

# TePRI

REPORT 2021 Autumn \_vol.118



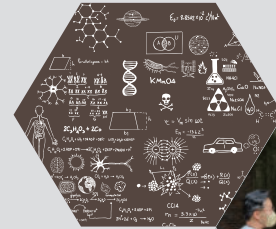
2021 Autumn \_vol.118



Zoom IN



Asight



Atheneum

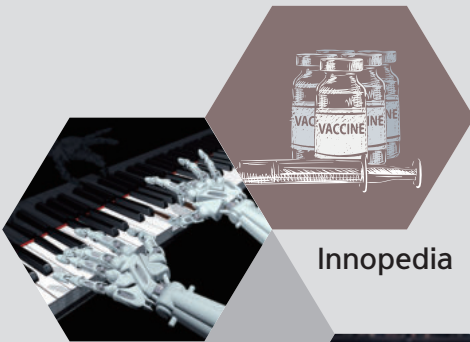


ROUND table

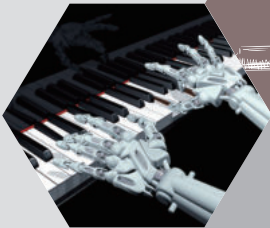


New's PAPER

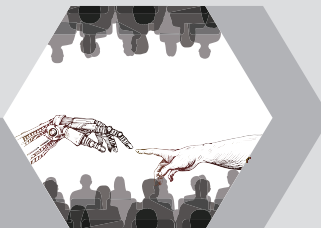
Impact NOTE



Innopedia



POPscicle



hiS&Tory



LAW&science

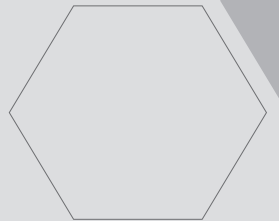


Hello! WORLD

POLICY focus

# CONTENTS

- 04 **Zoom IN**  
초변화 대전환 시대의 과학기술 R&D와 ESG
- 06 **人sight**  
김복철 국가과학기술연구회 이사장  
하성도 기초과학연구원(IBS) 부원장
- 18 **Atheneum**  
어떤 연구를 할 것인가?
- 27 **ROUND table**  
우수 연구성과 창출을 위한 R&D 기획 방안
- 33 **Impact NOTE**  
양자혁명 2.0 시대의 예고: 양자기술과 양자컴퓨터
- 39 **New's PAPER**  
시대를 초월한 혁신의 지리학: 역사 속 도시의 다양성과 혁신 활동의 관계 외 2건
- 48 **Innopedia**  
예측 기반 백신 개발: 미래 바이러스 전쟁의 첨단 무기
- 50 **POPscicle**  
기계가 피아노 연주를 이해할 수 있을까
- 52 **LAW&science**  
국가연구개발혁신법의 제정과 기술료 납부제도의 변화
- 55 **hiS&Tory**  
인간-기계 융합과 우리의 자화상
- 58 **Hello! WORLD**  
포스트코로나 시대, 독일 과학기술정책의 변화: 기술주권 확보를 위한 임무지향적 연구개발 추진
- 65 **POLICY focus**  
탄소중립 기술혁신 추진전략: 10대 핵심기술 개발방향 외 2건



# 초변화 대전환 시대의 과학기술 R&D와 ESG

주영섭 서울대학교 공학전문대학원 특임교수/ 前 중소기업청장, ysjoo@snu.ac.kr



우리는 지금 전 세계가 전대미문의 총체적 변화를 겪는 초변화 대전환 시대에 살고 있다. 경제, 사회, 환경, 정치, 문화 등 모든 면에서 과거 경험하지 못한 엄청난 규모, 범위, 속도의 초변화가 진행되고 있다. 세계 경제는 2008년 촉발된 글로벌 금융위기를 겪으며 1980년대부터 30년간 구가해온 고성장 시대를 마감하고 저성장 시대에 접어들게 되었다. 저성장의 고착화로 세계는 일자리 총수가 늘어나지 않아 한 나라의 일자리가 늘어나면 다른 나라의 일자리가 줄어드는 '일자리 제로섬' 상황이 전개됨에 따라 자국우선주의, 보호무역주의가 팽배해지면서, 결국 영국이 EU를 탈퇴하는 브렉시트, 아메리카 퍼스트의 트럼프즘이 진전되고 결국 미국과 중국이 격돌하는 G2 무역전쟁, 패권경쟁

으로 급진전되고 있다. 동시대에 태동되기 시작한 4차 산업혁명은 인공지능, 데이터, 사물인터넷, 로봇 등 기술혁신이 중심이 된 디지털 트랜스포메이션으로 산업, 기업과 생활은 물론 경제, 정치, 사회 전반에 대변혁을 가져오고 있다. 또한, 기술의 변화와 혁신이 광속으로 이루어지고 있다. 특히, 미국 라스베이거스에서 매년 1월 열리는 세계 최대의 기술 전시회인 CES에서 향후 10년을 '데이터의 시대'라 정의하고, 사물인터넷과 5G가 만드는 초데이터를 초지능 AI가 분석하여 새로운 부가가치와 성장동력을 만드는 사물인터넷리스가 '데이터의 시대'의 핵심이 될 것이라 발표하였다. 아울러, 디지털 네이티브라 불리는 MZ 세대의 신주류 부상 등 사람의 변화, 포용적 자본주의인 자본주의 4.0의 부상으로



대변되는 자본주의의 변화, 그에 따른 정부 정책 및 기업 경영철학의 변화 등 모든 면에서의 초변화가 동시에 이루어지고 있다. 여기에 코로나19 팬데믹으로 인해 전 세계 경제와 생활 전반에 엄청난 변화의 충격이 진행되면서 이러한 총체적 초변화가 더욱 가속되고 있다. 당면한 기후 위기 대응을 위한 세계적 탄소중립 정책도 새로운 대변화를 예고하고 있어 초변화 대전환 시대의 소용돌이는 예측불허의 불확실성과 함께 날로 거세질 것으로 전망된다.

이상과 같은 초변화 대전환 시대의 특성을 면면히 살펴보면, 이 시대의 승자가 되기 위해서는 단연 과학기술 역량이 가장 중요함을 알 수 있다. 4차 산업혁명, G2 패권경쟁, 세대 변화, 코로나19 팬데믹, 기후위기 등 초변화 대전환 시대의 핵심에는 과학기술이 있는 것이다. 기술혁신이 광속으로 발전되면서 ‘모든 기업의 테크기업화’, ‘모든 국가의 테크국가화’ 등 과학기술이 생존과 발전의 핵심 요건이 되고 있다.

정부 및 민간 R&D를 아우르는 국가 과학기술 R&D는 이러한 초변화 및 대전환의 시대적 요구와 시대 정신을 반영해야 한다. 과학기술 R&D 전략에 있어서 가장 중요한 ‘무엇을 연구할 것인가’에 대해 절대적 정답이 있을 수는 없으나, 시대 정신에 입각하여 국민과 사회가 체감할 수 있는 R&D가 되어야 한다는 요구가 커지고 있다. 이러한 맥락에서 최근 세계적 화두로 급부상한 ESG(환경·사회·지배구조)를 주목할 필요가 있다. ESG는 환경(Environment), 사회(Social), 지배구조(Governance) 측면을 경영의 중심에 두는 기업이 그렇지 않은 기업보다 경영 성과가 좋다는 가설에 근거를 두고 있다. 세계 양대 기술전시회로 올해 모두 온라인으로 열린 라스베이거스 CES와 하노버 산업박람회도 공히 ESG가 핵심 키워드였다. ESG는 기업 경영에서 투자 및 금융을 넘어 무역, 국가 경영에 이르기까지 열풍처럼 확산되고 있어 과학기술계에서도 ESG에 대한 올바른 이해와 함께 과학기술 R&D의 핵심에 ESG를 내재화시키는 것이 중요하다. ESG 열풍은 초변화 대전환 시대의 총체적 변화 중에서도 환경과 사회 문제, 공정성 이슈에 민감하게 반응하는 MZ 세대의 신주류 부상, 심화되는 사회 양극화의 대안으로 포용적 자본주의의 부각, 기후위기에 대응하는 탄소중립의 새로운 규범화가 핵심적 배경이자 원인이 되고 있다. 즉, ESG는 지나가는 한시적 유행이 아니라 초

변화 대전환 시대를 관통하는 시대정신이자 생존 및 성공 요건이 되고 있는 것이다.

ESG 기반의 과학기술 R&D는 개발자 중심이 아니라 수요자 중심으로 국민, 사회, 국가와 인류가 당면하고 있는 문제(Pain Point)의 해결, 더 나아가 추구하는 비전의 실현에 목표를 두는 것이다. 사회가 추구하는 비전은 크게 지속가능한 사회, 건강한 사회, 편리하고 스마트한 사회, 안전한 사회, 성장하는 사회라는 다섯 가지 비전으로 정리할 수 있다. ESG의 E(환경)은 지속가능한 사회를 추구한다. 환경 보호라는 수동적 책임에 그치지 않고, 환경·에너지 기술, 에너지절감 기술, 순환경제, 수소경제, 기후위기 대응 기술 등 친환경 기술 개발 및 혁신을 통한 지속 가능성과 성장의 동시 추구가 중요하다. S(사회)는 건강한 사회, 편리하고 스마트한 사회, 안전한 사회, 성장하는 사회를 추구한다. 단순한 사회 공헌이나 사회적 책임에 그치지 않고, 사회의 Pain Point를 해결하고 건강·안전·편리·성장·지속가능 등 사회가 추구하는 비전과 가치를 만족시키는 것을 제품과 서비스 등 비즈니스 모델에 내재화시킴으로써 사회의 존경과 팬덤을 얻어 사회적 책임과 성장의 동시 추구가 가능해진다. 이 역시 기술 개발과 혁신이 핵심이다. G(지배구조)는 사회가 추구하는 비전을 달성하는 과정에서의 의사결정을 지배하는 구조의 최적화를 추구한다고 볼 수 있다. 즉, ESG 중심의 과학기술 혁신은 지구 환경 및 사회 문제 해결과 함께 우리 사회 및 국가가 추구하는 비전과 가치를 실현함으로써 “국민의 마음 얻기”를 통한 국가와 사회, 국민, 과학기술의 공동 발전을 추구할 수 있다. 정부 과학기술 정책 수립에서도 늘 강조하고 있는 국민 체감형 연구개발(R&D)이 구조적으로 이루어질 수 있는 것이다.

초변화 대전환 시대의 거대한 소용돌이 속에서 우리나라도 시대정신으로 부상하고 있는 ESG를 중심에 두는 국가 과학기술 혁신 정책 수립이 필요하다. 과학기술을 위한 과학기술 혁신이 아니라 앞서 사회·국민·국가·인류의 비전 실현을 목표로 한 중장기 R&D 전략 로드맵이 수립되어야 한다. ESG는 기업 경영, 투자, 금융, 무역을 넘어 국가 경영, 특히 국가 과학기술 혁신의 중심이 되고 있다. **KT**



‘세계 일류의 공공연구기관 시스템을 향하여’

**김복철 국가과학기술연구회 이사장**

지난 7월 출연(연) 출신 최초의 연구회 수장으로 김복철 前 한국지질자원연구원 원장님께서 임명되었습니다.  
제4대 국가과학기술연구회 김복철 이사장님을 모시고  
대한민국 과학기술을 이끌 출연(연)과 연구회의 미래에 대해 말씀을 나누었습니다.

김종주 미래전략팀 책임연구원, jongjoo@kist.re.kr  
구병석 미래전략팀 연구원, koobs@kist.re.kr

**Q 다시 한 번 이사장 취임을 진심으로 축하드립니다.  
소감과 앞으로의 포부를 여쭙고 싶습니다.**

우리는 현재 4차 산업혁명, 기후 변화, 탄소 중립, 에너지 혁명, 바이오 혁명 등으로 대변되는 기술 대변혁의 시대를 살아가고 있습니다. 미래 학자들의 예측에 따르면, 지난 20세기 후반부터 가속화된 과학기술 혁명의 연장선에서, 향후 20년은 우리 인류가 과거에는 한 번도 경험 하지 못한 과학기술 발전의 질풍노도 시기가 될 것이라고 합니다. 과거에는 '변화에 적응하는 자가 살아남았다면, 오늘날과 같은 대전환의 시대에서는 '변화를 주도하는 자가 살아남을 것입니다. 이러한 상황 속에서 우리는 현재 어떠한 미래로 향할 것인지 결정해야 하는 기로에 서 있다고 할 수 있습니다. 그리고 이제 그 변화를 이끌어 나가는 주역은 출연(연)이 되어야 한다고 생각합니다.

저의 임무는 25척의 배와 2만여 명의 승조원으로 이루어진 출연(연) 함대가, 어떤 목표를 향해서, 어떤 방식으로 임무를 제대로 완수할 것인지에 대한 큰 그림을 그리고, 그 기반을 착실하게 다짐으로서, 미래로 향하는 대한민국의 건강한 혁신을 지원하는 것이라 생각합니다. '배는 항구에 있을 때 가장 안전하다. 그러나 그것이 배의 존재이유는 아니다.' 라는 말처럼 출연(연)이 현실에 안주하지 않고 국가 미래 핵심기술의 이니셔티브를 확보하며, 국민이 공감하는 출연(연)으로서 역할과 책임을 다해야 합니다.

세계 주어진 막중한 책임에 어깨가 무겁기도 하지만, 출연(연)과 국가

과학기술연구회 구성원들이 한마음, 한뜻으로 뭉치면 불가능은 없다고 생각합니다. 새로운 비전과 각오로 더 나은 미래를 꿈꾸며, 출연(연)의 세계 일류화를 만들어가는 여정을 충심으로 이끌고자 합니다.

**Q 출연(연)을 국가와 국민이 공감하는 국가대표 공공연구 기관으로 만들겠다는 비전을 제시하셨습니다. 비전에 담긴 이사장님의 철학과 핵심 가치에 대해 자세한 설명을 부탁드립니다.**

대한민국 정부출연(연)은 1966년 KIST 설립을 필두로 그동안 과학기술의 불모지였던 대한민국의 연구개발 생태계의 발전을 선도하며, 국가 주요 산업을 견인하고, 경제성장과 과학기술 경쟁력 확보의 최전선에서 활약해 왔습니다. 하지만 2000년대에 들어서면서 대학과 민간기업 등 다양한 혁신주체가 급격히 성장하고, 국민이 체감할 수 있는 출연(연)의 대형 성과가 줄어들면서, 점차 출연(연)의 역할과 존재감에 대한 논란이 커져왔던 것이 사실입니다.

이에 따라 PBS(Project Based System) 도입, 연구회 체제로의 거버넌스 변화과정을 거쳐서, 지난 2014년부터 25개 과학기술계 정부출연(연)이 국가과학기술연구회라는 단일 연구회 체제로 통합되어 오늘에 이르고 있습니다. 통합연구회 출범 이후 지난 7년 동안 출연(연)은 변화와 혁신을 지속해 왔습니다. 특히 출연(연)의 역할과 책임(Role & Responsibility)을 새롭게 확장하고, 융합·협력 생태계를 구축하면서 '국가 현안 및 국가



적 난제를 해결하는 임무지향의 출연(연)으로 발돋움하기 위한 많은 노력이 이어지고 있습니다. 그러나 아직도 가야 할 길은 멀고, 특히 4차 산업혁명 시대가 본격적으로 도래하면서 글로벌 기술 경쟁이 심화되고 과학기술이 국가의 패권이 되고 있는 급변하는 시대 속에서, 출연(연)은 '세계적인 연구개발 성과를 통해 국가 생존과 발전에 기여' 한다는 본연의 설립목적을 다하는데 더욱 전념해야 한다고 생각합니다.

과학기술은 미래의 급격한 변화에 대응하는 국가의 핵심자산이며, 출연(연)은 '수월성'과 '공공성'을 최우선 가치로 추구함으로써, 우리나라의 지속가능한 미래 발전을 선제적으로 준비해야 합니다. 집단 연구, 대형 연구 장비·시설 등 출연(연)의 강점을 극대화하여 출연(연)만이 할 수 있는 중·대형연구에 역량을 집중하고 그 성과를 국민들이 향유할 수 있을 때, 비로소 출연(연)이 과학기술 혁신의 중심축으로 우뚝 설 수 있고 국민의 신뢰도 확보할 수 있을 것입니다. 그 중심에서 연구회는 연구자의 자율성과 창의성, 도전성이 존중받고, 연구에 몰입할 수 있는 환경을 조성하기 위해 최선의 노력을 다할 것입니다.

**Q 2015년부터 3년간, 이사장님께서서는 연구회 정책부장**  
**장을 역임하신 바 있습니다. 그간의 경험으로 비추어**  
**볼 때, 연구회가 집중해야 할 당면 과제는 무엇이라고**  
**생각하십니까?**

저는 연구회의 가장 중요한 역할 중 하나가 출연(연)의 융합생태계를 활성화 할 수 있는 기반을 조성하는 것이라고 생각합니다. 출연(연)이 새로운 미래를 선도하는 국가대표 연구기관으로 재도약하기 위해서는 출연연 주도의 '미래지향적 융합혁신 생태계 조성'이 매우 중요하다고 생각합니다. 올해 연내에 연구회에서는 '연구개발전략위원회' 출범을 통해 출연(연)간 협력과 소통의 장을 만들고, 지원 규모와 연구비 매칭 방식 등을 포함한 융합연구사업 체계 전반을 혁신(융합 2.0)하여 융합 연구 활성화를 적극적으로 주도해 나갈 계획입니다.

또한, 지난해 과기출연기관법 개정에 따라 출연(연)의 자체감사 기능이 연구회로 통합, 일원화되었습니다. 현재 연구회 내에 감사전담 조직을



## “ 융합과 협력만이 출연(연)의 기나긴 여정을 완수하는 방법 ”

설치하여 운영하고 있으며, 올해 안에 감사위원회 구성을 마무리할 계획입니다. 그리고 연구회 통합감사를 통해 출연(연) 연구 현장의 감사 부담을 최소화하고, 과학기술 분야의 자율적·창의적인 업무특성에 부합하는 맞춤형 감사체계를 구축하는 데 힘을 쏟을 것입니다.

아울러 국토 균형발전 차원의 지역혁신을 보다 체계적으로 지원하기 위해 출연(연)의 57개 지역조직을 활용하여 지역연계 협력사업을 보다 적극적으로 발굴하고 지원을 확대할 계획입니다. 지역인재 육성 및 활용을 통해 일자리 창출을 촉진하고 중소기업 애로기술 지원 체계의 실효성과 지속성을 강화하는 등 출연(연)과 지역의 협력시스템을 고도화할 것입니다. 특히 출연(연)의 고급 퇴직 인력들이 지역 중소기업과 지역 혁신에 기여할 수 있는 활용체계를 구축하는 데도 최선을 다할 것입니다.

마지막으로 도전적 연구체계를 확산하고 우수연구자를 육성하는 데 초점을 맞추어 출연(연)의 미래지향적 연구문화 조성을 지원하고, PBS 제도 등에서 파생되는 애로사항들을 점진적으로 개선하여 연구자들의 연구몰입 환경을 개선하는 데 매진하겠습니다.

**Q 최근 기후변화, 팬데믹 등 어려운 위기 속에서 국가연구개발에 대한 기대가 그 어느 때보다 높습니다. 특히 내년도 정부 R&D 예산은 크게 확대되어 30조원 수준에 이른다고 합니다. 앞으로 출연(연)의 역할 및 연구 방향에 대하여 이사장님의 의견을 여쭙습니다.**

출연(연)은 국가 과학기술 혁신주체의 한 축으로서 공공성을 근본가치로 삼아 대학과 산업체가 '하기 어려운' 혹은 '꼭 해야 하는' 연구에 집중

해야 합니다. 이러한 연구들의 대표적인 특징으로는 '돈이 되지 않지만 가치 있는 연구', '국가적으로 반드시 해야 하는 공공분야의 기반·원천 연구', '기업들이 도전하기 어려운 고위험의 중장기 연구' 등이 있습니다. 연구회는 이러한 출연(연)만이 할 수 있는, 또는 출연(연)이 해야만 하는 공공부문에서의 임무지향 연구협력을 더욱 지원해 나갈 것입니다.

또한 핵융합, 양자컴퓨터, 항공우주, 바이오·헬스 등 미래사회를 이끌 어갈 잠재력과 파급력을 가진 기술주도형(Technology-Push) 연구에 집중하고, 동시에 메타버스, 블록체인, 스마트 시티 기술 등 인문사회적 측면에서 세상을 예측하고 바람직한 미래상을 달성하기 위한 수요견인형(Demand-Pull) 기술 발굴에도 출연(연)이 적극적으로 힘을 쏟아야 합니다. 이를 통해 출연(연)은 국가의 장기적 미래에 대비한 공공R&D의 큰 방향을 제시하고, 한편으로는 그것을 실현할 수 있는 안정적이고 지속적인 연구개발을 통해 국민이 체감할 수 있는 우수 성과로 이어질 수 있도록 해야 합니다.

특히 각 출연(연)은 고유의 핵심 강점에 기반하여 명확한 역할 차별화를 추구하되, 융합과 협력의 기회를 끊임없이 탐색해야 합니다. 연구와 제도에 있어 각 출연(연)의 좋은 모범 사례가 공유되고 확산될 수 있도록 연구회는 앞으로 출연(연) 간, 출연(연)-대학-기업 간의 소통과 대화의 장을 적극 확대해 나갈 것입니다. 우리 출연(연)에게는 앞으로 멀고 지남하고 험난할 수 있는 길이 펼쳐져 있지만, 서로 더욱 격려하고, 진심으로 협력할 수 있도록 노력한다면, 그리고 협력과 융합만이 우리 모두가 함께 살 수 있는 길이라는 철학이 공유된다면 훨씬 수월하고 멋진 여정이 될 것이라 생각합니다. 해마다 머나먼 거리를 이동하는 기러기 떼는 V자 대형을 이루어 서로 응원하고 의지하며 긴 여정을 완수해냅니다. 바로 그러한 정신이 우리 출연(연)에게도 필요한 때라고 생각합니다.

**Q** 지난 8월, 취임 첫 기자간담회에서도 출연(연) 간 융합 연구의 중요성에 대해 크게 강조하셨습니다. 그 이유와 앞으로 융합생태계 발전을 위한 이사장님의 복안을 듣고 싶습니다.

지난 2014년 단일 연구회 체제 설립의 중요한 취지 중 하나는 단연 출연(연)의 융합생태계를 조성하는 것이었습니다. 그간 연 900억 원 내외의 예산을 투입하는 융합연구사업을 통해 출연(연)과 산학연 관련 연구자들이 한곳에 모여 연구하는 ‘융합연구단’을 운영하는 등 융합과 협력의 문화를 정착하기 위해 제도적 기반을 다져왔습니다.

이제 사업 시행 이후 6년이 지난 시점으로 융합연구사업의 성과가 조금씩 가시화되고 있습니다. 2014부터 2020년까지 출연(연), 대학, 기업 등 2만명이 넘는 연구자가 240여개 과제를 수행하였고, 그 중 2,800여명 연구원이 한 공간에서 함께 모여 연구하는 융합연구단에 참여하여 괄목할만한 성과를 거두었습니다. 지난 3월 면역치료제 융합연구단은 백혈병, 간암, 폐암 등 난치성 암 치료기술을 연구하여, 1,500억원이 넘는 대형 기술이전 성과를 도출하기도 했습니다. 또한 총 51개의 연구회 융합연구과제가 종료된 이후 타 과제로 연계되어 이어달리기 사업 성과를 지속 달성하고 있습니다.

이러한 경험과 제도적 기반을 바탕으로 융합연구가 우리 출연(연)에 보다 일상화되고 미래지향적인 혁신 생태계를 조성하기 위해 더욱 힘을 쏟을 것입니다. 우선 기존의 융합연구사업 제도를 개선하고 신규 융합연구사업 트랙을 신설하는 등 사업운영 체계 전반의 혁신을 추진하고자 합니다. 예를 들어, 출연(연)의 연구비 매칭 비율을 현재 50%에서 20~30% 수준으로 낮추고, 온사이트(On-site) 연구 방식을 고도화하여 연구자가 융합연구사업에 더욱 적극적으로 참여하도록 독려하는 방안을 마련하고 있습니다. 또한, 현재 운영 중인 연 80~100억원 규모의 ‘융합연구단 사업’과 20억 원 규모의 ‘창의형 융합연구사업’ 사이를 잇는 40~50억 원 규모의 새로운 융합연구트랙을 구축할 계획입니다. 새 융합연구사업은 원천기술 확보에 특화되어 최대 9년(3+3+3)간 중장기 단일 연구를 수행하는 방식이 될 것으로 기대합니다.

마지막으로 출연(연) 연구자가 주도적으로 참여하는 ‘연구개발전략위



원회’를 연내 출범시키고, 산하에 ‘융합사업위원회’를 만들어 융합연구사업의 발굴·기획·제도 개선 등의 업무를 총괄할 방침입니다. 이를 통해 출연(연) 간의 소통을 강화하고 연구자들이 직접 참여하는 협력연구 환경을 조성해 나가고자 합니다.

**Q** 블라인드 채용 개선 등 연구 현장에 더욱 적합한 제도 도입을 위해 고심이 많으신 줄 압니다. 연구자의 창의 성과 도전 정신을 위해 연구회가 어떤 역할을 맡을지 궁금합니다.

2017년 도입된 블라인드 채용 제도는 ‘능력중심 공정채용’이라는 취지에 따라 채용 절차상의 편견과 불합리한 차별을 줄이는 등 나름의 순기능도 부정하지 어렵습니다. 그러나 연구 현장에서는 R&D 특성을 적절히 반영하지 못한 현재의 제도가 우수 연구인력 선발에 걸림돌이 되고 있다는

지적이 계속되고 있습니다.

우수한 연구인력의 확보는 곧 출연(연)의 경쟁력 확보에 가장 핵심적인 토대가 됩니다. 연구개발목적기관인 출연(연)의 석·박사급 연구인력 채용에서 지원자의 출신학교, 연구실, 지도교수 등의 정보는 '편견·차별적' 요소가 아니라 연구경력을 평가하기 위한 기본정보로 인정되어야 합니다. 또한, 지도교수 등 추천인 기재와 추천서 제출을 허용하여 지원자에 대한 다양한 평가 요소를 활용할 수 있어야 합니다.

연구회는 연구인력 채용에 대한 블라인드 제도 적용 완화를 위하여 연구 현장 의견 수렴과 함께 관련 부처 협의 등 다양한 노력을 지속해오고 있습니다. 올해 초에는 조명희 의원실을 통해 「채용절차법」개정 발의를 지원했으며, 관련 진행 상황을 지속적으로 모니터링하고 지원할 예정입니다.

한편, 성공·실패로 구분 짓는 R&D 평가시스템, 실패 시 연구자에게 부과되는 책임과 페널티 등 현재의 R&D 체계와 문화에서는 여전히 연구자의 창의성과 도전 정신이 발현되기 어려운 측면이 있습니다. “나는 실패를 한 것이 아니라 수천 개의 틀린 방식을 발견한 것이다.” 라는 에디슨의 말처럼, 혁신적이고 도전적인 연구는 연구 결과의 성패(成敗)로 그 가치를 측정하기 어려우며 수행 그 자체로도 훌륭한 의미를 지닙니다.

따라서 결과 보다는 과정 중심의 평가를 통해 목표를 부분적으로는 달성하지 못하였더라도 도전적인 목표 설정을 존중하여 '도전' 자체에 의미를 부여하고, 연구자의 창의성과 자율성을 극대화할 수 있는 연구환경을 구축해야 합니다. 연구회는 연구자가 실패에 대한 두려움 없이 자긍심을 가지고 창의적이고 도전적인 연구에 매진할 수 있도록 도전적 연구체계(PRIDE시스템)를 출연(연)에 지속 확산시켜, 성실한 도전에 대한 가치를 인정하는 문화를 조성할 수 있도록 앞으로도 역할을 다 할 것입니다.

**Q** 최근 출연(연) 정책의 큰 변화 중 하나는 감사 업무 일원화입니다. 기존 감사 제도와 비교하여 새로운 제도가 어떤 방향으로 발전되고 정착될 것으로 기대하십니까?

감사 업무에 있어서도 무엇보다 연구자가 창의적이고 도전적인 연구에 전념할 수 있도록 연구몰입 환경을 조성하는 것이 중요합니다. 이를 위해서는 기존에 적발 위주로 이루어지는 연구비 집행 사후 감사를 지양하고 연구 과정에서 발생하는 절차상 미흡한 점을 개선할 수 있도록 예방 중심의 감사로 방향을 전환할 필요가 있습니다. 특히 연구기관 특성을 반영하여 일관적이고 선진화된 감사 시스템을 갖추기 위해 기관별 감사 기능을 연구회로 이관하여 감사의 기준과 방법을 일원화하고 기관 자체감사 활동의 독립성과 전문성을 강화하고자 합니다.

자체감사 중 일상감사와 복무감사는 각 출연(연)에서 자율적으로 실시할 수 있도록 하여 중대 부정행위를 방지하고 윤리경영을 확대하는데 출연(연)과 연구회가 함께 노력할 것입니다. 또한, 출연(연)에 특화된 감사 교육과 방법론을 개발하여 감사 전문성과 효율성을 지속적으로 제고하는 한편, 외부기관의 감사 횟수를 줄여나갈 수 있도록 관련 기관과 협의해 나갈 계획입니다. 이를 통해 앞으로 연구자들이 감사로 인해 위축되지 않고 연구 활동에 전념할 수 있는 토대가 마련될 것으로 기대됩니다.

**Q** 이사장님께서서는 30여년 넘게 지질과학에 헌신한 연구자이자 출연(연) 경영자로서 활동하셨습니다. 그간 특별히 기억에 남는 일, 뜻깊은 순간들이 궁금합니다.

지질연 원장으로 재직하면서 연구소 조직 문화를 개선하기 위해 많은 노력을 기울였고 소기의 성과도 거두게 되어 매우 뿌듯하게 생각합니다. 조직문화 혁신을 연구소의 첫 번째 성과목표로 설정하여 전 구성원이 함께 고민하여 설정한 '전문성, 존중, 소통의 핵심가치'를 공유하고 공감대를 형성하는 데 함께 힘써주셨습니다. 아울러 연구소 내 크고 작은 일들에 대해 구성원의 자발적인 토론·합의 문화가 새롭게 정착되는 등 눈에 띄는 변화가 있었고, 2021년 국내 4,500개 기업을 대상으로 분석한 '대한민국 최고의 직장' 순위에서는 전체 5위에 오르기도 했습니다. 한 조직의 문화를 바꾼다는 것은 매우 어렵고 지난한 과정이지만, 구성원들이 뜻을 한 데 모으면 결코 불가능하지 않다는 것을 다시 한 번 깨달을 수 있었습니다. 이러한 경험을 토대로, 25개 출연(연) 전반에 걸쳐 연구자의 도전 정신, 활발한 소통과 교류가 이루어지는 문화를 조성하는 데 최선의 노력을 다하겠습니다.

**Q** 마지막으로 25개 출연(연) 구성원을 포함한 대한민국 과학기술계에 전하실 말씀이 있으시지요?

2014년 통합연구회 출범 이후 현재에 이르기까지 출연(연) 시스템 및 평가제도 상에 많은 변화가 있었습니다. 출연(연) 구성원의 노력으로 상당 부분 소기의 목적을 달성한 것도 사실이지만 여전히 우리가 해결해야 할 과제는 산적해 있습니다. 이제 출연(연) 혁신에 대한 공감대는 충분히 자리 잡았고, 최근의 소재·부품·장비 사태, 감염병 등 다양한 국가적 위기에서의 출연(연)의 역할과 대응은 출연(연)에 대한 국민의 인식과 기대를 높이는 계기가 되었습니다. 현 시점은 우리가 출연(연)의 존재 목적을 되돌아보고, 이를 토대로 보다 본질적이고 근본적인 변화를 이룰 수 있는 모멘텀을 확보할 수 있는 기회라고 생각합니다.

정부 차원의 정책, 연구회의 지원도 중요하지만 무엇보다도 출연(연) 연구자들은 개개인이 갖는 숭고한 역할과 책임을 다시 한 번 떠올렸으면 합니다. 국가 과학기술에 공헌한다는 명예와 자존감, 그 숭고한 꿈을 이루기 위한 치열한 고민은 우리의 뿌리라고 할 수 있을 것입니다. 혼란스럽고 어려운 시기에 출연(연)이 퍼스트무버 연구집단으로서 새로운 도약을 이루기 위해서는 변화 그 자체에 대해 의미를 두지 않고 오히려 우리의 본질과 뿌리를 굳건히 해야 한다고 생각합니다. 그것이 우리 스스로 진정한 혁신을 이룰 수 있는 방향타가 되어줄 것입니다. 2만여 명의 출연(연) 구성원이 대한민국의 미래를 이끌어 간다는 자긍심을 가지고 힘을 모은다면 불가능은 없다고 생각합니다.

앞으로도 연구회는 출연(연) 연구자가 두려움 없이 도전할 수 있도록, 산·학·연이 거침없이 융합하고 협력할 수 있도록, 이를 통해 대한민국 출연(연)이 ‘국가R&D 플랫폼’, ‘국제협력 플랫폼’, ‘지역혁신 플랫폼’으로서 세계 일류의 공공연구기관 시스템으로 발돋움하도록 최선을 다하겠습니다. 여러분 모두 각자의 이상과 꿈을 안고 미래를 향한 여정에 동참해주시길 바랍니다. 감사합니다. **ktg**

주요약력

김복철 이사장

- ▲ 現 국가과학기술연구회 이사장
- ▲ 前 한국지질자원연구원 원장
- ▲ 前 국가과학기술연구회(NST) 정책지원본부장·정책본부장
- ▲ 前 대한자원환경지질학회 회장
- ▲ 연세대학교 지질과학 이학사·석사·박사





‘대한민국 기초과학의 중심에서’  
하성도 기초과학연구원(IBS) 부원장

이번 TePRI *sight*에서는 올해 열 돌을 맞은 IBS를 축하하며,  
 하성도 기초과학연구원(IBS) 부원장님을 모시고  
 IBS의 지난 10년과 앞으로의 10년에 대해 들어보았습니다.

