

# TePRI

## REPORT

2019 • vol.102

11



**전망대** '문샷형 연구개발'과 '파괴적 혁신'에의 도전

**Focus** 과학과 예술, 동경에서 동행으로

**Insight** Artist's View of Science, 사용된 미래展

### Part 01 R&D Spotlight

- 01. 기획특집 : DARPA에서 찾는 '도전하는 연구' 실천의 길, 하나
- 02. 이슈분석 : World Economic Forum 선정 - 2019년 10대 유망기술 (1)

### Part 02 R&D In&Out

- 01. 주요 정책동향 : 범부처 연구개발 관리 규정·지침 표준안 제시
- 02. TePRI, 정책 현장 속으로 : "플라스틱 폐기물의 재활용 방향과 전망" 참관
- 03. 글로벌 시장 동향 : 늘어나는 질병의 정확한 진단을 위한 노력, 복합 이미징 시장
- 04. Guten Tag! KIST Europe : 한-EU의 원자력 발전과 에너지전환 비교 분석 II

### Part 03 TePRI 休

- 01. 세계사 속 과학기술 : 볼츠만의 죽음
- 02. Law and Science : 과학자의 연구윤리: 도덕과 법의 경계 - 개념과 유형
- 03. 소통과 대화를 위한 재미있는 이노베이션 이야기 : 양손잡이 R&D와 출연(연)의 역할





기술정책연구소

Technology Policy Research Institute

08

## 人sight

Artist's View of Science, 사용된 미래展



13

## 일곱 번째 기획시리즈

DARPA에서 찾는 '도전하는 연구' 실천의 길,  
하나





## CONTENTS ●

### 04 **전망대**

‘문샷형 연구개발’과 ‘파괴적 혁신’에의 도전 4

### 06 **Focus**

과학과 예술, 동경에서 동행으로 6

### 08 **人sight**

Artist's View of Science, 사용된 미래展 8

### 14 **Part 01 R&D Spotlight**

#### 01. 일곱 번째 기획시리즈

DARPA에서 찾는 ‘도전하는 연구’ 실천의 길, 하나 15

#### 02. 이슈분석

World Economic Forum 선정 - 2019년 10대 유망기술 (1) 22

### 28 **Part 02 R&D In&Out**

#### 01. 주요 정책동향

범부처 연구개발 관리 규정·지침 표준안 제시 29

#### 02. TePRI, 정책 현장 속으로

“플라스틱 폐기물의 재활용 방향과 전망” 참관 31

#### 03. 글로벌 시장 동향

늘어나는 질병의 정확한 진단을 위한 노력, 복합 이미징 시장 32

#### 04. Guten Tag! KIST Europe

한-EU의 원자력 발전과 에너지전환 비교 분석 II 33

### 36 **Part 03 TePRI 休**

#### 01. 세계사 속 과학기술

볼츠만의 죽음 37

#### 02. Law and Science

과학자의 연구윤리: 도덕과 법의 경계 - 개념과 유형 39

#### 03. 소통과 대화를 위한 재미있는 이노베이션 이야기

양손잡이 R&D와 출연(연)의 역할 41

# '문샷형 연구개발'과 '파괴적 혁신'에의 도전

곽재원

가천대 교수  
kjwon54@gmail.com

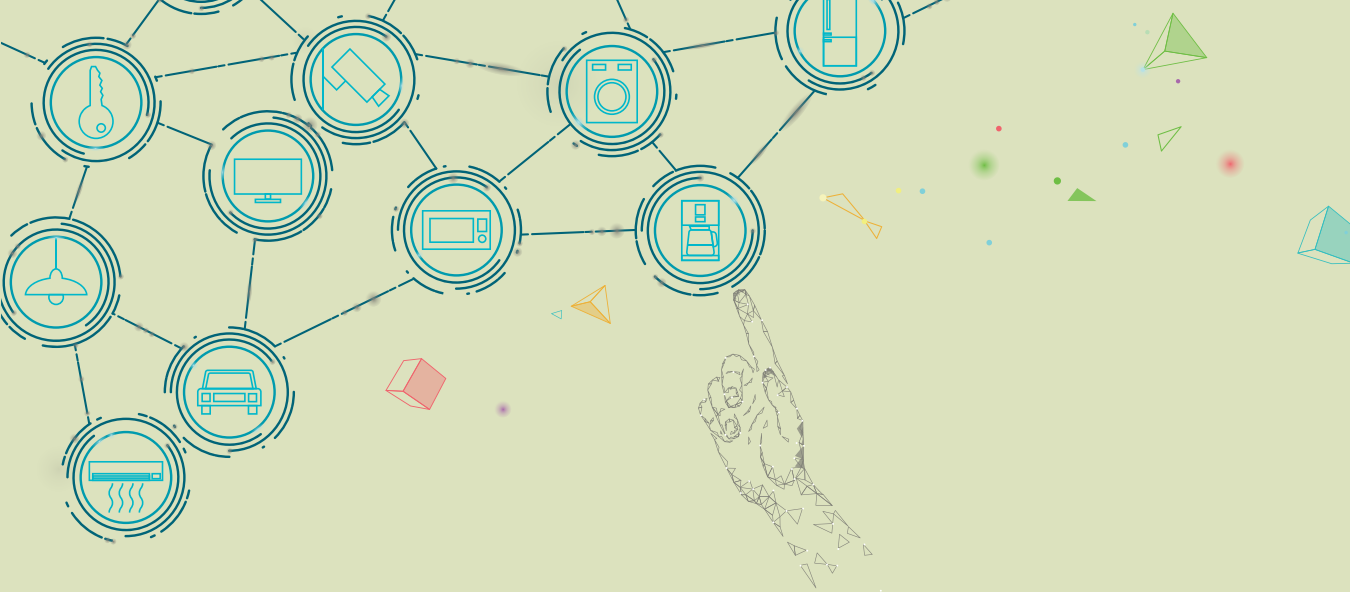
내년도 예산(안)에서 가장 주목되는 항목이 산업·중소기업·에너지, 연구개발(R&D) 부문이다. 내년도 예산은 올해 예산 469조6000억원에서 513조5000억원으로 9.3% 늘어난다. 무려 43조원이 증가한 팽창예산이다. 이 가운데 가장 높은 신장률을 보인 것이 이 두 부문이다. 산업·중소기업·에너지 부문은 23% 늘어난 22조3000억원, R&D 부문은 17.3% 늘어난 24조1000억원으로 각각 책정됐다.

정부가 이 2개 부문에 예산 집중도를 높인 것은 소재·부품·장비의 기술 자립화, 창업지원, 신재생에너지 공급확대, AI(인공지능)를 비롯한 제4차 산업혁명의 신기술과 신산업 육성 등 과학기술·산업정책에 대한 기대를 반영한 것으로 보인다. 우리 경제의 현재를 강화하면서 미래를 담보 하려는 의지가 예산에 투영된 모습이다.

이에 따라 과학기술계와 연구계는 갑자기 늘어난 예산에 어떻게 대응 할지 머리를 짜내고 있다. 예산 선물(?)에 마냥 즐거워할 만 할 일이 아니기 때문이다. 나라 안팎의 경제 상황이 악화되고 있어 특히 해외의존도가 높은 우리나라가 어느 나라보다도 큰 타격을 받을 전망이다. 게다가 강대국들 간의 기술패권경쟁을 배경으로 한 무역마찰이 심화되고 있는 것도 우리에게겐 악재다. 디지털 혁명이 근간이 된 제4차 산업혁명에서의 세계 경쟁력을 갖추려고 발돋움하는 우리의 현실을 살펴보면 지금 우리 경제는 성장과 퇴락의 분기점에 서 있다고 볼 수 있다.

이런 상황에서 정부의 기대를 한 몸에 받는 과학기술·연구계는 부담을 갖지 않을 수 없게 됐다. 증거를 보여줄 연구개발, 경제로 나타나는 연구 개발, 국민에 보답하는 연구개발 등 사회적 요구가 분출하고 있는 게 사실이다. 때문에 과학기술·연구계가 지금부터 어떤 벡터(지향점)을 갖고 나갈 것인지가 국가적 관심거리로 떠오르고 있다.

혁신 전문가들은 현 상황이 급박해도 현실대응에 집착하는 것은 하책(下策)이라고 지적한다. 이럴 때 일수록 어느 한편에서는 묵묵히 미래를 준비해야 한다고 이들은 강조한다. 이른바 투 트랙의 관점이다.



과학기술혁신에서 ‘문샷(moonshot) 프로젝트’는 오래된 얘기지만 요즘도 여전히 유효한 이론이다. 미소 우주개발 경쟁에서 미국이 옛 소련에 계속 밀리자 1962년 9월 12일 케네디 대통령은 달을 조금 더 잘 보기 위해 망원경의 성능을 높이는 대신 아예 달에 갈 수 있는 탐사선을 만들겠다는 창의적인 생각을 떠올렸다. 문샷은 ‘달 탐사선의 발사’를 뜻하지만 혁신적인 프로젝트를 의미한다. 실리콘 밸리에서는 불가능해 보이는 혁신적 사고를 실제로 만들어 나가는 것을 ‘문샷 싱킹’이란 말을 쓴다.

이런 관점에서 최근 일본정부가 국민 생활과 산업을 크게 바꿀 가능성을 지닌 ‘파괴적 이노베이션’을 배출할 새로운 연구개발 제도를 시작한 것이 주목된다. 저출산·고령화, 환경, 과학기술에 의한 프런티어 개척 등 3개 테마를 설정해 5년간 약 1조원을 투입한다는 것이다. 실패를 두려워하지 않는 야심적 연구를 밀어주는 제도다. 자금력에서는 미국과 중국에 뒤지지만 일본의 강점을 살려 혁신적 기술을 내놓는 ‘선택과 집중’을 꾀하는 전략이다.

일본정부가 신설하는 것은 ‘문샷형 연구개발 제도’로서 인류를 달에 보낸 아폴로 계획에서 본을 따고, 실행 주체는 미국 국방부 산하 국방고등연구기획국(DARPA)을 모델로 삼았다. 목표는 예컨대 ‘자연재해로 인한 사망자 제로’, ‘우주 엘리베이터의 실현’, ‘고령화로 저하한 신체능력을 회복하는 사이보그 기술’, ‘지구상으로부터 쓰레기 소멸’, ‘인공동면’ 등과 같은 것들로 2015년~2060년께나 실현될지 모를 많은 아이디어들을 포함하고 있다.

이 프로젝트의 좌장을 맡은 고바야시 요시미쓰(小林喜光) 전 일본경제동우회 대표간사는 “젊은 연구자들의 로망을 환기시킬 수 있는 스토리성이 필요하다”고 강조했다.

파괴적 이노베이션을 만들어 내기위해 구미국가들도 국가가 주도하는 대형 연구를 강화하고 있다. 미국 국립과학 재단(NSF)은 ‘10대 아이디어’로 불리는 사업에 착수했다. 2019년 회계연도에 3억달러(약 3300억원) 규모의 자금을 투입한다.

유럽연합(EU)은 2018년부터 3년간 하이리스크형 연구 등에 27억유로(약 3조3500억원) 의 예산을 투입해 오고 있다. 유럽발 혁신적 기술을 만들어 존재감을 높이겠다는 뜻이다. 그 배경에는 첨단기술에서 미국과 패권을 다투는 중국의 존재가 있다. 예를들면 고도의 계산을 동반하는 연구에 없어서는 안되는 슈퍼컴퓨터다. 최신의 계산능력 랭킹에서 1, 2위는 미국이지만 중국은 500위 이내에 들어간 대수 면에서는 45%를 차지하고 있다. 최근 구글의 양자컴퓨터 개발 성공으로 이 경쟁은 한층 고조될 전망이다.

이같은 일본, 미국, 유럽, 중국의 사례는 우리에게 많은 점들을 시사하고 있다. 파괴적 혁신을 일으키기 위해 문샷형 연구개발이 반드시 필요하다는 점이다. 한국도 문샷형 연구개발을 통해 미래를 향한 파괴적 혁신에 도전해 나가야 할 시점이다. **kt**

# 과학과 예술, 동경에서 동행으로

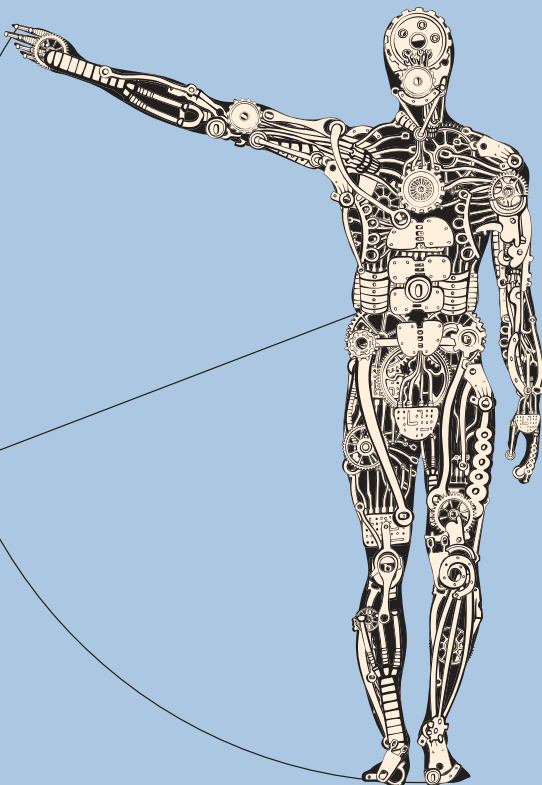
김 현 우

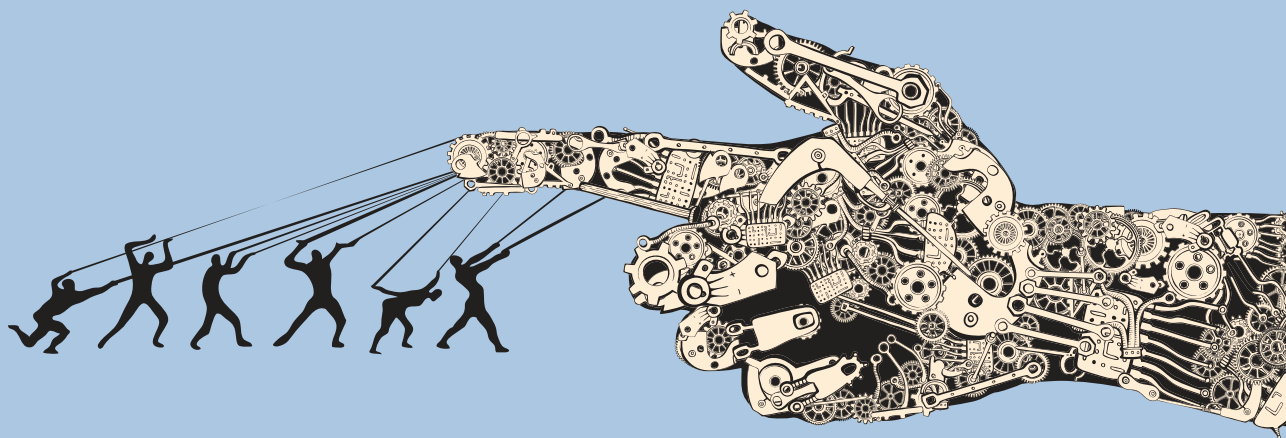
정책기획팀장  
kimhyunu@kist.re.kr

“예 술가 시선에서 과학기술을 표현해 보면 어떨까요?” 지난 2018년 10월, 홍릉포럼 계획안을 검토하는 실무기획단 회의에서 나온 제안이었다. 홍릉포럼은 홍릉연구단지 활성화를 위해 만든 협의체이다. “꼭 필요하다고 생각합니다. 요즘 과학기술은 너무 어려워요. 예술 작품으로 표현한다면 일반 국민이 과학기술을 이해하는 데 도움이 되겠습니다.” 사실 한세대전 접했던 과학기술 뉴스의 대부분은 우리가 일상에서 접하고 혜택을 누리고 살고 있었던 것이었다. 예를 들어 유선전화 디지털 교환기를 세계 몇 번째로 개발했다거나 우리 기술로 만든 고속철을 탈 수 있게 되었다는 것이었다. 그랬기에 일반 시민도 연구성과의 내용을 쉽게 이해하고 그 가치를 가늠할 수 있었다.

이런 긍정적 경험은 우리 국민들이 과학기술에 보여주는 전폭적인 신뢰와 지원의 근원이었다. 이런 신뢰는 지금도 유효하다. 일본과의 무역 분쟁에서 우리가 선택한 전략이 전년 대비 17.3% 증가한 24조 원이 넘는 과학기술 투자였다. 신뢰가 아무리 탄탄하다 할지라도 아무 노력 없이 무한히 지속될 수는 없다. 공공 연구개발은 국가 사회가 직면한 거대한 현안을 해결해 나감으로써 새로운 신뢰 기반을 쌓아나가야 하고, 당장 민간에서 수행하기 어려운 선도적 기초 원천연구의 비중도 높여야 한다. 사회적 현안 해결과는 달리 기초원천 연구는 그 의미를 전달하기가 매우 어렵다. 최고의 저널에 실린 세계적 기초 원천 연구라고 하더라도 그 연구가 어떤 모습으로 우리 생활이 될지 상상하기 힘들다. 그렇기에 시민과의 적극적인 소통이 더 중요해 지고 있다.

KIST와 수림문화재단은 지난해 11월에 열린 제13차 홍릉포럼에서 과학과 예술의 융합 전시회인 ‘Artist's View of Science’ 전을 개최한다고 발표했다. KIST 연구자들에게는 연구와 그 성과의 의미를 일반 시민에게 효과적으로 전달할 수 있는 예술이 필요했다. 그리고 예술가에게 과학기술은 새로운 창작의 소재이고, 수단이었다. 근세까지 한 몸이었다가 18, 19세기 경이의 시대를 거치며 나뉘었던 과학과 예술의 재융합





시도는 이처럼 동상이몽에서 출발했다. 일반 시민과의 더욱 긴밀한 소통이라는 공통 가치를 추구하며 Win-Win 방안을 모색하고자 기획위원회를 구성했다. 기획위원회에 과학과 예술의 융합전시 전문가로 프로젝트스페이스 사루비아 다방의 이관훈 관장을 비롯하여 JCC 미술관의 임경민 위원, 유니온 아트페어 대표 최선 작가를 모셨다.

기획위원회는 과학과 예술이 서로를 도구화하지 않고 작품 활동 전 과정을 함께 한다는 목표를 제시했다. KIST 연구자에게 전시회 취지를 알리고 참여자를 공모했다. 바쁜 연구자가 전시회에 참여할 것인가 하는 우려를 불식하며 10개 팀이 신청했다. 지난 3월 11일 기획위원회를 상대로 연구 내용을 소개하는 자리를 가졌다. 연구자들은 기획위원들이 잘 이해할 수 있도록 최대한 쉽게 발표자료를 준비해왔다. 과학자의 참여 열의에 기획위원들은 놀라워했다. 기획위원회도 속도를 내기 시작했다. 전시회 개념과 기획 전반을 담당할 큐레이터 선정에 들어갔다. 기획위원들은 8명의 큐레이터 후보에 대해 치열한 논의 끝에 사업에 가장 적합하다고 의견이 모인 박지인씨를 큐레이터로 선정했다.

