

이지사이언스 시리즈

Easy Science Series



행복한 내일을 위한

미래기술

이지사이언스 시리즈
행복한 내일을 위한
미래기술

2015년 3월 31일 초판 1쇄 인쇄
2015년 3월 31일 초판 1쇄 발행

저자 | 한국과학기술연구원
기획 | 미래창조과학부
발간 | 한국과학기술연구원, 한국창의재단
홈페이지 | www.kist.re.kr

제작 | (주)동아사이언스
편집 | (주)동아사이언스
출판등록 | 2001. 3. 15 (제312-2001-000112호)
주소 | (120-715) 서울시 용산구 청파로 109
전화 | (02) 3148-0781
팩스 | (02) 3148-0809
홈페이지 | www.dongaScience.com

ISBN
978-89-92885-91-1

* 잘못된 책은 바꾸어 드립니다.

** 본 책의 내용에 대한 무단 전재 및 복제를 금합니다.

*** 본 책의 내용을 인용할 시에는 반드시 출처를 표기합니다.

행복한 내일을 위한

미래기술

한국과학기술연구원 지음



미래창조과학부



한국과학창의재단



한국과학기술연구원



미리 가 본 미래

인류가 불과 도구를 사용하기 시작한 이래, 과학과 기술은 끊임없이 발전하며 인간 사회를 지탱해 왔다. 농경문화로 시작한 사회는 산업혁명을 기점으로 급격히 변화하여, 정보화 시대를 넘어 지식기반 사회로 전환되고 있다.

이렇게 신체를 사용한 사례는 서양의 길이 단위에서 다양하게 나타난다. 큐빗의 반은 ‘스팬(span)’이라고 하는데, 스패는 손가락을 짝 벌렸을 때 엄지손가락 끝에서부터 새끼손가락 끝까지의 길이이다. 그리고 스패의 3분의 1을 ‘팜(palm)’이라고 했으며, 이는 엄지손가락을 제외한 네 손가락의 너비였다. 그리고 팜을 다시 4로 나눈 것을 ‘디지트’라고 했는데, 1 디지트는 손가락 1개의 폭과 같았다. 또한 발뒤꿈치에서 발가락 끝까지의 길이에 해당하는 ‘피트(feet)’이라는 단위도 있다. 이는 처음 만들어질 때는 이처럼 16 디지트에 해당하고 12 인치와 거의 일치하는 길이이다.

이같은 서양의 길이 단위는 레오나르도 다빈치(1452~1519)의 ‘비트루비우스의 인체 비례’라는 유명한 작품에서도 확인할 수 있다. 고대 로마시대 건축가인마르쿠스 비트루비우스의 문헌에 기록된 내용을 바탕으로 인체를 기하학적으로 표현한 것인데, 여기에는 여러 길이 단위들 간의 관계가 표현돼 있다.

이처럼 서양에서는 몸 그 자체가 자였던 셈이다. 특별히 자를 휴대하고 다닐 필요가 없어 편리했을지도 모르지만 몸의 크기가 다르 다보니 길이 역시 제각각이었다. 단위는 있지만 표준은 없었던 셈이다. 이는 다툼의 빌미가 될 수도 있었다. 예를 들어 옷감을 사고팔 때 누구의 몸을 기준으로 삼느냐를 두고 다툼이 벌어질 수 있었다. 이런 문제를 해결할 수 있는 방법 중 하나가 권력자의 신체 부분을 표준으로 삼는 것이었다.

영국 노르만 왕조의 정복왕 윌리엄 1세의 막내아들인 헨리 1세(재위기간1100~1135)는 “이제부터 내 코에서 손가락까지의 거리를 ‘1 야드(yard)’로 한다”라고 선포했다. 자신의 코끝에서 팔을 뻗어 엄지손가락을 세운 곳까지의 길이를 야드로 정의한 것이다. 이 길이는 약 91 cm이다.

2015년 3월

한국과학기술연구원

머리말

CHAPTER 1 인간과 기계의 결합

01	로봇이 되찾아 준 다리	... 010
02	생물과 로봇, 서로에게 배운다	... 016
03	정교한 외과의사, 컴퓨터	... 022
04	사람 같은 근육을 가진 로봇을 만들 수 있을까?	... 030
05	미래를 바꿀 디지털 육감, 감각센서	... 036
06	촉감 전달을 이용한 실감나는 가상현실	... 044
07	가상현실을 앞당기는 햅틱 기술	... 050

CHAPTER 2 지속가능한 에너지

01	블랙아웃, 대용량 이차전지로 대비한다	... 062
02	미래 밝은 유무기 복합 태양전지	... 072
03	‘미생물공장’으로 차세대연료 생산한다	... 078

CHAPTER 3 첨단 미래 성장동력, 의료산업

01	뇌 전기 자극을 이용한 통증 조절 기법	... 088
02	꾸준한 뇌 훈련이 젊은 뇌를 만든다	... 096
03	내 몸보다 더 편한 의료기구 만들기	... 106
04	칩 속에 온몸 장기 담으면 열리는 멋진 신세계	... 112
05	염기서열 분석기술, 맞춤의료의 문을 열다	... 118
06	깨끗한 물, 그 이상을 위한 환경 나노기술	... 126
07	유해 미생물, 꼼짝 마라!	... 132

CHAPTER 4 온몸으로 느끼는 스마트한 생활

01	움직이기만 하면 충전이 된다?	... 142
02	플렉서블 디스플레이용 차세대 광원소재기술	... 152
03	IT기술로 만드는 최첨단 스포츠 훈련	... 160
04	사람이 중심이 되는 차세대 3D 디스플레이	... 172



01 로봇이 되찾아 준 다리

02 생물과 로봇, 서로에게 배운다

03 정교한 외과의사, 컴퓨터

04 사람 같은 근육을 가진 로봇을 만들 수 있을까?

05 미래를 바꿀 디지털 육감, 감각센서

06 촉감 전달을 이용한 실감나는 가상현실

07 가상현실을 앞당기는 햅틱 기술

CHAPTER 1

인간과 기계의 결합



로봇이 되찾아 준 다리

김창환(로봇연구단) ckim@kist.re.kr
박성기(로봇연구단) skee@kist.re.kr



클레어 로머스 씨가 로봇다리를 장착하고 16일 동안의 힘겨운 레이스를 펼친 끝에 8일 영국 런던 마라톤대회 결승선을 통과하며 환하게 웃고 있다. 뒤에 선 이는 남편 댄 스파이서 씨.

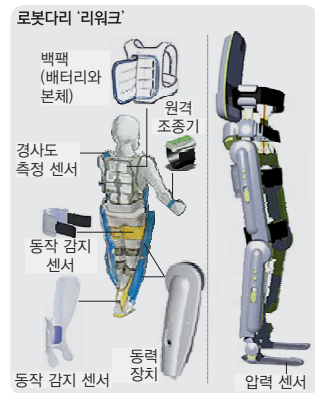
2012년 봄, 런던마라톤에 참여한 선수 중 유난히 많은 박수를 받은 이가 있다. 땀방울을 흘리면서 달리는 그녀의 얼굴은 어느 선수와 다를 바가 없었으나, 목 아래의 몸은 남들과 다른 점이 뚜렷했다. 허리 아래부터 다리 전체를 지탱하는 보조 기구와 양팔에서부터 손끝까지 연결된 ‘지팡이’가 그것이다. 등쪽에 달린 거대한 ‘컴퓨터’도 눈길을 끌었다. 당시 32세였던 그녀의 이름은 클레어 로마스(Claire Lomas). 2007년 승마 사고로 하지 마비 판정을 받은 후, 보행보조 로봇을 착용하고 기어이 결승점을 통과한 그녀는 가족의 환호 속에 얼굴 가득 환한 웃음을 띠뜨렸다. 같은 상황에 처한 장애인 동료들에게 햇살 같은 희망이 내리쬐는 순간이었다.

사람을 도와주는 로봇 다리들

클레어가 착용한 로봇은 이스라엘의 아르고사가 제작한 ‘리워크(ReWalk™)’. 리워크는 2000년대부터 본격적으로 개발되기 시작한 장애인용 보행보조 로봇으로 상용화를 앞두고 있다. 리워크 외에도 미국의 ‘엑소(Ekso™)’와 일본의 ‘할(HAL™)’이 상용화에 가장 근접한 보행보조 로봇으로 알려져 있다.

이 로봇들의 기본 사양은 비슷하다. 보행보조 로봇은 다리 아래쪽의 바깥에서 지지하는 지지대, 엉덩이와 무릎 관절을 구동시키는 장치, 그리고 등이나 허리에 장착된 배터리와 운동 제어용 컴퓨터 모듈로 구성된다. 무게는 20kg이 넘지만 사용자에게 부담을 주지 않도록 발목과 신발까지 튼튼하게 연결돼 있다. 세 제품 다 사용자의 관절이 어떻게 움직이는지 감지하여 컴퓨터에게 보내는 장치와 발을 디뎠는지 판단하는 센서가 공통으로 달려 있다.

다른 점은 상체의 움직임을 측정하는 방법이다. 리워크는 상체의 기울기를 측정하는 틸트 센서를 사용하는 반면 엑소는 무게 중심 이동까지 함께 알 수 있는 IMU 센서를 사용한다. 할은 여기에 피부 표면의 미세 전기신호를 측정할 수 있는 센서를 추가해 사용자의 의도까지 알아낼 수 있다. 보행 속도는 세 로봇 모두 정상인의 평균 속도인 3km/h 수준이며, 150~190cm 키에 100kg 이내의 성인용으로 개발됐다.



ReWalk 기본 구조



엑소를 착용한 모습

HAL의 기본 구조



근육과 전기신호로 움직임 미리 읽는다

로봇 다리들에는 공통점이 많지만 세세한 부분까지 들여다 보면 세 로봇 다 개성이 뚜렷하다. 리워크의 사용자는 손목에 착용하는 무선통신제어기로 보행, 앉기, 계단 오르내리기 모드를 선택할 수 있다. 엉덩이와 무릎 관절에 장착된 네 개의 서브 모터는 백팩형 운동제어기로 제어된다. 가장 큰 특징은 어깨끈에 부착된 틸트 센서다. 틸트 센서는 사용자가 윗몸을 어떻게 움직이는지를 파악해 이동하려는 방향으로 몸의 균형을 잡을 수 있도록 돕는다. 센서가 감지한 움직임은 관절 구동기로 전달돼 제대로 발

을 내딛을 수 있게 된다. 상체를 다시 앞으로 이동할 경우 마찬가지로 센서가 움직임을 파악해 반대쪽 관절 모터를 움직인다. 이 과정이 이어지면 연속 보행이 가능하다.

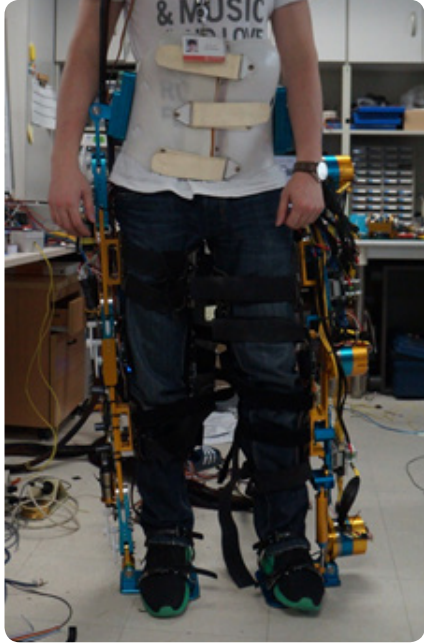
엑소는 단계별 보행 훈련을 위해 세 가지 모드를 제공하는 점이 특징이다. 퍼스트스텝(FirstStep) 모드를 선택할 경우, 물리치료사가 휴대용 제어기의 버튼을 눌러 사용자의 발 디딤을 제어한다. 의자에서 일어나서 목발을 사용하여 한 발씩 걷는 연습을 위한 최초 사용 모드다. 액티브 스텝(ActiveStep) 모드는 사용자가 목발에 있는 버튼을 누르고 모터를 작동시켜 스스로 걸을 수 있다. 마지막으로 프로 스텝(ProStep) 모드는 사용자의 몸이 앞과 옆으로 이동하는 움직임을 IMU센서가 읽어 다음 발을 디딜 수 있도록 한다.

셋 중 가장 ‘유니크’하다고 할 수 있는 제품은 할이다. 할은 사용자가 ‘걸겠다’는 마음을 먹을 경우, 뇌에서 신경을 통해 다리로 내려 보내는 미세한 전기신호의 변동을 파악한다. 골격근조직으로 흐른 전기신호는 피부 표면에 부착된 전극을 통해 측정된다. 뇌파를 측정하는 것과 유사한 방식이다. 할의 제어기는 전기신호의 변화량을 측정하여 이에 따라 관절 모터를 움직여서 사용자가 원하는 때 작동된다. 사용자가 어떤 동작을 다음에 할 지 예측하기 위해 발바닥에 장착된 센서를 이용하여 발이 땅을 밀어내는 힘도 측정한다.

서로 다른 곳에서 출발해 한 점에서 만나다

각자의 특색처럼 보행로봇의 최초 개발 목표 역시 서로 다르다. 엑소의 시작은 UC 버클리대의 카제루니 교수가 개발한 근력증강 로봇 ‘블릭스’다. 블릭스는 웨어러블 로봇으로 착용자의 모든 동작을 추적하고 근력을 높여 무거운 짐을 짊어지고도 장거리를 거뜬히 걸을 수 있게 해 준다. 블릭스가 하지마비 장애인의 걸음을 보조하는 로봇으로 탈바꿈한 형태가 엑소인 것이다. 엑소는 2012년 2월 상용화 제품이 출시된 이후 미국 여러 재활병원에서 ‘베타테스트’가 진행 중이다.

할 역시 정상인의 근력 증강이 목표였다가 방향을 전환한 케이스다. 2000년대 초반 개발이 시작된 할은 2009년부터 하지마비 장애인과 고령자의 보행 재활용으로 사용됐다. 엑소와 마찬가지로 목발 등의 보조기를 사용하여 균형을 유지하며 상체를 어느 정도 움직일 수 있는 장애인에게 제한적으로 적용된다. 2012년부터 대형 병원에서 상



KIST에서 개발 중인 뇌졸중 환자를 위한 보행보조 로봇

용화 초기 모델의 테스트를 받고 있지만 아직 체계적인 임상 결과는 나오지 않은 상태이다. 할의 제작사는 상용화가 완료되면 북유럽 시장에 진출할 뜻을 밝힌 바 있다.

리워크는 다른 두 로봇과 달리 처음부터 ‘걸을 수 있는 휠체어’를 표방하며 하지마비 장애인용으로 개발됐다. 다른 로봇들보다 빠른 2006년에 시제품이 나왔으며 2010년부터는 이미 시장에서 판매 중이다. 2012년에는 병원 내에서만 사용하되 사용 중 반드시 물리치료사나 운용자가 옆에 있는 조건으로 미국의 FDA승인까지 받았다. 리워크 역시 목발 등의 보조기가 반드시 필요하며, 상체를 움직일 수 있는 장애인으로 적용 대상이 제한돼 있다.

보행보조로봇, 우리도 도전한다!

우리나라에서도 보행보조 로봇 시장에 조금씩 발을 디디고 있다. KIST에서는 뇌졸중으로 몸의 한쪽을 사용하기 어려운 반신마비 환자를 대상으로 보행보조 로봇을 개발 중이다.

KIST의 로봇은 리워크나 할과 달리 보행할 때 소모되는 기계에너지의 일부를 회수, 저장할 수 있는 기능을 갖고 있다. 사람은 보행 중에 몸의 무게중심을 위아래로 움직이며 에너지를 소모하는데, 이 때 낭비되는 에너지의 일부를 회수했다가 다시 사용함으로써 에너지 효율을 높이는 것. 이를 위해 보행 패턴을 분석해 사용자의 움직임을 방해하지 않으면서 낭비되는 기계에너지만을 회수하는 기술도 함께 개발 중이다. 높은 에너지 효율과 함께 신경 마비 환자까지 사용할 수 있다는 점에서, KIST의 로봇은 다른 보행보조 로봇과는 또 다른 새로운 시장을 개척할 가능성이 높다.

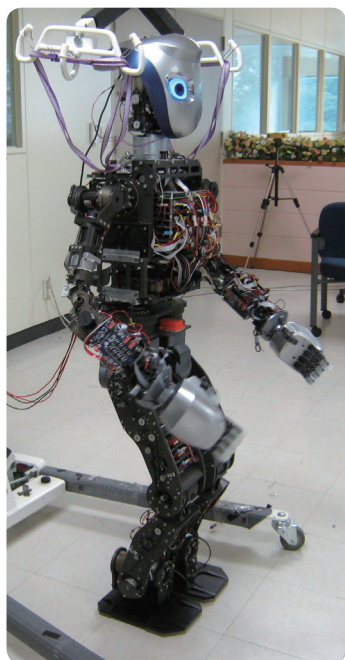
세 가지 보행 로봇 비교

항목			
모델명	ReWalk™	Ekso™	HAL™
제조사(국가)	Argo Medical Technologies (이스라엘)	Ekso Bionics(미국)	Cyberdyne(일본)
적용 대상	상지기능을 가진 하지마비 장애인	상지기능을 가진 하지마비 장애인	뇌졸중/SCI 환자 근력저하 고령자
무게	18kg	20kg	15kg
목발 등 사용여부	사용	사용	사용
보행 최대속도	3km/h	3.2km/h	1.8km/h(평균속도)
센서 종류	Tilt sensor Foot force sensor Encoder	Encoder IMU Force sensor	Encoder Foot force sensor EMG
자유도	4개 (골반 2, 무릎 2)	8개 (골반 4, 무릎 2, 발목 2)	10개 (골반 6, 무릎 2, 발목 2)
모터수	4개 (골반 2, 무릎 2)	4개 (골반 2, 무릎 2)	4개 (골반 2, 무릎 2)
작동시간	8시간	6시간	2시간 40분
가능 동작	직선보행, 의자 앉기/ 일어서기, 계단 오르내리기, 경사로보행	직선보행, 의자 앉기/일어서기	의자 앉기/일어서기 계단 오르내리기
미 FDA 승인	승인(재활용으로 반드시 물리치료사 동행 조건)	승인(재활용으로 반드시 물리치료사 동행 조건)	미승인(미국FDA 미신청, 네덜란드·스웨덴 진출 진행 중)
판매(대여)가격	\$71,000(판매)	\$100,000(판매)	\$2,200/월(대여)
기타	ReWalk-P(임상용) ReWalk-I(개인용)	임상용, 개인용	정상인용, 임상용(HAL 5-C)



02 생물과 로봇, 서로에게 배운다

김기훈(로봇연구단) khk@kist.re.kr



KIST의 인간형 로봇 마루

21세기는 바야흐로 융합의 시대다. 최근 들어 로봇 분야에서도 새로운 용어가 등장했다. 바로 ‘바이오로보틱스(Biorobotics)’다.

바이오로보틱스는 이름 그대로 생물(bio)과 로봇(robot)이 결합한 융합 연구 분야를 말한다. 작은 연구 분야로 출발했으나, 지금은 전 세계의 로봇 관련 주요 연구센터나 연구실 가운데 ‘바이오로보틱스 실험실(biorobotics institute/lab)’이라고 명명하는 곳이 많아졌다. 최근 들어 많은 로봇 학자와 생명과학자도 자신의 연구 주제를 바이오로보틱스로 바꾸고 이 분야에 집중하기 시작하는 모습을 보인다.

로봇 기술의 한계를 극복하는 바이오로보틱스

최근 국내외 모두 로봇분야에 많은 기대를 걸고 투자를 하고 있다. 하지만 영화 속에 나오는 환상적인 로봇으로 높아진 눈높이와 기대와는 달리,

겨우 걸음마하는 수준인 현실 속 로봇에 실망의 목소리도 높다. 바이오로보틱스는 기존 로봇 기술의 한계점인 비효율성과 응용 분야의 취약성을 극복하려는 시도다. 예를 들어 생체의 모방을 통한 기구 디자인을 통해 기존 메커니즘을 극복하고 효율성을 획기적으로 개선하거나, 고부가가치의 수술용 로봇을 개발하여 실제 분야에 응용할 수 있다.

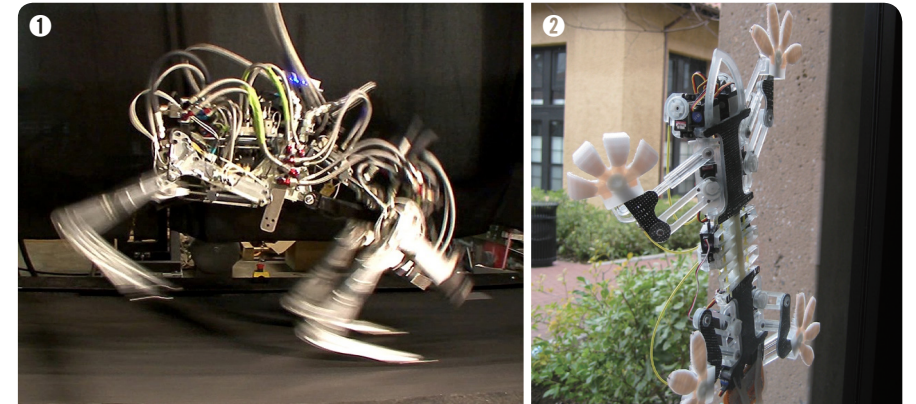
바이오로보틱스는 크게 생체 모방 로봇(Biomimetics), 의료 로봇(Medical robots), 바이오닉스(Bionics)로 나눌 수 있다. 생체 모방 로봇이란 오랜 세월 동안 환경에 맞추어 적응, 진화하면서 최적화된 생명체의 원리를 연구하고 이를 모방해 로봇을 만드는 것이다. 모방의 범위는 센서, 구동기 같은 기기뿐만 아니라 행동의 알고리즘, 메커니즘 등까지 포함한다. 의료 로봇은 의료를 목적으로 사용되는 로봇을 말한다. 수술 로봇, 재활 로봇, 의료 보조 로봇 등이 이에 속하며 의사나 재활사 등 기존에 사람이 하던 일을 보다 정교하고 안전하게 보조하는 역할을 담당한다. 바이오닉스는 인간의 생체 신호를 인터페이스해 인간의 능력을 증대시키거나 보조해주는 로봇을 일컫는다. 로봇 의수족, 외골격 형태의 근력 증강 로봇 등이 이에 속한다.

생체 모방으로 로봇 성능 향상

생명체는 오랜 세월을 거쳐 환경에 적응하며 살아남기 위해 최적화된 시스템이다. 그 원리를 배우고 이해하여 실제 로봇으로 구현하면 최적의 시스템을 만들 수 있으리라는 것이 생체 모방 로봇의 기본 프레임이다. 생체 모방 로봇은 크게 생체 원리를 파악하고 과학적으로 규명하는 분야와 이를 실제 로봇으로 구현하는 분야로 나눌 수 있다.

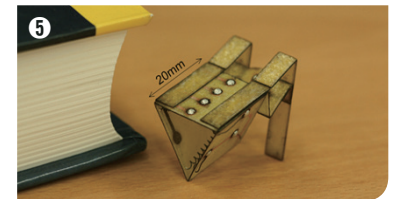
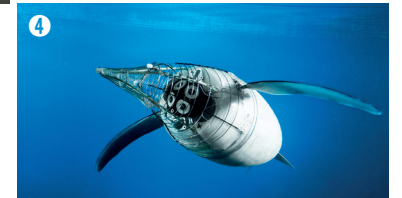
기존 생체 모방 로봇기술은 단순히 생명체의 원리나 모양 모사에 초점이 맞춰져 있었다. 그러나 최근에는 전통적 접근방식에서 발생하는 근본적 한계점을 극복하기 위한, 적극적인 의미의 생체 모방 기술이 주목을 받고 있다. 생체 모방 기술을 통해 로봇의 가장 중요한 요소인 구동기와 센서, 메커니즘을 획기적으로 발전시키면 비효율성의 상당부분을 극복할 수 있으리라 기대하고 있다. 기계적 요소뿐만 아니라 알고리즘의 측면에서도 연구가 이루어지고 있다. 기존의 인공 지능이 가지는 선형적인 계산방식의 한계를 뛰어넘기 위해서, 생명체가 가진 지능의 원리를 규명하고 구현하기 위한 것이다.

1980년대 MIT의 브룩스(Brooks)가 내세운 ‘행위 기반 로봇(Behavior-based robotics)’은 알고리즘 생체 모방 기술의 대표적인 예시다. 기존 로봇

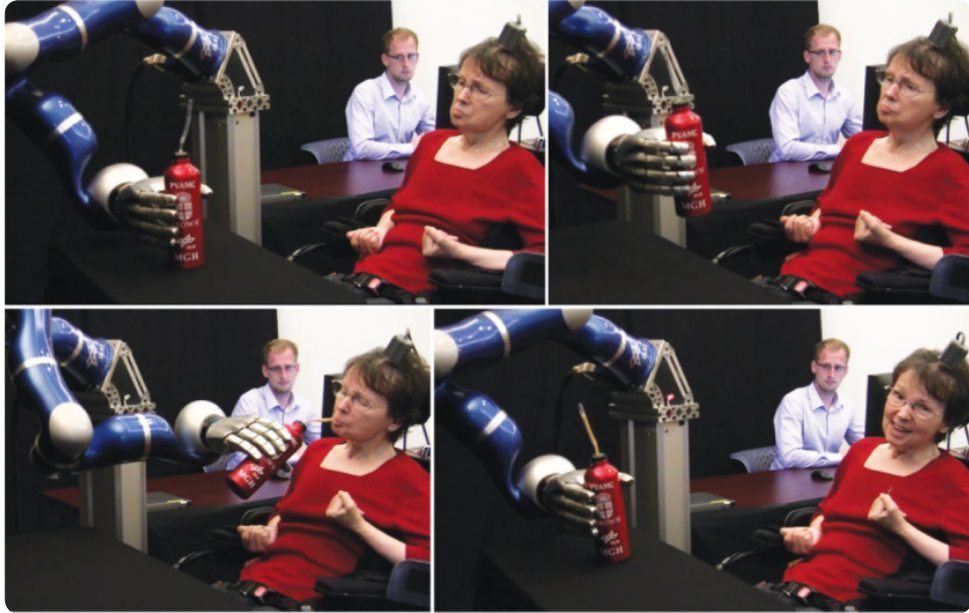


다양한 생체모방 로봇들. 위부터 차례대로
① MIT의 치타 모방 로봇 치타
② 카네기멜론대학교의 소금쟁이 모방로봇
워터 스트라이더 ③ 웨스토(Festo)사의
펭귄 모방 로봇 아쿠아펭귄 ④ 서울대학교의
벼룩모방 로봇 FLEA ⑤ 스탠포드대학교의
도마뱀 모방 로봇 스티키봇

제어 방식처럼 센서를 기반으로 복잡한 계획을 거쳐 행동을 수행하는 것이 아니라, 센서와 행동을 유기적으로 엮어 즉각 반응하게 함으로써 단순하지만 환경에 최적화된 행동을 유도한다. 비록 단순해 보이지만, 이 원리를 적용한 청소로봇이 상업화에 성공함으로써



생체 모방 로봇의 새로운 관점과 유용성을 제시했다는 평가를 받고 있다. 최근 관심을 끌고 있는 생체 연성 메커니즘(Compliant mechanism) 적용 기법이나, SMA(Shape Memory Alloy), EAP(Electroactive Polymer) 등을 이용한 인공 근육 개발도 생체 모방 범주에 속한다.



하버드 대학교 연구팀은 최근 침습형 전극을 사람에게 적용하여 BMI를 구현하고, 생각만으로 로봇팔을 제어하여 컵을 들고 커피를 마시는 시연을 성공시켰다. (Brown & Harvard, 2012)

‘600만불의 사나이’가 현실로

의료용 로봇이 진료와 재활에 힘을 써도 인간의 근본적인 생체 기능을 대신할 수는 없다. 이런 문제를 해결할 수 있는 로봇 분야가 바이오닉스다. 바이오닉스 기술은 인간의 육체를 구성하는 사지를 비롯해 눈, 귀, 코, 심장, 신장 등의 장기를 대체하거나 기능을 돕는 목적으로 로봇 기술을 응용하는 것을 의미한다. 텔레비전 드라마 속 ‘600만불의 사나이’를 현실에 재현하는 셈이다.

바이오닉스의 대두는 인류의 고령화와 연결된다. 2008년 기준으로 우리나라는 65세 이상 노인 인구가 501만 여명, 전체인구의 10.3%에 해당하는



KIST에서도 사용자의 의도를 sEMG를 통해 인식하여 로봇 손을 제어하는 작업을 수행하는 데 성공했다. (KIST, 2012)

고령화 사회다. 2026년에는 노인 인구의 비율이 20.8%에 달해 초고령화 사회로 진입할 예정이다. 고령화한 인류의 신체적 불편을 크게 덜어줄 수 있는 ‘해결사’로 나선 것이 바이오닉스다.

바이오닉스 연구는 미국이 주도하고 있다. 미국은 상지 장애 환자들의 삶의 질을 회복하게 하는 미국방연구소(DARPA)의 ‘Revolutionizing Prosthesis 2009’ 프로그램에 4년간 7,000만 달러를 투입했다. 이 프로그램에서 성인 남성의 팔의 무게, 힘, 속도, 자유도를 갖고 실제 사람 팔과 구분하기 힘들 정도의 촉감과 외견을 가질 뿐만 아니라 편안함, 내구성, 신뢰도까지 갖춘 의수를 개발해 2011년 FDA 승인을 받았다. 2010년부터는 프로그램의 후발 연구 과제에 다시 4년간 1억4,000만 달러를 투입하고 있으며, 이 가운데 90% 이상을 두뇌 컴퓨터 인터페이스 ‘BMI(Brain-Machine Interface)’에 쏟아붓고 있다.



03 정교한 외과의사, 컴퓨터

이득희(바이오닉스연구단) dkylee@kist.re.kr

현대의 수술실은 첨단 과학 기술과 의학 지식의 집합체다. 새로운 수술도구, 모니터링 시스템, 영상장비, 정보시스템, 통신시스템 등 첨단 기술이 속속 도입되고 있으며, 정보기술의 발달 덕분에 그 속도도 더욱 빨라지고 있다. 이처럼 최신 기술을 이용하여 수술을 돕는 방법을 연구하는 분야를 '컴퓨터를 이용한 수술지원 기술'이라 한다.

컴퓨터를 이용한 수술지원 기술은 크게 의료진의 손발이 되어 주는 수술로봇기술, 수술을 가이드하는 내비게이션 기술, 수술의 흐름을 통제하고 의료진의 의사결정을 도와주는 정보화 기술, 로봇과 사람의 협업을 가능하게 하는 원격 협업기술로 나눌 수 있다. 수술지원 기술 연구는 수술의 효과를 극대화하며 환자의 안전을 보장하고 의료진의 수술 스트레스를 줄이는 것뿐 아니라, 병원의 경영 효율성까지 높여줄 수 있다.

수술로봇, '정교한 외과의사'로 거듭날 수 있을까

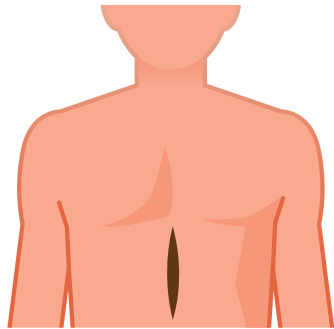
외과적 수술은 19세기 초반에 들어서야 본격적으로 시행될 수 있었다. 출혈, 고통, 감염의 문제를 해결할 소작술, 수혈법, 마취법, 소독 및 멸균법 등이 그 때서야 개발됐기 때문이다. 20세기 말에는 소형 카메라 기술이 개발되면서, 피부에 3~4개의 작은 구멍을 뚫는 것으로 끝나는 '최소 침습수술'이 가능해졌다. 피부절개에 따른 환자의 출혈, 고통, 감염 문제를 획기적으로 줄인 순간이다.

