

안녕하세요
미래다!

한국공학한림원 연구보고서 15-01-03

2035년에 도전 한다

- 미래도전기술 20 -



2035년에 도전한다
- 미래도전기술 20 -

머리말

세계적 석학과 리더들은 이구동성으로 앞으로 다가올 미래에 우리가 그동안 경험해 보지 못한 엄청난 변화가 일어날 것으로 예견하면서, 이 변화에 대처하지 못하면 어느 국가나 기업도 생존하기 힘들 것이라는 위기의식 속에 선제적으로 보다 적극적인 대응을 주문하고 있다.

한국공학한림원은 창립 20주년을 맞이하여 국민들에게 미래 한국의 희망 메시지를 전달하고, 후속 세대가 대격변의 미래에 보다 적절히 대처할 수 있게 하기 위하여 미래 도전기술 발굴 프로젝트를 진행하였다.

이를 위해 전문가들로 태스크포스팀(위원장 : 주영섭 서울대 초빙교수)을 구성하여 국내외에서 발표된 미래기술을 분석검토하고 수차례의 회의를 거쳐 다수의 후보기술을 발굴하였다. 후보기술 선정기준은 우리 사회의 미래 메가 트렌드인 성장하는 사회, 스마트한 사회, 건강한 사회, 지속가능한 사회, 안전한 사회를 실현하는 데 기여할 기술로서, 2035년 기준으로 시장 성장성 및 파급효과가 크고 우리나라 기술혁신 역량 및 실현 가능성이 큰 기술이다.

이후 선정된 후보기술에 대하여 한국공학한림원 회원 전체를 대상으로 하는 설문조사를 진행하였으며, 공학 분야 최고 석학들의 설문 의견을 취합하여 최종기술 20개를 선정하였다.

선정된 20개의 기술은 20년 후 대한민국의 새로운 먹거리 산업으로서 경제성장의 원동력이 되고, 미래 사회를 변화시킬 도전기술이 될 것이다. 하지만 이 기술들의 실현과 성공을 위해서는 부단한 노력이 필요하다.

새로운 먹거리 산업은 세상에 없던 돌연변이가 어느 날 갑자기 하늘에서 떨어지는 것이 아니다. 우리가 잘해왔던 것들, 우리가 잘할 수 있다고 평가

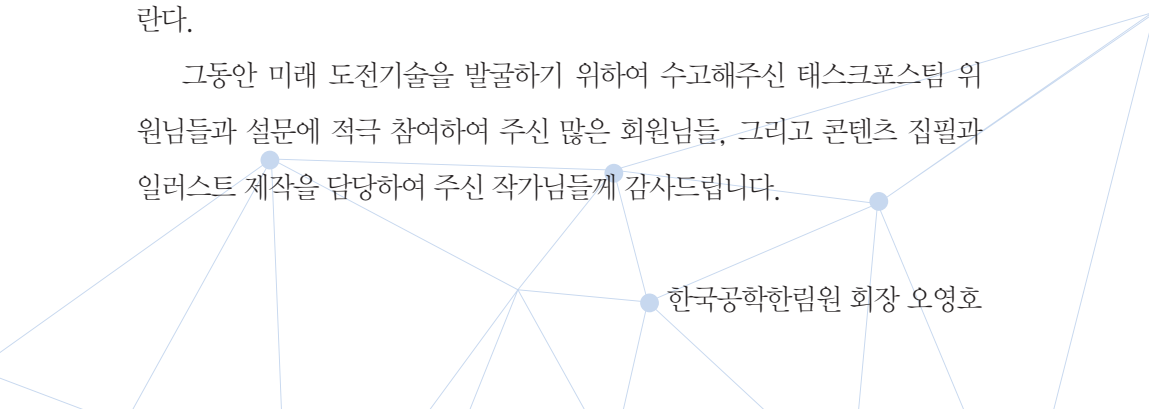


받은 것들에 새로운 기술과 미래 수요를 접목할 때 탄생하는 것이다. 지금까지 한국 경제를 든든하게 이끌어온 자동차·조선·반도체·디스플레이 등의 주력산업에 제조와 서비스가 긴밀하게 합쳐진 정보통신산업(ICT)을 융합시켜야 한다. 이를 통해 효율성 제고는 물론 새로운 차원의 가능성, 즉 차세대 성장엔진을 찾는 데 온 힘을 기울여야 한다. 급속한 ICT 패러다임 변화의 물결 속에 잠겨가고 있는 한국호를 구출하기 위해 사물인터넷, 클라우드, 빅데이터, 모바일, 소셜, 위치기반 등 새로운 기술플랫폼에 기반을 둔 비즈니스 모델을 구상하고 혁신을 주도하는 산업구조로 전환해나가야 할 것이다. 이를 위해서 투자의 올바른 선택과 집중을 통해 끊임없는 기술혁신을 이루고 실용화와 산업화로 연결시켜야 한다. 좀 더 체계적이고 장기적인 관점에서 인재양성을 서두르고 미래 발전상과 산업적 수요를 읽어내기 위한 기술예측도 게을리 해서는 안된다. 공격적 연구개발(R&D) 투자·지원 방식과 실천전략을 마련하고 민간과 공공이 함께 박자를 맞춰 시너지를 내야 함은 물론이다.

옛것을 통해 오늘을 사는 지혜와 깨달음을 얻듯 축적된 경험과 급속한 환경변화, 그리고 창조적 혁신이라는 재료를 잘 버무리고 다듬어 우리의 미래를 설계해야 한다. 대표 산업군의 부족, 중국의 급부상 등 도전과제에 당면한 한국 경제가 새로운 먹거리를 찾아 지속 가능한 성장을 이어가기를 바란다.

그동안 미래 도전기술을 발굴하기 위하여 수고해주신 태스크포스팀 위원님들과 설문에 적극 참여하여 주신 많은 회원님들, 그리고 콘텐츠 집필과 일러스트 제작을 담당하여 주신 작가님들께 감사드립니다.

한국공학한림원 회장 오영호





TF 명단

위원장

주영섭 서울대학교 초빙교수

위 원

손병호 KISTEP 경영지원단장

유병규 국민경제자문회의 지원단장

이세준 국가과학기술자문회의 지원단장

장석인 산업연구원 선임연구위원

한기인 산업기술진흥협회 이사

간 사

김종훈 공학한림원 선임

CONTENTS

성장하는 사회

- ❖ 무인항공기 기술 _ 010
- ❖ 포스트실리콘기술 _ 016
- ❖ 디스플레이 기술 _ 022
- ❖ 서비스 로봇기술 _ 028
- ❖ 유기소재기술 _ 034

스마트한 사회

- ❖ 미래 자동차 기술 _ 042
- ❖ 스마트도시기술 _ 048
- ❖ 입는(wearable) 기술 _ 054
- ❖ 정보통신 네트워크기술 _ 060
- ❖ 데이터 솔루션 기술 _ 066





건강한 사회

- ❖ 분자진단기술 _ 074
- ❖ 사이버 헬스케어 기술 _ 080
- ❖ 맞춤형 제약기술 _ 086
- ❖ 맞춤형 치료기술 _ 092

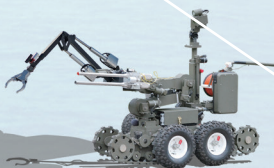
지속가능한 사회

- ❖ 온실가스저감기술 _ 100
- ❖ 원자로기술 _ 106
- ❖ 신재생에너지기술 _ 112
- ❖ 스마트그리드기술 _ 118



안전한 사회

- ❖ 식량안보기술 _ 126
- ❖ 인체인증기술 _ 132







성장하는 사회

- ❖ 무인항공기 기술
드론이 생활방식을 확 바꾸어 놓는다
- ❖ 포스트실리콘기술
무엇이 실리콘 이후 시대를 지배할 것인가
- ❖ 디스플레이 기술
세상을 생생하게 입체적으로 보여준다
- ❖ 서비스 로봇기술
1가구 1로봇 시대가 온다
- ❖ 유기소재기술
종이처럼 돌돌 말리는 텔레비전 나온다



드론이 생활방식을 확 바꾸어 놓는다

2035년 우리나라의 무인항공기 UAV (unmanned aerial vehicle)

기술 수준이 미국과 이스라엘에 버금가게
발전될 것으로 전망된다.

2015년 우리나라는 세계 7위 정도의 기술을
확보하고 있으나 무인항공기의 핵심인
정보통신기술이 세계 최고 수준이기 때문에
그런 전망이 가능한 것이다.

무인항공기는 사람이 탑승하는
유인항공기와 달리

모형비행기처럼 지상에서 조종사에 의해
무선으로 원격 제어되는
항공기이다.

무인항공기는 초창기에 ‘원격조종 운송기’라는 뜻의 RPV^{remotely piloted vehicle}라고 불렸으며 훗날 ‘장난감 비행기 같다’는 의미의 드론^{drone}으로 더 많이 알려져 있다.

DRONE

무인항공기는 군사용으로 처음 개발됐으나 민수용으로 활용 범위가 확대되고 있다. 군사용의 경우 제1차 세계대전 이후 대공포와 공중전 훈련을 위한 표적기^{標的機}로 주로 사용되었지만, 2차 대전 이후부터 정찰, 공격, 기만 등 다양한 군사훈련에 투입되었다.

RPV는 베트남 전쟁(1956~1975), 레바논전쟁(1982~1985), 1991년 걸프 전쟁에서 그 효용성이 입증됨과 아울러 경제적 측면에서도 유리했기 때문에 미래전의 주역으로 각광을 받게 되었다. 예컨대 베트남 전쟁에서 미국 공군은 6백 대 이상의 항공기와 6백 명 이상의 조종사를 잃었다. F-4 팬텀기 한 대가 당시 약 80억 원이고, 조종사 한 명 양성 비용은 약 2억 5천만 원이었다. 그러나 RPV 한 대는 8천만~3억 원에 불과했다. 따

라서 미국 정부는 무인항공기 개발에 막대한 예산을 투입하게 된 것이다.



미국의 대표적인 무인항공기는 프레데터 Predator, 글로벌 호크 Global Hawk, 리퍼 Reaper와 같은 대형 항공기이다. 중거리 중저 고도용인 프레데터는 정찰 및 감시용으로 설계되었지만 2001년 10월 미국이 9·11 테러의 배후로 지목한 알카에다를 응징하기 위해 아프가니스탄을 공격할 때 프레데터에 미사일을 탑재하여 탈레반 군을 폭격함에 따라 무인전투기UCAV (unmanned combat aerial vehicle) 시대가 열리게 되었다.

오늘날 적어도 50여 개 국가에서 무인항공기가 개발되고, 70여 개 나라에서 운용하고 있는 것으로 추정된다. 이 중에서 미국, 영국, 독일, 러시아, 스웨덴, 중국, 이란, 이스라엘 등은 무인항공기를 자력으로 개발하고 있다. 북한도 무인항공기를 실전 배치한 것으로 알려졌다.

우리나라는 무인항공기 개발에 막대한 투자를 한지 오래이다. 국방과 학원연구소와 한국항공우주산업이 개발한 최초의 국산 무인정찰기인 송골매(RQ-101) 수십 대가 2002년부터 육군의 군단급 부대에 실전 배치되었다. 송골매가 국내에서 군용으로 개발된 유일한 무인기이지만, 육군과 해

병대의 대대급 및 사단급 무인기도 개발되고 있다. 또한 스텔스 무인전투기도 멀지 않아 개발될 전망이다. 이러한 군용 무인기 개발로 15~20년 후에는 자주국방에 기여하는 무인기 전력을 보유함은 물론 2035년 전후에 우리 고유의 모델로 세계 무인 항공기 시장을 선도하는 선진국 대열에 합류할 것으로 예상할 수 있다.

한편 무인항공기는 민수용으로도 활용 범위가 확대일로에 있다. 국내에서 제작된 무인헬리콥터, 특히 프로펠러가 4개 이상 달린 멀티콥터가 농약 살포 같은 무인 방제, 철책이나 해안선의 감시 및 정찰, 산불 감시, 우범 지역 감시, 고정밀 항공 촬영 같은 임무를 수행하고 있다. 해외의 경우 2007년 11월 에어로존데 *Aerosonde*가 허리케인에 접근해 기상 자료를 실시간으로 전송하여 태풍 연구에 크게 기여했다. 1992년 호주가 개발한 에어로존데는 날개 길이 3m, 무게 15kg으로 최대 7,000km까지 3~5일간 비행이 가능한 무인항공기이다. 2010년 아이티 대지진이 일어났을 때 드론이 고립된 주민의 대피로를 확보하는 데 결정적인 역할을 했다. 2011년 동일본 대지진 때는 방사능 누출로 사람의 접근이 불가능한 상황에서 드론으로 피해 규모를 파악할 수 있었기 때문에 신속한 대응이 가능했다.

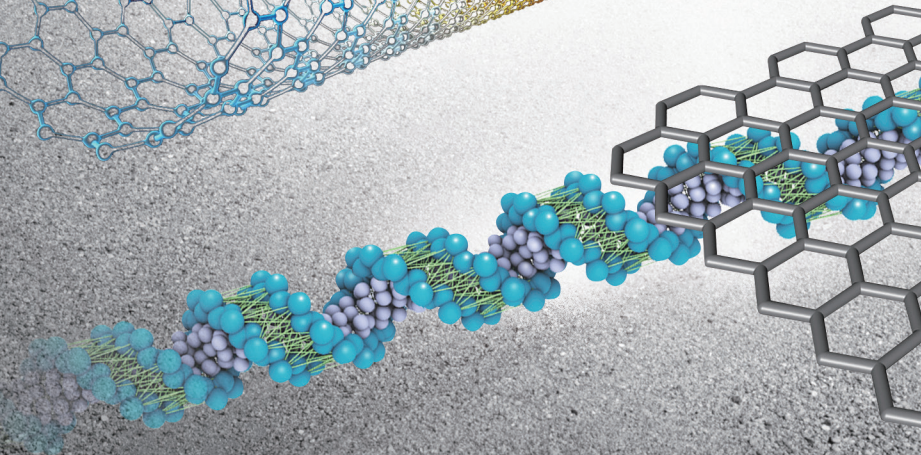
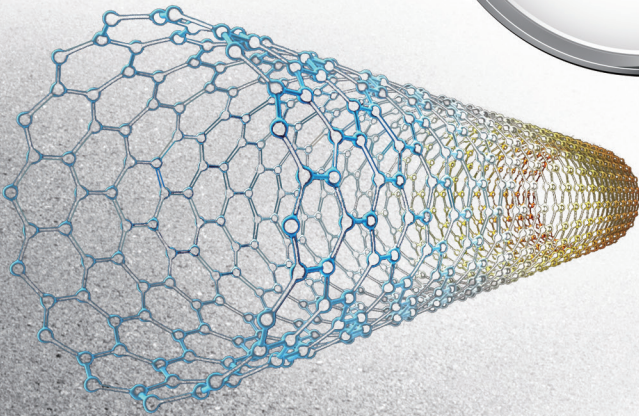
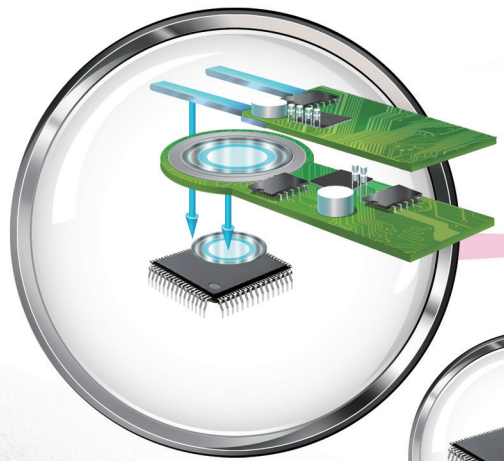
2013년 12월 미국의 인터넷 서점인 아마존은 물류센터 반경 16km

이내의 고객에게 트럭이 아닌 드론으로 최대 2.3kg의 물건을 30분 내에 배송하는 프로젝트를 추진할 계획이라고 발표했다. 이처럼 상업용 드론은 주문과 거의 동시에 물건을 받아보는 택배 시대를 개막하고, 물류 측면에서 궁극적으로는 모든 개인 주택이 드론의 공항 역할도 하게 된다.

2014년 3월 페이스북은 드론을 하늘에 띄워 인터넷을 경험하지 못하는 세계 인구 10%에게 무선으로 인터넷 서비스를 제공하는 구상을 발표했다. 아프리카 오지나 히말라야 산골의 하늘에 주파수 중계 장치가 탑재된 드론을 띄워 인터넷을 연결한다는 것이다. 2015년 7월 완성된 이 드론은 태양광 에너지로 최장 3개월간 비행할 수 있다.

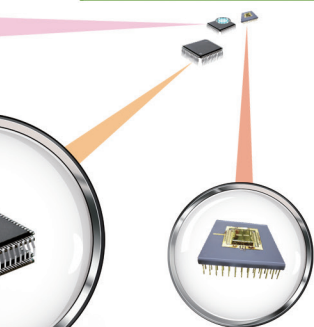
무인항공기는 전쟁터에서 사람을 무자비하게 살상하는 한편으로 인간 생활의 거의 모든 분야에서 효율을 높이는 혁신 수단이 되고 있다. 요컨대 드론의 활용 가능성은 무궁무진하고 그 시장은 예상을 불허할 정도로 급성장하는 추세이다.

우리나라는 무인항공기 기술의 핵심인 정보통신과 정밀기계 분야에서 세계적인 수준이므로 2035년 국제 시장에서 유리한 위치를 선점할 것임에 틀림없다.



무엇이 실리콘 이후 시대를 지배할 것인가

1 cm



2035년에도 무어의 법칙 Moore's Law 은 유효할 것인가.

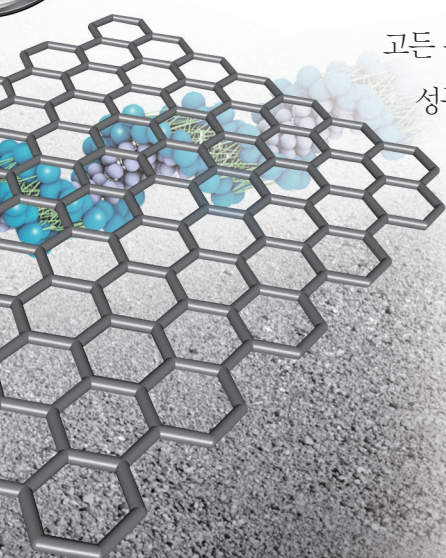
인류사회의 지속적인 경제 발전과 관련해서
아마도 이만큼 치명적인 질문도 흔치 않을 것 같다.

미국의 반도체 기업인 인텔을 창업한
고든 무어 Gordon Moore 는 1965년 '집적회로 칩 integrated - circuit (IC) chip

성능이 12개월마다 두 배 속도로 늘어날 것'이라고
예측했다. IC 칩에 들어가는 트랜지스터의 수가
12개월마다 두 배씩 증가한다는 뜻이다.

무어는 10년 뒤인 1975년에 'IC 칩이
18개월마다 두 배씩 성능이 향상된다'고

수정한 것으로 언론에 보도되었으나
그는 24개월로 발표했다고 주장하기도 했다.



요컨대 무어의 법칙은 ‘새로이 개발되는 마이크로칩 microchip에 집어넣을 수 있는 트랜지스터의 수가 18~24개월마다 약 2배씩 늘어난다’는 의미이다.

무어가 실리콘 반도체 칩 기술의 발전 속도를 새롭게 예측한 이후 2015년 현재까지 40년 동안 무어의 법칙이 정확하게 들어맞은 것으로 평가되고 있다.

무어의 법칙에 따라 마이크로칩의 성능이 꾸준히 향상됨에 따라 컴퓨터 혁명이 실현되어 인류는 정보사회의 번영을 누리고 있다. 하지만 실리콘 반도체 기술의 본질적인 한계로 무어의 법칙이 머지않아 종말을 맞게 될 것이라는 우려의 목소리도 만만치 않다. 무어의 법칙이 종료된다는 것은 20세기 후반부터 세계 경제 성장의 견인차 역할을 해온 컴퓨터 산업이 발전을 멈추고 제자리걸음을 할 수밖에 없다는 뜻을 함축하고 있다. 컴퓨터 산업의 발전이 정체되면 다른 산업도 성장을 멈추고 결국 실업자가 양산되어 인류사회는 깊은 혼돈에 빠져들게 될 것이다. 한마디로 무어의 법칙의 종말은 과학기술 분야에만 국한되지 않고 인류사회 전체에 엄청난 재앙을 몰고 올 역사적인 사건이 될 것임에 틀림없다.

미국의 물리학자인 미치오 카쿠 Michio Kaku는 2011년에 펴낸 「미래의 물리학 Physics of the Future」에서 무어의 법칙이 붕괴될 수밖에 없는 이유를 두 가지 언

급하였다. 첫째, 손톱만한 실리콘 기판 위에 수천만 개의 트랜지스터를 새겨 넣음에 따라 끝내는 과도한 열이 발생하여 기판을 태워버릴 수 있다는 것이다. 둘째, 트랜지스터의 크기를 계속해서 줄이는 일은 물리학적으로 한계가 있기 때문에 영원히 지속될 수 없다는 것이다. 현재 기술로 기판에 새길 수 있는 트랜지스터의 크기는 원자의 30배 정도이다.

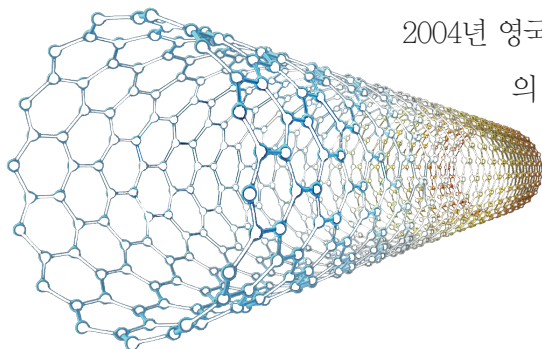
미치오 카쿠는 이 대목에서 “트랜지스터의 크기가 원자 하나의 규모까지 줄어들었을 때 무어의 법칙은 더 이상 적용되지 않는다”고 전제하고, “트랜지스터가 원자보다 작아지면 전자가 도선을 따라 움직이다가 밖으로 새어나올 수도 있기 때문에 양자역학이나 원자물리학이 적용되어야 한다”고 설명한다.

그는 이어서 “아무리 기술이 발달한다 해도 물리학의 한계를 극복할 수는 없으므로, 결국은 실리콘시대가 막을 내리고 실리콘 이후, 곧 포스트실리콘시대^{post-silicon era}로 접어들게 될 것”이라고 전망하고 “대체기술이 개발되지 않는다면 실리콘밸리는 서서히 폐허로 변할 것”이라고 우려를 표명한다.

그렇다면 실리콘을 대신할 재료 또는 디지털 컴퓨터의 대안이 될 설계방식은 어떤 것이 있는지 궁금하지 않을 수 없다. 2010년 〈사이언티픽 아메리칸^{Scientific American}〉 신년호는 이례적으로 편집진의 이름으로 ‘마이크

로칩의 다음 20년 The Next 20 Years of Microchips이라는 글을 게재하였다. 무어의 법칙이 결국 종말을 맞게 된다는 전제하에 20년 뒤, 그러니까 2030년에 실리콘의 대안이 될 만한 기술들을 소개한 것이다. 먼저 실리콘 반도체의 대안이 될 소재로는 나노물질 두 가지가 언급되었다. 하나는 탄소나노튜브 CNT carbon nanotube이고, 다른 하나는 그래핀 graphene이다.

1991년 일본의 재료과학자인 이지마 스미오가 발견한 탄소나노튜브는 탄소 6개로 이루어진 육각형들이 균일하게 서로 연결되어 관 모양을 이루고 있는 원통형 구조의 분자이다. 1998년 서울대 물리학과 임지순 任志淳 교수는 〈네이처 Nature〉 1월 29일자에 발표한 논문에서, 전기적으로 전도체인 탄소나노튜브가 10개 이상이 모여 밧줄처럼 다발 구조가 되면 금속 성질이 없어지면서 저절로 반도체의 성질을 가진다는 것을 이론적으로 규명했다. 이 연구결과에 의해 실리콘 반도체보다 집적도가 1만 배 높은 소자를 만들 수 있는 길이 열린 것으로 평가되었다.



2004년 영국의 안드레 가임 Andre Geim과 그의 제자인 콘스탄틴 노보셀로프 Konstantin Novoselov가 흑연에서 발견한 그래핀은 탄소 원자가 고리처럼 서로 연

결되어 벌집 모양의 평면 구조를 가지고 있으며, 원자 한 개만큼의 두께에 불과하다. 두 사람은 2010년에 노벨상을 함께 받았다. 노보셀로프는 그래핀에 세계에서 가장 작은 트랜지스터를 새겼는데, 세계에서 가장 작은 실리콘 트랜지스터보다 30배나 작은 것으로 알려졌다.

〈사이언티픽 아메리칸〉 편집진은 실리콘 마이크로칩에 의존하는 디지털 컴퓨터의 대안 기술로 ▶ 양자컴퓨터 quantum computer, ▶ 디옥시리보핵산 컴퓨터 DNA computer, ▶ 분자컴퓨터 molecular computer, ▶ 광컴퓨터 optical computer를 열거하였다.

미치오 카쿠는 「미래의 물리학」에서 “무어의 법칙의 종말은 수조 달러가 걸려 있는 세계적 사안이 되었다. 그렇다면 언제쯤 끝나며, 어떤 법칙이 그 자리를 대신할 것인가?”라고 묻고 “그 해답은 다름 아닌 물리학 법칙이 쥐고 있다. 앞으로 자본주의의 경제구조는 물리학에 의해 좌우될 것”이라고 주장했다.

2030년대에 우리나라 과학기술자가 가령 ‘홍길동의 법칙’을 만들어 포스트실리콘 시대의 주역이 된다면 얼마나 좋겠는가만은.

세상을 생생하게 입체적으로 보여준다

텔레비전이나 컴퓨터의 화면에
데이터를 시각적으로 출력하는 표시장치,
곧 디스플레이 display device 기술은 거침없이
진화를 거듭해서 화면 속의 사물을 현실세계에서처럼
선명하게 그리고 입체적으로 보게 될 날도 멀지 않았다.
디스플레이 기술의 역사는 1897년 독일의 물리학자인
카를 브라운 Karl Braun, 1850~1918 이 발명한 음극선관 CRT (cathode ray tube)
또는 브라운관 Braun tube 으로 시작된다.
브라운은 1909년 노벨상을 받았다.





진공관인 브라운관은 흑백TV, 컬러TV, PC 모니터 등으로 사용되면서 1960년대까지 세계 디스플레이 시장을 석권했다.

