제를 정의하고 해결방안을 제안해야 한다. 대학과 공공연구기관은 관련된 기반기술을 개발하고, 기업은 그 도전과제를 해결하는 제품·서비스를 새로운 성장동력으로 발굴해 나가며, 지역혁신 클러스터를 매개로 산학연이 서로 협력해야 한다.

정부는 인프라를 구축하고 법·제도를 정비하여 모든 주체가 마음껏 활동할 수 있는 여건을 조성하고, 우리의 도전과제를 글로벌 의제로 제안하여 국제협력을 통해 함께 문제를 해결해 나가야 한다. 물론 정부는 이 모든 활동들을 조율하고 촉진하는 오케스트라 지휘자와 같은 역할을 수행해야 한다. 이렇게 우리나라 과학기술혁신 생태계가 역동적으로 발전해 나간다면 우수한 인재들이 과학기술 분야로 자연스럽게 모여들어 발전을 더욱 가속화시키는 선순환을 이루게 될 것이다.

예를 들어, 도전과제 “다양한 소통방식과 신뢰할 수 있는 네트워크 확보”를 해결하기 위해 블록체인 등 신기술을 공공서비스에 적용하는 것, 도전과제 “기후변화, 재난재해, 감염병 등 인류의 생존을 위협하는 요인에 대처”를 해결하기 위해 디지털 기술을 활용하여 감염병 사전 탐지 및 확산 방지 시스템을 개발하는 것, 도전과제 “환경오염 대응을 통한 문명의 지속가능성 확보”를 위해 플라스틱 대체 물질을 개발하는 것 등을 추진할 때 산학연관 모두가 도전과제 해결이라는 공통의 목표를 이루기 위해 각자의 활동을 유기적으로 연계해 나가야 한다. 이제까지 우리나라는 과학기술 분야에서 많은 성과를 이루었는데, 미래 도전과제를 해결하기 위해서는 개별 요소를 확충하는 것을 넘어 요소 간 연계성을 강화하는 데 주력해야 한다.

요컨대, 우리가 원하는 미래로 가기 위해서는 함께 그 미래를 바라보고, 함께 만들어 가야 한다. 함께 미래를 본다는 것은 각자가 지향하는 다양한 가치를 인정하는 가운데 미래에 대해 더 많이 대화하

고 공통의 지향점을 설계하는 것이다. 함께 만들어 간다는 것은 공통의 지향점에 대한 공감대를 바탕으로, 다양한 주체들의 활동, 분야별 전략, 그리고 지역 및 글로벌 전략을 서로 긴밀하게 연계하는 것이다.

6-2. 실행을 위한 제언

전략의 활용 방법

본 전략은 국가 전체의 관점에서 과학기술 생태계를 구성하는 주체, 즉 과학기술연구자, 기업, 대학, 공공연구기관, 정부, 일반 국민 등 모두에게 도움이 되고자 수립되었다. 각 주체가 본 전략을 활용하는 방법을 제안하면 다음과 같다.

과학기술연구자는 다양한 과학기술 분야의 연구 주제와 미래사회의 도전과제를 조망함으로써 연구 주제를 선정하는 데 참고할 수 있고, 과학기술이 사회에 어떤 영향을 미치고 어떤 역기능이 우려되는지 파악함으로써 연구 방향을 설정하는 데 참고할 수 있다. 개인으로서의 과학기술자뿐 아니라 과학기술자가 소속된 대학과 공공연구기관이 각자의 임무나 주력 분야를 선정할 때에도 본 전략이 활용될 수 있을 것이다.

기업은 미래전략을 수립하기 위해 경영환경을 분석할 때 본 전략에서 제시한 메가트렌드와 미래전망 데이터 등을 참고할 수 있을 것이다. 그러나 그보다 더 중요한 것은 미래사회의 도전과제들을

면밀하게 검토해 봐야 한다는 것이다. 미래사회의 도전과제들은 인류가 공통적으로 직면한 문제이므로 이를 해결하는 제품과 서비스는 세계적으로 거대한 시장을 형성할 가능성이 높기 때문이다.

일반 국민들은 본 전략을 읽으며 미래사회의 변화를 상상하면서 각자의 미래를 설계해 나갈 수 있을 것이다. 특히 미래세대인 학생들은 과학기술과 사회, 정책 등을 종합적으로 조망하면서 꿈을 설계하고 진로를 선택하는 데 참고할 수 있다. 이를 위해 본 전략을 집필하면서, 일반 국민들도 읽고 쉽게 이해할 수 있도록 정책 관련 내용 등 일부를 제외하고는 가능하면 전문용어의 사용을 자제하고 평이하게 서술하도록 노력하였다.

본 전략은 해외 독자도 염두에 두고 작성되었으며 주요 내용을 영문보고서로도 발간하였다. 해외 정부의 과학기술정책 담당자 등 해외 독자들이 대한민국 과학기술의 현재 상황과 미래 지향점을 이해함으로써, 대한민국을 전략적 파트너로 선택하여 미래의 변화에 함께 대응하고 협력을 증진해 나갈 수 있기를 희망한다.

다른 전략과의 관계: 국가 종합전략, 중·단기 과학기술 전략, 다른 분야 전략

본 전략은 2006년 발표된 「함께 가는 희망한국 VISION 2030」과 2019년 발표된 「혁신적 포용국가 미래비전 2045」 등 과거에 수립된 국가 차원의 종합적인 미래전략과의 연계성을 고려하여 작성되었다.^[306] 예를 들어, 과거 전략에서는 ‘성장과 복지’, ‘혁신과 포용’ 등을 강조하면서, 일전 상반된

것처럼 보이는 가치들을 조화롭게 추구하며 선순환을 이룰 때 국가가 발전할 수 있다고 설명하였다. 이와 같은 관점을 반영하여 본 전략에서는 삶의 질, 질 높은 경제성장, 인류사회 기여 등 여러 가치를 함께 추구하는 것이 중요하며, 이들 간의 선순환 관계를 강조하였다. 즉, 새로운 과학기술은 도전과제를 해결하여 삶의 질을 높이고 인류사회에 기여하는 한편, 튼튼한 성장동력이 되어 경제성장의 질을 높이게 되는 것이다. 향후 작성되는 과학기술 미래 전략도 국가 차원의 종합적인 미래전략과의 연계성을 고려하여 작성되어야 한다. 다만, 본 전략이 장기적으로 미래에 대비하고 보다 나은 가치를 지향하는 지침서가 되기 위해서는 정부의 교체에 따라 중장기적인 관점이 달라지지 않도록 일관성을 유지해야 한다.

본 전략은 국가의 과학기술혁신을 위한 장기적인 관점의 미래전략으로서, 과학기술기본계획, 과학기술 예측조사, 국가연구개발 중장기 투자전략 등 중·단기 실행전략 및 활동이 지향해야 하는 방향을 제시한다. 따라서 본 전략과 중·단기 실행전략 및 활동은 체계적으로 연계되어야 한다. 전체적으로 장기 전략이 자유롭고 유연한 상상과 거시적인 통찰을 강조한다면, 중·단기 전략은 구체적인 근거와 현실적인 전략을 강조한다.

우선, 과학기술기본계획은 향후 5년간 우리나라 과학기술정책의 목표와 방향을 설정할 때 본 전략의 장기적인 비전과 과학기술 정책방향을 반영해야 한다.^[307] 그리고 본 전략에서 제안한 과학기술 도전과제들이 실제로 해결되고 있는지 평가하고 사

회 변화를 반영하여 새로운 도전과제를 제안해야 한다. 또한, 본 전략에서 제안한 정책방향의 전환이 실제로 이루어지고 있는지 평가하고 실행상 장애요인은 무엇인지, 이를 극복하기 위한 정책 과제는 무엇인지를 제시해야 한다.

과학기술 예측조사는 과학기술의 발전 추세와 그에 따른 미래사회의 변화를 예측한다.^[308] 미래사회에서 요구되는, 또는 미래에 등장할 것으로 예상되는 과학기술을 조사할 때 본 전략에서 제안한 도전과제들과의 관련성을 고려해야 한다. 즉, 각 도전과제를 해결하기 위한 다양한 기술적 대안에는 어떤 것들이 있는지, 이 기술들은 미래에 어느 정도까지 도전과제를 해결할 수 있을 것인지 등을 제시해야 한다. 예를 들어, 미래에는 치매를 극복한다는 도전과제와 관련해서는 약물 치료, 디지털 치료, 조기 진단 등의 대안들이 각각 어느 수준까지 발전할 것인지를 예측하고 근거나 전문가의 견해와 함께 제공한다면 미래 기술을 탐색하는 연구자와 기업에게 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

국가연구개발 중장기 투자전략은 본 전략에서 제시한 미래 비전과 과학기술기본계획의 정책 목표 등에 부합하기 위해 정부가 투자를 어떻게 해야 하는지를 서술한다.^[309] 구체적으로 본 전략에서 제안한 도전과제들과 과학기술 예측조사에서 전망한 관련 기술들을 종합적으로 고려하여 구체적인 투자분야를 결정해야 한다. 또한, 공공과 민간, 중앙과 지방 등이 수행하는 투자의 연계성을 평가하고 이를 높이기 위한 방안을 제시해야 한다.

이 밖에도 본 전략에서 제시한 미래의 사회 및

과학기술 전망과 정책방향은 지방과학기술진흥종합계획, 기술영향평가, 기술수준평가 등에 반영되어야 한다. 또한, 본 전략에서 제시된 과학기술 정책방향이 실제로 추진되고 있는지를 주기적으로 점검하고 그 결과에 따라 세부적인 혁신 과제들을 도출하여 'R&D 혁신방안'을 수립 및 추진할 수 있다.

또한 각 전략은 긴밀한 관계를 유지해야 한다. 과학기술기본계획, 과학기술 예측조사, 국가연구개발 중장기 투자전략, 기타 중·단기 전략 및 활동은 각각 독립적으로 추진되어서는 안 되고 미래 비전과 목표를 달성하기 위해 상호 연계되어야 한다. 본 전략은 그 밑그림으로서 전체적인 방향성과 논리 체계를 제공하는 역할을 담당한다. 장기 전략과 중·단기 전략은 전자가 후자를 결정하는 일방향적 관계가 아니고 장기 전략 이후 수립된 중·단기 전략들이 다시 차기 장기 전략을 수립하는 기초 자료가 되는 양방향적 관계를 지향한다. 따라서 각 전략은 상호 간 참조하여 지속성을 유지할 부분과 수정·보완이 필요한 부분을 전략 수립 시 명시적으로 제시해야 한다.

마지막으로, 본 전략이 과학기술 관점의 전략으로서 실효성을 갖기 위해서는 국토교통, 해양수산, 에너지, 기후환경, 보건의료 등 각 분야별로 수립되는 장기 미래전략과의 연계성도 강화해야 한다. 분야별 전략에는 연결과 확장을 통해 불가능을 가능으로 바꾸고 있는 과학기술을 각 분야의 문제 해결에 어떻게 활용할 것인지가 담겨야 하고, 과학기술 전략에서는 각 분야별 사회 변화의 모습을 파악하여 미래에 제기될 과학기술 수요를 도출해야 한다.

따라서 기획 시점부터 작성 과정 전반에 걸쳐 관련 부처 및 국내외 전문가의 참여와 긴밀한 협력이 요구된다.

차기 전략 수립을 위한 제언

국가의 미래전략은 한번 수립되면 잊혀지지 않고 역사가 된다는 사명의식이 유지되어야만, 앞으로 미래전략을 수립하는 이들이 그에 맞는 책임감을 갖게 될 것이다. 본 전략은 「2025 과학기술발전장기비전」, 「2040 과학기술 미래비전」 등 과거의 역대 과학기술 미래전략을 발전적으로 계승하여 전략의 연속성을 유지하기 위해 노력하였다. 과거 전략들을 종합적으로 검토하여 성과 및 향후 과제를 평가 및 분석하였고 이를 본 전략에 반영하였다. 마찬가지로 차기 및 그 이후 정부에서 미래전략을 수립할 때에는 본 전략을 포함한 이전 작업들에 대해 객관적으로 평가하고 그러한 결과를 전략에 반영해야 한다.

그동안 과학기술 미래전략은 장기 전략으로서, 약 10년 주기로 수립되어 왔다. 장기적인 시계는 그대로 유지하되, 미래의 빠른 변화 속도와 불확실성 증가 등을 감안하여 수립 주기를 5년 정도로 단축하는 것을 고려해 보아야 한다. 이 경우 현재 5년마다 수립되고 있는 과학기술기본계획을 고려하여 발간 시점을 유기적으로 연계하는 것이 바람직하다. 예를 들어 5년마다 과학기술 미래전략을 수립하고 그사이 기간에 5년 주기로 과학기술기본계획을 수립한다면, 장기 전략과 중단기 전략을 상호 보완적으로 수립할 수 있을 것이다.

본 전략이 단발성 기획으로 끝나지 않고 차기 전략과 연속성을 유지하기 위해서는 전략 수립 시점에 임시 조직이 만들어지는 것보다는, 과학기술 장기 전략 수립을 지원하는 상시 조직이 운영되는 것이 바람직하다. 해당 조직은 다음과 같은 역할을 상시적 업무로 수행해야 한다.

첫째, 장기적인 외부 환경 변화를 지속적으로 모니터링해야 한다. 과학기술기본계획, 국가연구개발 중장기 투자전략 등 5년 시차의 중단기 전략에서도 나름대로의 정책적·기술적 환경에 대한 모니터링을 하지만, 20년 이상의 장기적인 관점의 환경 분석은 상시 미래 대응 조직을 통해 연속성을 가지고 수행되어야 한다. 둘째, 과학기술 미래전략과 관련된 성과를 지속적으로 평가해야 한다. 미래전략 내용 중 이미 달성된 것과 현재 우리 과학기술 역량과

성과를 고려할 때 더 이상 유효하지 않은 것을 파악하여 차기 미래전략 수립에 반영하도록 해야 한다. 셋째, 과학기술기본계획, 국가연구개발 중장기 투자전략, 국가연구개발 혁신방안 등 중단기 전략이 미래전략의 방향성에 따라 수립 및 추진되는지를 점검해야 한다. 그 과정에서 혹시 실행 과정상 장애 요인이 있는지, 이를 극복하기 위한 구조적인 방안은 무엇인지, 미래전략에 수정이 필요한 사항이 있는지를 종합적으로 파악하여 차기 미래전략 수립에 반영하도록 해야 한다. 마지막으로, 해당 조직은 산학연 각 분야의 미래연구 전문가들을 연계하는 네트워크 허브이자, 현재까지 축적된 미래전략 관련 지식을 공유하는 데이터 허브로서의 역할도 수행해야 한다.