하지만 최소 침습수술 역시 많은 문제를 안고 있다. 좁은 틈을 이용해야 하므로 시야가 제한적이고 간접적일 뿐 아니라, 긴 수술 도구를 사용해야 하므로 직관적인 제



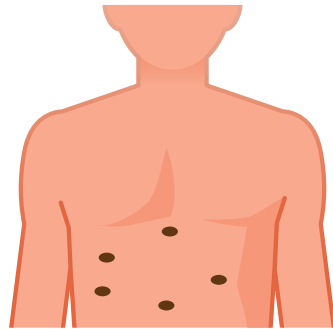
컴퓨터와 로봇은 이미 수술실에서 광범위하게 이용되고 있다. 극도로 정밀하고 정확한 조작이 가능하여 수술 위험과 부작용을 최소화할 수 있기 때문이다. 연세대학교 세브란스 병원의 경우, 로봇팔 수술을 2005년 시작한 후 2012년까지 8,000건의 수술을 수행했을 정도다.

수술방법의 발전



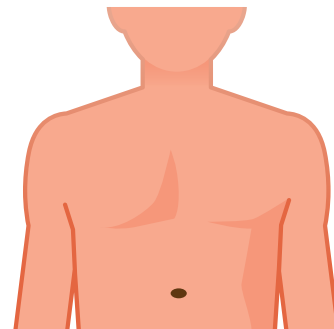
① 일반 수술

환자의 몸 정중앙을 길게 자른다. 흉골과 복근 근육 등을 연 다음, 장기에 접근해 수술한다. 수술 후 장기입원이 필요하다.



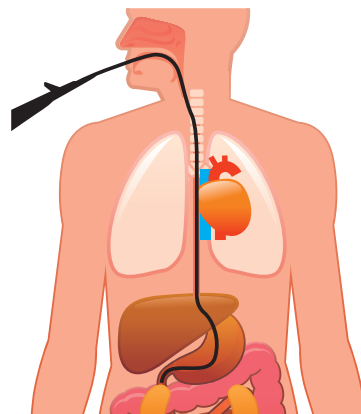
② 복강경 수술

다빈치 로봇 수술 방식과 같다. 몸에 4~6개의 구멍을 뚫고, 여기로 다양한 도구를 집어넣어 수술한다. 일반 수술방식에 비해 몸에 부담이 적다. 2~3주면 퇴원이 가능하다.



③ 싱글포트 복강경 수술

배꼽아래 하나의 구멍만 뚫어 치료한다. 싱글포트 수술을 할 수 있는 로봇은 아직 없어 사람이 손재주로 해결해야 한다. 수술에 성공하면 배꼽아래 흉터 하나만 남는다. 봉합에 신경을 쓴다면 흉터가 눈에 거의 띄지 않는 수술을 할 수 있다.



④ 노트 수술

내시경을 목구멍, 항문 등에 집어넣고 수술한다. 겉으로 상처가 전혀 생기지 않는다. 복강경 수술과 비교해도 회복속도가 2배 빠르다. 간, 소장, 췌장 등 내시경이 닿지 않는 장기를 수술할 때는 위나 대장을 또 한번 뚫고 나와 수술해야 하므로 득실을 고려해야 한다.

어가 어렵다. 따라서 수술의 효율이 전반적으로 떨어진다.

최근 등장한 수술로봇은 이러한 문제들을 해결하고자 개발됐다. 현재 임상에서는 정형외과의 인공관절치환로봇인 우리나라의 ROBODOC과 미국의 MAKOpasty, 복강경 수술로봇으로 쓰이는 미국의 da Vinci System, 역시 미국에서 개발돼 방사선 수술에 나선 CyberKnife 등이 활약 중이다. 수술로봇은 의사의 피로를 줄여주고 정교한 조작이 가능하다는 점에서 앞으로의 시장 전망도 밝다.

그러나 현재의 수술로봇은 단순히 의사를 보조하는 수단에 머물러 있다. 높은 비용에 비해 휴대성과 이동성이 턱없이 부족한 한계점도 무시할 수 없다. 심지어 로봇이 하는 수술이 의사가 직접 손으로 하는 최소 침습수술에 비해 효과적인가 하는 논쟁도 있다. 이러한 논쟁을 피하기 위해서는 수술로봇이 의사의 손으로는 할 수 없는 작업을 수행할 수 있을 정도로 발전해야 한다. 로봇만이 가질 수 있는 정밀함, 정확성, 강인함, 좁은 영역에서의 높은 조작성, 반복 작업 능력 등을 살려야함은 물론이다.

이를 위해서는 정밀한 로봇 조작 기술과 함께 고해상도 영상 가이드 기술, 최적 수술 계획 기술, 안전성 향상 기술의 개발이 뒷받침돼야 한다. KIST에서는 직경 3mm이하로 가늘면서도 충분한 강성을 가지는 능동 조향형 바늘 로봇 기술과, 다중 모달리티 의료 영상 가이드 기술, 그리고 시뮬레이션 기반 수술계획 기술을 연구하는 한편 이를 통합한 정밀 미세수술 지원 로봇 시스템을 개발하고 있다.

수술로봇의 이점 및 한계점

이점	한계점
• 의사의 손떨림 제거 • 비디오카메라를 통한 3차원 스테레오 영상 표시 • 손동작 확대/축소 기능을 통한 정밀 시술 가능 • 피로 감쇠 • 정밀 반복성 • 수술의 에러 감소 • 최소 침습수술에 있어서 도구 조작의 정교함 향상 • x-ray나 MRI 장치 내에서의 조작이 가능함.	• 다루기 어려움 • 비용 과다 • 휴대성, 이동성이 나쁨 • 특정 도구들만 사용할 수 있음

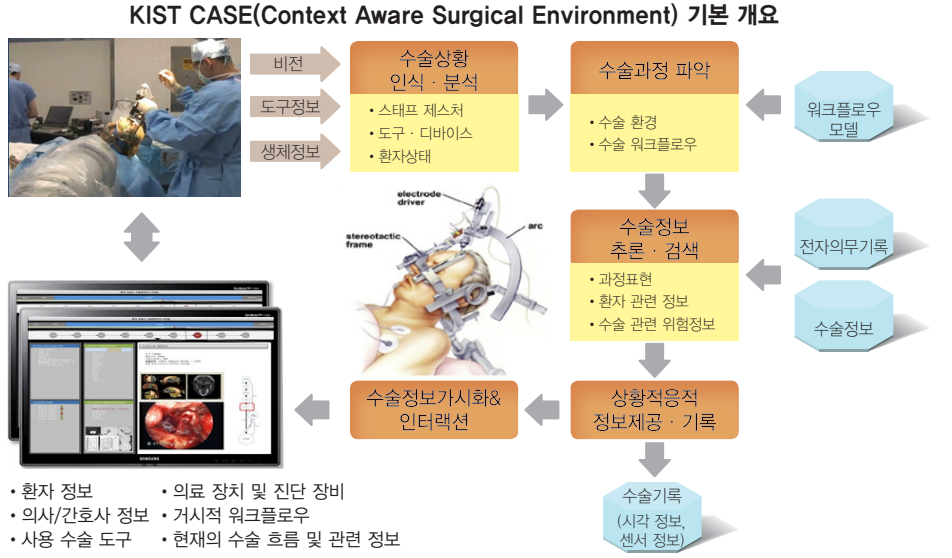
“다음 혈관에서 우회전하세요”, 수술실에도 내비게이터가?

최소 침습수술 시 의사는 카메라 좌표계를 기준으로 수술도구를 조작해야 한다. 그러나 이는 눈으로 직접 보는 것과 방향감각이 달라져서 직관적이지 못하다는 문제가 있다. 이를 해결하기 위하여 등장한 기술이 환자의 수술부위에 대해, 수술도구의 상대적인 위치와 자세를 추적하여 의사에게 알려주는 수술 내비게이션 기술이다. ‘내비게이션’이라는 이름 그대로, 자동차 안에 필수로 장착된 카 내비게이션과 역할뿐 아니라 담고 있는 콘텐츠마저 비슷하다.

카 내비게이션에서는 우선 자동차가 다닐 공간의 지리 정보와 지도가 필요하다. 수술 내비게이션의 경우, 환자의 인체 내부 정보를 알 수 있는 수술 전 의료영상이 이에 해당한다. 자동차가 다니게 되는 실제 공간은 수술 도구를 삽입하게 되는 환자와, 실 공간상에서 현재 자동차의 실시간 위치를 추적하는 일은 수술도구의 위치를 실시간 추적하는 것과 같다.

결국 카 내비게이션이 자동차를 목적지까지 최적경로로 도달할 수 있게 가이드하는 것을 목적으로 한다면 수술 내비게이션은 수술 도구가 목표점까지 최적의 경로로 접근할 수 있도록 안내하는 것이 목적이라고 할 수 있다.

현재 임상에 쓰이는 수술 내비게이션 시스템은 크게 뇌수술을 위한 ‘스테레오



택틱 프레임(Stereo-tactic frames)’과 정형외과용 ‘CAOS(Computer-Assisted Orthopedic Surgery) 시스템’이 있다. 수술 내비게이션은 의사의 눈을 대신해 좀 더 명확하고 직관적인 수술 경로를 안내하지만, 수술용 장치를 부착하는 과정에서 환자에게 신체적 부담을 주고 수술 시간도 늘어나는 단점이 있다. 환자를 시술 전 영상에 등록하는 과정에서 윈드젠을 사용하기 때문에 방사선 피폭 문제도 있다.

수술 내비게이션이 실제 실험에서 제대로 사용되려면 절개되는 부분을 최대한 줄여 환자의 부담을 경감하고, 방사선 이용을 최대한 피하고, 더욱 정밀하게 수술경로를 안내할 수 있도록 발전해야 한다. KIST는 현재 환자 얼굴의 3차원 스캔 데이터와 수술 전 영상을 서로 비교하여 정확한 위치를 찾아내는 환자 영상의 등록방법을 연구하고 있다. 수술 도구의 끝 점을 실시간으로 추적하기 위하여 2차원으로 이뤄진 내시경 영상을 통해 끝 점의 3차원 자세를 감지하는 기술도 함께 개발중이다.

표준과 소통이 우선, 그 다음은 통제

안전하게 수술하려면 수술 대상에 대해 정확하고 구체적인 정보가 필요하다. 또한

정확한 정보가 있으면 수술을 집도하는 사람들의 스트레스를 줄여 올바르게 신속하게 상황판단을 할 수 있게 해준다. 최근 정보기술의 발전 덕분에 수술의 전 과정을 모델링할 수 있을 뿐만 아니라, 컴퓨터 비전 등을 통해 수술 과정을 실시간으로 파악하고 수술의 전후 변화를 유추할 수 있게 되어 수술에 필요한 정보를 충실히 얻을 수 있게 됐다.

수술 상황을 자세히 모니터링하고 통제하는 일은 여러 개의 수술실을 운용하는 병원에서 특히 중요하다. 수술과 관계된 사람들이 어디에 있는지, 수술도구나 검사기구는 제 때 제 자리에 있는지, 각 수술실의 수술 일정이 겹치거나 무리하게 잡히지는 않았는지 한 눈에 확인하여 자원을 효율적으로 배치할 수 있다. 이는 병원 경영에 매우 중요할 뿐 아니라 대기 시간을 줄여서 환자들의 만족도도 높일 수 있다. KIST에서도 상황을 종합적으로 파악하여 수술을 지원하는 시스템을 특허로 출원중이다.

수술과정을 효과적으로 통제하려면 수술 프로세스를 표준화하여 일정한 모델로 만들어야 한다. 수술 프로세스 모델링은 수술의 정확한 과정을 파악하고 환경에 따라 변화하는 정보를 모아 의사와 관리자에게 제공한다. 이를 통해 효율성을 높일 뿐 아니라 수술 위험을 미리 알고 대비할 수 있다. 이처럼 수술 관련 정보를 모아서 구조화해 의미 있는 지식으로 만들어 가는 과정을 ‘수술정보학’이라 부른다.

기존의 의료시스템에서 정보학은 환자 중심의 EMR(Electric Medical Records)에 초점이 맞추어져 있었다. EMR이란 환자의 의료 기록을 데이터베이스화하여 전산망으로 언제 어디서나 확인할 수 있는 기술을 말한다. 그러나 수술실에서는 기존의 EMR 외에



로봇 기술이 무르익으면 원격 진료뿐 아니라 원격 치료도 가능해질 것이다. 장소에 구애받지 않고 안전하게 수술할 수 있는 환경이야말로 수술지원기술의 최종 목표다.

도 수술 중 일어날 수 있는 비상상황에 대비한 정보가 반드시 필요하다. 즉 재난통제나 군사작전처럼 비상상황에 대처하는 작업을 분석하여 이에 적용되는 속성들을 고려함으로써 정보를 확장해야 한다. 수술 역시 재난과 마찬가지로 빠르게 복잡한 의사결정을 해야 하는 비상상황이기 때문이다.

또 수술실 고유의 용어와 언어를 표준화하고 각 기기들 사이의 통신 프로토콜 역시 일정한 규격에 맞추어 조직과 기기 사이의 소통을 원활하게 할 필요가 있다. 사용하고 있는 데이터의 표준화를 통하여 수술 기기들 사이의 정보호환이 가능해야함은 물론이다.



04 사람 같은 근육을 가진 로봇을 만들 수 있을까?

구종민(물질구조제어연구센터) koo@kist.re.kr



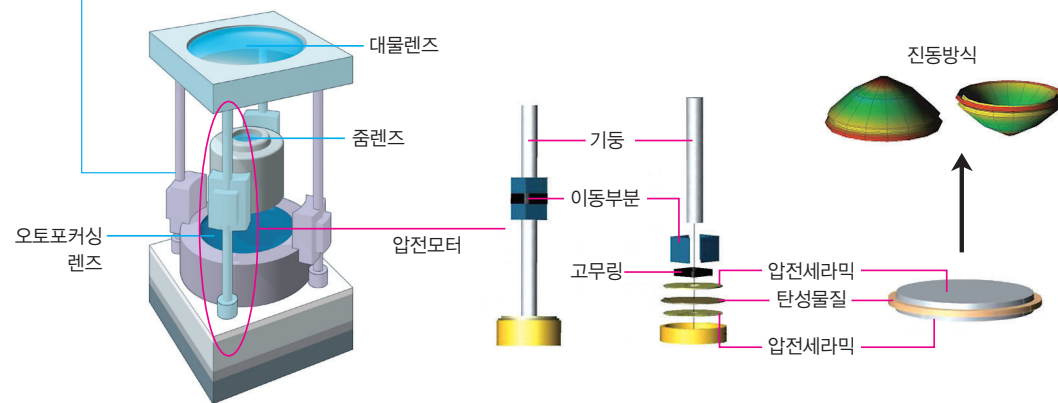
© S. Balaj

액추에이터는 시스템을 움직이거나 제어하는 데 쓰이는 기계 장치이다. 다시 말해 전기나 유압, 압축 공기 등을 이용하는 원동 구동장치를 두루 일컫는 용어다.



휴대전화 카메라의 압전모터 작동 원리

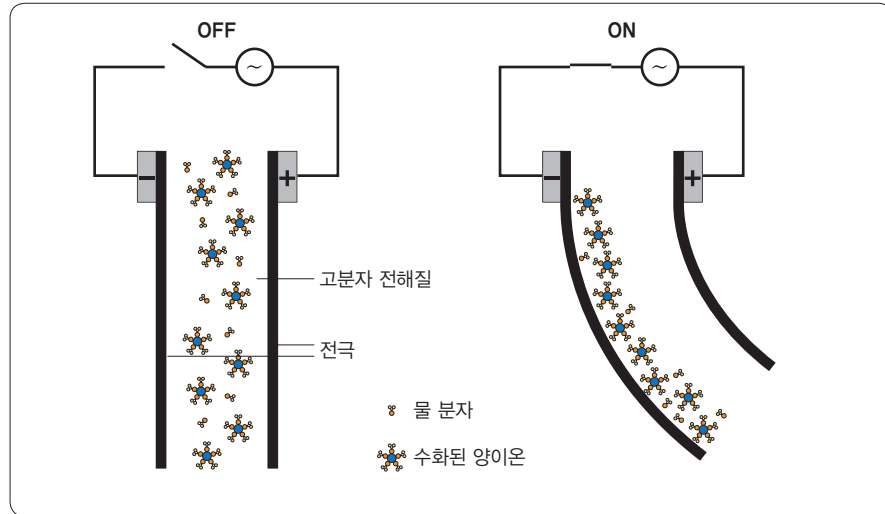
일부 휴대전화 카메라에는 압전체가 들어간 선형모터가 4개 장착돼 줌렌즈와 오토포커싱 렌즈를 앞뒤로 이동시킨다. 선형모터 뒤쪽에 있는 압전체들은 전기가 흐를 때 1초에 수천 번씩 제자리에서 진동하며 렌즈가 걸려 있는 양쪽 기둥을 하나씩 앞뒤로 흔든다. 예를 들어 앞으로 느리게, 뒤로는 빠르게 진동시키면 관성에 따라 렌즈는 앞으로 이동한다.



액추에이터(Actuator)란 기계장치의 ‘근육’을 말한다. 전기, 작동유압, 기력압 등 다양한 형태의 에너지를 외부로부터 공급받아 로봇을 움직이게 만드는 구동장치다. 흔히 전기모터부터 시작해 기름의 압력을 쓰는 유압식, 공기의 압력을 쓰는 공압식 등 다양한 액추에이터가 개발되어 쓰이고 있다.

최근에는 이런 액추에이터를 넘어서서 특수 소재로 액추에이터를 만들려는 연구도 진행되고 있다. 정말로 동물의 근육과 비슷한, 부피가 작고 효율도 높은 액추에이터를 개발하려는 시도다.

소재 기반 액추에이터 연구는 크게 세 가지 정도로 나눌 수 있다. 전기활성세라믹,



이온성 전기활성고분자의 구조 및 작동원리. 고분자 전해질 양면이 전극 물질로 코팅된 구조로 양쪽 전극에 전압을 걸면 양이온이 음극 방향으로 이동하면서 팽창한다.

형상기억합금, 전기활성소재 기반 정도다. 각 방식들은 저마다 장단점이 있다. 세라믹 소재는 보통 ‘압전소자’ 방식을 많이 쓴다. 응답속도가 빠르고, 계산했던 만큼 정확히 움직이며, 힘도 센 편이다. 하지만 ‘작동변위’가 작다는 게 문제다. 큰 동작을 하는 기계장치를 만들 때 불리하다는 것이다. 형상기억합금은 작동변위가 크고 전기를 적게 쓰는 장점은 있지만, 응답속도가 너무 느린 게 단점이다.

최근 가장 주목받는 분야는 전기활성소재 기반 방식이다. 이 방식은 응답속도도 빠르고, 작동변위도 크며, 전기소모량도 낮다. 특히 이 소재는 가공성이 뛰어나 경량화, 박막화, 소형화 등에도 장점이 있다. 이 전기활성소재 기반을 응용한 것이 한 때 잘 알려졌던 ‘햅틱 기술’이다. 각종 디지털기기에 진동이나 힘, 충격을 주어 사용자가 촉감을 느낄 수 있게 하는 기술이다. 휴대전화나 마우스, 카메라 등에 많이 쓰인다. 얇은 판 형태로 만들어 평판 스피커 등으로 만들 때도 쓴다. 전기활성소재 기반 방식은 금속이나 세라믹 등의 재료와는 달리 인체 근육과 비슷한 탄성과 강도를 가지고 있는 것도 장점이다. 인공 근육이나 생체 모방 작동기기로서 응용성이 높다.



미국의 로봇 업체, '아이로봇'이 제작한 '팩봇'. 팩봇은 군용으로 개발되어 험지를 안전하게 정찰하는 데 사용한다. 팩봇 구동부 중 일부에는 유전탄성체가 사용됐다.

인공근육 움직이는 힘. 전기이온 vs. 전기장 어떤 것이 좋을까

전기활성소재 기반의 작동방식은 크게 두 가지로 분류된다.

하나는 전기 이온을 이용한다. ‘이온성 전기활성소재 기반(Ionic EAP)’ 방식이다. 전기 이온의 이동과 확산에 의해 소재 기반이 수축-팽창 변형을 일으키는 원리다. 외부 전기장을 이용하는 전자성 전기활성소재 기반 방식도 있다. 이 방법은 전자 분극

(Polarization) 현상을 이용한다. 전기장이 가해지면 원자핵 주위를 도는 전자의 움직임이 커져 물질에 변형이 생기는 현상을 이용하는 방식이다.

물론 이 두 가지 방식도 다양한 응용기술이 존재한다. 흔히 ‘탄소나노튜브(CNT: Carbon NanoTube)’라는 이름으로 불리는 신소재도 이온성 전기활성소재 기반 중 하나다. 이 밖에 전기유변유체, 전도성 소재 기반, 이온성 소재 기반-금속 복합체, 소재 기반겔 등 다양한 소재가 연구되고 있다.

이 방식은 전기가 통하면 구부러지는 특성이 있다. 로봇 관절 등의 앞뒤로 붙여 둔다면 전기흐름을 조작해 팔다리를 움직일 수 있는 것이다. 그러나 힘이 약하고, 정교한 변위조절이 힘든 것이 단점이다. 하지만 낮은 전압에서도 잘 움직이는 장점이 있으므로 개선방안도 여러 곳에서 연구 중이다. 이온전도도가 높은 전기활성소재 기반 및 전기화학적 안정성이 우수한 시스템에 대한 개발이 진행되고 있다.

전자성 전기활성소재 기반은 반대로 높은 전압을 필요로 한다.. 대신 응답속도가 빠르고 정교하게 변위를 조절할 수 있다는 것이 장점이다. 액정탄성체, 전기-점탄성 탄성체, 전기변형종이, 전기변형탄성체, 유전탄성체, 강유전성 소재 기반 등이 대표적인 소재다.

이 중에서도 특히 유전탄성체는 다른 전기활성소재 기반에 비교하여 매우 큰 작동 변위 구현이 가능한 소재다. 전력소모량이 매우 낮고 큰 작동력을 가지며 우수한 작동 신뢰성을 가지고 있으므로 산업적 응용성이 우수하여 많은 연구들이 진행되고 있다. 다만 작동전위가 매우 커서 이를 낮추기 위해 많은 연구가 진행중이다.

신개념 인공근육 소재 ‘유전탄성체’

유전탄성체 액추에이터에 관한 연구는 최근 들어 매우 활발하게 진행되고 있는 분야 중의 하나이다. 기존의 액추에이터 소재에 비해 높은 전기역학 변환 효율, 빠른 반응속도, 큰 에너지 밀도와 큰 작동변형을 나타내기 때문에 햅틱 기기, 인공 장기 및 조직, 초정밀기계, 센서 등에 응용이 가능하다. 우주항공분야, 의료용 로봇, 개인군사 장비 등과 스마트 기기 등 다양한 응용 분야에 적용하기 위한 많은 연구들이 진행되고 있다.

유전탄성체는 많은 액추에이터 소재 중에서도 가장 큰 작동 변위 및 작동력, 빠른 응답속도, 저비용, 저전력소모 특성 등 장점이 많다. 이미 해외 기업에서는 햅틱 게임기, 관상용 물고기, 카메라 렌즈 등에 시제품을 출시하고 있으며 많은 대학, 연구소, 기업들의 연구기관들도 연구를 수행하고 있다. 매년 새로운 아이디어와 이를 구현한 사례가 발표되고 있어 가까운 미래에 유전탄성체를 이용한 상용화 제품 출현이 늘어날 전망이다.

하지만 국내에서는 유전탄성체에 관한 연구 및 연구지원이 아직 미흡한 실정이며, 선진국과의 기술격차를 줄이고 유전탄성체분야 기술을 선점하기 위해서는 국가적인 연구사업 지원이 필요한 실정이다. 소재 기반 액추에이터는 기존의 기계식 액추에이터에 비해 장점이 큰 방식이다. 기존 방식은 전기모터나 실린더의 힘을 기계장치로 전달하는 구동부를 만들어야 하고, 환경도 제한적이다. 소재 기반 소재를 이용해 이런 문제를 해결한다면 기계장치의 각종 움직임도 지금보다 한층 더 다양해지지 않을까.



미래를 바꿀 디지털 육감, 감각센서

변영태(센서시스템연구센터) byt427@kist.re.kr

이관일(나노포토닉스연구센터) klee21@kist.re.kr



성인이라면 누구나 한 번 이상 인터넷으로 물건을 샀을 정도로 인터넷 쇼핑은 일상생활의 일부다. 2012년 기준으로 우리나라에서 만 12세 이상의 인터넷 이용자 중 64%가 인터넷 쇼핑을 하고 있다. 최근에는 스마트폰을 이용한 인터넷 쇼핑이 증가하는 추세다.



인터넷 쇼핑물의 메인화면. 다양한 상품이 나열되어 있지만 상품에 대한 정보를 얻으려면 거의 전적으로 시각정보에 의지해야 한다. 향, 재질, 맛과 같은 정보를 알아보려면 다른 사람의 평가를 참고하거나 매장에서 실제 제품을 체험하는 수밖에 없다.

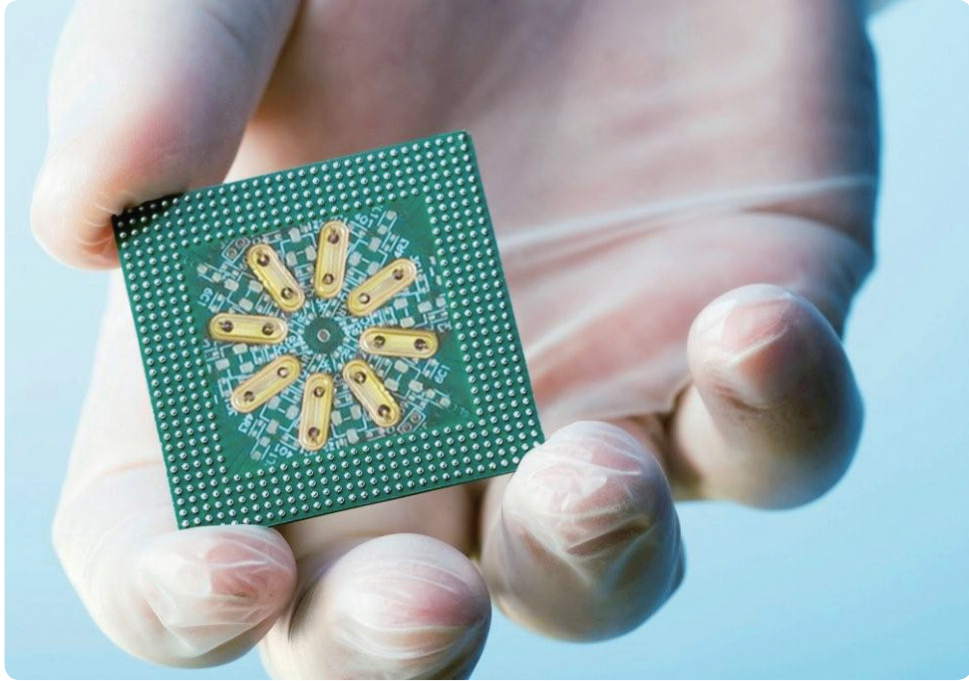
이렇게 인터넷 쇼핑 이용자와 거래금액이 갈수록 늘어나고 있다. 하지만 증가폭이 둔화되고 있고, 근본적인 한계도 내포하고 있다. 바로 오프라인에서 쇼핑할 때처럼 물건을 직접 만지며 실제처럼 확인하기가 어렵다는 사실 때문이다. 이런 문제는 해결할 수 없는 것일까?

사람과 같은 오감을 가지는 컴퓨터

걱정은 불들어 매도 좋다. 가까운 미래에 이 문제를 말끔히 해소할 기술이 개발되고 있으니까. 바로 센서 장치로 사람의 다섯 가지 감각, 즉 시각, 후각, 청각, 미각, 촉각을 모방한 오감인식 기술이다. 미국 IBM은 2012년에 자신들이 추진한 연구를 토대로 “5년 안에 컴퓨터가 사람과 같은 오감을 가지게 될 것”이라고 전망했다.

IBM은 컴퓨터가 가질 인공 시각이 이미지와 동영상 데이터에서 의미를 찾아내는 단계까지 진화해서 의료영상을 분석하거나 환자 개개인에게 맞춤형 의료 서비스를 제공할 수 있는 수준까지 올라갈 것이라고 예상했다.

또 후각은 사람이 숨 쉬는 것만으로 건강상태를 확인하고 실내에 병균이 있는지 여부를 확인할 수 있으며, 청각은 소리를 정밀하게 인식해 상대방의 감정 상태와 분위기를 파악할 수 있고, 산과 바다에서 미세한 소리를 들어 산사태나 홍수를 예상할 수 있



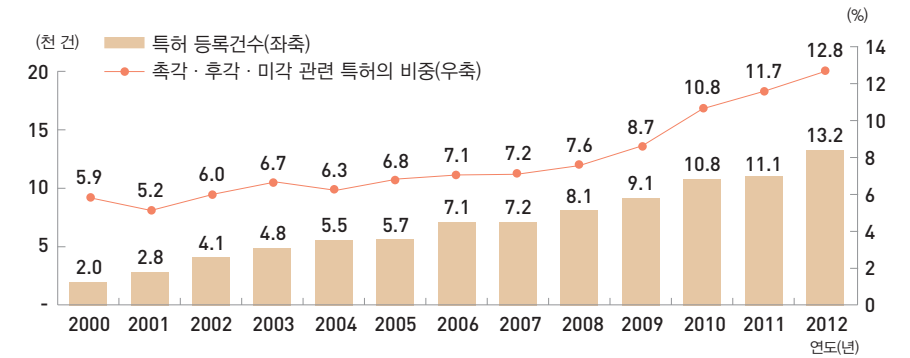
오감 센서 기술은 이미 오래전부터 사용되던 기술이다. 센서뿐 아니라 프린터의 잉크 카트리지와도 저장된 화합물을 조합하여 다양한 향을 재현하는 기기도 선보인 바 있다. 후각센서인 HF-QCM Sensor Array의 사진.

다고 봤다. 그리고 미각은 개인의 건강 상태와 맛 선호도를 고려해 식단을 구성하며, 촉각은 스마트폰 화면이나 모니터를 통해 온라인 쇼핑에서 물건의 질감을 느끼며 구매할 수 있도록 도울 것이라고 예상했다.

사실 센서 기술은 오래전부터 많은 분야에서 연구되고 쓰이고 있는 오래된 기술이다. 그런데 이 센서가 최근에 IT와 결합하면서 융합기술이 차세대 유망기술로 급부상하고 있다. 전문가들은 센서 기술이 컴퓨터 기술과 융합돼 더 빠르고 다양한 변화와 성장을 이룰 것으로 전망하고 있다. ‘웹 2.0’이라는 개념을 처음 발표한 팀 오라일리도 2009년에 “센서가 차세대 주자가 될 것”이라며 “모든 사물에 센서가 부착돼 세계는 새로운 감각을 갖게 될 것”이라고 말했을 정도다.

이런 흐름은 특허에서도 나타나고 있다. 미국에서는 오감 인식 기술과 관련된 특허

오감센서기술 관련 미국 내 특허 등록건수



등록건수가 꾸준히 늘고 있으며, 특히 촉각과 후각, 미각에 관련된 특허 비중이 급증해 2012년에 전체 오감 인식 관련 특허의 12.8%를 차지하고 있다.

사람의 기분을 알고 맞춰주는 센서의 세계

그렇다면 현재까지 각 감각센서 기술은 어디까지 왔을까? 현재는 출발점이자 목표를 세우는 바탕이 된다. 현재를 알아야 미래를 준비하고 예측할 수 있기 때문이다.

우리 눈은 사물에서 반사되는 빛을 이용해 사물의 크기와 모양, 색깔, 거리, 명암 같은 특징을 파악한다. 시각센서는 이런 눈의 기능을 대신하는 센서인데, 적절한 물질을 이용하면 실제 눈으로 볼 수 없는 자외선과 적외선까지도 볼 수 있다. 이미 빛을 이용하는 기본 시각센서로 다양한 광센서가 개발돼 다양한 분야에서 널리 쓰이고 있다.

이 시각센서가 사람의 얼굴을 인식하는 단계에서부터 얼굴 표정에서 사람의 기분까지도 알아내는 단계로까지 발전하고 있다. 일본 도요타는 얼굴표정을 인식해 상대방이 슬프거나 화가 난 상태일 경우 미리 경고할 수 있는 시각센서와 시스템을 개발하고 있다. 스웨덴의 토비테크놀로지는 최근 사용자의 눈으로 커서를 움직일 수 있는 노트북용 시선인식기를 개발했다. 시선인식 기술은 소비자의 행동을 분석하고, 장애인 의 기기 조작을 도우며, 학습이나 훈련 등에도 널리 활용될 수 있다.