김종주 미래전략팀 책임연구원, jongjoo@kist.re.kr  
 박지은 미래전략팀 연구원, jepark@kist.re.kr

**Q IBS 부원장으로 취임하신지 벌써 곧 1년이 됩니다. IBS 첫 부원장으로서 1년은 어떠셨는지요?**

예 우선 제가 2012, 13년에 2대 소장으로 함께 일했던 TePRI에서 인터뷰를 위해 찾아주시니 반갑고 큰 영광입니다. 감사드립니다. 제가 IBS의 부원장 임기를 시작한 게 작년 11월 초였으니, 벌써 시간이 그렇게 되었네요. IBS에서는 작년에 효율적인 행정시스템 운영을 위해 부원장직을 신설했습니다. IBS 조직도를 보시면 원장 아래 서른 개의 연구단이 있고, 부원장 아래 모든 행정조직이 소속되어 있어서, 부원장이 행정을 총괄하는 역할입니다.

부원장제도의 취지에 따라 저는 지난 1년간 IBS의 행정이 효율적으로 운영될 수 있도록 노력하였습니다. KIST에서의 행정경험이 많은 저에게 부원장직을 맡긴 이유이기도 하지요.

IBS는 길지 않은 역사에서 알 수 있듯이 매우 젊은 조직입니다. 연구조직 뿐만 아니라 행정조직도 말이지요. KIST에 비해 5년에서 길게는 10년 정도 구성원들의 연령대가 젊습니다. 조직구성원의 대부분은 저보다 젊어서 제가 최연장이다시피 하지요. (웃음) 부원장직 인터뷰를 할 때 제가 그런 얘기를 했었어요. “젊은 사람들과 한 번 일해보고 싶다”고요. 아직 경험은 적지만 에너지가 넘치는 젊은 사람들이 모인 조직에서 틀을 잡아 가는 단계에서 내가 기여 할 수 있다면 참 좋겠다는 생각을 했었지요.

예상했던 것처럼 IBS는 이제 시작하는 단계에 있었습니다. 사실 처음 부원장직을 맡고 얼마 동안은 아주 어려운 숙제를 받은 듯 부담이 크게 느껴지기도 했지만, 다들 이제 배워가는 중이고, 모두 같이 일궈가는

과정 중에 있는 것이죠. 걸음마를 막 떼고 힘찬 걸음을 시작하는 연구소의 성장기를 함께할 수 있어 기쁘고 참 보람차다는 생각을 합니다.

**Q IBS는 본원 뿐만 아니라 30개의 자율적 연구단과 외부 연구단 등으로 구성된 독특한 운영 체계를 갖추고 있습니다. 이와 같이 분산된 형태의 조직을 운영하기란 절대 쉬운 일이 아닐 것 같은데, 부원장님께서 이런 연구원 운영에 있어서 특히 역점을 두셨던 부분이 있을까요?**

연구원 운영이 쉽지만은 않다는 것이 솔직한 대답이겠네요. (웃음). 서른 개의 연구단은 크게 세 개의 그룹으로 나뉘집니다. 우선 본원연구단, 즉 연구단장 및 구성원들이 IBS 소속직원으로 구성되는 연구단이 있고, KAIST, GIST, DGIST, UNIST, POSTECH 5개의 특성화대학의 교수님들이 연구단장을 맡는 캠퍼스 연구단이 있습니다. 그리고 서울대, 연대, 고대, 성균관대, 이화여대, 부산대의 교수님들이 연구단장으로 구성원 모두 해당 대학 소속으로 운영되는 외부연구단이 있습니다. 현재 본부 연구단 9개, 캠퍼스연구단 12개, 외부연구단 9개가 운영되고 있으며, 연구인력은 1,900명 정도 됩니다.

이렇듯 전체 규모도 작지 않은데다 워낙 다양한 분야와 성격의 연구단으로 구성되어 있다 보니 연구를 지원하는 행정부문에 어려움이 많습니다. 현재 이 서른 개의 연구단에 행정지원인력이 분산배치되어 있어서 어려움을 겪고 있지요. 그래서 공통성이 있는 연구단을 묶어서 연구지원 팀을 배치하면 훨씬 만족스럽고 효율적인 행정서비스가 될 것이라 생각하여 이를 어떻게 실현할 수 있을지 고민하고 있습니다.



**Q** IBS는 또한 지속적으로 ‘젊은 연구단’과 ‘연구단의 클러스터화’를 강조해오고 있는 것으로 알고 있습니다. 이러한 전략의 필요성과 기대 효과 등에 대한 자세한 설명을 부탁드립니다.

앞서 언급한 것처럼 IBS는 비교적 젊은 조직입니다. IBS는 설립 초기와는 달리 현재는 채용에 있어서 연구자의 연구수월성 뿐만 아니라 앞으로의 발전 가능성 또한 중요한 기준으로 삼고 있어요. 잠재력이 큰 젊은 연구자를 부연구단장이나 CI(Chief Investigator), YSF(Young Scientist Fellowship) 제도 등을 통해 선발하고, 이후 역량이 검증된 분들이 연구단장으로 발전하여 연구단을 이끌도록 하고자 합니다. 뛰어난 젊은 연구자들이 발전할 수 있는 경험의 기회를 주고 글로벌 수준의 연구자로 성장할 수 있도록 키워내는 것이 목표입니다.

연구단의 클러스터화(化)는 앞서 말씀드린 행정효율화를 위해서도 필요한 것으로, 본원 연구단과 캠퍼스 연구단을 분야별로 클러스터화 해서

시너지 효과를 내보자는 계획입니다. 우수한 연구진들이 클러스터로 묶여서 함께 연구하면 연구 시설장비를 공유하는 등의 효과를 기대할 수 있습니다. 연구지원 행정 측면에서도 효율을 끌어올릴 수 있는 기회가 되고요. 예를 들어, 국제교류가 많고 중요한 이론연구 분야는 국제행사, 해외출장 등의 지원을 강화하고, 실험을 많이 하는 분야는 연구 장비 구매와 관리를 강화하는 등의 접근이 가능해지는 것이죠. 연구단 클러스터는 금년에 본원연구단을 시작으로 해서 현재 공사 중인 KAIST와 POSTECH의 캠퍼스연구단 연구동이 완성되는 대로 진행할 계획입니다.

**Q** 2011년 11월 설립된 IBS는 이제 열들을 앞두고 있습니다. 설립 10주년을 진심으로 축하드리며, 부원장님이 보시기에 IBS에게 지난 10년은 어떤 의미를 가진다고 생각하시는지요?

지난 10년 동안 IBS는 정말 빠르게 성장했습니다. 2016년 네이처(Nature) 지에서는 IBS를 빠르게 성장하는 라이징스타(Rising Star) 연구소들 중에서 세계 11위로 선정했고, 2020년에는 ‘네이처 인덱스(Nature Index) 2020 한국 특집호’를 발행하면서 국내에서 5년간 가장 크게 성장한 기관으로 소개하기도 했지요. 설립 당시 우리 목표는 10년 내 글로벌 국가 연구소 분야별 랭킹 20위 진입이었는데, 이미 그 목표를 달성했다는 점에서 정말 놀라운 속도로 성장했다는 것을 느낄 수 있습니다.

짧다면 짧은 10년의 시간동안 이렇게 괄목할만한 성과를 낸 IBS이지만, 그럼에도 불구하고 저는 이 10년을 ‘성장통을 겪는 시간’이었다고 표현하고 싶습니다. 기초과학 생태계 기반이 전무한 상태에서, 응용과학/기술에 중심을 두고 있는 타 출연(연)들과는 달리 기초과학을 표방하는 IBS가 자리를 잡기까지는 헤쳐나가야 하는 어려움이 무척 많았습니다. 설립 초기부터 연구비 규모와 운영에서 일부 오해가 있기도 했고, ‘기초과학’의 태생적인 특성인 장기간의 연구가 필요한 이유로 생기는 어려움도 있었어요. 여러 위기가 있었지만 그래도 이제는 많은 분들이 IBS의 존재와 성과를 알아주시는 것 같아 다행이라는 생각이 들면서도 앞으로 더 잘 해야 한다는 무거운 책임감도 느낍니다.

**Q** 부원장님께서서는 IBS에 합류하시기 직전까지 무려 27년간 KIST의 자랑스러운 연구자이자 리더로 함께해 주셨습니다. 연구뿐만 아니라 기술사업화, 사업기획, 정책수립 등 행정부문에서도 풍부한 경험을 보유하고 계시는데요. 이러한 KIST에서의 경험이 IBS의 행정 부문 총괄자로서의 역할을 하시는 데에 어떻게 도움이 되었는지 궁금합니다.

말씀듣고 돌아켜보니 제가 KIST에서 연구뿐만 아니라 지능시스템연구본부장, 기술사업본부장, 기술정책연구소장, 연구기획조정본부장, 융합연구정책센터소장, 강릉본원장 등 여러 보직을 수행했네요. (웃음). 그 기간동안 KIST 안에 있을 때는 몰랐는데 밖에서 보니 보이는 것이 있습니다. KIST에는 역사성과 전통, 그리고 독특한 조직문화가 있지요. KIST 인들이 공유하는 자긍심과 문화가 있는데, 이들이 조직에 매우 중요하고 긍정적인 역할을 합니다. KIST 연구자들이 알게 모르게 ‘국가를 위한 연구’를 수행한다는 의식을 가지고 있는 점과 행정부서에서도 작게는 우리 기관, 나아가서는 출연(연) 전체를 생각하게 되는 조직 문화는 매우 독특한 것으로 보입니다. KIST가 최초의 출연연구소로서 우리나라의 발전에 기여한 자부심이 고유의 문화가 되었다고 생각합니다. 그리고 50여년의 시간을 거치면서 축적된 역량 때문에 KIST에서는 당연하다고 생각했던 것이 여기서는 놀라운 일처럼 여겨졌던 경험들도 있었습니다. IBS도 앞으로 시간이 흐르며 경험이 축적되어 IBS의 문화가 만들어지면서 발전하게 될 것이라고 믿고 있습니다. 그런 성장의 시간을 함께할 수 있어 개인적으로는 커다란 보람으로 여기고 있습니다.

**Q** 세간의 화제였던 한국바이러스기초연구소(바이러스연)가 IBS 내에 설립되어 지난 7월 공식적으로 출범하였습니다. 성공적인 바이러스연의 출범과 경쟁력 확보를 위한 IBS의 지원 계획이 궁금합니다.

바이러스연은 기존 IBS 연구단들과는 그 시작의 이유와 과정이 다릅니다. 기존 연구단들은 훌륭한 연구단장을 선발하여 연구단장의 연구주제를 수행하는 bottom-up 방식으로 구성되었는데요, 바이러스연은 국가 사회적인 수요에 의해 연구분야가 결정되어 연구소를 탄생시킨 top-

down 방식으로 시작되었죠.

감염병 연구는 중대한 국가적 현안 대응에 필요한 연구라는 점에서 예외적이며 이번 코로나19 사태에서 보듯이 국가적 재난이나 위기 상황에서 기초과학의 역할이 절실히 필요하다는 점을 알게 되었습니다. 김빛내리 단장이 이끄는 RNA 연구단에서 코로나19 발발 이후 단기간에 COVID-19 바이러스의 유전자 지도를 완성할 수 있었던 것은 팬데믹 사태 훨씬 이전부터 RNA 연구단이 세계적인 수준의 연구를 해왔을 뿐만 아니라 IBS 연구단을 이끌어 바이러스 면역학 및 생물정보학 전공 연구진과 협력관계가 구축되어 있었기 때문이죠. 기초과학이 국가적으로 큰 역할을 할 수 있다는 것을 보여준 귀중한 사례라고 생각합니다.

바이러스연은 국가적 감염병 위기 대응을 위해 기초연구를 수행하는 국가 전략 연구거점 역할을 하는 것이 목표입니다. 이것을 실현하기 위해 IBS에서는 우수한 리더를 발굴하는데 심혈을 기울였습니다. 워낙 좁은 분야여서 인재 pool이 크지 않았지만 다행히도 훌륭한 인재들을 모실 수가 있었고, 이분들이 연구를 수행하실 수 있도록 연구인력과 설비·장비 등 연구인프라를 구성하는데 적극 행정적인 지원을 해드리고자 노력하고 있습니다.

**Q** IBS의 다음 10년은 어떤 모습일지 궁금하고 기대됩니다. 앞으로의 IBS의 비전과 방향, 기초과학 연구소로서 IBS만이 해낼 수 있고 해내야만 하는 역할에 대한 설명을 부탁드립니다.

IBS는 ‘사람 중심 연구’를 표방하는 연구기관입니다. 기존의 출연(연)들과는 다르게 기관의 목표와 미션에 맞게 연구자를 채용하는 것이 아니라, 어느 분야든 간에 뛰어난 연구자, 즉 ‘사람’을 먼저 뽑고 나서 연구주제를 설정한다는 뜻입니다. 분야에 상관없이 제일 잘하는 사람이라면 그 사람을 데려와서 하고 싶은 걸 마음껏 하게 하자, 그래서 그 과정에서 세계적인 성과가 나오게 하자는 것이 IBS의 철학이지요. 물론 바이러스연처럼 시대적 요구에 따른 연구주제 선정 사례도 있지만, 기초과학을 분야에 관계없이 발전시켜 인류의 과학지식의 지평을 넓혀간다는 IBS의 미션 달성을 위해 노력하여야 한다고 생각합니다.



또한 IBS에서는 기초과학 특성상 장기간에 걸친 투자와 지원이 필요합니다. 당장의 성과가 눈에 보이지 않아도 연구자를 믿고 5년 이상씩 안정적인 연구 환경을 조성해줘야 하는 것이지요. 기초과학 분야에서는 시간(Time)과 신뢰(Trust)의 '2T'가 필요하다고 합니다. 우리나라 출연(연) 운영 환경에서는 매우 어려운 일이지만 IBS에서는 '2T 환경'을 구현하기 위해 노력할 것입니다.

IBS는 다행스럽게도 '국제과학비즈니스벨트 조성 및 지원에 관한 특별법'에 따라 5개년 계획을 수립하여 정부에 보고하고 정부는 시행에 필요한 예산을 안정적으로 지원하도록 되어있습니다. 비교적 긴 호흡의 연구를 수행할 수 있도록 규정된 법적 근거에 따라 우리나라 기초과학을 발전시켜야 하는 임무가 주어진 셈이지요. 50여년 전에 KIST가 국가경제 발전을 위해 필요한 산업기술의 연구개발을 위해 탄생하였다면, IBS는 발전된 우리나라에서 기초과학 연구수행으로 새로운 과학지식의 발견을 위한 막중한 임무를 위해 설립된 기관인 만큼 꾸준히 그 목표달성을 위해 노력해 나가야 한다고 생각합니다.

**Q 마지막으로, 우리나라 과학기술 발전을 위해 밤낮없이 연구하는 KIST와 IBS의 연구자들에게 응원과 당부의 말씀 부탁드립니다.**

KIST와 IBS가 공통적으로 앞세우는 가치가 있습니다. 두 기관에 모두 주어진 '국가적 사명'이라는 것입니다. 시대와 환경의 변화에 따라 다르게 해석되는 숙제이기는 하지만 기관의 구성원으로서 기관의 임무를 달성하기 위해 노력하는 문화를 이루어 성과를 얻어내야 합니다. 두 기관의



연구자분들 모두 훌륭한 역량을 갖추고 주어진 환경에서 최선의 노력을 기울이는 분들이어서 저는 마음이 든든합니다.

대나무 중에서 으뜸으로 꼽히는 모죽(毛竹)은 씨를 뿌리고 5년을 기다려야 싹이 난다고 하지요. 보이지 않는 땅속에서 아무리 물을 주고 가꾸어도 소식이 없다가 5년째 4월이 되면 갑자기 쑥 하루에 수십 센티미터씩 자라나 단숨에 30m까지 자란다고 합니다. 우리 과학기술 연구자들도 5년을 준비하는 모죽처럼 끈기와 긴 안목을 가지고 묵묵히 연구에 매진하셔서 어느날 괄목상대 하여야 할 만큼 큰 키의 훌륭한 연구자로 성장하시기를 진심으로 바랍니다. 감사합니다. **ksj**

**주요약력**

**하 성 도 부원장**

- ▲ 現 IBS 부원장
- ▲ 現 KIST 책임연구원
- ▲ 前 KIST 강릉분원장
- ▲ 前 KIST 융합연구정책센터장
- ▲ 서울대학교 기계공학 학사, KAIST 기계공학 석사, 미국 MIT 기계공학 박사

$\cos \frac{A}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 + \cos A}{2}}$   
 $\log_n m = \frac{\log m}{\log n}$   
 $\sin \frac{A}{2} = \sqrt{\frac{1 - \cos A}{2}}$   
 $V_{ab} = I \Sigma (R+r) - \Sigma E$   
 $I_1 V_1 = I_2 V_2$   
 $P_m = IV$   
 $E = mc^2$   
 $\nabla \times \nabla \times [p(x,y)] = \nabla \times \nabla \times [r \cdot p(x,y)]$   
 $y_{i+1} = y_i + x_n (b - a y_i)$

# 어떤 연구를 할 것인가?

$2 \text{ Coenzyme A} \xrightarrow{2 \text{ C}_2\text{O}_3} 2 \text{ NAD}^+ \rightarrow 2 \text{ NADH} + \text{H}^+$   
 $2 \text{ Acetyl Coenzyme A (C}_2\text{)}$   
 $\text{NAD}^+ \rightarrow \text{FAD} \rightarrow \text{Cyt. b} \rightarrow \text{Cyt. c} \rightarrow \text{Cyt. a} \rightarrow \text{O}_2$   
 $E_0 = 8.8542 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$   
 $S = \frac{2\pi m v \cos \theta}{qB}$   
 $V = IR$   
 $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$   
 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 + 38\text{ADP} + 38\text{P}_i \rightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + 38\text{ATP}$   
 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 2\text{ADP} + 2\text{P}_i \rightarrow 2\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3 + 2\text{ATP} + 2\text{NADH} + \text{H}^+$   
 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2\text{CO}_2$  (fermentation)  
 $2\text{NAD}^+ + 2\text{NADH} + \text{H}^+$   
 $24\text{H} + 6\text{O}_2 + 34\text{ADP} + 34\text{P}_i$   
 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 2\text{ADP} + 2\text{P}_i \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- + \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$   
 $v_c = v_m \sin \omega t$   
 $E_n = \frac{-13.6 Z^2}{n}$   
 $\frac{P(x)}{Q(x)} = \frac{G(x)}{R(x)} + \frac{R(x)}{Q(x)}$   
 $\frac{r_n}{z} = \frac{5.3 \times 10^{-11} \text{ m}^2}{\text{BeCl}_2}$

# 1. 무엇을 연구해야 하는가? 산업화부터 도전연구까지

박 규 홍 정책기획팀 선임연구원 kyuhong.park@kist.re.kr

**바** 이든 대통령은 취임을 앞둔 2021년 1월 15일, 과학기술정책실장을 장관급으로 격상하고 에릭 랜더 MIT 교수를 내정하였다. 트럼프 행정부에서 해당 보직이 19개월간 공석이었고 조직 규모 또한 축소되었던 것에 비교할 때 바이든 행정부의 차별화전략은 '과학기술'이었음을 공표하는 인사였다. 1944년 루스벨트 대통령이 과학기술보좌관 바네바 부시 박사에게 2차 세계 대전 후 국민과 국가를 위해 과학과 기술을 어떻게 사용할지를 묻는 편지를 보냈듯 바이든 또한 코로나로 인한 어려움을 극복하기 위한 질문을 랜더 교수에게 던졌다. 첫째, 공중보건과 관련된 요구에 대처하기 위해 무엇이 필요한지. 둘째, 경제성장을 가속화 하고 일자리를 늘리면서 기후변화에 대처할 수 있는 해결책은 무엇인지. 셋째, 중국과 경쟁하면서 경제번영과 국가안보에 관련된 미래 기술에서의 세계선도 위치를 유지하는 방법은 무엇인지. 넷째, 과학 기술을 통해 격차를 줄이고 미국인 모두가 과학기술의 성과를 누리는 법에 대하여. 다섯째, 미국 내에서 과학과 기술의 장기적인 발전을 보장할 수 있는 방법은 무엇인지 였다. 본문에 편지의 질문을 축약해 옮긴 걸 감안하여도 이 짧은 질문들 속에 미국의 과학기술의 목적과 방향에 대한 지도자의 진지한 고찰이 깊이 담겨있음을 확인할 수 있다.

## 미국 과학기술정책의 뿌리 '과학, 그 끝없는 프런티어'

시계를 1944년으로 돌렸을 때, 루스벨트 대통령과 킬고어 상원의원은 대통령이 통제하는 조직 설립을 통해 2차 세계대전을 치르는 과정에서 축적된 과학기술역량을 뉴딜정책에서와 같이 경제 및 산업진흥의 도구 수단으로 삼고자 했다. 한편 바네바 부시 그룹은 연구의 자율성을 핵심으로 갖춘 정치로부터 자유로운 조직을 만들길 원했다. 루스벨트 대통령은 그 당시 가장 큰 과학기술정책 이슈였던 1) 전시 중 개발된 과학 기술관련 지식의 빠른 확산, 2) 질병퇴치를 위한 의학연구 프로그램 설계, 3) 공공과 민간 연구기관의 효율적 정부 지원, 4) 미래 우수 과학 인력 확보를 위한 과학자 지원 방법 등에 대한 답을 원했고, 1945년 부시 그룹은 질문별 위원회를 구성하고 6개월의 논의를 통해 미 국립과학재단(NSF)의 탄생에 결정적인 기여를 한 보고서 '과학, 그 끝없는 프런티어'를 완성하였다. 위 보고서는 과학자의 연구에 대한 자율성을 보장하고 도전을 장려하는 과학기술발전의 모티브를 제공함과 동시에 국가 현안에 대한 과학자의 미션을 제안하는 등 75년이 지난 지금까지도 미국 과학기술정책의 대표 기조로 유지되고 있다.

물론 부시의 보고서가 제출된 이후 바로 NSF가 설립된 것은 아니다. 5년간 킬고어 그룹과 부시그룹은 대논쟁(Long Debate)을 통해 법안을 수정하고 때로는 거부하기도 하며 끊임없이 보완하였다. 1950년 3월 의회와 대통령(당시 루즈벨트 대통령은 서거하였고 트루먼 대통령이 직을 수행)은 NSF의 설립을 승인하였으며 그 기본체제에는 ‘과학 그 끝없는 프런티어’ 보고서가 있었다. 1) 즉각적이고 단기적인 연구성과로부터의 자유, 2) 압력단체로부터의 자유, 3) 중앙집권적 기관에 의한 독재로부터의 자유라는 ‘과학연구의 자유’ 원칙이 바로 그것 이었다(이한진, 2021). 바네바 부시는 기초연구 분야를 전공하지 않은 미국의 대표적인 공학자였으며 과학기술의 경제사회적 실용화의 중요성 또한 모를 리가 없었다. 하지만 그는 직접적인 실용화 결과로 금방 나타나지 않더라도 기초연구가 모든 개발의 기반이 된다고 생각하였으며 연구 주제와 연구자의 자유가 궁극적인 과학기술의 발전에 기여한다고 주장하였다. 그리고 지금까지 굳건히 과학기술을 선도하고 있는 미국의 모습에서 그의 주장이 틀리지 않았음을 확인할 수 있다.

### 비경제적·고위험의 미래지향 연구에 집중하는 방향으로 변화하는 출연연

그렇다면 우리나라의 경우 출연연은 어떠한 방향으로 연구를 진행해 왔을까? 정부가 연구기관을 설립하여 운영해온 역사는 세계 주요국들의 경우도 100여년 밖에 되지 않았으며 우리나라의 경우 1966년이 되어 서야 첫 번째 정부출연연구기관인 KIST가 설립되었다. 공공연구기관의 경우 국가혁신체제 내에서의 역할과 역사적 상황에 따라 나라별로 크게 달라진다(박기범 외, 2016). 우리나라의 경우 1962년 6호 개정헌법에서 확인할 수 있듯이 과학기술이 기여하고자 하는 중점 분야는 경제 발전이었다. 선진국과의 학문적 경쟁을 위한 목적이 아니라 산업에 필요한 원천기술 개발의 역할을 수행하였고 선진기술에 대한 추격연구를 통하여 선진 산업기술을 국내 산업에 이식하는 역할에 집중하였다. KIST 초대 원장 최형섭은 그 당시 인재 선발 과정에서 KIST는 노벨상을 타려는 목적의 학문연구를 수행하는 곳이 아니라고 공표하였으며 KIST를 필두로 한 국내 출연연들은 개발도상국의 ‘기초연구에 집중하느라

국가의 산업, 경제 발전에 기여하지 못한’ 다른 연구기관들과 차별된 성과를 창출해왔다. 하지만 8~90년대를 거치면서 산업계의 R&D 투자가 늘어났고 출연연에 대한 연구개발 의존도가 줄어들었으며 대학 연구의 활성화로 인하여 국책연구개발사업의 분배 비중 또한 다양해졌다. 기초·원천연구와 문제해결형 연구 분야 등에 대한 투자부족으로 인하여 수반된 수월성 연구부족, 사회문제 해결 기여 부족은 국민 체감 성과 저하, 코리아 R&D 패러독스와 투자대비 저성과라는 비판을 불러왔다. 이에 출연연은 원천기술을 선도하는 역할에 집중하기 시작하였으며 first-mover 연구를 수행하는 방향으로 전환하였다. 특히 기업이나 개인이 담당하기 어려운 국가사회문제 해결을 위한 공공적 연구 부문에 대한 출연연의 역할 수행의 요구가 높아지면서 비경제적·고위험의 미래지향 연구에 집중하는 방향으로 점차 변화하고 있는 중이다. 이를 지원하는 정부 또한 기초연구예산을 증액하고 연구자들이 소신껏 연구에 전념할 수 있는 환경을 제공하기 위한 노력을 아끼지 않는 등 과학기술계의 변화가 진행되고 있다.

### 위임자-대리인 이론의 관점으로 접근한 과학기술정책방향

이처럼 국가가 연구자의 미래지향 연구에 집중하기 위한 연구주체의 자유를 확보해줌과 동시에 지원하는 과정은 과학정책의 가장 중요한 부분이다. 특히 공익적 연구를 통해 사회에 공헌하는 비영리조직인 공공연구기관의 경우 정부와 예산과 조직에 있어 상호의존적인 관계를 형성한다. 정부는 직접 연구개발을 할 수 없고 비영리조직인 연구기관 또한 정부의 예산을 지원 받기 때문인데 그 계약의 구조는 위임자-대리인 이론(Principal-agent theory)의 관점으로 접근 가능하다. 해당 이론의 가장 큰 특징은 집단 간 정보의 비대칭성이다. 위임자인 정부는 상대적으로 과학기술의 결과 생산방식이나 비용에 무지할 수밖에 없으며 대리인인 연구자의 경우 위임자가 지지하는 목표를 공유하지 못 할 수도 있다. 이로 인해 적합한 연구자를 선택하지 못하는 역선택 문제가 발생하거나 선정된 연구자의 도덕적 해이가 발생 할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 대표적으로 적합한 대리인을 선정하기 위한 심사 과정과 올바른 성과평가의 기준 설정이 필요하다.



적합한 대리인을 선정하는데 있어 가장 효과적인 방식으로 여겨지는 방법은 동일 분야 내 다른 연구자들의 피어 리뷰를 통해 심사하는 것이다. 비전문가인 예산 집행자나 타분야 연구자들의 평가로 연구주제가 심사되는 경우 심사자가 이해할 수 있는 수준의 연구과제가 선정될 확률이 높아 수월성이 확보되는 연구를 선정하기 어렵다.

또한 고위험의 도전적 연구 과제를 수행하기 위하여 극복해야 할 가장 큰 문제는 성과평가제도이다. 고도의 수월성을 확보하고 성공가능성이 낮은 연구에 집중하기 위해서는 연구자가 가질 수 있는 실패에 대한 두려움을 없애고, 결과를 인정해주는 문화와 제도의 정책이 필요하다. 모험적 연구수행의 결과물과 과정을 성공여부와 관계없이 성과로 인정해주는 것은 도전적 연구를 장려하는 문화 형성에 기여할 수 있다. 물론 연구비 유용, 연구목적과 상관없는 비용 지출 등은 강력히 막아야 하지만 성과측면에서 까다로운 성과지표를 세우고 단기간의 성과를 요구하게 되면 선정된 연구자가 기존 연구를 반복한 보여주기식 연구결과를 제공하거나 정책적 아젠다로 연구를 각색한 낮은 성과의 결과물이 나올 수 있다. 또한 이는 감시 비용의 증가가 필연적으로 따라오게 되기에 유인을 통한 동기 확보가 더 효과적인 요인으로 작용할 수 있다(김현성, 1996).

## 도전적 연구의 뿌리를 내리고 조성하는데는 더 오랜시간이 필요

10월은 노벨상 수상 발표의 달이다. 어느 때와 같이 이번 발표에서도 한국 연구자의 이름을 찾을 수는 없었다. 하지만 평균적으로 노벨상

수상을 위한 성과를 내는데 16.9년, 노벨상을 수상하기까지 31.4년의 시간이 소요된다(차소영 외 2019). 도전적 연구의 뿌리를 내리고 연구 문화를 조성하는데는 더 오랜시간이 필요하며 과학기술강국들은 그 과정을 이미 지나왔다. ‘어떤 연구를 하고 있는가’라는 질문에 더 많은 연구자들이 자신있게 ‘실패할 연구, 하지만 성공하면 세상을 바꿀 연구를 하고 있다’고 답할 수 있을 때 우리나라 과학기술이 세계를 이끌어가는 미래에 한발 더 가까워지지 않을까 생각해본다. **ktg**

### 참고문헌

- 김현성 (1996). 공공조직에 대한 조직경제론적 접근, 현대사회와 행정
- 박기범 외. (2016). 공공부문 과학연구에서의 자율과 책임, STEPI 정책연구
- 박기주 (2019). 과학기술 정부출연연구기관 개인평가제도 개선 방향, Tepri Report
- 박범순 & 김소영 (2015). 과학 기술 정책, 한올아카데미
- 이한진 (2021). 프런티어 법안 추진 현황, 한국연구재단 ISSUE REPORT
- 정병걸 (2006). 과학기술정책 분석에 있어서 대리이론의 적용: 정책문제로서의 위임 문제를 중심으로, STEPI 정책자료
- 차소영 외. (2019). 노벨과학상 종합분석 보고서, 한국연구재단
- Bush, V. (1945). Science: Endless Frontier. Washington D.C.:Government Printing Office.
- Guston, D. (1996). Principal-Agent Theory and the Structure of Science Policy. Science and Public Policy, vol.23, pp.229~ 240

## 2. 시대가 요구하는 공공 R&D의 다양한 지향점들

송창현 미래전략팀 연구원, ch.song@kist.re.kr

그래에 들어 에너지원의 확보 및 질병 치료, 기후변화에의 대응 등 인간의 삶과 직결된 많은 문제들의 근본적인 해결책으로서 과학기술이 각광을 받게 되면서, 공공의 재원으로 수행되는 R&D에 대해서도 다양한 역할들이 요구되기 시작했다. 비단 연구 결과물과 활용처의 다양성만 요구되는 것이 아니다. 투자 규모가 커지고 다양한 이해관계자들이 등장함에 따라, 공공 R&D가 어떤 특성의 연구를 수행해야 하는가에 대해서도 의견이 분분하다. 공공 R&D를 구성하는 연구 주체들의 법적, 제도적 지위가 제각각일 뿐 아니라 다루고 있는 과학기술의 범위도 무척 넓기 때문에 이를 하나로 뭉뚱그려 규정하는 것은 실상 매우 어려운 일이다. 공공 R&D의 큰 축인 출연(연)의 경우도 마찬가지다. 한동안 논의되었던 출연(연)의 역할과 책임(R&R)에 대해 과학기술계 내부에서 쉽게 합의점에 이르지 못한 이유이기도 하다. 게다가 국가 전체는 물론 개별 기관 차원에서도 투입할 수 있는 자원에 한계가 있기 때문에, 연구 주체를 선정함에 있어 불가피하게 전략적인 선택이 요구된다.

사실 우리나라와 같이 과학기술 후발 국가에서는 산업계의 기술 개발을 지원하기 위한 목적으로 공공연구기관이 설립된 경우가 많았다. 한국과학기술연구원(KIST)이나 대만의 산업기술연구소(ITRI) 등이 예라고 할 수 있다. 미국이나 독일, 일본과 같은 과학기술 선진국가에서도 산업계와 밀접하게 협력하여 상용화 연구를 주로 수행하는 공공연구기관들이 존재한다. 그런데 산업의 발전 및 패러다임 변화 속도가 과거에 비해 급격하게 빨라지면서, 공공연구기관이 이러한 변화의 속도를 따라

잡기가 점점 어려워졌다. 산업 현장에서 곧바로 적용할 수 있는 첨단 기술 수요에 부응하기에는 공공연구기관의 속성상 일정 부분 한계를 노정할 셈이다.

여기에 국민의 세금으로 지원되는 공공 R&D의 효과성 및 효율성에 대한 의문이 지속적으로 제기됨에 따라, 일각에서는 공공 R&D의 범위와 역할에 대한 근본적인 재검토가 필요하다는 의견도 나오고 있다. 이에 본 고에서는 최근 들어 과학기술 전체 혹은 공공 R&D에 새롭게 요구되는 지향점들을 살펴보고, 이를 출연(연)의 관점에서 정리하고자 한다.