약어

A&D	Acquisition & Development
AI	Artificial Intelligence
APEC	Asia-Pacific Economic Cooperation
ASEAN	Association of Southeast Asian Nations
C&D	Connect & Development
CCS	Carbon Capture and Storage
CDMA	Code-Division Multiple Access
COVID-19	COronaVirus Disease of 2019
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
ESCAP	Economic and Social Commission for Asia and the Pacific
GDP	Gross Domestic Product
FTA	Free Trade Agreement
ICT	Information and Communications Technology
IoT	Internet of Things
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KTX	Korea Train Express
MERS	Middle East Respiratory Syndrome
ODA	Official Development Assistance
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
NASA	National Aeronautics and Space Administration
R&D	Research and Development
SARS	Severe Acute Respiratory Syndrome
SDGs	Sustainable Development Goals
SF	Science Fiction
SNS	Social Networking Service
STEM	Science, Technology, Engineering, and Mathematics
UNDP	United Nations Development Programme
VR/AR	Virtual Reality, Augmented Reality
V2X	Vehicle-to-everything
WHO	World Health Organization
5G	5th Generation technology standard for cellular networks

주

[1] Schwab, Klaus (2016.1.14.), "The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond", World Economic Forum.

[2] Paulson, Henry (2018.11.6.), "We are living in an age of unprecedented risks", Financial Times.

[3] 「라이프(Life)」지가 선정한 100대 사건 중에서 과학기술과 관련된 것으로는 제임스 와트의 증기기관(1769), 갈릴레오의 지동설(1610), 코흐의 질병세균이론(1882), 화약(1100), 나침반(1117), 에디슨의 발명(1876), 종두법(1796), 텔레비전 방송(1928), 다윈의 진화론(1859), 원자폭탄(1945), 포드의 자동차(모델 T)(1908), 전화(1876) 등 20개가 포함되었다(Friedman, Robert (1998), The Life Millennium: The 100 Most Important Events and People of the Past 1000 Years, Bulfinch Press).

[4] 과학기술부(1999.12.), 2025년을 향한 과학기술발전 장기비전: 꿈과 기회와 도전의 과학기술.

[5] 교육과학기술부(2010.10.), 2040년을 향한 대한민국의 꿈과 도전, 과학기술 미래비전.

[6] 정책기획위원회·경제인문사회연구회(2019), 광복 100주년을 향한 새로운 대한민국, 혁신적 포용국가 미래비전 2045.

[7] 총인구는 2017년 5,136만 명에서 2028년 5,194만 명까지 증가하고 그 이후 감소하기 시작하여 2067년에는 1982년 수준인 3,929만 명에 이를 전망이다(통계청(2019.3.27.), 장래인구특별추계: 2017-2067년).

[8] 2017년과 2067년의 연령별 인구 구성비를 비교해 보면, 0~14세 유소년인구비중(13.1%→8.1%)과 15~64세 생산가능인구 비중은 감소하고(73.2%→45.4%), 65세 이상 고령인구 비중은 큰 폭으로 증가할 전망이다(13.8%→46.5%)(통계청(2019.3.27.), 장래인구특별추계: 2017-2067년).

[9] 2019년 영국의 컨설팅업체인 퓨처브랜드(FutureBrand)가 세계인들을 대상으로 방문지, 거주지, 거래 대상, 투자 대상으로서의 국가별 선호도를 조사한 결과 우리나라는 75개국 중 20위였고(FutureBrand (2019), FutureBrand Country Index), 독일 시장조사기관 스태티스타(Statista)가 전 세계 소비자를 대상으로 국가별 제품에 대한 인식을 조사한 순위에서는 20위를 차지했다(Statista (2019), Made in Country Index 2017). 또한, 영국 컨설팅업체인 포틀랜드(Portland), 미국 서던캘리포니아대학교(Southern California) 등이 공동으로 평가하는 국가 소프트파워 순위에서 우리나라는 2019년 19위였고, 1위는 프랑스, 2위는 영국, 3위는 독일, 4위는 스웨덴, 5위는 미국이었다(Portland (2019), The Soft Power 30: A Global Ranking of Soft Power 2019). 다만, 영국의 컨설팅업체 브랜드파이낸스(Brand Finance)의 국가 브랜드 가치 순위에서는 2015년 12위, 2017년 10위, 2019년 9위를 기록하여 국가 브랜드 가치가 점차 높아지고 있는 것으로 나타났다(Brand Finance, <https://brandirectory.com/rankings/nation-brands>).

[10] GDP 대비 수출입 비중을 무역의존도(trade-to-GDP ratio)라고 하며, 이는 국가 경제의 개방성 또는 대외의존도를 나타낸다. 2018년 우리나라의 무역의존도는 83.0%로, 세계 평균 59.5%에 비해 높은 편이다. 참고로, 독일은 88.7%, 프랑스는 63.4%, 영국은 61.8%, 일본은 36.6%, 미국은 27.5%이다(World Bank national accounts data, <https://data.worldbank.org>).

[11] 노인빈곤율은 66세 이상 인구 중 소득이 빈곤선(poverty line)(전체인구 중위 소득의 1/2) 이하인 비율이다. 2017년 OECD 평균 노인빈곤율은 12.5%인데 우리나라는 43.8%로 세계에서 가장 높은 수준이다(OECD data, <https://data.oecd.org/inequality/poverty-rate.htm>).

[12] 우리나라의 자살률은 2016년 기준 10만 명당 26.9명으로 세계 평균 10.6명보다 매우 높은 수준이다(World Health Organization, https://www.who.int/gho/mental_health/suicide_rates_crude/en/).

[13] 삶에 대한 전반적인 만족도를 10점 만점으로 묻는 문항에 대해 조사대상 평균이 6.5점이었고 1위 핀란드는 7.6점, 우리나라는 5.9점을 기록했다(OECD Better Life Index, <http://www.oecdbetterlifeindex.org/topics/life-satisfaction/>).

[14] 우리나라의 1인당 에너지 소비량(ТОЕ, 석유환산톤)은 2015년 기준 5.4로, 세계 평균인 1.9(2014년 기준)에 비해 매우 높은 수준이다. 참고로 일본은 3.4, 독일은 3.8, 미국은 6.8이다. 1985~2015년에 우리나라의 1인당 에너지 소비량은 연평균 4.9%씩 증가했지만, 같은 기간 독일은 연평균 0.6%, 미국은 0.3% 감소했고 일본은 0.4% 증가했다. 전체 에너지 소비 중 화석연료 비중은 2015년 우리나라가 81.0%, 세계 평균은 79.7%, 일본은 93.0%, 독일은 78.9%, 미국은 82.4%이다(World Bank national accounts data, <https://data.worldbank.org>).

[15] 우리나라에서 1일 발생하는 폐기물은 2017년 43만 톤으로 2008~2017년에 매년 1.7% 증가했고, 생활폐기물 중 플라스틱은 8천 톤으로 2008~2017년에 매년 5.4% 증가했다(환경부(2019.12.), 2018년도 전국 폐기물 발생 및 처리현황).

[16] 우리나라의 GDP는 1960년 39억 달러에서 2018년에는 1.7조 달러가 되었다. 58년간 43배 증가한 셈이며 연평균증가율 11.0%로, 같은 기간 세계 GDP의 연평균 증가율 7.4%와 비교하면 성장속도가 매우 빨랐음을 알 수 있다(World Bank national accounts data, <https://data.worldbank.org>).

[17] IMD (2020.6.), IMD World Competitiveness Yearbook 2020.

[18] 과학기술부(1999.12.), 2025년을 향한 과학기술발전 장기비전: 꿈과 기회와 도전의 과학기술.

[19] 교육과학기술부(2010.10.), 2040년을 향한 대한민국의 꿈과 도전, 과학기술 미래비전.

[20] 세계 인구증가율이 한 때 2% 이상까지 올라갔으나 현재 1% 수준으로 낮아져 향후에는 인구 증가가 다소 더뎠을 전망이다. 세계인구가 100억 명이 되는 시점은 2055~2056년으로 전망된다(United Nations (2019), World Population Prospects 2019: Worldometer (<https://www.worldometers.info/world-population/>)).

[21] 현재까지의 인구 증가는 아시아의 영향이 컸지만 향후에는 아프리카의 영향력이 커질 것이다. 아시아 인구는 현재 46억 명으로 세계 인구의 60%를 차지하고 있지만 인구증가율이 0.9%인 데 반해, 아프리카는 현재 13억 명으로 세계 인구의 17%이지만 인구증가율이 2.5%로 높아져 점차 비중이 커질 것이다(United Nations (2019), World Population Prospects 2019: Worldometer (<https://www.worldometers.info/world-population/>)).

[22] 우리나라 인구는 감소하지만 국적 구성은 더 다양해지고 있다. 국내 체류외국인은 외국노동력 증가, 국제결혼 이민자 증가, 외국 국적 동포 유입, 유학생 증가 등으로 인해 지속적으로 늘어나 2009년 117만 명에서 2019년에는 2배가 넘는 252만 명이 되었다(법무부(2020.2.), 출입국·외국인정책 통계월보 2020년 2월호). 과거 10년간의 연평균 증가율(8.0%)이 향후 10년간 유지된다고 가정하더라도 국내 체류외국인은 550만 명을 넘게 되어 전체 인구 9명 중 1명은 외국인이 되는 셈이다.

[23] 유엔(UN)에서는 65세 이상 인구가 전체 인구의 7% 이상이면 고령사회화, 14% 이상이면 고령사회, 20% 이상이면 초고령사회로 분류된다. 우리나라는 2000년 고령화 사회, 2018년 고령사회를 거쳐 2025년에 초고령사회에 진입하게 될 전망이다(통계청(2019.3.), 장래인구특별추계: 2017-2067년).

[24] 보건복지부·한국보건사회연구원(2017.11.), 2017년도 노인실태조사.

[25] 전 세계 인구의 기대수명(life expectancy at birth)은 2019년 평균 72.6세로,

1990년의 64.2세보다 8년이 늘어났다(United Nations (2019), World Population Prospects 2019). 19세기 초에 세계적으로 기대수명이 40세 이상인 국가가 거의 없었다고 추정되므로 지난 2세기 동안 인간의 기대수명은 거의 2배로 늘어난 것이다(Roser, Max, et al. (2013), "Life Expectancy", <https://ourworldindata.org/life-expectancy>). UN은 2050년에 인간의 기대수명이 77.1세가 될 것으로 전망한다(United Nations (2019), World Population Prospects 2019). 과학자들은 인간의 한계수명이 100세를 넘어설 것으로 전망하는데, 어떤 과학자는 인간이 150세까지 살 수 있다고 주장하기도 하고 인간의 수명에는 자연적인 한계가 존재하므로 125세 이상으로까지 연장되는 것을 어렵다고 주장하는 연구도 있다(O'Neil, John (2001.1.16.), Longevity: A Friendly Bet on the Future of Aging, New York Times: Dong, Xiao, et al. (2016), "Evidence for a limit to human lifespan", Nature, 538, 257-275).

[26] Kurzweil, Ray (2005), 특이점이 온다, 김영남·장시형 역(2007), 김영사.

[27] 만약 반도체 등 디지털기술의 성능이 2년마다 2배씩 증가한다는 무어의 법칙(Moore's law)이 미래에도 성립한다면, 2045년경 디지털기술은 현재보다 2의 12제곱 배, 즉 약 4,000배 성능이 높을 것이다. 현재보다 4,000배 빠른 컴퓨터, 4,000배 고화질의 TV, 4,000배 빠른 인터넷(예: 5G의 속도는 LTE의 약 3배 수준임), 1/4,000로 작은 센서 등이 등장하여 지금 우리가 경험하는 것과는 전혀 다른 세상이 될 것이다.

[28] OECD (2018.7.), The Long View: Scenarios for the World Economy to 2060.

[29] World Bank (2020.6.), Global Economic Prospects.

[30] Standard Chartered (2019.1.), 2030 projections.

[31] PwC (2017.2.), The long view: How will the global economic order change by 2050?

[32] 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)는 2018년에 만약 지구 지표온도가 2100년까지 1.5°C 상승할 경우 해수면은 1986-2005년에 비해 0.26-0.77미터 높아질 것이라고 전망한 데 이어, 2019년 10월에는 지구 지표온도가 2031-2050년까지 1.6-2.0°C 상승할 경우 해수면은 1986-2005년에 비해 0.43-0.84미터 높아질 것이라고 전망했다(IPCC (2018), Global Warming of 1.5°C: IPCC (2019.9.24.), The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate).

[33] 예를 들어 농업은 전 세계 물 사용량의 65%를 차지하므로 식량과 물의 부족 문제는 밀접하게 연결되어 있다(<https://www.unwater.org/water-facts/water-food-and-energy/>).

[34] BP (2019), BP Statistical Review of World Energy.

[35] World Economic Forum (2020.1.), The Global Risks Report 2020.

[36] Thompson, Stuart A. (2020.4.30), "How Long Will a Vaccine Really Take?", New York Times.

[37] "하나의 감염원-하나의 백신(one bug, one drug)" 개념이 아니라 기존 백신을 일부만 변경해 반복 사용하는 백신 플랫폼 활용(Adajia, et al. (2019), Vaccine Platforms: State of the Field and Looming Challenges, Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health), 하나의 백신으로 여러 바이러스에 대응하는 범용(universal) 백신 개발, 각각 정부의 신약 승인절차 단축 등 기술적·정책적 노력이 필요하다.

[38] 서울대학교 통일평화연구원(2020.2.28.), 2019 통일외조서차.

[39] 보수와 진보 간 이념갈등에 대한 인식은 4점 척도에서 평균 3.3점으로 가장 높았고, 빈곤층과 중상층 계층갈등, 근로자와 고용주 간 노사갈등 각각 3.0점, 개발과 환경보존 간 환경갈등 2.9점, 노인층과 젊은 층 간 세대갈등 2.8점, 수도권과 지방 간 지역갈등, 종교갈등 각각 2.7점, 성별갈등, 내국인과 외국인 갈등 각각 2.6점 등의 순서로 나타났다

(한국행정연구원(2018.12.), 2018년 사회통합실태조사).

[40] 톨스토이의 장편소설 「안나 카레니나」는 다음과 같이 시작된다. "행복한 가정은 모두 모습이 비슷하고, 불행한 가정은 모두 제각각의 불행을 안고 있다"(톨스토이, 레프(2009). 안나 카레니나. 연진희 역. 민음사). 톨스토이는 가정이 행복해지려면 부부간 애정, 자녀, 금전, 종교 등 여러 가지 요소가 모두 만족되어야 하고, 그 중 어느 하나라도 크게 어긋난다면 나머지가 모두 만족되더라도 행복한 가정이 되기 어렵다고 말한다. 「총, 균, 쇠」의 저자인 진화생물학자 제레드 다이아몬드(Jared Diamond)는 톨스토이의 이같은 생각을 '안나 카레니나 법칙'이라고 부르며, 인류가 오랜 역사에 걸쳐 야생동물을 가축화하기 위해 노력해왔는데 왜 얼룩말이나 코끼리 같은 것은 가축화되지 못했는가를 설명하는 데 적용하였다(다이아몬드, 제레드(1998), 총, 균, 쇠: 무기·병균·금속은 인류의 운명을 어떻게 바꿨는가, 김진균 역, 문학사상사). 즉, 야생동물이 가축화되려면 먹이를 많이 필요로 하지 않고, 성장속도가 빠르며, 큰 무리를 이루어 원만하게 지낼 수 있어야 하는데, 그 중 어느 하나의 조건이라도 충족시키지 못하는 야생동물은 가축화가 어렵다는 것이다.