한편 로봇 팔로 어떤 물체를 집거나 만져야 할 때 물체에 닿는 순간을 정확하게 알

아낼 수 있어야 한다. 또 물체를 집을 때는 깨뜨리거나 놓치지 않으려면 물체에 따라 힘을 적절하게 조절할 수 있어야 한다. 이것은 미리 세밀하게 정보를 주지 않는 이상 시각센서로 본다고 알 수는 없다.

이를 위해 개발된 것이 바로 광섬유로 만든 촉각감지센서다. 광섬유가 외부에서 준 힘의 크기와 위치, 작용방향에 민감하게 반응해 아주 작게 굽혀지는 ‘미소굽힘’을 가진다는 특성을 바탕으로 빛의 세기와 파장을 조절해서 이용하는 센서다.

일본 나고야대 연구팀은 세 방향을 축으로 한 입체형 촉각센서를 개발했다. 광원에서 들어온 빛이 광섬유를 따라 아크릴돔 구조로 이동될 때 아크릴돔에 위치한 센서장치는 받는 힘의 방향과 크기에 따라 CCD카메라에 맺히는 이미지 데이터에 변화를 주고, 이를 분석해 수직과 수평방향의 압력을 감지할 수 있다. 특히 이 센서는 힘이 어떻게 작용하고 있고, 온도가 어떤지도 측정할 수 있으며, 기존의 센서가 지닌 부식성과 내구성, 선을 모두 연결해야 하는 배선 문제까지도 말끔하게 해결할 수 있다. 앞으로 정교한 로봇 팔을 만들거나 휴머노이드 로봇을 만들 때 효과적으로 사용될 전망이다.

최근 미국의 기업, 탈믹이 팔목에 착용하는 암밴드로 착용자의 손동작이나 움직임이 있을 때 근육 안에 흐르는 전기신호를 측정한 뒤 블루투스로 전송해 컴퓨터나 휴대전화를 작동시키는 촉각센서 ‘MYO’를 출시했다.

듣는 것은 또 다른 일이다. 시각이나 촉각정보만큼 중요한 정보가 청각정보다. 미국 마이크로소프트의 빌 게이츠는 로봇과 음성 인식 기술을 대표적인 미래 기술로 선정하면서 “로봇과 음성 인식 기술이 컴퓨터를 바라보는 우리의 생각을 바꿀 것”이라고

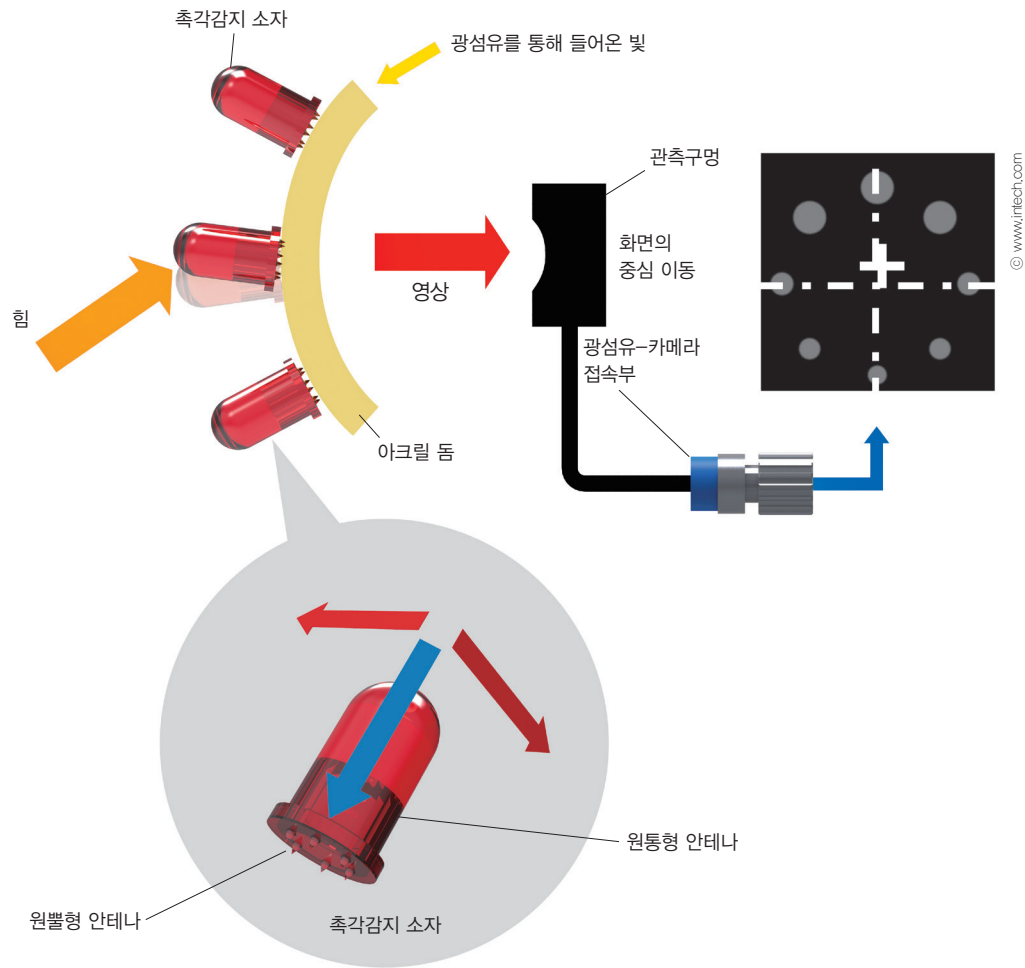


일본의 자동차기업 토요타가 기획한 4륜 세그웨이에 탑재될 헤드 업 디스플레이(HUD)의 상상도. 대상을 인식하여 관련 정보를 표현해주시고 하고 탑승자의 표정을 감지하여 현재 심리상태에 맞는 조치를 취해주시기도 한다.

© TOYOTA

입체촉각센서 시스템의 구조

입체촉각센서는 촉각감지 소자를 3차원 배열에 맞추어 구성하여 다양한 방향에서 들어온 정보를 정확하게 파악할 수 있다.



© Patrick T. Fallon, Bloomberg

CES와 같은 국제전자제품박람회에서는 웨어러블기기의 출품이 갈수록 늘고 있으며 그 수준도 크게 향상되고 있다. CES 2014에서 고급형 웨어러블기기를 시연 중인 참석자.

강조했다.

컴퓨터와 사람이 자연스럽게 대화하려면 컴퓨터가 정형화되지 않은 대화의 의미를 정확하게 이해하거나 사람과 비슷한 억양으로 말할 수 있어야 한다. 일본 NTT도코모는 음성을 인식하고 그 의미를 해석해 사용자와 대화하는 서비스, '말하는 컨시어지'를 출시했는데, 이 서비스는 일본어 대화를 약 80%까지 정확하게 해석하고 있다.

미각과 후각은 기존 센서가 가격이 비싸고 특정 맛이나 냄새만 감지하도록 개발돼 여러 냄새나 맛이 섞였을 때 분별력이 떨어지는 단점을 가지고 있었다. 기존 센서는 냄새나 맛과 관련된 분자를 감지하는 금속산화막 반도체나 수정 진동자가 보통 6~24개의 전자센서를 이용해 각각의 센서가 특정한 맛이나 냄새를 인식하고, 미리 만들어 놓은 데이터베이스와 비교해 판별하며 작동한다. 최근에 서울대 박태현 교수팀은 탄소나노튜브에 사람의 후각과 미각 수용체 단백질을 각각 결합시켜 바이오 인공후각 및 미각 센서를 개발했다.



06 촉감 전달을 이용한 실감나는 가상현실

조일주(바이오마이크로시스템연구단) ijcho@kist.re.kr

영화 '매트릭스'는 컴퓨터가 창조한 가상현실 속에서 살아가는 이야기를 다루었다.
이 작품의 등장인물들은 캡슐 안에 누운 채 신경자극만으로 창조된 세계를 실제 현실이라고 생각한다.

© 워너브라더스



© U.S. Navy

HMD는 이미 여러 곳에서 활용되고 있다. 사진은 HMD를 장착하고 낙하산 강하 훈련 중인 군인.

다리를 쓰지 못하는 전직 해병대원이 외계인의 육체를 입고 외계행성을 확보한다. 인간의 몸이었다면 숨조차 쉬지 못했을 환경을 속에서 전혀 불편함을 느끼지 못하고 온갖 경험을 할 수 있다. 영화 '아바타' 이야기다. 영화 '매트릭스'에서도 등장인물은 컴퓨터 안에만 존재하는 세계를 마치 현실처럼 느끼며 액션 활극을 벌인다. 이런 일을 가능하게 할 수 있는 건 바로 가상현실기술이다.

SF영화에 등장하는 가상현실기술이 개발되면 우리의 일상생활은 어떻게 바뀔까. 영화에서는 재미를 위해 극적인 사건이 일어나지만, 현실에서는 가상현실기술을 이용해 삶을 편리하게 만드는 서비스가 속속 등장할 것이다.

직접 옷가게에 가지 않아도 '만져보고 입어봐서' 마음에 드는지 확인하고 살 수 있



촉각센서는 다양한 기기와 결합하여 실감나는 가상현실을 구현하는 데 이용할 수 있다.
NASA에서는 촉각센서를 포함한 가상현실시스템을 이용하여 우주에서의 활동을 훈련한다.

을 것이며, 멀리 떨어진 부모님을 직접 찾아뵙지 않아도 ‘따뜻하게 포옹을’ 할 수 있다. 게임도 단순히 모니터만 쳐다보는 것을 넘어 마치 스스로 게임 속으로 들어가 주인공이 된 것처럼 활동할 수 있을 것이다.

가상현실 시스템 구현하기 위한 중요 기술

가상현실을 구현하려면 우리가 느끼는 오감, 즉 시각, 청각, 후각, 촉각, 미각을 모두 느낄 수 있게 해야 한다. 특히 시각과 청각, 촉각은 가상현실 시스템을 구현하기 위해 필수적으로 전달해야 한다. 그래서 시각과 청각 기술은 현재 크게 발전한 상태다.

3D영상 기술이 이미 상용화됐고, 머리에 쓸 수 있는 헤드마운트 디스플레이(HMD: Head Mounted Display)도 나와 있다. HMD를 쓰면 주위 환경에 방해받지 않고 3D 영상에 몰입할 수 있다. 음향 전달 기술도 크게 발전해 요즘에는 이어폰을 이용해서도 5.1채널의 입체 음향을 들을 수도 있다. 이미 제한적인 범위에서는 가상현실을 체

험할 수 있는 시스템이 개발돼 있는 셈이다.

물론 영화 속에서도와 같은 가상현실은 아직 먼 이야기다. 먼저 해결해야 할 감각이 촉감이다. 상호작용은 가상현실 시스템을 구현하는 데 핵심적인 요소다. 가상 공간 안에서 물체나 다른 사람과 서로 느낌을 주고받을 수 있어야 한다는 뜻이다. 실제로 가까운 경험을 하려면 내가 다른 사람을 만지거나 상대방이 나를 만질 때 느낌이 전달돼야 한다. 여기에는 촉감이 가장 중요한 역할을 하는데, 아직까지는 촉감을 전달하는 기술이 걸음마 단계에 있다.

하지만, 최근 휴대용 기기의 인터페이스 방식으로 촉감전달기술, 즉 햅틱 기술에 대한 연구가 활발히 이뤄지고 있다. 관련 기술이 개발되면 손뿐만 아니라, 온몸에 촉감을 전달해 다양한 가상현실을 구현할 수 있을 것이다.

촉감은 어떻게 전달할까?

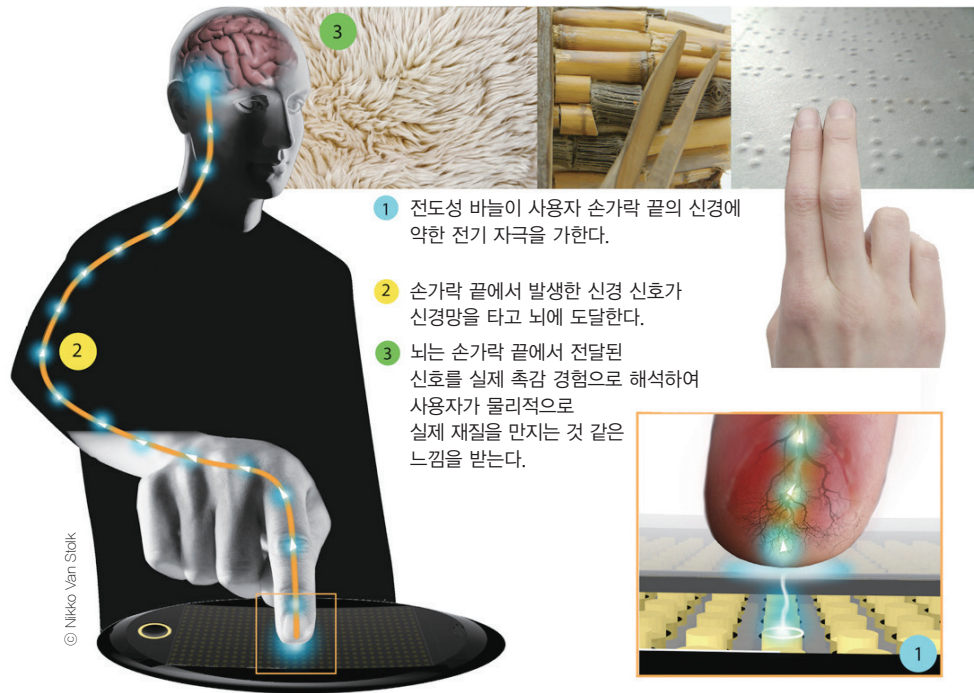
사람의 피부에는 여러 종류의 수용체가 있고, 이들 수용체가 받는 자극은 유기적으로 조합돼 피부에 어떤 물체가 닿았는지를 느끼게 된다. 이 중에서 가장 중요한 건 압력을 느끼는 수용체, 진동을 느끼는 수용체, 온도를 느끼는 수용체다. 피부에 와닿는 압력의 범위로 물체의 모양을 파악하고, 진동의 강도와 주파수로 물체 표면의 거칠기를 파악하게 된다. 우리가 물체 표면의 거칠기를 파악할 때 손가락과 같은 곳으로 물체의 표면을 훑고 이때 발생하는 피부의 떨림으로 거친지 매끈한지를 파악하는 원리와 같다.

또한 물체가 몸에 닿았을 때 피부의 온도변화율을 이용하면 물체의 재질을 판단할 수 있다. 금속이 닿으면 피부가 열을 빨리 빼앗겨 차가운 느낌이 들고, 나무가 닿으면 천천히 열을 빼앗겨 차가운 느낌이 덜한 현상을 흉내 낸 것이다. 따라서 촉감을 전달하려면 촉감 전달시스템을 피부에 부착해 여러 수용체를 자극해줘야 한다. 지금까지 여러 구동 방법을 이용해 다양한 촉감전달 시스템이 개발됐다.

최초의 촉감전달 시스템은 맹인들이 사용하는 점자다. 피부로 느끼는 압력의 패턴을 이용해 정보를 전달하는 원리다. 같은 원리를 이용한 촉감전달 시스템도 개발됐다. 최근 가장 주목받는 기술은 재질이나 질감 등 다양한 촉감 정보를 전달하기 위해 온

진동형 햅틱 모듈로 촉감을 구현하는 과정

촉감은 다른 감각과 달리 감각의 종류에 따라 다른 수용체가 있어 여러 수용체를 자극해주어야 한다.



도나 진동 소자가 집적된 촉감정보 시스템이다.

복합 감각을 전달하기 위한 촉감전달 시스템은 압력감, 진동감, 온도감 등을 동시에 전달할 수 있다. 물체의 모양과 재질, 질감을 동시에 전달할 수 있어서 가상현실 속에서 사람과 물체 혹은 다른 사람 사이의 상호작용을 실감나게 느끼게 해줄 수 있다.

KAIST에서는 압력감과 온도감을 동시에 느낄 수 있는 시스템을 컴퓨터의 마우스에 부착해 화면에 나타난 물체를 손으로 느낄 수 있는 기술을 개발했다. KIST에서 개발한 시스템은 압력감과 온도감, 재질감을 동시에 느끼게 해주며, 유연하기 때문에 굴곡이 있는 몸의 여러 부분에 붙일 수 있다. 게다가 낼 수 있는 힘의 크기가 커서 손보다 덜 민감한 팔이나 발 등에도 촉감을 전달할 수 있다.

신경을 직접 자극한다

촉각에 시각과 청각만 더해도 가상현실 시스템은 조금 더 실제에 가까워진다. 그러나 우리가 영화에서 보던 가상현실 시스템에는 여전히 미치지 못한다. 이를 극복하기 위해서는 두 가지 주요 문제를 해결해야 한다. 첫 번째는 크기다. 몸 전체에 감각을 전달하려면 온몸에 장치를 부착해야 한다. 그러면 구동 장치의 수가 너무 많고 시스템이 매우 복잡해진다.

둘째는 아무리 정교한 촉감전달 시스템이라고 해도 실제 감각과는 차이가 있다는 점이다. 실제와 같아지려면, 압력감과 진동감, 온도감 외에도 피부의 밀림이나 늘어남, 근육의 움직임 등을 추가해야 한다. 이런 감각까지 모두 전달할 수 있다고 해도 실제 사람이 외부와 상호작용할 때 느끼는 감각과는 다르기 때문에 가상현실 시스템에 적응하기 위해 학습해야 한다.

이 문제를 해결할 수 있는 방법은 아직 없다. 그래서 최근 연구자들은 뇌를 직접 자극하는 방법을 궁리하고 있다. 우리 몸이 느낀 감각은 뇌의 감각피질로 전달된다. 따라서 그곳을 직접 자극할 수 있다면 촉각을 기계적으로 전달하지 않아도 실제 감각과 똑같이 느낄 수 있다. 이를 위해서는 뇌에 직접 자극을 가해야 한다. 간편하게 착용할 수 있는 자극 시스템이 필요한데, 최근 자기장이나 초음파를 이용해 뇌를 자극할 수 있는 방법이 개발됐다.

하지만 이 경우에도 해결해야 할 문제가 있다. 우선 뇌에서 감각을 처리하는 부분에 대한 지도가 정밀하지 않아 미세한 감각을 전달하기 어렵다. 또 초음파나 자기장을 원하는 부위에만 전달해야 하는데, 아직까지는 두개골을 통과해 정확히 원하는 부위에만 자극을 줄 수 있는 기술이 개발되지 않았다.

현재 기술로 영화와 같은 가상현실 시스템을 구현하기는 어렵다. 다만 인터페이스에 촉감전달 시스템을 적용하면 혁신적인 전자기기나 모바일 기기를 만들 수 있을 것이다. 또한 뇌를 직접 자극하는 방법은 초기 단계이긴 하지만 실현 가능성은 검증됐다. 비록 아직은 해결해야 할 문제가 많지만, 머지않은 미래에 영화 ‘매트릭스’에서 나오는 가상현실을 기대해 볼 수 있지 않을까.



가상현실을 앞당기는 햅틱 기술

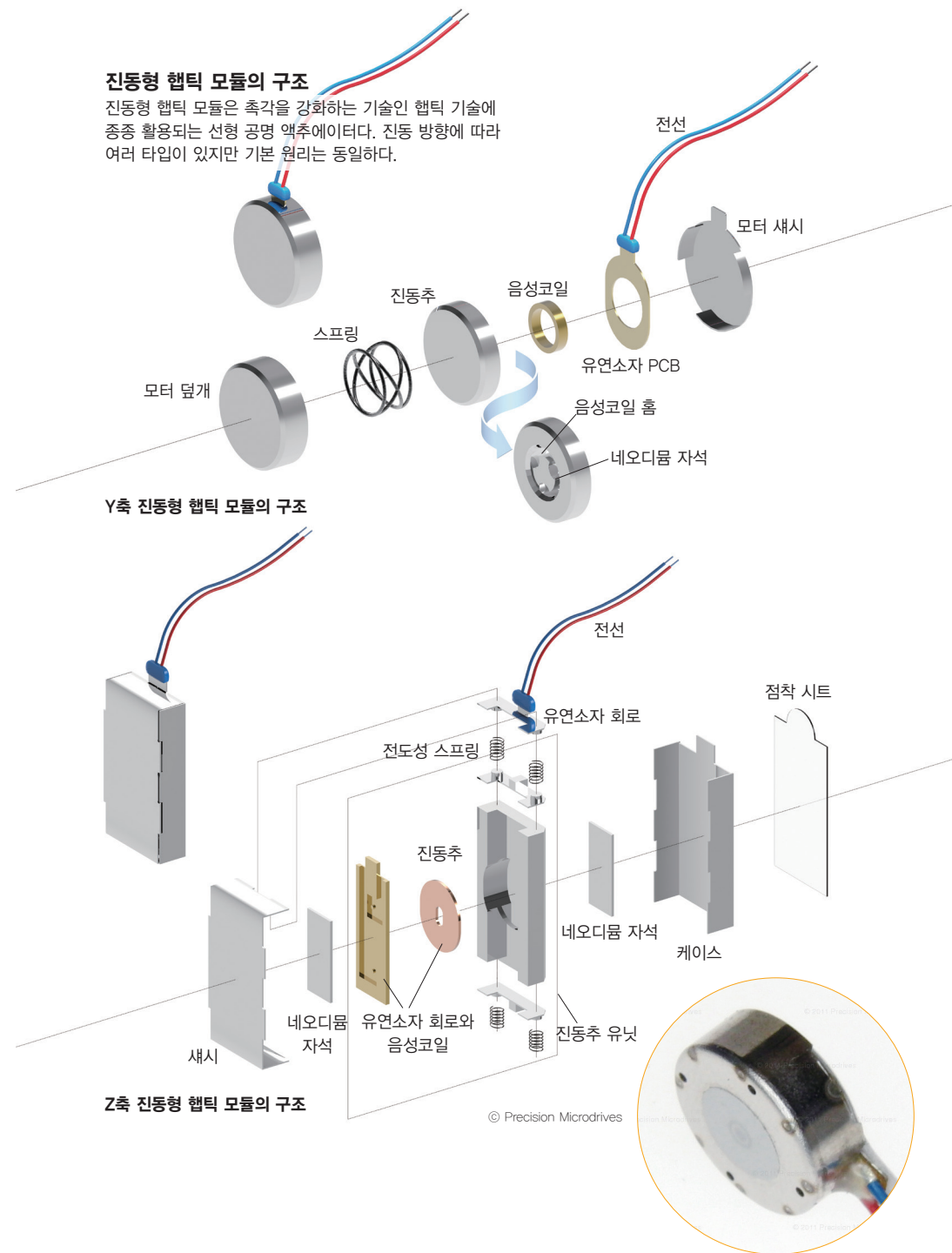
박재영(로봇연구단) jypcubic@kist.re.kr



오감 중 가장 중요한 감각 중 하나가 촉각이지만 다른 감각에 비해 연구가 미진한 편이다. 점자책에서도 보듯 촉각은 시각이나 청각 이상으로 많은 정보를 전달 뿐 아니라 타 감각이 따를 수 없는 생생한 현장감을 제공한다.

과학기술의 발달로 SF영화에서 보던 진짜 같은 가상현실을 직접 경험할 수 있을 것이라는 기대감이 높아지고 있다. 실제 영상과 음향 기술 발달로 휴대기기에서도 실시간으로 실제감 높은 가상현실을 체험할 수 있는 수준에 이르고 있다. 특히 컴퓨터를 이용한 영상처리 기술은 사실적인 영상을 보여줄 뿐 아니라 자세와 움직임을 넘어 의도까지 파악하는 단계에 이르러 사용자가 가상현실을 더욱 사실적으로 느끼게 한다.

우리 몸은 민감해서 기술이 어리숙하면 가짜라는 것을 금방 눈치채기도 하기 때문이다. 즉 사람이 가상현실을 실제와 똑같이 느낄 수 있으려면 사람이 느끼는 감각을



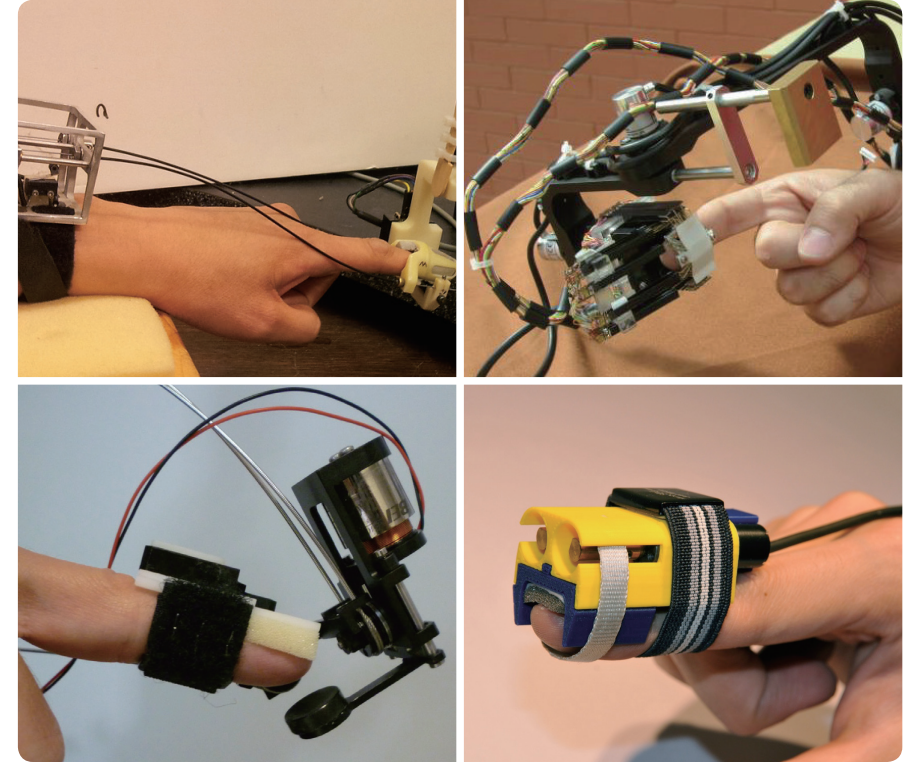


6방향 힘 피드백 시뮬레이션. 가상의 '무게감'을 부여하여 실제로 물체를 들고 움직이는 듯한 느낌을 준다.

그대로 재현하는 기술이 무엇보다 중요하다. 즉 사람의 오감을 그대로 구현할 수 있어야 한다. 그런데 오감 중에서 시각과 청각은 상대적으로 많은 관심과 노력으로 기술 수준이 가상현실을 구현하는 데 충분한 수준에 이르고 있는 반면, 촉각과 미각, 후각은 상대적으로 발전이 더딘 편이다.

오감 중 가장 필요한 촉각

가상현실과 실감형 기술 구현에서 시각과 청각 기술이 일정 수준에 도달하자 실제감을 높이기 위한 다른 감각의 중요성이 대두됐다. 바로 촉각이다. 상당한 수준에 이른 시각과 청각에서는 웬만한 기술로는 실제감의 변화가 크지 않았다. 하지만 이제



다양한 촉각 정보를 피부에 전달하는 촉각 디스플레이. 아직은 극소수의 연구실에서 탐색 연구를 하는 단계다.

초기 수준인 촉각은 조금의 효과에도 큰 변화를 줄 수 있었다. 게다가 몸으로 익히는 촉각의 중요성도 대두되기 시작했다. 머리로 이해하는 것과 달리 과정을 몸으로 느끼며 배우는 것의 중요성도 알게 된 것이다.

이처럼 기술의 발전 방향은 사람들의 편리성과 사람의 필요에 의해 많은 차이가 발생한다. 1990년대 촉각에 관한 기술에 관심을 가지고 의견을 나누던 미국의 공학자들이 햅틱을 학문적으로 다루기 시작했다. 햅틱은 사람이 촉각을 인지하고 재현하는 기술을 연구하는 분야다.

초창기에는 로봇을 원격으로 조종하거나 가상현실 시스템을 구현하기 위한 하드웨어 인터페이스 개발이 주된 연구 분야였다. 이후 기술이 발달하고 분야가 세분화되면서 크



햅틱 기술이 가장 먼저
활용된 분야 중 하나가
바로 게임이다. 세가에서 발매한
드림캐스트의 주변기기인 '점프 팩'.
햅 피드백 기술을 활용하여 조종기에
진동 기능을 부여함으로써 한층 더
생생한 현장감을 느끼게 한다.

게 촉각을 전달하는 장치인 햅틱 인터페이스를 설계하고 제어하는 영역, 인터페이스를 통해 사용자에게 전달되는 촉각을 계산하는 햅틱 렌더링, 인간이 촉각을 느끼는 햅틱 지각으로 나뉘었다. 20여 년 동안 발전해 온 촉각 기술은 현재 어디까지 왔을까?

촉감을 전달하는 햅틱 인터페이스

현재까지 개발된 대부분의 햅틱 인터페이스는 사용자에게 전달되는 촉각 자극의 종류에 따라 크게 세 종류로 나뉜다. 바로 진동촉감 장치, 햅 피드백 장치, 촉감 디스플레이다.

진동촉감 장치는 솔레노이드, 진동모터, 피에조 액추에이터 같은 진동 액추에이터를 사용해 사물의 전체 또는 일부에 진동을 줘 감각을 전달하도록 구성한다. 이 장치는 이미 널리 실용화돼 휴대전화에서 평면화면을 누를 때 진동을 줘 실제로 버튼을 누르는 듯한 느낌을 전달하고 있다. 또 스타일러스 펜에도 장착돼 평면에서 종이에 볼펜이나 연필로 필기를 하는 듯한 질감도 느낄 수 있게 발전시키고 있다.

햅 피드백 장치는 가상이나 원격으로 어떤 사물을 조작하거나 탐색할 때 스타일러스 펜이나 트랙볼 같은 도구를 통해 역감과 흔들림 같은 특성이 전달될 수 있도록 구성한 기계장치이다. 사용자가 직접 조작하는 도구가 가상으로 존재하는 물체와 접촉

이 일어날 때 햅의 방향과 크기만을 전달하는 3자유도 햅 피드백 장치와 토크까지 전달할 수 있는 6자유도 햅 피드백 장치가 주로 쓰이고 있다. 현재는 여러 종류의 제품이 상용화돼 가상현실과 의료 시뮬레이션, 게임 컨트롤러에 사용되고 있다.

이런 장치는 간접적으로 촉감을 전달받는 방식이어서 한계를 가진다. 이런 한계를 넘어서려고 피부 표면에 직접적으로 촉각 자극을 전달하는 촉감 디스플레이가 개발되고 있다. 인간의 피부에는 크기, 위치, 반응 주파수 대역, 지속시간을 각각 감지하는 4가지 기계수용기가 존재한다. 촉감 디스플레이는 물리적, 전기적인 방법으로 피부의 기계수용기를 자극하여 사물을 만지거나 조작할 때 느끼는 정보를 재현하는 장치다.

촉감을 계산하고 검증하는 햅틱 렌더링과 햅틱 지각

햅틱 렌더링은 일반적으로 간지러운 느낌이나 진동 같은 촉감을 햅틱 인터페이스를 통해 재현하고 전달할 때 계산하고 처리하는 과정을 말한다. 가상공간에서 표



자동차에 적용된 햅틱 인터페이스. 스티어링 휠에 부착된 햅틱 스티어링(위쪽)과 가운데 콘솔 부분에 장착된 햅틱 컨트롤러(아래쪽).

© Mclaren.com, Audi AG.



신형 캐딜락에 장착된 근접경고시스템. 차선을 벗어나거나 다른 차량이 가까이 다가오면 진동 등의 방법으로 운전자에게 위험을 알려준다.

현된 사용자의 신체 일부나 조작하는 도구를 아바타라고 하는데, 햅틱 시뮬레이션에서는 햅틱 인터페이스의 기능에 따라서 공과 같은 단순한 형태부터 의료도구, 손가락, 손 같이 복잡한 형태로 표현되기도 한다.

