

# TePRI

## REPORT

2018. vol.87

08



**전망대** 미래사회를 예측하는 과학기술 출연연  
**Focus** 글로벌 기술 경쟁과 컬래버, 두 트렌드의 모순  
**Insight** 융합연구정책센터 김주선 소장

### Part 01 R&D Spotlight

01. 세 번째 기획시리즈 : 조선의 과학기술, 하나
02. 이슈분석 : 혁신 클러스터, 그 성공요인은 무엇인가?

### Part 02 R&D In&Out

01. 주요 과학기술 정책 및 현안 : '문재인 정부의 기초연구진흥 기본방향' 마련 외 2건
02. TePRI, 정책 현장 속으로 : NANO KOREA 2018 - 신기술분야 5개 전시회 합동개최 외 1건
03. 글로벌 시장 동향 : 고급진단 검사 출현으로 성장하는 분자진단 시장
04. Guten Tag! KIST Europe : 다양한 응용을 위한 양면 임프린트(Duplex-imprinting) 나노 어레이

### Part 03 TePRI 休

01. 소통과 대화를 위한 재미있는 이노베이션 이야기 : 과학자 사회의 내부 규범과 과학기술정책의 조화, 혁신 창출로 가는 지름길
02. 이달의 추천도서 : 신경 꼬기의 기술

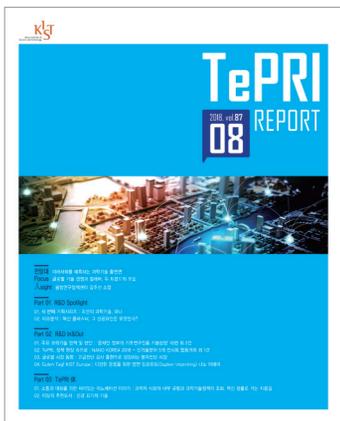


# TePRI

2018. vol.87  
08 REPORT

기술정책연구소

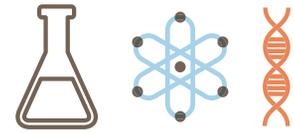
Technology Policy Research Institute



2018 August



Technology  
Policy  
Research  
Institute



vol.87

CONTENTS



04

### 전망대

미래사회를 예측하는 과학기술 출연연 4

06

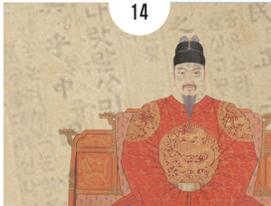
### Focus

글로벌 기술 경쟁과 컬래버, 두 트렌드의 모순 6

08

### 人sight

융합연구정책센터 김주선 소장 8



13

### Part 01 R&D Spotlight

01. 기획시리즈 :

세 번째 기획시리즈 : 조선의 과학기술, 하나 14

02. 이슈분석 :

혁신 클러스터, 그 성공요인은 무엇인가? 19



25

### Part 02 R&D In&Out

01. 주요 과학기술 정책 및 현안 :

'문재인 정부의 기초연구진흥 기본방향' 마련 외 2건 26

02. TePRI, 정책 현장 속으로 :

NANO KOREA 2018 - 신기술분야 5개 전시회 합동개최 외 1건 38

03. 글로벌 시장 동향 :

고급진단 검사 출현으로 성장하는 분자진단 시장 41

04. Guten Tag! KIST Europe :

다양한 응용을 위한 양면 임프린트(Duplex-imprinting) 나노 어레이 42



45

### Part 03 TePRI 休

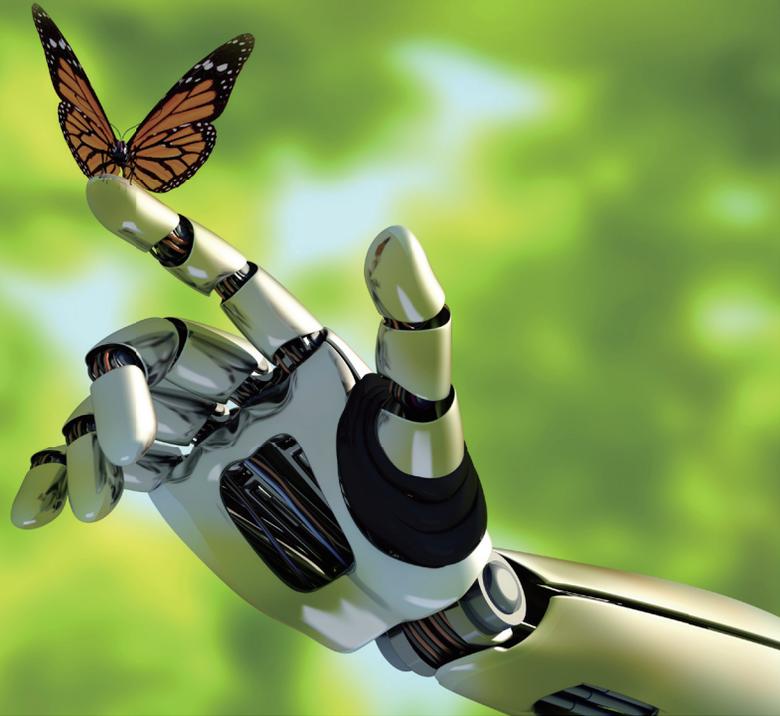
01. 소통과 대화를 위한 재미있는 이노베이션 이야기 :

과학자 사회의 내부 규범과 과학기술정책의 조화, 혁신 창출로 가는 지름길 46

02. 이달의 추천도서 :

신경 꺾기의 기술 48

# 미래사회를 예측하는 과학기술 출연연



최 연구

한국과학창의재단 연수원장, 「4차 산업혁명과 인간의 미래」 저자  
choiyg@kofac.re.kr

**잘** 알고 지내는 공무원이 들려준 이야기다. 평소 4차 산업혁명에 관심이 많았는데, 유럽 출장 중 인공지능 분야의 한 연구자를 만났다고 한다. 이야기를 나누던 중 전공을 물었더니 법학이라고 해서 깜짝 놀랐다는 것이다. 법학자가 무슨 인공지능 연구냐고 물었더니 인공지능이 발전돼 상용화가 되면 인공지능에게 법인격을 부여해야 할지 등의 이슈가 발생할 수 있어 반드시 필요한 연구라고 말했다고 한다. 실제 유럽의회에서는 인공지능의 학습능력과 자율성에 주목하면서 인공지능에게 전자인간이라는 법적 성격을 부여할 가능성에 대한 연구를 진행하고 있다. 이렇게 현대 과학 기술 발전으로 인한 변화는 이제 기술 영역을 넘어서고 있다. 첨단테크놀로지는 산업과 경제는 물론이고 정치, 사회, 문화까지도 변화시키고 있다.

4차 산업혁명의 핵심기술 중 최첨단은 아마도 인공지능일 것이다. 인공지능이 가져올 미래 변화 예측 언급으로 언론이 자주 인용하는 전문가 중 제리 카플란(Jerry Kaplan)이라는 교수가 있다. 그는 인공지능 전문가이지만 스탠퍼드대학교 법정보학센터의 교수이며, 컴퓨터공학과 인공지능이 가져올 사회적 영향 및 윤리 등을 가르치고 있다. 자신의 저서 「인공지능의 미래(한스미디어, 2017년)」에서는 인간과 인공지능 로봇의 상생과 공존을 위한 통찰과 제안을 다루었다. 인공지능과 같이 독립적으로 추론하고 행동할 수 있는 시스템이 출현하면 윤리문제 같은 이슈들이 본격적으로 제기될 수 있다는 것이다. 가령 인공지능 시스템에게도 독자적 권리와 책임이 있는가 아니면 단순히 사람의 소유물에 불과한가, 자율주행차에 행인이 치어 사망하면 그 책임은 누구에게 물어야 하는가, 줄을 서서 기다릴 때 로봇이 주인 대신 줄을

서도 괜찮은가, 인간의 마음을 데이터화해서 기계로 옮길 수 있다면 그 기계를 인간이라고 할 수 있을까 등 지금 으로서는 생소한 이슈들이 끊임없이 제기될 수 있을 것이다.

일자리 문제 역시 인공지능이 초래할 미래변화에서 중요한 이슈다. 미래학자나 전문가들은 인공지능과 로봇공학이 발전하면 현재 일자리의 상당부분은 인공지능 로봇으로 대체될 것으로 보고 있다. 로봇이 인간 일자리를 대거 대체 하게 되면 로봇에게 세금을 매겨 그 재원으로 실직자를 재교육하거나 로봇 대체가 어려운 보건의, 교육에 투자해야 한다고 주장하는 사람도 있다. 또한 유럽에서는 로봇세를 재원으로 기본소득을 도입해야 한다는 주장도 제법 진지 하게 논의되고 있다. 인공지능 개발자들은 인공지능 윤리나 대량실업, 로봇세 등의 이슈를 고려하면서 연구개발을 하는 것은 아니다. 하지만 과학기술자의 의도와는 무관하게 기술발전은 언제나 예기치 않았던 수많은 사회문제를 야기해 왔다. 인공지능 로봇과의 공존과 과학기술의 윤리적, 법적, 사회적 영향 등도 미래에 중요해질 이슈다.

인류문명은 과학기술과 함께 발전해왔고 과학기술은 인간 자신도 변화시켜왔다. 피터 노왁은 자신의 저서 「휴먼 3.0(새로운 현재, 2015년)」에서 인류의 변화를 기술발전 관점에서 세 단계로 설명하고 있다. 최초의 인류는 휴먼 1.0으로 생명활동과 환경에 종속되었고 원시적인 기술을 갖고 있었다. 제2의 인류, 휴먼 2.0은 더 나은 삶을 추구 해온 인간으로 자연과 공존하는 기술을 개발해 왔다. 이제 첨단기술시대 제3의 인류, 휴먼 3.0은 과학기술을 이용해 생명활동과 환경을 포함한 지구상의 모든 시스템을 결정하는 시대를 맞고 있다. 노벨화학상을 수상한 네덜란드 과학자 파울 크뤼첸은 지금은 지질시대 중 홀로세(Holocene Epoch)가 아니라 인류가 절대적인 영향력을 미치는 인류세 (Anthropocene Epoch)라고 주장했다. 과학기술 발전이 가져오는 변화는 비가역적인 변화다. 한번 파괴된 환경 생태계는 복구되지 않으며, 산업화의 부작용이 심각하다고 해서 봉건시대로 되돌아 갈 수는 없는 법이다. 미래 인간의 모습은 어떠한 것인가. 인공지능, 로봇과 공존, 공생해야 하는 4차 산업혁명시대에는 인간 자신의 미래에 대한 근본 적인 고민을 해야 한다.

과학기술 출연연구소에게도 발상의 전환과 혁신이 필요하다. 왜 과학기술 출연연들이 연구개발에만 매진해야 하는가. 물론 출연연은 연구개발을 하는 곳이지만 과학기술 발전이 가져올 사회문화 변화에 대해서도 충분히 고민하고 예측 해야 하는 것은 아닐까. 기술의 미래보다 중요한 것은 기술발전이 따른 사회의 미래이고, 결국은 인간의 미래다. 만약 출연연마다 과학기술 발전으로 인한 사회의 미래를 예측하는 미래연구본부를 신설한다면 국가의 미래는 완전히 달라질 수 있을 것이다. 기술을 잘 모르는 미래학 연구기관의 미래사회 예측보다는 과학기술 연구개발을 하는 출연 연구기관의 미래사회 예측이 훨씬 신뢰도가 높을 것이다. 출연연이 과학자, 연구자뿐만 아니라 변호사, 윤리학자, 인문학자, 경제학자도 고용해 과학기술 발전에 따른 지적재산권과 법제도 연구하고 인공지능발전이 가져올 윤리적 이슈도 고민하고 로봇세와 기본소득의 가능성에 대해서도 연구하기를 기대한다면 이는 지나친 기대일까. **ktg**



김종주  
미래전략팀장  
jongjoo@kist.re.kr

“미중 G2가 전면적인 무역전쟁에 바짝 다가서고 있다.” 트럼프 미 대통령이 지난달 2000억 달러 상당의 중국산 제품에 10%의 관세를 부과하겠다고 발표하자 파이낸셜타임스가 '무역전쟁'이라는 표현을 꺼내들었다. 경제 대국간의 무역 갈등은 미래 첨단 산업의 패권을 둘러싼 전쟁으로 보는 것이 맞다. 시진핑의 대표정책인 첨단 제조업 육성 전략, 즉 '중국제조 2025'을 저지하려는 것이 트럼프 정부의 속내이다. 글로벌 기술 경쟁이 비단 G2만의 문제는 아니다. 근래 들어 중국이 우리 반도체 장비업체에 대한 전방위적 M&A에 적극적으로 나서고 있는 것도 같은 맥락이다.

단순히 기술인력 몇 명을 빼가는 것으로는 '반도체 굴기'에 부족하다고 느꼈는지 설비와 기술, 인력을 패키지로 사들이려는 것이다. 처음에는 기술력이 뛰어난 미국의 장비업체를 노렸지만 기술 유출을 우려한 미 정부의 견제로 한국을 타겟으로 삼았다는 섬뜩한 해석도 있다. 우리로서는 최저임금 인상과 생산·투자의 동반 부진, 고용 충격 등으로 경기 하락세가 뚜렷한데, 경제의 대들보 역할을 해야 할 주력 산업마저 부실해질까 우려의 목소리가 높다.

국가 간 기술경쟁의 여파는 무역에만 한정되어 나타나지는 않는다. 지난달에는 중국에 대한 미국의 기술건제로 중국 과학자들이 비자를 받지 못해 미국의 학술행사에 참석하지 못하는 해프닝도 있었다. 국제 우주과학계의 최대 규모 학술행사에 미항공우주국(NASA) 창설 60주년을 겸해 중국의 위성 전문가들이 대거 참석할 예정이었다. 중국도 이같은 견제에 맞서 미국과의 학술 교류를 축소하려는 움직임을 보인다. 최근 중국 정부가 학술연구 목적 협력사업 예산의 5분의 1을 감축했는데, 과학기술 투자에 대한 확대 정책에 반감을 고려하면 그 의도를 읽을 수 있다.

그렇다면 글로벌 기술 변화의 핵심 키워드를 경쟁으로만 보아야 할 것인가? 국가 간 경쟁에서 눈을 낮춰 민간기업으로 초점을 맞추면 '적과의 동침'을 불사하는 경우도 쉽게 찾을 수 있다. 세계 스마트폰 시장 점유율 10%를 집어삼키며 빠르게 성장 중인 화웨이는 저가형 스마트폰에서만 강했던 이미지를 콜라보(Collabo)을 통해 과감히 벗어던졌다.

대표 프리미엄 스마트폰인 'P20'은 독일 명품 라이카의 카메라를 탑재하여 세 달 만에 600만대 이상이 팔렸다. 첨단 기술의 대표적인 각축장, 자동차 산업에서는 현대자동차와 아우디 간의 협업이 화제가 됐다. 미래 수소전기차 시장 선점을 위해 관련 특허뿐만 아니라 부품 등 중요 플랫폼까지 공유하기로 한 것이다. 지금까지는 현대차의 하이브리드차, 수소자동차 R&D 전략이 순수 자체 개발이었지만, 기술 발전 속도가 점차 빨라지고 애플, 구글 등 IT공룡 기업의 자동차산업 진출이 가시화되면서 단독 노선은 포기한 것이다. 제약산업에서도 협력을 토대로 한 R&D 전략이 두드러진다. 희귀질환에 대한 치료제 개발은 대상이 되는 환자가 극소수인 관계로 과거에는 큰 관심을 끌지 못했지만 의료 사각지대 해소를 위한 보건 정책으로 인해 수혜를 받기 시작했다. 국내에서도 제약업계 매출 1,2위 기업이 서로 손을 잡고 약품합성 분야와 희귀질환 연구 분야에서 갖고 있던 각자의 역량을 모아 시너지를 내기로 했다.

콜라보로 대표되는 기업간의 협력 전략은 새로운 개념이 아니다. 산업혁명 이후 분업과 대량생산을 통한 효율의 극대화가 생존의 비결이 되어왔다면, 이제는 생산, 마케팅, 물류 등 가치사슬 단위에서 경쟁우위를 가진 기업들이 이합집산을 통해 생존을 추구하는 것이 최근 유행하고 있는 콜라보의 본질이다. 특히 앞의 사례들처럼 기술개발의 중요성이 날로 커지면서 R&D가 협력 전략의 핵심으로 부상하고 있는 것이 가장 큰 특징이라 할 만하다. 주지하고 있다시피 첨단 기술 확보를 위한 글로벌 연구 경쟁은 하루가 다르게 심해지고 있다. 그러나 경쟁 주체들간의 협력이 강력한 생존 수단으로 떠오르고 있다는 점은 얼핏 모순처럼 보이지만 중요한 시사점을 갖는다. 우리 R&D 생태계의 혁신에 대한 외부의 주문이 날로 커져가는 지금, 시너지를 창출할 수 있는 외부 연구주체와 어떻게 협업할 것인가를 고민해 보면 어떨까. **ktg**



예순네 번째 만남

## 융합연구정책센터 김주선 소장

김종주

미래전략팀장  
jongjoo@kist.re.kr

정혜재

미래전략팀  
hyejae@kist.re.kr

얼마 전 한국연구재단 나노소재분야 PM으로 2년간 활동하고 KIST로 복귀하신 김주선 박사가 융합연구정책센터 소장으로 임명되었습니다. 국제에너지기구 한국대표(IEA-IETS)를 비롯, 전문영역에서 폭넓은 행보를 이어오신 소장님을 만나 앞으로의 각오와 계획 등에 대한 생각을 들어보았습니다.



신임 융합연구정책센터 소장으로 부임하셨습니다.  
간단한 소감 부탁드립니다.

**우**선 어깨가 무겁습니다. 특히 융합연구정책센터가 대외적으로 좋은 평가를 받고 있는데, 보다 장기적 관점에서 안정적 운영을 위한 토대마련이 필요한 시점이라 생각하기에 더욱 그런 것 같습니다. 저희 융합센터는 KIST의 재원이 일부 포함되지만 주로 외부의 재원으로 운영 되는 점, 그럼에도 불구하고 KIST의 역량이 긴밀하게 연계되어야 하는 점을 포함하여 굵직한 이슈들이 많습니다. 저에게 소장직을 맡겨주신 것은 이러한 문제의식을 바탕으로 더 나은 역할을 위해 변화의 노력을 지속하라는 의미로 받아들입니다.

2000년 KIST에 연구원으로 입사하신 후 20여년간 KIST에 재직 중에 있으십니다. 그간 특히 기억에 남는 일이나 연구가 있다면요?

저는 박사 후 연구원(Post-doc.) 과정에서는 세라믹과 관련한 기초연구를 수행해 왔지만 KIST 입사 후에는 연료전지, 반도체 공정부품 등 실전 투입형 연구에 바로 참여하게 되었습니다. KIST 입사 전만 하더라도 저는 기초연구를 하는 과학자라고 생각했는데, 이곳에 오니 엔지니어링 연구를 수행하게 되어 다소 괴리감을 느끼기도 했습니다. 하지만 대부분의 KIST인들이 그랬듯, 선배들의 도움으로 쉽게 극복할 수 있었습니다.

당시 저는 세라믹을 토대로 하는 연료전지 개발 연구팀에 소속되어 있었는데, 국가차원의 대형과제는 잘 수행하지 않던 때였습니다. 그러던 차에 처음으로 21개 기관이 참여하는 대형 국가연구개발사업에 제가 코디네이터 역할을 수행하게 되었습니다. 현대자동차, 포스코 등 국내 굴지의 대기업이 현금출자를 하는 국가 대형과제를 기획하고 만들었다는데 매우 뿌듯했고 지금까지도 기억에 남습니다.

김 소장님은 그간 나노기술연구협의회, 국가인프라협의체의 이사 등으로, 바로 얼마전까지는 약 2년간 한국연구재단에서 나노소재분야 PM\*으로 활동했다.

\*PM(Program Manager)제도란 연구 분야별 전문성을 갖춘 전문가가 연구 사업을 관리하는 제도

우리나라도 이제 선도형 연구로 R&D패러다임을 전환하고, 새로운 혁신동력을 발굴하기 위한 많은 노력을 하고 있는데, 연구기획·관리체계는 어떻게 변화되어야 한다고 생각하시는지요?