1990년대 후반부터 2차원 평면 디스플레이가 개발되고, 2000년대 들어 액정표시장치LCD (liquid crystal display) 같은 디스플레이가 브라운관을 대체한다. 이어서 LCD 뒤에서 빛을 쏘주는 발광체 부분인 백라이트 backlight를 형광 램프에서 발광 다이오드LED (light-emitting diode)로 바꾼 LED 디스플레이가 개발된다. 곧바로 유기발광다이오드, 곧 올레드OLED (organic light-emitting diode) 디스플레이가 개발되어 디스플레이 기술에 파괴적 혁신이 일어나기 시작했다.

유기발광다이오드(올레드)는 전류를 흘려주면 스스로 빛을 내는 유기 화합물 반도체이다. 올레드는 자체발광 능력이 있어서 LCD와 달리 화면

뒷면에 화면을 밝게 만드는 별도의 광원이 필요 없기 때문에 디스플레이를 종잇장처럼 얇은 두께로 만들 수 있을 뿐만 아니라 휘어진 상태에서도 발광이 가능한 것이다. 스

마트폰보다 얇은 올레드 TV에

‘페이퍼 슬림 paper slim(종이처럼 얇은)’이라는

수식어가 붙는 이유이다.

2013년 4월 LG전자



는 세계 최초로 55인치 크기의 휘어지는 TV를, 삼성전자는 같은 해 10월 휘어지는 스마트폰을 각각 선보였다.

한국과학기술연구원이 2014년 4월 펴낸 「KIST 과학기술 전망 2014」에 따르면 “플렉서블 디스플레이 flexible display는 그 휘는 정도에 따라서 깨지지 않는 unbreakable, 휘어지는 bendable, 둥글게 말 수 있는 rollable, 접을 수 있는 foldable 등의 4단계로 나눌 수 있는 데, 현재는 2단계인 휘어질 수 있는 정도의 수준에 머물고 있으며, 앞으로 전력 공급원인 유연한 형태의 이차 전지 제작 기술에 의존해 발전할 수 있을 것”으로 예상된다.

플렉서블 디스플레이 기술의 발전으로 휴대용 전자장치의 사용방법에 큰 변화가 일어난다. 올레드 기술을 휴대용 컴퓨터에 활용하면 작게 접어서 지갑에 넣을 수 있고, 올레드 휴대전화는 돌돌 말아서 주머니에 넣고 다니게 된다. 올레드 디스플레이 기술을 이용하면 종이처럼 얇은 벽 스크린 wall screen을 실제 벽지와 비슷한 가격에 생산할 수도 있다. 결국 주택의 모든 벽은 종이벽지 대신에 벽 스크린으로 도배된다. 이런 맥락에서 올레드 기술은 유비쿼터스 컴퓨팅 ubiquitous computing 시대를 실현하는 데 결정적인 역할을 한다.

올레드 TV의 뒤를 이을 디스플레이 기술로는 빛을 내는 광원으로 양자점 量子點 quantum dot(퀀텀닷) 반도체를 사용하는 퀀텀닷 텔레비전 QDTV이

손꼽힌다. 원자들로 이루어진 나노크기의 반도체인 양자점은 전류를 흘리면 특정 파장의 빛을 낸다. 퀀텀닷 TV는 올레드 TV보다 색을 재현하는 특성이 좋고 두께도 더 얇게 만들 수 있다. 삼성종합기술원이 2011년에 양자점 디스플레이 시제품을 발표하였다.

2035년경에는 3차원^(3D)의 텔레비전과 영화도 일상생활 속으로 깊숙이 파고들 전망이다. 3D 영상 기술은 19세기에 발명된 오래된 기술이다. 『KIST 과학기술 전망 2014』에 따르면 “1849년 프리즘 방식의 입체안경이 개발되면서 스테레오스코프 stereoscope라는 이름으로 3D 영상이 처음 등장했다. 그리고 1922년에는 상업용 3D 영화 <사랑의 힘^{The Power of Love}>이 처음 상영됐고, 30년 뒤인 1950년대에 할리우드를 중심으로 70편이 넘는 3D 영화가 제작돼 첫 전성기를 맞았다. 30년 뒤인 1980년대에 이르러 다시 일본과 미국을 중심으로 각종 3D 산업이 인기를 끌었다. 그리고 다시 우연처럼 약 30년이 지난 2009년 3D 영화인 <아바타^{Avatar}>의 흥행으로 3D 영상의 대중화와 상용화가 크게 붐을 일으켰다.”

3D 영화를 관람하려면 특수 안경을 써야 했지만 안경 없이도 맨눈으로 입체영상을 볼 수 있는 기술이 개발되었다.

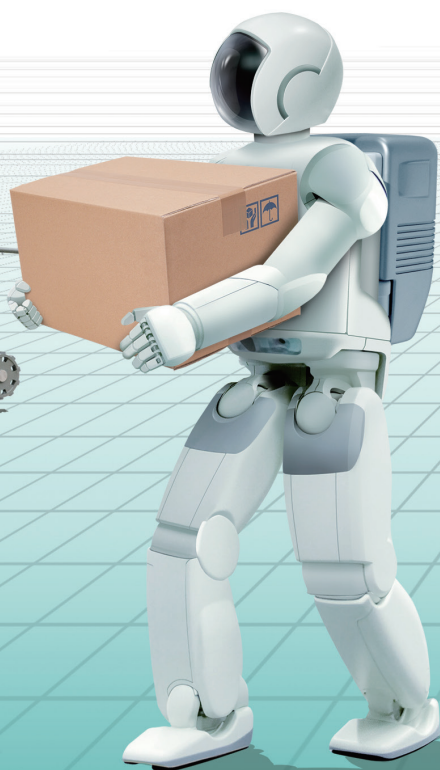
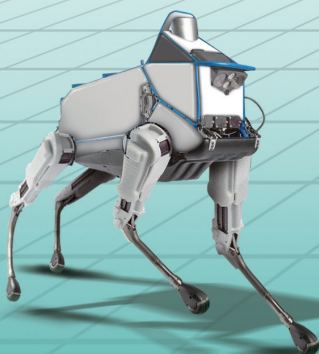
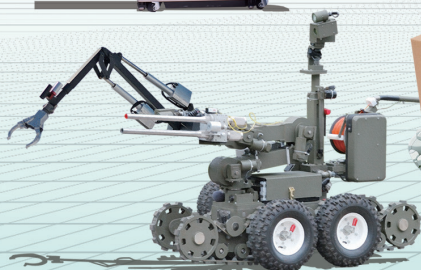
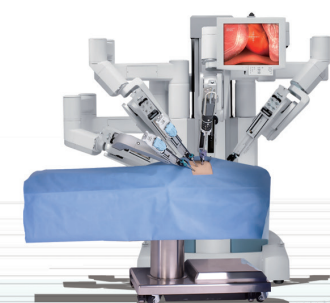
3D 디스플레이 기술은 눈의 피로감을 최소화하면서 3D 영상을 볼 수 있는 3차원 시각 또는 깊이지각^{depth perception}을 실현하는 기술을 개발하고

있다. 깊이지각은 눈의 망막이 상하, 좌우의 2차원 이미지를 갖고 있음에도 불구하고 깊이^{depth}의 한 차원이 더 있는 것으로 간주하여 대상의 3차원 모양을 지각하는 것을 의미한다.

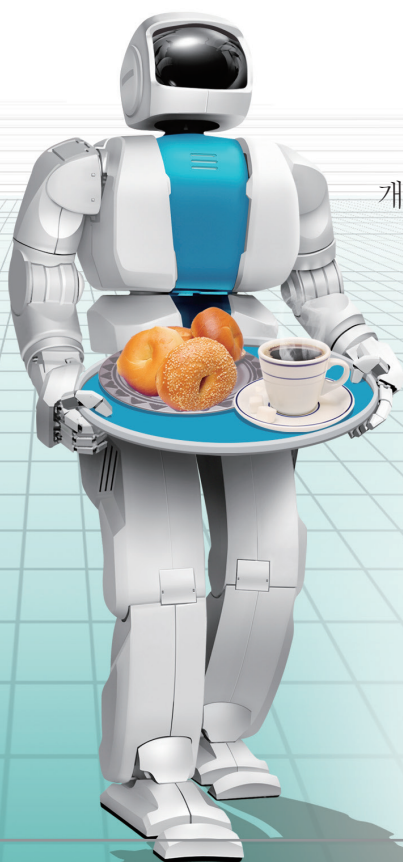
3D 영상기술의 최고봉은 단연 홀로그래피^{holography}이다. 돌을 연못에 던지면 밖으로 퍼져나가는 동심원 모양의 파문이 생긴다. 이러한 파문이 서로 교차하면서 퍼져나갈 때 생기는 골과 마루의 복잡한 배열을 간섭무늬라고 한다. 빛이나 전파 등 파동의 성질을 지닌 모든 현상은 간섭무늬를 만들어 낸다. 특히 레이저 광선은 응집성이 강한 빛이므로 간섭무늬를 만들기에 안성맞춤이다. 이를테면 레이저 광선은 동시에 연못과 돌이 된다.

파동의 간섭현상을 이용하여 물체의 입체 정보를 기록하는 기술이 홀로그래피이며, 홀로그래피 기술로 만들어 낸 영상을 홀로그램^{hologram}이라고 한다.

홀로그램은 사물이 바로 눈앞에 있는 것처럼 생생한 입체영상을 만들어 낸다. 홀로그램이 정보통신 네트워크에 적용되면 전화를 받는 상대방이 당신 건너편에 앉아 있는 것처럼 실물 크기의 3차원 영상으로 나타나는 홀로폰^{holophone}도 등장할 것으로 전망된다.



1가구 1로봇 시대가 온다



지능이 뛰어나고 감정을 느낄 줄도 아는 로봇이
우리의 생활 속으로 들어옴에 따라
개인용 로봇 personal robot 시대가 성큼 다가오고 있다.
개인용 로봇은 제조 현장의 산업용 로봇과 달리
집안, 병원 또는 전쟁터에서 사람과 공존하며
사람을 도와주거나
사람의 능력을 십분 활용하는 데
도구로 이용되므로
서비스 로봇 service robot 으로 더 자주 불린다.
서비스 로봇에는 가사 로봇, 교육용 로봇,
의료복지 로봇, 군사용 로봇이 포함된다.

가사 로봇은 집안에서 청소, 세탁, 요리, 설거지, 세차, 잔디 깎기 등을 수행하여 가사 노동의 부담을 줄여 줄 뿐만 아니라 주인 대신 집을 보는 일까지 척척 해낸다. 교육용 로봇은 학교와 가정에서 교육을 위해 친근하고 효과적인 수단으로 활용된다.



의료복지 로봇의 핵심은 수술로봇과 재활로봇이다.

수술로봇은 의사의 수술 작업을 지원하며, 재활로봇은 고령자와 신체 장애인의 재활 치료와 일상생활을 도와준다. 장애인에게 다리 노릇을 해주는 휠체어 로봇의 경우, 손을 쓰지 못하더라도 뇌파를 사용하여 조종할 수 있다. 뇌파 조종 시스템의 핵심 기술은 뇌-기계 인터페이스 BMI (brain-machine interface)이다. BMI는 머릿속에 생각을 떠올리는 것만으로 컴퓨터를 제어하여 휠체어 등 각종 장치를 작동하는 기술이다. 한 마디로 손 대신에 생각신호 thought signal로 로봇이나 기계를 움직이는 기술이다. 특히 전신마비 환자의 경우 전신을 감싸는 옷처럼 생긴 외골격 exoskeleton을 입히고 BMI 기술로 외골격의 동작을 제어하면 전신마비 환자

들도 다시 걸을 수 있다. 일종의 입는 로봇 ^{wearable robot}인 외골격은 정상적인 사람에게도 쓰임새가 많다. 가령 여성 간호사가 전신형 로봇 옷을 입으면 몸집이 큰 남자 환자를 번쩍 들어 올릴 수 있고, 병사들은 전투용 외골격을 입고 평소보다 20배 넘게 더 강력한 힘을 발휘할 수도 있다.

군사용 로봇 또는 살인로봇 ^{killer robot}은 모양과 크기가 다양할 뿐만 아니라 지능이 비약적으로 향상된다. 2008년 미국 국가정보위원회 ^{NIC}가 펴낸 〈2025년 세계적 추세 ^{Global Trends 2025}〉에 따르면 2014년 무인 전투 차량, 곧 로봇 병사가 전투 상황에서 사람에게 사격을 가하고, 2020년 생각신히로 조종되는 무인 차량이 군사 작전에 투입되며, 2025년 완전자율 로봇이 처음으로 현장에서 활약한다. 사람처럼 스스로 움직이는 자율적인 로봇이 출현하면 싸움터에서 사람이 사라지고 무자비한 살인로봇끼리 격돌하지 말란 법이 없다.

서비스 로봇은 물론 일상생활에서 그 쓰임새가 극대화된다. 특히 고령자나 장애인을 도와주는 로봇이 각 가정에 필수품이 되면 사회적 약자의 삶의 질이 개선된다. 하지만 가사 로봇에 지나치게 의존할 경우 운동량이 부족해서 비만이 갈수록 심각한 사회적 문제로 부각된다. 게다가 집안일을 로봇에 맡김에 따라 저소득 여성 노동자들이 일자리를 빼앗기는 현상이 나타난다.

로봇 전문가들에 따르면 2000년부터 청소로봇과 애완로봇을 중심으로 서비스 로봇 시장이 형성되기 시작했으며, 2010년경 사람의 건강과 복지에 도움이 되는 서비스 로봇이 본격적으로 보급되고, 2020년쯤에는 개인용 로봇이 각 가정에 필수적인 존재가 되어 1가구 1로봇 시대가 개막 될 것으로 전망된다. 선진국의 경우 2020년에 서비스 로봇의 수가 사람의 수를 초과할 것이라고 예측하는 미래학자들도 더러 있다.

그렇다면 2030년경의 로봇은 어떤 모습일까? 미국의 로봇공학 전문가인 한스 모라벡 ^{Hans Moravec}은 1988년 펴낸 「마음의 아이들 ^{Mind Children}」에서 로봇 기술의 발달 과정을 생물 진화에 견주어 설명했다. 그의 아이디어는 1999년 출간된 「로봇 ^{Robot}」에서 구체화되었다.

모라벡에 따르면 20세기 로봇은 곤충 수준의 지능을 갖고 있지만, 21세기에는 10년마다 세대가 바뀔 정도로 지능이 향상될 전망이다. 이를테면 2010년까지 1세대, 2020년까지 2세대, 2030년까지 3세대, 2040년까지 4세대 로봇이 개발될 것 같다. 먼저 1세대 로봇은 동물로 치면 도마뱀 정도의 지능을 갖는다. 20세기의 로봇보다 30배 정도 똑똑한 로봇이다. 2020년까지 나타날 2세대 로봇은 1세대보다 성능이 30배 뛰어나며 생쥐 정도로 영리하다. 3세대 로봇은 원숭이만큼 머리가 좋고 2세대 로봇보다 30배 뛰어나서 어떤 행동을 취하기 전에 생각하는 능력이 있다. 가령 부

엿에서 요리를 시작하기 전에 3세대 로봇은 여러 차례 머릿속으로 연습을 해본다. 2세대 로봇은 팔꿈치를 식탁에 부딪친 다음에 대책을 세우지만, 3세대 로봇은 미리 충돌을 피하는 방법을 궁리한다는 뜻이다.

2040년까지 개발될 4세대 로봇은 20세기의 로봇보다 성능이 100만 배 뛰어나고 3세대보다 30배 똑똑하다. 이 세상에서 원숭이보다 30배가량 머리가 좋은 동물은 다름 아닌 사람이다. 말하자면 사람처럼 생각하고 느끼고 행동하는 기계인 셈이다.

일단 4세대 로봇이 출현하면 놀라운 속도로 인간의 능력을 추월하기 시작할 것이다. 2040년대에 사람과 같은 지능, 곧 인공지능을 가진 기체가 출현하면 사람과 서비스 로봇이 어떤 사회적 관계를 맺게 될지 궁금하다.

artificial general
intelligence

종이처럼 돌돌 말리는 텔레비전 나온다

세계 인구 72억 명 중에서 13억 명은 전기가
들어오지 않는 지역에서 산다.

따라서 열 사람 중에서

두 명 가까이 등유나 배터리 따위로

밤을 밝힌다. 2011년 영국의

에잇19^{Eight 19}라는 기업이 이들에게

태양에너지를 활용할 기회를 주기 위해

인디고^{Indigo} 프로젝트를 시작했다.

인디고 프로젝트의 목표는

등유보다 비용도 저렴하고

환경오염도 덜 시키는 태양전지^{solar cell}를

개발해서 지붕 위에 설치해주는 것이었다.



그러나 태양전지의 90%는 실리콘을 사용하기 때문에 등유 사용 비용보다 저렴하게 제공한다는 것은 꿈도 꿀 수 없는 일이었다. 하지만 에잇 19가 인디고 프로젝트를 추진할 만한 이유가 있었다. 실리콘 같은 무기 inorganic 물질이 아니라 유기 organic 물질로 태양전지를 만드는 전문 업체였기 때문이다.

우리 주변의 전자제품은 대부분 실리콘 반도체나 구리 따위의 금속재료 같은 무기물질로 만들어진다. 그러나 생체 안에서 생명력에 의하여 생성되는 물질인 유기물질은 오랫동안 전자재료로 사용되지 않았다. 유기물질은 무기물질처럼 전류가 흐를 수 없다고 여겨졌기 때문이다.

1950년대부터 화학자들은 탄소를 주성분으로 하는 화합물, 곧 유기화합물도 탄소를 포함하고 있지 않는 화합물인 무기화합물처럼 전도성 conductivity을 갖고 있을 가능성에 주목하기 시작했다. 전도성 같은 전기적 특성을 지닌 유기물질을 연구하는 재료과학, 곧 유기전자공학 organic electronics이 출현하게 된 것이다.

유기전자공학 초창기의 최대 성과는 전도성 플라스틱 conductive plastic의 발견이다. 플라스틱은 폴리머(중합체) polymer라고 불리는 고분자들이 긴 사슬로 연결된 것이다. 폴리머의 특성 하나는 전기를 통하지 않는다는 것이었다. 전선의 절연을 위해 폴리머로 피복을 입히는 것도 폴리머가 절대로

전기를 통하지 않는다고 여겨졌기 때문이다.

그런데 1975년부터 세 명의 과학자, 곧 미국의 앨런 히거 Alan Heeger, 뉴질랜드 태생의 앨런 맥더미드 Alan MacDiarmid, 1927~2007, 일본의 시라카와 히데키 白川英樹는 공동 연구에 착수하여 폴리머에서 전기가 흐른다는 사실을 발견했다. 2000년 노벨화학상은 이 세 사람에게 돌아갔다. 노벨상을 수여하는 자리에서 스웨덴 왕립과학원이 그들의 공적을 요약하여 발표한 연설문의 일부를 인용하기로 한다.

“그들은 드디어 해냈습니다, 플라스틱의 전도도가 1,000만 배나 증가한 것입니다. 플라스틱 필름이 금속처럼 전도성이 생겼습니다. 이는 다른 사람들에게 뿐만 아니라 연구자들에게도 놀라운 발견이었습니다. 왜냐하면 전기선을 플라스틱으로 싸는 것처럼 우리가 금속과 플라스틱을 함께 사용하는 이유는 그것이 절연체였기 때문입니다.”

플라스틱의 유연성과 가벼움을 금속의 전기적 특성과 합칠 경우 가능한 응용 분야도 열거했다.

“미래의 이동전화 액정이나 평면 텔레비전 화면을 만드는 데 사용할 수 있는, 전기적으로 발광하는 플라스틱은 어떻습니까? 아니면 반대로 전류를 만들기 위해 빛을 사용하는 것으로, 환경 친화적인 전기를 만드는 태양전지 플라스틱이 있습니다.”

전도성 플라스틱의 발견을 계기로 유기전자공학이 획기적으로 발전한다. 유기전자공학의 2대 중점 분야는 디스플레이 display device 기술과 태양전지 기술이다. 유기디스플레이 기술은 유기발광다이오드, 곧 올레드 OLED (organic light-emitting diode)를 사용한다. 1987년 홍콩 태생의 미국 화학자인 칭 탕 Ching Tang 鄧青雲이 이스트만코닥 Eastman Kodak에서 유기다이오드를 최초로 생산한 이후 유기발광다이오드 시대가 개막된다. 올레드(유기발광다이오드)는 전류를 흘려주면 스스로 빛을 내는 유기화합물 반도체이다. 올레드는 자체 발광하는 능력이 있기 때문에 종이처럼 얇은 디스플레이를 만들 수도 있고, 스마트폰을 돌돌 말아서 들고 다니게 할 수도 있다. 2013년 LG전자는 휘어지는 텔레비전을, 삼성전자는 휘어지는 스마트폰을 각각 발표하였다.

유기전자공학의 두 번째 핵심 연구 분야는 유기태양전지 OPV (organic photovoltaic)이다. 인디고 프로젝트에 의해 아프리카의 마을에 보급된 바를 그 태양전지이다. 등유를 사용할 때 비용보다 저렴하게



공급된 것으로 알려졌다. 유기소재가 실리콘 같은 무기소재에 비해 비용이 적게 소요되는 것을 웅변으로 보여주는 사례이다.

유기전자공학에서 빼놓을 수 없는 또 다른 연구 분야는 나노기술 nanotechnology의 핵심인 탄소 기반의 나노물질, 곧 탄소나노튜브^{CNT (carbon nanotube)}와 그래핀^{graphene}이다. 탄소나노튜브는 튼튼하고 끊어지지 않고 잘 휘어지며 가벼울 뿐만 아니라 열과 전기를 잘 전달하고 반도체의 성질도 나타내기 때문에 전자소재로서 쓰임새가 무궁무진하다. 그래핀 역시 탄소나노튜브 못지않은 특성을 갖고 있으므로 휘어지는 텔레비전이나 지갑에 들어가는 컴퓨터도 만들 수 있다.

유기전자소재는 실리콘 같은 무기전자소재와 달리 가볍고, 구부러질 수 있고, 더 저렴하므로 인공피부^{artificial skin}나 각종 센서, 특히 바이오센서^{biosensor} 개발에 활용될 전망이다.

유기전자공학이 약속하는 미래에 도전해서 노다지를 캐내는 과학기술자들이 우리나라에서도 많이 배출되길 기대한다.





스마트한 사회

❖ 미래 자동차 기술

자율주행 전기자동차가 몰려온다

❖ 스마트도시기술

도시의 거의 모든 문제 정보통신기술로 해결한다

❖ 입는(wearable) 기술

온몸으로 정보를 주고 받는다

❖ 정보통신 네트워크기술

만물인터넷과 마음인터넷으로 초연결사회가 다가온다

❖ 데이터 솔루션 기술

빅 데이터로 더 좋은 사회를 설계한다



자율주행 전기자동차가 몰려온다

미래의 도로는 무운전자동차나 친환경자동차가 점령할지도 모른다.

무운전자동차 driverless car 또는 자율주행 자동차 self-driving car 는

사람이 앉아 있기만 하면 스스로 최적의 경로를 알아내서

목적지까지 데려다주는 자동차이다.

무운전자동차는 미국 국방부(펜타곤)가 전투용 무인병기의

일종으로 무인지상차량 UGV (unmanned ground vehicle) 또는 로봇자동차의 개발을

지원한 것이 바탕이 되어 상용화 단계에까지 오게 된 것이다.

펜타곤은 로봇자동차 경주 대회를 여러 차례 개최했다.

이 대회에 출전 자격은 사람의 도움을 전혀 받지 않고

스스로 상황을 판단해서 속도와 방향을 결정할 뿐만 아니라

장애물을 피해갈 줄 아는 무운전자동차에만 주어졌다.



2007년 11월 개최된 세 번째 로봇자동차 경주대회는 사람이 거리에서 차를 운전할 때와 거의 똑같은 조건에서 실시되었다. 실제 도로처럼 건물과 가로수 등 장애물이 나타나는데, 무운전자동차는 다른 차들과 뒤섞여 교통신호에 따라 주행하면서 제한속도를 지키는 등 교통법규도 준수하고 잠깐 동안 주차장에도 들어가야 했다. 이 대회에서 6대의 무인자동차가 도시를 흉내 내서 만든 96km 구간을 6시간 내에 완주하는 데 성공했다.

2017년부터 구글이 판매하는 최초의 민수용 무인자동차는 운전대는 물론 가속페달과 브레이크 페달도 없으며 출발 버튼만 누르면 스스로 굴러간다. 무인차의 핵심은 몇 미터의 오차범위 안에서 자동차의 현재 위치를 알려주는 GPS(위성위치확인 시스템) 수신 장치이다. 운전자의 눈 역할은 천장에 달린 레이저 센서가 맡는다. 이 센서는 쉴 새 없이 360도로 회전하면서 레이저를 발사하여 반경 200m 이내의 장애물 수백 개를 동시에 감지한다. 운전석 앞자리에 달린 방향 센서는 자동차의 정확한 주행방향과 움직임을 감지한다. 운전자의 두뇌에 해당하는 중앙 컴퓨터가 이러한 센서들이 수집한 정보를 바탕으로 브레이크를 밟을지, 속도를 줄여야 할지, 방향을 바꾸어야 할지 판단을 내린다. 범퍼에 장착된 레이더는 앞에 달리는 차량이나 장애물을 인식하여 속도를 조절하게 하므로 교통사고를

예방할 수 있으며 교통체증도 현저하게 줄어든다.

무인자동차가 졸음운전, 과속운전, 음주운전 문제도 해결해주는 긍정적인 효과가 기대되지만 사람이 운전하는 즐거움을 자동차에 양보할 수는 없지 않느냐는 견해도 만만치 않다.

구글 무인차는 2인승으로 최고 속도는 시속 40km, 주행 가능 거리는 160km, 장애물 감지범위는 200m이다.

현대자동차를 비롯해 메르세데스벤츠·혼다·포드·제너럴모터스 등 세계적 자동차 업체들은 2020~2025년 상용화를 목표로 무운전차를 개발하고 있다.

2020년대에는 사람이 손으로 직접 운전하지 않고 생각만으로 조종하는 자동차도 등장하게 된다. 이는 뇌-기계 인터페이스 ^{BMI (brain-machine interface)} 기술을 적용한 반(半)자율주행자동차라고 할 수 있다. BMI는 손을 사용하지 않고 생각만으로 기계장치를 움직이는 기술이다.

2009년 1월 버락 오바마 ^{Barack Obama} 대통령이 취임 직후 일독해야 할 보고서 목록에 포함된 <2025년 세계적 추세 ^{Global Trends 2025}>에는 2020년 생각 신호로 조종되는 무인차량이 군사 작전에 투입될 것으로 명시되었다. 가령 병사가 타지 않은 무인탱크를 사령부에 앉아서 생각만으로 운전할 수 있다는 것이다. 2020년께 비행기 조종사들이 손대신 생각만으로

계기를 움직여 비행기를 조종하게 될 것이라고 전망하는 전문가들도 한둘이 아니다.