사용자가 가상 물체를 만질 때 촉감을 계산하려면 우선 아바타와 가상 물체 간의 충돌을 감지해야 한다. 이것은 햅틱 시뮬레이션뿐만 아니라 애니메이션, 게임에서도 사용되는 일반적인 기술이다. 충돌이 감지되면 상호작용에 따른 힘과 마찰력을 계산하는데, 표면의 특성에 따라 난이도가 달라진다. 햅틱 인터페이스의 성능에 따라 난이도가 결정되기도 한다.

이렇게 구현된 햅틱 기술이 제대로 작동하는지 확인하려고 하는 일이 있다. 바로 햅틱 지각이다. 햅틱 인터페이스를 사용해 지각 능력을 평가하거나 렌더링된 촉감을 실제 환경과 직접 비교하는 방법, 로봇릭스 하드웨어에 적용되는 기준 척도로 평가하는 방법이다. 이 중 햅틱 지각은 물리적인 촉각 정보가 심리적 정보로 변환되는 과정을

연구하는 분야다. 특히 이 분야의 정신물리학 실험 기법은 햅틱 인터페이스의 성능을 정량적으로 분석하는 데 이용된다.

더 직관적인 테스트 방법으로 젝스(Jex)의 테스트가 있다. 햅틱 인터페이스를 조작할 때 마찰이나 진동이 작아야 하고, 벽돌에 부딪치는 것 같이 갑작스러운 정지감을 나타낼 수 있어야 하며, 흔들림이나 튀는 느낌 없이 마찰력을 전달하고, 멈춤시 시뮬레이션을 시간차 없이 나타낼 수 있도록 하는 것을 토대로 햅틱 인터페이스의 기술 수준을 평가하는 방법이다.

이 테스트에 따르면 일정 수준 이상의 인터페이스 장치는 테스트를 통과할 수 있을 정도로 발전해 있다. 반면 촉감 디스플레이는 큰 부피로 인해 작업공간이 좁아지는 문제가 발생하고, 구현된 촉감이 사실적으로 느껴지지 않아 지속적인 연구개발이 필요한 실정이다.

생활 속의 햅틱 인터페이스

햅틱 기술은 이미 생활 곳곳에서 쓰이고 있다. 스마트폰을 비롯해 휴대전화 대부분에서 버튼을 누를 때 진동을 발생하는 기능을 지원하고 있다. 또 음향을 진동으로 전환해 콘텐츠를 더욱 역동적으로 즐길 수 있도록 하는 햅틱 기술까지 적용되고 있다.

햅틱 기술은 BMW와 렉서스 같은 고급 자동차 브랜드에서 제작하는 자동차에서도 만날 수 있다. 이들 업체는 수년 전부터 햅틱 컨트롤러를 장착한 제품을 출시해 왔다. 국내에서도 쌍용의 체어맨과 기아의 K9 같은 고급 자동차에 햅틱 컨트롤러가 장착돼

출시되고 있다.

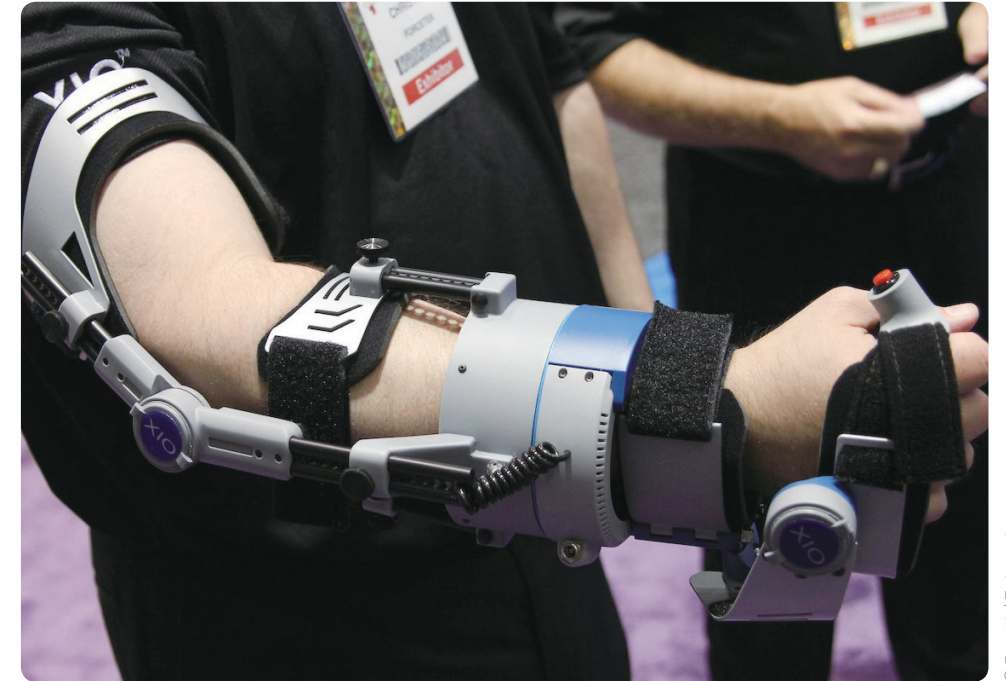
운전을 하면서 다른 장치를 조작하려고 눈을 다른 곳에 뒀을 때 발생하는 위험성을 고려해 햅틱 기술로 직접 보지 않고도 조작할 수 있게 만든 것이다. 최근에 출시된 캐딜락은 시트에 햅틱 기술을 적용해 다른 차선을 침범했을 때 시트가 진동하며 경고하기도 한다. 가상현실에서는 힘 피드백 장치로 가상 물체와의 상호작용 과정에서 촉감을 전달해 더욱 실감나게 재현하는 데 사용되기도 하며, 수술 시뮬레이션에서 의사가 도구를 사용해 인체 조직을 누르거나 자를 때 전달되는 힘을 재현하기도 한다.

비싼 기술, 국산화로 넘는다

이렇게 햅틱 기술이 발전하고 있지만 우리에게 큰 문제가 있다. 바로 햅틱과 관련된 대부분의 기술과 특허가 외국에 있다는 사실이다. 특히 미국과 유럽에 집중돼 있다. 물론 미국과 유럽에 햅틱 기술의 근간이 되는 로봇틱스와 가상현실 인프라가 광범위하게 발전한 상태라는 점을 생각하면 놀라운 일은 아니다.

하지만 문제는 장비와 기술 특허가 소수 기업에 집중돼 있어 이용에 문제가 발생한다는 점이다. 텍사스인스트루먼트와 센세그, 페어차일드 같은 기업들이 휴대기기를 위한 햅틱 솔루션을 개발해 판매하고 있으며, 미국 벤처기업 이머전은 햅틱과 관련 기술과 특허를 공격적으로 확보해 1000여 건의 특허를 보유하고 있다. 이들 기업이 햅틱 기술 솔루션 시장의 95%를 점유하고 있다.

휴대기기 제조업체에서 햅틱 기능을 제공하려면 해당 기업의 솔루션에 의존할 수



© ForceTek | TechTunch

CES 같은 국제전자제품박람회에서 햅틱 기술은 꾸준히 주목받고 있다. 특히 최근에는 가상현실을 구현할 수 있도록 복잡해진 시스템도 대거 선보여 엔터테인먼트 분야의 비상을 관심을 모았다. 사진은 팔 전체에 장착하도록 게임용으로 개발된 힘 피드백 컨트롤러.

밖에 없는 실정이다. 햅틱 인터페이스 장치도 일부 기업을 중심으로 고가의 연구 장비만을 제공하고 있어 연구를 하려면 울며 겨자 먹기로 고가의 연구 장비를 구입해야 하는 어려움에 처해 있다. 그만큼 햅틱 기술의 대중화와 연구 활성화가 더더욱 수밖에 없는 현실이다.

이런 이유에서 KIST는 햅틱 기술 연구에 앞장서고 있다. 이미 햅틱 다이얼 기술을 개발한 바 있다. 또 햅틱 기술을 이용한 치과수술시뮬레이터, 복강경 수술시뮬레이터도 개발했다. 2014년 현재에도 연구 과제의 일환으로 초음파나 전기 자극을 통해 피부에 직접 촉감을 전달하는 기술을 연구하고 있다. 휴대기기의 평면 디스플레이에서 질감을 느끼도록 하는 기술도 개발 중이며 이러한 기술을 바탕으로 가상공간에서 원격으로 촉감을 통해 상호작용할 수 있는 시스템도 2010년대 후반이면 등장할 예정이다.

- 01 블랙아웃, 대용량 이차전지로 대비한다
- 02 미래 밝은 유무기 복합 태양전지
- 03 '미생물공장'으로 차세대연료 생산한다

CHAPTER 2

지속가능한 에너지



01 블랙아웃, 대용량 이차전지로 대비한다

조병원(에너지융합연구단) bwcho@kist.re.kr



© Jannis Tobias Werner / Shutterstock.com

블랙아웃은 생각보다 자주 일어난다. 미국 뉴욕은 2012년에도 대규모 정전 사태를 겪었다. 유럽 인구의 10% 정도가 연간 세 시간 이상의 정전을 경험했다는 조사도 있다.

요즘 많이 나오는 말 중에 ‘블랙아웃’이 있다. 전력 공급이 수요량을 따라잡지 못해 일어나는 대규모 정전 사태를 말한다. 말 그대로 도시 전체에 전기가 들어오지 않아 암흑천지가 되기에 붙은 이름이다. 2003년에는 미국 동부에서 역사상 최악의 대정전 사태가 일어나 현대의 대도시에도 대규모 정전이 일어나면 어떤 문제가 생기는지 보여주었다. 2003년 대규모 블랙아웃에서는 뉴욕, 뉴저지, 오하이오, 미시간 등 미국의 일곱 개 주와 캐나다의 온타리오 주에 전력공급이 완전히 차단되었다. 불편을 겪은 주민은 5000만 명에 달했고 피해액만 60억 달러(약 6조 2500억 원) 이상으로 추산됐다.

대용량 이차전지를 이용하면 다양한 에너지를 효율적으로 이용할 수 있다. 이 때문에 친환경적인 도시환경을 구축하는 데 필수적인 기술로서 연구가 활발하다.



블랙아웃의 위협에 노출된 현대사회

한국에서도 최근 대규모 정전의 가능성이 높아지고 있다. 기후변화로 평균 기온이 상승하면서 여름철 냉방 수요가 급증했을 뿐 아니라 원자력발전을 중단하는 일이 잦아졌기 때문이다. 수요는 증가하는데 공급은 제자리걸음인 상황이라 당분간 블랙아웃의 위협에서 벗어나기는 어려울 것으로 보인다.

블랙아웃을 예방하는 방법은 당연히 발전소를 더 지어 전력 공급량을 늘리는 것이다. 그러나 새로운 발전소를 건설하는 데는 신중한 계획이 필요하고 비용도 많이 든다. 따라서 가장 합리적이고 실현 가능성이 높은 방법은 ‘전기를 저장하는 것’이다. 전력 공급량은 비교적 일정하게 유지할 수 있는데 수요량은 시시각각 급변하니 전력이 많이 남아돌 때 전기에너지를 모아두었다가 부족할 때 내보내면 블랙아웃에 대비할 수 있다. 일종의 완충장치를 만드는 것이다.

보조 전력원으로 이용할 수 있는 에너지저장시스템은 그 용량이 매우 커야 한다. 건물이 아닌 도시 단위로 소비하는 전력을 공급해야 하기 때문이다. 이러한 시스템의 핵심기술은 단연 ‘전력을 저장하는 그릇’, 고효율 이차전지다. 이차전지는 전자기기나 전기자동차와 같은 인접분야에도 접목이 가능하여 이 기술이 발전하면 전기에너지 시스템을 전반적으로 효율화할 수 있다. 또한 다양한 신재생 에너지의 활용도를 높이고 에

너지공급 시스템을 안정화하여 미래 에너지 체계에서 핵심적인 역할을 할 수 있다.

이차전지기술은 국가안보와도 밀접한 관련이 있다. 중대형 이차전지의 핵심 원료가 리튬인데, 리튬은 생산국가가 극히 제한되어 재료 수급이 불안정하다. 우리나라만 해도 사용하는 리튬 전량을 수입에 의존한다. 개발도상국의 산업 발전으로 리튬 수요가 증가하면 수급이 점점 더 어려워질 것은 분명하다. 따라서 에너지 안보 차원에서 리튬 외 다른 소재를 활용하거나 폐전지를 최대한 재활용할 수 있는 기술 등을 개발해야 한다.

다양한 이차전지 기술들

이차전지는 전기화학반응을 이용해 전기에너지를 저장하거나 변환하는 장치다. 따라서 이차전지를 충전할 때는 전기에너지를 화학에너지로 저장하고, 방전할 때는 화학에너지를 전기에너지로 변환시켜 사용한다. 이차전지는 전기를 저장하거나 보관한 채로 운송할 수 있다는 장점이 있어 다양한 분야에 활용되고 있다.

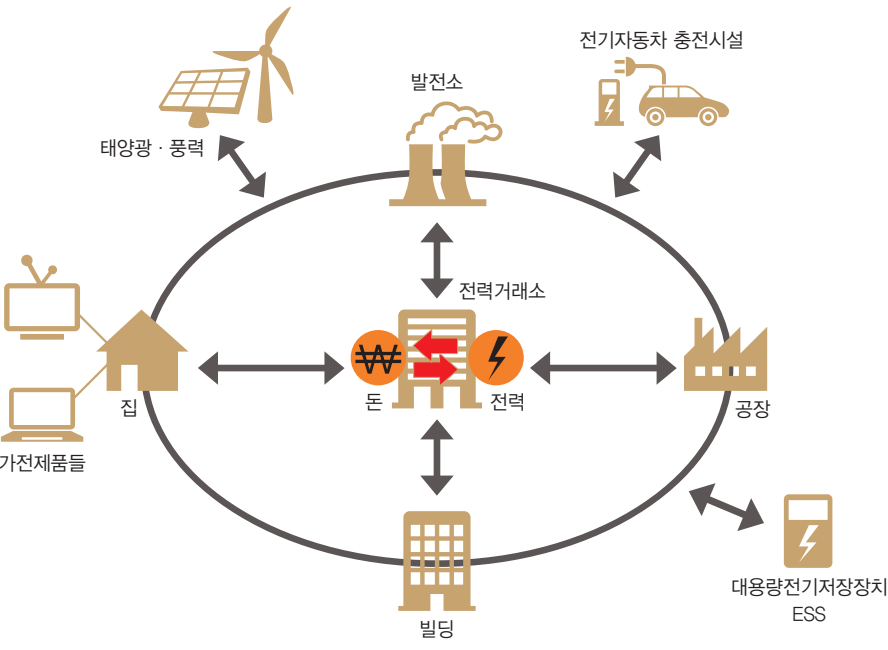
이차전지가 가장 각광받는 분야 중 하나가 바로 전기자동차다. 최근 급부상해서 최신 기술처럼 보이지만, 사실 전기자동차는 100년이 넘는 역사를 지닌 기술이다. 전기자동차는 내연기관에 비해 구조적으로 단순하여 정비요소가 적고, 에너지 효율도 높은 편이며, 변속이 용이하다.

이처럼 많은 장점이 있는데도 왜 100년의 세월을 지나 이제야 본격적으로 조명받기 시작했을까? 바로 전기를 제대로 공급할 수 있는 방법이 마땅치 않았기 때문이다. 전기자동차가 자유롭게 이동할 수 있으려면 충분한 용량을 지닌 전지와 어디서나 전기를 공급받을 수 있는 인프라가 필요한데, 기술적인 한계로 이들을 제대로 구비하기 어려웠다. 전기자동차를 널리 보급하려면 배터리 용량과 효율이 충분해서 짧은 시간의 충전으로도 먼 거리를 움직일 수 있어야 한다.

당연히 움직일 필요가 없는 대용량 전기저장장치는 전기자동차용 배터리와 그 용도 및 필요한 성능 조건이 다르다. 이 때문에 다양한 용도와 상황에 대응할 수 있도록 여러 방식의 이차전지가 개발되고 있다. 최근 각광받는 이차전지 시스템의 특성과 기술개발 현황을 살펴본다.

지능형 전력망 ‘스마트그리드’ 개념도

미래의 전력시스템인 스마트그리드는 대용량 전기저장장치를 빼놓고 생각할 수 없다. 전기저장장치가 없다면 전력거래가 원활하게 이루어질 수 없기 때문이다. 생산된 재화를 즉시 소비하는 사회에서 화폐경제가 발달할 수 없는 것과 같은 이치다.



기존 전력망과 지능형 전력망(스마트그리드)의 차이

항목	기존 전력망	스마트 그리드	차이점
통제시스템	아날로그 (단방향 통신, 수동 제어)	디지털 (양방향 통신, 자동 제어)	전력망에 대한 정보를 실시간 획득, 실시간으로 통제가 가능해짐.
제어시스템	전력망 단위의 국지적 제어	전력선 하나하나의 상태를 실시간 감시, 제어	
전력공급	발전소 중앙공급	발전소, 대규모 전력 저장시설, 각종 신재생에너지.	전력공급원 다양화로 예기치 못한 전력저하 사고에도 효과적으로 대응.
소비자 전력구매	선택이 제한적. 제한적인 심야전기요금 제도를 시행.	시간별 차등가격 제도 시행이 가능. 전력피크 시엔 전기값이 비싸고, 전력공급에 여유가 있을 땐 값싸게 공급.	소비자는 전기값이 비쌀 때 빨래를 하지 않는 등의 선택사용이 가능.

© 과학동아



이차전지는 다양한 분야에 활용되며 활용분야마다 요구조건도 다르다. 대표적 활용처인 전기자동차가 독일 함부르크 시내에서 충전 중인 모습(위쪽)과 전력을 모아두는 곳인 백업파워시스템 내부(아래쪽).

이차전지의 제왕, 리튬

1991년, 일본의 소니 사는 리튬이차전지를 상용화하는 데 성공했다. 소니의 새로운 전지는 이전의 전지와 완전히 달랐다. 고효율 충전이 가능했고 수명도 길었으며 전압 특성도 우수할 뿐 아니라 여러 가지 모양으로 만들어낼 수 있었다. 리튬이차전지는 이후 가히 일대 혁명이라 할 정도로 빠르게 보급되어 산업 전체가 급성장하기 시작했다.

리튬을 이용하는 새로운 형태의 전지도 연구가 활발하다. 바로 ‘리튬공기전지’다. 금속공기전지는 음극에서 일어나는 금속의 산화반응과 양극에서 일어나는 대기 중 산소의 환원반응으로 전기가 생성되는 전지를 말한다. 공기전지는 대기 중의 산소를 이용하기 때문에 양극재의 무게와 부피를 줄일 수 있어 단위부피당 충전량을 높일 수 있다. 특히 일차전지의 경우, 배터리 전체를 교체할 필요 없이 음극재만 교체해주면 되기 때문에 비상발전용 전지로 각광받고 있다.

금속공기전지의 음극으로 리튬만 이용하는 것은 아니다. 일차전지의 음극재로는 마그네슘, 알루미늄, 아연을 사용하기도 하고 이차전지에서는 아연공기전지가 주목받고 있기는 하지만 리튬의 에너지밀도가 가장 높아 리튬을 이용하는 공기전지가 활발히 연구 중이다. 다만 아직까지는 충전 사이클 특성이 제대로 나타나지 않고 있어서 상용화하기에는 갈 길이 멀다. KIST에서는 도시용 대용량 에너지저장 기술과 마그네슘 및 소금물을 이용한 군용전지 기술 연구를 통해 마그네슘공기전지, 알루미늄공기전지, 리튬공기전지 원천기술을 개발 중이다.

리튬을 대신하는 소재

리튬이차전지는 지금까지 알려진 이차전지 중 에너지밀도가 가장 높아 에너지저장 시스템용 및 전기자동차용 이차전지로 가장 각광받고 있지만 향후 시장이 지속적으로 성장할 전망이다. 리튬 등 핵심재료의 수급에 많은 애로를 겪을 것으로 예상된다. 이는 에너지 및 산업 안보와 직결되는 문제이기 때문에 리튬에 의존하지 않는 이차전지 기술이 필요하다. 최근 주목받는 소재가 마그네슘이다.

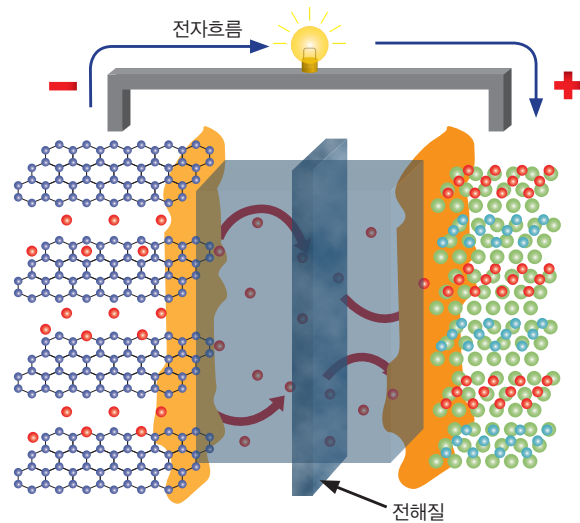
마그네슘이차전지는 음극으로 마그네슘금속을, 양극에 마그네슘이온의 삽입과 탈리(떨어짐)가 자유로운 화합물을 이용한다. 마그네슘은 리튬에 비해 매장량이 풍부하

두 가지 리튬 전지

위쪽이 현재 널리 사용하는 리튬이온전지, 아래쪽이 앞으로 활용도가 커질 리튬공기전지다.
일러스트에는 방전과정만 묘사했다.

● 망간산화물(흑매) ● 리튬이온 ● 산소 ● 탄소 ● 리튬산화물 ● 전이금속

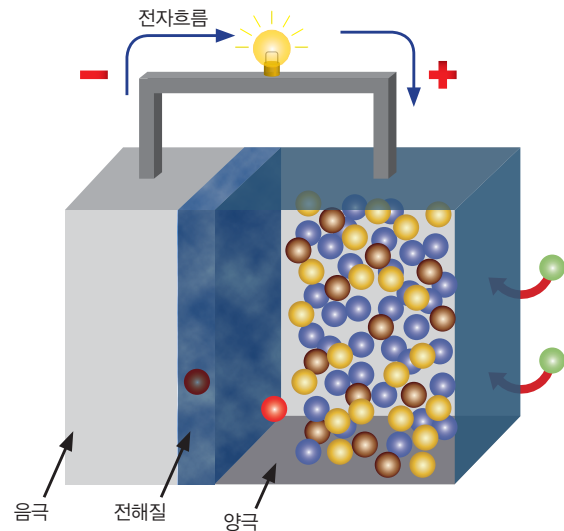
리튬이온전지



방전될 때의 원리
음극에서 리튬이 산화돼 전자는 전선으로 이동하고, 리튬이온은 전해질을 통과해 양극으로 이동한다.

충전할 때의 원리
양극에 포함된 전이금속이 산화되고, 늘어나는 양이온의 양만큼 리튬이온이 음극 쪽으로 방출된다.

리튬공기전지



방전될 때의 원리
음극의 리튬이 산화되면서 전자는 전선으로 이동하고, 리튬이온은 전해질을 지나 양극에서 산소와 결합한다.

충전할 때의 원리
산소와 결합한 리튬이온이 분리돼 음극으로 이동하고, 산소는 바깥으로 나온다. 전자는 양극에서 음극으로 이동한다.



© Kamzara / Shutterstock.com

리튬은 현재로서는 최고의 이차전지 소재지만 생산국가가 한정된 데다 매장량이 많지 않아 수급이 불안정해질 수 있다. 바닷물에 풍부한 편이지만 바닷물로부터 리튬만 채취하는 방법은 아직 연구 중이라 현재는 지상의 광산에서 채굴하고 있다. 사진은 오스트레일리아의 리튬광산.

여 안정적으로 수급할 수 있다. 특히 국내 매장량이 많아 리튬처럼 수입에 의존하지 않아도 된다. 안전성도 리튬전지보다 우수할 것으로 예측되어 대용량저장장치에 적합할 것으로 기대된다.

마그네슘 외에 나트륨도 이차전지 소재로 주목받고 있다. 나트륨 이차전지에는 크게 고온 NaS전지와 상온형 나트륨이온전지가 있다. 고온형 NaS전지는 일본에서 상용화하여 현재 대규모 전력저장시스템용으로의 실증단계에 있으며, 국내에서는 핵심인 베타알루미늄 양산기술을 포함하여 NaS전지시스템 전반을 개발중이다.

나트륨이온전지는 마그네슘이온전지와 마찬가지로 기존 리튬이온전지와 원리가 유사하다. 나트륨은 자연에 풍부하게 존재할 뿐 아니라 채취도 쉬워 여러 국가에서



중대형 리튬이차전지 관련기술은 국내에서도 연구가 활발하다. 특히 리튬전지의 안전성은 대규모 전기저장장치를 만들기 위해 반드시 극복해야 하는 과제 중 하나다. 사진은 한국기계전기전자시험연구원의 중대형 리튬이차전지 안전성 평가장치.

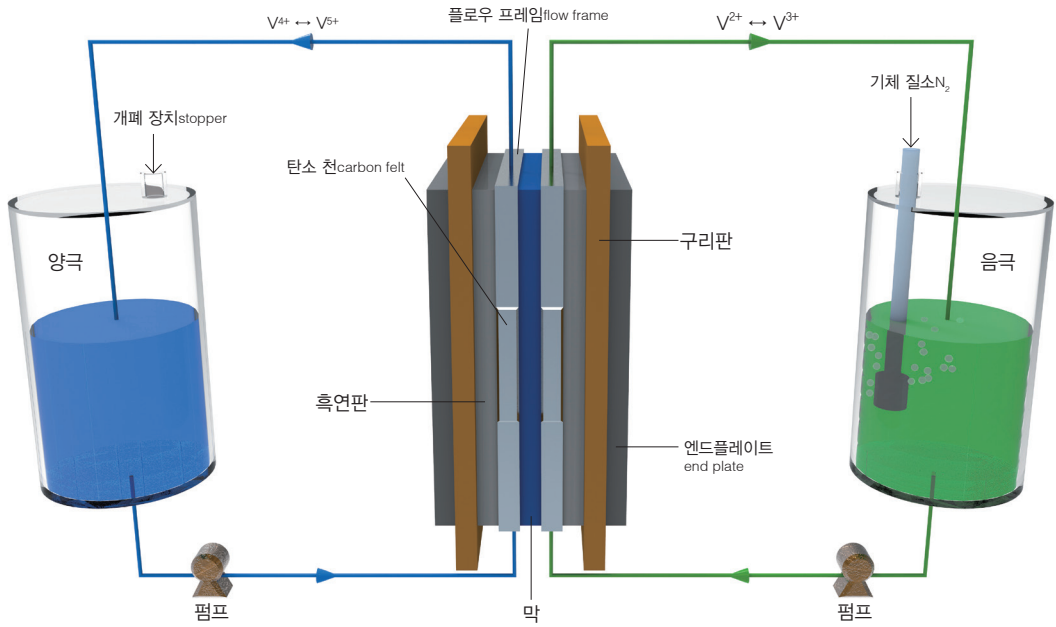
리튬의 대체재로 연구가 활발하다. KIST에서는 ‘NaS 단전지의 전기화학적 특성 및 신뢰성 평가 과제’를 통해 NaS전지용 황 전극과 베타알루미나 표면처리기술을 개발 중이며 나트륨이온전지용 산화물양극재, 탄소계음극재도 연구하고 있다.

저렴하고 용량이 큰 레독스플로우전지

레독스플로우전지는 전해질용액 내에서 일어나는 산화환원반응을 이용한다. 서로 다른 전위를 지닌 레독스커플(Redox Couple)을 함유한 전해질용액을 양극실 탱크와 음극실 탱크에 넣고 이들을 전해조 내로 통과시켜 양극과 음극에서 전기화학반응이 일어나게 하는 방식이다. 이 반응은 가역적이므로 충전과 방전이 자유로우며 전해질 용액을 이용하므로 전해질 탱크의 크기를 키우는 것만으로 손쉽게 용량을 늘릴 수 있

바나듐 레독스플로우 전지의 기본 구조

전해질 용액을 그대로 반응시키므로 전해질 탱크 크기만 바꾸면 손쉽게 용량 조절이 가능하다.

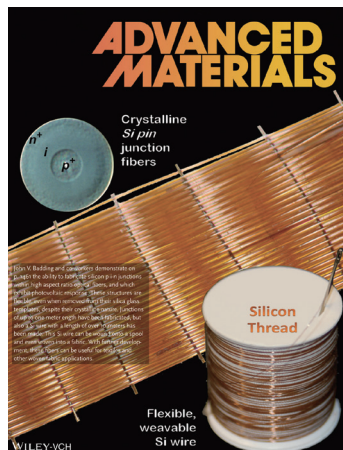


다. 재료의 단가도 낮은 편이라 경제성이 높아 대규모 전기에너지 저장장치로 각광받고 있다.
다만 다른 이차전지에 비해 에너지효율과 출력은 낮은 편이다. 세계적으로 아연-브롬 전지와 바나듐 전지 연구가 활발하여 본격적인 상용화를 위해 성능 향상이 이루어지고 있다. 전해질로 유기용액을 이용한 레독스플로우전지도 에너지밀도 향상을 목적으로 연구가 활발하다. KIST에서는 아연-브롬 전지용 고성능 양극성 탄소전극을 집중적으로 연구, 개발 중이다.



미래 밝은 유무기 복합 태양전지

손해정(광전하이브리드연구센터) hjson@kist.re.kr



© Advanced Materials

태양전지는 그간 실리콘을 기반으로 발전해왔다. 현재 실리콘 태양전지는 섬유 형태로 제조할 수 있는 기술을 확보할 정도로 발전했으나 효율면에서 한계에 이르렀다는 평가다. 이 때문에 새로운 형태의 태양전지 연구가 활발하다. 사진은 2012년 실리콘 태양전지섬유 기술을 표지논문으로 실은 <어드밴스드 머티리얼스>.

태양전지는 무한 청정에너지원인 태양에너지를 전기에너지로 변환하는 안정된 미래형 에너지기술로 각광을 받고 있다. 환경오염이 없고 다른 신재생에너지원에 비해 연간 에너지 용량이 50배 이상 크기 때문이다. 오랫동안 연구개발을 거치면서 상용화가 가능한 수준으로 기술검증이 이뤄졌다는 장점도 있다.

현재 상용화된 태양전지의 90% 이상은 실리콘 태양전지다. 실리콘 원재료 및 실리콘 기관의 제조 단가가 높은 편이라, 다른 재생 에너지에 비해 발전 단가가 높다. 이에 따라 최근 실리콘 태양전지를 뛰어넘는 차세대 태양전지기술이 주목받고 있다. 기존 태양전지 기술 수준이 뒤쳐진 우리나라로서는 이런 상황이 기술 격차를 단시간 내에 따라잡을 수 있는 좋은 기회라고 볼 수 있다. 특히 대표적인 미래기술로 급부상하고 있는 유무기하이브리드(organic-inorganic hybrid) 태양전지 기술을 노려볼 만하다.

유무기 복합 태양전지는 소재 특성상 가방, 옷, 휴대용 충전기 등 다양한 제품에 적용할 수 있다.

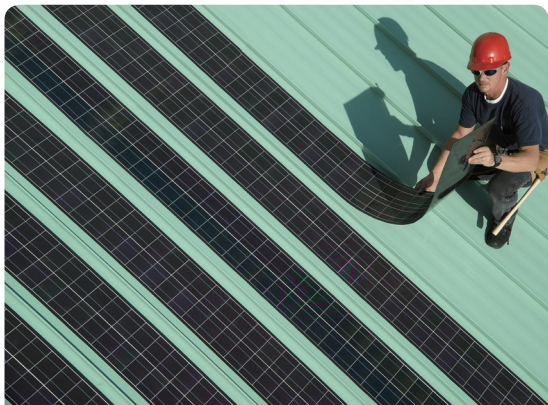


© Sansonite, Pauline Van Dongen, Goal Zero

다양한 3세대 태양전지들

태양전지는 기술발전도에 따라서 결정질 실리콘 등을 사용한 1세대 태양전지, 비정질 실리콘 등을 사용한 2세대 태양전지, 염료감응이나 유기박막, 또는 유무기하이브리드가 사용된 3세대 태양전지로 나눌 수 있다. 이 중 태양전지의 효율을 크게 높일 것으로 기대되는 것이 바로 3세대 태양전지다.

