KIST
Korea Institute of Science and Technology

TePRI REPORT

2018. vol.90
11

전망대 과학기술 발전과 일자리 · 일거리의 미래
Focus 모두가 참여하는 과학, 새로운 해답을 모색하다
人sight 김상선 KISTEP 원장

Part 01 R&D Spotlight
01. 세 번째 기획시리즈 : 조선의 과학기술, 넷
02. 이슈분석 : Scientific American 선정 2018년 10대 유망기술 (1)

Part 02 R&D In&Out
01. 주요 과학기술 정책 및 현안 : PM(연구사업관리전문가)제도, 공정성과 전략성 강화
02. TePRI, 정책 현장 속으로 : '연구의 자율성과 책임성 강화를 위한 연구관리 혁신' 외 1건
03. 글로벌 시장 동향 : 전 세계 환자 수 증가로 혈역학적 모니터링 시장 성장
04. Guten Tag! KIST Europe : 유해한 화학물질로부터 안전한 사회를 만들기 위한 첫 단계

Part 03 TePRI 休
01. 소통과 대화를 위한 재미있는 이노베이션 이야기 : 2018 노벨 경제학상에서 되짚어 본 내생적 성장이론, 그리고 지식의 중요성
02. 이달의 추천도서 : 평양의 시간은 서울의 시간과 함께 흐른다

TePRI REPORT

2018. vol.90

11

기술정책연구소

Technology Policy Research Institute

2018 November

Technology
Policy
Research
Institute

vol.90

CONTENTS

04 **전망대**
과학기술 발전과 일자리 · 일거리의 미래 4

06 **Focus**
모두가 참여하는 과학, 새로운 해답을 모색하다 6

08 **人sight**
김상선 KISTEP 원장 8

14 **Part 01 R&D Spotlight**
01. 기획시리즈 :
조선의 과학기술, 넷 15

02. 이슈분석 :
Scientific American 선정 2018년 10대 유망기술 (1) 21

30 **Part 02 R&D In&Out**
01. 주요 과학기술 정책 및 현안 :
PM(연구사업관리전문가)제도, 공정성과 전략성 강화 30

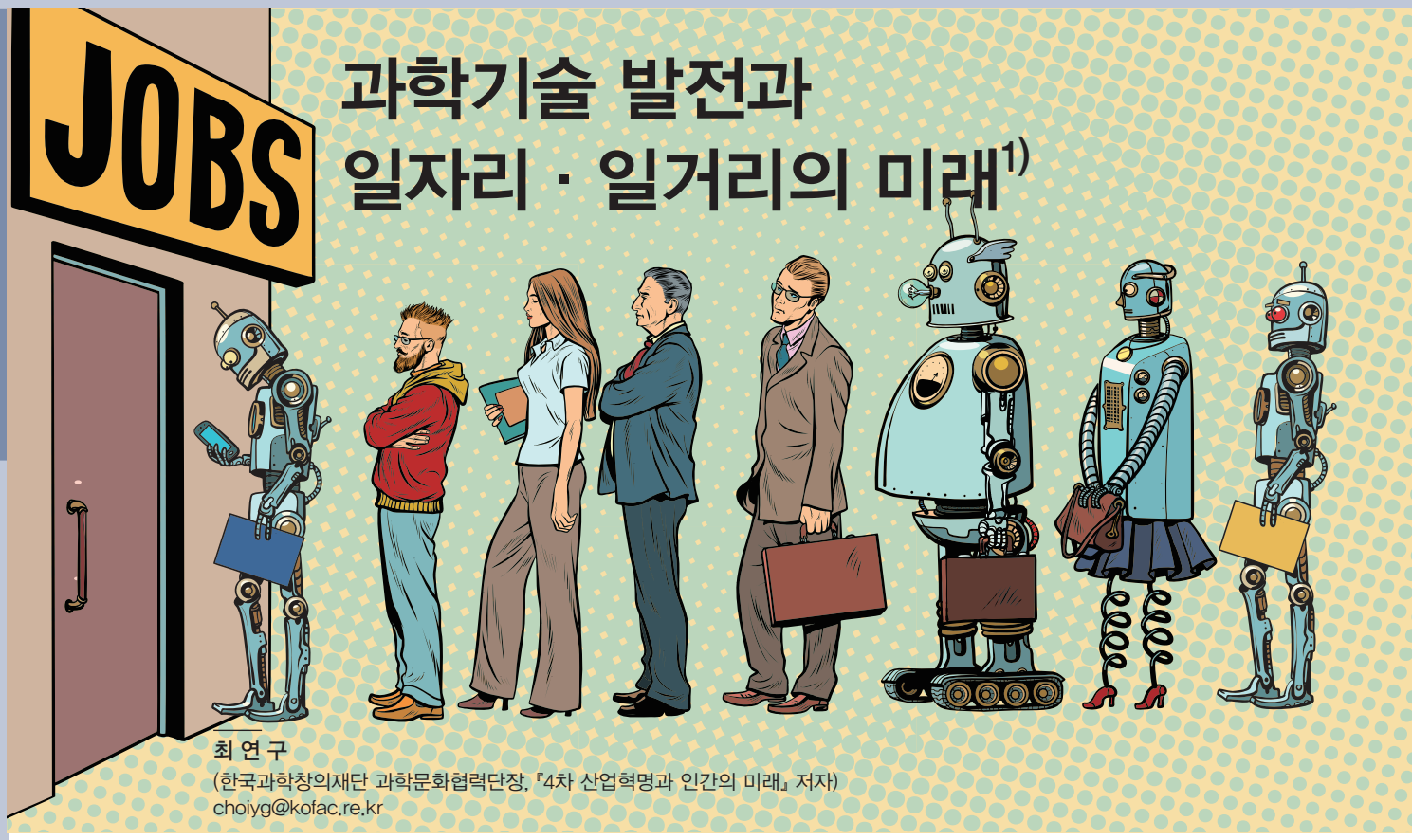
02. TePRI, 정책 현장 속으로 :
'연구의 자율성과 책임성 강화를 위한 연구관리 혁신' 외 1건 32

03. 글로벌 시장 동향 :
전 세계 환자 수 증가로 혈역학적 모니터링 시장 성장 34

04. Guten Tag! KIST Europe :
유해한 화학물질로부터 안전한 사회를 만들기 위한 첫 단계 35

39 **Part 03 TePRI 休**
01. 소통과 대화를 위한 재미있는 이노베이션 이야기 :
2018 노벨 경제학상에서 되짚어 본 내생적 성장이론, 그리고 지식의 중요성 39

02. 이달의 추천도서 :
평양의 시간은 서울의 시간과 함께 흐른다 41



과학기술 발전과 일자리 · 일거리의 미래[1)]

최 연 구
(한국과학창의재단 과학문화협력단장, 『4차 산업혁명과 인간의 미래』 저자)
choiyg@kofac.re.kr

4차 산업혁명의 진원지 다보스 포럼은 2016년 〈직업의 미래〉 보고서를 통해 "2020년까지 4차 산업혁명으로 인해 710만 개 일자리가 사라지고 새롭게 만들어질 일자리는 200만 개"라고 예측해 큰 파장을 불러 일으켰다. 인공지능과 로봇공학의 발달로 기계화, 자동화가 가속화되면 일자리가 점점 인공지능과 기계로 대체될지 모른다. 일자리가 줄어들면 대량실업 문제가 발생하고 사회적으로 대혼란이 야기될 수도 있다. 이런 생각을 하다보면 괜스레 미래가 암울해진다.

정말 과학기술 발전과 4차 산업혁명이 일자리를 감소시키는 걸까. 많은 전문가와 미래학자가 컴퓨터화, 자동화로 인한 일자리 감소를 예측하고 있지만 과학기술 발전이 반드시 일자리를 감소시킬 거라고 단정할 수는 없다. 기술 발전은 고용시장에 영향을 미치지만 한두 가지 요인에 의해 고용시장이 좌지우지되지는 않는다. 한국고용정보원의 보고서에 의하면, 고용변동의 요인은 여러 가지다. 인구 구조 및 노동인구 변화, 산업특성 및 산업구조 변화, 과학기술 발전, 기후변화와 에너지 부족, 가치관과 라이프 스타일 변화, 대내외 경제상황 변화, 기업의 경영전략 변화, 정부정책 및 법제도 변화 등 8가지를 들고 있다. 과학기술 발전은 이런 8가지 요인 중 한 가지일 뿐이다. 설사 과학기술 발전으로 일자리가 줄어든다고 하더라도 정부정책, 경제상황 변화 등 다른 요인에 의해 일자리가 늘어나서 상쇄될 수 있다.

일자리는 중요한 사회적 이슈다. 일자리 정책, 일자리 창출, 일자리 수석, 일자리위원회 등에서 보여지듯 오늘날 일자리는 국가적 관심사가 됐다. 하지만 계속 우리가 일자리만 이야기하는 게 맞는 걸까. 꼭 자리가 있어야 일을

1) 일자리, 일자리 정책에 대한 좀더 자세한 내용은 최연구, 「4차 산업혁명시대의 일자리와 일거리 정책」, 『Kistep Inl(Vol.26)』, 2018년 참고

할 수 있는 걸까. 그렇지 않다. 자리가 없는 일도 있다. 이런 경우 우리는 '일거리'라고 부른다. 요컨대 일자리와 일거리를 구분할 필요가 있다. 보통 일자리와 일거리를 구분하지 않고 혼용하지만 엄밀하게 말하면 다르다. 일자리(job)는 직장이고, 일거리(work)는 일감이다. 한자어 직업(職業)에서 직은 일자리를, 업은 일거리를 뜻한다. 일거리가 생긴다고 저절로 일자리가 생기는 건 아니며, 일자리를 만든다고 꼭 일거리가 늘어나는 건 아니다. 일거리를 늘리는 것과 일자리를 만드는 것은 다르다. 직과 업 중 본질적인 것은 업이다.

고용시장의 최근 변화 트렌드 중 '긱 이코노미'라는 것이 있다. 긱 이코노미는 1920년대 초 미국의 재즈공연장에서 즉석 연주자를 섭외해 공연을 한 긱(Gig)이라는 단어에서 유래한 경제 분야의 새로운 트렌드다. 사회전반적으로 디지털화가 되면서 우버나 에어비앤비 같은 온라인 플랫폼을 통해 서비스를 제공하는 공유경제가 차츰 하나의 생태계를 형성하고 있다. 고용시장에서도 소규모 수요와 공급이 연결되는 마이크로 글로벌 현상이 나타나고 있으며 프리랜스 근로자는 필요에 따라 기업과 계약을 맺고 독립적으로 일하는 형태가 늘어나고 있다. 이런 것이 바로 '긱 이코노미(Gig Economy)'다. 긱 이코노미는 직보다는 업 위주이다. 가령 직은 없고 업만 있는 근로가 늘어나서 긱 이코노미가 일반화되면 안정적인 일자리보다는 전문성에 기반 한 독립적 일거리를 중심으로 고용시장이 재편될 수 있다. 세계미래학회의 미래예측보고서에 의하면 미래에는 연봉, 월급 등 개념이 사라지고 업무상 보상체계만 남게 되며 일은 임시직 근로자(workers)와 작업지시자(workee) 사이 협상으로 정해지고 보상은 가변적일 수 있다고 한다. 고정적이고 안정된 일자리가 줄어드는 것은 앞으로의 추세가 될 것이다. 그렇다고 일거리마저 줄어드는 건 아니다. 비숙련노동자들은 안정적인 일자리를 원하지만, 전문적이고 창의적인 숙련노동자, 소위 창조계급은 오히려 한 곳에 매이지 않고 여러 가지 일거리를 동시에 수행하면서 고수익 올리기를 원한다.

첨단기술은 4차 산업혁명의 원동력이다. 하지만 4차 산업혁명은 기술이 아니라 사람이 이끄는 것이 바람직하다. 항상 사람이 먼저고 창의인재를 길러내는 것이 우선이다. 첨단기술도 결국은 사람이 만드는 것이다. 박원순 서울시장이 옥탑방에서 읽었다는 리처드 플로리다 교수의 책에 보면 창의적인 도시의 3요소로 3T를 언급한다. 기술(Technology), 관용(Tolerance) 그리고 인재(Talent)다. 창조적인 도시를 보면 예외 없이 하이테크 기술이 모이고 창의인재들이 몰려들고 또한 다름을 인정하며 공존하려는 톨레랑스의 문화가 있다. 첨단 기술과 다양성의 문화를 바탕으로 창의적 결과물을 만들어내는 것은 다름 아닌 창의인재다. 플로리다는 이들을 창조계급(Creative class)이라 명명했다. 그는 산업화시대의 주역이 부르주아 계급이었다면 21세기의 주역은 창조계급이 될 거라고 주장했다. 플로리다는 창조계급의 핵심으로 컴퓨터와 수학 관련 직업, 건축과 공학 관련 직업, 생명과학, 물리, 사회과학 관련 직업, 교육 · 훈련 관련 직업, 미술 · 디자인 · 연예 · 오락 · 스포츠 · 미디어 관련 직업 등을 꼽았다. 미래변화를 주도하는 창조계급에 속하는 직업은 미래학자들이 기계화, 자동화에도 불구하고 유망한 직업군으로 꼽는 직업과 대부분 일치한다.[2] 이런 창의적인 직업군에서는 일자리보다는 일거리가 더 많아질 가능성이 높다. 또한 창조계급은 긱 이코노미와 잘 어울린다. 일거리가 없는데도 인위적으로 일자리만 늘리는 것은 바람직하지 않다, 전문직종이나 창의적인 업무의 경우는 일자리보다는 일감을 만들어 고용시장을 활성화해야 한다.

과학기술의 발전으로 공간 개념도 이젠 점점 퇴색하고 있다. 학교에 가지 않아도 공부할 수 있고, 회사에 가지 않고도 재택근무가 가능하며, 원격진료와 화상회의도 가능하다. 5G, IoT, 통신기술 등이 발전하면 일자리는 줄어들 수 있다. 하지만 일자리라는 공간에 가지 않고도 일을 할 수 있는 일감이나 일거리는 늘어날 수 있다. 매일 출퇴근하고 자리를 지키면서 일하는 일자리는 산업화 시대의 개념이다. 시공간의 경계가 무너지는 4차 산업혁명 시대에는 일자리 대신 일거리만 있어도 먹고 살 수 있을 것이다. 일자리에만 매달리지 말고 '자리가 없는 일거리'에도 눈을 돌려야 한다. KST

2) 최연구, 「콘텐츠혁명, 미래 일자리와 창의적 인재」, 『엔콘텐츠(2018년 9–10월)』, 한국콘텐츠진흥원

모두가 참여하는 과학, 새로운 해답을 모색하다

최 수 영
KIST 융합연구정책센터 팀장
suyoungchoi@kist.re.kr

사물인터넷, 빅데이터, 인공지능 등의 기술의 발달은 생활에 밀접하게 연계되어 예전에는 상상조차 할 수 없는 폭발적 데이터 증가를 가져왔다. 과거와는 비교할 수 없이 빨라진 데이터와 정보의 생산과 소통으로 인해, 시공간의 제약없이 자발적이고 개방적인 다수의 사람들이 모여 의견을 교환하여 보다 나은 데이터와 결과를 창출하는 집단지성의 힘은 더욱 커질 전망이다.

이러한 변화는 기존 전문가들의 영역으로 여겨졌던 과학기술 연구의 수행에서도 과학자가 아닌 일반인들의 참여의 방식과 기회를 보다 넓히고 있다. 온라인 플랫폼이나 스마트폰 앱 등 IT 기술을 활용하여 간단한 그림 맞추기를 하면서 중력파 탐색과 같은 천문학 연구에 기여하거나, 게임을 통해 원자의 움직임에 대한 과학적 해답을 찾는 연구프로젝트에 동참하는 등 사람들이 즐겁게 참여하면서도 과학에 기여할 수 있는 기회가 넓어지고 있는 것이다.

보다 자세히 살펴보면, 스마트폰, IT 등 정보통신기술의 발달로 얻게 된 방대한 데이터를 다루기 위하여 집단지성을 활용하여 지혜와 도움을 받는 방식이 증가하고 있다. 인공지능 소프트웨어가 발달하고 있지만, 아직까지는 인간의 눈과 인지가 알고리즘에 의한 자동 소프트웨어가 따라잡지 못하는 영역이 많으므로, 크라우드 소싱(Crowd Sourcing) 방식으로 짧은 기간에 가능한 방대한 데이터 분석을 자발적 참여자들이 수행해줌으로써, 제한된 인원으로 연구를 수행하는 과학자들에게 큰 도움을 주게 되는 것이다. 크라우드 소싱은 대중(Crowd)와 외부자원(Outsourcing)의

합성어로, 2006년 미국 디지털 잡지인 와이어드에서 처음 소개하였다. 불특정한 다수의 사람들의 참여를 통하여 필요로 하는 아이디어를 고안하고 문제를 해결하는 방식을 의미한다.

과학계에서 크라우드소싱의 대표적 사례로 주니버스를 들 수 있다. 2007년 옥스퍼드 대학교 천문학자 크리스 린토트와 동료들이 '갤럭시 동물원(Galaxy Zoo)'이라는 웹사이트에 70,000장의 사진을 공개하며 다양한 은하를 분류하도록 일반인들에게 분석을 요청하였고 24시간만에 분석된 사진을 얻을 수 있었다. 갤럭시 주(Galaxy Zoo)로 성공을 거둔 이들은 2009년 주니버스(www.zooniverse)라는 시민참여 과학 프로젝트 플랫폼을 개설하였다. 주니버스에는 의학, 환경, 지질학 등 다양한 분야의 프로젝트가 진행되고 있다. 과학에 열정을 가진 평범한 시민들이 손쉽게 참여하여 데이터를 분석하거나 수집함으로써 우주에 떠다니는 새로운 행성을 발견하고, 멸종위기를 처한 동물들을 보호하는 데 기여할 수 있게 된 것이다.