저는 KAIST와 KIST가 우리나라에서 연구관리의 기본적 프로토콜을 완비한 대표적 기관이라고 생각합니다. 다행히 저는 KAIST에서 대학원생 시절을 보내며 과제 기획, 관리의 과정을 체계적으로 학습할 기회를 가졌습니다. 졸업 후에는 KIST에서 이러한 과정을 지속적으로 체득·발전시켜 나갈 수 있었습니다. 이러한 경험들이 지난 2년간 연구재단 PM역할을 수행하는데 큰 밑거름이 되었습니다. 사실 나노소재 PM직에는 한 번 떨어진 경험이 있습니다. 재수를 했던 의미죠(웃음). 하지만 그랬기에 공부하며 준비할 수 있는 시간도 더 많았고, 그 기간 동안 KIST에서도 많은 도움을 주셨습니다. 큰 무리 없이 2년간 임기를 마친 것도 이러한 준비기간이 충분했기에 가능하지 않았나 생각합니다.

약 20조원에 이르는 우리나라 국가 R&D의 효율성 문제가 지속 제기되며, 출연(연)에도 R&D 혁신의 바람이 지속되고 있습니다. KIST를 포함한 출연(연), 어떻게 변화해야 한다고 생각하십니까?

이런 이슈가 있을 때마다 R&D제도를 바꾸는 것은 바람직하지 않다고 생각합니다. 우리나라도 선진적인 시스템을 도입한지 시간이 꽤 흘렀고, 이에 따라 연구정책·관리체계도 어느 정도 안정화 되었습니다. 시대와 환경의 변화에 따라 과학기술계에도 여러 가지 문제점들이 발생할 수밖에 없는데 그것이 과연 제도와 시스템을 고쳐서 해결될 지에 대해서는 한번 잘 따져봐야 할 문제입니다.



**- 그럼에도 불구하고 바뀌나가야 할 것이 있다면요?**

선진 연구는 결국 기존에 존재하지 않던 새로운 것을 만들어 내는 것입니다. 그러기 위해서는 ‘연구목표는 정하되, 연구 방향은 정하지 않는’ 연구개발 방식이 확산되어야 합니다. 연구 기획단계에서는 전체적인 목표와 방향만을 정하고, 나머지는 연구를 진행하는 과정에서 만들어나가겠다는 것이죠. 최근 KIST 뿐만 아니라 국가적 차원에서도 이러한 도전적인 기초·원천 분야에 대해 투자를 확대해 나가는 추세는 바람직하다고 생각합니다. 하지만 과연 그 투자가 우리기업과 연구자의 역량을 충분히 고려한 것인지에 대해서는 다시 생각해 볼 필요가 있습니다.

**- 출연(연)의 문제점은 무엇이라고 생각하시나요?**

엄밀히 말해 출연(연)의 문제점이라기보다는 우리나라 R&D 선정과정에서의 문제점을 지적하고 싶습니다. 단적인 예로 국가R&D 과제의 선정평가는 15~20분 가량의 짧은 발표평가를 통해 이루어집니다. 이는 사실 출연(연)에는 불리할 뿐더러, 국가적 차원에서도 결코 바람직하지 않은 방식입니다. 저는 이러한 제한적 정보에 의해 좌우되는 발표평가보다는 제안서 중심의 평가가 그 대안이라고 생각합니다. 이를 통해 기존 발표평가에서 따져볼 수 없었던 연구역량, 팀 구성, 운영방식에 대한 보다 심도 있는 평가가 가능하게 될 것입니다.

**- KIST가 바뀌나가야 할 것이 있다면 무엇일까요?**

KIST가 최근 무분별한 외부과제 수주를 지양하고 대형 연구 사업에 집중하기 위해 2억원 미만의 연구과제 수주를 제한하는 것에 대해 우려했던 것도 사실입니다. 아직 기반을 다지지 못한 젊은 연구자들이 역량을 발휘할 수 있는 기회를 자칫 제한할 수도 있다고 생각했기 때문입니다. 하지만 놀랍게도 이러한 정책으로 젊은 연구자들의 아이디어가 더 도전적이고, 훨씬 더 정리된 형태로 과제에 도전하는 비율이 높아졌습니다. 외부에서 봤을 때도 체감할 정도로 말이죠. 이를 통해 대형·혁신적 과제 중심의 연구가 정착되면 과제 수주, 관리를 지원하는 행정의 역할도 자연스럽게 더 커져야 한다고 생각합니다. 앞으로는 과제 관리뿐만 아니라 대형연구사업 기획, 유치 과정에 있어서도 KIST 행정의 우수한 전문역량이 더 많은 부분 기여해 주시기를 기대해 봅니다.

한 말씀만 더 드리자면, 앞으로 KIST는 궁극적으로 더 많은 연구비를 확보해 이를 외부연구자와 함께 협동·융합연구를 수행하는 R&D 허브가 되어야 한다고 생각합니다. 독자적인 연구를 수행하면서 부족한 부분은 타 연구주체에 위임하는 NIH와 같은 모델 말이죠.

*한편 김 소장님은 국제에너지기구 IEA-IETS\*에 한국대표, 국제표준화 기구 Expert 활동 등 다양한 글로벌 협력사업에도 참여한 바 있다.*

*\*IETS(Industrial Energy-Related Technologies and System: 산업 에너지기술 및 시스템): 산업체 에너지효율 및 생산성 향상 기술 및 시스템 협력활동*

**구체적으로 어떤 활동을 하셨는지 궁금하며 기억에 남는 에피소드가 있으신지요?**

그간 저는 장학회 이사, 대기업 사외이사 등 다른 연구자분들에 비해 비교적 다양한 외부 활동을 해 온 편입니다. 국내 대기업의 사외이사로 활동했을 때는 당시 활동하는 민간 사외이사 중 나이가 가장 젊기도 했습니다. 그만큼 꽤 오랜 세월 여러 내외부 활동에 참여했던 경험이 바탕이 되어 지금 이 자리에 있지 않았나 생각합니다. 그간 이러한 저의 활동을 잘 이해하고 허락해 주신 많은 KIST 분들에게 감사드립니다 (웃음).

IETS는 국제에너지기구(IEA)에서 운영하는 워킹그룹 중 하나인데 주로 북유럽, 미국, 캐나다가 중심이 되어 1년에 2회 정도 전 세계를 돌며 대표단 회의를 합니다. 각국의 전문가 대표가 모여 국제협력과제를 만드는 것이 주 역할입니다. 과제가 만들어지면 각 국가별 대표자가 자국의 연구자를 추천하고 투자액도 바로 결정합니다. 저는 정부의 위임을 받아 참여했지만 참여연구원과 펀딩에 대한 결정권이 없어 다소 어려움이 따랐던 것은 사실입니다. 그럼에도 불구하고 세계적인 전문가들과 아이디어를 나누고 협력과제를 만들어나가는 과정에서 식견을 넓힐 수 있었습니다. 특히 미국, 유럽, 싱가포르 등 여러 국가의 비공개 연구시설을 둘러보고, 워킹그룹을 한국에 초청하여 그들에게 우리나라가 안정적 시스템을 가지고 활발하게 활동하는 국가라는 인식을 심어줄 수 있었던 점 등이 제 커리어 중 가장 기억에 남는 활동이 아닐까 생각합니다.

최근 2년간 KIST를 떠나 외부 전문가로 활동하시면서, KIST가 크게 달라진 점이 있다면 무엇이라고 생각하십니까?

외부에서 바라보는 KIST에 대한 평가가 과거보다 훨씬 더 좋아진 것 같습니다. 그 이유는 여러 가지가 있겠지만 아마도 우수한 역량을 갖춘 연구자가 많아진 것이 가장 큰 이유가 아닌가 합니다. 제가 선임연구원이었던 시절만 해도 연구자들이 좋은 실적을 쌓으면 대학으로 많이 이직을 했습니다. 하지만 지금은 KIST 연구자들 사이에 그런 분위기가 잦아든 것 같고, 실제 통계를 봐도 그 비율이 현저히 줄어들었습니다. 저는 이를 우수한 인재와 문화, 연구시스템의 선순환이 만들어 낸 결과라고 생각합니다.

또 다른 것으로는 KIST 기관고유사업의 수준이 현격히 향상되었다는 점입니다. KIST에서 기관고유사업을 강화해야 한다는 문제의식 하에 이를 개선하기 위한 노력이 적어도 4~5년 전부터 지속되었습니다. KIST가 '해야만 하는' 연구를 해야한다는 공감대 속에, 내부인력 간 치열한 토론과 합의의 과정을 통해 연구과제가 구성·수행되어 온 것으로 알고 있습니다. 연구자들이 도전적이고 창의적인 아이디어를 적극적

으로 제안하고, 이를 어떻게 구현해야 할지에 대한 끊임없는 노력으로 연구역량이 업그레이드 된 것이지요. 이러한 변화는 자연스럽게 외부에서 바라보는 KIST에 대한 좋은 시각으로도 이어지고 있습니다. 실제 KIST 밖에 있던 지난 2년간 KIST 연구자들이 다양한 영역에서 의견과 아이디어를 내는 수준이 과거보다 훨씬 더 도전적이고 그 수준이 향상되었음을 느꼈습니다. 정부와 타 출연(연)에 계신 분들도 이에 공감하고 있다고 봅니다.

- 최근 도전적 연구를 강화하기 위해 도입된 연구계획서 평가 등 다양한 제도에 대해서는 어떻게 생각하시는지요?

앞서 말씀드린 KIST 연구자들의 연구역량 향상, 기관고유사업 수준이 높아진 것은 벌써 몇 년간 이를 위한 노력을 치열하게 해 온 결과라고 생각합니다. 모든 제도는 그것이 성과로 이어지지 위해서는 시간이 필요합니다. 최근 KIST에서 도전적 연구를 위해 도입하고 있는 새로운 정책들의 결과는 아마도 3~4년 후에 또 다른 형태로 발현될 것입니다. 저도 그것이 구체적으로 어떤 성과로 이어질지 기대됩니다.

*과학기술이 점차 고도화되고, 현대사회의 난제들이 다양한 분야를 넘나들며 복잡화되면서 융합연구는 이제 선택이 아닌 필수로 자리잡고 있다.*

소장님께서 생각하시는 융합연구 성공의 핵심은 무엇이며, 융합연구정책의 큰 방향은 어떻게 설계해 나가야 한다고 생각하십니까?

현재 융합연구에 대한 관심은 융합이란 말이 사회 곳곳에서 회자되기 시작되던 몇 년 전에 비해 다소 낮아진 것이 사실입니다. 이는 상당부분 영역과 한계가 불명확한 융합연구의 속성에 기인한다고 볼 수 있습니다. 그럼에도 불구하고 영역과 한계가 불명확한 것이 융합연구의 본질이기도 합니다. 사람들은 융합에 대해 다양하게 이야기 하지만, 저는 연구를 수행하는 주체가 그것이 융합연구라는 것을 인지하지 못하는 것이 진정한 의미의 융합이 아닌가 합니다. 그리고 아주 순수한 영역의 학문이 아닌 이상, 타겟이 있고 성과의 활용이 예측 가능한 것은 모두 융합연구라고 생각합니다.



– 융합연구정책센터의 역할은 무엇이라고 생각하십니까?

저희의 역할을 쉽게 표현하자면 연구자들에게 놀이터, 혹은 수영장과 같은 곳을 제공해주는 것입니다. 연구자들이 외부에서 연구 목표를 만들어서 가져오는 것이 아니라, 이곳에 들어와서 목표를 만들어야 한다는 것이죠. 융합연구는 코디네이터에 의해 기획되고 과제가 만들어져야 합니다. 단, 연구자들이 각자의 기존 연구성과는 가져와야 합니다. 다시 말해, 융합연구는 연구자들이 이미 가지고 있는 결과를 기반으로 단기에 혁신적인 결과를 만들어내는 것이지, 혁신적인 목표를 설정하고 이를 위해 연구를 새로 시작하는 것이 아니라고 생각합니다. 이를 위해서는 필연적으로 융합연구정책센터와 같은 플랫폼이 필요하고, 그 방식은 코디네이터와 다분야 연구자들이 토론하여 과제를 만들어 펀딩을 받고 성과를 내는 형태를 지향해야 합니다. 그런 의미에서 다분야 역량과 지식, 경험을 가진 코디네이터를 중심으로 혁신적 과제가 만들어지고, 이러한 과제에 연구비가 원활히 흘러들어가도록 지원하는 “Program Developer”가 저희의 역할이라 생각합니다.

융합에 관한 필요성과 중요성에 대해서는 대부분 공감대를 이루고 있지만, 실제 연구현장에서는 이를 뒷받침하지 못하는 시스템으로 어려움이 많은 것이 사실입니다. 융합연구가 잘 이루어지기 위해 가장 필요한 것은 무엇이라고 생각하십니까?

저는 모든 R&D가 융합연구가 되길 희망합니다. 융합연구가 일상화되면 아무도 융합이란 단어를 언급하지 않을 것이고, 궁극적으로 그렇게 되면 아마도... 저희 센터는 없어지지

않을까요?(웃음). 하지만 우리의 연구 문화, 정책과 시스템, 연구자들의 인식이 여기까지 미치지 않기에, 아직까지는 융합연구정책센터의 역할강화가 필요한 시점임에는 틀림 없습니다.

앞의 각오와 포부에 대해 간략히 말씀 부탁드립니다.

■ 특별히 소장으로서 이것만은 꼭 하고 싶으신 게 있다면요?

센터원들이 늘 너무 바빠 보입니다. 조금 더 여유를 가지고 더 많이 생각할 수 있는 환경을 만들어주고 싶습니다. 쉽지는 않겠지만 보다 자유로운 환경 속에 더 창의적인 아이디어들이 오고가는 환경을 만들기 위해 노력할 것입니다. 더불어 우리 구성원들이 융합연구 활성화를 통해 국가 과학기술 발전에 기여한다는 자부심을 가지고, 그 역량을 다양한 분야에서 폭넓게 발휘할 수 있게 되길 기대합니다.

마지막으로 최근 감명 깊게 읽으신 책이나 인생 좌우명이 있다면 한 말씀 부탁드립니다.

발간된지는 오래된 책이지만 리처드 도킨스의 <이기적 유전자>를 권해 드리고 싶습니다. 저는 개인적으로 생존 경쟁이란 단어를 여러가지 의미로 좋아하지는 않지만, 이 책은 저와는 다른 시각을 상당히 통찰력 있는 방식으로 신선하게 접근하여 아직까지 가장 기억에 납니다. **kg**

김주선 소장

- ▲ 現 융합연구정책센터 소장
- ▲ 한국연구재단 나노소재분야 PM, 나노기술연구협의회 및 국가인프라협의회 이사, (주)세방전지 사외이사, 국제에너지기구 IEA-IETS 한국대표, 국제표준화기구 Expert 등 다수
- ▲ 연세대학교 요업공학과 학사, KAIST 재료공학과 석사, KAIST 재료공학과 박사

# 01 R&D Spotlight

—  
세 번째 기획시리즈 : 조선의 과학기술, 하나  
세종시대의 과학기술

—  
이슈분석 : 혁신 클러스터, 그 성공요인은 무엇인가?



## 01

## 세 번째 기획시리즈

# 조선의 과학기술, 하나 세종시대의 과학기술

R&D  
Spotlight

구만옥

경희대 사학과 교수  
pero@khu.ac.kr

최근 들어 과학기술 정책이 개편·강화되고 과학기술 혁신을 통해 경제성장과 국가발전을 이루기 위한 움직임이 지속되고 있다. 이러한 시기에 본지에서는 과학기술을 국가발전의 근간으로 삼아 치세를 누린 조선시대의 과학기술을 4회 연속의 기획시리즈로 조명하고자 한다.

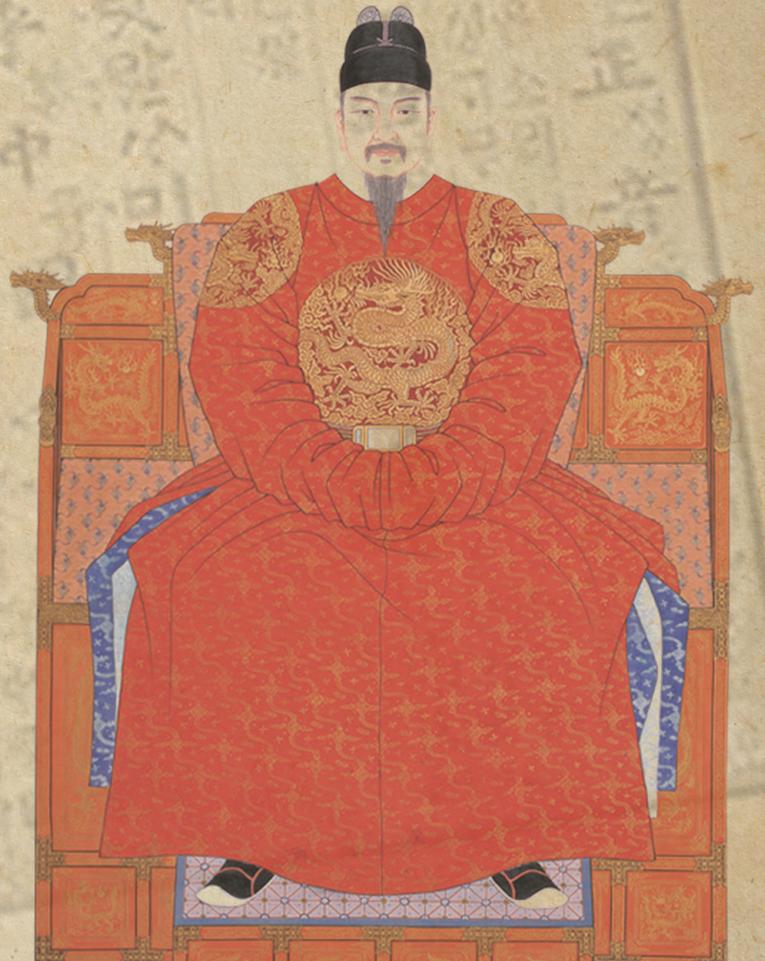
그 첫 번째로 한국 전통 과학기술의 황금기로 불리는 세종시대의 과학기술의 발전상을 살펴보고자 한다.

**하나** 8월호(Vol. 87)  
세종시대의 과학기술

**둘** 9월호(Vol. 88)  
집현전, 세종대 고제(古制)  
연구의 중심

**셋** 10월호(Vol. 89)  
영조대 국가사업과 과학

**넷** 11월호(Vol. 90)  
정조의 천문책(天文策)과  
역상(曆象)개혁론



# 1 조선왕조의 국가적 표준이 된 세종대의 과학기술 성과

세종은 1418년 8월 10일(이하 날짜는 모두 음력) 부왕 태종으로부터 왕위를 물려받아 조선의 제4대 군주로 즉위하였다. 1450년 2월 17일 재위 32년 만에 세상을 떠날 때까지 그는 다양한 분야에서 훌륭한 업적을 남겼다. 특히 전근대 과학기술의 거의 모든 영역에서 괄목할 만한 성과를 거두었다. 천문역산학(天文曆算學), 기상학, 지리학, 의학학, 금속활자 인쇄술, 화약·화기(火器) 제조술, 농학, 음운학(音韻學), 아악(雅樂)과 도량형(度量衡) 등의 분야에서 고려 왕조 이래의 전통 과학기술을 계승·발전시키는 한편, 송(宋)·원(元) 이래 중국의 선진적 과학기술을 수용·소화하여 양자의 조화를 도모하였다. 이러한 성과에 기초해서 한국 과학기술사의 개척자 전상운 선생은 일찍이 세종이 재위했던 15세기 전반기를 ‘한국 전통과학의 황금시대’, ‘세종의 시대’라고 부르기를 주저하지 않았다.

이는 오늘날 역사학자들의 평가만이 아니다. 이미 조선시대에도 그와 같은 평가가 이루어졌다. 영조 4년(1728)에 편찬된 「조감(祖鑑)」이라는 책이 있다. 이는 조선왕조 역대 군주들의 행적 가운데 후세에 교훈이 될 만한 것을 수집하여 여러 항목으로 나누어 정리한 것이다. 그 가운데 ‘제작(制作)’이라는 항목은 각 왕대별로 이루어진 문화 사업의 성과를 정리한 것인데, 거기에서 세종대의 주요 사업 가운데 하나로 과학기술 분야의 성과를 다음과 같이 거론하였다.

