

TePRI

REPORT

2019 • vol.103

12



전망대 혁신성장을 위한 국가기술혁신체계의 대전환이 필요하다

Focus 필(必)환경을 위한 국가 과학기술 역량의 결집

Insight KIST 물질구조제어연구단 김종민 박사, 바이오닉스연구단 박기주 박사

Part 01 R&D Spotlight

01. 기획특집 : DARPA에서 찾는 ‘도전하는 연구’ 실천의 길, 둘
02. 이슈분석 : World Economic Forum 선정 - 2019년 10대 유망기술 (2)

Part 02 R&D In&Out

01. 주요 정책동향 : 제1회 소재·부품·장비 기술특별위원회 개최
02. TePRI, 정책 현장 속으로 : “한반도 공동번영을 위한 남북과학기술 협력” 참관
03. 글로벌 시장 동향 : 유해가스로 인한 피해를 피하기 위한 노력, 가스센서 시장 성장
04. Guten Tag! KIST Europe : 유럽과 독일의 혁신전략과 정보통신기술 협력 (1)

Part 03 TePRI 休

01. 세계사 속 과학기술 : 사회의학의 창시자 루돌프 피르호
02. Law and Science : 과학자의 연구윤리 - 표절의 개념과 판례
03. 소통과 대화를 위한 재미있는 이노베이션 이야기 :
노벨 경제학상을 통해 들여다보는 과학기술 공적개발원조

TePARI

REPORT

2019 • vol. 103

12



기술정책연구소

Technology Policy Research Institute

08

insight

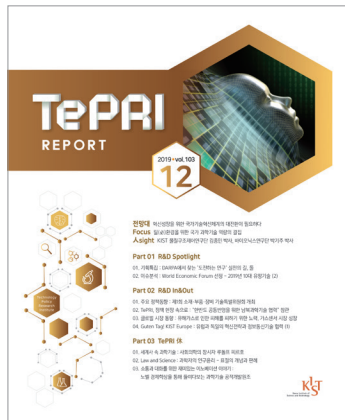
KIST 물질구조제어연구단 김종민 박사,
바이오닉스연구단 박기주 박사



14

일곱 번째 기획시리즈

DARPA에서 찾는 '도전하는 연구' 실천의 길, 들



CONTENTS ●

- 04** **전망대**
혁신성장을 위한 국가기술혁신체계의 대전환이 필요하다 4
- 06** **Focus**
필(必)환경을 위한 국가 과학기술 역량의 결집 6
- 08** **人sight**
KIST 물질구조제어연구단 김종민 박사, 바이오닉스연구단 박기주 박사 8
- 13** **Part 01 R&D Spotlight**
 - 01. 일곱 번째 기획시리즈**
DARPA에서 찾는 ‘도전하는 연구’ 실천의 길, 둘 14
 - 02. 이슈분석**
World Economic Forum 선정 - 2019년 10대 유망기술 (2) 19
- 25** **Part 02 R&D In&Out**
 - 01. 주요 정책동향**
제1회 소재·부품·장비 기술특별위원회 개최 26
 - 02. TePRI, 정책 현장 속으로**
“한반도 공동번영을 위한 남북과학기술 협력” 참관 28
 - 03. 글로벌 시장 동향**
유해가스로 인한 피해를 피하기 위한 노력, 가스센서 시장 성장 29
 - 04. Guten Tag! KIST Europe**
유럽과 독일의 혁신전략과 정보통신기술 협력 (1) 30
- 34** **Part 03 TePRI 休**
 - 01. 세계사 속 과학기술**
사회역학의 창시자 루돌프 피르호 35
 - 02. Law and Science**
과학자의 연구윤리: 표절의 개념과 판례 37
 - 03. 소통과 대화를 위한 재미있는 이노베이션 이야기**
노벨 경제학상을 통해 들여다보는 과학기술 공적개발원조 39

혁신성장을 위한 국가기술혁신 체계의 대전환이 필요하다

이장재

혁신전략연구소장
jjlee@kistep.re.kr



대한민국이 세계 일곱 번째로 3050 클럽에 가입했다는 기쁨은 오래 가지 않았다. 올해 들어 미래에 대한 어두운 예측들이 자주 등장하고 있다. 해외 의존도가 높은 우리 경제구조를 감안했을 때, 미중 무역 갈등으로 야기된 글로벌 경기 침체가 주된 원인임은 분명하다. OECD나 IMF 등 국제기구 또는 국내 경제연구기관에 따르면, 2019년 우리의 경제성장률 예측치는 지속적으로 하향 조정되었다가 최근 2% 혹은 2% 초반으로 확정되고 있다. 혹자에 따라서는 어려운 세계경제 상황에서 선방하고 있다거나 혹은 그 반대의 입장도 가능하다. 하지만 더욱 중요한 사실은 우리의 잠재성장률이 2020년대 후반부터 1% 대로 하락할 것이라는 전망이다. 현재 상황이 불변이라는 전제 하에 우리 경제가 지속적인 하방성을 견지할 가능성이 높다는 경고이다. 혁신성장을 위한 노력이 더욱 강조되어야 하는 이유다. 기술 흡수 및 개량을 통한 성과가 최근까지의 주된 성장요인이었다면 이제부터는 자체 기술혁신 노력에 따른 성과가 주된 성장요인이 되어야 한다는 의미다. 기술혁신 연구자들이 강조하고 있는 선도형 혹은 탈추격형 기술혁신이 필요한 것이다. 하지만 최근 상황은 녹록치 않다. 제4차 산업혁명이라는 새로운 기술혁신의 시기에 접어들면서 과학과 기술의 공진화, 즉 연계진화 현상이 더욱 심화되는 등 기술혁신의 패러다임이 변화되고 있기 때문이다. 또한 우리의 경우 반도체, 자동차, 디스플레이, 조선 등 일부 제조업에 특화된 구조로 인해 새로운 성장동력을 창출할 수 있는 원천특허 혹은 제품이나 기업 및 산업의 씨앗이 보이지 않고 있다. 이러한 현상은 최근 30년간 유사한 추세를 나타내고 있다. 삼성전자, 현대자동차 등 글로벌 대기업을 침체 현상보다 이들 기업들을 대체할 새로운 성장기업이 나타나지 않고 있다는 사실이 더욱 우려된다. 그만큼 새로운 혁신성장을 위한 경로탈피가 어려운 상황에 처해 있다. 또한 과학부문의 경우 SCI 등재 논문 순위는 세계 11위권(2018년 기준)이나 5년간 피인용 회수는 30위권에 속해 있어 아직 질적 수준이 낮은 편이다. 이는 국내 자체적으로는 과학과 첨단기술의 연계진화가 쉽지 않음을 나타내며, 또한 국내에서의 자체적 기술혁신이 어렵다는 점을 의미한다. 이러한 분석을 인적 자원에까지 확대해 보면 자체 기술혁신을 추구할 수 있는 연구인력의

부족현상으로 연결된다. 기술의 흡수와 개량을 위한 인력 규모는 일정 수준에 도달하고 있으나, 기술혁신을 주도할 연구인력의 수준은 아직 질과 양에서도 부족한 것이 현실이다.

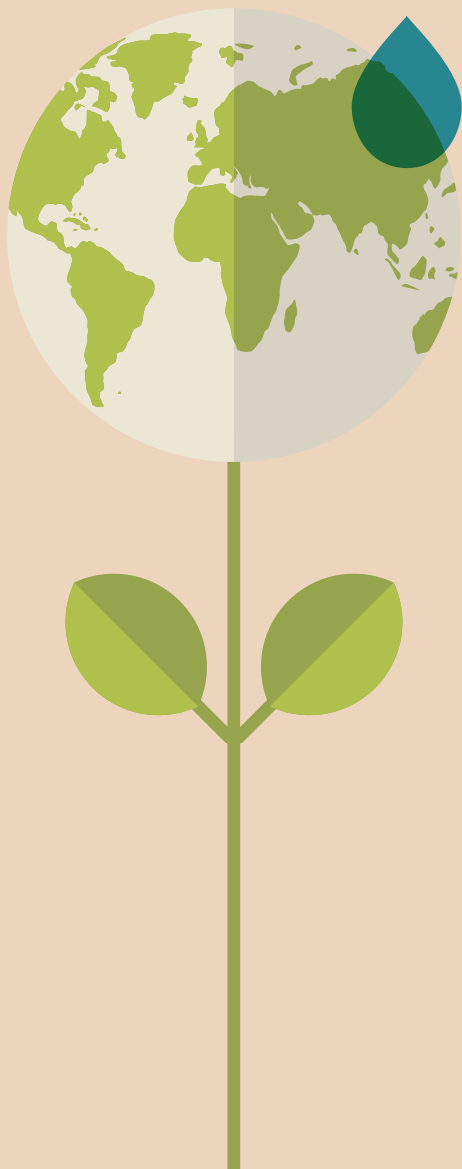
혁신성장이란 단기간에 성과를 낼 수 있는 개념이 아니다. 특히 암묵적 지식이 더욱 가치를 발하는 현재 기술혁신 패러다임 하에서 단기간에 승부를 내겠다는 목표는 연목구어(緣木求魚)를 추구하는 것과 같다. 불가능할 수 밖에 없다. 단기간의 성과는 과거의 축적된 지식과 이를 통한 기술혁신을 기반으로 할 때 가능하다. 그런데 기술혁신을 둘러싼 최근 현상은 경로탈피적인 접근일 때 비로소 진정한 새로운 가치를 창출하고 승자 독식이 가능한 조건을 제공하고 있다. 추격형 국가의 경우는 첨단, 중급, 하급 기술혁신 생태계가 공존하여 자체적으로 전후방 효과를 기대하기 어려운 측면이 있다. 또한 추격형 국가가 선도형 국가로 경로탈피를 시도하는 순간 흡수역량, 즉, '이미 선진국에서 기술 및 이와 결합되어 실행된 것을 획득, 학습 및 실행할 수 있는 능력'과 같은 프리미엄을 상실하게 된다. 이와 같이 새로운 혁신성장의 추구하고 성과 구현은 결코 쉽지 않은 것이 현실이다. 그래도 국가는 이를 추구하기 위한 틀과 전략을 짜고 중장기적으로 이를 수행해 나가야 한다. 여기에도 경로탈피적 접근이 필요하다. 새 술은 새 부대에 담아야 한다. 첨단 과학기술에 대한 암묵적 지식 습득을 위해 전문인력의 국내외 이동과 협력은 물론 산·학·연·관 간 이동과 혁신주체 간, 혁신조직 간, 지역 간의 지식 흐름을 극대화할 수 있는 방안을 마련하여야 한다. 규제와 틀을 이해관계와는 별개의 맥락에서 마련하고 운영토록 하여야 한다. 아울러 국내 과학 수준이 한 단계 상승할 수 있도록 하는 대안을 마련하여 추진할 필요가 있다. 필요한 핵심전략으로 연구자, 연구조직의 글로벌화와 개방형 접근방식을 지적할 수 있다. 새로운 형태의 산·학·연·관 협력을 통한 대기업과 중소기업 등의 혁신역량 제고 노력도 필요하다. 첨단 과학 및 기술 인재의 유입과 이들과의 공동연구를 위한 새로운 틀을 마련하고 연구비 비중을 확대하여야 한다. 그리고 현재 글로벌 가치 사슬(GVC)에 연결되어 운영되고 있는 국내 대기업의 경우, 이들의 기술 등 가치 사슬에 국내 연구조직을 연결하는 방안을 모색하여야 한다. 구체적으로는 최근 글로벌 IT 기업 구글이 서울대 및 한국과학기술원과 AI 인재 양성 프로그램 운영과 공동연구를 시작한 것과 유사하게 국내 대기업이 국내 대학 혹은 출연(연) 등과 첨단 분야에서 공동연구 혹은 인재 양성 프로그램을 운영하는 것이다. 또한 혁신적 연구프로그램의 비중을 높여 다양한 기술혁신적 시도를 할 필요가 있으며, 이를 위해서는 국방 R&D부문을 적극 활용하여야 한다. 이상을 종합하면 대한민국의 지속가능한 혁신성장을 위해서는 새로운 국가기술혁신체계의 구축이 요구된다는 결론에 도달한다. 아울러 우리의 혁신성장은 지난 30여년의 경로의존성을 극복하는데 우선순위가 두어져야 한다. 이를 위해 정부는 비전과 방향을 제시하는 동시에 관련 법 제정과 개정 그리고 제도 등 기반을 구축하고 산·학·연 주체는 합리성과 전문성, 그리고 효율성을 발휘하여 성과를 구현해 나가야 한다. 물론 이와 같은 경로탈피적 노력은 경로의존적 방식으로는 성공할 수 없다. 정부의 전략과 접근방식, 그리고 민간의 사고와 실행방식 등이 과거와는 달라져야 한다. 과감한 수평적 거버넌스와 신속한 의사결정과 집행 제도 등이 도움이 될 수 있으며 개인과 조직의 행태 변화도 필요하다.

혁신성장은 긴 호흡으로 기반을 마련하고 이를 토대로 중장기적으로 성과를 구현할 수 있도록 추진되어야 한다. 이를 성공시키기 위해서는 민과 관이 지혜를 모아 상호 보완적으로 역할을 수행하여야 한다. 현재를 기반으로 마련된 우리의 미래가 우울한 것은 사실이나 이를 극복할 수 있는 역량을 우리는 가지고 있다. 대한민국은 2차 세계 대전 이후 경제성장과 민주화를 동시에 이룬 모범국가로 평가받고 있다. 지난 날의 성공 경험과 자부심은 또다른 성공의 기회를 제공하는 우리의 중요한 자산인 것이다. 어두운 전망에도 불구하고 우리의 미래를 밝게 보고자 하는 이유이다. 이번 기회를 통해 우리는 획득·흡수성장에서 혁신성장으로의 경로 구축에만 관심을 가질 것이 아니라 관련 전문가들이 다음 경로로 언급하고 있는 학습성장까지를 추구하는 새로운 국가기술혁신체계를 설계하고 추진해 나갔으면 하는 바람이다. 이러한 다양한 시도들이 2020년 경자년(庚子年)에는 더욱 적극적으로 추진되기를 기대한다. **ktg**

필(必)환경을 위한 국가 과학기술 역량의 결집

김 현 우

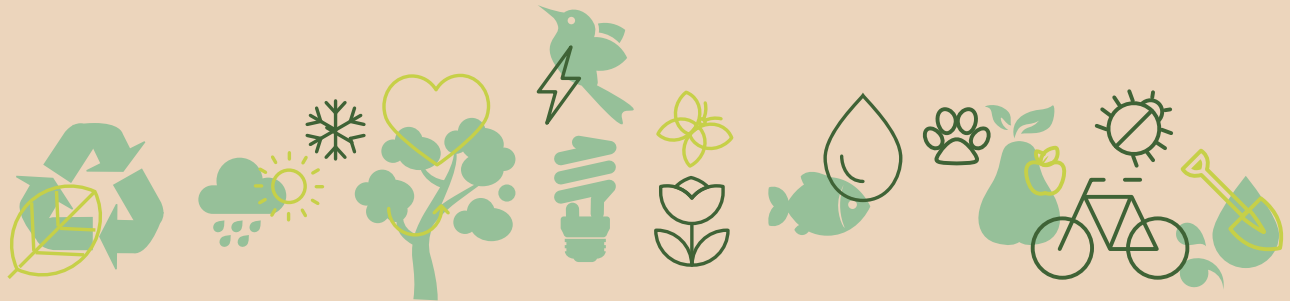
정책기획팀장
kimhyunu@kist.re.kr



정부기관과 공공기관은 미세먼지 대책으로 12월 2일부터 2020년 3월까지 차량 2부제를 실시한다. 소식을 접한 구성원들은 대책이 실시되는 4개월간 카풀, 대중교통 노선 확인 등 자기만의 출퇴근 대책을 세우느라 분주했다. 일상생활에서 많은 불편이 예상됨에도 불구하고 이번 미세먼지 저감을 위한 정부 대책에 대해서 수긍을 하는 분위기다. 날로 심각해지는 미세먼지의 심각성을 체감하고 있기 때문이다.

이처럼 미세먼지 문제는 일반 시민 모두가 불편을 감수하고라도 해결되어야 할 국가적 현안으로 인식되고 있다. 반면, 화석연료 사용이라는 같은 문제의 근원을 갖는 기후변화는 크게 관심을 받고 있지 못하고 있다. 구글 트렌드(trends.google.co.kr) 서비스를 통해 기후변화에 대한 최근 3개월 동안 우리의 관심도를 확인해보면 미세먼지의 1/8 수준에 불과했다. 분석 기간을 미세먼지가 심했던 2018년 12월부터 올해 3월까지로 변경하면 1/30 수준으로 푹 떨어진다. 전 국립기상과학원 조천호 원장의 “미세먼지가 뒷골목 폭력배의 위험 수준이라면, 기후변화는 핵폭탄 수준”이라던 지적이 무색한 실정이다.