### 호기심 기반의 연구 (curiosity-driven research)

‘호기심이 이끄는 연구(curiosity-driven research)’라는 용어는 학술적으로 엄밀하게 정의된 것은 아니다. 다만, 과학계에서는 종종 연구의 가치중립적이면서도 본질적인 가치로서 자주 언급된다(Agar, 2017). 아마도 물리학자 아인슈타인이 ‘자신은 그저 열정적으로 호기심이 있었을 뿐이다(I am only passionately curious)’라고 남긴 말이 유래가 되지 않았을까 추정할 뿐이다.

시간을 거슬러서 인류가 처음 ‘연구’라는 활동에 관심을 가지기 시작했을 때에는 호기심 외에는 별다른 동기가 없었을 것이다. 오늘날까지도 지대한 영향을 미치고 있는 르네상스 시대의 위대한 과학자들에게도

자연의 원리에 대한 호기심이 가장 큰 동기였을 것으로 추정된다. 그러나 당위성과 성과를 빼놓고는 이야기할 수 없는 오늘날의 공공 R&D에서는, 연구자 개인의 호기심이 자리할 여유는 없어 보인다. 어쩌면 호기심은 기초연구를 다루는 대학의 연구자에게나 제한적으로 주어진 특혜처럼 보이기도 한다.

하지만 오늘날 대부분의 연구는 그동안 축적된 방대한 지식 체계로 인해 ‘거인의 어깨’ 위에 올라서지 않고는 원천적으로 불가능해졌다. 수많은 연구자들이 조금씩 쌓아 올린 지식 조각들이 쌓이고 쌓이다가 어느 순간에 조금 더 기민한 연구자가 이를 대단한 ‘혁신’으로 엮어내는 것이다. 그렇기 때문에 내가 이뤄낸 연구 성과를 궁극적으로 누가 인용하고 활용할지 예상할 수 없다. 그러니 쓰임새를 기대하고 연구하기 보다는, 호기심에 이끌려 남들이 건드리지 못한 영역들을 건드리는 편이 과학계 전체적으로 볼 때는 훨씬 생산적이다. 전세계 곳곳에 있는 이름도 얼굴도 생소한 낯선 연구자들이 우연히 발견한 결과들이 누군가에게서는 퍼즐처럼 맞춰지면서 영감을 제공한다.

호기심 기반의 연구는 아직 정의되지도 않은 문제를 찾아낼 때 진가를 발휘한다(Zajfman, 2018). 보통 문제는 식별되었으나 해답을 찾지 못한 문제를 해결하려고 하면, 이는 ‘known unknowns’를 위한 연구가 된다. 기존 문헌을 정리하여 공백을 찾고, 연구의 필요성을 도출하는 것은 이러한 형태의 연구를 하기 위한 기초 작업이다. 그런데 우리가 사는 세계에는 ‘unknown unknowns’도 여전히 많다. 우리가 무엇을 아직 모르고 있는지도 모르는 상태를 의미한다. 오로지 어떤 현상이나 실험 결과로부터 ‘이건 왜 이럴까?’하고 궁금해하는 과정에서, 기존에는 아무도 문제삼거나 의문을 갖지 않던 것들이 수면 위로 떠오르는 것이다. 호기심 기반의 연구는 이처럼 문제를 최초로 정의하고, 다른 이들이 비로소 관심을 가질 수 있도록 하는 연구다. 인류 역사를 진보시킨 과학적 발견 중에 의외로 이런 종류의 것들이 많다.

기초연구가 아닌 응용연구 중심의 출연(연)에서는 호기심 기반의 연구를 장려하는 데에 제약이 따를 것이다. 하지만 응용연구라고 하여 언제나 기존 기술의 개량이나 상용화를 의미하는 것은 아니다. 응용연구를 수행하면서도 자연현상에 대한 의문을 품을 수 있으며, 기술이 상용화되거나 사용되는 방식을 구상함에 있어서도 호기심이 적용될 수 있는

여지는 많다. 아무도 하지 않은 연구를 선도적으로 수행하기 위해서는 호기심이 필요하다.

## 거대 주제 연구 (big science)

사전적인 의미에서 거대과학(big science/mega science)은 대형연구 시설을 활용하며, 거액의 연구비와 많은 수의 연구 인력을 동원하는 대형 연구개발 프로그램을 의미한다(OECD, 1993). 1900년대에 들어 추진된 우주개발, 지구관측, 인간유전체 분석, 핵융합, 입자가속기 등이 대표적인 거대과학으로 볼 수 있다(이원희 외, 2009). 대규모의 인력과 자본이 집중적으로 투입되기 때문에 상대적으로 단기간에 획기적인 성과를 거둘 수 있고, 마련한 대형 연구장비 등은 이어지는 후속 연구들을 위한 훌륭한 인프라가 되기도 한다.

사실 거대과학에 대한 투자는 과거 국가 위상을 과시하는 수단이기도 했다. 냉전시대의 미국이나 소련은 물론 중국이나 EU 등에서도 국가의 위상 제고를 위해 거대과학에 대한 투자를 아끼지 않았다. 하지만 연구 분야가 다양화되고 민간 기업의 투자가 확대되면서 국가 중심의 거대과학은 점차 그 비중이 줄어들기 시작했다. 대신 최근에는 거대과학의 개념이 기후변화나 에너지, 질병 등 국제적인 협력이 필요한 대단위 연구로 확대되었다.

그래서 이제는 거대과학이라 하면, 대형 연구시설이 필요하거나 대규모의 협력연구가 필요한 연구들로 정의할 수 있다. 특히 기존의 실험실 단위에서는 할 수 없었던 연구들을 수행한다는 점이 큰 차별점이다. 이런 시설이나 협력 체계를 갖추기 위해서는 국가적 역량이 집중되어야 하기 때문에, 국가 경쟁력 차원에서도 큰 도움이 될 수 있다.

하지만 너무나 큰 예산 투입이 필요하기 때문에 시민사회의 반대에 부딪힐 우려도 있다. 실제로 미국에서는 천문학적인 비용이 드는 미항공우주국(NASA)의 우주탐사에 대해 부정적인 시각을 갖는 여론이 상당한 것으로 알려져 있다. 절대적인 경제 규모와 R&D 투자 비용에 제약이 있는 우리나라에서도 사정은 비슷할 것이다.

하지만 거대과학은 오직 거대과학만이 내놓을 수 있는 답을 줄 수 있다. 뿐만 아니라 인류의 지식수준을 한 단계 끌어올림으로써 생각지도 못했던 분야가 파생될 수 있고, 때로는 신산업이 탄생하기도 한다. 인간 게놈 프로젝트 이후 유전자의 기능에 대한 심오한 이해가 가능하게 되면서, 이제는 명실상부한 생명공학 기업들이 대거 탄생한 바 있다.

만약 우리나라에서 출연(연)을 중심으로 거대과학을 수행하고자 한다면, 그 주체는 단일 기관이 아니라 출연(연) 전체, 혹은 대학이나 기업까지 포함한 대형 컨소시엄의 형태가 되어야 할 것이다. 그리고 필요에 따라서는 국외 기관과의 협력까지 추진하는 것도 가능할 것이다. 또 물리적인 대형 연구시설에만 관심을 가질 것이 아니라, 데이터 기술을 활용한 온·오프라인 연구환경의 구축 또는 인문·사회과학과의 융합 등 다양한 범위에서 ‘거대함’을 추구하는 연구로 변모할 필요가 있다.

### 변혁적 연구 (transformative research)

연구과제의 평가 기준으로 ‘도전성’이 중요한 잣대로 등장하기 시작했다. 도전적인 연구라는 것이 과연 무엇일까? 도전적 연구는 기본적으로 높은 실패 위험성과 결과의 불확실성, 접근방법의 참신성 등의 속성을 지닌다고 알려져 있는데(정병규·김태윤, 2021), 개념적으로는 돌파적 연구(breakthrough research), 획기적 연구(groundbreaking research), 프론티어 연구(frontier research) 등과 매우 유사하다. 이 중에서는 그나마 변혁적 연구(transformative research)라는 용어가 분명한 정의를 가지고 있는 편이다.

2004년 12월, 미국과학위원회(National Science Board)는 변혁적 연구(transformative research)라는 개념을 정립하기 위해 프로젝트를 진행한 바 있다. 이 프로젝트에서의 논의를 바탕으로, 미국 국립과학재단(NSF, National Science Foundation)에서는 연구비를 지원함에 있어 새로운 기준을 마련하고자 하였다. 2007년 최종 보고서에서는 변혁적 연구를 다음과 같이 정의하고 있다(National Science Board, 2007).

*“변혁적 연구란, 현존하는 과학적 또는 공학적 개념에 대한 기존의 이해를 근본적으로 뒤바꾸어 놓거나, 새로운 패러다임 및 분야를 창출*

*할 가능성이 있는 아이디어를 제시할 수 있는 연구를 의미한다. 이러한 연구는, 현재의 통념과 정설에 대한 도전, 한 번도 가보지 못한 새로운 길의 개척 등의 특징을 지닌다.”*

도전적 혹은 변혁적인 아이디어가 나오기 위해서는, 결국에는 실패로 돌아갈 수백, 수천 가지 아이디어의 희생이 필요하다. ‘이런 게 가능할까?’ 싶은 아이디어 중 극소수만이 결국 살아남아 변혁적인 결과를 가져온다. 따라서 중요한 것은 연구자들이 자칫 무모할 수 있는 연구 아이디어를 마음껏 내놓을 수 있는 환경을 제공하는 것이다.

문제는 무엇이 변혁적인 것인지 사전에 알기가 어렵다는 점이다. 보통 우리가 변혁적인 연구라고 말하는 것들은, 연구가 종료되고 그 가치가 발휘되는 한참 후에야 비로소 ‘변혁적’이었다고 평가받기 때문이다. 기존의 패러다임에 입각하여 연구 제안 내용을 평가하고, 단기간 내에 성과를 내야 하는 프로젝트 기반의 연구 방식으로는 변혁적 연구가 나오기 쉽지 않은 것이 사실이다.

또한 도전적 연구를 무척대고 장려하기 어려운 이유 중 하나로, 연구가 끝내 실패할 경우 연구자 개인 차원에서는 경력과 성과의 단절 등으로 이어진다는 점이 지적된다. 기관 차원에서도 연구비용 투입에 따른 성과 창출이 미진할 시 부처로부터 거센 도전을 받는다. 과학기술계의 기존 패러다임에 반하는 연구내용일수록 학계에서 인정받기가 어렵다는 점도 도전적 연구의 어려운 점 중 하나다. 이러한 이유로, 출연(연)에서 도전적/변혁적 연구를 장려하기 위해서는 비단 출연(연) 뿐 아니라 과학 기술계 전체의 연구 성과 평가 체계를 바꾸어야 한다는 지적이 나오는 것이다.

### 임무 지향적 연구 (mission-oriented research)

우리나라를 비롯하여 많은 국가들에서 공공연구기관은 대학과 산업을 연결함과 동시에 국가 기술 경쟁력 강화를 통해 경제적 가치를 창출하는 것에 초점을 맞춰왔다. 일례로 우리나라 헌법 제9장 제127조에서는 과학기술의 역할을 경제의 발전이라고 규정하고 있다.

그러나 최근에는 유럽을 중심으로 분위기가 변모하고 있다. 덩치가 커진 민간 기업들이 경제적 가치를 창출하는 연구개발 활동들을 더 잘 해내기 시작하면서, 공적인 자금으로 이루어지는 R&D를 통해서는 시장 실패 영역에 초점을 맞춰야 한다는 데 의견이 모아지고 있는 것이다. 대부분의 국가에서 경제 성장이 둔화되고 있고, 이에 따라 연구개발 분야로의 투자가 정체되고 있어 R&D의 방향성을 보다 분명하게 강조하려는 경향으로도 볼 수 있다.

이에 R&D의 문제 해결 기능을 강조하는 개념으로, 임무 지향적 연구 (mission-oriented research)가 부상하고 있다. 대표적인 사례로, EU의 연구개발 지원사업인 Horizon 2020은 ‘임무 지향적 혁신 정책’을 키워드로 하면서 동시에 UN 회원국들이 합의한 ‘지속가능한 발전 목표 (SDGs: sustainable development goals)’를 달성할 수 있는 문제 해결 중심의 연구개발을 강조하고 있다. 문제로부터 구체적인 임무를 도출하고, 임무를 달성하기 위해 필요한 과학기술들을 식별하여 필요한 연구를 추진하는 식이다.

임무 지향적 연구는 굉장히 난해한 문제의 해결을 임무로 설정하여 추진 하는 연구로, 과거에는 달 탐사와 같이 국가 차원의 대형 연구개발 프로젝트를 의미하는 경우가 많았으나 최근에는 기후변화나 질병 등 범지구적 혹은 국가·사회적 난제들의 해결을 목표로 추진되는 경향을 보인다 (이정원, 2019).

하지만 분야 중심으로 나뉘어진 현재의 출연(연) 체제에서 다학제적 협력이 필요한 임무 지향적 R&D를 수행하는 것은 결코 쉽지 않을 전망이다. 게다가 연구자에게 기술 중심의 관점(technology push) 대신 수요 중심의 사고(demand pull)를 요구하는 것도 만만치 않은 도전이 될 것이다.

## 책임 있는 연구 (responsible research)

‘책임있는 연구 및 혁신(RRI: responsible research & innovation)’이라는 용어는 EU의 연구개발사업체계인 Framework Programme에서 처음 제시한 것으로, 연구의 설계 단계부터 사회 및 환경에 미칠

수 있는 잠재적 영향을 고려해야 한다는 접근 방식이다. 연구의 책임성까지 포괄함으로써, 지속가능한 연구의 설계를 촉진하는 것이 궁극적인 목적이라고 할 수 있다.

흥미로운 것은 과학기술이 사회 전체에 큰 영향을 미치고 있음이 분명함에도 불구하고, 과학기술의 책임이라는 주제가 본격적으로 논의된 적이 거의 없었다는 점이다(박희제·성지은, 2018). 연구 결과의 책임성이 부각되기 시작한 시점은 생명과학 분야에서 연구의 윤리성이 논의되기 시작한 시기와 맞물린다. 유전자 변형 식품, 인간 배아 연구 등의 위험성에 대해 시민사회의 우려가 증가하면서 연구 결과에 대해 연구자는 물론 연구를 승인해 준 사회가 책임감을 가져야 한다는 인식이 확대되었다.

보통 RRI에서는 윤리적 기준의 충족뿐 아니라 과학계 내에서의 성평등, 혁신으로 인해 소외된 계층에 대한 배려 등 다양한 측면들이 고려된다. RRI의 구현을 위해서는 연구자 외에도 다양한 사회 구성원들(시민, 기업, 정책전문가 등)이 연구 과정에 직간접적으로 참여하여 의견을 제시하는 것이 필요하다. 물론 이는 연구 행위 자체를 같이 수행한다는 개념이 아니라, 연구의 수행과정과 결과가 RRI에 부합하는지를 지속적으로 모니터링하고 피드백을 주고 받는 개념으로 볼 수 있다.

하지만 충족시켜야 할 RRI의 범위가 어디까지인지 혹은 서로 다른 RRI 간 충돌 시 어느 것을 우선해야 할지 등에 관해 뚜렷한 가이드라인이 아직은 없다. 게다가 연구자들의 자유로운 사고를 제한할 수 있다는 점, 경쟁 및 단기 프로젝트 위주의 연구 문화에서는 RRI의 수용이 쉽지 않다는 점 등이 문제로 지적된다(Pain, 2007)

## 공공 R&D는 만능열쇠가 아니다

앞서 문헌 정리를 통해 공공 R&D에 요구되는 지향점들을 특성에 따라 크게 다섯 가지로 구분할 수 있었다. 1) 호기심 기반의 연구(curiosity-driven research), 2) 거대 주제 연구(big science), 3) 변혁적 연구(transformative research), 4) 임무중심형 연구(mission-oriented research), 5) 책임있는 연구(responsible research) 등이다. 이 지향점

들은 각각의 구체적인 정의는 조금씩 다르지만 일부 특성들은 중복되며 넓게 보면 하나의 큰 틀 안에서 논의될 수 있는 성격을 지녔다.

어떤 연구는 거대 주제면서 동시에 임무 지향적 성격을 지닐 수 있다. 또 변혁적인 주제를 지향하면서도 사회에 미칠 수 있는 악영향을 최대한 배제하는 연구를 수행할 수도 있다. 그러나 분명한 것은, 하나의 연구가 위에서 언급된 지향점 모두를 다 충족할 가능성은 높지 않다는 점이다. 공공 R&D가 지향해야 할 방향이 무엇인가에 대해 정해진 답은 없다. 다만 위에서 언급된 속성들을 최소한 한 가지라도 갖추고 있는지 확인할 따름이다.

오히려 중요한 것은 연구를 추진하는 팀, 기관 차원에서 연구의 지향점을 마구 흔들지 못하게 하는 것이다. 연구의 방향성에 맞게 조직의 구조와 인적 자원이 구성되었으면 이를 유지하여 나갈 수 있도록 배려하는 것이 필요하다. 우리는 출연(연)을 비롯한 공공 R&D의 연구주체들에게 시시각각 바뀌는 다양한 요구들을 자주 경험한다. 그렇게 해서 어느 한 가지 지향점도 제대로 충족하지 못할 것이다. **ktg**

| 표1. 공공 R&D에 요구되는 다양한 지향점들 |

구분	지향점	핵심 속성
동기	호기심 기반의 연구(curiosity-driven research)	최초로 문제를 정의하고, 타 연구자에게 영감을 주는 연구
규모	거대 주제 연구(big science)	대형 시설과 다학제적 연구 인력이 동원되는 대형 연구
주제	변혁적 연구(transformative research)	기존의 통념을 깨고, 새로운 패러다임을 제시하는 연구
목적	임무 지향적 연구(mission-oriented research)	국가-사회적 난제를 해결하는 연구
영향	책임있는 연구(responsible research)	사회적 파급효과를 고려한 연구

참고문헌

- Agar, J. (2017). The curious history of curiosity-driven research(2016 Wilkins-Bernal-Medawar Lecture). Notes and Records, 71, 409-429.
- National Science Board (2007). Enhancing support of transformative research at the National Science Foundation. NSB-07-32.
- OECD (1993). Megascience and its background. OECD Publications.
- Pain, E. (2017). To be a responsible researcher, reach out and listen. Science
- Trevors, J. T., Pollack, G. H., Saier, M. H., & Masson, L. (2012). Transformative research: definitions, approaches and consequences. Theory in Biosciences, 131(2), 117-123.
- Zajfman, D. (2018). Curiosity-driven research. Keynote Speech
- 박희제, 성지은 (2018). 사회에 책임지는 연구혁신(RRI) 연구의 배경과 동향. 과학기술학연구, 18(3), 101-151.
- 이원희, 장성원, 채승병, 김현한 (2009). 우리가 주목해야 할 거대과학기술. 삼성경제연구소 CEO Information, 제719호
- 이정원 (2019). MOP의 등장 배경과 최근 글로벌 논의 동향. STEPI Future Horizon, 56-61.
- 정병규, 김태운 (2021). 국가 R&D의 도전성이란 무엇인가? '도전적 연구'의 속성과 시사점. 기술혁신학회지, 24(3), 551-575.



# 우수 연구성과 창출을 위한 R&D 기획 방안

김태형 정책기획팀 선임연구원, kimth@kist.re.kr

KIST  
연구기획  
위원회



▲ 문명운  
소재·반도체 분과 PM



▲ 조일주  
바이오/의료·천연물 분과 PM



▲ 이득희  
AI/로봇·데이터 분과 PM



▲ 홍석원  
에너지·환경 분과 PM

우수한 연구성과의 창출을 위해서는 연구주체의 발굴부터 과제의 기획, 수행, 평가까지 연구의 모든 과정이 체계적으로 연계되어야 한다. 그 중에서도 연구 기획은 R&D사업의 목표 달성을 위한 밑그림을 그리는 단계로 그 중요도가 남다르다. 최근에는 코로나, 기후변화와 같은 글로벌 이슈에 과학기술을 통한 대응이 중요해지면서, 정부 또한 효과적 R&D 기획을 통한 국가 정책 목표 달성, 사회문제 해결에 주목하고 있는 상황이다. KIST도 그 중요성을 인지하고 연구사업 전주기의 효율적 관리를 위해 연구 기획위원회를 운영하고 있다. 이번 호에서는 새롭게 개편된 KIST 연구기획위원회의 4명의 분과장과 함께 공공 R&D 분야에서 우수한 연구성과 창출을 위해 필요한 연구기획 전략을 들여다보고자 한다.

**1 KIST는 체계적이고 경쟁력 있는 연구를 위해 연구기획 위원회를 운영하고 있습니다. 연구기획위원회의 현재 역할은 무엇이고, 기대하고 계시는 미래 역할이 있으신가요?**

**이득희 :** 현재 연구기획위원회의 문서상 역할은 KIST 전략사업 후보군 발굴, 사업 기획, 예산 확보에 대한 통합적 대응입니다. 여기서 전략사업이란 신규 출연금 사업, 연구회 사업, 기관 차원의 대형 사업 등을 의미합니다. 연구기획위원회의 미래 역할이라고 한다면, 다른 새로운 역할을 제시해야 할 수도 있겠지만 저는 현재 명시된 이 역할을 충실히 잘 수행하는 것이 더 중요하다고 생각합니다.

한 가지 주목할 만한 점은 내년부터 연구비 대부분이 POF(Project Oriented Funding) 방식으로 변경되어, 각 소본부 단위로 신규 출연금을 기획하는 분위기가 확대될 것이라는 점입니다. 저 개인적으로는 각 소본부별 연구도 좋지만 향후에는 여러 소본부가 함께할 수 있는 융복합 연구를 기획하는 것이 중요할 것으로 생각합니다.

*“각 소본부별 연구도 좋지만 향후에는 여러 소본부가 함께할 수 있는 융복합 연구를 기획하는 것이 중요할 것으로 생각합니다.”*

**문명운 :** 향후 묶음 예산 형태의 연구비 배분이 확대되고, 일부 일물형 프로젝트가 종료되고 나면 연구비가 갑작스럽게 줄어드는 상황이 발생할 수 있습니다. 이러한 연구비 수급 불균형 혹은 수급 불안과 같은 상황에 대한 대응을 위해 연구기획위원회가 만들어졌고 이를 대비하는 것이 저희의 역할이라고 생각합니다.

신규출연금 사업 기획의 경우에도 앞으로는 연구기획위원회에서 전보다 더 많은 시간을 투자할 수 있게 되어, 이득희 단장님께서 말씀 하셨듯 융복합 연구 기획에 충실해질 수 있지 않을까 생각합니다.

**홍석원 :** 앞에서 중요한 이야기를 많이 해주신 것 같습니다. 기존에는 저희가 주요 사업 등을 기획하는 데 있어서 충분한 시간과 고민 등이 부족했던 것 같습니다. 이런 부분을 해결하는 것이 저희의 역할인 것

같습니다.

나아가 과거에도 그리고 앞으로도 융합 연구라는 것이 어떤 연구 문제를 해결하는 데 있어서 핵심이 되는 키가 될 것이라 생각합니다. 이러한 융합연구를 잘 만들어 나가기 위해 KIST와 연구자들 사이의 조절 역할을 수행하는 것 또한 저희의 역할이라고 생각합니다.

이러한 과정을 통해 KIST가 잘하는 연구보다는 해야만 하고, 국가가 필요로 하고, 국가 성장 동력의 뒷받침이 되는 연구를 할 수 있도록 아이 디어를 함께 고민하고 만들어 내는 자리가 연구기획위원회가 아닐까 합니다.

**조일주 :** 홍단장님의 말씀에 첨언 하자면, 하고 싶은 연구가 아니라 해야만 하는 연구가 정말 필요하다고 생각합니다. 예산을 확보할 때도 출연(연)의 역할에 대해 이의를 제기하는 분들이 종종 있습니다. 이러한 상황을 고려할 때 KIST의 연구도 하고 싶은 연구에서 해야만 하는 연구로 전환을 하고, 나아가 어떠한 사회적 문제를 풀겠다고 먼저 제안할 필요도 있다고 생각합니다. 이러한 역할에 있어 연구기획위원회가 중심이 되어야 할 것 같습니다.

또 앞서 말씀해 주셨듯 어떠한 문제를 해결하고자 할 때 종합연구소의 강점을 활용하려면 특정 소본부가 그 문제를 풀기보다는 소본부를 아우르는 핵심 기술을 활용해 문제를 해결할 수 있는 솔루션을 만들 필요가 있다고 생각합니다. 그런 의미에서 이전에는 소본부 차원의 신규 과제 기획이 대부분이었다면, 미래에는 소본부를 아우르는 새로운 사회 문제 해결 솔루션을 만들어 내는 노력이 필요하다고 생각하며 연구기획위원회가 그 중심 역할을 수행해야 할 것 같습니다.

**2 수월성 있는 연구 성과를 창출하기 위해서는 초기 단계 부터 체계적으로 연구를 기획하는 것이 중요할 것 같습니다. 이를 위해서는 어떠한 과정과 요소가 필요할까요? 또 이 과정에서 각 분야별로 중요한 특성이 있다면 무엇 일까요?**

**문명운 :** 상당히 어려운 질문인 것 같습니다. 저는 분과 내 협력도 중요



하지만 다른 분야와 연계가 더 중요하다고 생각합니다. 초기부터 다른 분야와의 융합을 염두에 두고 상세 기획을 하는 부분이 중요하고, 이를 통해 그간 도전하기 힘들었던 대형 문제 해결에 도전한다면 결과적으로 수월성 있는 성과가 따라올 것이라고 생각합니다.

*“초기부터 다른 분야와의 융합을 염두에 두고 상세 기획을 하는 부분이 중요하고, 이를 통해 그간 도전하기 힘들었던 대형 문제 해결에 도전한다면 결과적으로 수월성 있는 성과가 따라올 것이라고 생각합니다.”*

**이득희** : 저는 연구기획의 결과물이 RFP(제안요구서)라고 생각합니다. 종종 달성하기 힘든 수준을 요구하는 RFP가 나오고는 하는데, 이런 경우는 제대로 된 연구 결과물을 만들어 내는 것이 쉽지 않습니다. 그렇기에 RFP 작성에서부터 충분한 시간을 가지고 기획하는 것이 필요하다고 생각합니다. 연구의 필요성, 기대효과에 따라서 올바른 연구주제를 선정하는 것이 가장 중요할 것으로 생각되고, 이에 따라 명확한 목표치를 세우는 것이 중요합니다.

**조일주** : 저는 잘 기획된 과제가 꼭 좋은 연구성과로 연결된다고 생각하지는 않습니다. 수월성 있는 연구성과는 독창적인 아이디어에서 출발하고 이는 꼭 잘 된 기획에서 나오는 것은 아닌 것 같습니다. 기획은 목표나 방향 설정에 가깝고 그 목표를 달성하기 위한 아이디어는 연구자들이 개인적으로 결정해야 합니다. 연구의 방향성을 제시하는 것은 굉장히 중요하지만, 그 이후에는 연구자의 자율성을 보장하는 것이 더 중요하다고 생각합니다. 최근 연구재단에서 나오는 RFP를 보면 과거와는 다르게 구체적인 연구 방식을 정하는 행위를 지양하고 연구자의 창의성을 보장해주려 노력하고 있습니다. 목표나 방향을 잘 설정하되, 자율성을 보장하는 것이 중요합니다.

**홍석원** : 기획이라는 것은 하향식(Top-down)으로도, 상향식(Bottom-up)으로도 진행될 수 있습니다. 좋은 연구를 위해서는 연구기획위원회 같은 조직을 통해 이를 잘 조율하고, 다양한 전공을 가진 연구자들끼리 서로 매칭해 주는 과정이 필요하다고 생각합니다. 이러한 과정을 통해

더 구체적인 연구 아이디어가 생성되고 수월성 있는 성과물이 만들어질 수 있을 것으로 생각합니다.

특히 저희 에너지·환경 분과는 현재 기후변화, 탄소중립과 같은 국가 현안과 밀접하게 연결되어 있고 이는 국가 경쟁력에도 연결이 된다고 생각합니다. 따라서 조금 더 장기적인 안목을 가지고 기획 단계부터 한국형 에너지·환경 대응 선도 기술을 목표로 연구를 진행할 수 있으면 합니다. 그러기 위해서는 KIST 연구자들의 융합뿐만 아니라 출연(연)의 다른 연구자들과도 융합 연구를 수행할 수 있어야 합니다.

**문명운** : 한 가지 첨언 하자면 연구기획위원회에서 예산을 어느 정도 집행할 수 있는 권한이 주어진다면 좋겠습니다. 저희의 역할이 단순히 기획에서 끝나는 것보다 수월성 있는 성과 창출에 더 기여할 수 있다고 생각합니다.

### 3 국가 혁신 주체의 역할 중 상당히 큰 비중을 차지하는 공공 R&D는 민간 R&D와는 차별화 된 역할을 수행할 필요가 있습니다. 각 분야 별 연구기획 시 KIST가 지향하는 바는 무엇일까요?

**홍석원** : 에너지·환경 분과는 실험실과 실제 현장과의 기술 격차가 상당히 큰 경향이 있습니다. 실험실에서는 수월성 있는 성과를 위해 남들이 생각하지 않는 새로운 원천기술 개발에 몰두하는 경우가 많지만, 실제 현장에서는 현재 사용되고 있는 기술의 단점을 극복하고 문제점을 해결해주는 기술을 필요로 하는 경우가 훨씬 많기 때문입니다.

공공R&D에서는 원천기술 연구를 통해 NSC 같은 좋은 저널에 논문을 내는 것도 필요하지만, 현장에서 필요한 기술들을 해결해 줄 수 있는 역할도 많이 중요할 것으로 생각합니다.

산업계, 학교, 출연(연)의 역할을 딱 잘라 구분하기보다는 자연적으로 선순환 구조를 가지는 형태가 되어야 기술이 발전하고, 저희가 개발한 원천기술이 실제 현장으로 들어갈 가능성이 높아질 것입니다.

아구도 잘하려면 2군 선수가 1군 선수를 뒷받침할 수 있어야 하듯이, 연구도 준비되어있는 아이템, 준비된 연구자가 있어야 예측 불가능한

상황을 대비할 수 있습니다. 공공 R&D가 이러한 역할을 수행해야 합니다.

*“야구도 잘하려면 2군 선수가 1군 선수를 뒷받침할 수 있어야 하듯이, 연구도 준비되어있는 아이템, 준비된 연구자가 있어야 예측 불가능한 상황을 대비할 수 있습니다. 공공 R&D가 이러한 역할을 수행해야 합니다.”*

**조일주 :** 민간 R&D와 차별화 된 공공 R&D의 역할은 크게 두 가지로 이야기할 수 있습니다. 첫 번째는 현재 시장이 형성되지 않은 분야에 대한 집중입니다. 이미 시장이 형성된 분야는 민간에서 충분한 연구가 이루어질 가능성이 높습니다. 그중에서도 출연(연)은 공공 R&D 자금이 투입되는 다른 혁신 주체들과 차별화를 위해 집단 연구가 필요하고, 훨씬 더 시간이 오래 걸릴 것으로 예상되며, 노하우의 축적이 기술의 성공을 크게 좌우할 수 있는 연구 분야에 몰두해야 할 필요가 있습니다. 두 번째로는 시장이 형성될 가능성은 낮지만 큰 파급효과가 기대되는 분야에 대한 연구입니다. 다시 말해 사회문제 해결에 기여하거나, 국가적 요구가 있는 분야이지만 민간에서 접근하기 힘든 분야의 연구를 의미합니다. 예를 들어 우리나라에 몇 없는 희귀병 환자의 치료제 개발처럼 시장이 형성되기 힘든 분야는 대해 국민 복지나 사회문제 해결 차원에서 KIST를 비롯한 공공 R&D가 해결해야 합니다.

**문명운 :** 그런 의미에서 팬데믹 대응 기술과 관련하여 바이오 분과에서 따로 연구를 진행하고 계신 것이 있으신지 궁금합니다. 반도체 분야처럼 우리가 후발주자이지만 정말 열심히 노력하면 따라잡을 수 있게 될까요?

**조일주 :** 그렇게 될 수 있다고 생각합니다. 현재 정부에서 팬데믹 관련 R&D에 많은 투자를 하고 있고, 그 중 상당 부분은 현재의 COVID-19을 해결하기 위한 것입니다. 그와 비슷한 비중을 차지하고 있는 것이 포스트 팬데믹을 준비하는 연구입니다. 향후 이런 팬데믹 상황이 다시 발생했을 때 빠르게 백신과 치료제를 개발할 수 있는 플랫폼 개발에 예산의 상당 부분이 투입되고 있습니다.

KIST에서도 현재 이와 관련된 연구를 기획하고 있습니다. 현재의

COVID-19는 이미 시장이 형성되어 민간에서 충분한 연구가 이루어지고 있으므로 저희는 향후 유사한 위기가 왔을 때 거기에 빠르게 대응할 수 있는 방안을 마련하는 연구, 기업들이 접근하기 힘든 분야에 대한 연구를 기획하고 있습니다. 개인적으로 이러한 과제를 기획할 때 바이오 분과 뿐만 아니라 로봇, 환경 등의 분과와 협력 해 KIST만의 팬데믹 대응 플랫폼을 만들 수 있다면 좋은 연구가 될 것이라고 생각합니다.

**이득희 :** 앞에서 너무 잘 이야기 해주신 것 같습니다. 민간 R&D는 수익성 창출을 위해 제품을 만들거나 서비스를 개발하지만 공공 R&D는 수익성과 관계는 적더라도 공공성이 있는 연구를 수행해야 한다고 생각합니다. 앞서 말씀해주신 희귀질환 치료와 관련된 연구나 재활로봇 개발 같은 경우 사회적으로 굉장히 중요한 이슈이고 이는 KIST와 같은 공공 연구 기관이 수행하는 것이 적합하다고 생각합니다.