制作  
 世宗 慮經界不正 收稅不中 因地膏腴 年歲豐歉 分其等第 制度甚詳 慮五禮未備 參酌古今 制為定禮 風俗歸正  
 世宗 創制訓民正音 以盡聲韻之變 著漢諸音譯無不通 其制作精微 可謂超出古今矣  
 世宗 命有司鑄鐘造磬 吹律協音 而雅樂一新 會禮始不用女樂 又述 祖宗功德 作定大業 興民樂等樂 極其聲容之美  
 世宗 修七政內外篇 作諸儀像 圭表及欽敬報漏等閣而渾象 星晷定時儀 仰釜儀 漢陽日出入分皆自創制 於是天文曆數 始無差失 作明皇戒鑑 防逸樂也 修通鑑訓義 治平要覽 監興亡也 以至醫藥諸書 亦皆校定 如新鑄字記里鼓之類 又無所不致其意也  
 世宗 損益 累朝憲章 以成經濟 六典規模 宏遠條貫 詳密 可為萬世法程  
 世宗 以來 憲章雖具 科條滋多 有司或眩於遵守 且時異世殊 有不得不變而通之者 世祖參酌商確 務從簡切 定著一國大典 為後世持守

▲ 조감(祖鑑)의 제작, 세종부분

세종께서 칠정산내외편(七政算內外篇)을 편수하고, 여러 의상(儀象)과 규표(圭表), 흥경각(欽敬閣)·보루각(報漏閣), 혼상(渾象), 일성정시의(日星定時儀), 양부일구(仰釜日晷) 등을 만들고, 한양의 일출입(日出入) 도수를 모두 스스로 창제하시니 이에 천문역수(天文曆數)가 비로소 오류가 없어졌고, …… 의학(醫藥)의 여러 책에 이르러서도 모두 교정하였고, 새로 주조한 금속활자와 기리고(記里鼓) 같은 것들도 그 뜻을 다하지 않은 바가 없었다.

조선후기에 편찬된 대표적 역사서 가운데 하나인 「연려실기술(燃藜室記述)」에는 세종조의 ‘찬술과 제작[纂述制作]’을 정리한 항목이 있다. 여기에서는 세종조의 대표적 편찬 사업과 과학기술 업적을 간략히 정리하였는데, 「농사직설」의 편찬, 훈민정음의 창제, 「칠정산내외편」의 편찬, 아악의 정비, 간의(簡儀)를 비롯한 천문의기의 제작, 흥경각의 설치, 「제가역상집(諸家曆象集)」의 편찬, 측우기의 제작 등을 거론하였다. 이는 세종대의 과학기술적 성과가 조선왕조 전 기간에 걸쳐 국가적 표준으로 간주되었다는 사실을 보여주는 것이다.



▲ 간의(簡儀)

## 2 세종대의 역사적 좌표

세종대 과학기술의 역사적 성격을 이해하기 위해서는 먼저 세종을 비롯한 당시의 위정자들이 당대의 역사적 좌표를 어떻게 설정하고 있었는지를 살펴볼 필요가 있다. 세종은 자신의 시대를 조상들이 이룩한 사업을 잘 지켜나가야 하는 ‘수성(守成)’의 시기라고 보았다. 태조가 ‘개국(開國)의 군주’

라면 태종은 ‘수성의 군주’였다. 태조는 천운(天運)에 응하여 나라를 개창했고, 태종은 선인(先人)의 뜻을 계승하고 선대의 사업을 발전시켜 예악문물(禮樂文物)을 갖추었다고 보았기 때문이다. 세종은 태종의 뒤를 이은 ‘수성의 군주’를 자처하였고, 자신의 임무는 조종의 왕업을 계승해서 이미 이룩한 융성함을 유지·보존하고 부족한 부분을 보충하는 것일 뿐이라고 하였다.

새로운 왕조를 세운 군주는 법을 만들고 제도를 정할 때 일시적 편의에 따르는 경우가 있기 때문에 법제에 미비한 점이 있고 영구히 통용될 수 없는 것도 있었다. 따라서 후세의 군주들은 이를 가감하여 보다 완비된 제도를 완성해야만 했다. ‘수성의 군주’가 해야 할 일이 바로 이것이었다. 세종과 그의 시대는 조선왕조의 개창 이후 집권체제(集權體制)의 재편이라는 목표를 달성하기 위해 ‘예악문물’로 표현되는 각종 제도와 문화를 완비해야 하는 책무를 짊어지고 있었다.

태조와 태종을 계승한 ‘수성 군주’로서의 자의식은 세종의 치세 내내 이어졌다. 세종은 태조와 태종을 이어 조선왕조를 반석 위에 올려놓아야 한다는 책무의식을 지니고 있었던 것이다. 세종 14년(1432) 여름에 궁문에 걸기 위해 종을 주조하였는데, 이 종에 새긴 명문을 당시 예문관 대제학인 정초(鄭弔)가 작성하였다. 그에 따르면 태조가 천명(天命)을 받아 조선왕조를 개창했고, 태종이 밝은 정치와 원활한 사대(事大) 관계로 나라를 창성(昌盛)하게 했다면, 세종은 선왕이 남긴 업적을 더욱 돈독히 하여, 정신을 가다듬어 정치에 힘쓰니 모든 것이 마땅하여 결함이 없게 되었다고 하였다. 정초는 세종의 구체적 업적으로 “멀리 전적(典籍)을 고증하여 예(禮)를 일으키고 악(樂)을 정비하여 문물이 찬란히 빛나게 되었다”는 점을 거론했다. 예악으로 대표되는 유교적 문물제도의 정비가 세종대의 시대적 과제였음을 보여 주는 사례이다.

요컨대 세종대는 조선왕조 개창 이후의 시대적 과제라 할 수 있는 집권체제의 안정과 유교적 문물제도의 정비를 완수해야 하는 시기였다. 과학기술의 측면에서 보자면 집권체제의 안정에 기여하고, 유교적 문물제도를 구비하는 데 필수적인 과학기술 분야의 진흥이 필요했던 때였다.

### 3 집권체제의 재편과 과학기술의 필요성

집권체제란 국가 운영의 기초가 되는 토지와 노동력[인민]에 대한 일원적·직접적·통일적 지배를 추구하는 정치제도와 이 원리에 의해서 규정되는 사회·경제·사상·문화 일반까지 포괄하는 개념이다. 이와 같은 집권체제의 경영과 관련해서 산학(算學)과 지리학 분야가 주목된다. 토지와 노동력의 장악은 집권체제 운영에서 매우 중요한 문제였다. 당연히 국가가 보유하고 있는 전국의 토지 면적과 인구수를 정확히 파악해야 했고, 이를 위해 작성한 문서가 양안(量案)이라는 토지대장과 호적(戶籍)이었다. 양안과 호적을 작성하기 위해서는 다양한 계산법을 숙지해야만 했다. 그것이 바로 산학이라는 학문 분야의 대상이었다. 양전(量田) 사업과 양안의 작성, 호구(戶口) 파악과 호적의 작성, 양안과 호적을 기초로 한 각종 조세의 부과와 역(役)의 징발, 중앙과 지방 관청의 회계, 병력 동원 등 국가 운영에서 산학은 가장 기초적이고 필수적인 지식이었다.

전통적으로 지리학은 지도의 제작, 도시의 계획과 건설, 토지의 측량 등과 관련한 중요한 학문 분야였다. 각종 지도와 지리지(地理志)의 편찬을 통해 확인할 수 있는 고대사회 이래 지리학의 발달은 집권국가의 국토를 효율적으로 이용하기 위한 노력의 소산이라고 볼 수 있다. 조선왕조의 위정자들 역시 지도와 지리지의 편찬을 국가의 주요 사업으로 인식하였다. 세종대에는 전국지도라 할 수 있는 팔도도(八道圖), 변경 지역의 지도인 양계도(兩界圖) 등이 제작되었고, 전국 지리지인 「신찬팔도지리지(新撰八道地理志)」(1432년)가 편찬되었다. 현재 「신찬팔도지리지」는 전해지지 않지만 「세종실록」에 수록되어 있는 「지리지」를 통해 그 원형을 유추할 수 있다. 지도와 지리지의 편찬은 실용적 목적을 지닌 것이기도 하지만, 국가 운영에서 가장 중요한 요소인 토지와 인민에 대한 왕권의 일원적 지배를 상징하는 문화 사업이기도 했다.

조선왕조의 기간산업은 농업이었다. 따라서 농업인구를 확보하고 농업생산력을 증대하는 문제는 국가 운영을 담당하는 지배층의 가장 큰 관심사였다. 농업 생산의 증진은 국가의 재정을 보장하는 중요 수단이었을 뿐만 아니라 농민들의 생활을 안정적으로 유지하는 방법이였기 때문이다. 과학기술의 측면에서 본다면 농업기술의 개량·발전, 농서(農書)의 편찬과 보급, 농업에 영향을 주는 기상 여건을 파악하는 문제가 중요했다. 먼저 농민들로 하여금 농업

생산을 체계적으로 수행하도록 지도하기 위해서는 조선의 자연환경을 반영한 모범적인 농서가 필요했다. 이와 같은 농서를 제작하기 위한 노력은 조선 초부터 시도되었고, 그 가시적 성과가 드러난 때가 세종대였다. 「농사직설」(1429년)의 편찬이 그것이었다. 체계적인 기상 관측을 위한 노력도 조선 초부터 경주되었다. 세종대에는 그 연장선에서 강우량을 측정하기 위한 측우기와 수표 등의 기구가 고안·발명되었다.

농업 노동력을 안정적인 유지하기 위해서는 의약학 분야의 개선이 필수적이었다. 양질의 노동력을 확보하기 위해서는 질병으로부터 생명을 보호할 수 있는 의료 체계의 개선, 의약학의 개량이 급선무였다. 고려 후기의 향약(鄕藥) 운동을 계승하여 「향약집성방(鄕藥集成方)」을 편찬하고, 중국의 의서와 국내 의서의 처방들을 망라하여 「의방유취(醫方類聚)」를 편찬한 것은 본초학과 이론의 종합을 통해 의학을 체계화하고자 한 조선왕조 집권층의 노력의 산물이었다. 그들은 이를 통해 위민정치(爲民政治)의 이상을 구현함과 동시에 노동력의 안정적 확보라는 현실적 목적을 달성하고자 하였다.

국방 대책과 관련된 과학기술 분야로는 무기 제조 기술이 주목된다. 조선 초기는 국내의 왕조 교체와 함께 대륙의 원(元)·명(明) 교체에 따른 국제 정세의 불안, 고려 말 이후 지속되었던 여진족(女眞族)과 왜적(倭賊)의 침구(侵寇) 등으로 국방 문제가 초미의 관심사였다. 이에 대한 방책의 하나로 추진된 것이 화약무기의 개발이었다. 고려 말 최무선(崔茂宣)이 개발한 화약과 화기는 조선왕조의 중요한 무기 체계로 자리 잡게 되었는데, 세종대에 들어서 북방 개척이 적극적으로 추진되면서 화기의 수요가 증대하였다. 화포의 구조 기술과 화약 제조 기술이 향상되면서 그 형태도 점차 독자적인 모습으로 탈바꿈되었다. 세종 27년(1445)에는 종래의 화포를 모두 폐기하고 새로운 형식의 화포를 전국적으로 배치하기에 이르렀다. 세종 30년(1448)에는 이러한 화포의 구조법과 화약 사용법을 상세히 기록하고 그림으로 그려 놓은 「총통등록(銃筒謄錄)」이 편찬·간행되었다. 「총통등록」의 편찬은 화포의 제작과 사용에서 조선이 독자적인 발전 단계에 들어섰음을 보여 주는 것으로, 이후 조선 시대 화포는 「총통등록」의 전통을 그대로 이어받아 발전하게 된다.

국가의 문화 사업은 정치사상적 목적에서, 사회경제적 목적에서 시행되었고, 그 과정에서 인쇄·출판기술의 발전이 요구되었다. 먼저 그것은 국가의 통치 이데올로기나 국가 운영의 기본 방향을 선전하기 위해 필요하였다. 국가의

지배 이념을 널리 보급하기 위한 각종 경전의 편찬, 국가 통치의 전범이 되는 각종 '대전(大典)'의 간행, 그리고 일반 인민들을 대상으로 한 각종 교화서의 보급이 바로 그것이었다. 다음으로 행정적인 목적의 통치 자료를 마련하기 위해서도 인쇄술은 필요하였다. 각종 제도의 연혁을 정리한 총서(叢書)·유서(類書)류의 출판, 법령집의 간행, 그리고 지방 통치의 보조 자료로 활용된 지지(地志)의 편찬 등이 그러한 목적에서 이루어졌다. 실용적 지식의 보급이나 각종 기록의 보존을 위해서도 인쇄술이 필요했다. 농업·의학·군사 분야와 관련한 각종 책자의 발간, 역사서의 출판·보급이 꾸준히 이어졌다.

## 4 유교·주자학과 과학기술의 연관성: 역상수시(曆象授時)와 경천근민(敬天勤民)

조선왕조가 유교·주자학을 국정교학(國定敎學)으로 삼고 있었다는 점에서 통치 이데올로기와 과학기술의 상호 관련성을 생각해 볼 필요가 있다. 유교 국가를 표방한 조선의 경우 천명(天命)사상에 입각해 왕조 개창의 정당성이 입증되어야 했으며, 국왕의 권력 또한 유교 이념에 따라 그 정당성이 부여되어야 했다. 따라서 건국 초기에 조선의 위정자들은 조선왕조의 개창이 하늘의 명에 따른 필연적 사건이었음을 안팎에 천명할 필요가 있었다. 과학기술의 측면에서 볼 때 천명의 수수 여부는 천문역법(天文曆法)과 밀접하게 관련되어 있다. 제왕의 첫 번째 임무가 '역상수시(曆象授時: 천체의 운행을 관측하고 추산하여 시간을 알려주는 것)'라고 간주되었기 때문이다.

조선왕조 개창 직후인 태조 4년(1395) 「천상열차분야지도(天象列次分野之圖)」라는 천문도가 제작되었다. 거기에는 '역성혁명(易姓革命)'이 자신들의 사사로운 권력욕 때문이 아니라 천명에 의한 불가피한 일이었음을 선전하고 싶었던 조선왕조 지배층의 정치적 염원이 담겨 있었다. 따라서 이 천문도의 제작 목적은 오늘날의 성도(星圖)와 비교해 볼 때 커다란 차이점을 지니고 있다. 「천상열차분야지도」의 하단 부분에 새겨져 있는 권근(權近)의 설명문에 따르면, 이 천문도를 만든 가장 중요한 목적은 고대 제왕의 '하늘을 받드는 정치(奉天之政)'를 본받기 위함이었다. 그것은 구체적으로 위로 '천시(天時)'를 받들고, 아래로 '민사(民事)'를 삼가는 일이었다. '역상수시'와 '경천근민(敬天勤民: 하늘을 공경하고 삼가 백성들의 일에 힘쓴다)'이라는 명제가 의미하는

바가 바로 이것이었다. 역대의 왕조에서 천문학을 중시한 이유, 고대의 성인들이 하늘의 형상을 관찰하고 각종 의기(儀器: 천체 관측 기구)를 제작한 이유는 오직 하늘을 공경하기 위해서였다. 요컨대 전통 사회에서 천문도를 작성한 목적은 오늘 날의 그것과 같이 과학적 목적에서만 이루어진 것이 아니었고, 그 안에는 뿌리 깊은 유교 정치사상이 자리하고 있었다.



▲ 천상열차분야지도 각석 원본(왼쪽)과 복원본(오른쪽)



이처럼 조선왕조의 지식인들은 천문역산학을 제왕의 필수적 사업으로

중시하였다. 그 이념적 근거가 「서경(書經)」에 명시된 “호천(昊天)을 공경히 따라서 일월성신(日月星辰)을 (역상(曆象): 천체의 운동을 관측하고 추산함)하여 인시(人時)를 공경히 준다”는 구절에서 유래한 ‘역상수시’였고, 그것은 국가의 중대한 임무로 여겨졌다. 왜냐하면 그것은 요순(堯舜)으로 대표되는 옛 성인들이 치도(治道)의 가장 중요한 임무로 여겼기 때문이었다.

이와 같은 논리의 근간에는 ‘경천근민’의 이념이 자리하고 있다. 요순의 ‘역상수시’는 ‘경천근민’의 일환으로서 소홀히 할 수 없는 것으로 여겨졌다. 세종은 천문역산학 정비 사업이 마무리 단계에 접어들자 이순지(李純之)에게 명해 천문·역법·의상(儀象: 천체 관측 기구)·구루(晷漏: 해시계와 물시계)에 관련된 내용을 여러 책에서 추출하여 그 가운데 요긴한 것을 취해 「제가역상집」을 편찬하게 하였다. 이순지는 이 책을 통해 세종의 ‘경천근민’하는 정치가 그 극진함을 다하지 않은 바가 없음을 알 수 있을 것이라고 하였다. ‘역상수시’와 ‘경천근민’의 깊은 관련성을 여기에서도 엿볼 수 있다.

‘하늘을 공경하는 것’과 ‘삼가 백성들의 일에 힘쓰는 것’도 별개의 일이 아니었다. 하늘이 보고 듣는 것은 실로 백성들을 통해서였으니, 백성들이 불편해 한다면 그것은 하늘을 공경하는 것이 아니었다. ‘경천’의 실상을 달성하기 위해서는 백성을 위한 정치, 백성들의 불편을 해소해 주는 정치, 백성들로 하여금 먹고살 수 있게 해 주는 정치가 필요했다.

그것이 이른바 ‘왕도정치(王道政治=王政)’이고 ‘인정(仁政)’이었다. 세종을 비롯한 조선의 위정자들은 이러한 사실을 잘 이해하고 있었다. 세종은 군주는 하늘을 대신해서 만물을 다스리는 존재[代天理物]인데 그의 책무 중에서 ‘애민(愛民)’이 중요하다고 거듭 강조했다.

그렇다면 조선의 위정자들은 왜 애민을 강조했을까? 국가의 존망이 민심의 거취에 달려있다고 보았기 때문이다. 따라서 맹자의 말대로 백성들에게 항산(恒産)을 보장해 주어 항심(恒心)을 갖도록 하는 것이 왕정(王政)의 요체였다. 그것은 백성들의 재생산 기반을 보장해 주고, 교화를 통해서 그들을 유교적 윤리에 충실히 따르는 인간으로 육성하는 일이었다. 세종이 수령들에게 애민을 강조하면서 그 구체적 실현 방안

으로 농업과 잠업을 권장할 것, 부역(賦役)을 공평하게 부과할 것, 요역(徭役)과 부역을 가볍게 할 것, 형벌을 삼갈 것 등을 끊임없이 강조했던 연유가 여기에 있었다. 그것이야말로 조선 왕조의 안녕을 보장할 수 있는 방도였기 때문이다. 「용비어천가(龍飛御天歌)」의 마지막 장에서 “자자손손 성신(聖神)이 계승한다고 해도 경천근민해야 나라가 더욱 굳어질 것이다”라고 후세의 사왕(嗣王)들에게 당부해 마지않았던 것도 바로 이런 이유에서였다.

요컨대 국가를 소유하고 통치하는 핵심은 경천(敬天)과 근민(勤民)에 불과할 따름이었다. “하늘은 우리 백성이 보는 것을 통해 보고, 하늘은 우리 백성이 듣는 것을 통해 듣는다”는 「서경(書經)」의 구절에 근거해 볼 때 경천과 근민은 별개의 항목이 아니었다. 제왕이 나라를 다스리는 도리는 천심에 순응하고 백성들의 뜻에 따르는 것일 뿐이었다. 인심이 귀일하는 곳이 바로 천명의 소재였기 때문이다.

이처럼 역상수시를 주된 목적으로 하는 천문역산학과 경천애민·경천근민의 이념은 상통하는 것이었고, 그것은 왕정·인정의 실천으로 연결되었다. 세종조를 포함한 조선왕조의 과학기술 분야가 유교·주자학의 자장 안에서 운영되고 있었음을 주목할 필요가 있다. **ktg**

\* 이상의 내용은 구만옥, 「세종시대의 과학기술」, 들녘, 2016의 내용을 재구성한 것임.