또한 전문 연구자가 아닌 사람들이 보다 쉽게 과학문제를 해결하는 데 참여할 수 있도록 해결하고자 하는 문제를 게임처럼 만들어서 제공하는 경우도 있다. 덴마크 오르후스대 물리학자들은 원자의 양자상태는 유지하면서 광학 집게로 원자 위치를 한 곳에서 다른 한 곳으로 최대한 빠르게 옮기면 높은 점수를 획득하는 방식으로 퀀텀무브스라는 온라인 게임을 만들었다. 기존의 컴퓨터 시뮬레이션 방식의 한계를 극복하기 위하여 사람들의 직관을 활용하기 위하여 생각해낸 방식이다. 이 게임이 참여한 사람들 중에는 전문적 연구자도 있었고, 양자역학에 대해 전혀 모르는 일반인도 있었다. 연구자들은 참여자들의 수행결과 중 좋은 데이터를 추린 뒤 이를 바탕으로 기존 연구자들이 상상조차 하지 못한 해법을 찾아냈다. 기존의 컴퓨터 시뮬레이션만 활용하여 얻었던 최적경로는 0.4초에 불과했으나, 사용자들의 직관을 바탕으로 한 새로운 알고리듬을 도입해 최종적으로는 0.176초까지 줄일 수 있었고, 그 결과를 네이처에 게재했다.

이렇듯 전문적 훈련을 받지 않은 시민들이 자발적으로 과학연구의 일부나 모든 과정에 참여하는 이른바 시민과학 활동(Citizen Science) 또한 증가되고 있다. 전문가들이 이미 정의한 문제를 풀기 위하여 단순한 데이터 수집과 분석 등에 참여하는 경우 뿐만 아니라, 프로젝트 디자인, 데이터 분석 등까지 광범위하게 참여하거나 문제해결을 위하여 전문연구자들과 시민들이 함께 협력하여 공동으로 연구 프로젝트를 진행하는 리빙랩 방식도 있다. 전문가, 대중, 학생, 성인 모두가 자발적 참여로 집단지성을 통하여 과학적 성과를 이루어 나가는 것이다.

모든 것이 연결된 초연결의 시대, 자발적이고 개성적인 집단지성의 힘은 더욱 커질 전망이며, 개인이 과학에 참여하는 방식 또한 변화될 것이다. 개인이 그림 맞추기 게임을 하면서 우주의 비밀을 푸는 데 기여하거나, 스마트도시 시뮬레이션을 통해서 과학자들에게 아이디어를 제공하는 등 각자가 가진 열정과 역량으로 과학에 기여하고, 상호간 검증과정을 거쳐서 거대한 인류의 지식을 만드는 데 기여할 수 있게 된 것이다. 인류가 도전하지 못한 새로운 영역에 대한 탐사와 인류가 도전해야 할 난제에 대한 해결책을 모두가 참여하는 새로운 방식의 협력과 소통을 통해 찾을 수 있기를 희망해본다. KST

예순일곱 번째 만남

김상선 KISTEP 원장

지난 40여 년간 과학기술부에서 주요 보직을 역임하신 후 한국과학기술단체총연합회 사무총장, 국가과학기술인력개발원장 등 과학기술정책 전문가로 활동해오신 김상선 원장님이 지난 8월 한국과학기술기획평가원(KISTEP) 제 9대 원장으로 부임하셨습니다. 이번 11월 호에서는 원장님을 찾아뵙고 내년 설립 20주년을 앞두고 새로운 역할을 모색하고 있는 KISTEP의 혁신노력과 앞으로의 계획, 현재 우리 과학기술계가 당면한 현안과 미래에 대한 의견을 들어보았습니다.

김종주 미래전략팀장, jongjoo@kist.re.kr, **정혜재** 미래전략팀, hyejae@kist.re.kr

한국과학기술기획평가원(KISTEP) 제9대 원장으로 선임되셨습니다. 취임 소감과 앞으로 역점을 두고 추진하실 점이 궁금합니다.

어깨가 무겁습니다. 요즘 많은 부분에서 대한민국의 미래는 결국 과학기술에 달려있다는 것을 점점 더 확신하게 됩니다. 지난 30여년 공직에 몸담고, 또 이후 10여 년간을 과학기술계에 있다 보니 눈에 보이지 않고 언급되지 않았던 많은 것들이 보이기 시작했습니다. 문제를 모르면 걱정이 없는데 알게 되니 걱정이 생깁니다. 우리 사회에서 과학기술의 중요성은 과거와 비교할 수 없을 만큼 커져 가는데 과학기술이 앞으로 10년, 50년 어디로 가야 하는지, 무엇을 어떻게 준비해야 하는지를 깊게 고민하는 싱크탱크가 눈에 띄지 않습니다. 그런 의미에서 우리나라의 대표적인 과학기술 싱크탱크라 할 수 있는 KISTEP의 기관장으로 선임된 것에 막중한 책임감을 느낍니다.

지금 KISTEP의 가장 큰 과제이자 우리 과학기술계의 가장 큰 현안은 어떻게 하면 20조원에 달하는 R&D 예산을 효율적으로 활용하고, 이를 위해 과학기술계 역량을 어떻게 결집하느냐 하는 것입니다. 결국에는 한정된 자원의 테두리 안에서 성과를 극대화하고 그 성과로 국가 경쟁력과 국민 삶의 질을 높이고자 하는 것이지요. 또 다른 측면으로는 조금 긴 호흡으로 국가과학기술혁신체계(NIS, National Innovation System) 전반에 걸친 싱크탱크 역할을 자리 잡아 나가는 것입니다. 이런 역할을 통해 궁극적으로는 연구자 중심의 R&D 문화와 환경, 더 나아가서는 과학기술이 주인이 되는 사회를 만들고 싶습니다. 개인적으로 저는 참여정부 시절에 썼던 '과학기술중심사회'라는 말을 참 좋아합니다. 당시에는 다소 공허한 느낌이 있었는데 지금처럼 경제, 산업은 물론 문화, 예술, 국방, 스포츠 등 사회 전방위적으로 과학기술이 활약하는 시점에서 보니 정말 중요한 말이 아닐 수 없습니다. 지금 저와 KISTEP이 꼭 이뤄내야 할 목표를 참 잘 표현한 말이기도 합니다.

오랜 경험중 KIST와 관련된 에피소드나 기억에 남는 일이 있으신지요?

KIST와는 지난 78년 과학기술부에서 공직을 시작한 이래 40여 년간 여러 인연이 있었습니다. 가장 기억에 남는 것이라면 제가 과학기술부 과기협력국장으로 재임하던 시절 KIST 유럽연구소 이사회를 KIST 서울 본원에서 화상으로 진행한 경험을 꼽겠습니다. 미국에서는 흔히 있는 일이었지만, 당시 한국에서는 흔치 않은 광경이었지요. 아직까지도 우리나라에서 공식적인 회의를 화상으로 진행하는 경우는 쉽게 찾아볼 수 없습니다. 최근 세종시 뿐 아니라 각 지역의 혁신도시로 많은 부처, 공공기관들이 이전하면서 순기능도 있지만 기회비용도 더불어 많아졌습니다. 늦은 감이 없지 않지만, 이제부터라도 우리의 발달된 ICT 기술을 활용해 일하는 방식을 바꿔야 할 때가 온 것 같습니다.

세계 최초 아라미드 펄프 신공정 개발에 성공한 윤한식 박사의 성과를 어떻게 홍보할 것인가 KIST 관계자들과 머리를 맞대고 고민했던 일, 대선 주자를 모시고 KIST를 방문했던 일, 과학의 날 행사를 KIST에서 준비하고 치른 일 등 많은 기억이 있습니다. 그때마다 느꼈지만 KIST 캠퍼스는 언제 보아도 참 아름답습니다. KIST 후문에서부터 끝없이 이어지는 단풍, 고색창연한 본관, 넓게 펼쳐진 잔디밭은 분명 KIST의 연구자들이 좋은 성과를 내는데 보이지 않는 역할을 하는 소중한 자산이라고 생각합니다.

최근 PBS 제도, 획일적인 양정 성과평가 등 그간 과학기술계에 지속 적용되어 왔던 R&D정책에 대한 변화의 움직임이 활발하다

그간 우리나라 과학기술정책의 패러다임 변화를 몸소 체험하시면서 느끼신 바가 있으시다면요? 특히 미래 과학기술 정책방향은 어떻게 변화해야 한다고 생각하십니까?

그동안 과학기술을 둘러싼 대내외 여건이 많이 바뀌어 왔습니다. 1982년 특정연구사업에 편성된 예산은 133억 원에 불과했는데 이제는 정부연구개발예산 20조 시대를 앞두고 있습니다. 실로 놀랄만한 변화이지요. 기업을 포함한다면 거의 80조에 육박합니다. R&D 주체들의 역량도 눈에 띄게 성장했습니다. 80~90년대까지만 해도 연구개발의 중심은 출연(연)이었지만 이제는 기업연구소가 4만 여개가 넘어서면서 세계 기술시장을 선도하는 기업들도 등장했습니다. 국가 R&D에 대한 수요도 마찬가지입니다. 과거에는 R&D가 제조업 경쟁력을 높여 국가경제를 뒷받침 하는 것이 최대 · 유일의 목표였다면, 이제는 사회 전 분야에 걸쳐 더 나은 삶을 만들기 위해 과학기술의 수요가 없는 곳이 없습니다.

불과 몇 십 년 만에 일어난 이러한 급격한 변화, 그리고 대한민국의 높아진 위상에 맞춰 이제 우리 과학기술정책의 패러다임도 전환해야 할 때가 왔습니다. 빠른 실용화를 위한 응용개발 연구 중심에서 세계적 기초원천 성과를 창출할 수 있는 방향으로, 제조업 경쟁력 강화를 넘어 국민 삶의 질, 사회문제를 해결하는 영역으로 과학기술의 범위를 확장해야 합니다. 그동안은 출연(연)이 국가 R&D의 주도적 역할을 해 왔다면, 이제는 NIS 각 주체들이 잘 협력하여 역량을 융합하는 방식으로 전환되어야 합니다. 그리고 이러한 변화는 중앙정부 중심에서 지방 중심으로, 제조업 등 일부 분야 중심에서 사회 전 분야로 확산되어야 할 것입니다.

정부에서도 지난 7월 이와 같은 변화방향을 담은 'NIS 고도화를 위한 국가R&D 혁신방안(안)'을 발표했습니다. R&D 혁신의 중심을 국민과 연구자에 두는 사람중심의 혁신 추진, 파괴적 혁신을 이끌어낼 고위험 · 혁신형 도전적 R&D 지원 강화, R&D를 넘어 인력양성, 기술사업화, 산업 등 혁신전반을 고려한 NIS 모델 운영을 골자로 합니다. 이러한 방향들이 궁극적으로 대한민국의 혁신성장과 국민생활문제 해결로 이어질 수 있게 되길 기대합니다.

현 정부는 혁신성장과 일자리 창출을 정책의 중심축으로 설정, 과학기술계가 이에 대한 해결책을 제시해 주길 기대하고 있다. 하지만 국민이 체감하는 성과는 여전히 부족하고, 20조원에 이르는 세계적인 R&D 투자 규모에도 연구성과가 혁신성장으로 이어지지 못하는 코리아 R&D 패러독스에 빠져 있다는 지적이 팽배하다.

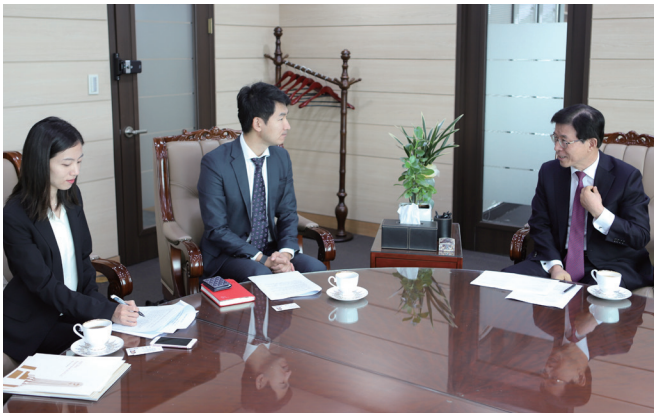
현 시점에서 과학기술계가 풀어야 할 가장 시급한 과제는 무엇이라고 생각하시는지요?

결국은 사람이 가장 중요합니다. 1+1은 2이지만, 그것이 사람이 하는 일이라면 0이 될 수도, 또 100이 될 수도 있습니다. 그런 의미에서 결국 신명나는 연구여건을 만드는 것이 좋은 성과를 내기 위한 가장 상식적인 방법이 아닌가 합니다. 좋은 과학기술 정책은 연구자의 창의성과 자율성을 최대한 발현해 주는 환경을 만드는 데서 시작한다는 것을 항상 잊지 말아야 합니다. 이를 간과하다 보면 결국 누구를 위한 제도인지 모른 채 오직 제도를 위한 제도로 본래의 목적을 잃는 경우를 많이 봐 왔습니다. 그런 의미에서 연구비 오남용 등 극히 일부에서 발생하는 일을 과학기술계 전체가 문제인 것처럼 과도하게 매도하고, 자율성을 침해하는 또 다른 제약을

만들어 내게 될까 우려스럽습니다. 고비용 · 저효율 R&D를 지적하는 R&D 패러독스라는 말 역시 지금 이 시간에도 묵묵히 연구현장을 지키고 있는 연구자들의 사기를 떨어뜨리지 않을까 걱정입니다. 연구자들이 연구하고 싶어 하는 좋은 연구환경 만들기가 지금 우리에게 가장 중요한 과제라고 생각합니다.

두 번째는 공공R&D 성과의 활용과 확산에 관한 것입니다. 과거 80~90년대에는 출연(연)의 성과가 뉴스에 많이 등장했습니다. 수입을 대체하며 우리 산업 현장에 바로 적용될 만한 기술들을 위주로 연구했기 때문이지요. 하지만 지금은 다릅니다. 과거와는 달리 공공부문의 연구영역이 점차 기초 · 원천연구 중심으로 옮겨가면서 국민이 체감할만한 성과들이 줄어들고 있습니다. 사실 당연한 것이지요. 이제는 기 초 · 원천연구에서 나온 성과물들을 보완해서 활용 · 확산시키고 이를 외부에 잘 알려야 하는데 이것이 기술적으로 참 어렵고 비용도 많이 필요한 부분입니다. 오죽하면 '죽음의 계곡(Death Valley)'이라고까지 표현하겠습니까? 이제는 우수한 공공R&D 성과가 사장되지 않도록 적합한 제도와 시스템을 다시 제대로 만들어야 할 때입니다. 요즘 한창 이슈가 되고 있는 규제문제의 경우도 연구개발단계에서부터 필요한 법적, 제도적 장치를 병행하여 준비해나갈 때 비로소 그 기술의 가치를 적기에 제대로 활용할 수 있을 것입니다.

마지막으로는 말씀드리고 싶은 것은 소통과 협력입니다. 다행스럽게도 연구자들이 예전보다 적극적으로 사회에 목소리를 내고 있는 것 같습니다. 바람직한 현상입니다. 하지만



한 가지 아쉬운 점은 과학기술계가 공통된 한 목소리를 내지 못한다는 것입니다. 제가 미국에 있을 때 경험한 '국회 방문의 날'은 참 인상적이었습니다. 미국은 보통 1월 말에 대통령이 예산안을 발표해 국회에 보냅니다. 국회에서 예산을 심의하는 동안 과학기술계는 이 과정을 지속적으로 모니터링하고 이를 끊임없이 공유합니다. 그리고 국회 방문의 날에 R&D의 중요성이 담긴 자료를 만들어 지역 의원들을 찾아가 많은 연구과제들이 예산에 반영될 수 있도록 설득하는 과정을 거칩니다. 이처럼 미국 국회에서 과학기술은 초당적(bipartisan) 이슈입니다. 우리 과학기술계도 기초연구와 실용화 연구, 대형과제와 소형과제, 상향식 접근과 하향식 접근 등 매사에 이분법적으로 접근하기 보다는 소통과 협력을 통해 한 목소리를 내는 방식에 익숙해져야 합니다. 단편적인 이익보다는 NIS 전체 차원에서 방향성과 균형감을 유지하면서 과기계의 힘을 모아가야 할 것입니다. 그것이 곧 개별 기관과 과학기술계를 넘어, 더 나은 대한민국을 향한 길이라고 생각합니다.

혁신성장의 중요한 축으로서 KIST를 비롯한 과학기술계 출연(연)이 나아가야 할 방향은 무엇이라고 생각하시는지요?

과학기술계 출연(연)은 각각 해당분야에서 우리나라에 하나뿐인 국가연구소입니다. 분야별로 너무 많은 출연(연)이 있는 것 아니냐는 지적도 있지만, 이들이 국가연구소로서의 바람직한 역할을 정립하고 이를 제대로 수행한다면 우리만의 독특한 강점으로 발전시켜 나갈 수 있다고 생각합니다. 하지만 그동안 출연(연)을 둘러싼 R&D 환경이 동태적으로 변화했음에도 불구하고 출연(연) 자체만을 혁신의 대상으로 여겨왔다는 점이 안타깝습니다. 혁신방안도 너무 잦았고 너무 많은 이해당사자들이 각자 다른 목소리를 내 왔습니다.