**문명운 :** 소재·반도체 분야를 기준으로 이야기하자면 얼마전 소부장 문제를 떠올려 볼 수 있을 것 같습니다. 일본 수출규제로 인한 소부장 사태 이전에는 어느 정도 경쟁력을 갖췄다고 생각했던 우리나라 소재 분야였지만, 이 사태를 통해 우리의 현실을 정확히 파악할 수 있게 되었던 것 같습니다. 현재 일본 소부장 사태는 정부와 연구계, 산업계의 노력을 통해 어느 정도 해결 된 상태이지만 향후 일본뿐 아니라 미국, 유럽 등의 국가에서도 동일한 사태가 발생하지 않으라는 법은 없습니다. 따라서 소재 분야에 있어서는 선진국을 따라가는 형태의 연구개발 보다는 신기술을 만들어 내는 것이 중요하다고 생각합니다. 제가 소속된 극한 소재 연구센터의 이름처럼 한계를 넘어가는 소재의 개발이 필요하고 그걸 저희 KIST 같은 기관 더 나아가 공공 R&D가 주도할 수 있어야 한다고 생각합니다.

**4 최근 도전·창의적 연구의 중요성이 강조되고 있습니다. 이와 같은 연구를 촉진하기 위해 각 분야별로 필요한 요소는 무엇이 있을까요?**

**홍석원 :** 다른 것보다도 연구 행정이 먼저 개선되어야 할 것 같습니다.



도전·창의적 연구를 수행하다 보면 예상하지 못한 문제들이 많이 발생하게 됩니다. 이러한 문제에 대응하기에 현재의 시스템은 유연성이 너무 떨어지고 이것이 도전·창의적 연구를 수행하는 데 가장 큰 허들이 아닐까 합니다.

연구계획서의 예를 들면 현재의 연구계획서는 예상되는 결과들을 뽑아 내는 수준에 불과합니다. 실험의 진행 방향이나 정도에 따라 사용되는 예산이 크게 달라지는데 이러한 부분에 대한 고려가 전혀 되지 못하고 있어 이러한 부분에 대한 개선이 필요합니다. 인건비, 직접비 등 꼭 필요한 항목만 남기고 연구비 항목을 최소화해 연구자의 자율성을 보장 해주어야 합니다. KIST 연구자들은 충분히 좋은 역량과 자세를 가지고 있으므로 이런 부분부터 하나씩 개선이 이루어지다 보면 충분히 도전·창의적 연구가 수행될 수 있다고 생각합니다.

실패를 두려워하지 않는 문화가 필요하다고 생각합니다. 최근 KIST의 평가 제도도 이러한 방향으로 바뀌었고 개인적으로 매우 환영합니다. 실제로 정부 과제의 90% 이상이 성공하고 있는 상황이지만, 산업 현장에 있는 현직자들은 이 중 실제 현장에서 활용 가능한 기술이 거의 없다고 불평하고 있는 상황입니다. 현재처럼 연구계획서 작성 단계부터 꼭

짜여진 틀에 갇힌 상황에서는 성공을 위한 연구만을 하게 되고 이는 도전·창의적 연구의 장애물이 될 것입니다.

**조일주 :** 이 문제는 분야별로 큰 차이는 없을 것으로 생각합니다. 앞서 말씀드렸듯 연구자의 자율성에서 창의적 아이디어가 나오고 그러기 위해서는 물입할 수 있는 환경이 주어져야 합니다. 훈단장님께서 말씀하신 것처럼 제도적으로 불편한 점들이 보완되면 도전·창의적 연구가 확대될 수 있을 것으로 생각합니다.

KIST에 집중해 생각해보면 저는 KIST가 다른 연구 기관과 비교해 가진 장점이 융합적 접근을 통한 창의적 아이디어 도출이라고 생각합니다. KIST에는 다양한 분야의 연구자들이 존재하고 이는 자연스럽게 융합적 연구 환경으로 이어집니다. 이 연구자들이 융합적 환경을 통해 창의적 아이디어를 도출할 수 있도록 돕는 것이 저희 연구기획위원회의 역할입니다.

KIST 차원에서도 과제를 기획할 때 연구단이나 센터 단위의 과제보다 소본부를 아우르는 융합적 과제를 도출해 연구자들이 한공간에 모이고 얘기하고 생각할 수 있도록 토대를 만들어 주는 것이 우리 기관의 장점을

극대화해 도전·창의적 연구를 촉진할 수 있도록 하는 방법이 아닐까 합니다.

*“KIST 차원에서도 과제를 기획할 때 연구단이나 센터 단위의 과제보다 소본부를 아우르는 융합적 과제를 도출해 연구자들이 한공간에 모이고 얘기하고 생각할 수 있도록 토대를 만들어 주는 것이 우리 기관의 장점을 극대화해 도전·창의적 연구를 촉진할 수 있도록 하는 방법이 아닐까 합니다.”*

**이득희:** 저는 연구자들이 여유가 있어야 한다고 생각합니다. 저희 분과 연구자들의 대부분은 허용되는 참여율을 꽉 채워서 연구를 하고 있는 것으로 알고 있습니다. 또 대부분의 연구가 3년에서 5년짜리 단기 연구고 그 시기에 맞춰 성과를 만들어야 하다 보니 당장의 성과를 만드는데 급급한 연구자들이 대부분입니다. 이런 상황 하에서는 창의·도전적 연구에 대한 생각을 하기가 어렵습니다.

개인적으로는 참여율을 좀 낮추고 여유를 가질 필요가 있다고 생각합니다. 하지만 그렇다고 연구 자체를 줄일 수는 없습니다. 제가 제안드리고 싶은 것은, 실제 연구개발을 하는데 70% 정도의 참여율을 사용하고, 30% 정도는 도전적이고 창의적인 연구를 준비하고 기획하는 데 사용할 수 있도록 이를 과제화하는 것입니다. 이렇게 된다면 연구자들도 도전·창의적 생각을 할 수 있는 여유를 가질 수 있을 것 같습니다.

특히 저의 분과의 경우 경쟁 상대로 아마존, 구글과 같은 세계적 빅테크 기업이 즐비한 상황입니다. 이들과 직접적으로 경쟁을 하는 것은 매우 힘들기 때문에 저에게는 도전·창의적 연구 아이디어가 더욱 중요하고, 이를 위해 연구자들의 여유 확보가 꼭 필요합니다.

**문명운 :** 분야별 특성을 제외하고 말씀을 드려보면, 90% 이상의 정부 R&D가 성공하고 있는 현재 상황 하에서는 도전·창의적 연구를 시도하기 어렵습니다. 창의적 연구가 가능한 분위기를 만들어 줘야 합니다. 이를 위해 연구자들 간의 격려하는 마인드가 중요하다고 생각합니다. 현재는 과제 기획이나 평가를 함에 있어서는 격려보다는 현실적인 예산, 과제 성공률을 따져가며 서로 지적하기 바쁜 것 같습니다. 이러한 비판보다는 건설적인 코멘트를 통해 연구자들 간에 격려하는 분위기를

만드는 것이 중요한 것 같습니다.

앞서 말씀하신 빅테크 기업들의 경우 직원들의 창의적인 마인드를 끌어내기 위해 다양한 문화 조성을 해 왔고 이런 과정을 통해 빅테크 기업으로 성장할 수 있었다고 생각합니다. 우리도 과제 기획, 수행, 평가 과정에서 분위기를 잘 조성한다면 도전·창의적 연구는 자연스레 따라오지 않을까 생각합니다.

**홍석원 :** 동의합니다. 연구자들이 서로를 대하는 방식이 창의적 분위기를 형성하는 데 있어 매우 중요하다고 생각합니다. 서로의 연구의 단점을 지적하는 것보다 격려하고 존중하는 마음이 중요한 것 같습니다.

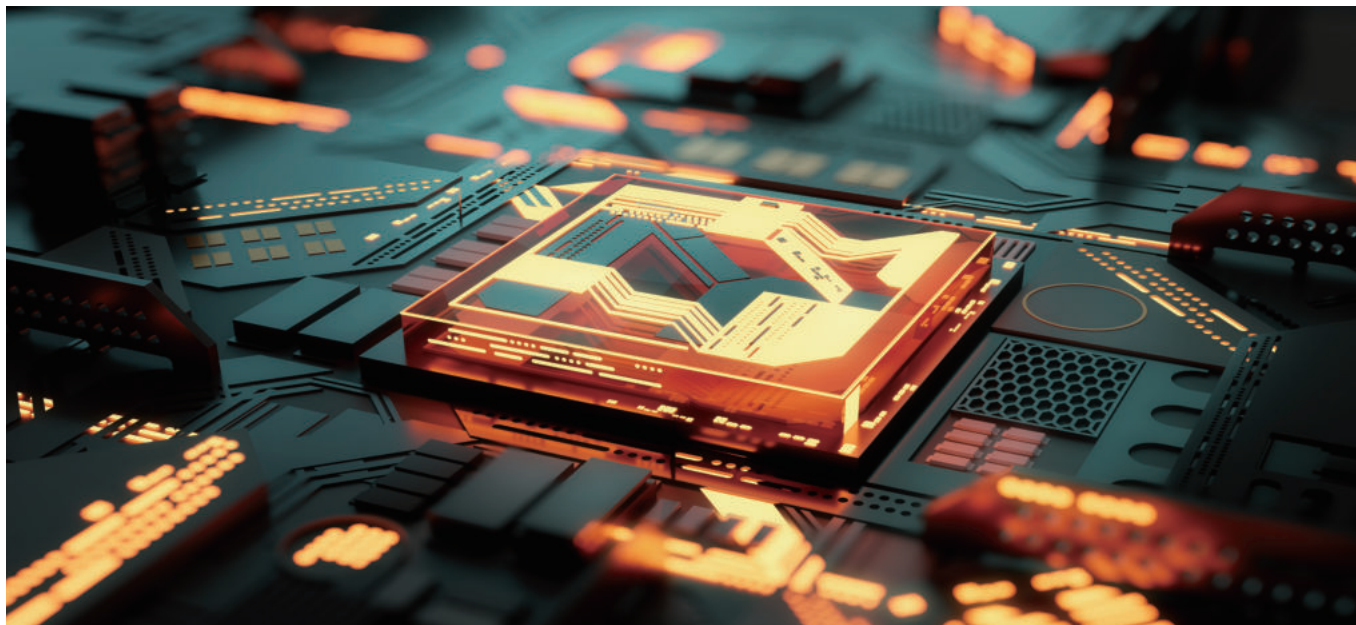
**조일주 :** 한가지만 첨언하자면 창의적 연구를 위해 만들어진 대표적 기관이 IBS입니다. IBS의 성공 여부를 생각해 보면, 원래 IBS의 목적인 우수한 논문의 생산 측면에서 IBS는 투입된 예산 대비 대성공이라고 생각합니다.

개인적으로 이러한 IBS의 성공 요인은 연구자들의 자율성이라고 생각합니다. 연구자들에게 특별한 가이드라인을 주지 않고 연구자를 믿고 연구비를 지원해 준 결과 연구자들의 창의성이 크게 증대되었고 이것이 좋은 성과로 이어졌다고 생각합니다. 저는 KIST도 이러한 제도를 벤치마킹해서 연구자들의 창의성을 확보하기 위한 제도를 만들어야 한다고 생각합니다. **KIST**



# 양자혁명 2.0 시대의 예고: 양자기술과 양자컴퓨터

김 용 수 양자정보연구단 책임연구원, yong-su.kim@kist.re.kr  
 한 상 옥 양자정보연구단장 책임연구원, swhan@kist.re.kr  
 함 주 영 미래전략팀 선임연구원, jyham@kist.re.kr



2019년 10월, 세계에서 가장 저명한 학술지 네이처(Nature)는 구글이 개발한 양자컴퓨터가 현존하는 슈퍼컴퓨터의 한계를 뛰어넘는 이른바 ‘양자 우위(quantum supremacy)’를 세계 최초로 달성했다고 발표했다[1]. 초전도 소자 기반의 53큐비트로 구성된 양자컴퓨터 ‘시커모어(Sycamore)’가 기존 컴퓨터로 약 1만 년이 걸리는 연산문제를 단 200초 만에 풀어낸 것인데, 그동안 이론적으로만 존재하던 꿈의 컴퓨터의 가능성을 양자역학적 원리를 이용하여 최초로 실험을 통해 입증한 것이다. 이에 전 세계 과학자와 공학자들은 성능 수치에 다소간의 의문은 제기하면서도, 양자컴퓨터의 파괴적 기술(Disruptive technology)에 대한 가능성을 보여준 그 자체만으로 획기적인 마일스톤으로 받아들이고 있다.

이후, 이 사건은 양자기술이 미래 산업경쟁력의 핵심기술로서 국가 경제와 산업 전반에 패러다임을 뒤흔들 수 있는 혁신적인 게임 체인저로 본격적인 주목을 받는 계기가 되었다. 세계에서 가장 공격적인 개발을

수행 중인 미국의 구글, IBM을 비롯하여 중국의 알리바바 등 세계 주요 국들은 수많은 연구 인력과 천문학적인 자본을 투자하면서 양자컴퓨터 개발에 사활을 건 기술패권 전쟁에 불을 붙이기 시작하였다. 특히 2020년 12월, 중국에서 또 다른 저명 학술지 사이언스(Science)에 발표한 양자광학 기반 실험적 양자 우위 연구결과는 갈수록 치열해지는 미국과 중국의 양자컴퓨터 기술 경쟁을 단적으로 보여준다[2].

우리나라도 양자기술을 체계적으로 육성하기 위해 2014년도에 ‘양자 정보통신 중장기 추진전략’을 발표하면서 국가 차원의 양자연구를 시작했다. 지난 4월에는 국가의 미래 전략기술 확보를 위한 방안으로 양자 기술 연구개발(R&D) 투자전략을 확정하고, 도전적인 원천기술 개발을 강화하겠다고 밝혀 양자기술 발전에 기대감을 높이고 있다[3]. 양자기술은 양자컴퓨팅의 초고속 연산, 양자통신의 초신뢰 보안, 양자센서의 초정밀 계측 등을 가능하게 하는 혁신적인 기술이다. 이 중 양자컴퓨팅 기술은 국내 산업이 아직 형성되지 않아 대학과 출연(연)을 중심으로

기초연구를 수행하고 있다. 출연(연) 최초로 양자연구를 시작한 KIST는 1980년도부터 양자소재 연구로 기반을 꾸준히 마련하였으며, 2012년에는 전문화된 양자정보연구단을 설립, 양자소재부터 시스템(양자컴퓨팅, 양자통신, 양자시뮬레이션, 양자센서 등)에 이르기까지 원천기술 확보에 매진하고 있다. 최근에는 KT와 공동으로 현대중공업 내에 양자 암호통신 인프라를 구축하여 조선업계 최초로 방산기술의 보안 체계를 한층 강화하는 계기를 이루어내기도 하였다[4].

눈에 보이지 않는 작은 원자의 미시세계를 다루는 양자기술에 대한 연구는 앞으로 인류의 삶을 어떻게 획기적으로 바꿀 수 있을까? 전문가들은 2차 양자혁명이 이미 시작되었다고 분석하기도 한다. 20세기 초 현대물리학의 기초 양자역학을 밝혀내어 트랜지스터와 같은 인류 역사에 획을 그은 발명품을 탄생시킨 것이 1차 양자혁명이라면, 2차 양자혁명은 양자 중첩과 양자 얽힘이라는 양자 특성을 활용하여 컴퓨터와 정보통신 등 산업 전반에 걸쳐 패러다임을 바꿀 수 있는 대변혁이라고 볼 수 있다 [5]. 미국의 물리학자 리처드 파인만이 '양자역학을 완벽하게 이해한 사람은 아무도 없다'고 이야기할 만큼 심오한 양자역학의 세계를 한번 들여다보자.

양자정보에서 이야기하는 양자(quantum)는 원자, 전자, 광자와 같이 특정 개체를 지칭하는 용어로 이해하기보다 양자 중첩, 양자 얽힘과 같은 고전역학으로 설명이 불가능한 현상으로 바라보는 것이 중요하다. 중첩과 얽힘과 같은 양자의 특이한 상태는 주로 원자 수준의 미시세계에서 관측되기 때문에 이런 관측이 가능한 원자, 전자, 광자와 같은 특정 입자들을 편의상 양자로 지칭하기도 하는데, 중요한 것은 이런 특정 개체가 아니라 특이한 양자 현상이다. 양자컴퓨터는 이러한 '양자현상'을 정보처리에 활용한 컴퓨터로, 특정 연산의 경우 슈퍼컴퓨터의 수억 배에 달하는 뛰어난 연산 속도를 가질 수 있다. 전통적인 컴퓨터는 이진법 0, 1의 비트를 통해 모든 정보를 저장하고 연산을 수행하지만, 양자컴퓨터는 양자 비트 즉 큐비트(quantum bit)라고 불리는 단위로 구동된다. 큐비트는 0과 1을 동시에 가지는 상태를 이용하여 정보를 저장하고 연산을 수행하게 되는데, 병렬연산을 통해 정보처리와 연산속도가 지수 함수적으로 증가하여 빠른 속도로 문제 해결이 가능하다. 그럼 양자역학의 기본적인 특성에 대해 좀 더 자세히 알아보겠다.

## 양자컴퓨터의 핵심 원리: 양자 중첩과 얽힘

과학발전의 역사상 세상을 놀라게 한 유명한 고양이기가 있다. 슈뢰딩거 고양이는 1935년 오스트리아 이론물리학자 에르빈 슈뢰딩거(Erwin Schrödinger)가 고안한 사고실험의 주인공이다. 전통적 이론인 '코펜하겐 해석', 즉 양자의 상태는 관측을 통해 확률로 결정된다는 이론의 불완전성을 비판하기 위해 설계한 실험이지만, 지금은 양자역학의 중첩성(quantum superposition)을 설명하는 대표적인 사례로 꼽히고 있다. 사고실험의 내용을 간단히 정리하면 다음과 같다. 고양이 한 마리는 외부세계와 완벽하게 차단된 상자 안에 갇혀 있다. 그리고 그 상자 안에는 독이 든 유리병과 망치, 시간당 1/2의 확률로 붕괴되는 방사성 물질 라듐과 방사능을 검출하는 가이거 계수기가 들어 있다. 방사능이 검출되는 순간 계수기와 연결된 망치는 독이 든 유리병을 깨트리게 되는데, 이로 인해 결국 고양이는 죽게 된다. 그렇다면 1시간이 흐른 뒤, 고양이는 과연 죽었을까, 살아있을까?[6]

뉴턴의 고전역학이 지배하는 거시세계와는 달리, 양자역학이 지배하는 미시세계에서 일어나는 사건은 그 사건이 측정(관측)되기 전까지는 여러 가능성을 갖는 중첩 상태가 여러 공존한다. 즉, 상자를 열어 관측하기 전까지는 하나의 상태로 결정되지 않은 채 고양이는 죽기도 하고 살기도 한 중첩된 상태의 고양이가 존재한다. 사실 고양이처럼 거대한 물리계가 양자 중첩을 가지기는 매우 어려운데, 이는 양자역학에서 말하는 사건의 측정이 비단 상자를 열어 고양이의 상태를 확인하는 것에만 국한하지 않기 때문이다. 현실 세계의 고양이는 공기의 흐름, 적외선의 방출 등을 통해 주변 환경과 끊임없이 상호작용하고 있으며, 이러한 상호작용 역시 고양이의 상태를 알려주는 측정의 일종으로 볼 수 있다. 즉, 양자역학의 가장 중요한 특징 중 하나인 양자 중첩은 주변과의 상호작용을 통해 잃을 수 있으며, 이는 양자컴퓨터 개발에서도 가장 큰 실험적 난관이기도 하다.

양자역학에 있어 양자 중첩만큼이나 중요한 특성 중 또 한 가지는 바로 '양자 얽힘(quantum entanglement)'이다. 양자 얽힘은 둘 이상의 입자가 가지고 있는 양자 중첩으로 이해할 수 있는데, 이러한 특성으로 말미암아 두 입자가 멀리 떨어져 있어도 마치 서로 연결되어 있는 것과 같은 상호관계를 가지게 된다. 즉, 공간적으로 분리되어 있어도 상호

작용하는 얽힘 특성 때문에 하나의 상태가 결정되는 순간 나머지 반대 쪽의 상태도 즉각적으로 바뀌게 된다. 아인슈타인은 이러한 공간을 초월하는 상호작용이 상대성이론에 위배된다며, 양자역학의 불완전성을 주장하였지만, 오늘날 양자 얽힘은 실험실에서 흔하게 관측할 수 있는 대표적인 양자적 특성으로 자리 잡았다. 양자컴퓨터는 양자가 지니는 이러한 양자 중첩과 양자 얽힘을 정보처리에 활용함으로써 연산을 처리하는 양과 속도에서 이득을 얻는 장치이다.

하지만 큐비트가 온전히 양자역학적 성질을 가질 수 있는 환경을 조성하는 것은 매우 어려운 일이다. 앞서 기술한대로 양자 중첩은 큐비트를 구성한 입자가 주변 환경과 상호작용하면 쉽게 잃을 수 있는데, 이를 결어긋남(decoherence)이라고 한다. 큐비트의 양자 중첩 상태와 양자 얽힘을 유지하기 위해서는 주변 환경과의 상호작용을 막고 특수한 환경을 조성해야 하는데, 이 점이 양자 컴퓨터의 실현에 가장 큰 걸림돌로 작용하고 있다.

### KIST 양자컴퓨터 관련 연구

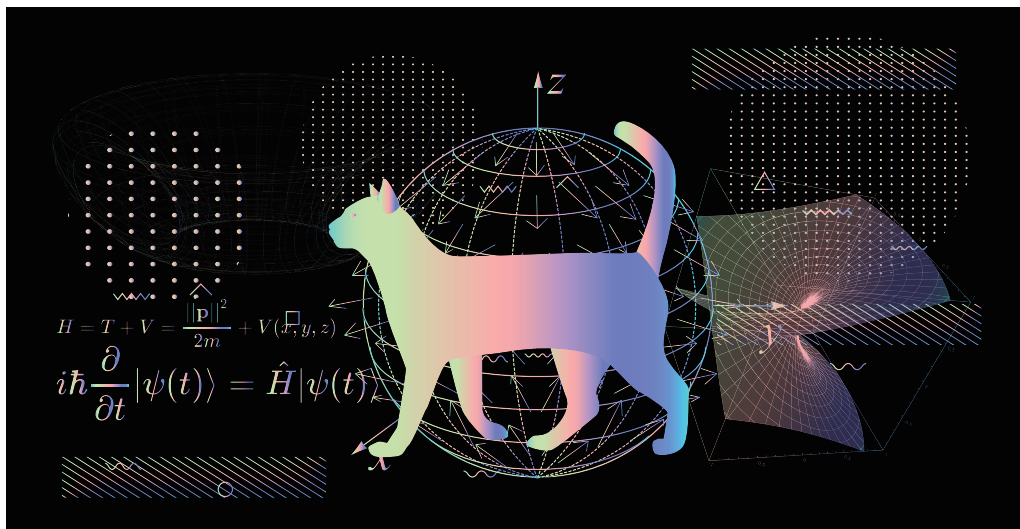
많은 전문가들은 현재의 양자컴퓨팅 연구 동향을 ‘양자계 검증단계, NISQ (Noisy Intermediate-Scale Quantum)’ 시대라고 일컫는다. 즉, 앞서 언급한 오류(결어긋남 등)가 완벽하게 보정된 양자컴퓨터가 상용화되기 이전 단계로, 오류가 포함된 수십~수백 개 수준의 큐비트를

활용한 중간 규모의 양자컴퓨터를 개발하는 시대를 의미한다. 바로 이러한 NISQ의 양자 컴퓨팅은 현재의 슈퍼컴퓨팅으로는 불가능한 특정 문제를 해결함으로써 현대 과학기술의 혁신을 이끄는 모습을 가장 먼저 보여줄 것이라 기대한다. 주요 연구는 NISQ 수준의 양자컴퓨터를 구현하는 기술과, NISQ의 양자컴퓨터를 이용해 유용한 응용분야를 발굴하고 적용하는 연구로 나누어 볼 수 있다.

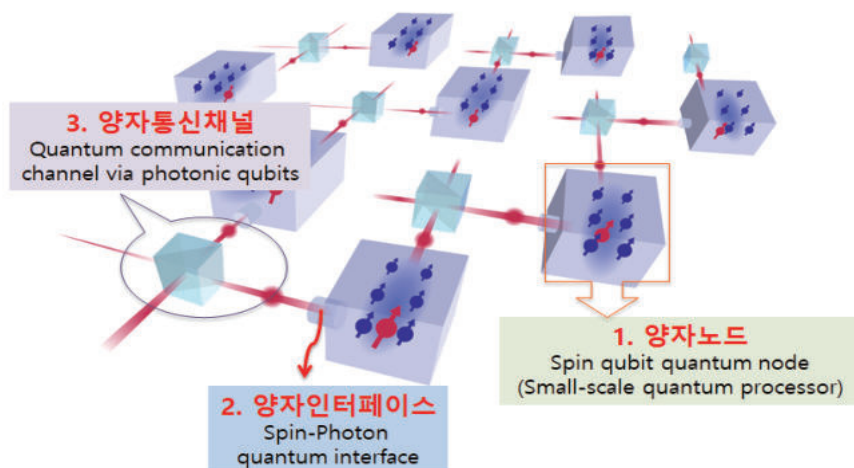
### <양자네트워크 기반 대규모 양자컴퓨터 기술>

양자컴퓨터의 기본 정보 단위인 큐비트는 2차원 결맞음 양자상태를 구현할 수 있는 물리계라면 어떠한 방법으로도 활용될 수 있다. KIST에서는 다이아몬드와 같은 고체에 존재하는 점결함(point defect)의 전자스핀과 핵스핀을 큐비트로 활용한다. 10mK 수준의 극저온에서 동작하는 초전도 큐비트, 초고진공이 필요한 이온트랩 큐비트와는 달리 다이아몬드 점결함은 상온, 상압에서 동작이 가능한 장점을 가지고 있다. 반면, 다이아몬드 점결함은 자연 상태의 다이아몬드에서도 어렵지 않게 발견할 수 있으나, 점결함 위치가 임의적이기 때문에 특정 위치에 다수의 점결함을 집적화하기 어려운 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 KIST에서는 다이아몬드에서 저에너지 이온빔을 주사하여 원하는 위치에 고순도 점결함 큐비트를 생성하는 연구를 수행하고 있다. 최근에는 이러한 방법을 통해 하나의 점결함에 7개의 스핀 큐비트가 집적된 양자노드를 생성하는데 성공하였다.

| 그림 1. 슈뢰딩거 고양이 사고실험에 대한 모식도 |



| 그림 2. 양자네트워크 기반 양자컴퓨터 기술 |



양자컴퓨터를 구성하는 큐비트의 개수를 늘리기 위해 하나의 양자노드에 집적된 스핀 큐비트의 개수를 증가시킬 수 있으나, 어느 수준을 넘어서 집적화하는 것은 매우 어려운 일이다. 다이아몬드 점결함 큐비트의 경우 하나의 양자노드에 집적된 큐비트의 개수는 20개를 넘기 힘들 것으로 전망되며, 최근 많은 주목을 받고 있는 초전도회로나 이온 트랩 기반 양자컴퓨터 역시 하나의 노드에 수십 개 수준의 큐비트만 집적화할 수 있을 것으로 전망된다. 대규모 집적화를 가로막는 주요 이유는 하나의 양자노드에 너무 많은 큐비트가 존재하면, 각각의 큐비트를 구분하고 제어하는데 많은 기술적 난관이 존재하기 때문이다. 따라서 이러한 기술적 난관을 극복하기 위해 여러 개의 양자노드를 만들고 이들을 양자네트워크를 이용해 연결함으로써 하나의 거대한 양자컴퓨터를 구성하는 양자네트워크 기반 양자컴퓨터 기술이 큐비트를 구현하는 물리계를 불문하고 많은 관심을 받고 있다[7].

양자네트워크 기반 양자컴퓨터는 공간적으로 떨어진 두 양자노드에 존재하는 큐비트 간 양자게이트 작용을 구현할 수 있어야 한다. 이를 위해 KIST에서는 양자노드의 다이아몬드 점결함 스핀 큐비트를 광자 큐비트로 전환하고 광자 큐비트 간 상호작용을 이용해 스핀 큐비트 간 양자게이트 작용을 구현하는 연구를 수행하고 있다. 스핀 큐비트를 광자 큐비트로 전환 또는 연결하는 과정을 양자인터페이스라 하며, 광자 큐비트 간 상호작용을 이용하는 과정을 양자통신채널이라 한다. 즉,

양자네트워크 기반 양자컴퓨터 기술은 스핀 큐비트가 집적된 양자노드, 스핀 큐비트를 광자 큐비트로 전환하는 양자인터페이스, 광자 큐비트 간 상호작용을 통해 다른 양자노드 내 스핀 큐비트 간 양자게이트 작용을 구현하는 양자통신채널로 이루어진다 (그림 2). KIST에서는 이러한 양자인터페이스와 양자통신채널에 대한 연구를 활발히 진행하고 있다. 특히 반도체 공정을 통해 다양한 다이아몬드 나노구조물을 만들고 점결함으로부터 방출되는 광자의 포집효율을 올림으로써 스핀-광자 양자인터페이스 효율을 올리는 연구를 중점적으로 수행하고 있다[8].

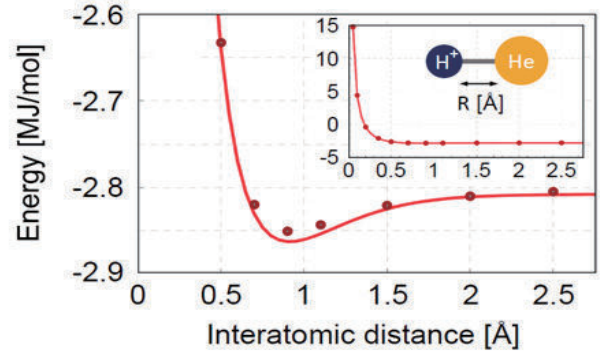
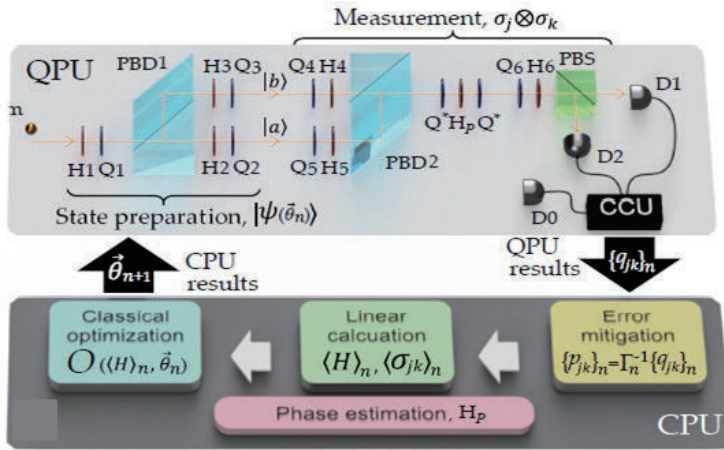
### <중규모 양자컴퓨터 응용 연구>

가장 널리 알려진 양자컴퓨터의 응용분야는 암호해독과 방대한 데이터 검색 알고리즘이다. 하지만 이러한 응용분야는 매우 큰 규모의 양자컴퓨터를 필요로 하며, NISQ 수준의 양자컴퓨터에 적용하기는 어려운 실정이다. 따라서 NISQ 수준의 양자컴퓨터를 이용해서 해결할 수 있는 중요하면서도 실용적인 문제를 찾고, 적용하는 것은 매우 중요한 문제이다. 최근, NISQ 수준의 제한적인 양자컴퓨터의 활용을 극대화하기 위해, 양자프로세서로는 디지털컴퓨터가 효율적으로 수행할 수 없는 연산만 수행하고, 나머지 연산은 디지털컴퓨터로 수행함으로써 양자 프로세서의 부담을 줄여주는 방식에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이러한 알고리즘을 흔히 양자-고전 하이브리드 알고리즘이라고 부르는데, 대표적으로 Variational Quantum Eigensolver(VQE)<sup>1)</sup>가

1) VQE는 해밀토니안 행렬의 고유값과 고유벡터를 계산하는 알고리즘으로, 특히 가장 작은 고유값을 효율적으로 찾을 수 있는 알고리즘이다. 행렬의 고유값을 구하는 문제는 자연과학, 공학, 사회과학 등에서 다양한 응용분야를 가지고 있으므로 활용성이 매우 큰 알고리즘이다.



| 그림 3. 광자의 다양한 자유도를 활용하는 VQE 실험 장치와 분자의 바닥상태 에너지 계산 결과 |



여기에 속한다.

KIST에서는 광자의 다양한 자유도를 동시에 활용하여 효율적으로 양자 프로세서를 구현하고, 이를 이용해 분자의 바닥상태 에너지를 계산하는 VQE 연산을 수행하였다[9]. 일반적으로 하나의 단일광자를 이용해 하나의 큐비트를 표현할 수 있는데 반해, 다양한 자유도를 활용함으로써, 하나의 단일광자를 이용해 다수의 큐비트를 구현할 수 있음을 보였다. KIST 실험에서는 단일광자의 편광과 공간모드를 이용해 큐비트 2개에 해당하는 양자 연산 공간을 구현하고 VQE에 적용하였다. 그림 3은 KIST에서 구현한 VQE 실험 장치와 이를 이용해 계산한 2원자 분자의 바닥상태 에너지를 원자간 거리에 따라 나타낸 것이다.

