

젊은 과학자의 눈으로 바라보다,
과학기술 2050



펴낸곳

한국과학기술한림원

031)726-7900

펴낸이

한 민 구

발행일

2021년 11월

홈페이지

www.kast.or.kr

기획·편집

배승철 한국과학기술한림원 정책연구팀 팀장

조은영 한국과학기술한림원 정책연구팀 주임

이동원 한국과학기술한림원 정책연구팀 주임

컨텐츠

김준래 과학기술분야 전문 작가

디자인·인쇄

경성문화사

02)786-2999

이 보고서는 복권기금 및 과학기술진흥기금의 지원을 통해 제작되었으며,
모든 저작권은 한국과학기술한림원에 있습니다.

발간사

한국과학기술한림원에서 발간하고 있는 정책제안서인 차세대리포트는 우수한 젊은 과학기술인 그룹인 '한국차세대과학기술한림원(Young Korean Academy of Science and Technology, Y-KAST) 회원들의 목소리를 담아오고 있다.

2018년 '영아카데미, 한국과학의 더 나은 미래를 위한 엔진'을 주제로 차세대리포트 발간을 추진하던 당시 'Y-KAST라는 이름으로 모인 젊은 과학기술인들은 어떤 목적을 가지고, 어떤 일을 해나가야 하는지'에 대한 설문 조사와 소규모 인터뷰를 진행한 바 있다. 그 결과는 매우 인상적이었다. 이들은 성별, 전공 분야에 상관없이 'Y-KAST는 다음 세대 과학자들을 위해 기여해야 하며, 정부와 젊은 연구자들 사이의 통로로 기능해야 한다.'고 목소리를 내었던 것이다.

발간 4년 차에 접어든 올해의 차세대리포트 역시 Y-KAST 회원들이 강조한 두 가지 역할 수행을 위한 작은 발판이 될 수 있기를 바라며 발간을 추진하였다. 이를 위해서 우선 주요 과학기술의 연구개발 동향과 이슈, 그리고 해당 분야에서 우리나라가 선도적 역할을 수행하기 위해 필요한 정책적 지원 방향을 살펴보았으며, 나아가 이공계 인재들뿐만 아니라 국민들에게 도움이 될 수 있는 생생한 정보를 전달하고자 하였다.

2050년은 우리나라 현대사에 있어 과학기술의 진흥을 위한 노력이 시작된 지 100여 년이 되는 해라고 할 수 있다. 해방 이후 기본적인 의식주조차 해결하기 힘들었던 상황 속에서 과학기술 진흥을 통한 대한민국의 더 나은 미래를 꿈꿨던 과학기술인들의 의지와 노력이 계속되었으며 1948년, 비록 하나의 국 단위에 불과했지만 과학교육국이 설치되면서 과학기술의 진흥을 위한 작은 주춧돌이 놓이게 된다. 이후 우리나라는 전쟁의 상처를 딛고 일어서 선진국의 반열에 오르는 놀라운 저력을 보여 오고 있지만 4차 산업혁명 시대의 도래, 코로나19로 인한 변화와 불투명성의 증대로 과거의 방식만을 고수하기엔 어려운 시대를 맞이하고 있다.

이에 젊은 과학자들이 가진 새로운 시각과 신선한 발상을 통해 앞으로 어떤 기술이 미래에 등장하고 우리 삶을 변화시킬지 예측하고자 하였다. 젊은 과학자들이 바라보는 미래의 새로운 기술들이 개인뿐만 아니라 국가의 미래를 이끌어갈 청소년들, 그리고 과학기술정책 입안자들에게 작은 이정표가 될 수 있기를 기대해본다.

2021년 10월
한국과학기술한림원 원장
한 민 구

함께해주신 분들



이 대 희

한국생명공학연구원 책임연구원

합성생물학과 바이오파우드리 기술로 스마트 미생물을 개발하여 인체 건강 증진과 탄소중립 사회 구현을 위해 노력하고 있다. 미래에는 맞춤형으로 제작된 스마트 미생물들이 질병을 진단하고 치료할 수 있을 것으로 예측하고 있다.



이 도 창

KAIST 생명화학공학과 교수

양자점 합성과 응용연구를 수행하고 있다. 양자점을 이용한 광역학적 요법을 활용하는 신개념 항생제가 개발될 것으로 전망하고 있다.



김 성 연

서울대학교 화학부 교수

뇌와 몸 사이에서 발생하는 감각 정보의 수용과 통합, 그리고 이를 통해 나타나는 행동적, 생리적 반응 등에 대한 신경회로 메커니즘 연구를 수행하고 있다. 미래에는 신체적, 정신적 건강 관련 기능과 현상을 조절하고 치료하는 것이 가능해질 것으로 예상하고 있다.



김 정 훈

서울대학교 의과대 교수

중개의학 연구 플랫폼을 바탕으로 망막질환 치료전략 및 치료제 개발 연구를 활발히 진행하고 있다. 미래에는 많은 질환들에서 유전자치료, 유전자교정 및 세포치료가 한 축으로 적용될 것이며, 유전적 원인의 실명 환자는 사라질 것으로 기대하고 있다.



김 성 용

KAIST 기계공학과 교수

해양물리 현상을 관측하고 이를 통한 빅데이터를 분석하여 장기적인 기후변화 인자를 추출하는 연구를 수행하고 있다. 특히 고해상도의 표층 해수유동 관측과 응용기술을 개발하고 있으며, 미래에는 해양관측 결과를 기반으로 기후변화를 예측하는 연구들이 다양하게 등장할 것으로 보고 있다.



이 성 주

서울대학교 산업공학과 교수

미래예측 과정에서의 의사결정을 지원하기 위한 과학적 접근법을 개발하고 있다. 특히 미래 유망기술을 예측하기 위한 데이터 분석 방법의 설계와 모델링, 융합촉진 방안 등을 연구하고 있으며, 미래에는 인공지능과 빅데이터, 디지털트윈 등을 활용하여 미래기술을 예측하는 것이 가능해질 것으로 전망하고 있다.

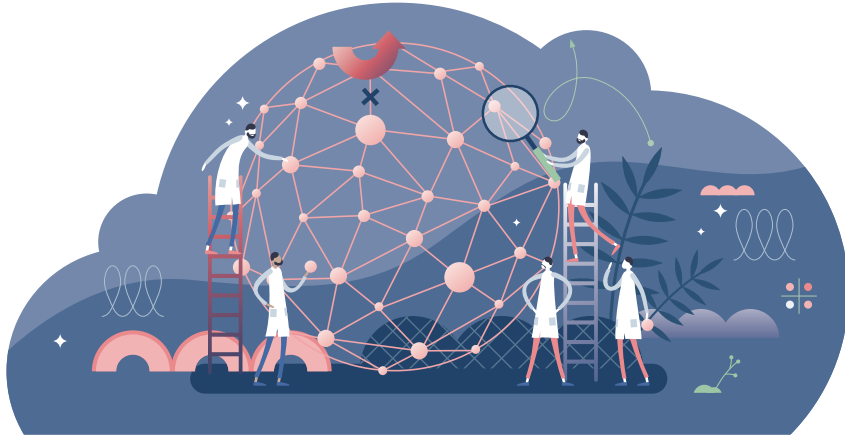
C O N T E N T S

들어가기	04
------	----

젊은 과학자들이 예측하는 2050 미래기술

1 똑똑한 미생물로 질병을 치료한다	07
- 질병의 진단과 치료에 활용되는 스마트 프로바이오틱스	
2 빛을 쏘여 유해균을 죽인다	11
- 광역학적 요법을 활용한 신개념 항생 시스템	
3 식욕, 스트레스, 수면, 통증 조절이 가능해진다	15
- 본능적 행동과 뇌신경회로 메커니즘 규명	
4 유전적 원인의 실명은 사라진다	19
- 실명 질환 치료에 활용되는 유전자교정 및 세포치료	
5 바다를 관측하여 기후변화를 예측한다	22
- 해양환경 및 기후변화	
6 데이터 조각으로 미래기술을 예측한다	26
- 빅데이터와 인공지능 기반의 과학기술 의사결정 지원	

맺음말	30
-----	----



과학기술 진흥을 통해 대한민국의 더 나은 미래를 만들고자 하였던 노력들은 우리나라의 현대사를 통해 볼 수 있다. 1948년, 정부는 몇 안 되는 정부부처 조직 내에 과학교육국을 설치하였고 새로운 지식과 정보, 기술의 도입을 위한 국제교류의 발판을 만들기 위해 노력하였으며 1950년 6월 14일 유엔의 교육, 과학, 문화 국제기구인 유네스코의 55번째 회원국으로 가입하게 된다.

1950년은 우리 현대사에 있어 가장 아픈 기억으로 남아있는 해다. 36년간의 일제 강점기가 남긴 아픔이 가시기도 전에 한국전쟁으로 인한 비극이 발생했기 때문이다. 전쟁의 비극은 실로 참혹했다. 한반도의 허리는 두동강이 났고, 이 땅의 모든 것은 사라져버렸다. 당장 내일을 기약하기도 어려웠던 당시, 먼 미래를 바라보는 정책은 어떤 사람에게서는 현실성이 없는 이야기로 들렸을 수도 있다. 그러나 정부는 전후 복구사업을 추진하는 과정에서 국가 살림의 일부를 과학기술의 발전을 위한 사업에 투자하는 노력을 기울였다. 기본적인 의식주도 제대로 챙기기 힘들던 당시 상황에서 이와 같이 과학기술이 발전할 수 있는 토대를 마련하고자 애를 썼던 다양한 정책들을 되돌아보면 실로 놀라운 결단과 도전이라 하지 않을 수 없다.