기획위원회와 박지인 큐레이터는 실험적이고 도전적인 10명의 예술가를 추천했다. 이미 대형 개인 초대전을 개최하며 주목받는 관록 있는 예술가들이었다. 바쁜 작품활동을 하는 예술가들이었지만 모두가 흔쾌히 참여를 수락했다. 수림문화재단 홀에서 작가 포트폴리오 설명회가 열렸다. 회의실에서 진행된 연구자의 설명회가 강연 같았다면 예술가의 작품 세계 설명회는 또 하나의 공연이었다. 발표회 뒤로 작가와 연구자들이 자유롭게 대화하는 리셉션이 이어졌다. 이후 큐레이터의 주도로 기획위원회에서 연구자와 예술가의 매핑 작업을 통해 최종적으로 7명의 연구자와 5명의 예술가가 선정했다. 무더웠던 지난 8월 강릉 과학기술연수원에서 개최된 1박 2일 워크숍을 진행했다. 연구자와 예술가는 페르소나 발표를 통해 서로의 내적 요구를 확인하는 시간을 가졌다. 이런 서로에게 다가가려는 노력으로 작품 방향을 설정했고 전시회의 주제로 '사용된 미래' 도출했다. 산고의 시간을 보낸 '사용된 미래' 전시회는 오는 11월 28일 개막식을 시작으로 연말까지 열릴 예정이다.

1년간 준비 시간은 서로를 알아가는 과정이었다. 연구자와 예술가 간에 최적의 조합을 구성할 때 KIST 실무자는 순차적인 절차와 평가 기준에 따라 해답을 찾으려 했다. 하지만 예술가인 기획위원들은 결론을 낼 생각이 없다는 듯이 토론에 토론을 계속했다. 범위를 좁혀가는 느낌마저도 없었다. 결론이 나지 않을 것 같아 조바심이 한계에 다다를 시점, 한 번에 결론을 내렸다. 여러 요소를 입체적으로 고려한 탁월한 결론이었다. 그리고 예술과 과학은 누구도 가지 않은 길을 도전하고 있다는 점에서 닮아 있었다. 작품을 준비하는 과정을 리서치라고 부르는 예술가도 있었다. 연구자와 예술가가 본 전시회에 참여하게 된 동기 중의 하나는 다른 영역이라며 애써 외면하고 있었지만, 상대에 대한 동경이었다. 과학과 예술이 동행하는 이번 전시회가 일반 시민에게는 과학기술을 접하는 또 하나의 채널이 될 것이다. **kg**

사용된 미래 2019.11.28.—12.27. 오프닝 2019.11.28.

김희수 기념 수림아트센터 아트갤러리



## Artist's View of Science, 사용된 미래

사용된 미래 전시는 2019년 11월 28일부터 12월 27일까지 약 한달 간 한국과학기술연구원과 수림문화재단이 함께하는 과학자와 예술가가 바라보는 미래에 대한 시각을 다룬 전시이다.

본 전시를 통하여, 인간의 미래에 편리한 삶을 예비하는 과학과 삶의 이치와 미래지향을 표현하는 예술의 장르적 만남을 과학자와 예술가의 시점에서 보여주고자 한다. 현대사회를 지탱하고 있는 과학기술 그리고 예술, 우리는 어떤 미래를 꿈꾸는 것일까? 이번 TePRI Report 11월호에서는, 다가올 전시를 기대해보며 이번 사용된 미래 전시에 참여하는 과학자와 예술가의 이야기를 들어보고자 한다.

김종주 미래전략팀장, [jongjoo@kist.re.kr](mailto:jongjoo@kist.re.kr) 박해령 정책기획팀, [kgofud@kist.re.kr](mailto:kgofud@kist.re.kr)



## 이 석 & 이준영



### [과학자]

이석 박사의 스마트 인터랙티브 블록은 상호 인터랙션이 가능한 조립형 스마트 토이로, 독창적 소프트웨어 코딩 교육, 창의력 학습 교구와 같은 교육용 콘텐츠로 활용할 수 있다. 또한 하드웨어, 소프트웨어 플랫폼 기술을 기반으로 토이를 넘어 AI와 Big Data 기술까지 접목할 수 있도록 개발 중에 있다.

### [예술가]

이준영 작가는 영상 및 설치 작업을 하며 주로 만화영화와 유튜브에서 많은 영감을 받아 최근엔 동물도 좋아할 수 있는 미술작품을 만드는 것을 목표로 두고 창작 활동 과정 중에 있다. 미술 같지 않은 미술을 지향한다.

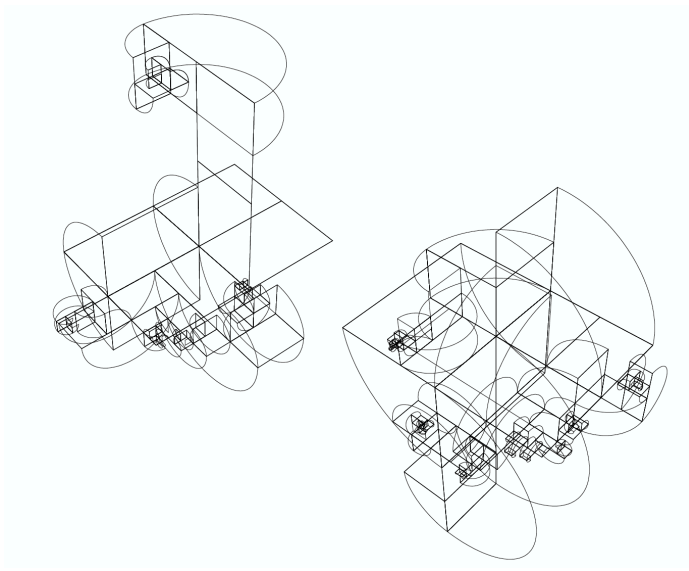
### Q 이번 프로젝트에 참여하게 된 동기와 이번 활동을 통해 기대하는 바가 있으실까요?

(이석) 저희가 연구 개발한 ‘스마트 인터랙티브 블록’이라는 스마트 토이가 가진 새로운 사용자 경험과 인터페이스가 예술과 만났을 때 어떠한 모습으로 변화할 수 있을까?라는 의문으로 프로젝트에 참여하게 되었습니다. 또한, 이번 프로젝트를 통해 과학과 기술이 예술작품으로 승화되면서 일반인들에게도 친숙하게 느껴질 수 있기를 바랍니다.

### Q 이석 박사님의 연구 중 하나인 ‘스마트토이’로 진행하고 있는 작품에서 보여주고 싶은 작가님의 주제의식은 무엇인가요?

(이준영) 이전 작업에서부터 고민해오던 토지, 집, 도시 등에 대한 관심사가 바탕이 되었고, 블록을 꽂는 행위가 마치 깃발을 꽂아 자신의 영역을 확보하는 행위와 비슷하다는 느낌을 받았 습니다. 그러한 상황에서 블록을 꽂는 일종의 땅따먹기 게임을 디자인하였고, 이번 작품을 통해 제가 문제의식을 갖고 있던 ‘토지의 사유화’에 대해 질문을 던지고자 합니다.

## 서민아 & 이동근



### [과학자]

서민아 박사는 KIST 센서시스템 연구센터에서 초고속 레이저를 이용한 광학 및 테라헤르츠 분광과 메타물질에 관한 연구를 수행 중이다.

### [예술가]

이동근 작가는 2015년부터 ‘낯선 정보’를 조사하며, 상상하게 되는 다양한 이미지와 행위들을 작업으로 옮기고 있다. 특정 정보에 대한 궁금증은 그 의문들을 해소하는 과정에서 또 다른 형태의 정보들과 연결되는데, 멀고 먼 정보의 여정 끝인 최종적 무지의 벽 앞에서 발견하는 것은 다름 아닌 본인의 욕망은 아닌가 생각해본다. 그 얼굴을 더 입체적으로 확인하고 표현하기 위해 지금 까지도 작업을 이어가고 있다.

## Q 서로 다른 장르를 접하는 경험에 대한 의미, 한 말씀 부탁드립니다.

(서민아) 사실 예술이라는 분야가 과학과 긴밀하게 연결되어 있습니다. 미술은 물리학 및 광학의 발전과 그 기초를 같이 하고 있고, 양자역학이 대두된 현대물리 역시 미술의 역사에 큰 영향을 끼쳤습니다. 또한 과학기술의 발전이 눈으로 볼 수 없던 미술 작품의 영역을 새로운 시각에서 볼 수 있게끔 하고, 이 때 얻어진 정보들이 손상된 작품의 복원이나 보존에 활용되기도 합니다. 이번 프로젝트 역시, 과학과 미술 등 예술이 서로에게 영향을 주고 교감할 수 있는 의미 있는 기회가 되기를 희망합니다.

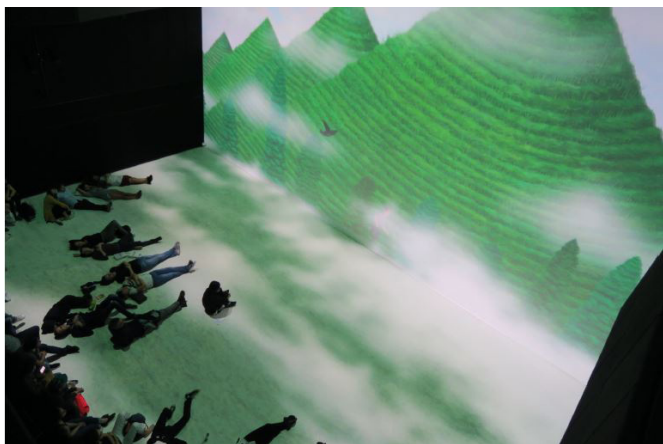
(이동근) 이번 프로젝트를 진행하며 경험하고 있는 ‘과학’이라는 장르에 대한 접근은 여러모로 저에게 새로운 도전이었습니다. 종전까지는 무언가를 보기위한 관점으로 특정 장르를 참조했지만, 이번에는 흥미롭게 생각하는 장르자체를 직접적인 대상으로 삼았다는 점에서 큰 차이가 있습니다. 이에 더하여 과학 중에서도 ‘빛’이라는 특정 연구 분야를 경험하며 그 시선과 태도에 동기화되는 저 스스로를 자주 확인하게 되었습니다. 다른 반사율의 거울을 통한 경험하지 못한 자아 성찰의 과정을 타 장르를 통해 직접적으로 경험하고 얻을 수 있었던 점이 가장 큰 특징이라고 할 수 있겠습니다.

## Q ‘미래’라는 추상적이지만 구체적인 언어에 대하여 어떻게 생각하시는지요?

(서민아) 사람들에게 ‘미래’라는 단어가 주는 인상은 세상의 발전과 그에 대한 일종의 기대를 포함하고 있습니다. 이번 전시 제목이기도 한 ‘사용된 미래’라는 말에 많은 의미가 함축되어 있다고 생각합니다. 우리는 미래를 담보로 이용해 그 가치를 이미 소모했다고 생각할 수 있습니다. 하지만, 동시에 미래에 대한 희망으로 인해 더욱 풍성한 현재의 삶을 살고 있기도 합니다. 이는 당연히 과학과 예술이 바라보는 같은 지점을 의미합니다.

(이동근) ‘과거’는 ‘현재’라는 관점에 포섭된 영역이고 ‘미래’란 현재가 포섭하지 못한 대상이라고 생각합니다. 누군가는 이 ‘미래’를 가설로 또 다른 누군가는 상상으로 대체하기도 하죠. 그 ‘상상’은 아직 모르는 지점에서 발생하는데 그렇기에 의심의 대상이 ‘미래’로 넘어가는 출입구가 될 수 있고 그 낮은 대상이 되는 현상들에게서 눈을 뗄 수 없다고 봅니다. 그 현상은 ‘과거’를 보는 ‘현재’라는 일반적인 언어의 틀을 벗어난 눈앞의 구체적 사건인데 ‘미래’는 포섭되지 않았기에 추상적이지만, ‘과거’와 ‘현재’의 논리를 벗어난 사건이기에 유일무이한 구체성을 지닐 수밖에 없다고 생각합니다.

## 임매순 & 최성록



### [과학자]

임매순 박사는 망막을 전기 자극하여 시각 장애인에게 시력을 회복하고자 하는 인공 시각을 연구하고 있다. 상용화된 인공 망막 장치보다 높은 해상도를 갖는 자연스러운 인공 시각을 위해 융·복합 연구를 진행 중이다.

### [예술가]

최성록 작가는 시대 시각문화에서 가장 큰 요소로 자리 잡은 디지털 비디오 문화(인터넷문화, 게임, 스마트폰, 드론문화, 고화질 영상기술)속에서 나타나는 단발적이며 분열적인 서사들과 축적적인 이미지들의 파편적인 현상에 대해 주목하고 있다. 우리가 매일 스크린이라는 표면을 통해 경험하는 데이터화된 잔상들의 풍경들과 우리가 눈으로 경험하는 실제의 풍경을 통해 얻은 기억과의 관계에 대해 탐구하는 작업을 진행 중이다.



**Q** 함께 진행하고 계시는 작품에 대한 간략한 소개 부탁드립니다.

(최성록) 이 작품은 빛에 대한 이야기로서, 사라진 빛의 세계를 인공시각으로 다시 구현하는 과정의 이야기를 비디오와 애니메이션으로 나타내고자 합니다. 빛의 시작과 소멸 그리고 인공망막연구로 사라진 빛을 다시 불러오는 시도 나아가 미래에 그 빛은 과연 어떻게 보일까? 라는 질문으로 구성되어 있습니다.

**Q** 박사님께서 과학기술을 통한 '시각 능력'의 회복과 관련하여 연구를 진행 중에 있는데 그 과정에서 '시각, 눈'이라는 것에 대해 느끼는 점이 있으실까요?

(임매순) 시각은 우리가 외부로부터 받아들이는 정보의 70~80%를 담당하는 아주 중요한 인지 수단입니다. 인공 시각을 연구할수록 방대한 양의 시각정보와, 눈을 포함한 여러 시각 정보 처리 기관의 복잡성과 정교함에 매우 감탄하고 있습니다.

**Q** 작가님의 경우, 과학 기술의 발전을 보다 긍정적인 측면으로 바라보고 계시는 것으로 알고 있는데, 그 이유가 궁금합니다.

(최성록) 미디어 아티스트로서 예술과 기술 그리고 과학적 주제에 대해 관심이 많으며 과학기술의 발전은 예술과도 밀접한 관계를 가지고 있다고 봅니다. 미디어아트라는 분야는 특히 과학 기술의 발전과 매우 밀접한 기술적·주제적 연관성을 가지며 그 영역을 점차 확장해 나가고 있지요.

**Q** 이번 <사용된 미래> 전시에서 기대하는 바가 있으시다면 무엇일까요?

(임매순) 현재 기술 수준으로 구현 가능한 인공 시각은 어떤 형태의 이미지일지, 미래의 인공 시각은 어떤 모습이 될지 예술가의 힘을 빌려 표현해 보고자 이번 전시에 참여하게 되었습니다. 무엇보다도 과학기술을 통해 시각 상실에 대한 두려움을 넘어서 수 있다는 희망의 메시지를 전하고 싶습니다.

## 조원일 & 이소요



### [과학자]

조원일 박사는 가볍고 출력이 높아 드론, 자율주행차에 적용할 수 있는 차세대 전지를 연구개발하고 있다. 리튬금속 표면에 인조보호막과 전해질 배합을 적용한 차세대 전지에 관한 원천기술은 괄목한 만한 성과로 인정받아 에너지 분야의 국제 학술지 'Nature energy' (IF:46.859) 10월호에 게재되었다.

### [예술가]

이소요 작가는 살아있는 생물이 인간의 문화 활동 속에서 작동하는 양상들에 관심을 가지며, 인간과 생물의 사회·문화·생태적 관계를 관찰하면서 작업 동기를 얻는 미술가이자 독립연구자이다.

**Q** 이번 <사용된 미래> 전시에서 보여주실 작품에 대한 간략한 소개 부탁드립니다.

(이소요) '전기 에너지'를 도시 기반시설이나 배터리 등 상품을 통해 늘 사용하면서도 그 본질에 대해 거의 알지 못했습니다. 차세대 이차전지 기술을 연구하는 공학자와의 만남을 통해 자연에서 소재를 얻고 사용하는 일에 대하여 생각하게 되었고, 생물의 대사나 물리적 속성에서 비롯되는 생물전기(bioelectricity)를

활용하여 누구나 만들 수 있는 키네틱 조형물을 제작하고 있습니다. 이번 작업을 통해 전기의 흐름과 저장에 대한 기초 원리를 친근하고 흥미로운 방식으로 전달하고자 합니다.

## Q 요즘 사회에서 이슈가 되고 있는 대체 에너지의 가능성에 대해 어떻게 생각하시나요?

(조원일) 대체 에너지로 거론되고 있는 것은 바로 화석연료의 대체를 말하는 것인데, 신재생에너지로 분류되는 태양광과 풍력, 그리고 에너지 매개체인 수소가 대표적입니다. 태양광과 풍력이 무한하고 청정한 에너지인 점은 사실이지만, 현재 우리가 쓰고 있는 에너지를 당장에 대체 가능하다고 여기는 것은 아직 선부름입니다. 그렇지만, 지구의 가까운 미래를 생각하면, 지속하여 개발해야 하는 에너지임을 부인하기 어렵다고 봅니다.

## Q 이번 전시를 통해 기대하시는 바가 있다면 짧막하게 한 말씀 부탁드립니다.

(조원일) 공학자로서, 연구의 주제 및 실험을 위해 오직 연구실에서의 실증적인 연구를 통하여 결과를 얻어내는 과정을 반복하였는데, 이번 작가와의 의견 교환 및 작품에 대한 공유를 통하여, 대중에게 쉽고 영향력 있게 다가가는 길이 있음을 깨달았고, 새로운 문화와 과학기술의 접점이 앞으로 더 늘어나는 계기가 될 수 있기를 기대해봅니다.

(이소요) 40년 가까이 에너지 기술 연구에 매진해 온 전문가와의 대화를 통해 ‘수명이 긴 전지’라는 목적을 뒷받침하는 복합적인 기술·사회·정책적 가치에 대하여 조금씩 배워가고 있습니다. 단편적인 깨달음이지만, 과학기술 연구 현장을 접하기 어려운 대중과 그 경험을 나누고자 합니다.

## 최준호 & 박재영



### [과학자]

최준호 박사는 로봇 기술을 이용하여 장애인의 재활 훈련이나 노약자가 일상 생활에서 필요한 동작을 보조해 줄 수 있는 재활 및 보조 기기를 개발하는 연구를 진행 중이다.

### [예술가]

박재영 작가는 스토리텔링 기반 영상, 공간 설치 등의 작업을 이어가고 있습니다. 작업의 주된 관심사는 인간 군체, 뇌과학, 인간의 군상을 조종하는 존재들이나 매체 등에 관한 것이며 최근에는 냄새, 소리 등의 비물리적 기재를 통해 이야기를 전달하는 작업을 하고 있습니다.