[41] '인간 유전체 프로젝트(Human Genome Project)'는 세계 최대의 생물학 분야 국제협력 프로젝트로, 미국, 영국, 프랑스, 독일, 일본, 중국 등 6개국의 2,800여 명의 과학자들이 참여하였고, 1990년 10월 1일에 시작되어 2003년 4월에 종료되었다(<https://www.genome.gov/human-genome-project>).

[42] 유전체 분석 비용은 2001년 9월 약 1억 달러(9,526만 달러)에서 2019년 8월 현재 942달러로 10만 분의 1 수준으로 하락했다(<https://www.genome.gov/about-genomics/fact-sheets/DNA-Sequencing-Costs-Data>).

[43] Wilson, H. James, and Daugherty, Paul R. (2018), Collaborative Intelligence: Humans and AI Are Joining Forces, Harvard Business Review, July - August, 114 - 123.

[44] <https://www.futuretimeline.net/data-trends/6.htm>.

[45] 과학기술부(1999), 2025년을 향한 과학기술발전 장기비전: 꿈과 기회와 도전의 과학기술.

[46] 교육과학기술부(2010), 2040년을 향한 대한민국의 꿈과 도전, 과학기술 미래비전.

[47] 2010년대에 개봉한 SF 영화와 애니메이션 중에서 영화 관련 사이트에서 평점이 높은 작품들을 각각 20편씩 선정하였다. 영화는 인터스텔라(Interstellar), 블랙 미러(Black Mirror), 설국열차(Snowpiercer), 애니메이션은 공각기동대 어라이즈(Ghost in the Shell: Arise), 길티 크라운(Guilty Crown), 에반게리온: 3.0 You Can (Not) Redo 등이 선정되었다. 연구진 3명이 팀이 되어 작품을 감상하고 거기에 묘사된 미래 모습을 인간·사회, 사물·공간, 자연 환경 측면에서 관찰하고 토론하였다.

[48] BMBF (2018), The High-Tech Strategy 2025: Research and innovation that benefit the people: BEIS (2017), Industrial Strategy: Building a Britain fit for the future: 経済産業省(2017), 新産業構造ビジョン: 第4次産業革命をリードする日本の戦略: Ministry for Higher Education and Research (2013), France Europe 2020: A strategic agenda for research, technology transfer and innovation: White House (2015), A Strategy for American Innovation.

[49] IPCC (2018), Global Warming of 1.5°C.

[50] 환경부(2019.9.23.), 지구 온도가 1°C 오르면?...기후변화 시나리오, 대한민국 정책브리핑.

[51] 보건복지부(2020.7.24.), 코로나바이러스감염증-19: 국외 발생 현황.

[52] 통계청(2019.9.23.), 2018년 사망원인통계.

[53] 건강보험심사평가원 보도참고자료(2016.11.1.), 국민 우려 질환, 암 > 관절염 > 고혈압 > 치매 순(順).

[54] 전 세계 차매 환자는 2018년 약 5,000만 명에서 2050년에는 1억 3,150만 명으로 늘고, 국내 65세 이상 차매환자 수는 2019년 현재 약 78만 명에서 2050년에는 302만 명으로 늘어날 전망이다(보건복지부 중앙치매센터(2019.12.31.), 국제치매정책동향 2019).

[55] '트랜스휴머니즘'이라는 개념은 성서 등 과거 문헌에도 등장한 적이 있지만, 현대적인 관점에서는 생물학자 줄리안 헉슬리(Julian Huxley)가 1957년 발표한 에세이 'Transhumanism'을 통해 본격적으로 사용되기 시작하였다(Harrison, Peter, and Wolyniak, Joseph (2015), The History of 'Transhumanism', Notes and Queries 62 (3), 465 - 467).

[56] UN 식량농업기구(Food and Agriculture Organisation of the United Nations)는 늘어나는 농산품 수요를 고려했을 때 2050년 농업 생산량이 2012에 비해 48.6% 늘어나야 할 것이라고 전망한다. 여기서 농산품이란 식량, 사료, 바이오연료 등이 모두 포함된다. 이는 분명히 어려운 과제이지만, 과거 1961~2011년의 50년 동안 세계 농업 생산량이 3배 이상 증가했다는 사실을 감안하면 인류가 충분히 대응할 수 있을 것이다(FAO(2017). The future of food and agriculture - Trends and challenges).

[57] 2018년 우리나라 식량자급도는 전체 곡물 자급도의 경우 21.7%, 사료용을 제외한 자급도의 경우 46.7%이다(농림축산식품부(2019), 농림축산식품 주요통계 2019).

[58] 세계생태발자국네트워크(Global Footprint Network)는 매년 '지구 생태용량 초과 날(Earth Overshoot Day)'을 계산한다. 이는 인류의 자원 소비량(생태발자국)이 그 해에 지구가 생산 또는 재생할 수 있는 자원의 양(생태용량)을 넘어서는 시점을 말한다(<https://www.footprintnetwork.org/>; <https://www.overshootday.org/>). 따라서 이날 이후 소비하는 자원은 미래세대가 사용할 것을 미리 가져다 쓰는 셈이다. 2019년 지구 생태용량 초과 날은 7월 29일인데, 이는 인류가 지구의 생태용량의 1.7배를 소비하고 있다는 의미이다. 2020년 지구 생태용량 초과 날은 COVID-19의 영향으로 8월 22일로 다소 늦춰졌지만 이는 예외적인 경우이고 과거 50년 동안 지속적으로 앞당겨져 왔다(<https://www.overshootday.org/newsroom/past-earth-overshoot-days/>).

[59] 2018년 GDP 중 제조업 비중은 우리나라가 26.6%이고, 일본 20.7%, 독일 20.4%, 프랑스 9.9%, 영국 8.8% 등이다(World Bank national accounts data, <https://data.worldbank.org/>).

[60] Cybersecurity Ventures (2019), 2019 Official Annual Cybercrime Report.

[61] 인구증가율은 1965~1970년에 최고치를 기록한 후 점차 감소하고 있지만 인구 증가는 당분간 지속될 전망이다(United Nations (2019), World Population Prospects 2019).

[62] 1852년 발견된 '16 프시케'는 화성과 목성 사이에 위치한 소행성으로, 지름이 226km로 달의 약 1/15이고 무게가 달의 1% 미만이다. 미국 항공우주국(NASA)은 2022년 8월 우주선을 발사하여 2026년 초에 소행성에 도착한다는 계획을 세우고 현재 우주선 설계 작업을 하고 있다(NASA 웹사이트, <https://solarsystem.nasa.gov/asteroids-comets-and-meteors/asteroids/16-psyche/in-depth/>).

[63] Carter, Jamie (2020.7.7.), NASA Teases 'Psyche,' A Robot To Explore An Asteroid Worth More Than Our Global Economy, Forbes.

[64] 과학기술정보통신부(2019.12.), 2019년 국가 과학기술혁신역량평가.

[65] 관계부처 및 지자체 합동(2018.6.25.), 제2차 과학기술 기반 국민생활(사회) 문제 해결 종합계획('18~'22)안.

[66] 과학기술정보통신부(2019.12.27.), 국가 R&D 혁신방안 이행 점검결과 및 실행계획 수정안.

[67] BMBF (2018), The High-Tech Strategy 2025: Research and innovation that benefit the people; BEIS (2017), Industrial Strategy: Building a Britain fit for the future; 経産省(2017), 新産業構造ビジョン: 第4次産業革命をリードする日本の

戦略; Ministry for Higher Education and Research (2013), France Europe 2020: A strategic agenda for research, technology transfer and innovation; White House (2015), A Strategy for American Innovation.

[68] 2019년 초등학교, 중학교, 고등학교 학생 수는 각각 2,747,219명, 1,294,559명, 1,411,027명으로, 2000년의 4,019,991명, 1,860,539명, 2,071,468명에 비해 각각 31.7%, 30.4%, 31.9% 감소했다(교육부-한국교육개발원(2019.11.), 간추린 교육통계 2019).

[69] 예를 들어, 노벨상 중 과학 부문은 1901년 수여되기 시작하여 2018년까지 118년간 607명의 수상자를 배출하였으며, 물리학상은 210명, 화학상은 181명, 생리학상은 216명이다. 국가별로 보면, 전체 수상자 수는 이중국적 및 다중국적자로 인해 실제 수상자인 607명보다 많은 626명이며, 미국 267명(43%), 영국 88명(14%), 독일 70명(11%), 프랑스 34명(5%), 일본 23명(4%) 순으로 수상자를 많이 배출했다. 1명 이상의 수상자를 배출한 국가는 32개국이며, 우리나라는 아직 수상자가 없다(한국연구재단(2019.10.), 노벨과학상 종합분석 보고서: 수상 현황과 트렌드를 중심으로).

[70] 제4차 과학기술기본계획에서는 "미래도전을 위한 과학기술역량 확충"을 4대 전략 중 하나로 선정했고, 이를 위한 중점 추진과제로 "과학적 지식탐구 및 창의·도전적인 연구 진흥" 등을 제시했다(과학기술정보통신부(2018.2.), 제4차 과학기술기본계획(2018-2022): 2040년을 향한 국가과학기술 혁신과 도전).

[71] 2019년 5월에 개최된 제5회 과학기술관계장관회의에서 보고된 「국가R&D 혁신·도전성 강화 방안(안)」에서는 "논문·특허 중심의 획일적 점수제 평가로 인한 순위순 목표 설정에서 명확한 임무 부여를 통한 성과 달성으로의 근본적 변화가 필요"하다는 점을 강조하였다(과학기술부(2019), 국가R&D 혁신·도전성 강화 방안(안)).

[72] e-나라지표(<https://www.index.go.kr/>), 10대 수출입 품목.

[73] 우리나라의 세계 수출시장 점유율 1위 품목 수는 2018년 63개로, 2017년 대비 12개 감소했다. 특히, 우리나라의 1위 품목이 집중된 화학제품(27개)과 철강·비철금속(12개) 등을 중심으로 주요국과의 경쟁이 치열해지고 있다(한국무역협회 국제무역통상연구원(2020.4.), 세계 수출시장 1위 품목으로 본 우리 수출의 경쟁력 현황, Trade Focus 2020년 14호).

[74] 경제성장의 질(quality of growth)은 성장에 기여하는 산업들이 다양인지, 리스크에 적절히 대응하며 안정적으로 성장하고 있는지 등으로 측정할 수 있다(Mlachila, Montfort (2015.2.23.), "How to measure the quality of growth", World Economic Forum). 만약 우리 경제가 높은 성장률을 기록한다고 하더라도 성장동력이 지나치게 일부 산업에 편중되어 있거나, 특정 국가나 기업에 핵심기술, 제조 등을 의존하여 특정 국가의 위험에 노출되어 있거나 감염병으로 인한 지역폐쇄 같은 돌발상황에 대응하기 어렵다면 성장의 질이 높다고 할 수 없다.

[75] 많은 산업에서 엔지니어링 등 개념 설계 역량의 부족으로 인해 부가가치가 낮은 조립 중심이어서, 후발 개도국의 추격에 직면하고 있다(서울대학교 공과대학(2015.9.), 축적의 시간, 지식노마드).

[76] 노무현 정부에서는 10개 차세대성장동력, 이명박 정부에서는 17개 신성장동력, 박근혜 정부에서는 19개 미래성장동력, 문재인 정부에서는 13개 혁신성장동력을 선정·반·안했다.

[77] 국회미래연구원 중앙일보(2019), 국회미래연구원 중앙일보 공동기획: '2050년에서 보내온 경고'.

[78] 2016년 우리나라 연구개발 예산을 목적별로 살펴보면, '경제개발'(49.7%)의 비중이 가장 높다. 이는 일본(25.8%), 독일(22.0%), 영국(18.1%), 미국(11.7%) 등 다른 나라에 비해 높은 수준이다(이경재(2018), 2019년도 정부연구개발 투자의 방향과 의미, 한국과학기술기획평가원 KISTEP Int. Vol. 25).

[79] 정부가 최근 국민생활과 관련된 정책을 마련하여 추진하고 있는 것은 이와 같은 시대적 요구에 부응하기 위한 것이다(과학기술정보통신부(2018.3.14.), 과학기술을 통한 국민생활문제 해결을 위한 「국민생활연구 추진전략(안)」; 관계부처 합동 및 지자체 합동

(2018.6.29.), 제2차 과학기술 기반 국민생활(사회) 문제 해결 종합계획('18~'22(안)).

[80] 세계 도시인구(urban population)는 2007년 전체인구의 절반을 처음으로 넘어선 이후 2017년 약 55%인 41억 명을 기록했고, 2050년에는 전체인구의 약 3분의 2인 70억 명에 이를 전망이다(<https://ourworldindata.org/urbanization>)

[81] '국토의 계획 및 이용에 관한 법률'에 정의된 도시지역은 2019년 현재 전체 국토 면적의 약 16.6%를 차지하는 것으로 조사되었다. 우리나라 도시지역 인구 비율은 2019년 91.8%이며, 2005년의 90.12% 이후 2% 미만의 증가에 그치는 등 증가 추세가 둔화되고 있다(국토교통부·한국토지주택공사(2020.7.), 2019 도시계획현황).

[82] 「2025 과학기술발전 장기비전,(1999)에서는 "지방자치단체 주도의 지방과학기술진흥체제 확립", 「2040 과학기술 미래비전,(2010)에서는 "세계적 경쟁력을 갖춘 지식클러스터 육성"을 정책과제로 제시하였다.

[83] 지역 과학기술혁신역량은 16개 시·도의 과학기술혁신역량 수준을 비교·분석하기 위해 자원, 활동, 네트워크, 환경, 성과 등 5개 부문의 지표로 구성된 지역 과학기술혁신역량지수(Regional COmposite Science and Technology Innovation Index, R-COSTII)를 사용하여 평가하였다(한국과학기술기획평가원(2018.12.), 2018년 지역 과학기술혁신역량평가).

[84] 정책기획위원회·경제인문사회연구회(2019.12.), 혁신적 포용국가 미래비전 2045.

[85] 과학기술정보통신부(2019.12.), 2019년 국가 과학기술혁신역량평가.

[86] 영국 컨설팅업체인 포틀랜드(Portland), 미국 서던캘리포니아대학교(University of Southern California) 등이 공동으로 평가하는 국가 소프트웨어 순위에서 우리나라는 2019년 19위였고, 1위는 프랑스, 2위는 영국, 3위는 독일, 4위는 스웨덴, 5위는 미국이었다(Portland (2019), The Soft Power 30: A Global Ranking of Soft Power 2019). 또한, 2019년 영국의 컨설팅업체인 퓨처브랜드(FutureBrand)가 세계인들을 대상으로 방문지, 거주지, 거래 대상, 투자 대상으로서의 국가별 선호도를 조사한 결과 우리나라는 75개국 중 20위였고(FutureBrand (2019), FutureBrand Country Index), 독일 시장조사기관 스태티스타(Statista)가 전 세계 소비자를 대상으로 국가별 제품에 대한 인식을 조사한 순위에서는 20위를 차지했다(Statista (2019), Made in Country Index 2017). 다만, 영국의 컨설팅업체 브랜드파이낸스(Brand Finance)의 국가 브랜드 가치 순위에서는 2015년 12위, 2017년 10위, 2019년 9위를 기록하여 국가 브랜드 가치가 점차 높아지고 있는 것으로 나타났다(Brand Finance, <https://brandirectory.com/rankings/nation-brands>).