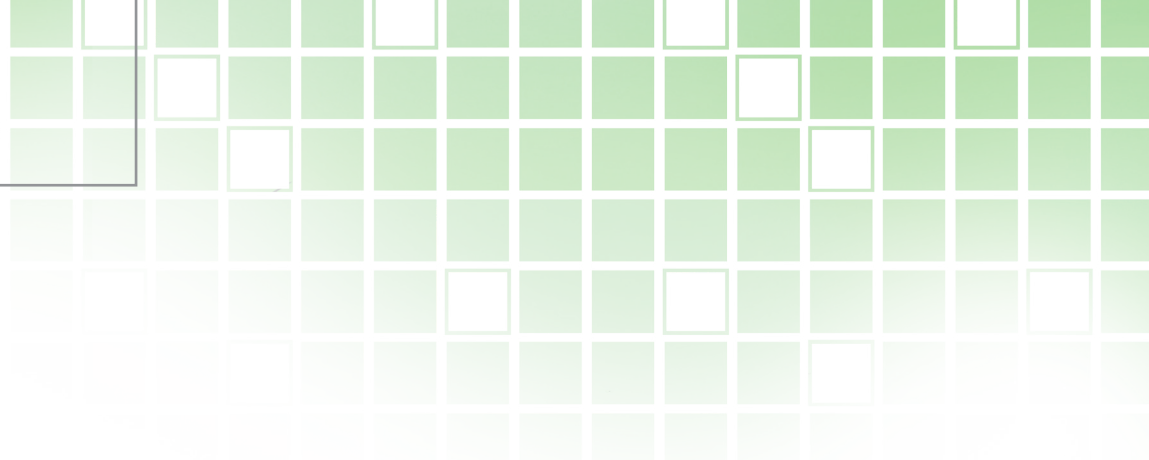
구글의 무인차는 화석연료가 아닌 전기로 가는 자동차이다. 따라서 가솔린(휘발유)엔진 *gasoline engine* 대신 배터리와 모터가 들어 있다.

전기자동차 *electric car*는 세 단계를 거쳐 발전하고 있다. 첫 번째 단계는 석유와 배터리를 혼용하는 하이브리드카 *hybrid car*이다. 두 번째 단계는 전원 연결(플러그-인 *plug-in*) 하이브리드카이다. 일반가정용 콘센트에 플러그를 꽂아 충전할 수 있는 전기자동차이다. 이 분야의 간판 제품인 제너럴모터스의 볼트 *Volt*는 리튬이온 *lithium-ion* 배터리로 65km를 주행하고, 그 후 가솔린엔진으로 전환하면 500km까지 갈 수 있다. 3단계의 전기자동차는 가솔린엔진을 아예 장착하지 않은 테슬라 로스터 *Tesla Roaster*이다. 미국의

전기자동차 전문 업체인 테슬라모터스가 생산하는 리튬이온 배터리 자동차이다. 리튬이온 전지는 리튬이차전지 중에서 가장 널리 사용된다.

가솔린엔진 없이 오직 전기로만 주행하는 자동차가 도로를 점령하고 나면 새로운 경쟁자로 연료전지자동차 *fuel cell car*가 시선을 끌게 될 것이다. 연료전지는 수소를 연료





로 사용하여 산소와 반응시키고 이때 발생하는 화학에너지를 전기에너지로 바꾸는 장치이다. 이 과정에서 연료전지가 배출하는 부산물은 물밖에 없다. 연료전지자동차는 가솔린엔진 없이 수소연료만으로 움직이기 때문에 자동차의 꿈무늬에서는 온실효과 기체 대신에 물방울만 똑똑 떨어진다. 요컨대 연료전지자동차는 이산화탄소를 배출하지 않으므로 환경오염이나 지구온난화 문제를 야기하지 않는다. 연료전지자동차는 거리의 충전소에서 휘발성과 폭발성이 강한 수소연료를 공급받아야 하기 때문에 안전 문제를 지적하는 전문가도 없지 않다. 그러나 이는 나중에 걱정해도 될 문제가 아닐는지.



도시의 거의 모든 문제를 정보통신기술로 해결한다



오늘날 세계 인구의 절반 이상이
도시에 살고 있으며 갈수록 그 비율이 증가할 것으로 예측된다.

2030년에는 세계 인구의 60%,
2050년에는 75%가 도시에 거주하게 될 전망이다.

1,000만 명 이상이 사는 메가시티 ^{megacity}만 해도
30여개나 되고, 이 중에서 서울을 포함한 11개 도시는
아시아에 분포되어 있다. 아시아에서는 중국과
인도의 경제 발전으로 다른 대륙에 비해
도시화가 급속도로 진행되고 있는 실정이다.
전 세계적으로 나타나고 있는 과잉도시화 ^{over-urbanization} 현상으로
각종 사회 및 환경 문제가 발생하고 있다.

도시로 많은 인구가 급속도로 유입됨에 따라 실업률이 높아지고 범죄율이 급증하는 사회적 문제뿐만이 아니라, 자원이 낭비되고 온실가스가 배출되는 환경 문제도 야기되고 있다. 도시 사람이 소비하는 자원은 세계 인구 전체 소비량의 80% 이상이며, 지구 표면적의 2~3%에 불과한 도시 지역에서 뿜어내는 이산화탄소는 지구 전체 온실가스 배출량의 80% 정도를 차지한다.

도시화에 따른 문제를 해결하여 시민의 경제적 생산성과 삶의 질을 극대화함과 아울러 자원 소비와 환경오염을 극소화하는 접근방법으로 스마트도시 smart city 기술이 대두되었다.

스마트도시는 디지털도시 digital city, 정보도시 information city, 유비쿼터스 도시 ubiquitous city, 지능도시 intelligent city, 지식기반도시 knowledge-based city, 전자공동체 electronic community, 사이버도시 cyberville 등 다양한 명칭으로 불리지만 한 가지 핵심 개념을 공유하고 있다. 이러한 용어들을 관통하는 공통분모는 정보통신기술 ICT (information and communication technology) 이다. 요컨대 스마트도시 기술은 정보통신 기술을 활용하여 도시를 좀 더 살기 좋은 곳으로 만들려는 접근방법이라고 할 수 있다.

스마트도시는 용어가 다양한 것처럼 그 정의 역시 다양하다. 영국의 도시 전문가인 마크 디킨 Mark Deakin이 2012년 6월에 펴낸 소책자인 「지능도

시에서 스마트도시로 From Intelligent to Smart City에 따르면 스마트도시기술은 다양한 정보통신기술을 사용하여 도시의 거버넌스(협치) governance, 에너지, 교통, 건물, 상하수도, 폐기물, 보건, 안전, 재난 등의 관리를 효율화하는 융합기술이다. 이를테면 스마트도시에서 전기, 수돗물, 교통 상황을 감시하는 각종 센서는 감각기관, 만물인터넷 같은 정보통신네트워크는 신경계 역할을 하는 셈이고, 이러한 정보를 바탕으로 도시의 제반 상황을 실시간으로 파악하는 뇌 역할은 이른바 도시 계기반 city dashboard이 맡는다.

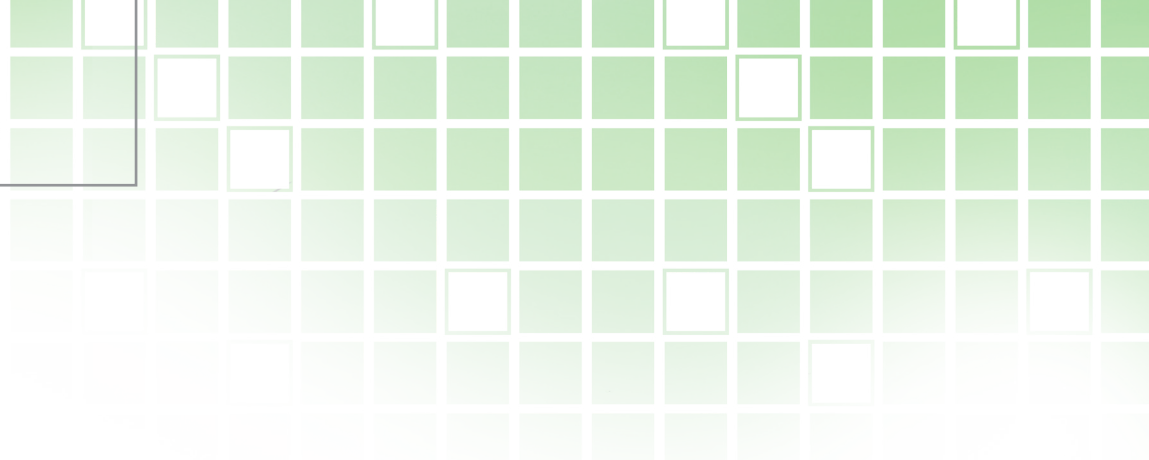
스마트도시로 거듭난 대표적인 도시로는 암스테르담, 바르셀로나, 스톡홀름, 산타크루즈가 손꼽힌다. 네덜란드의 수도인 암스테르담은 2009년부터 교통체증 해소, 에너지 절감, 시민 안전 확충을 목표로 79개 스마트도시 프로젝트에 착수했다. 가령 스마트 그리드 smart grid 프로젝트의 경우, 가정에 스마트 계량기 smart meter를 설치해서 전력 소비 정보를 실시간으로 점검하여 에너지를 절감하고, 사용하지 않는 가전제품이나 조명의 전원이 저절로 꺼지게 하는 스마트플러그 smart plug를 널리 보급해서 에너지를 효율적으로 사용한다. 가정에는 소규모 풍력발전기나 태양열발전기를 설치해서 쓰고 남은 전기를 전력회사에 판매하게끔 하므로 암스테르담 시민은 전기의 프로슈머 prosumer가 되기도 한다.

스마트도시기술의 사용자는 물론 스마트폰으로 도시의 각종 시설에

접속하여 다양한 서비스를 향유하는 스마트시민 smart citizen이다. 스마트시민의 지적 능력과 창의성이 스마트도시 기술의 성공에 결정적인 영향을 미치는 소프트웨어라고 할 수 있다. 이런 맥락에서 미국의 경제칼럼니스트인 리처드 플로리다 Richard Florida가 2002년에 펴낸 「창조계급의 부상 The Rise of the Creative Class」을 떠올리게 된다. 플로리다에 따르면 창조계급은 ‘도시를 중심으로 경제적·사회적·문화적 역동성을 창조하는 전문적·과학적·예술적 노동자 집단’이다. 스마트시민은 다름 아닌 창조계급인 것이다.

스마트도시의 시민이 창조계급의 역할을 제대로 수행하면 그 도시는 창조도시 creative city가 된다. 영국의 문화전문가인 찰스 랜드리 Charles Landry가 2000년에 펴낸 「창조도시」에서 처음 제안한 개념에 따르면, 창조도시는 ‘다양한 종류의 문화적 활동이 도시의 경제적 및 사회적 기능의 필수적 요소가 되는 도시’를 뜻한다. 유네스코 UNESCO가 선정하는 창조도시 71개 명단(2015년 9월 현재)에 우리나라는 2010년 이천(도자기)과 서울(디자인), 2012년 전주(음식), 2014년 광주(미디어 예술)와 부산(영화) 등 5개 도시가 올라있다.

스마트도시기술은 시장 규모가 만만치 않아 21세기 블록버스터 blockbuster 산업의 하나로 여겨진다. 2013년 영국의 도시 설계회사인 아랍 Arup이 발표한 자료에 따르면 세계 스마트도시기술 시장은 2020년까지 해



마다 4,000억 달러가 될 것으로 전망된다.

한편 2012년 미국 국가정보위원회^{NIC}가 펴낸 〈2030년 세계적 추세 Global Trends 2030〉는 스마트도시기술을 2030년 세계시장 판도를 바꿀 13대 게임 체인저 game changer 기술의 하나로 선정했다. 이 보고서에 따르면 2030년까지 20년 동안 전 세계적으로 35조 달러가 스마트도시기술에 투입될 전망이다. 특히 신도시를 건설하는 아프리카와 남미 등의 개발도상국가에서 대규모 투자가 예상된다.

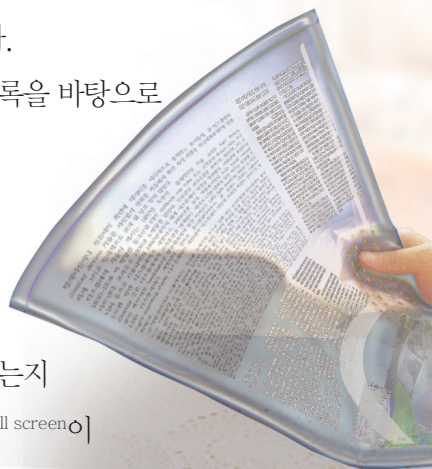
정보통신기술과 건설 분야에서 세계적 경쟁력을 갖춘 우리나라 기술자들이 2030년대에 개발도상국 신도시의 스마트도시기술 시장을 선점하게 될는지 궁금하다.

눈으로 정보를 주고받는다

최소 10억 년 전부터 빛을 이용하여 정보를 주고받았다. 빛을 이용하여 정보를 주고받았다. 빛을 이용하여 정보를 주고받았다.

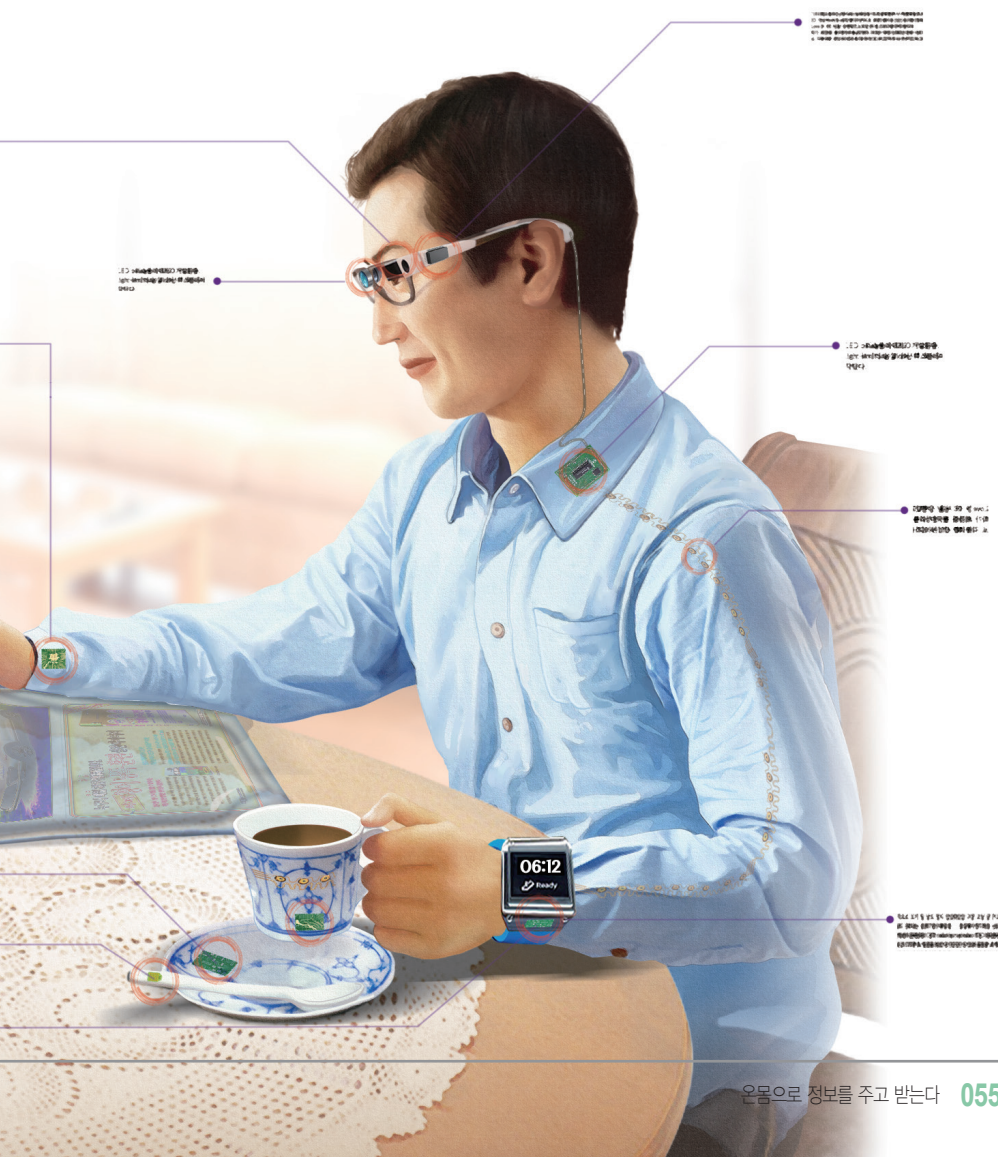
2035년 어느 봄날 저녁. 직장에서
녹초가 되어 돌아온 당신은 주방으로 가서
큰 소리로 무얼 먹으면 좋을지 컴퓨터에게 묻는다.
주방 벽에 내장된 컴퓨터는 지난 몇 주 동안의 기록을 바탕으로
당신이 좋아하는 몇몇 식품의 재고를 알아본 뒤
서너 종류의 요리를 제안한다.
가령 삼계탕을 주문하면 요리 소프트웨어는
재료를 골라 음식을 만든다.
그동안 당신은 거실에서 비디오 메시지가 들어왔는지
큰 소리로 알아본다. 곧 거실 저쪽 벽에 스크린 wall screen이
나타난다. 메시지를 살피는 동안 부엌 컴퓨터로부터
음식이 다 되었다는 신호가 온다.

이제까지의 기록을 바탕으로
당신이 좋아하는 몇몇 식품의
재고를 알아본 뒤
서너 종류의 요리를 제안한다.



이제까지의 기록을 바탕으로
당신이 좋아하는 몇몇 식품의
재고를 알아본 뒤
서너 종류의 요리를 제안한다.

이제까지의 기록을 바탕으로
당신이 좋아하는 몇몇 식품의
재고를 알아본 뒤
서너 종류의 요리를 제안한다.



컴퓨터를 집 안의 벽 속처럼 우리 주변의 곳곳에 설치하는 기술은 말 그대로 컴퓨터가 ‘어디에나 퍼져 있다’는 뜻에서 유비쿼터스 컴퓨팅 ubiquitous computing이라고 한다. 1988년 미국의 컴퓨터 과학자인 마크 와이저 Mark Weiser, 1952~1999가 처음 제안한 개념인 유비쿼터스 컴퓨팅은 한마디로 컴퓨터를 눈앞에서 사라지게 하는 기술이다. 물건에 다는 태그(꼬리표)처럼 자그마한 컴퓨터가 실로 천을 짜듯이 냉장고에서 침실 벽 속까지 우리 주변의 곳곳에 내장되기 때문에 사람들은 컴퓨터를 더 이상 컴퓨터로 여기지 않게 되는 것이다. 요컨대 유비쿼터스 컴퓨팅 시대에는 컴퓨터가 도처에 존재하면서 동시에 보이지 않게 된다. 와이저는 유비쿼터스 컴퓨팅이 메인 프레임, 퍼스널 컴퓨터에 이은 제3의 컴퓨터 물결이 될 것이라고 예언했다.

유비쿼터스 컴퓨팅의 가장 중요한 요소는 안경, 손목시계, 신발, 옷감 따위의 필수품을 비롯해서 커피 잔이나 돼지고기 조각에까지 장착이 가능한 컴퓨터 태그이다. 태그가 달린 물건은 모두 지능을 갖게 된다. 영리한 물건들은 스스로 생각하고 사람의 도움 없이 임무를 수행한다. 이를테면 돼지고기에 숨겨둔 컴퓨터 태그는 오븐 안에서 스스로 온도를 조절하여 고기가 알맞게 익도록 한다. 피하주사 바늘은 환자 손목에 달린 태그로부터 신원을 확인하여 알레르기가 있다면 바늘 끝을 붉게 물들여 의사

에게 알린다.

유비쿼터스 컴퓨팅의 세계에서는 지능을 가진 물건과 사람 사이의 정보 교환이 무엇보다 중요하다. 대화를 하려면 물건에 내장된 컴퓨터는 사람의 말을 이해해야 하며 사람은 컴퓨터가 내장된 옷을 입어야 한다. 입는 컴퓨터 *wearable computer*가 필요한 것이다.

유비쿼터스 컴퓨팅과 입는 컴퓨터가 융합된 기술은 입는 기술 *wearable technology* 또는 패션 기술 *fashionable technology*이라 불린다. 입는 기술에 의해 성능이 향상된 의류나 각종 액세서리는 입는 장치 *wearable device*라고 한다.

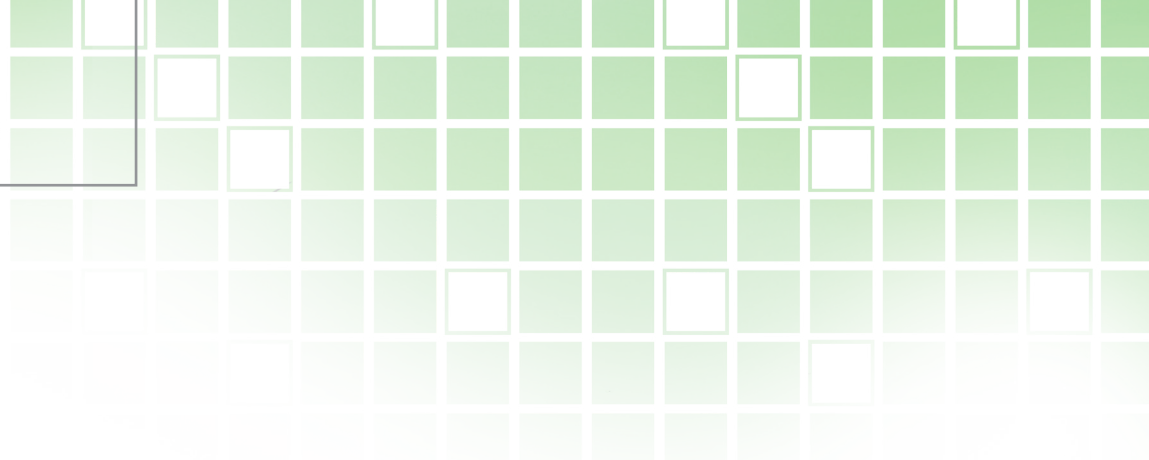
사람이 착용한 안경, 손목시계, 허리띠 장식, 옷 단추, 운동화 따위의 입는 장치에 내장된 컴퓨터들은 주변 환경에 설치된 컴퓨터와는 무선으로 정보를 교환하고, 자기들끼리는 인체에 형성되는 통신망인 인체 네트워크 *HAN (human area network)* 또는 보디넷 *bodynet*을 통해 정보를 주고받는다.

보디넷을 갖춘 사람들은 피부를 마치 전선처럼 사용하여 피부 접촉만으로도 의사소통이 가능하다. 두 사람이 악수하면 한 사람의 몸에서 보디넷을 통해 다른 사람의 손으로 정보가 건네지므로 서로간의 직장, 전화번호, 취미, 출신 학교 등에 관한 정보를 즉시 교환할 수 있다. 보디넷의 전원은 신발 뒤축에 넣는 발전기로 해결하거나 사람이 걸을 때 몸에서 발생하는 에너지로 충당한다.

2004년 미국의 마이크로소프트는 몸에 부착한 다수의 센서를 인체 네트워크로 연결하는 기술에 대한 특허를 획득했다. 이 기술로 가령 귀고리 안에 넣어둔 혈압 측정 장치를 휴대용 컴퓨터와 연결하면 실시간으로 건강 상태를 확인할 수 있다고 주장했다. 그러나 제품 개발로 이어지지는 않았다. 왜냐하면 사람의 피부 위로 약한 전류를 흐르게 하는 방법이 쉽지 않기 때문이다. 게다가 발가락을 움직이거나 땀을 한 방울 흘릴 경우에도 인체 네트워크가 교란될 수 있다.

그런데 일본 기술진들은 이런 문제를 해결한 것으로 알려졌다. 2004년 마쓰시타 전기는 세계 최초로 ‘인체 통신^{Human Body Communication}’이라고 명명된 기술을 실용화했다고 발표했다. 손목에 부착하는 성냥갑 크기의 장치로서 착용자가 다른 통신기기에 손을 대면 초당 3,700비트의 속도로 데이터 전송이 가능하다. 마쓰시타 전기는 첫 번째로 활용될 분야는 슈퍼마켓의 바코드 시스템이라고 밝혔다. 이 장치를 착용한 종업원이 상품에 손만 대면 금액이 금방 계산될 것이라고 주장했다.

2005년 2월 일본전신전화(NTT) 역시 세계 인체 네트워크 시장을 선점하기 위하여 레드택턴^{RedTacton}이라는 장치를 선보였다. 레드택턴은 손, 발, 얼굴 등 인체의 모든 피부를 정보 전송 통로로 사용하는 인체 네트워크 기술이다. 레드택턴 카드의 크기는 휴대전화에 끼워 넣을 정도이다.



따라서 레드텍턴 카드가 삽입된 휴대전화를 가진 사람들끼리 악수를 하면 피부를 통해 각종 정보를 초당 10메가비트의 속도로 교환할 수 있다.

한국전자통신연구원의 인체 통신기술도 세계적 수준인 것으로 평가된다.