## Q 이번 <사용된 미래> 전시에서 보여주실 작품에 대한 간략한 소개 부탁드립니다.

(박재영) 제 아버지가 뇌졸중으로 쓰러지신 순간, 인류애와 인간 본성에 관한 철학에 기반 하는 거시적 관점에서의 예술행위가 실제 삶과 얼마나 멀리 떨어져있는지 다시금 깨닫게 되었습니다. 이번 작품을 관통하는 키워드는 ‘매칭’인데, 아버지가 쓰러지신 이후 아버지의 몸집이 생각보다 너무 작다는 것을 느끼면서 시작되었습니다. 본 작업은 아버지의 재활과정을 찍어 텔레비전이나 모니터로 보여줄 예정인데 영상의 크기를 조절하여 실제 아버지의 몸집과 같은 크기로 나타낼 예정입니다. 여기서 사이즈 매칭이 중요한 이유는 최준호 박사님과의 협업에서 마치 맞춤복을 지어내듯 한 사람을 위한 맞춤 디바이스를 고안할 예정이기 때문인데요. 보통 공공의 사용을 위한 보편성에 초점이 맞추어진 재활 도구의 개발과는 조금 다른 프로세스를 거쳐 저의 아버지를 위한 디바이스가 나올 수도 있을 것으로 생각합니다. 이번 작품 활동을 통해 예술가로서 아들 노릇을 제대로 한번 해볼 수 있지 않을까 생각합니다.

**Q 예술가의 개인적 경험에서 시작된 작품에 어떤 방식으로 참여하고 계신지요? 그리고 참여하는 과정 속에서 무엇을 느끼고 계시는지 짧게 한 마디 부탁드립니다.**

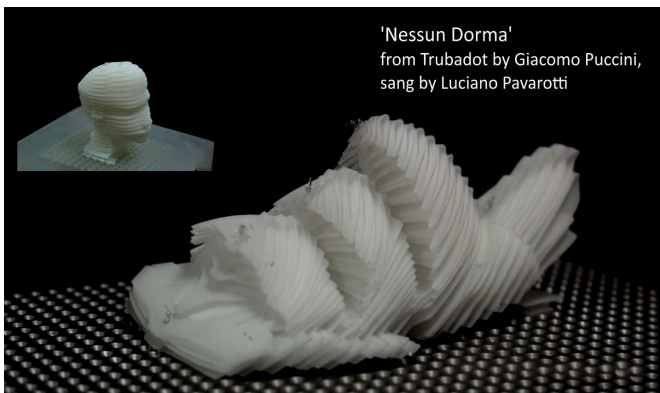
(최준호) 작가님과 논의의 통해 개발된 재활 기기를 한 개인에게 맞도록 수정하여 제공하고 있으며, 제가 개발한 재활 기기가 비록 작은 것이라도 한사람의 개인에게 미치는 영향이 매우 클 수 있다는 것을 느끼고 있습니다.

**Q 기술이 개인 혹은 사회에게 가져다줄 수 있는 가능성과 미래적 가치에 대한 의견 부탁드립니다.**

(최준호) 저출산, 고령화로 인하여 노약자나 장애인에게 적절한 의료 및 보조 서비스를 제공하기 점점 더 어려워지고 있는 현실에서 로봇을 이용한 의료 및 보조 기능 제공은 불가피한 선택이 될 것이며 새로운 산업으로의 발전 가능성도 매우 크다고 생각합니다.

(박재영) 기술에 대한 상상력은 일종의 희망으로 다가온다고 할 수 있는데요, 가령 할 수 없었던 많은 것들이 어찌면 첨단 기술을 통해 이루어 질수 있다는 희망은 개인이나 사회가 생존하고 생활하는데 일종의 밝은 판타지로서 기능한다고 생각합니다.

## 임세혁 & 이준영



**[과학자]**

임세혁 박사는 문화공연/예술작품에 대한 인간의 감응을 로봇이라는 새로운 매체를 이용하여 구현하고, 이들 창작품에 대한 인간의 심리적 반응을 메커니즘화하여 분석하는 연구를 진행 중이다.

**[예술가]**

이준영 작가는 영상 및 설치 작업을 하며 주로 만화영화와 유튜브에서 많은 영감을 받아 최근엔 동물도 좋아할 수 있는 미술작품을 만드는 것을 목표로 두고 창작 활동 과정 중에 있다. 미술 같지 않은 미술을 지향한다.

**Q 과학과 예술이라는 장르적 차이로 인해 느꼈던 점이 있으셨다면요?**

(임세혁) 과학 분야에서는 객관적이고 명확하게 용어를 사용하고 모든 현상에 대해서 해석하고 의미를 부여하는데 반해, 예술 분야에서는 관객들이 스스로 가질 수 있는 상상의 폭을 극대화

하는 것을 중요시하는 것 같아요. 이번 전시회를 준비하면서 이 둘의 균형점을 찾기 위해 많은 토의를 하였습니다.

(이준영) 과거에서부터 예술이 과학의 영향을 받지 않았던 적이 있었나 싶습니다. 단순히 기술적 발전뿐만 아니라, 예술은 저와 제 주변을 비롯한 대다수의 사람들의 삶에서 나온다고 생각합니다. 또한 우리의 삶을 이야기해야 한다고 생각합니다. 동시에 우리의 삶을 과학을 통해 변화하고 새로운 환경으로 노출됩니다. 그렇다면 두 분야는 이미 밀접하게 관계를 맺고 있는 것 아닐까요.

**Q 작가님과 과학자님께서 '미래 사회'를 어떻게 바라보고 계신가요?**

(임세혁) 미래사회의 기준은 시간이 아닙니다. 자연과 인간에 대한 새롭고 더 깊은 이해 없이는 오지 않으며 때문에 과학자와 예술가들이 매우 중요한 역할을 합니다. 이들이 만든 한편의 연극에 대해서 사람들이 얼마나 공감하고 그 메시지를 체화하느냐가 '미래사회'의 시기와 수준을 결정한다고 생각합니다.

(이준영) 미래를 바라보는 환상과 우려의 막연함에 대해 이야기 한다는 답변처럼, 조금은 막연하게 느껴지기도 합니다. 미래는 '지금'이 있어야 존재한다고 생각합니다. 막연한 미래를 상상하기 보다는 지금의 아쉬움에 대해 더 고민하고 것이 중요하다고 생각합니다. 아쉬움이 없는 지금이 왔을 때 미래를 상상하고 싶습니다. **klg**

PART.

01

# R&D Spotlight

---

---

일곱 번째 기획시리즈

DARPA에서 찾는 '도전하는 연구' 실천의 길, 하나

---

이슈분석

World Economic Forum 선정-2019년 10대 유망기술 (1)



# DARPA에서 찾는 '도전하는 연구' 실천의 길, 하나

이 효은

정보통신기획평가원 연구위원  
lee@iitp.kr

## DARPA의 과거, 현재 그리고 미래

**세** 계 각국이 도전적 연구 활성화를 통한 R&D생산성 향상과 4차 산업혁명 대응에 고심하고 있는 가운데, 설립 이후 60여년 혁신의 아이콘으로 상징되어 온 DARPA 모델이 새롭게 주목받고 있다. 과기정통부와 산업부가 2019년 DARPA(Defence Advanced Research Projects Agency, 미 방위 고등연구계획국)를 벤치마킹한 신규사업을, 일본도 ImPACT에 이어 Moon Shot 프로그램을 준비 중에 있다. 프랑스 마크롱대통령이 EU차원의 DARPA형 기관 설립을 주장하고 있는 가운데, EU는 Horizon Europe(2021~2027) 기간 정규 출범에 앞서 시범 운영 중인 Enhanced EIC(European Innovation Council) pilot 사업에서 DARPA형 PM을 공모 중이다. 이에 본지에서는 DARPA의 일반 현황과 성공요인, PM제도 및 사업추진방식에 대한 체계적 이해를 위한 기획특집 시리즈를 3회 연속 게재하고자 한다. 그 첫 번째로 DARPA 일반 현황과 발전과정 및 성공요인을 살펴본다.<sup>1)</sup>

### 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

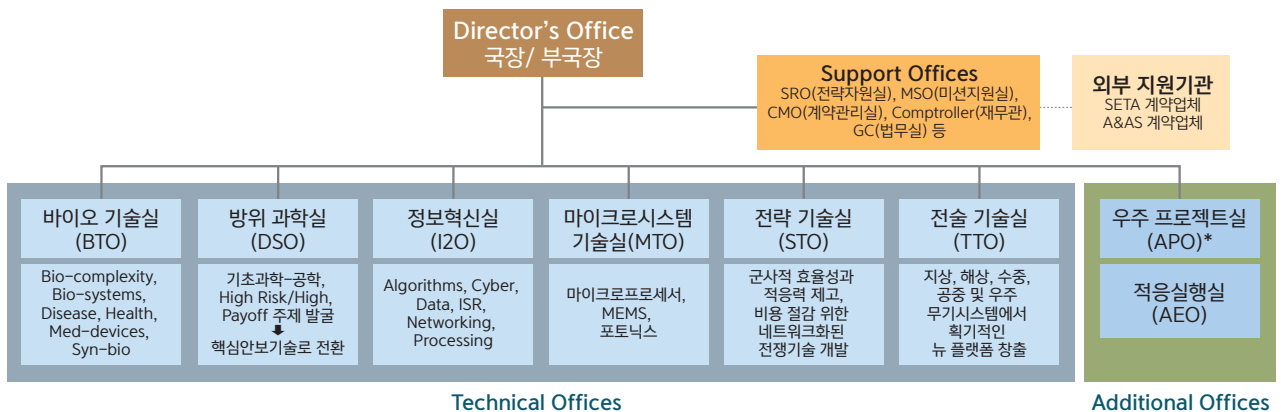
## 1 DARPA 일반 현황

DARPA는 ‘국가안보를 위한 기술혁신 투자에 중심역할을 수행’하는, 미 국방부 산하 R&D 기획·평가·관리 전담기관이다. 국내에서 DARPA를 연구소로 소개하는 경우가 있었는데, 미국에서도 정체성에 대한 오해가 있는지 알 수 없으나 DARPA는 스스로 ‘자체 연구소도 연구인력도 보유하지 않는 연구지원기관(funding agency)’임을 분명히 하고 있다. 그러나 DARPA가 미 국방부 유일의 R&D 지원기관은 아니다. 미 국방부는 본부에 해당하는 국방장관실(Office of the Secretary of Defence), 육군부, 해군부, 공군부, 합참(Joint Chiefs of Staff)으로 구성되는데, 각 군들이 독자적인 연구 및 사업관리기능을 보유하고 있기 때문이다. DARPA는 국방장관실 산하 연구개발사업을 총괄하고 있으며, 2018년 예산은 30.7억 달러로, 국방부 과학기술(S&T) 예산의 20.6%, RDT&E(Research, Development, Test and Evaluation) 예산의 3.4%를 담당하고 있다.

DARPA의 미션은 파괴적 혁신기술에 전략적 선제 투자로 ‘적국으로부터의 기술적 충격은 방지하고 적국에 대한 기술적 충격은 창출’하는 것이다. 미국 정부는 DARPA에게 미국이 더 이상 구 소련에 의한 스푸트니크 쇼크(sputnik shock) 같은 전략적 기술충격(strategic technological surprises)의 희생자가 아닌 창출자(initiator)가 되기 위한 임무를 부여하고 있으며, 이를 위해 오늘날 존재하는 것 너머를 보며 미래의 가능성에 초점을 맞추기를 요구하고 있는 것이다. 따라서 DARPA hard-niche 즉 집중지원대상은 고위험-고수익 기술, 파괴적 혁신, 세상을 바꿀 첨단혁신으로 설명되며, 기초과학과 패러다임 전환형 수요 간 가교역할(Bridging the Gap)을 담당하고 있다.

DARPA에는 220여명의 직원이 근무하고 있는데, 2018년 11월 PM(Project Manager)이 96명을 차지하고 있다. 운영 프로그램 수는 250여개이며, 각 프로그램을 구성하는 협약과제는 약 1,000개로 알려진다. 본부는 2009년부터 버지니아 주 엘링턴에 위치하고 있다. DARPA 조직은 미션수행의 중심역할을 담당하는 기술실(Technical Office)과 이들에 대한 지원부서(Support Office) 및 기타 부서(Additional Office)로 구성된다. 기술실은 시대적 요구와 기술트렌드를 반영하여 개편이 이루어져 왔는데, 최근에는 적응실행실이 6대 기술실에서 탈락하고 바이오기술실이 추가되었다. 특별프로젝트실(Special Project Office, SPO)은 신속하게 첨단 기능들을 조정, 개발, 배치하기 위하여 DARPA 특유의 조직적, 기술적 자원을 활용하기 위한 임시조직으로, 현재 Aerospace Projects Office(APO) 1개만 존재한다. 각 기술실은 실장, 부실장, PM 및 미션별 담당자(Assistant Director for Project Management, Program Security Officer, Program Analyst)로 구성된다. DARPA는 부족한 자체 인력을 보충하기 위해 SETA(Scientific, Engineering and Technical Assistance) 및 A&AS(Advisory and Assistance Services) 계약을 통해 외부 전문성을 지원받고 있다.

| 그림 1. DARPA 조직도 |



주) Support Offices 및 Additional Offices는 홈페이지 등의 정보들을 통해 필자 추정  
자료 : IITP, 2018

## 2 ▶ 순탄치만은 않았던 DARPA의 성장 과정

앞서 언급대로 DARPA는 1957년 구 소련의 스푸트니크 발사를 계기로, 냉전 시대 적국의 기술적 성취 특히 국방기술에서 뒤쳐질 수 있다는 위기의식에 기초하여, 1958년 2월 아이젠하워 대통령에 의해 ARPA(Advanced Research Projects Agency)로 설립되었다. 아이젠하워 대통령은 과학기술연구 기구를 국방부 산하에 설립하되, 연구의 창의성과 독자성을 보장하기 위해 관료의 간섭을 최소화시킨 독립적인 운영 체계를 갖추도록 하였다. 설립 당시 ARPA는 우주프로그램도 담당하였으나, 아이젠하워 대통령이 우주는 민수 영역임을 강조함에 따라 비군사적 기관으로 NASA 설립(1958년 7월) 후 우주관련 업무는 이관하였다. 설립 당시 예산은 5.2억 달러였으며, 초대 국장(Director)인 Roy Johnson은 GE의 16만 달러의 연봉을 포기하고 연봉 18,000 달러의 ARPA 국장에 취임한 것으로 유명하다.

설립 이래 DARPA 미션은 본질적 변화없이 유지하여 왔으나, 주요 사업영역은 기술적, 정치적 상황에 따라 시기별로 변화를 거듭하였다. 이는 기관명이 1958년 ARPA에서 1972년 DARPA, 1993년 ARPA, 1996년 다시 DARPA로 변경을 거듭한 것에서도 잘 드러난다. DARPA가 설립 60주년을 기념하여 발간한 보고서 ‘DARPA 1958~2018’(2018)에 의하면, 1958~1970년 정착기에 DARPA는 많은 성취와 더불어 시련이 동반하는 시기를 보내야 했다. 출범 시 우주, 미사일 방어(Defender), 핵실험 탐지(VELA) 등 3가지 미션을 담당하다가 우주프로그램을 NASA로 이관하고 AGILE(베트남전 비밀프로그램)이 추가되었는데, AGILE 프로그램은 비과학적이고 단기성과 지향적이며, 관리의 비체계성으로 인해 DARPA가 답습해서는 안 될 교훈으로 남게 되었다.

특히 베트남전에 대한 비판 여론, 국방예산 삭감, 핵심 3개 프로그램(Defender, Vela, AGILE) 간 상호 연계 없는 제각각 운영으로 DARPA는 호된 비난에 직면해야 했고, 1965년에는 국방부 장관(Cyrus Vance)이 DARPA 폐지를 옹호하는 등 최대 위기에 봉착하였다. 그러나 이 시기 재료과학, 정보기술, 행동과학 등의 분야에서 기술적 서프라이즈 방지를 위한 소규모 기술프로그램들이 착수되었는데, 오늘 날 인터넷의 시초가 된 ARPANET 프로젝트도 그 중의 하나였다. 1970년대는 DARPA의 부활기로서, 1970년대 중반까지 Defender의 육군 이관, AGILE 프로그램 정리(대부분 폐기 및 일부 흡수), Strategic Technology Office 신설 등 대대적인 프로그램과 조직 개편을 단행하고, 유럽 주둔 소련 군에 대항하기 위한 핵무기 대체기술 개발 미션을 담당하며 1973년부터 향후 20년간 지속될 장기 연구개발프로그램들(network-centric warfare, stealth technology 등)에 착수하는 등 활력을 회복하였다.

이 후 1980년대에는 Offset Strategy에 의거, 스텔스, 정밀타격, 무인정찰기 분야의 연구결과를 국방현장으로 활발히 기술이전하였고, 냉전종식이 이루어진 1990년대에는 클린턴행정부의 dual-use 정책에 의거, 민군겸용기술 개발이 주요 미션으로 추가되었다. 2000년대에는 테러와의 전쟁을 위한 조직 및 프로그램의 대대적 개편이 이루어졌으며, 자율주행분야 DARPA Challenge가 세계적인 관심을 불러 일으켰다. 2010년대는 국방기술력의 국가 간 격차 축소 및 테러위협 상존으로 미션 달성이 그 어느 때보다 험난함을 인식하고 전략수립에 고심하고 있으며, 바이오기술실 신설 등 조직 개편과 융합연구 및 AI·퀀텀컴퓨팅 등 첨단 정보기술 지원을 강화하고 있다.



### 3 세상을 바꾸어 온 DARPA의 성과들

DARPA가 혁신의 아이콘으로 평가받는 것은 혁신지향적 문화와 그 실천뿐 아니라 이를 기반으로 괄목할 성과를 지속 창출하여 왔기 때문이다. 설립 초기 DARPA는 NASA와 공동으로 세계 최초 기상위성(TIROS 1)을 개발하고 우주궤도 진입에 성공시켰다(1960년). 1964년에는 최초의 컴퓨터 마우스를 개발하였으며, 1969년에는 인터넷의 전신인 ARPANet을 개발하였다. 1970년대에는 반도체 핵심재료인 갈륨-아세나이드(GaAs)(1972), 스텔스기술(1977), 엑시머 레이저(1978), 구글맵 스트리트뷰 기술(1979) 등을, 1980년대엔 소형 GPS 수신기(1983), 무인기인 Unmanned Aerial Vehicle(1988) 등 역사의 한 페이지를 장식한 기술들을 개발하였다. 1990년대에는 무인기인 Predator(1995), Head-Mounted Display(HMD)(1997) 등을 개발하였고, 2000년대 이후에는 애플이 상용화 한 Siri(2002), 견마형 로봇들인 Big Dog(2005)과 LS3 Pack Mule(2013), 장거리 대함 미사일(2014) 등을 개발하여 국방 패러다임 전환과 정보화시대 성숙에 중요한 기여를 하였다. 또한 2000년대부터 본격화 된 DARPA의 챌린지프로그램들은 세계적인 주목을 받으며 미래형 기술의 검증과 더불어 열정으로 무장한 연구자들에게 도전의 장을 제공하고 있다.