[87] 미래에는 소득이 높은 계층이 바이오 기술을 활용한 인공 조직이나 인공 장기를 구매하여 신체 역량을 강화하거나 생명을 연장할 수도 있고, 인공지능 기술을 구매하여 지적 역량을 높일 수도 있을 것이다.

[88] 독일은 2011년 디지털기술을 활용한 제조업 혁신전략인 Industrie 4.0을 발표하였고 일본은 2015년부터 '재흥전략', '신산업구조비전' 등을 준비하며 4차 산업혁명에 대응해 왔고, 중국도 2015년 디지털 전략인 '인터넷플러스'를 발표하였다. 하지만 국내에서는 2016년 초 세계경제포럼 개최와 알파고 충격 이후 논의가 본격화되었다.

[89] 기후변화에 관한 정부간협의체(IPCC)에 따르면, 1880~2012년에 지구의 평균기온은 0.85℃(0.65~1.06℃) 높아졌고, 평균 해수면은 1901~2010년에 19cm(17~21cm) 상승했다(IPCC (2014), AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014).

[90] IPCC (2018), Global Warming of 1.5℃.

[91] 기후변화로 인해 2018년에 전 세계적으로 폭염이 발생하였다. 스웨덴은 100년 만에 최고기온인 34.6℃를 기록하고 50년의 산불이 발생하였으며, 독일도 최고기온 39.5℃를 기록하고 라인강의 물고기 수천 마리가 폐사하였다. 우리나라도 서울이 39.6℃를 기록하여 기상관측 이래 111년 만에 가장 높은 기온을 기록하였다(관계부처 합동(2019.1.), 2018년 이상기후 보고서).

[92] 환경부(2016.5.), 교도약정서 이후 신 기후체제, 파리협정 길라잡이.

[93] 유럽연합(EU)은 파리협정에 따라 2030년까지 이산화탄소의 배출량을 1990년 수준 대비 40% 감축할 계획이다. 이를 위해 2030년까지 승용차의 이산화탄소 배출량을 2021년 수준보다 37.5% 줄이기로 정하였다. 예를 들어, 우리나라가 유럽연합에 자동차를 수출하기 위해서는 해당 기준을 충족하기 위한 기술개발이 필요한 상황이다. 정부는 2016년 「기후변화대응기술 확보 로드맵」을 수립하여 태양전지, 이차전지, 바이오연료, 이산화탄소 포집·저장, 탄소자원화 등 관련 기술을 개발하고 있다(관계부처합동(2016.6.27.), 기후변화대응기술 확보 로드맵(CTR)(안)).

[94] 관계부처합동(2015.12.), 제2차 국가 기후변화 적응대책.

[95] 관계부처합동(2020.2.), 2019년 이상기후 보고서.

[96] 2016년 9월 경주 지진(규모 5.8)은 1978년 기상청이 지진을 관측한 이래 최대 규모였으며, 상대적으로 규모가 작았던 2018년 2월 포항 지진(규모 4.6)의 경우에도 전국적으로 진동을 느낄 수 있었다(행정안전부(2019.8.30.), 2018 재해연보).

[97] OECD (2020), How's Life? 2020: Measuring Well-being.

[98] 2009~2018년 자연재해로 인한 평균 피해액은 약 3,628억 원이며, 평균 복구액은 약 7,709억 원으로 나타났다. 사회재난으로 인한 재산 피해액도 2017년 약 1,092억 원, 2018년 약 1,001억 원으로 나타났다(행정안전부(2018.12.31.), 2019 행정안전통계연보).

[99] 2020년 9월 현재 지름 140m 이상의 지구위협소행성은 2,119개, 지구 궤도상 지름 10cm 이상의 인공우주물체는 21,314개로 파악되고 있다(우주환경감시기관 웹사이트, <https://www.nssao.or.kr>).

[100] MIT Technology Review (2019.2.27.), "Ten big global challenges technology could solve."

[101] 한국과학기술기획평가원(2016.5.), 제4차 산업혁명시대의 ICT 융합형 재난 안전 R&D 발전방향.

[102] 예를 들어, 최근 미국에서는 기상예측 데이터, 산의 지형 및 수목 분포 데이터 등을 연계한 산불 예측모델을 만들고, 인공지능 기술을 활용하여 실시간으로 산불 확산 시나리오 분석을 수행하는 프로그램을 개발하였다(한국전지통신연구원(2020.2.), 재난예측 기술 개발 및 서비스 제공 동향).

[103] World Health Organization (2018), 2018 Annual review of diseases prioritized under the Research and Development Blueprint.

[104] 보건복지부(2020.9.30.), 코로나바이러스감염증-19: 국외 발생 현황.

[105] 항공우주기업 에어버스는 2020년 5월 폭발물이나 마약을 감지하는 기술을 활용하여 공기 중 코로나 바이러스를 수초 만에 탐지할 수 있는 센서를 개발해 주요 공항과 여객기에 도입할 계획이라고 발표하였다.

[106] 캐나다의 인공지능 기업 블루닷(BlueDot)은 이와 같은 기술을 통해 2019년 12월 31일 중국 우한에서 신종 코로나바이러스가 발병한 뒤 서울, 도쿄, 홍콩, 마카오 등으로 확산될 가능성이 있다고 발표하였는데, 이는 세계보건기구(WHO)의 1월 9일 발표보다 9일 앞선 것이었다(기초과학연구원(2020.3.12.), 코로나-19 과학리포트 - Vol.4 인공지능으로 코로나-19 바이러스 진단·예측).

[107] 우리나라의 1일 폐기물 발생량은 약 43만 톤이고 이를 연간으로 환산하면 약 1.6억 톤이 된다(환경부(2019.12.), 2018년도 전국 폐기물 발생 및 처리현황).

[108] 우리나라도 바젤협약에 가입하여 1994년부터 「폐기물의 국가간 이동 및 그 처리에 관한 법률」이 시행되고 있다.

- [109] 2018년도 폐기물 처리 현황은 재활용 87.1%, 매립 7.3%, 소각 5.6%이다(환경부(2019.12.), 2018년도 전국 폐기물 발생 및 처리현황).
- [110] 분해되는 데 스티로폼 부표는 80년, 플라스틱병은 100년, 스티로폼은 500년, 낚시줄은 600년 이상의 오랜 시간이 소요된다.
- [111] WWF (2019), No Plastic in Nature: Assessing Plastic Ingestion from Nature to People.
- [112] 관계부처합동(2018.5.10.), 재활용 폐기물 관리 종합대책.
- [113] 주문술 외(2019), 순환경제사회를 위한 물질흐름분석의 정책적 활용 동향 연구, 한국환경정책평가연구원.
- [114] 프랑스 화학회사 카르비오가 페트병을 10시간 내에 90% 가까이 분해하는 효소를 개발하였는데, 효소를 첨가하기 전 페트병 가열·분쇄 과정에 많은 비용이 소요되던 한계가 지적되고 있다(Carrington, Damian (2020.4.8.), Scientists create mutant enzyme that recycles plastic bottles in hours, Guardian).
- [115] 발전량 측면에서, 국내 원자력발전의 원년이라고 할 수 있는 1978년에는 2,324GWh를 발전하여 전체 발전량의 7.4%를 차지했으나, 2019년에는 145,910GWh를 발전하여 전체 발전량의 25.9%를 점유하고 있다(한국원자력산업회의(2014.2.8.), 2012년 제18회 원자력산업실업조사; 한국전력공사(2019), 연도별 한국전력통계).
- [116] 한국원자력연구원(2018), 원자력 해체산업 고도화 과제.
- [117] 2020년 500MW급 핵융합 발전소를 건설하는 글로벌 프로젝트인 '국제핵융합실험로(ITER)'의 공정률이 70%를 돌파하면서 국가 간 부품조달 협력이 가속화되고 있다. 그리고 2020년 2월 우리나라의 핵융합 연구장치인 케이스타(K-STAR)가 세계 최초로 중성온도 1억 도 수준의 초고온 플라즈마를 8초간 유지하는 데 성공한 바 있으며, 2025년까지 100초 이상 운전을 목표로 연구를 추진하고 있다.
- [118] 태양을 비롯한 우주의 99% 이상이 플라즈마 상태이다. 지구에서 핵융합 반응을 일으키기 위해서는 태양과 같은 초고온의 플라즈마 상태를 만들어주어야 한다.
- [119] 2018년 노벨물리학상 수상자인 프랑스의 제라르 무우(Gerard Mourou) 박사는 고강도 레이저를 이용하여 방사성 폐기물의 반감기를 수천 년에서 몇 분으로 대폭 감축시키는 연구를 수행하고 있다고 한다(Fouquet, et al. (2019.4.2.), Zapping Nuclear Waste in Minutes Is Nobel Winner's Holy Grail Quest, Bloomberg).
- [120] 기대수명은 2018년 출생아가 앞으로 살 것으로 기대되는 연수이고, 건강수명은 실제 질환이나 장애 등으로 고통 받는 기간을 제외한 기대수명을 말한다(통계청(2019.12.4.), 2018년 생명표).
- [121] 보건복지부·한국보건사회연구원(2017.11.), 2017년도 노인실태조사.
- [122] 보건복지부 보도자료(2019.12.14.), 임 진단 후 5년 초과 생존자 100만 명 넘었다.
- [123] 면역항암 치료제는 3세대 항암치료법이라고 부른다. 기존의 1세대 항암치료법은 방사선치료나 화학치료를 통해 종양을 줄인 후 절제하여 제거하였는데, 방사선치료는 DNA를 손상시키고, 화학치료에 사용되는 세포독성물질은 종양뿐만 아니라 정상세포에도 손상을 일으키는 부작용이 있었다. 2세대 항암치료법인 표적항암제는 암세포만 식별하여 공격하였지만, 암세포가 항암제에 내성이 생겨 치료효과가 낮아지는 문제가 있었다.
- [124] 2020년 미국 하버드대학교 연구팀은 역분화줄기세포를 이용해 도파민을 생성하는 신경세포를 만들어 파킨슨병 환자를 임상치료하는 데 성공하였다. 파킨슨병은 뇌에서 신경전달물질인 도파민을 분비하는 신경세포가 죽어서 생기는 질병이다. 연구팀은 역분화 기술로 환자의 피부세포를 줄기세포로 만들고, 줄기세포가 도파민 신경세포로 분화하도록 유도해 도파민을 만들 수 있도록 하였다.
- [125] Anzalone, et al. (2019), Search-and-replace genome editing without double-strand breaks or donor DNA, Nature 576, 149 - 157.
- [126] 2020년 1월 KAIST 연구팀은 대장암 세포를 정상 세포로 변환시키는 원천기술을 개발했다고 발표하였다. 암 치료는 암의 증식으로 인해 죽어야 하는 세포가 계속 늘어나는 것이 문제인데 정상 세포로 변환시키는 기술이 상용화된다면 부작용을 크게 낮출 것으로 예상된다.
- [127] 유엔(UN)에서는 65세 이상 인구가 전체인구의 7% 이상이면 고령사회, 14% 이상이면 고령사회, 20% 이상이면 초고령사회로 분류한다. 우리나라는 2000년 고령사회, 2018년 고령사회를 거쳐 2025년에 초고령사회에 진입하게 될 전망이다(통계청(2019.3.), 장애인구특별추계: 2017-2067년).
- [128] 중앙치매센터(2019.12.), 국제 치매정책동향 2019.
- [129] 중앙치매센터(2019.12.), 국제 치매정책동향 2019.
- [130] 치료비를 포함한 치매관리 비용은 2020년 17.5조 원, 2040년 63.1조 원, 2060년 133.2조 원으로 증가할 것으로 전망된다(중앙치매센터(2019.12.), 국제 치매정책동향 2019).
- [131] 치매 환자와 가족이 떠안아야 했던 고통과 부담을 정부가 책임지는 복지정책이다. 2017년부터 전국 256개의 보건소에 치매안심센터를 개설하고, 사실기준 인력 요건을 갖춘 병원을 치매안심병원으로 지정하여 의료비 부담을 낮추는 데 중점을 두고 있다.
- [132] 예를 들어 치매에 대한 정확한 진단은 환자가 사망한 후에도 가능하고, 이 경우에도 의료진 간에 치매 중 어떤 질환이냐에 대해 논란이 있을 정도로 치매에 대한 지식이 부족한 상황이다(MIT Technology Review (2019.2.27.), Ten big global challenges technology could solve).
- [133] 2013년부터 EU와 미국에서 각각 진행하고 있는 '휴먼 브레인 프로젝트(Human Brain Project)'와 '브레인(BRAIN: Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies) 이니셔티브'가 대표적이다. 구글도 자신들이 보유한 인공지능 연산기술과 맵핑(지도화) 기술을 적용해 뇌지도 작성 프로젝트를 수행하고 있는데, 인간 뇌의 기본 원리를 밝히고 이를 인공지능 설계에 적용하여 성능을 획기적으로 높이는 것이 목적이다.
- [134] 뇌지도 작성과 관련된 주요 성과로는 2018년에 한국뇌연구원과 미국 프린스턴대학교 공동으로 뇌 신경세포 중 눈의 망막과 연결되는 47종의 시각체질을 밝혀내 시각, 인지 등 뇌가 작동하는 원리를 밝혀낸 것이다.
- [135] 예를 들어, 미국의 제약사인 화이자는 2012년 존슨존슨과 공동개발 중이던 치매 치료제 개발이 임상 3상 단계에서 실패하자 치매 치료제 개발을 포기한다고 선언했다.
- [136] 국내 기업인 인포메디텍은 조선대학교 치매극핵연구단으로부터 뇌지도 및 뇌영상 분석 알고리즘 기술을 이전받아 치매 가능성을 예측하는 뇌영상 분석 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 국내에서 활용되고 있고 태국에도 수출되었다.
- [137] 예를 들어, 테슬라의 CEO인 일론 머스크는 '뉴럴링크(Neuralink)'라는 기업을 설립하여 뇌에 이식 가능한 칩을 개발하고 있다.
- [138] 보건복지부(2017.11.), 2017년 장애인 실태조사.
- [139] <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health>.
- [140] 통계청(2019.3.27.), 장애인구특별추계: 2017-2067년.
- [141] Pons, Jose L. (2019), Witnessing a wearables transition, Science 365, 636-637.