이처럼 NISQ 수준의 양자컴퓨터 구현과 응용 기술 개발에 대한 노력은 향후 복잡한 분자구조를 모델링할 수 있는 알고리즘 개발을 통해 양자 화학 계산 분야에 널리 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

### 양자컴퓨팅 기술이 가져올 변화

그렇다면 양자기술의 발전은 앞으로 어떠한 변화를 가져올까? 화학 물리 분야에서는 원자-분자 간의 새로운 과학적인 현상을 규명해 줄 수 있는 도구가 되어줄 것이다. 나노소재, 미세구조의 시뮬레이션을 통해 새로운 소재를 발견해 낼 수 있을 뿐만 아니라, 분자구조의 정확한 모델링을 통해 수년이 소요되는 의약산업의 경제적 비용을 앞당겨 줄

수 있다. 정보보호와 국방 등 암호해독 분야에 활용할 수 있을 뿐만 아니라, 금융, 교통 등에 이르기까지 복잡하면서도 월등한 연산 속도를 필요로 하는 다양한 산업 분야에 걸쳐 혁신을 가져올 것으로 기대된다.


특히 바이오·생명공학 분야에서의 기대는 주목할 만하다. 3차원으로 접힘 형태를 지니고 있는 단백질과 유전자 구조를 정확하게 예측하고 분석하는 것은 신약개발, 유전자 질환 치료 등에 있어서 매우 중요한 일이다. 하지만 인간의 유전자를 구성하는 DNA는 4종류의 염기가 중합 과정을 통해 약 64억 개 이상의 염기쌍으로 복잡하게 구성되어 있어 이를 해석하는 일은 인류가 극복해야 할 최대 난제 중 하나로 알려져 있다. 실제로 미국 버지니아대학 연구진들은 방대한 양의 염기서열 변이 데이터를 효율적으로 계산할 수 있는 알고리즘을 개발하여 기존 디지털 컴퓨터로 약 30억개의 연산이 필요한 것을 양자컴퓨터로는 단 32개의 연산만으로 가능하게 됨을 보였다[10]. 이는 유전자 질환의 진단에서부터 난치병을 예방하고, 개인별로 맞춤형 치료 등이 가능할 수 있게 된다는 점에서 큰 의미가 있다. 최근 전 세계를 강타한 코로나 스파이크 단백질의 변이처럼 인체 감염성이 있는 고빈도의 바이러스 변이를 추적해나가는 열쇠가 될지도 모르는 일이다.

계산의 범주가 조합론(combinatorics)에 한정되어 최적화된 배열을 찾는 복잡한 교통, 물류 분야에서도 양자컴퓨팅 기술 도입은 긍정적인 영향을 미칠 수 있다. 수백 대, 수천 대 차량의 상호작용이 이루어낸 교통, 50개 이상의 도시가 맞물려 있는 물류 운송에서는 항목의 수가

증가함에 따라 가능한 배열의 수도 기하급수적으로 증가한다. 하지만 오늘날 디지털 컴퓨터는 최적의 배열을 찾기 위해 각 순열을 반복하여 계산한 후 목표에 가장 적합한 것을 식별해야 하므로 모든 항목을 동시에 고려한 최적 경로를 연산하기는 현실적으로 불가능하다. 양자컴퓨터는 이러한 복잡계에서 개발 움직임과 가능한 많은 변수의 조합을 모두 분석하여 가장 효율적이고 이상적인 '최적 경로'를 예측하는 것이 몇 분 혹은 몇 시간 내에 가능해질 것이다.

최근에는 빅데이터, 인공지능(AI), 머신러닝 등의 급속한 발전과 맞물려 양자컴퓨팅 기술과 인공지능 기술을 접목하려는 시도들도 급증하고 있다. 대규모 고차원의 데이터를 해석하기 위해 딥러닝 처리속도를 개선하는 알고리즘을 개발하는 등 양자컴퓨터를 활용할 수 있는 다양한 방법들이 모색 중이다.

그렇다면, 이러한 양자컴퓨터의 시대는 곧 열릴 수 있을까? 혹은 현실 세계의 중요한 특정 문제들을 해결하는 수준으로 발전하기 위해서는 적게는 수백 개에서 수만 개 큐비트 수준의 양자컴퓨터가 필요하다고 하는데, 앞으로 10년 혹은 그 이상의 시간이 더 필요할 것이라고 전망한다. IBM은 2023년도 말을 목표로 1,000 큐비트 개발을 예고하고 있으며[11], 구글, 마이크로소프트 등의 기업들도 10년 이내 개발을 목표로 하고 있다. 물론 10년 후에도 여전히 양자오류정정, 유용한 양자 알고리즘 개발 등 아직 넘어야 할 산이 여전히 많이 남아있겠지만, 우리나라도 이제는 기술 선진국과의 격차를 줄여야 할 시기가 되었다. 우리

나라는 수십 년 이상 꾸준히 투자해온 선도국에 비해 기술 수준이나 연구개발비 규모 면에서나 극복해야 할 장벽이 많다. 기술 개발에 난이도가 큰 만큼 정부 차원에서 국가의 미래를 좌우할 핵심기술로 인식하고 긴 안목에서의 지속적인 투자와 종합적인 청사진 설계가 필요하다. 양자 분야의 기초 연구에서부터 응용, 개발 연구에 이르기까지 일관성 있는 중장기 전략이 필요하며, 무엇보다도 국내외 협력기반을 구축하여 다학제 융합연구에 힘써 앞으로의 10, 20년 뒤를 대비해야 한다. 출연(연)을 중심으로 대학과 산업계가 참여하는 협업 생태계를 구축하고, 그 어느 때보다도 협력의 리더십을 발휘하여 학문적 난제뿐 만 아니라 인류 공통의 문제를 해결해야 한다. 우리나라가 보유하고 있는 기존 강점을 살릴 수 있는 비교 우위점을 찾아 전략을 세우는 것도 향후 산업경쟁력의 미래를 결정하는데 중요한 역할을 할 것이다. 우리나라의 과학기술 경쟁력이 양자혁명 2.0 시대에서 새로운 지평을 열기를 기대해본다. 

## 참고문헌

1. F. Arute et al, "Quantum supremacy using a programmable superconducting processor", Nature 574, 505 (2019)
2. H.S. Zhong et al., "Quantum computational advantage using photons," Science 370, 1460 (2020)
3. 과기부(2021.4.30), 미래 전략기술 확보를 위한 양자기술 연구개발 투자전략 수립
4. 연합뉴스(2021.3.17.), 현대중공업, 조선업 최초 양자암호통신 시스템 구축
5. 동아사이언스(2021.7.19), 세계는 '2차 양자혁명' 중... 韓, 통신분야 '도전장'
6. 위키백과, [https://ko.wikipedia.org/wiki/슈뢰딩거의\\_고양이](https://ko.wikipedia.org/wiki/슈뢰딩거의_고양이)
7. H. J. Kimble, "The quantum internet", Nature 453, 1023 (2008).
8. S.-W. Jeon et al., "Bright Nitrogen-Vacancy centers in diamond inverted nanocones," ACS Photonics 7, 2739 (2020)
9. D. Lee et al., "Error-mitigated photonic variational quantum eigensolver using a single-photon ququart," submitted.
10. Stefan Bekiranov et al, "Implementation of a Hamming distance-like genomic quantum classifier using inner products on ibmqx2 and ibmq\_16\_melbourne", Quantum Machine Intelligence, 2, 7, (2020)
11. IBM's roadmap, <https://research.ibm.com/blog/ibm-quantum-roadmap>

# 시대를 초월한 혁신의 지리학: 역사 속 도시의 다양성과 혁신 활동의 관계

Doehne, M., & Rost, K. (2021). Long waves in the geography of innovation: The rise and decline of regional clusters of creativity over time. *Research Policy*, 50(9).

구병석 미래전략팀 연구원, koobs@kist.re.kr

## 연구의 배경

오늘날 클러스터 정책은 과학과 기술, 경제적 측면에서 매우 중요한 위상을 차지하고 있지만, 이를 국가 차원에서 체계적으로 육성하기 시작한 시기는 인류 역사 전체를 놓고 볼 때 20세기의 실리콘 밸리 이후 비교적 짧은 기간에 국한된다. 그러나 실은 그보다 훨씬 오래전부터 인류는 다양한 클러스터에 밀집하여 성장과 쇠퇴의 역사를 반복했다. 고대 그리스 도시국가를 시작으로 중세 시대의 베니스, 르네상스 황금기의 피렌체, 산업혁명 시기의 런던 등 유럽 주요 도시를 중심으로 새로운 사상과 혁신이 피어나고 전파되어 온 것이다.

오늘날 각국 정부는 클러스터 육성에 대해 많은 관심을 쏟고 있으며 앞으로도 수많은 클러스터가 정부의 체계적인 지원을 받으며 생존 경쟁을 펼칠 것이다. 그러나 기술 지원, 금융 혜택, 규제 해소 등 정교한 정책 수단이 개발되고 적극적으로 활용되는 오늘날과 달리 과거에는 도시 발전의 상당 부분이 중앙집권적인 계획 없이 내부 구성원의 자생적 활동으로 발생했다. 따라서 정부 개입의 효과가 미미했던 역사적 사례를 분석하면, 혁신 클러스터의 기원을 찾는 데 크게 도움이 될 수 있다. 마치 생명의 기원을 연구하기 위해 고대 생물을 조사하는 것과 비슷하다.

클러스터 발전의 핵심 원리는 지식의 공급자, 이전자, 수요자가 지리적으로 서로 가까이 위치할 때 그 지역을 중심으로 지식의 생성과 확산이 촉진되는 '집적경제(agglomeration economies)'에 있다. 집적경제는 크게 두 가지 유형으로 구분되는데, 첫째로 특정 산업을 중심으로 전문화된 인력 풀, 중간재 공급, 노하우 공유가 활성화되는 특화형 외부효과(Marshallian externalities)와 둘째로 산업 경계를 뛰어넘어 다양한 이종 지식이 수평적으로 결합, 완전히 새로운 기술/시장이 창출되는 융합형 외부효과(Jacobian externalities)로 나뉜다.

지식의 특화와 융합, 두 가지 모두는 혁신 활동에 있어 일반적으로 필요한 것이지만 급진적인(radical) 혁신은 주로 다양한 지식의 융합에서 비롯되는 반면 점진적인(incremental) 혁신은 특화된 전문 지식의 축적이 중요하게 작용한다고 알려져 있다. 이를 클러스터 차원에서 해석하면 다양한 인적 교류가 활발한 도시에서는 급진적인 혁신이, 특정 전문가 집단이 밀집한 도시에서는 점진적인 혁신이 활발할 것이라는 가설을 세울 수 있다.

분석과정과 결과

본 연구는 역사 속 유럽의 주요 도시가 다양성과 전문성에 있어 차이를 보인다는 점에서 착안, 장장 900년(A.D. 1000년 -1900년)에 걸친 방대한 데이터를 바탕으로 도시별 특징과 혁신 활동의 관계를 분석하고 있다. ‘고대의 클러스터’라 할 수 있는 과거 도시의 발전사를 들여다봄으로써 혁신의 공식을 이해해보는 것이다.

연구의 관건은 오래전 도시에서 발생한 혁신 활동을 추적하고, 그 결정 요인인 도시의 다양성(전문성) 수준을 정교하게 측정하는 것이다. 특히나 논문, GDP 등 오늘날의 통계 지표가 개발되기 이전, 먼 과거의 혁신 활동을 측정하는 것은 상당히 어려운 문제이다.

실마리는 2014년, 사이언스誌에 실린 Schich et al. 논문이었다. 이 논문은 무려 2000년의 기간에 걸쳐 15만여명의 세계 저명인물 데이터를 취합, 이들의 위치 네트워크를 구축하여 도시의 발전 패턴을 분석하였다. 해당 원시자료를 재구성하여, 본 연구는 다음과 같이 도시의 다양성 지표를 설계했다. (전문성은 다양성의 반대로 정의된다.)

$$\text{도시의 다양성} \equiv \text{Pr}(\text{타분야간 인적교류}) = 1 - \sum_{i=1}^k \frac{(n_i(n_i - 1)/2)}{N(N-1)/2}$$

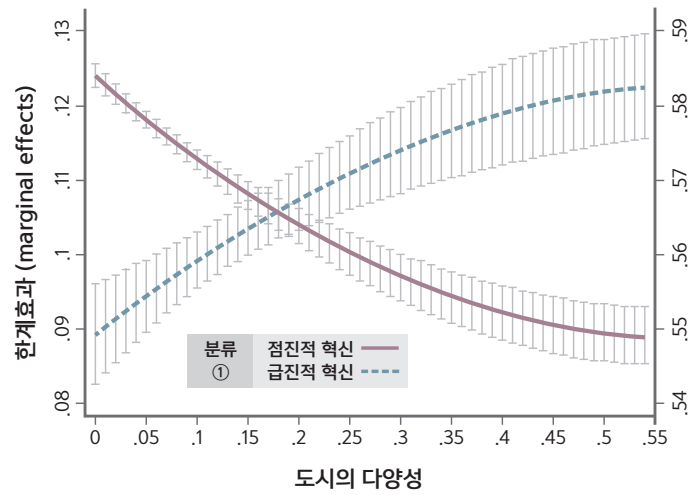
여기서 N은 도시 내 저명인물의 전체 수를, ni는 분야(i)에 속한 인물의 수를 가리킨다. 즉, 다양성은 도시 내 서로 다른 분야의 인물이 교류할 확률로 정의된다. 각 분야는 예술, 건축, 학문(철학), 정치, 군사, 법률, 종교, 상업(금융) 영역으로 구분하였고, 12만명이 넘는 분야별 저명인사의 출생지와 사망지 자료를 분석하여 도시별 다양성 지수를 도출했다. 한편, 당대에는 종교가 인류 사회의 중심이었다는 점에서 착안하여 표 1과 같이 급진적 혁신과 점진적 혁신을 구분하였다. 여기서는 900년의 세월에 걸쳐 기록된 방대한 양의 종교 서적 및 출판물을 활용하였다. 이와 같이 변수들을 정의한 후 회귀분석을 통해 도시의 다양성 이 급진적/점진적 혁신 활동에 미친 영향을 조사하였다. 그림 1A, 1B, 1C는 표 1의 세 가지 구분법에 따른 결과를 각각 보여주고 있다.

| 표 1. 역사적 데이터를 활용한 점진적/급진적 혁신 구분 |

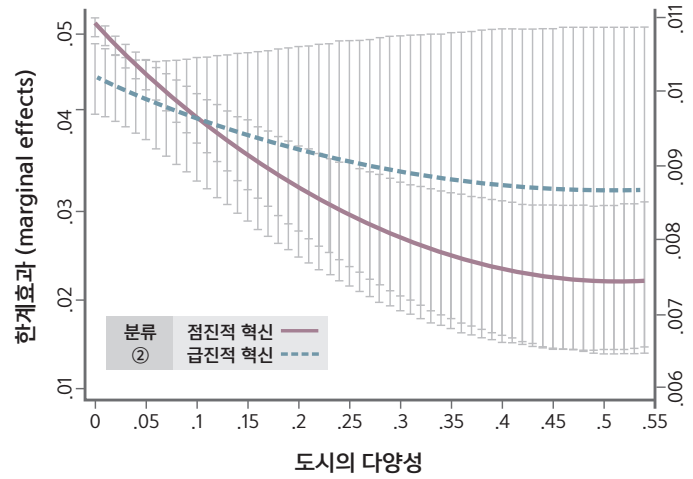
분류 방식	점진적(Incremental)	급진적(Radical)
① 대구분 (전체 기간)	설립된 수도원의 숫자	설립된 출판소의 숫자
② 수도원 성격에 따른 소구분 (17세기 이전)	전통 베네딕토 계열 (예수회, 프레몽 트레회, 시토회, 트라피스트회 등) 수도원 숫자	탁발수도회 계열* (성 아우구스티노회, 도미니코회, 프란치스코회 등) 수도원 숫자
③ 출판물 저자에 따른 소구분 (17세기 이후)	전통 카톨릭 계열 출판물	개신교(루터) 계열 출판물

\* 세속화/권력화된 중세 카톨릭에 대한 반동으로 청빈한 삶을 추구한 신흥 교회 계파

| 그림 1A. 도시의 다양성이 점진적/급진적 혁신에 미치는 영향 (분류 1) |



| 그림 1B. 도시의 다양성이 점진적/급진적 혁신에 미치는 영향 (분류 2) |



| 그림 1C. 도시의 다양성이 점진적/급진적 혁신에 미치는 영향 (분류 3) |

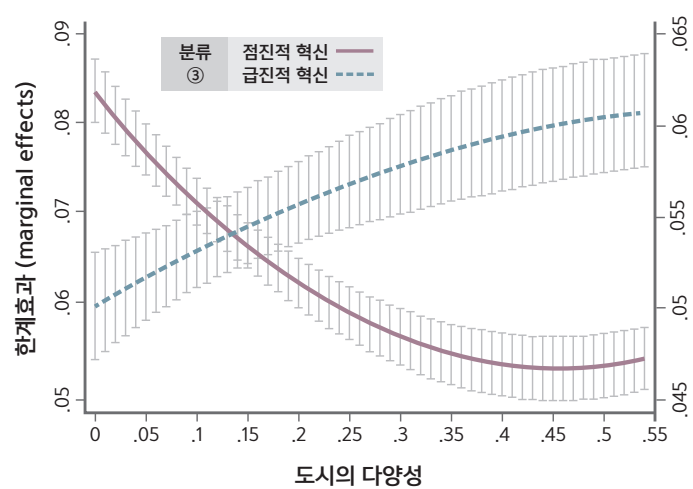




그림 1의 X축은 도시의 다양성을, Y축은 도시의 다양성이 점진적 혁신(실선)과 급진적 혁신(점선)에 미치는 영향력 수준(한계효과)을 나타낸다(실선과 점선을 중심으로 95% 신뢰수준 표기). 위의 결과를 종합해보면, 도시의 다양성이 높을수록(전문성이 낮을수록) 급진적 혁신이 촉진되는 경향을 보이며, 반대로 다양성이 낮은(전문성이 높은) 상황에서는 오히려 점진적 혁신이 활발히 일어남을 알 수 있다. 이러한 경향은 혁신을 세 가지 다른 방식으로 정의했을 때도 비교적 일관되게 나타나고 있다. 국가 차원의 과학기술 정책이 본격화되기 전부터 혁신은 지식의 다양성과 전문성에서 촉발되었다는 사실이 도시의 역사를 통해 잘 드러나고 있는 것이다.

## 연구의 시사점

긴 세월을 걸쳐 도시는 어느 특정한 상태로 정체되어있는 게 아니라 하나의 생명체처럼 성장과 쇠퇴를 반복해왔다. 저자는 그 주요 원인으로 인재들의 '동종선호(homophily)' 현상, 즉 자신과 비슷한 분야의 사람들과 어울리려는 경향에 주목하였다. 처음에는 다양한 분야의 사람들이 한 지역에 정착, 교류하면서 급진적 혁신을 통해 도시가 성장한다. 하지만 시간이 지나면서 도시의 지정학적 환경이나 다른 기타 요소에 의해 특정 분야의 발전 속도가 타 분야에 비해 더욱 빨라지고, 동종선호 현상의 개입으로 해당 분야의 인재 유입이 증가하면서 도시의 전문화가 발생하게 된다. '교외'로 밀려나게 된 타 분야 인재들은 자신의 역량이 발휘될 수 있는 새로운 '융합의 용광로'를 찾아 나서게 되고, 그렇게 또 다른 새로운 도시가 탄생한다. 과거 도시의 생애에 투영된 혁신의 방정식은 시대를 초월하여 오늘날의 클러스터에서도 여전히 유효할 것이다. **KT**

# 헬스케어 분야 내 인공지능의 설명가능성을 주의해야

Babic, B., Gerke, S., Evgeniou, T., & Cohen, I. G. (2021). Beware explanations from AI in health care. *Science*, 373(6552), 284-286.

박규홍 정책기획팀 선임연구원, kyuhong.park@kist.re.kr

## 연구의 배경

최근 헬스케어분야에서 인공지능(AI)의 활용이 늘어나고 있으며, 성능 면에서 기존 방식에 비해 우수함을 보이고 있다. 하지만 최근 활용되는 AI의 경우 서로 복잡하게 연결된 수백에서 수백만 개의 매개변수들이 상호작용 구조를 통해 결과를 도출하는 방식으로 작동하기에 인간이 도출 근거를 이해하지 못하게 되는 블랙박스 문제가 발생한다. 그 결과 효율과 성능 측면에서는 급격한 성장이 있었지만 한편으로는 많은 사용자가 AI에 대한 불신과 거부감을 가지게 되는 근거가 되었다. 이에 정책입안자와 정부, 시민 사회 그룹에서 설명가능한(explainable) AI의 도입을 주장하고 있다. 설명가능한 AI의 도입은 불투명성 문제를 해결하고 신뢰회복과 블랙박스 문제로 발생하는 책임회피를 극복 할 수 있다고 여겨지지만 필연적으로 많은 부분에서 AI의 강점을 상실하게 되는 경우가 있다. 이에 본 연구에서는 헬스케어 분야에 한하여 AI에서 설명가능성을 확보하기 위한 노력이 어떤 한계와 단점을 가지는지를 정리하고 있다.

## 연구의 주요 내용과 정리

본 연구는 설명가능한(explainable) AI와 해석가능한(interpretable) AI의 구분과 정의를 시작으로 작동원리를 설명하였다. 해석가능한(interpretable) AI는 블랙박스 모형이 아닌 사람이 들여다 볼 수 있는 고도화된 선형모형이나 의사결정모형과 같은 투명한 예측모형을 활용한 AI 모형을 뜻한다. 이는 충분한 노력을 들인다면 사용자가 작동원리를 이해할 수 있는 장점이 있지만 딥러닝 방법론과 그 장점인 예측 능력을 상당수 포기하여야 한다.

설명가능한(explainable) AI의 경우 종종 해석가능한 AI와 같이 묶이고 비슷한 의미로도 사용되지만 실제로는 전혀 다른 원리로 작동한다. 설명가능한 AI에서는 진단이나 예측을 위해 기존 딥러닝 방식과 같이 블랙박스 모형이 사용된다. 그리고 이를 통해 도출한 결과물에 대한 사후 학습을 통해 결과를 설명할 수 있는 설명알고리즘을 새롭게 만들어 낸다. 즉 원본 데이터가 아닌 블랙박스를 통해 도출한 결과를 사용하여 설명가능한 형태로 재창출 하는 것이다. 딥러닝 등을 활용하여 더 높은 정확도의 결과물을 획득하면서도 이를 사용자가 이해할 수 있는 변수와 방식으로 설명할 수 있어 양쪽의 장점을 모두 가지고 있다. 하지만 본 연구의 저자들은 설명가능한 AI의 경우 헬스케어 분야에서 다음과 같은 이유로 지양되어야 한다고 주장하고 있다.

| Table 1. 해석가능한 AI vs. 설명가능한 AI |

	사람이 이해 할 수 있는가?	예측시 블랙박스 모형이 사용되는가?	딥러닝의 장점이 유지되는가?	실제로 결과를 도출한 설명식인가?
해석가능한 AI	O	X	X	O
설명가능한 AI	O	O	O	X

먼저 설명가능여부 측면에서 다음과 같은 한계를 지닌다. 설명가능한 AI의 경우 일부에서 빛좋은 개살구라고 평가 절하되기도 한다. 설명식을 보면 효과적으로 설명되는 것 같으나 블랙박스를 거쳐 나온 결과물들을 사후 처리하여 도출되었기 때문에 진정한 원리가 내재되지는 않았다는 것이다. 원 모형이 어떤 원리를 통해 예측을 했는지 실제로는 알 수 없기 때문에 오히려 도출된 설명식이 잘못된 해석으로 이끌 가능성 또한 존재한다.

또한 견고함이 부족하다. 데이터 입력이 조금만 달라져도 전혀 다른 결과를 출력할 수도 있다. 이는 생명과 건강을 다루는 헬스케어 분야에서는 굉장히 치명적인 결과를 야기할 수 있다.

마지막으로 알고리즘 책무성과의 연결고리 또한 약하다. 도출된 변수요인과 설명식은 매칭이 잘되어 보여 문제가 발생하였을 때 알고리즘의 수정과 원인 파악이 간단할 것 같다. 하지만 실제 설명식의 요인으로 인하여 나온 결과가 아닌 경우가 있어 알고리즘의 문제점 파악에 도움이 되지 않기도 한다.

비용측면에서 설명가능여부는 다음과 같은 단점을 지닌다. 설명가능한 AI에서 도출된 설명식은 충분히 논리적으로 보이기 때문에 비이성적인 사용자의 사전 믿음과 결합하게 된다면 오히려 논리적 관계를 억지로 만들어내는 내러티브 오류에 빠지게 될 수 있다.

무엇보다 설명가능여부를 만족시키는 알고리즘만 활용가능하게 제한하는 규제가 존재하는 경우 다른 많은 우수한 알고리즘을 활용할 수 없게 된다. 특히 헬스케어 내 고차원의 모형을 요구하는 영상 인식 등의 분야에서 설명가능하지 않은 AI의 활용이 제한될 경우 정확성이 높은 AI를 사용하지 못하는 경우가 발생해 상당한 손해를 감수해야 한다.

## 연구의 시사점

저자들은 AI의 설명가능성에만 매몰되지 말 것을 주장한다. 더 엄격한 임상시험과 데이터 입력을 통해 안정성을 높이는 노력이 필요하고, 동시에 사용자가 다양한 상황에서의 데이터를 입력하며 출력된 결과를 체험하는 과정 속에서 AI에 대한 친숙도와 신뢰를 높이는 것을 권유한다. 또한 제한된 수의 의료기기를 심각한 환자에게 분배하는 경우와 같이 공정성이 중요한 상황에서는 AI의 성능을 더 포기하더라도 해석가능한 AI의 도입을 통해 도출된 결과에 대한 기준을 공유할 수 있어야 한다고 주장한다.

세계적으로 설명가능한 AI의 활용분야와 중요성이 더욱 커져가고 있다. 새로운 가설을 빠르게 시험하고 도출하는데 유리하고 설명용이성이나 전략 개발 등에도 큰 도움이 되기에 그 수요는 점점 커지고 있다. 다만 최근에 늘어난 설명가능한 AI에 대한 관심에 비해 문제점에 대한 논의가 부족한 실정이다. 다양한 분야의 정책입안자들은 적용 하고자 하는 분야 내 설명가능한 AI에 대한 장점과 단점을 깊이 고려하여 기술의 도입을 결정하고 관련 규정을 입안하여야 할 것이다. **KT**

# 연구자는 무엇으로 사는가?

## 공공연구기관 연구자들의 연구 활동 동기

Suominen, A., Kauppinen, H., & Hyytinen, K. (2021). 'Gold', 'Ribbon' or 'Puzzle': What motivates researchers to work in Research and Technology Organizations. *Technological Forecasting & Social Change*, 170, 120882.

송창현 미래전략팀 연구원, ch.song@kist.re.kr

### 연구의 배경

대다수의 사람들에게 있어 일(work)은 생계 혹은 자아실현 등을 위해 일생의 많은 시간을 할애해야 하는 필수불가결한 요소다. 그렇기 때문에 그 일을 해야 하는 이유, 즉 동기를 부여하는 것이 매우 중요하데, 연구라는 창조적 행위를 수행하는 연구자들도 예외는 아니다. 오히려 무형적 가치를 좇는 이들에게 자기 동기부여(self-motivation)는 더 중요하다. 대부분의 연구자들은 대학원 과정에서는 학위를 바라보고 연구를 하지만, 학위를 받은 후에는 제각각 다른 동기를 찾게 된다. 그렇다면 과학자들은 어떤 동기로 연구 활동에 매진할까?

앞서 Lam(2011)은 대학 소속 연구자들의 연구 성과의 상용화(commercialization) 동기를 그 특성에 따라 비유적으로 'Gold(금전적 보상)', 'Ribbon(평판적 보상)', 그리고 'Puzzle(근원적 호기심 충족)'로 표현한 바 있다(표 1). 앞의 두 동기가 외부적(extrinsic) 동기라면, 마지막 동기는 내재적(intrinsic) 동기로 볼 수 있다. 전통적 의미의 학자들에게 'Puzzle'만이 유일하고 강력한 동기일 것이라 생각하기 쉬운데, 이들에게도 'Puzzle'을 풀기 위해 필요한 자원 확보 측면에서 'Gold'나 'Ribbon'을 추구하려는 경향이 나타난다. 즉, 3가지 동기는 상호배타적이라기 보다는 대다수의 연구자들에게서 복합적으로 나타나는 동기로 볼 수 있다.

| 표 1. 대학 연구자들의 연구 활동 동기 구분(Lam, 2011) |

구분	연구 활동 동기
Gold	연구 활동에 따른 금전적인 보상(financial rewards)을 얻고자 하는 동기로, 보통 'Ribbon'에 뒤따라 오기도 하지만 최근에는 기술사업화, 창업 등을 통해 직접적으로 지향하기도 함
Ribbon	과학계에서 유능한 과학자로서의 평판(reputation), 인정(recognition), 명망(prestige)을 얻고자 하는 동기로서, 논문이나 특허 활동 등으로 평가됨
Puzzle	자연 세계에 대한 근원적인 호기심 및 인류 지식의 진보를 지향하는 동기로서, 새로운 것을 창조하고 도전적인 문제를 해결하는 데서 만족감을 느낌

연구의 분석과정과 결과

앞선 기존 연구가 대학 연구자를 대상으로 한 설문에 바탕을 두었기 때문에, 공공연구기관이나 기업과 같이 대학과는 성격이 다소 다른 연구조직의 연구자들에게서는 다른 경향이 나타날 수도 있다. 그래서 이 연구에서는 공공연구기관, 더 정확히는 기초연구와 상용화를 연결하는 응용연구 중심의 연구조직에 초점을 맞추어 연구자들의 동기가 어떤 양상을 나타내는지를 살펴보고 있다. 산업계 수탁연구를 비롯하여 각종 기술지원 및 사업화 활동을 수행하는 공공연구기관은 조직의 목표와 비전이 대학과는 차이가 있는 만큼, 소속된 연구자들의 동기에도 차이가 있을 것으로 예상할 수 있다.

본 연구는 Lam(2011)을 벤치마킹하여, 핀란드 VTT 기술연구센터 소속의 과학자 421명을 대상으로 연구 활동 동기에 관한 온라인 설문을 수행하였다. 핀란드 VTT는 산업 분야의 응용기술을 연구하는 조직으로, 정부 산하지만 유한회사의 형태로 운영되는 일종의 공공연구기관이다.

설문에는 기본적인 인적사항을 비롯하여 연구 결과물의 가치에 대한 인식 및 연구 결과의 상용화 등에 관한 질문 등이 포함되었다. 연구 활동의 동기에 관한 총 12개의 질문에 대해 5점 리커트 척도로 응답하게 하였으며, 이 응답 값을 바탕으로 주성분분석(PCA, Principal Component Analysis)을 수행하였다. 응답 가능한 다수의 변수들로부터 4개의 독립적인 변수를 추출하였으며, 이 4개의 변수는 'Gold', 'Challenge', 'Engineer', 그리고 'Basic researcher'로 명명되었다(표 2).

| 표 2. 본 연구에서 도출한 공공연구기관 연구자들의 연구 활동 동기 |

구분	연구 활동 동기
Gold	기존의 개념과 마찬가지로 금전적인 보상을 얻고자 하는 동기
Challenge	도전적인 문제의 해결과 지식의 활용을 강조하는 동기로, 사회에 영향을 줄 수 있는 연구를 수행하고자 하는 것도 이러한 동기에 해당함
Engineer	새로운 도구(tool) 혹은 방법론(methodologies)을 창조하고 개량할 뿐 아니라 이를 다른 사람들에게 가르치고자 하는 동기
Basic researcher	과학적 지식의 진보, 그리고 이를 위해 자원을 확보하고자 하는 동기

응용연구 및 기술의 상용화에 더 큰 비중을 두고 있는 공공연구기관에서는, 기존 연구에서보다 연구자들의 동기가 세분화 되어 나타난다. 특히 대학 연구자들을 대상으로 한 설문에서는 관찰되지 않았던 동기들을 주목할 만한데, 가령 기술을 이용하여 당면한 사회문제를 해결한다거나 세상을 좀 더 좋은 곳으로 만들겠다는 등의 동기는 기존의 'Gold', 'Ribbon', 'Puzzle' 구분으로는 설명하기 어렵다. 한편 과학적 지식의 진보와 같은 순수한 학문적 호기심 혹은 금전적 보상을 향한 동기 등은 대학 연구자와도 유사하게 나타난다.



## 연구의 시사점

최근 들어 다시 과학기술 출연(연)의 역할과 책임(R&R) 재정립이 이슈화되고 있다. 국가 경제 규모가 확대되고 과학 기술에 투입되는 예산이 급격히 증가하면서 혁신 주체들의 역할 범위가 겹치게 된 탓이다. 여기에 사회문제의 해결 등 임무 중심적 연구에 대한 수요가 늘어나면서 출연(연)을 비롯하여 대학, 기업 등이 수행하는 연구의 경계가 더욱 흐릿해지고 있다. 그런데 출연(연)이 무엇을 연구할 것인지, 어떤 역할을 담당해야 할 것인지를 논의하려면 그 안의 연구자들이 무엇을 하고 싶은지에도 귀를 기울여야 한다. 결국 출연(연)에서도 연구를 실제로 수행하는 것은 연구자들이기 때문이다.