### 4 DARPA 모델 재고찰

DARPA의 특징과 성공요인은 DARPA 모델로 볼릴 만큼 그 독특함과 작동기제가 주목받고 있다. 기존 DARPA 분석 보고서들은 다양한 요인들을 제시하고 있는데, 이들은 원인과 결과의 양 방향으로 상호 긴밀하게 연결되며 시너지를 발휘하고, 성과와 지속가능성을 창출하고 있는 것으로 사료된다. 본고에서는 성공요인들을 정신, 역량, 문화, 환경 등 4가지 카테고리로 분류하였다.

| 표 1. DARPA 모델 |

<b>&gt;&gt;&gt; 정신</b> • 도전정신 • 사명감 • 본질(본분) 중시	<b>&gt;&gt;&gt; 역량</b> • 최고 인재(PM) • 광범위한 네트워크와 신뢰감
<b>&gt;&gt;&gt; 문화</b> • (위원회보다는) 개인 중심 의사결정 • 진정한 Risk Taker	<b>&gt;&gt;&gt; 환경</b> • 독립성 • 한시성 • 유연·수평적 조직 • 특별 권한

자료 : IITP, 2018

#### >>> 정신

DARPA 60년은 ‘High Risk, High Payoff 연구’, ‘세상을 바꿀만한 첨단 혁신’에 대한 일관된 도전의 역사로 평가된다. DARPA의 제도와 문화는 도전적 인재와 아이디어를 끊임없이 수혈하고, 도전적 프로그램의 체계적 발굴과 효과적 추진에 초점을 두고 있다. DARPA에서 회자되는 다음의 문장들은 이들의 도전정신을 잘 나타내고 있다. ‘제안서들은 엄격히 검토되지만 지나치게 과감하다 해서 배제되는 경우는 없다.’ ‘당신이 펜스 위에서 있다면, 리스크가 더 큰 쪽에 귀를 기울여라.’ ‘만약 실패하는 프로그램이 없다면 충분히 멀리 지향하지 않고 있는 것이다.’ ‘공개된 과제에 대해 절반이 불가능하다고 반응하지 않는다면, 목표설정이 제대로 안 된 것이다.’

DARPA 소속원들은 기관에 부여된 미션으로부터 남다른 사명감을 느낀다고 한다. 경제적 이익 보다는 미국과 인류의 안녕과 생존을 위한다는 미션의 성격, DARPA가 해결하지 못하면 문제가 더욱 심각해질 것이라는 미션의 긴박감



(sense of urgency), 그리고 ‘기술적 서프라이즈를 예방하는 동시에 창출’하며 ‘미래를 만드는’ 일원이 될 기회를 부여 받는다고 인식하게 하는 미션의 중요성과 담대함이 공유되고 있다. 전 DARPA 국장 및 부국장이었던 Dugan과 Gabriel은 ‘최고 인재들이 DARPA의 부름에 화답하는 것은 국가를 위한 봉사, 훌륭한 역사를 가진 엘리트 조직으로부터 일하도록 요청받는 영예로움, 때로는 기존 문화에 저항하면서 경이로운 무엇인가를 추구할 수 있는 기회라고 인식하기 때문’이라고 회고하고 있다.

필자에게 가장 큰 감명을 준 요소 중 하나는 본질을 지키기 위한 DARPA 스스로의 노력이었다. 1993~1994년 클린턴 행정부가 dual use technology 정책을 펼치며 technology reinvestment program을 신설하는 등 DARPA 예산을 대폭 증액함에 따라 1994년 40억 달러를 초과하는 상황이 되자, 1995~1998년 국장이었던 Larry Lynn은 의회를 상대로 예산 축소 로비를 전개, 1999년에는 1992년 수준인 25억 달러로 축소되었다. 2001년에는 911테러를 계기로 럼스펠드 장관이 70억 달러까지 증가하는 DARPA 5개년 예산계획을 수립하였으나, DARPA 의견을 받아들여 조정된 것으로 알려졌다. 이는 조직과 사업의 외형적 확대를 지향하기 보다는 이로 인해 기관 내 관료주의가 강화되어 특유의 민첩성과 도전 정신이 훼손될 것을 우려하여 본연의 역할과 적정 규모를 추구하는 자기통제력을 발휘한 결과였다.

## >>> 역량

필자는 DARPA를 ‘연구수행기관과의 전문성 차이가 가장 적은 R&D 전담기관’으로 표현하고 싶다. 이는 해당 분야 최고 전문가로 평가되는 PM의 수준, 전체 직원의 40% 이상을 차지하는 PM의 숫자, 1인당 2~3개의 소수 프로그램에 집중 환경 등을 고려한 판단이다. DARPA PM들 중 다수는 최종학위 취득 후 5~10년 경과한 30~40대로, 이미 소속 분야에서 중요한 성취를 이룬 사람들인데, 이들은 기술적·과학적 지식, 타고난 위험수용자(risk taker), 조직을 감화시키는 비전을 창출할 수 있는 사상적 리더(thought leader) 등의 자질을 갖춘 것으로 평가된다.

DARPA는 다양한 전문가지원그룹, 전 세계에 걸친 DARPA 동문회, PM 보유 네트워크, 국방부 기술자문그룹, DARPA 사업 참여자 등 광범위한 지식네트워크를 보유하고 있는데, 이들은 DARPA가 초기 아이디어의 발굴 및 프로그램으로 구체화해 나가는 데 중요한 지식과 지원을 제공한다. 아울러 유능한 PM의 발굴과 DARPA를 이해하고 지지하는 기반으로서도 핵심적인 역할을 담당한다.

DARPA에 대한 전문가 커뮤니티 및 이해관계자의 신뢰는 보이지 않는 큰 자산이다. DARPA의 정보보안 정책과 역량 그리고 DARPA가 관심을 가지면 새로운 영역이 창출될 수 있다는 믿음이 있어 전문가들은 RFI(Request For Information), 각종 토론회 등에서 기꺼이 최신의 지식과 정보를 제공한다고 한다. 아울러 DARPA에 대한 신뢰는 DARPA가 독립성을 유지하고 최고 인재를 영입하며, Peer Review보다는 개인에 의한 의사결정 시스템을 추구할 수 있는 핵심 요소로 작용하고 있다.

## >>> 문화

DARPA의 독특함 중 하나는 R&D 기획 및 평가에 있어 위원회 보다는 개인중심 의사 결정이 이루어진다는 점이다. 여기에는 ‘파괴적 혁신은 본질적으로 컨센서스 형성이 어렵다’는 DARPA의 기본인식이 자리하고 있다. DARPA의 사업 관련 의사결정 중심에는 PM이 위치하며, PM 판단에 대한 승인과정도 위원회보다는 실장, 국장 등 개인단위 의사결정 위주이다<sup>2)</sup>. PM이 상관의 과도한 간섭없이 핵심단계 의사결정이 가능함은 DARPA 혁신에서 매우 중요한 의미를 가지

2) DARPA는 50년 가까이 운영해 온 방위과학연구위원회(Defence Science Research Council, DSRC)도 Dr. Arati Prabhakar(2012~2017) 국장 재임 중 폐지한 것으로 알려졌다.

는데, 이로 인해 상위 정책방향은 국방부 수요 등 Top-down적 요소가 강하지만 실행 차원의 연구주제 기획과 지원 여부 결정에 PM이 주도적 역할을 담당함에 따라 DARPA 지도부는 DARPA를 ‘bottoms-up’ 기관으로 정의한다고 한다. ‘최고 인재를 모셔오고 그들을 믿어라.’ ‘위로부터의 진군명령은 없다. 유일한 명령은 혁신을 창출하라는 것뿐이다.’ 등의 언급은 PM 중심의 업무방식을 대변하고 있다.

많은 기관들이 창조적 실패를 환영한다고 주장하지만 사실은 배척하거나 심지어 처벌하는 경우가 다반사이다. 그러나 DARPA는 실패의 가치를 인정하고 실패 존중을 실천하는 기관으로 자타가 공인하고 있다. DARPA는 성공 시 큰 보상이 약속되거나 비록 실패하더라도 가치있는 배움이 기대되는, 중대한 위험감수에서 오는 실패를 받아들이고 제대로 된 가치평가를 하고 있음을 스스로 증명하여 왔다. Mach 20 프로그램은 그 대표적인 예이다. 초음속 비행선 HTV-2는 로켓에서 발사되어 마하 20 속도로 지구로 진입하도록 고안되었는데, 2010년 4월 1차 비행 테스트가 심한 롤링으로 9분 만에 종료(예정 30분)되고, 2011년 8월 2차 테스트는 마찰열이 비행체 표면을 파열시켜 9분 만에 종료되었음에도 불구하고 담당 PM은 열정과 성과를 인정받아 2011년 PM of the Year로 선정되었다.

## >>> 환경

설립 당시 아이젠하워대통령은 기관의 독립성을 매우 중시하고, 국방부 고위층에 직접 보고하는 체계를 구축하였다. 프로그램의 선정 및 운영 상 부여된 독립성은 DARPA가 신속한 의사결정과 과감한 위험 수용 및 최고 인재의 영입을 하는데 중요한 원천이 되어 왔다. 한 예로 미 공군이 초기 스텔스기 개발을 반대하고 수차례 프로젝트 종단을 시도 하였으나 공군의 승인이 불필요하였고 국방부장관이 이를 방어함으로써 프로젝트가 완성될 수 있었다고 한다.

다음은 사람과 프로젝트의 한시성이다. DARPA 지도부(기술실 실장·부실장 포함)와 PM은 제한된 임기의 계약직으로 구성되며, 4~5년 임기 완료 후 재계약은 거의 없는 것으로 알려졌다. 이는 신선한 사고와 새로운 관점의 지속적 유입을 추구하고, 기존 프로그램과의 무관성을 토대로 과감하게 기존 프로그램을 종료 또는 수정할 수 있도록 하기 위함이다. PM 신분증(ID Badge)에는 임기만료일이 인쇄되어 있는데, 본인과 동료들에게 중요한 과업을 성취할 시간이 제한되어 있음을 지속적으로 인식시키는 역할을 한다고 한다. 모든 프로그램들도 일정한 기한을 가지며, 잠재적인 후속 결과가 지속 투자를 정당화하지 못하는 한 종료시키는 것으로 유명하다. 고위험 프로젝트의 적극 수용은 목표달성이 불투명한 업무에 예산, 시간, 인재가 과도하게 집중되는 위험부담을 가지는데, 모든 DARPA 프로그램들이 한시성을 갖는 것은 이에 대한 전략적 대응책의 성격도 가진다. 즉, DARPA는 특정 프로젝트를 종료시키고 더 확실한 다른 프로젝트로 자원을 이동시킬 준비가 되어 있는데, 이는 PM의 한시성과 마일스톤 기반 프로그램 평가와도 긴밀하게 연계된다. ‘이렇게 펀딩 종료에 적극적인 기관을 본 적이 없다.’ ‘DARPA는 장구한 혁신을 가져오되 기한은 유한한 프로젝트들을 지원한다.’ 등의 문장들은 DARPA의 한시성 지향형을 잘 표현하고 있다.

DARPA는 전체 인력 약 220명의 소규모 조직이고, 국장-실장-PM으로 구성된 수평적 조직이며, 개인 중심 의사결정 시스템의 유연한 조직으로 정확한 소통과 빠르고 신속한 의사결정이 가능한 것으로 평가된다.

한편, DARPA가 보유한 몇 가지 특별 권한들은 효율적 조직운영과 사업수행에 큰 기여를 하고 있는 것으로 평가된다. ‘연방과학기술인의 고용 및 처우 규정(Hiring and Pay Authorities for Federal Scientific and Technical Personnel)에 의거, 신속한 인재 채용과 차별적인 급여 제공이 가능하고, 정부간인력교류법(Intergovernmental Personnel Act, IPA)에 의거, 연방 및 지방정부, 연방지원연구소(FFRDC), 대학교 등으로부터 전문가를 파견근무자로 채용 가능하다. 또한 통상적인 R&D 지원수단인 그랜트(Grant), 협력계약(Cooperative Agreement), 구매계약(Procurement Contract) 외에 OT(Other Transactions) 방식 지원이 가능한데, 이는 다음 회에서 상세히 다루고자 한다.

## 5 ▶ DARPA가 직면한 도전들<sup>3)</sup>

첫 번째 과제는 DARPA가 향후에도 정체성을 계속 유지할 수 있을 것인지 여부이다. 지난 수십년간 DARPA의 독특함을 누그러뜨리려는 시도들이 지속되어 왔는데, DARPA R&D와 국방부 내 기타 R&D와의 양립성 및 통합성 제고, 파괴적 혁신에의 초점을 좀 더 단기적이고 점진적 응용기술로 이동, 신개념 증명의 데모를 넘어 시스템 시제품 제작으로 역할 범위 확장 등이 요구되어 왔다. 그러나 강력한 내부 리더십과 국방부 및 의회의 협력으로 지난 60년간 ‘가능성의 경계를 확장시키는’ 국방부의 Chief Innovation Agency 역할을 꾸준히 수행할 수 있었다. 향후에도 가시적인 단기수요 충족이나 DARPA 역량을 핵심영역 이외로 활용하기 위한 시도들이 지속될 것으로 전망된다.

두 번째는 전략적 선택의 어려움 가중이다. 변화하는 지정학적, 기술적 환경 하에서 집중할 대상을 식별하고 효율적 추진전략을 수립하는 것은 더욱 어려운 과제로 대두되었다. 과거 DARPA가 선도했던 영역들에서 현재는 많은 국가들이 집중 투자하고 있어 DARPA는 더욱 치밀한 선택과 집중이 필요하다. 민간이 리딩하고 있는 첨단기술 잠재력을 어떤 방위수요에 활용 가능한지, 이를 위해 DARPA는 무엇을 어떻게 해야 할 것인지에 대한 해안이 요구된다.

셋째는 새로운 인재역학(talent dynamics)에 대응 필요성이다. DARPA의 경쟁력은 최고의 인재에서 나오지만, 탁월한 인재들을 계속 PM으로 유치할 수 있을지 불투명성이 높아지고 있다. 최근 DARPA가 집중하고 있는 IT, 자율시스템, 첨단생물학 등에서 민간 기술기업들은 엄청난 연봉과 워싱턴보다 더 매력적인 도시, 그리고 훌륭한 근무환경을 제시하며 인재들을 흡수하고 있기 때문이다.

마지막으로 높아지는 기술이전 성과 제고 목소리에 부응하는 것이다. DARPA는 홀로 성공적일 수 없다. DARPA가 만들고 제3자가 과실을 취하게 하는 그 ‘기회’ 속에 DARPA의 성공이 존재한다. 따라서 DARPA의 성공은 미국의 혁신 인프라를 토대로 하고 있는데, 지난 25년간 혁신생태계는 급격히 변화하였다. DARPA가 성공적이기 위해서는 군수 영역이든 민간영역이든 기술이전으로 귀결되어야 하며, 이를 위해서는 효과적인 기술이전 통로의 확보가 중요한데, 변화하는 혁신생태계 하에서 DARPA의 기술이전 메커니즘에 대한 우려가 존재하는 것이 사실이다. 파괴적 영향력을 지속하기 위해서는 기술의 실행을 장려하는 경제적, 정책적 환경 하에 DARPA가 존재토록 하는 것이 매우 중요하다. **kg**

3) ‘DARPA 1958-2018’의 DARPA가 직면한 도전과제들을 요약 정리

## World Economic Forum 선정-2019년 10대 유망기술 (1)

임혜진

미래전략팀 선임연구원

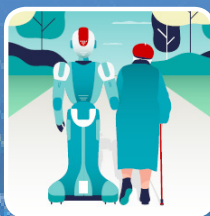
hjlim@kist.re.kr

## The top 10 emerging technologies for 2019

**해**마다 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 본지에서 2회에 걸쳐 소개하고자 한다.



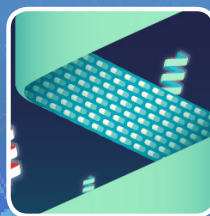
1. Bioplastics for a Circular Economy



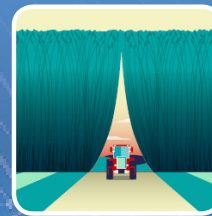
2. Social Robots



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

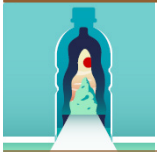


9. DNA Data Storage



10. Utility-Scale Storage of Renewable Energy





## 1. 순환경제를 위한 바이오플라스틱

### 고급 용매 및 효소가 폐목재를 생분해성 플라스틱으로 변환한다.

우리 문명은 플라스틱으로 만들어졌다. 2014년에만 산업계는 311 백만 미터 톤의 플라스틱을 생성하였고, 세계경제 포럼에 따르면, 이 수치는 2050년까지 세배 증가할 될 것으로 예측된다. 그러나 이 중 재활용되는 수치는 15% 미만이다. 나머지 플라스틱은 대부분 소각되고 매립지에 유착되거나 환경에 버려져 미생물에 소화되지 못하며 수백 년간 잔존한다. 바다에 쌓인 플라스틱 잔해는 이를 잘못 섭취한 야생동물의 죽음부터 독성 화합물 방출까지 모든 문제를 유발한다. 심지어 오염된 물고기를 통해 우리의 체내에 들어올 수도 있다.

생분해성 플라스틱 기술은 이러한 문제들을 완화하고, 플라스틱이 생성되고 다시 바이오매스(생물량)로 변환되는 “순환(circular)”플라스틱 경제 목표에 기여할 수 있다. 석유 화합물에서 파생된 표준 플라스틱처럼, 생분해성 플라스틱들은 유체상태에 있는 동안 다양한 형태가 될 수 있는 고분자들(장쇄분자, long-chain molecules)로 이루어진다. 그러나 현재 사용가능한 것은 대개 옥수수, 사탕수수 혹은 폐지방과 오일로부터 만들어진 것으로, 일반적으로 표준 플라스틱이 보유한 기계적 강도와 시각적 특성이 부족하다. 셀룰로오스 혹은 리그닌(식물의 건조물질)으로부터 플라스틱을 생산하는 최근의 돌파구들은 그러한 단점들을 극복할 것으로 기대되고 있다. 이러한 방식이 친환경적인 또 하나의 이유는 셀룰로오스와 리그닌이 한계지대에서 자라고 식용 농작물에 적합하지 않은 거대 갈대 같은 비식용 식물이나 폐목재, 그리고 아무 쓸모가 없는 농업부산물로부터 얻어질 수 있다는 점이다.

지구상에서 가장 풍부한 유기중합체인 셀룰로오스는 식물 세포벽의 주요 구성요소이다; 리그닌은 세포벽의 공간들을 채우며 힘과 단단함을 제공한다. 그러한 물질로부터 플라스틱을 만들기 위해서 제조자들은 먼저 그것들을 구성요소, 즉 단량체(單量體, monomer)로 깨뜨려야 한다. 연구자들은 최근에 이 두 물질에 대해 그렇게 하는 방법을 발견했다. 리그닌을 단량체로 만드는 작업은 리그닌의 단량체들이 표준 플라스틱에 힘과 다른 바람직한 특성을 부여하는 화학구조인 방향족 고리들로 이루어지기 때문에 특히 중요하다. 리그닌은 대부분의 용매에 용해되지 않지만, 연구자들은 대부분 이온으로 구성된 특정 환경 친화적 이온성 액체들이 목재와 목재식물로부터 선별적으로 이를 분리할 수 있음을 보였다. 곰팡이와 박테리아 내부와 유사한 유전자 조작된 효소들은 그때 용해된 리그닌을 그 구성요소로 깨뜨릴 수 있다.