- [142] KAIST 연구팀이 개발한 '워크온슈트'는 2016년 스위스에서 열린 재활로봇 올림 픽 '사이베슬론'에서 3위를 차지하였고, 2018 평창 동계 패럴림픽대회에서 성화 봉송을 하였다.
- [143] 정부는 융합기술개발사업을 통해 '바이오팀 암(Bionic Arm)'을 개발하고 있다.
- [144] 2016년 도요타자동차가 개발한 기기는 어깨에 걸치는 방식으로, 여러 대의 카메라로 주위 환경을 인식해 사용자에게 스피커 혹은 진동으로 알려주고, 사용자는 음성인식 또는 버튼을 사용해 기기를 조작한다.
- [145] 해외의 경우 록히드마틴의 헐크(HULC), 리웍스의 엑소스켈레톤(ExoSkeleton), 일본 사이버다인의 할(HAL), 하버드대학교의 엑소수트(Exosuit) 등이 대표적이고, 국내의 경우 현대자동차가 불편한 자세의 작업을 지원하는 웨어러블 로봇을 미국 앨라배마공장 조립 라인에 시범 적용하였고, LG전자가 작업자의 허리근력을 보조하는 슈트봇(SuitBot)을 개발했다.
- [146] 2017년 국내에서 처음으로 인공망막 이식수술이 이루어져 유전성 망막질환으로 시력을 잃은 여성이 시력을 일부 회복한 바 있다. 미국 의료가 기 기업 세컨드사이트(Second Sight)의 '아르쿠스2'라는 장비가 사용되었다.
- [147] IBM 왓슨, 구글 헬스 등의 인공지능 의료시스템이 실제 병원 현장에서 암 등의 판독에 활용되고 있다. COVID-19 치료제를 개발하고 있는 영국의 스타트업 힐엑스(Heak)는 4천 개의 승인 약으로부터 100억 개 이상의 조합을 분석하여 신약 후보를 도출하였다(Jane Wakefield (2020.4.17.), "Coronavirus: AI steps up in battle against Covid-19", BBC.
- [148] Economist (2020.6.11.), Artificial intelligence and its limits: An understanding of AI's limitations is starting to sink in, Technology Quarterly.
- [149] 1956년 미국 다트머스대학의 존 매카시 교수가 개최한 다트머스 회의를 통해 인공지능이라는 용어가 처음 사용되었다. 인공지능 분야는 1950년대에 태동기를 거친 후, 1960년대에 첫 번째로 호황기와 침체기를 맞이했고, 1970-1980년대에 두 번째로 호황기와 침체기를 경험한 바 있다. 2000년대에 딥러닝 기술이 고도화되면서 다시 호황기에 접어들게 되었다(김의중(2016), 알고리즘으로 배우는 인공지능, 머신러닝, 딥러닝 입문, 위키북스).
- [150] 양희태 외(2018), 인공지능 기술 전망과 혁신정책 방향, 과학기술정책연구원.
- [151] 이성호·유영진(2017), 사물지능혁명, 이세.
- [152] 미국은 2018년 '국가 양자이니셔티브' 법을 제정하고 양자컴퓨터 개발을 진행하고 있으며, 우리나라는 2023년까지 5큐비트급 양자컴퓨터를 개발하는 것을 목표로 연구하고 있다.
- [153] Wilson, H. James, and Daugherty, Paul R. (2018), Collaborative Intelligence: Humans and AI Are Joining Forces, Harvard Business Review, July - August, 114 - 123.
- [154] MIT Technology Review (2019.2.27.), "Ten big global challenges technology could solve."
- [155] 통계청(2019.3.27.), 장래인구특별추계: 2017-2067년.
- [156] 2018년 GDP 중 제조업 비중은 우리나라가 26.6%이고, 일본 20.7%, 독일 20.4%, 프랑스 9.9%, 영국 8.8% 등이다(World Bank national accounts data, <https://data.worldbank.org>).
- [157] 자원 소비량을 줄이기 위해서는 첫 번째는 최종 재화의 소비를 줄이는 방법, 두 번째는 최종 재화를 소비한 후 재활용하는 방법, 세 번째는 일정량의 최종 재화를 만드는 데 필요한 투입 자원을 줄이는 방법 등이 있을 것이다. 제조업의 효율성 제고는 세 번째 방법
- 에 해당된다.
- [158] UN (2019.6.), World Population Prospects: The 2019 Revision.
- [159] <https://www.un.org/sustainabledevelopment/hunger/>.
- [160] 2018년 우리나라 식량자급도는 전체 곡물 자급도의 경우 21.7%, 사료용을 제외한 자급도의 경우 46.7%이다(농림축산식품부(2019), 농림축산식품 주요통계 2019).
- [161] <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>.
- [162] <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>.
- [163] 유럽연합(EU)이 2009년부터 스마트팜국제공동연구프로젝트(EU ICT-AGRI, ICT and robotics in agriculture)를 추진하고 있고, 우리나라는 부처 간 협력을 통해 스마트팜 핵심기술 국산화 연구개발을 추진하고 있다(과학기술관계장관회의(2019.4.), 미래농업을 위한 과학기술 전략).
- [164] 노르웨이는 지난 30년간 연어 양식 분야에서 기술혁신을 통해 생산원가를 70% 절감하고 수출을 10배 이상 증가시켰다(과학기술정보통신부 보도자료(2019.9.28.), 제8회 과학기술관계장관회의 개최).
- [165] 2014년 기준 세계 온실가스 배출량 중에서 축산업을 포함한 농업이 약 11%를 차지한다(Arcipowska, et al.(2019.7.29.), 5 Questions About Agricultural Emissions, Answered, World Resources Institute).
- [166] 비온드미트, 임파서블푸드 등의 스타트업은 기업가치 10억 달러 이상의 스타트업인 유니콘으로 평가받고 있다(CNET (2020.1.10.), The 5 biggest tech trends from CES 2020).
- [167] 예를 들어, BMW는 운전자나 도로의 상황에 따라 바퀴, 좌석 등의 형상이 달라지는 컨셉카를 제시하였다(<https://www.bmwgroup.com/en/company/the-next-100-years.html>).
- [168] IEA (2018), World Energy Outlook 2018.
- [169] World Bank national accounts data, <https://data.worldbank.org>.
- [170] 원자력 발전을 국내생산에 포함할 경우 수입의존도는 84.4%이다(산업통상자원부-에너지경제연구원(2019.12.), 2019 에너지통계연보).
- [171] 산업통상자원부(2017.12.), 재생에너지 3020 이행계획(안).
- [172] 2017년 스코틀랜드에서 세계 최초의 부유식 해상풍력 발전단지가 가동되었고, 일본은 실증단계를 거쳐 2023년 상용화를 추진하고 있다(장기윤(2019.7.24.), 부유식 해상풍력발전, 재생에너지 정책 돌파구 뭉가?, POSRI 이슈리포트, 포스코경영연구원).
- [173] 정부는 2019년에 「수소경제 활성화 로드맵」을 수립하여 친환경적인 수소 공급을 단계적으로 확대해 나간다는 목표를 수립하였다.
- [174] 정부는 2015년 "2030 에너지 신산업 확산 전략"을 발표하여 신규 건축물 대상으로 2025년까지 제로에너지빌딩 의무화를 추진하고 있다(관계부처 합동(2015.11.23.), 2030 에너지 신산업 확산 전략).
- [175] 정부는 2010년 스마트그리드 국가 로드맵을 발표하였고, 2020년까지 전체 가구에 대한 스마트미터 및 양방향 통신시스템을 구축할 것을 명시하였다.
- [176] Nature (2019.12.20.), The science events to watch for in 2020.

[177] 물론 세계와 연결되고 거리가 가까워질수록, COVID-19 사태에서 경험한 것처럼 전염병의 확산이 빨라지는 등 해외의 부정적인 것들이 더 유입될 수도 있지만, 이는 연결의 혜택을 누리기 위해서는 피할 수 없는 비용이라고 할 수 있으며 우리가 적절히 대응하여 줄여 나갈 수 있다.

[178] 도시 간의 거리는 직선거리 기준이나 공항 간 비행거리 기준으로 계산할 수 있으며, 여기서는 인터넷 사이트를 참고하였다(<https://www.distance.to/>).

[179] 미국 NASA는 2004년 3월에 마하 6.8의 극초음속 항공기를 시험운행한 데 이어 2004년 11월에 제트기로는 세계 최고 속도인 마하 9.6을 기록하여 기네스북에 등재되었다(<https://www.nasa.gov/missions/research/x43-main.html>). 그리고 2018년 중국은 최고속도가 음속의 6배인 시속 7,344km의 극초음속 항공기를 시험적으로 발사했다고 발표하였다(Yeung, Jessie (2018.8.7.), China claims to have successfully tested its first hypersonic aircraft, CNN).

[180] 미국의 경우 하이퍼루프원이 2017년 미국 네바다주에서 시험 운영을 통해 500m 개발 트랙 구간에서 시속 320km 주행에 성공하였다. 우리나라는 한국철도기술연구원, 한국건설기술연구원 등이 공동으로 한국형 하이퍼루프를 개발하고 있으며 2026년 시험운행을 목표로 하고 있다.

[181] 과거 1976년에 도입된 콩코드(Concorde)는 한때 전 세계에서 가장 빠른 초음속 항공기였지만, 높은 운행비용으로 인해 수익성이 낮고 비행 시 발생하는 소닉 붐으로 인해 2003년 운행이 중단되었다.

[182] 미국의 벤처 기업 에어리언 슈퍼소닉은 2026년까지 12명의 승객을 태우고 마하 1.4의 속도로 비행하는 'AS-2'라는 초음속 항공기를 개발 중이며, 미국의 록히드마틴과 미국 NASA는 소음이 적은 1인용 초음속 경비행기 'X-플레인' 개발을 위해 저소음 초음속 기술(QueSST)을 연구 중이다.

[183] 국제에너지기구(International Energy Agency) 홈페이지(<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>).

[184] <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>.

[185] 원래는 교통약자가 아닌 일반인도 질병, 음주 등으로 운전이 불가능할 경우 자율주행차로 이동성을 확보할 수 있다.

[186] 장필성 외(2018.6.27.), 자율주행차 사업화의 쟁점과 정책 과제, 동향과 이슈 제 49호, 과학기술정책연구원.

[187] BCG (2016), Self-driving vehicles, robo-taxis, and the urban mobility revolution.

[188] 갑속 유도 역추진 장치와 낙산선, 총력완충 장치, 수면 위 비상착륙장치 등 승객 안전을 확보할 수 있는 기술이 필요하다.

[189] K-팝 가수들의 홀로그램 콘서트, 사망한 음악가의 연주를 재연하거나 현존하는 음악가와 협연하는 공연 등이 개최되고 있다.

[190] 항공 및 군사 분야의 비행훈련 등 고위험·고비용 교육훈련의 대체, 건설 및 제조 현장에서의 즉각적인 설계도면 수정, 상품 가상 배치 등에 활용이 가능하다. 예를 들어, 아마존, 이케아 등은 자사의 상품을 소비자들이 가상으로 배치해볼 수 있는 가상현실 서비스를 제공하고 있다.

[191] 2003년 미국의 스타트업인 린든랩은 가상세계 '세컨드라이프(Second Life)'를 구축하였다. 가입자는 자신의 아바타를 활용해 집을 사고 상품을 만들어 광고하고 파는 등 경제활동을 할 수 있고, 여기서 얻은 화폐를 실제 미국 달러로 환전할 수도 있다. 또한, 2018년에 개봉한 영화 '레디플레이어원(Ready Player One)'에서는 세계인들이 접속하여 게임 등의 콘텐츠를 즐기고 서로 사회적 관계를 형성하는 '오아시스'라는 가상세계를

모사하였다.

[192] 우리나라는 LTE보다 20배 빠른 5G를 2019년 세계 최초로 상용화하였고, 2021년부터 2천억 원을 투자하여 5G보다 50배 빠른 6G의 원천기술을 확보할 계획이다.

[193] 2017년 중국이 양자암호통신신앙인 목자호를 쏘아올려 1,203km 떨어진 지역과의 통신에 성공하였고, 국내에서는 SKT가 분당에서 용인까지의 112km 거리에서 양자암호통신에 성공하였고, 2020년에 KT의 양자암호통신 기술이 국제표준 예비 승인을 받았다.

[194] 미래에는 국방, 전력, 원전 등 국가 기간시설의 효율적 운영을 위해 이들을 디지털 네트워크로 연결하게 되는데, 그로 인해 해킹 등 보안 위험이 늘어날 수 있다. 2007년 개봉된 영화 '다이하드 4.0'에서는 테러리스트가 교통, 통신, 금융, 전기 등 모든 네트워크를 해킹하여 장악하는 상황이 묘사된다.

[195] 외계 행성의 자원을 차지하려는 지구인들과 이를 지키려는 원주민들 사이의 갈등을 다룬 영화 '아바타(Avatar)'의 내용은 아직까지는 상상 속의 일이지만 언젠가는 실제로 일어날 수도 있는 일이다.

[196] 영국, 프랑스, 뉴질랜드, 노르웨이, 오스트레일리아, 아르헨티나, 칠레 등은 자국의 영토가 지리적으로 더 가깝거나 과거 남극 발견이나 탐험 성공 사례를 들어 남극이 자국 영토임을 주장했고, 미국과 러시아는 영유권 관련 의사를 유보하고 있다. 이와 같은 분위기 속에서 남극의 평화적 이용, 과학 조사와 교류의 허용, 영유권 주장 금지, 군사 행동의 금지 등을 담은 남극조약이 1959년 채택되었고 1961년 발효되었다. 우리나라는 1986년 남극조약에 가입하였고, 1988년에는 협의당사국 지위를 획득하였다.

[197] 아르테미스 계획은 2024년까지 달 남극에 있는 얼음을 분해해 물, 산소, 에너지를 얻고, 달 궤도를 도는 우주정거장인 '달궤도플랫폼게이트웨이(LOP-G)'를 건설하며, 2028년에는 달 남극에 사람이 상주할 수 있는 유인기지를 구축하는 것이 목표이다.

[198] 한국항공우주연구원은 미국의 GPS에 기반한 현행 위성항법시스템 오차 17-37m를 3m까지 보정할 수 있는 한국형 위성항법보정시스템(Korea Augmentation Satellite System, KASS)을 개발하고 있고, GPS를 보완 또는 대체하는 한국형 위성항법시스템(Korean Positioning System, KPS) 개발도 추진하고 있다(한국항공우주연구원 홈페이지, <https://www.kari.re.kr>).

[199] 1,400톤급 '온누리호', 5,900톤급 '이사부호' 등 종합해양연구선과 국내 최초 3차원 석유탐사선인 2,000톤급 '탐해2호', 6,000미터급 심해무인잠수정 '해미래'를 보유하면서 해양 연구 및 해양 자원 탐사를 활발하게 수행하고 있다.

[200] 중국은 2016년에 해저 3,000미터에서 50명의 인력이 최대 2개월간 머물 수 있는 유인정거장인 '룽궁(龍宮)'을 건설하겠다는 계획을 발표한 바 있다.

[201] 2014년 남극장보고과학기지가 문을 열면서 우리나라는 남위 60도 이남 지역에 2개 이상의 상주 연구기지를 보유한 세계 10번째 국가가 됐다.

[202] 미래에 만약 무선으로 전력을 전송하는 기술을 통해 우주에서 생산한 전력을 지구로 보낼 수 있다면 지구의 에너지 고갈 문제 해결에도 활용될 수 있을 것이다.

[203] 우리나라는 2042년경에 해저 253m에서 최장 77일간 체류 가능한 해저기지를 확보할 수 있을 것으로 예상된다.

[204] O'Neil, John (2001.1.16.), Longevity: A Friendly Bet on the Future of Aging, New York Times: Dong, Xiao, et al. (2016), "Evidence for a limit to human lifespan", Nature 538, 257-275.