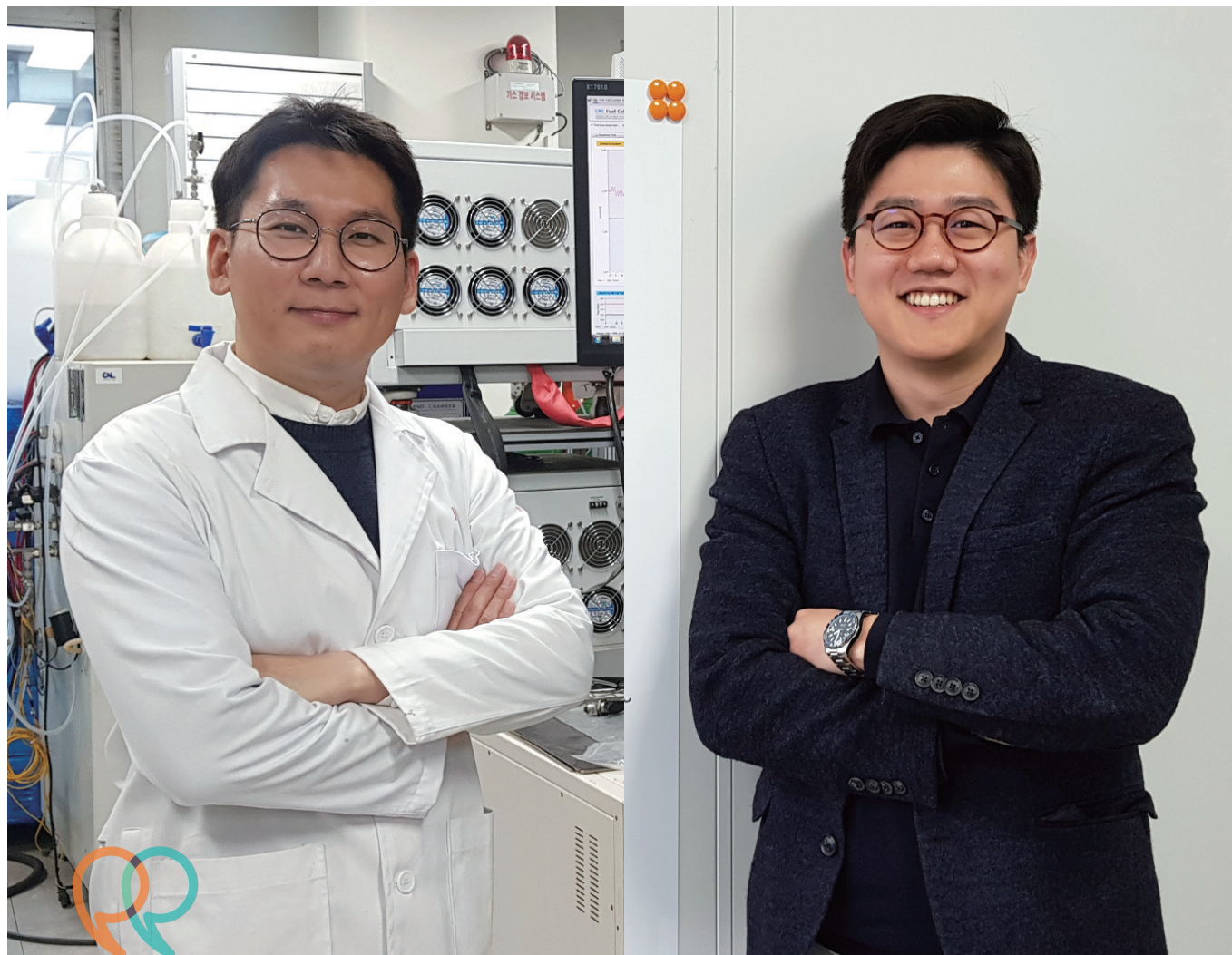
미세먼지는 좋고 나쁨의 양극화로 체감이 더 올라가긴 했지만, 미세먼지는 통계적으로 개선되고 있다. 2018년 연평균 초미세먼지 농도는 $24.01\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 2015년 대비 12%가량 감소했다. 초미세먼지 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만의 ‘좋음’일 수도 2015년 63일에서 2018년 127일로 2배 이상 늘었다. 이에 반해 한반도의 기후변화는 악화 일로를 걷고 있다. 지난 100년간 우리나라의 기온 상승 폭은 전 지구 평균 0.74도를 2배를 넘어선 1.7도다. 폭염과 홍수 기쁨도 심해지는 추세다. 올해 한반도에 영향을 준 태풍은 ‘미탁’까지 7개였다. 60년 만의 일이다. 이미 기후변화의 티핑포인트를 지났을 수 있다는 일부 과학자의 경고를 쉽게 넘겨 버릴 수 없는 이유가 여기에 있다.



올해는 기후변화가 그 어느 해보다 전 세계적 이슈로 부상했었던 한 해였다. 지난 9월 20일에서 27일 동안, 150여 개국에서 400만 명이 넘는 인원이 16세 스웨덴 환경운동가 그레타 툰베리가 주도한 ‘기후파업’에 동참했다. 11월 5일에는 184개국 15,300여 명의 과학자가 세계 각국은 경제 성장과 풍요 추구라는 프레임에서 탈피하여 즉시 효과적인 행동을 촉구하는 기후변화 대처 비상 선언을 발표했다. 11월 28일, 유럽의회도 유럽을 비롯한 전 세계에서 ‘기후, 환경 비상사태’를 선언하는 결의안을 승인했다. 12월 스페인에서 개최 예정인 제25차 유엔 기후변화협약 당사국총회(COP25)를 앞두고 기후변화 대응을 위한 행동을 압박하고 있다.

우리는 기후변화 대응을 위한 반듯한 글로벌 차원의 기반을 보유하고 있다. 녹색기후기금(GCF)을 유치했고, 국제 협력기구 위상을 갖는 글로벌녹색성장기구(GGGI)를 설립했다. 하지만 최근 들어 우리가 처한 국제사회 환경은 녹록지 않은 않다. 유엔환경계획(UNEP)의 앤더스 사무총장은 당장 주요 선진국이 감축 목표를 상향 조정하지 않는다면, 지난해 인천에서 열린 제48차 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)에서 채택한 ‘지구온난화 1.5도’는 2030년 이전에 물거품이 될 것이라고 경고했다. 또 최근 발간한 유엔환경계획의 ‘2019년 배출량 간극 보고서’에 탄소 감축 목표를 달성하기 위해 훨씬 더 큰 노력을 기울여야 하는 7개 국가에 한국을 포함했다.

일각에서는 일본과의 무역 분쟁, 미·중 무역전쟁 등으로 경제적으로 큰 어려움을 겪고 있고, 최근 선진국으로 위상이 격상되어 예외를 인정받을 수 있는 여유마저 우리에게겐 없다고 한다. 하지만 김난도 교수는 ‘트렌드코리아 2019’에서 친환경을 넘어 생존을 의미한다며 ‘필(必)환경’ 키워드를 제시했다. 녹색기술센터(GTC)를 중심으로 출연(연)들은 CTCN(Climae Technology Center & Network) 회원기관으로 참여하며 기후기술 이전에 많은 기여를 해오고 있다. 이런 경험을 토대로 과학기술계는 우리나라가 국제사회의 일원으로서 의무로서만이 아니라 우리 미래세대의 생존을 위해서 핵심적인 역할을 수행해야 할 때다. **KIST**



‘KIST에서 날개를 펼치다’ 물질구조제어연구단 김종민 박사, 바이오닉스연구단 박기주 박사

물질구조제어 연구단 김종민 박사님, 바이오닉스연구단 박기주 박사님께서는 KIST에서 별정직 연구원으로 계시다가 이번에 선임연구원으로 임용되었습니다. 미래를 위해 KIST를 선택하신 두 박사님께 새로운 출발에 대한 포부와 KIST에 바라는 점을 들어보았습니다.

김종주 미래전략팀장, jongjoo@kist.re.kr 박연수 미래전략팀, ysoo@kist.re.kr

Q 다른 기관이 아니라 KIST에서 Post Doc.을 하게 된 계기는 무엇입니까?

박기주 2015년 7월 영국 런던 임페리얼 컬리지(Imperial College)에서 진행된 '2015 정부출연연구기관 해외 공동 리크루팅' 프로그램을 통해 (KIST, KITECH, ETRI, KARI, KAERI, KRIBB 총 6개 기관 참석) KIST가 국내 최고의 종합 연구기관으로서 우수한 연구성과를 많이 창출하고 있다는 것을 알 수 있었고, 이 프로그램 참석이 KIST에 지원하게 되는 중요한 계기가 되었습니다. 박사과정이 끝나갈 무렵 국내 연구기관과 대학을 후보로 다음 커리어를 알아보던 중 국내에서 가장 우수한 연구기관에서 연구를 하고 싶다는 생각에 KIST를 떠올리게 되었습니다. 그렇게 해외에서 박사학위를 취득하고 전문요원제도로 KIST를 만나게 되었습니다.

김종민 저는 석사, 박사학위과정에서 나노소재의 정밀구조 제어 공정기술 기반 연구들을 주로 수행했고, 특히 그중에서도 귀금속 소재들을 전기화학 촉매로 응용하는 연구를 수행했습니다. 학위과정을 보냈던 연구실은 나노소재 공정기술 기반의 연구를 중점적으로 수행했기 때문에 소재의 응용부분에 있어서는 인프라나 경험이 부족한 부분들이 있어, Post Doc.과정에서는 제가 알고 있는 소재기술을 전기화학 응용분야에 더욱 깊이 적용하고 싶다는 생각을 하였습니다. 그러던 도중 박사과정을 마치고 졸업함과 동시에 국내 최고 연구기관이며 수소연료전지 분야에서 세계적인 연구역량을 갖춘 KIST 수소연료전지연구단의 김진영 박사님팀에 컨택이 되어 Post Doc.으로 운이 좋게 바로 조인할 수 있는 기회를 얻게 되었습니다.

연구하는 동안 느꼈던 KIST만의 차별적인 장점은 무엇이었습니까?

박기주 전문연구요원으로 3년 동안(2016.9~2019.8) 연구하면서 느낀 KIST의 장점은 다른 연구단과의 융합연구가 활발하게 이루어지고 있다는 점이었습니다. 저 또한 의공학 연구소 내에서 융합연구의 기회를 얻게 되었습니다. 바이오닉스 연구단의 김형민 박사님, 테라그노시스 연구단의 양유수 박사님, 생체재료 연구단의 오승자 박사님과 함께 초음파를 이용한 항암면역치료 공동연구를 수행하였습니다. 동물 실험(in vivo) 파트는 양유수 박사님, 시험관 실험(in

vitro) 파트는 오승자 박사님과 실험을 진행하였는데, 저는 공학적인 입장에서 초음파 기술을 바라보고, 다른 박사님들은 바이오 관점에서 초음파 기술을 접목하여 항암면역치료 연구를 수행하였고, 우수한 성과를 낼 수 있었습니다. 분야 간 융합연구를 통해 시너지가 창출되고 있다는 것을 확인할 수 있었습니다. 이것이 종합연구소인 KIST가 가지고 있는 차별적인 장점이 아닐까 생각합니다.

김종민 KIST에서 Post Doc.으로 약 2년여간 연구를 수행하면서 느꼈던 KIST의 장점은 여러 가지가 있습니다. 첫째로는 우수한 연구인프라를 보유하고 있어서 분석 장비나 측정 장비를 사용하는 데 있어서 필요한 장비를 대부분 원내에서 해결할 수 있다는 점이었습니다. 예를 들어 실험을 진행하면서 수시로 분석 장비를 통해 확인해야 하는 부분들이 자주 있는데, 이러한 과정에서 시간을 지체하지 않고 빠르게 확인할 수 있어 시간을 아낄 수 있었습니다. 두 번째로 KIST 내부 또는 외부기관과 협업을 이뤄서 시너지 효과를 낼 수 있다는 장점이 있습니다. 제가 근무했던 수소연료전지연구단의 경우 매주 금요일마다 돌아가면서 전체 학생들이나 Post Doc.들이 실험 결과나 문헌 연구 결과를 공유하는 시간을 갖는데, 그 과정에서 다양한 연구들에 대해서 배울 수도 있었고, 협업할 수 있는 부분들을 같이 고민할 수 있었습니다. 더불어 KIST내 다른 센터에 계신 분들과의 입자가속기분석 또는 계산과학 협업을 통해서 연구를 진행하는데 있어 촉매 소재의 물성 분석에 많은 도움을 받을 수도 있었습니다.

Q 연구에서 좋은 성과를 낼 수 있었던 본인만의 비결이나 KIST에서 연구를 수행하며 기억에 남는 에피소드가 있다면 소개 부탁드립니다.

박기주 저는 연구성과가 연구 시간에 반드시 비례한다고 생각하지 않습니다. 그래서 최대한 출퇴근 시간을 지키면서 효율적으로 연구하려고 하고 있습니다. 과도한 연구 스트레스로 인해 번아웃(burnout)이 되지 않도록 시간을 효율적으로 안배하는 것이 첫 번째 비결이 아닐까 합니다. 두 번째는 제 학·석·박사 지도교수님께서(Prof Nader Saffari, University College London) 항상 하시던 말씀인데, 연구하는 입장에서 항상 '참신함(Novelty)'을 찾아야 하고 '어떠한



기여를 하였는가(What is your contribution to the field)’에 대한 답변을 스스로 해야 한다는 것이었습니다. 돋보기로 사물을 보듯 자세하게 관찰해야 남들이 보지 못했던 것, 새로운 것을 찾아낼 수 있다는 것이 그분의 철학이었습니다. 저는 지금도 연구를 수행하면서 세세하고 자세하게, 고심해서 보려고 노력하고 있고, 제가 연구한 결과들이 어떠한 기여를 하였는가에 대한 질문을 스스로에게 묻곤 합니다. 이것이 우수한 연구성과를 낼 수 있는 비결이 아닐까 생각합니다.

융합연구를 하면서 기억에 남는 에피소드가 있습니다. 연구하는 분야가 다르다 보니 언어적 표현은 같지만, 연구환경의 차이로 인한 의사소통에 어려움을 겪었던 기억이 떠오릅니다. 예를 들어 출혈(bleeding)이라는 단어를 사용할 때, 저는 경미(minor)한 의미의 출혈로 말씀을 드렸는데 타 분야를 연구하시는 분들은 심한 출혈(major bleeding)로 이해하셔서 오해가 생겼었습니다. 이런 식으로 융합연구 과정에서 의사전달의 오류가 발생했었습니다. 연구 환경과 분야가 달라 융합연구 초기에서 발생하는 자연스러운 현상이었던 것 같습니다.

김종민 앞서 질문에서도 말씀드렸듯이 제가 근무했던 수소 연료전지연구단의 경우 매주 금요일마다 돌아가면서 구성원들이 연구결과를 발표하는 시간을 갖습니다. 어느 날 수전해 해와 연료전지를 하나의 셀로 구현한 URFC(일체형 재생 연료

전지)를 연구하는 학생의 발표를 듣게 되었고, 수전해 모드에 비해 연료전지 모드에서의 성능 저하가 가스 확산층의 표면이 친수성(親水性)을 갖기 때문이며 이를 해결하고자 여러가지 시도를 하고 있다는 내용을 듣게 되었습니다. 이것을 듣고 친수성, 소수성(疏水性) 표면처리 방법과 패터닝(patterning) 공정을 통해서 가스 확산층 표면에 친수성과 소수성 특성을 모두 갖도록 표면특성을 제어하면 이를 해결할 수 있을 것이라 생각하여 해당 학생에게 공동연구를 제의하였습니다. 실제 공동연구 수행을 통해서 URFC에서 문제가 되었던 낮은 연료전지 모드에서의 성능을 크게 끌어올렸을 뿐만 아니라 수전해 모드에서도 획기적인 성능향상이 있어 해당 연구는 현재 논문 투고를 준비 중입니다. 이처럼 KIST에서는 다양한 공동연구의 가능성이 열려있는 장점이 있어, 내가 잘할 수 있는 부분과 다른 사람이 잘할 수 있는 부분들이 합쳐져 시너지 효과를 낼 수 있는 장점이 있는 것이 특징입니다.

Q **우수한 Post Doc.을 유치하기 위해 KIST에서 혹시 바뀌거나 개선되어야 할 부분은 무엇이라고 생각하십니까?**

박기주 해외의 우수한 Post Doc.을 유치하기 위해서는 해외 대학교 및 연구기관까지 KIST 이름을 널리 알릴 수 있는 대외 홍보가 중요하다고 생각합니다. 국내에서 학위를 하신 분들에게 KIST는 친숙할 수 있지만 대부분의 해외 학·석·박사 과정 연구자들에게는 아직까지 KIST에 대한 홍보(우수한 연구 인프라와 환경을 갖춘 국내 최고 종합 연구기관)가 부족한 면이 있습니다. 그렇기 때문에 해외에 있는 박사과정 학생들의 대부분은 Post Doc. 과정을 수행할 기관을 해외 대학 위주로 정하는 것 같습니다. 따라서 적극적인 온라인 홍보나 우수한 연구성과 등으로 KIST의 위상을 알린다면 해외의 우수한 Post Doc.을 유치하는데 도움이 될 것 같습니다.

김종민 조금 조심스러운 부분일수도 있지만, 제 생각으로는 KIST내에 Post Doc.의 경쟁력을 높이기 위해서는 매년 정규직 연구원을 뽑는 전체 TO에서 아주 일부일지라도, 원내 Post Doc.에서 정규직을 채용하는 TO를 일부 할당하면 긍정적인 효과가 있으리라 생각합니다. 이렇게 한다면 우수한 Post Doc.들의 지원률도 올라갈 수 있으며 내부 성과도 제고될 수 있을

것입니다. 실제로 KIST Post Doc.과정 자체가 기관 안에서 연구자로서의 경쟁력을 입증하는 자리가 되고, 충분히 좋은 성과를 낸다면 Post Doc.과정이 장기간의 연구자로서의 역량 검증과정이 될 수도 있기에 더 우수한 Post Doc.연구원분들이 더 유치되지 않을까 생각합니다.