그렇게 과학기술의 씨앗이 이 땅에 뿌려진 지 어언 70여 년이 지난 오늘날, 우리나라는 어느덧 선진국의 대열에 들어섰다. ‘세계에서 가장 빠른 속도로 경제부흥을 이룬 국가’ 그리고 ‘원조를 받던 국가에서 원조를 하는 국가가 된 유일한 나라’라는 칭송을 받으며

세계에서 열 손가락 안에 드는 국력을 가진 나라로 인정받고 있는 것이다. 실제로 미국의 펜실베이니아대 와튼스쿨과 글로벌 마케팅 커뮤니케이션 기업인 BAV그룹이 최근 공동으로 조사한 보고서를 살펴보면 우리나라가 ‘2021년 전 세계 국력 랭킹(power rankings)’ 순위에서 8위를 차지한 것으로 나타났다.

문제는 우리나라가 앞으로도 지속적으로 경쟁력을 높여 가는 것이 결코 쉽지 않다는 점이다. 지금까지는 제조업을 바탕으로 한 강력한 수출 정책을 통해 군사력과 경제력을 높여 왔지만, 앞으로의 미래는 첨단 과학기술이 바탕이 되어야만 꾸준히 경쟁력을 높여 갈 수 있는 세상이 펼쳐지고 있기 때문이다.

물론 ‘한강의 기적’을 통해 우리나라가 이만큼 국력을 키울 수 있었던 데에는 과학기술의 힘이 결정적인 기여를 한 것이 사실이다. 하지만 그동안 기초과학보다는 당장 경제적인 수익을 만들어 낼 수 있는 응용기술 개발에 매진하다 보니, 우리나라 과학기술의 기초체력이 그리 튼튼하지 못하다는 점도 부인할 수 없는 사실이다.

그렇다면 우리나라가 현재 처한 한계를 극복하고 다시 한번 새로운 도약을 이루기 위해서는 어떤 전략을 취해야 할까? 쉽지는 않겠지만, 과학기술 분야에서 보다 근본적인 변화가 일어나야만 한 단계 더 도약할 수 있다는 것이 전문가들의 의견이다. 여기서의 근본적인 변화란 기존의 고정관념을 깨는 발상의 전환을 말한다. 현재 우리는 과학기술이 사회 변화를 선도하고 있는 세상에 살고 있다. 1차 산업혁명에서 시작된 문명의 발전은 이제 4차 산업혁명 단계에 들어서면서 비약적인 성장을 앞두고 있는 상황이다.

실제로 IT 산업이 촉발시킨 융합 기술은 인공지능이나 의료 분야 등으로 확산하면서 혁신적인 과학기술의 세상을 만들어가고 있다. 그리고 이 같은 과학기술의 발전은 이 땅에 과학기술의 씨앗이 뿌려진 지 100여 년 후인 2050년을 전후로 ‘기술적 특이점(technological singularity)’이 올 것이라는 예측들이 나오고 있다.

기술적 특이점이란 무엇인가? 특정 기술이 탄생하면서 지금까지 축적해 온 정보와 지식의 수준을 합친 것보다 더 뛰어난 새로운 기술이 출현하는 시점을 말한다. 따라서 기존의 과학기술 분야가 가진 고정관념을 깨는 발상의 전환은 바로 이런 기술적 특이점의 도달 여부에 달려있다고 봐도 과언이 아니다.

이번에 발간한 차세대리포트는 바로 이 같은 기술적 특이점에 초점을 맞췄다. 첨단 분야로 인정받고 있는 의료공학 및 바이오공학, 그리고 환경공학 등을 중심으로 이를 바라보는 젊은 과학자들의 시각에 초점을 맞춰 미래를 조망해 보는 내용이 차세대리포트에 담겨 있다.

이를 위해 우선 6가지의 차세대 과학기술에 대한 현재의 기술 수준을 살펴보았다. 그리고 젊은 과학자들의 시각에서 바라보는 해당 분야의 미래상을 조망하고, 필요한 정책들을 제안함으로써 각 차세대 과학기술의 실현을 위한 방향을 제시하고자 하였다.

똑똑한 미생물로 질병을 치료한다

이대희 한국생명공학연구원 책임연구원



질병의 진단과 치료에 활용되는 스마트 프로바이오틱스



07

가. 현황 및 동향

미생물을 활용하여 암이나 면역질환, 또는 대사질환 등을 진단하고 치료하는 연구가 합성생물학과 헬스케어산업의 융합을 통해 활발하게 추진되고 있다. 미생물이 원래부터 질병을 진단하고 치료할 수 있는 능력을 갖고 있는 것은 아니다. 질병을 진단할 수 있도록 하기 위해 인공적으로 만든 유전자회로¹를 미생물에 도입하고 질병 치료 물질을 생산하는 대사회로도 미생물에 넣어줘야 한다. 그래야 비로소 미생물이 질병을 실시간으로 진단하고 치료할 수 있는 ‘스마트 프로바이오틱스(smart probiotics)’로 탈바꿈 하게 된다.

스마트 프로바이오틱스를 개발하기 위한 과정은 복잡하고 어렵다. 질병 진단의 정확도와 치료의 효율성을 높이기 위해 크리스퍼 유전자가위 기술을 인공 유전자회로에 도입하여 컴퓨터의 연산에 적용하는 논리회로(logic gate)²를 만들어야 한다. 그리고 제작된 논리회로를 프로바이오틱스에서 작동시켜야만 비로소 질병의 진단과 치료에 사용할 수 있게 된다.

1 전자공학의 논리회로를 DNA로 만들어 논리 연산이 가능하게 만든 생물학적 논리회로

2 전자공학에서 하나 이상의 입력값에 대해 논리 연산을 수행하여 하나의 논리적 출력값을 만드는 전자회로

MIT대학의 바이오 분야 과학자들이 대거 설립에 참여한 스타트업인 신로직(Synlogic)은 미생물을 활용한 질병의 진단과 치료 분야에서 세계적인 기술력을 보유하고 있다. 국내에서도 유산균 전문 기업인 쉐바이오텍 및 연세대 등이 장내 미생물에서 유래한 유산균을 활용하여 대장암을 치료할 수 있는 물질을 생산하는 연구를 추진하고 있다.

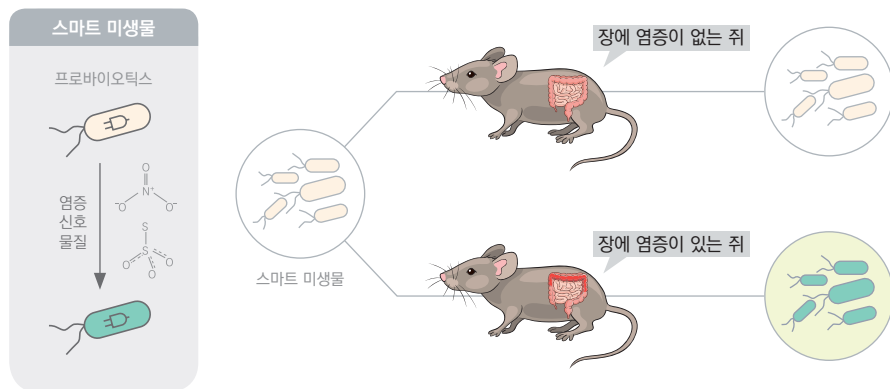
나. 주요 연구내용

스마트 프로바이오틱스 개발을 위한 핵심기술로는 △질병 진단용 인공 유전자회로 제작 △미생물을 활용한 치료 물질 생산 △프로바이오틱스를 이용한 질병 진단과 치료 등이 있다.

질병을 진단하는 인공 유전자회로 개발 연구의 첫 번째 단계는 바이오마커(biomarker)³와 같은 특정 물질을 인식하여 결합할 수 있는 전사(transcription)⁴ 조절 유전자와 바이오마커를 시각화하여 보고할 수 있는 리포터 유전자로 구성된 회로를 제작하는 것이다.

대표적으로는 장내 염증과 관련된 바이오마커 중 하나인 질산염을 선택적으로 인식하여 형광단백질을 만들어 낼 수 있는 인공 유전자회로를 꼽을 수 있다. 한국생명공학연구원 연구진은 이 회로를 프로바이오틱스에 도입했을 때 염증이 발생한 쥐에서 작동한다는 사실을 확인했다.

그림 1 스마트 프로바이오틱스를 이용한 질병 진단



장(腸)을 들여다 보지 않고 스마트 미생물의 형광 신호로 장에 발생한 염증을 확인

3 단백질이나 DNA, RNA, 대사 물질 등을 이용해 몸 안의 변화를 알아낼 수 있는 지표

4 DNA에 있는 정보를 mRNA로 옮기는 과정

두 번째 연구단계는 미생물을 활용하여 질병 치료에 도움을 주는 천연화합물을 만드는 것이다. 유럽인들이 차로 즐겨 마시기도 하며, 가정 내 상비약처럼 사용해오고 있는 국화과 식물 캐모마일(chamomile)에는 비사볼올(bisabolol)이라는 성분이 함유되어 있다. 비사볼올은 장내 염증을 완화시켜주는 안전한 물질로 알려져 있으며, 한국생명공학연구원 연구진은 세계 최초로 캐모마일에 함유되어 있는 이 성분을 미생물에서 대량 생산할 수 있는 기술을 개발했다.