이러한 결과들을 토대로 활용하는 기업들이 늘어나고 있다. 예를 들어, Imperial College London의 스핀오프 기업인 Chrysalix Technologies는 셀룰로오스와 리그닌을 시재료로부터 분리하기 위한 저비용의 이온성 액체 사용과정을 개발해 왔다. 핀란드 생명공학회사인 MetGen Oy는 각기 다른 기원의 리그닌들을 더 광범위한 응용에 필요한 요소들로 분해하는 수많은 유전자 조작 효소들을 생산한다. 그리고 Mobius(前 Grow Bioplastics)는 생분해성 화분, 농업 뿌리덮개 및 기타제품에서의 사용을 위해 리그닌 기반의 플라스틱 펠렛(작은 알갱이)을 개발하고 있다.

새로운 플라스틱이 널리 사용되려면 많은 장애들이 극복되어야 한다. 그 중 하나는 비용이다. 또 하나는 그 생산에 필요한 토지와 용수량의 최소화이다. 비록 리그닌이 폐기물에서만 나온다고 할지라도 그것을 플라스틱으로 전환하기 위해서는 물이 필요하다. 어떠한 주요한 도전들과 마찬가지로, 해결책은 규제부터 사회가 플라스틱을 사용하고 처분하는 방식의 자발적 변화까지 여러 조치들의 조합을 필요로 할 것이다. 그럼에도 불구하고, 생분해성 플라스틱 생산을 위한 새로운 방법들은 ‘어떻게 친환경 용매와 보다 효과적인 생체촉매가 주요 산업에서 순환경제를 유도하는데 기여하는지’에 대한 완벽한 예시를 제공한다.



## 2. 소셜 로봇

**로봇친구와 조력자들이 우리의 일상에 더 깊이 스며들고 있다.**

산업 및 의료분야에서 일반 로봇들은 사물을 적재하고, 해체하고 분석 한다; 그들은 또한 수술을 지원하고 약국의 처방/대로 조제한다. 그들 뿐 아니라 인간과 소통하고 정서적 연결을 유도하는 “소셜” 로봇들은 아직은 Jetsons의 가정부 Rosie를 비롯한 다른 인기있는 소셜속의 로봇처럼 행동하기 어렵다. 그럼에도 불구하고 소셜 로봇들이 몇 년 안에 더 정교해지고 널리 확산되기를 기대해도 좋다. 로봇들이 더 큰 상호작용 능력을 보유하고 그 어느 때보다도 더 유용한 작업을 수행하게 됨에 따라, 그 분야는 티핑 포인트에 도달한 듯 보인다.

대부분의 로봇과 마찬가지로, 소셜 로봇은 카메라와 센서들을 통해 수신된 정보에 기반하여 인공지능(AI)을 사용하여 어떻게 행동할지를 결정한다. 마치 살아있는 것처럼 반응하는 능력은, 인식이 형성되는 방식, 사회적·정서적 지능을 구성하는 요인 및 사람들이 다른 사람의 사고와 감정을 추론하는 방식과 같은 이슈들을 연구하여 알아내졌다. AI의 발달로 인해, 설계자들은 그러한 심리적이고 신경과학적인 통찰력을 알고리즘으로 번역함으로써, 로봇이 목소리, 얼굴과 감정을 인식하고, 언어·몸짓을 해석하고 복잡한 언어 및 비언어 신호에 반응하고, 눈을 맞추고 대화하고 피드백, 보상 및 비판으로부터 배울 수 있게 한다.

그 결과, 소셜 로봇은 지속적으로 확장되고 있는 다양한 역할들을 속속 채우고 있다. 예를 들어, (SoftBank Robotics 社의) Pepper라 불리는 47인치 휴머노이드는 얼굴과 기본적인 인간 감정을 인식하고 “가슴”의 터치스크린을 통해 대화에 참여한다. 전 세계적으로 약 15,000개의 Pepper들이 호텔 체크인, 공항고객서비스, 쇼핑 지원과 패스트푸드 계산과 같은 서비스를 하고 있다. Temi (Temi USA社)와 Loomo (Segway Robotics 社)는 Amazon의 Echo와 Google의 Home but mobile과 같은 차세대 개인비서들로서 새로운 차원의 기능을 제공한다. 예를 들어, Loomo는 함께 걸을 수 있을 뿐 아니라 명령에 따라 이송을 위한 스쿠터로 변형될 수 있다.

소셜 로봇은 증가하는 세계의 노인 인구를 부양하는데 특히 매력적이다. 일본 산업기술종합연구소에서 개발한, 귀여운 아기물개처럼 생긴 치료로봇, PARO는 알츠하이머 질환 환자들과 치료 시설 내의 환자들에게 자극을 주고 스트레스를 감소시키도록 고안되었다. PARO는 머리를 움직여 이름을 부르면 반응하고 쓰다듬으면 운다. Mabu (Catalia Health社)는 건강보조원으로서 산책과 명상을 취하고 가족을 부르도록 알려줌으로써 환자들, 특히 노인들의 주의를 끌고 있다. 소셜 로봇들은 또한 장난감으로서 소비자들의 관심을 끌고 있다. Hasbro社의 Baby Alive와 Sony社의 AIBO robotic dog처럼 장난감 속에 사회적 행동을 포함시키려는 초기의 시도들은 성공하지 못했다. 그러나 그 둘은 재기하고 있으며 AIBO의 가장 최신 버전 로봇은 정교한 음성과 몸짓 인식 능력을 보유하고 있으며, 요령을 배울 수 있고 사전의 상호작용에 기반한 새로운 행동을 개발할 수 있다.

소비자로봇은 전 세계적으로 2018년 기준 56억달러 규모로 판매되었고, 시장규모는 2025년 말까지 190억달러로 성장하여 한해에 6천 5백만 이상의 로봇이 팔릴 것으로 예측된다. Jibo와 Anki처럼 다방면으로 투자가 많이 된 소비자 로봇 회사들이 실패했음을 고려할 때, 이러한 트렌드는 놀랍게 보일 수 있다. 그러나 게임을 할 뿐 아니라 개인비서로서 활동하고 가정 자동화 및 보안을 제공하는 커다란 눈을 가진 모바일 장치 (Blue Frog Robotics社의) BUDDY를 포함하여, 하나의 로봇의 물결이 실패한 로봇을 대체하기 위해 줄을 지어 서 있다.



### 3. 소형장치용 초소형 렌즈

**얇고 평평한 금속렌즈가 빛을 조작하는 부피가 큰 유리를 대체할 수 있다.**

전화, 컴퓨터 및 기타 전자제품이 훨씬 작아지면서, 그 광학 부품은 여전히 축소가 어려웠다. 전통적인 유리 절단 및 곡면화(curving) 기술로 작은 렌즈를 만드는 것은 특히 어렵다. 그리고 유리렌즈의 요소들은 빛의 초점을 적절히 맞추기 위해서 중첩이 필요하다. 엔지니어들은 최근에 금속렌즈로 알려진, 훨씬 더 작고 가벼운 대안들 저변의 물리 현상을 상당부분 알아냈다. 금속렌즈들로 인해 현미경, 기타 연구실 도구 뿐 아니라 카메라, VR 헤드셋 및 사물인터넷용 광학 센서와 같은 소비자 제품들의 소형화가 가능하다. 그리고 이는 광섬유 기능을 향상시킬 수 있다.

금속렌즈는 편평한 표면으로 구성되며 미크론보다 더 얇고, 돌출한 기둥 혹은 뚫린 구멍과 같은 다수의 나노크기 물체들로 덮여있다. 입사광이 이러한 요소들에 도달하면, 전파의 편광, 강도, 위상 및 방향을 포함하여 많은 속성들이 변화한다. 연구자들은 금속렌즈를 빠져나가는 빛이 선택적 특성을 가지도록 나노크기 물체들을 정확하게 위치시킬 수 있다. 더 나아가, 금속렌즈들이 너무 얇아서 몇몇은 유효한 크기 증가 없이 서로 겹쳐질 수 있다. 연구자들은 이러한 편평한 표면 더미에서 만들어진 분광계와 편광계 같은 광학 장치를 시연해 왔다.

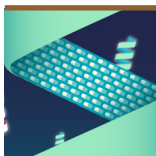
2018년의 중대한 발견으로, 연구자들은 색수차(色收差, chromatic aberration)라 불리는 문제를 해결했다. 백색광이 일반렌즈를 통과할 때, 다양한 파장의 광선들이 다른 각도로 편향되어 렌즈로부터 다른 거리에 초점이 생기는 현상이다. 이 효과를 해결하기 위해 오늘날 엔지니어들은 렌즈들을 극도로 정렬된 상태로 쌓아야 한다. 현재는, 하나의 금속렌즈로 모든 백색광 파장들을 똑같은 지점으로 모을 수 있다. 이러한 “색지움(achromatic)” 금속렌즈를 만드는 것 외에도 과학자들은 이미지 왜곡과 흐림을 유발하는 코마와 비점수차와 같은 다른 수차들을 보정하는 금속렌즈를 개발했다.

아주 작은 렌즈들이 반도체 산업에서 이미 사용되고 있는 장비로 제조될 수 있기 때문에, 크기를 줄이는 것 외에도 궁극적으로 광학부품의 비용을 낮추게 된다. 이러한 특징은 초소형 광센서의 광학 및 전자부품을 함께 제작하는 매력적인 가능성을 높여준다.

그러나, 현재로서는 나노크기 요소들을 센티미터 크기 칩 위에 정확하게 배치하기가 어렵기 때문에 비용이 여전히 높다. 다른 제한 사항들도 다룰 필요가 있다.

현재까지, 금속렌즈들은 기존 렌즈들만큼 효율적으로 빛을 전달하지 않는데, 이는 풀 칼러 이미징과 같은 응용분야에서 중요한 기능이다. 또한 그들은 많은 양의 빛을 포착하기에는 너무 작아서, 현재로서는 고품질 사진을 찍는 데에는 적합하지 않다.

그럼에도 불구하고, 향후 몇 년 안에 소형 렌즈들은 더 작고 제조하기 쉬운 센서, 내시경 이미지 장치 같은 진단 도구, 그리고 광섬유로 발전할 것이다. 그러한 잠재적 응용분야는, 삼성과 구글 같은 회사들과 정부기관들로부터 연구 지원을 유치하기에 충분히 매력적이다. 적어도 신생기업인 Metalenz는 향후 몇 년 안에 금속렌즈들을 시장에 출시할 것으로 기대된다.



## 4. 약물표적으로서의 무질서 단백질

### 암을 포함한 질병들의 치료를 위한 새로운 가능성이 열린다.

수십년전에 과학자들은 암으로부터 신경퇴행성 질환까지 질병을 유발하는 특정 급의 단백질을 밝혀냈다. 이러한 “내재적으로 무질서한 단백질(intrinsically disordered proteins, IDPs)”은 세포에 더 친숙한 단단한 구조를 가진 단백질들과 달라 보였다. IDPs는 지속적으로 배열을 변화시키는 요소들이 조화를 이루어, 모양을 변화시키는 존재였다. 이러한 느슨한 구조로 인해 IDPs는 스트레스에 대한 세포반응과 같은 중요한 순간에 다양한 분자들을 모을 수 있다. 덜 유연한 단백질들은 보다 제한된 수의 결합 파트너를 가지려는 경향이 있다. IDPs가 제대로 작동하지 않으면, 질병이 발생할 수 있다.

그러나 의료 연구자들은 오작동하는 IDPs를 제거하거나 조절하기 위한 치료를 만들 수 없었다. 실제로 많은 경우가 undruggable(약물 등으로 표적 치료가 불가능한)한 것으로 알려졌다. 현재 사용 중인 대부분의 약들이 표적화를 위해 안정적인 구조를 필요로 하고, IDPs는 충분히 오래 유지되지 않기 때문이다. c-Myc, p53과 K-RAS-를 포함하여 암의 원인이 될 수 있는 것으로 잘 알려진 무질서 단백질들은 매우 포착하기 어려운 것으로 입증되었다. 그러나 이러한 국면도 바뀌기 시작하고 있다.

과학자들은 생물물리학, 계산력, 그리고 IDPs의 작동 방식에 대한 더 깊은 이해 등을 면밀히 조합하여, 이러한 단백질들을 억제하는 화합물을 밝히고 있고 일부는 진짜 신약 후보물질로 나타났다. 2017년 프랑스와 스페인의 연구자들은 IDP의 변화가능한 fuzzy 인터페이스를 조준하고 공격하는 것이 가능함을 보였다. 그들은 미국 식품의약품 안전청이 승인한 trifluoperazine(정신질환 및 불안치료에 사용)이라는 의약품이 취장암의 형태로 연류된 무질서 단백질, NUPR1을 억제함을 보여주었다. 치료 가능성을 위해 수천의 약물후보를 평가하려는 대규모 선별검사들은 C-Myc를 억제하는 몇 가지를 밝혔고 그 중 일부는 임상개발 진행 중이다. 알츠하이머와 같은 질병에 연루된 베타 아밀로이드처럼, IDPs에서 효과적으로 작동하는 분자들도 추가적으로 밝혀졌다.

특히 막없는 세포기관으로 알려진 주요 세포 일부에서 IDPs가 하는 역할이 더 명확해지면, 이러한 약물후보 목록들은 지속적으로 증가할 것이다. 작은방울 혹은 응축물로 불리기도 하는 이러한 세포기관들은 다른 분자들은 분리하는 반면, 단백질과 RNA와 같은 중요한 세포질 분자들과는 특정시점에 결합한다. 근접성으로 인해 특정 반응은 더 쉽게 일어나고, 분리로 인해 다양한 반응은 예방된다. 과학자들은 이러한 응축물이 형성되는 방식을 제어하는 Corelets과 CasDrop이라 불리는, 강력하고 새로운 분자조작 도구를 설계했다. 이러한 도구들을 사용하여, 연구자들은 IDPs의 응축물 조립, 작동 및 분해 제어를 도울 수 있음을 알게 됐다.

응축물의 형성과 해체 기간 동안 IDPs가 다양한 결합 파트너들과 상호작용하고 때때로 몇 분간 새로운 모양을 유지하기 때문에, 이러한 발견은 중요하다. 그러한 모양을 찾아서 결합하는 약물을 찾는 것이 다른 모습으로 위장한 IDPs를 탐지할 화합물을 찾는 것보다 더 쉬울 수 있다. 전 세계의 연구자들은 이러한 응축물 관련 역학을 밝히기 위해 선구적인 노력을 하고 있다.

산업계 또한 IDPs의 치료 잠재력에 베팅하고 있다. 생명공학회사인 IDP Pharma는 다발성 골수증 및 소세포 폐암을 치료하는 단백질 억제제를 개발하고 있다. NovAliX의 자회사인 Graffinity Pharmaceuticals는 알츠하이머 병리에 관여하는 무질서한 단백질 타우를 표적으로 하는 작은 분자들을 밝혀냈다. Cantabio Pharmaceuticals는 신경변성에 관여하는 IDP를 안정화시키는 소분자들을 찾고 있다. 그리고 신생기업인 Dewpoint Therapeutics는, 강화된 반응을 위해 분자를 모으는 방식으로 인해 응축물과 그들의 물질서한 구성요소들이 약물 표적으로 사용될 수 있다는 아이디어를 개발 중이다. 향후 3년에서 5년 사이에, 이러한 한때 undruggable(약물 등으로 표적 치료가 불가능한) 단백질들은 제약개발의 중심에 있게 될 가능성이 더 높아지고 있다.





## 5. 보다 지능적인 비료로 환경오염을 줄일 수 있다.

### 새로운 공법들이 주문형으로 자양분을 전달한다.


전 세계의 증가하는 인구 부양을 위해 농민들은 작물 수확량을 증가시켜야 한다. 더 많은 비료를 사용하면 도움이 될 수 있다. 하지만 보통의 비료사용은 비효율적으로 작동하고 환경에 피해를 주기도 한다. 다행히도 환경에 더 건강한 제품들-방출 조절 (controlled-release) 비료-을 쓸 수 있으며, 이들은 점점 지능화되고 있다.

농민들은 일반적으로 두 가지 방식으로 작물을 비옥하게 한다. 물과 반응 시 영양 질소를 생성하는 암모니아, 요소 혹은 기타 물질들을 살포하거나, 물과 반응하여 인을 생산하도록 칼륨 또는 기타 미네랄 과립을 사용한다. 그러나 영양분의 상대적으로 적은 양만이 식물로 들어간다. 상당량의 질소는 온실가스 형태로 대기 중에 들어가고, 인은 종종 강이나 바다근처에서 조류와 다른 유기체의 과도한 성장을 유발한다. 이와는 대조적으로 방출 조절 제제는 상당히 높은 수준의 영양분이 작물에 도달하여 더 적은 비료로 더 높은 수확을 얻도록 해준다.

느리게 방출되는(slow-release) 비료로 알려진 한 생물 종(種)이 한동안 팔렸다. 이러한 제제는 일반적으로 질소, 인 및 기타 필요 영양소들을 포함하는 물질로 채워진 작은 캡슐들로 이루어져 있다. 그 외피는 물이 내부 내용물에 도달하여 영양소를 유리시키는 속도와 최종산물이 캡슐로부터 빠져나오는 속도를 둘 다 느리게 한다. 그 결과 효율적으로 흡수될 수 없을 정도의 낭비적이고 급속한 파열 없이, 영양소가 서서히 계속된다. 요소(urea)와 같은 시제품들의 영양소로의 전환을 지연시킴으로써, 더 최신의 제형들은 영양분 전달을 훨씬 더 늦추는 물질을 포함한다.

방출 조절(controlled-release) 이란 표현에 더 잘 맞는 비료들이 최근 개발되었으며, 외피를 조정할 수 있는 더 정교한 재료 및 제조기술로 토양의 온도, 산도 또는 습도 변화와 같은 원하는 방식으로 영양분 방출 속도를 변경시키는 것이 가능해졌다. 다양한 유형의 조정된 캡슐들을 결합하여, 제조자들은 특정 작물이나 재배조건의 요구에 맞는 내용을 가진 비료를 만들어 낼 수 있다. Haifa Group과 ICL Specialty Fertilizer가 보다 정밀한 제어품을 제공하는 회사들에 속한다. 예를 들어, Haifa는 영양분 방출속도를 오로지 온도하고만 결부시킨다.: 온도가 올라가면 농작물 성장속도와 영양분 방출 속도가 함께 증가한다.

방출조절 기법들이 비료를 더욱 효율적으로 만들에도 불구하고, 비료사용의 모든 단점을 없애지는 못한다. 예를 들어, 그 제품들은 여전히 암모니아, 요소 및 칼륨들을 포함하고 있고, 이 물질들의 생산은 에너지 집약적이어서, 온실가스 생산과 기후변화의 원인이 될 수 있다. 그러나 더 환경친화적인 질소원을 사용하고, 식물의 질소와 인 섭취 효율성을 개선하는 미생물을 포함시킴으로써 이러한 현상은 완화될 수 있다. 외피를 구성하는 재료들이 환경을 해친다는 증거는 전혀 없다. 그러나 이러한 위험은 새로운 물질이 대량으로 도입될 때 마다 모니터링되어야 한다.