저는 사실 출연(연)이 구체적으로 무엇을 해야 하는지는 출연(연) 스스로가 가장 잘 알고 있고, 또 스스로 찾아내야 한다고 생각합니다. 다만 그 방향은 국민 모두가 공감할 수 있어야 하지요. 이러한 측면에서 제 의견을 말씀드리자면 출연(연)의 역할은 크게 두 가지 영역으로 구분해 볼 수 있을

것 같습니다. 첫 번째는 국가적으로 꼭 필요한 것임에도 다른 주체들이 담당할 수 없는 영역, 두 번째는 정부와 기업의 R&D 수요(needs) 중 출연(연)의 도움이 반드시 필요한 영역입니다.

R&D혁신, R&R재정립 등 정부 뿐아니라 출연(연)의 자발적인 혁신 노력이 지속되고 있습니다. 이러한 노력이 현장에 정착되고 성과로 연결되기 위해 필요한 것은 무엇이라고 생각하십니까?

첫 번째 영역을 위해서는 각 출연(연)이 각자의 고유 역할을 해낼 수 있도록 필요한 연구비를 100% 지원하는 것이 바람직합니다. 한 우물만을 팔 수 있는 안정적인 연구여건 위에 '자율과 책임' 운영 원칙을 적용해야겠지요. 두 번째 영역은 최근 부각되고 있는 삶의 질 제고 및 각종 사회문제해결형 R&D, 민간부분의 R&D 수요 중에서 출연(연)의 도움이 꼭 필요한 영역 등에 해당하는 부분으로 PBS 형태의 지원이 적합할 것입니다. 이런 점을 감안해 보면 최근 개편 논의가 진행 중인 PBS 또한 제도 자체를 폐지하기보다는 그간 운영 과정에서 제기된 문제점들, 예를 들어 과도한 연구비 수주 부담, 단기성과 중심의 연구 수행 등을 보완하는 방향으로 개선 방안을 모색하는 것이 바람직할 것입니다. 최근 출연(연)들이 자율적으로 기관의 비전과 목표 및 발전방향을 담은 R&R을 새롭게 마련하였는데, 이를 이행하기 위한 고유 임무에 해당하는 연구비는 안정적으로 지원하는 한편, 출 연(연)의 도움이 꼭 필요한 외부의 수요에 대해서도 외면하지 말고 개선된 PBS 제도에 따라 지원을 해야 할 것입니다. 마지막으로 강조하고 싶은 것은 이번에 새롭게 수립된 출연(연) R&R에 대해서는 차질 없이 이행해 나가야 할 것이지만, 그 목표를 달성하는데 개별 기관만의 힘으로 모든 것을 해결하겠다는 생각은 이제 버려야 합니다. 출연(연)간 협력뿐만 아니라 그 분야 최고의 국내외 연구자, 연구팀과 협력하여 효과적이고도 효율적인 방법으로 세계 최고의 성과를 창출할 수 있도록 사고와 문화를 전환해야 합니다.

과학기술계의 변화와 혁신을 위한 KISTEP의 역할은 무엇입니까?

특히, 내년에는 KISTEP이 설립 20주년을 맞는 해이자 신청사로의 이전도 앞두고 있습니다. 특별한 준비가 있으시다면서요?

KISTEP은 과학기술기본법에 명시된 기술예측, 동향, 수준 및 연구개발활동조사 등의 기본업무와 함께 연 20조원에 달하는 국가R&D 기획 · 평가업무, 예타 업무를 담당해 오고 있습니다. 출연(연)이 새로운 역할을 모색하듯, KISTEP 역시 외부 환경과 여건변화에 따른 새로운 역할모색이 필요한 때입니다.

제가 부임한 이후 새롭게 정립한 'KISTEP R&R 2.0'은 이러한 필요성을 절감했기 때문입니다. 국가연구개발사업에 참여하고 있는 각 정부부처의 R&D관리 허브역할을 강화하고, 범부처 과학기술기반 혁신성장의 Support Tower 역할을 확대하고자 하는 내용을 담고 있습니다. 즉, 그간의 국가 R&D 기획 · 평가 역할 수행을 넘어 NIS 전반에 걸친 싱크탱크 역할을 강화하기 위한 노력입니다.

마침 내년 2019년은 KISTEP 창립 20주년인 동시에, 충북 혁신도시로 청사를 이전하는 하는 해입니다. 이러한 큰 변화를 맞아 올해에는 NIS 전반에 대해 KISTEP이 기울여온 그간의 노력과 성과를 정리하고 앞으로 나아가야 할 방향성을 모색하는 데 중점을 둘 계획입니다, 특히 올해 말에는

우리 과학기술계가 당면한 이슈를 사회 구성원과 함께 머리를 맞대어 고민하고 다음 20년을 어떻게 대비해야 할지 함께 모색해 보는 장을 마련할 계획에 있습니다.

최근 혁신전략연구소를 신설한 것으로 알고 있는데요?

혁신전략연구소 신설은 앞서 말씀드린 KISTEP의 재도약과 같은 맥락입니다. 현안에 대응하는 기본업무도 물론 중요하지만 이제 우리 기관도 미래 방향을 설정하고 중장기적인 전략을 수립하는 기능이 강화되어야 할 때라고 생각합니다. 기존 부서들이 현안업무를 주로 다루고 있다면 이번 새로 설치한 혁신전략연구소는 국가 혁신성장과 한 단계 더 나아간 'NIS 2.0'체계 구현을 위한 중장기 정책 의제를 발굴하고 추진방향을 제시하는 역할을 주로 수행할 것입니다. 연구소 구성도 소수 정예의 내부 전문인력과 함께 주요 분야별 외부 전문가들의 의견을 반영할 수 있는 개방형 조직이면서, 동시에 내부 부서들과 협업하는 매트릭스 형태로 운영할 계획입니다. 이러한 새로운 전략 하에 KISTEP R&R 2.0 이행은 물론, R&D, 인력, 정보, 인프라, 지역, 국제협력 등을 아우르는 대한민국 국가과학기술혁신시스템의 향후 10년, 20년 미래 이정표를 제시할 수 있게 되길 기대합니다.

마지막으로 최근 감명 깊게 읽으신 책이나 인생좌우명이 있다면 한 말씀 부탁드립니다.

'최고의 선은 물과 같다'는 상선약수(上善若水)라는 말이 있습니다. 물은 참 배울게 많습니다. 스스로 낮추고 다투지 않습니다. 빈 곳을 메워주고 모든 것을 이롭게 합니다. 일상의 삶을 물과 같이 살고 싶습니다. 그리고 후회 없이 살고 싶습니다. 고등학교 시절부터 노트 한켠에 써 둔 'Today is the first day of the rest of your life'이란 말처럼요. 후회 없는 삶이란 오늘을 소중히 여기고 지금 가진 것들을 귀하게 여기는 것부터 시작합니다. 일도 중요하지만 건강한 몸과 마음, 가족과 친구들, 제 삶을 이루는 여러 요소들 간의 균형이 더 소중하다고 생각합니다. 그런 의미에서 요새 저는 건강을 지키기 위해 아침저녁으로 자전거를 타고 출퇴근합니다. 그리고 지금 이 자리에 있는 동안 우리 과학기술계, 그리고 국가를 위해 후회 없이 헌신해보고 싶습니다.

리더의 자리에 서면서부터는 줄탁동기(啐啄同機)의 메시지를 잊지 않으려고 합니다. 병아리가 무사히 알을 깨고 세상으로 나오기 위해서는 알 속의 병아리, 그리고 그 알을 품고 있는 어미닭이 함께 알을 쪼아야 합니다. 지도자는 사람들과 세밀하게 호흡을 맞추고, 또 이들이 자신만의 알을 깨고 성장할 수 있도록 섬기는 자리라는 것을 늘 명심할 것입니다.

마지막으로 이미 십여 년이나 된 슬로건이지만 이 글을 보는 과학기술인 분들께 꼭 드리고 싶은 말로 인터뷰를 마치고 싶습니다. "과학기술! 우리의 희망입니다. 과학기술인! 우리의 자랑입니다!" KST

김상선 원장

▲ 現 KISTEP(한국과학기술기획평가원) 원장
▲ 前 미합중국 대한민국대사관 참사관, 과학기술부 과학기술협력국장 및 정책홍보관리실장, 한국과학기술단체총연합회 사무총장, 연구개발인력교육원 원장 外
▲ 한양대학교 전기공학 학사, 영국 맨체스터대학교 과학기술정책학 석/박사

01 R&D Spotlight

세 번째 기획시리즈 : 조선의 과학기술, 넷

이슈분석 : Scientific American 선정 2018년 10대 유망기술 (1)

01

R&D Spotlight

세 번째 기획시리즈

조선의 과학기술, 넷
정조의 천문책(天文策)과 역상(曆象) 개혁론

구 만 옥
경희대 사학과 교수
pero@khu.ac.kr

18세기 후반 정조의 치세에 각종 문화사업에서 성취를 거둘 수 있었던 배경에는 규장각을 중심으로 한 활발한 학술 활동이 자리하고 있었다. 당시 국왕과 신료들 사이에서 어떤 문제를 어떻게 고민했는지 확인할 수 있는 방법 가운데 하나가 오늘날의 논술시험과 비슷한 '책문(策問)'을 검토하는 것이다. 정조의 '천문책(天文策)'과 그에 대한 답변으로 제출된 대책(對策)을 통해 당시 천문역산학의 과제를 살펴본다.

하나 8월호(Vol. 87) 세종대 과학기술

둘 9월호(Vol. 88) 집현전, 세종대 고제(古制) 연구의 중심

셋 10월호(Vol. 89) 영조대 국가사업과 과학

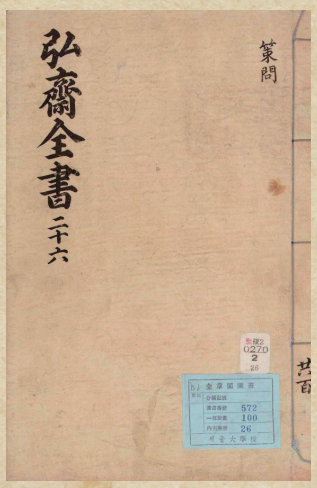
넷 11월호(Vol. 90) 정조의 천문책(天文策)과 역상(曆象)개혁론

▲ 건릉(정조왕릉)

1 정조의 책문(策問)

책문(策問)은 과거 시험과목의 한 가지로, 시무(時務)와 관련한 중요한 문제를 제시하고 그에 대한 대책(對策)을 답안으로 써서 제출하게 하는 것이었다. 조선시대의 일반적 과거시험에서는 초장에 강경(講經), 중장에 제술(製述), 종장에 책(策)을 보는 것이 관례였다. 경학(經學)과 문학(文學), 시무의 능력을 아울러 시험하기 위한 방안이었던 것이다.

책문은 국왕이나 그를 대리하는 관리인 집사(執事)의 명령으로 출제되고, 그에 대한 대책은 자신의 견해를 제시하는 형태로 서술되므로 전체적으로 문답체의 형식을 띠게 된다. 책문의 주제는 당시의 정치 · 경제 · 사회 · 문화 모든 방면에 두루 걸쳐 있는데, 이는 정치의 주체인 군주가 정치 현안을 해결하기 위해 나라 안의 지식인들에게 자문을 구하는 것이기 때문이다. 요컨대 책문은 기본적으로 국가의 정책에 관련된 문제이고, 그에 대한 답안은 지식인들이 각자의 입장에서 제출한 타개책인 것이다.



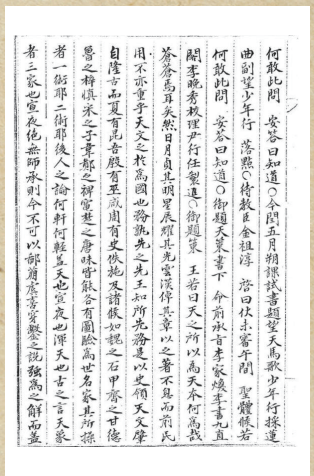
▲ 홍재전서(표지-26책)

▲ 천문책(본문)

정조는 재위 기간 동안 많은 책문을 출제하였다. 순조 14년(1814)에 간행된 정조의 문집인 『홍재전서(弘齋全書)』는 모두 184권으로 구성되어 있는데, 여기에 수록되어 있는 책문만 해도 모두 5권 78편에 달한다. 그 내용을 보면 각종 정치적 현안에서부터 경학(經學)과 문학, 역사, 그리고 천문 · 지리 등 자연학의 영역에 이르기까지 많은 문제들이 망라되어 있다. 시기적으로도 정조의 즉위년(1776)부터 몰년(1800)에 이르기까지 고르게 분포되어 있다. 이 가운데는 반제(泮製: 泮宮別製), 정시(庭試), 한림소시(翰林召試), 증광시(增廣試), 절일제(節日製: 人日製 · 三日製 · 七夕製 · 九日製) 등 과거시험 문제로 출제된 것도 있고, 일반 문신이나 규장각 각신 및 승지들을 대상으로 한 제술(製述) · 응제(應製) 문제도 있으며, 초계문신(抄啓文臣)에 대한 친시(親試) · 친강(親講) · 과시(課試) · 과강(課講) 문제로 출제된 것도 있다.

정조대 다양한 책문의 출제는 '국가의 대전(大全)'을 완성하고자 했던 정조의 정책 방향과 관련이 있는 것으로 보인다. 정조는 18세기의 변화된 대내외 정세 속에서 조선왕조의 역사적 전통을 계승하는 한편 새로운 학문 경향을 흡수 · 소화하여 국가 운영의 이념적 토대를 재정비하고자 했다. 그것은 당대의 사회모순을 타개하기 위한 적극적 노력의 일환으로 볼 수 있다. 국가의 부문별 정책을 빈틈없이 수립하기 위해서는 전 단계 작업으로 정밀한 이론적 검토가 요구되었고, 그것이 책문이라는 형태로 표출되었던 것이다.

2 천문책(天文策)



▲ 내각일력(천문책)

『홍재전서』에 수록된 책문 가운데는 '천문(天文)'이라는 제목의 글이 있다. 규장각(奎章閣)의 일기인 『내각일력(內閣日曆)』에 따르면 천문책(天文策)은 정조 13년(1789) 윤5월 22일에 전(前) 승지(承旨) 이가환(李家煥, 1742~1801)과 이서구(李書九, 1754~1825), 직각(直閣) 이만수(李晩秀, 1752~1820), 교리(校理) 윤행임(尹行恁, 1762~1801)에게 내려진 것이었다. 정조가 답안의 작성을 명한 네 명의 인물은 왕명의 출납을 담당하는 승정원(承政院)의 승지를 역임했거나 정조대 국왕 직속기관인 규장각의 각신(閣臣), 국왕의 자문을 담당하는 홍문관(弘文館)의 관원으로서 그야말로 국왕의 근신(近臣)이라 할 수 있었다.

그러나 이들은 출신 배경과 당파(黨派)가 달랐고, 정조가 죽고 난 이후의 정치적 행로 역시 상이했다.

1501자의 한자로 작성된 천문책의 첫머리에서 정조는 "나라를 다스리는데 천문보다 먼저 할 일이 무엇이겠는가"라고 하여 국가 운영에서 천문역산학 분야가 차지하고 있는 학문적 중요성을 확인한 다음, 대략 20개 조항에 해당하는 질문을 제기하였다. 그것은 역대 천문학에 대한 평가로부터 우주론과 세부적인 천문 이론들, 서양 천문학과 전통 천문학의 비교, 각종 천문의기(天文儀器: 천체 관측 기구)의 유래와 기능, 그리고 점성술과 재이론(災異論)에 이르기까지 역대 천문역산학의 제반 문제들을 망라하고 있었다. 정조는 이러한 문제들이 '천문' 분야에서 분명히 변별해야 할 것이라고 보았다. 정조 책문의 후반부에도 몇 가지 질문들이 제시되어 있는데, 그것은 당시 조선왕조 천문역산학의 문제점을 지적하고 그 타개책을 논하라는 것이었다.

이처럼 정조의 책문에는 조선후기 천문역산학의 주요 과제들이 망라되어 있었다. 그 핵심은 전통 천문학의 요체를 정리하고, 그 연장선에서 당시 새롭게 등장한 서양 천문학의 장단점을 짚어 본 다음, 당대 천문역법의 여러 문제점을 극복할 수 있는 새로운 천문역산학 체계의 수립 방안을 논하라는 것이었다. 따라서 정조의 책문과 그에 대한 대책을 면밀히 분석하면 조선후기 천문역산학의 주요 과제와 그 타개책으로 제시된 다양한 관점의 견해를 추출할 수 있다.

3 조선후기 천문역산학의 타개책

대책에 제시된 네 사람의 견해는 사안에 따라 적잖은 차이를 보여준다. 대략적으로 정리하자면 이가환과 이서구, 이만수·윤행임의 견해 차이로 압축할 수 있다. 이가환이 진보적 입장에 서 있었다면, 이서구는 중도적 성향을, 나머지 두 사람은 보수·개량적 입장을 보여주었다.

이가환은 전통적 상고주의(尙古主義)를 거부하면서 천문역산학에 관한 한 후대로 내려올수록 발전을 거듭한다는 역사적 관점을 제시하였다. 그는 자고이래로 법이란 오래되면 반드시 폐단이 생기기 마련이라고 보았다. 그것은 역법(曆法)의 경우도 마찬가지였다. 이와 같은 이가환의 평가는 고법(古法: 중국의 전통 천문역산학)과 금법(今法: 서양의 천문역산학)의 비교에서 명확하게 드러난다. 그는 365도라는 전통적 주천도수(周天度數: 천구의 둘레)의 문제점을 지적하는 한편 이론적 우수성과 현실적 실용성을 들어 360도인 신법의 주천도수를 수용하였다. 세차(歲差)가 발생하는 이유를 설명하면서 황도가 서쪽으로 조금씩 움직이기 때문이라는 전통적 황도서퇴설(黃道西退說)의 문제점을 거론하면서, 항성이 동쪽으로 움직여 세차가 발생한다는 항성동행설(恒星東行說)의 정확성을 역설하였다. 또한 대기굴절로 인해 발생하는 시차(視差)의 문제에 관한 서양의 청몽기설(淸蒙氣說)을 적극적으로 수용하여 자신의 논리를 전개하였다. 뿐만 아니라 전통적 우주론인 개천설(蓋天說)과 혼천설(渾天說)을 서양 천문학의 논리를 동원하여 회통하려고 시도했고, 하늘이 여러 겹으로 이루어져 있다는 서양의 중천설(重天說)과 전통적 구천설(九天說)을 통합적으로 이해하고자 하였다. 이가환은 서양의 구중천설(九重天說)이 높고 낮은 천체 사이에서 발생하는 차폐 현상 [제요지엄식(諸曜之掩食)]과 각 천체의 회전 속도의 차이[행도지지질(行度之遲疾)]라는 '실측(實測)'을 통해 입증될 수 있다고 생각하였다. 당연히 서양 우주론의 전제인 지구설도 적극적으로 수용하여 경위도에 따라 계절과 주야의 차이가 발생하는 원리를 설명하였다.