1991년 스위스의 그라첼(Graetzel) 교수팀이 최초로 제안한 ‘염료감응형 태양전지’는 높은 에너지 효율을 가지면서도 생산원가가 낮아 큰 관심을 받아왔다. 염료감응형 태양전지에 비해 좀 더 최근에 개발된 유기박막태양전지는 n극 특성과 p극 특성을 갖는 유기물들로 구성된다. 기존 무기물 반도체와 전기를 만들어내는 방식이 다르며 정교한 나노기술이 꼭 필요하다.



© Sola Power, Ericsson.

한국은 태양전지 실용화가 비교적 늦은 편이다. 이미 세계적으로 태양전지는 상당한 수준으로 활용되고 있다. 태양전지 전문기업인 솔로파워에서 출시한 지붕용 플렉서블 태양전지 패널(위쪽)과 태양전지로부터 전력을 공급받는 에릭슨 이탈리아법인의 통신탑(아래쪽).

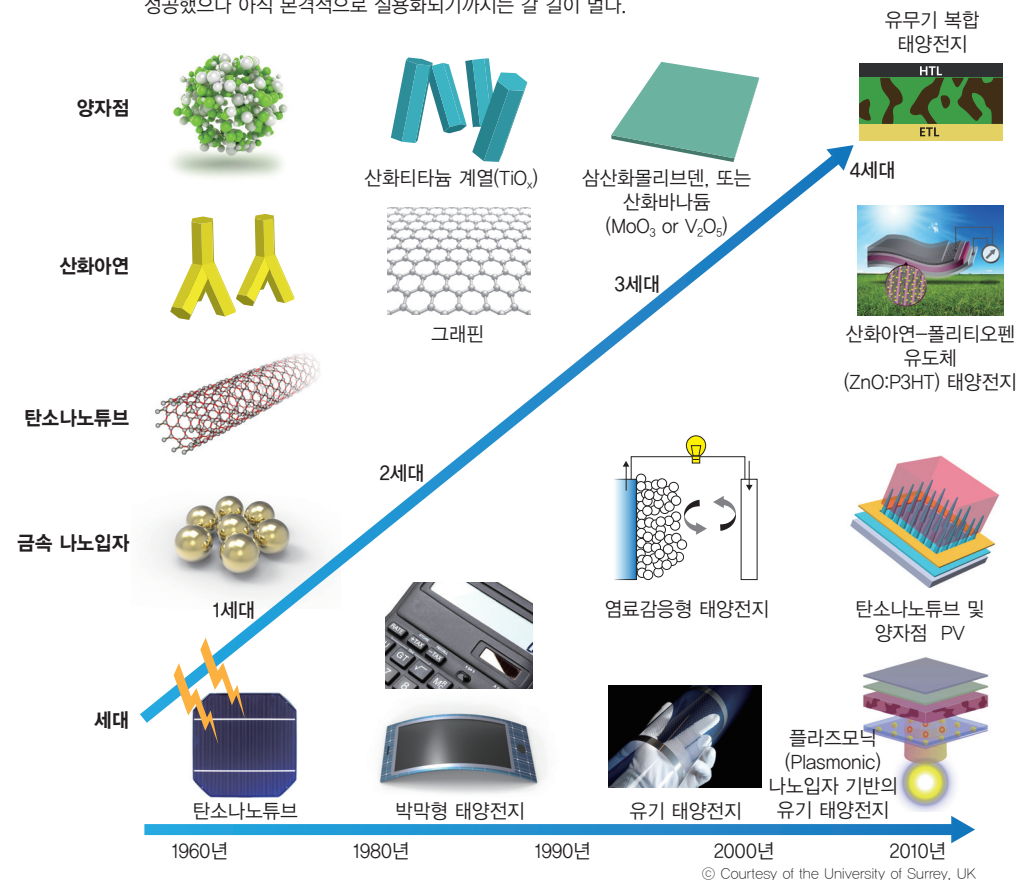
소재만큼 중요한 것이 바로 태양광 스펙트럼을 효율적으로 흡수하는 기술. 태양광 에너지를 전기로 바꾸는 효율을 높이기 어렵다면 태양광을 최대한 많이 받아들이는 것도 방법이기 때문이다. 유기태양전지는 소재를 쌓아올린 형태로 만들기 때문에 다른 태양전지 기술에 비해 매우 짧은 시간 안에 약 10% 이상의 고효율을 보여주어 현재 학계와 산업계에서 많은 관심을 받고 있다. 유기태양전지의 경우 빠른 기술 성장으로 수년 안에 전통적인 태양전지의 효율을 앞지를 것으로 예상된다..

건물 일체형 태양전지 뜬다

앞으로 유무기 복합 태양전지 기술은 실제 환경에 적절히 사용하기 위해서 양산성을 갖춘 모듈화 기술이 필요하다. 또 건물 일체형 태양전지BIPV와 같은 분야에 적용

태양전지의 세대구분

현재는 3세대 태양전지 실용화 연구가 한창이다. 4세대 태양전지도 일부 선도기술 연구에 성공했으나 아직 본격적으로 실용화되기까지는 갈 길이 멀다.

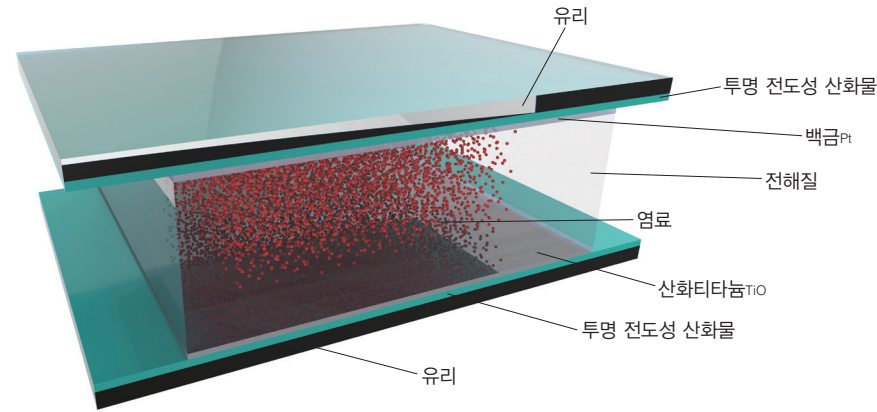


하기 위한 제반 요소의 기술개발이 요구된다. 전력생산이라는 본래의 기능에 건물의 외피 재료로서의 새로운 기능을 추가하는 것이다. 그러면 태양전지를 설치하는 데 부지가 필요 없어 설치비용을 획기적으로 줄일 수 있다.

건물 일체형 태양전지는 커튼월, 천장, 차양, 지붕 타일, 투명 창호 등에 다양하게 적용할 수 있으며 건물의 전체적인 에너지성능과 쾌적성을 향상시킬 수 있다. 현재 유무기 복합 태양전지의 발전 속도를 볼 때 향후 약 5년 후에는 이를 이용한 태양전지

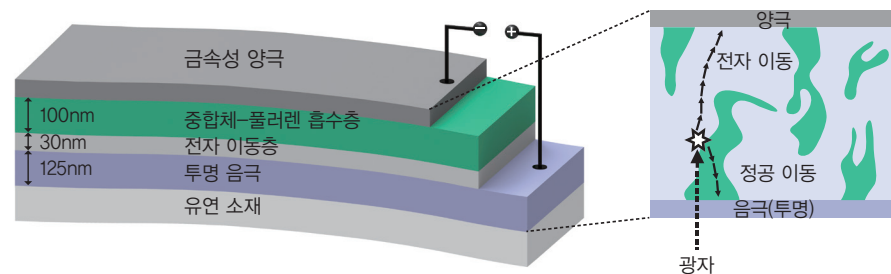
염료감응형 태양전지의 구조

염료감응형 태양전지는 실리콘 태양전지에 비해 높은 효율을 낼 수 있다. 태양광 감응 염료의 나노 구조를 개선하는 것이 가장 큰 관건이다.



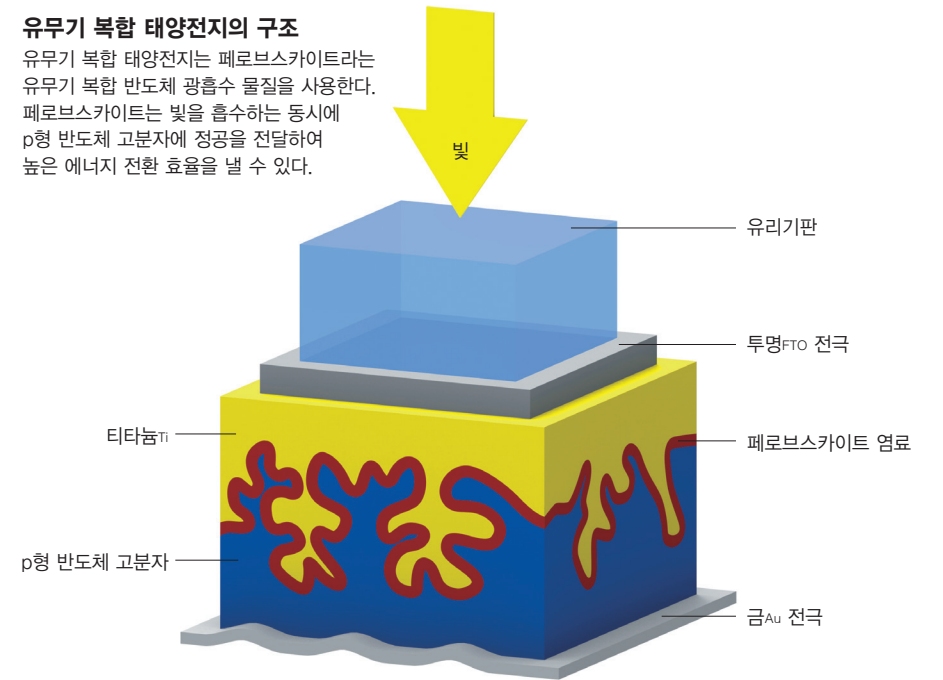
유기태양전지의 구조

전도성 폴리머를 이용한 태양전지다. 활발한 연구에 힘입어 빠르게 성장하고 있다.



유무기 복합 태양전지의 구조

유무기 복합 태양전지는 페로브스카이트라는 유무기 복합 반도체 광흡수 물질을 사용한다. 페로브스카이트는 빛을 흡수하는 동시에 p형 반도체 고분자에 정공을 전달하여 높은 에너지 전환 효율을 낼 수 있다.



제품이 출시될 것으로 기대된다. 물론 넓은 면적에서 같은 효율을 이끌어 내야 해 최종 상품화까지는 아직 기술 향상이 필요하다.

지난 몇 년 동안 세계적인 경기 침체와 실리콘 재료의 공급과잉으로 태양전지 개발이 지체되고 있는 것은 사실이다. 하지만 2014년을 기점으로 태양광 시장이 다시 회복세에 들어서면서 제2의 성수기를 맞이할 것으로 전망되고 있다. 이런 상황에서 태양전지 원천 기술을 확보해야 한다. 낮은 재료 가격, 소자의 용액공정을 통한 공정 단순화와 유연하고 가벼운 태양전지 구현이 가능한 점 등의 장점들을 고려할 때 학계와 산업계에서 지속적으로 연구개발을 해야 한다.

현재 태양광 시장이 실리콘계 중심으로 형성되어 있지만, 2018년 이후 유무기 복합 태양전지를 대표로 하는 차세대 태양전지 시장이 BIPV, 개인용 휴대기기 등을 중심으로 확대될 전망이다. 현재까지 유무기 복합 태양전지는 빠른 발전 속도 덕분에 향후 전망이 밝다고 할 수 있다.



바이오연료는 차근차근 상용화 수순을 밟고 있다. 지난 2011년에는 인천 수도권매립지공사에서 바이오가스자동차 연료화시설 준공식이 열리기도 했다. 참여 인사들이 버스에 바이오연료를 주입하고 있다.

흔히 신재생에너지를 먼 미래의 일이라고 생각하곤 한다. 가장 수월하게 실현 가능한 바이오연료조차도 주변에서 실제 사용하는 모습을 보기 어렵다 보니 그다지 와닿지 않는다. 특히나 산지가 많은 탓에 식량을 많이 수입해야 하는 우리로서는 바이오연료를 사용할 만한 여건이 못 된다고 생각하기 쉽다.

그러나 바이오연료는 이미 일상생활에서 조금씩 사용되고 있다. 바로 버스와 트럭 등 중대형차에 들어가는 바이오디젤이다. 일부

지방자치단체에서는 바이오디젤을 이용한 버스를 시범 운영하는 수준에 이르렀다.

수도권의 대기 오염이 심각해지면서 환경부에서는 2002년부터 전국 주유소에서 ‘BD5(경유에 바이오디젤 5% 혼합)’를 의무적으로 사용하도록 하였으며 2020년까지는 바이오디젤 혼합률을 7%까지 끌어올릴 전망이다. 경유에 바이오디젤을 20% 혼합한 ‘BD20’은 일부 지자체와 군부대에 시범적으로 공급되고 있다.

바이오연료, 기존 연료와 성분 동일해야

시범적으로 쓰이는 수준을 넘어 기존 화석연료를 대체할 수 있을 정도로 실용화하려면 바이오연료에 두 가지 조건이 필요하다.

첫째로 현재 쓰는 연료와 동일한 성분으로 만들어야 한다. 현재 화석연료는 가솔린, 디젤, 제트연료 세 가지로 쓰고 있다. 각각의 연료는 원유를 분리·정제한 뒤 혼합해서 만든 탄화수소 혼합물로, 연료별로 필요한 성질에 따라 혼합비율을 조절해 쓰고 있다. 예를 들어 가솔린은 노킹을 억제하는 이소옥탄의 함유량을, 디젤은 착화성이 좋은 세탄의 함유량을 중요하게 생각하는 식이다.

바이오매스(생물자원)를 가공해 만든 탄화수소를, 현재 사용하고 있는 연료에 섞을 때도 이런 연료별 특징을 살펴야 한다. 바이오매스에서 많이 나오는 에탄올은 부식이 잘되고 물을 흡수하는 성질이 커서 내연기관에 사용하기 어렵다. 이뿐만 아니라 연료를 옮기고 보관하는 기반시설과도 어울리지 않는다. 기존 인프라와 내연기관을 교체하지 않고도 바이오연료를 섞어서 사용하려면 가솔린이나 디젤처럼 현재 쓰는 연료와 동일한 성분을 가진 탄화수소를 만들어야 한다.

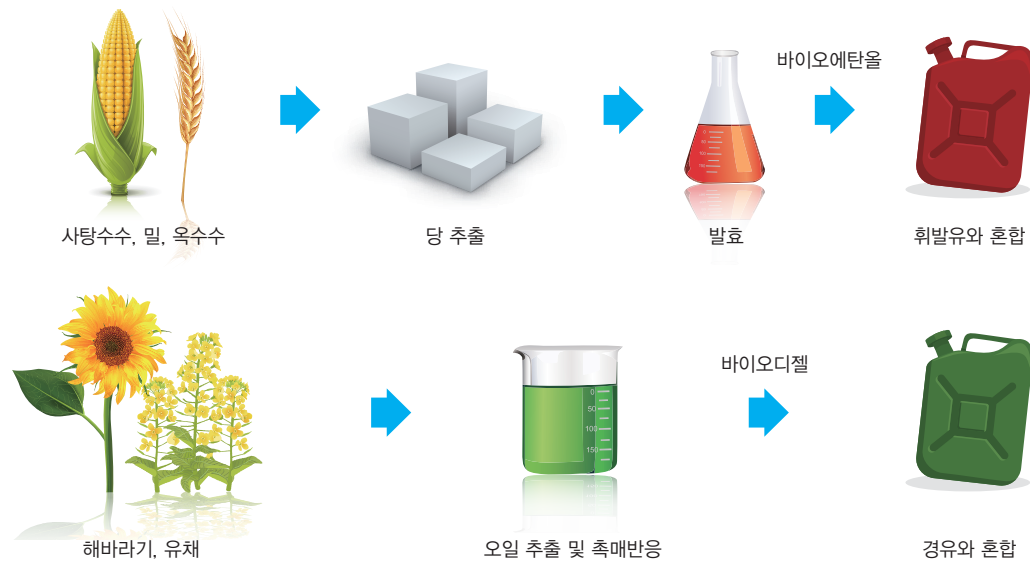
둘째로 비식용자원으로 만들 수 있는 바이오연료를 개발해야 한다. 원래 바이오연료라고 하면 옥수수나 사탕수수로 만든 바이오에탄올과 대두나 유채로 만든 바이오



옥수수를 이용한 바이오연료는 브라질에서 본격적으로 인프라를 갖추어 보급할 만큼 화석연료의 대안으로 각광받았다. 그러나 국제 곡물가격 상승으로 생산원가가 치솟은 데다 옥수수 연료 보급 후 오히려 온실가스 배출량이 늘어났다는 조사결과도 있어 대안이 필요한 실정이다.

바이오에탄올과 바이오디젤을 만드는 과정

바이오연료를 사용하려면 현재의 내연기관에 바로 활용할 수 있는 형태로 만들어야 한다. 이 때문에 바이오연료를 만들 때는 화석연료와 유사한 화학적 성질을 지니도록 해야 한다.



디젤이 가장 잘 알려져 있었다. 하지만 식량자원을 낭비한다는 지적과 함께 국제 곡물가격이 폭등한 원인이 되어 재생 가능한 초본, 목재, 농업폐기물 등 먹을 수 없는 목질계 바이오매스 자원을 활용하는 연구가 주목받고 있다.

이 두 가지 조건을 고려해 목질계 바이오매스로 화석연료와 동일한 성분의 탄화수소를 생산할 수 있다면, 바이오연료 대량혼합이 가능하고 현재의 내연기관과 인프라 시설을 그대로 이용할 수도 있다. 즉, 친환경 미래 연료를 생산할 수 있다는 말이다.

‘미생물바이오공장’으로 차세대 바이오연료 생산

목질계 바이오매스로부터 바이오 연료를 생산하려면 먼저 수증기, 산, 알칼리 등을 이용해 전처리 과정을 거쳐야 한다. 리그닌 성분을 제거하고 결정형의 셀룰로오스 구조를 분해하는 과정이다. 그런 다음 ‘당화 과정’을 통해 셀룰로오스를 단당류로 분해해야 한다. 보통 효소를 이용하면 되지만 비용이 많이 들고 리그닌 함량이 높은 원료

에는 비효율적인 단점이 있다. 이렇게 분해된 단당류를 현재 연료성분과 동일한 탄화수소로 만드는 데, 야생에서 얻은 미생물들은 이런 탄화수소를 생산할 수 없기 때문에 대사공학을 이용한다.

대사공학은 미생물이 가지고 있는 생화학반응경로를 조작해 사람에게 필요한 화학물질을 생산하는 기술이다. 이를 위한 미생물학, 유전공학, 유전자 재조합기술, 분자생물학, 화학공학 등 여러 학문에 대한 이해가 필요하다. 미생물이 원래 갖고 있던 대사회로의 탄소흐름을 증폭하고, 제거하거나 변형해 새로운 대사흐름을 디자인하는 것이다. 미생물이 호흡을 하면서 자연스럽게 영양분을 분해하고 우리가 필요한 화학물질을 생산한다. 이런 생물학적 공정을 일컬어 미생물바이오공장이라 부르고, 그 핵심은 인공미생물 개발이다.

미국 버클리국립연구소 산하 조인트바이오에너지연구소의 키슬링 교수 연구팀은 미국 에너지부의 전폭적인 지원을 받으며 인공미생물을 개발하고 있다. 연구팀은 사람 장내에 존재하는 대장균의 유전자를 조작해 대장균이 바이오디젤의 유도체를 만들게 했다. 또 식물대사산물인 파네신(Farnesene)과 비사볼린(Bisabolene)을 생산하는 미생물을 개발하는 데 성공해 벤처 기업인 아미리스사와 함께 탄화수소를 생산하는 미생물바이오공장을 만들고 있다.

국내에서는 작년 KAIST 생명화학공학과 이상엽 교수팀에서 알칸(가솔린, 디젤, 항공유의 구성 성분)을 만드는 미생물 균주를 개량해 ‘가솔린을 생산하는 미생물’을 개발하는 데 성공했다. KIST의 청정에너지연구센터에서도 인도네시아 현지 비식용 바

미세조류를 이용한 바이오연료 생산과정

미세조류를 이용하면 알코올과 바이오디젤은 물론, 글리세린 등의 부산물도 얻을 수 있다.



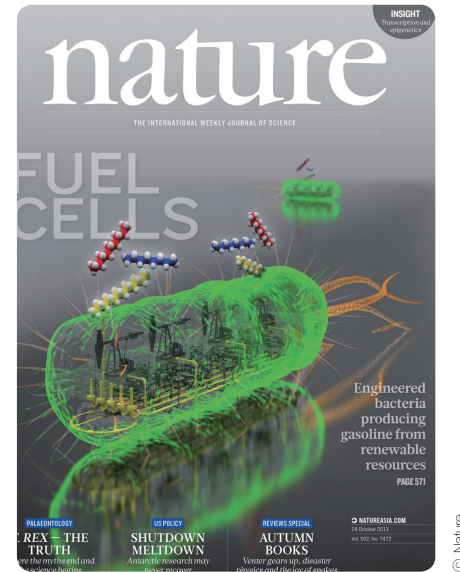
이오매스의 일종인 팜오일 부산물을 이용해 탄화수소를 생산하는 인공미생물을 개발하는 데 박차를 가하고 있다.

바이오연료, 실용화될 수 있을까?

비식용 바이오매스로부터 대체연료와 석유화학제품을 생산하려는 이런 연구들이 과연 실용화될 수 있을지 의심하는 눈초리도 있다. 우선 경작지가 제한돼 바이오매스 확보에 한계가 있다는 지적이다. 유럽과 남미의 일부 농업국가와 미국을 제외하면 바이오매스를 충분히 확보할 수 있는 국가가 몇 군데 없다. 또 낮은 광합성 효율 탓에 토지면적당 생산할 수 있는 바이오매스의 생산량이 낮다는 것도 걸림돌이다.

다른 대안으로 목질계 바이오매스가 있으나, 구조가 복잡하여 효소나 화학약품으로 분해하기 어렵다. 이 때문에 활성은 낮고 가격은 비싼 바이오매스 분해효소를 사용해야 하고 전체 공정의 경제성이 악화되는 문제가 발생한다. 더불어 목질계 바이오매스의 구조를 유전공학으로 단순하게 변형시킨 바이오매스가 생태계에 어떤 영향을 미칠지 분석하는 것도 숙제로 남아 있다.

게다가 최근 등장한 셰일가스는 목질계 대체에너지 시장 전체에 타격을 주고 있다. 미국 정부는 2035년까지 현재 천연가스 공급의 46%를 셰일가스로 대체할 계획을 세



이상엽 교수의 논문은 2013년 10월, 세계적인 학술지 <네이처>의 표지 논문으로 게재됐다. 바이오연료에 대한 비상한 관심을 반영한 것이다.

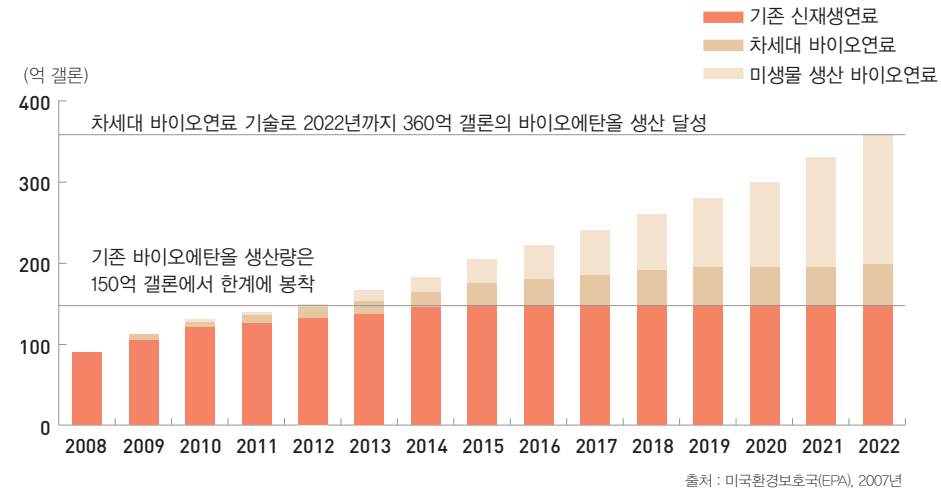


주요 기업들은 이미 바이오연료 시대에 대비하여 발빠르게 움직이고 있다. 다국적 정유회사인 허니웰 산하의 UOP는 2009년 바이오항공유를 로열더치항공의 여객기에 공급하여 시험비행에 성공하기도 했다.

왔을 정도로 셰일가스에 주목하고 있다. 셰일가스의 등장으로 오일과 가스 가격이 절반 이하로 떨어지면서, 미국 환경보호국에서도 바이오에탄올 의무 사용량을 16%나 감축시켰다.

이런 부정적 견해와 달리 실용화 가능성을 높게 점치는 의견도 있다. 첫째로 바이오연료에 대해 긍정적인 시각을 가지고 연구를 지원하는 국가가 많다. 미국과 유럽, 일본 정부 모두 바이오에너지 연구개발에 막대한 투자를 하고 있다. 두 번째 근거로는 혁신적인 기술개발을 꼽을 수 있다. 바이오연료 생산의 핵심인 발효 공정, 즉 새로운 미생물을 개발하는 연구가 최근 10년 사이 폭발적으로 증가하고 있다. 셋째로 기업들이 연구 개발에 과감히 투자하고 있다. 미국의 바이오연료 회사인 제보(Gevo)는 세계

바이오연료 생산량 예측



최대 곡물회사인 미국 카길(Cargil)과 합작해 비식용작물에서 고효율의 바이오연료를 생산하고 있다.

미국 1위 화학회사인 듀폰은 2007부터 재조합 대장균시스템을 이용해 1,3-프로판 다이올을 생산하여 기존 석유화학공정으로부터 생산하던 연료 중 40% 정도를 이 바이오에너지로 충당하고 있다. 이처럼 세계적인 대기업들이 바이오연료 연구에 앞다투어 뛰어들고 있으며, 각국 정부 역시 이런 대체연료 개발을 지원하고 있어 향후 시장이 더욱 커질 전망이다.

바이오에너지 분야는 향후 5년간 적극적인 기술개발의 성과가 특히 기대된다. 전처리 분야에서 최적의 당화효소 제품이 출시될 예정이며, 가솔린 이외에도 바이오디젤, 바이오항공유를 직접 생산할 수 있는 인공미생물도 개발을 앞두고 있다. 규모를 한층 키워 생산성을 제고한 차세대 바이오연료 생산 발표 공정도 기대되는 기술 중 하나다. 이들 신기술이 차질 없이 개발되면 2022년까지 360억 갤론의 바이오연료를 생산할 수 있을 것으로 전망된다. 여기에는 과감한 투자와 혁신적인 기술개발이 뒷받침되어야 함은 물론이다.

- 01 뇌 전기 자극을 이용한 통증 조절 기법
- 02 꾸준한 뇌 훈련이 젊은 뇌를 만든다
- 03 내 몸보다 더 편한 의료기구 만들기
- 04 칩 속에 온몸 장기 담으면 열리는 멋진 신세계
- 05 염기서열 분석기술, 맞춤의료의 문을 열다
- 06 깨끗한 물, 그 이상을 위한 환경 나노기술
- 07 유해 미생물, 꼼짝 마라!

CHAPTER 3

첨단 미래 성장동력, 의료산업





01 뇌 전기 자극을 이용한 통증 조절 기법

조제원(신경과학연구단) jeiwon@kist.re.kr

통증은 불편한 감정이지만 위험한 상황을 회피하려는 메커니즘이기도 하다.
통증이 불편하지 않았다면 생물이 위해를 적극적으로 피하려 하지도 않았을 것이다.



통증 분류

분류기준	명칭
통증 기간	급성통증, 만성통증
통증 원인	말초성통증(감각통), 중추성통증(신경통)
통증 부위	두통, 치통, 생리통, 근육통

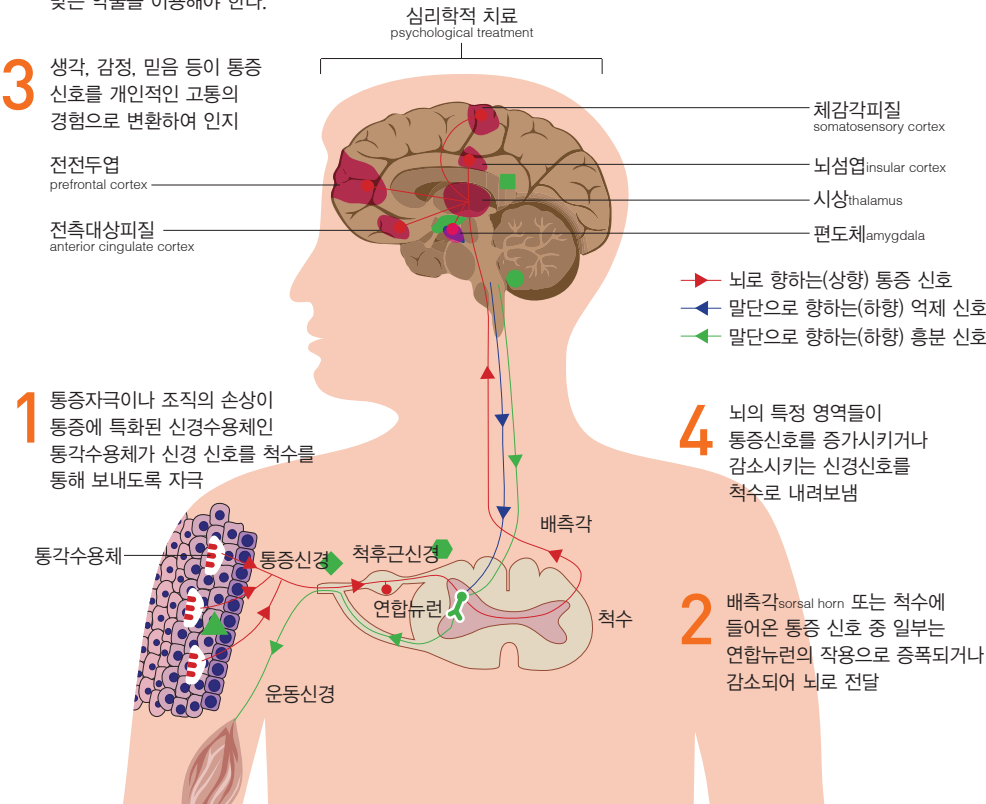
통증은 불편한 경험이고 일상생활에 지장을 준다는 점에서 피하고 싶은 현상이지만, 우리 몸에 생긴 이상과 조직의 손상을 알려줘 더 큰 위험을 피할 수 있게 해주는 일종의 경보 역할을 하며, 손상된 조직이 회복될 때까지 지속돼 손상된 부위를 보호한다는 점에서 생존에 필수불가결한 보호 장치이기도 하다.

통증은 지속되는 기간, 원인, 부위에 따라 분류할 수 있다. 이외에도 중립적인 자극을 극심한 통증으로 느끼는 '이질 통증'과 수술이나 사고로 절단돼 존재하지 않는 신체부위에서 느끼는 '환상통' 등 다양한 종류가 존재한다. 이 중에는 통제할 수 없는 통증처럼 기존 약물로는 치료할 수 없어 새로운 치료법에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있는 것도 있다.

크고 작은 통증들은 다양한 통로를 통해 전달되는데, 대표적인 전달 경로로는 말초 수용체에서 감지된 통증정보를 뇌로 전달하는 척수시상경로(spinothalamic pathway)가 있다. 이 경로는 말초 신경계에서 포착된 통증 신호를 척수와 뇌간 그리고 시상을 거쳐 뇌의 감각피질로 전달한다. 예를 들어 우리가 의식이 있을 때는 시상이 모든 감각 정보를 감각피질로 전달해 의식 활동이 가능하게 해 주지만, 수면 중에는 대부분의 감각정보를 차단해 우리가 깨지 않고 휴식을 취할 수 있게 해준다. 한편 이미 감지된 통증을 감소시키는 경로도 있어서, 말초신경을 타고 들어오는 통증신호를 신경전달물질의 일종인 아편유도체를 분비해 척수에서 차단하는 역할을 하는 것으로 알려져 있다.