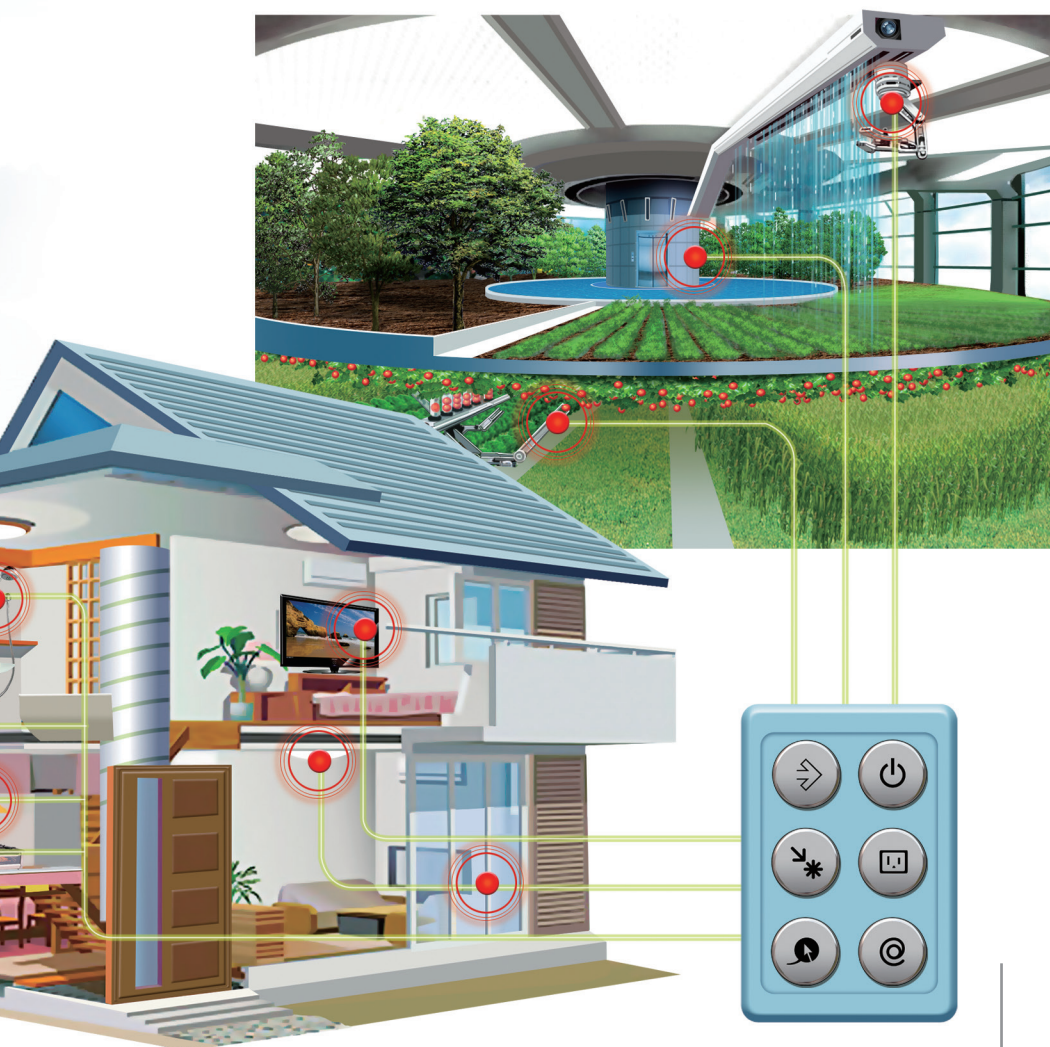
인체 네트워크 기술의 발달로 한 번의 악수가 인사 이상의 의미를 지니는 세상이 온 것이다.

입는 기술 시대에는 몸 전체로 보고 듣고 느끼고 생각하고 말하면서 살아가게 될 것 같다.

만물인터넷과 마음인터넷으로 초연결사회가 다가온다

2015년 9월 삼성전자는 독일 베를린에서 열린
국제 가전전시회에서 슬립센스 SLEEPsense를 공개했다.
이 제품은 어른 손바닥만 한 크기에
두께는 1cm 정도의 원반형 센서이다.
스마트폰에서 전용 앱(응용 프로그램)을 내려받아 슬립센스에
설치하고 실행한 뒤에, 인터넷 기능이 내장된
에어컨·TV·조명 등 가전제품과 무선으로
연결(블루투스 방식)한 다음에 침대 매트리스 밑에
놔두기만 하면 슬립센스는 사용자가 침대에
드러누운 즉시 작동을 시작해서 먼저
에어컨·TV·조명의 전원을 끄고 잠든 동안에는
맥박·호흡·몸 뒤척임 등 몸 상태를 측정한다.





SK텔레콤이 개발한 스마트팜 Smart Farm은 멀리 떨어져 있는 농장을 스마트폰으로 관리하는 서비스이다. 먼저 농장에 온도 센서, 조도 센서, 이산화탄소 센서, 동작감시 센서를 설치한다. 센서가 모은 정보는 이동통신망을 통해 농장 주인의 스마트폰으로 전달된다. 농장 주인은 원격조작으로 물이나 농약을 뿌리고, 비닐하우스 덮개를 여닫을 수도 있다.

슬립센스와 스마트팜은 사물인터넷 IoT (Internet of Things) 또는 만물인터넷 IoE (Internet of Everything) 시장을 공략하기 위한 제품들이다.

사물인터넷 또는 만물인터넷은 일상생활의 모든 사물을 인터넷 또는 이와 유사한 네트워크로 연결해서 인지, 감시, 제어하는 정보통신망이다. 만물인터넷에 연결되는 사물에는 일상생활에서 사용하는 전자장치뿐만 아니라 식품, 의류, 신발, 장신구 따위의 모든 물건이 포함된다. 이를테면 이 세상에 존재하는 물건은 무엇이든지 만물인터넷에 연결되기 때문에 두 가지 방식으로 정보가 교환된다. 하나는 사물과 사물 사이의 통신이다. 사람의 개입 없이 물건과 물건끼리 정보를 교환하면서 주어진 역할을 수행한다. 다른 하나는 사람과 사물 사이의 통신이다. 사람과 물건은 상호작용하면서 사물은 그 상태를 지속적으로 사람에게 보고하고 사람은 그 사물을 감시 및 제어한다. 이런 맥락에서 미래창조과학부의 관료, 일부 언론인과 정보통신 전문가들이 애용하는 ‘사물인터넷’은 사람이 제외

된 느낌이어서 아쉽다. 인간을 만물의 영장이라고 부르기 때문에 ‘만물인터넷’으로 통일해서 불러야 바람직할 것 같다.

2030년대에는 만물인터넷이 완벽하게 구축되어 이 세상의 거의 모든 것이 네트워크로 연결되는 초연결사회^{hyper-connected society}로 거듭난다. 초연결사회는 거의 모든 사물이 자기를 스스로 인식하고 상호작용하는 세상, 사람의 모든 움직임이 낱알이 추적되고 기록되는 세상, 그래서 우리를 둘러싼 거의 모든 것이 살아있는 세상이다.

만물인터넷의 핵심 요소는 물건에 태그(코리표)처럼 부착되는 센서이다. 센서는 온도·습도·압력·진동·냄새·소리 따위의 온갖 정보를 감지한다. 만물인터넷에는 우리 눈에 잘 보이지 않을 만큼 작은 센서와 컴퓨터가 어디에나 퍼져있기 때문에 유비쿼터스 컴퓨팅^{ubiquitous computing}이 구현된 것으로 간주된다.

만물인터넷에서는 물건에 달린 센서와 사람 사이의 정보 교환이 무엇보다 중요하기 때문에 입는 컴퓨터^{wearable computer}와 입는 센서^{wearable sensor}의 착용이 필수적으로 요구된다. 이를테면 사람은 입는 센서에 의해 일종의 초감각적 지각^{ESP (extra sensory perception)} 능력을 갖게 되는 것이다. 초감각적 지각은 텔레파시^{telepathy}처럼 사람이 오감을 사용하지 않고 정보를 얻는 능력이다. 이처럼 입는 센서가 사람의 감각 능력을 보강해주기 때문에 감각보철

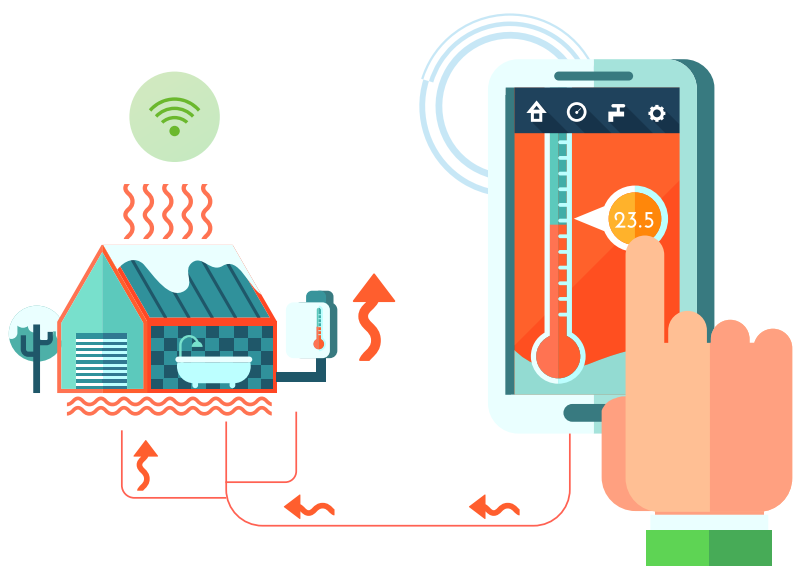
sensory prosthesis을 한 것으로 여겨질 수 있다. 이런 의미에서 캐나다의 사회 과학자인 마셜 맥루언^{Marshall McLuhan, 1911~1980}이 1964년에 펴낸 「미디어의 이해 Understanding Media」에서 전자 미디어가 인간의 감각과 신경을 확장시킨다고 설파한 대목을 떠올리게 된다. 그렇다. 초연결사회에서 만물인터넷은 인류의 신경계를 무한대로 확장시키고 있으니까.

만물인터넷은 개인부터 국가까지 각 경제 주체에 엄청난 파급효과를 미친다. 특히 유통 및 물류 분야에 혁명적 변화를 초래한다. 또한 여러 곳에 분산된 물건으로부터 정보를 수집하므로 범죄나 테러를 예방할 수도 있다. 그러나 테러리스트가 물건 속에 악성 소프트웨어를 은닉하여 퍼뜨리면 경제 활동이나 사회 안정이 교란될 가능성도 배제하기 어렵다.

한편 2030년대에는 사람의 뇌를 서로 연결하여 말을 하지 않고도 생각만으로 소통하는 기술, 뇌-뇌 인터페이스^{BBI (brain-brain interface)}가 실현을 앞두고 있을 것으로 전망된다. 미국의 신경과학자인 미겔 니코렐리스^{Miguel Nicolelis}는 2011년에 펴낸 「경계를 넘어서 Beyond Boundaries」에서 20년 뒤쯤, 그러니까 2030년대에 BBI 기술이 실현되면 인류는 궁극적으로 몸에 의해 뇌에 부과된 ‘경계를 넘어서는’ 세계에 살게 될 것이며, 결국 사람의 뇌를 몸으로부터 자유롭게 하는 놀라운 순간이 찾아올 것이라고 주장했다. 그리고 뇌가 몸으로부터 완전히 해방된 사람의 뇌끼리 서로 연결되는 네트워크

를 뇌네트 brain-net라고 명명하고, 인류 전체가 집단적으로 마음이 융합되는 세상이 올 것이라고 상상했다.

미국의 물리학자인 미치오 카쿠 Michio Kaku는 2014년에 펴낸 『마음의 미래 The Future of the Mind』에서 뇌네트를 ‘마음인터넷 Internet of the mind’이라 부를 것을 제안했다. 뇌-뇌 인터페이스 기술이 쌍방향 소통 수단으로 실현되어 초연결사회의 인류가 마음인터넷으로 생각과 감정을 텔레파시처럼 실시간으로 교환하게 되면 정녕 전화는 물론 언어도 쓸모없어지는 세상이 오고야 말 것 인지.





CHANGE

WE CAN BELIEVE IN



BarackObama.com



빅 데이터로 더 좋은 사회를 설계한다

2008년 미국 대통령 선거에서 버락 오바마 Barack Obama

민주당 대통령 후보는 유권자 데이터를 분석한 뒤
유권자 맞춤형 선거 전략을 수립하여 승리했다.

2014 브라질 월드컵에서 독일 국가대표팀은
한 번도 지지 않고 우승을 차지했다.

선수들에게 센서를 부착하여 운동량이나 심장박동 등 방대한 비정형 데이터를 수집한 뒤 선수별로 맞춤형 훈련을 시키고 전술을 수립한 것으로 알려졌다. 두 사례는 빅 데이터 ^{big data} 활용의 효과를 여실히 보여준다.

통상적으로 사용되는 데이터베이스 관리 도구로는 수집·저장·관리·분석할 수 없는 대량의 정형 또는 비정형 데이터 집합을 빅 데이터라고 한다. 빅 데이터를 수집·저장·관리·분석하는 데 관련된 기술은 데이터 솔루션 ^{data solution}이라고 불린다.

2012년 12월 미국 국가정보위원회 ^{NIC}가 펴낸 〈2030년 세계적 추세 ^{Global Trends 2030}〉는 세계 시장 판도를 바꿀 13대 게임 체인저 ^{game changer} 기술의 하나로 데이터 솔루션을 선정했다. 2013년 1월 집권 2기를 시작하는 버락 오바마 대통령이 취임 직후 일독해야 할 보고서 목록 중에 포함된 〈2030년 세계적 추세〉는 데이터 솔루션 기술이 발달함에 따라 “정부는 빅 데이터를 활용하여 정책을 수립하게 되고, 기업은 시장과 고객에 관한 대규모 정보를 융합하여 경영 활동에 결정적인 자료를 뽑아내게 된다”고 언급했다.

데이터 솔루션 기술에서 무엇보다 빅 데이터를 수집하는 작업이 중요하다. 20세기 산업사회에서 개인은 거대한 조직의 톱니에 불과했지만 21세기 디지털 사회에서는 개인 사이의 상호작용이 사회현상에 막대한 영

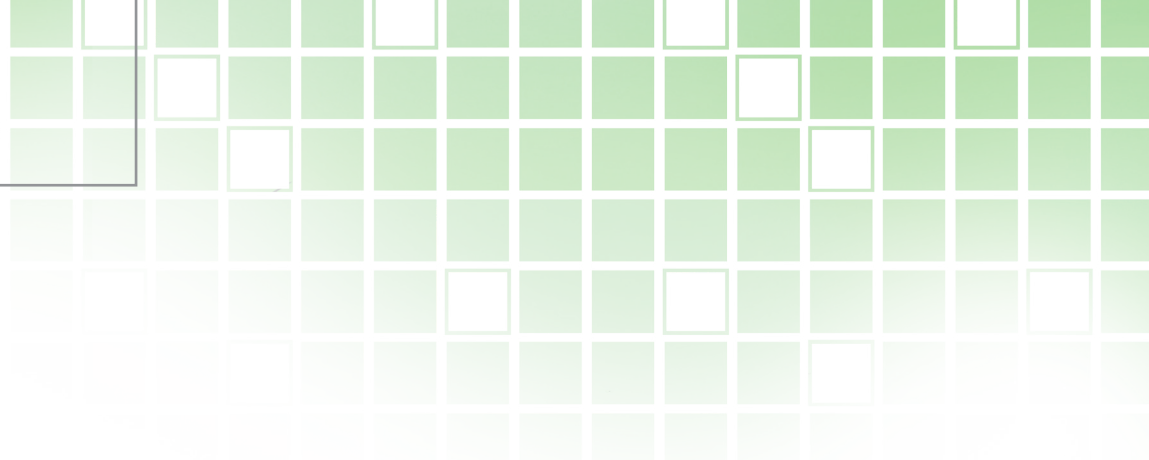
향을 미친다. 우리는 날마다 디지털 공간에서 남들과 상호작용하면서 우리가 생각하는 것보다 훨씬 더 많은 흔적을 남긴다. 미국 매사추세츠 공과대학교 MIT 인간역동성연구소 Human Dynamics Laboratory를 이끄는 알렉스 펜틀랜드 Alex Pentland는 우리의 일상생활을 나타내는 이런 기록을 ‘디지털 빵가루 digital bread crumb’라고 명명했다. 펜틀랜드는 개인이 누구와 휴대전화로 의견을 교환하고, 신용카드로 돈을 얼마나 지출하며, 인터넷에서 무엇을 검색하는지 낱알이 알 수 있는 디지털 빵가루 수십억 개를 뭉뚱그린 빅 데이터를 활용하면, 인간의 행동을 예측할 수 있다는 결론에 도달한다. 다시 말해 휴대전화, 신용카드, 인터넷으로부터 수집한 엄청난 데이터의 활용 가능성에 주목한 것이다. 이처럼 디지털 빵가루를 가지고 인간 행동의 패턴을 분석하는 작업은 현실 마이닝 reality mining이라고 명명되었다. 2008년 〈MIT 테크놀로지 리뷰 Technology Review〉 3·4월호는 현실 마이닝을 ‘세상을 바꿀 10가지 혁신 기술’의 하나로 선정했다.

인간의 행동을 예측하려면 세상 어디에나 존재하는 디지털 데이터 뿐만 아니라 디지털 세상이 아닌 현실 세계의 데이터도 수집하지 않으면 안 된다. 이러한 데이터는 사람이 착용 가능한 센서에 의해 획득할 수 있다. 2000년대 초에 MIT 인간역동성연구소는 신분증 하나로 사람의 행동과 음성을 모두 감지할 수 있는 센서를 개발했다. 이른바 소시오미터

sociometer라 불리는 센서 중에서 가장 기능이 개선된 것은 소시오메트릭 배지 Sociometric Badge이다. 25센트짜리 동전 5개 만한 정도로 작고 가벼운 소시오메트릭 배지에는 마이크로폰, 적외선 송수신기, 가속도계 등 기존의 모든 센서가 통합되어 있으며 충전 없이 일주일 노동시간인 주 40시간 연속으로 데이터 저장이 가능하다. 소시오메트릭 배지는 회사 신분증처럼 출입문을 여는 용도 이외에도 집단 구성원의 말투, 몸짓, 대화의 빈도와 같은 사회적 행동 데이터를 수집하는 데 활용된다. 따라서 배지에 저장된 5분 정도의 데이터만 가지고도 가령 그 사람의 대인 관계나 협상능력까지 예측 가능하다. 펜틀런드는 2008년에 펴낸 저서인 「정직한 신호 Honest Signals」에 소시오미터 실험 자료를 상세히 소개하였다.

현실 마이닝 기법과 소시오미터 기술로 디지털 세계와 현실 세계의 데이터를 함께 분석하면 인간 행동을 정확하게 예측하여 가령 기업에서는 직원들의 창의력과 생산성을 높이고 행복한 일터로 만드는 방안을 찾아낼 수 있으며, 소비자에게는 특정 제품을 선호하게 만들어 매출을 신장시킬 수도 있다.

이런 맥락에서 2014년 1월 펜틀런드는 「사회물리학 Social Physics」을 펴내고, 빅 데이터 속에 담겨 있는 인간의 아이디어와 경험을 분석하여 사회 문제에 접근하는 연구를 사회물리학이라고 정의했다. 그는 빅 데이터



가 “오늘보다 나은 미래의 조직·도시·정부를 설계하는 데 쓸모가 있는 것으로 나타났다”고 주장하면서 “빅 데이터는 인터넷이 초래한 변화와 맞먹는 결과를 이끌어낼 것임에 틀림없다”고 역설한다.

펜틀런드가 「사회물리학」에서 상상하는 것처럼 빅 데이터로 “금융 파산을 예측하여 피해를 최소화하고, 전염병을 탐지해서 예방하고, 창의성이 사회에 충일하도록 할 수 있다면” 얼마나 반가운 일이겠는가.

〈2030년 세계적 추세〉는 데이터 솔루션 기술이 악용될 경우, “선진국에서는 개인 정보가 보호 받기 어렵게 되고, 개발도상국가에서는 정치적 반대 세력을 탄압하는 수단이 될 수 있다”고 덧붙였다.



건강한 사회

◆ 분자진단기술

분자의학과 나노의학으로 조기 진단한다

◆ 사이버 헬스케어 기술

사이버 공간에서 실시간으로 건강 관리한다

◆ 맞춤형 제약기술

세계 신약시장에서 경쟁력을 확보한다

◆ 맞춤형 치료기술

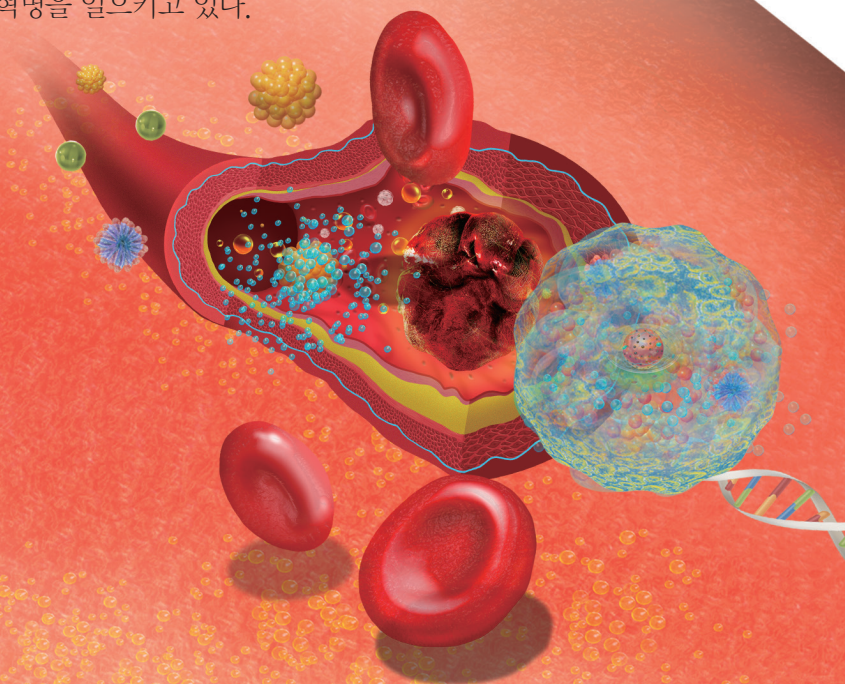
유전자치료와 줄기세포치료로 불치병 고친다

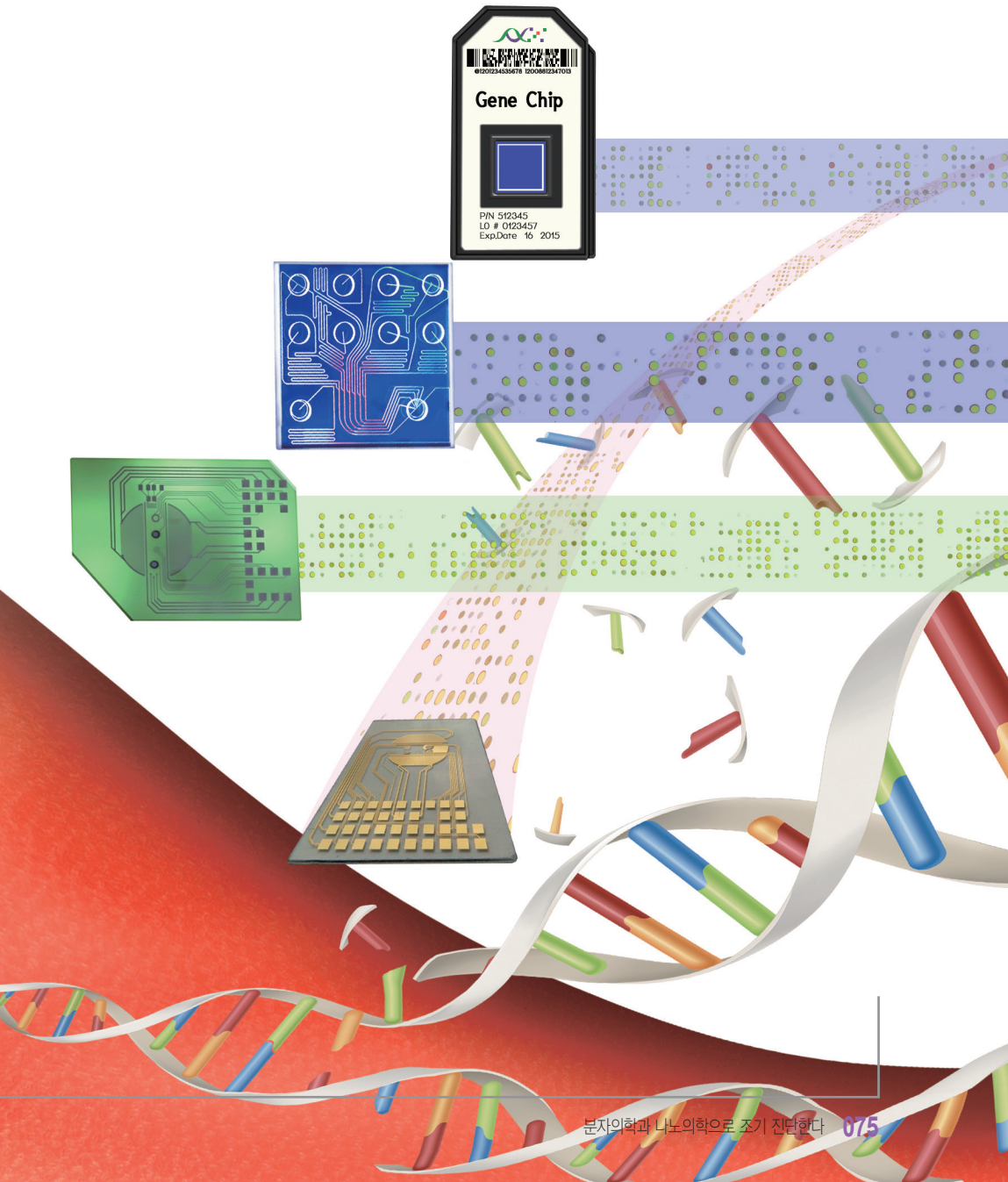
분자의학과 나노의학으로 조기 진단한다

생명공학의 발전은 의학 분야에도
혁명적인 변화를 몰고 왔다.

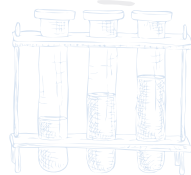
모든 생명의 기본 단위인 디옥시리보핵산(DNA) 분자의
비밀이 밝혀짐에 따라 분자 수준에서 질병을 진단하고 치료하는
분자의학(molecular medicine)이 출현했다.

특히 유전과 병원균에 의한 질병을
모두 정확히 진단하는 분자진단(molecular diagnostics)이
의료기술의 혁명을 일으키고 있다.





분자진단기술

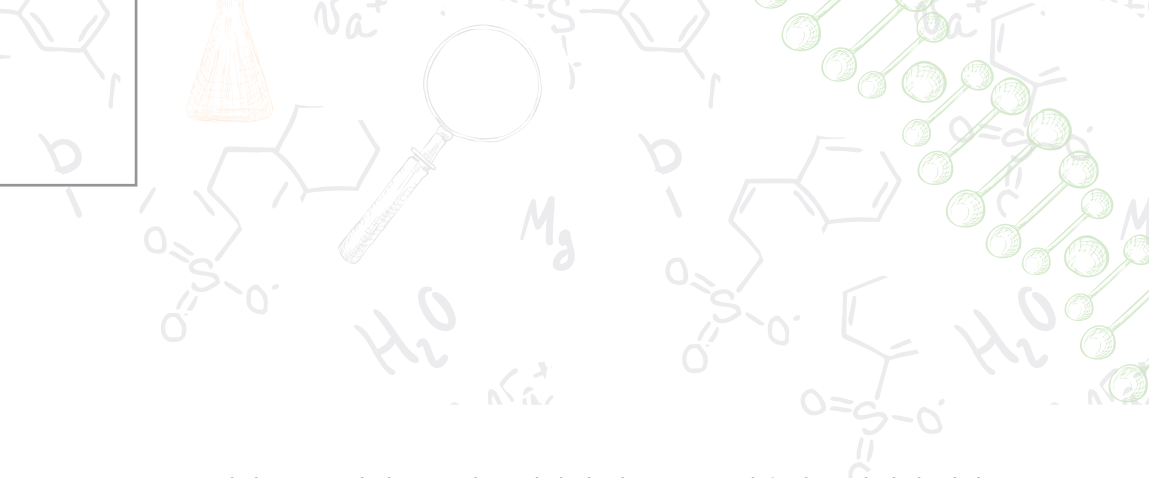


분자진단의 핵심 기술인 유전자 서열 분석 DNA sequencing의 비용이 저렴해짐에 따라 환자의 유전자를 검사하여 질병 진단에 소요되는 시간을 단축하고 신속히 치료할 수 있게 된 것이다.