이와 같은 견해를 제시한 이가환의 반대편에 이만수와 윤행임이 있었다. 이들은 전통 천문역산학의 가치를 옹호하고 서양의 천문역산학에 비판적이거나 유보적 태도를 보였다. 이들이 보기에 신법의 주천도수와 세차설(歲差說)은 계산상의 편의만을 추구한 방법에 지나지 않았다. 청몽기설 역시 그 효용성은 일부 인정할 수 있지만 전적으로 신뢰할 수는 없다면서 유보적 태도를 취했다. 이들은 우주구조론에서 전통적 혼천설을 지지했고, 서양의 구중천설도 주희(朱熹)의 구천설(九天說)에 입각해 이해하고자 하였다. 이만수의 경우 이가환이 '실측'이라는 측면에서 구중천설을 입증하는 주요 논거로 거론한 엄식(掩食: 천체가 다른 천체를 가리는 현상)과 지질(遲疾: 중천설에서 각 천구의 일주 속도의 차이)에 대해서 전적으로 믿을 수 없다는 태도를 보였다. 뿐만 아니라 당시 통용되고 있던 지구설에 대해서도 그것이 눈과 귀를 통해 직접 확인할 수 없고, 경전에도 기재되어 있지 않다는 사실을 들어 부정적 자세를 견지했다.

조선후기 천문역산학의 당면 과제를 해결할 수 있는 개혁 방안에 대해서도 네 사람은 각자의 의견을 제시했다. 대책에 공통적으로 제시된 조선후기 천문역산학의 타개책은 먼저

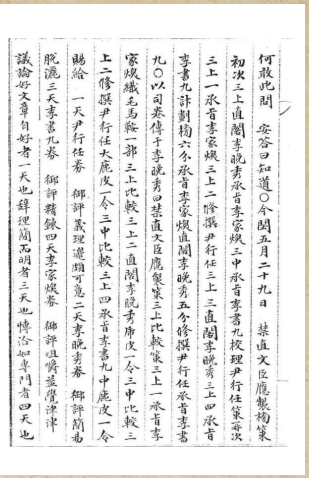
유능하고 참신한 인재를 양성하여 그들에게 천문역산학을 담당하게 해야 한다는 것이었다. 물론 이때의 인재란 당시 관상감의 실무를 전담하고 있던 중인(中人) 전문가 집단의 범주를 넘어 문인(文人)·학사(學士)·대부(大夫)로 표현되는 양반 사대부 계층을 포괄하는 것이었다. 이가환이 "역상(曆象: 천문역산학)을 담당할 인재를 양성해야 한다[양역상지재(養曆象之才)]"고 한 것, 이서구가 "역법에 밝고 이치를 잘 아는 사람을 널리 구해 그로 하여금 역상의 업무를 담당하게 해야 한다[득인임직(得人任職)]"고 한 것, 윤행임이 "사람을 잘 선택해서 맡겨야 하다[택인이임지(擇人而任之)]"고 한 것 등이 바로 그러한 관점에서 제기된 주장이었다. 문제는 이들을 어떻게 천문역산학으로 유도하고, 어떤 내용을 중심으로 교육할 것인가 하는 점이었다.

전자의 문제에 대해서 논자들은 대체로 천문역산학을 담당하는 관직과 그에 종사하는 사람을 우대함으로써 천문역산학에 대한 사회적 인식을 바꾸는 것이 급선무라고 생각했다. 더 이상 천문역산학을 '하류(下流)', '천기(賤技)', '방기(方技)'로 취급해서는 곤란하다는 공통적 인식을 찾아볼 수 있다. 그러나 후자의 문제, 즉 교육 내용에 대해서는 논자들 사이에 커다란 견해 차이를 보였다. 이가환이 신법으로 대변되는 서양의 천문역산학과 '도수지학(度數之學)'의 수용에 적극적이었다면, 이만수의 율려학(律呂學)에 대한 강조나 이서구의 시헌력(時憲曆) 비판, 윤행임의 서법을 혁파해야 한다는 주장[革西法論]은 그와는 반대 방향의 논의였다. 이는 결국 천문역산학=역상의 본질에 대한 인식의 차이로 귀결되었다.

대책의 논자들은 모두 역상을 정치의 근본[爲政之本]으로 파악했다. 이는 본질적으로 『서경(書經)』「요전(堯典)」에 수록된 역상론(曆象論)을 부연한 것이었다. 그러나 이가환이 윤리·도덕, 술수(術數)와 일정한 거리를 둔 시간의 파악에 초점을 두고 천문현상을 객관적·수학적으로 파악하여 민생에 도움을 줄 수 있다고 여겼던 반면, 이만수는 '수(數)로써 이치[理]를 탐구하는 것[以數推理]'보다는 '이치로써 수를 제재하는 것[以理制數]'을 강조함으로써 이치를 우선하고 수를 부수적으로 생각하는 태도를 보여주었다.

이때의 이(理=天理)는 인간의 도덕적 선천성을 뜻하는 것이었으므로, "이치로써 하늘을 보아야 한다[以理觀天]"고 주장하는 이만수의 입장은 "하늘로써 하늘을 보아야 한다[以天觀天]"라는 자연현상에 대한 객관적 파악과는 일정한 거리가 있었다. 역상의 업무를 경천(敬天)의 실질로 파악하여 군주의 임무를 '흠경(欽敬)'이라는 명제에 귀속시켰던 이서구나 상수(象數)에 정밀할수록 이치에 어두워진다고 주장했던 윤행임의 입장도 본질적으로 이와 다르지 않았다.

4 채점



▲ 내각일력(채점내용)

흥미로운 것은 이상 네 사람의 대책에 대한 채점표가 남아 있다는 사실이다. 그것은 『내각일력』 정조 13년 윤5월 29일의 기사에서 찾아볼 수 있다. 네 사람의 대책에 대해 채점은 책문을 출제한 정조와 네 명의 채점관이 맡았다. 채점에 참여한 사람은 원임(原任: 전직) 규장각 제학으로 행판중추부사(行判中樞府事)의 직함을 지니고 있던 이복원(李福源, 1719~1792), 원임 규장각 제학으로서 당시 우의정(右議政)이었던 채제공(蔡濟恭, 1720~1799), 규장각 제학 김종수(金鍾秀, 1728~1799), 그리고 홍문관 제학 서유린(徐有隣, 1738~1802)이었다. 대책을 제출한 사람들과 마찬가지로 채점관들 역시 당파가 상이하였다. 이복원은 소론(少論) 준론(峻論), 채제공은 남인의 영수, 김종수는 노론(老論) 청류(淸流: 淸明黨, 僻派)의 대표자, 서유린은 노론 시파(時派)였기 때문이다.

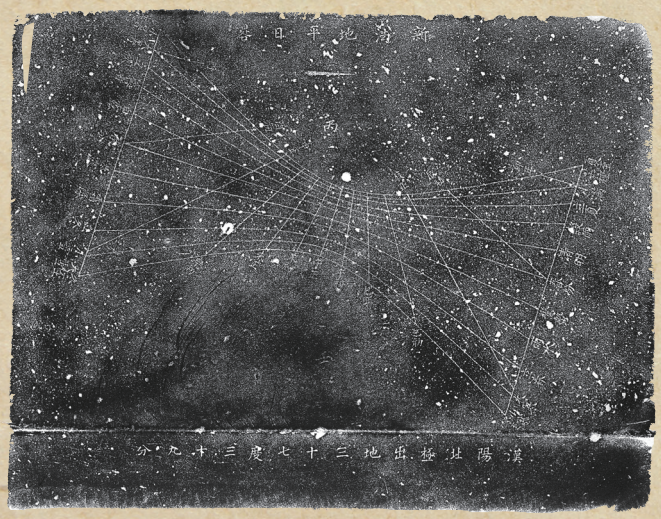
이와 같은 채점관의 구성은 당시의 정국 동향을 반영한 것으로 보인다. 정조 12년(1788) 2월 11일, 정조는 '대동(大同)과 태화(太和)의 정치'를 표방하며 친필로 특지를 내려 남인 채제공을 우의정에 임명하였다. 이로써 이른바 정조 득의의 '의리탕평(義理蕩平)'-영의정 노론 김치인(金致仁, 1716~1790), 좌의정 소론 이성원(李性源, 1725~1790), 우의정 남인 채제공의 삼당 보합(保合)체제-이 출범하였다. 정조는 자신이 의도했던 탕평정치의 구상을 본격적으로 추진하는 과정에서 천문역산학의 정비를 주제로 책문을 하달하였고, 책문의 작성자뿐만 아니라 채점관 역시 노론, 소론, 남인 세 당파의 인물들을 고루 안배하였던

것으로 보인다.

채점 결과 대체로 이가환, 이만수, 윤행임, 이서구의 순으로 등위가 결정되었다. 이는 이가환에게 직모마안(織毛馬鞍: 털로 짠 말안장), 이만수에게 호피(虎皮), 윤행임에게 대록비(大鹿皮), 이서구에게 중록비(中鹿皮)를 상품으로 준 것으로도 짐작할 수 있다. 정조는 윤행임의 답안에 대해 "의리의 측면에서 자못 마음에 든다", 이만수의 답안에 대해 "간이(簡易)하고 구애됨이 없다", 이서구의 답안에 대해 "정교하고 세련되었다", 그리고 이가환의 답안에 대해 "씹을수록 더욱 깊은 맛을 알겠다(글의 뜻을 음미할수록 더욱 흥미진진하다)"라는 어평(御平)을 내렸다.

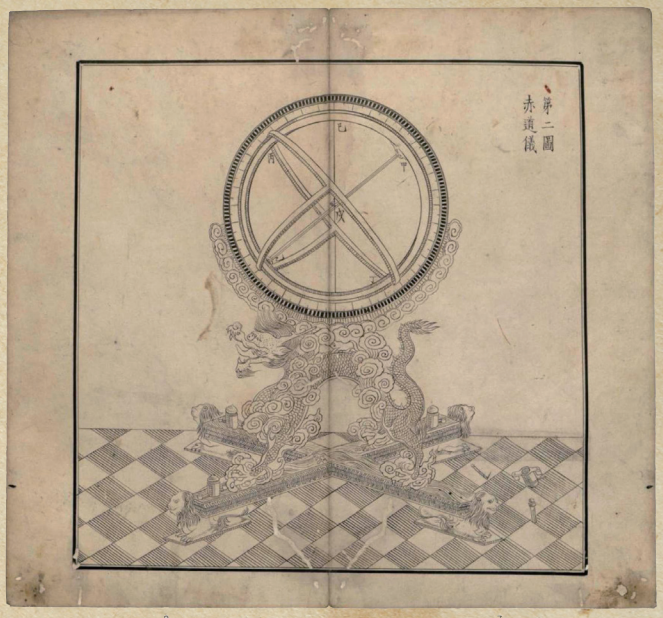
5 정조의 구상

이상의 논의를 통해 조선후기 천문역산학 분야에서 주요 쟁점들이 형성되고 있었으며, 그 핵심적 문제가 고법과 신법의 문제, 다시 말해 전통 천문학과 서양 천문학의 대립·갈등이었음을 알 수 있다. 이는 시헌력의 수용 이후 조선의 천문역산학 분야에서 당면했던 현실적 문제였다. 정조는 이러한 시대 상황에 처하여 양자를 포괄할 수 있는 새로운 천문역산학 체계를 수립하고자 기획하였고, 그것을 실현하기 위한 구체적 방안을 마련하고자 천문책을 하달했던 것으로 보인다.



▲ 신법지평일구(탁본)

이와 같은 노력의 연장선에서 정조대에는 천문역산학 분야에서 주목할 만한 여러 가지 성과가 도출되었다. 국가의 표준시간 체제를 정비하고, 전국 팔도의 북극고도(北極高度)와 동서편도(東西偏度)를 산정하였으며, 관상감을 제도적으로 정비하였다. 표준시간 체제의 정비를 위해서 『신법중성기(新法中星紀)』와 『신법누주통의(新法漏籌通義)』를 편찬하였고(1789년), 시간과 중성(中星)을 측정하기 위해 서양식 천문의기인 적도경위의(赤道經緯儀)와 지평일구(地平日晷)도 제작하였다. 아울러 조선왕조 역상의 연혁을 정리하고 정조대 천문역산학의 성과를 소개하기 위해 『국조역상고(國朝曆象考)』를 편찬하였다(1796년).



▲ 적도경위의

이상과 같은 일련의 사업은 서호수(徐浩修, 1736~1799)와 김영(金泳, 1749~1817)의 주도로 이루어졌다. 그런데 정조 23년(1799) 서호수가 서거하였다. 당대를 대표하는 천문역산학의 전문가가 사라진 상황에서 정조는 이 사업의 마무리를 이가환에게 맡기고자 하였던 것으로 보인다. 그러나 이가환은 정조 17년(1793) 종조부 이잠(李潛, 1660~1706)을 변호하는 상소를 올린 이후로 반대 당파의 격렬한 정치 공세에 시달리고 있었다. 급기야 정조 19년(1795)에 박장설(朴長卨)은 상소를 올려 이가환을 사학도(邪學徒)로 매도하기에 이르렀다. 당시 비판의 초점은 이가환이 「천문책」에서 서양 학설을 적극적으로 수용했다는 사실에 맞춰졌다. 이는 천문역산학 분야에서 이가환의

운신에 제약을 가하는 요인이 되었다.

정약용(丁若鏞, 1762~1836)이 지은 이가환의 묘지명[貞軒墓誌銘]에는 다음과 같은 대목이 있다.

상이 공에게 수리(數理)와 역상(曆象)의 본원(本原)을 밝히는 책을 편찬하게 하고자 하여 장차 연경(燕京)에서 책을 구입하려고 어필(御筆)로 하문하셨는데, 공이 대답하기를 "세상의 풍속이 어리석어 수리(數理)가 어떤 학설이고 교법(敎法: 西敎)이 어떤 학술인인지도 모르면서 뒤섞어서 배척하고 있으니(성내어 꾸짖고 있으니), 이 책을 편찬하면 신에 대한 비방이 더해질 뿐만 아니라 위로 성덕(聖德)에 누가 될 것입니다." 하였으므로 그 일은 드디어 중지되었다. 그러나 상께서는 반드시 그렇지는 않다고 여기셨다.

정조는 실제로 주자학을 비롯하여 각 학문 분야의 저술을 통합한 '대일통문자(大一統文子)'를 만들고자 하는 구상을 지니고 있었다. '대일통'이란 『춘추(春秋)』에서 유래한 용어로 문물제도의 정비를 통한 천하통일을 뜻한다. 이와 같은 정조의 학문 기획은 다양한 분야에 걸쳐 추진되었고, 과학기술 분야도 예외가 아니었다. 정조가 「농사를 권장하고 농서(農書)를 구하는 윤음[勸農政求農書綸音]」을 내리면서 수집되는 농서를 종합 · 정리해서 '농가의 대전[農家之大全]'을 편찬하고자 했던 사실은 잘 알려져 있다. 천문역산학 분야에서도 그러한 기획이 있었던 것이다. 그러나 서학서를 수용해서 천문역산학의 본원을 밝히고자 했던 정조의 구상은 이가환의 소극적 태도로 차질을 빚게 되었고, 정조의 급서(1800년)와 '신유사옥(辛酉邪獄, 1801년)'에 연루된 이가환의 죽음으로 끝내 결실을 이루지 못했다.

02

Scientific American 선정 2018년 10대 유망기술 (1)

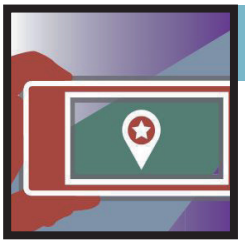
The top 10 emerging technologies for 2018

R&D Spotlight

임 혜 진
미래전략팀
hjlim@kist.re.kr

가까운 미래, 기술은 당신의 삶을 어떻게 변화시킬까? TePRI Report 이슈분석에서는 2회에 걸쳐 World Economic Forum의 글로벌 미래 위원회와 다양한 혁신 전문가 네트워크, 그리고 Scientific American 자문위원회와 편집진의 추천을 통해 선정된 2018년 세계 최고 10가지 기술을 소개하고자 한다.

이 기술들은 향후 3년~5년간 사회 · 경제적으로 중대한 편익을 제공하고 산업이나 기존의 방식을 변화시킬만큼 와해적이지만, 아직 초기 개발단계에 있거나 널리 사용되기 직전 단계의 기술들이다.