통증 신호의 전달과정과 진통제의 작용부위

진통제는 통증 신호를 차단하는 방식으로 작용한다. 진통제마다 작용하는 부위가 다르므로 적합한 상황에 맞는 약물을 이용해야 한다.



작용부위	주요 처방
▲ 말초신경계의 통각수용체	카나비노이드cannabinoids, 비스테로이드 항염증제NSAIDs, 트라마돌tramadol, 마약성진통제opioids, 통각수용체 길항제vanilloid receptor antagonists
◆ 말초신경계의 통증신경	국부마취제local anaesthetics, 가바펜티노이드gabapentinoid를 제외한 항경련제anticonvulsants
■ 중추신경계 중 뇌의 여러 부위	아세트아미노펜acetaminophen, 가바펜티노이드를 제외한 항경련제, 카나비노이드, 마약성진통제, 트라마돌
● 척수의 하향 억제 경로	카나비노이드, 마약성진통제, 트라마돌, 심환계항우울제tricyclic antidepressant, 세로토닌 · 노르아드레날린 재흡수 억제제SSNRIs
● 배측각 및 척수	항경련제, 카나비노이드, 가바펜티노이드, N-메틸-D-아스파르트산 수용체 길항제NMDA receptor antagonists, 마약성진통제, 트라마돌, 심환계항우울제, 세로토닌 · 노르아드레날린 재흡수 억제제

© Canadian Pain Society



진통제의 종류

비마약성 진통제	소염진통제(NSAIDs)	아스피린, 나프록센, 이부프로펜, 멜록시캄, 설풀리크시브
	해열진통제	아세트아미노펜(타이레놀)
마약성 진통제(아편계 진통제)		아편, 모르핀, 코데인, 메타돈, 펜티딘(데메롤), 옥시코돈

간단한 통증을 제어하는 약물요법

통증을 치료하는 방법에는 약물 요법과 뇌심부자극술(DBS: Deep Brain Stimulation)이 있다. DBS 요법은 뇌의 특정부위에 전기자극을 줘서 통증을 조절하는 기법이다. 아직까지는 약물 요법이 주로 쓰이지만, 선진국에서는 통제하기 힘든 통증을 줄이기 위해 DBS 요법을 꾸준히 연구하고 있다.

우리가 많이 사용하는 진통제 대부분은 통증을 유발하는 물질이 생성되지 않도록 말초신경계에서 차단해 통증이 뇌로 전달되는 것을 막아주는 역할을 한다. 진통제를 써도 통증이 사라지지 않는 경우 중추신경계에 직접 작용하는 마약성 진통제를 사용하기도 한다. 마약성 진통제로 가장 잘 알려진 모르핀은 양귀비에서 추출한 아편유도체 계통의 약물로, 암과 같이 일반적인 진통제가 듣지 않는 극심한 통증에 주로 쓰인다. 마약성 진통제는 통증 신호가 뇌의 감각피질에 도달하는 것을 막는다.

하지만 마약성 진통제는 통증에 대한 내성이나 진정작용, 정신병과 같은 다양한 부작용을 초래할 수 있다. 또 갑자기 많은 양을 쓸 경우 호흡계를 억제하는 치명적인 결과를 초래하기도 한다. 다행히 만성적인 암 통증 환자에게는 중독이나 심각한 부작용



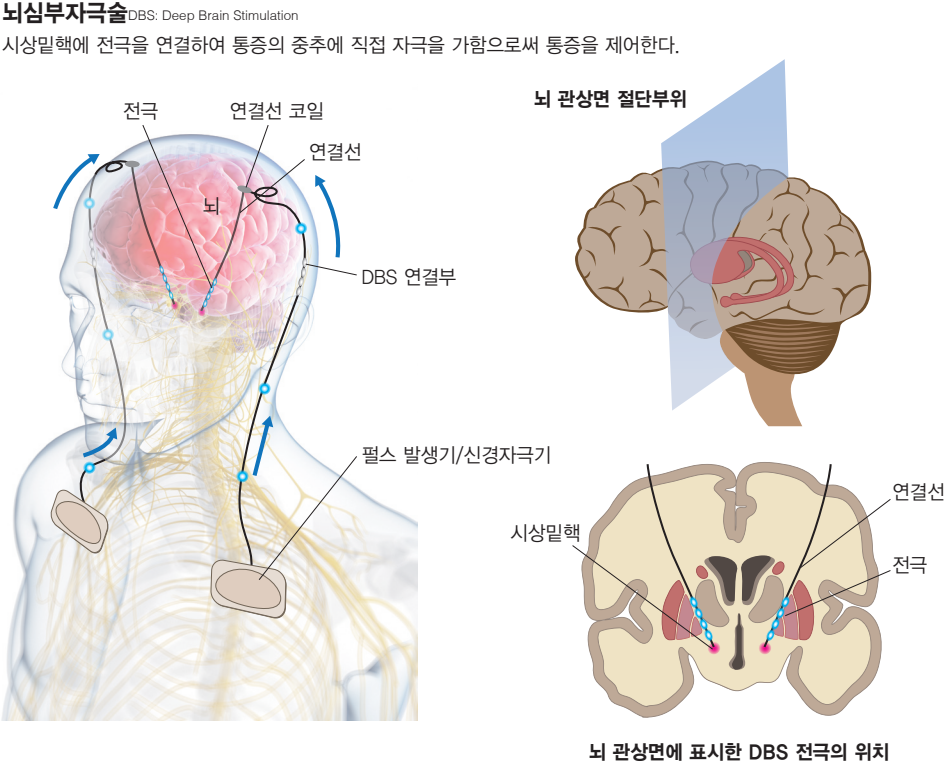
양귀비의 꼬투리와 씨앗. 양귀비에서 얻은 아편은 오랜 역사 동안 마취제나 진통제로 이용되어 왔으며 그 기록은 고대 수메르까지 거슬러 올라간다. 그러나 아편성 진통제는 부작용이 심해 현대에는 함부로 처방하지 않는다.

이 덜하다고 알려졌지만, 이러한 부작용을 우려해 처방이 엄격하게 제한된다.

문제는 아무리 강력한 약물에도 반응하지 않는 다루기 힘든 통증이 존재한다는 데 있다. 신경증적 통증은 말초신경이 손상되거나 신경세포의 비정상적인 활동으로 발생하는 통증이다. 증상과 원인이 다양하고 복잡해 기존 약물 치료로는 충분한 치료효과를 나타내지 못한다.

통증을 근본부터 조절한다

1950년도에 처음 소개된 DBS 요법은 특정 뇌 부위에 전극을 삽입한 뒤 전기 자극을 줘서 신경세포의 활동을 제어해 뇌 기능을 조절하는 기법이다. 통증 치료에 가장



먼저 도입됐으며 그 이후 다양한 뇌 질환의 새로운 치료법으로 연구가 진행되고 있다. 선진국에서는 지난 20여 년 동안 운동성 뇌질환, 통증질환, 치매, 우울증, 비만, 기면증 등 다양한 질환에 적용하려는 시도가 있었다. 최근에는 운동성 질환, 특히 파킨슨병의 경우, 미국 식품의약국(FDA: Food and Drug Administration)의 승인을 받아 활발한 시술이 이뤄지고 있으며 나머지 뇌 질환에 대해서는 아직 연구 단계에 머무르고 있다.

통증조절을 위한 DBS 요법은 통증과 관련된 뇌 부위에 전극을 삽입해 통증신호를 조절하는 신경세포를 직접 자극하여 통증을 줄이는 방법이다. 그러나 현재 통증조절을 위한 DBS 요법은 몇 가지 이유로 그 효과를 검증받지 못하고 있다. 예를 들어 DBS



2006년 세계경제포럼에 참석한 무하마드 알리. 알리는 38세부터 파킨슨병을 앓아 왔다. 파킨슨병은 대표적인 퇴행성 질환으로 본격적인 증상이 나타날 때면 이미 병세가 상당히 진행된 후라 사실상 완치가 불가능하다. DBS는 중증 파킨슨병 환자의 증상을 완화시키는 데 효과적인 것으로 입증됐다.

요법을 적용하는 부위에 따라 아편 성분의 신경전달물질이 분비되는데, 이러한 자극이 지속적으로 반복되면 내성이 생길 수 있다는 우려가 있다. 경우에 따라서는 아무 효과를 내지 못하기도 한다.

DBS 요법은 파킨슨병 환자 중에서 약물 치료로는 효과를 보지 못하는 환자에게 매우 효과적인 치료술로 자리잡았으며 국내에서도 많이 시술되고 있다. 따라서 앞으로 통증관련 뇌 회로와 작동원리를 더 자세히 밝힌다면 더 효과적인 DBS 요법을 실시할 수 있을 것으로 기대되고 있다. 특히 통증조절의 경우, 감각통제기능을 담당하는 감각시상의 통증조절 메커니즘을 규명한다면 뇌 감각피질로 전달되는 통증신호를 차단하는 방식으로 통증을 효율적이고 안전하게 조절할 수 있을 것이다.

장래에 DBS 요법은 약물치료의 부작용을 피하면서도 매우 효과적인 통증치료법으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다. 선진국에서



DBS 요법은 뇌에서 정보를 직접 읽고 자극한다는 점에서 BCI 기술과 접점이 있다. 현재는 뇌파를 읽어들이어 생각한 바와 유사한 신호를 전송하는 정도지만 향후 기술 발달에 따라 뇌와 기계가 자극을 주고받는 시스템을 구성할 수도 있을 것이다. 사진은 G-Tech 메디컬 엔지니어링의 연구원이 BCI 장비를 쓰고 있는 모습.

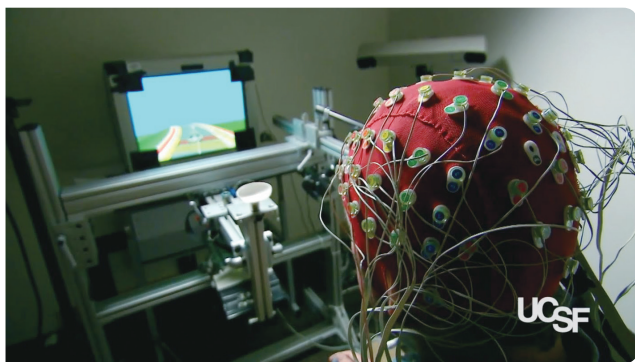
는 이를 위한 임상 연구가 꾸준히 이뤄지고 있으며, DBS 요법을 위해 생체에 적합한 전극도 속속 개발되고 있다. 최근에는 DBS 장비들이 소형화되면서 거부감도 줄어들고 있다.

앞으로 통증의 증상이나 원인별로 뇌 회로와 그 작동원리를 상세하게 확립한다면 DBS 요법을 적용할 수 있는 질환이 더 늘어날 것으로 기대된다. DBS 요법의 발달은 약물 치료를 대체하는 치료법이라는 의미를 넘어, 최근 대중의 눈길을 끌고 있는 뇌-컴퓨터 인터페이스와 뇌-기계 인터페이스 기술의 발달과도 연관된다는 점에서 향후 발달속도와 상용화 속도는 더 가속화될 전망이다.



02 꾸준한 뇌 훈련이 젊은 뇌를 만든다

김래현(바이오닉스연구단) laehyunk@kist.re.kr



3D 자동차게임인 '뉴로레이서' 관련 논문이 발표된 <네이처>의 표지와 뉴로레이서를 시연하는 장면. 게임이 건강한 뇌를 유지하는 데 유용하다는 사실을 입증했다.

2013년 9월 세계적 과학전문지 <네이처(Nature)>에는 흥미로운 연구 결과가 실렸다. 미국 샌프란시스코 캘리포니아대 연구팀이 발표한 이 논문은 비디오 게임을 통해 뇌를 꾸준히 자극할 경우 80대의 늙은 뇌도 20대처럼 개선될 수 있다는 사실을 담고 있다.

연구팀이 주목한 3D 자동차 게임 '뉴로레이서'는 양손을 동시에 사용하여 운전 도중 날아오는 표지판을 식별해 내는 멀티태스킹 방식의 컴퓨터 게임이다. 이 게임을 지속적으로 한 60대 이상의 노인의 경우 기억력과 집중력 같은 인지능력이 실험 전보다 4배가량 향상됐다. 또 뇌파를 확인한 결과 20대에게서 주로 나타나는 세타파의 양이 폭발적으로 증가했다. 더욱 주목할 부분은 한번 향상된 인지능력은 6개월이 지나

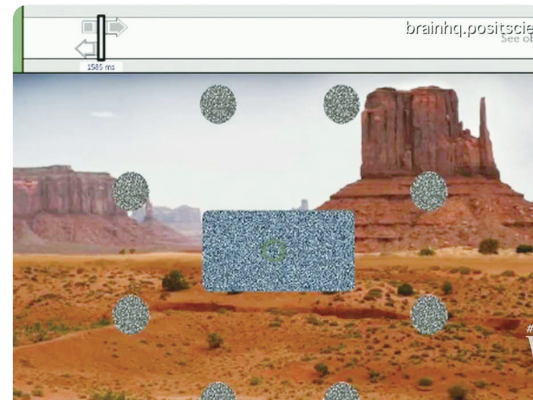
도 그대로 유지되고, 이런 인지능력이 게임 외 일상 활동에도 반영됐다는 점이다. 중독의 원인이자 폭력성을 키우는 원인으로 지목받았던 게임이 일궈낸 성과였다.

뇌를 바꾸고 싶다면 컴퓨터 게임을 즐겨라

우리는 다양한 운동을 통해 건강한 신체를 유지하고 단련하기 위해 노력한다. 특히 나이가 들수록 근육의 양이 줄어들기 때문에 헬스장

등에서 집중적인 근육강화운동을 함으로써 근육 양을 적정하게 유지하려는 사람이 많다. 우리 뇌도 노화현상으로 뇌세포가 줄어들고, 노인성 치매나 뇌졸중 등의 병적인 원인으로 뇌가 손상을 받는다. 그렇다면 신체적인 운동처럼, 훈련을 통해 약화된 뇌기능을 회복시키거나 알츠하이머 치매 같은 퇴행성 뇌질환의 위험을 줄일 수 있을까? 위 연구결과가 말해 주듯 답은 "예"이다.

우리 두뇌는 경험에 의해 바뀌는 능력이 있다. 이를 '뇌가소성(Neuroplasticity)'이라 한다. 뇌의 신경 회로가 외부의 자극, 경험, 학습에 의해 물리적 구조와 기능적 조직이



'더블디지전'의 게임화면(위쪽)과 '브레인 피트니스'를 시연하는 노인(아래쪽). 두 게임은 노화와 관련된 뇌기능 저하를 늦출 뿐 아니라 역전시킬 수도 있음을 보여준다.



일본의 게임회사 닌텐도는 휴대용 게임기용으로 '브레인 에이지' 시리즈를 출시하여 큰 반향을 일으켰다. 브레인 에이지는 국내에서 '말랑말랑 두뇌교실'이라는 제목으로 정식 발매되었다.

변하고 재조직되는 현상이다. 뇌가소성은 살아 있는 동안 지속적으로 발휘되기 때문에 꾸준한 훈련만 뒷받침된다면 '굳은 뇌'도 얼마든지 바꿀 수 있다. 뉴로레이서처럼 게임을 활용한 HCI 기술은 이런 뇌 훈련에 딱 맞는 환경을 제공한다.

HCI가 뇌를 바꾼다는 연구 결과는 캘리포니아대 연구팀의 결과 하나만이 아니다. 미국 오하이오대 연구팀은 2013년 5월 발표된 논문을 통해 '더블디시전(Double decision)'이란 컴퓨터게임이 노화와 관련된 뇌기능 저하를 늦출 뿐만 아니라 심지어 역전시킬 수도 있다고 밝혔다. '더블디시전'은 정신집중을 방해하는 요소들이 점점 더 늘어나는 와중에 차량과 도로표지판을 가능한 한 빨리 매치시키는 게임이다. 이 인지 게임을 한 노인들은 게임을 반복하면 할수록 더 나은 성취력과 운전기록을 보였고, 게임이 끝난 후에 음식 준비 같은 일상적인 과업도 더 잘 수행하는 것으로 나타났다.

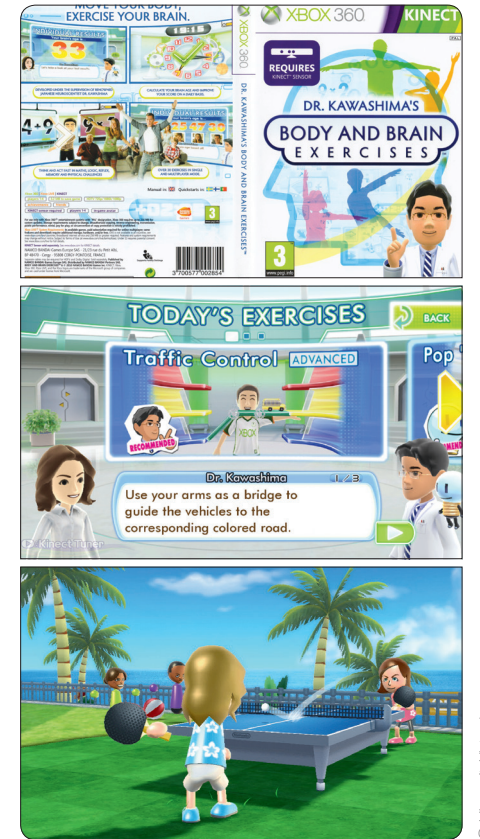
이러한 학문적인 연구를 배경으로, 상업적으로 출시된 뇌 훈련용 비디오게임들이 미국을 중심으로 선풍적인 인기를 얻고 있다. 예를 들어 인지 신경과학 연구를 바탕으로 만든 온라인 인지력 훈련 서비스인 미국의 '루모시티(Lumosity)'는 한 달 방문자가 100만 명을 넘을 정도로 인기다. 그 결과 미국 내 5000대 사이트 가운데 하나로 선정되기도 했다. 최근에는 모바일로도 다양한 인지게임을 즐길 수 있다. '브레인 리소스 센터'는 터치스크린을 이용한 웹 기반의 다양한 인지력 테스트 시스템을 보유하고 솔루션을 제공한다. 다킴(Dakim)의 '브레인 피트니스(BrainFitness)'는 두뇌 훈련을 마치 TV 쇼를 보는 느낌이 들게끔 설계되었다. 또한 고령자들만을 위해 개발됐기 때

문에 컴퓨터를 사용한 경험이 없어도 쉽게 이용할 수가 있다. 이 제품은 그림과 소리를 통하여 노인들에게 정보를 제공하며, 중간중간에 간단한 문제들이 제공된다.

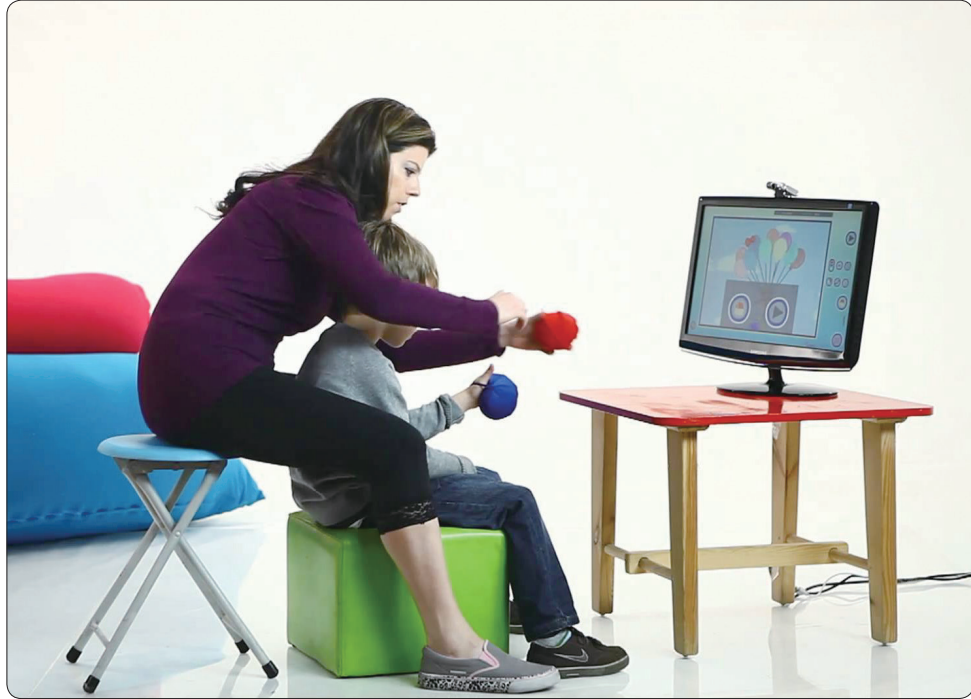
일본 게임업체 닌텐도는 두뇌 활성화 프로그램을 게임 형식으로 제공한다. 특히 2009년 3월 출시된 '말랑말랑 두뇌교실(원제 Brain Age)'은 전세계에 550만 대 이상 판매되어 두뇌훈련 게임의 선봉을 이끌었다. 이스라엘의 유명한 인지심리학자인 슬로모 브레즈니츠(Shlomo Breznitz)가 1999년에 설립한 코그니핏(CogniFit)이 전세계에 보급한 인지기능 향상 훈련 프로그램 '마인드핏(MindFit)'도 모바일에서 쉽게 찾을 수 있는 인기 콘텐츠다.

몸과 뇌를 연결하라

최근에는 뇌와 몸을 함께 움직이는 활동도 늘고 있다. 이 역시 과학적으로 근거가 있다. 미국 솔크 생물학연구소의 헬리에테 반 프라그 박사는 <국립과학원회보>에 발



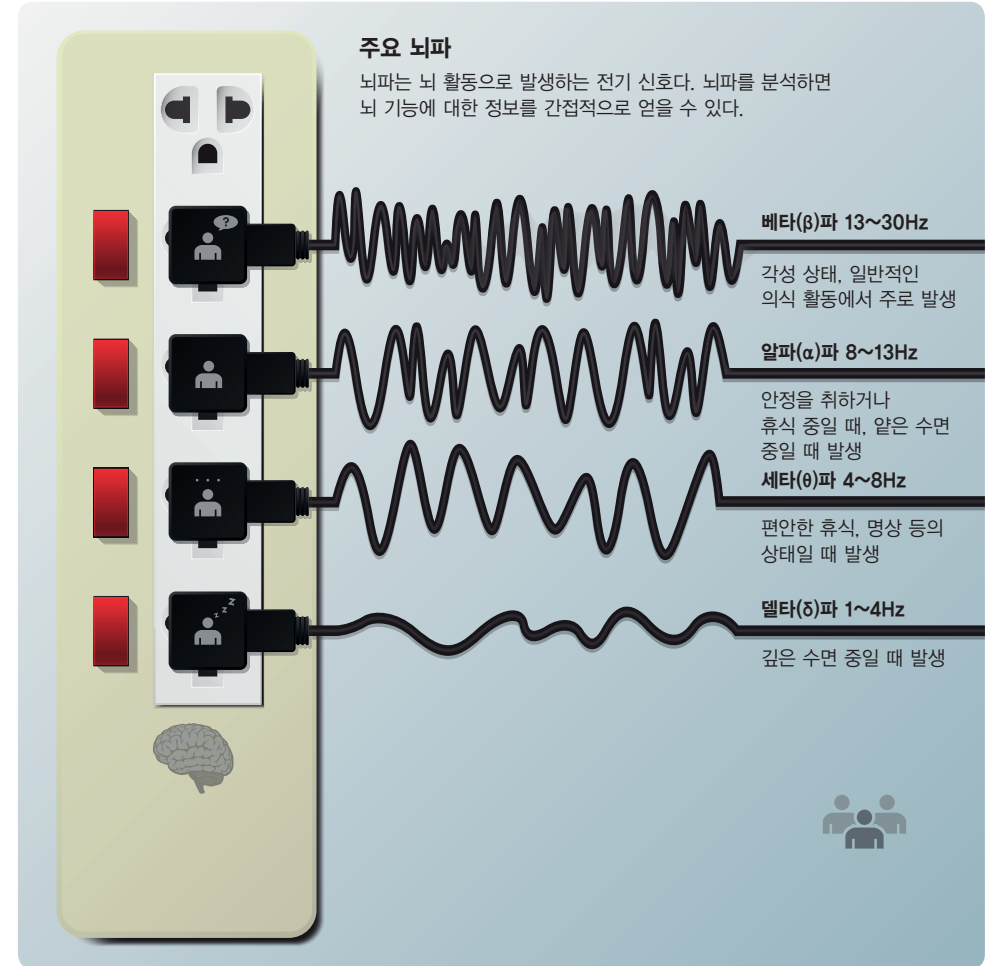
몸이나 전용 컨트롤러를 움직이면 센서가 이를 인식하여 게임 속에 구현하는 방식으로 조작하는 '바디 앤 브레인 엑서사이즈(위쪽, 가운데)'와 '위 스포츠 리조트(맨 아래쪽)'. 최근 가정용 게임기는 몸 전체를 움직여서 협응능력을 적극적으로 활용하도록 유도하는 경우가 많다. 이러한 게임들은 재미있을 뿐 아니라 인지능력 향상에도 효과가 있다고 알려졌다.



게임을 인지재활치료에 활용하려는 움직임은 이미 다양한 성과를 내고 있다. 아동의 인지장애를 게임요법으로 치료하는 '티모코'는 이미 임상적으로 활용되고 있으며, 국내에서도 KIST 연구진이 인터랙티브 테이블 기반의 인지재활시스템을 개발했다.

표한 논문에서 운동을 많이 하면 학습과 기억에 중요한 역할을 하는 뇌 부위에 새로운 세포들이 자라나며 그 뇌 부위의 기능이 전반적으로 향상된다는 사실을 밝혔다. 운동을 통해서도 뇌의 젊음을 되찾을 수 있다는 이야기다.

일본의 카와시마 박사가 개발한 게임 '바디 앤 브레인 엑서사이즈(Body and Brain exercise)'는 운동을 통한 뇌 훈련의 대표적인 예다. 이 게임은 몸의 움직임을 인식하는 마이크로소프트 키넥트 기반으로 제작됐다. 기존의 컴퓨터 게임과는 다르게 몸을 움직여서 수학, 논리, 기억력 테스트 등의 두뇌 게임을 한다. 두뇌활동이 신체적인 움직임과 연결되어 있기 때문에 이러한 몸과 두뇌를 동시에 사용할 경우 뇌기능 향상에 더 큰 도움이 된다고 할 수 있다. 일본의 닌텐도도 사람의 동작을 인식할 수 있는 기



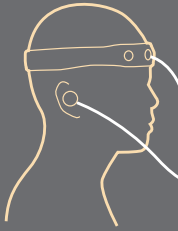
술을 접목하여 몸의 움직임을 통해 게임을 할 수 있는 게임기 '위(Wii)'를 출시해 많은 인기를 얻었다. 이 게임기를 기반으로 인지기능을 향상시키고자 하는 연구 역시 활발한 상태다.

이처럼 신체를 이용한 두뇌훈련 게임의 또 하나의 장점은 기존의 컴퓨터기반 게임보다 재미와 몰입도가 훨씬 높아서 꾸준히 뇌 훈련을 할 수 있다는 것이다. 이 때문에 환자의 인지 재활을 돕기 위한 도구들도 신체 활동을 결합하는 경우가 많다. 예를 들

뉴로피드백의 원리

뉴로피드백은 뇌파측정장치가 사용자의 뇌에서 발생하는 뇌파의 정보를 사용자에게 알려줌으로써(피드백) 원하는 방향으로 뇌가 뇌파를 발생하게 유도하는 기술이다.

① 두피에 붙인 전극을 통해 뇌파 데이터가 수집된다.



② 뇌파측정기에서 뇌파를 분석한다.



③ 분석된 뇌파의 정보를 사용자에게 알려준다. 이 과정을 반복하면 원하는 방향으로 뇌파를 발생시킬 수 있다.



어 ‘티모코(Timocco)’는 주의력 결핍 과잉행동 장애(ADHD), 자폐, 학습 및 인지 장애 같은 인지 능력 장애아의 재활을 돕기 위한 인터랙티브 게임 환경을 제공한다.

이런 연구는 국내에서도 이루어지고 있다. KIST에서 개발한 인터랙티브 테이블 기반의 인지재활 시스템이 대표적인 예다. 이 시스템의 테이블 디스플레이는 테이블 위에 놓인 물리적인 도구의 위치와 종류를 인식할 수 있는 장치다. 인지 장애 환자는 이러한 물리적인 도구를 손으로 조작하며 직관적으로 게임을 수행할 수 있다. 예를 들어 쿠키만들기 게임은 쿠키틀, 시럽 바르는 붓, 토핑 병 같은 물리적인 도구를 가지고 쿠키를 만드는 과정에서 일상생활에 관련된 기억력, 계산력, 집행력 등을 훈련하는 게임이다.

100세 시대를 준비하는 두뇌훈련

1929년에 독일의 정신과 의사인 한스 베르거Hans Berger가 발표한 ‘뇌파’는 뇌 신경 사이에 신호가 전달될 때 생기는 전기의 흐름으로 인간의 뇌 활동 상태를 보여주는 중요한 생체신호다. 주파수에 따라 크게 델타파(1~4Hz), 세타파(4~8Hz), 알파파



뉴로피드백은 다양한 임상 현장에서 활발하게 활용되고 있다. 사진은 뉴로피드백을 이용하여 과잉행동장애를 치료하는 모습.

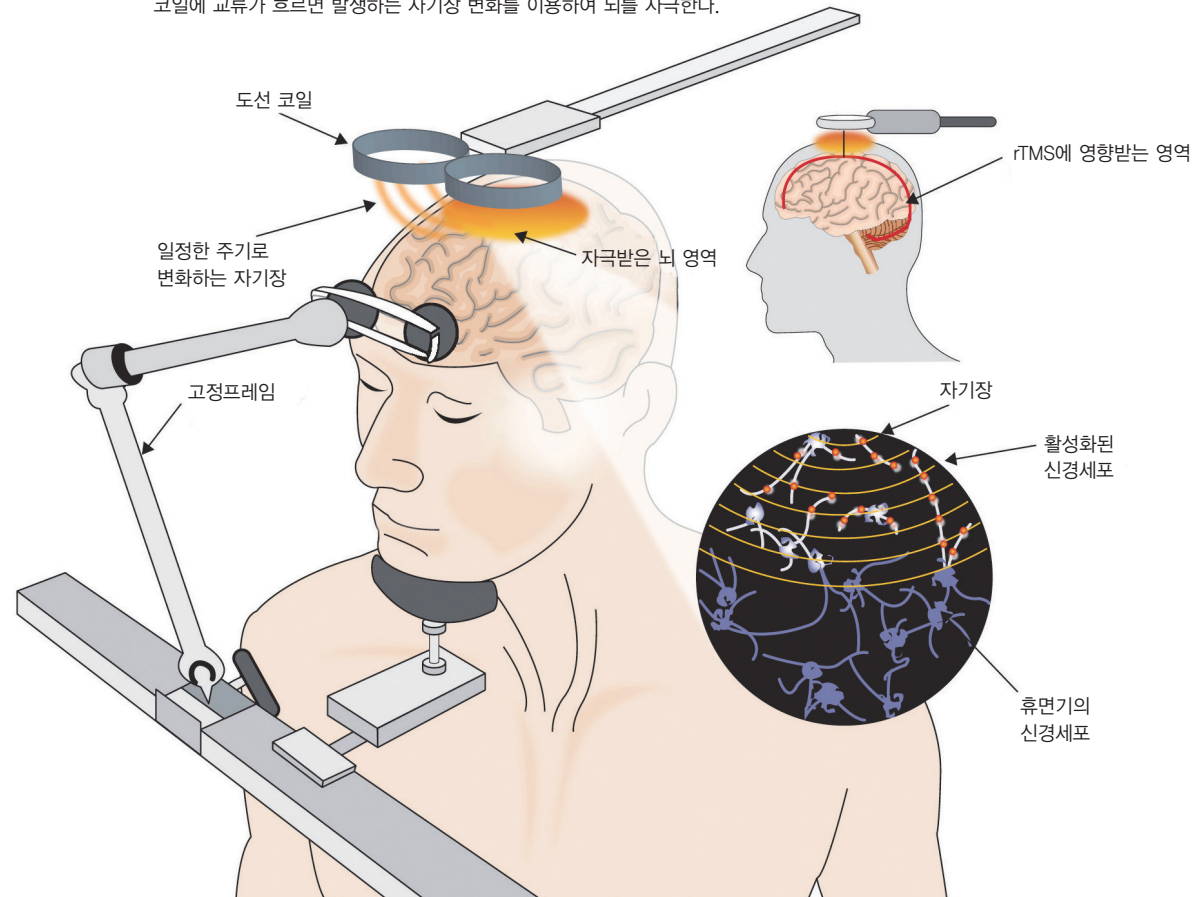
(8~13Hz), 베타파(13~30Hz), 감마파(30~120Hz)로 구분되며 정신 활동 상태에 따라 그 진동이 빠르거나 느려지는 특징이 있다. 따라서 뇌파의 기본적인 리듬 분석만으로도 뇌기능 건강과 관련된 정보를 간접적으로 얻을 수 있다. 예를 들어 주의가 산만한 ‘주의력결핍증ADD’ 환자는 뇌파가 정상인에 비해 느리고 자폐나 정신지체, 치매 환자는 모두 세타파가 아주 강해지는 특징이 있다.