또한 염증의 바이오마커 감지 기술과 캐모마일 유래 비사볼올 성분을 생산할 수 있는 기술을 융합하여 염증이 발생했을 경우에만 미생물이 비사볼올을 생산함으로써 염증 완화에 도움을 줄 수 있는 기술을 개발했다. 그리고 한 단계 더 나아가 염증 신호를 감지하게 되면 비사볼올을 생산하는 동시에 특정 DNA 서열을 변화시켜 염증 발생의 빈도를 확인할 수 있는 기억장치가 작동하도록 함으로써 염증의 진단과 치료, 기억이 가능한 시스템을 개발하고 있다.

다. 미래전망

사람의 체내에서 생육하는 모든 미생물을 뜻하는 마이크로바이옴(microbiome) 연구가 가속화되면서 장내 미생물의 중요성이 날로 증가하고 있다. 최근 들어서는 장내 미생물뿐만 아니라 피부 미생물의 중요성이 주목받게 되면서 화장품 등 관련 제품 시장도 성장하고 있다. 불과 얼마 전까지만 해도 사람의 체내에서 공생하는 미생물은 건강을 유지하도록 돕는 보조적인 역할만 하는 것으로 여겨졌던 것이 사실이다. 하지만 인체 마이크로바이옴의 중요성이 하나둘씩 밝혀지면서 이제는 체내 미생물을 이용하여 개인의 특성에 맞춰 질병을 진단하고 치료할 수 있는 기술이 개발되고 있다.

이와 관련하여 미래에는 개 개인의 모든 유전정보를 쉽게 확인할 수 있고, 마이크로바이옴 분포 또한 쉽게 분석할 수 있게 됨으로써 개인별 맞춤 형태의 스마트 프로바이오틱스 개발도 가능해질 것으로 전망되고 있다. 특히 사람의 장에 정착하여 평소에는 프로바이오틱스 효과를 유지하다가 질병이 발생했을 때는 이를 빠르게 진단하여 치료물질을 생산하는, 이른바 질병의 진단과 치료가 동시에 가능한 스마트 프로바이오틱스가 개발될 것으로 연구진은 예측하고 있다.

라. 정책제언

스마트 프로바이오틱스를 개발하기 위해서는 미생물이 갖고 있는 DNA를 필요에 맞게 재조합 하는 절단, 삽입, 연결, 증식 등의 과정이 필요하다. 그러나 일반 대중들은 이러한

일련의 과정들로 만들어지는 스마트 프로바이오틱스를 유전자 변형 생물체(LMO, Living Modified Organisms)라는 편견을 가지고 바라보는 경향이 크다. 문제는 이런 부정적인 시각들이 과감한 도전이 뒷받침되어야 하는 과학기술 개발에 커다란 걸림돌로 작용할 수 있다는 점이다. 따라서 안전성과 기술의 혁신성을 동시에 확보해 갈 수 있는 제도적 뒷받침이 있어야만 한다.

미국의 경우, 질병의 진단과 치료가 가능한 스마트 프로바이오틱스 확보 과정을 신약 개발로 취급하기 때문에 LMO 문제에서 다소 자유로운 편이다. 하지만 국내에서는 아직까지 이와 관련된 방안 마련 등의 움직임이 없어, 규제 완화 및 홍보 강화를 통해 대중의 인식을 개선하고 과학기술의 발전을 도모하려는 노력이 시급하다.

빛을 쫓아 유해균을 죽인다

이도창 KAIST 생명화학공학과 교수



광역학적 요법을 활용한 신개념 항생 시스템



가. 현황 및 동향

인류의 역사는 미생물과의 싸움이라고 해도 과언이 아니다. 인류는 오랜 시간 동안 눈에 보이지 않는 적과의 싸움을 이어왔으며, 과학기술이 제대로 발전하지 못했던 과거에는 미생물과의 싸움에서 완패를 당했다. 현재 인류의 평균 수명은 80세 정도이지만 불과 200년 전만 해도 40세를 채 넘기지 못했는데, 이는 흑사병과 천연두, 그리고 콜레라 같은 미생물에 의한 감염이 주된 원인이었다.

그러나 파스퇴르나 코흐 같은 과학자들이 질병과 미생물의 연관관계를 밝혀냈고, 20세기 초 플레밍이 최초의 항생제인 페니실린을 개발하면서 인류의 반격이 시작됐다. 인류는 제2차 세계대전을 통해 항생제 효과를 확인할 수 있었으며, 폐렴 환자들에게 페니실린을 제공하여 사망률을 18%에서 1%까지 낮출 수 있었다. 물론 미생물의 역습 또한 만만치 않았다. 페니실린 대량생산 4년 후 이 항생제를 무용지물로 만드는 내성균이 출현하면서 인류는 페니실린이 아닌 또 다른 항생제를 개발하게 되었다.

이렇게 반격과 역습이 반복되며 이어져 온 인류와 미생물의 싸움은 1980년대를 지나면서 미생물에게 유리한 상황으로 전개되고 있는 양상이 펼쳐지고 있다. 1980년대 이후 새로운 계열의 항생제 개발이 전무한 것이 결정적인 이유였으며, 그 결과 지난 2017년

세계보건기구(WHO)는 항생제 개발 속도보다 내성균의 출현 속도가 더 빠르다는 사실을 경고하는 상황에 이르게 되었다. 그러나 항생제의 지속적인 개발과 사용 자체도 심각한 문제를 발생시키고 있다. 유해한 미생물로 부터의 감염을 막기 위해 개발한 항생제의 사용량이 증가하게 되다 보니 역설적으로 항생제가 작용할 수 없는 내성균의 출현을 증가시킨 것이다.

나. 주요 연구내용

미생물은 여러 가지 메커니즘을 통해 항생제에 대한 내성을 갖게 된다. 박테리아 세포 내부로 항생제가 들어오지 못하게 막거나, 내부로 침투한 항생제를 세포 밖으로 배출시키기도 하며, 세포 내부로 들어온 항생제의 표적이 되는 효소나 단백질을 변형시켜 항생제가 작용하지 못하게 만들기도 한다. 또한 지속생존 세포(persister cells) 상태로 대사과정을 멈춘 채 휴면상태로 머무르면서 항생제의 공격을 회피하기도 한다.

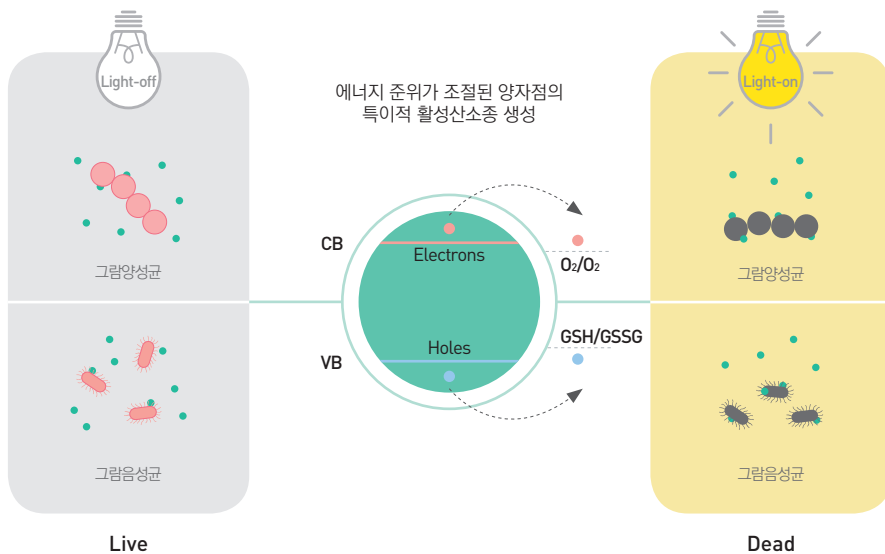
그런데 눈여겨봐야 할 것은 항생제의 공격을 무력화시키는 내성균들이다. 내성균은 주변의 다른 정상 박테리아와 결합하여 항생제에 대한 내성을 갖도록 하는 유전자를 전달한다. 이로 인하여 기존에 내성을 가지고 있지 않은 박테리아 또한 내성 관련 유전자를 받아들여 항생제에 대한 내성 메커니즘을 습득하고, 기하급수적으로 증가하게 된다.

특히 가장 위협적인 것은 여러 내성 유전자를 전달 받아 세 가지 계열 이상의 항생제에 대한 내성을 동시에 가진 다제내성균(multidrug-resistant bacteria)이다. 다제내성균에 감염되면 이를 치료할 수 있는 항생제의 종류가 줄어들게 되며, 최악의 경우 치료 가능한 항생제가 없게 된다. 이로 인해 환자가 목숨을 잃을 수도 있어 다제내성균은 인간에게 매우 위협적인 존재가 되는 것이다.

때문에 최근에는 날로 심각해져 가고 있는 항생제 내성을 가진 미생물의 출현을 막기 위해 보다 근본적인 방법을 연구하고 있다. KAIST 연구진이 시도하고 있는 신개념의 항생제를 한마디로 요약하자면 ‘광역학적 요법(photodynamic therapy)’을 사용한 항균이다.