[205] 2016년 미국 워싱턴대학교 건강경제학연구소의 발표에 따르면, 세계 70억 인구 중 건강 문제가 없는 사람은 4%에 불과하고, 전체인구의 3분의 1이 5가지 이상의 건강 문제를 갖고 있다고 한다.

[206] 미국의 오바마 대통령은 2013년 4월 미국의 뇌연구 프로젝트인 브레인 이니셔티브(BRAIN Initiative) 연설 중 "인류는 수 광년 멀리 떨어져 있는 은하에도 밝힐 수 있고 원자보다 작은 입자도 연구할 수 있지만, 아직도 우리 양쪽 귀 사이에 존재하는 약 1.4kg짜리 물체, 즉 뇌의 수수께끼는 풀지 못하고 있다"라고 말했다.

[207] Markram, Henry (2012.6.), A Countdown to a Digital Simulation of Every Last Neuron in the Human Brain, Scientific American.

[208] 암흑물질 연구는 일찍이 1933년 천문학자 프리츠 츠비키에 의해 처음 시작되었다. 그는 은하단이 유지되려면 보이지는 않지만 암흑물질이 필요하다고 주장했다. 증거를 제시하지 못해 가설에 그치고 말았다. 이후 약 40년이 지난 1970년대, 천문학자 베리 루빈은 은하에서 별들의 움직임에 관측하면서 암흑물질의 존재를 확인했다.

[209] 기초과학연구원원의 '엑시온 및 극한상호작용연구단'은 엑시온을 검출하기 위해 자체적으로 검출기를 제작해 운영하고 있다. 또한, 연구단은 유럽입자물리연구소(CERN)와 함께 암흑물질 탐색을 위해 공동연구를 시작했다.

[210] 우리나라는 전자를 가속하는 방사광가속기와 그보다 무거운 양성자나 우라늄 등 중이온을 가속하는 중이온가속기 시설을 구축하고 있다.

[211] 현재 7개 난제 중에서 무앵카레 정리만이 러시아 수학자 그레고리 페렐만에 의해 증명된 상태이다.

[212] 2019년 희망직업 조사 결과, 초등학생의 희망직업은 1위 운동선수, 2위 교사, 3위 크리에이터, 4위 의사, 5위 요리사로 나타났고, 중학생의 경우 1위 교사, 2위 의사, 3위 경찰관, 4위 운동선수, 5위 뷰티디자이너였고, 고등학생의 경우 1위 교사, 2위 경찰관, 3위 간호사, 4위 컴퓨터공학자/소프트웨어개발자, 5위 군인으로 나타났다(교육부 2019.12.10.), 2019년 초·중·고등 진로교육 현황조사).

[213] 과학기술 R&D분야 여성일자리 비율(정규직 기준)은 2012년 13%에서 2017년 16%로 증가하는 추세이며 정부는 2023년 30%를 목표로 제시했다(관계부처 합동 2019.3.26.), 제4차 여성과학기술인 육성·지원 기본계획(19~23(안)).

[214] 중국, 일본, 독일 등 해외 주요국들은 우수 해외인력 유치 및 글로벌 교류 네트워크 형성을 위해 치열하게 경쟁하고 있다. 대표적으로 중국은 2008년부터 '천인계획(千人計劃)'을 통해, 해외에서 활동하는 자국 인재를 파격적인 조건을 제시하여 불러들이고 있다. 일본은 '일본재출전략', 독일은 '홀브트 프로그램' 등을 통해 우수한 해외 과학기술 인재를 유치하기 위해 힘을 쏟고 있다.

[215] 우리나라는 두뇌유출지수(46위), 인재유입유지능력(36위) 등에서 조사 대상 63개국 중 낮은 편이다(IMD (2018), World Talent Report 2018).

[216] 이공계 박사의 경우 희망하는 직장유형이 대학 63.0%, 기업 19.4%, 공공연구기관 14.7%, 기타(창업 등) 2.9%로 조사되어 대학을 선호하는 비중이 높다(과학기술정보통신부·한국과학기술기획평가원(2020.1.), 2018 이공계인력 육성·활용과 처우 등에 관한 실태조사(개인)).

[217] 예를 들어, 「기초연구진흥 및 기술개발지원에 관한 법률」, 「국가과학기술 경쟁력 강화를 위한 이공계지원 특별법」 등에서 지원 대상을 자연계 또는 이공계 인력으로 한정하고 있는데, 자연계 또는 이공계 인력을 현재 하고 있는 업무 성격이나 보유하고 있는 역량이 아니라 전공에 의해서만 구분한다.

[218] 현재도 해외 기업으로는 링크드인, 국내 기업으로는 리멤버, 하이브레인 등이 구인, 구직을 지원하는 서비스를 제공하고 있다.

[219] 미국과학재단(NSF)은 과학자·공학자통계데이터시스템 SESTAT(Scientists and Engineers Statistical Data System)을 운영하고 있다. 1970년대부터 체계적 추적조사를 실시하여 학사 이상의 과학기술 인력에 대한 교육, 고용, 인구학적 정보를 격년 주기로 조사하여 중단 정보를 제공한다.

[220] 월마트는 직원들에게 고객 등 다양한 입장에서 상황을 파악하는 능력을 가르치기 위해 가상현실(VR) 기술을 활용한다. 가상현실 헤드셋을 착용하고 계산단 직원이 되어 애로사항을 느껴보기도 하고, 고객이 되어 무엇이 불편한지 경험해 보기도 한다. 도입된 지 2년이 된 이 교육 프로그램은 2020년 1월까지 4,500개 매장에서 약 80만 명의 직원이 이수했다(Pinsker, Beth (2020.1.22.), "To train more workers, companies turn to virtual reality", Reuters).

[221] 세계경제포럼은 미래 인재의 핵심역량으로 복합적 문제해결역량(36%), 협업을 위한 사회적 숙련(19%) 등을 지적하며 문제해결과 협업·소통역량의 중요성을 강조했다.

[222] 예를 들어, 세계적으로 일하기 좋은 기업으로 평가받는 구글의 경우 전체 근무시간의 20%는 직원이 스스로 원하는 업무에 사용하도록 허용한다.

[223] 예컨대, 장기적이고 안정적인 자원이 요구되는 기초연구지원사업에 대해서 우선적으로 다년도 지출한도를 설정하는 것을 검토해 볼 수 있다.

[224] 현재 우리나라의 공공연구개발의 지식재산 귀속제도는 규정 상 당사자 간 협약이 우선적으로 적용되나, 대부분 사업관리규정에 따르게 된다. 규정 상으로는 원칙적으로 지식재산이 연구자가 아닌 연구를 주관하는 기관에 귀속된다. 이 때, 연구자가 지식자산을 개발하는 데 큰 기여를 했거나, 실질적인 발명자임에도 그에 대한 보상을 받지 못하는 문제가 발생할 수 있다.

[225] 황석원 외(2012), 개인성과평가 및 보상체계에 따른 연구자 행동 변화 및 성과 분석, 과학기술정책연구원.

[226] 대규모 연구시설물의 예로는 입자가속기, 핵융합장치 등이 있고, 글로벌 네트워크의 예로는 전지구관측시스템, 생물다양성 관련 연구협력 등이 있다(이민형 외(2010), 거대과학 종합관리체계 구축 및 추진 전략, 과학기술정책연구원).

[227] 해외에서도 도전연구를 적극적으로 지원하고 있다. 미국의 경우 방위고등연구계획국(DARPA)을 통해 산학연 네트워크를 구성하고 공모전 형식의 챌린지를 개최하고, 일반 대중으로부터 자유롭게 투자를 지원받고 수익을 공유하는 '크라우드 소싱' 지원 등을 수행하고 있으며, 인터넷, 스티스, 로봇, 드론, 자율주행차 등 혁신적 기술을 개발하여 성과를 확산하였다. 일본은 '미래사회창조사업'을 통해 인공지능, 혁신적 미래식량 생산 등 다양한 도전 분야를 지원하고 있다. 우리나라도 고위험 혁신형 R&D 지원체계로서 '혁신도전 프로젝트' 추진전략을 수립하여 국가 차원의 초고난도 연구개발 사업을 추진하고, 국가적 문제 해결과 미래 혁신 선도산업 창출을 목표로 하고 있다.

[228] 현재 공공연구기관에는 25개 정부출연연구기관, 21개 부처직할기관, 16개 국립연구기관, 16개 전문생산기술연구소가 포함된다(과학기술관계장관회의(2019.12.27.), 공공연구기관 R&D 혁신방안(안): 국립연구기관·전문생산기술연구소 중심).

[229] 예를 들어, 독일의 헬름홀츠 연구회(Helmholtz Association)는 소관 19개 연구기관과 함께 프로그램지향기금(Program-Oriented Funding, POF) 체계를 운영하는데, 5-7년마다 연구회 내·외부 전문가가 함께 6개 분야와 30여개의 프로그램(미션)을 정하고 프로그램에 여러 연구기관이 소속되어 함께 협력하여 연구를 수행하고 있다.

[230] 예를 들어, 독일 전역의 74개 연구소를 통해 응용연구를 선도하고 있는 프라운호퍼의 경우 각 연구자부의 산업계 연구 수주량에 연계하여 정부 출연금을 차등하여 지급하고 있다. 이는 지부의 산업계 연구 수주를 장려하고 자율적인 구조조정을 유도하는 효과가 있다.

[231] 예를 들어, 독일 막스플랑크연구회(Max Planck Society)는 예산의 약 80%를 정부로부터 지원받는데, 소속 연구기관에 대해 '지원하되 간섭하지 않는다', '평가는 잘못된 것을 지적하기 위한 것이 아니라 잘못되지 않도록 돕기 위한 것이다' 등의 철학을 지켜 오고 있다.

[232] 정보통신 네트워크에서 사용자간 연결의 수는 사용자 수(n)의 제곱(n²)(엄밀하게는 n(n-1))에 비례한다는 '멧칼프의 법칙(Metcalfe's law)'이 있다. 이를 연구자 커뮤니티에 적용하면 커뮤니티의 규모가 두 배가 되면 연구자 간의 연결 가능성은 제곱 배가 된다고 할 수 있다.

[233] 연구비 지원 규모와 논문 등 연구 성과 간의 관계를 분석한 연구에 따르면, 연구비를 고르게 배분하는 것이 성과를 높이는 데에도 도움이 될 수 있다(박기범 외(2018), 기초연구사업 확대에 따른 대학 R&D 정책 방향, 과학기술정책연구원).

[234] 정부도 제4차 기초연구진흥종합계획에서 “당장의 성과보다는 장기적인 시각으로 믿고 맡긴다”는 원칙을 제시했다(관계부처 합동(2019.6.29.), 제4차 기초연구진흥종합계획(18~22(안)).

[235] 계약(contract) 형태와 비교할 때 보조금 또는 연구지원비(grant) 형태의 연구비 지원은 연구 기간 동안 연구자의 연구 활동에 관여하지 않으며, 연구자가 비교적 유연하고 자유롭게 사용할 수 있다. 미국의 경우 연구보조금 형태의 연구비 지원이 활발하게 이루어지고 있으며, 특히 2018년 기준 미국 대표 연구기관인 국립보건원(NIH)은 연구보조금(grant) 형태로 전체 예산의 약 56%를 사용하고 있다.

[236] 국립대학의 통-폐합은 1992년부터 2009년까지 총 15건이었으며, 주로 국립대학과 국립대학, 국립대학과 국립전문대 간에 진행되었다. 사립대학의 통-폐합은 1995년부터 2020년까지 총 18건이었으며, 주로 사립 일반대학과 전문대학, 분교 및 분교 간에 진행되었다(서영인 외(2020), 학령인구 감소에 대응한 고등교육제도 개혁, 경제·인문사회연구회 협동연구총서).

[237] 미국의 스탠포드대학교와 버클리대학교의 우수 연구소들을 중심으로 실리콘밸리의 연구 및 산업 생태계가 형성된 것이 좋은 사례이다.

[238] 미국의 미네르바스쿨(Minerva Schools), 스페인의 몬드라곤팀아카데미(Mondragon Team Academy), 프랑스의 에콜42(Ecole 42) 등이 대표적인 사례이다. 미네르바스쿨(Minerva Schools)은 세계 각국에 캠퍼스를 두고 온라인 기반의 양방향 토론 중심으로 교육하고 있으며, 몬드라곤팀아카데미(Mondragon Team Academy)는 학생, 교수, 시험, 수업이 없는 다양한 프로젝트 중심 대학으로, 팀러닝, 팀리더십, 팀프로젝트 등을 통해 경험기반학습(Learning by doing)을 지향한다. 에콜42(Ecole 42)는 소프트웨어 교육기관으로, 강사, 교과서, 학비가 없고 학생들은 자신이 원하는 커리큘럼으로 알고리즘, 그래픽, 웹 등 다양한 소프트웨어 분야를 학습한다.

[239] 대학 유형별 우수 연구중심 대학, 거점 국립대, 기타 국공립대, 수도권 대형 사립대, 수도권 중소형 사립대, 지역 사립대 등으로 구분했을 때, 2017년 기준으로 전임교원 1인당 연구비는 대학 유형 간에 최대 약 9배, 박사과정 학생 수는 10배 이상 차이를 보인다(박기범 외(2018), 기초연구사업 확대에 따른 대학 R&D 정책 방향, 과학기술정책연구원).

[240] 박광기 외(2018), 산업현류혁명, 한국경제신문.

[241] Anderson, Philip, and Tushman, Michael L. (1990), Technological Discontinuities and Dominant Designs: A Cyclical Model of Technological Change, Administrative Science Quarterly 35, 604-633.

[242] 전통적인 R&D뿐 아니라 외부기술 연계개발(C&D, connect & development), 인수 후 개발(A&D, acquisition & development), 시제품 선출시 후 보완(L&D, launching & development) 등 다양한 경로로 기술을 확보하는 것을 'X&D'라고 부르기도 한다(박용삼(2017.4.27.), "R&D의 진화, 이제는 X&D 시대", POSRI 이슈리포트, 포스코경영연구원).

[243] 장석인 외(2014), 한국의 성장동력정책 평가와 향후 발전과제, 산업연구원.

[244] 2017년에 발간된 '스타트업 코리아!' 보고서에서는 세계 100대 스타트업이 만약 한국에서 사업을 했다면 그 중 57개 업체는 규제 때문에 사업이 불가능하거나 또는 조건부로 가능했었을 것이라고 분석하기도 했다(아산나눔재단·구글캠퍼스 서울(2017.7.13.), 4차 산업혁명을 주도하기 위한 스타트업 코리아).

[245] 2018년 기준 112개 관리규정(행정규칙 기준), 94개 관련 중장기 계획(2017년 기준), 19개 연구관리전문기관이 존재한다. 연구비 관리시스템도 부처별로 산재되어 17개가 운영되고 있고 과제지원시스템도 20개나 된다.

[246] Forbes Global 2000은 매출, 수익, 자산, 기업가치 등을 종합적으로 평가하여 세계 최대 상장회사 순위를 발표한다. 2019년 선정된 2000개 기업 중에서 기업가치 500억 달러 이상의 대형 기업의 수는 국가별로 비교하면 독일은 10개, 프랑스는 12개, 영국은 11개, 일본은 6개인데, 우리나라는 1개에 불과하다(최병삼 외(2019), 한국형 발전도모델의 탐색과 성장동력 정책의 전환, 과학기술정책연구원).