만일 비정상적인 뇌의 리듬을 조절해 정상적인 리듬으로 바꿀 수 있다면 뇌의 기능도 정상이 되지 않을까? 이것을 가능하게 하는 뇌 훈련 방법이 ‘뉴로피드백 Neurofeedback’이다. 뉴로피드백은 자신의 뇌 활동을 시각적으로 보여주고 뇌파가 더 적합한 방향으로 만들어지도록 반복적인 훈련을 유도해 궁극적으로는 자신의 의지로 뇌 상태를 조절할 수 있도록 학습하는 과정이다. 사람에게 거울을 보여주면 옷 매무새를 더 빠르고 정확하게 다듬을 수 있는 것과 같은 원리다.

1967년 미국 항공우주국NASA에서 모의비행 훈련을 한 우주비행사들을 중심으로 간질 발작 증상이 발생했다. 이를 막기 위해 동물 실험을 했는데, 뉴로피드백 훈련이 간질에 저항하는 효과가 있다는 사실을 알아냈다. 그 후 지금껏 ADHD, 불안장애, 불

rTMS의 원리

코일에 교류가 흐르면 발생하는 자기장 변화를 이용하여 뇌를 자극한다.



면증, 스트레스 장애, 발달장애, 치매 같은 많은 정신장애를 치료하기 위해 뉴로피드백이 사용됐고, 성공적인 결과를 거두었다.

뉴로피드백은 환자 치료만을 위한 훈련이 아니다. 미국 CNN 방송에서는 정상인도 자신의 집중력을 극대화하기 위해 뉴로피드백을 이용할 수 있으며, 이 치료를 '뇌의 에어로빅 운동'이라고 비유하기도 했다. 실제로 최근 뉴로피드백 훈련에 의해 지능은 물론 학습이나 업무능력, 공연능력 등의 인지능력이 향상된다는 것이 밝혀졌다. 이후 뉴로피드백

은 인간의 뇌 능력을 극대화시키고 최적화시키는 기술로 새롭게 자리매김하고 있다.

한편 이러한 뇌 훈련이 과연 우리의 인지능력을 진짜로 향상시킬 수 있는지에 대한 논쟁도 치열하다. 반론이 있기는 하지만, 앞서 언급한 바와 같이 60세 이상의 고령자가 인지과학적으로 잘 설계된 컴퓨터 게임을 꾸준히 하면 일상생활에서 사용하는 인지 능력이 향상된다는 분명한 연구 결과들이 속속 등장하고 있다. 실제 뇌구조를 보여주는 '뇌신경촬영술'이나 뇌 기능을 보여주는 EEG 분석을 통해 뇌 훈련을 받는 동안 뇌의 여러 부위가 더욱 활발하게 움직인다는 것을 알 수 있다.

뇌 훈련과 더불어 '비침습적 뇌자극(noninvasive brain stimulation)'을 통해 인지능을 높이는 방법도 있다. 비침습적 뇌자극은 자기 또는 전기 등을 이용하여 수술 없이 뇌의 특정 부위를 국소적으로 자극해 신경을 조절하는 방법이다. 현재 자기를 이용한 반복 경두개 자기자극(TMS)과 직류전기를 이용한 경두개 직류 전기자극(tDCS)이 사용된다. 주로 뇌졸중, 우울증 같은 질병을 앓는 환자를 대상으로 한다. 연구 결과 환자군과 인지영역별로 효과가 다르기 때문에 아직 많은 연구가 필요한 부분이다.

인간의 뇌는 아직까지 많은 것이 밝혀지지 않은 미지의 세계다. 앞으로 두뇌 훈련을 통한 인지능력 향상에 대한 메커니즘이 밝혀진다면, 더 과학적이고 효과가 높은 뇌 훈련 기법들이 개발되리라 생각된다. 우리나라는 고령화 사회를 넘어 초고령화 사회로 빠르게 진입하고 있다. 단순히 오래 사는 것보다 건강하게 오래 사는 것이 무엇보다 중요하다. 신체적 건강을 위해 꾸준히 운동을 하는 동시에 두뇌훈련을 통해 정신적 건강을 유지하는 방법을 고민해야 할 때다.



03 내 몸보다 더 편한 의료기구 만들기

석현광(생체재료연구단) drstone@kist.re.kr

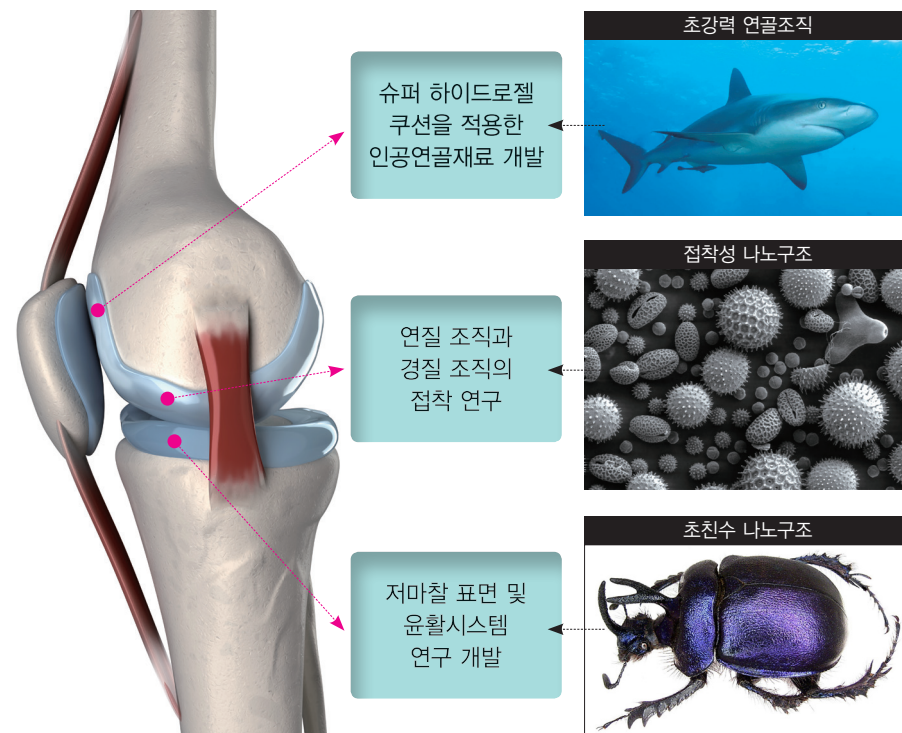
흔히 다가올 사회를 '100세 시대'라고 부른다. 그렇다면 실제로 우리 국민의 평균수명(0세 기대여명)은 실제로 얼마나 될까? 통계청 자료에 따르면 2011년 국민의 평균수명은 81.2세인 것으로 나타났다. 8년 전인 2003년에는 77.4세였다가, 2009년 처음으로 80세를 넘기고 점차 증가한 것이다. 앞으로도 이런 증가세가 계속 이어질 것으로 미루어 보면, '100세 시대'를 맞을 날이 먼 미래가 아니라는 것을 알 수 있다.

하지만 이렇게 긴 수명이 행복을 보장하는 것은 아니다. 노화에 따라 신체의 여러 부분이 손상되며 오히려 삶의 질이 낮아지는 경우가 많기 때문이다. 대표적인 예로 퇴행성관절염이 있다. 퇴행성관절염은 특별한 계기로 걸리는 것이 아니고, 그저 오랫동안 관절을 쓰는 바람에 연골이 마모돼 생기는 질환인 것이다. 이런 퇴행성관절염을 치료하기 위해, 관절을 의료기구인 인공관절로 바꾸는 수술이 있다.

하지만 안타깝게도 이 인공관절은 기술적인 한계가 많다. 인공관절을 사용하는 경우에도 마모가 발생하기 때문에 인공관절의 수명이 줄어든다는 것이다. 또 인공관절이 마모될 때 나오는 입자 때문에 다시 통증이 생기고, 심하면 골 조직에 피사가 생기는 경우도 있다. 이런 경우에는 어쩔 수 없이 2차 수술을 해야 한다.

인공관절, 이제 신개념 생체 재료에 맡겨라

이런 문제를 해결하기 위해 현재까지 많은 연구가 진행되고 있다. 우선 금속, 세라믹, 고분자 소재 같은 인공관절의 소재 자체의 질을 개선하려는 노력이 있다. 또 이들 소재를 여러 가지로 조합해 새로운 인공관절을 만들려는 연구도 있다. KIST에서도 성



KIST에서 기획 중인 생체모사형 반영구 수명 인공관절

능이 개선된 차세대 인공관절을 개발하고자 하는데, 이때 인공관절에 자연·생체 모방형 소재를 적용하려는 연구를 준비하고 있다.

인공관절처럼 몸속에 이식되어 몸의 조직이나 장기의 기능을 보완하거나 대신하는 각종 의료기구와 그 원소재를 '생체재료'라고 한다. 이 생체재료 기술이 점점 발달해 최근 생체재료 기술은 이전과 비교하면 훨씬 다양하고 혁신적인 모습이 되었다.

이런 생체재료 기술의 발전 속도를 가장 잘 볼 수 있는 분야가 바로 스텐트다. 스텐트는 심장을 둘러싸고 있는 심근에 혈액을 공급하는 관상동맥이 좁아지거나 불었을 때, 이 부분을 다시 넓히거나 뚫어주는 초소형 구조물이다. 스텐트는 보통 넓게 열릴 수 있는 금속 망 형태로 제작해 사용하고 있다. 최근에는 재협착이나 후기 혈전증 같은 부작용을 막기 위해 차세대 약물방출 스텐트와 생체 분해성 스텐트에 대한 연구가 활발히 진행 중이다.

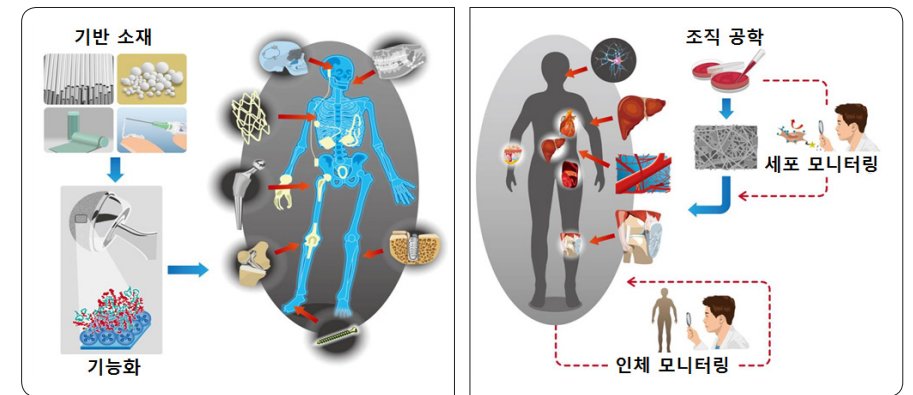


차세대 스텐트 연구 동향

KIST도 이런 차세대 스텐트를 연구하고 있다. 스텐트 표면에 나노/마이크로 구조를 형성하여 약물을 넣은 약물방출 스텐트와 완전생분해성 스텐트 등으로 차세대 핵심 스텐트 개발을 선도하고 있으며 일부 분야에서는 세계 최고 수준의 성과를 내고 있다.

생체재료는 지금 무한 변신 중

한편 기존의 생체재료와는 전혀 다른 개념의 인체동기형(Self-synchronizable) 생체 재료에 대한 관심이 높아지고 있다. 기존의 생체재료가 불활성인 반면 인체동기형 생체재료는 몸속에서 변화를 나타내는 것이다. 대표적인 인체동기형 소재 중 하나는 몸속에 이식된 뒤 인체의 손상부분이 재건되면 알아서 없어지는 생분해성 소재다. 이런 소재 중에서도 생분해성 고분자에 비해 생체적합성이 우수하고 강도가 뛰어난 생분해성 금속에 대한 연구가 2000년대 초반 이후 유럽을 시작으로 미국과 한국 등에서 활발히 진행되고 있다. 이런 생분해성 금속 소재는 뼈와 인대 등의 고정을 위한 정형외과용 임플란트나 심혈관용 스텐트를 포함한 혈관 및 담도, 식도, 요도 등 관형

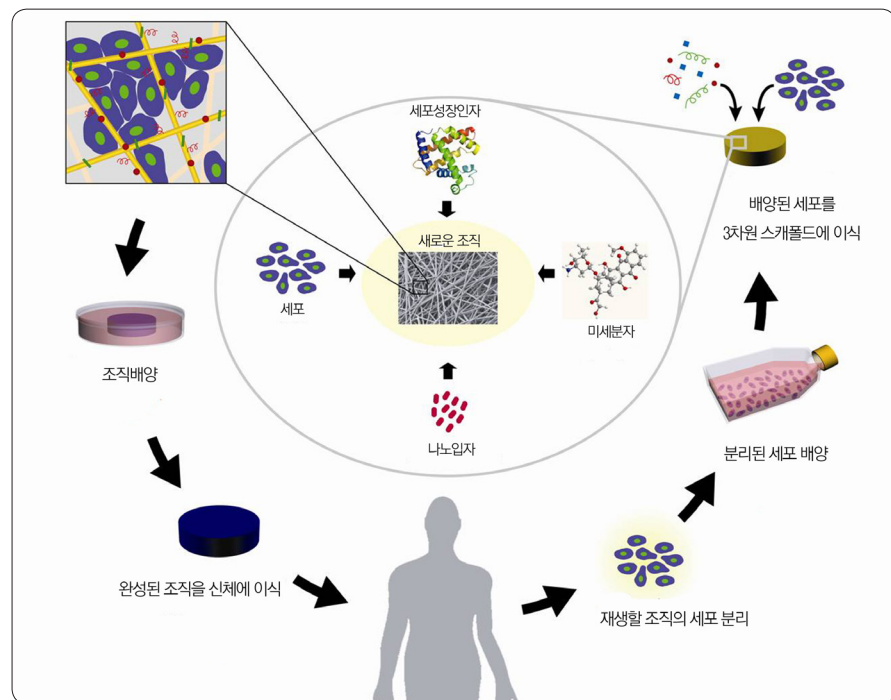


대표적인 생체재료인 체내이식형 인공 소재(왼쪽)와 줄기세포 및 이를 이용하여 재생된 바이오 소재(오른쪽)

(Tubular) 장기를 확장하는 스텐트용으로 사용되어 의료기술의 혁신을 유도할 것으로 예상된다. KIST도 생체적합성이 검증된 원소로만 구성된 생분해성 금속을 개발하여 관련 특허를 약 20여건 출원/등록하였으며, 각종 정형외과용 임플란트를 개발하여 현재 전임상 실험을 거의 완료하는 등 생분해성 금속 연구를 선도하고 있다.

이런 다양한 체내 이식형 생체 재료의 기능을 개선하기 위해 최근에는 분자 단위에서 세포에 자극을 줘 세포의 부착, 이동, 증식, 분화 등을 조절하는 기술도 개발되고 있다. 이 연구는 생체재료 표면에 약물을 탑재하는 기술에 비해 안전성이 높고, 생체재료의 판매 승인 및 장기 보관과 유통이 쉬워 차세대 생체재료 기능화기술로 각광받고 있다.

또 최근에는 공학적으로 조작한 줄기세포와 생체/인체/세포 유래 물질, 그리고 줄기세포를 이용해 재생한 생체조직 등의 바이오 소재에 대한 중요성도 점차 부각되고 있다. 그중에서도 잠재적 치료효과가 큰 성체줄기세포는 윤리적, 안전성 문제에서도 어느 정도 자유롭고, 동시에 채취와 취급이 상대적으로 쉽기 때문에 차세대 최첨단 의약품으로 인식되고 있다. 또 이 중 일부는 임상승인을 받기도 하였다. 지금은 응용 분야를 다양하게 도출하고 치료의 효율을 높이기 위해서 줄기세포의 대량 공급을 위한 원천 기술과 줄기세포의 분화기능 유지 및 안정화 기술 개발이 활발하다. KIST에서도 이런 줄기세포 군집체 제조 기술을 개발하기도 했다. 세포-고분자 매트릭스 기술을 이용한 결과로, 줄기세포를 몸속에 이식한 뒤 줄기세포의 생존률이 획기적으로 개선된 것이다. 이 세포-고



줄기세포를 이용한 인체조직 복원 기술

분자 매트릭스 기술을 이용해서는 고강도 인공혈관을 성공적으로 만들어 내기도 했다.

줄기세포로는 인체 조직이나 장기 자체를 만들 수도 있다. 이 분야를 ‘조직공학’이라고 한다. 앞으로 기계공학, 재료공학, 생물학 등 이종학문간 융합이 활발히 이루어지면, 조직공학 기술을 통해 재생조직을 온전히 만들 수 있을 기술도 머지않은 미래에 실현될 수 있으리라 기대한다.

줄기세포를 이용하여 재생한 생체조직은 과학적으로도 큰 의미가 있다. 이 생체조직으로 질환의 메커니즘을 규명할 수 있고, 약물의 효과를 검증하는데 쓸 수도 있다. 암 진단과 치료 기술 개발을 위한 체외 실험장치(Ex vivo device)로 사용하기 위한 연구도 전 세계적으로 관심을 끌고 있다. 이런 연구를 제대로 하기 위해서는 인간의 조직과 장기가 갖는 환경을 제대로 구현하는 것이 중요하다. KIST에서는 조직 공학 기술을 이용하여 재생된 3차원 인체 조직을 실험장치로 사용하기 위한 연구를 최근 시작했다.

생체의료 시장 분석, 한국 기업의 점유율이 높은 반도체나 디스플레이에 비해 시장 규모가 크면서도 성장률이 높은 편이다. 그러나 아직 이 분야에 대한 국내기업 진출은 미미하다.

	자동차	반도체 메모리	디스플레이	철강	의료장비	골절·환자용 임플란트 소재	심혈관용 생체재료
세계시장 규모	1조 달러	460억 달러	772억 달러	1조 달러	3,000억 달러	500억 달러	700억 달러
연간 성장률	3%(선진국) 10%(신흥국)	10%	13%	5%	8%(평균) 18%(아시아)	8%(평균) 18%(아시아)	8%(평균) 18%(아시아)
국내기업 세계시장 점유율	6~7%	50%(1위)	48% (1~2위)	4.2%	0%	0%	0%

신개념 생체 재료가 열 신세계를 기대하며

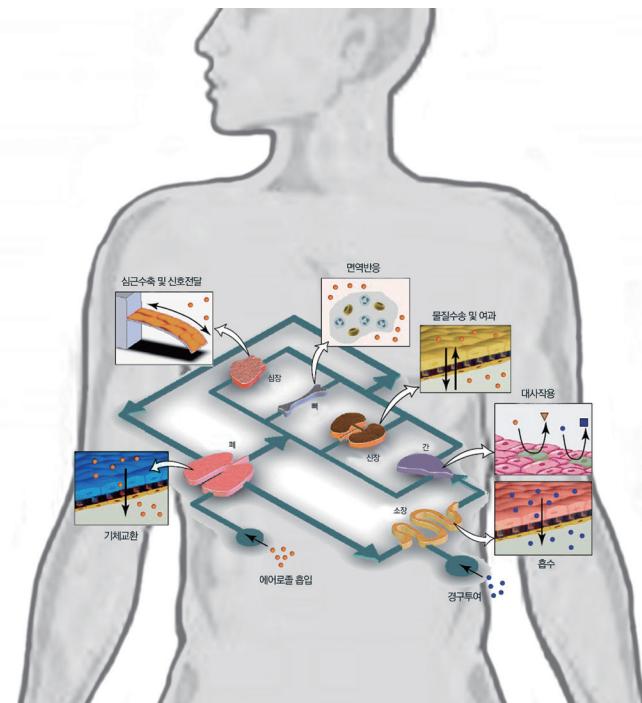
생체재료 산업은 그동안 미국, 유럽의 다국적 회사가 세계 시장을 배타적으로 독점하는 선진국형 산업으로 인식되어 왔다. 그러나 최근에는 정부, 기업, 학계, 연구계 모두가 대한민국의 지속적 성장을 위해 육성해야 할 전략적 미래 산업으로 인식하고 있다. 이런 변화는 높은 신뢰성을 가진 핵심기반 기술 때문이다. KIST만 하더라도 위에서 설명한 것처럼 우수한 생체재료 미래기술을 가지고 있다. 이 중에서 차세대 스텐트, 생분해성 임플란트, 세포 반응성 표면제어 기술, 줄기세포 3차원 군집체 제조기술 등은 앞으로 5~10년 안에 임상에 적용되거나 실용화가 가능할 것으로 보인다. 또 인간 생체조직 소자의 경우에는 5~10년 안에 질병 메커니즘 규명과 신약 스크리닝 용도로 사용할 수 있을 정도로 완성도를 갖출 것으로 기대하고 있다.

또 자동차, 조선, 철강, 전자산업 같이 전통적인 산업 분야의 고용이 정체되고, 심지어 감소하는 현상을 극복할 신산업을 찾는 사회 분위기도 생체재료 산업 육성에 큰 영향을 미칠 것으로 생각된다. 생체재료 시장규모를 좀 더 구체적으로 살펴보면, 체내 이식형 생체재료의 경우 성장률이 높은 거대 시장을 형성하고 있는 것을 알 수 있다. 게다가 아직 국내 기업의 세계시장 점유율이 거의 0%에 가깝기 때문에 앞으로 무한한 성장 잠재력이 있는 미래성장 동력 산업이라고 할 수 있지 않을까. 그밖에 IMF 금융위기 이후 의학 관련 학과로 진출한 우수한 인력풀의 존재도 생체재료 분야의 발전에 긍정적으로 작용할 것이다.

공상과학 소설이나 영화에 나올 법한 이야기를 상상해보자. 다치거나 병에 걸려 손상된 조직이나 장기를 인공 조직이나 장기로 대체하는 장면이다. 인공 조직이나 장기는 우리 몸 안에 것과 거의 같아 면역 거부 반응이 나타나지 않으면서도 건강한 상태라 더 이상 정상적으로 작동하지 않는 신체 일부를 효과적으로 대신할 것이다. 이런 일은 상상 속에만 있다고 생각할 수 있겠지만 완전히 실현 불가능한 것만은 아니다.

1993년 처음 학계에 소개된 ‘조직공학’은 의과학과 공학이 어우러진 융합 기술이다. 이 기술의 최종 목표는 생체재료로 구성된 3차원 구조체(Scaffold) 안에 세포를 심고, 생체 바깥에서 배양해 ‘이식 가능한 조직’으로 키우는 것이다. 이런 개념을 실제로 성공시킨 사례는 2006년에 처음 나왔다. 웨이크포레스트(Wake Forest)대 의대 아탈라(Anthony Atala) 교수 연구팀이 방광을 실험실에서 배양해 사람에게 이식한 것이다. 참고로 방광은 얇은 막으로 형성된 주머니 형태의 장기라 우리 몸 안에 있는 다른 조직이나 장기보다 훨씬 덜 복잡한 구조를 갖고 있다.

조직공학 기술의 핵심은 인공 구조체 안에 심은 세포가 몸 밖에서도 산소와 양분을 충분히 공급받으며 자라 조직 세포에 맞는 고유한 형태를 나타내야 한다는 점이다. 따라서 2000년대 중반부터는 새로운 조직이나 장기를 생체 바깥에서 만들어 임상적으로 이식하려는 연구뿐만 아니라 우리 몸속 다양한 조직과 장기가 어떻게 형성되고 기능하는지 살피는 노력도 진행됐다. 그 덕분에 인공 조직이나 장기로 생리학·병리학 적 모델을 만들고 생리현상이나 병의 진행 과정을 알아내고, 새로운 약물의 안전성과 효과를 검증하는 기술로도 활용되고 있다.

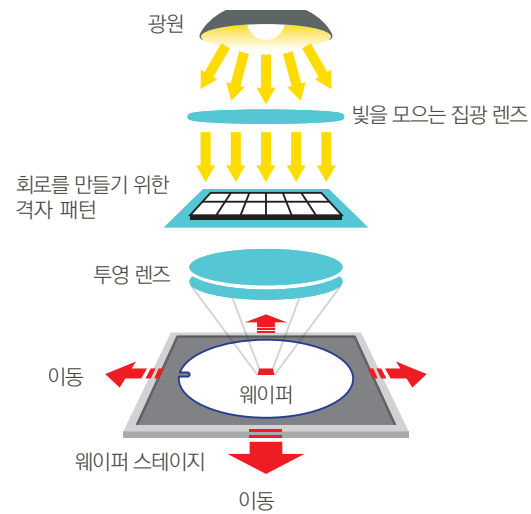


인간의 여러 가지 장기 및 조직을 모사하는 생체 조직 칩 기술의 개념도

미국 국립보건원(NIH: National Institute of Health)이 2011년부터 추진 중인 ‘조직 칩 프로젝트(Tissue chip project)’는 조직공학 기술의 최전선이다. 이 계획은 사람의 생리작용을 그대로 모사하는 3차원 ‘칩’을 개발하고, 조직 모델을 만들어 약물 후보군의 안전과 효율성에 대해 효과적으로 예측하는 게 목표다.

동전만한 칩 안에 세포를 키워라

생명을 재현한다는 것은 쉬운 일이 아니다. ‘생체 조직 칩 기술’이 가능했던 데는 세포 주위의 미세한 환경에 있는 여러 물질들을 세밀하게 조절할 수 있는 기술의 덕이 컸다. 생체 조직 칩 기술은 단순히 작은 조직을 칩으로 재현하는 데 그치지 않고 우리 몸에 더 가까운 3D 환경에서 세포-세포, 세포-세포 외 기질(ECM:



조직온칩이나 장기온칩에는 반도체를 만드는 데 이용하는 마이크로엔지니어링 기술이 적용된다. 설계한 회로를 포토리소그래피로 실리콘 베이스에 옮긴 후, 각인된 회로에 세포를 배양하여 생체칩을 만든다.

ExtraCellular Matrix) 간 상호작용이 가능하게 세포나 조직

을 배양할 수 있는 플랫폼을 만드는 것을 목표로 한다.

여기에 마이크로 수준에서 유체 흐름을 조절하는 방법을 개발하고 장치, 시스템 등을 제작하는 미세유체기술을 적용하면 다양한 생명현상에 대한 연구에도 응용할 수 있다. 이는 우리 몸 안에서 '심장-동맥-조직, 장기-정맥-심장'으로 이어지는 중앙 순환 시스템과 상당 부분 유사하다고 할 수 있다. 피나 조직액 같은 액체가 흐르는 아주 작은 관을 통해 산소와 영양분을 공급하고, 세포 대사 과정에서 생성되는 부산물을 제거할 수도 있다. 또 소형화된 소자를 제작하므로 사용되는 배양액, 각종 생화학적 시료와 용해성 인자의 양도 줄일 수 있다.

생체 조직 칩은 반도체 공정에서 사용되는 '사진식각공정'을 이용하여 제작할 수 있다. 우선 실리콘 기판 위에 감광제를 코팅하고 포토마스크(Photomask)를 통해 자외선(UV)을 쬔 뒤 원하는 구조를 지닌 패턴을 감광제 위에 입힌다. 이후 PDMS와 같은 투명한 열경화성 고분자에 미세구조를 찍어낸 다음, 유리 기판과 플라즈마를 접합하면 칩을 만들 수 있다. 이 안에 세포를 배양하면 된다. 세포가 심어진 하이드로젤을 굳히고, 이 안에 작은 관을 마치 혈관처럼 작용하도록 넣으면 3D 환경에서 세포를 배양할 수도 있다.

생체 조직 칩의 대표적인 사례가 2010년 하버드대 비스(Wyss) 연구소에 잉버(Donald E. Ingber) 교수팀이 개발한 '렁온어칩(Lung-on-a chip)'이다. 폐 기능을 그대로 흉내내도록 만든 령온어칩은 호흡해서 폐 안으로 들어오는 유해물질의 독성을

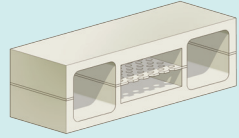
평가할 뿐 아니라 향후 약물 후보군 스크리닝 플랫폼으로도 쓰일 전망이다. 생체 조직 칩 제작 기술이 동물 세포의 배양뿐 아니라 임상 전 단계에서 약물 후보군의 효과와 독성을 평가하는 데도 쓰일 수 있다는 것을 보여준다.

국내에서는 코넬대 스트록(Abraham D. Stroock) 교수팀 출신으로 현재 KIST 뇌과학연구소 바이오프로시시스템연구단 소속의 최낙원 박사가 알긴산(Alginate), 콜라겐(Collagen), 폴리에틸렌글리콜(PEG: PolyEthylene Glycol) 등 하이드로젤을 이용한 3D 세포·조직 배양 칩 제작 기술을 보유하고 있다. 최 박사팀은 뇌-혈관 장벽, 신경 회로망에 응용할 수 있는 생체 외 3D 배양 플랫폼을 개발하기 위한 연구를 진행 중이다. KIST 바이오프로시시스템연구단 소속 강지윤 박사팀은 고려대 기계공학부 정석 교수팀과 공동으로 척수 손상에 관한 생체 외 모델을 구축하는 연구를 수행 중이다.

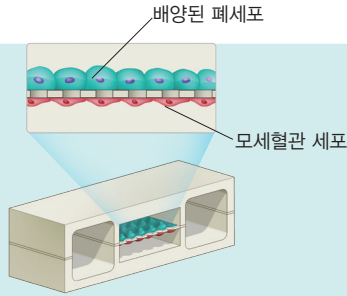
코넬대 쉐러(Michael L. Shuler) 교수팀 출신의 홍익대 화학공학과 소속 성종환 교수는 간, 장, 혈관 등 각종 장기의 구조와 기능을 재현할 수 있는 멀티-인공 장기 시스템을 개발 중이다. 하버드대 비스연구소 잉버 교수팀 출신의 허동은 교수는 현재 미국 펜실베이니아대학교 바이오엔지니어링 소속으로 령온어칩을 고속, 고효율 약물 스크리닝 플랫폼으로 발전시키기 위한 후속 연구를 진행하고 있다.

서울대 기계항공공학부 전누리 교수팀은 신경세포 배양과 축삭돌기의 성장에 관한 PDMS 기반 미세유체 칩을 개발했고, 이를 신경계 약물 스크리닝을 위한 배양 플랫폼으로도 응용했다. 고려대 정석 교수팀에서는 PDMS 기반 미세유체 칩을 이용해 신경 줄기세포 분화 등에 관련된 새로운 기전을 규명하는 연구를 활발히 수행하고 있다.