Q 최근 들어 Post Doc.을 비롯한 신진연구자 육성 정책이 강조되고 있습니다. 연구자들이 연구에 몰입할 수 있는 환경을 조성하기 위해 기관 차원에서는 어떠한 지원이 필요하다고 생각하십니까?



박기주 연구자의 연구 자율성을 보장해주는 것이 가장 중요하다고 생각합니다. KIST라는 큰 울타리 안에서 자유롭게 하고 싶은 연구를 수행하는 환경이 조성된다면 팀 과제, 국책 과제를 수행하는 데 본인의 역량을 최대한 발휘할 수 있을 것으로 생각합니다. 노벨상 수상자들은 3, 40대에 이루었던 연구 성과로 노벨상을 받게 되는 경우가 대부분입니다. 과제 책임자로서 처음으로 연구를 수행하는 시기가 가장 중요한 시기라고 생각합니다. 갓 Ph.D 학위를 받고 연구 역량이 가장 활발히 이루어지는 시기에 연구자들이 본인만의 연구를 찾을 수 있

도록 지원해야 할 것입니다. 그리고 이 시기에 연구에서의 본인만의 색깔을 찾게 된다면 타 연구자와의 협업을 통해 자연스럽게 시너지를 낼 수 있을 것으로 생각합니다.

신진연구자는 자칫 연구행정의 부담으로 인해 자율적인 연구를 수행하는 데 어려움을 겪을 수 있습니다. 예를 들어, 국내의 경우 장비를 구매할 때 구매팀 검수 전 단계까지 대부분의 행정적인 서류를 직접 작성해야 합니다. 하지만 해외의 경우에는 본인이 원하는 장비의 스펙이나 정보 등을 구체적으로 적어 구매 전담팀에게 전달하고 최종 견적서에 대해서만 연구자가 확인하면 장비 구매가 완료됩니다. 구매 업무의 예를 들었지만 전반적인 연구행정 절차를 도와줄 수 있는 부서의 역할 강화가 필요할 것 같습니다. 이러한 부대연구나 행정업무를 간소화할 수 있는 제도 개선이 필요합니다.

김종민 신진연구자가 겪는 가장 큰 어려움은 개인 핵심 주제 과제를 향후 5년 안에 설정해야 한다는 것입니다. 이를 위해서는 본인이 잘 할 수 있고, 가장 관심있어하는 핵심 연구주제를 찾아서 자율적인 연구를 수행할 수 있는 환경을 마련해주는 것이 좋은 방향이라 생각합니다. 물론 출연연의 경우 기관의 특성상, 기관고유와 같이 공동의 목표를 위해서도 함께 팀으로 연구를 진행해야하는 부분도 반드시 수행해야 하기 때문에 신진 연구자로서 적절히 노력과 시간을 배분하면서, 기관의 성격에 맞는 개인의 핵심 주제 과제를 찾아 나가야 할 것 입니다.

Q 새로 임용된 연구자로서 앞으로의 포부가 있다면 말씀 부탁드립니다.

박기주 단순히 논문을 위한 초음파 연구가 아니라 많은 환자들에게 실제로 도움을 줄 수 있는 현장형 치료 초음파 기술을 KIST에서 개발하는 것이 목표입니다. 이러한 목표를 가지고 연구를 수행한다면 연구성과는 당연하게 따라올 것입니다. 현장에서 체감할 수 있는 연구를 한다면 부수적인 성과가 자연스럽게 이루어진다는 것이 제 연구철학입니다.

김종민 제가 새로 근무를 시작하게 되는 미래융합기술본부의 하현필 본부장님께서는 미세먼지의 원인이 되는 질소산화물



제거용 환경 촉매의 국산화에 크게 기여하셨습니다. 이처럼 연구를 통해 개발된 기술이 논문으로 그치지 않고 실제 우리 사회를 보다 나은 방향으로 갈 수 있도록 하는 것이 연구자로서 저의 목표입니다. 더불어, 12월에 수소연료전지연구단의 Post Doc.에서 물질구조제어센터의 선임연구원으로 이동하게 되는데, 앞으로 두 센터를 이어주는 다리역할을 하여 융합연구를 주도하는 등 더 좋은 시너지를 낼 수 있으리라 생각합니다.

Q 마지막으로 KIST 내 Post Doc.과정 후배들이나 학생 연구원 후배들에게 조언 부탁드립니다.

박기주 밤을 새워가면서 일하기보다는 연구 효율을 추구했으면 좋겠습니다. 또한 연구의 참신함(Novelty)과 기여도(Contribution)를 찾는 일에 가장 많은 시간을 할애하고, 돋보기를 통해 사물을 보는 것처럼 남들과 다른 관점으로 연구를

하면 본인이 원하는 성과, 실적을 기간 내에 얻을 수 있다고 생각합니다. 저는 그렇게 해왔기 때문에 제 연구에 큰 자부심을 느끼고 있습니다. 후배분들도 성취감을 얻을 수 있는 연구를 했으면 좋겠습니다.

연구만큼 논문 작성의 기술적인 부분도 중요합니다. 논문 영작, 하나의 단어를 쓸 때도 고심을 해야합니다. 하지만 대부분의 학생연구자들은 시간에 쫓기기 때문에 단순 보고서 형식의 논문을 쓰는 경우가 많습니다. 논문은 본인의 생각과 철학이 들어간 하나의 완성작이어야 합니다. 따라서 단어 하나하나 심혈을 기울여 썼으면 합니다. 또한, 다른 사람들이 쓴 논문을 많이 읽어봤으면 합니다. 다른 연구자들이 자주 쓰는 표현, 논리 구조 등을 참고하는 과정이 필요할 것 같습니다. 마지막으로, 영어와 국어의 문장 구조의 차이점을 이해하고 두괄식으로 논문을 작성하는 연습이 필요하다고 생각합니다.

김종민 학위과정 때 지도교수님께서 저에게 해주신 말씀을 전해 드리고 싶습니다. 연구자가 연구를 수행하는 것을 크게 세 단계로 구분 지으면, 첫 번째는 좋은 아이디어 내는 단계, 두 번째는 실험으로 구현하는 단계, 세 번째는 논문으로 마무리하는 단계로 나눌 수 있는데, 저희 지도교수님께서 저에게 연구자가 다른 사람들에게 평가받는 것은 이 단계들 중 제일 못하는 부분으로 평가받는다고 하셨습니다. 사실이 밖에도 좋은 연구자가 되기 위해서는 영어 능력, 발표력, 하물며 그림 그리기까지 다양한 능력들이 동시에 요구됩니다. 저 또한 항상 고민하고 개선하고자 노력하고 있지만, 내가 연구자로서 어떤 부분에서 부족함이 있는지 고민하고 그 부분에 대해 개선하고자 하는 자세를 갖는다면 좋은 연구자가 되기 위한 좋은 밑바탕이 되리라 생각합니다. **KIST**

박기주

- ▲ 現 KIST 의공학연구소 바이오닉스연구단 선임연구원
- ▲ 영국 유니버시티 칼리지 런던 대학교 (UCL) 기계공학과 학사, 석사, 박사

김종민

- ▲ 現 KIST 미래융합기술연구본부 물질구조제어연구센터 선임연구원
- ▲ 前 KIST 청정신기술연구소 수소·연료전지연구단 박사후연구원
- ▲ KAIST 신소재공학과 박사, 석사
- ▲ 성균관대학교 신소재공학과 학사

PART.

01

R&D Spotlight

—
일곱 번째 기획시리즈

DARPA에서 찾는 '도전하는 연구' 실천의 길, 둘

—
이슈분석

World Economic Forum 선정 - 2019년 10대 유망기술 (2)

DARPA에서 찾는 '도전하는 연구' 실천의 길, 둘

이 호은

정보통신기획평가원 연구위원
lee@iitp.kr

DARPA의 PM제도 : 강력한 권한부여와 단계별 견제의 균형

하나

11월호(Vol. 102)
DARPA의 과거,
현재 그리고 미래

둘

12월호(Vol. 103)
DARPA의
PM제도

셋

1월호(Vol. 104)
DARPA 추진 사업
현황과 특징



1) '혁신아이콘 60년, DARPA의 평가 및 PM제도 분석'(ICT SPOT ISSUE 2018-7)을 토대로 작성

1 DARPA의 상징 PM(Project Manager)

PM제도는 DARPA의 핵심 성공요인이자 타 기관과 뚜렷이 차별화되는 운영방식으로 인해 소위 'DARPA 모델'의 핵심을 구성한다. PM은 강력한 기획·평가 권한을 보유하고 전 직원의 40% 이상을 차지함으로써 질적·양적으로 공히 DARPA의 중심을 이루고 있다. 'DARPA는 모든 프로그램이 좋은 아이디어와 이를 추진할 훌륭한 인재를 충족할 것을 요구한다. 어느 하나라도 없다면 DARPA는 프로그램을 시작하지 않는다.', 'DARPA에서는 PM이 열정적이지 않으면 아무것도 기대할 수 없다.' 등은 PM의 존재 의미를 대변한다.

2018년 11월 현재 DARPA에는 6개 기술실에 96명의 PM이 재직하고 있는데, 전략기술실(STO)이 22명으로 가장 많고, 신생조직인 바이오기술실(BTO)이 10명으로 가장 적다. 정보혁신기술실(I2O) PM 20명의 출신기관을 보면 산업계 8명, 대학 6명, 정부기관 및 군 4명, 불명확 2명이고, 학위는 박사 13명, 기타 7명의 현황이다. PM의 급여(2017년 기준)는 수당 포함 총액 기준으로 평균 19만 9천달러로 파악된다.²⁾

PM의 역할이 막중한 만큼 DARPA 국장을 포함한 지도부는 우수 PM 발굴을 가장 중요한 미션으로 인식한다고 한다. DARPA 홈페이지를 통한 채용공고와 더불어 기관 보유 네트워크, DARPA 지도부와 PM 보유 네트워크 및 연구수행자 정보를 활용한 적극적인 인재탐색을 펼치고 있으며, DARPA 퇴직자들로 구성된 동문회(DARPA Alumni)도 우수 인재 발굴에 큰 기여를 하고 있다. DARPA 홈페이지에 의하면, PM은 공무원으로 임용되는 만큼 미국 시민권자여야 하고, 세계적 수준의 연구자 그룹의 지식리더로 역할 가능하며, 산학연에서 경험이 풍부한 전문가로서 새로운 프로그램 기획을 위해 기술적 지식과 전문가 네트워크를 즉시 가동할 수 있을 것을 요구하고 있다. 선정평가지표는 비전가적 사고(Visionary thinking), 기술적 전문성(Technical expertise), 리더십(Leadership), 소통 역량(Communication skills), 재무적 책임의식(Fiscal responsibility)으로 알려진다.³⁾ PM으로 지원하기 위해서는 이력서외에 신규 R&D 프로그램 컨셉에 대한 예비제안서(preliminary proposal)를 제출해야 하는데, 이 때 DARPA가 전통적으로 프로그램 기획, 계속 지원여부 평가 등에 활용하는 Heilmeier Question을 고려하여 작성토록 하고 있다.

모든 PM은 4~5년 임기의 계약직으로 채용되고, 연임은 거의 없는 것으로 알려진다. 이는 경험축적으로 인한 업무 효율 향상보다는 참신한 아이디어와 새로운 관점 및 도전정신을 지속 유입하고, 중요 미션의 임기 내 완수라는 긴박감을 유지하기 위한 DARPA의 의지가 반영되어 있다. PM의 신분증에는 임기만료일이 표기되어 있어 본인과 동료들에게 중요한 일을 마무리해야 할 시간이 제한되어 있음을 상시 리마인드하는 역할을 한다.

2 DARPA PM의 권한은 어디까지?

PM은 기획, 사업공고 및 선정평가, 진도점검 및 다음단계 계속지원 여부 결정을 위한 Go/No-Go 평가를 주관하며, 각 업무단계별로 효과적 업무수행을 위한 강력한 권한을 부여받고 있다.⁴⁾

기획단계의 경우, 국방부의 수요 등을 기반으로 Top-down 방식의 문제설정이 이루어지면 이를 해결하기 위한 R&D 프로그램 기획은 PM 주도로 추진된다. PM은 연구현장 방문, 컨퍼런스 참석, 세계기술동향조사 등 온·오프라인을 통해 최신동향을 파악하고, Defence Science Board 등 국방부·DARPA 지원그룹의 제안, 관련 프로그램들의 과제신청서, RFI(Request For Information)⁵⁾, 소규모 탐색과제인 Seedling 수행, DARPA Challenge 등을 토대로 정보를 획득한다.

2) https://www.glassdoor.com/Salary/Defense-Advanced-Research-Projects-Agency-Program-Manager-Salaries-E41365_D_KO42,57.htm

3) Playbook for Strategic Foresight and Innovation(2013)

4) 본고에서는 DARPA의 사업유형 중 가장 보편적으로 활용되는 BAA(Broad Agency Announcement)를 중심으로 고찰

5) 신기술 또는 신개념의 활용가능성 및 활용방안 등에 대한 DARPA의 이해 제고 및 아이디어 도출과 이를 통한 신규 프로그램 기획을 위해 산학연을 대상으로 하는 공개적인 정보 요청

그리고 민첩하고 유연하며 비정형적인 ‘발상→제안→토론→결정→수정’ 과정이 반복되는 DARPA의 기획프로세스와 하일라이어 질문에 응답하면서 프로그램의 완성도를 높여나간다. 이렇게 연구프로그램의 초기 아이디어와 프로그램화 과정이 PM에 의해 주도됨을 함축하여 DARPA는 스스로를 “bottom-up” 기관으로 정의하고 있다.

PM의 권한은 선정평가과정에서 두드러진다. 규정에 의거, 수행기관 선정 평가를 위한 평가팀(Review Team)은 PM, 리뷰어(Reviewer), SME(Subject Matter Expert), SRO(Scientific Review Official)⁶⁾로 구성되는데, PM이 리뷰어와 SME를 선정한다. 리뷰어 수는 평가대상 과제의 예상지원금액에 따라 상이한데, PM은 리뷰어가 1명만 요구되는 경우에도 본인이 유일한 리뷰어가 될 수 있다. 리뷰어 및 SME의 평가 종료 후 PM은 평가결과에 대한 충분한 근거 제시 여부 등의 검토과정을 거쳐 선정(안)을 추천한다. 이 때 PM은 평가의 논리적 근거 또는 선정가능성 판단에 동의하지 않는 경우, 리뷰어와 협의할 수 있으며, 리뷰어가 PM 의견에 동의하면 평가보고서는 수정된다. 물론 수정사항, 리뷰어 서명, 수정 일시 등은 평가문서파일에 기록된다. 만약 리뷰어가 PM의 의견에 동의하지 않고 평가보고서 원안을 고수할 경우, PM은 리뷰어의 의견을 무시하고 본인의 선정(안)을 추천할 수 있다. 이때도 PM Summary Sheet에 평가보고서와 상이한 결정을 한 논거를 구체적으로 기술하여야 한다.

연구과제 착수 후 이루어지는 연구 진도관리와 다음 단계로의 계속 지원여부를 판단하는 Go/No-Go Review에서도 PM은 핵심적인 역할을 담당한다. PM은 매월 개별 프로젝트 단위로 기술 및 재무리ports를 제출받고, 텔레컨퍼런스 또는 연구현장에서 매월 진도점검회의를 주관하며, 6개월마다 프로그램 단위 전체 연구팀이 참여하는 회의를 총괄한다. 이 과정에서 PM은 상당한 재량권을 가지고 연구방향의 수정 등 필요조치를 행할 수 있는 것으로 알려진다. 특히 프로그램이 복수의 단계로 설정되고, 각 단계는 복수의 프로젝트들로 구성되며, 각 단계를 거치며 소수만이 살아남는 사업추진 방식을 고려 시, PM은 계속지원과제의 숫자와 규모 등에서 상당한 결정권한을 행사할 것으로 추정된다. 그러나 선정평가와 달리 진도관리 및 Go/No-Go 평가 시 PM이 어떤 차별화된 권한을 부여받고 있는지에 대한 구체적인 정보는 공개되지 않고 있다.

연구관리담당자의 역할에 있어 뚜렷이 비교되는 두 기관이 DARPA와 NSF(미 국립과학재단)이다. DARPA는 PM 중심의 개인적 판단이 중심이고, NSF는 전통적으로 전문가위원회평가(Peer Review)에 의존하여 왔다. 그러나 NSF도 변혁적 연구(Transformative Research) 활성화 방안의 일환으로 PO(Program Officer)들로 하여금 위원회 평가결과에만 의존하지 않고 변혁성 등을 고려, 저순위 제안서 중에서도 선정(안)을 추천토록 변화를 도모하고 있다. 혁신에 있어 위원회 제도의 유효성에 대한 재고찰이 본격화되고 있다.

| 과제 기획 및 선정평가에서 PM의 재량 범위 |

기관	NIH	NSF	DOE	DARPA
직책명	Program Officer	Program Officer	Program Manager	Program Manager
역할	외부평가 후 PO가 과제지원 우선순위를 추천	외부평가를 참고하여 PO가 과제추천 여부를 결정	외부평가를 참고하여 PM이 지원여부 결정(기준 미달과제는 PM 검토만으로 반려)	과제 기획, 선정평가 및 선정(안) 추천 시 주도적 역할과 상당한 재량권 보유



자료 : 박기순, 미국의 4대 연구지원기관의 PM제도 운영형태 조사결과, NRF R&D Brief 2018-33호, 2018년 8월 1일

6) 평가책임자로서, 통상 PM이 소속된 기술실의 실장이 담당

3 ▶ 각 단계마다 작동되는 PM 견제장치들

PM의 역할이 중요한 만큼 DARPA는 각 업무단계별로 상급자에 의한 승인 절차, 정보공정성을 위한 PM 역할의 제한, 이해상충문제(COI) 발생 시 대리PM 선정 등에 대해 매우 상세하게 규정하고 있다.