그렇기 때문에 출연(연)에 소속된 연구자들의 주된 연구 동기가 무엇인지를 파악하는 것은 출연(연)의 R&R 확립과도 밀접한 관련이 있다. 연구자들의 동기가 조직의 목표와 조응하지 않는다면, 해당 연구조직이 R&R을 달성하는 것은 매우 어려운 일일 것이다. 특히 집단연구 혹은 대형연구를 지향하는 출연(연)일수록 인력들의 역량과 특성에서는 다양성을 추구할지라도, 연구 활동의 동기는 유사한 연구자들을 확보하는 것이 중요할 것으로 예상된다. 우수한 연구자의 확보 및 관리가 더욱 중요해지고 있는 만큼, 연구자의 객관적인 역량만큼이나 동기 등에도 관심을 기울일 필요가 있다. **KT**

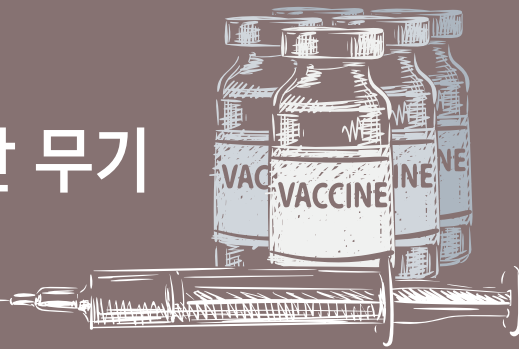
---

### 추가참고문헌

Lam, A. (2011). What motivates academic scientists to engage in research commercialization: 'Gold', ribbon' or 'puzzle'? Research Policy, 40, 1354-1368.

# 예측 기반 백신 개발: 미래 바이러스 전쟁의 첨단 무기

구 병 석 미래전략팀 연구원, koobs@kist.re.kr



**코**로나 바이러스와의 전쟁은 여전히 현재 진행형이다. 게임체인저라 불린 백신 개발 덕분에 불과 몇 개월 전만 해도 인류의 최종 승리가 목전에 있는 듯 했다. 수십년 연구 끝에 탄생한 첨단 mRNA 백신 기술과 천문학적 규모의 예산 투입에 힘입어 백신은 그야말로 빛의 속도로 개발될 수 있었다. 우한에서 발견된 신종 바이러스의 유전자 지도가 처음 공개된 것은 작년 1월 11일. 그리고 세계 최초의 임상 접종이 이루어진 것은 12월 8일로, 불과 1년도 지나지 않아 백신의 개발-승인-접종이 모두 완료된 것이다.

곧 세계 각국은 전국민 접종에 열을 올리기 시작했다. 그러나 이러한 노력에도 불구하고 현재 델타 변이 바이러스는 강력한 우세종으로 자리 잡으며 여전히 맹위를 떨치고 있다. 백신 개발만큼 바이러스의 진화도 매우 빠른 속도로 진행되고 있었던 것이다. 현재 다양한 백신이 중증 환자를 줄이는 데 효과를 거두고 있지만, 언젠가 또 새로운 변종이 나타나면 그 효능이 무력화될 가능성이 있다. 델타 플러스, 람다 등 새로운 변종들이 곳곳에서 들끓고 있는 지금, 새로운 버전의 백신을 업데이트 개발하기 위한 노력이 계속되고 있으니 과연 인류 과학기술과 바이러스 진화의 속도전이라 할 만하다.

지금까지 축적된 mRNA 백신 플랫폼 기술은 바이러스와의 전쟁에서 하나의 핵심 기술로 완전히 자리 잡았다. 하지만 백신 개발의 기본 원리를 생각해 보면, 그 속도가 아무리 빨라도 바이러스의 진화 속도를 따라 잡을 수가 없다. 백신을 개발하려면 먼저 바이러스 감염 경로를 분석한 후 그 과정에서 핵심적인 역할을 하는 항원(코로나의 경우, 스파이크 단백질)에 대해 우리 몸의 면역 체계가 대비할 수 있도록 학습을 시켜야 한다. mRNA 백신의 경우 그 학습 수단은 mRNA 유전물질이며 일반적인 벡터 백신은 인체에 무해하게 수정된 바이러스를 주입하여 학습이 이루어진다. 그러나 이러한 백신 개발 과정은 이미 출현한 변종에 대한 정밀 분석이 끝나야만 비로소 시작될 수 있다. 아무리 개발 속도가 빠르

더라도 바이러스의 진화 속도에 뒤처질 수 밖에 없는 것이다.

## 바이러스의 진화를 예측할 수 있다면

그렇다면 이러한 근원적인 한계를 어떻게 돌파할 수 있을까? 실제로 변종이 출현하기 전에 우리가 그것을 사전에 예측할 수 있다면, 예상 변종에 대비하는 '후보 백신'을 미리 개발할 수 있을지 모른다. 놀랍게도, 현재 과학기술의 최전선에서는 이와 같은 일이 더 이상 꿈이 아닌 현실이 되어가고 있다. 그 중심에는 심층 돌연변이 스캐닝(Deep Mutational Scanning, 이하 DMS)이라 불리는 첨단 기술이 있다. 전염성을 높일 수 있는 '돌연변이 후보군'을 사전에 예측하고, 그것의 유발 인자를 분석해서 백신 개발에 선제적으로 대비하는 것이다(Moore et al., 2021). 최근 급부상하고 있는 예측 기반 R&D 방법론이 바이러스와의 전쟁에 활용되는 대표적인 예라고 할 수 있다.

美 시애틀 소재 Fred Hutchinson 암 연구소, J. Bloom 박사팀은 DMS 기술의 선도 그룹 중 하나다. 이 연구팀은 작년 9월 발표된 연구에서 코로나바이러스의 스파이크 단백질에 다양한 변이를 일으킨 후 그 유해 효과를 관찰하였다(Starr et al., 2020). 인체 세포 표면에는 ACE2라는 수용체(Receptor) 영역이 있는데, 연구팀은 효모 세포에 유전자 조작을 가하여 ACE2 수용체와 결합하는 스파이크 단백질을 생산하도록 했다. 효모를 배양하는 과정에서 스파이크 단백질에 다양한 변이가 발생했고, 그 중 수용체와 특히 잘 결합하는 단백질을 확인하여 변이 유전자를 역추적하는데 성공했다. 그 결과, 중대한 돌연변이 가능성을 확인하였는데 몇 달 후 실제로 발생한 알파 변이 코로나 바이러스에서도 동일한 형태의 돌연변이가 발견된 것이다. 이처럼 DMS 기술을 통해 얻은 '변종 후보'에 대한 정보는 새로운 백신 개발을 미리 준비하는 데 큰 도움이 될 수 있다.

Bloom 박사팀의 DMS 기술이 정교하게 통제된 실험에 기반한 것이었다면, 여기에 인공지능 기술을 더하여 새로운 차원의 '변종 후보' 찾기도 가능하다. 백신 회사 모더나를 지원한 것으로 유명한 벤처캐피탈, Flagship Pioneering은 현재 인공지능 기반 DMS 기술에 상당한 관심을 보이고 있다(Eurasia Group, 2021). 'Global Pathogen Shield'라 명명된 이 프로젝트는 다양한 DMS 실험 데이터를 취합, 기계학습을 통해 가상의 돌연변이 경로를 계산하고 예측하여 미래의 바이러스 위험을 원천 차단하는 것이 목표다.

### 인공지능과 데이터의 결합을 통한 돌연변이 예측

사실 신종 바이러스를 감시하는 체계는 이미 오래전부터 작동하고 있었다. 1952년 최초의 감시 체계인 세계보건기구 GISRS (Global Influenza Surveillance and Response System) 이래로, 최근에는 Nextstrain, GISAID (Global Initiative for Sharing All Influenza Data) 등 오픈 소스 형식의 정보 공유 시스템이 전지구적 바이러스 예보를 수행하고 있다. 이러한 예보 체계는 신속한 관측과 정보 공유에 기반한 것으로, 예를 들어 남반구 지역에서 유행했던 겨울 독감을 분석한 뒤 몇 개월 후 북반구 지역에서 유행 가능성이 높은 바이러스 후보를 추려내는 방식이다. 그러나 관측에 의존한 예측 방식은 자연에 존재하는 수많은 바이러스와 극도로 복잡한 변종 가능성을 일일이 추적하는 데 근본적인 한계가 있다.


바로 이 점에서 인공지능 기반 데이터 학습은 돌연변이 예측에서 매우 중요한 역할을 할 수 있다. DMS 인공지능은 실제 관측 자료와 (Bloom 박사팀 사례와 같은) 통제된 실험 데이터를 종합하여 바이러스의 진화 패턴에 대해 학습을 수행한다. 이를 통해 변종 후보군을 단순 선별하는 것을 넘어 한층 포괄적인 '변종 진화 모델'을 설계할 수 있다. 바이러스의 진화 경로에는 무수히 많은 경우의 수가 존재할 수 있는데, 모델을 통해 이 중 특별히 위험한 시나리오를 '선택적으로' 예측할 수 있게 된다(Hie et al., 2021). 예를 들어, 전염성을 높이는 (예를 들어, ACE2 수용체와

결합력을 높이는) 돌연변이와 항생제에 내성을 갖는 돌연변이가 동시에 발생하게 되면 매우 치명적인 바이러스가 출현할 수 있다. 시뮬레이션을 통해 위험도와 발생 가능성을 계산, 잠재적인 '슈퍼 바이러스' 후보를 빠르게 탐색하고 그것을 유발하는 돌연변이 패턴을 파악하면 선제적 백신 개발이 가능해진다.

진화 모델의 또 다른 장점은 바이러스 유전자 중 변이가 '덜' 일어나는 부분까지 동시에 파악할 수 있다는 것이다. 그 부분을 타겟팅하는 항체를 생성하도록 백신을 설계하면, 오랜 기간 다양한 변이에 대응할 수 있는 '강건한' 백신을 만들 수 있는 것이다. 즉, 치명적인 변이를 미리 차단, 예방함과 동시에 바이러스의 약점을 집중 공격하는 방식으로 백신의 효능을 극대화할 수 있다.

### 초고속 백신 개발을 뒷받침할 규제 개혁도 절실

mRNA 플랫폼 기술로 이미 빨라진 백신 개발 속도는 예측 기반 설계를 통해 한 차원 더 가속화될 것으로 전망된다. 그러나 실제 예방 효과를 높이려면 빨라진 개발 속도에 맞춰 보건 당국의 백신 사용 승인 및 규제 절차도 함께 개선될 필요가 있다. 예측 모델에 따라 백신의 효능과 부작용을 사전에 분석, 일부 승인 절차를 생략하거나 간소화하면 전체 소요 시간을 상당히 줄일 수 있을 것이다(The Economist, 2021). 특히 '미미한' 수준의 변이에 대비해 백신의 '일부'만 업데이트할 경우, 승인 절차를 처음부터 재반복하는 것은 매우 비효율적일 수 있다. 따라서 '예측 기반 설계'를 넘어 '예측 기반 승인'을 가능케 하는 규제 개혁도 반드시 요구된다.

인류와 바이러스의 술래잡기는 영원히 계속되는 불행일지 모른다. 그러나 자연의 진화에 앞서는 '선제적 백신 접종'은 인류에게 최종 승리의 열쇠가 될 수 있다. 진화의 주체는 바이러스 뿐만이 아니다. 이에 대응하는 예측 기반 백신 개발 및 승인은 기술과 제도의 완벽한 공진화가 될 것이다. 

### 참고문헌

- Eurasia Group. (2021). Health Security and Beyond : A New Paradigm for a Post-Pandemic World. Retrieved from <https://www.eurasiagroup.net/siteFiles/Media/files/HealthSecurityBeyond.pdf>
- Hie, B., Zhong, E. D., Berger, B., & Bryson, B. (2021). Learning the language of viral evolution and escape. *Science*, 371(6526), 284-288.
- Moore, J. P., & Offit, P. A. (2021). SARS-CoV-2 vaccines and the growing threat of viral variants. *Jama*, 325(9), 821-822.
- Starr, T. N., Greaney, A. J., Hilton, S. K., Ellis, D., Crawford, K. H., Dingens, A. S., ... & Bloom, J. D. (2020). Deep mutational scanning of SARS-CoV-2 receptor binding domain reveals constraints on folding and ACE2 binding. *Cell*, 182(5), 1295-1310.
- The Economist. (2021). Scientists' pandemic response could be even faster next time. Retrieved from <https://www.economist.com/leaders/2021/08/05/scientists-pandemic-response-could-be-even-faster-next-time>

# 기계가 피아노 연주를 이해할 수 있을까

정 다 샘 서강대학교 아트&테크놀로지 전공 조교수, dasaem.jeong@gmail.com



음악 창작의 3단계는 작곡, 연주, 감상이라고 한다. 아이디어를 구상한 사람이 실제 작품의 구현까지 맡는 것이 일반적인 미술과 달리 음악에서는 작곡가와 이를 소리로 구현해내는 사람이 다른 경우가 많다. 특히나 클래식 음악의 경우, 이러한 분리가 당연하고 기존 작곡가들이 출판한 악보를 누가 어떻게 더 아름답게 연주하는가가 중요해졌다. 이 때문에 클래식 시장에서는 작곡가보다 연주자가 더 주목받는 스타가 되었다. 피아니스트 조성진이 어떤 작곡가의 곡을 연주하든 공연장에 많은 관객들이 몰려드는 것이 단적인 예시다.

오래전부터 클래식 음악을 좋아하는 나는 박사과정 동안 이 문제를 정량적으로 접근해보고 싶었다. 왜 어떤 피아니스트의 연주는 다른 사람의 연주보다 특별하게 들릴까? 같은 음표를 연주하더라도 조금 다르게 연주하는 것만으로 사람의 마음을 움직일 수 있는 비밀은 무엇일까? 이 차이를 주관적인 감상이나 객관적인 수치로 보일 수 있을까? 기계가 인간의 연주를 이해할 수 있을까? 이러한 궁금증을 해결하기 위해 딥러닝을 이용해 컴퓨터에게 피아노 연주를 학습시켜 간단한 말로 '인공지능 피아니스트'를 구현해보았다. 기계에게 직접 연주를 시켜보면 연주의 어떤 점을 이해하고 또 이해하지 못하는지를 알 수 있기 때문이다.

음악 연주 연구에 가장 널리 사용되는 악기는 피아노다. 피아노는 혼자서

여러 음표를 동시에 연주할 수 있어 독주로도 다성음악을 자유롭게 연주할 수 있다. 어디든 조화를 이루기 쉬운 음색 덕에 독주는 물론 반주에서도 가장 인기 있는 악기이며 클래식, 대중음악, 재즈 등 장르를 가리지 않고 두루 등장한다.

피아노의 가장 큰 특징은 소리를 내는 메커니즘이 매우 기계적이라는 것이다. 연주자가 건반을 누르면 지렛대를 통해 연결된 해머가 현을 때린다. 해머의 위치와 때리는 각도는 언제나 고정이기 때문에 음량과 음색을 결정하는 것은 해머가 현을 때리는 속도뿐이다. 혹시 속도 이외에 건반을 누를 때의 가속도나 건반에 실리는 무게도 영향을 주지 않을까? 많은 연구가 이를 확인해보려고 했지만, 건반과 해머를 연결하는 막대는 강체에 가까워 가속도에 따른 변화를 무시할 수 있을 정도라고 한다. 따라서 해머로 현을 얼마나 빠르게 때리는가 까지가 연주자가 영향을 줄 수 있는 한계다.

이러한 피아노의 특징 때문에 피아노 연주는 기계적으로 정량화하기가 매우 용이하다. 각 건반에 적외선 센서를 달아 어떤 건반이 언제 얼마나 빠르게 현을 때렸는지, 시간별로 페달을 얼마나 밟고 있었는지를 기록하면 피아노 연주의 많은 부분을 기록하고 또 재현할 수 있다. 이렇게

피아노 연주를 소리가 아닌 건반의 움직임으로 기록하는 방법의 역사는 1904년까지 거슬러 올라가며 드뷔시, 라벨, 말러, 프로코피예프, 라흐마니노프와 같은 유명한 작곡가들의 연주 기록도 남아있다. 현대에는 아마하나 스타인웨이 같은 회사들이 기록 가능한 자동 연주 피아노를 개발하여 판매하고 있다. 덕분에 피아노의 경우 연주의 소리 녹음 뿐만 아니라 연주된 음표별 정보까지 쉽게 얻을 수 있다.

이렇게 모인 데이터 덕분에 피아노 연주에 관한 딥러닝 연구가 활발하게 진행될 수 있었다. 아마하는 자신들의 특수 장비가 장착된 피아노로 매년 콩쿠르를 열었고 여기서 기록된 연주를 오디오 녹음과 음표별 정보가 기록된 MIDI 파일로 공개하였다. 구글 브레인의 마젠타 팀은 이 데이터셋을 이용하여 피아노 연주가 녹음된 오디오에서 음표 정보를 추출하는 자동 채보, 음표 정보에서 연주 오디오를 생성하는 오디오 합성, 그리고 연주 음표 정보를 활용한 자동 작곡 모델 등 다양한 문제에서 놀라울 만큼 향상된 결과를 선보였다.

내가 관심을 갖던 문제는 같은 악보를 어떻게 연주자들마다 다르게 연주하는지, 혹은 비슷하게 연주하는지였다. 때문에 공개된 아마하 연주 데이터셋에 해당하는 전자 악보를 찾아 새로운 데이터셋을 만들고 이를 기반으로 악보의 음표들을 입력으로 받아 각각의 음표를 어떤 빠르기, 세기, 길이, 페달링으로 연주할지를 예측하는 딥러닝 모델을 구현하였다. 학습 결과를 살펴보면 다행히도 모델이 대략적인 프레임즈 경계, 멜로디와 반주 파트의 구분, 화성이 바뀌어 페달링을 끊어야 하는 부분 등에 대해 이해하고 있는 것으로 보인다. 하지만 여전히 인간 연주자에 가까워지려면 갈 길이 너무나 멀다.

연구를 계속 해나갈수록 인간이 악보의 내용을 이해하고 이를 자연스럽게 표현하는 과정 전반에 경탄하게 된다. 딥러닝으로 구현하기엔 여전히 어려운 장벽들이 많이 남아있다. 예컨대 30분이 넘는 리스트의 피아노 소나타를 제대로 연주하기 위해서는 작품 초반에 등장하는 모티프들이 곡 전반에 걸쳐 어떻게 변주되고 등장하는지를 파악해서 이들이 다시 등장할 때 적절하게 강조해줄 수 있어야 한다. 또한 연주자들은 악기와 공연장의 음향환경이 변화할 때 이에 맞춰 다른 방식으로 연주한다. 자신의 연주를 소리로 듣고 즉각적으로 반응하여 피드백을 받을 수 있는 것이다. 무엇보다 연주자들은 기존에 모인 연주 데이터를 기반



으로 판단하는 것이 아닌, 자신의 취향에 따라 변칙적인 시도를 해보고 이를 자신의 심미안으로 스스로 평가할 수 있다. 그렇기에 이전에 없던 스타일의 연주를 새롭게 창조해낼 수 있는 것이다. 데이터 기반 접근만으로는 감히 흉내 내기 어려운 지점이다.

여전히 갈 길이 멀지만 딥러닝이 만들어내는 피아노 연주는 조금씩 사람을 닮아갈 것이다. 그리고 이 인공지능 피아니스트는 단 한 번의 실수도 하지 않은 채로 수많은 음표를 빠른 템포로 정확하게 연주할 수 있다는 점에서 분명 사람보다 유리할 수 있다. 하지만 설령 인공지능이 인간과 같은 수준의 표현과 기교를 보여주더라도 인간 예술가만이 전달해줄 수 있는 것들이 있다. 연주에 묻어나오는 땀과 노력, 무대를 가득 채우는 아우라, 예술가로서 걸어온 길 등, 다양한 연주 외적 요소가 관객으로 하여금 연주에 몰입하고 공감하게 만든다. 때문에 이런 연주 외적 요소까지 모두 꾸며내지 않는 한 관객들이 무대에서 사람 대신 기계의 연주를 듣고 싶어 할 날은 오지 않을 테다.

그래도 인공지능 피아니스트의 등장은 예술성 있는 연주란 무엇인가라는 질문을 우리에게 던질 것이다. 카메라의 등장으로 인해 화가들이 보이는 사물을 정확하게 그리는 것보다 자신의 표현을 더욱 중시하게 된 것처럼, 평범하고 무난하며 틀리지 않는 데 치중한 연주는 인공지능 피아니스트의 차지가 되었으면 좋겠다. 피아니스트 손얼음은 2016년에 쓴 칼럼에서 이런 미래를 이미 예측했다. 알파고의 시대에서 연주자들이 살아남기 위해서는 무난하고 틀리지 않는 연주가 아니라 자신만의 독창성이 있는 연주를 선보여야 한다고 말이다. 나의 연구가 예술을 해체하는 것이 아니라 인간의 예술을 더욱 예술답게 만드는 데 도움이 되기를 감히 희망한다. **김형**



# 국가연구개발혁신법의 제정과 기술료 납부제도의 변화

최지선 Law & Science 대표변호사, lawnsience.jschoi@gmail.com



이 지면을 통해서도 몇 차례 언급한 바대로, 「국가연구개발혁신법」이 2020년 제정되어 2021년 1월 1일부터 시행되었다. 「국가연구개발혁신법」은 범부처 국가연구개발사업의 전주기적 관리에 관한 총괄 표준규범이다. 과거 국가연구개발사업은 「과학기술기본법」의 시행령인 「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」이 주요 관리 규정이었으나, 법률이 아닌 시행령이었기 때문에 과학기술정보통신부 이외의 부처는 해당 부처의 소관 법률에 근거를 둔 별도의 규정을 운영하기도 하였다. 이는 수범자인 연구자 및 연구기관들에 혼란을 야기하였기에 총괄표준관리규범의 필요성이 지속적으로 제기되었다. 이에 과학기술혁신본부는 범부처 국가연구개발사업 총괄 관리 규범의 마련을 추진

하였고 그 성과로서 제정된 「국가연구개발혁신법」은 우리나라 국가연구개발사업의 관리의 측면에서 그 의미가 크다고 할 것이다.

「국가연구개발혁신법」은 기존의 국가연구개발사업의 관리체계의 여러 부분을 발전적으로 개선하였는데, 이 가운데 실무적으로 유의하여 볼 제도 가운데 하나가 기술료 제도이다. 국가연구개발사업을 수행해 본 주체라면 기술료의 개념이 익숙할 것이지만, 일반 독자라면 기술료가 무엇인지, 기술료의 개념과 실시료의 개념이 동일한 것인지 궁금할 것이다. “기술료”란 연구개발성과를 실시<sup>1)</sup>하는 권리를 획득한 대가로 실시권자가 연구개발성과소유기관에 지급하는 금액을 말한다(국가연구

1) 연구개발성과를 사용·양도·대여 또는 수출하거나 연구개발성과의 양도 또는 대여의 청약을 하는 행위를 말한다

개발혁신법 제2조제9호). 이러한 정의만 놓고 보면 기술료와 실시료는 동일한 것 아닌가 생각할 수 있다. 그러나 기술료와 실시료는 그 자체로 완전히 일치하는 개념은 아니다.

과거 국가연구개발사업 관리 등에 관한 규정 상의 기술료에 관해 우리는 세 가지 상황을 가정해 볼 수 있다.

- (1) 연구개발성과소유기관인 주관연구기관이 제3자에게 성과물을 실시하도록 하는 경우이다. 이 때 성과실시기관은 연구개발성과소유기관에게 일정한 금원을 지급하게 된다.
- (2) 그런데 위 (1)의 사례에서 제3자로부터 실시의 대가로 기술료를 징수한 주관연구기관(영리법인인 경우에 한정한다)은 기술료의 일부를 정부에 납부하여야 한다.
- (3) 나아가, (1)/(2)와 달리 제3자가 실시하지 않고 연구개발성과를 소유한 주관연구기관이 직접 그 성과를 실시하는 경우에도 주관연구기관(영리기관인 경우로 한정한다)은 일정 금원을 정부에 납부한다.

구 「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」에서는 (2)의 경우 별도의 용어 정의를 두고 있지 않지만, (3)의 금원을 “정부납부기술료”라는 용어로 정의하였다(구 국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제22조 제1항). (1)의 사례에서의 기술료는 실시료와 사실상 동일한 개념이지만, (3)의 정부납부기술료의 경우 연구개발성과소유기관이 일정한 금원을 정부에 납부한다는 점에서 전통적 의미의 실시료와는 차이가 있다. 강학적 의미의 실시료라면 기술의 소유기관이 정부에 추가적으로 실시료의 일부를 납부할 의무는 없기 때문이다.

이에 기술료, 특히 정부납부기술료의 타당성에 관한 지속적인 고민이 있었다. 특히, “출연금”이란 국가연구개발사업의 목적을 달성하기 위하여 국가 등이 반대급부 없이 예산이나 기금 등에서 연구수행기관에 지급하는 연구경비를 말한다는 점에서(국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제2조 제10호), 정부가 반대급부 없이 지급한 금원으로 수행된 연구개발성과에 대하여 성과의 소유기관으로부터 그 출연금의 일정 부분을 다시 회수하는 것이 타당하지에 대한 반발도 있었다. 특히 정부

납부기술료의 경우 정액기술료와 경상기술료의 두 가지 유형 가운데 상당 부분 매출액과 연동되지 않는 정액기술료의 형태로 납부되고 있다는 점에서 사실상 기업에 부담으로 작용한다는 주장도 있었다. 그러나 기술료는 정부의 연구개발투자를 통해 창출된 가치의 일부를 회수하여 다양한 방식의 재투자에 활용함으로써 부족한 정부 연구개발 예산을 보완하고 선순환 구조를 구축하기 위한다는 의의를 지닌다는 점에서 옹호하는 견해도 있었다.

이러한 점들을 감안하여 「국가연구개발혁신법」에서는 기술료 제도의 개선을 도모하였다. 기술료에 관한 핵심적인 변경 부분은 (1) 용어의 변경, (2) 정액기술료의 폐지와 경상기술료의 전면 도입, (3) 기술료 징수 규모의 변경, (4) 기술료 감면 규정의 확대 등을 들 수 있다.

- (1) 첫째, 용어의 변경과 관련하여, 「국가연구개발혁신법」에서는 구 「국가연구개발사업 관리 등에 관한 규정」에서 사용하였던 “정부납부기술료”라는 용어를 더 이상 사용하지 않고 “연구개발성과의 수익”이라는 문구를 사용하게 되었다. 즉, 기술료라는 용어는 연구개발성과소유기관이 제3자에게 그 성과를 실시하는 경우에 징수하는 금원으로 한정하였고, 연구개발성과소유기관(영리기관인 경우)이 직접 실시하는 경우 정부에 납부하게 되는 금원은 연구개발성과의 수익이라는 일반 용어를 사용함으로써 기술료 개념의 혼선을 해소하고자 하였다(국가연구개발혁신법 제18조제2항).
- (2) 둘째, 연구개발성과소유기관(영리기관인 경우)이 직접 실시하는 경우 정부에 납부하게 되는 금원은 연구개발성과의 수익이라고 법률에 명시함으로써 수익이 존재하는 경우에만 그 수익을 납부하도록 한정하여 수익 여부와 무관하게 정액으로 납부하는 기술료 제도를 사실상 배제하였다. 연구개발성과로 인한 수익이 발생한 기술료등납부의무기관은 수익이 처음 발생한 날이 속하는 해의 다음 해부터 5년이 되는 날 또는 연구개발과제가 종료된 날부터 7년이 되는 날 중 먼저 도래하는 날까지 매년 수익이 발생한 해마다 중앙행정기관의 장에게 납부해야 한다(국가연구개발혁신법 시행령 제38조제2항).
- (3) 구체적으로 기술료의 규모에 있어서도 변경이 있었다. 과거 기술료는 기업규모에 따라 출연금의 10/20/40%를 납부하도록 하고

있었으나, 「국가연구개발혁신법」 체제에서는 제3자 실시의 경우 주관연구기관이 기술료의 5/10/20%를, 직접 실시의 경우 연구개발 성과소유기관의 연구개발성과 수익 × 기술기여도의 5/10/20%를 납부하도록 하되, 정부지원연구개발비의 10/20/40%를 “상한선”으로 설정하였다(국가연구개발혁신법 시행령 제38조제3항 각호).

(4) 기술료 감면과 관련하여 「국가연구개발혁신법」 시행령에서 연구개발성과가 국가안보와 관련된 경우, 사회적·경제적으로 긴급한 상황이 연구개발기관에 발생한 경우, 연구개발기관의 경영이 악화된 경우, 그 밖에 중앙행정기관의 장이 납부액의 전부 또는 일부를 감면할 필요가 있다고 인정하는 경우 납부액의 전부 또는 일부를

감면할 수 있도록 하여 보다 적극적으로 기술료 감면 가능성을 확대하였다(국가연구개발혁신법 시행령 제40조제2항 각호).

이렇듯 기술료 제도의 개선은 기술료의 본래 취지를 살려 존속하도록 하면서도 기업 등 연구기관에 과도한 부담이 되지 않도록 체제를 전면적으로 개편하고자 하였다. 향후 기술료 제도가 그 개편 취지에 부합하게 운용될 수 있도록 여러 부처에 산재된 기술료 징수 규정의 개정을 추진할 시점이다. 개편된 기술료 제도가 국가연구개발사업의 활성화 및 혁신 환경 발전에 기여할 수 있는 방향으로 운용될 수 있기를 기대한다. **KT**

| 표 1. 기술료 징수 관련 제도의 주요 변경사항 요약 |

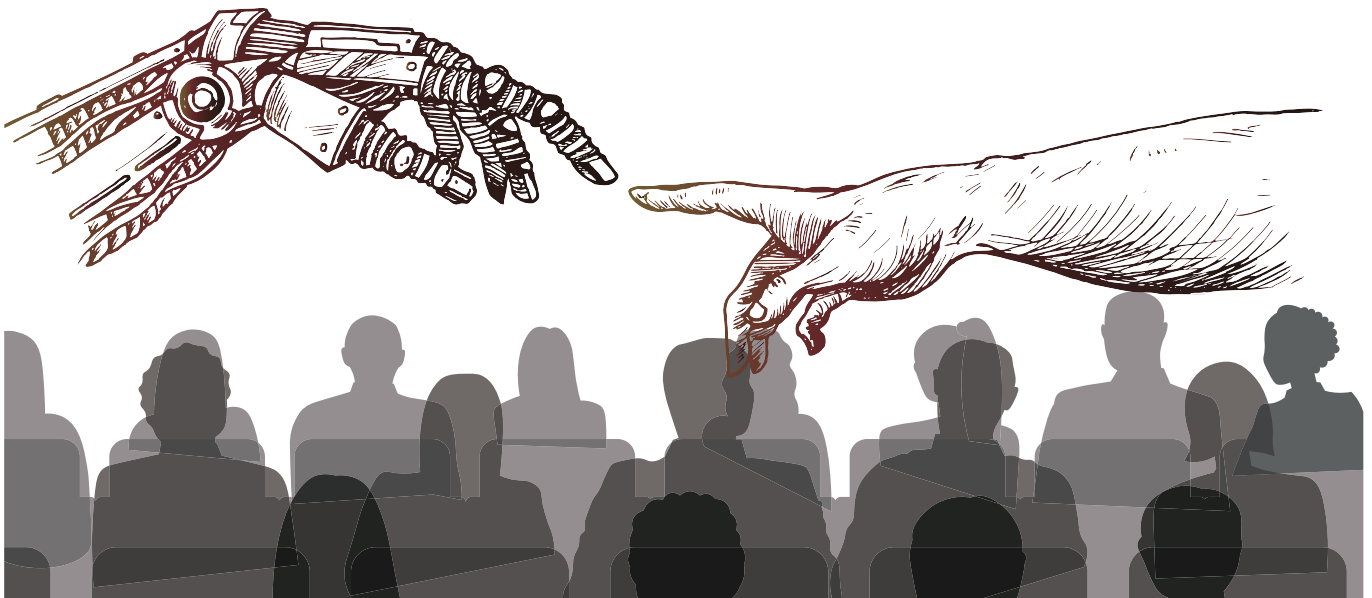
「과학기술기본법」과 「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」 (2020년 12월까지)		
유형	용어	금액 기준 (중소기업/중견기업/대기업)
실시 주체(제3자)가 연구개발성과 소유기관에 납부	기술료	없음
제3자 실시에 따라 연구개발성과 소유기관(영리법인)이 전문기관에 납부	없음 (기술료 사용 용도 중 하나)	출연금의 10/20/40%
연구개발성과소유기관(영리법인)이 직접 실시한 경우 전문기관에 납부	정부납부기술료	출연금의 10/20/40% 또는 매출액 기준 (정부출연금액의 100% 상한)
「국가연구개발혁신법」과 이 법 시행령 (2021년 1월부터)		
유형	용어	금액 기준 (중소기업/중견기업/대기업)
실시 주체(제3자)가 연구개발성과 소유기관에 납부	기술료	없음
제3자 실시에 따라 ‘기술료등납부의무기관’이 부처에 납부	기술료의 일부	기술료의 5/10/20% (정부지원연구개발비의 10/20/40% 상한)
‘기술료등납부의무기관’이 직접 실시한 경우 부처에 납부	연구개발성과로 인한 수익의 일부	연구개발성과 수익 × 기술기여도 × 5/10/20% (정부지원연구개발비의 10/20/40% 상한)

자료: 최지선 등, 공공연구성과 육성·확산 관련 법령 정비 방안 연구용역, 과학기술일자리진흥원, 과학기술정보통신부, 164면.



## 인간-기계 융합과 우리의 자화상

전 대 호 유미과학문화재단 이사, daehojohn@hanmail.net



**최** 근 들어 로봇 기술과 인공지능이 발전하면서 기계와 인간의 상호작용이나 융합에 관한 논의가 더 활발해졌다. 뇌에 이식한 전극으로 뉴런들의 전기활동을 포착하여 외부의 기계 팔로 전송함으로써 마비 환자가 생각만으로 기계 팔을 조종할 수 있게 만든 성과는 마치 전설 속의 마법처럼 우리를 감탄시킨다. 우리가 우리의 팔다리를 부리듯이 마비 환자가 침상에 누운 채로 기계 팔을 부리는 모습은 자연스럽게 인간과 기계의 융합을 떠올리게 한다. 카메라와 시신경을 직접 연결하여 망막 손상 환자의 시력을 어느 정도 되살리는 것도 가능해졌다. 이제 기계와 인간은 공존을 넘어 통일로 나아가는 듯하다.