## 02

## 혁신 클러스터, 그 성공요인은 무엇인가?

R&D  
Spotlight

임혜진  
미래전략팀  
hjlim@kist.re.kr

**얼**마 전, KIST, 고려대, 경희대 등 홍릉 소재기관을 중심으로 홍릉 클러스터링 추진단이 발족되었다. 홍릉단지를 미래 국가성장에 기여할 과학기술 혁신 클러스터로 재도약시키기 위한 출발이 본격화되었다. 이에 본 지에서는 최근 미국 Brookings 연구소에서 발표된 “혁신 클러스터: 미국으로 부터의 교훈(Clusters and Innovation Districts: Lessons from the United States Experience)\*”이란 보고서를 소개하고자 한다. 이 자료는 미국의 주요 혁신 클러스터에 대한 사례를 통해 혁신 클러스터의 특성을 분석하여 클러스터 개발과 관련된 성공 및 실패요인을 도출하고 있다. 이를 통해 홍릉 클러스터링의 발전에 유익한 시사점들을 발견할 수 있을 것이다.



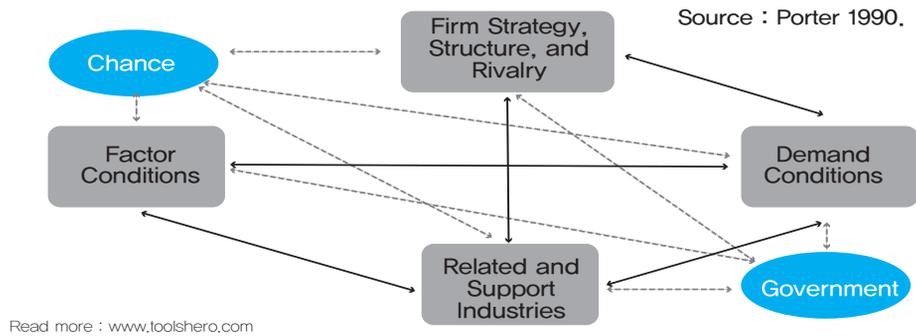
\* Martin Neil Bailly, Nicholas Montalbano (The Brookings Institution)

# 1. 분석 프레임워크

클러스터가 생산성과 경제적 성과에 기여한다는 점에는 폭넓은 동의가 이루어지고 있지만 그것을 분석하는 프레임워크는 다양하다.

① **밀도(density)** : 경제학자들은 경제활동의 밀도가 클러스터내 기업들에 생산성 우위를 부여하는 것으로 강조하며 이에 대한 통계적 증거를 발견하고 있다. 이러한 그룹의 대표적인 주창자가 Paul Krugman이다.

② **다이아몬드 이론(The Porter Diamond)** : Porter에 따르면, 성공적인 클러스터의 주요 민간 섹터 요인들이 4점의 다이아몬드 패턴을 형성한다. 요소 조건(factor Conditions)은 자연자원과 인적자원을 반영한다. 관련 지원 산업(related and supporting industries)은 강철산업과 같은 전통적인 클러스터에서의 공급산업의 역할을 반영한다. 수요 조건(demand conditions)은 국내 시장의 정교도와 크기를 반영한다. 전략, 구조 및 경쟁(strategy, structure and rivalry)은 어떻게 기업이 조직되고 경쟁하는지 그리고 기업 문화를 검토한다. 뿐만 아니라 Porter는 클러스터 실적의 외부촉진자로서 정부의 역할을 강조하고 가능성 요인(chance factors)<sup>1)</sup>도 중요할 수 있음에 주목한다.



③ **메트로 프로그램 프레임워크(The Metro Program Framework)** : Bookings의 메트로 프로그램은 혁신지역이 세 가지 유형의 자산(경제적 자산(economic assets), 물리적 자산(physical assets), 네트워킹 자산(networking assets)) 가까이 세워짐을 발견한다. 이들은 각각 독립적으로 혁신지역을 서포트할 수 없으며 상호작용에 의해서 혁신지역에 성장과 부양의 기초를 제공한다.

자산 분류	세부 자산	주요 사례
경제적 자산	혁신동력	연구기반 고부가가치 부문, 디자인·그래픽·미디어·건축 등 창조적 분야, 전문화된 중소기업
	혁신 촉진자	인큐베이터, 기술이전조직, 액셀러레이터, 개념검증센터, 직업훈련시설 등
	인근 편의시설	병원, 상점, 식당, 호텔
물리적 자산	공공 자산	공원, 광장, 도로
	민간 자산	연구공간, 사무실, 상점
네트워킹 자산	공식적 회의	정기적 기술회의, 워크숍, 컨퍼런스
	비공식적 회의	지역 내에서의 일상적 만남

1) 예를 들어 신기술이 도약할 때 적합한 기술을 보유한 사람들을 기용 가능함을 의미한다.

④ **리더십과 문화의 중요성** : ‘The Smartest Places in the World’ 라는 책에서 Bakker와 van Agtmael은 혁신 클러스터가 시작되기 위해서는 강한 지도자 혹은 리더십 그룹이 중요함을 강조한다. 예를 들어 Ohio의 Akron 지역에서 Akron대 총장이 폴리머에 관한 지역의 전문성이 갖는 기존의 강점을 알아보고 혁신지구를 성장시키기 위한 경제적 씨앗으로 설립할 것을 결정하였다.

문화가 기술지구 및 클러스터의 성공에 필수적이라는 관점은 “Regional Advantage: Culture and Competition in Silicon Valley and Route 128”이라는 AnnaLee Saxeenian의 고전 연구에서 비롯된다. 이 책은 왜 Silicon Valley가 Boston 지역과의 경쟁에서 이겨 하이테크 혁신의 주축이 되었는지를 검토하고 있다. 그녀의 진단은 California의 더 자유로운 분위기, 네트워크 기반의 경제시스템, 더 개방적인 노동시장, 더 많은 비공식적 대화, 협력문화와 더 큰 유연성에 초점을 두어 두 지역의 문화 차이를 강조하고 있다.

## 2. 성공요인의 도출

지금까지 논의된 프레임워크들에 기반하여 클러스터가 지녀야 할 성공요인의 집합을 아래와 같이 도출할 수 있다.

1. **핵심역량(Core Competency)** : 경쟁력있는 제품을 개발할 수 있는 기술과 역량을 보유해야 한다.
2. **인력(People)** : 성공적인 클러스터를 위한 세 가지 필요 인력조건으로, 강한 리더십, 역량 있는 연구자, 그리고 숙련된 노동력이 있어야 한다.
3. **문화(Culture)** : 클러스터를 발달시키기 위해 요구되는 문화에 두 가지 요소가 있다. 하나는 아이디어를 공유하는 기업과 연구 문화, 그리고 클러스터에 재능있는 사람들을 끌어들이는 라이프 스타일이다.
4. **기업역량(Business Capabilities)** : 클러스터에 있는 성공적인 스타트업 기술 기업들은 혁신적인 아이디어를 보유할 뿐 아니라 회사를 개발하기 위해 필요한 비즈니스 스킬도 보유해야 한다.
5. **정교한 수요(Sophisticated Demand)** : 혁신제품과 서비스는 반드시 시장이 있어야 한다. 이상적으로는 클러스터 내부에서 이 시장이 있어야 하지만 그렇지 않을 경우 국내 혹은 국제적으로 그러한 시장에 접근할 수 있는 방법을 알고 있어야 한다.
6. **편당에 대한 접근(Access to Funding)** : 스타트업 회사들은 재정적 지원을 필요로 한다. 또한 클러스터 인프라, 사무실, 연구실 등에도 편당이 필요하다.
7. **인프라 제공(Infrastructure Provision)** : 공항, 고속도로, 주택, 건물과 같은 물적 자산과 공공 편의시설은 클러스터의 기반이다.
8. **규제 환경(Regulatory Environment)** : 복잡한 허가 절차들은 클러스터의 발전을 지연시키거나 멈출 수 있다.

### 3. 사례 분석

도출된 성공요인의 관점에서 미국 내 성공적인 클러스터들(Austin Texas, Pittsburgh, Pennsylvania, Research Triangle Park, Akron Ohio, Seaport Innovation District, Silicon Valley)의 특성을 분석할 수 있다. 본 지에서는 지면 관계상 Research Triangle Park의 사례분석만을 소개하도록 하겠다.

Research Triangle Park의 성공은 대체로 세계적 수준의 연구 대학, 연방과 주의 높은 수준의 펀딩, 빠르게 성장하는 부문들의 입지, 진보적이고 강한 리더십, 낮은 생활비용과 높은 생활의 질에 기인한다.

Research Triangle은 North Carolina에서 7,000 에이커를 차지하고 있고 Raleigh, Durham, 그리고 Chapel Hill의 도시와 마을들을 포함하고 있으며 3개의 교육기관, Duke 대학, North Carolina-Chapel Hill(UNC) 대학 그리고 North Carolina State 대학(NC State)으로 이루어져 있다. Park는 그 지역 대학의 연구를 증가시키도록 창출되었고 R&D와 관련된 회사들을 끌어모으고 있다. Park내 두 개의 가장 중요한 클러스터는 바이오· 제약과 IT이다. Research Triangle Park(RTP)의 GDP는 2016년 기준 1,240억 불이다.

**핵심역량** RTP는 3개 대학의 강한 연구역량에 기반하여 세워졌다. Duke와 UNC의 의학센터들은 뛰어난 의료기관이 되었다.

**인프라 기반** Park는 신 고속도로와 국제공항으로부터 수혜를 얻었다. 재개발이 진행 중이며 곧 Park 센터가 생겨날 것이다. Park는 더 확장될 것이며 개발을 위한 토지도 즉시 제공가능하다.

**인력 : 강한 리더십** 지역의 정치 및 기업 리더들은 낮은 임금의 제조업과 농업 일자리에 기반한 경제가 지속가능하지 않음을 인정했다. 대학졸업자들이 다른 일자리를 찾아 주를 떠나는 “두뇌유출”의 트렌드를 뒤바꾸기 위해 그들은 새로운 진로를 개발했다.

NC의 주지사는 주의 연구대학들 사이의 땅에 기업들을 끌어모으는 research park의 아이디어에 관한 개념 보고서를 위임했다. Park는 주의 기존 연구 인프라와 강점들위에 민간부문의 노력이 지어진 것이었다. Wachovia Bank and Trust의 사업가인 Archibald Davis의 기업가 리더십과 비전은 Park를 개발하고 성장시키고 국가 연구리더로서의 입지를 유지하는데 중대한 역할을 했다.

**인력 : 높은 역량의 연구자들** 세 개의 연구대학은 Park 개발의 핵심에 있었다. 그들은 연구 인프라와 인력을 제공했다. 그들의 연구활동은 Park에 있는 다른 연구기관들을 보완했고 그들은 지식을 공유하고 교류하는 강한 비공식적 조직을 형성했다.

**인력 : 숙련된 노동력** Park의 대학과 기관들은 숙련된 노동자들을 끌어 모으고 공급했다.

**문화 : 아이디어 공유** 연구대학들은 세미나와 공동 프로젝트들을 통해서 협업의 기반을 제공했다. 이러한 친밀한 협업으로 연방정부의 연구비가 유입되었다. 연구대학과 연구기관에서 수행된 기초연구가 경제성장을 촉진하는 파급효과와 기업들의 스피어아웃으로 이어졌다.

**문화 : 편의시설** RTP는 낮은 생활비용과 높은 생활의 질을 보유하고 있다.<sup>2)</sup>

**정교한 수요 :** Duke와 UNC 의료센터들은 정교한 생산품과 서비스에 대한 고객으로서 역할하고 있다. Department for Human and Health Services(HHS), Department of Defense(DoD), National Science Foundation(NSF)와 같은 연방기관들은 Park에 있는 대학과 기관들로부터 연구수요를 창출하고 있다.

**펀딩** Triangle에 있는 세 개의 대학들은 다른 대학들과 비교할 때 파격적인 양의 연방 R&D펀딩을 받아왔다. 게다가 Environmental Protection Agency와 Environmental Health Science Center와 같은 연방정부 기관들은 Park에 수백만 달러의 계약을 가져왔다. 이러한 연방정부 자금의 유입이 클러스터의 개발과 성공에 중요한 역할을 하였다.

## 4. 실패요인의 교훈

여러 가지 또 다른 사례 분석에 기반하여 클러스터를 창출하려는 노력에서 발생할 수 있는 문제점들은 다음의 4가지 카테고리로 서술될 수 있다.

**계획타당성(White elephants)** 클러스터 추진이 정책결정가나 정부리더의 권위를 창출하기 위해서 시작된다면 성공하지 못할 수 있다. Malaysia Science Park 사례를 통해 실현가능성 및 타당성 있는 전략계획 수립이 필요함을 알 수 있다.

**하향식 접근(Picking winners from the top down)** 정책결정자들이 클러스터를 개발하고자 한다면, 그들은 현장에 있으며 클러스터 추진의 가치와 기술에 대한 이해가 높은 과학자와 기업인의 판단을 수렴해야 한다. Michigan이 하이브리드 자동차 이니셔티브를 추진하려는 노력은 하향식 추진으로 실패한 사례이다.

**역량부족(Incompetence)** 클러스터 리더십은 도달하는데 필요한 역량수준을 보유해야 하며 그들이 필요한 정보나 역량수준을 보유하지 않은 일과 결정사항들은 다른사람들에게 양도하고 물러서야 한다. Obama의 청정기술 이니셔티브는 이러한 문제를 겪었다.

**이익상충(Capture)** 정책결정자가 지인들에게 자금을 유용한다든가 은퇴 후 고용의 수단으로 특정집단에 유리하게 의사결정을 하는 경우에 발생한다. 이는 역량과 상충관계 있을 수 있으며 이 경우 정답은 균형과 올바른 판단이다.

2) U.S. News는 최근 Raleigh와 Durham, NC를 미국에서 7번째로 살기 좋은 곳으로 순위 매겼다.

## 5. 결론 및 제언

성공적인 클러스터 촉진을 위한 지금까지의 논의와 사례분석을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

지역리더십은 필수적이다. 성공적인 클러스터는 일반적으로 강하고 능력있는 리더십 팀을 명시하는 전략 계획을 보유한다. 차례로 이 팀은 클러스터가 건설될 핵심 역량을 명시한다. 성공적인 계획은 건설한 비즈니스 역량 위에 지어진다. 실패하는 계획은 진정한 경제적 기반 없이 열망에 의해 추진된다.

정부로부터의 스타트업 펀딩이 중요하며 필수적이다. 클러스터가 진화함에 따라 민간 펀딩을 끌어 모을 수 있는 것이 필수적이다.

지역정부의 펀딩은 인큐베이터, 교통연계 및 와이파이 서비스와 같은 인프라 투자에 유용하다. 성공적인 클러스터는 재능있는 사람들이 일하고 살기에 매력적인 장소이고 공유 공동체를 촉진한다. 민간 섹터가 인프라 생성 과정에 참여하는 것이 가장 좋다.

숙련된 전문가들에 대한 접근은 정부 지원 대학 프로그램들을 요구할 수도 있는 초기의 기술 클러스터에 중요하다. 클러스터가 자라면서 더 많은 숙련된 블루칼라 노동자들과 기술자들을 필요로 할 것이며 교육 프로그램에 대한 수요를 창출할 것이다.

연방정부부터 지방정부까지 모든 계층의 정부들이 협업하며 클러스터 발전을 지원해야 한다. 다양한 정부 계층의 역할과 그들 사이의 조정에 관한 명확성과 투명성을 확보하는 것은 유리하다.

대학에 대한 R&D 형태로의 정부펀딩은 중요하며 성공적인 클러스터는 대개 대학, 공공랩, 혹은 병원들과 공동으로 입지한다. 이러한 기관들은 민간 비즈니스와 스타트업과의 협력을 촉진한다.

정부가 클러스터에서 생산된 정교한 제품과 서비스의 구매자라면 초기 클러스터에는 유리하다. 시장과 구매자들을 확정하는 것이 초기 클러스터에 대한 전략적 계획의 일부이어야 한다.

지역 정부는 확실히 자리를 잡거나 은퇴한 비즈니스 리더들이 새로운 기업가들을 도울 수 있는 멘토십 프로그램을 활성화할 수 있다.

정부펀딩이 메리트와 경제적 논리에 기반하여 배분되도록 조치를 취하는 것이 중요하다.

클러스터는 그들이 지역이나 나라의 경제에 영향을 줄만큼 커지기에 여러 해가 걸린다. 정책결정가들은 인내를 필요로 한다. **키**

# 02 R&D In&Out

---

## 01. 주요 과학기술 정책 및 현안

‘문재인 정부의 기초연구진흥 기본방향’ 마련

---

## 02. TePRI, 정책 현장 속으로

NANO KOREA 2018- 신기술분야 5개 전시회 합동개최

‘재생에너지 3020정책 현황과 과제’ - “에너지전환포럼” 참관

---

## 03. 글로벌 시장 동향

고급진단 검사 출현으로 성장하는 분자진단 시장

---

## 04. Guten Tag! KIST Europe

다양한 응용을 위한 양면 임프린트(Duplex-imprinting) 나노 어레이



# 주요 과학기술 정책 및 현안

R&amp;D In&amp;Out

한 원 석

정책실

g16501@kist.re.kr

## ‘문재인 정부의 기초연구진흥 기본방향’ 마련 - 「제4차 기초연구진흥종합계획('18~'22)(안)」

### 연구자 중심, 국민 중심의 기초연구 청사진 제시

**과** 기정통부는 향후 기초연구 정책방향을 ‘연구자 중심, 국민 중심’으로 혁신하고 연구자들이 다양한 분야에서 자율과 창의를 바탕으로 의미 있는 연구에 과감히 도전할 수 있는 환경을 구축해 나갈 계획이다.

- 과기정통부는 관계부처와 공동으로 이 같은 내용이 담긴 「문재인 정부의 기초연구진흥 기본방향, (제4차 기초연구진흥종합계획('18~'22))」을 발표했다.
- 지난해부터 산학연 전문가로 구성된 테스크포스(T/F)와 자문위원회 운영, 연구자를 포함한 대 국민 의견수렴\*, 관계부처 협의, 기초연구진흥협의회 사전 심의 등을 통하여 현장의 수요에 기반한 계획을 마련해왔다.

\* 대국민 설문조사(총4회/1,385명), 온·오프라인 공청회(약 200명)를 통하여 계획의 방향 설정, 추진과제 도출, 수정·보완 등

### 기초연구 진흥을 위한 기본 원칙

이번 계획에서는 기초연구의 이러한 특성을 반영하여 향후 기초연구 정책이 보다 긴 호흡을 갖고 장기적인 안목에서 추진될 수 있도록, 먼저 정부와 연구자를 비롯한 기초연구 관련 주체들이 보편적으로 지향해야 할 기본가치와 원칙을 도출하였다.

- 연구자 및 대국민 의견수렴을 통해 도출된 ‘창의성 / 자율성 / 다양성 / 안정성 / 책임성’이라는 기본가치를 구현하기 위해 기초연구 정책수립, 연구지원 및 연구수행에 있어 실천해 나갈 10가지 기본원칙을 다음과 같이 제시하였다.

기본 가치				
창의성	자율성	다양성	안정성	책임성
기본 원칙				
① 창의적 아이디어를 자유롭게 구현할 수 있는 체계를 마련한다. ② 세계 최초·최고 수준의 연구를 지향한다. ③ 역량 있는 모든 연구자를 균형 있게 지원한다. ④ 당장의 성과보다는 장기적인 시각으로 믿고 맡긴다. ⑤ 소외되는 분야가 없도록 다양성을 확충한다. ⑥ 미래 주역인 젊은 연구자가 성장할 수 있는 여건을 마련한다. ⑦ 연구에만 집중할 수 있는 환경을 조성한다. ⑧ 신뢰를 바탕으로 성숙한 연구문화를 확산한다. ⑨ 연구자와 국민과의 소통을 강화한다. ⑩ 기초연구가 세상에 기여할 수 있도록 노력한다.				

- 이러한 기본원칙을 통해 연구자와 국민의 시각에서 기초연구진흥을 위한 노력을 지속할 경우 다가올 미래 모습을 연구자, 연구성과, 사회기여 측면에서 다음과 같이 제시하였다.

미래 모습	
연구자	다양한 분야에서 창의적·도전적 아이디어를 바탕으로 자율적이고 안정적인 연구를 수행
연구성과	기초연구 지원을 바탕으로 혁신적인 지식이 다양한 분야에서 끊임없이 창출
사회기여	기초연구의 성과가 씨앗이 되어 사회 전분야에서 국민이 체감할 수 있는 과학기술 기반 제공

기본원칙을 바탕으로 향후 5년간의 추진 목표를 아래와 같이 설정하였으며, 이를 달성하기 위한 중점 추진과제를 도출하였다.