기획단계에서 PM의 아이디어와 비전은 가장 중요한 출발점이지만, 프로그램화가 진행되는 과정에서 관련 기술실과의 협의·검토, 프로그램(안)에 대한 Tech Council 자문을 거쳐 지도부의 승인 과정을 통과하여야 한다. Tech Council은 DARPA의 철학을 반영하듯 최종 의사결정이 아닌 자문기구의 역할이지만, PM들은 ‘고위직 대상 브리핑과 기술적 설명 사이의 스위트스팟(sweet spot)’을 찾기 위한 준비에 상당한 노력을 기울인다고 한다. BAA 공고문 작성은 PM이 주도하지만, DARPA 규정은 공고문 확정을 위해 승인을 거쳐야 하는 부서들을 명시함으로써 공고문으로서 갖춰야 하는 요건의 확인과 PM이 설정한 사업추진방안의 적절성 등을 검토하고 있다. 승인과정은 기술실별로 약간의 차이를 보일 수 있지만 통상 PM이 초안 작성 후 PM 소속 기술실과 관련부서 검토 후 계약관리실(CMO) 실장이 최종 승인 토록 하고 있다. 이 과정에 포함되어야 하는 관련자는 PM, 사업관리담당 실장보(ADPM), 보안담당관(MSO/SID), 법무실(GC), 중소기업프로그램실(SBPO) 실장, 계약담당관(CO) 및 계약관리실(CMO) 실장 등이다.

DARPA는 사업공고 전후로 잠재적 제안자 및 제안서 접수자들과의 소통과정을 운영하고 있는데, 제안서 접수 전 공개 소통은 Open Discourse, 제안서 접수자들과의 소통은 Restricted Interaction으로 명명한다. 먼저 Open Discourse의 경우, PM은 소통과정에서 획득한 정보를 본인의 아이디어로 도용해서는 안되며, 특정인의 아이디어를 잠재적 경쟁자에게 유출해서도 안된다. 또한 PM이 BAA의 목적/목표/요구사항과 관련된 정보를 특정인에게 제공한 경우 FAQ (Frequently Asked Questions) 등을 통해 다른 모든 잠재적 제안자들에게도 제공하여야 한다. 반대로 특정인이 PM 으로부터 주요 정보를 제공받은 경우에도 FAQ 등을 통해 공유해야 하며, 제안자가 답변을 통해 BAA 또는 기타 공개 자료와 상이한 정보를 획득하게 되는 경우 BAA가 수정될 수도 있다고 한다. 제안서 접수 이후에는 보다 엄격한 제약이 이루어진다. 제안서 접수 후 DARPA와 제안자 간 소통은 주로 제안자가 진행상황을 문의하거나 DARPA 측에서 접수자에게 제안서 내용을 확인하는 목적인데, PM은 제안자들과 직접 접촉할 수 없고 반드시 CO를 통하도록 하고 있다. 또한 제안서 내용 확인 과정에서 제안서 제출 시 담겼어야 할 내용을 추가하게 되는 결과로 이어져서는 안되며, 제안자에게 제안서 수정방법을 자문 또는 지시해서도 안된다. 또한 소통의 결과로 technical transfusion 즉 특정 제안자의 기술적 솔루션이 타 제안자와 섞이게(공유하게) 되는 상황이 되거나, 특정 제안자와의 접촉이 타 제안자에게 부당하게 경쟁우위를 제공하는 정보노출로 이어져서도 안 되는 등 매우 상세하고도 엄격한 정보공정성 규정을 운영하고 있다. 경우에 따라 PM을 포함하는 평가팀과 CO가 제안자와 소통하게 되는 경우 PM은 제안자와 이메일 소통이 가능하지만 반드시 CO의 사전 승인을 득하도록 하고 있다.

평가 시 PM은 매우 강력한 권한을 행사하고 있지만, 예비제안서(preproposal)을 포함한 모든 제안서의 적합성 평가는 PM이 아닌 CO가 담당한다. PM은 CO의 요청에 의거 적합성 평가 협조는 가능하다.

평가팀원 구성 시 매우 엄격한 상피제도(Conflict of Interest(COI) 배제)를 운영하고 있다. PM이 이해상충관계존재 시 즉시 대리PM을 선정하는데, 대리 PM은 PM급 이상 즉 타 PM이거나 기술실 실장 또는 부실장에서 선정된다. 이해상충관계의 PM은 해당 BAA의 모든 평가과정에서 배제되는데, SRO의 승인을 득한 경우에는 해당 과제 이외 타 과제 평가는 담당할 수 있다.

평가 후 PM이 추천한 선정(안)은 SRO로부터 검토 및 승인을 득하여야 한다. SRO는 평가 관련 자료가 DARPA 규정(DI 20 및 DARPA Guideline)을 준수하여 작성되었는지, 지원 대상 추천 근거가 적절히 제시되고 문서화되었는지 검토하며, 필요 시 제안서를 직접 검토하거나 추가 정보를 요구할 수 있다. SRO는 검토 후 원안을 승인하거나, PM으로 하여금 SRO 의견을 반영하여 추천패키지 수정 후 승인 재요청, SRO가 PM에게 해당 BAA를 취소하고 프로그램 목적을

명확히 하여 BAA 재공고 지시, SRO가 PM에게 제안서 재평가 지시, SRO가 해당 프로그램에 대한 자금지원 승인 철회 등을 할 수 있고, 매우 드문 경우이긴 하지만 PM 추천(안)을 SRO 추천(안)으로 대체할 수도 있다. 물론 이 때 충분한 근거를 제시하여야 한다.

결과통지의 경우 선정 또는 탈락의 통보는 PM이 담당하되, 부분지원의 경우 CO가 담당토록 하고 있다. 또한 지원 대상 제안서에 대해서는 연구의 특성, 주체들 간 상호협력 필요 정도, 기타 요소들을 고려하여 지원방식(award instrument type)을 결정하는데, 이는 PM이 아니라 CO의 권한이다. DARPA는 분기별로 평가패키지를 무작위 선정하여 부국장 주재로 평가과정의 적절성을 검토(Quarterly Review)하고 있으며 그 결과는 향후 평가관련 제도개선 및 교육과정 개발에 활용된다.

한편, 신입 PM 취임 시 새로운 지식과 관점 및 비전을 토대로 기존 프로그램의 지속 여부 및 변경 필요성을 검토하고 있어, 이는 신입 PM에게는 권한이자 이전 PM에게는 견제의 의미를 가진다고 볼 수 있겠다.

| PM의 권한과 견제장치 주요 내용 |

업무 단계	권한	견제 장치
기획	• 아이디어 발굴 및 프로그램화 주관	• Tech Council 검토 • DARPA 지도부 승인
사업 공고	• 공고문 작성 주관	• 공고문 검토 참여자 명시 • CMO 승인
소통	• 질의응답 등 소통 주관	• 제안예정자와 소통준칙 명시 • 제안자와 직접소통 금지
선정 평가 (Scientific Review)	• Reviewer 구성권 • Reviewer 역할 수행 가능 • Reviewer에게 평가의견 재고 요청 가능 • 평가의견과 무관하게 선정(안) 추천 가능	• 상세한 이해상충 회피규정 운영 • 평가결과에 대한 SRO 승인 • 지원유형(award instrument type)은 CO가 판단
평가과정 사후 검토		• 부국장이 분기별 무작위 선정, 평가 적절성 검토(Quarterly Review)
진도관리 및 Go/No-Go Review	• PM 주관	• 주요 사항에 대한 지도부 승인

4 시사점

우리 R&D는 주요 의사결정을 모두 위원회를 통한다고 해도 과언이 아니다. 많은 국가들이 활용하는 방식이자 우리 사회의 분위기를 반영하여 채택된 시스템이겠지만, 과연 혁신적 아이디어가 컨센서스 방식으로 채택될 수 있을지에 대한 회의론이 높은 것도 사실이다. DARPA의 개인 중심 의사결정시스템은 그 독특함과 성과 증명으로 미국 내 다수 부처는 물론 많은 국가들의 벤치마킹 대상이 되고 있다. 특히 변혁적 연구(Transformative Research) 활성화를 위한 핵심 수단으로 기대를 모으고 있다. 그러나 시스템 모방만으로 기대한 성과를 창출할 수 없음을 그동안의 많은 시행착오들이 증명하고 있다. 시스템과 더불어 그 시스템이 제대로 작동할 수 있는 환경이 함께 제공되지 못한다면 용두사미의 결과가 될 개연성이 매우 높다. 무엇보다 역량과 열정을 갖춘 우수 인재를 PM으로 영입하고 이들이 신명나게 실패를 두려워하지 않고 도전할 수 있는 여건을 제공할 수 있어야 할 것이다. 강력한 권한을 부여하되 도전성을 저해하지 않도록 주의깊게 설계된 적절한 견제장치도 마련되어야 한다. PM이 가진 비전과 아이디어를 프로그램화 및 사업 관리에 반영할 수 있도록 지원하는 기관차원의 인프라 제공도 요구된다. 무엇보다 강력한 권한이 부여되는 만큼 그 부작용을 주목하는 시선들도 많아질 것이므로, 처음부터 완전할 수 없음을 함께 인식하고 신뢰에 기반한 인내력을 발휘하며 이해관련자들이 지혜를 모아 문제를 보완해 나가는 공진화형 접근이 중요할 것이다. **ktg**

임혜진

미래전략팀 선임연구원
hjjlim@kist.re.kr

The top 10 emerging technologies for 2019

해마다 세계경제포럼에서는 최고의 전문가로 구성된 국제운영위원회를 통해 10대 유망기술을 발굴한다. 운영위원회는 전 세계 전문가들이 제안하도록 요청한 후, 많은 기준에 따라 이를 평가한다. 제안된 기술이 사회와 경제에 큰 혜택을 제공할 잠재력을 가지고 있는지, 일을 하는 기존의 방식을 바꿀 수 있는지, 초기 개발단계임에도 불구하고, 연구실, 기업 또는 투자자들로부터 많은 관심을 끌고 있는지, 향후 몇 년간 중대한 영향을 미칠 가능성이 있는지 등이 그 기준이다. 위원회가 네 번의 화상 회의를 통해 정보를 추가하고, 유망기술을 업데이트한 결과 발표를 본 지에서 2회에 걸쳐 소개하고자 한다.



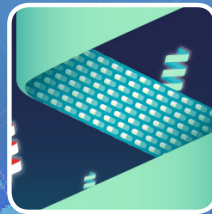
1. Bioplastics
for a
Circular
Economy



2. Social
Robots



3. Tiny Lenses
for Miniature
Devices



4. Disordered
Proteins
as Drug
Targets



5. Smarter
Fertilizers
Can Reduce
Environmental
Contamination



6. Collaborative
Telepresence



7. Advanced
Food
Tracking and
packaging



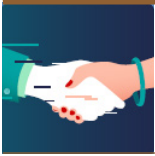
8. Safer
Nuclear
Reactors



9. DNA Data
Storage



10. Utility-Scale
Storage of
Renewable
Energy



6. 협업적 원격현실(Telepresence)

가까운 시일 내에 가상모임 참여자들은 그들이 물리적으로 함께 있는 것처럼 느낄 것이다.

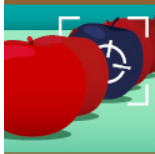
지구의 서로 다른 지역에 있는 사람들이 마치 물리적으로 함께 있고 서로 접촉을 느낄 수 있는 것처럼 원활하게 상호 작용하는 것을 상상해 보라. 이러한 “협업적 원격현실”을 가능하게 하는 구성요소들은 우리가 일하고 노는 방식을 변화시켜서 물리적 위치를 무관하게 할 수 있다.

Skype 및 FaceTime과 같은 화상통화 앱이 한때 소비자에 널리 접근가능한 사업영역을 만들었고, 대규모 멀티플레이어 온라인 게임이 사람들이 인터넷에서 상호작용하는 방식을 급격히 변화시켰듯이, 협업적 원격현실은 비즈니스와 그 외의 영역에서 실제로 사람들이 협업하는 방식을 변화시킬 수 있다. 예를 들어, 의료진들은 마치 한방에 있는 것처럼 환자와 원격으로 작업할 것이다. 그리고 친구들과 가족들은 그들이 실제 같은 장소에 있지 않아도, 아늑한 방에 함께 있거나 새로운 도시를 여행하는 것과 같은 공유된 경험을 즐길 수 있을 것이다.

여러 영역에서의 기술진보로 인해 이러한 전망은 실현가능해졌다. 증강현실(AR) 및 가상현실(VR) 기술은 광범위한 적용을 위해 충분히 능력있고 저렴해지고 있다. 통신회사들은 지연시간 없이 고급 센서 어레이로부터 대용량의 데이터를 다들만큼 빠른 5G 네트워크를 출시하고 있다. 혁신가들은, 그들의 로봇 아바타들의 감지 대상을 느끼게 하는 촉각 센서들을 포함하여, 원거리 환경에서 물리적으로 사람들이 상호작용하게 하는 기술들을 완성하고 있다. 협업적 원격현실을 위해 고안된 완전한 감각적 몰입은 화상통화에 허용되는 지연시간보다 훨씬 더 짧은 시간을 필요로 한다.- 때로 5G네트워크에 세금을 부과할 수 있지만, 예측 AI 알고리즘은 시간 간격에 대한 사용자의 인식을 제거할 수 있다.

협업적 원격현실이 여전히 최첨단의 기술임에도 불구하고, 모든 구성요소들은 3년에서 5년 내로 변형될 준비가 되어 있다. 예를 들어, 마이크로소프트사와 다른 회사들은 2025년까지 수십억 달러 산업을 뒷받침할 것으로 예상되는 기술들에 이미 투자 중이다. 그리고 XPRIZE 재단은 인간의 감각, 행동, 그리고 존재를 실시간으로 원격위치로 전달하여 보다 연결된 세계에 이르게 할 기술들을 시작하기 위한 (All Nippon Airways가 후원하는) 천만달러의 ANA Avatar XPRIZE 대회를 시작했다.

그러한 부분들이 함께 편성되어, 스마트폰의 광범위한 채택으로 촉발된, 극적인 일상과 작업에서의 변화를 기대할 수 있을 것이다.



7. 고급 식품 추적 및 포장기술

두 기술의 조합은 식품안전을 대폭 개선할 것이다.

세계보건기구(WHO)에 따르면, 매년 약 6억명의 사람들이 식중독으로 시달리고, 그결과 42만명이 죽는다. 발병이 일어나면 조사관들이 그 원인을 추적하는데 며칠 혹은 몇 주가 소요된다. 한편, 더 많은 사람들이 병에 걸리게 되고 대량의 오염되지 않은 음식마저 오염된 품목과 함께 버려질 수 있다. 음식이 농장부터 식탁까지 복잡한 경로로 이동하고 그러한 여정이 종종 서로 소통되지 않는 지역 시스템에 보관되기 때문에 출처를 찾는 작업은 느릴 수 있다.

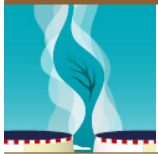
한 쌍의 기술을 함께 사용하면, 식중독과 음식물 쓰레기를 함께 줄일 수 있다. 먼저, (가상화폐 관리로 잘 알려진) 혁신적인 블록체인 기술 적용이 추적 문제를 해결하기 시작한다. 한편, 강화된 식품 포장기법은 음식물이 적정 온도에 보관되었는지 그리고 썩기 시작했는지를 결정하기 위한 새로운 방법을 제공하고 있다.

블록체인은 여러 위치에 있는 컴퓨터들에 저장된 다수의 동일한 “원장”(ledgers)에 순서대로 항목이 기록되는 분산형 회계시스템이다. 이러한 이중화는 하나의 원장을 무의하도록 변조하여 매우 신뢰성 높은 거래기록을 만들어 낸다. 음식산업에 대해 개발된 블록체인 기반의 클라우드 플랫폼(IBM Food Trust)은 이미 거대 식품 판매자들에 의해 적용되고 있다.

공통 블록체인상에 있는 재배자, 유통업체 그리고 소매업체들을 통합함으로써 Food Trust는 엔드-투-엔드 공급망을 통한 특정 식품 경로의 신뢰할 만한 기록을 창출한다. Walmart는 이 기술을 사용한 테스트에서 몇 초만에 “오염된” 품목의 원인을 추적했다. 서면과 디지털 기록의 표준적 배합을 사용하는 경우, 이것은 며칠이 걸렸을 것이다. 이러한 기능을 통해, 소매업체와 식당들은 오염된 품목을 유통으로부터 거의 즉시 제거할 수 있고, 품목 전체의 국가적 자산을 낭비하지 않고, 같은 출처(가령, 로매인 상추의 특정 재배자)로부터 온 자산만을 없앨 수 있다. 많은 거대 식품사업체들- 월마트, 까르푸, Sam's Club, Albertsons Companies, Smithfield Foods, BeefChain, Wakefern Food (ShopRite의 모회사)와 Topco 협회(그룹 구매 조직)들은 이러한 이니셔티브에 참여했다. 다른 조직들 또한 추적성 향상을 위해 블록체인 기술을 도입했다.