에너지 강도와 조성이 조절된 양자점(quantum dot)을 이용하여 감염 부위에 빛을 쏘이게 되면 양자점 표면에서 인체 내에서 감염 방어 기작이 발생할 때 생성되는 활성산소인 슈퍼옥사이드(superoxide)가 생성되는데, 이 물질은 동물세포에는 무해하지만 유해

그림 2 에너지 준위가 조절된 양자점의 특이적 활성산소종 생성



왼쪽 그림은 에너지 준위를 조절하여 선택적인 활성산소종을 생성하는 양자점을 대략적으로 나타낸다. 오른쪽 그림은 왼쪽에서 설명한 양자점을 그람-양성균 및 그람-음성균 모두에 처리하였을 때, 빛을 조사하지 않은 조건에서는 박테리아가 죽지 않는 반면 빛을 조사하여 광역학적 요법을 진행한 조건에서 박테리아가 사멸됨을 나타낸다.

미생물만을 선택적으로 항균할 수 있다. 시험관 규모에서 광역학적 요법을 테스트한 결과, 여러 항생제에 대한 내성을 동시에 가진 미생물인 간균과 황색포도상구균, 그리고 대장균, 녹농균 등에 대하여 항균효과를 보인다는 사실을 확인했다. 그리고 실험쥐를 이용한 생체 감염 모델에서도 감염 치료 효과와 내성균에 대한 항균효과를 확인할 수 있었다.

다. 미래 전망

영국 정부는 2014년 발표한 보고서를 통해 2050년경에는 연간 내성균으로 인한 전 세계의 사망자의 수(1000만 명)가 암으로 인한 사망자의 수(820만 명) 보다 많아질 것으로 전망했다. 즉, 2050년경에는 매3초 마다 1명이 내성균으로 인해 목숨을 잃게 될 수 있으며, 이로 인한 사회적 비용은 연간 11경(京, 10¹⁶)원에 달할 것이라고 한다.

이와 같은 비극을 막기 위해 다양한 노력들이 진행되고 있는 가운데 광역학적 요법 외에도 수심 1000m 이상의 심해와 같은 극한 환경에서 살고 있는 극한생물(extremophile)로부터

다양한 화학물질을 확보하여 항생제를 개발하기 위한 연구도 진행되고 있다.

라. 정책 제언

새로운 항생제나 항생물질의 개발과 더불어 근본적으로 내성균 감염 관리를 위해서는 크게 세 가지 노력이 필요하다.

첫째, 의료시설에서의 의료 관련 감염 관리 노력이 필요하다. 실제로 병원에서 알코올을 활용한 손 씻기 빈도를 높인 결과 MRSA 균혈증이 0%로 낮아졌다는 사례가 있다. MRSA (methicillin-resistant Staphylococcus aureus)는 거의 모든 항생제에 강한 내성을 갖는 악성 세균을 의미한다. 의료시설에서 간단한 손 위생관리와 더불어 개인보호구 착용을 통해 격리 주의(isolation precautions), 접촉 주의(contact precautions) 등 지침을 철저히 준수하는 노력이 필요하다.

둘째, 항생제 사용을 줄이고 의료기관 간 내성균 진료정보 공유 체계를 구축해 가야 한다. 감염병 치료를 위한 항생제의 사용이 역으로 내성균 발생으로 인한 더 큰 위험을 초래한 점을 볼 때 항생제 사용량을 줄이기 위한 적절한 처방 및 사용을 의무화해야 할 것이다. 특히 환자의 항생제 사용량을 모니터링 하고 관리하여 환자에게 나타난 내성균을 파악하고 이에 대한 정보를 의료기관 간 공유할 수 있는 정보공유 체계가 마련되어야 할 것이다.

셋째, 새로운 항생제와 항생물질 개발을 위한 지원이 필요하다. 새로운 항생제의 개발에는 평균 26억 달러의 비용이 소요되며, 투자금 회수에는 약 10년 이상의 시간이 소요된다고 한다. 1980년대 이후 새로운 계열의 항생제 개발이 전무한데에는 이러한 원인이 크게 작용했을 것으로 추정된다. 때문에 항생제의 개발과 사용에는 사회적 비용이 반영된다는 점을 고려한 경제적, 제도적 지원이 필요하다. 특히 항생제 내성 메커니즘에서 자유로워질 수 있는 다양한 의약품의 연구 및 개발을 위한 합리적인 표준 지표 마련과 제도적 지원이 있어야 할 것이다.

III

식욕, 스트레스, 수면, 통증 조절이 가능해진다

김성연 서울대학교 화학부 교수



본능적 행동과 뇌신경회로 메커니즘 규명



15

가. 현황 및 동향

뇌 연구는 인류가 해결해야 할 가장 기대되는 분야인 동시에 아직 풀어가야 할 과제가 많은 분야이기도 하다. 현대 과학이 뇌와 정신에 관한 연구와 이해를 상당히 진전시켰음에도 불구하고 뇌에 대한 많은 질문들이 해결되지 못한 상태로 남아있는 것이다.

뇌는 세포의 수 보다 세포 간 연결의 수가 약 1천 배 이상 많은 복잡계 회로 시스템이다. 뇌가 수행하는 다양한 기능과 작동 원리를 규명하기 위해서는 뇌 신경회로 메커니즘에 대한 연구가 필수적이지만 첨단기술을 자랑하는 오늘날에도 기본적인 생리적 기능과 관련된 메커니즘 조차 아직 제대로 이해하지 못하고 있는 상태이다.

연구자들은 뇌 회로 기능에 대한 연구를 통해 신체적, 정신적 건강 관련 기능을 조절하는 기술을 개발할 수 있는 단서를 찾아갈 수 있을 것이라 기대하고 있으며, 이는 정밀한 질병 치료 표적 및 기능 조절 기술 개발의 기반이 될 것이다.

실제로, 식욕을 조절하는 특정 타입의 뉴런이나 신경회로를 전자약(electroceutical) 등 디지털 치료제의 표적으로 삼거나, 이들의 전사체 분석을 통해 특이적으로 자극하거나 억제할 수 있는 약물을 개발하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 이것이 성공하게 된다면 부작용은 없고, 효과는 높은 약물의 개발과 사용을 통해 신체적, 정신적 건강과 관련된 오랜 숙제들로부터 해방될 수 있을 것으로 예상된다.

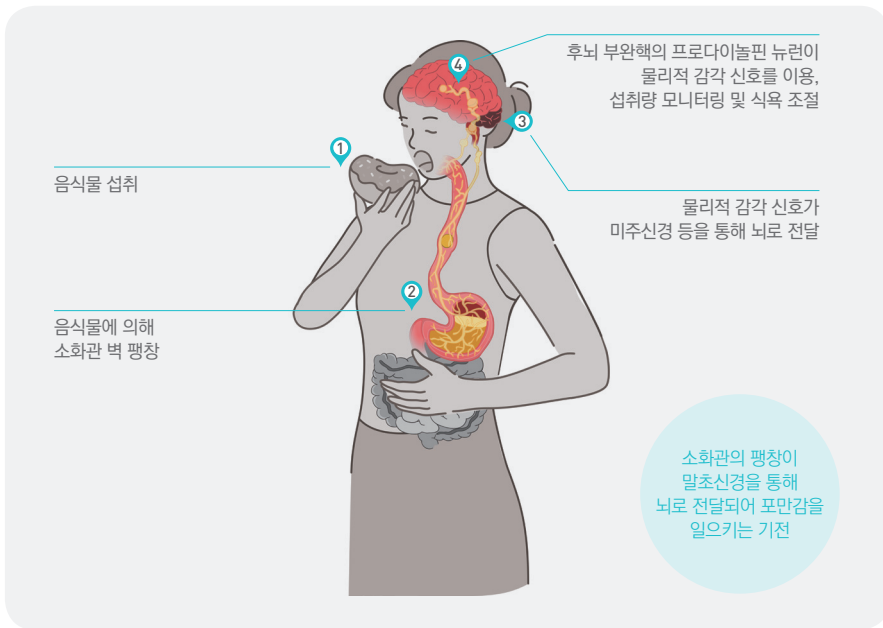
나. 주요 연구내용

사람은 배가 고프면 음식을 먹고, 졸리면 잠을 잔다. 일상적으로 우리가 늘 경험하는 간단한 행위이지만, 생명을 유지해 나가는 데 있어 반드시 필요한 행위이기도 하다. 그리고 이 모두가 뇌신경회로 메커니즘과 관련된 행동들이다. 뇌신경회로 메커니즘을 규명하는 연구의 목표는 신체의 안과 밖에서 오는 상태 및 감각 정보를 받아들이고(input), 여러 갈래의 정보를 통합하여(integration) 적절한 행동 및 생리적 반응을 일으키는(output) 과정을 이해함으로써 뇌의 작동원리를 밝혀 과학적으로 완전하게 설명할 수 있도록 하는 것이다.

이 목표를 달성하기 위해 서울대학교 연구진은 현재 장뇌축(gut-brain axis) 신경회로를 포함하는 뇌와 몸 간의 의사소통(brain-body communication) 메커니즘 연구에 집중하고 있다. 이 연구는 입, 위, 소장, 대장을 비롯한 소화관과 다른 내장 기관들로부터 체내의 생리학적 상태 정보가 뇌로 전달되고, 이 정보가 뇌신경회로에서 처리된 후 다시 각 장기로 신호를 보내 적절한 반응을 일으키는 과정을 규명하는 것이 핵심 내용이다.

특히 연구진은 음식물 섭취 시 소화관을 따라 음식물이 내려가며 발생시키는 물리적 감각이 뇌로 전달되고 포만감을 일으키는 신경 기전을 규명하여 2020년에 Nature誌에 발표한 바 있다. 연구진은 후뇌 ‘부완핵’에서 프로다이놀핀을 발현하는 것으로 특정되는 뉴런 집단이 음식물 섭취 시 활성화되며, 섭취하는 음식이나 음료의 종류나 성분, 온도와 관련 없이 소화관의 물리적 팽창을 모니터링한다는 것을 발견하였다. 이 뉴런 집단을 자극하면 식욕이 80%가량 크게 감소했고, 반대로 억제 시 과식, 과음이 일어나는 것도 확인하였다.