[247] 벤처기업(start-up)을 창업하는 것뿐만 아니라 이들이 성장하여 고성장기업(scale-up)이 되도록 육성하는 것도 중요하다는 인식이 확산되고 있다. OECD는 고성장기업을 매출이나 고용이 3년 이상 연평균 20% 이상 성장하는 기업으로 정의한다(Eurostat-OECD (2007), Eurostat-OECD Manual on Business Demography Statistics). 해외 주요국들은 이미 10년 전부터 스타트업 육성을 적극적으로 추진하고 있다.

[248] 최근 조사에 따르면 세계 창업 생태계의 경쟁력 순위는 실리콘 벨리가 1위, 뉴욕과 런던이 공동 2위, 베이징이 4위, 보스톤이 5위 등으로 나타났고, 우리나라는 서울이 20위에 올랐다(Startup Genome & Global Entrepreneurship Network (2020), The Global Startup Ecosystem Report).

[249] 예를 들어, 해외에서는 법률 데이터베이스를 인공지능으로 분석하여 법률문서를 자동으로 생성하여 제공하는 서비스 등 리걸테크(legal tech) 분야가 성장하고 있는데, 국내에서는 '변호사법'에서 변호사의 동업을 금지하고 있어서 변호사의 법, 개발자의 기술, 투자자의 자본이 결합되기 어려운 상황이다.

[250] 과거 1980년대에 선진국의 하청생산 중심이었던 우리나라의 메모리 반도체 산업에서 한국전자통신연구원(ETRI)과 관련 기업들이 '초고집적 반도체 기술 공동개발 사업' 등을 통해 민간 협력을 추진하여 4M DRAM을 개발하고, 이어서 16M DRAM, 64M DRAM 등을 세계 최초로 개발한 것이 좋은 사례이다.

[251] 대기업과 중소기업 간 거리를 어렵게 만드는 요인을 해결하기 위한 기술자료 임치제도가 하나의 사례가 될 수 있다. 대기업 입장에서는 중소기업의 신뢰성을 검증하거나 만약 중도에 파산할 경우를 대비하여 기술자료를 요청하지만, 중소기업 입장에서는 대기업에 기술을 빼앗길 수 있다는 우려를 하여 이를 꺼리게 된다. 기술자료 임치제도는 신뢰할 수 있는 제3의 기관에 기술자료를 보관하여 대기업의 기술탈취를 방지하고 중소기업 파산 등의 경우 대기업이 기술을 활용하도록 하는 제도이다.

[252] 디지털 또는 데이터 경제 시대에 산업 주도권을 결정하는 플랫폼들은 대부분 구글, 아마존, 우버, 알리바바 등 미국, 중국 기업들이 주도하고 있다. 현재는 글로벌 기업들이 관련 생태계를 키우기 위해 가격 인하와 기술 공개를 하여 국내 기업이 활용하는 데 문제가 없으나, 2007년 구글이 안드로이드 운영체제(OS)를 오픈소스로 개방한 후 이를 바탕으로 스마트폰 생태계를 장악한 사례처럼 현재 무료 또는 저가로 제공되고 있는 소프트웨어, 클라우드 등이 향후 특정 기업에 의해 전략적으로 활용될 가능성에 대비해야 한다(최병삼·양희태·이제영(2017), 제4차 산업혁명의 도전과 국가전략의 주요 의제, STEPI Insight, 과학기술정책연구원).

[253] 예를 들어 검사 시간을 1/2로 단축하는 전염병 진단키트 개발, 시속 1천km 장거리 대중교통수단 개발 등과 같이 대상(전염병 진단키트, 장거리 대중교통수단)과 성과 지표와 목표 수준(검사 시간 1/2, 시속 1천km)을 구체적이고 정량적으로 제시하는 것이 바람직하다.

[254] 이민형 외(2018), 과학기술분야 출연연시스템 진단과 혁신방안, 과학기술정책연구원.

[255] 기술 완성도(technology readiness level, TRL)는 1980년대 미국 NASA에서 개발한 것으로, 기술이 기초연구 단계인지 실제 적용이 가능한 단계인지를 1-9단계로 평가한다. 시스템 완성도(system readiness level, SRL)는 2000년대 중반 이후 영국과 미국 국방부에서 활용하고 있는 개념으로, 시스템이 현장에서 활용될 수 있을 정도로 완성되었는지를 1-9단계로 평가한다.

[256] 2018년 수립된 「국가R&D 혁신방안」에서는 국가혁신시스템의 주체로 대학, 공공연, 기업, 정부에 이어 국민을 새롭게 추가하였다(과학기술정보통신부(2018.7.26.), 국가기술혁신체계(NIS) 고도화를 위한 국가R&D 혁신방안(안)).

[257] 고령자에게 필요한 제품과 서비스를 개발하기 위해 사용자인 고령자, 생산자인 기업, 연구자가 함께 운영하고 있는 '한국시니어리빙랩'이 좋은 사례이다. 고령자가 개발 제품 및 서비스를 직접 체험한 후 아이디어와 개선점을 제시하면, 연구자는 이를 반영하여 해결 기술을 개발하고, 기업은 이를 바탕으로 제품을 개발·개선한다. 이와 같은 과정을 통해, 노인들이 쉽게 일어설 수 있도록 도와주는 자동 기립형 비데, 노인의 건강정보를 계산하는 스마트 거울, 치매 노인을 위한 배회 감지 밴드 등을 개발하였다(과학기술정보통신부(2019), 「함께 만들어가는 사회문제해결형 R&D '리빙랩 길잡이」).

[258] 핀란드는 2017년 1월 1일부터 무작위로 뽑은 실업수당 수급자 2천 명에 대해 2년 간 매월 560유로(70만원 수준)를 지급하여 지급대상자의 구직 행태의 변화를 살펴보는 정책 실험을 진행한 바 있다(서울연구원(2017), 「기본소득의 쟁점과 제도연구」).

[259] 미국은 2015년부터 100만 명 이상을 대상으로 설문조사, 진료 기록, 건강 검진 결과 등을 통해 건강과 관련된 방대한 데이터를 모으는 'All-of-U's'라는 코호트 구축 프로젝트를 추진하고 있다(<https://alfofus.nih.gov/>).

[260] 박희재·성지은(2018), 사회에 책임지는 연구혁신(RRI) 연구의 배경과 동향, 과학기술학연구 제18권 제3호, 101-151.

[261] 영국의 '데이터유리혁신센터'는 데이터와 인공지능을 기반으로 하는 기술들로 인한 혁신이 안전하고 윤리적으로 이루어질 수 있도록 '알고리즘으로 만들어진 의사결정이 갖는 잠재적 편견(bias)에 대한 연구' 등 관련 연구를 수행하고 필요한 조치에 관하여 정부에 전문적인 의견을 제공한다. 또한, 미국 하버드대학교에서는 윤리적인 AI 알고리즘 코딩을 하기 위한 교육을 진행하고 있다.

[262] 예를 들어, 어느 지방자치단체의 경우 다수 중앙 부처와 추진하는 5개 사업에서 육성할 산업을 11개나 지정한 사례가 있다(국가균형발전위원회(2019.10.), 지역이 주도하는 혁신성장을 위한 지역혁신체계 개편방안), 부처나 사업별로 육성할 산업을 서로 다르게 지정한다면 실제로 성과를 내기는 어려울 것이다.

[263] 현재 지역의 대표 산업 육성을 위해 협력을 강조하는 '경제협력관산업육성사업'과 지역별 특화를 추구하는 '지역주력산업육성사업'에서 지역별 산업이 별도로 선정되고 있어서, 양자의 연계가 필요하다. 또한, '지역주력산업육성사업'의 경우 비수도권 14개 지역의 산업 육성을 지원하고 있으나, 지역별로 4-5개 산업을 선정하여 너무 많은 산업에 분산투자되고 있고, 지역 간 중복도 발생하고 있다(박창현·방형욱(2019.7.), 2019년도 사업계획 적정성 검토 보고서: 지역특화기술기획평가원).

[264] 현재의 지역사업 추진체계는 부처와 사업별로 별도 계획이 수립되는 등 간막이식으로 운영되고 있어서 지역 단위에서 통합된 혁신·산업육성계획이 부재한 상황이다(국가균형발전위원회(2019.10.), 지역이 주도하는 혁신성장을 위한 지역혁신체계 개편방안)

[265] 2020년 현재 혁신도시는 부산, 대구, 광주·전남, 울산, 강원, 충북, 전북, 경북, 경남, 제주 등 10개이며, 연구개발특구는 대덕, 대구, 광주, 부산, 전북 등 5개, 복합단지(특화 클러스터)는 충북 오송(첨단의료), 대구·경북(첨단의료), 광주(인공지능), 전북 익산(식품) 등이 있다. 테크노파크는 강원, 경기, 경기대진, 경남, 경북, 광주, 대구, 대전, 부산, 서울, 울산, 인천, 전남, 전북, 제주, 충남, 충북, 포항, 세종 등 19개이며, 창조경제혁신센터는 서울, 인천, 경기, 강원, 대전, 세종, 충남, 충북, 대구, 포항, 경북, 부산, 울산, 경남, 광주, 전남, 빛가람, 전북, 제주 등 19개이다. 협의체로는 지역혁신협의회, 창업벤처정책협의회, 중소기업지원기관협의회, 지역산업진흥총괄협의회 등이 있다.

[266] 제4차 과학기술기본계획에서는 중앙과 지방정부의 협력과 연계, 지역별 특화를 통해 지역발전을 견인하는 지역주도의 혁신체계로 전환해야 함을 명시하고 있다(과학기술정보통신부(2018.2.), 제4차 과학기술기본계획(2018-2022)).

[267] 2017년 글로벌 기업인 아마존은 제2 분사 설립 계획을 발표하였다. 인구 100만 명 이상, 공항, 대중교통 등 인프라를 갖춘 곳, 우수 대학이 모여 있는 곳 등의 기준을 제시하며 입찰을 진행했는데, 총 238개 도시가 유치 경쟁에 참여할 정도로 높은 관심을 보였다

[268] 스웨덴 서남부의 도시 말뫼는 2000년대 초 주력 산업인 조선업이 붕괴되며 '말뫼

의 눈물'로 화제가 되었지만, 그 이후 조선소 자리에 들어선 말뫼대학교와 세계해사대학은 의료·IT 분야 기업의 유럽 본사, 500여 개 스타트업 입주단지, 터닝 토스로 같은 랜드마크 등과 함께 말뫼가 '에코시티'로 재탄생하는 데 기여했다.

[269] 제4차 과학기술기본계획에서는 지자체의 총 예산 대비 R&D 투자 비중을 2016년 1.07%에서 2022년 1.63%, 2040년 4.20%까지 증가시키고, 지방 연구개발 인력 비중을 2015년 28.8%에서 2022년 32.5%, 2040년 42.2%까지 확대한다는 목표를 제시하였다(과학기술정보통신부(2018.2.), 제4차 과학기술기본계획(2018-2022)).

[270] 포스텍 등 16개 대학의 총장과 7개 지역의 단체장은 지역의 미래 생존을 위해 대학-도시의 협력모델 구축(Univer+City)이 중요하다고 강조한다. 예를 들어, 미국의 오대호 지역은 한때 자동차, 철광 등 미국 제조업을 주도하다가 이후 쇠락하여 '녹슨 지대(Rust Belt)'가 되었지만, 카네기멜론대학교, 피츠버그대학교 등의 대학과 기업, 시장부, 주민이 협력하여 '르네상스 계획'을 추진하면서 부활하게 되었고, 지금은 '햇살이 비치는 지역(Sun Belt)'으로 불리고 있다(포스텍 박태준미래전략연구소(2017), '유니버+시티: 대학과 도시의 상생발전', 포항공과대학교 출판부).

[271] 한국산업기술진흥원 지역산업단(2017.9.), 지역산업지원사업의 현황과 개선방향.

[272] 손수정 외(2017), 기술사업화 성과 제고를 위한 기술인큐베이싱 성과 진단 및 효율화, 과학기술정책연구원; 손수정 외(2015), 공공연구기관의 기술사업화 촉진을 위한 C&BD형 사업의 모색, 과학기술정책연구원.

[273] 기술·특허 사업화에서 모범적인 모델이라고 할 수 있는 이스라엘 와이즈만 연구소는 초기 기술개발 단계부터 기업의 공동 연구를 유도하여 기술인큐베이싱을 원활하게 진행하고 있다. 또한, 발명 기술에 대해 과학자·기업·투자자 등 관련 주체 간의 네트워크를 운영하여, 정보를 공유하고 기술의 시장성 평가를 지원하고 있다.

[274] 중국 상안 신구, 캐나다 토론토 등 세계의 주요 도시에서 한 개의 도시 전체를 혁신 테스트 베드로 제공하고, 민간 기업과 시민이 주축이 되어 도시의 기능과 구조를 공동으로 설계하는 시도가 진행되고 있다.

[275] 국제협력 분야 정부 R&D 예산은 2012년 3,354억 원(정부 R&D 총액 대비 2.1%)에서 2016년 3,019억 원(총액 대비 1.6%)으로 그 규모와 비중이 감소하는 추세이다(신애리 외(2016.5.), 국제협력분야 정부 R&D 전략적 투자를 위한 정책제언, KISTEP Issue Paper, 한국과학기술기획평가원).

[276] 우리나라 전체 연구개발비 중 외국 재원이 차지하는 비중은 2018년에 1.9%로 해외 주요 국가(영국 15.6%, 프랑스 7.7%, 미국 6.2% 등)와 비교할 때 여전히 낮은 수준이다(과학기술정보통신부(2020.1.), 2019 과학기술 통계백서).

[277] Horizon 2020과 그 차기 프로그램인 Horizon Europe은 유럽연합(EU)의 신경제 전략인 「Europe 2020」 전략의 일환으로, 유럽연합의 가장 큰 연구 및 혁신 지원 프로그램이다. Horizon 2020은 제8차 프로그램(2014-2020)이고 Horizon Europe은 제9차 프로그램(2021-2027)이다.

[278] 핵융합 분야의 ITER(International Thermonuclear Experimental Reactor), 입자가속기를 통해 원자핵과 이를 구성하는 소립자 등에 대한 국제공동연구를 수행하는 CERN(European Organization for Nuclear Research), 우주 분야의 국제우주정거장 ISS(International Space Station) 등이 대표적이다..

[279] 연구기관의 해외 진출 사례로는 KIST Europe, 해외 연구기관 유치 사례로는 파스퇴르연구소, 뉘른연구소 등이 대표적이다. 항공기 제조업체인 보잉은 2019년 11월 국내에 R&D 센터를 개소했으며, 반도체 장비업체인 램리서치(Lam Research)도 역시 2019년에 국내로 R&D 센터를 확대하는 양해각서(MOU)를 체결하였다..

[280] 중국은 '일대일로' 전략을 통해 2013년부터 유라시아를 잇는 거대한 경제권역 구축을 추진하고 있다. 약 126개 국가와 파트너십을 맺고 사회기반시설 건설부터 과학연구 협력까지 다양한 프로젝트를 수행 중에 있다. 또한, 에너지·환경·정보통신 기술을 공동으로 연구하고 기술표준을 선정하여 그 영향권을 동남아, 아프리카까지 확대하고 있다..