우선 식중독을 예방하기 위해서, 실험실 및 회사들은 케이스 혹은 개별 포장 제품 속의 식품의 품질과 안정성을 모니터링할 수 있는 소형센서를 개발 중이다. 예를 들어, Timestrip UK와 Vitsab International은 각각 제품이 권장 온도 이상에 노출되면 색깔이 변하는 센서 태그를 만들었고, Insignia Technologies는 포장이 열린 후에 천천히 색깔이 변하고 음식을 버릴 시간이 되었을 때를 알려주는 센서를 판다(제품이 적정 온도에서 저장되지 않으면 색깔은 더 빠르게 변화한다). 부패의 기체 부산물을 감지하는 센서들 또한 개발 중이다. 그러한 센서들은 질병을 예방하는 것을 넘어서, 음식이 먹기 안전함을 보여줌으로써 폐기물을 줄일 수 있다.

비용은 센서의 어디서나 볼 수 있는 흔한 사용에 장애물로 남아 있다. 그러나 식품 안전을 보장하고 폐기물을 제한하려는 식품산업의 필요로 인해 이러한 기술과 블록체인이 추진되고 있다.



8. 보다 안전한 원자로

탄성 연료 및 혁신적 원자로가 원자력의 부활을 가능하게 할 수 있다.

대기 중의 온실가스 감축은 일련의 에너지 기술의 조합을 필요로 할 것이며, 그 중에는 탄소를 배출하지 않지만 몇몇 대형사고로 인해 위험해 보이는 핵 원자로도 잠재적으로 포함된다. 그러한 위험은 크게 줄어들 수 있다.

상업용 원자로는 수십년동안 동일한 연료를 사용해 왔다: 지르코늄 합금으로 만들어진 길다란 원통형 막대 내부에 쌓인 이산화 우라늄의 작은 알갱이들이 그것이다. 지르코늄은 알갱이 속의 핵분열로부터 생성된 중성자들이 원자로 핵 내부의 물에 잠긴 많은 막대사이를 통과하게 함으로써 자체유지되고 열을 생산하는 핵반응을 지원한다.

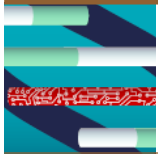
Westinghouse Electric Company와 Framatome 같은 제조업체들은 과열될 가능성이 적고, 과열된다고 하더라도 수소를 거의 혹은 전혀 생산하지 않는 소위 사고 방지 연료의 개발을 서두르고 있다. 변형의 일부로 반응을 최소화하기 위해 지르코늄 피복이 입혀졌다. 또 다른 경우에는 지르코늄과 이산화우라늄이 다른 재료들로 교체되었다. 그 새로운 구성은 거의 수정없이 기존 원자로에 입혀질 수 있었고 그래서 2020년 동안 단계적으로 도입될 수 있었다. 이미 시작된, 철저한(원자력공학) 노심내 테스트는 성공적임이 증명되어야 하고 규제기관이 만족해야 할 것이다. 보너스로, 새로운 연료는 시설을 더 효율적으로 운영하게 도울 수 있고 원자력 에너지의 비용 경쟁력을 더 강화할 수 있다. - 천연가스, 태양 및 풍력 에너지가 상대적으로 저렴하기 때문에 제조업체와 전기회사들에 이것은 상당한 동기부여가 될 수 있다.

미국에서 원자력 발전이 정체되고 독일과 그 외 지역에서 단계적으로 폐지되고 있지만, 러시아와 중국은 계속해서 건설 중이다. 이러한 시장들은 새로운 연료의 제조자들에게 이익을 가져올 수 있다.

러시아는 또한 다른 안전조치를 사용 중이다. 국영기업 Rosatom에 의한 국내외 설치는 비록 플랜트에서의 전력이 손실되고 냉각수가 활발히 순환될 수 없을지라도 과열을 진압할 수 있는 최신 “수동” 안전 시스템을 보유한다. Westinghouse와 그 외 회사들은 수동 안전장치들을 업데이트된 디자인으로 통합했다.

제조자들은 또한 분열로부터 열을 전달하기 위해 물 대신에 액체 나트륨 또는 용융염을 사용하여 위험한 수소생산의 가능성을 제거하는 “제4세대” 모델을 실험하고 있다. 보도에 따르면, 중국은 올해 실증 헬륨냉각 원자로를 그리드에 연결하려고 한다.

미국에서는 사용 후 핵연료에 대한 영구적이고 깊은 지질 저장소가 부족하여 오랫동안 산업 확장에 제동이 걸려졌다. 정치적 정서는 변할 수 있다. 놀랍게도, 올 봄, 12명 이상의 미국 입법자들이 1987년 이후로 미국 최고의 저장소로 알려졌던 Nevada의 Yucca Mountain 핵 폐기물 저장소에 대한 허가를 다시 시작하도록 하는 조치를 제안했다. 한편, Alaska의 Lisa Murkowski 상원의원은 아이다호 국립연구소에서 개발 중인 매우 작은 모듈형 원자로를 지지하고 있다.(Rosatom 또한 소형 원자로를 만들고 있다) 그리고 일부 서방국가들이 모듈식 원자로 12개를 위해 오리건에 있는 NuScale Power와 임시계약을 체결했다. 소형 원자로의 개선된 연료와 성장이 원자력 재생의 큰 부분이 될 수 있다.



9. DNA 데이터 저장소

생명의 정보저장 시스템이 대용량 정보를 처리하기 위해 적용되고 있다.

소프트웨어 회사 Domo에 따르면, 2018년 1분마다, 388만번의 구글검색이 이루어졌고, 사람들이 YouTube에서 433만 개의 동영상을 보았으며 159,362,760개의 이메일을 보내고, 473,000번이 트윗되었으며, 인스타그램에 49,000장의 사진이 게시되었다. 2020년까지, 전 세계적으로 1인당 1초에 약 1.7MB의 데이터가 생성될 것이고 이는 전세계 인구를 78억이라고 가정할 때, 한해에만 약 418 제타바이트(4181억원 테라바이트 하드 드라이브의 정보가치)로 변환된다. 현재 0과 1로 이러한 볼륨을 유지하고 있는 자기 또는 광학 데이터 저장 시스템은 그렇다면 한세기 이상 지속될 수 없다. 또한 데이터 센터 운영에 막대한 에너지가 소요된다. 요컨대, 시간이 지남에 따라 데이터 저장문제는 점점 더 심각해진다.

DNA기반 데이터 저장이 하드 드라이브에 대한 대안으로 진행되고 있다. 뉴클레오티드, A, T, C 및 G의 긴 사슬로 구성된 DNA는 생명의 정보저장재료이다. 데이터는 이러한 문자들의 순서대로 저장될 수 있으며, DNA를 새로운 형태의 정보기술로 바꾸어 놓고 있다. DNA는 대개 차례대로 배열되어 있어, 쉽게 합성되고 정확하게 복사된다. 50만 년전에 살았던 화석 말의 완벽한 게놈 배열에 의해 입증되었듯이 DNA는 또한 놀랄 만큼 안정적이다. 그리고 저장에 많은 에너지가 필요하지 않다.

그러나 가장 큰 장점은 저장용량이다. DNA는 전자장치를 훨씬 능가하는 밀도로 막대한 데이터의 양을 집어넣을 수 있다. 예를 들어, 하버드대학의 조지 처치와 그의 동료들에 의해 2016년 Nature Materials에 발표된 계산에 따르면, 간단한 박테리아인 대장균 입방 센티미터 당 약 1019 비트의 밀도 저장공간을 가진다. 그러한 밀도에서, 전 세계의 현재 저장필요량은 옆면이 약 1미터로 측정되는 DNA 정육면체면 충분하다.

DNA 데이터 저장에 대한 전망은 충분히 실현가능하다. 예를 들어, 2017년에 하버드 대학의 Church 연구단은 CRISPR 편집 기술을 사용하여 인간의 손의 이미지를 대장균의 게놈으로 기록했는데 이는 90%이상의 정확도로 판독되었다. 그리고 워싱턴 대학과 마이크로소프트 연구부의 연구자들은 DNA로 코딩된 데이터를 저장하고 읽는 완전히 자동화된 시스템을 개발해왔다. Microsoft와 Twist Bioscience를 포함한 많은 회사들은 DNA 저장기술을 진보시키기 위해 연구하고 있다.

한편, DNA는 막대한 양의 데이터를 이해하는데 어려움을 겪는 연구자들에 의해 다양한 방식으로 데이터를 다루도록 이미 사용되고 있다. 차세대 시퀀싱 기법에서의 최근 진보로 인해 수십억의 DNA 염기서열들이 쉽고 동시에 읽히게 되었다. 이 기능으로, 연구자들은 실험결과를 추적하기 위해 바코딩(DNA 염기서열을 분자식별 “태그”로 사용)을 사용할 수 있다. DNA 바코딩은 이제 화학공학, 재료과학과 나노기술과 같은 분야에서 연구 속도를 극적으로 가속화하는데 사용되고 있다. 예를 들어 조지아공대의 James E. Dahlman의 실험실은 보다 안전한 유전자치료를 밝혀내고 있다. 약물내성을 퇴치하고, 암전이를 예방할 방법을 알아내고 있는 이들도 있다. DNA 데이터 저장의 일반화에 대한 도전들은 DNA를 읽고 쓰는 속도와 비용인데, 전자 저장과 경쟁하려면 훨씬 더 떨어질 필요가 있다. DNA가 어디서나 흔히 볼 수 있는 저장물질이 되지 않는다 할지라도, 그것은 틀림없이 완전히 새로운 척도로 정보를 생성하고 장기간 특정 유형의 데이터를 보존하는데 사용될 것이다.



10. 재생에너지의 유틸리티 규모 저장

지속가능한 에너지 해법에 대한 장애물이 사라지고 있다.

탈탄소 에너지 시스템의 절박함이 증가하고 풍력과 태양광 기술 비용이 급락하면서 세계가 전기를 얻는 방식이 급격한 전환을 겪고 있다. 에너지정보국(EIA)에 따르면, 지난 10년 만에 미국에서 신재생에너지로 생성된 전기는 주로 풍력과 태양광 설치로 인해 두 배가 되었다. 풍력, 태양 및 기타 비수력발전 재생에너지가 향후 2년간 가장 빠르게 성장하는 전기포트폴리오의 일부가 될 거라고 2019년 EIA는 예측한다. 그러나 그러한 에너지 소스들의 간헐적인 특성으로 인해 태양이 비치지 않고 바람이 고요할 때, 전력공급회사들이 에너지를 비축해두는 방법이 필요하다. 그러한 필요는 에너지 저장 기술에 대한 관심을 증가시키고 있는데, 특히 리튬이온 배터리는 마침내 그리드에서 조연 이상이 될 준비가 되어 있다.

수십년 동안, 펌프 저장 수력발전, 다른 높이의 저수지들을 특징으로 하는 간단한 과정이 미국에서 지배적인 대규모 에너지 저장 방법이었다. 에너지를 저장하기 위해 물은 더 높은 저수지로 펌핑된다. 에너지가 필요할 때, 물은 가장 낮은 저수지로 방출되어 도중에 터빈을 통과하며 흐른다. 미 에너지부(DOE)에 따르면, 펌프 저장 수력발전은 현재 미국의 유틸리티 스케일 에너지 저장의 95%를 차지한다. 그러나 효율성과 신뢰성이 향상되고, 제조원가가 하락함에 따라 리튬이온 배터리가 급증했다. 그들은 미국의 유틸리티 스케일 배터리 저장 전력 용량의 80% 이상을 차지하며, 10년 전 불과 몇 메가와트에서 2019년 2월 까지 866 메가와트로 급상승했다고 EIA는 보도한다. Bloomberg New Energy Finance에 의한 2019년 3월 분석에 따르면, 2012년 이후로 그러한 배터리의 전력비용이 76% 감소해서 높은 전력수요 시기동안 전환되는 천연가스로 공급되는 설비와 경쟁적이 되었다. 현재까지, 배터리들이 주로 전력 수준을 유지하기 위한 짧고 빠른 조정을 위해 사용되어 온 반면, Florida와 California를 포함한 몇몇 미국의 주들에 있는 시설들은 2시간에서 4시간 동안 지속될 수 있는 리튬이온 배터리를 추가하고 있다. 에너지 리서치회사인 Wood Mackenzie는 에너지 저장 시장이 2018년부터 2019년까지 두 배가 되고 2019년부터 2020년까지 세배가 될 것으로 예측한다. 전문가들에 따르면, 리튬이온 배터리는 향후 10년간 지배적인 기술이 될 것이며, 지속적인 개선의 결과로, 예를 들어 저녁 피크수요에 태양광 발전을 대체할 만큼 충분히 긴 4시간에서 8시간의 에너지를 저장할 수 있는 배터리가 될 것이다.

그러나, 신재생에너지 및 에너지 저장이 전력발전의 기준 부하를 다룰 수 있는 지점에 도달하는 것은 더 긴 시간 단위로 에너지 저장이 필요하며, 리튬이온 배터리를 넘어서야 함을 의미한다. 잠재적 후보들은 액체 전해질을 펌핑하는 플로우 배터리 및 수소연료전지와 같은 첨단기술 옵션부터 펌프 저장 수력 및 중력 저장이라 부르는 더 단순한 개념까지 다양하다. 펌프 저장 수력발전은 일단 설치되면 저렴하지만, 짓는데 비용이 많이 들고 특정 지역에서만 사용할 수 있다. 중력의 개념도 마찬가지로 간단한데, 전기를 생성하기 위한 터빈구동을 위해 추후 내릴 수 있는 무거운 블락을 들어올리기 위해 여분의 전기를 사용하는 것을 의미한다. 몇몇 회사들이 실증을 위해 연구하고 투자를 유지했음에도 불구하고 아이디어는 아직 실현되지 못한 상태이다.

충분히 신뢰할 수 있고 효율적이며 리튬이온 배터리와 비용 경쟁력이 있도록 만들기 위한 다른 옵션들이 여전히 개발 중이다. EIA에 따르면, 2017년말까지 미국에 배치된 대규모 플로우 배터리 저장시스템은 단지 3개였고, 유틸리티 스케일 수소시스템은 실증단계에 있다. 미국 정부는 특히 ARPA-E를 통하여 이 분야 일부 작업에 자금을 지원하고 있지만 그러한 기술, 즉 일반적으로 에너지 저장에 대한 투자의 상당부분은 에너지 저장 연구를 늘리고 있는 중국과 대한민국에서 일어나고 있다.

에너지 저장 비용이 계속해서 감소할지 그리고 얼마나 그러할지는 불확실하다. 그러나 미국의 주 및 지방을 포함한 정부들에 의해 쌓이고 있는 무탄소 전기생산을 달성하겠다는 서약들로 인해 더욱더 많은 스토리지를 온라인으로 제공하기 위한 계속된 압박이 있을 것이다. **키워드**

PART.

02

R&D In&Out

주요 정책동향

제1회 소재·부품·장비 기술특별위원회 개최

TePRI, 정책 현장 속으로

“한반도 공동번영을 위한 남북과학기술 협력” 참관

글로벌 시장 동향

유해가스로 인한 피해를 피하기 위한 노력, 가스센서 시장 성장

Guten Tag! KIST Europe

유럽과 독일의 혁신전략과 정보통신기술 협력 (1)

Part 02 ●

주요 정책동향

제1회 소재·부품·장비 기술특별위원회 개최

임혜진

미래전략팀

hjlim@kist.re.kr

신속·유연한 소부장 R&D정책 추진과 중장기적인 원천기술 확보 병행 할 것

과학기술정보통신부(장관 최기영, 이하 '과기정통부')는 11월 4일 제1회 소재·부품·장비 기술 특별위원회(이하 '소부장 기술특위')를 개최하였다.

- 소부장 기술특위는 소재·부품·장비 관련 연구개발(R&D) 주요 정책, 투자 전략, 성과관리 방안 등을 심의·의결하기 위해 지난달 25일 국가과학기술자문회의 심의회의 산하에 구성된 위원회이다.
 - * 소부장 기술특위는 총 24명으로 구성되며, 위원장은 과학기술혁신 본부장(김성수)와 민간위원장(김상식 : 고려대학교 전기전자공학부 교수)이 공동으로 맡는다.
- 소부장 기술특위 정부 측 위원장인 김성수 과학기술혁신본부장은 모두발언을 통해 “최근 글로벌 산업 환경 변화에 대응하기 위해 정부에서 「소재·부품·장비 R&D 투자전략 및 혁신대책」을 마련하여 현장에 적용하는 등 숨가쁘게 달려왔다.”라면서, “소부장 특위를 통해 단기적으로는 신속·유연한 R&D를 추진하는 동시에 긴 안목의 기초·원천 기술도 확보해나가겠다.”라고 밝혔다.
- 김상식 민간위원장 또한 “연구계의 좋은 기술과 산업계의 수요가 만나지 못하는 경우가 많다.”라면서, “특위 위원장으로서 산업계와 연구계, 정부와 민간의 가교 역할을 해나가겠다.”라고 하였다.
- 제1회 소부장 특위에는 ① 소재·부품·장비 R&D 투자전략 및 혁신대책 실행계획(안), ② 소재·부품·장비 기술특별위원회 운영방안 및 운영세칙(안), ③ 소재·부품·장비 연구개발 혁신 지원을 위한 「국가 연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」 개정 추진계획(안) 등 총 5건의 안건이 논의되었다.
 - * ④ 소재·부품·장비 기초·원천기술 조기 확보방안(안), ⑤ 소재·부품·장비 핵심품목 분석 현황 및 향후계획(안)은 비공개 논의
- 먼저, 제1호 안건 「소재·부품·장비 연구개발 투자전략 및 혁신대책 실행계획(이하 '실행계획」)(관계부처 합동)을 통해 지난 8월 28일 발표한 「소재·부품·장비 R&D 투자전략 및 혁신대책(이하 '혁신대책」)을 차질 없이 이행하기 위한 방안을 위원들에게 보고하였다.
- 과기정통부는 혁신대책 및 실행계획에 담겨있는 △소재·부품·장비 R&D 투자전략 마련, △R&D 프로세스 혁신, △연구역량 결집 등을 체계적으로 추진해나가기 위해 관계부처와 민간이 참여하여 주요 정책을 심의·의결하는 소부장 기술특위를 신설하였으며, 향후 혁신대책 및 실행계획의 진행상황을 소부장 기술특위를 통해 주기적으로 점검·관리할 계획이다.