그림 3 물리적 포만감의 장뇌축 신경회로



입과 식도, 위 등에서 감지된 음식물이 닿는 느낌이나 팽창하는 느낌 등 물리적 자극은 밝혀지거나 밝혀지지 않은 신경회로를 따라 각각 전달돼 후뇌의 고립로핵을 거쳐 부안핵에 모인다. 특히 이곳에 있는 프로다인놀핀 유전자 발현 신경세포에 모이는 것이다. 이렇게 모인 신호는 다시 특정 경로를 거쳐 시상하부의 뇌실결핵으로 이동하여 식욕을 억제하는 등 섭식행동을 일으키는 것으로 보인다. 아직 많은 과정이 밝혀져야 한다.

17

이러한 연구는 통합적 생리학(integrative physiology) 접근법을 통해 이루어지고 있다. 즉, 신체의 생리학적 상태를 감지하고, 이를 조절하는 메커니즘을 분자, 세포, 조직, 장기 및 개체 수준에서 상세히, 그리고 전체적 차원에서 이해하고자 하는 것이다.

이를 위해 광유전학(optogenetics), 화학유전학(chemogenetics), 이광자 레이저를 활용한 칼슘 이미징(two-photon calcium imaging) 및 단일 뉴런·양상블 자극(two-photon single-cell stimulation), 단일세포 RNA시퀀싱(single-cell RNA-seq) 등 현대 신경과학의 가장 최신 기술을 모두 사용하고 있다. 또한 생물 조직에서 구조와 분자 정보를 추출하는 기술을 개발하고 응용하여 특정 신경회로의 해부학적 특성을 정밀하게 밝혀내는 연구도 진행 중이다.

다. 미래 전망

2050년경에는 뇌신경계에 의해 조절되는 생리적 반응과 본능적 행동의 신경회로 메커니즘은 대부분 밝혀질 것으로 예상된다. 특히 식욕을 비롯한 다양한 생리적 욕구와 본능적 행동을 매개하는 뉴런들의 구조와 기능을 충분히 이해하고, 이들을 부작용 없이 효과적으로 조절할 수 있는 분자, 세포 수준의 기술 개발이 가능해질 것으로 기대하고 있다.

그렇게 되면 비만과 당뇨병을 비롯하여 인류를 괴롭히고 있는 많은 대사 질환의 치료에 있어 획기적인 전환점이 될 것으로 보인다. 또한 식욕과 갈증, 성욕과 수면 등의 생리적 욕구 및 반응의 조절, 통증과 가려움증과 같은 감각 장애의 치료, 스트레스와 우울증, 공격 성향 등에 대한 부작용은 없고 효과는 높은 약물의 개발이 가능해질 것이며, 뇌의 작동 메커니즘에 대해 물리학, 화학과 같이 정확한 수준으로 많은 부분을 이해할 수 있게 될 것이다.

라. 정책 제언

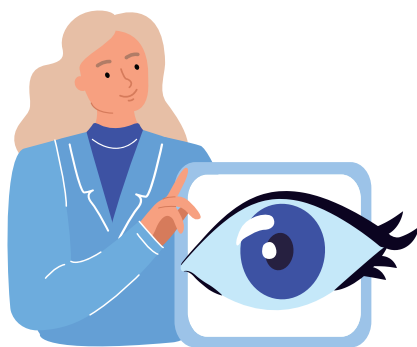
뇌의 근본적 작동 원리를 규명하는 것은 인류가 해결해야 할 중요 난제이자, 미래 국가경쟁력을 좌우하는 핵심 요소이다. 따라서 다른 기초과학 분야와 차별되는 수준의 국가적 지원이 필요하다.

우리나라는 1998년 뇌연구촉진법 제정을 시작으로 뇌 연구 분야에 대한 투자를 지속적으로 이어 왔으나 2020년 뇌과학원천기술개발사업의 일몰 이후 후속 지원사업의 부재로 인해 그동안 쌓아 온 뇌 연구의 기반과 인프라가 크게 위협받고 있다. 주요 선진국들은 뇌 과학 분야에 대규모 연구비를 지속적으로 투자하고 있으며, 목적 지향성 연구 프로그램도 추가로 운영하는 등 그 중요성을 인식하고 국가적 중점 육성 분야로 삼고 있다.

OECD 국가 중 고령화가 가장 빠르게 진행되고 있는 우리나라로서는 뇌 질환 문제 해결을 위한 정부 주도의 뇌 연구 투자 확대가 절실하며, 4차 산업혁명 시대에 인공지능 기술과 미래기술의 진보를 도모하기 위한 차원에서 그 중요성이 더욱 크다고 할 수 있다.

유전적 원인의 실명은 사라진다

김정훈 서울대학교 의과대학 교수



실명 질환 치료에 활용되는 유전자교정 및 세포치료



가. 현황 및 동향

유전자 분석 기술의 발전과 함께 임상적 목적의 유전자 분석은 질병의 진단과 보인자(保因者) 진단, 그리고 신생아 집단 검진 및 약물 유전체 분야 등 다양한 목적으로 활용되고 있다. 보인자란 숨겨져 있어서 나타나지 않는 유전 형질을 지니고 있는 사람이나 생물을 가리킨다. 유전자 분석 기술의 발전과 더불어 유전적 변이를 해결하기 위한 유전자치료, 유전자교정, 세포치료 등 첨단 치료가 빠르게 발전하면서 현실적인 치료의 단계에 접근하고 있다.

체세포 유전자치료의 경우 이미 미국, 영국, 중국에서는 임상시험 신청 및 통과가 이루어지고 있으며, 2017년 12월에 미국의 유전성 망막 질환 치료약 렉스터나(Luxturna)가 미국 FDA에서 승인된 바 있다. 세포치료의 경우 2017년 8월과 10월, CAR-T 세포치료제인 킴리아(Kymriah)와 예스카르타(Yescarta)가 각각 승인되었다.

또한 2020년 노벨화학상 수상자인 제니퍼 다우드나(Jennifer A. Doudna) 교수와 에마누엘 샤르팡티에(Emmanuelle Charpentier)가 연구에 참여한 미국의 유전자 편집기업 에디타스메디슨(editas medicine)에서는 유전자교정을 통해 선천성 흑암시(黑暗視)를 치료하기 위한 임상시험을 진행하고 있으며, 미국과 유럽의 유수의

바이오벤처 및 다국적기업 등이 세포치료와 유전자치료, 그리고 유전자교정 등 새로운 치료의 영역을 개척해 가고 있다.

나. 주요 연구내용

서울대 연구진은 중개연구(translational research) 플랫폼을 바탕으로 망막질환 치료전략 개발에 몰두하고 있다. 특히 저분자화합물, 펩타이드, 단백질, 항체, 나노입자, 유전자치료, 유전자교정, 세포치료 등 메커니즘을 기반으로 하는 치료제 개발과 생체 내 구동에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 여기서 중개연구란 간단히 말해 기초과학의 연구 결과를 실제 현실에서 사용할 수 있도록 연결해주는 연구를 뜻한다. 특히 의학 분야에서 중개연구가 비중있게 다루어지는데 기초연구의 결과가 병원에서 새로운 치료법의 형태로 나타날 수 있기 때문이다.

유전자치료 및 유전자교정은 일반적으로 암이나 유전자에 이상이 있는 유전성 희귀질환을 치료하기 위한 치료법으로 여겨져 왔다. 하지만 연구진은 이런 고정관념을 깨고 세계 최초로 비유전성 퇴행성 질환에서 병적으로 증가하는 유전자를 선택하여 유전자 발현을 억제함으로써 질병을 치료하는 새로운 치료법을 제시했다. 또한, 살아있는 생명체에 직접 유전자치료 및 유전자교정 기술을 적용하여 효율적이며 안전하게 체내 세포의 유전자치료가 가능하다는 점을 입증하는 성과를 거두기도 했다.

다. 미래 전망

유전자치료와 유전자교정, 그리고 세포치료와 관련된 연구는 앞으로도 가속화될 것으로 예상되고 있다. 이미 미국 FDA에서는 현재 약 800개 이상의 유전자 치료와 세포치료에 관한 임상실험이 진행되고 있으며, 매년 200개의 임상실험이 새롭게 시작되어 임상시험용 신약(IND, investigational new drug)이 제안되고 있으며, 오는 2025년까지 연간 10~20개의 유전자 및 세포 치료법이 승인될 것으로 예상하고 있다.

특히 지난 90년대 후반, 항체 의약품 개발이 가속화된 결과, 현재 사용되고 있는 치료의 기반으로 단일클론항체가 주류를 차지하게 된 상황과 유사하게 2050년에는 유전질환과 암질환을 포함한 많은 질환들에서 유전자치료와 유전자교정, 세포치료가 치료의 한 축으로 적용될 것으로 예상된다.