방출조절 비료는 정밀농업으로 알려진, 농업에 대한 지속가능한 접근의 하나이다. 이러한 접근법은, 언제라도 식물이 필요로 하는 정확한 비료와 물의 양을 결정하기 위해 데이터 분석, 인공지능 및 다양한 센서 시스템을 결합하고 처방된 양 만큼 정확한 위치에 영양소를 제공하는 자율비행체를 배치함으로써, 작물 수확량을 개선하고 과도한 영양방출을 최소화한다. 그러나 정밀 시스템을 설치하는 것은 비용이 많이 들기 때문에 대규모 기업들만이 이들을 구비하게 된다. 이에 비해 고급 방출조절 비료들은 상대적으로 덜 비싸며 농민들이 지속적으로 작물생산을 성장시킬 수 있도록 돕는 최신 기술이 될 수 있다. 

PART.

02

# R&D In&Out

---

주요 정책동향

범부처 연구개발 관리 규정·지침 표준안 제시

---

TePRI, 정책 현장 속으로

“플라스틱 폐기물의 재활용 방향과 전망” 참관

---

글로벌 시장 동향

늘어나는 질병의 정확한 진단을 위한 노력, 복합 이미징 시장

---

Guten Tag! KIST Europe

한-EU의 원자력 발전과 에너지전환 비교 분석 II

# 범부처 연구개발 관리 규정·지침 표준안 제시

임혜진

미래전략팀

hjljm@kist.re.kr

## 기관별 상이한 규정·지침을 표준화하여 연구현장 혼란 방지 및 연구관리 효율성 유도

**과** 학기술정보통신부(장관 최기영, 이하 ‘과기정통부’)는 9월 27일(금) 제5회 국가과학기술자문회의 심의회의 전문기관 효율화 특별위원회를 통해

기관별 상이한 규정·지침 등으로 인한 연구현장의 혼란을 방지하고 연구관리의 효율성을 제고하기 위한 「범부처 연구개발 관리 규정·지침 표준안」(이하 ‘표준안’)을 심의·확정하였다고 밝혔다.

그동안 연구 현장에서는 상이한 규정·지침으로 연구자는 과도한 연구행정 부담으로 인한 연구 몰입 저해, 정부부처는 업무 협업 및 연계 부족 등으로 인한 연구관리 비효율성을 지속적으로 제기하여 왔다.

현재 연구개발 관리 법규체계는 범부처 공통기준(공동관리규정 등)과 각 관리영역·부처·사업별 하위 지침에 따른 복잡한 구조\*로

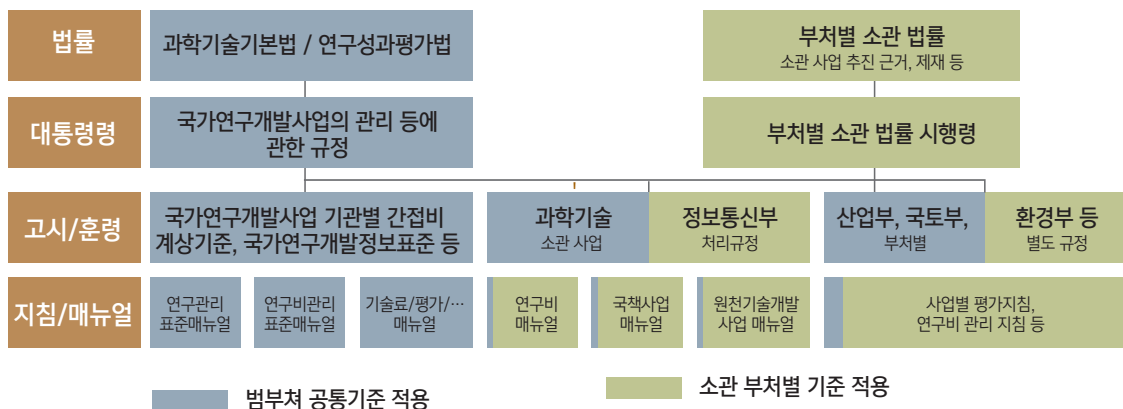
\* 각 부처·전문기관에서 총 151개의 법령·지침·매뉴얼 운영('18.2., KISTEP 조사 기준)

연구자는 정부 연구개발 사업에 참여 시 매번 기관별, 사업별로 다른 규정·지침을 검토·확인해야하는 불편함을 겪어왔고,

정부부처는 상이한 업무수행 기준·절차로 인해 기관간 정보공유, 연구결과 후속연계 등 부처 간 협업·연계가 제한되었으며,

정부의 규정·서식 간소화 등 제도개선 노력에도 기관별 개정시차나 반영 기준·수준 등이 달라 현장 착근이 지연되거나 연구자 체감 효과가 미미하였다.

### | 정부연구개발 관리 법규 체계 |



과기정통부는 연구현장 수요에 부합하고, 범부처가 수용 가능한 표준안 마련을 위해

작년부터 연구자 인식조사(정부 R&D 수행자 약 13만명 대상, 4,909명 응답, '18.1~2), 20개 연구개발 주요 전문기관 전수 방문조사, 실무담당자 인터뷰 및 의견수렴('18.2~4)을 통해 현황조사 및 표준화 주요 과제를 도출하고,

부처·전문기관 규정전문가, 연구자 및 연구행정 등으로 표준화 태스크포스(TF)를 구성(1차 총 43명, 2차 총 30명)하여 규정·지침·매뉴얼 수준의 표준화 작업을 진행하였다('18.8.29.~'19.8.).

## 이번 표준안의 주요 내용으로는

### ① 상이한 업무 기준·절차, 용어 등에 대한 표준안을 제시하기 위해,

기관별 상이한 업무절차, 용어 등 규정·지침에 대한 표준안을 제시하고, 해석상 모호한 부분은 명확히 하며, 연구현장에 불필요한 관리규정은 삭제·개정안을 제시하였다.

#### | 주요 규정·지침 표준안 및 사유 |

구분	공동관리규정	각 부처 규정·지침	표준안	사유
협약변경 요청기한	규정없음	협약종료 1개월 전, 2개월 전	협약종료 2개월 전	승인사항의 효율적 관리
협약변경 시 승인/통보 기준	규정없음	참여기업, 위탁연구비 변경 시 승인/통보 상이	협약변경 시 승인/통보 기준 통일	연구자 혼란 방지
성과보고 기한	협약종료 후 45일 이내	협약종료 후 1개월 이내, 2개월 이내, 3개월 이내	협약종료 후 45일 이내	공동관리규정 및 다수 기관 기준 준용
우대·감점기준	과제선정 시 우대·감점 기준 모호	부처별 대상 및 기준 상이, 불명확	1) 연구책임자로 참여시, 2) 종료 후 3년까지	무분별한 우대·감점 적용 방지
이의신청 범위·기한	(범위) 구체적 범위 없음 (기한) 규정 없음	(범위) 절차만 한정, 결과해석 오류 포함 등 (기한) 7일, 10일 이내	(범위) 평가절차, 결과 (종합의견) (기한) 10일	연구자 권리구제 및 다수 기준 준용

#### | 주요 용어 표준안 및 사유 |

공동관리규정	각 부처 규정·지침	표준안	사유
주관연구기관	주관기관, 연구기관, 신청기관	주관연구기관(선정평가 이전 '신청기관')	공동관리규정 준용(선정평가 이전 '신청기관')
전문기관	전담기관 관리기관	전문기관	공동관리규정 준용(성과활용전담기관과 구분)
연구책임자	과제책임자	연구책임자	공동관리규정 준용(단위에 따른 혼란 방지)
기술수요조사	현장기술수요조사, (대국민) 수요조사	기술수요조사	공동관리규정 준용(대국민, 의료진 등 포괄적 대상)
평가위원 후	연구과제 평가 후보단, 전문가명부 등	평가위원 후보단	공동관리규정 준용
다년도 협약	일괄 협약	다년도 협약	공동관리규정 준용('일괄'vs.'개별협약'은 구분)

※ 「범부처 R&D관리 규정·지침 표준안」 발췌(전문기관효율화 특별위원회, '19.9.27.)

### ② 정부부처 간 정보연계 및 협업이 원활한 체계를 마련하기 위해,

부처, 전문기관, 연구수행기관 간 권한과 책임을 명확히 하고, 기관 간 정보공유, 분류체계 연계, 평가결과 환류 체계를 마련하는 등 업무체계를 효율적으로 정리하였다.

#### 창의·선도적 연구를 저해하는 불필요한 규제를 제거하기 위해

기존 제도개선 사항의 현장착근 저해요소를 발굴하고, 인건비 지급을 위한 기준인 '참여율'이 본 취지에 맞게 활용될 수 있도록 '인건비계상률'로 용어를 변경하였으며,

연구개발(R&D)과제에 대한 '성공', '실패' 판정을 폐지함에 따라 연구자의 도전적 연구목표 설정을 유도할 수 있도록 연구성과 우수성 중심으로 등급과 기준을 표준화하였다.

과기정통부는 이번 표준안의 조속한 현장착근을 유도하기 위해, '20년까지 표준안에 따라 공동관리규정 등 관계 법령 및 규정을 개정하고, 지속적으로 연구현장 반영 여부를 점검할 예정이며

과제지원통합시스템 반영을 위해 업무행태 수준의 상세 절차·기준 등을 포함한 「범부처 연구관리 통합 매뉴얼(가칭)」을 별도 마련할 예정이다. **KST**

## 한 승 범

정책실 연수생  
t19539@kist.re.kr

## 플라스틱 이슈포럼 V



지난 10월 16일 플라스틱 이슈포럼 V에서는 “플라스틱 폐기물의 재활용 방향과 전망”을 주제로 플라스틱 폐기물의 대표적인 해결방안인 재활용에 주안점을 두어 재활용제도 및 기술개발 현황 등을 살펴보고 개선 방향을 심층적으로 논의하는 자리를 가졌다.

첫 번째 발제를 맡은 정희석 한국순환자원유통지원센터 이사장은 우리나라 플라스틱 재활용의 현실과 과제를 주제로 발표했다. 플라스틱 문제의 근본적 해결을 위해서는 무엇보다 플라스틱 선별 기술개발이 우선시 되어야 함을 강조했다. 플라스틱 선별 작업은 고비용의 인력을 필요로 하는데 AI로봇의 도입은 보다 정확하고 빠른 속도를 바탕으로 이러한 문제를 해결하는 열쇠가 될 수 있다고 주장했다. 플라스틱 재활용은 자원의 재활용 측면에서도 중요하지만 더 중요한 것은 매립과 소각으로 인한 환경오염을 줄여주는 것이라며 발언을 마무리했다.

이어 두 번째 발제를 맡은 권성안 한국환경산업기술원 전문위원은 기본적으로 플라스틱의 종류가 다양하여 선별, 처리 과정에서 많은 비용

이 발생하기 때문에 생활폐기물 분야의 기술 개발을 통해 자원순환의 효과적 관리시스템이 필요하다고 강조했다. 고부가가치 재활용 제품을 창출하기 위해서는 명확한 품질기준이 있어야 하며 저급 폐플라스틱, 폐비닐에 대한정부의 효과적인 규제와 정책지원이 동반되어야 한다는 주장이었다.

마지막 발제를 맡은 배연정 서울대학교 그린에코공학연구소 책임연구위원은 국내재활용 체계의 구조적 문제를 지적했다. 생산 단계에서 재활용을 고려한 용기 및 포장재의 재질·구조개선이 요구되며, 이를 유도할 수 있는 실질적인 규제가 필요함을 주장했다. 배 연구위원은 주민들의 자발적인 분리배출을 유도할 수 있는 구체적인 정보 제공 및 홍보가 우선시 되어야 하며, 재활용 제품에 대한 적극적인 수요 창출이 요구된다고 보았다.

이어진 패널토론에서는 일회용 플라스틱이 없는 사회로 가는 국가 플라스틱 관리전략, 국내 재생원료 PET 순환시스템 구축, 정부와 기업이 함께하는 플라스틱 폐기물에 대한 고품질 재활용 계획 등에 대한 다양한 의견을 공유했다. 플라스틱 사용 과다문제는 정부가 단독으로 해결할 수 없음에 공감하며 산업계, 연구계, 민간단체, 시민단체 등 다양한 주체들이 적극적으로 협력하여 해결방안을 도출해 내야 한다는 점에 동의하며 토론회가 종료됐다. **KT**

## 늘어나는 질병의 정확한 진단을 위한 노력, 복합 이미징 시장

### 송 유 림

연구기획 · 분석팀  
yurim\_s@kist.re.kr

#### \*출처:

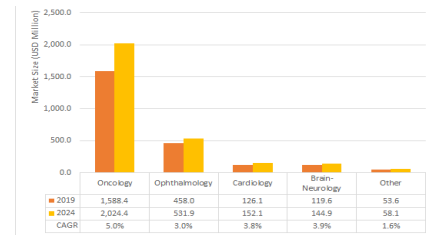
Multimodal Imaging Market,  
MarketsandMarkets,  
2019.9

**전** 세계 복합 이미징 시장은 2019년 23억 4570만 달러에서 2024년 29억 1130만 달러까지, 연평균 4.4%로 성장할 전망이다. 암을 비롯한 각종 질병이 증가함에 따라, 이러한 질병이 특이적으로 보이는 상태를 진단하기 위한 기술개발이 확대되고 있다. 또한, 초기 단계 질병의 감지에 대한 수요와 시장에 대한 투자 증가, 이미징 시스템의 기술 등이 시장 성장의 주요한 동인이다. 더 나아가 새로운 진단기법의 보험 적용 확대도 소비자들이 복합 이미징 시장에 주목하도록 만들고 있다.

### 암에 대한 공포, 종양학 진단 분야 가장 큰 시장 점유율 차지

2018년, 종양학 분야는 전체 복합 이미징 시장의 67.4%에 달하는 큰 비중을 차지했으며, 2024년 20억 2,440만 달러 규모까지 성장할 것으로 예측된다. 또한, 2024년까지 가장 높은 5.0%의 연평균 성장률을 보일 전망이다. 이는 더 정확한 암 진단을 위해 복합 이미징 시스템의 사용이 확대되고 있음을 의미한다. 또한, 암 발병 부위(장기)에 특화된 분석 방법에 대한 연구도 시장 성장을 가속화하고 있다.

| 분야별 복합 이미징 시장 |



### 가장 큰 시장규모의 북아메리카, 가장 큰 시장 성장의 아시아-태평양

2018년 조사 결과, 복합 이미징 시장에서 가장 큰 시장규모를 보이는 것은 7억 9,300만 달러의 북미 지역으로 전체 시장 35.1%를 차지했다. 진단 이미징 기술 발전과 더불어 유방암 및 직장암 발병률의 증가, 진단 시스템 이용의 장점에 대한 인식 증가 등이 수요의 증가로 이어져 시장 성장을 주도하고 있다. 하지만 시장의 포화와 병원 및 정부의 예산 제한은 시장 성장의 억제 요인으로 작용될 것으로 예상된다. 아시아-태평양 지역은 의료 인프라의 개선, 복합 이미징 기술에 관한 연구 및 투자 증가를 바탕으로 2024년까지 5.4%의 성장률을 보일 전망이다. 특히 일본은 노인 인구의 빠른 증가에 따른 암 발병률의 증가, 유리한 규제 및 잘 갖추어진 의료 시설, 그리고 활발한 R&D 활동으로 아시아-태평양 지역에서 가장 큰 시장규모를 차지할 것으로 예측된다.

| 대륙별 복합 이미징 시장 |

(단위 : 백 만 달러)

지역	2017	2018	2019-e	2024-p	CAGR (2019-2024)
북미	761.2	793.0	826.6	1,043.5	4.8%
유럽	631.7	653.6	676.5	824.4	4.0%
아시아-태평양	474.5	497.2	521.4	677.7	5.4%
라틴	199.5	204.4	209.4	242.2	3.0%
중동, 아프리카	108.2	110.0	111.8	123.4	2.0%
합계	2,175.0	2,258.1	2,345.7	2,911.3	4.4%

### 복합이미징 기술의 단점 극복이 필요

의료기술이 발전함에 따라, 질병의 치료를 위해 신속하고 정확한 진단에서의 복합 이미징 기술에 대한 수요가 증가하고 있다. 가장 많이 사용되고 있는 복합 이미징 기술인 PET-CT 시스템은 높은 정확도로 암이나 알츠하이머의 조기진단을 가능하게 한다. 하지만 복합 이미징 기술은 방사선에 노출될 수밖에 없는 구조이기 때문에, 진단을 위해 실시한 방법이 오히려 암과 같은 질병의 발생률을 증가시키는 원인으로 꼽히기도 한다. 또한, 조영제로 인한 부작용을 호소하는 환자 역시 적지 않다. 복합 이미징 시장이 더욱 성장하기 위해서는 기술의 단점을 극복을 위한 연구개발, AI를 활용한 진단정확도 증가, 그리고 보험 적용 확대를 통한 검사비용 절감이 우선되어야 할 것으로 보인다. **KIST**



## 한-EU의 원자력 발전과 에너지전환 비교 분석 II

## 김상원

KIST 유럽연구소 선임연구원  
바이오센서 그룹

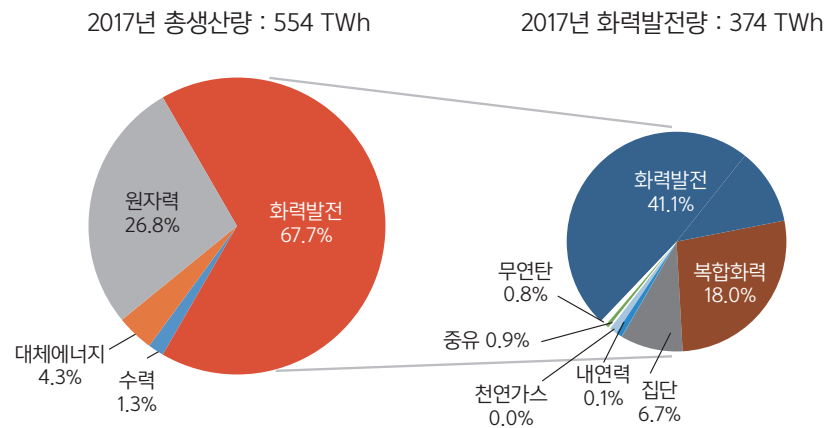
sangwon.kim@kist-europe.de

(지난호에 이어 계속..)