* 「실행계획」

(1) (투자전략) 핵심품목 진단 및 맞춤형 R&D 대응 + 핵심품목 집중 투자
 ⇒ 100+ α 품목에 대한 진단 결과를 기반으로 투자 우선순위를 도출하고, 품목별 맞춤형 대응 전략을 마련하여 집중 투자 '22년까지 5조원 이상)

(2) (프로세스 혁신) R&D 전주기 장벽 해소 + 국가R&D 역량 총동원
 ⇒ 소재·부품·장비 내재화 역량 강화를 위해 산업현장 수요에 신속하게 응답하는 R&D 프로세스 구축 및 국가 연구역량 결집

(3) 국가 R&D역량 총동원

→ (연구역량 결집) 핵심품목 및 핵심기술에 대한 R&D 중점 지원을 위해 기술 분야별 3N* 지정 및 지역혁신거점과 연계·활용

* 국가연구실(N-LAB), 국가연구시설(N-Facility), 국가연구협의체(N-TEAM)

- 특위 산하에는 정책제도실무위와 기술실무위가 설치되어 특위에 상정되는 안건을 사전검토 하게 될 예정이며, 이와 같은 소부장 기술특위의 구성과 기능, 운영방향 등을 담은 제2호 안건 「소재·부품·장비 기술특별위원회 운영방안 및 운영세칙(안)」도 이날 심의·확정하였다.

제3호 안건 「소재·부품·장비 연구개발 혁신 지원을 위한 국가연구 개발사업의 관리 등에 관한 규정 개정 추진계획(안)」은 신속·유연한 소재·부품·장비 R&D 추진을 위해 연구개발규정을 개선하는 사항을 담았다.

- 우선, 소재·부품 등과 같이 국가적 현안 등으로 정부 R&D과제의 시급한 추진이 필요한 분야에 대해서는 정부가 정책지정*을 통해 사업을 수행할 수 있는 명시적 근거를 신설하고,
* 과제 선정 시 공모를 통하지 않고, 부처에서 R&D를 수행할 기관을 지정하는 방식
- 대·중견 수요기업의 연구개발비 출연·부담 기준을 중소기업 수준으로 완화하여 적극적인 연구개발 참여가 이루어질 수 있도록 할 예정이다.
* (현행) 대기업인 경우, 총 연구개발비의 50%이상 부담→ (개선) 25%수준 부담
- 또한, 정부연구개발 성과(제품·장치·서비스 등) 구매 촉진을 위해 정부연구개발성과의 구매실적이 있는 수요기업에게 선정평가 시 가점을 부여할 수 있도록 하는 방안도 논의하였다.
* 정부연구개발성과 구매실적이 있는 수요기업이 연구개발과제를 신청한 경우 선정평가에서 3% 이내 가점 부여
- 과기정통부는 소부장 기술특위에서 논의된 내용을 바탕으로 11월 중 규정 개정(안) 입법예고를 실시하고, 관계부처 및 현장의 의견수렴을 거쳐 규정 개정을 추진할 계획이다.

이날 비공개로 논의된 「소재·부품·장비 기초·원천기술 조기 확보방안(안)」은 이번 소부장 기술특위의 토의 결과를 반영하여 11월 중 소재·부품·장비 경쟁력 위원회에 상정될 예정이다. 또한, 이날 소부장 기술특위에서는 과학기술혁신본부에서 핵심품목 R&D 전략 수립을 위해 진행하고 있는 사안에 대한 비공개 보고도 이루어졌다. **KT**

한승범

정책실 연수생
t19539@kist.re.kr

과총-남북과학기술 교류협력 포럼



지난 11월 7일 한국과학기술단체총연합회가 주최한 남북과학기술 교류협력 포럼에서는 “한반도 공동번영을 위한 남북과학기술 협력”을 주제로 한반도 에너지환경 문제에 대한 공동대응 방안을 모색하고 남북교류협력을 위한 의견을 나누는 자리를 가졌다.

기조강연을 맡은 통일연구원 홍민 북한연구실장은 남북한의 교류협력을 위해서는 안보 패러다임을 현재 ‘절대안보’에서 ‘협력안보’로 전환할 필요가 있음을 주장했다. 특히 북한이 환경오염 없는 에너지 자원 개발을 위한 30년 중장기 계획을 수립한 만큼 재생에너지 분야에서의 협력이 기대된다고 밝혔다.

이어 첫 번째 발제를 맡은 한국에너지기술연구원 김홍우 선임기술원은 북한의 신재생에너지를 활용한 전력공급 방안을 주제로 발표했다. 북한에 대한 일방적인 원조가 아닌 상호 이익을 실현하는 방식으로 진행되어야 한다고 전제하며 전력망을 설치해주고 전기료를 받거나 희토류 등 자원을 교환하는 방식의 아이디어를 제안했다.

두 번째 발제를 맡은 한국환경정책평가연구원 명수정 연구위원은 한반도의 기후변화 이슈를 고려한 남북협력 방안을 제시했다. 북한의 기후변화 취약성을 줄이기 위해서는 생태계를 비롯한 환경, 농업, 에너지 등 사회 전반의 역량을 강화할 필요가 있으며 이를 고려하여 우리나라와의 협력 사업뿐만 아니라 국제 사회와 연계한 국제 협력을 추구할 필요가 있다고 주장했다.

마지막으로 발제를 맡은 한국수자원공사 물관리 기획처 조영식 부장은 북한 물 관리 현황과 미래 협력 방안에 대해 발표했다. 북한 주민 생존과 직결되는 식수 위생 개선과 남북 물 분야 전문 기술 및 학술교류가 우선시 되어야 하며 이는 수자원 실태에 대한 공동조사평가뿐만 아니라 수량, 수질, 생태를 관리하는 효율적 물 관리 시스템 구축이 밀바탕 되어야 한다고 설명했다.

이어진 패널토론에서는 협력안보의 전반적인 논의가 이루어졌다. 건국대학교 정선양 교수는 협력 안보의 개념 안에서 북한의 개방적 사회경제 시스템이 구축되어야 한다고 하며 북한의 과학기술 교류 수요 상승 기류에 맞춰 정상회담과 고위급 회담에서 과학기술교류협력 아젠다가 우선시 되어야 한다고 주장했다. 한국환경한림원 남궁은 회장은 우리나라의 선진화된 상하수도 기술과 제도를 북한에 그대로 적용할 수 있다며 남북상 설협의체 구성을 제안했다. 또한 기상예측은 상호 호혜적이기 때문에 우리나라와 북한의 DB가 합쳐진다면 예측의 정확성이 높아져 기후변화 대응에 효과적일 것이라고 의견을 모았다. **KST**

유해가스로 인한 피해를 피하기 위한 노력, 가스센서 시장 성장

송유림

연구기획 · 분석팀
yurim_s@kist.re.kr

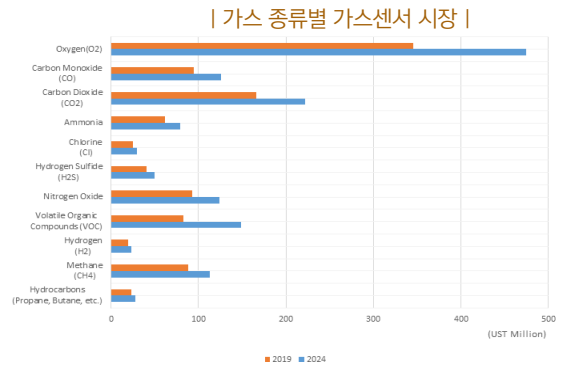
전 세계 가스센서 시장은 2019년 10억 달러에서 2024년 14억 달러까지, 연평균 6.4%로 성장할 전망이다. 세계 각국의 정부가 제정한 의료 안전 규정의 증가를 비롯하여, HVAC(Heating, Ventilation, and Air Conditionin) 시스템 및 차량 내 공기질 측정기의 사용 증가, 주요 산업에서 가스센서의 중요성 증가, 그리고 대기 오염 수준의 증가가 가스센서 시장의 성장을 이끌고 있다.

대기오염이 체내에 미치는 악영향에 관한 인식 제고, VOC 센서 시장 확대

*출처:

Gas Sensor Market, MarketsandMarkets, 2019.11

VOC(Volatile Organic Compounds, 휘발성유기 화합물)는 탄소기반 화합물질로 주변에서 흔히 볼 수 있는 도료 희석제, 네일 리무버나 각종 연료에 포함되어 있으며, 상온에서 쉽게 증발하는 특징을 가진다. 일부 VOC는 인체에 해로울 뿐만 아니라 환경에도 큰 피해를 줄 수 있어, 실내외에서의 공기질 모니터링에 대한 필요성이 증가하고 있다. 이를 바탕으로 2018년 7,250만 달러로 조사된 VOC 센서 시장은 2024년 1억 4,390만 달러까지 종류에 따른 가스센서 시장 중 가장 큰 성장률인 12.3%를 보일 전망이다.



자동차 산업에서의 가스센서 수요 증가, 아시아-태평양 시장 성장

2018년 3억 3,800백만 달러로 예측된 아시아-태평양 시장은 8.2%로 성장하여 2024년에는 5억 5,100만 달러까지 규모가 확대될 전망이다. 자동차 산업에서의 산소, 이산화탄소, 일산화탄소, 질소산화물 등에 대한 가스센서 수요가 증가하면서, 자동차의 제조와 판매에 있어 가장 중요한 지역 중 하나인 아시아-태평양 지역의 시장 성장이 유도되는 것으로 보인다. 또한, 아시아-태평양 국가의 대기 오염 수준이 높아진 것도 성장에 큰 영향을 미치고 있다. 세계보건기구(WHO)에 의하면, 전 세계 조기 사망 원인의 3분의 1이 대기 오염으로 인해 발생하며, 최근 대기 오염이 인간의 건강에 큰 영향을 미친다는 연구 결과가 이를 뒷받침하고 있다. 이로 인한 공기청정기의 수요 증가 역시 시장 성장에 요인으로 꼽을 수 있다.

| 지역별 가스센서 시장 |

(단위 : 백 만 달러)

지역	2016	2017	2018	2019	2020	2022	2024	CAGR (2019-202)
북아메리카	239	259	279	298	318	355	390	5.50%
유럽	225	243	262	279	296	329	360	5.20%
아시아-태평양	274	306	338	371	405	476	551	8.20%
기타(남아메리카, 중동, 아프리카)	75	81	87	93	98	108	117	4.80%
전체	812	889	967	1,042	1,117	1,268	1,418	6.40%

시사점

최근 전북분원 기능성복합소재연구센터에서 버려지는 멩게깍질로부터 추출한 나노셀룰로오스와 탄소 나노튜브를 결합하여 후처리 공정 및 촉매 없이 유해가스를 감지하는 웨어러블 센서를 개발하였으며, 유해가스인 이산화질소를 감지하는 데 성공했다. 특히 연구진이 개발한 센서는 이미 산업화되어 있는 방식으로 복합섬유를 연속으로 생산할 수 있어, 향후 경쟁력있는 웨어러블 가스센서 상용화에 크게 기여할 것으로 기대된다. **키**

변재선

KIST 유럽(연) 책임연구원
byun@kist-europe.de

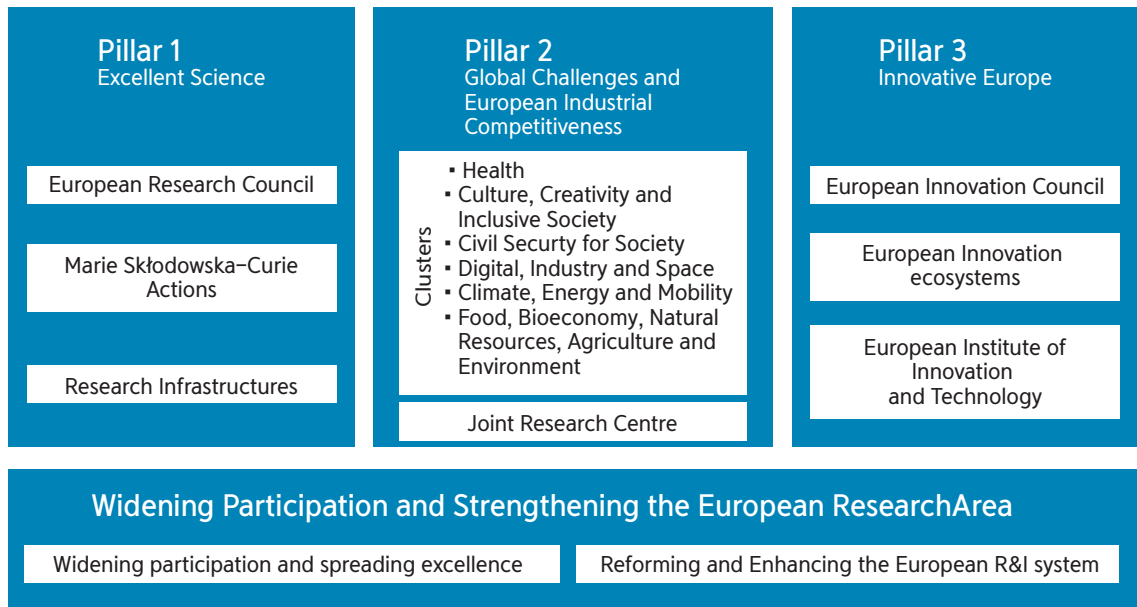
인공지능, 사이버보안 중심

최근 독일 연방정보보안청(BSI)은 KIST 유럽이 위치한 자르브뤼켄에 약 30명 규모의 직원이 근무하는 분소를 개소할 것을 최종 결정하였다⁷⁾. 신규 설립될 BSI 자르브뤼켄 분소는 자알란트 연구단지에 위치한 인공지능연구센터(DFKI)와 헬름홀츠 헬름홀츠 사이버보안 연구센터(CISPA) 등의 기술적 잠재력을 활용하여 인공지능 사이버보안 및 소비자 개인정보 보안 등의 업무에 특화되어 본에 위치한 BSI 본부와 협력 운영될 예정이다.

KIST 유럽연구소는 금년 8월 29일 카이스트, 고려대 정보보호대학원, 정보통신기획평가원(IITP), 헬름홀츠 사이버보안연구센터(CISPA)와 한독 차세대 보안기술 세미나를 개최하였으며 공동연구 기획, 씬머스쿨(인턴십) 프로그램 및 교육협력을 단계적으로 확대해 나갈 계획이다.

본 고에서는 유럽연합의 Horizon Europe 구상과 독일 하이테크 전략 2025 프로그램 개요와 인공지능과 사이버보안 기술을 중심으로 유럽 회원국간 글로벌 국제협력 추진 동향을 간략히 살펴보고 한독 과학 기술 협력 촉진을 위한 시사점을 분석하고자 한다.

| 그림 1. Horizon Europe의 구조 |



* 자료: https://ec.europa.eu/info/horizon-europe-next-research-and-innovation-framework-programme_en.