라. 정책 제언

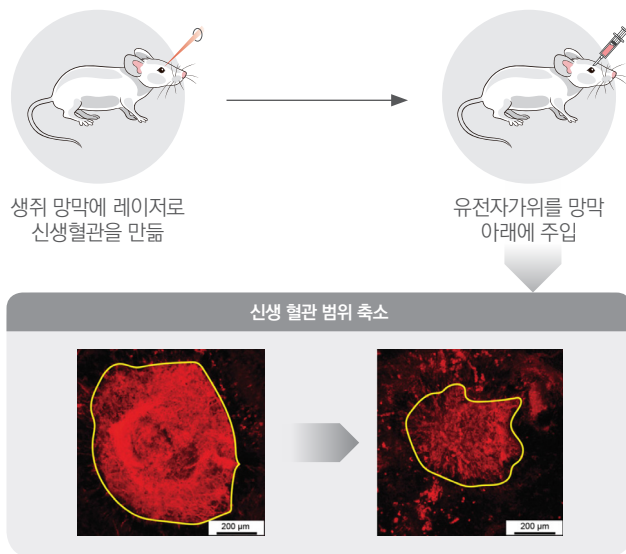
우선 유전자치료 및 유전자교정에 사용되는 벡터의 실용적 개발과 이를 통한 경제성 확보를 위한 R&D 지원이 필요하다. 유전자치료 및 유전자교정에 사용되는 벡터의 개발과 대량 제조법의 확립은 유전자치료 및 유전자교정 실용화에 있어서 중요한 요소이기 때문이다.

또한 세포치료와 관련된 범용적 기술개발을 위한 R&D 지원이 필요하다. 현재 세포치료와 관련된 환자 맞춤형 진료기술이 빠르게 성장하고 있기는 하지만 이에 소요되는 비용은 일반 개개인이 부담하기에는 어려운 수준으로 높은 상황이다. 범용적 기술개발과 이의 실용화는 고비용 문제를 해결해 갈 수 있는 하나의 방안이라 할 수 있다.

마지막으로 기존의 항체 및 합성화합물 치료제와는 다른 접근을 통해 효능 평가와 안전성 확인 등이 필요한 특성을 고려하여 유전자치료와 유전자교정, 그리고 세포치료 관련 사항을 규제하는 기관의 적절한 규정 확립이 필요하며, 특히 성공적인 실용화를 위한 전임상 및 임상에 대한 임상시험수탁기관(CRO, Contract Research Organization) 활성화 등에 대한 정책적 지원이 이루어져야 할 것이다.

21

그림 4 유전자가위를 활용한 실명 유발 노인성 황반변성 치료



노인성 황반변성 질환에 유전자 가위를 망막에 주입해 신생혈관 생성을 억제하는 효과 기대

출처: KM Kim, SW Park, JH Kim, SH Lee, DS Kim, TY Koo, KE Kim, JH Kim and JS Kim (2007) Genome surgery using Cas9 ribonucleoproteins for the treatment of age-related macular degeneration, Genome Research, 27(3), p.419-426



바다를 관측하여 기후변화를 예측한다

김성용 KAIST 기계공학과 교수

해양환경 및 기후변화



가. 현황 및 동향

해양은 인류가 식량자원과 오염물질을 공유하는 공간이다. 해양은 특히 엄청난 식량자원의 보고로 알려져 있다. 해양이 보유한 식량자원은 기후변화에 적응하거나 또는 기후변화에 따라 이동하는 변동성이 상존되어 있으며, 기후변화에 따른 식량자원 변동성에 대한 관심을 바탕으로 관련 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 국경을 넘어 원전 오염수나 기름 유출물, 해양 쓰레기 등 해양오염물이 방출되는 상황을 주제로 하는 연구도 진행되고 있다.

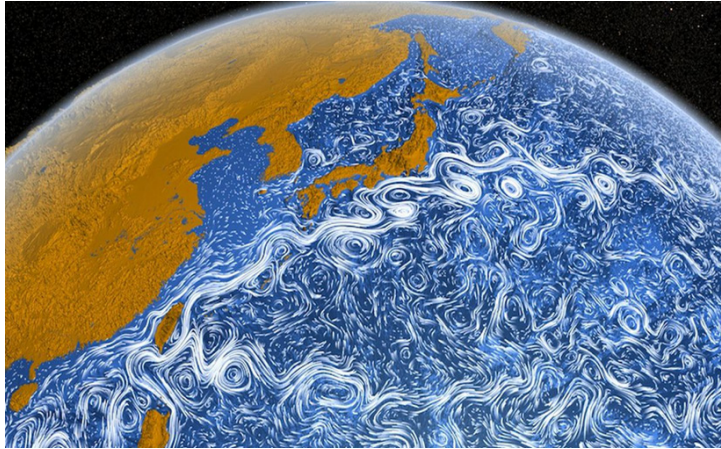
하지만 최근 기후변화 이슈와 더불어 해양에 관하여 중요하게 주목받고 있는 것은 기후변화와 해양의 상관관계에 대한 연구이다. 해양은 대기에 비해 열용량이 높은 특성때문에 기후변화로 인한 열 반응에 있어서 완충작용을 하는 공간이 되고 있으며, 동시에 기후변화의 주요 인자로 간주되고 있다. 때문에 기후변화를 예측하는 연구에서 해양은 중요한 연구대상이 되고 있다. 특히 기후변화로 인한 해수면 상승은 해안에 인접해 있는 연안 커뮤니티의 생존에 매우 위협적인 요소로 작용하기 때문에 기후변화와 관련된 해양 연구는 더욱 큰 관심을 받고 있다.

나. 주요 연구내용

2012년, 미국 항공우주국(NASA)은 인공위성을 이용하여 해양을 관측한 결과를 시각화한 프로젝트를 공개한 바 있다. ‘영원한 바다(Perpetual Ocean)’이라 명명된 위성을 활용하여 약 2년 반의 기간 동안 중규모(지름 100km 이상의 공간규모) 수준에서 발생한 난류운동을 관측하여 수집된 자료를 활용한 프로젝트다. 중규모 해양유체의 변동성과 난류특성에 대한 연구는 인공위성을 활용한 해양관측, 그리고 이를 이용한 이론의 정립과 모델링을 통한 물리현상의 재현 등 과정을 통해 발전해왔다. 특히 기술 발달에 힘입어

인공위성을 활용한 지구 전체의 해수면 및 해수표층 온도변화 모니터링이 가능해졌으며, 이를 이용하여 기후변화의 현재와 미래를 분석하는 기술의 발달도 가능해지고 있다.

그림 5 기울어진 해수면의 압력차에 의해 생기는 지형류의 예



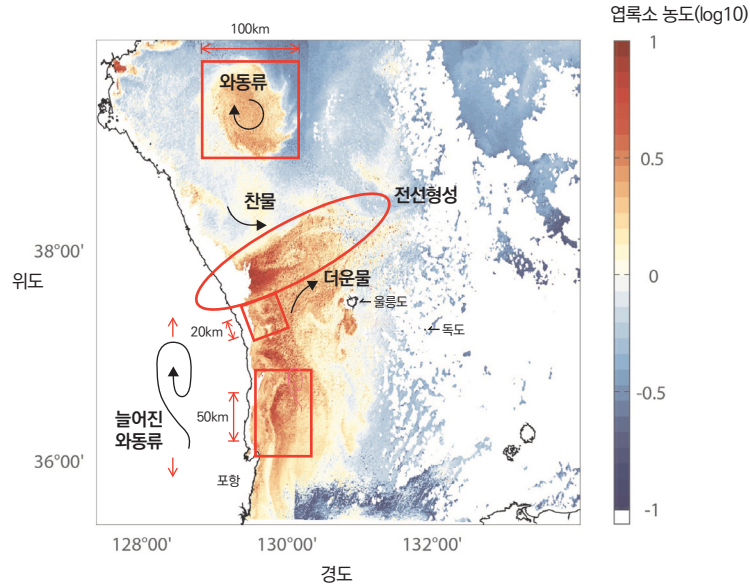
출처: NASA 홈페이지(www.nasa.gov)

아중규모(1~100Km의 공간 규모 및 시간규모) 해양난류에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다. 아중규모 난류는 지구물리유체 및 환경유체 분야에서 큰 주목을 받는 분야이며, 아중규모에서의 해양난류는 연직 혼합을 통해 해양상층부의 열과 질량, 해양 영양분의 수평 및 수직 분포, 적조 및 엽록소의 변성, 해양생물과 생태 환경 보존 등에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 그러나 아중규모 해양유체의 관측은 기존에 사용하던 해양 관측 장비를 이용하기엔 어려운 시공간 규모의 변동성을 가지고 있다. 그 때문에 세계적으로도 관측된 자료가 매우 제한적이거나 주요한 일부 물리현상에만 국한된 간헐적인 현장관측이 가능하다는 한계가 있었다.

하지만 최근 빅데이터 분석을 통해 중규모 보다 더 작고 짧은 시간 규모인 아중규모에서 발생하는 난류의 고유한 특성과 원동력을 발견하는데 성공한 바 있다. 연구팀은 한반도 주위의 해양원격탐사 장비인 연안레이더와 해색(ocean color)위성을 이용하여 최소 1년에서 최대 5년간 관측된 해양표층 아중규모의 해수유동장과 엽록소 농도장에 대한 빅데이터 분석을 통해 아중규모에서 해양에너지가 주입되는 공간 규모 및 메커니즘을 해양관측자료 기반 연구로서는 세계 최초로 규명하였다. 연구팀은 10년 이상의 해양 온도 및 염도 관측 자료를 기반으로 장기적인 변동성에 대한 분석을 통해 향후 기후변동성을 예측할 수 있는 가능성을 제시하는 연구와 더불어 한반도와 미 서해안의 시공간에 대한

표층 해수유동장 관측과 북태평양 해수 유동 순환에 대한 연구를 통해 해양 광역대 오염물의 이동 및 확산에 대한 연구도 진행하고 있다.