[281] 일본은 2020년부터 3년간 총 30억 달러(약 3조 5000억원)를 아세안 회원국의 인프라 개발 등을 위해 지원할 방침이라고 밝혔다.

[282] 대표적인 사례로는 수자원이 오염된 지역에서도 사용할 수 있는 휴대용 정수 빨대인 라이프스트로(LifeStraw), 전기 없이 발로 페달을 밟아 물을 퍼 올리는 수동식 펌프인 슈퍼머니메이커펌프(Super Money Maker Pump) 등이 있다.

[283] 현재 정부는 중국의 일대일로, 러시아의 신동방정책 등 해외 국가들의 유라시아 통합 노력에 대응하여 몽골, 카자흐스탄, 러시아 등 북방 지역과의 협력을 강화하는 '신북방정책'과 정치·경제·사회·문화 등 폭넓은 분야에서 아세안, 인도 등 남방 지역과의 관계를 강화하는 '신남방정책'을 핵심적인 대외정책으로 추진하고 있다.

[284] 경제적인 관점만 보더라도, 북한에는 세계 최고 수준의 희토류를 포함하여 막대한 규모의 지하자원이 매장되어 있으며 그 가치는 약 7천조 원으로 추정된다. 이는 2015년 국회예산정책처가 발표한 통일비용(30~40년간 약 2,300~4,800조 원)을 상쇄하고도 남는 규모이다(김진향(2017.5.18.), 북한의 지하자원과 남북자원협력, 재단법인 여시재 정책 보고서). 물론, 이와 같은 수치들은 대략적인 추정치이기 때문에 엄밀하게 검증할 필요가 있겠지만, 북한이 막대한 가치의 지하자원을 보유하고 있다는 사실만은 분명하다.

[285] 예를 들어, 덴마크 정부는 2017년에 테크플로머시(TechPlomacy) 제도를 도입하여 기술대사(Tech Ambassador)를 임명하고 있다. 글로벌 대기업을 국가와 같은 외교 대상으로 간주하고 있으며, 세계 최초로 실라켄벨리에 기술대사를 파견하여 페이스북, 구글 등 글로벌 대기업과의 협력을 추진하고 있다.

[286] 현재 해외 한인과학기술자와의 다양한 네트워크가 형성되어 있다. 예를 들어, 한국과학기술단체총연합회의 재외한국과학기술자협회는 미국, 독일 등 17개국, 회원 수 약 2만여 명을 보유하고 있다. 한인족과학기술자네트워크는 전 세계 70개국 13만 과학기술자들과 해외 회원 약 1만 명, 해외 회원 중 박사 50% 이상의 글로벌 커뮤니티이다.

[287] 우리나라는 UN 예산 분담률이 세계 13번째이나(2016~2018년 기준), 비슷한 규모의 분담 국가 대비 국제기구 진출이 저조하고 최근 고위직 진출도 감소하는 추세이다(과학기술혁신본부(2018.6.), 과학기술 R&D 글로벌화 전략(안)).

[288] 국회예산정책처에 따르면, 2040-2050년경에는 4.5~7.1%의 재정 수지 적자가 발생할 것으로 전망된다(국회예산정책처(2018.12.), 2019-2050년 NABO 장기 재정전망).

[289] OECD(2020.2.), Main Science and Technology Indicators.

[290] 1999년 발표된 「2025 과학기술발전 장기비전」에서는 GDP 대비 R&D 투자 비중에 대해 2025년 4.0%의 목표를 제시했다. 2010년 발표된 「2040 과학기술 미래비전」에서는 GDP 대비 5.0%를 목표로 설정한 바 있다. 독일, 영국 등 해외 국가들도 GDP 대비 R&D 투자 비중을 향후 지속적으로 늘려나갈 계획이다.

[291] 예를 들어, 노무현 정부는 혁신경제, 이명박 정부는 녹색경제, 박근혜 정부는 창조경제, 문재인 정부는 포용성장을 정책 의제로 제시하였다.

[292] 일본 종합과학기술회의(CSTI)는 글로벌 환경 변화로 인해 개별 부처별 대응이 어려운 이슈에 대처하기 위해 '과학기술혁신청추진비'라는 별도의 사업비를 확보하여 예산을 신속성 있게 운영하고 있으며, 스위스 국립과학재단은 연간 연방정부지원금의 10% 이내에서 예비비를 사용할 수 있도록 허용되어 있다(과학기술정보통신부(2018.7.26.), 국가기술혁신체계(NIS) 고도화를 위한 국가R&D 혁신방안(안)).

[293] 양승우 외(2016), 정부 R&D 전략과 추진체계 개선방안, 과학기술정책연구원..

[294] 과학기술문화와 관련된 활동의 범위는 국민의 과학기술 소양과 지지도를 높이기 위한 활동, 합리적 사고방식과 과학적 마인드를 형성하기 위한 활동, 청소년의 과학 교육 및 우수한 인력의 과학기술계 진출을 도모하는 활동, 과학기술과 관련된 다양한 문화예술 창작활동, 대중의 다양한 수요를 반영한 과학 콘텐츠를 제공하는 활동, 과학기술과 사회의 상호소통 및 합의 활동 등을 포함한다(최연구 외(2012.12.), 제3차 과학기술문화확장

5개년(2013-2017)계획 수립 정책연구, 한국과학창의재단).

[295] 우리나라 성인들의 과학기술에 대한 관심도는 2000년 36.8점에서 2004년에는 49.5점, 2010년에는 49.9점으로 높아졌다가 이후 낮아져 2018년에는 39.2점으로 나타났다. 이는 2016년 미국의 63.7점과 비교하면 낮은 수준이다(한국과학창의재단(2019.1.), 2018 과학기술 국민 인식 조사 결과 보고서).

[296] 대중적 과학자의 대표적인 사례는 칼 세이건, 리처드 도킨스 등이 있다. 칼 세이건은 미국의 천문학자이자 작가로, 천문학을 비롯한 자연과학을 대중화하는 데 앞장선 과학자이다. 1980년 다큐멘터리 「코스모스」를 제작하였는데 60여 개국에서 약 5억 명이 시청할 정도로 대중적인 성공을 거두었다. 이를 바탕으로 발간한 「코스모스」, 역시 베스트셀러에 올랐다. 리처드 도킨스는 영국의 진화생물학자이자 작가로, 1976년 저서 「이기적 유전자」에서 진화에 대한 유전자의 역할을 널리 알리면서 대중적으로 유명해졌다.

[297] 영국의 부처별 과학자문관(CSA, Chief Scientific Adviser)과 같이, 부처 특성에 따라 과학자, 사회과학자, 경제학자 등 다양한 분야의 전문가를 과학자문관으로 임명하는 것을 고려해볼 수 있다..

[298] 플랫폼형 정부(government as a platform)는 오픈소스 소프트웨어 분야의 전문가인 팀 오라일리(Tim O'Reilly)가 구글, 애플, 아마존 등 디지털 플랫폼 기업의 성공 요소를 정부에 적용하기 위해 제안한 개념이다(O'Reilly, Tim (2011), Government as a Platform, innovations 6 (1), 13-40).

[299] COVID-19 확산 당시 공적 마스크의 유통을 위해 정부는 마스크 공급 수량 등의 정보를 제공하고, 민간 기업은 클라우드와 디지털 지도를 제공하였으며, 시민사회는 국민이 쉽게 이용할 수 있는 앱과 웹서비스를 개발하는 등 정책 생태계 내 다수 주체가 국가 위기 상황에서 성공적으로 협력하였다.

[300] 박병원 외(2013), 과학기술 기반의 국가발전 미래연구 V, 과학기술정책연구원.

[301] 현재 진행되고 있는 COVID-19 사태의 경우 직접적으로 방역과 치료를 담당하는 보건복지부뿐만 아니라 치료제 개발을 지원하는 과학기술정보통신부, 출입국을 관리하는 외교부, 경제 및 산업의 피해에 대응하는 기획재정부, 산업통상자원부, 중소기업기업부, 온라인 개학 등 학사운명을 담당하는 교육부 등 다수 정부 부처가 함께 대응하고 있다.

[302] 예를 들어, 지진 및 화산의 경우, 한국지질자원연구원, 원전 사고의 경우 한국원자력연구원, 에너지 위기는 한국에너지기술연구원 등을 전담연구기관으로 지정할 수 있다.

[303] 역사학자 E.H. 카이는 저서 「역사란 무엇인가」에서 "역사는 과거와 현재의 끊임 없는 대화"라고 했다. 그렇다면 미래전략을 수립하는 것은 "미래와 현재의 끊임 없는 대화"라고 표현할 수 있을 것이다.

[304] Kuosa, Tuomo (2012), The Evolution of Strategic Foresight, GowerPublishing.

[305] 백게스팅 기법은 영국, 네덜란드 등 해외 여러 나라에서 이미 기후변화 대응, 교통 시스템 개선 등의 정책에 활용하고 있다.

[306] 정부-민간 합동작업단(2006.8.), 「함께 가는 희망한국 VISION 2030」.

[307] 과학기술기본법 제7조 1항은 과학기술기본계획에서 과학기술발전전에 관한 중장기 정책 목표와 방향을 설정하도록 규정하고 있다.

[308] 과학기술기본법 제13조 1항에서는 과학기술예측조사에서 과학기술의 발전 추세와 그에 따른 미래사회의 변화를 예측하도록 규정하고 있다.

[309] 과학기술기본법 제7조의 2 1항에서는 국가연구개발사업 예산의 전략적 투자를 위하여 국가연구개발 중장기 투자전략을 수립하고 국가연구개발의 중장기 투자 목표 및 방향 등을 포함하도록 규정하고 있다.

「대한민국 과학기술 미래전략 2045」 수립 참여자 명단

2045 미래전략위원회

위원장	정철희(삼성전자)	
위원	곽수진(더쉐이크크리에이티브)	김중해(고등과학원)
	김소영(한국과학기술원)	명재민(연세대학교)
	박상열(한국표준과학연구원)	부하령(한국생명공학연구원)
	손병호(한국과학기술기획평가원)	송재복(고려대학교)
	엄낙웅(한국전자통신연구원)	오대일(AP위성)
	오세현(SK텔레콤)	이석봉(대덕넷)
	이승은(솔베이코리아)	이인규(경북대학교)
	이준이(부산대학교)	이준호(서울대학교)
	전영환(홍익대학교)	조월렴(이화여자대학교)
	최정웅(LG사이언스파크)	

과학기술 분과위원회

위원장	엄낙웅(한국전자통신연구원)	
위원	김덕진(서울대학교)	김도근(재료연구소)
	김영록(한국외국어대학교)	나준호(LG경제연구원)
	박두상(한국생명공학연구원)	박주형(한국기계연구원)
	배일한(한국과학기술원)	부하령(한국생명공학연구원)
	서영덕(한국화학연구원)	손일곤(삼성디스플레이)
	안재명(한국과학기술원)	안형준(과학기술정책연구원)
	윤재호(한국에너지기술연구원)	윤지웅(경희대학교)
	이상협(한국연구재단)	이승민(한국전자통신연구원)
	이정익(한국전자통신연구원)	이황희(전남대학교)
	임종빈(한국항공우주연구원)	정성진(한국뇌연구원)
	정지범(울산과학기술원)	조문호(포항공과대학교)
	조월렴(이화여자대학교)	진 경(극지연구소)
	차필령(국민대학교)	천승현(세종대학교)
	최준호(중앙일보)	

혁신생태계
분과위원회

위원장	이준호(서울대학교)	
위 원	광수진(더쉐이크크리에이티브) 김성우(김앤장) 박희덕(세마트랜스링크) 심우현(행정연구원) 양현모(전략컨설팅집현) 원유형(한국과학기술연구원) 이은경(전북대학교) 이준이(부산대학교) 정지범(울산과학기술원) 조대연(스마트시티사업단) 한국현(삼영기계) 허현희(한국연구개발서비스협회)	김미곤(보건사회연구원) 박상욱(서울대학교) 송지희(서울시립대학교) 안두현(과학기술정책연구원) 오세현(SK텔레콤) 유인상(LG CNS) 이정재(한국과학기술기획평가원) 임정욱(스타트업얼라이언스) 정혜동(전자부품연구원) 최연구(한국과학창의재단) 한성수(한국전자통신연구원)

지역 토론회 및
스타트업 전문가
간담회

대 전	남승훈(출연(연)과학기술인협의회총연합회) 양성광(연구개발특구진흥재단) 이순석(한국전자통신연구원)	박윤원(한국과학기술단체총연합회) 유용균(한국원자력연구원) 천홍석(트위니)
광 주	김성진(광주테크노파크) 나경수(전남대학교) 신말식(전남대학교)	김준하(광주과학기술원) 노광철(에어랩) 이길행(한국전자통신연구원)
부 산	김병진(부산산업과학혁신원) 박성백(코노텍) 옥영석(부경대학교)	김효정(부산대학교) 송복득(한국전자통신연구원) 정주철(부산대학교)
스타트업 전문가 간담회	김영록(넥스트챌린지) 신혜성(와디즈) 오지현(서울대학교 창업동아리 SNUSV)	노광철(에어랩) 오재철(아이온커뮤니케이션즈) 전화성(씨엔티테크)

자문 전문가

강진원(한국과학기술기획평가원)	권준용(국방과학연구소)	김도훈(아르스프랙시아)
김민수(한국전자통신연구원)	김용삼(한국생명공학연구원)	김용태(포항공과대학교)
김재광(한국뇌연구원)	김준모(건국대학교)	김휘용(경희대학교)
문명재(연세대학교)	박기열(한국고용정보원)	박기범(과학기술정책연구원)
박문수(한국생산기술연구원)	박병원(과학기술정책연구원)	박성원(국회미래연구원)
박찬수(과학기술정책연구원)	박환일(과학기술정책연구원)	손수정(과학기술정책연구원)
송위진(과학기술정책연구원)	송재준(국가과학기술연구회)	이도형(한국과학기술기획평가원)
이민형(과학기술정책연구원)	이세준(과학기술정책연구원)	이연희(경기도경제과학진흥원)
이재신(중앙대학교)	이정원(과학기술정책연구원)	이종관(성균관대학교)
임 현(한국과학기술기획평가원)	장진규(과학기술정책연구원)	주 원(현대경제연구원)
최준석(한국건설기술연구원)	홍성민(과학기술정책연구원)	황석원(과학기술정책연구원)
황윤하(한국미래전략연구소)		

전략 수립
총괄

과학기술정보통신부	고서곤	김동준	김성수
	김태윤	류광준	박길재
	이성봉	이영경	임요업
	정승지	황용준	황한진

과학기술정책연구원	연구 책임	최병삼	연구 감수	조항희
	연구 참여	김단비		백서인
		양희태		우청원
		이예원		진설아
		홍성주		

한국과학기술원	연구 책임	서용석	연구 감수	정재승
	연구 참여	강혜리		강홍열
		안혜림		이병기
		이소현		임대근
		허경무		

발 간 등 록 번 호

11-1721000-000472-14



과학기술정보통신부