7) <https://www.secupedia.info/aktuelles/saarland-zweite-bsi-aussenstelle-entsteht-in-saarbruecken-15026>

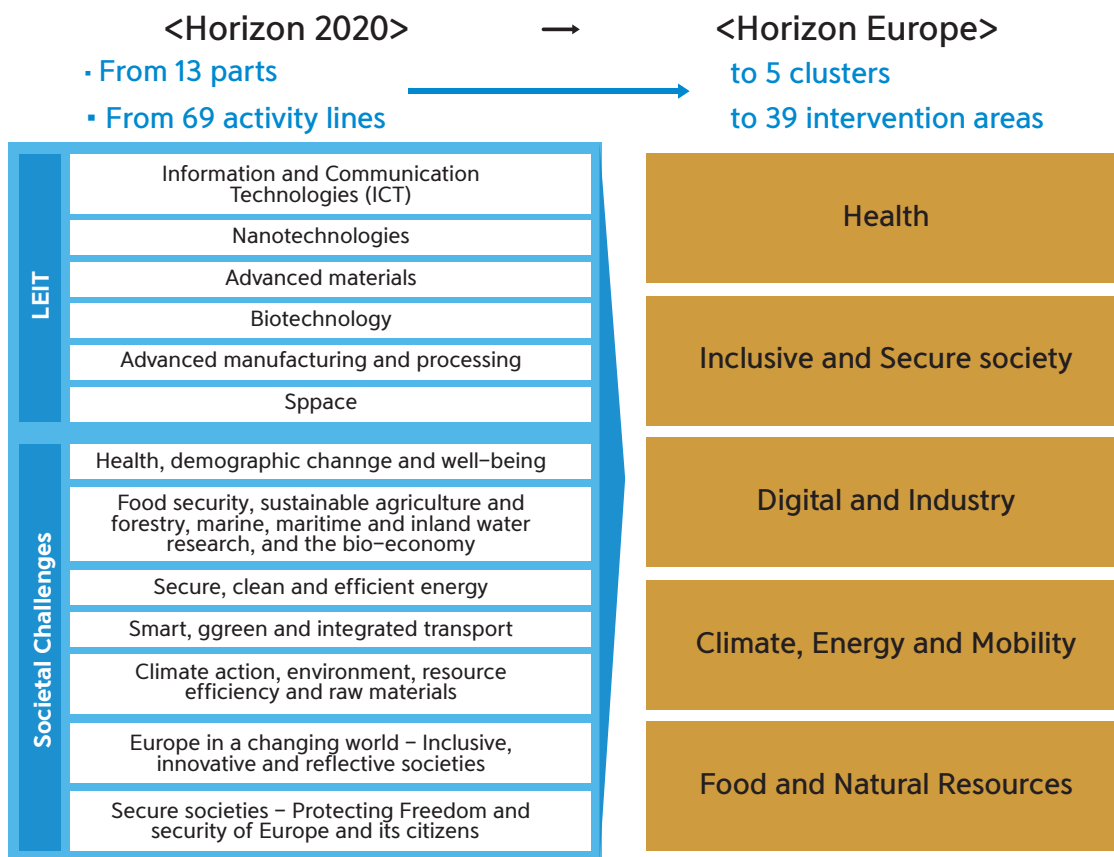
1 Horizon Europe

Horizon Europe 개요

유럽연합은 Brexit 등의 사안과 결부하여 세부적인 계획의 구체화가 지연되는 양상을 보이고 있지만 Horizon 2020의 후속 사업 Horizon Europe⁸⁾의 구체화 작업이 진행되고 있다. Horizon Europe은 기존 Horizon 2020의 3개 핵심 영역 구조 (three-pillar structure)를 유지하지만 기초연구에 대한 지원은 첫 번째 핵심 영역인 ‘오픈 사이언스’를 중심으로 추진하며, 응용연구 및 점진적 혁신(incremental innovation), 즉 기존 제품 및 기술을 개선 또는 새로운 기능을 결합한 혁신에 대한 연구는 두 번째 핵심 영역인 ‘글로벌 과제와 산업 경쟁력’을 중심으로 추진하고, 마지막으로 세 번째 ‘오픈 이노베이션’은 글자 그대로 개방형 혁신에 초점을 두고 있다(그림 1).

기존 Horizon 2020의 주요 전략인 ‘산업기술 리더십(Leadership in Enabling Industrial Technologies, LEIT)’ 부문과 ‘사회적 과제’ 부문의 총 13개 세부영역이 Horizon Europe에서는 5개 클러스터로 통합되었다.

| 그림 2. Horizon Europe의 구성의 변경 |



※ 자료: https://ec.europa.eu/info/horizon-europe-next-research-and-innovation-framework-programme_en.

8) Horizon 2020의 후속 사업으로 2021년부터 2027년까지 진행되는 제9차 EU 프레임워크 프로그램인 Horizon Europe은 Article 179.1 TFEU에 근거를 두고 있다.

유럽연합의 Horizon Europe 구상은 과학, 산업, 사회의 결합을 통해 공동목표의 달성을 지향하는 하향식 임무지향적 전략의 성격이 강화되고 있고 다학제(cross-disciplinary), 교차분야(cross-sectoral), 교차 주체(cross-actor)로 경계를 넘어서는 협력을 통해 해결책을 도출하는 것이 강조되고 있다.⁹⁾ Horizon Europe이 기존의 프로그램과 다른 점은 기후변화나 식량 공급 등과 같은 글로벌 사회과제 해결 사업과 같은 방식으로 산업경쟁력 확보를 위한 사업을 지원한다는 점을 들 수 있다. 계획 수립 초반 EU 집행위는 산업 프로그램을 첨단 제조기술, 나노기술, 생명공학 및 기타 분야 등과 연결하여 기업 성장을 촉진하는 방식으로 지원하려 하였으나 몇몇 회원국의 반대로 기업과의 연구협력이 강화될 수 있도록 다섯 개의 클러스터(건강, 사회 통합 및 보안, 디지털과 산업, 기후/에너지 및 이동성, 음식 및 천연자원)를 마련하기로 하였다.

정보통신기술(인공지능/사이버보안) 연구 추진 계획

정보통신 기술은 건강, 기후, 이동성 등 전 영역에 융합되어 있어 명확하게 구분하기 어렵지만 주로 사회통합 및 보안, 디지털과 산업 클러스터에 직접적인 연구주제들이 포함되어 있다(그림 3).

| 그림 3. Horizon Europe의 정보통신기술 관련 연구주제 및 예산 |

항목	추진 과제 및 전략	지원자금
포용적이고 안전한 사회 (Inclusive and Secure Society)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 민주주의 (Democracy) ▪ 문화 유산 (Cultural Heritage) ▪ 사회경제적 변형 (Social and Economic Transformation) ▪ 재난에 내성있는 사회 (Disaster-resilient Societies) ▪ 보호와 보안 (Protection and Security) ▪ 사이버 보안(Cyber security) 	28억 유로
디지털과 산업 (Digital and Industry)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 생산기술(Manufacturing Technologies) ▪ 핵심 디지털 기술(Key Digital Technologies) ▪ 첨단 소재(Advanced Materials) ▪ 인공지능과 로봇(Artificial Intelligence and Robotics) ▪ 차세대 인터넷(Next Generation Internet) ▪ 첨단 컴퓨팅과 빅데이터(Advanced Computing and Big Data) ▪ 순환산업(Circular Industries) ▪ 탄소저감/청정 산업(Low-Carbon and Clean Industries) ▪ 우주(Space) 	150억 유로

① 사회 통합 및 보안 클러스터: 포용적이고 안전한 사회

유럽의 성장모델은 경제 성장과 다양한 사회적 가치가 함께 공존해 간다는 점을 유지하고 있다. 최근 유럽은 범죄조직·테러리스트·급진주의·사이버 공격으로부터 시민을 보호하고, 자연 재해 및 사이버 공격으로 부터 안전을 지키는 중요성이 더욱 부각되고 있다.

이에 따라 사회통합 및 보안 클러스터는 다섯 개의 클러스터 중 28억원의 예산을 지원받을 예정이며, 인공지능을 사용한 보안위협 탐색, 가짜뉴스 대응방안, 범죄 수사 과정 내의 개인정보보호 방안 등 정치적인 문제들에 대한 연구가 Horizon Europe 사회통합 및 보안 클러스터의 중심이 될 것이다.


9) <https://www.kowi.de/en/kowi.aspx>

Horizon 2020에서도 개인정보보호 플랫폼, 인공지능과 사이버보안, 발전설비 및 대형 인프라 사이버보안, 디지털 보안 등 독일, 그리스 등 다양한 회원국 연구자들이 참여하여 수행하였으며 후속 프로그램에서도 악의적인 사이버 공격으로부터 유럽의 시민들을 보호하기 위한 유럽차원의 대응이 더욱 강화될 것이며 자가치유 소프트웨어나 새로운 네트워크 구축 등이 지원될 예정이다.

② 디지털과 산업 클러스터: ICT기반 융합기술 확대로 사회적 요구기술 고도화

디지털과 산업 클러스터는 150억 유로가 지원될 예정이며 신진 산업기술 개발 및 디지털과 산업의 융화 등을 목적으로 하며 EU 산업이 전체 노동시장의 1/5을 제공하는 것, R&D 민간 투자비율을 2/3 이상 확보하는 것, EU 산업분야 수출이 전체 80%를 달성하는 것을 세부목표로 삼고 있다. 이 분야는 산업계의 요구사항이 반영된 연구분야를 중심으로 삼고 있다. 대표적으로 나노 전자 설계, 사물인터넷을 위한 센서 기술, 인간의 신경구조를 본뜬 컴퓨터, 포토닉스 및 기타 디지털 기술과 슈퍼컴퓨터, 양자컴퓨터, 빅데이터 등의 부분도 포함되어 있다. Horizon 2020에서 지원하던 갈릴레오 위성 시스템 개발이나 무인자동차 및 새로운 응용프로그램, 코페르니쿠스 지구 관측 위성 등과 같은 연구지원도 계속적으로 추진될 예정이다¹⁰⁾.

Horizon Europe 전략 미션 목표를 달성하기 위해서는 유럽 회원국간의 협력 및 세계적인 글로벌 혁신 주체들과의 전략적인 파트너십을 통한 오픈 이노베이션의 중요성이 강조되고 있다. EU는 비EU국가의 준회원국 자격을 확대하여 산업 선진 국중 연구, 기술 및 혁신 역량 등 조건이 맞을 시 준회원국 자격을 부여할 예정이다.

2019년 1월 22일 아헨에서 메르켈 총리와 마크롱 대통령은 아헨 우호 협정을 체결하여 대내외 평화와 안전, 기후, 환경, 보건 등의 세계적인 공통 과제 해결, 교육과 연구분야에서의 상호협력 등 양국 시민사회와의 교류 증진, 유럽 통합을 강화하기 위한 미래지향적 솔루션들을 협정하였다. 프랑스와 독일의 주요 인공지능 센터간에 교류 및 협력을 강화하기 위한 “가상 네트워크” 운영이 합의되었으며 계획된 협력에 대한 자세한 내용은 아직 공개되지 않지만 과제공동 기획 및 지속적인 협력 회의 등을 통해 구체화될 예정이다. 현재 독일 프랑스 연합에 일본이 추가되어 3개국간 인공지능학술회의도 개최되었고 프랑스/일본/독일간의 3개국간 인공지능 3자 국제공동연구가 독일 DFG, 프랑스 ANR, 일본 JST의 협력으로 선정심사가 진행중이다. 

(다음호에 계속...)

10) EU가 Key Enabling Technologies 로 지정한 기술들과 ICT, 우주 등의 분야가 동 분야에서 주를 이룬다. 디지털과 산업 클러스터에서는 산업계의 주도 적인 역할이 특히 강조되고 있으며, 주제의 우선순위를 정하고 연구과제를 도출하며 연구결과를 상업화하는데 산업계가 주도적인 역할을 맡게 되면서, 민간주도의 R&D수행을 강조하고 있다.

PART

03

TePRI 休

세계사 속 과학기술
사회과학의 창시자 루돌프 피르호

Law and Science
과학자의 연구윤리: 표절의 개념과 판례

소통과 대화를 위한 재미있는 이노베이션 이야기
노벨 경제학상을 통해 들여다보는 과학기술 공적개발원조

사회과학의 창시자 루돌프 피르호

전 대 호

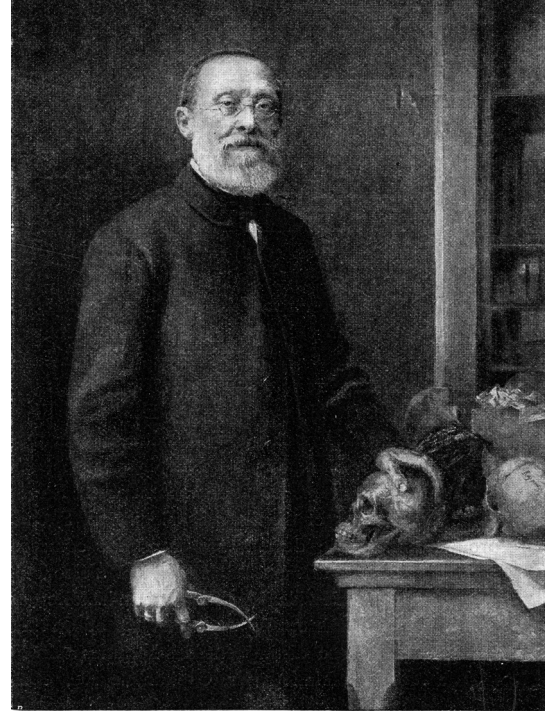
유미과학문화재단 이사
daehojohn@hanmail.net

20세기의 위대한 미술가를 딱 한 명만 꼽으라면, 대다수 사람들이 피카소를 지목할 것이다. 미술계 내부의 평판도 유사한 듯하다. 미국 추상화가 잭슨 폴록의 삶을 다룬 영화 <폴락>의 앞부분에는 피카소의 이름이 등장하는 장면이 있다.

화폭을 바다에 깔아놓고 그 위 허공에서 물감을 듬뿍 찍은 붓을 이리저리 움직이거나 심지어 휘둘러서 화폭에 떨어진 물감이 자유분방한 패턴을 형성하게 만드는 특유의 기법을 아직 개발하지 못한 젊은 시절의 폴록이 술을 잔뜩 마시고 허름한 집으로 돌아오며 고래고래 소리를 지른다. “젠장, 그놈이 다 해버렸어! 다 해버려서 남아있는 게 없다니까. 그놈, 그 피카소라는 놈이 벌써 다 해버렸어!”

과연 피카소는 미술가들을 겁먹게 하고 절망시키는 미술가다. 피카소 본인의 생각도 다르지 않았음을 다음과 같은 그의 발언에서 확인할 수 있다. “어릴 적에 어머니가 나에게 말했다. 파블로, 네가 군인이 된다면, 틀림없이 장군이 될 거야. 성직자가 된다면, 틀림없이 교황이 될 거야. 나는 화가가 되었다. 그리고 피카소가 되었다.” 혹시라도 이 발언을 흉내 내지 말기 바란다. 피카소가 아닌 다른 사람이 이런 말을 하면, 모두가 고개를 절레절레 흔들며 당신을 외면할 테니까 말이다.

혹시 자연과학계에도 피카소 같은 인물이 있을까? 가장 먼저 떠오르는 사람은 수학자 카를 프리드리히 폰 가우스다. 과거 독일의 10마르크 지폐에 등장했던 가우스는 “수학의 왕”으로 불린다. 수학의 다양한 분야에서 업적을 남겼다는 점에서도, 동료 수학자들을 절망시키곤 했다는 점에서도 가우스는 피카소를 닮았다. 그리고 또 한 명, 동료 의사들로부터 “의학의 교황”이라는 엄청난 칭호를



▲ 루돌프 피르호

받은 루돌프 피르호가 있다.

피르호는 나폴레옹 전쟁이 끝난 후 독일이 느슨한 연방 체제 아래에서 보수적 질서로 복귀하던 1821년에 태어나 유럽 곳곳에서 혁명이 일어나던 1848년을 몇 년 앞두고 의사로서 첫발을 내디뎠다. 그의 활동 무대인 베를린에서는 1848년 3월에 시민들이 봉기했는데, 공교롭게도 피르호는 그해 2월에 병리학자로서 쉐레지엔 동남부로 파견되었다가 3월에 사회개혁가로 변신하여 돌아왔다.

파견 목적은 그 지역에서 티푸스가 창궐하는 원인을 알아내고 대책을 마련하는 것이었다. 피르호의 진단은 명확했다. 그 유행병의 원인은 생물학적인 것이 아니라 정치적인 것이라고 그는 단언했다. 정치의 실패로 많은 주민이 동물처럼 생존하고 있기 때문에 티푸스가 창궐한다는 것이었다. 그

렇게 피르호는 “사회의학social medicine”이라는 새로운 의학적 관점의 창시자가 되었다.

술레지엔의 교회를 비판하고 관료들을 비난하고 귀족들을 조롱하며 돌아온 피르호가 곧바로 마주친 베를린 시민들의 바리케이드를 외면했을 리 없다. 그는 의사로서 바리케이드 위에 올라 전단을 뿌렸다. 이런 문구를 포함한 전단이었다. “의학은 정치적·사회적 삶에 개입해야 한다. 의학의 과제를 정말로 실행하려면, 정상적인 삶을 방해하는 걸림돌들을 뽑아내야 한다.”

이런 피르호의 태도를 의아하게 여기는 독자도 있을 것이다. 특히 정치를 한편으로 선망하면서 다른 한편으로 혐오하는 우리 사회의 분위기에서, 의사가 정치와 사회로 관심을 넓히는 것은 수상쩍은 행동으로 보이기 십상이다. 그러나 의학의 과제는 사람들의 건강을 지키는 것임을 상기하라. 그리고 아리스토텔레스의 말마따나 인간은 정치적 동물이라는 점을 돌이켜라.

의학은 인간의 동물적 생명만 다뤄야 할까? 만약에 그렇다면 정신건강의학의 대부분이 폐기되어야 할 것이다. 병의 분자생물학적 메커니즘에 집중하는 현대의학의 좁은 관점에서 벗어나 인간의 삶 전체를 바라보면, 의학은 생물학에 못지않게 사회학과도 긴밀히 교류해야 함을 부인하기 어려워진다. 예컨대 지금 우리 사회의 참담한 자화상인 자살률을 생각해보라. 벌써 여러 해째 세계 최고인 한국의 자살률을 설명하고 적절한 처방으로 낮추려면, 생물학적 연구보다 사회학적 연구가 더 요긴할 것이다.