그림 6 동해에서 해색위성으로 관측된 아중규모 와동류 및 전선의 예



출처: 김성용 (2019) 커피와 바다 알기 쉽게 풀어낸 바다의 상식, 자유아카데미, p.186

다. 미래 전망

고해상도 해양정보를 통한 연구는 해양에 대한 인류의 더 큰 이해를 가능케 해 줄 것으로 보인다. 앞서 설명한 아중규모 난류는 지구물리유체 및 환경유체 분야에서 큰 관심을 가지는 분야인데, 열과 밀도를 포함한 물리적 혼합과 난류특성에 대한 연구 외에도 해양 영양분이 표층으로 전달되는 과정, 적조와 엽록소의 변성 등 해양생물과 생태 및 환경과 관련된 주요한 물리적 메커니즘의 원인으로 주목받고 있기 때문이다. 아중규모 난류에 대한 이해를 통해 미래에는 기후 변화의 현재를 이해하고, 미래를 예측하는 모델의 개선과 구축에 중요한 기여를 할 것으로 기대되고 있다.

또한 고해상도 지구 시스템 모델링을 인류의 실생활에 적용하는 응용 기술이 개발될 것으로 예상된다. 독립 변수가 변경될 때 종속 변수의 값이 어떻게 변하는지를 설명하는 규칙인 지배방정식(governing equation)이 존재하지 않는 지구 시스템에 대한 다양한 인자들과 그 반응 등에 대한 빅데이터 분석을 통하여 지구 시스템에 대한 이해를 갖춰 감으로써 미래 예측을 위한 응용 기술들이 개발될 수 있을 것이다.

이를 통해 기온, 기후 변화 정보의 정확도를 획기적으로 개선하여 실생활 및 각종 산업 분야에서 활용할 수 있을 것이다. 그리고 지구 시스템을 통해 발생하는 외부력을 인간이 직접적으로 통제하기는 어려우나, 인간을 둘러싼 모든 환경 정보를 제공할 수 있게 됨으로써 인간에게 미치게 될 영향들을 간접적으로 통제하고 제어할 수 있게 될 것으로 기대하고 있다. 아울러 이산화탄소 감소 기술의 개발 및 기후 변화 강도의 제어 기술을 개발하거나 국방 및 안보와 관련된 환경 정보로의 연계 가능성도 기대할 수 있다.

또한 무인선과 무인정에 태양열 에너지 및 파력 에너지를 이용한 추진 장치를 탑재하여 해양환경의 정화 및 자원을 재활용할 수 있는 로봇의 운용도 가능해질 것으로 보인다. 다수의 무인선을 함대로 구성하여 운용하는 기술을 활용하는 한편 이들을 근 실시간 해양정보 취득을 위한 개별 장비들로 활용함으로써 전 지구적 해양 관측에도 활용할 수 있게 되는 것이다.

그리고 우리가 공상과학영화 속에서 보던 인류의 수중 도시 구축도 예상해 볼 수 있다. 태양광은 보통 수심 100m 깊이까지 침투할 수 있으며, 전기분해 및 진일보된 산소 추출기술을 활용하여 물과 해수로부터 산소를 공급 받아 인간이 거주할 수 있는 대기환경을 가진 수중 구조물을 건설하여 운용하고, 수산 자원의 개발 및 응용을 통한 식량자원 확대 등도 기대해 볼 만하다.

라. 정책 제언

해양환경을 비롯한 환경이 인류에게 미치는 영향은 그 속도가 매우 느리고, 때론 상당히 간접적으로 느껴질 수 있다. 하지만 그 영향이 인류에게 직접적인 영향으로 다가올 때는 이미 상황이 심각한 수준으로 전개된 상태이며, 대응하기엔 매우 늦은 상황이 발생할 수 있다. 때문에 인간을 둘러싼 자연과 환경의 가치와 중요성에 대한 이해와 교육을 해 가야 할 것이다.

특히 물리, 화학, 생물에만 치중된 경향의 교육에서 벗어나 해양환경과 기후에 대한 이해를 높일 수 있는 지구과학에 대한 교육을 강화할 필요가 있다. 그리고 그 교육은 궁극적으로 인류의 삶과 긴밀히 연결된 결과물과 과학기술 발전의 이면에 누적된 부작용을 해결할 수 있는 정책, 그리고 이를 위한 부처 간 공조 및 사회적 합의를 유도해 갈 수 있는 교육을 통해 이루어져야 할 필요가 있다.

마지막으로 해양환경의 정화 및 자원을 재활용할 수 있는 로봇 운용 기술 개발을 위한 정부의 지원과 관련 분야 육성 정책도 필요할 것이다.

데이터 조각으로 미래기술을 예측한다

이성주 서울대학교 산업공학과 교수

빅데이터와 인공지능 기반의 과학기술 의사결정 지원



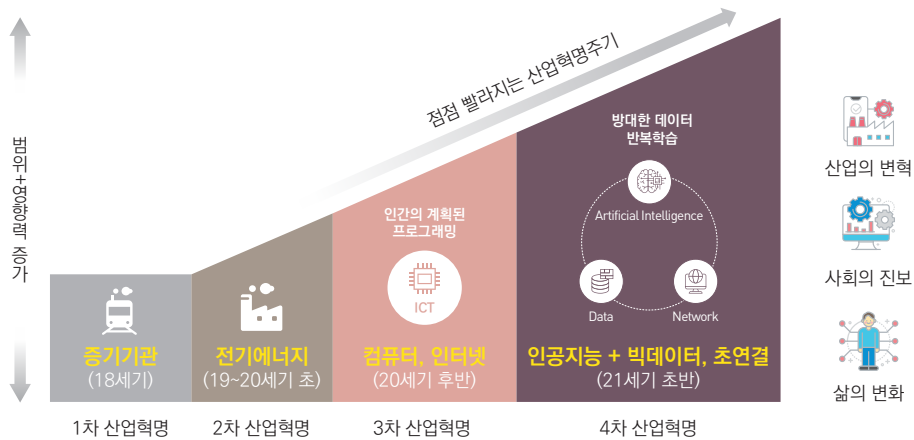
가. 현황 및 동향

과학기술의 수준에 따라 국가나 기업의 경쟁력이 좌우되는 혁신 중심의 시대에 접어들었다. 과학기술의 발전 속도와 복잡성 또한 점점 커지고 있는 흐름 가운데 과학기술의 동향을 이해하고 미래를 예측함으로써 과학기술과 관련된 의사결정을 지원하고자 하는 연구가 활발히 진행 되고 있다. 특히 현재와 미래 산업변화에 영향을 줄 것으로 보이는 미래기술들을 예측하려는 노력이 지속되고 있다.

과학기술과 관련된 의사결정을 위해서는 ‘전문가 통찰(Human Intelligence)’과 ‘데이터 분석(Data Intelligence)’이 함께 활용된다. 전문가 통찰 영역에서는 전문가들의 의사결정 과정을 지원하는 방법들이 연구되고 있으며, 데이터 분석 영역에서는 의사결정을 지원할 수 있는 데이터 원천을 발굴하고 최신의 빅데이터 및 인공지능 분석 기법을 통해 가치 있는 시사점을 도출하기 위한 방법론이 개발되고 있다.

특히 과학기술 동향 분석에 있어서 기술문서(특허, 논문 등)는 기술수준과 혁신활동을 분석할 수 있는 신뢰할만한 정보 원천 중 하나로, 기술문서 분석을 통해 미래를 예측하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 최근에는 기술문서의 텍스트와 도면 데이터까지 분석함으로써 전 세계 기술 동향에 대한 심층분석이 가능해지고 있으며, 이를 통해 유망기술이나 융합기술과 같이 성장 가능성이 높은 분야를 발굴하는데 활용할 수도 있는 것이다.

그림 7 산업혁명의 변화와 영향력 비교



출처: 4차산업혁명위원회 (2019) 재구성

나. 주요 연구내용

본 연구진은 빅데이터와 인공지능을 활용하여 과학기술과 관련된 의사결정의 품질과 정확도를 높이기 위한 연구를 진행하고 있다. 거시적 수준에서는 미래예측에 관한 연구를 수행하고 있으며, 미시적 수준에서는 전략의 수립에 대한 연구를 진행하고 있다.

우선, 미래예측을 위한 연구에서는 기술과 시장을 설명해 줄 수 있는 다양한 데이터를 발굴하고 이를 연계하여 미래의 유망기술을 조기에 감지하고 시장의 잠재된 수요를 파악할 수 있는 방법을 연구하고 있다. 미래예측은 과학기술 관련 의사결정에 있어서 매우 중요한 활동 중 하나이다. 특정분야 과학기술의 발전이 앞으로 우리의 삶에 어떤 영향을 미칠 것인지, 국가의 경쟁력을 높이기 위해서는 어떤 분야의 과학기술을 육성해야 하는지 등에 대한 의사결정에 있어서 미래예측은 필수적인 요소이기 때문이다. 이를 위한 연구 과정에는 빅데이터와 인공지능이 미래예측의 고도화에 크게 기여하고 있다.

다음으로 기술개발과정을 지원하기 위한 체계적인 절차 및 과학적 접근방법을 개발하고 있다. 특히 데이터를 중심으로 한 분석을 통해 새로운 기술에 대한 아이디어를 자동적으로 생성되게 하고, 일반적인 기술진화의 패턴을 도출하여 신기술 개발에 활용할 수 있도록 한다. 그리고 기술융합의 방향을 파악하여 국가와 기업 등의 혁신활동을 촉진시키는 것이 목적이다. 이 과정 속에서 전문가와 인공지능이 효과적으로 상호작용할 수 있는 프로세스를 개발 중이다.