분자진단에 사용되는 대표적인 장치는 바이오칩 biochip이다. 바이오칩은 생체 물질을 분석하고 관련된 반응을 제어하는 생화학적 칩이다. 바이오칩에는 디엔에이칩 DNA chip, DNA microarray, 단백질칩 protein chip, protein microarray, 랩온어칩 lab-on-a-chip 등이 포함된다.

DNA 분자의 구조는 두 개의 긴 사슬이 나선 모양으로 얹혀 있다. 두 사슬은 서로 손을 맞잡은 염기의 결합으로 연결된다. 염기는 특정 상대와만 결합하여 쌍을 이룬다. 가령 한 사슬의 아데닌과 다른 사슬의 티민 [A-T], 구아닌과 시토신 [G-C]은 결합하지만, [A-G]나 [T-C] 같은 결합은 생기지 않는다. 이와 같이 염기가 상보적으로 결합하기 때문에 한쪽 사슬의 염기배열이 결정되면 자동적으로 다른 쪽 사슬의 염기배열이 결정된다. 예컨대 한 사슬의 염기배열이 ATCG라면 다른 사슬은 TAGC이다.

DNA칩은 염기배열의 상보성을 응용하는 장치이다. 컴퓨터의 칩(집적 회로를 붙인 반도체 조각)을 만들 때와 비슷한 공정으로 제조된다. 컴퓨터칩에는 전자소자가 집적되지만 DNA칩에는 유전자가 들어 있다는 것이 다



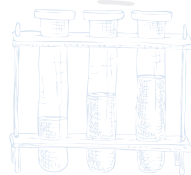
를 뿐이다. DNA칩에는 특정 유전자의 한쪽 DNA 사슬이 부착되어 있다. 대개 사슬 안에는 그 유전자 특유의 짧은 조각이 들어 있다.

DNA칩을 사용하려면 먼저 혈액에서 DNA 견본을 추출하여 두 사슬을 분리시킨 다음에 한 사슬을 작은 조각으로 절단한다. 작은 조각들은 각각 형광물질로 표시한다. 이러한 DNA 조각을 DNA칩 위로 보낸다. DNA 조각의 염기배열이 칩 위의 염기들과 상보적으로 결합하면 두 가닥이 형성된다. 두 가닥의 결합 강도는 형광물질로 표시된다. 컴퓨터로 칩 표면에서 반짝이는 형광물질의 위치를 읽어내서 DNA 분자의 구성요소를 판독하게 된다. 요컨대 한 방울의 피에서 추출한 DNA로 그 사람의 유전정보 전체를 알아낼 수 있다.

1996년에 미국 회사인 애피메트릭스 *Affymetrix*가 첫 선을 보인 엄지손톱 크기만 한 DNA칩은 한 번에 5만 개의 유전자를 분석할 수 있다. 2000년에는 유전자 40만개로 성능이 향상되었다. DNA칩으로 누구나 몇 살에 어떤 병에 걸리게 될지를 미리 알 수 있게 되므로 질병의 조기 진단은 물론 예방도 가능해진다. 반도체칩이 컴퓨터 산업에 혁명을 일으킨 것처럼 DNA칩이 질병 예방에 혁명적 변화를 몰고 올 것임에 틀림없다.

DNA칩으로는 유전자를 분석하지만 단백질칩으로는 단백질을 분석한다. 1983년에 처음 개념이 소개된 단백질칩은 특정 단백질과 반응하는

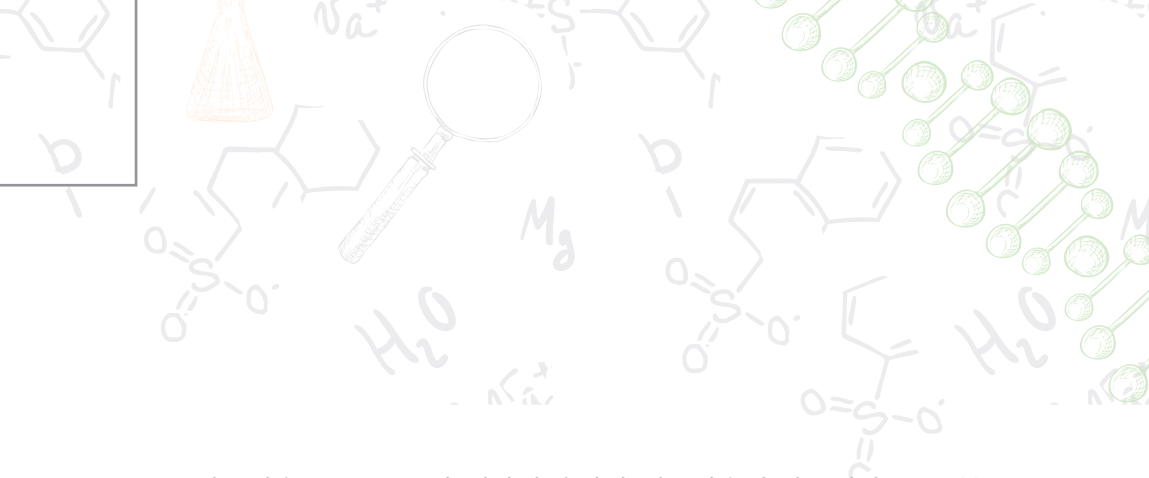
분자진단기술



여러 종류의 단백질을 고체 표면에 나열한 뒤에 이들과 반응하는 생체분자를 분석하는 장치이다. 따라서 단백질칩은 질병의 조기 진단을 유전자 수준에서 단백질 수준으로 확대한 기술이라 할 수 있다. 미국의 생물학자인 리로이 후드 ^{Leroy Hood}가 2008년에 개발한 단백질칩은 한 방울의 피에서 10분 만에 질병과 관련된 특정 단백질을 검출한다. 단백질칩의 성능이 개선되면 수천 가지의 단백질을 신속히 검출하여 암 따위 난치병의 조기 진단이 가능할 것으로 전망된다.

가장 난이도가 높은 바이오칩 기술인 랩온어칩은 ‘칩 위의 실험실’로 불리는 엄지손가락만 한 크기의 장치로서 질병 진단에 필요한 여러 분석장비를 하나의 칩 안에 넣어둔 것이다. 극소량의 혈액이나 조직을 반응시키면 단시간에 질병 유무를 판독할 수 있다. 의사들은 랩온어칩 하나를 들고 환자의 집으로 왕진을 다닐 수도 있다.

분자진단에는 바이오칩과 함께 바이오센서 ^{biosensor}의 비중이 갈수록 커진다. 바이오센서는 특정한 생체 물질이나 분자가 있는지 없는지, 또는 얼마나 많이 있는지 알려주는 센서이다. 분자 수준, 곧 나노미터 크기에서 물질을 검출하는 나노바이오센서를 사용하면 분자진단이 가능할 수 있다. 환자의 몸 안에 투입되어 건강 상태를 점검하는 나노바이오센서도 분자진단에 크게 도움이 될 전망이다.



나노기술 nanotechnology과 의학이 융합한 의료기술인 나노의학 nanomedicine도 분자수준에서 질병을 진단한다.

예컨대 미국 과학자들은 2004년에 암으로 여겨지는 세포들만 빛을 내도록 하는 방법을 개발했다. 먼저 빛을 내는 나노미터 크기의 발광 표지 marker를 만들고, 이 표지 표면에 암세포만 달라붙는 찌찌이 같은 분자를 붙였다. 따라서 발광 표지를 몸속에 주사하면 암세포에만 부착하여 빛을 내기 때문에 암이 발생한 위치를 알아낼 수 있는 것이다. 발광 표지로 개발된 것은 양자점 quantum dot이다. 양자점은 반도체 물질로 만든 일종의 나노입자 nanoparticle이다. 몇 백 개의 원자만으로 이루어진 양자점은 크기에 따라 여러 종류의 빛을 방출하는 특성을 갖고 있다. 양자점이 포함된 알약을 한 개만 삼켜도 유방이나 전립선에서 종양으로 바뀌기 시작한 세포들이 촛불처럼 깜박거리는 것을 보고 종양을 일찌감치 제거할 수 있는 날이 다가오고 있다.

분자의학과 나노의학의 발달로 신속한 진단과 치료가 가능해짐에 따라 진단과 치료를 일괄 처리하는 이른바 진단치료학 theranostics이 2030년대 질병관리 기술의 핵심 요소가 된다.

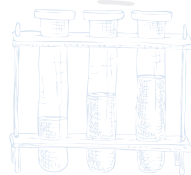


사이버 공간에서 실시간으로 건강 관리한다



2035년 어느 겨울날 아침.
며칠째 소화가 잘되지 않아 기분이 울적한 당신은
거실 벽에 설치된 스크린 wall screen을 향해
주치의의 이름을 부른다. 벽 스크린에 나타난 주치의는
당신에게 몇 가지 간단한 질문을 던지고 나서
소화제를 처방해주며 큰 병이 아니므로
걱정하지 말라는 말까지 덧붙인다.
미래에는 환자가 병원으로 가지 않고도
벽 스크린을 통해 의사와 상담하게 된다.
더욱이 스크린에 나타난 주치의는 사람처럼 보이지만,
당신에게 몇 가지 질문을 던지게끔
프로그램된 영상일 뿐이다.

사이버 헬스케어 기술



이른바 가상외사는 환자의 유전자 정보를 완전히 파악하고 있으므로 질병의 진단과 처방을 할 수 있다.

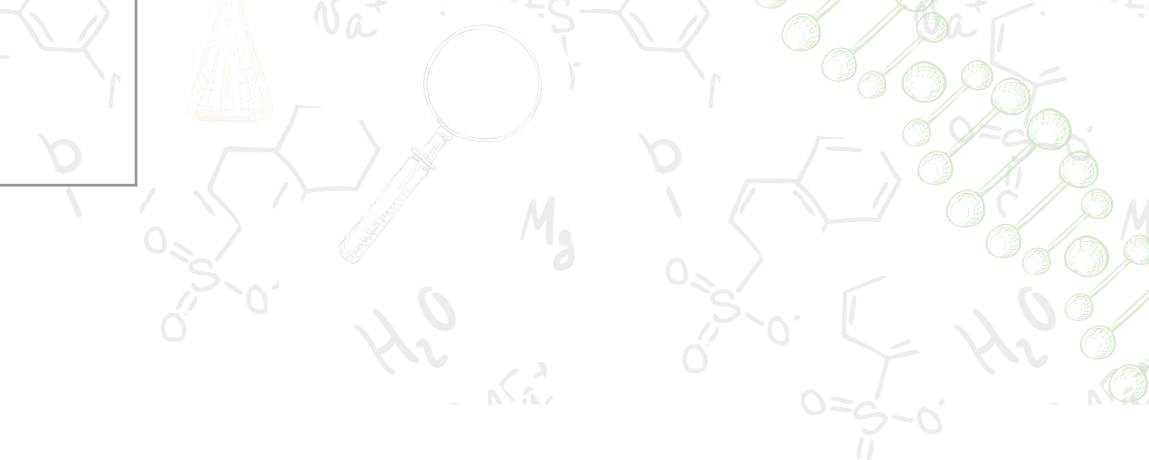
이처럼 환자가 의사를 직접 만나지 않고도 원격진료를 받게 된 것은 가상현실 virtual reality 기술이 발달한 덕분이다.

벽 스크린처럼 컴퓨터가 창출한 3차원 환경을 현실세계로 착각하여 경험하는 것을 가상현실이라고 한다. 가상현실 기술은 사람과 컴퓨터 사이의 3차원 인터페이스라고 할 수 있다. 가상현실 말고도 인공현실, 가상 환경, 가상세계, 사이버스페이스(사이버공간) 등 각종 용어가 같은 의미로 함께 사용되고 있다.

특히 사이버스페이스는 정보통신 기술의 발달에 따라 그 의미가 변화를 거듭한다. 처음에는 ‘컴퓨터로 매개된 통신기술에 의해 형성되는 가상 공간’을 의미했으나 오늘날 인터넷과 동의어로도 곧잘 사용되고 있다.

가상현실, 곧 사이버공간으로 들어가기 위해서는 인터넷안경 Internet glasses과 같은 특수 장치가 필요하다. 인터넷안경을 쓰고 눈만 한두 번 깜빡이면 곧바로 인터넷에 연결된다. 인터넷안경은 입체 시각 능력을 부여하므로 착용자는 컴퓨터 화면의 2차원 이미지를 현실세계의 3차원 대상인 것처럼 착각하게 된다.

우리가 가상의 현실임을 알면서도 진짜인 것처럼 느낄 수 있으려면



사람의 다섯 가지 감각, 곧 시각·청각·후각·미각·촉각 등 오감을 그대로 재현하는 기술이 무엇보다 중요하다. 오감인식기술 중에서 시각과 청각 기술은 크게 발전한 반면 촉각 기술은 뒤늦게 개발되었다.

사이버공간에서 사람의 촉각 능력을 그대로 재현하는 기술을 연구하는 분야는 햅틱(haptics)이다. 촉각을 재현하는 기술은 햅틱 기술, 촉각을 전달하는 장치는 햅틱 인터페이스라고 한다.

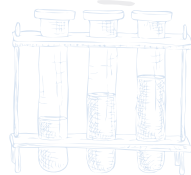
햅틱 장갑을 손에 끼고 가상현실 속으로 들어가서 컴퓨터에 나타난 이미지의 모서리에 손을 대면 촉감을 느낄 수 있을 뿐만 아니라, 그 이미지를 움직이려 할 때 그 이미지로 표현된 실제 대상의 질감 때문에 손끝에 와 닿는 물리적 힘이 실제처럼 사용자에게 지각된다.

예컨대 사이버공간에 영상으로 나타난 환자에게 원격수술을 집도하는 의사는 햅틱 기술 덕분에 자신의 손으로 직접 환자를 다루는 듯한 촉감을 느낄 수 있다.

인간의 오감을 제대로 재현하는 실감 인터페이스가 개발되면 우리는 사이버공간에서 원하는 것은 무엇이든지 간접 체험할 수 있을 뿐만 아니라 원격교육, 원격화상회의, 원격진료, 원격수술이 실현되어 가상세계와 실제세계의 구별이 어려워지는 세상이 된다.

2035년에 이처럼 가상현실이 진짜처럼 완벽하게 구현됨에 따라 벽에

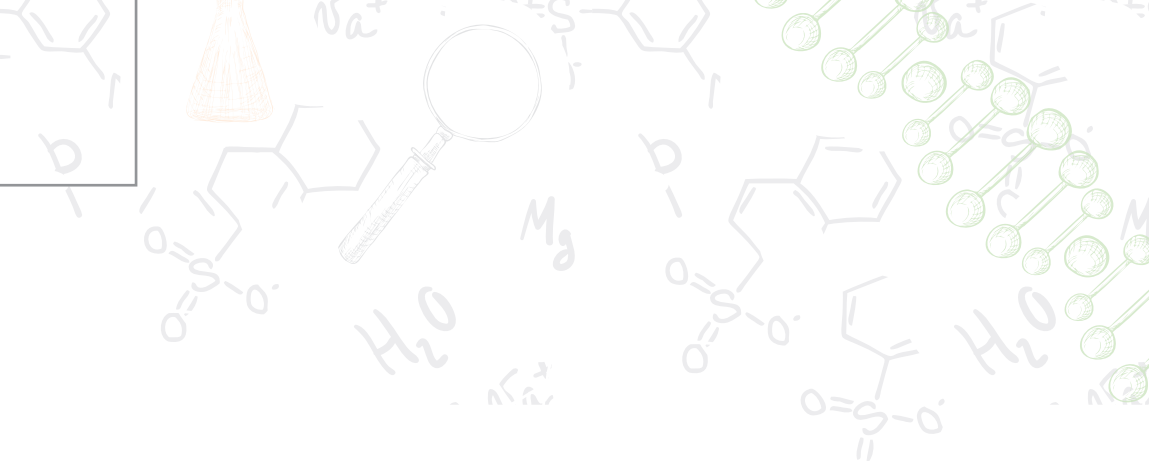
사이버 헬스케어 기술



설치된 스크린을 통해 의사와 상담하게 될 뿐만 아니라 누구나 필요할 때마다 자신의 건강 상태를 점검할 수 있다.

가령 만물인터넷에 연결된 화장실 변기에는 대형병원이나 보유하고 있던 고성능 센서가 내장되어 있어 사용자의 모든 배설물을 분석한다. 이 변기는 가족 한 명 한 명의 유전자 정보가 입력되어 있으므로 배설물 분석 결과를 토대로 생명에 위협이 될 수 있는 잠재적 질병을 파악해서 경고를 한다. 화장실은 마치 병원 진료실처럼 증세가 나타나기 전에 위험신호를 내는 것이다. 변기가 조기에 암을 발견해주는 고마운 존재가 될 수도 있다. 변두리 산업으로 여겨지던 변기 제조업이 만물인터넷 덕분에 갑자기 의료산업의 핵심 분야로 부상하게 되는 셈이다.

사람이 별로 다니지 않는 곳에서 혼자 교통사고를 당하면 의식을 잃은 운전자는 피를 많이 흘려 목숨을 잃기 쉽다. 그러나 2035년에는 만물인터넷에 연결된 운전자의 옷이 생명을 구해준다. 먼저 운전자의 옷은 구급차를 부른다. 이어서 옷에 달려 있는 센서가 운전자의 심장박동, 혈압, 호흡 상태를 점검하고 병원에 이를 알린다. 물론 사고 지점, 상처의 부위와 정도, 운전자의 과거 병력에 관한 자료도 함께 병원으로 전송된다. 미국의 미래학자인 미치오 카쿠 Michio Kaku는 2011년 펴낸 「미래의 물리학 Physics of the Future」에서 “옷을 입고 있는 한 당신은 온라인 상태에 있을 수밖에 없다”



면서 “미래에는 혼자 조용하게 죽기가 쉽지 않을 것 같다”고 털어 놓는다.

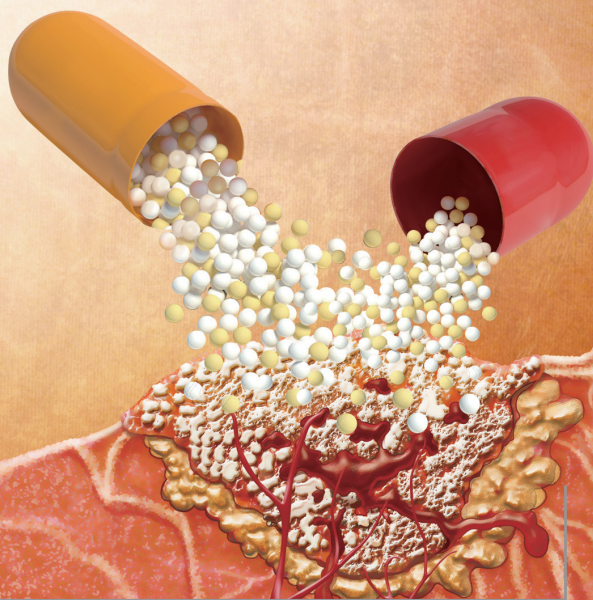
2035년 우리가 즐겨 입는 옷에도 DNA 칩이 달려 있어서 아직 수백 개에 불과한 암세포까지 찾아낼 수 있다. 한 사람의 옷에 장착된 센서의 수도 요즘 대형병원에서 보유하고 있는 센서의 수보다 많을 것이다.

미치오 카쿠의 예측처럼 사이버공간에서 헬스케어 ^{health care}가 일상화 되면 우리는 자신도 모르는 사이에 건강 상태를 하루에도 몇 번씩 점검하며 무병장수하게 될지도 모른다.



세계 신약시장에서 경쟁력을 확보한다

세계시장에서 우리나라가 가장 취약한 분야의 하나가 제약산업이다.
그러나 2030년대에는 국내 기업이 개발한 신약이 대박을 터뜨릴
가능성이 매우 높을 것으로 예측된다. 박근혜정부에서 만든
〈국가중점과학기술 전략로드맵〉에 따르면 우리나라 제약회사들이 개인
맞춤형 신약으로 세계시장에서 승산이 없지 않은 것으로 나타났다.



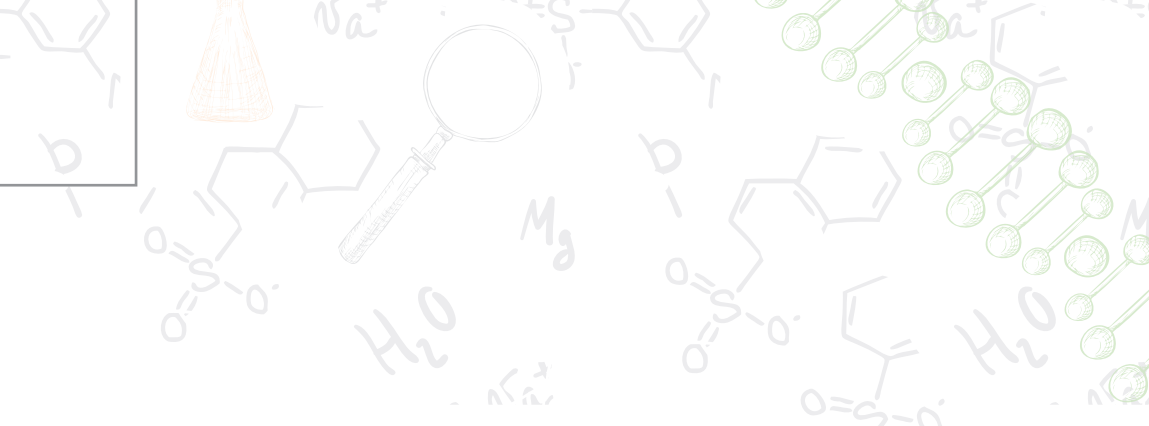
맞춤형 제약기술



2014년 4월에 국가과학기술심의회에 상정된 이 전략로드맵은 사회·문화적, 기술적, 생태·환경적, 경제적 측면에서 각각 환경변화를 분석하고 국내 연구진과 기업이 세계 맞춤형 신약 시장에서 경쟁력을 갖추는 전략을 제시하였다.

첫째(사회·문화적 변화), 2030년에 65세 이상의 인구가 15~20%에 이르는 초고령사회로 진입하여 건강 장수시대, 곧 헬스케어(건강관리) 3.0 시대로 진입한다. 헬스케어 1.0 시대에는 전염병의 예방과 확산 방지에 주력하고 헬스케어 2.0 시대는 질병 치료 위주였다면 헬스케어 3.0 시대에는 질병 예방을 통해 건강한 삶을 추구하게 되므로 분자진단기술이나 맞춤형 치료기술과 함께 맞춤형 신약에 대한 수요가 갈수록 증가한다. 노령인구 비율이 높아짐에 따라 과거의 감염성 질환보다는 당뇨병·고혈압·심장질환 따위의 만성퇴행성 질환이 많아질 것이므로 노인성 만성질환에 대한 새로운 헬스케어 환경과 함께 맞춤형 신약에 대한 요구도 지속적으로 확대될 전망이다.

둘째(기술적 변화), 인간게놈(유전체) 프로젝트 HGP (Human Genome Project)에 의해 유전자 치료 gene therapy가 실현되면서 환자 개개인의 유전적 특성을 고려하여 치료하는 맞춤의학 personalized medicine 시대가 개막되고 유전자에 기반을 둔 맞춤형 신약이 개발된다. 개인맞춤형 신약은 스니프(단염기 다형성) SNP (single nucleotide polymorphism)



와 같은 유전자에 기초하여 개발된 치료제가 주종을 이룬다. DNA에서 발견되는 단일 염기배열의 차이, 곧 스니프 때문에 사람마다 얼굴 생김새나 쉽게 걸리는 질병이 다른 것이다. 이를테면 모든 사람에게 유전자 염기배열이 99.9%는 동일하지만 나머지 0.1%가 달라서 이 미세한 차이가 사람마다 유전병이나 특정 질환에 다르게 반응하는 특성을 결정짓는 요인이 된다. 다시 말해 스니프의 정체가 밝혀지면 개인의 체질에 적합한 맞춤형 치료기술과 맞춤형 신약을 선택할 수 있는 것이다.

셋째(생태·환경적 변화), 기존 표준치료제^{SoC (standard of care)}는 불특정 다수의 환자를 대상으로 개발된 약물이기 때문에 많은 종류의 질환에서 치료 효과가 낮을 수밖에 없다. 표준치료제의 90% 이상은 30~50%의 환자에게만 효과적이다. 게다가 표준치료제는 약물 부작용의 발생 빈도가 7%나 되어서 의료비용의 추가 지출이 불가피한 실정이다. 이러한 상황에서 특정 환자집단을 겨냥하는 개인맞춤형 신약에 대한 수요가 발생하게 된다.