1. 증강현실

곧 도래하게 될 데이터로 덮인 세상

가상현실(Virtual Reality, VR)은 우리를 허구의 고립된 세상으로 인도한다. 이와 대조적으로 증강현실(Augmented reality, AR)은 실시간으로 컴퓨터가 생성하는 정보를 우리가 보는 현실 세계에 덧씌운다. 당신이 AR 소프트웨어와 카메라를 설치한 장치를 쓰거나 볼 때-그것이 스마트폰, 테블릿, 헤드셋, 혹은 스마트 글래스이든- 프로그램은 시각 비디오 스트림을 분석하여 현장에 관련한 광범위한 정보를 다운로드하고 관련 데이터, 이미지 혹은 애니메이션을 3D로 보여준다.

두 가지 사례로, 당신의 차가 안전하게 후진하도록 돕는 후방 디스플레이와 유명한 게임 포켓몬 고(Pokemon GO)가 있다. 외국인 방문객들을 위해 거리표지판을 번역하고, 학생들이 가상 개구리를 해부하고, 쇼핑객들이 집으로 가져오기 전에 그들이 사려는 의자가 거실에서 어떻게 보일지를 미리 볼 수 있게 하는 앱들이 대표적 예이다. 이처럼 다수의 소비자 앱들이 증강현실 기술을 적용하고 있다. 미래의 기술들은 박물관에 가는 사람들에게 홀로그램 형상의 가이드라인을 띄워주고 외과의사들에게 환자의 피부 속에 있는 세포조직들을 3D로 시각화하여 보여주고, 건축가와 디자이너들이 독창적인 방식으로 공동작업을 할 수 있도록 해주고, 드론 운영자들이 강화된 이미지로 그들의 원격로봇을 통제하고, 신입 직원들이 의료부터 공장 관리에 이르는 광범위한 영역에서 새로운 업무들을 신속하게 익힐 수 있도록 도울 것이다.

▲트레이너의 실생활 환경에 고정된 것처럼 나타나는 포켓몬 AR 신 버전

앱 디자인에 사용되는 소프트웨어는 몇 년 안에 소비자들에게 제공할 수 있는 서비스들을 확대해야 한다. 그러나 바로 지금 AR은 질을 개선하고 비용을 낮추며 효율성을 높이기 위해 사물과 디지털 시스템의 통합을 통한 제조업의 체계적 변화인 4차 산업혁명 혹은 인더스트리 4.0에 큰 영향을 끼치고 있다. 예를 들어 많은 회사들이 공정라인에서 AR 기반 서비스를 테스트하고 있다. AR은 그것이 필요로 되는 바로 그 순간에 옳은 정보를 전달할 수 있어 오류를 줄이고, 생산성을 개선할 수 있다. 그것은 또한 장비 내부의 스트레스를 시각화할 수 있고, 문제가 있는 부분에 대한 실시간 이미지를 만들어낼 수 있다.

ABI Research, IDC, 그리고 DigiCapital과 같은 시장 예측 기관들은 AR이 곧 주류(mainstream)가 될 것이라고 믿는다. 그들은 전체 AR 시장 규모가 현재 15억$로 평가되며 2020년까지 1,000억$로 성장할 것으로 예상한다. Apple, Google과 Microsoft 등 주요 기업들은 막대한 자금과 인력을 AR/VR 상품과 어플리케이션 개발에 쏟아붓고 있다. 2017년 AR/VR 분야에 30억$가 투자되었으며, 이중 절반이 4분기에 집중되어 벤처캐피털의 자금들이 물밀듯이 들어오고 있다. Havard Business Review는 최근 모든 사업에 영향을 줄 대표적인 혁신 기술로서 AR을 강조한 바 있다.

장애물들도 여전히 남아있다. 당장 하드웨어와 통신대역폭의 한계가 소비자들의 일상적 사용에 걸림돌이 되고 있다. 예를 들어, AR을 사용하여 확장된 경험을 제공하는 기존의 박물관과 여행 앱들은 사전에 다운로드해야 활용할 수 있다. 그렇다 하더라도 그래픽의 질은 사용자들의 기대에 미치지 못할 수 있다. 그러나 더 싸고 빠른 AR 기능 구현이 가능한 모바일 칩이 대중화되고, 더 다재다능한 스마트글라스가 출시, 대역폭이 증가함에 따라, AR의 영역은 극적으로 증가하고 있다. 그리고 AR은 인터넷과 실시간 비디오에 연결되어 우리 일상 생활 중심에 자리잡을 것이다.

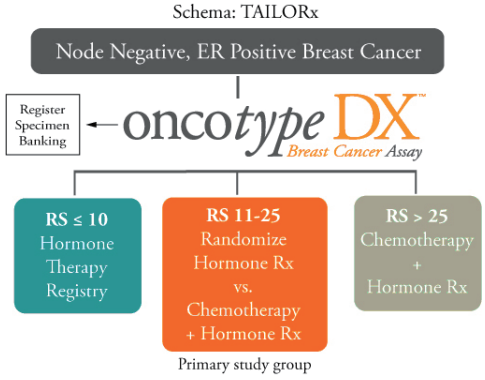
2. 맞춤의료를 위한 진보된 진단법

새로운 세대의 도구들이 개인을 고려하지 않는 범용치료법의 종말을 도울 수 있다.

20세기 대부분 동안, 모든 유방암 환자들은 대체로 유사한 치료기법에 의존해야 했다. 최근의 치료요법들은 개인화, 맞춤화되는 추세이다. 유방암은 이제 하위 유형으로 나뉘어져 유형에 따라 차별화된 기법으로 치료된다. 예를 들어, 에스트로겐 수용기를 생산하는 종양을 가진 여성들은 표준적인 수술 후 화학요법과 함께, 특별히 그러한 수용기를 타겟으로 하는 약을 처방받을 수 있다. 2018년 훨씬 더 개인화된 치료가 가능해진 획기적인 진전이 있었다. 그들은 화학요법 없이 심각한 부작용을 피할 수 있는 종양 유형을 밝혀냈다.

많은 질환에 적용 가능한 보다 개인화되고 정밀한 의료를 향한 이러한 진보는 진단도구의 발전에 힘입은 바 크다. 이러한 기술들은 내과의사들이 다수의 (질병의 존재를 표시하는 분자인) 바이오마커들을 탐지하고 수량화하여 환자들을 질병에 대한 민감성 및 특정 치료에 반응할 가능성 즉 예후에 따라 다양한 하위그룹들로 나눌 수 있게 한다.

초기 분자 진단 도구들은 단일한 분자들– 예를 들어 당뇨병의 경우에 포도당– 을 관측했다. 그러나, 최근 10년간 "오믹스(omics)" 기술이 엄청나게 진보하여 빠르고, 신뢰도 높고, 값싸게 개개인의 전체 게놈을 차례로 배열하거나 인체의 유체 혹은 조직 샘플에서 모든 단백질(단백질체), 신진대사 부산물(대사체), 혹은 미생물(미생물군유전체)의 수준을 측정할 수 있게 되었다. 이러한 기술이 대중화됨에 따라, 치료에 유용한 새로운 바이오마커 발견을 위해 인공지능을 활용할 수 있는 거대한 데이터 셋이 동시적으로 생성되고 있다. 대량처리가 가능한 오믹스 기술과 인공지능의 결합은 의사들이 개별환자들의 분자 프로필에 맞게 진료할 수 있도록 함으로써, 수많은 질병들의 이해 증진과 치료기법의 패러다임 전환을 위한 새로운 진단법의 시대가 막이 오르고 있다.



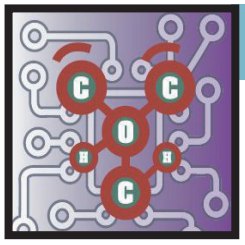
▲OncoType Dx: 암 재발의 예측

몇 가지 새로운 진단법이 이미 암 치료에 적용되고 있다. Oncotype DX라 불리는 한 진단법은 21개의 유전자를 검토한다. 이는 유방암 환자들이 화학요법을 피할 수 있는지 여부를 검진하는 시험이다. FoundationOne CDx라 불리는 또 다른 진단법은

고형종양 속에 있는 300개 이상의 유전자 안에 유전적 돌연변이들을 감지하고 특정 환자에 유용한 유전자 타겟팅 약물을 알려준다.

암 외에도, 자궁 조직이 제자리가 아닌 곳에서 자라는 자궁내막증에 새로운 기술이 적용되고 있다. 자궁내막증 진단을 위해서는 전통적으로 수술이 필요했다. DotLabs의 타액 기반 테스트는 외과수술 없이 microRNA로 알려진 소분자들을 측정함으로써 정확한 진단이 가능하다. 그리고 자폐증, 파킨슨병 그리고 알츠하이머병과 같이 증상에 대한 임상의의 주관적 평가를 통해 진단되는 뇌질환을 밝히는 것을 돕는 혈액 테스트들이 속속 개발되고 있다. 연구자들은 심지어 건강한 사람들 안에 있는 전체 게놈을 차례대로 배열하고, 미생물균유전체를 분석하고, 수백개의 단백질과 대사물질의 수준을 측정하는 것이 그러한 개인들이 질병을 예방할 수 있는 방법에 대한 맞춤화된 가이드를 줄 수 있는지를 탐구하고 있다.
그러나 그러한 개인적인 진단도구를 사용하는 의료시설과 연구자들은 환자의 프라이버시를 보호하기 위한 안전조치를 엄밀히 해야 한다. 더욱이 진단도구로서 바이오마커의 가치를 일관적인 방식으로 측정하기 위해 명확한 규제 가이드라인들이 필요하다. 그러한 가이드라인들은 새로운 바이오마커들의 의료계 적용을 가속화할 것이다.

그렇다 할지라도 고급진단법들은 질병의 진단과 치료에 대한 표준 접근법을 대체해 나가고 있다. 환자들에게 가장 효과적인 치료를 제공함으로써 막대한 건강 관리 비용을 줄일 수 있다. 언젠가 우리들 다수는 시간이 지나며 축적되고 우리가 어디서 관리를 받든 우리의 치료에 관해 알려주는 바이오마커 데이터의 개인 클라우드를 소유하게 될 수도 있다.



3. 분자 디자인을 위한 인공지능

머신러닝 알고리즘이 독창적인 약물과 재료를 위한 탐구를 가속화하고 있다.

태양에너지용 신소재, 암에 대항하기 위한 약물 또는 농작물 침해 바이러스를 근절할 화합물을 디자인하고 싶다면? 우선 당신은 두 가지 도전적 문제들을 다루어야 한다 : 그 물질의 올바른 화학적 구조를 발견하는 것, 그리고 원하는 분자 혹은 분자 조합에 적절한 원자를 넣을 수 있는 화학반응을 결정하는 것이다.

이 문제의 답을 찾기 위해 지금까지 우리는 우연한 발견과 복잡한 추론에 의존해 왔다. 그 과정은 매우 시간이 많이 들고, 많은 실패로 점철되어 있다. 예를 들어, 분자를 합성하는 데는 수백 개의 단계들이 있으며, 이 과정에서 바람직하지 않은 부가반응이나 부산물도 생겨날뿐더러, 성공 가능성도 보장할 수 없었다. 그러나, 이제 AI가 분자 디자인과 합성의 효율성을 증가시켜 화학폐기물을 줄이면서도, 더 빠르고 더 쉽고 더 값싸게 신물질을 합성하고 있다.

인공지능에서 머신러닝 알고리즘은 관심대상 물질들을 발견하고 합성하려 시도한 모든 알려진 실험들 – 성공한 것 그리고 더욱 중요하게는 실패한 것들 – 을 분석한다. 머신러닝이 찾아낸 패턴에 기반하여, 알고리즘은 잠재적으로 유용한 새로운 분자들의 구조와 그들을 제조하는 가능한 방법들을 예측한다. 어떠한 머신러닝

도구도 버튼 하나 만으로 이것을 할 수는 없지만, 인공지능기술은 약물 분자와 소재의 실세계 디자인으로 급속히 들어서고 있다.

예를 들어, 독일 뮌스터대학의 연구자들에 의해 개발된 한 인공지능 도구는 반복적으로 1,240만건의 단일 단계 반응들을 시뮬레이션하여 인간이 하는 것보다 30배 빠르게 다단계 합성루트를 기획한다.

제약업계에서는 생성 머신러닝이라 불리는 AI 기반 기술이 흥미를 끈다. 대부분의 제약회사들은 수백만 개의 화합물을 대상으로 신약으로서의 가능성을 테스트한다. 그러나 로봇과 실험실 자동화도구를 가지고도 이러한 검토 과정은 느리며 상대적으로 적게 성공한다. 이론적으로는 1,030개 이상의 분자들이 존재할 수 있지만, 제약회사의 "라이브러리(libraries)"는 이중 극소수만을 포함할 뿐이다. 알려진 약물(그리고 약물 후보군)의 특징뿐 아니라 화학구조를 서술하는 데이터 셋을 사용하여, 머신러닝 도구는 잠재적으로 더 유용한 특성들을 보유한 새로운 화합물에 대한 시각적 라이브러리를 설계할 수 있다. 이러한 역량은 신약후보물질 확인작업을 드라마틱하게 가속화하고 있다.

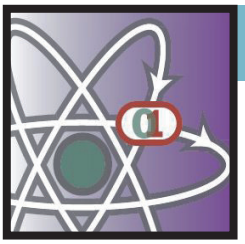
100개에 가까운 스타트업들이 이미 신약 발견을 위한 인공지능을 연구하고 있다. 그들 가운데 Insilico Medicine, Kebotiex 그리고 BenevolentAI가 있다; BenevolentAI는 인공지능기술을 운동신경세포 질병, 파킨슨 그리고 다른 치료가 어려운 질환들에 대한 약 개발에 활용하기 위해 최근 1억 1,500만 달러를 모았다. BenevolentAI는 새로운 분자의 발견부터 안전과 효과성을 증명하도록 의도된 임상의학에 대한 분석과 설계까지 전 제약 개발 과정에 인공지능을 적용하고 있다.

재료 분야에서, Citrine Informatics와 같은 벤처들은 이노베이션을 가속화하기 위해서, 제약사들과 유사한 접근법을 활용하고, BASF와 Panasonic을 포함한 대기업들과 파트너십을 맺고 있다. 미국 정부는 또한 인공지능을 활용한 디자인 연구를 지원하고 있다. 2011년 이후로 진보된 소재 개발을 가속화하기 위해서 인공지능과 또 다른 컴퓨터 접근법들을 포함한 인프라를 구축하는 Materials Genome Intiative에 2억 5천만 $ 이상을 투자해왔다.

과거 경험을 통해, 신소재와 화학물이 건강과 안전에 예측하지 못한 위험을 제기할 수 있음을 알 수 있다. 운 좋게도 인공지능 접근법들은 이러한 바람직하지 않은 결과들을 예상하고 줄일 수 있을 것으로 전망된다. 이러한 기술들로 인해, 새로운 분자와 소재들의 발견, 개선된 헬스케어와 농업, 더 큰 자원보존 그리고 신재생에너지의 생산과 저장기능 제고 같은 편익들을 시장에 가져오는 속도와 효과가 현저히 증가될 것이다.

Image: iStockPhoto

▲AI가 약제조과정을 재설계할 수 있다(출처: IEEE Spectrum)



4. 토론하고 가르칠 수 있는 인공지능

새로운 알고리즘들이 개인 디바이스가 어떠한 주제든 충분히 논쟁할 만큼 학습하는 것을 가능하게 할 것이다.

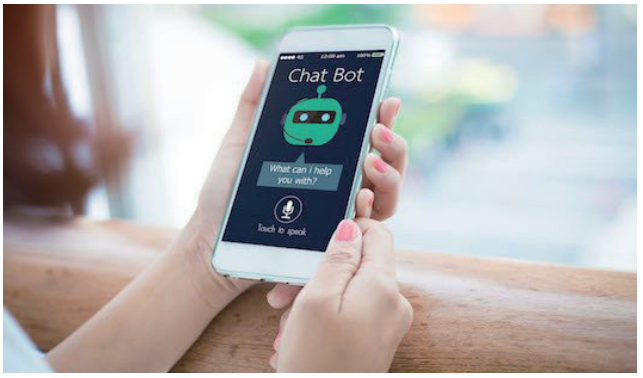
오늘날의 디지털 어시스턴트들이 때때로 당신에게 인간처럼 느껴질 수 있지만, 엄청나게 더 강력한 디지털 어시스턴트들이 부상하고 있다. 막후에서 Siri, Alexa 그리고 그 동류들은 당신의 요구와 그것의 제공방법을 이해하기 위해 복잡한 언어 인식 소프트웨어를 사용하고, 당신의 질문에 맞는 대답을 위해 자연스럽게 들리는 대화를 생성한다. 그러한 시스템들은 우선 – 인간이 할 수 있는 많은 종류의 반응들에 노출되어 –"훈련되어야"하며 적합한 반응이 인간에 의해 입력되고 매우 구조화된 데이터 포맷으로 조직화되어야 한다.

그러한 작업은 매우 시간이 많이 소요되어 결과적으로 디지털 어시스턴트가 할 수 있는 일을 제한하고 만다. 디지털 어시스턴트는 머신러닝을 통해, 기존 답변과 질문의 매칭을 개선함으로써 "배운다". 비록 제한된 정도기는 하나 매우 인상적이다.

이제 다음 세대의 시스템은 더 고도화된 수준으로 무수한 출처들로부터 비구조화된 자료(텍스트, 비디오, 그림, 오디오, 이메일 등)를 습득하여 조직화하고, 그들이 결코 훈련받지 않은 주제에 관해 설득력 있는 제안을 자동으로 구성하도록 개발되고 있다.

우리는 매우 다양한 데이터셋을 포함하는 자연어 질문들에 즉답할 수 있는 챗봇(chatbots)들을 제공하는 웹사이트에서 이러한 기능을 경험한 바 있다. 챗봇들은 특정 질문이나 요청에 대한 훈련을 거의 필요로 하지 않는다. 그들은 미리 구성된 자료와 제공되는 관련 배경을 읽을 수 있는 기능을 결합하여 사용한다. 그러나, 그들은 매우 정확한 반응들을 주기 전에 단어와 의도를 인식하는데 얼마간의 훈련을 필요로 한다.