## 한-EU 전력 믹스 현황 비교 분석

우리나라의 전력 총생산은 꾸준히 증가하는 추세이고, 2017년은 전년도 대비 2.4% 증가하였다. 2017년 전력원 가운데 유연탄 발전량은 227 TWh로서 해당년도 발전량의 41.1%에 달한다. 원자력 발전량은 148 TWh, 26.8%로 두번째로 큰 비중을 차지하지만, 전년도에 비하여 8.4% 감소하였다. 세번째로 큰 비중을 차지하는 전력원은 천연가스를 사용하는 복합화력<sup>4)</sup>으로 100 TWh, 18%를 차지한다. 우리나라는 전력 믹스의 94.5%를 화석연료와 원자력 발전에 의존하고 있다. 우리나라의 화석연료 비중은 67.7%로 OECD 평균인 60.47%에서 크게 벗어나지 않지만, 신재생에너지 발전의 비중은 현저히 낮다(그림 5).

| 그림 5. 한국의 2017년 전력 믹스 현황 |

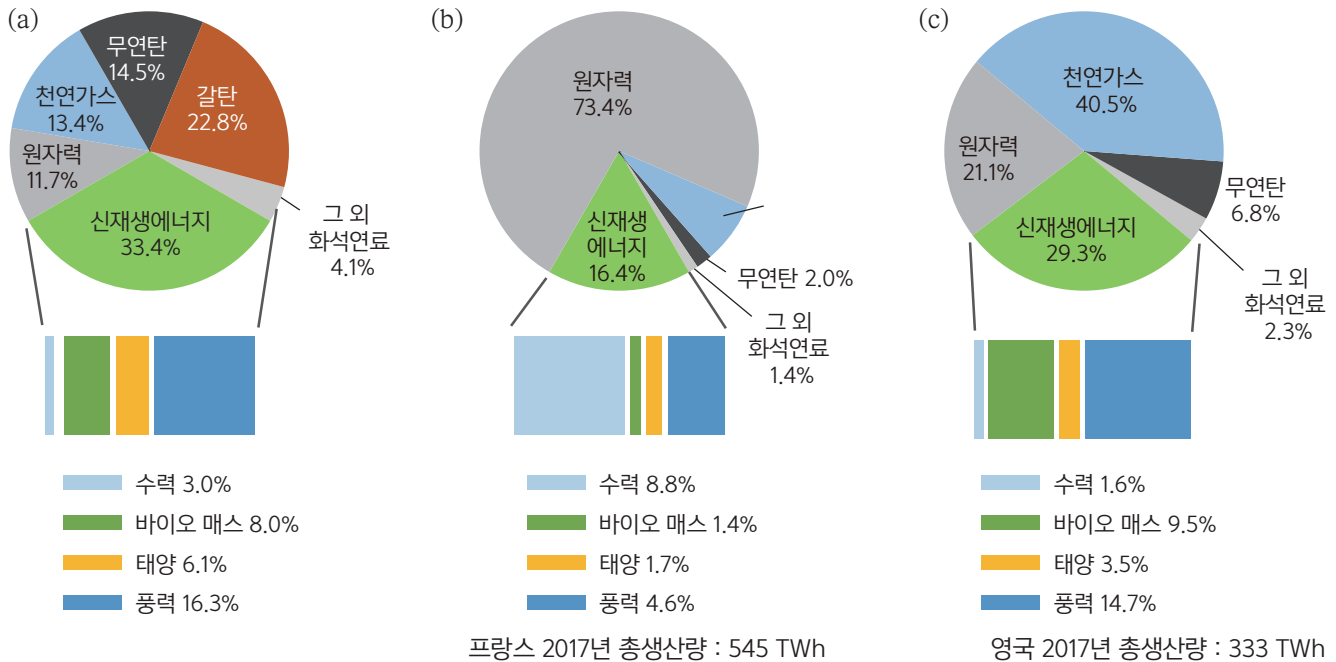


출처: 한국전력통계자료

그림 6은 독일, 프랑스, 영국의 2017년 전력 믹스를 보여준다. 독일은 신재생에너지가 217 TWh로 33.4%를 차지하고 있고, 원자력은 76 TWh로 11.7%에 불과하지만, 화석연료 발전량이 269 TWh로 41.4%에 달하고, 특히 갈탄 발전량은 148 TWh로 22.8%를 차지한다. 독일은 원전 폐쇄 정책에 있어서 가장 앞서 나가지만, 유럽 내에서 석탄 및 갈탄을 가장 많이 사용하는 국가라는 불명예를 안게 되었다. 프랑스는 원자력 발전이 400 TWh로 총발전 전력의 73.4%를 차지한다. 신재생에너지는 89 TWh로 16.4%를 차지하고, 천연가스는 38 TWh로 6.9%를 차지한다. 영국은 천연가스가 135 TWh로 전체 발전량의 40.5%를 차지하고, 신재생에너지는 98 TWh로 29.3%를 차지하고, 원자력은 70 TWh로 21.1%를 차지한다.

4) 복합발전이란 열효율 향상을 위해 두 종류의 열 사이클을 조합하여 발전하는 것을 말함. 복합 사이클 중 가장 대표적인 것은 가스터빈 사이클과 증기터빈 사이클을 결합하여 하나의 발전 플랜트로 운영하는 방식임. LNG복합화력발전은 1차로 LNG를 태워 얻은 가스로 발전기를 돌리고, 빠져나가는 열을 모아 다시 전기를 생산하는 데 사용함. 일반 석탄을 이용한 화력발전의 경우 발전 효율이 40% 정도에 불과하나, LNG복합화력발전의 경우 발전효율은 60%임

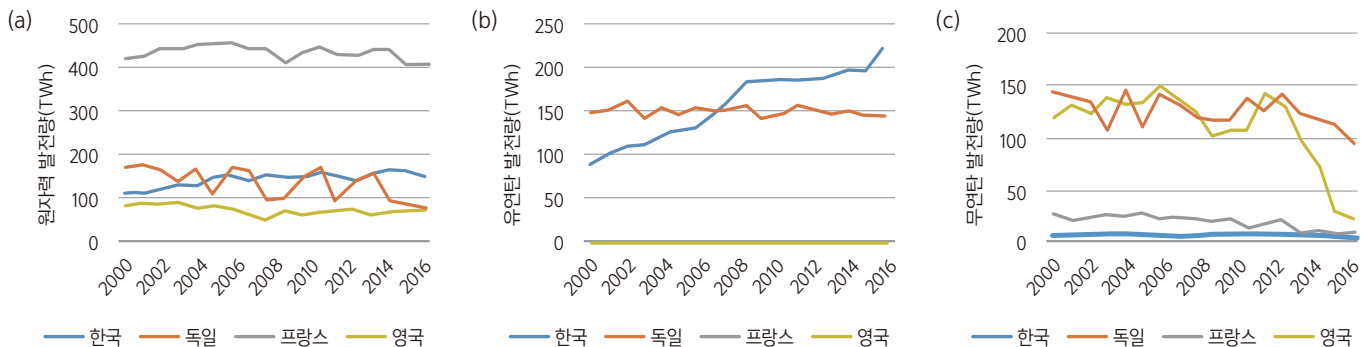
| 그림 6. EU 주요국가 전력 믹스 2017년 현황;(a) 독일, (b) 프랑스, (c) 영국 |



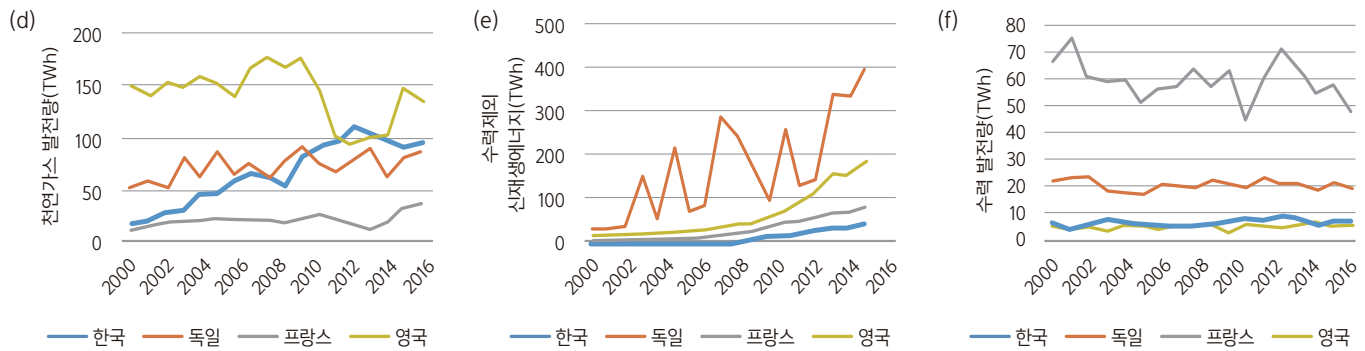
출처: EUROSTAT

한국과 EU 주요국가의 발전원별 발전량의 지난 17년간의 추이를 그림 7에 나타내었다. EU 주요국에서 원자력 발전은 감소하는 추세이다. 프랑스에서조차 금세기에 2017년의 원자력 발전량이 가장 낮았다. 독일은 유럽에서 유일하게 유연탄을 전력 발전에 사용하는 국가이지만 발전량은 점차 감소하는 추세이고, 2008년부터 한국의 유연탄 발전량은 독일을 추월하기 시작하였다. 무연탄 발전량은 독일과 영국에서 2013년까지 130 TWh 이상이었으나 2014년부터 감소하기 시작하였고, 특히 영국은 2017년 23 TWh까지 감소시켰다. 천연가스 발전량은 영국이 단연 앞서고 있으며, 독일과 한국도 천연가스 발전량을 꾸준히 증가시키고 있다. 신재생에너지는 단연 독일이 가장 앞서 나가고 있으며, 영국과 프랑스도 꾸준히 증가시키고 있다. 2017년 수력을 제외한 신재생에너지 발전량은 독일이 197 TWh, 영국은 92 TWh, 프랑스는 42 TWh, 그리고 한국 24 TWh로 나타난다.

| 그림 7. 한국과 EU 주요국가 발전원별 발전량 추이 비교 ;  
(a) 원자력, (b) 유연탄, (c) 무연탄, (d) 천연가스, (e) 수력제외 신재생에너지, (f) 수력 |







출처: 한국전력통계자료, EUROSTAT

## 결론

한국의 1차 에너지 공급 및 최종에너지 소비, 국내 전력 생산은 국내 총생산 증가와 맞물려 지난 20년간 지속적으로 증가하였다. 유럽연합 및 유럽 주요국들(독일, 프랑스, 영국)은 에너지 효율 개선 및 에너지 전환 정책으로 인하여 1차 에너지 공급 및 최종에너지 소비는 오히려 감소하였고 전력생산량 증가비율은 우리나라에 비하여 현저히 낮았다.

유럽 주요국들은 화석연료에서 신재생에너지로 에너지를 전환하고 있지만, 각국의 상황에 따라서 속도와 방법을 달리 하고 있다. 독일은 가장 급진적으로 원자력 발전을 줄이고 신재생에너지를 늘리고 있지만, 상대적으로 석탄연료에 대한 의존률이 가장 높다. 프랑스는 원자력 발전 비율이 70% 이상이므로 원전폐쇄는 당장의 고려대상이 아니지만, 신재생에너지 발전량을 꾸준히 증가시키고 있다. 영국은 천연가스로 인한 발전비율이 다른 유럽 국가들에 비하여 압도적으로 많으며, 특히 2017년 천연가스(40.5%)와 신재생에너지(29.3%) 발전 비율은 전력 발전량의 70%에 달한다.

한국의 전력 발전원은 화력과 원자력, 두가지로 요약할 수 있다. 2017년 유연탄(41.1%)과 원자력(26.8%)과 천연가스(18.0%)로 인한 발전 비율이 86%에 달한다. 한국의 신재생에너지 발전현황은 유럽 주요 국가들에 비하여 거의 미미한 수준으로 볼 수 있다. 화력발전은 온실가스뿐만 아니라 미세먼지도 배출시킨다. 국립환경과학원 2014년 발표자료에 따르면 유연탄 화력 발전소 매연은 국내 고농도 미세먼지 현상의 국내 요인 가운데 15%에 달한다. 천연가스는 석탄화력에 비해 미세먼지와 온실가스 배출이 현저히 낮아서 친환경적 발전원으로 구분된다. 따라서, 국내 전력 기저발전을 현재 석탄(유연탄) 화력 발전에서 중단기적으로는 천연가스로, 장기적으로는 신재생에너지로 전환시키는 정책이 전략적으로 필요할 것으로 여겨진다. **kt**

## 참고문헌

[1] 전력통계정보시스템(EPSIS) (<http://epsis.kpx.or.kr/epsisnew/>)

[2] 한국전력공사, 「한국전력통계」.

[3] 에너지경제연구원(2016), 「에너지통계연보」

[4] 산업통상자원부(2017), 「제8차 전력수급기본계획안」

[5] Agora Energiewende, "The European Power Sector in 2017," Germany, January 2018.

[6] European Commission, "EU Reference Scenario 2016, Energy, transport and GHG emissions Trends to 2050," EU, July 2016.

PART.

03

# TePRI 休

---

세계사 속 과학기술  
볼츠만의 죽음

---

Law and Science

과학자의 연구윤리: 도덕과 법의 경계- 개념과 유형

---

소통과 대화를 위한 재미있는 이노베이션 이야기  
양손잡이 R&D와 출연(연)의 역할

## 볼츠만의 죽음

## 전 대 호

유미과학문화재단 이사  
daehojohn@hanmail.net

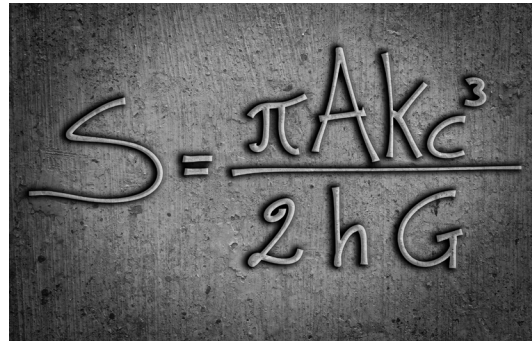
**대**중들은 물리학자 하면 대뜸 아인슈타인을 떠올리곤 하지만, 물리학계 내부에서는 최소한 아인슈타인에 못지않게 존경 받는 인물들이 꽤 있다. 니체와 동갑으로 1844년에 태어난 루트비히 볼츠만이 대표적인 예다.

볼츠만은 시스템의 거시적 속성들을 미시적 상태들과 확률에 기초하여 설명하는 물리학 분야인 통계역학을 개척하고 엔트로피를 정의하는 공식  $S = k \ln W$ 을 세우는 등의 업적으로 불멸의 지위에 올랐다. 이 공식이 말해주는 바는, 엔트로피(S)는 미시 상태들의 개수(W)의 자연로그에 볼츠만상수(k)를 곱한 값과 같다는 것이다. 즉, 특정한 거시 상태의 엔트로피는 그 상태를 구현할 수 있는 미시 상태들의 개수가 많을수록 더 높다.

볼츠만 본인과 측근들이 느끼기에도 자랑스러웠던지, 오늘날 그의 묘비에는 저 엔트로피 공식이 새겨져있다. 이 인물이 물리학계 내부에서 어떤 평가를 받는지 짐작하게 해주는 슈뢰딩거의 증언이 있다. 슈뢰딩거는 양자물리학의 확립에 결정적으로 기여한 공로로 1933년에 노벨상을 받은 위대한 물리학자다.

그가 쓴 유명한 에세이 <생명이란 무엇인가>와 <정신과 물질>을 함께 묶은 책(우리말 번역본 <생명이란 무엇인가, 정신과 물질>)에 부록처럼 덧붙인 자서전적인 글(<내 삶의 스케치>)을 보면, 이런 대목이 나온다.

“위대한 루트비히 볼츠만은 내가 1906년 빈 대학 - 내가 다닌 유일한 대학이다 -에 입학하기 직전에 두이노에서 슬픈 최후를 맞았다... 그 후 [1907년] 지금[1960년]까지 나는 물리학에서 볼츠만의 이론보다 더 중요하다고 느낀 이론이 없다. 플랑크며 아인슈타인이 있다 해도 말이다.”



요컨대 슈뢰딩거가 보기에 볼츠만은 양자 개념을 고안한 플랑크와 상대성이론을 개발한 아인슈타인을 능가하는 물리학자다. 또한 명시적으로 밝히지는 않았지만, 슈뢰딩거는 양자물리학의 뼈대를 세운 자신보다도 볼츠만을 더 높게 평가하는 것으로 보인다.

여담이지만, 이렇게 물리학계 안팎의 평가가 심하게 엇갈리는 또 한 명의 인물로 제임스 클러크 맥스웰(1831년생)을 언급할 만하다. 대중들은 “맥스웰”을 즉석커피 브랜드로만 기억할 가능성이 높지만, 대학교에서 전자기학 강의를 들어본 사람이라면 “맥스웰 방정식” 앞에서 경탄한 경험이 틀림없이 있을 것이다.

맥스웰 방정식이란 전자기학 전체의 요약이라고 할 수 있는 네 개의 방정식을 말한다. 물리학과 학생은 2학년이나 3학년 때 맥스웰 방정식을 배우면서 거의 누구나 경이로움을 느낀다. 모든 전자기현상을 이렇게 간단한 방정식 네 개로 설명할 수 있다니! 정말이지 그 방정식들은 자연이 수학적 구조를 띠었음을 보여주는 강력한 증거로 다가온다. 그것들을 보면, “자연이라는 거대한 책은 수학의 언어로 쓰여 있다.”라는 갈릴레오의 말을 실감하게 된다.

맥스웰과 볼츠만은 인연이 없지 않다. 이른바 “맥스웰-볼츠만 분포”는 먼저 맥스웰에 의해 수학적으로 도출된 후 볼츠만에 의해 더 심층적으로 연구되었다. 맥스웰-볼츠만 분포 함수는 열평형에 이른 기체 시스템 속 입자들의 속도가 어떤 분포를 이루는지 알려준다.

더 나아가 맥스웰과 볼츠만은 당대 물리학자들 중에서는 드물게 미시적 입자(대표적으로 원자)의 실재성을 옹호했다는 공통점이 있다. 이들은 예컨대 기체 시스템이 정말로 존재하는 미시적 입자들로 이루어졌다고 믿었다. 비록 당시에는 기술이 부족하여 그 입자들을 실제로 관찰할 수 없었지만 말이다. 반면에 볼츠만의 빈 대학교 동료 에른스트 마흐(1838년생)를 비롯한 많은 물리학자들은 그런 미시적인 입자들을 단지 이론적 구성물로 간주했다. 즉, 미시적 입자들은 데이터를 해석하고 정리하는 데 도움이 되는 이론적 보조수단일 뿐이며, 그 입자들이 거시적 기체 시스템과 마찬가지로 실재하는 것은 아니라는 입장이었다.

철학적으로 보면, 실재론과 구성주의가 맞섰던 셈인데, 이 대립은 앞선 인용문에서 슈뢰딩거가 언급하는 볼츠만의 “슬픈 최후”와도 관련이 있는 것으로 추측된다. 볼츠만은 1906년 여름휴가를 두이노에서 보내고 예정대로 복귀하기 하루 전에 호텔방에서 목매어 자살했다. 그가 유서를 남기지 않았으므로, 자살의 원인을 명확히 알 수는 없다.

그래서 이런저런 추측들이 제기되는데, 그 중 하나는 볼츠만의 자살을 당대 지식인들의 원자론 거부와 관련짓는다. 비록 이 추측을 입증하는 직접 증거는 없지만, 원자론 반대자들과의 논쟁이 볼츠만을 괴롭혔다는 것은 명백한 사실이다. 그 반대자들의 우두머리 격인 철학교수 에른스트 마흐가 뇌졸중으로 쓰러져 강의를 할 수 없게 된 후, 볼츠만은 1903년 가을부터 마흐의 자연철학 강의를 승계했다.