### | 향후 5년간 추진 목표 |



## 연구자 중심으로 기초연구 혁신

먼저, 기초연구 투자 확대와 함께 기초연구 포트폴리오 및 지원체계를 연구자 역량단계별/연구분야별로 혁신한다.

- 국정과제인 연구자 주도 기초연구 지원 확대('17년 1.26조원 → '22년 2.5조원)를 차질 없이 수행하여 연구 기회를 지속적으로 확대해 나간다.
  - 이와 함께, 연구자의 향상된 연구 역량에 맞춰 우수한 성과를 창출할 수 있도록 중규모 이상의 연구과제 중심으로 포트폴리오 개선하여 실질 연구비를 지원할 수 있는 기반을 마련해 나간다.
- 연구 생애 전주기동안 연구 역량을 발전시켜 연구성과를 창출할 수 있도록 수월성과 안전성의 균형 있는 지원 체계를 구축한다.

### | 수월성과 안전성을 고려한 개인연구 지원 체계 |



- 또한 학문분야별 특성을 반영한 과제 지원 및 성과 창출을 위하여 중장기적으로 연구 분야별 지원 체계로의 전환을 추진한다.
- 정부 연구개발사업 내 기초단계 연구지원 강화를 위하여 사업별 지원 실적 분석 등을 통하여 기초연구 지원 강화 방향 수립을 추진한다.
  - 기초단계 연구 특성을 반영하여 RFP 최소화 등 연구자의 자율성·창의성을 제고하는 기획·선정 방식으로 전환해 나갈 예정이다.

## 전주기 기초연구 지원 체계 구축

젊은 연구자를 조기 발굴하고, 연구경력 단계별로 꼭 필요한 연구지원을 받아 우수한 연구자로 지속적으로 발전할 수 있도록 전주기에 걸친 균형 잡힌 지원체계를 구축한다.

- 우수한 이공계 연구인력이 핵심 과학기술인재로 성장·정착할 수 있도록 젊은 연구자를 학위과정부터 연구정착까지 체계적으로 지원한다.
  - 박사 학위과정생 대상 연구장려금 신설, 박사후 연구원의 연수 및 연구 기회 확대 등을 통하여 연구 역량 향상을 지원하고,
  - 신진연구자가 조기에 연구 정착할 수 있도록 연구기회 및 연구비 규모 확대 및 '최초 혁신 실험실' 구축 연구비를 지원한다.
- 우수성과 창출의 중추적 역할을 하는 중견급 연구자가 필요한 실질 연구비를 지원받고, 세계 최고수준의 연구자로 성장할 수 있도록 중견연구과제 유형 다양화\* 및 리더연구\*\* 지원을 확대한다.
  - \* 현 0.5~3억원 단일 지원 체계 → 0.5~2억 / 2~4억원 유형 이원화
  - \*\* 현 8억원 단일 지원 체계 → 8억 / 15억원 유형 이원화
  - 융·복합 공동연구 활성화 및 양질의 전문화된 핵심연구그룹으로 성장할 수 있도록 기초연구실 및 선도연구센터 지원을 강화한다.
- 역량 있는 연구자가 연구단절 없이 지속적으로 연구를 수행할 수 있도록 '생애기본연구비' 지원을 신설한다.
  - 특히, 연구비가 단절된 우수한 연구자에게 연구비를 지원하여 연구공백을 최소화하고, 향후 연구과제 재진입의 발판을 마련해준다.
- 우수 연구 인력이 집중되어 있는 대학의 연구역량을 제고하여 기초연구 거점으로 역할을 수행할 수 있도록 지원을 강화한다.
  - 이공분야 단과대학 및 대학 부설 연구소 단위로 연구기반 구축을 지원하여 대학의 연구역량 강화 기반을 조성한다.
- 기초과학연구원(IBS)를 기초과학분야 세계적 선도 연구기관으로 육성하기 위하여 PI급 연구자 확대 등 핵심 연구역량을 강화하고, 본원 중심의 발전 체계를 구축한다.

## 자율과 책임에 기반한 연구 몰입 환경 조성

연구수행의 자율성 확대, 공정성·전문성 원칙이 강화된 평가제도의 운영, 자발적 연구윤리 의식 제고를 통해 R&D 주체간 자율과 책임에 기반한 연구몰입 환경을 조성한다.

- 연구분야·주제별 연구특성을 고려하여 연구의 자율성을 강화하고, 연구환경 변화를 고려한 연구주제 및 기간 변경을 허용하여 유연한 연구지원 체계를 구축한다.
  - 연구자가 한분야 연구에 지속적으로 매진할 수 있도록 후속연구 지원을 강화하고, 선정평가지 과거 연구실적을 고려하여 우수성과를 창출한 연구자에 대한 지속적인 지원체계를 구축한다.
- 공정성·전문성 확보 중심으로 평가위원 운영제도를 정비하고, 선정부터 결과까지 전 단계에 거친 평가제도를 우수과제 선정 및 성실수행 관점으로 전환을 추진한다.

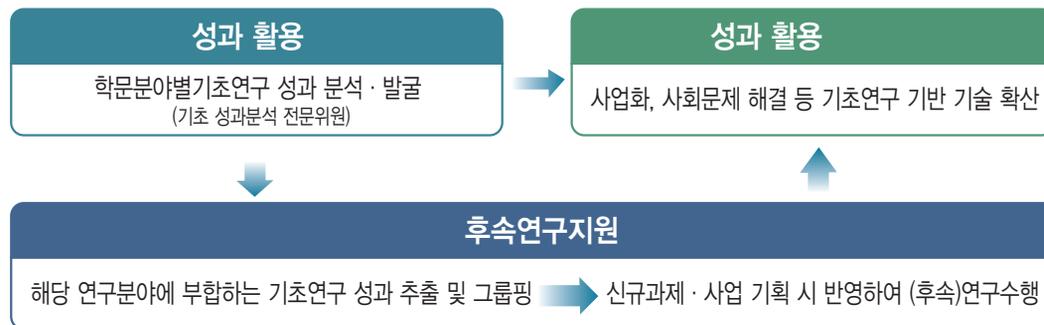
- 질적으로 우수한 과제를 선정할 수 있도록 충분한 평가기간 확보 및 연구 정보를 제공하고, 우수한 연구자가 적극적으로 평가에 참여하는 문화를 확산한다.
- 연구자의 연구 행정 부담 완화를 위하여 부처별 연구비 규정 표준화, 연구계획서, 보고서 등 서식 개선을 추진한다.
  - 또한 대학의 산학협력단이 연구지원 기능을 책임지고 수행할 수 있도록 R&D 간접비를 연구지원에 투자하도록 유도하고, 전문성을 강화하여 행정지원 기능의 고도화를 추진한다.
- 연구자가 긴 호흡으로 새로운 지식 창출 및 과학적 난제 등에 적극적으로 도전하고, 신뢰를 바탕으로 성실하고 책임있게 연구를 수행하는 성숙한 연구문화를 조성한다.

## 국민이 체감하는 기초연구 생태계 조성

기초연구 지원이 혁신의 밑거름이 되어 국민이 체감할 수 있는 과학기술이 될 수 있도록 유·무형의 인프라를 강화한다.

- 연구의 효율성 및 연구결과의 활용가치를 높일 수 있도록 기초연구 과정에서 발생하는 연구 데이터를 공유·협력하는 체계를 구축하고, 이를 활성화한다.
  - ※ 연구데이터 공유·활용체계 전반의 연구데이터를 원스탑으로 검색하고 활용할 수 있는 국가 연구데이터 플랫폼 구축·운영
- 기초연구 성과가 원천기술 확보, 사회문제 해결 등 국가·사회적 수요에 효과적으로 연계될 수 있도록 체계적인 성과발굴·연계 지원체계를 구축한다.

### | 기초연구 성과 발굴·확산 체계(안) |



- 연구자가 자율적으로 수행하는 연구 현황을 분석하여 연구동향을 도출하고, 연구 성과가 후속연구, 사업화 등에 유기적으로 연계될 수 있도록 지원조직 기능을 강화할 예정이다.
  - ※ '기초연구 우수성과 대회' 등 산·학·연 연구자들의 연구동향·성과 교류의 장 마련
- 우수 연구 성과 창출·확산의 기반 마련을 위하여 연구장비·시설의 활용성을 강화하고, 국제 공동연구를 활성화한다.
- 기초연구에 대한 정보가 대중에게 효과적으로 전달될 수 있도록 연구자와 대중과의 소통 강화를 추진한다.
  - 연구자들이 직·간접적으로 기초연구 성과 및 현황을 소개하고 홍보할 수 있도록 다양한 미디어를 활용하여 대중과의 소통 기회를 확대한다.
    - ※ 팟캐스트를 활용한 최신 연구정보를 소개, '금요일에 과학터치' 행사 확대 등
  - 또한 국민의 관심을 반영한 과학문화 프로그램을 통해 기초연구에 대한 국민의 이해도 및 관심도를 제고해 나갈 예정이다.

## 2019년도 국가연구개발사업 예산, 8대 혁신성장 선도분야에 집중

### 기초연구 2배 확대, 국민 삶의 질 향상에 기여

과기정통부는 '2019년도 국가연구개발사업 예산 배분 · 조정안'을 마련하여, 6월 29일(금)에 개최된 제2회 국가과학기술자문회의 심의회에서 확정하였다고 밝혔다.

- 동 배분 · 조정안은 올해 3월 14일 발표한 「2019년도 정부연구개발 투자방향 및 기준」을 바탕으로, 국가과학기술자문회의의 기술 분야별 전문위원회\* 논의와 사업별 심층검토를 거쳐 마련하였다.

\* 공공우주, 에너지환경, ICT융합, 기계소재, 생명의료, 기초기반, 국방의 7개 분야에 산학연 민간 전문가로 구성 (총 100명)

국가과학기술자문회의에서 심의한 '19년 R&D 규모는 15.8조원으로 주요 사업이 14.7조원, 출연연구기관의 운영경비가 1.1조원이다.

※ 과학기술정보통신부는 과학기술기본법 제12조의2에 근거하여, 차년도의 주요 국가연구개발사업과 연구기관 운영 경비를 배분 · 조정하여 국가과학기술자문회의의 심의를 거쳐 6월말까지 기획재정부에 제출

- R&D 예산의 대폭적인 증가가 쉽지 않은 상황에서, 투자효율화\*를 통해 1.2조원을 절감하여, 국정철학을 반영한 기초연구, 혁신성장, 삶의 질 향상에 중점 투자하였다.

\* 부처자율 구조조정, 계속사업 일몰, 유사 · 중복사업 정비, 성과평가결과 반영

내년 주요 R&D 예산은 연구자중심 기초연구(17.6% 증), 혁신성장 선도분야(27.2% 증), 4차 산업혁명 대응(13.4% 증), 재난 · 안전(16.7% 증), 인재양성 · 일자리 창출(16.2% 증) 분야에 중점 투자한다.

- 연구자 중심 기초연구비 0.25조원을 증액하여 1.68조원(17.6% 증)을 지원하고, 부처 간 역할분담을 통해 학술기반구축부터 개인연구, 집단연구까지 전주기적인 기초연구 지원체계를 마련하였다.

- 특히, 수월성 · 안전성 투트랙\* 지원을 통해 촘촘한 기초연구 생태계를 조성하고, 비전임 교원, 보호 학문, 지역대학연구자에 대한 투자를 확대(2,207억원, 112.2% 증)한다.

\* 중견연구 확대('19년 총 6,269억원, 18.2% ↑), 재도약연구 신설('19년 200억원)

- 또한, 지역의 중장기 기초연구를 위한 '지역선도연구센터(3개, 34억원)'와 대학의 연구장비 · 인력 지원에 필요한 '기초과학연구역량강화사업'을 신설('19년 206억원)하고, Core-Facility 구축을 통해 장비의 공동활용을 촉진한다.

- 혁신성장을 가속화하기 위해 초연결지능화, 자율주행차, 고기능무인기, 스마트시티, 스마트공장, 스마트팜, 정밀의료, 지능형 로봇의 8대 선도 분야를 선정하고, 0.85조원(27.2% 증)을 투자한다.

- 더불어, 4차 산업혁명에 선제적으로 대응할 수 있도록, 기초 · 핵심 · 기반기술 확보와 공공 · 산업 융합분야에 1.7조원(13.4% 증)을 지원하고, 중소기업을 혁신성장의 주역으로 육성하기 위해 R&D 바우처, 현안해결 등 1.8조원(7.5% 증)을 투자한다.

- 안전하고 쾌적한 생활환경을 위해 지진 · 화재 · 해양사고 구조에 필요한 위치추적기술, 긴급대응 기술 개발과 라돈, 폐플라스틱 재활용, 미세먼지 저감 등 현안 해결에 1조원 이상(16.7% 증)을 투자한다.

- 인재양성·일자리 창출에 1조원 이상(16.2% 증)을 투자하여, AI대학원 신설(3개), SW중심대학 확대('18년 25개→'19년 30개) 등 4차 산업혁명 시대에 주도적으로 역할 할 수 있는 고급인력을 양성하고, 공공연구성과의 창업·사업화 등 일자리 창출에 기여할 R&D를 중점 지원한다.

| 주요 정책분야 배분조정안(단위 : 억원) |

주요 분야	'18년예산	'19년예산(안)	증감	
				%
• 연구자 중심 기초연구 확대	14,243	16,754	2,511	17.6 ↑
• 8대 혁신성장 선도분야 중점 추진	6,664	8,476	1,812	27.2 ↑
• 4차 산업혁명 대응역량 강화	15,397	17,467	2,070	13.4 ↑
• 인재양성·일자리 창출	9,098	10,572	1,474	16.2 ↑
• 에너지·바이오 신산업 육성	9,569	10,293	724	7.6 ↑
• 중소기업 혁신역량 강화	16,834	18,095	1,261	7.5 ↑
• 재난·재해 및 안전 대응	8,988	10,491	1,593	16.7 ↑
• 미세먼지·생활환경	976	1,584	608	62.3 ↑
• 국민 건강 연구	568	777	209	36.9 ↑

중점 정책분야에 대한 투자확대와 더불어 단순한 예산심의가 아닌 국민, 연구자 등 현장에서 요구하는 정부 R&D의 역할을 심도있게 검토하여, 투자의 효율성을 높이기 위해 노력하였다.

- 기존의 기술개발 중심의 R&D에서 벗어나 기술개발과 제도·정책을 패키지로 지원하여 개발된 기술이 제도에 가로막혀 사장되는 일이 없도록 투자 방식을 개선하였다.
- 또한, 장기적으로 대규모의 예산이 투입되는 대형연구사업의 목표달성현황, 집행률 등을 중점 점검하여 1조원 규모의 예산을 절감하였고, 특히 정부출연연구기관은 주요사업비와 기관운영경비도 기관의 고유임무에 부합하는 사업 위주로 투자하였다.

임대식 과학기술혁신본부장은 국가과학기술자문회의에서 “국민 삶의 질을 향상하고, 인재양성 및 연구자 주도 기초연구를 확대하여 새로운 일자리 창출에 기여할 수 있는 R&D를 중점 투자하였다.”고 하면서

- “정부 R&D의 양적투자에 비해 성과가 부족하다는 외부의 비판을 수용하여, 기술개발 위주, 관행적인 R&D에서 벗어나 ‘기술-인력양성-제도-정책’을 종합적으로 지원하는 R&D 패키지 적용, 다부처 협업 등을 통해 투자 효율성을 높이는데 집중하였다”라고 강조하였다.

## 나노기술로 여는 미래를 향한 도전

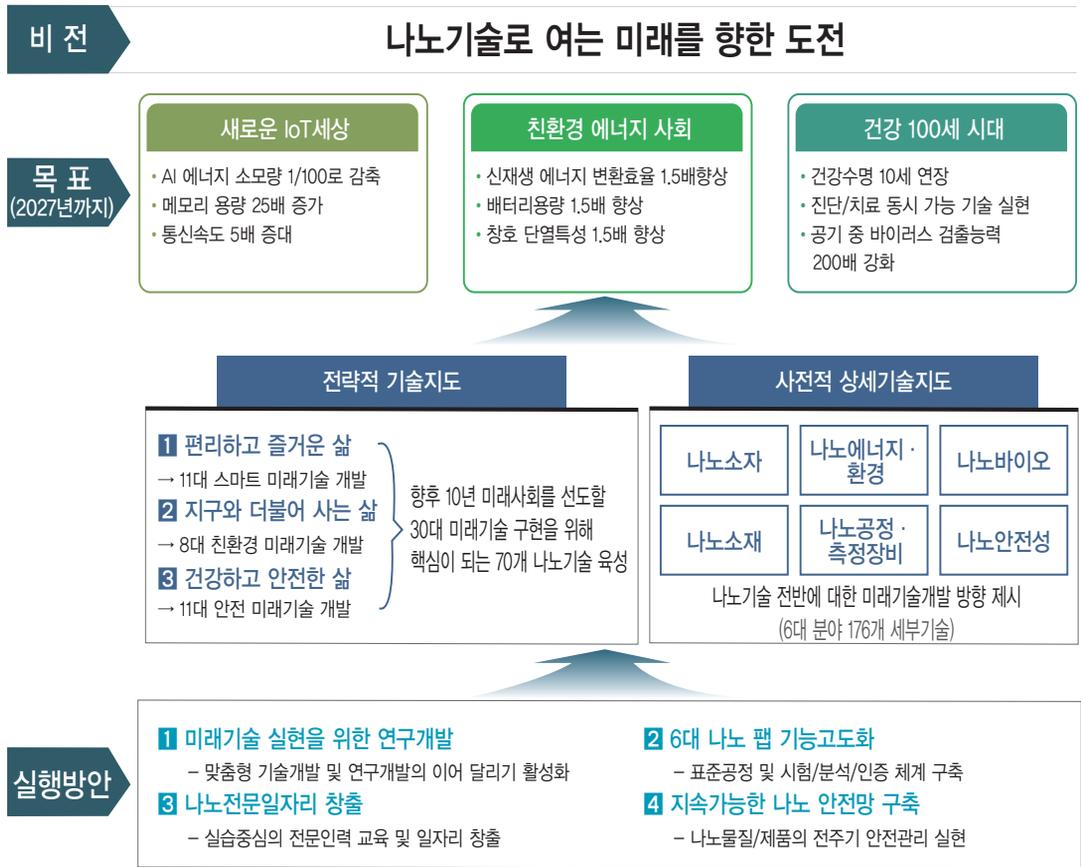
### 「제3기 국가나노기술지도('18~'27)」 수립

과기정통부는 핵심 나노기술 육성을 통해 혁신성장을 선도하기 위하여 관계부처와 공동으로 「제3기 국가나노기술지도('18~'27)」를 수립하였다.

- 과기정통부는 '나노기술개발촉진법'에 따라 10개 관계부처와 협력하여 매 5년마다 향후 10년의 나노기술 로드맵을 수립하고 있으며,

\* 제1기 국가나노기술지도('08~'17)('08.4 수립), 제2기 국가나노기술지도('14~'25)('14.2 수립)

- 금번의 「제3기 국가나노기술지도('18~'27)」는 제3회 국가과학기술자문회의 심의회의 운영위원회('18.6.25)에서 심의를 통해 확정하였다.



제4차 산업혁명의 도래로 초연결, 초저전력, 대용량, 고기능화 등 기술적 한계 돌파를 위한 나노기술의 역할과 중요성이 재부각됨에 따라 나노기술의 전략적 연구개발 추진이 필요한 시점이다.

- 인공지능, 빅데이터, 사물인터넷 등의 실현을 위한 핵심 부품 및 소재는 나노기술 적용이 필수적이며, 나노기술 선진국은 혁신성장을 위해 나노기술에 대한 투자를 확대하고 있다.