피르호는 이렇게 말한다. “의학은 사회과학이며, 정치는 다름 아니라 큰 규모의 의학이다.” 왜 아니겠는가? 결국 사람들을 잘 살게 하는 것이 의학의 목표요, 정치의 목표가 아닌가. 물론 ‘어떻게 사는 것이 잘 사는 것인가?’라는 질문에 명확히 답하기는 어렵다. 일찍이 플라톤이 던진 이 인류 최대의 질문은 철학 전체의 중심축이라고 할 만하다. 그러나 잘 사는 삶, 바꿔 말해 좋은 삶은 우리의 생물학적 측면뿐 아니라 사회학적 측면도 아울러야 한다는 점을 부정할 사람은 없을 것이다.

실제로 피르호는 정치에 뛰어들어 “독일 진보당”을 공동 창립하고 보수파의 거물 비스마르크와 대결했으며 독일이

통일된 후에는 제국의원까지 지냈다. 그는 다음과 같은 의학적이면서도 정치적인 명언을 남겼다. “보편 교육을 추구하는 국가는 보편 건강도 추구해야 마땅하다. 건강이 먼저고, 교육이 나중이다! 가장 많은 이익이 남게 돈을 쓰는 방법은 건강을 위해 쓰는 것이다.” 다음 문장은 더 간결하고 힘찬 명언이다. “오직 교육, 복지, 자유만이 민중의 지속적 건강을 보장한다.”

산이 높으면 골도 깊다더니, 사회의학의 창시자로서뿐 아니라 현대 병리학의 아버지로도 존경받는 피르호는 당대에 새로운 의학적 패러다임으로 떠오르던 ‘병원체 이론germ theory’을 거부하기도 했다. 루이 파스퇴르와 로베르트 코흐가 주창한 병원체 이론은 외부에서 몸에 침입한 병원체들이 병을 일으킨다고 보았지만, 피르호는 세포 내부의 비정상적 활동들이 병을 일으킨다고 주장했다.

물론 피르호도 병든 조직에서 미생물들이 발견된다는 것을 부인하지 않았다. 그러나 설명이 달랐다. 먼저 조직이 내적 원인에 의해 병들고 나면 외부의 미생물들이 자연스럽게 거기에 깃드는 것이라고, 외부의 미생물들이 조직을 병들게 하는 것이 아니라고 피르호는 설명했다. 이 설명은 의학의 사회적 차원을 중시하는 피르호의 기본 관점과 무관하지 않은 듯하다. 그는 인간의 삶 전체를 고려해야만 병을 이해할 수 있다고 믿었으므로, 우연한 외부 원인이 병을 일으킨다는 이론은 그가 보기에 설득력이 없었을 것이다.

요새 우리 사회에서 가장 유능한 축에 드는 젊은이들은 즐겨 의학을 전공으로 선택한다. 그들의 관심이 생물학에만 국한되거나 심지어 본인의 경제적 풍요에만 국한되지 않기를 바란다. “의학의 교황” 루돌프 피르호는 이미 150년 전에 의사로서 사회와 정치를 주목했다. 의학은 자연과학과 사회과학이 만나는 지점일 수 있다. 더 나아가 의사가 인간의 삶을 다루는 전문가라면, 인문학과 예술도 의사의 관심 분야여야 마땅하다.

가우스는 빈곤층 출신이지만 뛰어난 수학적 업적으로 불멸의 지위에 올랐다. 피르호는 귀족으로 격상하여 “폰 피르호”가 될 기회를 얻었지만 역시나 사회개혁가답게 신분 상승을 거부했다. 잭슨 폴록은 알코올중독에서 헤어나지 못한 채 자동차사고로 삶을 마감했다. **kt**

최지선

Law & Science 대표변호사
lawscience.jschoi@gmail.com

연구윤리란 연구자가 연구활동을 수행함에 있어 마땅히 준수하여야 할 연구활동의 도덕적 윤리 규범으로, 대표적인 문제 중 하나가 표절이다. 표절이란 해당 분야의 일반지식이 아닌 타인의 저작물 또는 독창적 아이디어를 적절한 출처표시 없이 자기 것처럼 부당하게 사용하는 연구부정 행위이다.

표절과 저작권침해는 흔히 혼용되어 사용되기도 하지만 반드시 일치하지는 않는다. 저작권침해는 저작권법으로 보호받는 저작물(인간의 사상이나 감정을 표현한 창작물¹²⁾)을 권리보호의 대상으로 하므로 표현에 대한 보호에 국한되고, 저작권 제한 사유 등에 해당하지 않는 한 원저작자의 이용허락의 범위를 넘어서서 사용하는 것까지 침해의 대상으로 여기므로 원저작자의 저작물임을 명기하였다고 하더라도 성립 가능하다는 특징이 있다. 이와 비교하여 표절은 표현뿐만 아니라 아이디어 역시 보호의 대상으로 하며 원칙

적으로 타인의 저작물 또는 아이디어를 자신의 것 인양 사용하는 행위에 적용된다는 점 등에서 차이가 있다.

본 고에서는 연구윤리에 있어 표절의 판단기준을 실시한 대표적인 판례를 검토하여 우리 법원이 표절 문제를 어떻게 다루고 있는지 살펴보고자 한다.

우리 대법원은 정부출연 연구기관인 A의 부설 기관이 새로 채용한 박사학위 부연구위원이 자신의 석사학위 논문과 일본 저자들의 저서를 출처 없이 무단 사용하고 이러한 표절의혹을 은폐하기 위하여 논문을 교체하는 과정에서 종전의 인준지를 다시 사용한 것이 밝혀지자 인사관리 규정에 근거하여 임용계약 해지를 통보한 사안에서 표절의 판단에 대한 몇 가지 기준을 제시한 바 있다(대법원 2016. 10. 27., 선고, 2015다5170 판결).

11) 본고는 최지선 외 (2019), 「과학기술계 출연(연) 윤리문화 확산 방안 연구」, 국가과학기술연구회의 일부 내용을 기초로 함을 밝혀둡니다.

12) 저작권법 제2조 제1호.

이 사안에서 대법원은 출처 표시의 방법과 관련하여 “저술의 성격 내지 학문 분야에 따라 요구되는 출처표시의 정도에 차이가 있을 수는 있으나 출처의 표시는 저작물의 이용 상황에 따라 합리적이라고 인정되는 방법으로” 하여야 하고 규정하면서 인용의 기본적 원칙을 제시하였다.

대법원은 포괄적 인용의 인정 여부와 관련하여 “서문이나 참고문헌 등 본문 이외의 부분에 포괄적·개괄적으로 피인용물을 표시하였더라도 특별한 사정이 없는 한 타인의 저술을 베껴 저자 자신의 것처럼 하려는 인식과 의사가 추단되고, 종전의 관행에 따랐다는 사정만으로 책임을 면할 수 없다”고 판시하면서 보다 엄격한 표절의 기준을 제시함으로써 소위 포괄적 인용을 정당한 인용이 아닌 명백한 표절로 판시하였다.

대법원은 자기표절을 표절로 볼 것인지 여부와 관련하여, “학문이나 사상의 심화·발전 과정에서 저자 자신의 선행 연구물의 일부를 이용하는 것은 학문의 속성상 당연하고, 저자가 자신의 선행 저술을 이용하여 새로운 저술을 하면서 선행 저술의 존재를 출처로 표시할 때는 타인의 저술을 인용하는 경우에 비하여 요구되는 출처표시의 수준이 완화되나, 자신의 선행 저술의 존재를 아예 밝히지 아니하는 경우에는 학계, 독자 등이 선행 저술 부분까지도 후행 저술의 연구 성과인 것처럼 기만당하게 되어 후행 저술의 연구업적에 대한 과장된 평가가 이루어지고, 후행 저술에 대한 적정한 검증이 이루어질 수 없게” 한다는 점에 비추어 “저자 자신의 선행 저술을 이용하여 새로운 저술을 하면서 선행 저술의 존재를 일정한 출처표시를 통하여 밝혔더라도 후행 저술에 새롭게 가미된 부분이 독창성이 없거나 새로운 것으로 인정받기 어려워 해당 학문 분야에의 기여도가 없는 경우에는 후행 저술을 새로운 저작물로 인식한 독자들의 기대를 저버리는 것이 된다”고 하여 이러한 행태를 자기 표절로서 비전형적 표절 내지 표절에 준하는 연구부정행위로 평가하였다.

대법원은 표절여부의 판단 시기와 관련하여 “특별한 사정이 없는 한 저작물 작성 시점의 연구윤리에 따라 표절 여부를 판정하여야 한다”고 판시하였다.

대법원은 연구윤리 위반여부 판단의 근거와 관련하여 “연구

윤리는 사회통념이나 학계의 인식 등에 기초하여 연구자가 준수하여야 할 보편적·통상적인 기준을 의미하고, 반드시 성문의 연구윤리규정에 한정되지 아니”하는 것으로 보았으며, “성문의 연구윤리규정에 특정 행위를 표절로 보는 조항이 도입되기 이전에 연구자가 그러한 행위를 하였더라도 이러한 사정만으로 그 행위를 표절로 볼 수 없는 것은 아니다.”라고 판시하여 비록 명문화된 법적 근거가 부족하더라도 표절로 인정될 수 있는 여지를 남겼다.

대법원은 표절 판단의 주체와 관련하여, “원칙적으로 해당 학문 분야에서 자체적으로 논문의 표절 여부를 판정하나 당해 사건이 사법심사의 대상이 되는 경우 법원이 판단의 주체”라는 점을 분명히 함으로써 연구윤리 제반규정에 따른 판단에도 불구하고 최종적인 법원의 판단은 그와 다를 수 있음을 명시하였다. 다만, 대법원은 그 판단에 있어 논문의 심사기관, 학술단체 등의 논문 표절 여부에 관한 판단에 구속되지는 않지만 “해당 분야의 전문가의 의견을 참조할 필요는 있다”고 하여 전문가 의견의 참조 범위를 명백히 하였다.

종합하건대, 위 판결에서 대법원은 당시까지 윤리와 법의 경계에 있던 표절의 문제가 사법적 심사의 대상이고 최종적인 판단의 주체는 법원임을 명백히 하였을 뿐만 아니라, 포괄적 인용과 자기 표절 역시 연구윤리 위반행위임을 분명히 함으로써 그 기준을 엄격하게 설정하였다. 이러한 법원의 의지는 향후에도 연구윤리 위반에 관련된 법적 분쟁의 결과를 예측함에 있어 중요한 선례가 될 것이다. 다만 연구윤리 위반여부를 판단함에 있어 사법 심사의 역할 강화는 신뢰도를 제고한다는 긍정적 기능에도 불구하고 연구윤리 위반 문제가 소송으로 비화되는 빈도가 증가하여 갈등을 확대하는 부정적 기능도 있는 만큼 연구윤리 문제를 사법심사 이전에 관련 합리적 규정과 절차로 해결할 수 있도록 대안을 마련할 필요가 있을 것이다. **KT**

노벨 경제학상을 통해 들여다보는 과학기술 공적개발원조

김태형

미래전략팀 연구원
kimth@kist.re.kr



지난 10월 14일, 2019년 노벨경제학상 수상자가 발표됐다. 올해의 수상자는 아브지히트 바네르지, 에스테르 뒤플로 MIT 교수와 마이클 크레이머 하버드대 교수이다. 이들은 행동경제학을 빈곤 문제에 적용함으로써, 현장 기반의 실험적 연구에 기반한 새로운 개발 경제학의 방법론을 정립했다.

선진국들은 매년 개도국을 위한 대외원조로 천문학적 금액을 사용하며, 그 비용은 지난 50년간 총 2조 3000억 달러에 달한다. 그럼에도 불구하고 빈곤국의 많은 아이들은 몇 달러짜리 모기장과 백신이 없어 말라리아로 죽어가고 있다. 이렇게 대외 원조가 큰 실효성을 보지 못하는 현상에 대해 기존 대부분의 사람들이 생각해 왔던 원인은 개도국 정부가 부패해 선진국의 원조가 국민들에게 제대로 전달되지 않는다거나, 개도국 사람

들의 낮은 교육수준으로 인한 합리성 부족이나 근면성 부족과 같은 수원국의 책임이 주가 되는 이유들이 대부분이었다.

하지만 이번 노벨상 수상자들의 연구결과에서 우리는 가난한 사람들도 충분히 합리적인 선택을 내리고 있다는 사실을 발견할 수 있었다. 다만 그들에게는 오지 않은 내일보다, 당장 오늘에 집중하는 것이 더 합리적인 선택이라는 차이점이 위와 같은 결과를 만들어 낸 것이었다. 미래의 생존을 위한 예방주사 접종보다 당장 오늘 저녁 가족과 함께하는 식사가 그들에게는 더 큰 가치를 지니는 일이라 할 수 있는 것이다. 이러한 선택은 개도국 사람들뿐만 아니라 모든 인류가 동일하게 갖는 심리학적인 문제지만 가진 것이 적은 사람들에게는 그 선택으로 인한 결과가 더욱 크게 다가오게 된다.

따라서 지금까지 많은 자본이 투입되고, 많은 인력이 파견되었음에도 수많은 국가의 대외원조가 실패라는 평가를 들었던 것은 개도국 국민들의 심리를 정확하게 반영하여 그들을 돕기 위한 밑바탕이 되는 최선의 정책이 마련되지 못했기 때문이라고 할 수 있다.

우리나라는 세계에서 가장 빠른 속도로 원조를 받는 나라에서 원조를 하는 나라로 탈바꿈한 국가이다. 아직 절대적인 원조 규모에서는 주요 국가들과 양적인 차이가 존재하지만 OECD 개발원조위원회에 가입한 이후 매년 그 규모가 10% 이상씩 증가하고 있을 만큼 빠른 속도로 크기를 키워나가고 있다. 특히 개도국들은 눈부신 속도의 과학기술 발전을 통해 급격한 성장을 이룩한 우리나라의 성장 모델을 바라보며, 우리나라에게 과학기술 관련 원조를 기대하고 있는 상황이다.

기존 우리나라 공적개발원조(ODA)에서 과학기술 분야가 차지하는 비중은 그다지 높지 않았다. 하지만 개도국들의 이러한 요구에 발맞추어 최근 과학기술 관련 원조비용은 급격하게 증가하고 있는 추세이다.

앞으로 중요한 것은 개도국들에게 어떠한 형태의 과학기술을 어떤 방식으로 지원해야하는지 결정하는 것이다. 이번 노벨 경제학상 내용을 바탕으로 생각해 보았을 때 가장 중요한 것은 개도국 실정에 맞는 정책을 수립하고 그들의 수준에 맞는 기술을 지원하는 것이다. 그렇지 못할 경우 기존의 다른 대외원조와 다를 바 없이 뚜렷한 효과를 얻지 못하고 밑 빠진 독에 물 붓는 형태의 원조만 이루어지게 될 것이다.

우리 정부도 이미 개도국에게 적절한 과학기술을 제공하기 위해 다양한 정책을 펼치고 있다. 가장 대표적인 것 중 하나가 현재 세계 각국에서 운영 중인 적정기술센터이다. 적정기술이란 ‘중간기술’이라는 용어에서 시작 된 말로 기술의 예상 사용자들을 면밀하게 관찰한 뒤, 그들의 사고, 행동, 문화에 맞추어 실제로 쓰일 수 있는 기술을 만들어 제공하는 것이다.

하지만 한편으로 적정기술 위주의 지원에는 분명한 한계가 존재하기도 한다. 이러한 형태의 지원을 통해서, 장기적으로 개도국의 자립역량을 강화하는 데 한계가 있고, 지역적인 소규모 문제를 해결해 주는 형태의 지원에 그칠 수밖에

없기 때문이다. 따라서 궁극적으로는 적정기술 차원을 넘어, 개도국의 과학기술 역량 자체를 강화시켜줄 수 있는 형태의 지원이 이루어져야 할 것이다.

이번 노벨 경제학상의 의의는 대외원조를 통한 개도국 발전에 대해 기존과는 다른 시각을 가지고 접근함으로써 새로운 방향성을 제시한 것이라 할 수 있다. 이는 매년 수조원대의 대외원조 관련 예산을 소요하고 있는 우리나라에게도 그 의미가 크다고 할 수 있는 수상이다.

과학기술ODA는 적절하게 적용될 경우 개도국에게 장기적인 성장동력을 마련해 줄 수 있으며, 일회성 물품 지원 등과는 달리 힘 있는 개인의 판단에 휘둘릴 가능성을 최소화 할 수 있는 가장 효과적인 대외원조 방법 중 하나라고 할 수 있다.

우리나라도 과거 선진국의 대외원조를 통해 현재 과학기술 강국의 기반을 닦을 수 있었다. 그 경험을 바탕으로 우리의 강점이라 할 수 있는 과학기술 측면에서, 개도국의 입장을 더욱 면밀하게 반영한 장기적 시각의 과학기술 원조를 실행한다면 우리나라와 수원국이 모두 윈윈(Win-Win)하는 결과를 얻을 수 있을 것이다. **ktg**

참고자료

- Banerjee, A. V., & Duflo, E. (2007). The economic lives of the poor. *Journal of economic perspectives*, 21(1), 141-168.
- Miguel, E., & Kremer, M. (2004). Worms: identifying impacts on education and health in the presence of treatment externalities. *Econometrica*, 72(1), 159-217.
- Duflo, E., Kremer, M., & Robinson, J. (2011). Nudging farmers to use fertilizer: Theory and experimental evidence from Kenya. *American economic review*, 101(6), 2350-90.
- 아비지트 배너지, 에스테르 뒤플로 (2012). 가난한 사람이 더 합리적이다. *생각연구소*.



Technology
Policy
Research
Institute

기술정책연구소

Technology Policy Research Institute