원자론 반대자들과 대결하느라 이미 철학자와 다름없었던 볼츠만은 그 강의를 계기로 더욱 철학에 몰두했다. 당연히 강의에서도 그는 미시적 입자들의 실재성을 철학적으로 옹호하기 위해 애썼을 것이다. 그러나 당대의 철학적 대세는 마흐였다. 마흐에 따르면, 오로지 감각적 데이터만 실재하며, 무릇 이론은 감각적 데이터를 효율적으로 이해하고 관리하기 위해 우리가 구성하는 도구다. 마흐는 물리학자이기도

했지만 주로 철학자였다. 아무래도 물리학이 전공이어서 정교한 철학적 논증에 능하지 않았을 볼츠만에게 마흐는 벅찬 상대였을 것이 틀림없다.

볼츠만은 1906년 초에 건강 악화로 강의를 할 수 없게 되었고 5월에 “중증 신경쇠약”으로 병가를 받았다. 얼마 후 아드리아해변으로 여름휴가를 떠난 그가 말없이 자살한 날은 9월 5일이었다. 원자론 논쟁이 이 슬픈 최후의 결정적 원인이었다고 추측하는 것은 무리인 듯하다. 본래 볼츠만은 신체적 정신적으로 병약했다. 오래 전부터 그를 괴롭혀온 온갖 질환이 그를 자살로 이끈 주요 원인일 테고, 원자론 논쟁의 역할은 이미 위태롭던 그의 건강이 급격히 악화되는 것에 다소 기여하는 정도였을 것이다.

오늘날 원자를 비롯한 미시적 입자들은 태양이나 달과 다를 바 없이 확고한 실재성을 인정받는다. 원자가 정말로 존재하는가라는 질문을 진지하게 던지는 사람은 없다. 혹시라도 있다면, 그는 태양이나 달의 실재성마저도 의심하는 극단적인 구성주의자일 것이다. 그렇다고 오늘날 철학계의 대세가 실재론이라고 할 수는 없을 듯하다. 실재론의 세력이 볼츠만의 시대보다 더 강해진 것은 틀림없는 사실이지만 말이다.

물리학계에서 마흐는 초음속 단위에 자기 이름을 남긴 것 말고는 흔적이 없다시피 하다. 반면에 볼츠만은 역사를 통틀어 가장 위대한 물리학자로 꼽힌다. 마흐와 볼츠만은 개인적으로 친한 사이였다고 한다. **ktg**

## 최 지 선

Law & Science 대표변호사  
lawscience.jschoi@gmail.com

**최** 근 들어 과학자의 연구윤리에 대한 사회적 관심이 높아지고 있다. 연구윤리란 연구자가 연구활동을 수행함에 있어 마땅히 준수하여야 할 연구활동의 도덕적 윤리 규범이다. 구체적으로 연구윤리란 연구자가 연구의 기획·선정, 수행, 성과평가, 연구비 정산, 사업화 과정까지 연구활동 전주기에서 지켜야 할 행동양식을 의미한다.

주요국의 연구윤리 관련 제도는 국가연구개발사업 관련 R&D 체계와 밀접하게 관련되어 있다. 미국, 노르웨이 등은 국가주도형 연구윤리제도를, 독일 등은 연구비 지원기관 주도형 연구윤리제도를, 일본 등은 개별연구기관 중심의 자율형 연구윤리제도를 운영하고 있다고 평가되는데, 우리나라의 경우 국가주도형과 연구비 지원기관 주도형의 절충적 제도로 운영된다고 볼 수 있다.

연구부정행위는 연구자가 준수하여야 할 연구윤리 중 가장 핵심적으로 위반해서는 안 되는 행위로 법령 및 관련 규정 등에서 처벌 또는 징계 등까지 염두에 둔 위반행위이다. 연구윤리의 출발점은 연구자에게 요구되는 도덕적 규범의 준수였으나 법령에 의하여 제재의 대상이 되는 연구부정행위의 범주가 확대됨에 따라 이제는 법령의 테두리 안에서의 규율이 보편화되는 추세이다.

우리나라의 경우에도 과거에는 연구부정행위를 연구진실성 위반과 동일한 개념으로 보았으나, 점차 연구비 부정사용, 부적절한 연구활동 등으로 그 포섭범위가 확대되는 추세이다. 특히 2019년도 국가연구개발비의 규모가 20조에 달하였고 2020년에는 20조를 훌쩍 넘을 것으로 예견되어 연구개발비의 건전한 사용의 중요성이 더욱 커지고 있다.

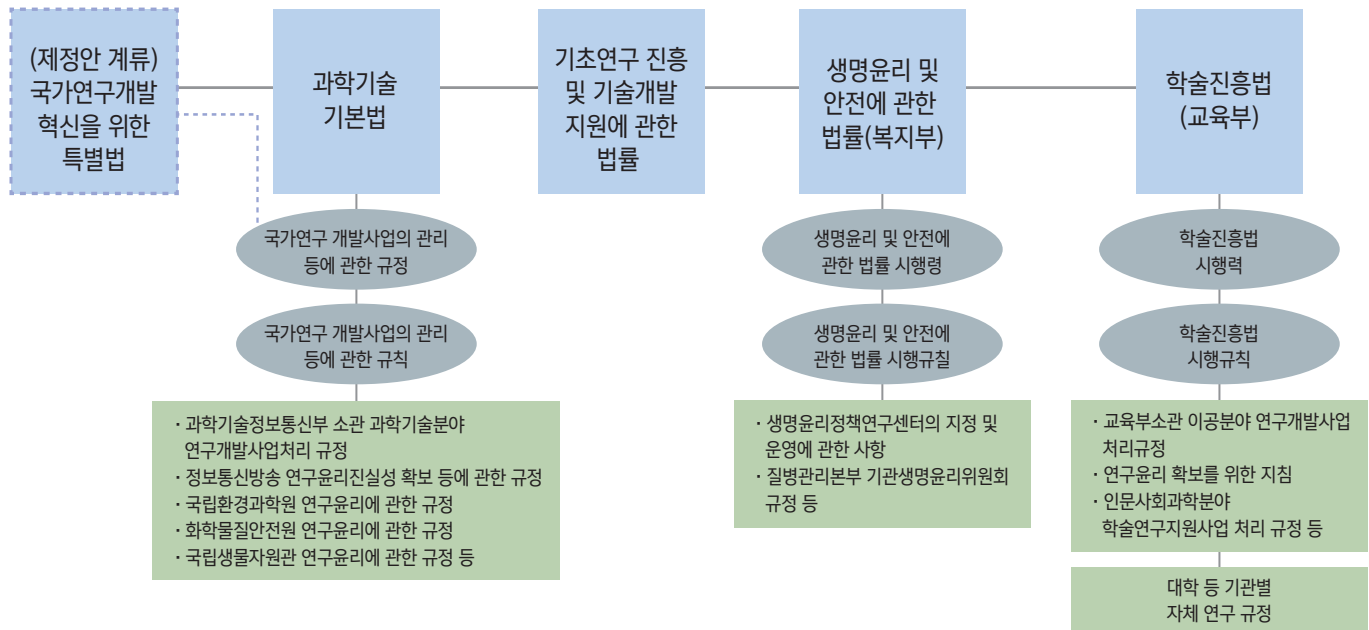


현행 우리나라 연구윤리 관련 법령 규정은 통일된 최상위 법률이 존재하는 체계가 아니라, 과학기술부 및 교육부의 소관 법령 및 하위 규정에 산재되어 있는 체계이며 그 범위 및 내용 역시 서로 차이가 있다. 대표적으로 교육부 소관 「학술진흥법」, 과기부 소관 「과학기술법」 및 「국가연구개발사업 관리 등에 관한 규정(일명 공동관리규정)(대통령령)」, 「기초연구진흥 및 기술개발지원에 관한 법률」 그리고 복지부 소관 「생명윤리 및 안전에 관한 법률」 등을 근거 법령으로 하여 하위 규정이 마련되어 있다. 실무적으로 연구윤리에 관한 세부 규정은 대외적으로 법적 구속력이 제한적인 교육부의 「연구윤리 확보를 위한 지침」 및 과기부의 「과학기술분야 연구개발사업 처리규정(훈령, 고시, 지침 등)」을 중심으로 운용되고 있고 각 행정규칙 간에도 상이한 부분이 있어 한계가 있다. 2019. 5.1. 기준 수십여 개의 연구윤리 관련 지침이 시행되고 있으며 대부분 소관 부처별로 제정되어 제한된 범위 내에서 적용된다.

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



## | 우리나라 연구윤리 관련 주요규정 체계 |



주: 점선은 현재 국회에 계류중인 법안임.

출처: 최지선 외 (2019), 「과학기술계 출연(연) 윤리문화 확산 방안 연구」, 국가과학기술연구회.

연구윤리와 관련된 법령 규정의 다양성으로 통일된 규율이 어렵다는 문제가 제기되는 상황에서 과기부의 「국가연구개발혁신을 위한 특별법(안)」이 국회에 계류되어 연구윤리에 관한 최상위 법률로서 역할을 할 수 있을 것으로 기대되고 있다.

과학기술분야 출연(연) 연구부정행위의 포섭 범위와 관련하여 다양한 범위에 대한 논의가 이루어지고 있으나, 크게 다섯 개의 층위를 생각해 볼 수 있다. 첫째, 연구진실성 위반은 위조, 변조, 표절 등을 포함하는 개념으로 가장 협의의 연구부정행위이다. 둘째, 연구비 부정사용은 연구부정행위로 포섭하는 경우도 있으나 대개는 협의의 연구부정행위(연구진실성 위반)와는 별개로 연구윤리 위반 행위로 독자적으로 규율되기도 한다. 셋째, 부적절한 연구활동은 연구수행의 전 주기에 걸쳐 연구진실성 위반이나 연구비 부정사용은 아니지만 지양하여야 할 연구수행 행태로 부실 학회 참여 및 논문게재 등이 대표적이다. 넷째, 연구자의 품위유지란 건전한 사회통념에 비추어 연구자가 전문성과 인품에 걸맞게 본인은 물론 공직사회에 대한 국민의 신뢰를 실추시킬 우려가 있는 행위를 하지 않아야 할 의무이다. 다섯째, 이해상충 방지만 개인의 사적인 이해 관계가 자신이 맡고 있는 업무 또는 공공이나 타인의 이익과 서로

상충되는 상황, 즉 이익과 의무가 충돌하는 상황을 방지하여야 하는 것이다.

이 가운데 어디까지 법령에 의한 규율의 대상인 연구부정행위로 포섭할 것인지는 논쟁적인 주제로 정부의 정책적 의지와 함께 국민의 인식과 연구자의 동의를 포함하는 사회적 합의의 이슈일 것이다. 이와 관련하여 현재 국회에 계류중인 「국가연구개발혁신을 위한 특별법(안)」에서는 국가연구개발사업을 수행함에 있어 금지되는 연구부정행위의 범주에 1. 연구개발과제의 제안, 수행, 성과 등과 관련된 연구부정행위, 2. 거짓 또는 부정한 방법 등으로 연구개발과제를 신청 또는 수행하는 행위, 3. 연구개발비를 부정하게 사용하는 행위, 4. 연구개발성과의 소유에 관한 규정을 위반하는 행위, 5. 보안대책 등을 위반하거나 보안과제로 분류된 연구개발과제의 보안·비밀사항을 누설·유출하는 행위, 6. 그 밖에 국가연구개발 활동의 건전성을 저해하는 행위로서 대통령령으로 정하는 행위를 포함하고 있어 있어 그 범주를 비교적 넓게 설정하고 있다(국가연구개발혁신을 위한 특별법안 제31조 제1항 각 호). 이는 연구자의 혁신역량이 국가 경쟁력에 직결된다는 인식하에 연구자의 연구윤리 준수를 독려함으로써 올바른 연구문화가 확립되도록 하기 위함이라고 할 것이다. **KT**

## 양손잡이 R&amp;D와 출연(연)의 역할

김 태 형

미래전략팀 연구원  
kimth@kist.re.kr

기업들은 시장과 고객이 원하는 제품을 출시하기 위해 다양한 R&D 활동을 실시하고 있다. 이러한 R&D 활동은 크게 두 가지로 분류되는데 이는 고객대응 R&D와 고객창조 R&D이다. 고객대응 R&D란 고객이 이미 표출한 수요에 대응하는 형태의 R&D를 의미하며, 기존 제품을 개량하거나 개선하는 형태로 이루어지기 때문에 기업 입장에서 위험을 최소화 할 수 있는 R&D이다. 하지만 그만큼 기존에 없었던 혁신적인 신제품을 개발하기는 힘들다는 단점이 존재한다.

이와 반대로 고객창조 R&D는 기존의 시장에 존재하지 않는 제품을 개발함으로써 새로운 시장이나 고객층을 만들고 기업에 지속적인 경쟁우위를 안겨줄 수 있는 R&D이다. 그러나 그만큼 낮은 성공확률을 가지고 있기 때문에 기업 입장에서는 큰 위험을 감수해야만 하는 고위험 고수익 형태의 R&D이다.

최근 기업들이 직면하고 있는 경영 환경은 불확실성이 매우 높고 변화가 매우 빠르다. 따라서 기업은 고객대응 R&D를 통해 고객들의 수요를 정확히 파악하고 대응하여 기존 제품들을 개선하는 것과 동시에 고객창조 R&D를 통해 혁신적인 제품을 개발해 새로운 시장을 개척하는 양손잡이 R&D를 필수적으로 실시해야 한다. 이러한 양손잡이 R&D를 성공적으로 수행하는 기업만이 현재의 시장 상황에 적응해 기존 고객들을 지키면서 나아가 지속적인 성장과 발전을 이뤄낼 수 있다.

이렇게 두 가지 모두 필수적으로 이루어져야 하지만 한편으로는 상반되는 점이 많아 보이는 고객대응 R&D와 고객창조 R&D 사이에는 한 가지 큰 공통점이 존재한다. 그것은 두 가지 R&D 모두 고객의 수요를 정확히 파악하고 실시되어야 한다는 것이다. 우수한 성능에도 불구하고 정치

인들의 니즈를 정확히 반영하지 못해 실패했던 에디슨의 투표용지 카운트기 사례, 수익성을 고려하지 않은 개발과 운행으로 기업에 막대한 적자를 안겨준 에어프랑스의 콩코드 여객기 사례를 비롯한 수많은 신제품 사례에서 볼 수 있듯이 기존 제품에 비해 대대적인 성능 개선이 이루어진 다거나, 기존 시장에는 없던 혁신적인 제품을 생산한다고 하더라도 고객의 니즈를 정확히 파악하지 못한다면 제품은 실패하고 기업은 큰 손실을 입을 수밖에 없다.

위와 같은 측면에서 보았을 때 대부분의 기업 입장에서 양손잡이 R&D, 그 중에서도 특히 고객창조 R&D에 가장 큰 방해가 되는 요소는 R&D의 위험성이다. 기업의 가장 기본적인 목적은 이익을 창출하는 것이다. 기업이 성공확률이 매우 낮은 고객창조 R&D에 천문학적 비용을 투자해 개발에 실패하거나 혹은 기존에 없던 새로운 결과물을 만들어 내는 것에 성공한다고 하더라도 시장에서 이를 외면한다면 이는 고스란히 기업의 손실로 이어진다. 따라서 기업 R&D는 큰 위험을 감수하면서까지 진행되기 힘든 경우가 대부분이며 규모가 작고 자금이 부족한 중소기업으로 갈수록 이러한 현상은 더욱 심해진다.

출연(연)은 기업들의 이런 고민을 해결할 수 있는 가장 핵심적인 주체 중 하나이다. 출연(연)은 단기적인 성과와 관련된 이해관계자들의 압박을 크게 받는 기업보다 상대적으로 자유로운 환경에서 연구를 진행할 수 있다. 따라서 실패 위험은 높지만 사회적, 경제적 파급효과가 높은 혁신적인 기술이나 다양한 기업에서 사용될 수 있지만 기업들이 직접적으로 투자하기는 부담스러운 기초기술, 기반기술에 대한 투자가 가능하다.

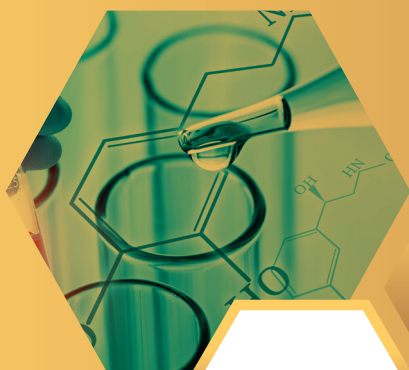
불확실성이 높아 기업들이 선불리 도전하기 힘든 분야에 대한 연구를 출연(연)에서 진행하고 이로부터 발생한 결과물을 다시 기업에게 이전해 주는 방향으로 연구가 진행된다면 우리나라 경제의 핵심이라 할 수 있는 기업들의 고객창조 R&D에 큰 도움이 될 것이라고 생각된다. 더 나아가 기업들은 출연(연)으로부터 받은 결과물을 한층 더 발전시키는 고객대응 R&D를 장기적 관점으로 진행된다면 기업들은 실패 위험성을 크게 낮춘 양손잡이 R&D를 진행할 수 있을 것이다.

최근 우리나라는 국내외 다양한 환경 변화를 맞닥뜨리고 있다. 이러한 환경 속에서 정부와 국민 모두 국가경제를 선도할 수 있는 혁신적인 기술 개발, 소재·부품·장비 분야와 같은 기초·기반기술의 개발의 필요성에 대한 공감대를 형성하고 있다. 이러한 기술들은 성공 가능성이 낮고 개발 기간이 길어 기업의 입장에서 추진하기 부담스러울 수밖에 없는 기술들이다.

출연(연)은 국가의 세금을 기반으로 운영되는 기관이다. 출연(연)이 국가 경제에 기여할 수 있는 가장 큰 방법 중 하나는 민간 기업들이 투자하기 힘든 연구에 과감하게 투자하고 그 결과를 확산시킴으로써 우리나라 기업들이 수월하게 R&D를 진행할 수 있게 하고 나아가 글로벌 경쟁력을 확보할 수 있도록 돕는 것이라 할 수 있다. **KT**

#### 참고자료

- O'Reilly III, C. A., Harrell, J. B., & Tushman, M. L. (2009). Organizational ambidexterity: IBM and emerging business opportunities. *California management review*, 51(4), 75-99.
- Tushman, M. L., Smith, W. K., & Binns, A. (2011). The ambidextrous CEO. *Harvard Business Review*, 89(6), 74-80.
- 장성근 (2010). 양손잡이 조직을 통한 고객창조 R&D. *LG Business Insight*, 17-24. LG경제연구원.
- 신영수, 장성근 (2010). 양손잡이 R&D경영. 새로운 제안.



Technology  
Policy  
Research  
Institute

## 기술정책연구소

Technology Policy Research Institute

발행 한국과학기술연구원 기술정책연구소    연락처 TEL 02\_958\_6019