## | 주요국의 나노기술 분야 지원현황 |

	미 국	EU	일 본
<b>개요</b>	NNI를 통해 국가 최우선 순위 과학기술 투자분야로 나노기술 육성	나노기술을 포함한 6개 미래혁신 기술 선정하여 유럽전체의 발전과 경쟁력 확대 촉구	나노기술을 기반기술의 하나이자 새로운 가치 창출의 핵심이 될 분야로 선정하여 추진
<b>정책 현황</b>	'16년 5기 NNI를 통해 나노기술 상용화 추진과 나노기술 기초연구 확대하여 국가경쟁력 강화 및 경제 성장 촉진 (*3년마다 NNI 발표)	Horizon 2020(~'14)을 통해 미래혁신과 산업경쟁력 강화추진 - 나노기술 관련 5대 분야 집중 추진 - TRI도입하여 기초~상용화까지 파이프라인 구축	기초연구 진흥, 연구개발을 통한 사회문제 해결 등을 기본과제로 한 8대 그랜드 챌린지 추진  ① 분리공학, ② Bio-Nano, Chem-Bio, 반도체, μ유로, 생체물질·재생, 신경세포, ③ 인프라재료과학, 열화기구, 예측진단, 장수명화, ④ IoT, ⑤ 나노-IT-메카통합, ⑥ 양자계 통합설계, ⑦ 오피랜드 계측, ⑧ 데이터구동형 신재료 설계
<b>투자 현황</b>	'01~'16년 동안 총 240억 달러 투자  <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <span>'13년 1,550</span> <span>'14년 1,574</span> <span>'15년 1,496</span> <span>'16년 1,435</span> </div> 백만달러	*'16~'17년 예산은 바이오 기술분야와 통합된 예산임  <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <span>'14년 230</span> <span>'15년 250</span> <span>'16년 234</span> <span>'17년 254</span> </div> 백만달러	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <span>'13년 919</span> <span>'14년 1,005</span> <span>'15년 1,001</span> <span>'16년 1,003</span> </div> 억엔

### ▶ 나노기술 산업화를 강조함과 동시에 기초·원천기술 분야 투자를 지속 확대

- 우리나라는 그동안 지속적인 투자로 나노기술 경쟁력을 강화하여 2001년 선진국의 25% 수준에서 세계 4위의 기술경쟁력을 보유하고 있으며, 나노융합산업은 국내 총 제조업의 1/10 비중으로 성장하였다.
  - \* 우리나라 나노분야 기술수준: ('01) 25% → ('09) 75% → ('16) 81%
  - \*\* 나노융합산업 매출액('16): 약 135조원으로 전체 제조업 매출액(약 1,418조원)의 9.5%

## | 우리나라 나노기술 투자 성과 |

### (R&D) 나노기술 수준 및 연구 경쟁력 향상

- '01년부터 추격형 연구개발·기반투자로 세계 4위의 나노기술 경쟁력 확보

<b>기술수준</b> '01: 25%    '16: 81%	<b>SCI 논문수</b> '01: 1,334    '17: 9,022편	<b>美공개특허등록건수</b> '01: 81    '17: 1,133건	<b>핵심연구인력</b> '01: 1,100    '17: 8,896명
-------------------------------------	---	--	--

### (산업) 국내 총 제조업 내 10% 수준으로 성장

- 나노기술의 산업계 적용 및 제품의 시장 규모가 빠른 속도로 성장

<b>기업수</b> 673개 기업 '12: 504    '14: 590    '16: 673	<b>매출액</b> 135조원 '12: 129    '14: 132.2    '16: 135.1	<b>고용</b> 15만명 '12: 12.9    '14: 14.6    '16: 15
---	---	--

구분 (2016)	나노소재	나노전자	나노바이오	나노장비	합계
기업수(개)	309	120	62	182	673
매출액(억원)	101,921	1,216,927	9,794	22,345	1,350,978
인력수(명)	19,487	122,222	2,673	6,078	150,460

- (산업현황) 특정분야 편중, 대기업 주도 → 다양한 분야의 중소기업 주도의 시장 형성이 부족

<b>기업 규모별</b> 대기업 65개/130조원/96.5%	중소기업 608개/4.7조원/3.5%
---	-------------------------

- 그러나, 최근 나노기술의 양적·질적 수준 향상은 정체되어 있고, 특정분야에 사업화 성과가 편중되어 있어 전체 매출의 대부분을 대기업이 차지하는 등 중소기업 주도의 시장형성이 부족한 상황이다.

\* 나노 SCI 논문 게재수: '01년 8위 → '13년 3위 → '17년 4위(중국, 미국, 인도, 한국 순)

\*\* 분야별 매출비중: 나노전자(90.1%), 나노소재(7.5%), 나노장비·기기(1.7%), 기타(0.7%)

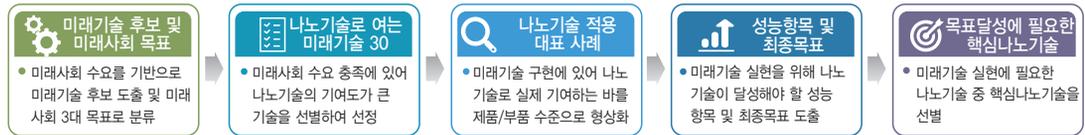
이에, 정부는 나노분야 연구방향 설정의 지표가 되었던 기존 나노기술 6대 분야 사전적 기술지도를 최근 기술 성장을 반영하여 업데이트하고,

- 급변하는 미래사회를 대비하여 우선 확보할 전략적 기술지도와 이를 실현할 실행방안을 담은 「제3기 국가 나노기술지도('18~'27)」를 마련하였다.

### 전략적 기술지도

미래사회 3대 목표인 “편리하고 즐거운 삶”, “지구와 더불어 사는 삶”, “건강하고 안전한” 삶에 대하여 ‘나노기술로 구현하는 미래기술 30’을 선정하고 미래기술 실현에 필요한 상세 나노기술 로드맵을 마련하였다.

제3기 국가나노기술지도 전략적 기술지도 도출 프로세스



- “편리하고 즐거운 삶”을 위해 극미세 나노공정 기술을 활용하여 보다 빠르고 정확하고 선명한 특성을 가진 인공지능 반도체, IoT, 미래 디스플레이 등의 개발을 추진하고자 한다.

	나노기술로 여는 미래기술	나노기술 적용 사례	나노기술의 역할	핵심 성능 지표	현재 수준	최종목표
편리한 디지털 생활	개인이 휴대할 수 있는 인간 두뇌 수준의 인공지능	저전력 인공지능 칩	저전력화, 초고속화	에너지소모량(kW) 시스텔크기(cc)	100 10 <sup>3</sup>	0.02 10 <sup>2</sup>
	내 손 안의 데이터	대용량 고속메모리	저전력화, 대용량화, 초고속화	저장용량(Tb/in <sup>2</sup> ) 입력속도(MB/s)	2.77 35	100 1,000
	속도 무제한의 통신 환경	초고속 통신소자	저전력화, 초고속화	광통신속도(Gbps) 소모 전력(W)	2 3	20 0.1
	디스플레이 모양과 크기를 자유자재로	플렉시블 디스플레이	신기능부여, 저전력화	늘어나는 정도(%) 화소수(PPI)	20 50	> 100 2,000
	스마트폰으로 맛보는 음식 기행	가상 현실소자	신기능 부여	냄새발생률(μL/μA) 화면촉각해상도(μm)	10 100	100 1
	인간처럼 느끼는 사이보그	오감 센서	저전력화, 고감도화, 초소형화 신기능 부여	촉각셀범위(g, mm) 후각검지능력(수, ppm)	1~10 <sup>2</sup> , 1 10, 40	1~10 <sup>3</sup> , 0.1 350, 10
	충전없이 날 수 있는 드론	경량 고효율 태양전지	경량화, 고효율화	기판 질량 밀도(mg/cm <sup>2</sup> ) 발전효율(W/kg)	20 250	5 500
	걸으면서 생산하는 전기	에너지 하베스터	신기능 부여, 고효율화	마찰 발전량(mJ/s) 열전성능지수(ZT)	3 3	50 10
	옷처럼 입을 수 있는 배터리	유연 배터리	신기능 부여, 고효율화	굽힘반경(cm) 수분투과율(g/m <sup>2</sup> ·day)	7 3	2 0.1
	젊은 피부를 유지하는 기술	고기능성 화장품	신기능 부여, 고기능화	생체나노-피부나노(년) 유효 흡수율(%)	1 > 60	10 > 99
	화장을 자동으로 해주는 마스크 팩	피부진단기	고감도화	센서 정확도(%) 3D 프린팅가능소재(종)	- 30	> 98 > 500

- “지구와 더불어 사는 삶”을 위해 나노크기 소재에서 나타나는 혁신적 특이현상을 활용하여 무한 청정 에너지, 미세먼지 제거, 경제적 수자원 생산 기술을 확보할 것이다.

나노기술로 여는 미래기술	나노기술 적용 사례	나노기술의 역할	핵심 성능 지표	현재 수준	최종 목표
초고효율 차세대 태양광 발전	초고효율 태양전지	고효율화	반환효율(%) 단가(%, 화력발전 대비)	20 120	30 50
블랙아웃에 대비할 수 있는 연료전지	대용량 연료전지	고효율화, 대용량화	변환효율(%)	50	60
수소로 가는 자동차	수소 연료전지	고효율화, 저가격화	성능열화율(%/kh) 1회 충전주행거리(km) 단가(\$/kw)	1 800 50	0.25 1,200 35
5분 충전으로 서울에서 부산까지 가는 전기자동차	급속충전 배터리	고효율화, 대용량화	에너지밀도(Wh/kg) 충전속도(분)	200 45	400 5
인공 나뭇잎으로 하는 광합성	온실가스 자원화	고효율화, 저가격화	수소생산효율(%) CO2 전환 효율(%)	3 12	15 30
전기공급이 필요 없는 에너지 자립형 주택	제로에너지 주택	고효율화, 저가격화	자기발전량(kWh) 창호 단열상수(W/m <sup>2</sup> · K)	100 1.2	300 0.5
버려진 물을 다시 사용	정수장치	고효율화, 고감도화	흡착율(%) 오염물 검출한계(ppb)	90 100	100 1
지급자족이 가능한 도시 농업	농작물 생산촉진 화분	고효율화, 신기능 부여	생산량(kg/person) 평균도(%)	20 80	100 100

- 또한, 나노물질 계면에서의 빠른 전달특성을 활용하여 간편하고 정확하며 효과적인 예방/진단/치료를 통해 “건강한 삶”을 안전한 식품, 재난 안전 기술 개발을 통해 “안전한 삶”을 구현하고자 한다.

나노기술로 여는 미래기술	나노기술 적용 사례	나노기술의 역할	핵심 성능 지표	현재 수준	최종 목표
폭발 위험이 없는 배터리	고안정 배터리	고안정화	미발화점온도(°C) 200사이클 후 용량유지율(%)	150 70	300 99
건강 100세를 위한 예방의학	면역강화 반창고	신기능 부여, 생체적합화	건강수명(년) 활성물질전달율(%) 적용 질환종수	75 - 1	> 85 > 95 > 5
진단과 치료를 동시에 하는 약	동시 진단 / 치료제	고기능화	대상질환 치료율(%)	50	> 99
거부 반응이 없는 인공장기	인공장기	고기능화, 생체적합화	재생율(%) 생체적합도(%)	50 75	> 95 > 99
내 맘대로 몸 안을 보고 치료하는 기술	초소형 내시경	고감도화, 초소형화	제어정밀도(nm) 해상도(nm)	6 200	1 1
언제 어디서나 내 몸 건강체크	헬스 모니터링 센서	고감도화, 초소형화, 생체적합화	정확도(%) 유연성(%)	- > 80	> 98 > 99
나쁜 바이러스를 알려주는 인공지능 시스템	공기부유 바이러스 검출기	고감도화	검출율(%) 동시식별종류(종) 처리율(%)	15 10 -	100 500 > 95
세균을 막아주는 의류	스마트 마스크	고감도화, 고기능화	세균검지 민감도(%) 유해물질 제거율(%) 공기 여과율(%)	70 70 90	95 95 > 99.9
집안 전체 공기를 항상 맑게 하는 공기청정기	공청정기	고감도화, 고기능화	유로 흡수율(%) 보관기간(월)	30 36	100 120
우주에서도 한 알로 해결되는 식사	우주식량	고기능화	생명감지능(%)	-	> 95
재난현장 조난자를 신속하게 찾아내는 마이크로봇	곤충로봇	초소형화, 고기능화	원격조정 가능거리(km)	0.5	100

## 사전적 상세기술지도

나노소자, 나노바이오, 나노에너지·환경, 나노소재, 나노공정·측정·장비, 나노안전성 등 나노기술 6대 분야 전반에 대해 기존 ‘제2기 나노기술지도’를 해당 기술의 발전 전망을 반영하여 업데이트함으로써

- 연구자들에게는 나노분야 기술개발 방향을 결정하는 기준이, 기업에게는 기술동향을 파악하여 사업화 할 수 있는 지침서로 활용하고자 한다.

### 나노기술 6대분야 개발방향

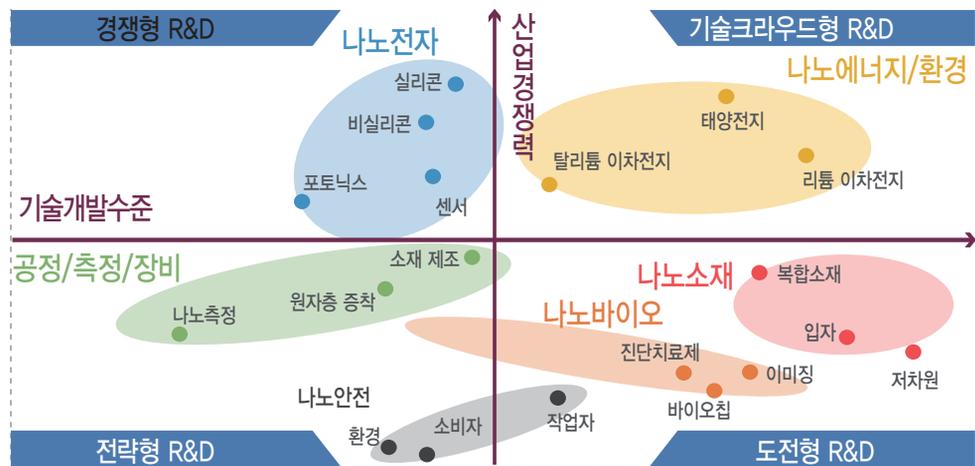
- ① (나노소자) 개인이 휴대할 수 있는 인간 두뇌 수준의 인공지능 나노전자소자, 속도 무제한의 통신환경을 구현하는 초고속 나노통신소자 등 미래 IoT 기술의 경제적·기술적 구현을 위한 혁신적 나노소자 기술 개발 등
- ② (나노에너지·환경) 화력발전을 대체하는 초고효율 나노태양전지, 5분 충전으로 서울에서 부산까지 운행 가능한 전기자동차용 나노배터리 등 청정에너지의 활용 및 보급을 위한 에너지 프로슈밍용 나노원천기술 개발 등
- ③ (나노바이오) 비침습 무채혈 나노검지 기술 기반 질병진단기, 진단과 치료가 동시에 가능한 표적지향형 나노약물 등 질병의 조기 진단 및 난치병 극복을 위한 나노바이오 원천기술 개발 등
- ④ (나노소재) 차세대 QLED용 전기발광형 친환경 양자점 소재, 저전력 반도체 소자용 고품위 그래핀 소재 등 신기능, 저전력, 초고속 및 대용량화 실현을 위한 저차원 소재 및 나노융복합 소재 개발 등
- ⑤ (나노공정·측정·장비) 고속/대면적 원자층 박막 증착기기, 원자 단위 이하의 분해능을 갖는 나노구조 측정 및 분석기기 등 차세대 나노소재·소자에 적용 가능한 고속 대면적 3차원 구조 나노공정 기술 개발 등
- ⑥ (나노안전성) 근로자를 위한 안전한 제조 환경, 소비자를 위한 나노안전 정보망, 나노제품의 안전한 폐기를 위한 나노제품 폐기시스템 등 나노물질·제품 규제대응, 상용화 촉진기술 및 시스템 개발 등

## 실행 방안

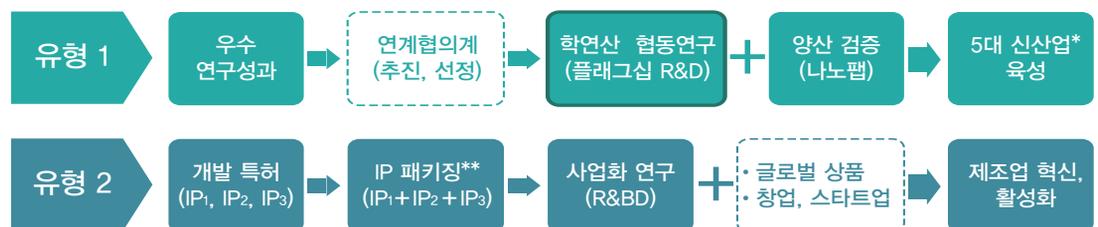
미래사회 변화를 선도할 핵심 나노기술의 빠른 상용화를 지원하기 위해 연구개발, 인프라, 인력양성, 나노안전 분야의 실행방안을 마련하였다.

- (R&D) 연구현장과 기업의 창의적 성과물을 적극 수용하는 체제로 전환하고, 나노분야 연구개발 전주기 연계 강화를 통해 원천기술 확보, 나노융합산업 생태계 조성 등을 추진한다.
  - (원천기술개발) 30개 미래기술에 기반을 둔 선도형 나노원천기술 개발 추진 시 나노기술 분야별 세부 기술수준을 분석하여 사업추진 방식, 지원 기간, 평가 방법 등을 다양화함으로써 연구개발 결과의 활용성을 제고하고자 한다.

| 나노기술의 분야별 경쟁력 분석 및 연구개발 추진방식(예시) |



- (응용·사업화 기술개발) 起 확보 원천기술을 활용한 플래그십 연구개발 추진을 통해 나노융합산업 생태계를 구축하고 제조업 혁신성장을 견인하고자 한다.



\* 5대 신산업: 전기·자율주행차, IoT 가전, 에너지신산업, 바이오·헬스, 반도체·디스플레이

\*\* IP 패키징: 국가연구개발 성과로 얻은 산재된 관련 IP를 하나로 묶어 포트폴리오화 함으로써 기술사업화의 성공 가능성 제고(예: 물질IP+첨가제IP+제조공정IP+장비IP)

- (연구개발 단계의 이어달리기 활성화) 나노분야 우수 기초연구성과를 원천기술개발로 연계하고, 나노 연구성과의 사업화 성공 가능성을 높이기 위해 부처사업간 이어달리기도 강화할 예정이다.

- (나노팜) 급변하는 기술 변화에 산학연이 선제적으로 대응할 수 있도록 맞춤형 서비스 중심으로 6대 나노팜의 기능 고도화를 추진한다.
  - 초저전력 나노소자, 유연디스플레이, 지능형 센서 등 산업 수요가 급증하고 있는 분야의 표준공정을 구축하고,
  - 기업의 제품 개발 성공가능성을 높이기 위해 단계별 공정 결과를 검증하는 시험인증체계를 구축하여 나노팜은 나노융합 첨단소자 공인 시험·인증기관으로 도약하고자 한다.
- (일자리) 실습 중심의 전문인력 교육 프로그램을 기업과 연계하여 일자리를 창출하며, 기업의 기술상용화 지원을 통해 나노융합산업의 고용을 확대하고자 한다.
  - 나노팜 시설을 활용한 나노기술 고급인력 양성 프로그램에 선채용-후연수 방식을 도입하고, 중소기업 인턴십 프로그램과 연계 하는 등 기업과 협력을 통해 실질적 취업으로 유도하고,
  - 나노분야 우수연구성과의 상용화, 나노응용제품의 일괄제조공정 개발 등 나노융합산업의 성장을 통한 일자리 창출도 추진한다.