새로운 가능성은 희망에 못지않게 불안과 뜬소문도 일으킨다. 거대 정보 기술 기업들이 모여있는 미국 캘리포니아에서는 우리가 디지털 기술의 힘으로 불멸에 도달할 수 있다는 상당히 허황한 이야기까지 나온다. 우리 자신을 온전히 디지털 정보로 변환하여 고성능 컴퓨터에 업로드 하면, 그 컴퓨터에서 작동하는 시뮬레이션 속의 캐릭터로서 죽지 않고 영원히 살 수 있다는 것이다. 그런 시뮬레이션 속의 삶을 삶이라고 부를 수 있을지, 단지 '가상 존재'라고 제한해서 명명해야 할지, 그런 가상 존재로서의 불멸은 마치 이승과 저승 사이를 떠도는 원귀(冤鬼)처럼 섬뜩한 상태가 아닐지, 온갖 의문이 떠오르지만, 우리는 이런 개별사례에

시선을 고정하지 말고 기계와 인간의 상호작용 혹은 융합이라는 일반적 주제에 관심을 집중하기로 하자.

사실 인간과 기계의 상호작용, 더 일반적으로 인간과 기술의 상호작용은 전혀 새롭지 않다. 인류의 조상 중 하나인 '호모 하빌리스'의 이름이 말해 주듯이, 인간은 원래부터 수준 높은 도구를 만드는 동물, 기술을 개발하는 동물이었다. 우리는 기술을 개발하고 거기에 의존하여 살아간다. 100만 년 전이나 지금이나 그리 다르지 않다. 까마득한 과거에 인간이 불을 피우고 보존하는 기술, 짐승의 털가죽 등을 가공하여 옷을 만드는 기술, 맹수에 대항하고 겨울을 대비하기 위해 무기와 은신처를 만드는 기술을 개발하지 못했다면, 인간은 멸종했거나 적어도 우리와 같은 현대인으로 진화하지 못했을 것이다. 이런 관점에서 보면 인간과 기술의 상호작용과 융합은 아주 오래된 기정사실이다.

물론 과거에는 인간과 기술의 공존과 상호작용은 있었을지언정 융합은 없었다고 반론할 분도 있을 성싶다. 우리의 조상이 이를테면 정교한 수술로 왼손 손목을 절단하고 그 자리에 날카로운 돌창을 장착하여 전투력을 향상한 사례는 없지 않은가? 야간 사냥 때마다 GPS 수신기와 적외선 감지 고글을 착용하여 완벽하게 길을 찾고 사냥감을 추적한 사례는 없지 않은가? 이런 물리적 융합의 사례에 대해서도 어느 정도 재반론이 가능할 듯하다. 예컨대 원시 부족이 집단적 정체성을 확고히 하는 것을 비롯한 여러 목적으로 몸 곳곳에 문신을 새긴 것은 엄연히 인간과 기술의 물리적 융합이 아닐까?

그러나 훨씬 더 흥미로운 것은 정신적 차원에서의 융합이며, 그것이 이 글의 중심 주제다. 간단히 말하면, 우리가 개발한 기술은 우리의 '자화상'에 스며드는 방식으로 우리와 정신적으로 융합한다. 자화상이란 무엇일까? 인간은 고도의 기술을 개발한다는 점에서 독특한 동물일 뿐 아니라 '나는 누구인가?'라는 질문을 암묵적으로나 명시적으로 항상 제기하고 대답한다는 점에서 참으로 특이한 동물이다. 자화상이란 바로 이 질문의 답이다.

인간은 늘 자화상을 품고 살며, 그 자화상은 인간의 삶에 지대한 영향을

미친다. 어떤 의미에서 우리에게 인간이 그 자체로 무엇인가보다 우리 자신이 인간을 무엇으로 여기는가가 더 중요하다. 물론 자화상이 전능하다는 뜻은 전혀 아니다. 우리가 우리 자신을 슈퍼맨으로 확신하더라도, 우리에게서 영화 속 슈퍼맨의 능력이 나오지는 않는다. 그러나 자화상의 힘이 대단하다는 것도 엄연한 사실이다. 안데르센의 고전적인 동화 <미운 오리 새끼>를 생각해보라. 그 동화의 주인공은 스스로 품은 자화상의 힘에 짓눌려 오랫동안 미운 오리 새끼로 불행하게 살았다. 그 자체로 그 주인공은 백조 새끼였는데도 말이다.

그러므로 자화상은 인간의 삶을 이해하려 할 때 필수적으로 고려할 요소이며, 한 시대에 진행되는 자화상의 일반적 변화는 예민하게 감시하고 검토해야 할 철학적 주제다. 우리의 자화상은 늘 변화한다. 인류 역사의 상당 부분은 자화상 변화의 역사라고 해도 과언이 아니다. 그리고 기술의 발전은 우리의 자화상에 심대한 영향을 미친다. 지금도 그렇지만, 과거에도 늘 그러했다.

'우리는 누구인가?'라는 질문의 중요한 부분인 '기억이란 무엇인가?'를 예로 들 수 있다. 이 질문에 대한 답은 당대의 기술에 좌우되어왔다. 이미 고대에 아리스토텔레스는 기술적 장치에 빚대어 기억을 설명했다. 인장 반지를 밀랍 판에 찍으면 자국이 생겨 보존되는 것과 똑같은 원리로 기억이 형성되고 저장된다는 것이었다. 이어서 그는 아기와 늑은이의 기억력이 약한 이유를 아주 그럴싸하게 설명한다. 아기는 밀랍이 물처럼 유동적이어서 인장 자국이 보존되지 않고, 늑은이는 밀랍이 너무 메말라서 인장 흔적이 잘 생기지 않는다는 것이다. 물론 기억의 실제 메커니즘은 아리스토텔레스의 설명과 사뭇 다르지만, 우리가 주목하려는 것은 아마도 당대의 고도 기술이었을 인장 기술이 기억에 대한 이해에 동원되었고 따라서 우리의 자화상에 스며들었다는 점이다.

후대에 거대한 궁전과 도서관이 건축되자, 사람들은 기억을 그런 건물에 빚뒀다. 기억 내용이 거대한 도서관 안에 보관되어있다는 식으로 말이다. 카메라 기술이 발달하고 영화가 등장하자, 사람들은 기억이 영화 필름처럼 작동한다고 생각했다. 영화와 마찬가지로 현실에서도 서부의 영웅이 죽음을 맞을 때 그의 삶 전체의 기억이 되살아나 그의 정신적인



는 앞에서 마치 빠른 화면처럼 흘러간다고 믿었다.

이 영화 모형을 마지막으로 20세기가 저물고 디지털 혁명이 일어나면서 이제 우리가 기억을 이해하려 할 때 의지하는 기술적 대상은 단연 인터넷이다. 우리는 인터넷이 정보를 입력받고 저장하고 가공하고 출력하는 방식에 빚대어 기억을 이해한다. 이 이해가 진실에 더 가깝다는 것이 오늘날 신경과학의 판단이지만, 이 이해가 옳으나 그르냐를 떠나서 철학적으로 흥미로운 것은 우리가 여전히 기술에 의지하여 기억을 이해한다는 점, 그렇게 기술이 우리의 자화상에 스며든다는 점이다.

첨단기술의 영향으로 우리의 자화상이 왜곡된 흥미로운 사례가 있다. 우리가 꾸는 꿈에 관한 것인데, 알다시피 꿈은 우리의 자화상에서 기억에 못지않게 중요한 요소다. 1999년의 조사에서 때때로 천연색 꿈을 꾸다고 밝힌 미국인은 83퍼센트에 달했다. 반면에 1940년대와 1950년대의 여러 조사에서는 겨우 10퍼센트만 천연색 꿈을 꾸어봤다고 답했다. 대체 왜 이런 조사 결과가 나왔던 것일까? 오늘날 연구에서도 꿈꾸는 사람을 깨워서 곧바로 물으면, 일반적으로 천연색 꿈을 꾸었다는 보고가 돌아온다. 그도 그럴 것이, 꿈을 꿀 때 활성화되는 시각 영역 중에서 유독 색깔 담당 영역만 원리적으로 배제될 이유가 없다. 꿈꾸는 의식의 지각은 때때로 깨어있는 의식의 지각을 능가할 정도로 총체적이고 생생하다. 이것은 누구나 직접 경험으로 아는 바가 아닌가.

<어젯밤 꿈이 나에게 말해주는 것들>을 쓴 슈테판 클라인은 20세기 중반의 흑백 꿈을 역사적 특이 현상으로 평가한다. 그 현상의 원인은 당대의 첨단기술인 흑백영화와 흑백 텔레비전이다. 흑백 동영상을 시청한 경험이 꿈에 대한 기억을 왜곡하여 꿈은 흑백이라는 그릇된 통념을 만들어낸 것이다. 그 시절의 선도적인 꿈 연구자 캘빈 홀(Calvin S. Hall)마저도 천연색 꿈은 이례적이라는 견해를 밝혔다. 여기에서도 주목할 것은 우리의 기술과 자화상의 자연스러운 융합, 그리고 그 융합에 따른 자화상 왜곡의 위험성이다.

오늘날 하루가 다르게 일상 속으로 파고드는 정보통신기술, 컴퓨터 기술, 로봇 기술, 인공지능 앞에서 우리가 때때로 급류에 휩쓸려가는 듯한 당혹감과 무력감을 느낀다면, 그 느낌의 바탕에는 속절없이 흔들리는

우리의 자화상이 있다고 필자는 판단한다. ‘우리는 누구인가?’는 인간이 늘 품어온 질문이지만, 지금은 기술의 홍수가 이 질문을 훨씬 더 절실하게 만들었고, 항간에 떠도는 온갖 급진적 대답들이 우리의 당혹감과 무력감을 더 부추기는 듯하다. 우리의 자화상이 왜곡될 위험성, 우리의 가치를 낮추는 이데올로기가 판칠 위험성이 과거 어느 때보다도 높다. 그렇다면 어떻게 대처해야 할 것인가? 필자는 ‘우리는 누구인가?’라는 질문에 대하여 제시되는 모든 대답을 일단 자화상을 변경하자는 제안으로 간주할 것을 권한다. 그 제안이 합당한지 따져보고 수용 여부를 결정하는 것은 우리 각자의 몫이다. 과학의 권위와 첨단기술의 위력을 등에 업은 대답도 마찬가지다. 그것은 하나의 제안일 뿐이며, 우리 각자의 자화상에 대해서는 그 어떤 제안도 - 심지어 신의 제안이라 하더라도 - 절대적 구속력을 가질 수 없다.

인간과 기계의 융합은 양쪽이 함께 우수해지는 상향평준화를 가져올 낙관적 가능성에 못지않게 양쪽이 함께 초라해지는 하향평준화를 가져올 비관적 가능성도 품고 있다. 특히 하향평준화가 일어난다면, 우리의 설부른 자화상 변경을 통해 놀랄 만큼 빠르게 진행될 위험이 있다. 우리의 자화상을 보살펴야 한다. 기계가 인간처럼 되는 것이 아니라 인간이 기계처럼 되는 것을 경계하자. 인간은 기계를 닮는 것도 너끈히 해낼 역량 혹은 위험성을 품은 묘한 동물이다. **kjt**

## KIST EUROPE

# 포스트코로나 시대, 독일 과학기술정책의 변화: 기술주권 확보를 위한 임무지향적 연구개발 추진

변재선 KIST 유럽(연) 책임연구원, byun@kist-europe.de

**독**일의 연구 및 혁신 시스템은 팬데믹 상황을 우수하게 대응하고 있는 편이며 혁신 지출 감소와 경제성장을 하락을 감안하면 그 지표는 양호한 편이라고 독일 연구혁신전문가위원회(EFI)는 평가하였다<sup>1)</sup>.

코로나 위기로 인해 기업의 혁신동력에는 다소 어려움이 있었고 특히 중소기업의 경우 역동성 둔화로 보다 많은 투자가 필요하였다. 독일 정부는 경기부양 지원 패키지를 통해 미래기술을 위한 미래 기금(Zukunftsfonds)을 조성, 초기 단계에 자본 확보가 절실한 신생 기업을 적극적으로 지원하는 등 혁신동력 유지에 박차를 가해 장기적 관점의 미래 국가 경쟁력 제고 정책이 긍정적으로 평가될 수 있었다. 70억 유로 규모의 국가 수소 전략, 26억 5천유로 규모의 양자 기술 지원 사업 등의 추진도 높게 평가되었다.

전문가위원회 평가 결과 독일의 연구와 교육 정책에 대한 권고는 다음과 같은 3가지로 요약할 수 있다.

- 연구혁신 정책 수립과 이행 과정에서 목적 지향성 및 민첩성(애자일 agile) 개념의 적극 수용
- 직업 교육 및 평생 교육의 디지털 전환 적응
- 유전자 기술 (CRISPR/Cas 유전자 가위기술 등) 에 대한 강력한 지원 필요

본고에서는 독일의 대표적인 연구 프로그램인 ‘하이테크 전략 2025’ 이 코로나19 위기 속에서 국가 연구 혁신을 강화해 나가고자 한 방향을 설명하고 회복성과 기술주권 확보를 지향하는 주요 연구개발 추진 현황 및 전망을 살펴보고자 한다.

## 1. 하이테크 전략 2025 강화

연방교육연구부(BMBF)는 독일이 과학기술 리더로서의 입지를 입증한 한편, 코로나바이러스 위기에 대한 새로운 통찰력을 신속히 생성했다고 스스로 평가했다<sup>2)</sup>. 독일 정부 연구 지원을 받은 독일 바이오엔테크

1) [https://www.e-fi.de/fileadmin/Assets/Gutachten/2021/EFI\\_Summary\\_2021.pdf](https://www.e-fi.de/fileadmin/Assets/Gutachten/2021/EFI_Summary_2021.pdf) 공학, 사회과학 등에서 다양한 응용분야를 가지고 있으므로 활용성이 매우 큰 알고리즘이다.

2) Karliczek, „Hightech-Strategie2025bringtDeutschlandalsInnovationslandweitervoran.“-BMBF

(BIONTECH)사가 화이자(Pfizer)사와 협력하여 개발한 코로나 mRNA 백신은 주요한 성과다<sup>3)</sup>. 2020년에도 2개의 노벨상을 수상하는 등 독일 대학 및 연구기관은 세계적인 리더로서의 입지를 굳히고 있다.

이러한 성과는 독일이 장기간에 걸쳐서 하이테크 전략을 중심으로 연구와 혁신에 지속적으로 초점을 맞춘 정책의 결과라고 평가받고 있다.

### 독일 하이테크 전략(HTS)

하이테크 전략은 2006년에 처음 도입된 독일의 범정부 차원의 신 혁신 기술 연구개발 지원정책으로 독일의 미래산업 육성정책의 중추적 역할을 하고 있다<sup>4)</sup>.

이라는 목표를 연구와 혁신과 연계하는 데 중점을 두고 있으며, <그림 1>과 같이 12대 미션을 도전과제로 실행 중이다. 독일정부는 코로나19 펜데믹으로 인한 재정적 압박에도 불구하고 2019년 총 GDP의 3.18%였던 R&D 투자를 2025년에 3.5%까지 확대하는 계획을 지속 추진할 예정이다.

### 하이테크 전략 2025의 거버넌스: 하이테크 포럼

하이테크 2025 전략은 학술연구계와 산업계 시민사회 전문가를 포함하는 협의체인 하이테크 포럼(Hightech Forum)이 심의 기관 역할을 담당하여 전략적 연구를 협의 기획하고 있다. 포럼은 다양한 목적의 문제해결형 연구개발의 우선 과제를 도출하고, 공청회, 연방 주정부 및 관계 부처별 조율 및 광범위한 대화를 통해 야심차지만 현실적인 미래 사회를 대비하는 혁신 추진에 중점을 두고 있다.

코로나19 위기속에서 하이테크 포럼은 사회 혁신, 미래 가치 창조, 개방형 과학 연구 시스템 혁신, 바이오/IT 부문 혁신, 혁신 시스템의 민첩성과 지속가능성 강화 등을 주제로 한 8개 문헌(impulse papier) 내용을 종합하여 추가적인 연구프로그램 도출을 위한 5대 권고 사항을 발표하였다.

- 미션 지향적 혁신 정책 디자인
- 혁신 정책 실현을 위한 전략적 도구 활용
- 회복 탄력성과 기술 주권 확보
- 애자일(agile) 기반 연구 및 혁신 자금 지원
- 기술 이전 활동의 자율성 보장을 위한 이니셔티브로서 지식 집약형 스타트업 진흥

독일 연방교육연구부(BMBF)는 이러한 권고와 협의를 기반으로 녹색 수소, 마이크로일렉트로닉스, 인공지능, 소프트웨어 및 통신 기술, 신 소재 및 양자 기술과 같이 국가의 미래 기술 주권 유지 및 확장을 위한 전략적인 연구프로그램을 중심으로 하이테크 전략 2025를 강화해 나가고 있다<sup>5)</sup>.

| 그림 1. 독일 정부의 하이테크 전략 2025 |



자료: Die Bundesregierung, Forschung und Innovation fuer die Menschen

2018년 9월 발표된 ‘하이테크 전략 2025’은 독일의 미래 능력 강화, 미래의 가이드로서 독일의 번영과 지속 가능한 개발 및 삶의 질 향상

3) 신속하게 코로나19 mRNA 백신 개발 및 상용화에 성공한 바이오엔테크(BioNTech)는, 독일 남서부의 라인-마인-네카 지역의 생명공학 클러스터인 C13의 회원사로, 독일 클러스터 사업의 우수 사례로 평가됨  
 4) 2006년 하이테크 전략, 2010년 ‘하이테크 전략 2020’에 이어 2014년 ‘신하이테크 전략(New Hightech-Strategy)’, 2018년 ‘하이테크 전략 2025’ 발표, 매 4년마다 목표와 중점 과제를 새로 조정하며 후속 전략으로 이어지고 있음  
 5) <https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/pressemitteilungen/de/karliczek-hightech-strategie-2-s-innovationsland-weiter-voran.html>

## 2. 미래 기술주권을 지향하는 연구 혁신 현황과 전망

독일 연방교육연구부(BMBF)는 국가 경쟁력과 일자리, 기후변화, 코로나 19 팬데믹과 같은 글로벌 도전을 극복하는 데 있어서도 미래 기술주권 확보를 강조하고 있다. 11명의 다분야 전문가로 구성된 기술주권 위원회가 출범하여 독일과 유럽의 기술주권을 강화하기 위한 권고를 개발하는 임무를 수행하고 있다<sup>6)</sup>.

‘하이테크 전략 2025’에서 독일 정부가 기술주권 확보를 위해 강조하는 분야는 다음과 같다.

- ① 차세대 전자공학
- ② 미래 커뮤니케이션: 6G, 양자 커뮤니케이션
- ③ 소프트웨어 및 인공지능 기술 주권: 사이버보안
- ④ 데이터 경제 및 사회를 위한 데이터 기술
- ⑤ “Made in Europe” 양자 컴퓨터 개발
- ⑥ 미래 부가가치 창출: 인더스트리4.0 활용 통합 부가가치 사슬 효율화
- ⑦ 순환 경제: 자원 효율성과 원자재 보안을 위한 신기술
- ⑧ 재료 혁신: 지속 가능성, 경쟁력 및 변형 기반
- ⑨ 배터리 연구: 세계 정상 복귀 위한 혁신 파이프라인
- ⑩ 녹색 수소: 선도적인 시장 및 글로벌 공급 체제 구축
- ⑪ 백신 연구 개발 주권 확보

### 차세대 마이크로일렉트로닉스 기술

독일은 센서, 전력 전자, 중간 성능 등급의 특수 프로세서, 시스템 통합에서 세계적 리더이며 특히 독일과 네덜란드는 EUV 리소그래피를 통한 고성능 칩 제조 기계 분야에서 세계 최고 수준이다. 그러나 고성능 프로세서, 메모리, 통신 네트워크용 하드웨어에 대해 해외 의존성이 매우

강하여 인더스트리 4.0, 자율 주행 또는 통신 기술 영역과 디지털화를 저해할 우려가 있다. 독일 정부는 유망한 차세대 기술(예: “More-than-Moore”, 뉴로모픽 칩)의 강점을 활용, 기술 성숙도가 낮은 미래 첨단 기술 분야에서의 기술 경쟁력 확보로 기술 주권의 회복을 지향한다.

### 주요 계획

- 독일과 유럽을 위한 신뢰와 지속가능을 위한 마이크로일렉트로닉스 프레임워크 프로그램 2021-2024 (Rahmenprogramm für Forschung und Innovation 2021-2024: “Mikroelektronik, Vertrauenswürdig und nachhaltig. Für Deutschland und Europa.”<sup>7)</sup>)
- 연구 공장(Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland): 뉴로모픽 컴퓨팅 및 양자 컴퓨팅과 같은 미래 컴퓨팅 기술에 대한 전자 역량 격차를 해소하고 산업 연결성을 제공하기 위해 인프라 구축 예정
- 신뢰 가능한 일렉트로닉 이니셔티브(Leitinitiative “Vertrauenswürdige Elektronik”): BMBF 디지털 전략으로 공식화되었으며 독일과 유럽의 표준 기반 및 신뢰할 수 있는 인증된 전자 제품을 구현
- “제우스” 프로그램 (Maßnahme “ZEUS”): 표준화 및 인증을 촉진하고, 신뢰할 수 있는 전자 부품 및 시스템의 설계, 제조 및 테스트를 위한 개념과 솔루션 연구를 위해 연구기관과 기업으로 구성된 공동 플랫폼을 운영

### 미래 커뮤니케이션: 6G, 양자 커뮤니케이션

독일과 유럽은 특히 5G 모바일 네트워크 등 통신기술에서 아시아와 미국의 공급자에 의존도가 높은 상황이다. 그러나 6G와 양자 통신과 같은 새로운 분야에서는 기술 표준에 결정적인 영향을 미칠 수 있는

6) <https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/pressemitteilungen/de/2021/08/020921-Rat-technologische-Souveraenitaet.html>

7) 유럽연합 IPCEI(Important Project of Common European Interest) 프로그램의 추가적인 확장 의미 [https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/pdf/mikroelektronik-vertrauenswuerdig-und-nachhaltig-fuer-deutschland-und-europa.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/pdf/mikroelektronik-vertrauenswuerdig-und-nachhaltig-fuer-deutschland-und-europa.pdf?__blob=publicationFile&v=2)

기회를 제공하기에 신뢰 가능하고 동시에 에너지 효율적인 “Made in Germany 또는 EU” 통신 시스템을 개발하는 것을 목표로 하고 있다. 또한 양자통신 기술의 통합은 네트워크의 보안, 유동성 및 성능에서 새로운 차원을 가능하게 하기에 이러한 잠재력을 활용하여 연구 개발, 응용, 기술이전, 인프라 및 테스트 환경 개발에 대한 광범위한 투자와 결합된 전체적인 접근을 추진하고 있다.

### 주요 계획

- “미래 통신 기술/6G(“Zukünftige Kommunikationstechnologien/6G”): 미래 분야와 표준화 및 대규모 시장을 위한 유럽 솔루션 구축. 경제 및 미래 패키지의 자금으로 모든 관련 기술 분야를 포함하는 6G를 위한 연구 및 개발 생태계 구축<sup>8)</sup>
- 양자 통신 혁신 허브(Innovationshub Quantenkommunikation)<sup>9)</sup>: 산업계가 양자 통신 네트워크 및 시스템을 위한 안전하고 신뢰할 수 있는 구성 요소를 조기에 개발할 수 있도록 지원, 전자 부품의 설계 및 제조 분야에서 기업의 참여는 가치 사슬을 완성

### 소프트웨어 및 인공지능 주권 개발

독일 소프트웨어 산업의 약 90%가 직원 10명 미만인 소규모 회사이며, 숙련인력 부족과 주요 인프라를 유럽 외 지역공급자에 의존하고 있다. 인공지능(AI)을 기반으로 하는 소프트웨어 시스템은 기술 시스템의 인식 및 자율성뿐만 아니라 데이터 평가에 대한 새로운 가능성을 제공하기 때문에 새로운 가치 창출 및 적용에 큰 잠재력이 있다. 독일은 기초과학 측면에서의 강점을 기반으로 AI 기술 주권 강화해 나갈 계획이다.

### 주요 계획

- AI 전략(KI-Strategie)<sup>10)</sup>“AI Made in Europe” : AI 역량 센터의 확장, 통합 및 유럽 네트워킹을 통한 연구 생태계의 강화 추진, EUREKA 이니셔티브의 프레임워크 내에서 유럽 프로젝트를 대상으로 하고 “국제 인공 지능 연구소” 설립 등 추진
- 소프트웨어 시스템 및 생산(Software-Systemen und Software-Fertigung): 사물 인터넷을 위한 운영 체제 개발(BaSys 기술 등), 자율, 지능 및 임베디드 시스템을 위한 소프트웨어 개발 프로세스 재설계, 오픈 소스 접근 방식 등을 포괄적으로 상호 연계 개발 추진

### 데이터 경제/사회를 위한 데이터 기술

데이터는 새로운 지식, 혁신 및 부가가치를 위한 핵심 자원으로 기술 주권 확보를 위해 필수적이고, 디지털 전환을 위한 기반으로 독일 BMBF의 디지털 전략과 독일 연방정부의 데이터 전략에 반영되고 있다.

### 주요 계획

- 국가 연구 데이터 인프라(NFDI; National Research Data Infrastructure)<sup>11)</sup>: 연구 데이터의 (재)사용을 개선하기 위해 독일 연방 정부와 주 정부가 연간 최대 9천만 유로 공동 투자 추진, 목표는 데이터 관리를 위한 공통적이고 포괄적인 표준을 설정하는 데 있음
- GAIA-X: 독일과 유럽의 데이터 주권 및 관련 기업의 경쟁력 확보를 목적으로 하는 개방형 클라우드이자 데이터 인프라, BMBF는 GAIA-X와 NFDI의 잠재력을 결합하여 경제와 사회에 접근하고자 추진

8) <https://quantumbusinessnetwork.de/bmbf-foerdermassnahme%e3%80%896g-forschungs-hubs-plattform-fuer-zukuenftige-kommunikationstechnologien-und-6g/>  
 9) <https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/pressemitteilungen/de/2021/08/100821-Quantenkommunikation.html>  
 10) [https://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/digitale-wirtschaft-und-gesellschaft/kuenstliche-intelligenz/kuenstliche-intelligenz\\_node.html;jsessionid=ED582AAF93AA987BCC2006AC7CD7A9D8.live382](https://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/digitale-wirtschaft-und-gesellschaft/kuenstliche-intelligenz/kuenstliche-intelligenz_node.html;jsessionid=ED582AAF93AA987BCC2006AC7CD7A9D8.live382)  
 11) [https://www.dfg.de/download/pdf/foerderung/programme/nfdi/one\\_pager\\_nfdi\\_de.pdf](https://www.dfg.de/download/pdf/foerderung/programme/nfdi/one_pager_nfdi_de.pdf)



- 혁신을 위한 수학 이니셔티브(Mathematik für Innovationen): BMBF는 수학 연구와 응용 프로그램의 연결을 목표로 수학적 모델링, 시뮬레이션 및 최적화 분야 프로젝트 중점 지원, 빅데이터 기술 분야와 같이 비즈니스와 사회의 다양한 필요 영역에서 기술 주권을 보장
- 의료 정보학 이니셔티브(Medizininformatik-Initiative): 보건 연구 분야에서 데이터 사용과 새로운 데이터 분석 방법을 지원하여 혁신적인 예방, 진단 및 치료 개념 개발에 기여, 기술적·법적·조직적 요구 사항을 설계 개발

### “Made in Europe” 양자 컴퓨터 개발

독일은 양자 컴퓨팅, 특히 마이크로웨이브 및 극저온 분야에서 양자 컴퓨팅을 가능하게 하는 여러 공급업체뿐만 아니라 기술의 많은 잠재적 산업 사용자에게 대한 훌륭한 과학적 기반을 가지고 있다. 이를 기반으로 전체 시스템 구현을 위한 하이테크 기업을 육성하고 매력적인 연구 및 고용 기회를 통해 전문가 양성에 힘쓰고 있다.

#### 주요 계획

- 전략적 양자컴퓨팅 이니셔티브(Quantum Computing Strategic Initiative): 차세대 양자 칩 실현을 위한 양자 컴퓨터의 양자 프로세서 및 기술과 양자 알고리즘의 연구 및 구현을 위한 “양자 정보학 - 알고리즘, 소프트웨어, 응용 프로그램”을 중점 추진
- Quantum Future 프로그램: 우수한 신진 과학자로 주니어 연구 그룹 운영 지원
- Quantum Futur Academy: 학생들에게 양자기술 연구에 대한 통찰력을 제공
- Quantum Futur Award: 정부에서 양자분야 최고 석박사 학위 논문을 선정 수상
- Quantum aktiv 이니셔티브: 어려운 양자 컴퓨팅 기술에 대한 과학적 기초를 홍보하여 사회적 이해를 제고, 차세대 개발 프로세스에 대한 지식 격차를 줄이고 통합 추진

### 미래 부가가치 창출: 인더스트리4.0 등 통합 부가가치 사슬 효율화

유럽의 주요 수출국이자 경제적인 리더로서 독일은 강력한 국제적 위치에 있지만 반도체, 특정 소프트웨어 및 클라우드 서비스와 같이 미래 가치 창출에 필수적인 특정 기술 및 구성 요소에 대한 의존도가 증가하고 있다.

독일의 선도적인 경쟁력을 유지·확장하기 위해 제품 디자인부터 재활용에 이르는 가치 창출 시스템상에서의 국제의존적 네트워크에 대한 종속성과 제한을 해결하고, 독립적인 옵션과 기술을 확대 및 강화를 목표로 한다.

#### 주요 계획

- 가치 창출의 미래(Zukunft der Wertschöpfung) 프로그램: 인더스트리 4.0의 확장, 생산에서 인공지능 도입 사용을 위한 “고급 시스템 엔지니어링” 및 “기업의 적응성”을 지원하기 위한 이니셔티브 추진
- \* 양자 협력과 다자간 국제 기술 파트너십을 통해 보완적인 역량 확보, 기술 통합을 달성하여 일방적 종속성을 극복하여 미래 가치 창출을 지향

### 순환 경제: 자원 효율성과 원자재 보안을 위한 신기술

독일은 광물, 화석 및 생물 원료의 순수입국이며, 희토류와 같은 중요한 원자재에 대해 특정 국가, 특히 중국에 의존도가 높다. 독일은 화학, 기계 및 플랜트 엔지니어링, 재활용 산업에서 강점과 생명 공학의 혁신 잠재력을 기반으로 주요 원자재와 자원을 효율적이고 지속 가능한 대안으로 대체하는 것을 추진하고자 한다.

#### 주요 계획

- 지속가능 개발연구 전략(FONA-Strategie - Forschung für nachhaltige Entwicklung): FONA 프로그램중 자원효율적 순환경제(Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft), 이산화탄소의 원료 활용 (stofflichen Nutzung von CO<sub>2</sub>), 국가

바이오경제 전략(Nationalen Bioökonomiestrategie)을 중심으로 추진

## 재료 혁신: 지속 가능성, 경쟁력 및 번영 기반

독일은 재료 분야에서 글로벌 경쟁이 심화되는 가운데 혁신적인 소재 개발을 선도하고 사회, 경제, 환경 및 과학에 대한 필수 표준을 설정할 수 있도록 많은 노력을 하고 있는 상황이다. 또한 주요 원자재의 수입 의존을 개선하고, 추출 및 폐기시 지속 가능하고 윤리적으로 문제없는 재료의 공급을 선도하여 기술 주권을 확보하는 것을 목적으로 한다.

### 주요 계획

- 재료 디지털화 이니셔티브 (Initiative "Material Digital"): 독일 재료 연구의 디지털화를 촉진, 특히 표준, 온톨로지(ontology) 및 워크플로우 정의와 다양한 재료 등급과 크기 규모에 대한 데이터 시뮬레이션 추진
- 재료 자원 이니셔티브 (Initiative "MatRessource"): 자원 효율적 산업 및 사회를 위한 재료 개발에 중점, 핵심 요소는 핵심 재료의 대체, 재료 효율성 증가, 2차 재료 사용 및 재료의 리사이클링 (그린 배터리 리사이클링 등)

## 배터리 연구: 세계 정상 복귀 위한 혁신 파이프라인

"배터리" 가치사슬의 구축은 독일에서 가장 큰 산업 분야인 기계, 자동차, 화학 및 전자 산업에 영향을 미치는 주요 과제이지만 중국, 한국 등으로부터 수입 의존도가 높다. 독일 정부는 2008년부터 "Research Factory Battery" 프로그램을 통해 현대적이고 고성능인 동시에 지속 가능한 배터리 시스템과 재료의 선도적인 입지 구축을 추진하여 왔다.

### 주요 계획

- 배터리역량클러스터(Batteriekompetenzclustern): 원자재에서 재료, 배터리 셀, 배터리 시스템 및 설계에서 생산, 재활용에 이르기까지 전체적인 배터리 가치 사슬의 다양한 영역에서 연구 개발을 촉진하고 네트워크를 형성
- \* (지능형)배터리 셀 생산, 전고체 배터리, 배터리 재료, 재활용/친환경 배터리, 배터리 분석/품질 보증 분야 등에서 배터리 역량 클러스터 구축에 중점을 둠
- "Battery 2020" 이니셔티브: 배터리 연구 및 생산을 위해 이스라엘, 일본, 미국, 대만과 협력을 진행하였으며 향후 프랑스 와도 협력할 예정

## 녹색 수소: 독일을 선도적인 시장 및 선도적인 글로벌 공급 업체화

독일은 지속 가능한 수소의 생산 및 소비를 촉진하여 내수시장을 확대하고, 그와 동시에 유럽연합 차원의 안정적인 녹색 수소 공급망을 구축하여 유럽의 수소 생산 잠재력 및 인프라를 최대한 활용하고자 한다.