표 1 인공지능의 혁신과정

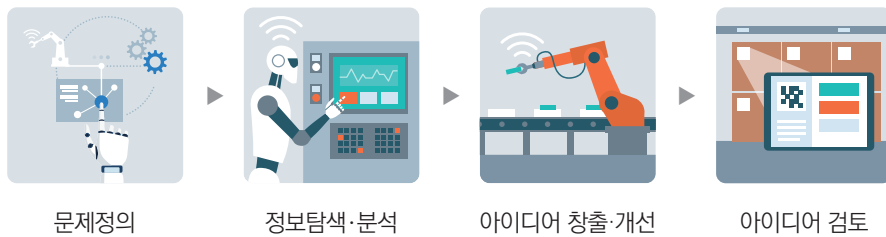
		혁신과정에서의 인공지능	
		아이디어 발전	아이디어 창출
혁신에의 장애물	정보분석 제약	SI는 아이디어를 발전시키는데 필요한 정보를 더 많이 찾아 평가할 수 있도록 도와줄 수 있음	SI는 새로운 아이디어 창출에 사용되는 문제, 기회, 위험을 더 많이 인식할 수 있도록 도와 줄 수 있음
	정보수집 제약	SI는 창의적이고 모험적인 아이디어를 광범위하게 찾고 평가할 수 있도록 도와줄 수 있음	SI는 더 창의적이고 모험적인 문제, 기회, 위험을 인식하고 도출해 새로운 아이디어 창출을 도와 줄 수 있음

출처: Haefner et al. (2021) 재구성

다. 미래 전망

연구진은 ‘미래의 발명가는 AI가 될 것’이라는 도발적인 전망을 바탕으로, 빅데이터와 AI가 정보처리와 데이터분석 범위의 제약을 깨고 과학기술 분야의 의사결정 과정과 결과물의 도출을 크게 개선할 것으로 전망했다. AI를 활용하여 기존 기술의 권리를 침해하지 않으면서, 동시에 가치 있는 기술을 도출하며 더 나아가 AI가 스스로 특허명세서를 작성하는 수준까지 기대한다는 의미이다. 이와 관련하여 AI를 통해 개발된 기술의 발명자가 누구인가에 대한 논의도 시작되고 있다.

그림 8 인공지능의 응용

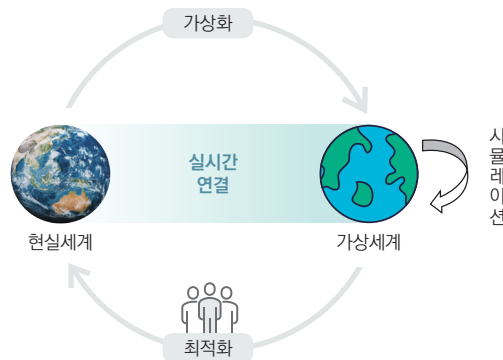


또한 연구개발 아이디어의 창출은 주로 AI를 통해 가상으로 진행되며, 물리적 공간에서는 아이디어에 대한 실제 검증 위주의 연구개발이 이루어질 수 있음을 예측하고 있으며, 특히 과학기술분야의 의사결정을 지원하는 과정에서 AI뿐만 아니라 디지털트윈의 활용이 활성화될 것으로 전망하고 있다. 디지털트윈은 컴퓨터의 가상공간과 현실 속 물리공간을 연계하고, 현실에서 발생 가능한 상황을 컴퓨터의 가상공간 속에서 시뮬레이션 한다는 개념이다. 즉, 실제 세계에서의 물리적 생산물과 가상공간에서의 가상 생산물, 그리고 이 둘을 연결한 데이터를 활용하여 가상환경 속에서 실재하는 물리적 환경의 정보를

파악하고 예측할 수 있도록 하는 것이 디지털트윈의 핵심이다. 과학기술은 그 복잡성으로 인해 특정 의사결정에 따른 결과를 예측하기가 어렵다는 한계가 있었으나 디지털트윈을 활용할 경우 이러한 한계의 극복에 큰 도움이 될 것으로 예상된다.

나아가 디지털트윈은 과학기술의 활용 과정에서도 활발하게 적용될 것으로 보인다. 예를 들어, 바이오 분야의 연구를 위한 메디컬 디지털트윈은 가상 인체를 구현하여 기초연구와 기술개발을 위해 다양한 실험을 수행할 것으로 기대를 모으고 있다. 메디컬 디지털트윈을 통해 펼쳐질 새로운 미래상을 전망해 보면, 우선 가상 인체를 통해 나에게 발생할 수 있는 다양한 질환의 예측과 진단이 가능하며, 새로 개발한 약물을 가상 인체를 통해 임상실험함으로써 그 결과를 예측할 수 있게 될 것이다. 또한 수술 전에 인체 내부 정보를 3D로 가상화하여 의료진이 시뮬레이션을 수행 할 수 있게 될 것으로 기대된다.

그림 9 디지털 트윈(Digital-Twin)



라. 정책 제언

과학기술 현장에는 다양한 성격의 DB가 구축되어 있지만, 서로 연계되지 않은 채 독자적으로 존재하고 있는 경우가 대부분이다. 또한 공공데이터를 개방하고 있다고는 하지만 현장에서는 여러 이유로 데이터에 대한 접근을 제한하고 있다.

따라서 향후 증거기반의 과학기술 및 산업기술 정책이 수립되기 위해서는 잠재적 활용 가능성이 높은 데이터를 다양한 연구자들이 분석하여 볼 수 있도록 제공하여야 한다. 또한 데이터의 품질과 신뢰성을 높이고 이를 검증하기 위한 방안이 마련되어야 할 것이다.



'젊은 과학자의 눈으로 바라보다, 과학기술 2050'은 우리 대한민국에 과학기술의 씨앗이 뿌려진 지 100여 년이 되는 2050년을 바라보면서 미래에는 어떤 과학기술이 구현되며, 우리의 삶은 어떻게 변하게 될지를 예측해 보고, 새로운 30년을 준비해 가기 위한 취지로 발간되었다.

보고서에서 제시한 6가지의 미래 과학기술과 동향은 실현 불가능한 이야기가 아니라 우리와 미래세대가 맞이하게 될 가까운 미래의 이야기다. 대한민국 과학기술계를 선도해가게 될 젊은 과학자들이 가진 시각과 새로운 발상을 통해 이러한 기술들이 인류의 삶을 어떻게 변화시킬지 예측하고, 이에 대한 이해를 바탕으로 우리의 삶의 모습에 대한 고민과 대응을 해 가는 것은 큰 의미가 있다.

이번 발간된 보고서를 통해 국가 과학기술정책을 만들어 가는 관계자들뿐만 아니라 우리 대한민국의 미래를 이끌어 갈 청소년들, 그리고 국민들에게 작은 관심과 흥미를 주는 동시에 미래에 대한 새로운 기대를 가져다줄 수 있길 바란다.



차세대리포트

2018 젊은 과학자들을 위한 R&D 정책은 무엇인가(上)
젊은 과학자들을 위한 R&D 정책은 무엇인가(下)
과학자가 되고 싶은 나라를 만드는 방법
영아카데미, 한국 과학의 더 나은 미래를 위한 엔진
10년 후 더 건강한 한국인을 위해 필요한 과학기술은 무엇인가?

2019 머신러닝, 인간처럼 보고 생각하고 예측하라
수소사회, 과학기술이 만들어가는 미래
양자기술, 과학은 끝없이 증명할 뿐이다

2020 뉴로모픽칩, 인간의 뇌를 담은 작은 반도체
대학의 미래, 젊은 과학자의 시선으로 바라보다
암과의 전쟁, 정복을 향한 꿈의 치료법
디지털 헬스케어, 건강관리의 새로운 패러다임

한국과학기술한림원은,

대한민국 과학기술분야를 대표하는 석학단체로서 1994년 설립되었습니다. 1,000여 명의 과학기술분야 석학들이 한국과학기술한림원의 회원이며, 각 회원의 지식과 역량을 결집하여 과학기술 발전에 기여하고자 노력해오고 있습니다. 그 일환으로 기초과학연구의 진흥기반 조성, 우수한 과학기술인의 발굴 및 활용 그리고 정책자문 관련 사업과 활동을 펼쳐오고 있습니다.

한림석학정책연구는,

우리나라의 중장기적 과학기술정책 및 과학기술분야 주요 현안에 대한 정책자문 사업으로 한국과학기술한림원 회원들이 직접 참여함으로써 과학기술분야 및 관련분야 전문가들의 의견을 담고 있습니다. 한림연구보고서, 차세대리포트 등 다양한 형태로 이루어지고 있으며 국회, 정부 등 정책 수요자와 국민들에게 필요한 정보와 지식을 전달하기 위하여 꾸준히 노력하고 있습니다.

한국과학기술한림원 더 알아보기

 홈페이지
www.kast.or.kr

 블로그
kast.tistory.com

 포스트
post.naver.com/kast1994

 페이스북
www.facebook.com/kastnews





KAST 한국과학기술원
The Korean Academy of Science and Technology

(13630) 경기도 성남시 분당구 돌마로 42

Tel 031-726-7900 **Fax** 031-726-7909 **E-mail** kast@kast.or.kr



ISSN 2635-716X