• 실습 중심의 전문인력 교육 및 일자리 연계



• 중소기업의 기술상용화 지원을 통한 간접 일자리 창출



- (나노안전) 나노안전성 기준 설정, 인증 시스템 확립 등 나노물질 및 나노물질을 포함하는 제품의 전주기 안전관리 체계를 구축한다.
  - (생산) 작업장 내 사용 나노물질의 특성을 파악하고 측정표준 기술 개발, 독성 평가 등을 통해 근로자를 위한 안전한 제조환경을 조성하고,
    - \* 탄소나노튜브, 이산화티타늄, 은나노 등 제조나노물질 직업적 노출 자료 DB 구축(~'21)
  - (소비) 나노물질이 포함된 생활 속 제품의 안전성 인증체계 구축, 안전성 예측 평가 기술개발 등 소비자를 위한 나노안전 정보망을 구축하며,
    - \* 나노소재 적용 식품용 기구 및 용기·포장 관리방안 마련(~'19), 주요 생활화학제품 내 나노물질 함유 실태조사 및 관리방안 마련(~'21) 등
  - (폐기) 나노제품이 안전하게 폐기될 수 있도록 나노제품의 폐기현황 모니터링 시스템 구축, 친환경적 나노제품 폐기 가이드 라인 마련 등을 추진한다. **키**

## TePRI, 정책 현장 속으로

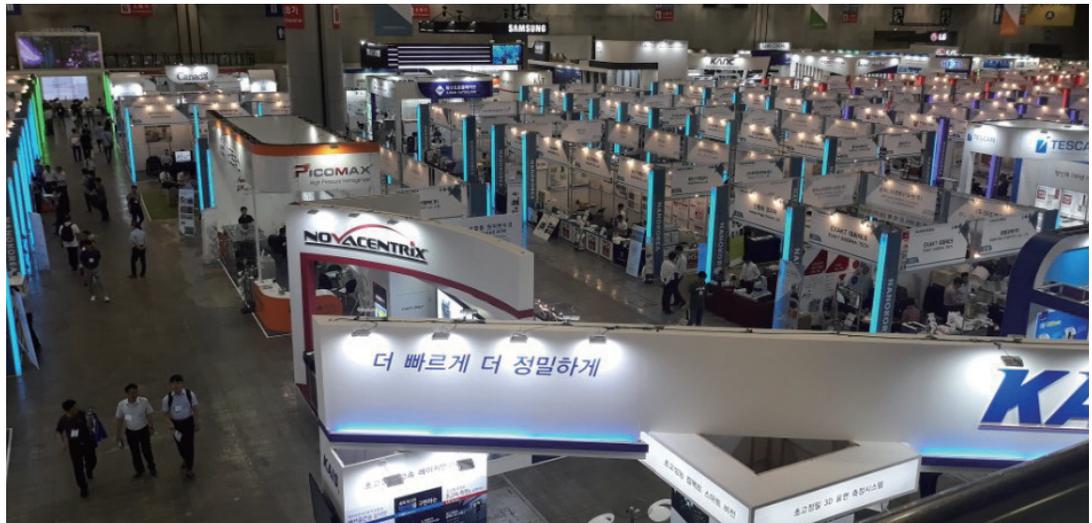
R&amp;D In&amp;Out

한 원 석

정책실

g16501@kist.re.kr

## NANO KOREA 2018 신기술분야 5개 전시회 합동개최



7월 11일부터 7월 13일까지 KINTEX에서 산업통상자원부와 과학기술정보통신부가 주최한 NANO KOREA 2018이 개최되었다. 이번 행사에서는 제16회 국제 나노기술전시회, 제11회 국제마이크로나노시스템 전시회, 제9회 국제레이저기술전시회, 제8회 국제첨단 세라믹전시회, 제3회 국제스마트센서기술전시회가 함께 진행되었다.

과기정통부 출연(연)으로는 KIST, 한국생산기술연구원, 한국전자통신연구원, 한국기계연구원, 재료연구소, 한국에너지기술연구원 등이 참여하여 각 분야에서 연구되고 있는 나노기술을 선보였다. KIST는 기존 가시광선이 아닌 적외선을 활용하여 민감도를 높인 조류인플루엔자 바이러스 진단키트 등을 전시했다. 또한 KIST는 기둥과 간판을 없앤 열린 형태의 부스를 준비하여 관람객이 쉽게 다가올 수 있도록 했다. 재료

연구소는 치아와 뼈를 대체하거나 재생을 유도할 수 있는 생체디바이스를 제작할 수 있는 세라믹 3D 프린팅 기술 등을 소개했다. 한국에너지기술연구원은 새 건물뿐 아니라 기존의 건물에도 간편히 설치할 수 있는 태양광 감응형 자동변색소자 및 자동변색유리 등을 선보였다.

출연(연) 외에도 전자부품연구원, 한국세라믹기술원, 한국나노기술원, UNIST 등 여러 공공기관들이 참여했다. 특히 전자부품연구원은 VR/AR 입력장치용 핸드제스처 센서, 웨어러블 피부 생체인증 디바이스, 전자파 차폐 및 방열 일체형 시트 등을 전시하여 눈길을 끌었다.

한국연구재단과 한국산업기술평가관리원은 각 기관의 연구과제 성과를 소개했다. 한국연구재단의 과제 성과

로는 웹기반 계산과학 플랫폼을 위한 선도 기반기술 개발, 차세대 나노 소자 양산을 위한 마스크 오염방지 플랫폼 기술 개발, 마약류 유해물질 실시간 현장 검출용 소재 및 센서 시스템 개발 등이 소개되었다. 한국산업기술평가관 리원의 과제 성과로는 금속 나노패턴 센서 기반 식품유해 화학물질 현장 정량검사기 제품화 기술, 백내장 수술 후 부작용 방지를 위한 나노약물전달 시스템 제품화 기술 개발, 나노 촉매를 이용한 주름 개선용 화장품 및 의료용 인조 피부막 개발, 그래핀 소재·부품 개발 등이 소개되었다.

공공기관뿐만 아니라 여러 민간 기업들이 각자의 성과와 제품을 전시했다. LG는 탄소 섬유에 비해 균일한 표면 저항률을 지닌 전도성 플라스틱 합성물, 구부릴 수 있는 난방 시트, 정수기 소독을 위한 자외선 LED인 InnoUV 등 높은 활용도를 실감할 수 있는 기술로 관람객들을 사로잡았다. LG와 같은 대기업 외에 다수의 중소기업들도 전시회에 참여했다. SEC와 EMCRAFTS는 탁상용 주사전자현미경(SEM) 제품을 나란히 전시했다. KAIS는 초정밀 3D 표면 측정 시스템을, 일신오토클레이브는 고온·고압 조건 하에서 연구를 수행하기 위한 반응기를, 아이에스피는 X-Ray Fluorescence를, HORIBA는 Spectroscopy를 선보였다.

해외 기업도 전시회에 참여했다. 캐나다 Nanalysis Corp.은 세계 유일의 고해상도 일체형 탁상용 핵자기 공명분광기를 선보였으며 가격과 유지비가 저렴하다는 것도 함께 내세웠다. 이란의 Aria Saramad Co.는 적외선을 이용하여 화재 걱정이 없는 나노촉매가스난방기를 소개하며 식품산업부터 화학산업까지 다양한 분야에 적용될 수 있음을 어필했다.

개별 기관 및 기업 차원을 넘어 강릉, 밀양, 영월 등 지역 단위 부스도 있었다. 특히 밀양은 중등교육부터 연계한 지역 나노산업 발전 전략을 내세웠다. 밀양 나노융합 연구단지는 나노전문기업 20개사 및 글로벌 중핵기업 3개사 발굴 및 육성, 국내 나노전문기업 집적 및 산업 클러스터 실현, 그리고 국가산단을 중심으로 국가 나노융합기술의 상용화

촉진지역으로의 성장을 목표로 정했다.

국가나노인프라협의체는 특성화 고등학교 학생 대상 나노융합기술인력양성사업을 소개했다. 기업맞춤형 기술 인력을 양성하고 나노분야 중소·중견기업의 우수인력 고용을 지원한다는 계획이다. 나노융합기술원, 한국나노기술원, 포항공과대학교 나노융합기술원, 한국생산기술연구원 광주나노기술집적센터, 대구테크노파크 대구나노융합실용화센터가 이론과 실습, 직업소양에 대한 교육을 담당한다.

나노기술 특별관에서는 영화 속 상상을 현실로 만들고 있는 나노기술을 소개했다. VR안경 없이도 가상현실을 체험하게 해주는 유연하고 투명한 터치 압력센서, 전기를 생산하는 실과 최첨단 슈트 등의 개발 현황이 전시되었다.

대학 소속 연구자들이 주로 참여한 포스터 세션도 함께 진행되었다. 수상자로는 오염 제거를 위한 자성 이온 합성물의 흡수 능력을 다룬 한양대 환경시스템연구실, 질화규소 나노필터 장치를 이용한 고수득률 핵산 추출법을 다룬 서울대 나노제조연구실, 단백질 분해 효소에 의해 활성화된 암 진단·치료용 융합 유도 고분자주머니를 다룬 연세대 화공생명공학과와 한국기초과학지원연구원 바이오융합분석본부가 선정되었다. 

## R&amp;D In&amp;Out

박연수

정책실

ysoo@kist.re.kr

## ‘재생에너지 3020정책 현황과 과제’ “에너지전환포럼” 참관



7월 25일 에너지전환포럼 4차 정기포럼이 개최되었다. 이번 포럼에서는 미세먼지에 대해 논의한 지난 포럼에 이어 ‘재생에너지 3020정책 현황과 과제’를 주제로 재생에너지 확대정책을 점검하였다.

이경호 산업부 신재생에너지정책과 과장은 브리핑에서 “현재 재생에너지 발전비중이 주요국에 비해 낮은 상황”이라고 지적하며 2030년까지 재생에너지 발전량 비중 20% 달성이라는 재생에너지 3020 정책의 목표달성을 위해서는 해결해야 할 과제가 많음을 강조했다.

이어진 패널토론 세션에서는 재생에너지 정책의 활성화를 위한 정부 역할의 확대가 논점이 되었다.

첫 토론주자 차문환 한화 솔라파워 대표는 “한국의 태양광 산업은 세계시장의 100분의 1에 미치지 못하는 규모이므로 내수시장의 확대가 선행되지 않은 상태에서 해외 시장 진출은 독이 될 수 있다”고 지적했다. 그는 재생에너지 정책의 핵심은 내수시장의 빠른 확대를 통한 산업생태계 구축에 있다고 강조했다.

또한 한병화 유진투자증권 연구위원은 “국내 재생에너지 발전 단가가 해외에 미치지 못하는 이유는 정부주도의 투자가 이루어지지 못했기 때문”이라고 역설하며 컨트롤타워의 점검과 일관성 있는 정책의 필요성을 주장했다.

한편 재생에너지 3020정책의 쟁점은 입지의 문제로 좁혀진다는 주장이 제기되어 관심을 모았다.

RPS제도\*를 둘러싼 논쟁과 재생에너지 산업에 대한 지역화·분권화 문제가 발생하는 이유는 재생에너지 설비의 입지에 있으며, 충돌하는 이해관계를 조정할 수 있는 방안을 마련해야 한다는 의견이 제기되었다. 특히 에너지공단 등에서 검토하고 있는 계획입지 추진 전략(안)은 기초 지자체의 개발행위 허가를 둘러싸고 뜨거운 논쟁이 펼쳐지고 있는 상황이다. 따라서 정부의 계획대상에 포함되지 않는 재생에너지 프로젝트에 대한 광역지자체의 재생에너지 가이드라인이 수립되어야 할 필요성이 논의되었다. 이정필 에너지기후정책연구소 부소장은 전반적인 재생에너지 정책에 대해 “최근까지 전개된 재생에너지 정책에 대한 긍정적 총평은 가능하지만 전반적으로 볼 때 불충분하기 때문에 제 5차 신·재생에너지 기본계획(2019년 예정)으로 보완될 필요가 있다”고 총평했다. **ktg**

\* RPS(Renewable Energy Portfolio Standard): 발전사업자에게 총발전량에서 일정 비율을 신재생에너지로 공급하도록 의무화하는 제도

# 03

## 글로벌 시장 동향

R&D In&Out

허윤숙

연구기획·분석팀  
091179@kist.re.kr

\*출처

Molecular Diagnostics Market, MarketsandMarkets, 2018.05

### 고급진단 검사 출현으로 성장하는 분자진단 시장

전 세계 분자진단 시장 규모는 2018년 약 7조 원에서 2023년까지 약 11조 원으로 연평균 8.4% 성장 할 전망이다. 분자진단 시장은 전염병 및 다양한 암의 발생, 개인 맞춤의학 및 동반진단의 인지도 및 허가 증가 등의 요인으로 시장이 성장하고 있다.

### 첨단 기술 각축과 진단서비스의 확대로 병원시장이 크게 성장

분자진단 시장에서 병원 및 대학 연구소는 2018년 약 54.4%를 차지할 것으로 나타난다. 치료법 결정을 위해 질병 확인 및 진단을 분자진단으로 수행하는 병원연구소는 환자 수 증가, 병원에서 수행된 임상 시험의 노인 의료 보험 배상 증가, 고급진단 검사 출현 등으로 성장을 주도하고 있다. 대학연구소는 전염병과 관련된 혁신적인 분자진단 검사 개발 R&D 관심 증가로 성장이 가속화되고 있다. 민간 전문 진단 연구소는 빠른 처리가 가능한 첨단 기술로 하루 동안 약 8만 회 이상의 검사를 수행이 가능해 9.1%의 가장 높은 성장률이 예상된다.

| 최종 사용자에 따른 분자진단 시장 예측(2015-2025) |

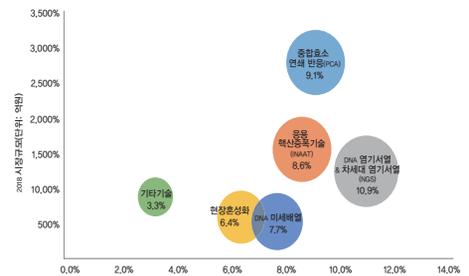
(단위: 억 원)

추진방식	2016	2017	2018	2023	연평균 성장률
병원 및 대학 연구소	35,557	38,649	41,958	62,536	8.5%
민간 전문 진단 연구소	23,275	25,400	27,700	42,334	9.1%
기타 최종사용자	6,388	6,910	7,473	10,562	7.3%
합계	65,220	70,959	77,131	115,432	8.6%

### 실시간 진단법 개발로 성장하는 PCR 시장

분자진단 시장에서 중합효소 연쇄 반응(PCR)분야는 2018년 에 약 2조 8,372억 원으로 가장 큰 규모로 나타났으며 2023년까지 36.8%의 성장률이 예상된다. 이는 프로테오믹스와 유전체학에서 사용 증가, 장비 자동화, qPR-PCR과 같은 첨단 기술 출현에 기인한다. 또한 전염병 및 암의 현장진단을 위한 분석법의 개발이 PCR 시장의 성장을 촉진할 것으로 기대한다. 반면, DNA 염기서열과 차세대 염기서열(NGS)은 2018년에 약 1조 2,515억 원으로 나타났으며, 2023년까지 10.9%의 높은 성장률이 예상된다. 이는 NGS 진단 키트 및 패널 개발, 분자표적 약물 및 치료법에 대한 필요성에 기인한다.

| 기술별 분자진단 시장 예측 |



### 시사점

2018년 분자인식연구센터에서는 조류인플루엔자(AI) 바이러스에 감염된 세포에서 형광을 방출하는 물질을 이용해 감염 여부 및 아형(아류형)까지 판별 가능한 새로운 방법을 개발했다. 기존의 방법보다 빠르고 정확한 진단으로 AI 바이러스의 신속한 확산 방지 및 손실 규모 최소화에 기여할 것으로 기대된다. **키트**

## R&amp;D In&amp;Out

Prof. Dr. Andreas Manz

KIST 유럽연구소  
바이옴센서/재료 연구단  
manz@kist-europe.de

## 이재호

KIST 유럽연구소  
바이옴센서/재료 연구단  
jaeho.lee@kist-europe.de다양한 응용을 위한 양면 임프린트(Duplex-imprinting)  
나노 어레이

고해상, 고수율 나노 구조 제조 기술은 전자 메모리 소자부터 생체 의학 응용에 이르기까지 다양한 응용에 필요한 기술로, 정렬된 나노 구조 패턴 구현에 상향식(bottom-up) 화학 방법과 하향식(top-down) 리소그래피법의 두가지 공정으로 접근하고 있다. 일반적인 상향식 화학 방법은 적당한 크기 구조의 단분산 및 소자의 대규모 생산에 있어서 장점이 있는 반면, 모양, 크기, 구조 및 결함 정밀 제어에 어려움이 있다. 또한 전자 빔 에칭, 고속 원자 빔 등을 이용한 기존의 하향식 리소그래피법은 정밀하고 복잡한 장비와 엄격한 작업환경 등이 필요하여 대면적 제조 실용화에 많은 시간과 비용이 필요하다. 이러한 제한점들을 극복하기 위하여 하향식 소프트 리소그래피 방법이 제안 시도되고 있다.

대면적 소프트 리소그래피는 복제를 위한 나노구조체 스탬프의 준비가 매우 중요한 과정이다. 스탬프 인공 제작의 경우 많은 소요 시간과 비용이 발생하는 경우가 있으나, 본 연구에서는 매미의 날개 표면에 존재하는 3차원 생체 유기 구조를 이용하여 나노 구조 복제에 활용하였다. 기존 연구 결과에 따르면 규칙적인 나노 기둥 구조(그림 1)는 반사율을 낮추는 효과가 있으며, 복제에 사용한 매미의 투명한 날개 전후면의 나노 기둥 구조는 저반사는 물론 초 소수성 표면 성질과 자가 세척 작용이 있어 박테리아 오염을 방지하며 녹농균(*Pseudomonas aeruginosa*)과 그람 음성균(*Gram-negative bacteria*)에 대한 효율적인 살균능력이 있는 것으로 밝혀졌다. 또한 force mapping을 이용한 생체 분자 및 상피 세포 이동의 흡수 연구는 생명과학 분야로의 응용이 가능하며, 나노 기둥 배열은 효과적인 단백질 흡수와 그에 따른 검출 감도 증가가 가능하여 센싱 기술로의 응용 또한 가능하다.

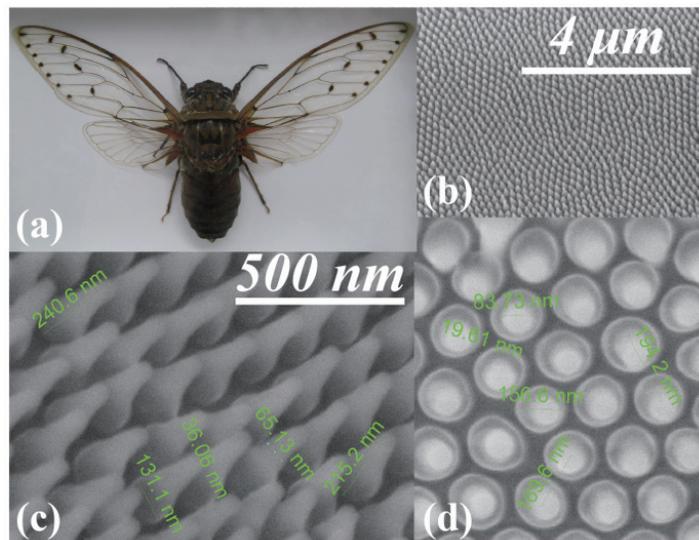


그림 1. (a) 참매미 (*Macrotristia chantranei*) 모습. (b) (c) (d) 날개 표면의 전자주사 현미경(SEM) 이미지. 육각 배열의 나노 기둥 구조. (c) 우측 작은 날개의 30° 기울여 본 표면 SEM 이미지. (d) 전면으로 본 나노기둥의 확대 사진 (500nm scale bar)

지금까지 여러가지 방법으로 매미 날개 표면 구조 복제에 대하여 보고되었으나 대부분 단면 임프린트이며 비용과 절차의 복잡함으로 실용적인 응용이 어려웠다. KIST 유럽 연구소는 청정실 환경이 아닌 일반 실험실에서 매미 날개의 대면적 양면 임프린트로 나노 웰 구조를 구현하였다.

## 양면 임프린트 (Duplex-Imprinting)

나노 기둥 구조가 막 전면에 걸쳐 존재하는 세척한 매미의 날개를 아크릴 층을 가진 자외선 탈착 다이싱 테이프 보호막과 아크릴 층 사이에 넣어 한 면을 임프린트 한 후 자외선 경화 접착제를 바른 유리표면 위에 다른 한 면을 위치시킨 후 양 면을 일정 무게로 압력을 가한다. 압력을 통해 찌힌 양쪽 면 각각에 자외선을 조사하여 찌힌 구조를 고정시키고 스탬프로 이용한 날개를 제거하면 다이싱 아크릴면과 자외선 경화 접착제 면 양쪽에 매미 날개의 나노구조가 동시에 복제된다. 그림 2는 양면 임프린트법의 단계별 개략도이다.