6월에 IBM은 더 진보된 버전의 기술을 시연했다: 논의될 입장 혹은 주제에 관한 사전 훈련 없이, 인간 전문가와의 실시간 논쟁이 가능한 시스템이다. 비구조화된 데이터(명확성을 위해 일부가 편집되는 위키디피아의 내용을 포함)를 사용하여, 시스템은 정보의 타당성과 진실성을 확인하고, 부여된 입장을 지지하는 일관된 논쟁을 하기 위해 언제든 재사용 가능하도록 조직화되어야 했다. 그 시스템은 시연하는 동안 두 번의 토론에 참여하고 다수 관중들에 의해 둘 중 하나에서 더 설득적인 것으로 판단되었다.

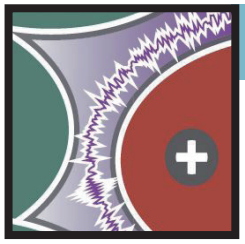


▲챗봇 : 메신저에서 일상언어로 대화할 수 있는 채팅로봇 프로그램

자연언어를 이해할 뿐 아니라 긍정적 혹은 부정적인 감정을 탐지하는 더 어려운 도전을 다룰 수 있는 소프트웨어기술은 5년 이상 개발되었고 여전히 많은 작업이 진행 중에 있다. 그럼에도 불구하고 사전 훈련없는(unscripted) 인공지능 시스템의 권위있는 전문가들에 대한 승리로 인해, 향후 3년에서 5년 사이에 나타날

수 있는 수많은 관련 적용사례들의 문이 열리고 있다. 예를 들어, 그러한 시스템들은 의사들이 하나의 복잡한 사례와 관련된 연구를 빠르게 발견하고 주어진 치료 프로토콜의 장점을 논하도록 돕는다.

이러한 지능시스템들은 과학자 혹은 전문가가 하는 방식으로 창조가 아니라 기존지식을 모으는 데에만 유용할 것이다. 그러나, 기계가 점차 똑똑해짐에 따라, 그들은 일자리 손실의 불안도 제기한다. 인간의 독창성이 요구되는 난제들을 다루기 위해 요구되는 기량을 우리 사회가 다음 세대에 제공해야 할 것이다.



5. 이식가능한 약품제조 세포

필요할 때, 환자의 몸에 직접 약을 투여하는 것이 빠르게 가능해지고 있다.

당뇨병에 걸린 많은 사람들이 혈당수준을 측정하고 그들이 필요한 인슐린 투여량을 결정하기 위해 하루에도 여러 번 그들의 손가락을 찌른다. 체내에서 정상적으로 인슐린을 만들어내는 췌장 세포들 – 소위 섬 세포–의 이식은 이러한 번거로운 과정을 불필요하게 할 수 있다. 마찬가지로 세포 이식은 암, 심부전, 혈우병 그리고 파킨슨병을 포함한 질환 치료에 전기를 마련할 수 있다. 그러나 세포이식은 중대한 결함을 가지고 있다: 면역체계에 의한 거부현상을 막기 위해 치료받는 사람들이 면역억제제를 무기한으로 섭취해야 하기 때문이다. 그러한 약들은 전염병 증가위험 혹은 악성종양을 포함하여 심각한 부작용을 유발할 수 있다.

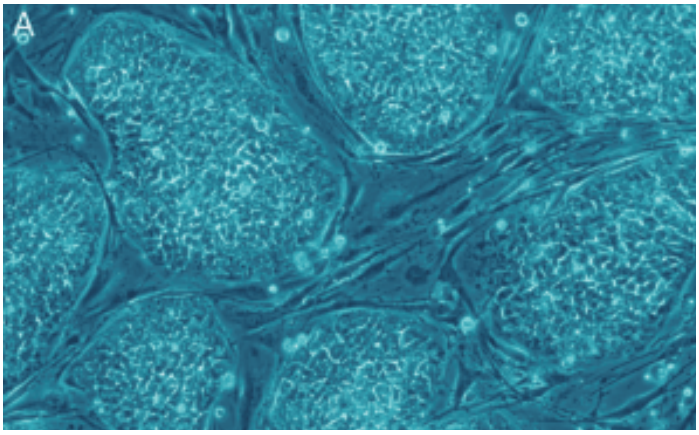
몇 십 년 동안 과학자들은 면역체계의 이식세포 공격을 막는 반투성 보호막으로 세포들을 에워싸는 방법들을 발명해 왔다. 이러한 캡슐들은 영양분과 기타 소분자가 흘러들어오고 필요한 호르몬 혹은 다른 치료단백질들이 흘러나가게 한다. 그러나 세포를 위험장소로부터 차단하는 것만으로 충분하지 않다: 면역체계가 보호물질 자체를 이질적인 것으로 본다면, 그것은 상처조직이 캡슐위에서 자라게 할 것이다. 이러한 “섬유증”은 영양분이 세포에 도달하는 것을 막고 그로인해 세포들은 사멸될 것이다.

이제 연구자들은 섬유증에 도전하기 위한 문제를 풀기 시작하고 있다. 예를 들어, 2016년 MIT 연구팀은 이식을 면역체계에 보이지 않도록 만드는 방법을 개발했다. 수백 개의 소재를 생산하고 검토한 후, 연구자들은 인체 내 오랫동안 안전하게 사용되어 온 알긴산염의 화학적 변형버전을 선택했다. 그들이 알긴산염으로 압축된 섬세포를 당뇨에 걸린 쥐 안에 이식하자, 혈당수치의 변화에 반응하여 세포가 인슐린을 즉시 생산했고 어떠한 섬유증도 관측되지 않았다. 또 다른 후속 작업을 통해, 연구팀은 섬유증에 중요한 면역세포인 대식세포들 위에 특정 분자들을 차단하는 것이 상처를 억제할 수 있다고 밝혔다. 그러한 차단제를 함께 쓰는 것이 이식의 생존율을 더 높일 것이다.

몇몇 기업들이 캡슐화된 세포 치료법들을 개발하기 위해 창립되었다. 이들 중의 하나로, Sigilon Therapeutics는 당뇨병, 혈우병 그리고 리소솜 축적병으로 불리는 신진대사 질환들에 대한 치료법을 설계하기 위해서 MIT에서 개발된 기술을 고도화하고 있으며 제약기업 Eli Lilly가 협력 중이다. 다른 사례로 Semma Therapeutics 또한 그들만의 기술을 이용하여 당뇨병 치료에 집중하고 있다; Neurotech 제약사는 망막 퇴화를 특징으로 하는 녹내장과 다양한 눈질환에 대한 임상실험에서 이식기술을 적용 중이다. Living Cell Technologies는

파킨슨병에 대한 이식을 임상실험 중이며 기타 신경병성 상태에 대한 치료법을 개발 중이다.

오늘날, 캡슐 속에 포함되고 있는 세포들은 동물 혹은 인간의 사체로부터 가져오거나 인간의 줄기세포로부터 추출된다. 언젠가는, 세포 이식을 통한 치료법들은 특정 약 분자들이 세포 조직에 제한적으로 작용하도록 설계될 것이다. 이처럼 독특한 기능을 수행하도록 세포유전자를 재프로그램화하는 합성생물학을 통해 더 넓은 유형의 세포 타입이 가능해 질 수 있다. 캡슐화된 세포 치료의 안전이나 효험 어느 것도 대규모 임상시험으로 증명되지 않았지만 그 징후들은 고무적이다.(다음호에 계속) KST



▲이식가능 약품제조 세포

02 R&D In&Out

01. 주요 과학기술 정책 및 현안
PM(연구사업관리전문가)제도, 공정성과 전략성 강화

02. TePRI, 정책 현장 속으로
'연구의 자율성과 책임성 강화를 위한 연구관리 혁신' – "연구윤리 대토론회II"
'데이터 연금술사' – "제 5회 데이터사이언스포럼"

03. 글로벌 시장 동향
전 세계 환자 수 증가로 혈역학적 모니터링 시장 성장

04. Guten Tag! KIST Europe
유해한 화학물질로부터 안전한 사회를 만들기 위한 첫 단계 – Registration of REACH

01 주요 과학기술 정책 및 현안

R&D In&Out

남 궁 혜 리
정책실
namkoong@kist.re.kr

PM(연구사업관리전문가)제도, 공정성과 전략성 강화
– 단장(상근PM)의 선정평가개입은 금지, 분야별 전략기획 역할은 확대

과기부와 한국연구재단의 『PM제도 개선방안』 확정

PM(Project Manager)은 정부 R&D 사업의 기획 · 관리 전주기에서 전문성과 공정성을 확보하기 위해 도입하며, 주로 R&D 과제 기획, 평가위원 추천, 연구 컨설팅, 우수성과 발굴 및 후속연구 연계 · 사업화 등의 업무를 수행하고 있다.

- PM은 대학 · 출연(연) 등에서 파견 또는 전문기관에 채용된 상근 PM과 이를 지원하는 비상근 PM 등으로 구성되며, 한국연구재단에서는 총 453명의 과학기술분야 PM을 운영 중이다.

연구계 내 · 외부에서는 소수 전문가에 의한 폐쇄적 기획 및 과제선정 소지 등 정부 R&D의 공정성에 대한 우려와 함께, 국민이 체감할만한 우수한 성과에 대한 요구 등이 제기되어 왔다.

- 이에 과기정통부는 「R&D과제 기획–선정–평가–보상 프로세스 혁신방안('알프스', '17.11)*」을 마련하여 RFP(과제제안서)의 간소화 및 개방형 기획, 우수평가자풀 확대 및 평가자 공개 등 제반 R&D 프로세스 혁신을 추진한 바 있다.

  ** 연구자 중심 R&D 환경 조성을 위한 R&D프로세스혁신*

- 이번 PM제도 개선방안은 알프스의 현장 착근을 위한 핵심 주체인 연구사업관리전문가의 공정성과 전문성을 제고하기 위해 추가적으로 마련한 것이다.

과제 선정의 공정성 강화 및 PM의 전문성 확보 등을 통한 개선방안 추진

Ⅰ 과제기획 및 선정평가의 공정성을 확보하기 위해 단장의 선정평가 개입을 금지시키고, 평가과정에 대한 모니터링을 강화한다.

- R&D과제 기획위원단 또는 선정평가위원단을 구성할 때 상근 PM이나 비상근 PM의 친분에 의해 특정인을 위한 기획이 이뤄진다는 우려를 해소하기 위해 상근 PM은 선정평가위원 섭외 과정에서 배제하고 평가자 자동 추천시스템을 활용 확대할 예정이다.
  - 단장의 평가진행 또한 엄격히 금지하고, 해당 분야의 전문가들로 구성된 평가위원단이 모든 권한과 책임을 지게 된다.
  - 그러나 동시에 단장에게 평가현장 모니터링, 공정성이 결여된 전문위원 · 평가위원에 대한 교체 및 재평가 요구 권한을 부여하여 견제와 균형이 이루어지도록 제도를 운영할 계획이다.

2 PM의 책임성 · 윤리성 · 독립성 강화를 위한 제도 개선을 시행한다.

- PM의 부적절행위 시 제재 근거 미약, 상시적인 윤리 모니터링 부재 등 제도적 미비사항을 해결하기 위해 부적절행위 시 해임 · 형사고발의 제재조치가 가능함을 명시하고 PM윤리위원회 위원을 9명→13명으로 확대하고 분기별 1회 윤리위원회를 개최한다.
  - 상근 PM의 원소속기관으로부터의 독립성 제고를 위해 현행 2년 임기제와 함께 3년 임기제를 병행하고, PM 임명 시 원소속기관의 휴직 또는 퇴직을 적극 권장하며 역량있는 한국연구재단 내부 인재도 적극 발굴하여 PM으로 육성한다.

3 PM의 분야별 R&D전략 기획 및 성과창출의 역할을 강화함으로써 정부 R&D에 대한 전략적 지원 역할을 수행한다.

- 정부R&D의 패러다임이 선도형 R&D, 연구분야별 지원 체계 도입* 등으로 변화하고 있으나, PM의 역할은 여전히 과제 선정평가관리(기초연구), 세세한 RFP작성(국책연구)에 고착되어 패러다임 변화에 부응하기 어렵다는 지적이 있었다.

  ** 문재인정부의 기초연구진흥 기본방향('18.6)*

- 또한, 국책연구본부의 경우 단장에 대한 전담 지원 인력이 부재하고, 단장 1인당 관리 예산 및 과제 수가 한국연구재단 출범 당시에 비해 2~3배 가량 늘어난 점도 단장의 전략적 역할 수행을 제약하는 요인이 되어 왔다.

  ** 국책연구본부 단장 1인당 예산 및 과제 수: '09, 570억원 · 166과제 / '18, 1,878억원 · 339과제*

- 이를 개선하기 위해 단장은 소관 학문분야별(기초연구), 기술분야별(국책연구) 연구사업전략계획을 의무적으로 수립한다.

- 더불어, 국책연구본부의 경우 단장에게 박사급 전담인력을 지원하고, 전문위원(현재 118명 규모)을 활용하여 각 연구과제가 당초 기획 의도대로 수행되는지를 상시적으로 모니터링한다.

4 우수 PM초빙을 위한 시스템 및 근무여건 개선으로 최고의 전문가를 PM으로 초빙 · 지원

- 그간 PM 초빙 과정에서 추천위원회와 심사위원회 구성 및 운영에 관한 명확한 지침이 부재하여 임의적으로 위원을 선정하는 등 체계적 절차가 미흡하고 재임기간동안의 연구 중단에 대한 보완책이 부족하다는 지적이 있다.

- 이를 개선하기 위해 상근 · 비상근 PM 선임 시 주요 학회, 한림원, 주요 과학상 수상자 등 연구커뮤니티의 참여를 확대하고 역량이 있는 전문가를 비상근 PM으로 적극 초빙하여 비중을 확대할 것이다.

- 아울러, 상근 PM의 연구 중단 보완 및 우수 인재 초빙을 위해 주 1일 연구일을 허용하고, 중견연구 규모 이하의 계속과제는 임기 종료 후 잔여기간을 지원하는 등 근무여건도 개선한다.

5 과기정통부 정병선 연구개발정책실장은 "이번 PM제도 개선을 통해 공정성에 대한 그간 연구커뮤니티의 우려를 해소하면서도, 더욱 우수한 성과를 창출할 수 있는 R&D 시스템으로 혁신되길 기대한다."고 밝혔다. KST

02 TePRI, 정책 현장 속으로

R&D In&Out

김 민 주
정책실
t18315@kist.re.kr

‘연구의 자율성과 책임성 강화를 위한 연구관리 혁신’ “연구윤리 대토론회II”

10월 1일 한국과학기술회관 대회의실에서 두 번째 연구윤리 대토론회가 개최되었다. 연구윤리의 문제점과 연구부정의 원인에 대해 논의한 지난 대토론회에 이어 연구 자율성과 책임성 강화를 위한 혁신방안을 모색하는 자리를 가졌다.

권오경 한국공학한림원 회장은 축사에서 “빠른 연구성과 창출이 목적이었던 과거와 달리 세계를 선도하는 현재에는 독창적 연구가 요구되기에 자율성 보장이 필요한 시점이다”며 자율성과 책임성 문제는 ‘집단 지성’으로 해결할 문제라는 점을 강조하였다.

첫 번째 발제를 맡은 서울대학교 박상욱 교수는 대학 및 산학협력단 내 연구행정 인력 부족과 계약직 위주 인력 구성이 가져오는 문제점과 반복된 감사로 인해 미시적 규제가 양산되고 있다는 점을 지적하였다.

이어진 발제에서 ㈜기술과가치 임윤철 대표이사는 4차 산업혁명 기술을 이용한 연구관리 시스템 혁신 방안을 제시하였다. 장기적 관점에서 바라본 연구비 관리 시스템의 일원화 방안과 ABCD기술 (▲AI, ▲Blockchain, ▲Cloud System, ▲Big Data)를 연구비정산시스템에 도입하여 연구비 관리의 투명성 및 효율성을 향상 시키는 방안을 제안하였다. 이와 함께 판사 출신의 위원장과 배심원제 운영방식을 갖춘 E(ethics) 연구윤리 위원회를 도입하여 연구윤리 문제를 미리 방지하는 방안도 함께 언급하였다.

발제에 이어 대학, 산학협력단, 출연(연) 각각의 관점에서 바라본 연구관리 시스템의 문제점 및 개선방향에 관한 토론이 이어졌다. KAIST 과학기술정책대학원 김소영 원장은 2013년 국가 R&D 감사에서 지적된 548건 중 387건이 연구비 집행과 관련된 부분이었다며 연구관리가 사실상 연구비 관리였다는 점을 지적하였다. 전북대학교 과학학과 이은경 교수는 연구관리와 연구비 집행과 관련된 행정부문은 분리되어야 하며 “연구비 집행 행정은 산학협력단에서 직접 관리하는 것이 원칙상 옳다”는 의견을 덧붙였다.

이에 대해 전국대학연구-산학협력 관리자협의회 이흥우 회장은 “이는 산학협력단 직원들이 자의적으로 정리할 수 있는 체계가 아니다”라며 공익적인 성격의 집단과 수익성 목적 집단의 연구비 관리 체계를 분리해야 한다는 의견을 밝혔다. 또한, 비정규직 인력 구성의 문제점을 지적하며 기관 차원에서 연구행정 인력 개발에 투자해야 한다고 주장하였다.