### 주요 계획

- 국가 수소전략(Nationalen Wasserstoffstrategie): 독일의 수소경제에서 기술 주권 달성을 위한 로드맵을 발표 추진중<sup>12)</sup>
- 독일 수소 시장 확대를 위해 70억 유로, 수소 확보를 위한 글로벌 파트너십 구축에 20억 유로 투자 계획 중이며, 2030년까지 수소 생산 설비 5GW 설치 예정
- 수소 기술 개발 및 내수시장 확대를 위한 첫 단계로 정부가 추진해야 할 세부 분야별(운송, 산업, 난방, 인프라, 연구 혁신, 국제 협력 등) 38가지 조치 제시

12) <https://www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2020/07/Meldung/topthema.html>

## 백신 연구 개발 주권 확보

독일은 이미 전염병 연구와 새로운 백신 기술 개발을 위한 매우 우수한 인프라를 갖추고 있으며 새로운 백신 개발의 초기 단계에서 유리한 위치에 있다. 백신 후보의 발견부터 백신 연구의 학제적 협력, 효능 및 안전성에 대한 글로벌 표준 개발, 광범위한 임상 테스트 및 시장 준비를 위한 제조 공정 개발 등 전주기적으로 광범위한 백신 개발 과정을 지원, 백신 주권의 유지 및 확장을 지향하고 있다.

### 주요 계획

- 코로나19 백신 연구개발 특별 프로그램(Sonderprogramm Impfstoff Forschung und - Entwicklung gegen SARS-CoV-2): 긴급하게 필요한 백신의 개발을 가속화할 뿐만 아니라 과학 및 기술 노하우를 유지 및 확장하기 위한 협력을 강화
- 강력한 보건연구 돌파(Aufbruch mit einer starken Gesundheitsforschung) 프로그램<sup>13)</sup>: 미래 전염병 관리를 위한 연구 및 과학 커뮤니티의 체질을 개선하기 위해 이미 확보된 27억 유로의 예산을 다음과 같은 부문에 투자할 전망
  - 약물 및 백신 개발 과정에서의 구조적 변화 지원
  - 백신 연구를 위한 전국 단위 임상 데이터베이스 및 새로운 방법론 개발
  - 생명 공학 부문 전반 연구 역량 강화 등

## 3 결론 및 시사점

독일 연방정부는 하이테크 전략 2025를 통해 개방성, 민첩성, 장기 예측 및 신뢰성 확보를 특징으로 하는 혁신 방향을 설정하였다. 코로나 펜데믹의 과정에서 정부, 학계, 산업계 및 시민사회를 포용하는 하이테크 포럼을 통해 애자일(Agile) 기반 연구 혁신 정책을 도출하였다.

독일에서 주로 디지털, 사이버 보안 분야에서 기술주권이 논의되었지만, 코로나19 재난 이후에는 전자, 정보 통신, 소프트웨어외에도 에너지,


재료, 환경 등 다양한 전략적 학제적 기술이 강조되고 있다. 핵심 기술의 주권적 개발과 응용은 국제 경쟁력, 국가의 예방적 임무, 경제와 사회의 회복력을 위한 중요한 기반을 형성하는 것으로 인식되었기 때문이다.

독일 연방교육연구부(BMBF)의 기술주권 강화를 위한 접근 방식은 관련 기술 및 구성 요소, 국제 비교에서 독일과 유럽의 연구 및 시장 위치, 국제 파트너에 대한 기존 종속성에 대한 분석에서 출발하고 있다.

적절한 전략 결정을 위해 가능한 방식은 주도적 위치를 유지 및 확장하고 상호 의존성을 생성하여 협상 입지를 개선하기 위해 기존 강점을 강화하는 것이다. 혁신 격차를 줄이고 종속성을 줄이기 위해서는 약점을 제거하고, 당장의 경쟁이 아닌 차세대 기술에서 선도적 위치를 달성하는데 초점을 맞추어 자체 혁신 네트워크에 통합하고, 필요한 인프라를 공동으로 구축하는 방식을 추진하고 있다.

기술주권 확보는 국제 협력 없이는 불가능하여 독일은 핵심기술의 연구 개발에서 주도적 역할을 위해 세계 최고의 과학자들과의 협력을 표적으로 확대하고 있다. 유럽 연구 지역내 협력을 특히 중시하고 있지만 아시아 태평양 지역의 파트너와 양자 혹은 다자 협력 확대도 모색하고 있다. 특히 독일은 2022년 G7 의장국이 될 예정으로 중요한 다자간 포럼을 주도할 예정이며, 2022년 하반기부터는 EUREKA 회장을 인수하게 되어 독일 정부는 독일 산업을 위해 국제 기술 협력을 확대하고 중요한 전략적 문제를 홍보할 수 있는 기회로 활용할 계획이다. 특히 독일은 캐나다, 한국, 영국 및 스위스와의 협력을 통한 글로벌 밸류체인과 노하우 확보를 중시하고 있다<sup>14)</sup>.

독일은 기초기술과 공학교육 수준이 탁월함에 불구하고 파괴적인 기술 혁신 추진상 글로벌 경쟁국가에 비해 고위험 개방적 연구 지원에 취약하다는 평가를 받아 왔다<sup>15)</sup>. 그러나 독일은 이러한 취약점을 보완하고 강점을 극대화하고자 도약혁신청(SpringD)<sup>16)</sup>을 설립하여 기초연구의 성과와 실용화간 간격 단축을 시도하는 등 국가 연구와 혁신 체제를 개혁하고 있다.

차세대 기초기술을 기반으로 미래 기술주권 확보를 지향하는 독일과 한국간 차세대 기술개발 및 혁신 분야에서의 협력은 상호보완성과 시너지를 창출할 수 있는 잠재력이 크다고 판단된다. 

13) [https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/pdf/gesundheitsforschung-der-bundesregierung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/pdf/gesundheitsforschung-der-bundesregierung.pdf?__blob=publicationFile&v=2)

14) BMBF(2021) Technologisch souverän die Zukunft gestalten

15) Fraunhofer ISI(2021), Addressing societal challenges through disruptive technologies, <https://www.springd.org/en/>

16) <https://www.springd.org/en/>

# 탄소중립 기술혁신 추진전략: 10대 핵심기술 개발방향

박연수 고려대학교 에너지환경대학원 박사과정, ysoo@kist.re.kr

## 탄소중립 10대 기술 핵심기술 개발방향 보고서 발간

기후위기가 현실화되면서 국제사회는 기후변화 대응을 위해 보다 강화된 목표인 '2050 탄소중립'으로 지향점을 전환하고 있다. 정부는 2050 탄소중립 선언('20년 10월)이후, 같은 해 12월, '2050 탄소중립 추진전략'을 발표하고 탄소중립을 실현하기 위해 기술혁신이 중요하고 시급하다는 판단하에 2050 탄소중립을 견인할 10대 핵심기술에 대한 구체적인 추진방향을 제시하였다. 이번 호에서는 올해 9월에 발간된 '탄소중립 기술혁신 추진전략 - 10대 핵심기술 개발 방향'에서 제시된 기술개발 전략을 중점적으로 살펴보고자 한다.

## 수립 배경·비전 및 추진전략

전 세계적인 패러디임으로 부상한 '2050 탄소중립'은 사회 전 분야의 협력을 필요로 하는 도전적 과제이다. 이를 실현하기 위해서는 기술 혁신이 무엇보다 중요하고 시급하다는 판단에 따라 「탄소중립 10대 핵심 기술 개발방향」이 마련되었다. 이번 전략은 올해 3월 과학기술정보통신부 주관으로 수립된 「탄소중립 기술혁신 추진전략」의 5대 추진 전략 중 하나인 '탄소중립 기술혁신 10대 핵심기술 개발'의 구체적인 이행 방향이다. (5대 추진전략 ▲탄소중립 기술혁신 10대 핵심기술 개발 ▲범부처 R&D사업 기획·추진 ▲신산업 창출 집중지원 ▲민간주도의 저탄소 전환 ▲지속 가능한 연구기반) 이에 대한 후속 조치로서 이번 보고서에서는 탄소중립 10대 핵심기술에 대해 2050년까지의 구체적인 기술별 목표 및 중점기술 개발 방향을 알기 쉽게 제시하였다. 10대 핵심 기술은 ①태양광·풍력, ②수소, ③바이오에너지, ④철강·시멘트, ⑤

석유화학, ⑥산업공정 고도화, ⑦수송효율, ⑧건물효율, ⑨디지털화, ⑩CCUS이다.

## 10대 핵심기술개발 보고서

탄소중립 10대 핵심기술 개발방향은 장기저탄소발전전략(LEDS) 기반으로 부문별 이슈 분석, 온실가스 감축기여도, 주력산업 연관성 등을 고려해 산업 현장의 시급한 수요를 반영하여 도출되었다. 보고서는 10대 핵심기술과 각 기술을 확보하기 위한 전략을 담고 있다.

보고서는 총괄, 에너지 전환(태양광, 풍력, 수소, 바이오에너지), 산업 저탄소화(철강·시멘트, 석유화학, 산업공정 고도화, CCUS), 에너지 효율(수송효율, 건물효율, 디지털화) 등 총 네 부분으로 구성되어 있다.

첫째, '총괄' 부분에서는 탄소중립 기술개발의 중요성에 대한 이해를 돕기 위해 탄소중립 선언 배경과 국내외 탄소중립 정책·시장·산업 현황을 제공하고, 「탄소중립 기술혁신 추진전략」의 추진배경과 10대 핵심 기술의 주요 내용을 요약하여 소개하고 있다.

둘째, '에너지 전환' 부분에서는 탈탄소 친환경 에너지로의 전환을 위한 핵심기술인 태양광, 풍력, 수소, 바이오에너지 기술의 핵심기술과 세부 기술별 추진전략을 담고 있다. 태양광 기술은 태양전지 효율 증가로 도시형 태양광 응용처를 확대하는 것을 목표로 하고 있으며, 풍력 기술은 핵심부품의 효율을 향상하는 등 대형화 선도기술을 확보하여 풍력 발전량 고도화에 기여하고자 한다. 수소에너지 분야는 수소경제 추진 기조에 따라 재생에너지 기반의 그린수소 생산을 확대하고, 액체수소 저장기술을 확대하여 수소사회 구현을 가시화하고, 바이오에너지 분야

에서는 신기술 기반의 바이오에너지를 활용한 무탄소·저탄소 전력을 생산하고 수송용 연료 대체하는 것을 목표로 삼았다.

세 번째, '산업 저탄소화'에서는 탄소집약적 구조를 가지는 국내 산업을 저탄소 산업구조로 전환하기 위한 핵심기술인 철강·시멘트, 석유화학, 산업공정 고도화, CCUS 분야의 추진전략을 담았다. 철강·시멘트·석유화학 산업 분야에서는 현재 사용 중인 화석 연·원료들을 저탄소 연·원료로 대체하는 기술을 개발하고, CCUS(탄소 포집 및 저장)분야에서는 상용급 포집 가격경쟁력을 갖추고 CO2 전환 제품 가격경쟁력을 확보하는데 집중할 예정이다.

네 번째는 '에너지 효율'로서 수송효율, 건물효율, 디지털화 분야에서 고효율/친환경 에너지 기술 및 운영/관리 최적화 기술을 적용하여 에너지의 효율을 높이거나 탄소배출을 저감할 수 있는 핵심기술의

국내외 현황, 핵심기술, 비전·목표 및 세부기술별 추진전략을 담았다. 수송효율·건물효율 분야에서는 무탄소 차세대 모빌리티 기술들을 개발하고, 제로에너지건물의 효율을 높이고자 한다. 디지털화 분야에서는 우리나라가 기술적 우위를 선점하고 있는 ICT기술을 기반으로 발전/산업/수송/건물 전 부문의 에너지효율을 최적화할 것을 목표로 한다.

과기정통부에서는 보고서를 발간하며 탄소중립은 더 이상 피할 수 없는 전 지구적 과제이며, 탄소중립 기술혁신을 지원하기 위해 10대 핵심기술 확보 가속화와 혁신생태계 조성에 지속적으로 정책역량을 집중할 계획이라고 밝혔다. 또한 출연(연)을 위시한 연구현장에서는 본 보고서가 탄소중립을 향한 기술개발의 토대가 될 수 있을 것이라고 평가하고 있다. 본 보고서를 시작으로 탄소중립 기술혁신의 추진을 통해 실질적인 탄소 감축뿐만 아니라 상용화를 촉진하는 혁신생태계까지 조성해 나갈 수 있기를 기대해 본다. **ktg**

표 1. 탄소중립 10대 핵심 기술개발 방향 요약(과기정통부, 2021, 재구성) |

대분류	10대 기술	기술개발 방향	
에너지전환	태양광·풍력	<ul style="list-style-type: none"> <li>태양전지 효율 (現) 27% → ('30) 35% → ('50) 40%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>풍력 발전기 용량 (現) 5.5MW → ('30) 15MW → ('40) 20MW</li> </ul>
	수소	<ul style="list-style-type: none"> <li>수소충전소 공급가(원/kg) (現) 7,000 → ('30) 4,000 → ('40) 3,000</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>수소 발전단가(원/kWh) (現) 250 → ('30) 141 → ('40) 131</li> </ul>
	바이오 에너지	<ul style="list-style-type: none"> <li>바이오연료 가격경쟁력(동종화석연료 대비) (現) 120~150% → ('30) 100% → ('45) 85%</li> </ul>	
산업저탄소화	철강·시멘트	<ul style="list-style-type: none"> <li>수소환원제철 기술 연·원료 대체율(수소) (現) 0% → ('40) 100%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>시멘트 석회석 대체가능율 (現) 0% → ('40) 8%</li> </ul>
	석유화학	<ul style="list-style-type: none"> <li>탄소중립원료 제품 가격경쟁력(동종 석유화학제품 대비) (現) 150% → ('40) 100%</li> </ul>	
	산업공정 고도화	<ul style="list-style-type: none"> <li>반도체·디스플레이 공정가스 배출저감기술 효율 (現) 80% → ('40) 95%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>산업공정 에너지효율 설계오차 (現) 30% → ('30) 5% 수준</li> </ul>
	CCUS	<ul style="list-style-type: none"> <li>CO<sub>2</sub> 상용급 포집 가격경쟁력 (現) \$60/톤 → ('30) \$30/톤 → ('50) \$20/톤</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CO<sub>2</sub> 전환 제품 가격경쟁력 (現) 연구 단계 → ('40) 100%</li> </ul>
에너지효율	수송효율	<ul style="list-style-type: none"> <li>차세대전지배터리 밀도 (現) 250Wh/kg → ('45) 600Wh/kg(상용화)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>수소 고속충전기술 (現) 1.6kg/분 → ('30) 7.2kg/분</li> </ul>
	건물효율	<ul style="list-style-type: none"> <li>건물에너지효율 ('30) 30% 향상 기술 확보</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>제로에너지 건축비(리모델링 대비) (現) 130% → ('45) 105%</li> </ul>
	디지털화	<ul style="list-style-type: none"> <li>데이터 전력 소모 ('30) 20% 이상 저감</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>계통 운영시스템 적용 ('40) 시 기반 차세대 계통운영시스템 적용</li> </ul>



# 정부 R&D 예산안과 국가재정운용계획이 출연(연)에 주는 시사점

손 소 연 정책기획팀 인턴, syson@kist.re.kr

**과** 학기술계는 5년 단위 계획과 1년 치의 예산을 가지고 20년을 바라보는 문제를 풀고 있다. 바꾸어 말하면 20년 문제를 잘 해결하기 위해서는 정부의 5년 장기 계획을 이해하고 1년 예산을 현명하게 유용할 줄 알아야 한다. 이는 특히 정부출연연구기관이 요구받는 자질이다. 출연(연)은 해야 하는 연구를 수행하는 연구주체이기 때문에 국가의 투자 전략을 고려하여 정책 및 R&D를 기획해야 한다. 기획재정부는 지난 8월 말 「2021~2025년 국가재정운용계획」과 「2022년 예산안」을 공시했다. 본고는 그중 R&D분야와 관련한 주요 내용을 살펴 보며 정부 예산 정책이 출연(연)에 주는 시사점을 짚어보고자 한다.

내년 연구개발 예산으로 29조 8,000억원이 편성되었다. 금년 27조 4,000억원 대비 8.8%(2.4조원)이 증가했고, 약 16조원이었던 10년 전과 비교하여 86%(13.8조원)가 늘어난 슈퍼 예산이다. 정부 연구개발 예산은 지난 10년 동안 꾸준히 증가해왔다. 특히 정부 연구개발 예산이 최초로 20조원을 돌파했던 2019년 이후로 최근 3년간 정부의 R&D 투자가 크게 증대되었고, 이제는 30조원대의 투자를 눈앞에 두고 있다. 현 정부의 확대 재정 기조가 R&D 투자 확대로도 이어진 것이다. 연구개발 투자 확대에는 국가가 당면한 위기를 극복하고, 미래 산업·기술 패러다임 변화에 대비하겠다는 정부의 의지가 반영되었다. 2022년도 주요 투자 내용은 <표 1>에 옮겼다.

표 1. 정부 연구개발 예산 현황(2021년~2022년) |

(단위: 조원, %)

구분	주요 과제	'21년(A)	'22년 정부안(B)	증감(B-A)	
					%
위기대응투자	1. 감염병 극복 R&D	0.44	0.51	0.07	15.9%
	2. 국민안전 R&D (재난·재해·범죄)	1.37	1.74	0.37	27.0%
한국형 뉴딜 2.0	3. 디지털 뉴딜	1.09	1.7	0.61	56.0%
	4. 그린 뉴딜	1.31	1.86	0.55	42.0%
미래주력산업	5. 시스템반도체	0.29	0.44	0.15	51.7%
	6. 바이오헬스	1.76	1.89	0.13	7.4%
	7. 미래차	0.39	0.47	0.08	20.5%
	8. 소재·부품·장비	2.15	2.28	0.13	6.1%
도전적 프론티어형 R&D	9. 우주	0.46	0.64	0.18	39.1%
	10. 항공	0.19	0.2	0.01	5.3%
	11. Next D.N.A. (양자, 6G 등)	0.27	0.44	0.17	63.0%
R&D 기반조성	12. 연구자주도 기초연구 2배 확대	2.35	2.55	0.2	8.5%
	13. 중소기업전용 R&D 2배 확대	2.47	2.53	0.06	2.4%
	14. 혁신인력양성	0.6	0.67	0.07	11.7%
	15. 국제협력	0.5	0.58	0.08	16.0%

자료: 기획재정부(2021b) 토대로 재구성

| 표 2. 분야별 자원배분 계획(2021년~2025년) |

(단위: 조원, %)

분야	'21년	'22년	'23년	'24년	'25년	'21년~'25년 연평균 증가율
총 지출	558.00	604.40	634.70	663.20	691.10	5.49%
보건·복지·고용	199.7	216.7	232.2	246.1	259.3	6.75%
R&D(증가율)	27.4(13.1)	29.8(8.8)	32.3(8.5)	34.0(5.2)	35.4(4.0)	6.61%
환경	10.6	11.9	12.9	13.7	14.5	8.15%

자료: 기획재정부(2021a) 토대로 재구성

정책적 우선순위로도 볼 수 있는, 차년도 중점 투자 분야는 차례대로 ①재난·재해·감염병 위기대응 ②한국형 뉴딜 2.0 고도화 ③미래주력 산업 확장 ④도전적 프론티어형 R&D ⑤R&D 기반조성이다. <R&D 기반조성> 분야의 '연구자주도 기초연구', '중소기업전용 R&D' 예산 확대 과제는 문재인정부의 국정과제 목표로서 2.5조원이 넘는 최대 규모의 투자가 이루어졌다. 한편 내년에 정부가 방점을 찍을 연구개발 분야는 <한국형 뉴딜 2.0>으로 보인다. '디지털 뉴딜'과 '그린 뉴딜'은 각각 6,100억원, 5,500억원씩 증가하며 가장 큰 예산 증가폭을 자랑했고 증가율도 상위권에 올라왔다. 이러한 투자 방향은 디지털 전환과 탄소중립 실현 등 산업 경쟁력 확충에 기여할 것이다. 그밖에 우주와 양자처럼 미래적 신산업 분야의 투자를 확대한 것도 주목할 만하다.

정부는 일관되고 건전한 재정 운용을 위해 매년 5 회계연도 단위로 「국가재정운용계획」을 수립한다. 이를 통해 정부의 투자 우선순위를 확인할 수 있는데 예산과 정책적 투자전략을 유기적으로 연계했기 때문이다(원구환, 2019).

「2021~2025년 국가재정운용계획」에 따르면 정부의 R&D 투자는 향후 5년간 연평균 증가율 6.6%을 보이며 지속적으로 확대될 전망이다 (표 2). 내년 예산안 기준으로 총지출 604조원에서 R&D분야가 차지하는 지분은 4.9%(29.8조원)이며 2025년까지 5.1%(35.4조원)로 끌어올릴 계획이다. 12대 분야 중에서 연평균 증가율이 가장 큰 3대 분야는 환경(8.2%), 보건·복지·고용(6.8%), R&D (6.6%) 순으로 전부 총지출 증가율인 5.5%를 상회한다.

한편, 앞으로 출연(연)은 사업 관리에 더욱 신중을 기해야겠다. 지난 6월 2일 <제4회 재정운용전략위원회>에서는 확대 예산을 효율적으로 충당하기 위해 다음의 대안을 제시하였다(기획재정부, 2021d). 첫째, “출연의 적법성·타당성을 심사한 뒤 부적격한 사업은 폐지하거나 통제하기 용이한 타 비목(보조사업이나 민간위탁사업 등)으로 전환”한다. 둘째,

“자체수입을 내는 출연기관은 자구적인 경영개선을 해야 하고 그러한 노력을 전제로 운영경비를 책정”한다.

위원회의 목소리는 차기 연도 예산안에 다음과 같이 반영되었다. 첫째, 출연(연)의 수익구조를 원점(zero-base)에서 새롭게 평가하고 그동안 누락되어 온 자체수입을 발굴하여 운영비성 출연금을 2,000억원 절약한다. 둘째, 경상경비 등 감액 요소를 찾아 출연기관의 간접비 139억원을 절감한다(기획재정부, 2021a, 2021b, 2021c). 이러한 방침에 따라 출연(연)도 과감히 늘어난 예산에 안주하지 않고 효율적인 재정 운용을 위해 힘쓸 필요가 있다.

가진 것이 많을수록 책임이 늘어나기 마련이다. R&D 예산의 증가는 출연(연)에게 책임이라는 송고하면서 무거운 개념을 지운다. 출연금의 원천은 국민의 세금이기에 투입 증가가 국민체감형 성과로 이어져야 하지만, R&D분야에서 예산 확대가 생산성 향상으로 직결되리라 쉽지 않은 일이다. 서두에 '과기계에는 20년 치의 문제가 주어졌다'라고 언급한 것은 과언이 아니다.

그러나 무엇을 왜 하고 있는지 안다면 성장할 수 있다. 출연(연)은 과학 기술의 사회적 책무를 다하면서 국책연구기관으로서 기능할 수 있도록 정부의 투자 방향을 세심히 검토해야 할 것이다. 앞으로 정부의 적극적인 R&D 개입을 바탕으로 출연(연)이 달성해낼 임무와 경제성장을 기대한다. **KST**

참고문헌

- 기획재정부 (2021a), 「2021~2025년 국가재정운용계획 주요내용」.
- 기획재정부 (2021b), “2022년도 국가 R&D 재정투자”, 보도자료, 2021.9.2.
- 기획재정부 (2021c), 「2022년 예산안」.
- 기획재정부 (2021d), “제4회 재정운용전략위원회”, 보도자료, 2021.6.2.
- 원구환 (2019), 『재무행정론』, 대영문화사.
- 한용용, 김주일 (2021), 「2021년도 정부연구개발예산 현황분석」, 조사자료 2021-004, 한국과학기술기획평가원.
- Hackerman, N., Ashworth, Kenneth. (2012), 『과학기술과 정책에 대하여: 노만 핵커만과 케네스 애쉬워스의 대화』, 송중국, 과학기술정책연구원.

# 진정한 의미의 출연(연) 연구협의체의 시작, 연구개발전략위원회

이 정 민 미래전략팀 인턴, jungmin@kist.re.kr

25개의 과학기술분야 출연연구기관(이하 출연(연))들은 지난 수십년간 국가발전 및 전문분야에서의 전략기술 보급 등 유의미한 성과를 창출하며 대표적인 공공연구기관으로서의 위상을 공고히 하고 있다. 그럼에도 불구하고 기관 간 자발적 협력, 나아가 연구자 중심의 소통 창구 부재 문제와 협동 연구의 부진함이 고질적 문제점으로 제기 되어 왔다. 출연(연)의 핵심 인력인 연구원들의 공감대 형성은 활발한 협업으로 이어져 급변하는 산업과 수요에의 부응을 기대할 수 있기 때문이다. 이는, 지난 2019년 9월 국정감사 당시 다시 한번 지적사항으로 도출되면서 문제해결의 시발점이 되었다.

사실, '출연(연) 연구협의체'는 꾸준히 운영됐으나 이를 뒷받침할 법적 근거가 없어 참여와 운영이 원활하지 않았다. 즉, 기술전문가 중심으로 자율과 책임의 연구환경 기반을 강화하며 연구자들에게 자발적 연구 기획 추진 및 협동 연구의 자문역할을 부여할 수 있는 명확한 근거의 필요성이 드러난 것이다. 이러한 배경을 바탕으로 출연(연)의 자율성을 확보하고 연구개발전략위원회의 구성 근거를 마련하는 취지의 과기출연기관법의 개정안이 발의되었으며, 그 결과 제5조의 2, 제25조의 제3항과 제4항이 각각 신설되었다.

그리고 지난 8월, 출연(연) 기관장 간담회를 통해 연구개발전략위원회 주요 내용이 공유되었다. 이에, 연구개발전략위원회 계획안 내용을 구체적으로 정리하며 새로운 출발에 대한 시사점을 도출해보고자 한다.

## | 참고 1. 주요 개정내용 |

[과기출연기관법] 제25조 제3항 신설

- ③ 연구기관의 연구기획 및 연구기관 간의 협동연구 추진방향에 대한 자문에 응하게 하기 위하여 연구회에 연구기관 직원 및 관련 분야 전문가로 구성되는 연구개발전략위원회를 둘 수 있다.

## 위원회의 구성 및 활용계획

연구개발전략위원회는 이사회인 국가과학기술연구회(이하 NST) 정관 제27조의2 및 연구개발전략위원회 운영 규정을 근거로 활동할 예정이다. 연구개발전략위원회는 출연(연)의 R&R (자율과 책임) 정립 및 미래 연구방향과 연구기획을 주기적으로 수렴하는 한편, 융합·협력 연구 전반에 대한 자문 기능을 수행하는 법정 조직체로서의 활동을 목적으로 한다. 대표적 활동으로는 ▲출연(연)의 연구개발 미래전략 논의·자문, ▲미래지향적 R&D 주제 및 협력연구 추진방식의 검토·자문, ▲주요 연구분야에 대한 출연(연) 공동목표설정 및 R&R 도출, ▲출연(연) 전체에 영향을 줄 수 있는 연구환경 및 인프라에 대한 제언, ▲기술·산업 전망 분석을 통한 정책·부처사업 제안이 있으며 이외에도 내외부 R&D에 대한 광범위한 활동을 망라할 것으로 보인다. 연구개발전략위원회의 구성은 총괄위원회 및 3개 분과위원회와 실제 조사와 분석을 시행하는 소위원회로 이뤄질 전망이다. 산하 세부 조직의 역할과 범위는 다음과 같다.

총괄위원회는 연구개발전략위원회의 최상위 의사결정기구로서 분야별 성과물에 대한 최종검토 및 심의, 안건에 대한 자문 기능을 수행하고 소관 연구기관의 통합전략을 제시하는 역할을 도맡는다. 더불어, 위원 구성의 내·외부 비율을 관리하며 기존 NST 융합연구위원회 역할을 포함할 것이다.

분과위원회는 출연(연) 및 외부 전문가를 위촉하여 구성된다. 주요 업무로는 분야별 이슈발굴, 이슈리포트 발행, 전략 기획안 도출 등이 있으며 크게 세 위원회로 구분된다. 첫째, 혁신정책위원회는 정책전문가와 출연(연) 발전위원회가 연계된 전문가 중심 구성으로, R&D 관련 정책과 제도 개선을 수행한다. 둘째, 미래기술위원회는 분야별 기술전문가와 출연(연) 발전위원회가 참여하는 전문가로 구성되며, 분야별 R&D

1) 출연(연) 발전위원회는 지난 2013년 결성된 정책협의체로 32개 연구기관 부원장으로 구성, 활동 중이다. 현재는 KIST가 제5기 사무국 역할을 담당하고 있다.

전략을 세우고 수요발굴을 통한 연구기획, 출연(연) 역할 확립 활동을 담당한다. 셋째, 융합사업위원회는 외부 전문가를 중심으로 구성되어 융합사업 발굴, 기획, 제도 개선 등 NST 융합연구사업 전반을 추진·관리한다.

앞선 정규위원회들과 다르게, 소위원회는 임시위원회로서 활동 후 해산하는 일몰형 조직으로 각 분과위원회의 활동에 맞춰 출연(연) Working Group(W/G)으로 구성된다. 연구개발전략위원회의 정식 출범을 앞두고 9월, 시범 W/G가 운영될 예정이다. 2022년 시범 W/G의 운영 결과를 바탕으로 연구개발전략위원회의 구체적 운영방안이 마련될 것으로 예상된다.

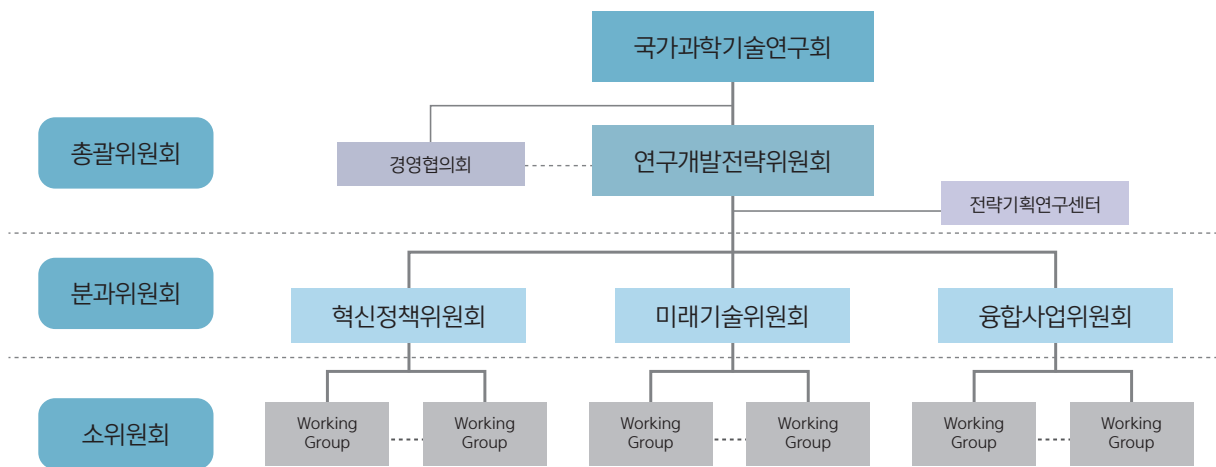
이에 더하여, 다가오는 2022년에는 전략기획연구센터라는 명칭의 사무국을 설치될 예정이다. 사무국은 분과위원회와 총괄위원회 사이에서 출연(연) 및 과학기술 관련 주요 이슈를 총괄해 공유하며 이사회 안건 상정과 정부·국회 제안을 정책화하는 작업을 수행한다.

## 기대효과 및 시사점

이번 위원회 출범은 기관 간 소통을 강화하고 출연(연) 연구자들이 연구 방향에 직접 목소리를 반영할 수 있는 채널이 마련되었다는 점에서 중요한 의미를 갖는다. 특히, 연구자 중심의 환경 조성으로 창의적이고 도전적인 연구영역에서 융합·협력연구가 추진력을 얻게 되어 시너지 효과를 기대해볼 수 있다. 더불어, 25개에 이르는 출연(연) 연구원들의 협업을 강화할 수 있다는 점은 다학제적 전문인력 활용이 가능해진다는 강점으로 연결된다. 이를 바탕으로 출연(연) 전체 관점에서의 R&D 정책 기획 기능이 강화되고 융합연구가 활성화된다면 국민이 공감할 수 있는 성과 창출과 함께 출연(연)에 대한 대내외 신뢰도가 향상될 것이다.

반면, 연구개발전략위원회의 설립은 출연(연)에 지속적으로 제기되던 문제해결의 첫 신호탄임을 잊어서 안 된다. 위원회의 시작만큼 앞으로 어떻게 구성해 나가는지가 더 중요한바, 출범 이후 지속적인 모니터링과 피드백을 통해 연구자 중심의 핵심 연구협업체로 정착하여 자율과 책임 문화의 모범으로 자리 잡아야 한다. 또한 이러한 새로운 도약은 이후 출연(연)내 통합모니터링 및 연구정보 시스템과 연계되어 새로운 이슈 발굴, 공동 사업 기획 등의 구심점 역할로 나아가야 할 것이다. **KT**

| 그림 1. 위원회 조직구조도 |



### 참고문헌

- 과학기술분야 정부출연연구기관 등의 설립·운영 및 육성에 관한 법률
- 국가과학기술연구회 (2021.08). 출연(연) 기관장 간담회 발표자료.
- 서지영, 이민형, 안형준, 김지선 (2018). 「과학기술계 정부출연연구기관 기술정책기능 강화 방안」. 과학기술정책연구원
- 출연(연) 발전위원회 (2021.06). 출발(위) 제38차 본회의 안건자료.