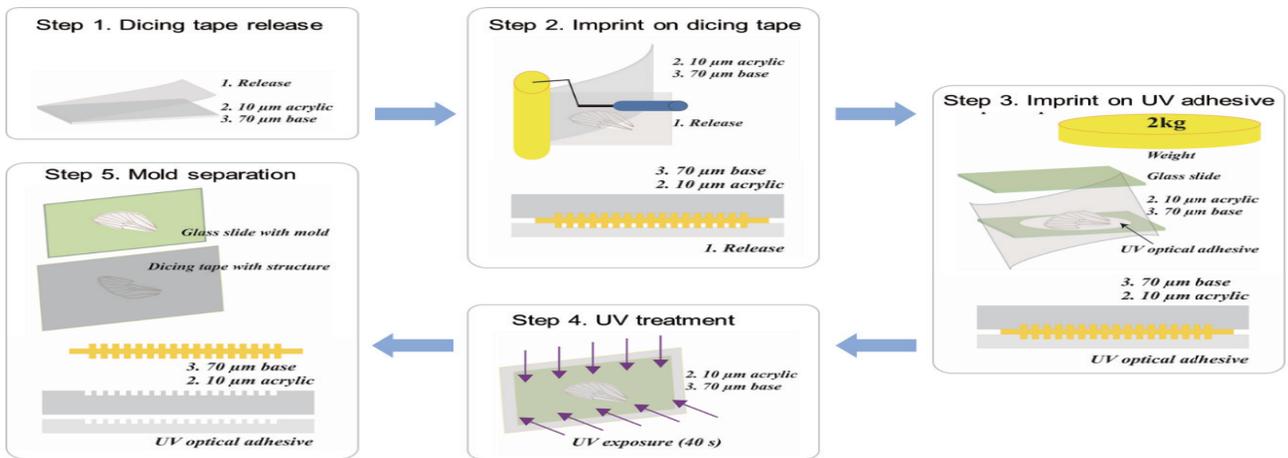


그림 2. 매미 날개를 이용한 양면 임프린트법 단계별 개략도

양면 임프린트로 형성된 날개의 나노 기둥 구조의 음각형태인 나노 웰 구조가 다이싱 테이프와 자외선 경화 접착제 모두 잘 형성되는 것을 전자주사현미경으로 확인하였다. 나노 웰 구조의 피치, 직경, 깊이들을 측정된 결과 스탬프로 사용된 날개의 구조가 음각으로 잘 옮겨졌으며 날개 구조물의 결함까지도 잘 복제된다. (그림 3) 이러한 나노 구조 복제 전체 프로세스는 몇 분이면 완료가 되며, 날개 표면의 평탄도에 크게 영향받지 않고 제작할 수 있다. 또한, 날개를 미세한 조각으로 자르지 않고, 가장 큰 외곽력 요소를 제거하는 것 이외의 다른 준비작업을 필요로 하지 않는다.

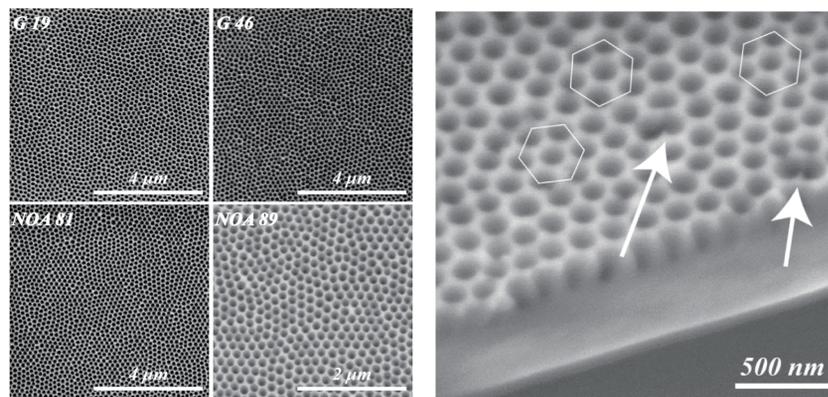


그림 3. 양면 임프린트에 사용한 다이싱 테이프 G19, G46와 자외선 경화 접착제 NOA 81, NOA 89에 형성된 나노웰 구조의 전자주사 현미경 이미지. 스탬프로 사용한 매미 날개 나노구조의 결함까지 복제 (화살표 부분)

음각 복제된 나노 웰 구조 표면의 물방울 접촉각을 측정하면 나노구조가 없는 표면보다 큰 접촉각을 보인다. 이는 나노 구조에 의하여 표면의 소수성이 높아졌다는 것을 보여주며, 산소 플라즈마로 표면을 처리해주면 친수성이 강해지며 접촉각이 매우 낮아진다. (그림 4)

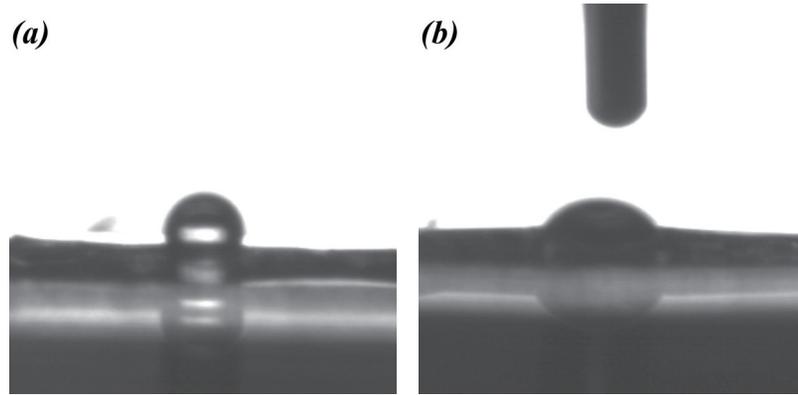


그림 4. 접촉각 측정. (a) 나노 패턴 표면; (b) 표면 산소 플라즈마 처리 후.

또한, 복제 나노 웰 구조 표면에서의 금 나노 입자 거동을 조사한 결과 금 나노 입자는 와류 또는 초음파 처리 후에 보다 균등하게 나노 웰 안으로 분포되며 이는 포와송 분포(Poisson distribution)를 따르는 것을 확인하였다. (그림 5)

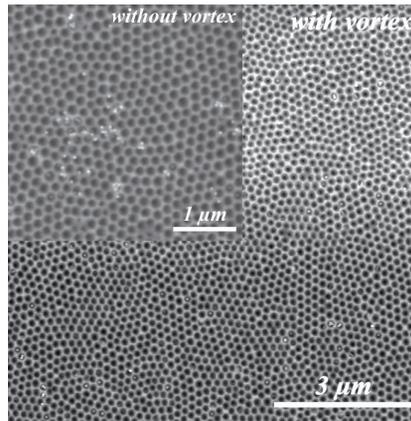


그림 5. 나노 웰 속의 금 나노 입자 분포

## 결론

매미 날개를 스탬프로 이용하고 새롭고 간단한 방법으로 대면적 나노 양면 각인을 하였으며 그 표면의 나노 기둥 구조를 복제한 나노 웰 구조를 성공적으로 제작하였다. 본 방법은 날개 구조 결합까지도 복제되는 수준의 복제 능력을 가지고 있다. 제한적인 주변 제작 환경이나 복잡한 장비 없이 쉽고 빠르게 그리고 저렴하게 제작할 수 있는 장점이 있어, 기존의 클린 룸에서 가능하던 작업을 일반 실험실 벤치에서 구현할 수 있도록 한다. 따라서 나노 구조물의 양산에 대한 기여를 기대해 볼 수 있다. 수행한 물방울 접촉각 측정 및 금 나노 입자 분포 테스트 결과 각인된 표면을 이용하여 나노 입자 자기 조립 후속 공정 적용 등의 응용이 가능하다. **KT**

## Reference

Li, X. & Manz, A. Duplex-imprinted nano well arrays for promising nanoparticle assembly. *Nanotechnology* 29, 085302 (2018). <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6528/aaa236>

# 03 TePRI 休

---

## 01. 소통과 대화를 위한 재미있는 이노베이션 이야기

과학자 사회의 내부 규범과 과학기술정책의 조화, 혁신 창출로 가는 지름길

---

## 02. 이달의 추천도서

신경 꼬기의 기술



## 01

# 과학자 사회의 내부 규범과 과학기술정책의 조화, 혁신 창출로 가는 지름길

TePRI 休

한 원 석

정책실  
g16501@kist.re.kr

이 혁 성

정책실  
h.lee@kist.re.kr

동아시아 과학기술계를 뒤흔들었던 일본에서 벌어진 줄기세포 논문 조작 사건과 황우석 사건. 과학자들은 10여년의 간격을 두고 벌어진 이 사태들의 교훈을 되새기고 있다. 이 사건들의 충격이 컸던 것은 연구에 거짓이 없어야 하며 피실험자를 보호해야 한다는 과학계의 규범(norm)이 지켜지지 않았기 때문이다. 실제로 황박사 본인도 2009년 결심공판에서 무너진 ‘과학자로서의 본분’을 바로 세우겠다는 최후 진술을 하기도 했다.

위 사례처럼 과학자들은 내부 규범을 통해 자신들의 사회를 유지하고자 하는데 이는 과학자 사회가 지닌 전문성과 관련되어 있다. 과학자에 대한 평가에는 전문 지식이 요구되기에 제3자가 아닌 동료에 의해 주로 평가된다. 당연하게도 과학자들은 동료들에게 인정 받기 위해 노력하게 됨으로써 과학자 사회는 자체적으로 유지될 수 있다. 일본에서 벌어진 줄기세포 논문 조작 사건의 조사에 마침표를 찍은 사람들 또한 해당 논문의 내용을 철저히 반복하여 따라서 실험해본 과학자들이었다.

그런데 과학자들이 내부적으로 서로에 대한 평가를 할 수는 있어도 연구에 드는 큰 비용을 자체적으로 충당할 수는 없다. 이런 상황에서 과학자 사회는 정부와 기업의 연구 지원을 원하고 정부와 기업은 과학자들과 함께 혁신을 창출하길 원한다. 다만 정부와 기업은 내부 규범을 통해 자체적으로 운영되는 과학자 사회에 대한 이해가 선행된 연구 지원을 통해야만 그들이 원하는 혁신을 창출할 수 있을 것이다. 과학자 사회는 어떤 규범을 지니고 있을까?

1940년대의 미국 사회학자 로버트 K. 머튼(Robert K. Merton)은 과학의 발전을 이끄는 핵심요인이 과학자 사회의 규범이라고 주장했다. 머튼에 따르면 규범은 크게 보편성, 공유성, 탈이해관계, 조직화된 회의로 구성된다. 보편성(Universalism) 규범은 과학자의 능력이 인종, 성, 국적, 소속기관 등에 상관 없이 평가되어야 한다는 것이다. 공유성(Communism) 규범은 과학적 성과가 공동체의 산물이므로 과학자 간에 공유되어야 한다는 것이다. 탈이해관계(Disinterestedness) 규범은 연구동기가 순수한 지적 호기심이어야 하며, 동료를 평가할 때는 어떠한 이해관계도 개입되어서는 안 된다는 것이다. 조직화된 회의(Organized Skepticism) 규범은 모든 과학자의 주장에 대해 해당 과학자의 권위와 관계 없이 확정되기 전까지 비판적 입장을 견지해야 한다는 것이다.

20세기 미국의 2개 거대과학은 머튼의 규범에 대한 이해가 선행되었는지 여부로 성패가 갈렸다. 초전도 고속 충돌기(Superconducting Super Collider, SSC) 건설 프로젝트는 입자물리학자들에게 쏠린 기대와 연구 지원이 물리학회 내부에 갈등을 일으켜 실패했다. 외부로부터의 평가와 보상이 과학자 사회를 분열시킨 셈이다. 반면 휴먼 게놈 프로젝트의 평가는 과학자들의 몫으로 남았으며, 보상도 과학자 사회의 내부 평가에 기반을 두었다. 데이터베이스에 등록된 유전체 클론을 누구나 쉽게 다시 만들 수 있게 한 결정은 공유성 규범에 부합하였고, 이를 통해 전국의 과학자들이 연구에 동참하도록 유도한 게놈 프로젝트는 성공했다.

그런데 시간이 흘러 반례들이 속속 제시된 머튼의 규범 이론 곳곳에 틈이 발견됐다. 기업들이 산업 보안을 강조하는 것만으로도 공유성 규범이 항상

들어맞지는 않는다는 것을 알 수 있다. 또한 연구 성과에 따른 인센티브 지급에 관한 논의는 탈이해관계 규범과 충돌한다. 그렇다면 과학자 사회에 더 이상 규범이 작동하지 않는 것일까? 그보다는 국가별, 시대별로 다른 맥락이 존재하기 때문에 규범의 모습도 다르게 나타날 수 있다고 보아야 할 것이다. 즉, 머튼이 제시한 네 가지 규범 외에 다른 규범이 다른 곳, 다른 시대에 존재할 수 있다.

한 예로 20세기 후반 한국 과학자 사회는 독특한 규범을 지녔다. 서구열강의 국력을 체감했던 당시 한국에서 과학기술은 부국강병을 위한 힘의 원천으로 인식되었다. 이에 따라 한국 과학자 사회는 자신의 연구와 국가의 산업 및 경제 성장을 하나로 보는 것을 당연시했다. 머튼의 탈이해관계 규범과 다르게, 한국 과학자 사회에서는 연구의 동기가 국가의 산업 및 경제 성장이었다. 빠른 산업 발전이 중요했던 한국 과학자 사회는 서구에서는 납득하기 어려운 논문 발표 지연을 허용했다. 이로써 특허 등 지식 재산권의 출원 및 등록을 용이하게 한 것은 한강의 기적을 뒷받침했다. 과학자들의 관심이 경제 성장에 쏠려있는 상황에서 산업 발전에 장기적으로 도움이 될 목적기초연구의 필요성은 인정되어도 순수기초 연구는 주목받기 어려웠다.

그렇다면 과학기술정책은 내부 규범을 지닌 과학자 사회에 어떤 영향을 미쳤을까? 동료 평가와 그에 뒤따른 보상 분배와는 다른 경로로 얻을 수 있는 권력형 보상이 등장했다. 또한 출연(연) 연구자의 경우, PBS 정책 실시 이후 연구성과 공개 및 공유 뿐만 아니라 연구과제 수주 실적까지 더해져 보상을 받게 되었다. 게다가 최근 들어 캐나다의 톰슨-로이터가 개발한 Impact Factor 등 정량적 지표가 등장함에 따라 과학자 자신들의 몫으로 남아있던 과학적 업적에 대한 평가와 보상 체계가 정책 결정자의 몫으로 일부 이동했다.

이러한 보상 체계의 변화는 과학자 사회에 변화를 불러일으켰다. 적지 않은 과학자들이 연구와 혁신 자체의 의미를 추구하기보다는 지표 상 높은 점수를



얻기 위해 노력하고 있다. 정책을 통한 보상 체계의 변화가 혁신을 촉진하기보다는 방해할 위험이 존재한다고 볼 수 있다. 따라서 과학기술 연구에 투자되는 예산이 진정으로 혁신을 창출하도록 하려면 과학자 사회에 대한 이해가 필요하다는 것을 알 수 있다.

다양한 규범이 다양한 시대, 다양한 공간에 존재한다. 그 규범들이 무조건 지켜져야만 하는 것은 아니며 혁신 창출을 보장하지 않을 수도 있다. 하지만, 정책 결정자들은 과학자들이 혁신을 견인하도록 하기 위해서는 그들이 어떤 사회를 이루고 있는지 이해할 필요가 있다. **KIST**

#### 참고자료

과학기술정책연구원 · 기술경영경제학회 (2017) 「한국 기술혁신 연구의 현황과 과제」, STEPI  
 김경만 (2004) 「과학지식과 사회이론」, 한길사  
 다니엘 케블레스(Daniel Kevles) 저, 김봉국 역 (2007) 「미국의 거대 과학과 거대정치 - 사멸한 SSC와 살아남은 휴먼게놈프로젝트에 대하여」, 서울대학교출판문화원  
 박민아 · 김영식 편 (2007) 「프리즘 - 역사로 과학 읽기」, 서울대학교출판문화원  
 박범순 · 우태민 · 신유정 (2016) 사회 속의 기초과학  
 박희제 (2017) 「과학기술자 사회, 과학기술과 사회 연구의 현황과 과제」, STEPI  
 박희제 (2014) 「과학자사회는 어떻게 작동하는가」, 휴먼사이언스  
 한국과학기술학회 (2014) 「과학기술학의 세계 - 과학기술과 사회를 이해하기」, 휴먼사이언스

## 02

TePRI 休

박연수

정책실

ysoo@kist.re.kr

## 신경 끄기의 기술

### 》》 저자 소개

마크 맨슨 (Mark Manson)

구독자가 200만이 넘는 미국에서 가장 영향력 있는 파워블로거글로벌 컨설팅 회사인 인피니티 스퀘어드 미디어를 운영 중

### 》》 선정 배경

신경 끄기의 기술은 아마존 53주 연속 베스트 셀러, 아마존·뉴욕타임스 베스트셀러 1위를 기록하며, [CNN], [타임], [포브스], [월스트리트 저널] 등 수많은 언론의 극찬 세례를 받고 있다.

### 》》 목차와 내용

왜 '신경끄기'인가?

- 풍요로운 물질과 SNS의 영향으로 현대인들은 사소한 일에 신경을 쓰게 되고, 정작 중요한 일들에 신경 쓸 힘이 없어진다.
- 인간의 본성은 '신경끄기'가 아니라 '신경쓰기'이므로 '무엇을 성취해야 하는지'보다 '무엇을 포기해야 하는지'가 진짜 문제

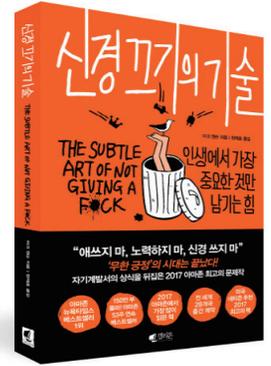
신경끄기의 기술? 신경쓰기의 기술!

- 신경끄기란, 세상만사에 무심한 것이 아니라 고난을 견디며 추구할 한 가지 가치를 제외한 다른 것들에 신경을 끄는 것

\* 메탈리카에서 퇴출당한 머스테인은 엄청난 명성을 누렸지만 인생에서 좌절만을 느낀 반면 비틀즈에서 쫓겨난 피트 베스트는 멤버들이 그토록 원하던 안락한 생활을 누리고 있다

무엇을 선택해야 하는가? 저자가 제안하는 다섯 가지 좋은 가치

- ① 책임감
- ② 무지를 인정하는 것
- ③ 실패를 받아들이는 것
- ④ 능숙하게 거절하기
- ⑤ 언젠가 죽는다는 사실을 포용하는 것



- 우리는 항상 선택에 의한 '경험'을 책임지며 살아간다. 최고의 카드를 가진 사람이 포커의 승자가 되는 것이 아니듯, 주어진 상황에서 최선의 선택을 하는 사람이 승리한다.

- 무지를 인정하고 끊임없이 질문하라. 확실한 것은 아무것도 없다.

\* 50년 전만 하더라도 사람들은 캘리포니아가 섬이라고 믿었고, 과학자들은 불이 플로지스톤이라는 물질에 의해 생긴다고 믿었다.

- 성공하기 위해서는 실패를 감수해야 하며, 실패하지 않겠다는 것은 성공하지 않겠다는 것이다. 견딜 수 있는 고통을 선택하고 견뎌라.

- 아니(No)라고 말할 수 있어야 하고, 상대방의 거절을 수용할 수 있어야 한다. 경계를 분명히 하는 것이 건전한 관계의 출발점이다.

- 사람은 모두 죽는다. 오늘과 죽음이 닥치는 날 사이에 내가 신경 써야 할 것은 무엇일까? 죽음을 가까이 둘 때 사람은 겸허해진다.

### 》》 밑줄 긋기

\* 주요 서평/리뷰 등에서 화제가 된 본문 중 구절 **kg**

...머릿속에 담고 있는 자아상을 버리면, 자유롭게 행동하고 실패하며 성장한다. (p81)

...오늘날 우리는 주목받는 것과 성공이 마치 하나인 것처럼 생각한다. 하지만 둘은 다르다. 큰 집, 좋은 차, 회사의 직위가 성공의 전부는 아니다 (p229)

...동기가 행동을 만드는 것이 아니라 행동이 동기를 만드는 것이다. (p184)

# TePRI

REPORT

Technology  
Policy  
Research  
Institute