넷째(경제적 변화), 21세기 들어 세계적 제약회사들이 신약개발 사업의 획기적인 방향 전환을 모색하고 있다. 막대한 투자를 해서 개발한 블록버스터 blockbuster 약품이 크게 성공을 거두지 못하고 있기 때문이다. 블록버스터 약품은 연매출 10억 달러 이상을 목표로 개발된 것으로 폭넓은 환자집단과 다양한 질환을 겨냥한다. 최근 항암제 중심의 표적치료제 targeted

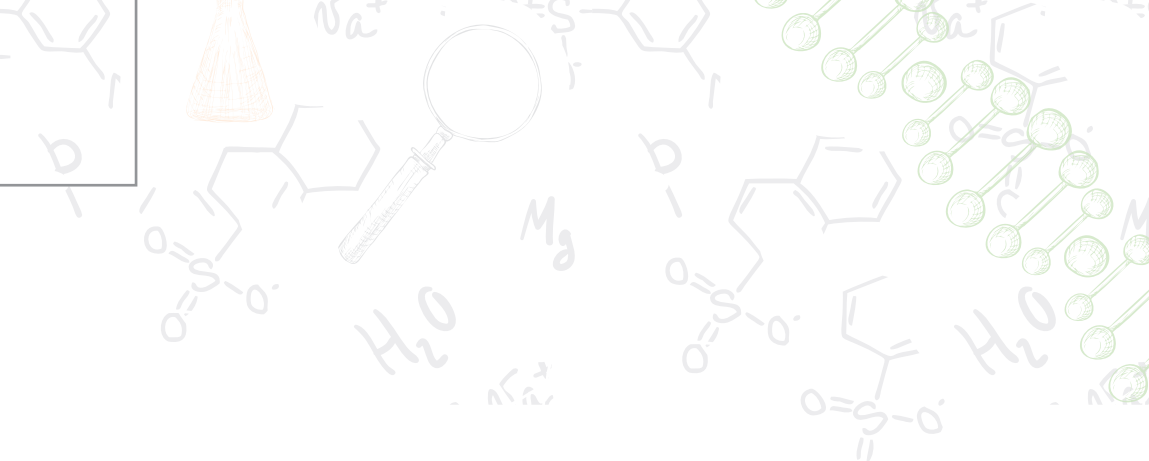
맞춤형 제약기술



therapy나 ‘버림받은 아이들의약품 orphan drug’이라 불리는 희귀질환 약물처럼 틈새(적소 適所, niche)를 노리는 니치버스터 niche-buster 약품이 시장에서 성공하는 사례가 나타남에 따라 신약 개발의 새로운 대안으로 관심을 끌게 되었다. 표적항암제나 희귀의약품처럼 특정 환자집단만을 대상으로 하는 니치버스터 약물이 표준치료제 중심의 블록버스터 약물 못지않게 사업성이 높은 것으로 여겨지고 있는 것이다.

〈국가 중점과학기술 전략로드맵〉은 이러한 제약분야의 환경변화를 분석하여 맞춤형 신약개발의 전략을 수립하였다. 맞춤형 신약을 ‘개개인 환자의 유전적·병리생리적·임상적 특성을 고려하여 치료효과 극대화 및 부작용 최소화가 가능한 치료제를 개발하는 기술’이라고 정의하고, 개인 맞춤형 신약은 세계적으로 기반연구 단계이므로 우리나라 같은 후발주자도 추격 가능한 분야라고 강조하였다. 맞춤형 신약분야의 선두주자인 미국도 일부 표적항암제를 개발하는 수준에 그치고 있어 상용화의 초기 단계이므로 국내 연구진과 기업이 핵심기술을 선정하여 국제 경쟁력을 서둘러 구축해줄 것을 주문하고 있다.

건강한 삶을 추구하는 헬스케어 3.0 시대에 유망주로 떠오르는 니치버스터 약품의 하나로 천연물신약이 주목받고 있다. 천연물신약이 합성 신약보다 부작용이 적게 나타나 경쟁력이 높기 때문이다. 한국과학기술

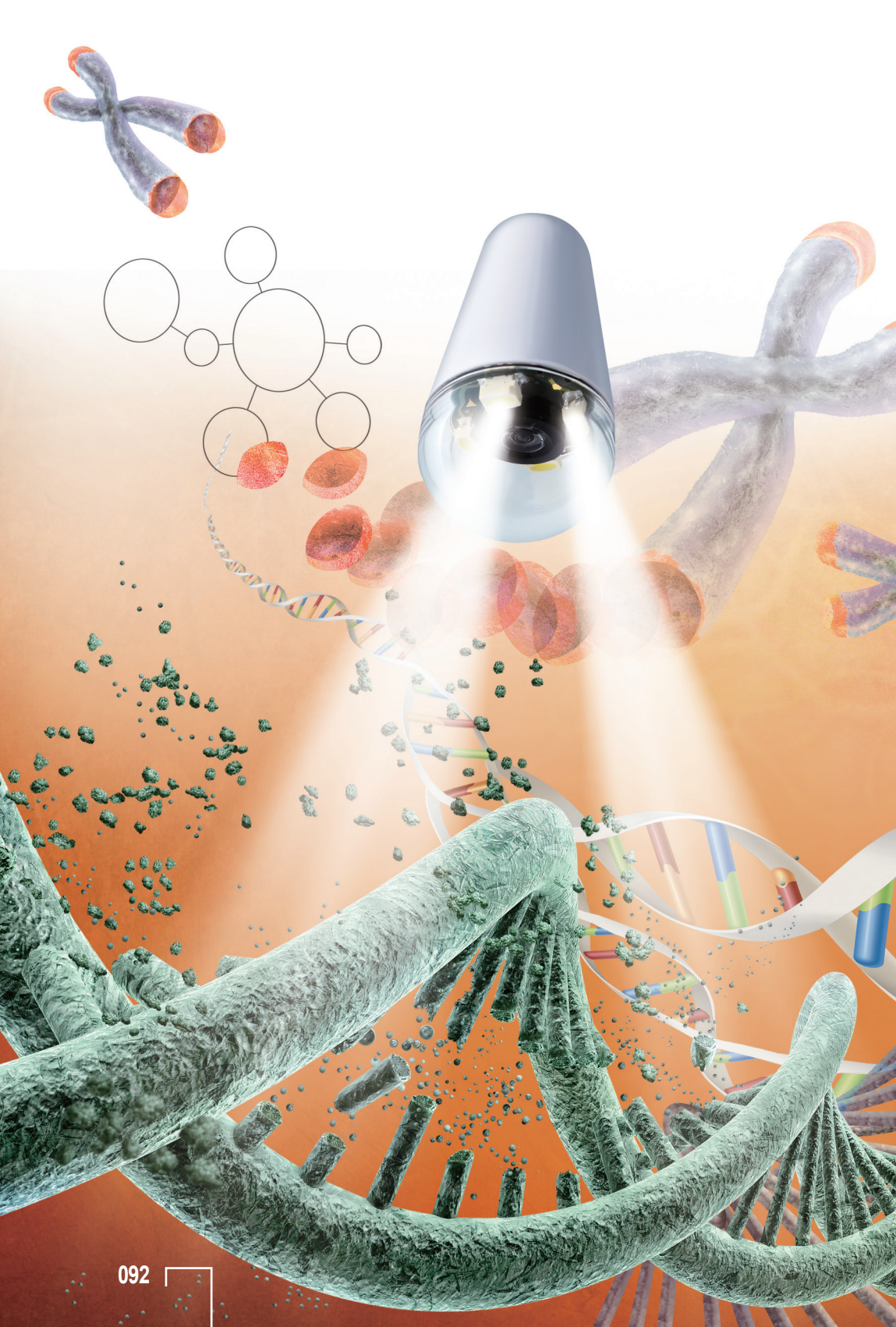


연구원이 2014년 4월에 펴낸 「KIST 과학기술 전망 2014」에 따르면, 유망한 천연물 의약품으로는 노화억제제, 항암면역강화 제제, 비만방지 제제, 성인병 예방 및 개선 제제, 건강유지 향상 제제, 퇴행성 뇌질환 예방 및 개선 제제 등이 손꼽힌다.

천연물신약 개발은 미국, 유럽, 중국 등에서 활발하게 이루어지고 있는데, 우리나라 기술 수준은 특히 임상분야에서 뒤처지는 것으로 알려졌다. 「KIST 과학기술 전망 2014」는 “국내 제약기업이 한의학 정보를 바탕으로 천연물신약 개발에 성공하고 해외시장에 진출하려면 다양한 분야의 기반을 조성하는 일이 시급하다”고 강조하였다.

세계시장에서 괄목할 만한 존재감을 드러내길 바라는 우리나라 제약업계가 2030년대에는 세계시장점유율 1위의 니치버스터 약품을 서너 개 내놓을 것으로 믿어 의심치 않는다.





유전자치료와 줄기세포치료로 불치병 고친다

2003년 인간게놈(유전체) 프로젝트 HGP (Human Genome Project) 가

완료된 이후 30여년이 지난 뒤인 2035년경에는

아마도 개인용 유전자지도 작성 비용이
혈액검사 비용과 엇비슷한 수준까지 내려감에 따라
누구나 자신의 유전자지도를 갖게 될 전망이다.

인간게놈 프로젝트는 유전자의 본체인
디옥시리보핵산^{DNA}을 구성하는 화학구조(염기쌍)를 분석하여
유전자지도를 완성하는 작업이다.

사람 세포의 DNA는 30억 개의 염기쌍을 가지고 있으며,
이 염기쌍이 배열되어 있는 순서를 알아내는 것이
인간게놈 프로젝트의 목적이다.

이러한 염기서열이 인간이 갖고 있는 유전정보이기 때문이다.

맞춤형 치료기술



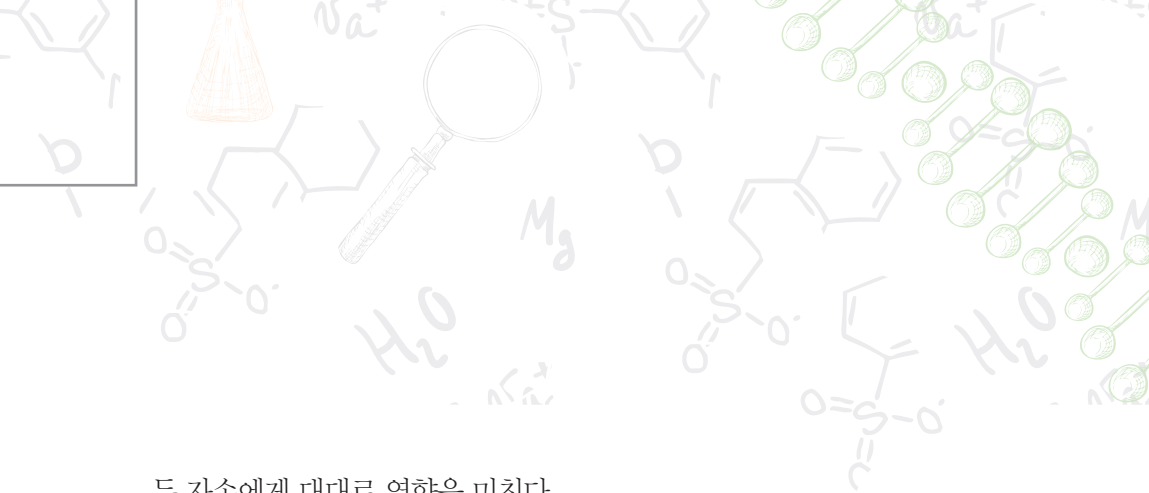
요컨대 염기서열 분석기술 sequencing의 발달로 개인용 유전자지도 작성이 용이해짐에 따라 유전체의학 genomic medicine 시대가 열리게 되는 것이다.

유전체의학의 핵심은 유전자치료 gene therapy이다. 유전자지도를 통해 각종 생명현상을 이해할 수 있으므로 질병과 노화가 일어나는 이유도 알게 된다. 유전자의 이상 유무를 사전에 검사하여 개인이 어떤 유전성 질환에 걸릴 위험이 있는지도 미리서 알아낼 수 있다. 유전자 검사로 개인이 지닌 질병 유발 유전자를 확인하여 정상적인 유전자로 교체하는 의료 기술을 유전자치료라고 한다.

유전자치료를 먼저 낭포성 섬유증, 헌팅턴병, 혈우병처럼 단일 유전자의 결함으로 유발되는 질병이 퇴치되고, 이어서 고혈압, 심장병, 당뇨병 등 환경적 영향이 유전적 요소와 결합된 질병이 완치된다.

유전자치료에는 체세포치료 somatic gene therapy와 생식세포치료 germ-line gene therapy 두 종류가 있다. 유전자치료의 결과로 변환된 유전적 조성이, 체세포치료의 경우에는 환자 한 사람에게만 영향을 미치는 반면에 정자 또는 난자를 다루는 생식세포치료의 경우에는 그 환자의 모





든 자손에게 대대로 영향을 미친다.

유전자치료는 의료기술 이상의 의미를 함축하고 있다. 우리가 질병을 치유하는 유전자를 제공하는 능력을 가졌다는 것은 우리가 치료 이외의 목적에도 유전자를 제공하는 능력을 갖게 되었다는 뜻이기 때문이다. 말하자면 정상적인 사람의 형질을 개량하기 위해 유전적 조성을 바꿀 수 있게 되는 것이다. 따라서 생식세포 유전자치료를 함축된 윤리적 문제가 만만치 않다. 생식세포에서 질병과 관련된 유전자를 제거하는 데 머물지 않고 지능·외모·건강을 개량하는 유전자를 보강할 수 있기 때문이다. 뛰어난 머리, 준수한 외모, 예술적 재능 등 누구나 바라는 형질의 유전자로 설계된 맞춤형 아기 *designer baby*가 생산될 수 있다. 2030년대에 설계대로 만들어진 주문형 아기가 출현하면 유전자가 보강된 슈퍼인간 *super human*과 그렇지 못한 자연인간으로 사회계층이 양극화된다. 슈퍼인간은 자연인간과의 생존경쟁에서 승리해 그 자손을 퍼뜨려 결국 현생인류와 유전적으로 다른 새로운 종, 곧 포스트휴먼 *post human*으로 진화한다.

당뇨병, 심장병, 파킨슨병, 알츠하이머 따위의 난치병은 줄기세포 *stem cell*를 이용해서 치료할 수 있다. 좀 더 정확히 말하자면 줄기세포 기술로 치료할 수 없는 질병은 거의 없을 정도이다.

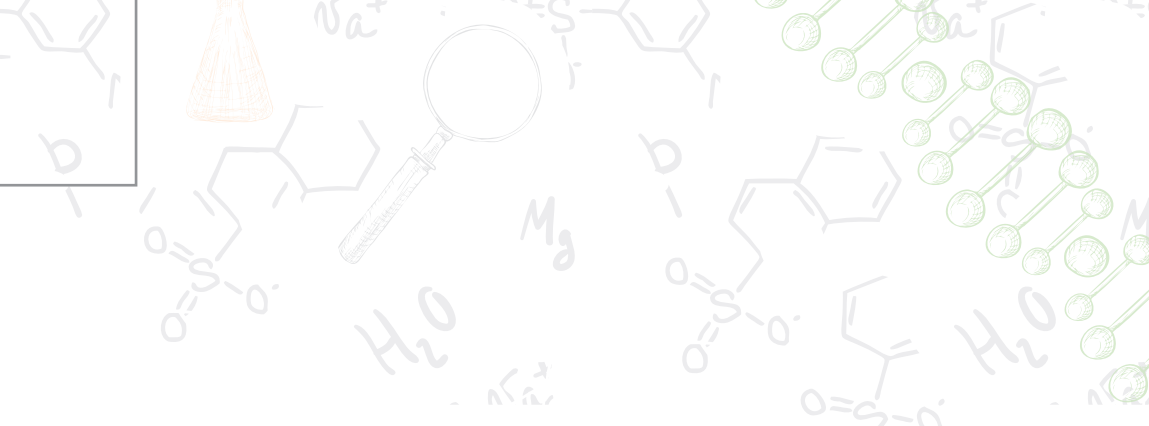
생물의 수정란에서 개체로 발생하는 과정에서 세포는 각자의 역할을



자각하여 그 안에서 합당한 구조를 갖도록 변화해 간다. 이러한 과정을 세포분화 cell differentiation라고 한다. 이를테면 눈이나 심장을 구성하는 세포는 완전히 분화된 세포이다. 그러나 분화의 초기 단계에 멈추어 있는 세포가 항상 존재한다. 이들을 일러 줄기세포라고 한다. 말하자면 줄기세포는 뇌, 뼈, 근육, 피부, 혈액 등 모든 신체기관과 장기로 분화될 수 있는 만능 세포이다.

줄기세포는 크게 배아줄기세포 ESC (embryonic stem cell)와 성체줄기세포 adult stem cell로 나뉜다. 인체를 구성하는 210여 가지의 세포로 분화할 수 있는 배아줄기세포는 수정란이 만들어진 순간부터 처음 두 달 동안의 생명체, 곧 배아에서 얻어지는 줄기세포이다. 인체의 모든 세포는 배아줄기세포로부터 유래된 것이므로 배아줄기세포가 다양한 세포로 분화하는 능력을 임의로 조절할 수 있다면 얼마든지 원하는 세포나 조직을 만들어낼 수 있기 때문에 난치병 치료와 환자 맞춤형 장기 생산에 획기적인 전기가 될 것이다.

한편 성체줄기세포는 골수, 제대혈(탯줄혈액), 근육, 지방 등에서 추출하는 줄기세포이다. 성체줄기세포는 신경세포, 혈구세포, 면역세포 등으로 분화되는 것이 확인되었지만 배아줄기세포처럼 다양한 세포를 만들어 내지는 못한다. 그러나 배아줄기세포에 비해 생명윤리 측면에서 보다 자유롭다는 장점을 갖고 있다. 2014년 4월 차병원의 연구진이 성인의 체세



포를 복제하여 줄기세포를 만드는 데 세계 최초로 성공했다.

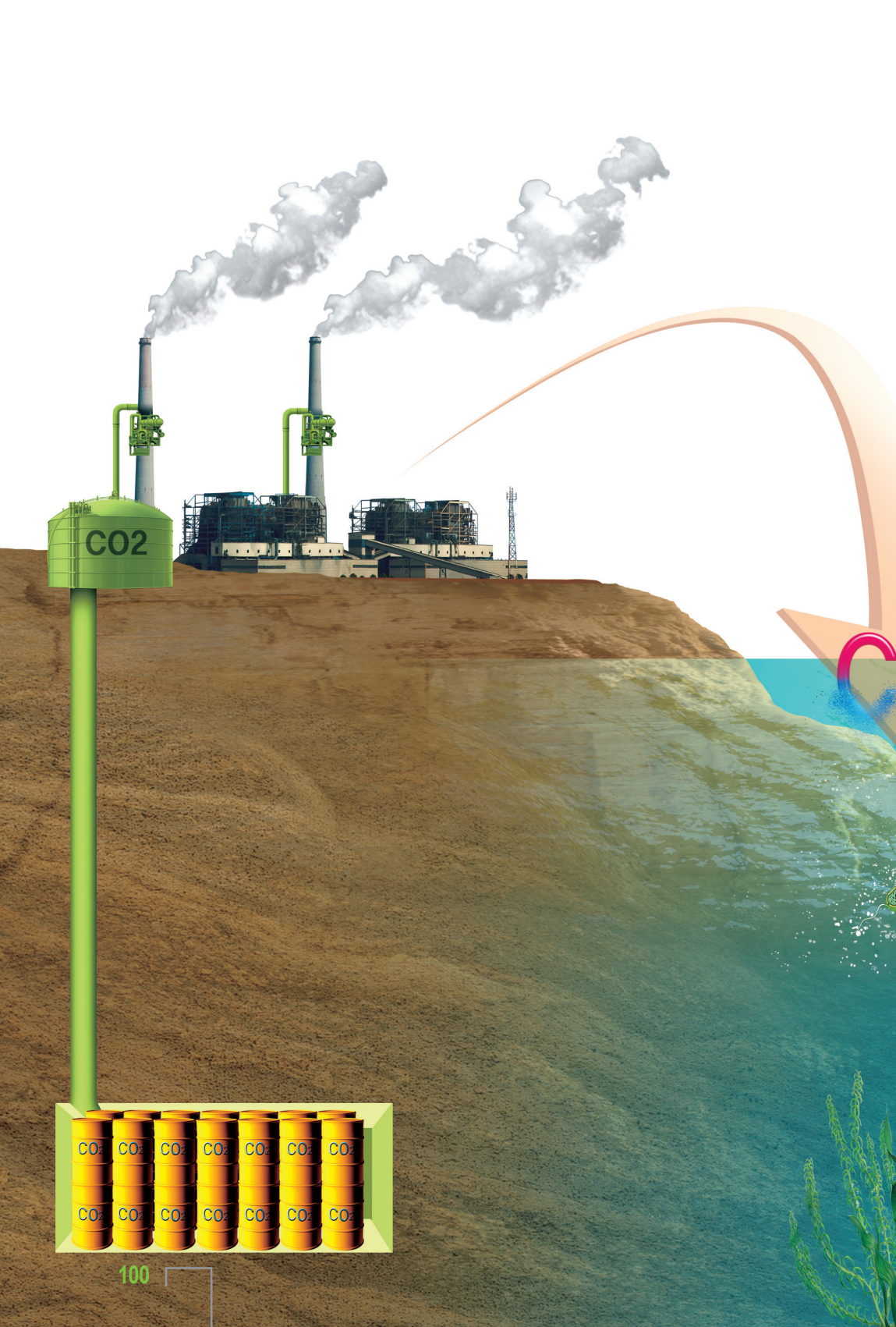
2012년 노벨상을 받은 일본의 야마나카 신야 교수가 개발한 역분화(逆分化) 줄기세포 또는 유도만능줄기세포(^{iPSC (induced pluripotent stem cell)})는 분화가 이미 끝난 체세포에 특정 유전자 몇 개를 도입해 분화 이전의 줄기세포 단계로 유도된 줄기세포이다. 환자 체세포를 떼어내 이를 줄기세포로 되돌린 뒤에 이 줄기세포를 원하는 방향으로 다시 분화를 유도하면 환자 맞춤형 세포·조직·장기를 얻을 수 있으므로 불치병 치료에 청신호가 켜질 전망이다.





지속가능한 사회

- ❖ 온실가스저감기술
병든 지구를 어떻게 살려낼 것인가
- ❖ 원자력기술
소형 모듈원자로와 원전해체기술을 수출한다
- ❖ 신재생에너지기술
자연의 청정에너지로 지구의 건강을 지킨다
- ❖ 스마트그리드기술
똑똑한 전기가 산업 판도를 바꾼다



병든 지구를 어떻게 살려낼 것인가

스웨덴 스톡홀름대학의 환경과학자인

조한 록스트룀 Johan Rockström은

유럽, 미국, 호주의 전문가들과 함께

인류의 생존을 위협하는

환경 위기의 실상을 점검하는

연구를 수행하고,

2009년 <네이처 Nature> 9월 24일자에

지구의 건강 상태를 종합 진단한

보고서를 발표했다.

이 보고서에 따르면 지구가

참으로 깊은 병에 걸려

죽어가고 있음을 절감하게 된다.



온실가스저감기술

예컨대 화석연료에서 방출되는 이산화탄소 때문에 지구는 갈수록 더워지고 있다. 지구온난화에 따른 기후변화 climate change로 생태계 교란, 전염병 창궐, 집중호우와 허리케인 빈발, 해수면 상승 등 인류의 생존에 적신호가 켜진 상태이다. 인류가 안전하게 삶을 꾸릴 수 있는 한계치가 350이라면 기후변화는 387로 이미 위험수위를 넘어선 것으로 밝혀졌다.

지구온난화의 속도를 늦추기 위한 방안으로는 이미 배출된 온실가스 GHG (green house gas)를 격리 또는 저감하는 이산화탄소 포집격리 CCS (carbon capture and sequestration) 기술과 지구공학 geoengineering, 그리고 온실가스 배출을 극소화하는 청색기술 blue technology이 있다.

이산화탄소 포집격리기술은 먼저 화력발전소에서 석탄을 태울 때처럼 화석연료를 사용하는 설비에서 배출되는 이산화탄소를 포집한 다음에 영하의 온도로 냉각하여 액화시킨다. 액체가 된 수만 톤의 온실가스는 트럭을 동원하여 멀리 떨어진 지역의 땅속 수천 미터 아래까지 깊숙이 파묻어 완전히 격리시킨다. 1991년에 노르웨이에서 처음으로 실용화된 이산화탄소 포집격리기술은 화석연료에서 직접적으로 대량의 온실가스를 격리할 수 있는 유일무이한 방법이다. 이 기술을 활용하면 석유나 천연가스보다 이산화탄소 배출량이 훨씬 많은 석탄을 환경친화적인 연료, 곧 청정 석탄 clean coal으로 만들 수도 있다.



지구공학은 인류의 필요에 맞도록 지구의 환경을 대규모로 변화시키는 공학기술이다. 지구공학으로 지구온난화를 방지하는 기술의 하나는 대기 중에 이미 배출된 이산화탄소를 제거 또는 저감하는 방법이다. 1990년에 처음 제안된 이 방법은 바다에 철을 뿌려 식물플랑크톤의 성장을 돕는 것이다. 바다 표면 근처에 부유하는 미생물을 통틀어 식물플랑크톤이라 일컫는다. 어류의 먹이이며 광합성 *photosynthesis*을 한다. 식물플랑크톤은 광합성을 위해 수중에 용해된 이산화탄소를 사용한다. 광합성이 왕성해지면 대기권의 이산화탄소까지 흡수한다. 광합성에는 미량의 철이 필요하다. 철이 부족하면 광합성이 원활하지 못해 이산화탄소가 흡수되기 어렵다.

2003년에 발간된 미국 해양대기국 *NOAA*의 보고서에 따르면 태평양 갈라파고스 제도 부근 바닷속에 철이 부족해서 식물플랑크톤의 수가 줄어들었다. 따라서 2007년 5월부터 이 부근에 적철광 50톤을 뿌리는 실험이 시작되었다.

2007년 11월에 미국에서 개최된 지구공학 회의에서는 인간에 의해 야기된 기후변화가 인간에 의한 공학적 방법으로 해결될 수 있다는 결론이 도출되었다.

이산화탄소 포집격리 같은 녹색기술 *green technology*은 온실가스로 환경오

염이 발생한 뒤에 사후 처리적인 대응을 하는 측면이 강하다. 따라서 환경오염 물질의 발생을 사전에 원천적으로 억제하려는 기술인 청색기술이 녹색기술의 한계를 보완할 것으로 전망된다.

2012년에 출간된 「자연은 위대한 스승이다」에서 처음 소개된 용어인 청색기술은 생물체로부터 영감을 얻어 문제를 해결하려는 생물영감(bioinspiration)과 생물을 본뜨는 생물모방(biomimicry)을 아우르는 개념이다. 청색기술은 미국의 생물학 저술가인 재닌 베니어스(Janine Benyus)가 1997년에 펴낸 「생물모방(Biomimicry)」과 벨기에의 환경운동가인 군터 파울리(Gunter Pauli)가 2010년에 펴낸 「청색경제(The Blue Economy)」에 바탕을 두고 있는 융합기술이다.

재닌 베니어스는 그의 저서에서 “생물은 화석연료를 고갈시키지 않고 지구를 오염시키지도 않으며 미래를 저당 잡히지 않고도 지금 우리가 하고자 하는 일을 전부 해왔다”고 역설한다.

청색기술의 목표는 이러한 생물의 구조와 기능을 연구하여 경제적 효율성이 뛰어나면서도 자연친화적인 물질을 창조하는 데 있다. 그러므로 생물 전체가 청색기술의 연구 대상이 된다.

가령 청색기술 전문가들은 식물의 잎처럼 광합성 능력이 있는 인공나뭇잎을 만들 공리를 하고 있다. 식물은 엽록소(chlorophyll)로 태양에너지를 흡수하여 물을 산소분자와 수소이온으로 분리한다. 산소분자는 공기 중으



로 배출되고, 수소이온은 공기 중에서 빨아들인 이산화탄소와 결합하여 탄수화물이 된다. 이러한 과정을 광합성이라고 한다. 인공엽록소를 개발하려고 하는 것도 인공나뭇잎의 필수 요소이기 때문이다.