한편 과학자 개인의 신뢰부터 학문분야, 더 나아가 학계의 신뢰가 부족하기에 세부적인 행정관리 규정들이 생겨나고 연구자가 자기 자신을 방어하고 비난에서 회피할 구실만 찾는 ‘비난회피’ 현상이 발생하는 것이라는 주장이 제기되었다. 과학기술자를 존경하는 사회적 분위기와 신뢰에 기반을 둔 연구문화 조성이 필요하다는데 의견이 모아졌다. KST

‘데이터 연금술사’
“제 5회 데이터사이언스포럼”

한국과학기술단체총연합회(과총)에서 주관한 다섯 번째 데이터 사이언스 포럼(10.2)이 개최되었다. 블록 체인에 대해 논의된 지난 포럼에 이어 이번 포럼에서는 국내 데이터 과학 교육이 나아가야 하는 방향과 데이터 과학자의 역할 및 발전 방향에 대한 토의가 이루어졌다.

4차 산업혁명 시대는 ABCD(Artificial Intelligence, Blockchain, Cloud, Big Data) 시대라고 불린다. 김명자 과총 회장은 개회사에서 “이와 같은 중차대한 시점에서 대한민국의 새로운 성장 동력인 데이터 과학을 우리나라 교육 체계에 도입해야 한다”는 의견을 강조하였다.

첫 번째 세션에서는 ‘데이터 과학자가 되는 길’을 주제로 국내 데이터 과학의 교육 방향과 보건 및 공공데이터의 활용 방안이 논의되었다. 박성현 전(前) 한국과학기술한림원 원장은 IMD(국제경영 개발대학원)보고서에서 우리나라의 디지털 경쟁력 순위가 19위로 평가되고 평가항목 중에서도 미래 준비도, 특히 빅데이터 사용 및 활용능력이 가장 낮게 평가되었다는 점을 지적하였다. 정부 차원의 데이터 과학자 육성 계획이 필요할 뿐만 아니라, 대학 내의 데이터 과학 교육이 기존 학과 내에서 운영되기보다는 대학의 전반적인 차원에서 운영되면서 관련된 학과들이 협력하는 것이 바람직하다는 의견을 제시하였다.

이어진 패널토론에서 윤형진 서울대학교 의과대학 교수는 “데이터를 공개하는 것만이 능사가 아니라 이를 분석할 수 있는 환경을 만들어줘야 한다”며 보건 데이터와 얽힌 행정적인 규제의 문제점을 지적하였다.

두 번째 세션에서는 산업에서 나타나는 데이터 과학의 문제점과 앞으로의 발전 방향이 논의되었다. 특히 비즈니스 분석가와 데이터 과학자의 중간 단계인 ‘Citizen Data Scientist’라는 개념이 화두가 되었다. 데이터 분석 기술만이 아니라 데이터 속에서 의미 있는 정보를 발굴하고 이를 비즈니스 가치로 연결하는 사람이 실제적으로 필요한 것이다. 또한, 김옥기 ㈜엔코이 데이터서비스 센터장은 데이터 과학자란 한 명의 분석가를 의미하는 것이 아니라 데이터 수집가, 분석가, 관리자 등이 결합한 전사적인 차원의 팀으로 운영되어야 한다는 의견을 밝혔다.

토론의 좌장을 맡았던 과총 한선화 부회장은 현실적인 데이터 적용에는 환상의 세계가 존재하기에 현실과 환상의 균형을 잡는 것이 데이터 과학자의 중요한 역할이라는 것을 한 번 더 강조하였다. KST

03 글로벌 시장 동향

R&D In&Out

허 윤 숙
연구기획 · 분석팀
091179@kist.re.kr

*출처

Hemodynamic Monitoring Systems Market, MarketsandMarkets, 2018.08

전 세계 환자 수 증가로 혈역학적 모니터링 시장 성장

전세계 혈역학적 모니터링 시스템(Hemodynamic Monitoring Systems) 시장 규모는 2018년 약 8,578억원에서 2023년까지 약 1조 1,674억원으로 연평균 6.4% 성장 할 전망이다. 연구활동 활성화, 기술 혁신, 고령자 인구 및 심혈관질환/당뇨병 등의 환자 증가, 정부 지원 증가 등의 요인으로 성장하고 있다.

모니터링 복잡성 감소와 강화된 휴대성으로 비침습 시스템 성장

혈역학적 모니터링 시장에서 중환자실, 수술실에서 사용되는 침습 시스템 분야는 2018년 약 5,150억원으로 가장 큰 시장규모를 나타낼 것으로 예상되지만, 숙련된 직원의 가용성 감소, 침습 혈역학적 모니터링과 관련된 위험 등과 같은 요소가 성장을 저해하고 있다. 비침습 시스템분야에서는 2018년 약 701억원으로 나타났으며, 2023년까지 9.3%의 가장 높은 성장률이 예상된다. 호흡기 질환 발생률 증가, 노인인구 증가, 비침습적 혈역학적 모니터링 복잡성 감소, 보다 나은 휴대성이 성장원인이 된다.

| 타입별 혈행동태 모니터링 시장 예측(2016–2023) |

(단위: 억원)

타입	2016	2017	2018	2023	연평균 성장률
침습 시스템	5,150	5,209	5,494	7,156	5.4%
최소 침습 시스템	2,056	2,119	2,277	3,260	7.4%
비침습 시스템	701	737	807	1,258	9.3%
합계	7,907	8,065	8,578	11,674	6.4%

이동형 의료센터 수의 증가로 클리닉 및 외래진료센터 성장

혈역학적 모니터링 시장에서 병원 부문은 2018년 약 6,783억원으로 가장 큰 시장규모를 나타낼 것으로 예상된다. 이는 소변 검사실 존재, 혈역학적 모니터링 시스템의 성공적인 적용, 전 세계 환자 수의 증가, 심혈관 및 기타 만성질환의 지속적 확산, 정부 지원 증가 등이기 때문이다. 또한 클리닉 및 외래진료센터 부문은 방문환자수의 증가, 이동형 의료센터 수의 증가, 정부지원 강화로 2023년까지 9.2%의 가장 높은 성장률이 예상된다.

| 최종 사용자별 혈행동태 모니터링 시장 예측(2016–2023) |

(단위: 억원)

최종 사용자	2016	2017	2018	2023	연평균 성장률
병원	6,783	6,891	7,308	9,799	6.0%
클리닉 및 외래진료센터	833	875	957	1,485	9.2%
홈케어	290	299	313	390	4.5%
합계	7,907	8,065	8,578	11,674	6.4%

KIST, 고감도센서 플랫폼 개발

2018년 바이오마이크로시스템연구단에서는 혈액 검사 없이 고지혈증과 같은 지질대사 이상 질환자들의 타액(침)에 들어있는 극미량의 콜레스테롤을 분석할 수 있는 고감도센서 플랫폼을 개발했다. 타액 · 체액 기반의 각종 호르몬 및 포도당 검출 등에 다양하게 응용될 수 있으며, 혈액 기반 진단 칩 시장에 비해 편의성과 기술적인 진보를 기대한다. KIST

04 Guten Tag! KIST Europe

R&D In&Out

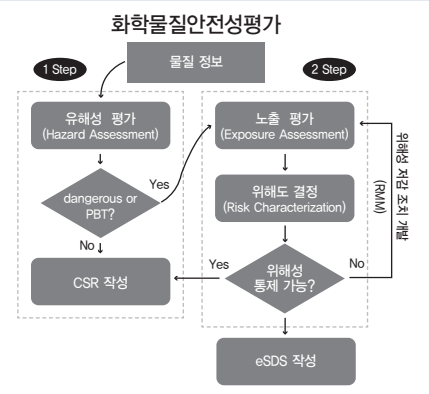
김 상 헌 단장
KIST 유럽(연) 환경안전성사업단
shkim@kist-europe.de

유해한 화학물질로부터 안전한 사회를 만들기 위한 첫 단계 – Registration of REACH –

유해한 화학물질을 선별하기 위한 첫 단계

세계적으로 유통되고 있는 화학물질의 수는 12만여 종이고 매년 2천여 종의 신규 화학물질이 개발되고 있다.[3] 유럽의 경우 화학물질을 체계적으로 관리하기 시작한 것은 1981년이다. 1981년을 기준으로 화학물질 안전성평가를 하고 시장에 출시되는 물질을 신규화학물질[4]이라고 하고, 그 이전에 시장에서 유통되는 물질을 기존 화학물질로[5] 구분한다. 유해한 화학물질은 1981년부터 관리를 시작하기 전에 시장에 나와 있는 3만종의 기존 화학물질 중에 많이 존재한다. 이러한 배경에서 2006년 신화학물질규제가 도입되었다. REACH란[6] 생산자책임 원칙 하에 화학물질을 생산하는 기업이 화학물질의 안전성평가 결과를 등록(Registration)하고, 정부인 유럽화학물질청은 기업이 등록한 자료를 평가(Evaluation)하여 유해한 화학물질을 구별한다. 유해함에도 불구하고 이러한 화학물질을 사용하려면 사회경제성평가를 통해 우리 사회에 더 큰 이익을 줄 수 있다는 판단 하에 기업이 각 유해물질별로 일정 기간 허가(Authorisation)을 받아서 사용하는 규제이다.

REACH 하의 등록은 '기업'이 화학물질의 안전한 사용을 목적으로 화학물질안전성평가를 진행한 결과이다. 기존의 OECD 국가들이 협력하여 추진한 대량 화학물질에 대한 화학물질안전성평가 결과인 HPV(High Production Volume)와는 "용도별 노출평가(exposure assessment)와 위해성 저감조치(risk management measurement)"가 추가된 것이 크게 다른 점이다.



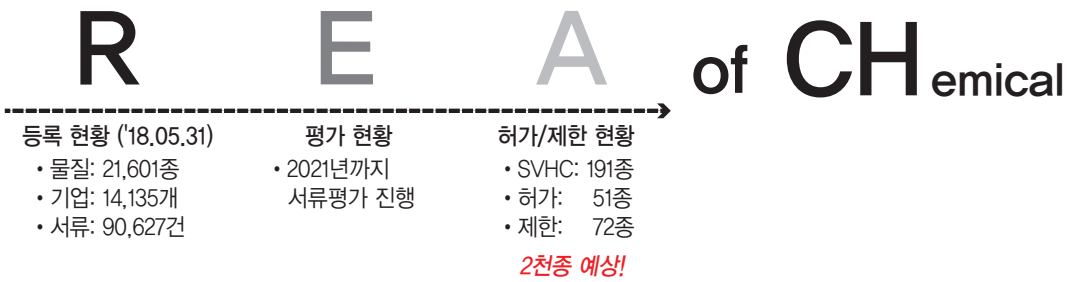
2008년부터 3만종의 기존화학물질에 대한 화학물질안전성평가를 기업이 일시에 수행할 수 없기 때문에 유통량에 따라 2010년, 2013년, 2018년으로 등록 데드라인을 두고, 화학물질을 생산하는 기업들에게 순차적으로 등록할 수 있도록 유예기간을 주었고, 지난 2018년 5월 31일 마지막 등록유예기간이 종료되었다. 이제 유럽은 역내에서 생산되는 모든 화학물질, 역내로 수입되는 모든 화학물질의 안전성평가가 "등록"을 통해 완료되었다. 그러나 등록(R)은 REACH의 첫 단계에 불과하다. R 다음은 E와 A가 순차적으로 진행된다.

3) 환경백서, 환경부, 2017년
4) ELINCS: European List of Notified Chemical Substances
5) EINECS: European Inventory of Existing commercial Chemical Substances
6) REACH: Registration, Evaluation, Authorisation of CHemicals

유럽의 신화학물질규제(REACH)는 얼마나 진행되었나?

유럽 REACH는 2006년 발효되어 2008년 사전등록을 마감하였고 2010년부터 지난 2018년 5월 31일까지 3차에 걸친 본등록 유예기간이 마감되었다. ECHA에 따르면 2009년부터 등록 마감일인 2018년까지 등록된 서류는 90,627건으로 14,135개 기업이 21,601개 물질을 등록하였다. 유럽연합 31개 회원국 중 독일, 영국. 프랑스가 전체의 47%인 44,101건을 등록했다.

| REACH 진행 현황 |



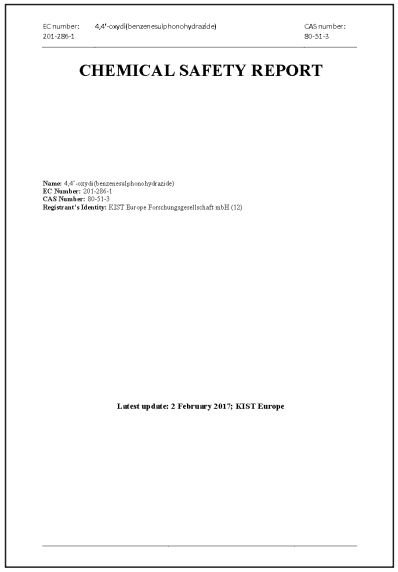
이렇게 등록된 서류는 평가(Evaluation)를 통해 허가(Authorisation) 및 제한(Restriction) 물질로 구분되는데, REACH 법령하의 평가는 이행점검(Compliance check)과 물질의 유해성과 노출관리를 평가하는 물질평가(Substance evaluation)으로 진행된다. 평가의 결과에 따라 허가&제한까지 진행된 물질은 2018년 현재 허가후보물질(SVHC)[7]은 191종, 허가물질 51종, 제한물질 72종으로 유럽화학물질청의 SVHC 2020 계획에 따라 약 2천종까지 확대될 예정이다.

KIST 유럽연구소의 최근 10년 성과

KIST 유럽연구소는 국내 화학산업의 경쟁력 확보를 위하여 유럽의 화학물질 규제(REACH), 제품규제(화장품, 살생물제, 나노, 식품접촉물질 등)의 대응 기반 기술을 확보하여 국내기업의 유럽진출을 지원하고 있다. 2006년부터 지난 10년간 40개 기업으로부터 총 127개 물질, 대표등록[8] 20개 물질을 성공적으로 완료했다. 특히 EU REACH 규제의 유일대리인으로서 국내 최초이자 유일하게 20개 물질의 대표등록을 수행한 것과 다중탄소나노튜브(MWCNT) 개별등록으로 향후 MWCNT를 이용한 복합소재의 시장진출시 규제장벽을 무너뜨린 것은 대표적인 성과이다.[9]

7) SVHC: Substance of Very High Concern
8) 대표등록은 물리화학적특성, 인체독성, 환경생태독성 자료 생산부터 노출평가까지 수행하는데 약 2년의 시간이 필요하고, 유해성에 따라 약 5–10억원의 예산이 들어가는 프로젝트이다.
9) TePRI 07월 리포트 참조

| 대표등록으로 제출한 화학물질안전성평가보고서 예시 |

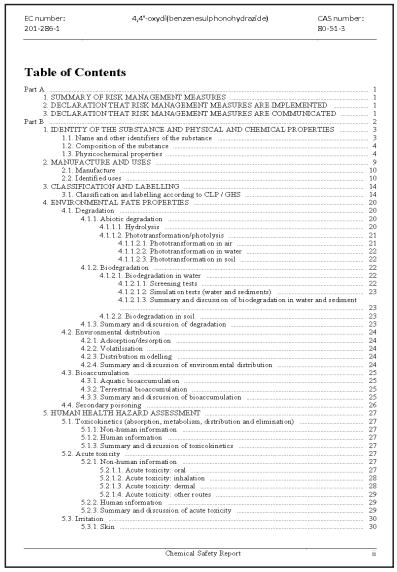


EC number: 201-286-1 | 4,4'-oxydi(benzenesulphonohydrazide) | CAS number: 80-51-3

CHEMICAL SAFETY REPORT

Name: 4,4'-oxydi(benzenesulphonohydrazide)
EC Number: 201-286-1
CAS Number: 80-51-3
Registrant's Identity: KIST Europe Forschungsgesellschaft mbH (12)

Latest update: 2 February 2017; KIST Europe

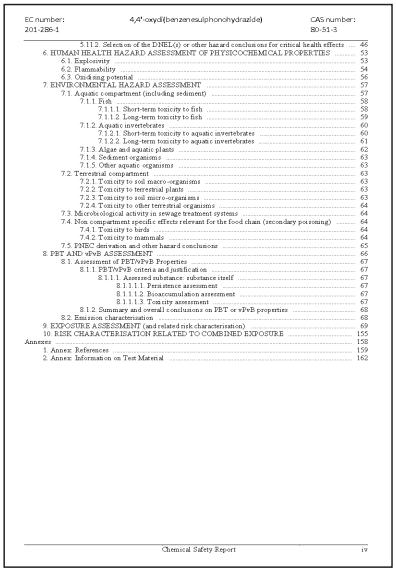


EC number: 201-286-1 | 4,4'-oxydi(benzenesulphonohydrazide) | CAS number: 80-51-3