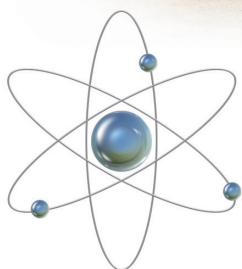
포스코^{POSCO}는 인공엽록소를 사용하여 식물처럼 상온에서 물을 산소와 수소로 분리하는 기술에 도전하고 있다. 새로 준비 중인 제철법에 수소가 꼭 필요하기 때문이다. 기존 제철법은 탄소를 이용하여 철광석에서 산소를 분리해 내고 순수한 철을 생산한다. 이때 분리된 산소가 탄소와 결합하여 이산화탄소가 배출된다. 철강 1톤 생산에 온실가스가 2톤이나 나올 정도이다. 포스코는 이 문제를 해결하기 위해 탄소 대신 수소를 이용하는 이른바 생태 제철법을 연구 중인 것으로 알려졌다. 포스코의 인공엽록소 개발 프로젝트는 청색기술이 온실가스 배출을 원천적으로 억제하는 기술임을 단적으로 보여주는 사례이다.

자연을 스승으로 삼고 인류사회의 지속가능 발전^{sustainable development}의 해법을 모색하는 청색기술은 2030년대 생태시대^{Ecological Age}를 지배하는 혁신적인 패러다임이 될 것임에 틀림없다.

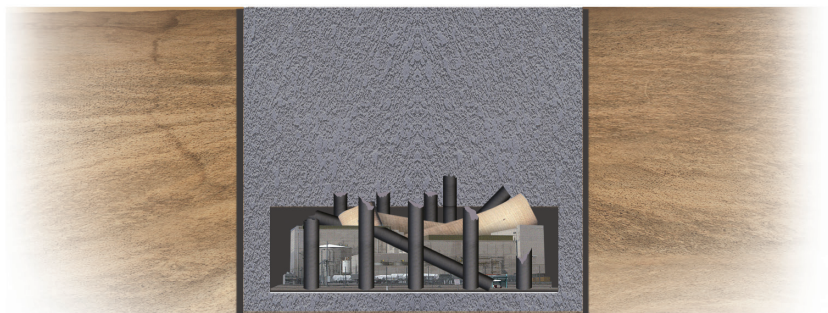
소형 모듈원자로와 원전해체기술을 수출한다

2035년 우리나라는
소형 모듈원자로 SMR (small modular reactor) 기술로
세계 시장에서 독보적인 경쟁력을
과시할 것으로 전망된다.
국제원자력기구IAEA는
전기출력 300메가와트 MWe (mega-watt electric) 이하의
원전을 소형으로, 300MW 이상
700MW까지의 원전을 중형으로
분류한다. 모듈원자로는 공장에서
모듈 형태로 제작하여
건설 현장에서 조립하는 원자로이다.





설계 수명 이후



2011년 3월 태평양 해역의 지진으로 인해 발생한 일본 후쿠시마 원전 사고 이후 안전한 원자로에 대한 논의가 진행되었으며, 그 결과 소형 모듈원자로의 필요성이 제기된 것이다. 대형 원전 건설을 위해서는 막대한 투자비용이 요구되지만 소형 모듈원자로는 전력 수요 증가에 따라 모듈을 추가로 건설할 수 있으므로 투자재원 조달과 금융비용 절감 측면에서 상당히 유리하다. 또한 소형 모듈원자로는 공장에서 모듈을 제작하고 현장으로 운반해서 조립 및 건설하기 때문에 건설공기 단축과 건설비용 절감이 가능하다. 물론 공장에서의 모듈 반복 생산으로 품질 향상도 기대된다.

소형 모듈원자로는 대형 원전에 비해 안전성 확보에 매우 유리하며 피동 안전성^{passive safety} 과 고유 안전성^{inherent safety} 구현도 용이하다. 이처럼 소형 모듈원자로 높은 수준의 안전성이 담보되므로 수요지에 근접한 위치에 설치 가능하여 공정열, 지역난방, 해수담수화 등 다목적으로 활용될 수 있다. 또한 섬이나 오지 같은 고립지역의 독립적인 소규모 전력 생산에도 적합하다. 특히 분산 전원이 세계적 추세이므로 소형 모듈원자로의 시장 잠재력은 상당한 것으로 평가된다. 소형 모듈원자로는 2020년 이후 시장이 본격적으로 형성될 것이므로 세계 시장을 선점하기 위한 국제적 기술 경쟁이 치열하게 전개될 전망이다.

우리나라는 대형 원전뿐만 아니라 연구용 원자로를 수출한 실적을 보



유하고 있으며 2015년 9월 사우디아라비아와 스마트SMART (system-integrated modular advanced reactor(시스템 통합된 모듈식 첨단 원자로)) 원전을 건설하기 전의 상세설계 협약도 체결하여 소형 모듈원자로 설계의 핵심 기술을 이미 확보한 것으로 국제적 평가도 받은 바 있다.

스마트원자로는 중소형 원자로이다. 사우디처럼 인구가 분산되어 단일 전력망 구성이 어렵기 때문에 대형원전을 건설할 경우 송전망 구축에 과도한 비용이 소요되는 나라에 수출되어 전력 생산뿐만 아니라 바닷물을 증발시킨 뒤 식혀 민물(담수)로 바꾸는 해수담수화에도 활용될 것으로 기대하고 있다.

우리나라처럼 원전 부지 선정에 애로가 많은 나라일수록 해양 원자력 시스템을 검토하고 있는데, 소형 모듈원자로가 적합한 기술인 것으로 여겨진다. 따라서 우리가 보유한 세계 최고 수준의 조선해양기술과 원자로기술을 결합하면 세계 시장에서 선두 주자가 되어 소형 모듈원자로는 2030년대에 국가적 주력 산업이 될 것임에 틀림없다.

한편 우리나라 최초의 상업용 원전인 고리 1호기의 영구폐쇄를 계기로 핵발전소 해체dismantlement 기술을 확보하면 원전해체는 2030년대에 유망한 수출산업이 될 전망이다.

부산 기장군에 위치한 고리 1호기는 1978년부터 상업운전을 개시하고 설계수명 30년이 종료된 이후 한 차례 10년간 수명을 연장(계속운전)하

여 2017년 6월이면 운전이 종료된다. 핵발전소가 가동이 중단되면 이를 완전히 해체하게 된다. 핵발전소의 폐로^{廢爐 decommissioning} 작업에는 두 가지 방법이 있다. 즉시해체^{immediate dismantling}와 지연해체^{deferred dismantling}이다. 즉시해체는 폐로 결정을 내리고 곧바로 해체 절차에 들어가는 반면에 지연해체는 일정시간 동안 보관하고 방사선 수준이 떨어지기를 기다렸다가 해체에 들어간다.

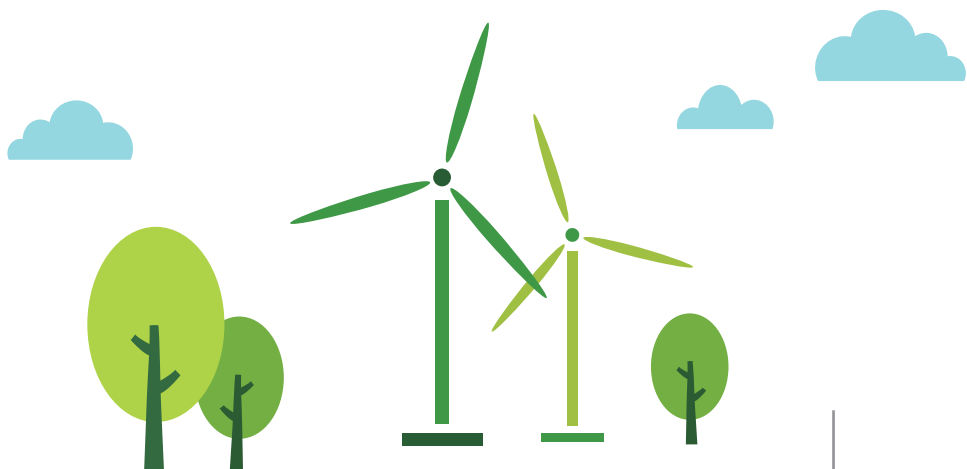
원전해체는 ① 해체 준비 ② 제염 ③ 절단 및 철거 ④ 폐기물 처리 ⑤ 부지 복원의 5단계를 거친다. 제염^{除染 decontamination}은 원자로에서 방사능 오염물질을 화학적으로 제거하는 작업이다. 원전 1기를 해체하는 데는 ▶원전 정지부터 해체준비까지 5년 ▶제염부터 폐기물 처리까지 10년 ▶부지 복원 등 마무리에 5년 등 모두 20년 이상 걸린다.

우리나라에서 현재 가동 중인 23기의 핵발전소는 2029년까지 12기가 설계수명이 만료된다. 요컨대 향후 15년 안에 전체 원전의 절반가량이 수명이 완료된다. 나머지 11기는 2030년대에 4기, 2040년대에 4기, 2051년에 3기가 설계수명이 끝난다. 따라서 핵발전소의 설계수명이 연장되지 않을 경우에는 2051년 말까지 23기 대부분이 폐로가 되어야 하므로 해체기술이 지속적으로 축적될 수밖에 없다. 국내에서 원전해체의 기술과 경험을 쌓아 해외 폐로 시장에 진출하면 원전해체 산업은 강력한 블루오션^{blue ocean}이 될 것으로 예측된다.



전 세계에서 가동 중인 원전은 438기이며 영구정지 된 것은 149기이다. 영구정지된 폐로 중에서 19기는 해체 완료, 100기는 해체 진행중, 30기는 정지상태이다. 전 세계에서 가동 중인 원전도 갈수록 노후화될 터이므로 원전해체 시장은 갈수록 그 규모가 커질 수밖에 없다.

국내 원자력 전문가들이 2030년대에 소형원자로와 원전해체의 세계 시장에서 주도적인 역할을 하여 한국의 원자력 기술역량을 과시하게 될 것으로 기대된다.





자연의 청정에너지로 지구의 건강을 지킨다

석유와 석탄 등 화석연료의 과도한 사용으로
대기 중의 이산화탄소 농도가 증가되어
기후변화 climate change 현상이 심각해지고 있다는 지적은
어제 오늘의 일이 아니다. 게다가 전 세계 에너지의
대부분을 충당하는 석유 매장량이 머지않아
소진될 것이라는 전망도 나오는 실정이다.
이러한 에너지 자원의 고갈과 지구온난화 문제를
동시에 해결하려면 에너지 소비량을 줄임과 아울러
온실가스를 적게 방출하는 새로운 자원을
서둘러 개발하는 방법밖에 없다.

이러한 새로운 에너지 자원은 화석연료의 대안이라는 뜻에서 대체에너지 alternative energy라고 불린다. 대체에너지로 거론되는 에너지는 신에너지 new energy와 재생에너지 renewable energy이다. 신에너지는 화석연료를 변환시켜 오염원을 제거한 새로운 에너지를 의미한다. 수소에너지와 연료전지 fuel cell도 신에너지로 분류된다. 재생에너지에는 햇빛, 바람, 조류(潮流), 지열을 이용하는 자연에너지와 바이오매스 biomass와 같은 생물에너지가 있다. 자연에너지나 생물에너지는 화석연료와 달리 소비되어도 무한에 가깝도록 다시 공급되기 때문에 재생에너지라고 불린다. 신에너지와 재생ener지를 통틀어 신재생에너지 new renewable energy라고 한다.

신에너지를 상징하는 수소는 지구 어디에나 있는 물에 전기를 가하면 산소와 함께 생산된다. 그러나 수소는 화석연료, 원자력 에너지 또는 재생에너지 같은 1차 에너지가 아니다. 수소는 이러한 1차 에너지로 생산된 전기를 이용해서 물로부터 만들어내는 2차 에너지이다. 요컨대 수소는 사용하기에 적합한 형태로 바꾸어 제조해야 하는 2차 에너지이다.

연료전지는 수소를 연료로 공급받으면 산소와 화학적으로 반응하여 전기를 생산하고, 부산물로 물과 열이 나온다. 수소연료전지는 자동차에서부터 발전소에 이르기까지 다양하게 활용된다. 연료전지자동차는 내연기관이 없으므로 공무니에서 물만 나오고 온실가스는 내뿜지 않는다. 발



전용 연료전지는 공장은 물론 가정이나 빌딩에서도 전기를 생산한다. 가정에서는 연료전지의 부산물로 나오는 열을 사용하여 물을 데우거나 난방도 할 수 있다. 연료전지로 생산한 전기 중에서 남는 것은 제3자에게 판매할 수 있으므로 누구나 전기의 프로슈머 *prosumer*가 된다. 요컨대 수소에너지로 전력체계가 중앙집중형에서 분산형으로 바뀌게 되면서 이른바 수소경제 *hydrogen economy* 시대가 개막된다.

이런 맥락에서 독일의 수소 전문가인 피터 호프만 *Peter Hoffmann*은 2001년에 펴낸 <내일의 에너지 *Tomorrow's Energy*>에서 “비록 화석연료 대신 임시변통으로 수소를 사용한다 할지라도, 수소에너지로의 전환은 우리 아이들의 건강은 물론 그들의 생명까지 지키는 길일 수도 있다”고 수소경제의 중요성을 강조했다.

재생에너지의 경우, 먼저 태양에너지는 태양광과 태양열을 활용하는 기술이 각각 놀라운 속도로 발전하고 있다. 햇빛을 즉시 전기로 바꾸는 태양전지 *solar cell*는 90% 이상이 실리콘을 사용하고 있어 제조단가가 높은 편이다. 게다가 선진국이 이미 1세대와 2세대 태양전지의 원천기술을 선점했기 때문에 우리나라는 후발주자로서 불리하다. 따라서 우리나라는 실리콘 태양전지보다 뛰어난 차세대 기술로 각광을 받는 3세대의 염료감응형 태양전지 *DSSC (dye-sensitized solar cell)*와 유기태양전지 *OPV (organic photovoltaic)*, 4세대의 유기물 복

합-organic-inorganic hybrid 태양전지 기술에 도전하면 승산이 높을 것으로 여겨진다.

태양전지를 사용하지 않고 햇빛으로부터 전기를 생산하는 집광형 태양열발전 CSP (concentrated solar power) 은 미국과 유럽에서 대규모로 건설되고 있다. CSP 는 각도 조절이 가능한 반사판(거울)을 설치하고, 이 거울을 이용하여 태양광을 한 점, 곧 중앙부의 탑 상부에 있는 집열기에 모아서 그 열로 보일러의 물을 끓여 수증기를 발생시킨 다음에 이 수증기로 증기터빈을 돌려 전기를 만들어낸다. 2014년 2월 미국의 네바다 주에 건설된 세계 최대 규모의 태양열발전소에는 가로 2.1m, 세로 3m 크기의 거울이 30만 개나 설치되어 있다.

풍력은 해안이나 섬, 산간지역 등 바람이 잘 부는 곳에서 쉽게 이용할 수 있는 에너지 자원이다. 풍력은 재생에너지 중에서 가장 먼저 성숙단계로 접어들었다. 발전을 돌릴 수 있는 힘을 가진 바람만 불어주면, 풍력발전기를 이용해서 바람을 전기에너지로 바꾸어줄 수 있기 때문이다. 말하자면 풍력은 바람개비만 돌리면 생산 가능한 무한 청정에너지이다.



조력은 간만의 차이로 생기는 조류를 이용하는 재생에너지이다. 조력 발전기는 풍력발전기와 비슷하다. 날개가 달린 기동을 바닷속에 세우고 조수가 드나들 때마다 날개가 회전하도록 해서 전기를 만들어내기 때문이다.

지열에너지 *geothermal energy*는 지구 표면 아래에 저장되어 있다. 지구의 내부 온도는 섭씨 4000도 이상이며, 이 에너지는 지속적으로 지구의 표층으로 흘러나오고 있다. 미국이 지열에너지를 생산하는 발전소를 갖추고 이 분야를 선도하고 있다.

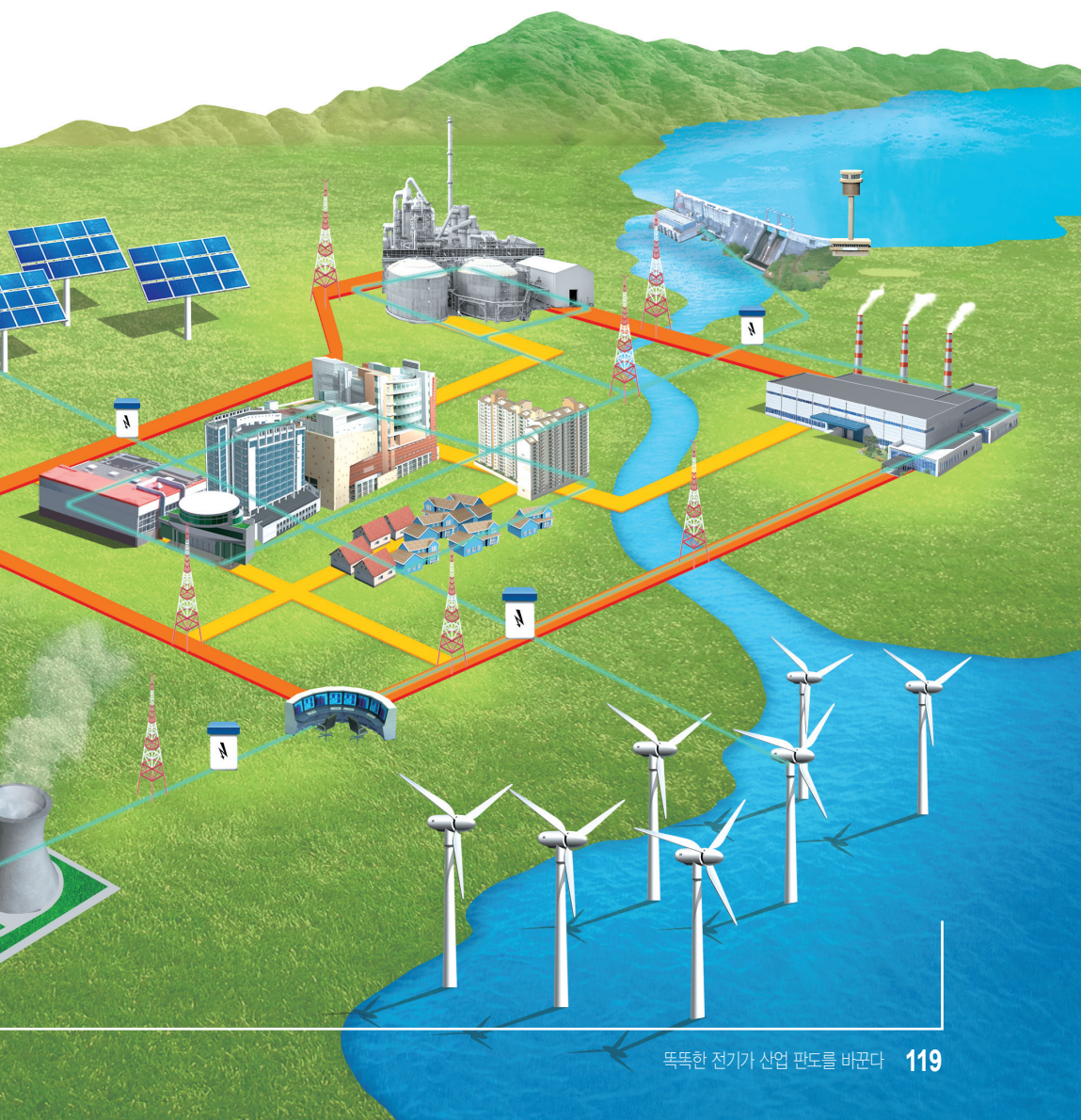
한편 저개발 국가에서는 바이오매스가 에너지 문제 해소에 크게 기여한다. 열 자원으로 사용되는 식물 및 동물의 폐기물을 통틀어 바이오매스라고 한다. 나무, 곡물, 농작물 찌꺼기, 음식 쓰레기, 축산 분뇨 등은 모두 바이오매스로서 에너지 생산에 활용된다.

2035년에는 거의 모든 재생에너지의 기술이 성숙 단계에 접어들고 가격 경쟁력도 확보되어 널리 보급될 전망이다. 미국의 경제학자인 제프리 삭스 *Jeffrey Sachs*는 2015년 3월에 펴낸 「지속가능 발전의 시대 *The Age of Sustainable Development*」에서 기후변화의 강력한 해결 수단으로 재생에너지의 중요성을 강조했다.

뚝뚝한 전기가 산업 판도를 바꾼다

우리나라의 발전체계는
여름철 냉방 수요의 급증으로
전력 사용이 폭주하는 사태에 대비하여
연중 전기 사용량이 가장 많은 시기(피크 타임)의
소비량보다 10% 정도 많은 전력을
생산하도록 설계되어 있다.
그러나 전기 소비량이 갈수록 늘어나면
수천억 원이 소요되는 발전소를 추가로
건설 할 수밖에 없게 된다.





스마트그리드기술

이러한 문제의 해결 방안으로 거론되는 것이 스마트그리드 smart grid이다.

스마트그리드(지능형 전력망)는 전기회사가 각 가정으로 일방적으로 전기를 공급하고 있는 기존 전력망에 정보통신기술을 융합하여 전기회사와 소비자가 양방향으로 실시간 정보를 주고받으면서 전기의 생산과 소비를 최적화 하도록 하는 전력관리시스템이다.

스마트그리드가 구축된 주택과 빌딩에는 구형 전기 계량기 대신에 스마트 계량기 smart meter가 설치된다. 오늘날 전력회사는 소비자에게 월 1회 일방적으로 전기사용량과 요금을 고지하지만 스마트 계량기가 설치되면 전기 사용에 관한 모든 정보를 실시간으로 제공해야 한다. 시간대에 따라 전기 요금도 다르게 부과되므로 소비자는 스마트 계량기를 보면서 전기 요금이 싼 시간대에 가전제품이 자동으로 작동하게끔 하는 방법으로 전기를 경제적으로 사용할 수 있다.

한편 전력회사는 전기 사용 현황을 실시간으로 파악하기 때문에 전력 공급량을 탄력적으로 조절할 수 있다. 전력 사용량이 적은 시간대에 최대 전력량을 유지하지 않아도 되므로 버려지는 전기를 줄일 수도 있고 과부하로 인한 전력망의 고장도 예방할 수 있다.

스마트그리드 시대에는 가정이나 공장에 소규모 전력 저장 장치가 상비된다. 따라서 소비자들은 전기 요금이 저렴한 시간대에 전기를 잔뜩 모



아두었다가 전기가 비싼 시간대에 모아둔 전기를 사용하면 된다. 사용하고 남은 전기는 전기회사로 보내 되팔 수 있으므로 각 가정과 기업은 단순 소비자가 아닌 간접 생산자로서 역할도 하게 된다. 이른바 전기의 프로슈머 *prosumer*가 되는 셈이다.

세계는 일찌감치 스마트그리드 시대로 접어들었다. 미국 콜로라도 주의 볼더 *Boulder*는 세계 최초의 스마트그리드 도시이다. 2008년 3월부터 1만5000 가구에 스마트 계량기를 무료로 설치했다. 볼더 시는 각 가정의 전기 사용량 자료를 실시간으로 수집하여 전력 공급량을 조절함으로써 종전보다 5%의 전기를 절약한 것으로 알려졌다. 프랑스는 2016년까지 3500만 개의 기존 계량기를 스마트 계량기로 교체할 계획이다. 이탈리아는 3100만 개의 기존 계량기를 이미 스마트 계량기로 교체했으며 1만 개의 배전소에 완전 자동화 시스템을 구축했다. 우리나라도 2030년까지 국가 차원의 스마트그리드 구축을 선언했다. 2009년 8월부터 제주도 구좌읍 일대에 스마트그리드 실증단지를 구축하는 작업이 시작되었다. 6000 가구에 전력을 공급하는 이 사업은 세계적으로 규모가 큰 스마트그리드 시범 프로젝트 중 하나로 꼽힌다.

스마트그리드는 에너지 분야는 물론 정보통신, 건설, 가전, 전기자동차, 2차전지 등 산업 전반에 걸쳐 파급효과가 막대할 것이다. 가전산업의



스마트그리드기술

경우, 스마트 계량기와 결합된 세탁기나 냉난방 장치는 현재 사용 중인 전력 소비량이 표시되므로 전력 효율을 향상시킬 수 있다.

특히 스마트그리드는 재생에너지 renewable energy 부문에 엄청난 영향을 미칠 것임에 틀림없다. 태양에너지나 풍력 같은 재생에너지의 활성화를 가로막는 최대 문제의 하나는 재생에너지를 화석연료 기반의 기존 전력망에 연결해서 공급하기가 쉽지 않다는 점이다. 일정한 전압으로 흐르는 기존 전력망에 햇빛이나 바람으로 생산한 전력을 공급하면 충돌이 일어나 단전이 되기 쉽다. 그러나 스마트그리드 기술을 활용하면 재생에너지를 기존 전력망에 공급하기가 쉬워진다. 마이크로그리드 MG (micro grid)를 활용하면 되기 때문이다. 마이크로그리드는 햇빛이나 바람의 소규모 발전 시설로 생산한 전기를 효율적으로 관리하는 시스템이다. 이를테면 스마트그리드가 국가 차원의 전력시스템이라면 마이크로그리드는 아파트, 산업단지, 시골 마을 등 제한된 장소에서 자체적으로 전력을 생산·사용·저장하는 소규모 전력망이다.

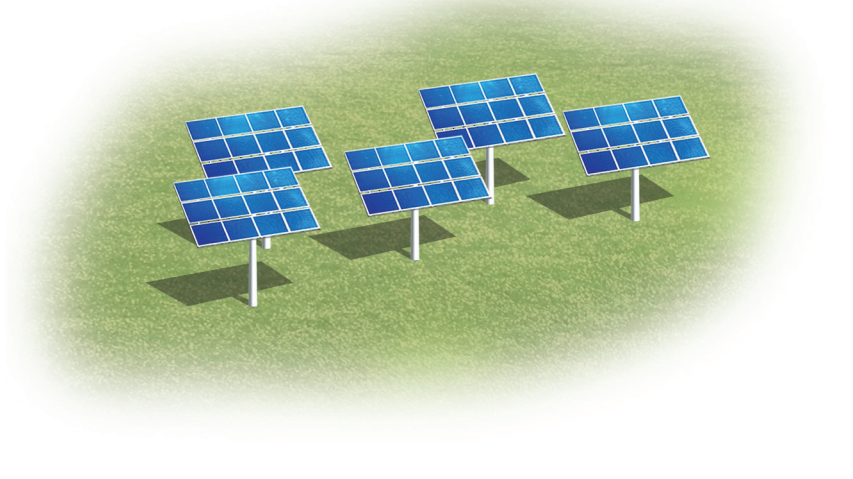
마이크로그리드 체제가 활성화되면 일조량이 높은 지역에서는 햇빛으로, 바람이 많이 부는 바닷가에서는 바람으로 전기를 생산하면 된다. 결국 자연조건에 따라 발전량이 고르지 않는 재생에너지의 문제점을 해소할 수 있다. 또한 재생에너지를 필요에 따라 가둘 수 있는 저장장치도



마이크로그리드 기술의 핵심 요소이다. 우리나라 기업들은 이런 에너지 저장시스템(ESS (energy storage system)) 시장에서 국제적 경쟁력을 갖고 있다. 마이크로그리드는 전력체계가 20세기식 중앙집중형 하향식 시스템으로부터 21세기식 분산형 협력 시스템으로 전환되는 대표적 사례이다.

미국의 사회사상가인 제러미 리프킨(Jeremy Rifkin)은 2011년에 펴낸 「3차 산업혁명」(The Third Industrial Revolution)에서 스마트그리드 기술과 재생에너지 기술의 융합으로 “수억 명의 사람이 가정·사무실·공장에서 자신만의 에너지를 직접 생산할 것이며, 오늘날 우리가 인터넷으로 정보를 창출하고 교환하듯이 ‘에너지 인터넷’으로 에너지를 주고받을 것”이라고 주장하였다.

2030년대에 우리나라의 전력체계가 에너지 인터넷으로 탈바꿈하면 스마트그리드 기술은 산업계의 지형도를 혁명적으로 바꾸어 놓을 것임에 틀림없다.





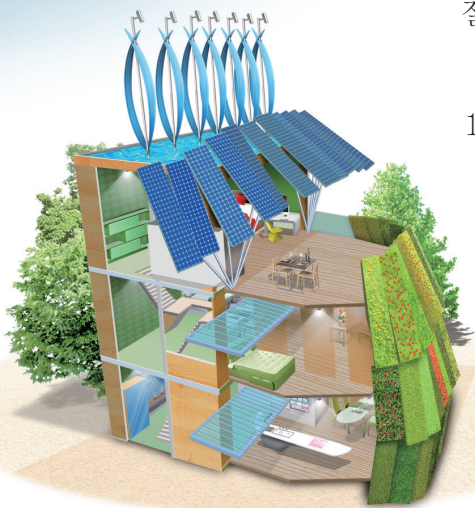


안전한 사회

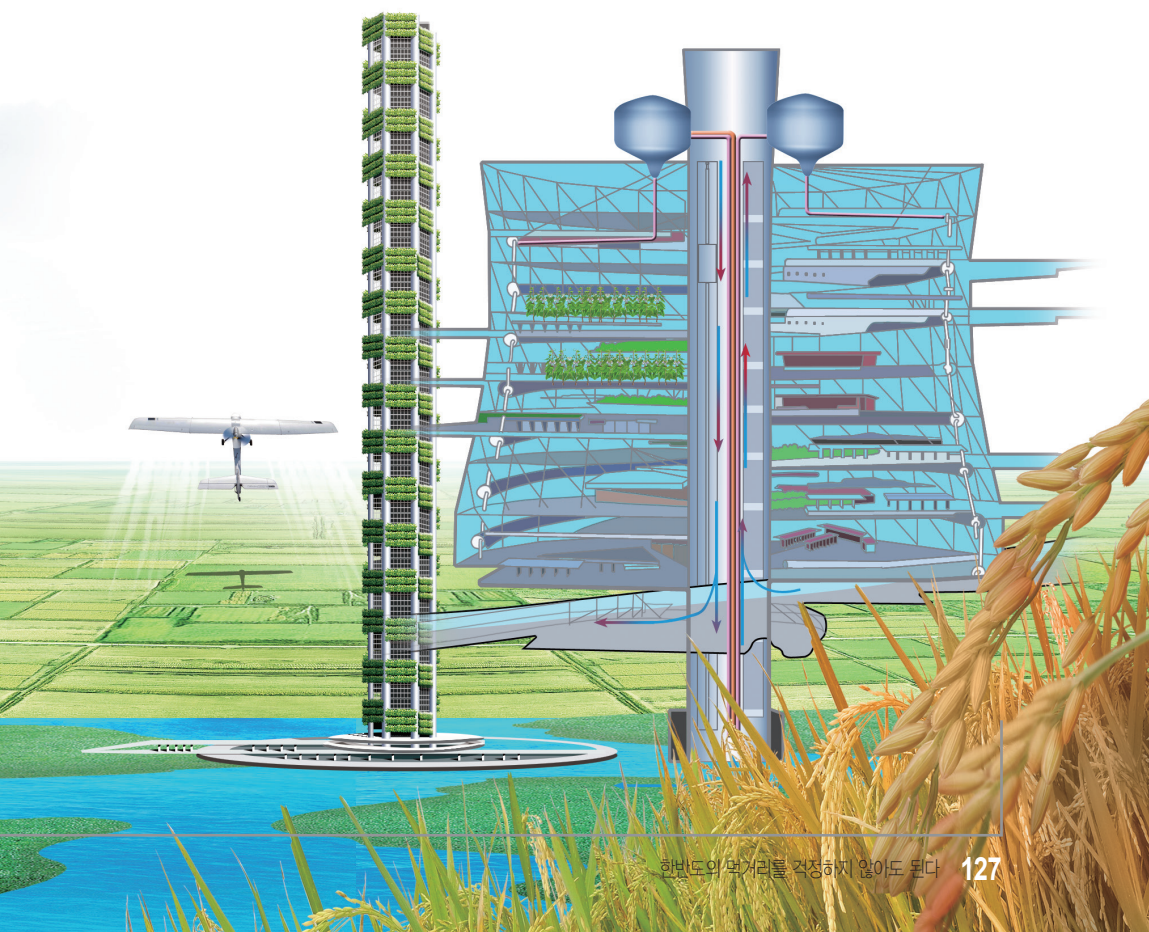
- ❖ 식량안보기술
한반도의 먹거리를 걱정하지 않아도 된다
- ❖ 인체인증기술
신원 확인인가, 감시 기술인가

한반도의 먹거리를 걱정 하지 않아도 된다

인류사회의 지속가능 발전 sustainable development 을
위해 가장 먼저 해결해야 하는 문제의 하나는
절대빈곤 absolute poverty이다. 절대빈곤은
세계 인구 72억 명 중에서 최소한
10억 명에게는 생사가 걸린 문제이다.
해마다 어린이 650만 명이
다섯 살도 되기 전에
굶어죽는 실정이다.



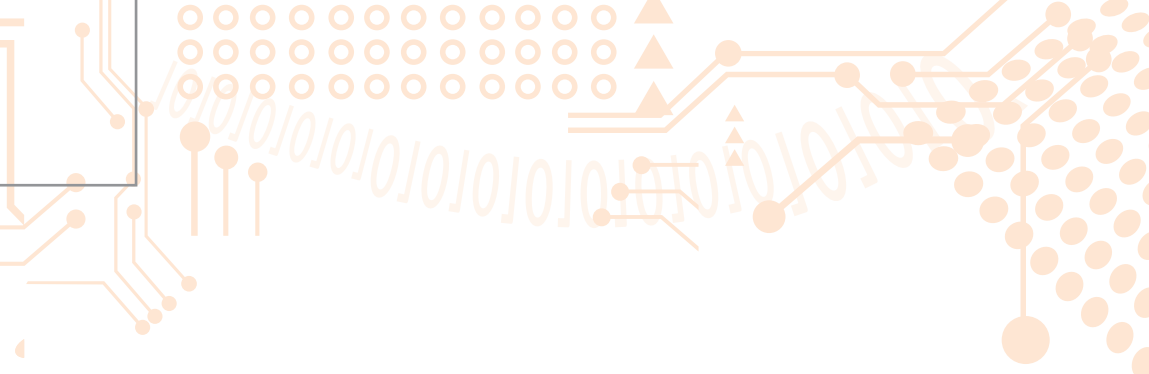
미국의 환경운동가이자 생태경제학자인 레스터 브라운 ^{Lester Brown}은 가난한 나라들이 식량 부족으로 무정부 상태가 되면 전염병, 테러, 마약, 무기, 심지어 피난민의 확산을 통제할 수 없게 되므로 인류 문명 자체가 붕괴될지 모른다고 우려했다.



브라운은 2009년 <사이언티픽 아메리칸 Scientific American> 5월호에 기고한 글에서 21세기의 식량위기는 20세기와 달리 구조적인 현상으로 나타나서 해결책을 찾기가 쉽지 않다고 주장했다. 20세기에는 가뭄 따위의 이유로 곡물 가격이 일시적으로 요동쳤으나 21세기 들어서는 수요와 공급 측면에서 복합적인 요인으로 식량 부족이 심화되고 있다는 것이다. 먼저 수요 측면에서 세계 인구 증가가 식량 소비의 규모를 증대시킨다. 공급 측면에서 식량 부족을 부채질하는 요인은 물 부족, 표토^{表土} 망실, 기온 상승 등 환경과 관련된 것들이다.

브라운은 세계 식량 부족 문제를 해결하기 위해 네 가지의 해법을 제시했다. 첫째 2020년까지 온실가스 배출량을 2006년 수준의 80%까지 감소한다. 둘째 세계 인구를 2040년까지 80억 명으로 묶는다. 셋째 절대 빈곤과 기아를 퇴치한다. 넷째 땅과 수품을 원상 복구한다.

레스터 브라운이 제안한 해법처럼 식량 위기를 사전에 방지하기 위해 식량 확보에 만전을 기하는 정책이나 기술을 통틀어 식량안보^{food security}라고 한다. 식량안보는 1974년 세계식량회의^{World Food Conference}에서 처음으로 그 개념이 정의된 이후에 1996년 세계식량정상회의^{World Food Summit}에서 보완 및 확장되었다. 이를테면 “식량안보는 모든 사람이 활동적이고 건강한 삶에 필요한 식생활과 식량 선택을 충족하기 위해 충분하고 안전하며 영양이 풍부한



식량에 어느 때나 물리적 및 경제적으로 접근 가능할 때 존재한다”고 정의되었다.

유엔식량농업기구 FAO (Food and Agriculture Organization)는 2009년에 식량안보의 네 가지 핵심 요소로 가용성 availability, 접근성 access, 활용성 utilization, 안정성 stability을 명시했다. 그러니까 식량안보는 식량이 생산·분배·교환을 통해 공급(가용성)되고, 모든 사람에게 식량이 제공·할당(접근성)되며, 개인의 생리적 요구를 영양 측면에서 충족(활용성)하고, 언제나 식량이 확보 가능(안정성)하게 되는 것을 의미한다.

식량안보의 핵심 기술로는 정밀농업 precision agriculture과 유전자변형농산물 GMO (genetically modified organism)이 손꼽힌다. 두 가지 기술 모두 미국 국가정보위원회 NIC가 2012년에 펴낸 보고서인 〈2030년 세계적 추세 Global Trends 2030〉에 2030년 세계 시장 판도를 바꾸어놓을 게임 체인저 game changer 기술로 선정되었다.

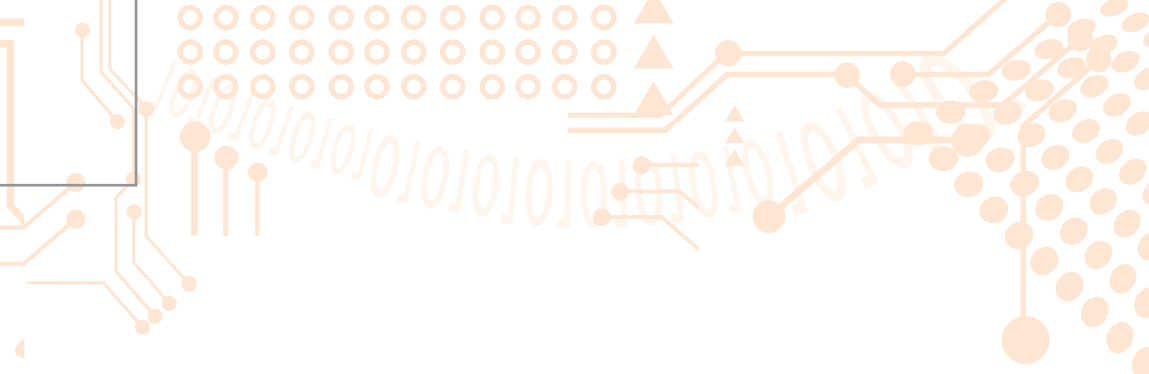
정밀농업은 정보통신기술을 농업에 융합하여 씨앗이나 물·비료·농약을 정확하게 필요한 만큼만 사용하고 농작물의 수확량을 최대화하는 경작 방식이다. 컴퓨터를 활용하여 농경지의 조건, 가령 토양·물·잡초 분포 따위에 따라 필요한 용수와 비료의 양을 정확하게 산출하여 사용하기 때문에 최적화된 방식으로 경작이 가능하다. 그러나 정보통신기술을 사용하는 데 필요한 설비 투자가 만만치 않고 자동화 농기구의 가격도 부

답이 된다. 미국의 경제학자인 제프리 삭스 Jeffrey Sachs는 2015년 3월에 펴낸 「지속가능발전의 시대 The Age of Sustainable Development」에서 “향후 몇 년 사이에 정보통신기술 비용의 하락으로 가난한 나라의 가난한 농부들도 화학비료를 적게 사용하여 환경을 덜 오염시키는 정밀농업에 종사하게 될 것”이라고 낙관하였다.

유전자변형농산물은 유전자이식 transgenic 기술의 발달에 힘입어 식량안보 문제를 해결하는 강력한 수단이 된다. 콩·옥수수·목화·감자·쌀에 제초제나 해충에 내성을 갖는 유전자를 삽입하여 수확량이 많은 품종을 개발한다.

유전자변형농산물과 함께 식량 문제의 대책으로 거론되는 신생기술은 수직농장 vertical farm 과 시험관 고기 in vitro meat이다.

수직농장 또는 식물공장 plant factory은 도시의 고층건물 안에 만들어지는 농장이다. 1999년 미국의 생태학자인 딕슨 데스포미어 Dickson Despommier가 처음 아이디어를 내놓은 수직농장은 통제된 시설 안에서 식물이 자라는데 필요한 빛·온도·습도·이산화탄소 등의 환경조건을 인공적으로 제어하여 일 년 내내 안정적으로 농작물을 생산할 수 있으므로 이상기후에 따른 수확량 감소 문제가 발생하지 않을 뿐만 아니라 농약을 살포하지 않아서 친환경 채소류의 재배도 가능하다. 그러나 농장 운영에 소요되는 에너



지 비용이 부담이 된다. 우리나라는 2004년 농촌진흥청이 시범운영에 착수했으며, 세계 최초의 상업용 수직농장은 2012년에 싱가포르에서 첫선을 보였다.

시험관 고기 또는 배양육 *cultured meat*은 소·돼지·닭 등 가축에서 떼어낸 세포를 시험관에서 배양하여 실제 근육조직처럼 만들어낸 살코기이다. 처음에는 우주비행사의 식품으로 개발되었지만 식량안보기술로 기대를 모으고 있다. 2013년 8월에 영국 런던에서 배양육 기술로 만든 살코기의 시식회가 처음으로 열렸다. 네덜란드의 마크 포스트 *Mark Post*가 암소의 세포로 만든 햄버거였는데, 식감이 보통 고기와 크게 다르지 않은 것으로 평가되었다. 배양육이 대량으로 생산되면 온실가스 저감에도 효과가 있을 것 같다. 소가 방귀를 꾸며 방출하는 메탄가스가 지구 전체 온실가스 배출량의 18%나 되기 때문이다.

식량안보기술이 완벽하게 실현되면 2030년대에 8,000만 명의 통일 한국 국민이 먹거리 걱정을 안 해도 될 터이다.





신원 확인인가, 감시 기술인가

2035년 사회의 안전을
담보하는 기술의 하나로
생체측정학 **biometrics**이 각광을 받는다.
생체측정학은 사람의 특성을 근거로
신원을 확인하여 건물 출입을 통제하거나
민감한 디지털 정보에 접근하는 행위를
감시하는 데 활용된다.
이른바 인체 인증 **biometrics authentication** 기술은
사람의 생리적 특성과 행동적 특성을
사용하여 신원을 확인한다.



생리적 특성은 얼굴을 포함하여 지문, 손의 윤곽, 손바닥의 정맥, 눈의 홍채와 망막, 뇌파, 몸의 냄새가 이용되고 있으며 행동적 특성으로는 필적, 음성, 걸음걸이가 응용된다.

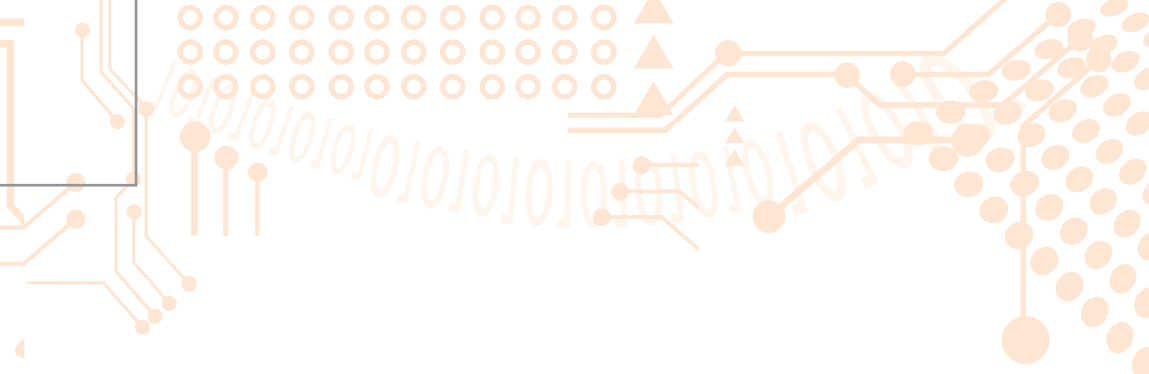
얼굴은 신원 확인의 가장 중요한 특성으로 활용된다. 얼굴 인식 *face recognition*에는 머리카락 모양이나 표정 변화로 어려움이 없지 않지만 아무래도 가장 효과적인 인체 인증기술로 여겨진다. 가령 군중 속에 섞여 있는 은행 강도, 마약 밀매자 또는 테러리스트 같은 위험인물을 찾아낼 수 있는 유일한 방법이기 때문이다.

지문은 각 개인에게 고유한 생리적 특성이다. 쌍둥이라도 지문이 같을 확률은 10억분의 1에 불과하다. 따라서 지문은 100여 년 전부터 범인 색출에 사용되었다. 지문 감식장치는 경찰서, 은행, 교도소, 군사기관, 이민국 등에서 신원 확인에 널리 사용되고 있다.

3차원적인 손의 윤곽 *hand geometry*은 인체 인증에 이점이 많다. 1~2초 내에 신원을 확인할 수 있으며 인식률도 높고 사용하기 쉽기 때문이다.

손바닥의 정맥도 활용된다. 사람의 손바닥 혈관 패턴이 모두 다른 점에 착안한 인체 인증기술이다. 손바닥에 적외선을 쏘아 정맥의 혈관 모양을 판독한다.

눈의 망막과 홍채는 신원확인에 유용한 단서가 된다. 2002년 미국의



스티븐 스필버그 Steven Spielberg 감독이 연출한 영화인 <마이너리티 리포트 Minority Report>에 홍채 인식이 소개된다. 이 영화의 원작은 미국의 과학소설가인 필립 덱 Philip Dick, 1928~1982의 동명소설이다. 이 단편소설이 발표된 시기가 1956년임을 감안하면 작가의 천재적인 상상력에 경탄을 금하지 않을 수 없을 것 같다. 2054년 미국의 도시가 무대인 이 영화에서 주인공은 범죄를 예측해서 예방하는 임무를 수행한다. 누명을 쓰게 된 주인공은 길거리에서 마주치는 홍채인식 로봇의 감시를 피하기 위해 다른 사람의 눈을 이식한다.

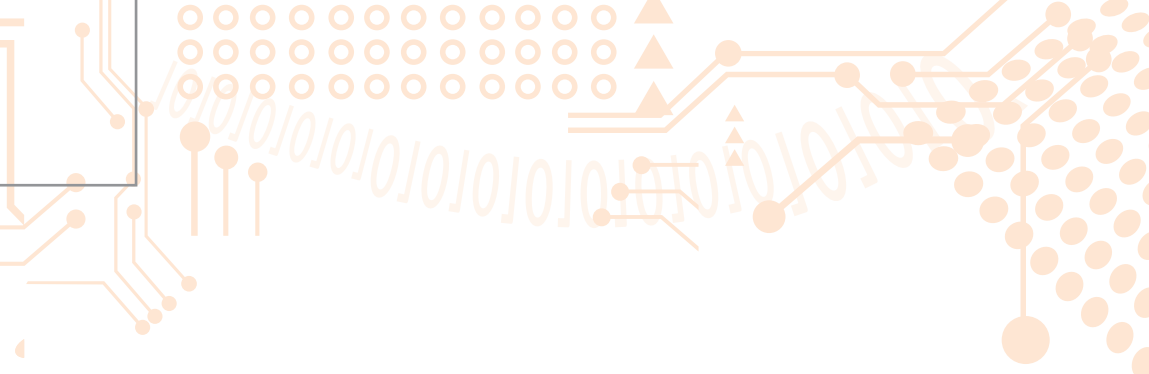
광선이 사람의 눈에 들어오면 제일 먼저 일종의 보호 창문인 각막과 마주친다. 각막을 지난 광선은 젤리 같은 물질인 수양액을 횡단한다. 수양액을 나온 광선은 동공을 통과한다. 동공은 홍채의 중심에 있는 구멍이다. 홍채는 동공의 크기를 축소 또는 확대하는 자동제어 기능을 갖고 있으며 사진기의 조리개에 해당된다. 홍채는 동공의 크기를 조절하여 망막으로 가는 빛의 양을 조절한다. 눈동자의 뒤에 위치한 망막은 두께가 종이 한 장 정도에 불과하지만 광선 에너지를 전기 에너지로 변환하여 시각 정보를 뇌로 전달한다. 홍채의 조직은 지문보다 6배 이상 현저한 특징을 갖고 있어 신원 확인의 효과적인 수단이 되고 있는 것이다.

망막 검색장치는 동공을 통해 약한 적외선 빛을 눈의 뒷면에 비추는

방법으로 망막의 혈관 패턴을 검색한다. 군사시설이나 은행에서 고급 보안장치로 사용된다.

한편 필적은 신원 확인에 가장 보편적으로 사용되는 행동적 특성이 다. 금융기관에서 서명 확인 작업을 자동화할 수 있으므로 필적은 인체 인증기술 연구에서 가장 관심을 끄는 분야이다. 음성은 사용자들의 만족도가 높아 가장 매력적인 신원 확인 기술로 손꼽힌다. 음성인식은 보안시설이나 사무실의 출입 통제에 안성맞춤이다. 걸음걸이 인식기술도 개발된다. 사람의 걸음걸이는 뼈의 길이와 밀도, 근육, 생활습관에 따라 저마다 다르기 때문에 이를 위장하기는 사실상 불가능하다.

인체 인증기술이 발전함에 따라 신원 확인에서 한 걸음 더 나아가 감시기술로 사용될 소지가 많다. 가령 얼굴 인식 시스템의 경우 1999년부터 영국에서 감시용으로 사용되기 시작했다. 런던 교외의 한 거리에 설치된 시스템은 모자와 안경으로 변장한 사람의 신원을 밝혀냈다. 세계 최초로 거리에서 시험 운용된 얼굴 인식장치인데, 날마다 1분도 쉼 없이 비디오카메라로 모든 행인의 얼굴을 주사(走査)하여 컴퓨터로 즉시 지명수배자들의 얼굴과 대조한다. 만일 범인으로 판명되면 관제실에 정보가 올리고 근무자는 재확인을 한 뒤 경찰에 통보한다. 또한 세계 유수의 공항에서는 위험인물의 얼굴을 추적하는 시스템을 비밀리에 가동하고 있다.



얼굴 인식 시스템이 거리나 공항 등 공공장소에 설치되면 범죄를 억제하는 효과가 있겠지만 일반 시민들의 사생활(프라이버시)을 침해할 가능성도 많다. 결국 길을 걸으면서 감시의 눈초리를 의식해야 하는 시대가 오고야 만 것이다. 정보사회의 도시가 프라이버시가 없는 마을로 바뀌는 셈이다. 아무데고 숨을 곳이 없는 사막처럼.

비디오카메라로 엿보는 기술은 조지 오웰^{George Orwell, 1903~1950}의 디스토피아 소설인 「1984년」을 연상시킨다. 독재자 빅 브라더는 텔레스크린으로 모든 국민의 사생활을 끊임없이 엿본다.

참고문헌

- 「한국공학한림원과 조선일보가 함께 하는 Future Tech」, 한국공학한림원, 2009
- 「KIST 과학기술 전망 2014」, 한국과학기술연구원, 2014
- 「2030년의 대한민국」, 월간조선, 2009년 1월호 별책부록
- 「자연은 위대한 스승이다」, 이인식, 김영사, 2012
- Physics of the Future, Michio Kaku, 2011/ 「미래의 물리학」, 김영사, 2012
- Global Trends 2030 : Alternative Worlds, National Intelligence Council, 2012
- Fashionable Technology, Sabine Seymour, Springer, 2009
- The Age of Sustainable Development, Jeffrey Sachs, Columbia University Press, 2015

언제나
미래다!





2035년에 도전한다 [미래도전기기술20]

발행일 2015년 10월 14일
발행인 오영호
발행처 한국공학한림원

전 화 02. 6009. 4002
팩 스 02. 6009. 4010
홈페이지 <http://www.naek.or.kr>
e-mail kjh@naek.or.kr
주 소 서울특별시 강남구 역삼동 701-7 한국기술센터 15층

콘텐츠집필 이인식
일러스트 정종훈
디자인 정은주
제 작 TOMATO
편 집 TOMATO 출판편집팀

ISBN 979-11-955376-1-7 03400

※ 본 보고서는 산업통상자원부의 지원을 받아 한국공학한림원에서 발간한 연구보고서입니다.
※ 저작권법에 의해 한국 내에서 보호를 받는 저작물이므로 무단 전재와 무단 복제를 금합니다.



서울특별시 강남구 테헤란로 305 한국기술센터 15층
Tel. 02. 6009. 4011 Fax. 02. 6009. 4010 e-mail. kgh@haek.or.kr www.naek.or.kr

※ 이 책의 저작권은 한국공학한림원에 있습니다

비매품

03400



9 791195 537617

ISBN 979-11-955376-1-7