Table of Contents

Part A 1
1. SUMMARY OF RISK MANAGEMENT MEASURES 1
2. DECLARATION THAT RISK MANAGEMENT MEASURES ARE IMPLEMENTED 1
3. DECLARATION THAT RISK MANAGEMENT MEASURES ARE COMMUNICATED 1
Part B 2
1. IDENTITY OF THE SUBSTANCE AND PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES 3
1.1. Name and other identifiers of the substance 3
1.2. Composition of the substance 4
1.3. Physicochemical properties 4
2. MANUFACTURE AND USES 9
2.1. Manufacture 10
2.2. Identified uses 10
3. CLASSIFICATION AND LABELLING 14
3.1. Classification and labelling according to CLP / GHS 14
4. ENVIRONMENTAL FATE PROPERTIES 20
4.1. Degradation 20
4.1.1. Abiotic degradation 20
4.1.1.1. Hydrolysis 20
4.1.1.2. Phototransformation/photolysis 21
4.1.1.2.1. Phototransformation in air 21
4.1.1.2.2. Phototransformation in water 22
4.1.1.2.3. Phototransformation in soil 22
4.1.2. Biodegradation 22
4.1.2.1. Biodegradation in water 22
4.1.2.1.1. Screening tests 22
4.1.2.1.2. Simulation tests (water and sediments) 23
4.1.2.1.3. Summary and discussion of biodegradation in water and sediment 23
4.1.2.2. Biodegradation in soil 23
4.1.3. Summary and discussion of degradation 23
4.2. Environmental distribution 24
4.2.1. Adsorption/desorption 24
4.2.2. Volatilisation 24
4.2.3. Distribution modelling 24
4.2.4. Summary and discussion of environmental distribution 24
4.3. Bioaccumulation 25
4.3.1. Aquatic bioaccumulation 25
4.3.2. Terrestrial bioaccumulation 25
4.3.3. Summary and discussion of bioaccumulation 25
4.4. Secondary poisoning 26
5. HUMAN HEALTH HAZARD ASSESSMENT 27
5.1. Toxicokinetics (absorption, metabolism, distribution and elimination) 27
5.1.1. Non-human information 27
5.1.2. Human information 27
5.1.3. Summary and discussion of toxicokinetics 27
5.2. Acute toxicity 27
5.2.1. Non-human information 27
5.2.1.1. Acute toxicity: oral 27
5.2.1.2. Acute toxicity: inhalation 28
5.2.1.3. Acute toxicity: dermal 28
5.2.1.4. Acute toxicity: other routes 29
5.2.2. Human information 29
5.2.3. Summary and discussion of acute toxicity 29
5.3. Irritation 30
5.3.1. Skin 30

Chemical Safety Report ii



EC number: 201-286-1 | 4,4'-oxydi(benzenesulphonohydrazide) | CAS number: 80-51-3

5.1.1.2. Selection of the DNEL(s) or other hazard conclusion for critical health effects 46
6. HUMAN HEALTH HAZARD ASSESSMENT OF PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES 53
6.1. Explosivity 53
6.2. Flammability 54
6.3. Oxidising potential 56
7. ENVIRONMENTAL HAZARD ASSESSMENT 57
7.1. Aquatic compartment (including sediment) 57
7.1.1. Fish 58
7.1.1.1. Short-term toxicity to fish 58
7.1.1.2. Long-term toxicity to fish 59
7.1.2. Aquatic invertebrates 60
7.1.2.1. Short-term toxicity to aquatic invertebrates 60
7.1.2.2. Long-term toxicity to aquatic invertebrates 61
7.1.3. Algae and aquatic plants 62
7.1.4. Sediment organisms 63
7.1.5. Other aquatic organisms 63
7.2. Terrestrial compartment 63
7.2.1. Toxicity to soil macro-organisms 63
7.2.2. Toxicity to terrestrial plants 63
7.2.3. Toxicity to soil micro-organisms 63
7.2.4. Toxicity to other terrestrial organisms 64
7.3. Microbiological activity in sewage treatment systems 64
7.4. Non-compartment specific effects relevant for the food chain (secondary poisoning) 64
7.4.1. Toxicity to birds 64
7.4.2. Toxicity to mammals 64
7.5. PNEC derivation and other hazard conclusions 65
8. PBT AND vPvB ASSESSMENT 66
8.1. Assessment of PBT/vPvB Properties 67
8.1.1. PBT/vPvB criteria and justification 67
8.1.1.1. Assessed substance: substance itself 67
8.1.1.1.1. Persistence assessment 67
8.1.1.1.2. Bioaccumulation assessment 67
8.1.1.1.3. Toxicity assessment 67
8.1.2. Summary and overall conclusions on PBT or vPvB properties 68
8.2. Emission characterisation 68
9. EXPOSURE ASSESSMENT (and related risk characterisation) 69
10. RISK CHARACTERISATION RELATED TO COMBINED EXPOSURE 155
Annexes 158
1. Annex: References 159
2. Annex: Information on Test Material 162

Chemical Safety Report iv

향후 계획

지속적으로 증가하고 있는 화학물질의 종류와 생산량에 비례하여 전세계적으로 화학물질에 대한 규제가 가속화되고 있다. 국내의 경우 2015년 도입된 "화학물질 등록 및 평가 등에 관한 법률"은 2018년에 510개 첫 고시 물질을 등록하는 것을 끝으로 대폭 개정되었다. 개정의 방향은 그 동안의 시행착오를 토대로 EU REACH를 지향하고 있다. 지난 10년간의 EU REACH 경험으로 국내 화학산업계를 위하여 2030년까지 진행될 화평법 대응에 참여할 계획이다. 현재 연구개발 진행 중인 동물 대체 시험법, 혼합물 노출평가모델 등을 이용하여 유해한 화학물질로부터 안전한 사회를 만드는데 기여하고자 한다. 유럽의 선진 기술을 국내보다 먼저 배우고 경험하여 국내에 전달하는 것이 KIST 유럽연구소의 주요 기능이기 때문이다. KST

03 TePRI 休

01. 소통과 대화를 위한 재미있는 이노베이션 이야기

2018 노벨 경제학상에서 되짚어 본 내생적 성장이론, 그리고 지식의 중요성

02. 이달의 추천도서

평양의 시간은 서울의 시간과 함께 흐른다

01

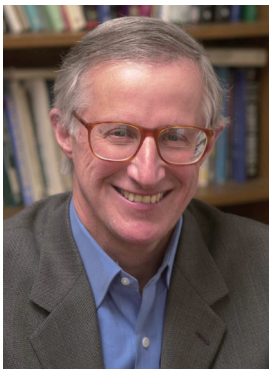
2018 노벨 경제학상에서 되짚어 본 내생적 성장이론, 그리고 지식의 중요성

TePRI 休

오 윤 환
미래전략팀
yhoh@kist.re.kr

올해도 어김없이 노벨상의 시즌이 돌아왔다. 많은 과학기술인들이 물리학상, 화학상, 생리 · 의학상 등 노벨 과학상에 관심을 쏟고 있지만, 올해는 노벨 경제학상에도 눈길을 가져볼 필요가 있다.

2018년 노벨 경제학상은 기후변화의 경제적 효과를 연구한 윌리엄 노드하우스 (William Nordhaus, 예일대 경제학과 석좌교수)와 지속가능 성장에 대해 연구한 폴 로머(Paul Romer, 뉴욕대 스턴 경영대학원 교수)에게 돌아갔다. 이중에서 이번호 TePRI 이노베이션 이야기에서는 기술혁신이 성장으로 이어진다는 폴 로머의 '내생적 성장이론(endogenous growth theory)을 통해 경제성장에서의 지식의 중요성에 대하여 설명하고자 한다.



월리엄 노드하우스
(William Nordhaus) 교수

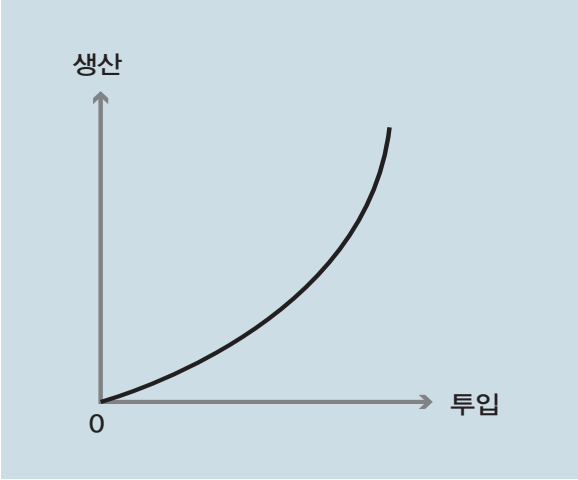
폴 로머
(Paul Romer) 교수

* 출처 : 예일대 및 뉴욕대 홈페이지

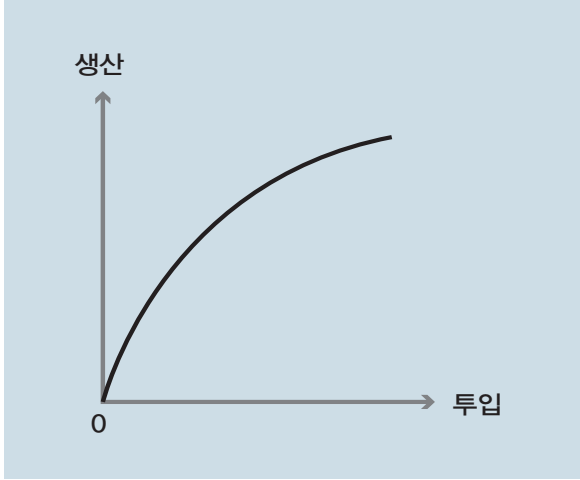
기존 신고전학파의 거시경제 성장이론에서는 지식과 기술혁신을 주어진 환경(외생 변수, exogenous variable)으로 보고, 생산량은 노동과 자본이 결정한다고 주장하였다. 이 모형에서는 기술발전을 인구증가와 같이 시간의 흐름에 따른 변화로 여겼었다. 즉, 과학기술계에서의 연구개발을 통해 기술진보가 이루어지면, 경제사회는 이 기술진보를 수동적으로 받아들여 경제를 발전시킨다고 본 것이다.

반면 폴 로머를 노벨 경제학상으로 이끈 내생적 성장 이론에서는 노동이나 자본투자와 마찬가지로 지식을 경제성장의 주요한 변수로 설명하고 있다. 그의 모형은 개별 경제주체들의 연구개발 등을 통해 축적된 지식이, 생산활동에 다시 투입되면서 경제성장을 견인할 수 있다고 주장한다. 즉, 노동과 자본 투자뿐만 아니라 지식증대를 통한 기술변화 역시 성장을 견인하는 주요한 동인이라고 본 것이다.

폴 로머의 이론이 주목 받는 것은 지식은 '수확체증의 법칙(Increasing Returns of Scale)'이 적용되는 생산요소이기 때문이다. 기존 성장이론에서의 노동이나 자본은 생산요소의 투입이 한 단위 증가될수록 늘어나는 한계생산량은 점차 줄어든다(수확체감의 법칙, Decreasing Returns of Scale). 때문에 어느 수준에 도달하게 된다면 성장이 정체될 수밖에 없다. 하지만 지식은 제한된 자원이 아니며, 현재의 지식이 더 나은 새로운 지식 창출의 원천이 되기 때문에 사실상 무한하다고 할 수 있다. 따라서 폴 로머의 이론은 단순히 지식을 경제성장의 내생적 변수로 포함한 것을 넘어, 지속가능한 성장의 원천으로서의 지식의 역할을 강조하고 있다고 할 수 있다.



수확체증의 법칙
(Increasing Returns of Scale)



수확체감의 법칙
(Decreasing Returns of Scale)

특히, 폴 로머는 현장에서의 경험축적을 통한 학습(learning by doing)이 성장의 핵심 원동력임을 강조한다. 더 나아가 축적된 지식이 개별 주체에만 머무르지 않고 다양한 경제주체들이 서로 공유하는 것이 중요하다고 설명한다. 현장에서의 새로운 지식이 생산활동에 다시 활용되면서 경제가 지속적으로 성장할 수 있다는 것이다.

폴 로머의 내생적 성장이론은 국가 과학기술 연구개발 선봉에 서 있는 출연(연)에게 시사하는 바가 크다. 우리의 우수한 연구개발 결과물이 국가 경제 성장의 원동력이 되기 위해서는 연구성과가 연구실에만 머무르는 것이 아니라 다른 경제 · 혁신주체들과 공유되고 활용될 수 있도록 하는 것이 중요하다. 연구현장과 생산현장 간의 끊임없는 교류를 통하여 더 나은 새로운 지식이 창출되고, 다시 활용될 수 있도록 선순환 구조를 구축하는 것이 지속가능한 성장을 이끌 수 있다. 따라서 우리 연구자들의 연구성과를 산업계와 공유하고, 연구현장과 산업계 간의 거리를 좁히도록 하는 것이 필요하다.

폴 로머의 이론은 끊임없는 학습과 연구개발 투자를 통해 지식을 확대해 나간다면 우리는 계속 성장할 수 있다는 희망을 준다는 점에서 가장 큰 의미가 있다. 2018년 노벨위원회가 노벨 경제학상 수상자로 그를 선정한 것은 전 세계적으로 만성화되고 있는 저성장을 극복하기 위한 해법은 바로 연구개발 투자와 지식기반 산업의 비중을 확대함에 있다는 점을 다시금 강조하기 위함일지도 모른다. KISTI

참고자료

Romer, P.M. (1986). Increasing returns and long-run growth. Journal of Political Economy 94(5), 1002-1037.

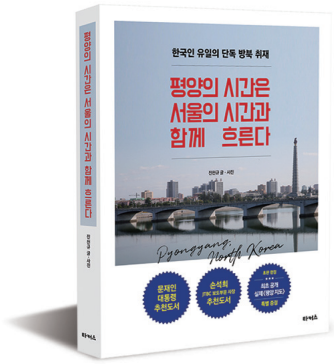
Romer, P.M. (1990). Endogenous technological change. Journal of Political Economy 98(5), 71-102.

Romer, P.M. (1994). The origins of endogenous growth. Journal of Economic Perspectives 8(1), 3-22.

데이비드 워시. (2008). 『지식경제학 미스터리』. 송희령 · 김민주(역). 서울: 김영사.

02

평양의 시간은 서울의 시간과 함께 흐른다



TePRI

김 종 주
미래전략팀장
jongjoo@kist.re.kr

저자 소개

진천규 (글 · 사진)

한국인 최초 평양 순회 특파원. 92년 남북고위급 회담, 2000년 6.15 정상회담 후 17년 만에 대한민국 국적 언론인으로는 최초로 방북 취재에 성공. 한겨레신문 기자로 지금까지 6차례 방북해 남북관계의 결정적 장면들을 담아왔다. 방송, 강연, 집필 활동을 통해 북한의 현재를 전하고 있으며, '통일 TV' 개국을 준비 중이다

선정 배경

"구경꾼도 관찰자도 되기 싫었다. 똑같은 사람으로서 삶속에 깊숙이 들어가 보고 싶었다." 이 책의 글과 사진들은 북한의 일상을 담았다. 지레짐작과는 달리 평양에서도 휴대폰, 택시, 마트가 일상화되어 있고 김일성광장 한복판 도서관에서는 영어공부에 열심인 학생들을 볼 수 있다. 남북 화해 분위기가 무르익고 있는 지금, 우리는 북한을 얼마나 알고 있나?

주요 내용

대북 제제 후 처음으로 북한에 들어가다

- 북한 입국을 위해 중국 심양의 북한 영사관에서 별지 비자를 받다
  - 한국인이 입북하기 위해서는 국적이 남조선으로 된 단수비자를 받게됨
  - 중국 단동–평양을 오가는 국제여객열차는 평양역까지 7시간 소요

  ** 남북관계가 더 진전되면, 남북 철로연결, 즉 경의선 복원이 가능할 전망 금년 4월 정상회담 후속조치로 경의선, 동해선 구간의 공동점검에 착수했다*

- 북한 입국 때도 세관검사가 있다
  - 북한 세관에서는 영상물, 도서, USB저장장치 등을 예의 주시
  - 신의주청년역에서 중간에 한 번 정차 후 평양역까지 단선 철로를 달림

조선민주주의인민공화국 수도, 평양직할시

- 평양에서 가장 눈에 띄는 것은 아파트

  ** 북한에서는 살림집단지로 부름*

  - 8~15층 사이의 복도식아파트가 대부분으로 남한처럼 단지화
  - 김정은 집권 후 세워진 최근의 아파트들은 30층에서 최고 70층 높이로 화려한 색감, 독특한 디자인이 특징
- 서울에 한강이 있다면 평양에는 대동강이 있다
  - 한반도에서 다섯 번째로 크고 강폭은 한강보다 살짝 좁음
  - 대동강을 중심으로 서평양, 동평양으로 나뉘며, 김일성광장 등 우리가 흔히 언론을 통해 접해온 지역은 서평양 지역

미래동 미래과학자거리에서 본 평양의 일상

- 고급 정주지역인 미래과학자거리에는 인근의 김책공대 교원 등 북한 내 지식계층이 주로 거주
  - 가장 높은 53층 아파트의 저층에는 식당, 세탁소등 편의시설이 입주

- 우리 중고생 정도의 나이가 되면 일상적으로 휴대폰과 인터넷을 사용

  ** 공항이나 호텔에서 Wifi를 쓸 수 있고 남한으로 메일 보내기도 가능*

• 평양의 교통수단은 지하철, 버스, 궤도전차, 택시

- 출퇴근시간대 지하철 교통혼잡도 서울과 마찬가지, 평양시내에는 현재 6천대 이상의 택시가 운행 중

  ** 외국인은 반드시 북한 주민 동행 하에만 택시를 탈 수 있다*

- 일반 시민은 자가용 소유가 원칙적으로 금지

〉〉〉 북한사용설명서

** 책에서 묘사된 북한과 관련된 알뜰하고 사소한 지식들* KJ

…북한 교수들도 발표할 때 파워포인트를 사용한다

…북한에서는 소학교에서 대학생까지 모두 교복을 입고 7~13세 사이의 아이들은 붉은색 소년단 스카프를 맨다

…英 Economist지는 "남한의 맥주는 지루하지만, 대동강맥주는 놀랍다"며 북한 맥주의 품질을 남한보다 높게 쳤다

…평양주민들은 노래방, 당구장, 볼링, 스케이트로 유흥을 즐긴다

…북한 사람들은 남조선 사람들에 대한 인식이 썩 좋지 않아 신기하다고 말을 걸거나 사진 찍는 행동을 싫어할 수 있다.

▲『평양의 시간은 서울의 시간과 함께 흐른다』의 본문 中

기술정책연구소
Technology Policy Research Institute

TePRI
Technology Policy Research Institute
REPORT

발행 한국과학기술연구원 기술정책연구소 **연락처** TEL 02_958_6928