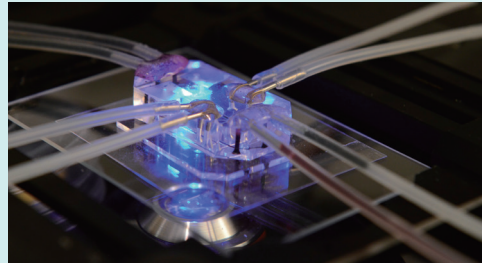
허파파리 조직 생체 칩의 탄생



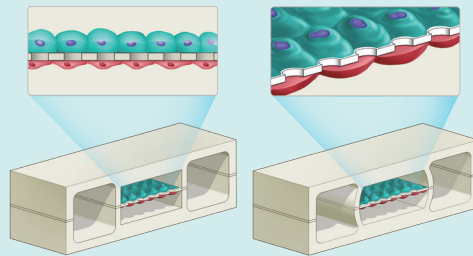
합성수지(PDMS)를 이용해 허파파리 조직 일부를 만들고 한쪽에는 폐세포를, 다른 한쪽에는 모세혈관 세포를 배양해 칩으로 만들었다.



허파파리 생체 칩의 실제 모습. 8시에서 2시 방향으로 연결된 투명관은 진공 펌프를 연결하고 10시에서 4시 방향으로 연결된 관은 세포배양액이 흘러들어가는 장치다.

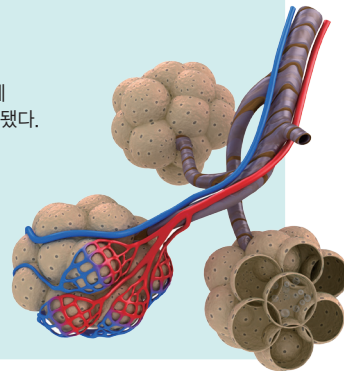
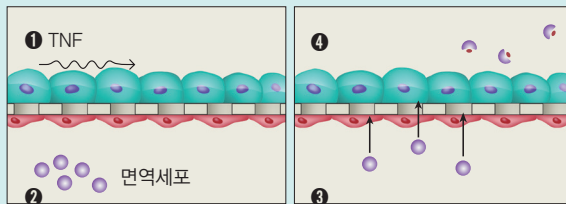


컴퓨터로 제어하는 진공펌프를 이용해 세포가 배양된 양쪽의 공간을 진공 상태로 만들면 폐세포가 일시적으로 팽창한다.



허파파리 조직 생체 칩의 생리적 기능 모방 실험

- 1 염증유발물질(TNF)이나 박테리아를 폐세포 쪽에 배양액을 통해 투여한다.
- 2 백혈구의 면역세포를 모세혈관 내피 쪽에 투입한다.
- 3 TNF에 의해 수용체가 발현하면 면역세포가 생체칩의 세포막에 있는 구멍을 통해 폐세포 쪽으로 올라간다.
- 4 폐세포에 투입된 TNF를 면역세포가 잡아먹는다. 실제 허파파리 조직에 TNF가 생겼을 때 면역세포가 하는 역할이 생체 칩에서도 똑같이 구현됐다.



환자 세포로 약물 시험하는 날 머지 않았다

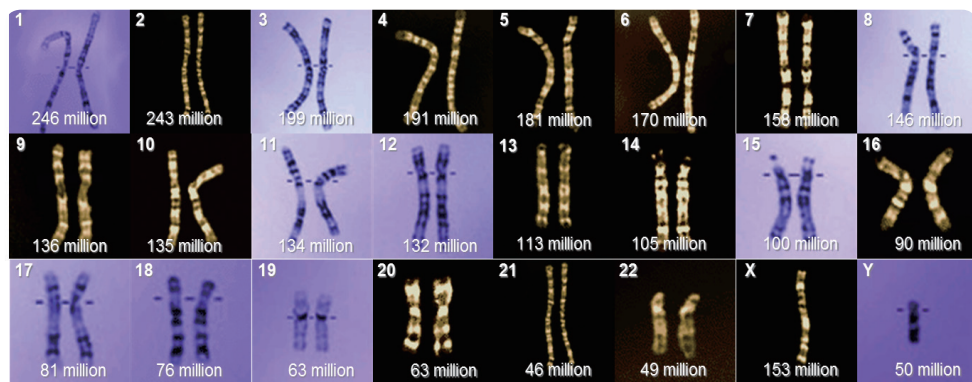
움직이는 유체와 살아있는 세포, 세포의 기질 등 다양한 요소를 함께 고려하는 만큼 이 분야에서 해결해야 할 기술적 어려움은 아직 많이 남아있다. 최근까지 보고된 장기 온 어 칩(Organ-on-a chip) 기술이 아직 개념 정립이나 확인 단계에 머무르고 있는 까닭이 바로 여기에 있다. 따라서 생체 조직 칩이 실제 의학 분야나 산업 현장에 적용되기까지는 시간이 걸릴 것으로 예상된다. 그러나 최근 5년 동안 세계적으로도 수준이 높고 제반 환경이 잘 갖춰진 연구팀에서 괄목할만한 연구 성과를 낸 한국 연구자들이 상당 수 귀국해 대학과 연구소, 기업 연구소에서 활발한 활동을 하고 있다. 또 ‘화학과 생물학을 위한 미니어처 시스템(μ TAS: Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences)’ 국제 학회에서 발표되는 연구 성과 중에서 3분의 2 정도는 한국과 일본, 중국에서 나오고 있다. 이는 앞으로 한국이 이 분야를 선도할 기반을 다지고 있다는 뜻이다.

생체 조직 칩 내에서 배양할 수 있는 세포의 종류와 관련 기법이 점점 늘어나고, 줄기세포의 생체 조직 칩 내 배양도 고려할 수 있다. 이는 쥐 같은 동물 세포가 아니라 실제 사람, 즉 환자에 대한 맞춤형 연구로 생체 내(In vivo) 시험에 걸리는 시간과 비용을 줄일 가능성을 보여준다. 또한 약물 스크리닝의 경우 휴먼 온 어 칩(Human-on-a chip) 기반의 예측 독성 평가도 가능해질 것으로 기대된다. KIST는 이미 뇌과학연구소와 의공학연구소 등 목적 지향형 연구소 체제로 개편해 다양한 전공 분야의 연구자들이 같은 연구단이나 연구소에 속해 있다. 이에 따라 서로 다른 학문 간의 교류가 시작됐고 이를 통해 실제로 뇌신경과학과 공학의 융합 분야에서 국책연구과제를 수주하는 등 발전 가능성이 클 것으로 기대를 모으고 있다.



05 염기서열 분석기술, 맞춤의료의 문을 열다

이상엽(바이오토크스연구단) sangyoup@kist.re.kr



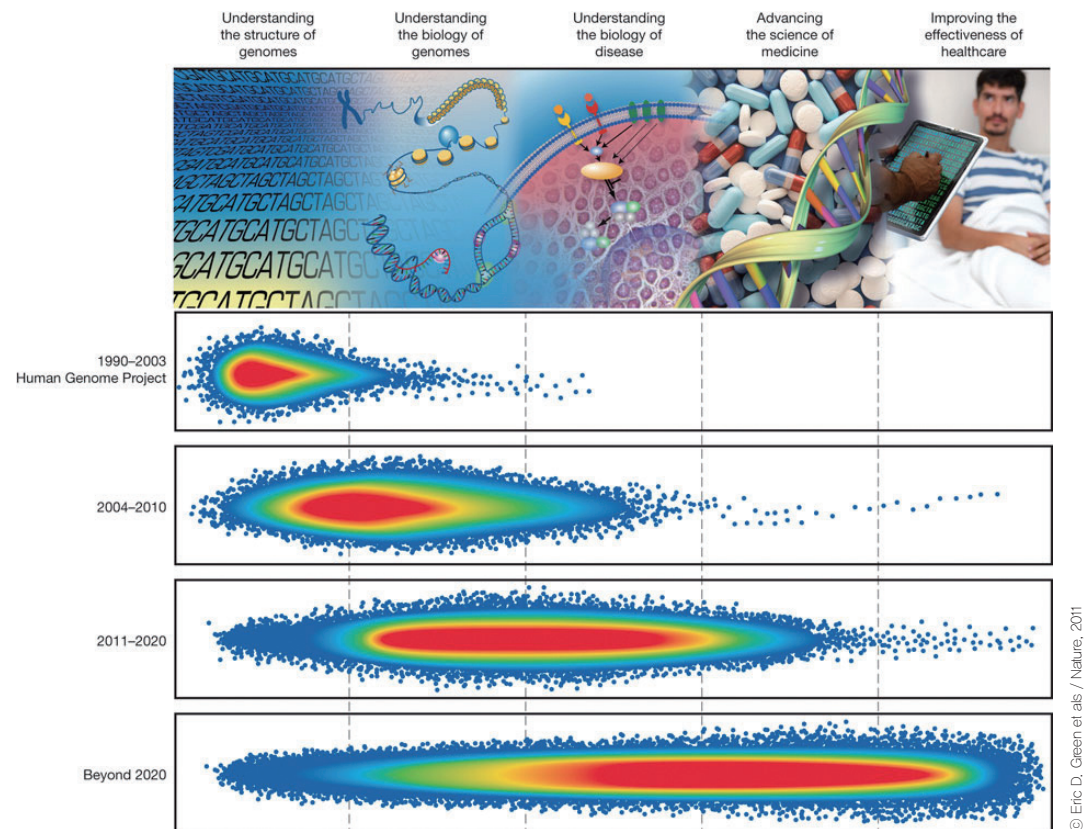
유전체(genome)란 유전자(gene)와 염색체(chromosome)의 합성어로 DNA 전체를 아우르는 단어. 상염색체 22쌍과 성염색체 한 쌍으로 이뤄진 인간 유전체에는 총 30억 개의 염기쌍이 있다.

“인류는 이제 유전체라는 심오하면서도 새로운 지식을 보유하게 됐습니다. 이는 질병 전반에 대한 진단과 예방 그리고 치료에 혁명을 일으킬 것으로 기대합니다.”

2000년 6월 26일 빌 클린턴 전 미국대통령은 인간 유전체 지도의 초안이 완성된 것을 축하하며 이같이 말했다. 이듬해 2월 15일 규격 초안이 <네이처(Nature)>지에 실리고, 2003년 4월 14일 최종 인간 유전체 지도가 발표되면서 인간 유전체 사업(인간 게놈 프로젝트)은 공식적으로 종료됐다.

인간 유전체 사업 14년, 그 다음은?

인간 유전체 사업은 인간의 유전체를 구성하는 30억 개의 염기쌍에 대한 서열을 규



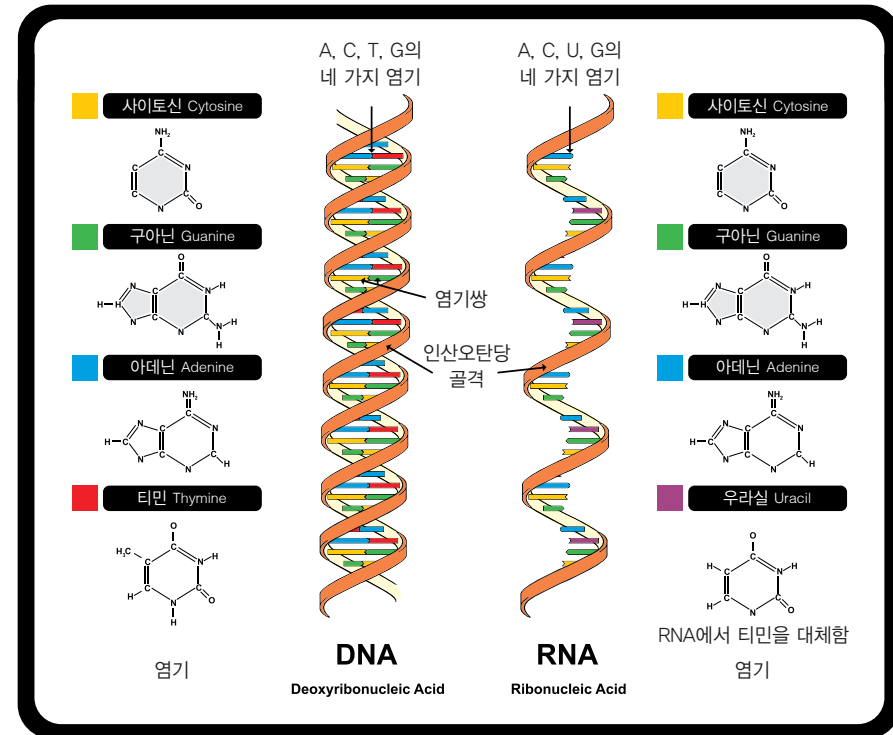
향후 유전학 발전상에 대한 예측. 인간 유전체 사업 10주년을 맞이하여 발표됐다. 인간 유전체 사업은 궁극적으로 의료기술 전반을 발전시킬 것으로 기대된다.

명하기 위해 시작된 것으로 15년간 30억 달러(약 3조 1,200억 원)라는 천문학적 비용이 투입됐다. 인간 유전체 지도가 완성되자 이를 토대로 포스트 유전체 연구를 진행하면 생명현상을 더 근본적으로 이해할 수 있을 것이라는 기대가 컸다. 또 누구나 자신의 유전체 정보를 알고 이에 따른 맞춤의료도 10년 내에 가능할 거란 전망도 있었다.

유전체 정보 활용이 대중화하려면 유전체 염기서열 분석에 드는 비용과 시간이 줄고, 진단과 임상적 판단 근거로 활용할 수 있을 만큼 유전자에 대한 명확한 지식이 축적돼야 한다. 이 때문에 인간 유전체 사업 종료 후 유전체 염기서열에 대한 초고속 저

DNA와 RNA의 구조

유전정보의 핵심은 네 가지 염기로 아데닌(A)과 티민(T), 사이토신(C)과 구아닌(G)은 각각 수소결합으로 염기쌍(base-pair)을 이루어 DNA 이중나선 구조를 형성한다. RNA는 DNA의 염기 중 티민이 우라실로 대체된다.



비용 분석기술 개발, 질병과 관련 있는 유전자 변이관련 데이터베이스 구축 및 고성능 검지기술 개발, 암 유전체 지도 구축 등 후속 연구 사업이 현재까지 계속 진행되고 있다.

하지만 클린턴 대통령의 축하에서 드러난 기대와 달리, 인간 유전체 지도 초안 완성 10주년을 맞아 <네이처> 2010년 4월 특집호에서는 지난 10년은 기술 발전을 바탕으로 생명의 복잡성을 재발견하는 기간이었으며, 맞춤의료가 실현되려면 10년 정도의 시간이 더 필요할 것이라 전망했다.

다시 4년의 시간이 흐른 지금, 2010년 <네이처>의 전망은 실현될 수 있을까? 그리고 유전체 정보 활용을 대중화하기 위한 염기서열 분석기술은 어느 수준까지 발전해 왔을까?

DNA 분석법의 발전속도, 무어의 법칙보다 빨라

인체에는 약 100조 개의 세포가 있고 각 세포의 핵은 총 46개의 염색체로 이뤄져 있으며, 각 염색체는 DNA 이중나선이 다시 나선형으로 꼬여서 뭉쳐 이루어진다. DNA에서 단백질을 만드는 데 관여하는 부분을 유전자(gene)라고 하는데, 3종의 염기가 연결된 순서 또는 서열에 따라 우리 몸에서 어떠한 단백질이 생성될지 결정된다. 예를 들어 염기서열 TTC GAT와 TTC GCT는 아주 미묘한 차이지만, 백인과 흑인의 피부색을 결정짓는 단백질 생성에 관여할 정도의 큰 차이를 만들 수도 있다. 이뿐만 아니라 DNA는 섭취한 음식물이나 몸속에 침투한 병원균에 어떻게 반응할지도 지시하며 노화에도 영향을 미친다.

인간 유전체 사업에 사용됐던 1세대 염기서열 분석기술은 생어(Frederick Sanger)의 디디옥시뉴클레오타이드(dideoxynucleotide)를 이용한 '사슬종결법'과 자동화된 전기영동 기술을 접목한 방법이었다.

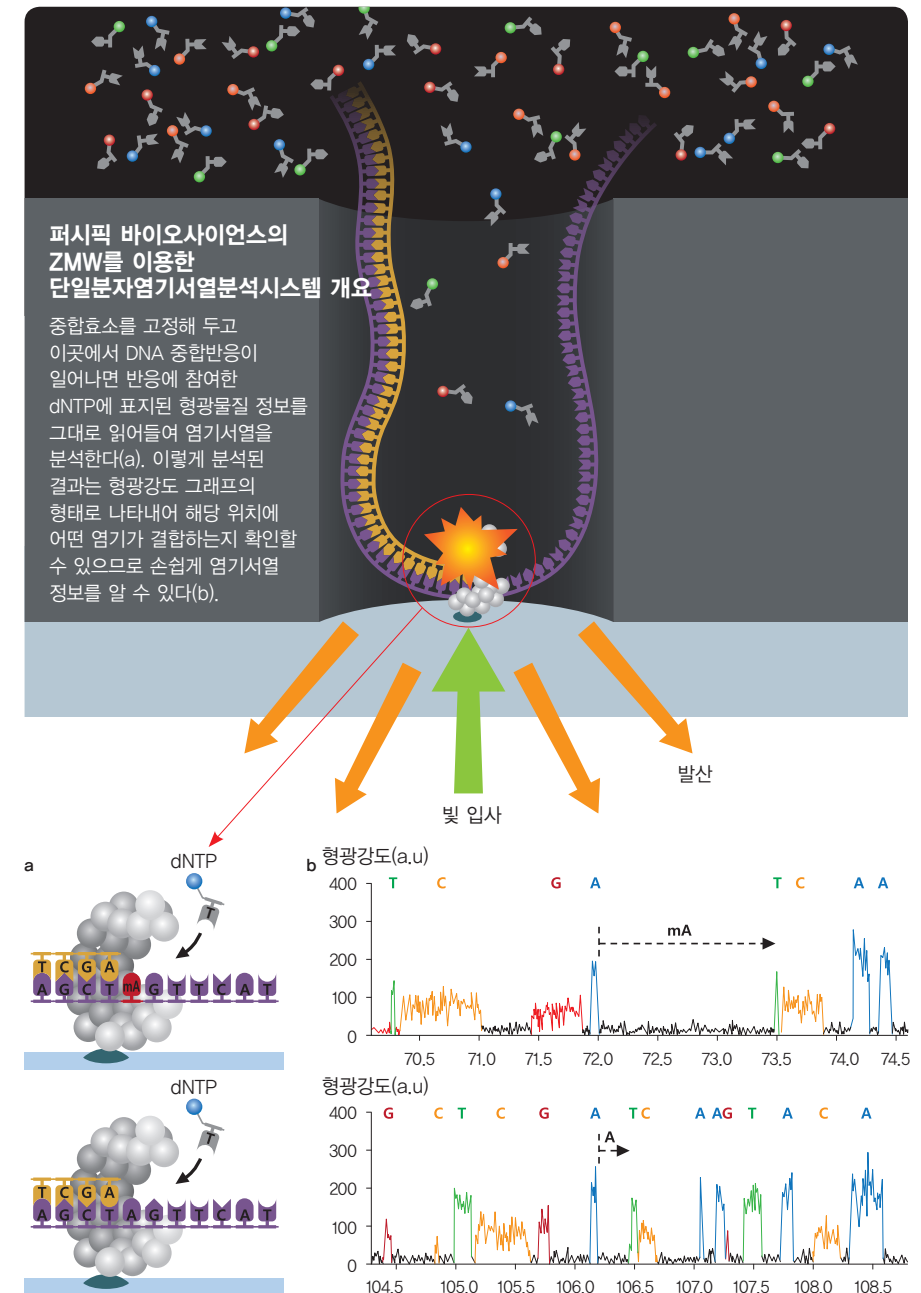
인간 유전체 사업 이후 10년간, 염기서열 분석기술은 강력한 생물정보학(bioinformatics) 기술과 결합해 비약적인 발전을 이뤘다. 새롭게 등장한 이 기술은 '차세대 염기서열 분석기술', 또는 '대량 병렬 염기서열 분석기술'로 불리는데, 생어 방법과 달리 대량의 독립적인 DNA 절편에 대한 염기서열 분석을 병렬로 처리하기 때문

에 데이터 처리량을 급격히 늘릴 수 있다. 이러한 2세대 염기서열 분석기술들은 현재 염기서열 분석시장을 장악하고 있으며, 인간 유전체 분석비용을 6000달러(약 630만원) 수준으로 낮추는 데 크게 기여했다.

2세대 기술은 중합효소 연쇄반응(PCR)을 이용해 주어진 DNA 주형의 덩어리를 만들고, 덩어리 안에 있는 주형에 염기가 한 개씩 더해질 때 발생하는 신호를 기록해 서열을 분석한다. 1세대 기술에서는 DNA 조각을 증폭하기 위해 박테리아 속에 넣어 복제하는 과정을 거쳐야 했다. 각 조각을 복제하고 추출하여 분리하는 데는 2~3주의 시간이 소요됐다. 반면 2세대 기술에서는 각 조각에 대한 PCR을 제한된 독립공간에서 수행해 추출하거나 분리하는 과정이 필요 없다.

2세대와 1세대 기술을 구분 짓는 또 다른 기준은 바로 대량 병렬 염기서열 분석 기술이다. 2세대 분석 장비들은 DNA에서 나오는 형광신호를 대량으로 병렬 처리할 수 있다. 최근 시장에 출시된 제품 중에는 센서용 반도체 칩을 여럿 사용하여 염기가 DNA 주형에 더해질 때 발생하는 수소이온을 직접 측정한다.

NGS 기술이 도입되면서 단 한 번의 분석으로 인간유전체 30억 개의 염기쌍을 처리할 수 있는 수준에 이르렀다. 유전체 염기서열 분석 비용은 2001년에 1억 달러(약 1050억 원)에 달했지만 2012년 5000달러(약 520만 원) 후반대로 급격히 감소한 뒤로 이 수준을 유지하고 있다. 2020년에 맞춤의료를 실현하려면 유전체 염기서열 분석비용이 1000달러(약 105 원)만 이하로 내려가야 한다.



합성과 동시에 읽어들이는 3세대 기술

염기서열 분석기술의 진보에서 '3세대'의 의미는 '단일분자 염기서열 분석'에 있다. 이는 말 그대로 핵산의 염기서열을 증폭하는 과정 없이 단일분자 수준에서 분석하는 것이다. 단일분자 염기서열 분석기술은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 단일 DNA 분자에 대한 단일증합효소의 반응을 이용하는 염기서열분석기술과 단일 DNA 분자가 나노구멍(nanopore)을 통과할 때 개개의 염기를 분석하는 기술이다.

이론적으로 단일분자 염기서열 분석은 DNA를 조각내지 않아도 되고, 2세대 기술이 안고 있는 단점들을 효과적으로 극복할 수 있다. 게다가 화학적, 생물학적 처리를 별도로 거치지 않아 한 시간 이내에 염기서열 분석을 마치는 것도 가능하다.

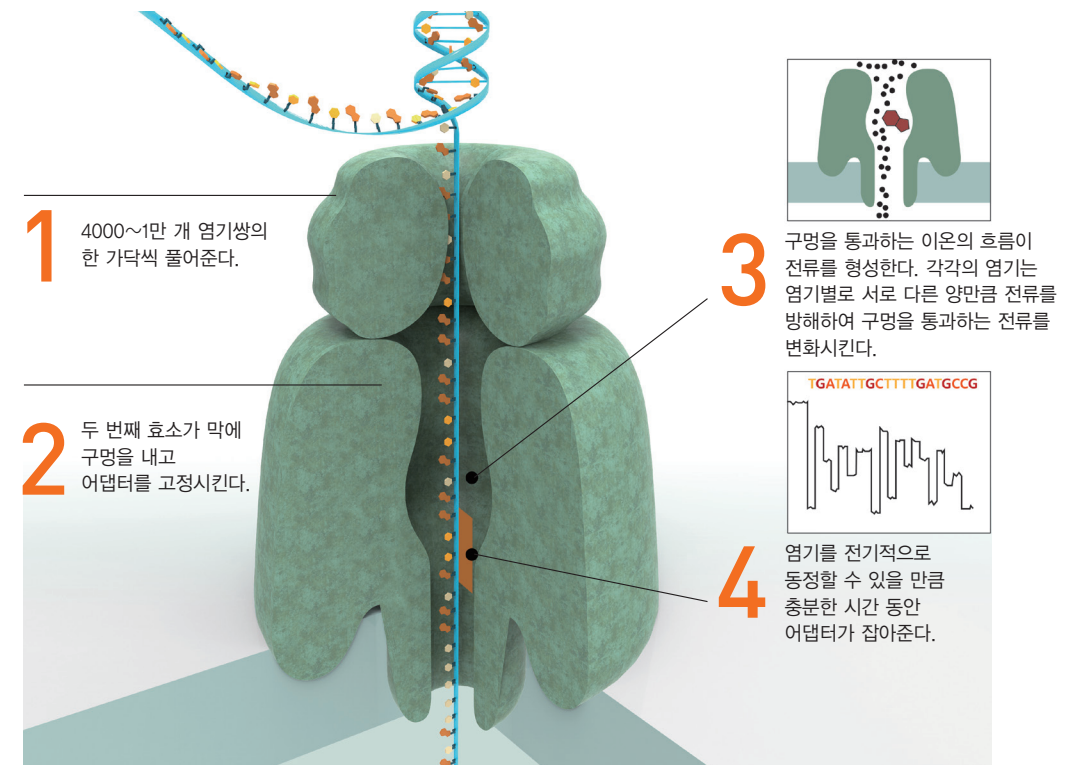
현재 단일분자 염기서열 분석기술을 적용한 분석기기는 몇 가지가 나와 있지만 3세대 기술까지 적용된 것은 거의 없다. 3세대 기술이 적용된 신제품은 긴 유전정보도 아주 짧은 시간 안에 분석해낼 수 있어 기대를 모으고 있다.

유전자 분석의 새로운 지평, 나노포어

지금까지 언급한 염기서열 분석기술들은 개개의 염기를 구분하기 위해 염기나 증합효소, DNA 상에 특정방식의 표지가 필요하다. 하지만 나노포어 염기서열 분석기술에서는 DNA를 구성하는 4종류의 염기들이 가진 전기적·화학적 물리량에 근거해 염기를 분석하기 때문에 표지가 필요 없으며 최소한의 샘플 준비단계를 거쳐 매우 긴 DNA를 분석할 수 있다. 이와 같이 프로세스가 간소해지고 분석 길이가 길어지면서

옥스퍼드 나노포어시스템 개요

염기의 분자구조에 따라 이온의 흐름을 방해하는 정도가 다르다는 점을 이용한 것이다.



분석 비용 또한 줄일 수 있다.

최근에는 세포막의 단백질을 이용하여 DNA를 분석하는 제품도 나왔다. 2012년에 이 방법을 이용하여 바이러스의 유전자를 분석하는 데 성공하여 실제 상용화를 눈앞에 두고 있다.

새로운 기술적 방법, 새로운 시약과 기기의 개발은 염기처리량을 늘리고 염기서열 분석 비용을 줄이는 데 기여했다. 하지만 기술적 발전과 함께 생물학적 복잡성에 대한 이해도 확대되면서 앞으로는 더 많은 데이터 처리량, 저렴한 비용, 높은 정확도와 민감도 측면에서 4세대, 5세대 기술이 요구될 것으로 예상된다.



06 깨끗한 물, 그 이상을 위한 환경 나노기술

이승학(물자원순환연구단) seunglee@kist.re.kr

지구온난화로 인한 기후변화는 지구 전체 수자원 분포에 심각한 불균형을 초래하고 있다. 한쪽에서는 홍수로 물이 넘쳐나는데 반대편에서는 심각한 가뭄으로 마실 물조차 부족한 상황이다. 수자원이 풍부한 국가에서도 국민이 사용할 수 있는 깨끗한 물을 안정적으로 확보하는 문제는 중요하며, ‘물 안보’라는 신조어에서도 드러나듯이 국가의 최우선 해결 과제로 인식하고 있다. 특히 인구 증가와 도시화, 생활수준의 향상에 따라 물 수요는 양이 아닌 질의 문제로 급격히 변하고 있다. 이러한 요구는 마실 수 있는 음용수나 생활에 쓰이는 생활용수를 생산하는 수처리 시설의 중요도와 함께 수처리 기술 수준을 크게 향상시켰다.

과거에는 수처리 기술 개발의 목표가 물속에 존재하는 오염 물질을 더 빨리 제거하고 단일 공정으로 여러 오염물질을 한꺼번에 처리해 공정을 간소화하는 등 처리 효율을 높이는 데 집중됐다. 하지만 물의 질을 높이기 위한 사회적 요구에 따라 수처리 시설 역시 사회 기반 시설로서 기능하는 현재는 기술 개발의 목표 역시 새로운 방향을 잡을 수밖에 없다. 예를 들어 최근 대규모 정전사태로 불거진 에너지 위기 상황은 에너지 소비를 최소화한 수처리 기술 개발을 이끌고 있다. 운전 유지비용을 최소한으로 줄여 어떤 극한 조건에서도 운영할 수 있는 시설을 개발하는 것 역시 목표 전환의 예시라 할 수 있다.

이런 상황에서 수처리의 대표 주자로 떠오른 것이 환경나노소재다. 환경나노소재는 환경 기술 분야에 적용할 것을 목적으로 개발된 나노물질들을 말한다. 연구 초기 단계인

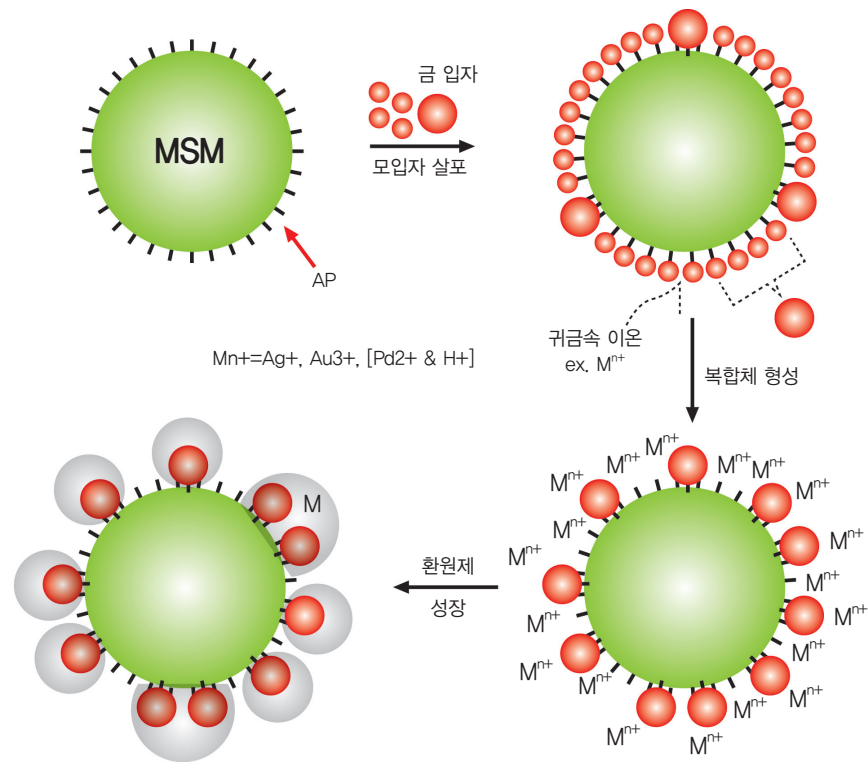


서울시 독섬의 아리수정수센터. 안전한 수자원 확보가 중요한 이슈로 부각되면서 수처리 기술 연구도 활발해지고 있다.

1990년대 후반 ~ 2000년대 초반부터 환경나노소재는 매우 넓은 비표면적(단위 무게 당 총 표면적)과 이로 인한 빠른 오염물질 제거 속도로 주목받았다. 비슷한 크기의 다른 물질보다 훨씬 뛰어난 오염물질과의 제거 반응성 역시 환경나노소재가 손꼽히는 이유다. 단 나노물질이 2차 오염원이 될 수 있기 때문에 사용된 나노물질을 제대로 회수할 수 있는 공정 기술 개발이 뒤따르지 않으면 실용화가 어렵다는 점이 걸림돌이다.

더러운 물을 깨끗하게만 하는 수처리 기술은 옛말

탄소 풀러린 연구로 1996년 노벨 화학상을 수상한 미국 라이스대의 고 리처드 스몰리 교수는 나노기술의 대표적 옹호론자기도 했다. 그는 현재 인류가 겪고 있는 대부분의 심각한 문제를 나노기술을 통해 해결할 수 있는 세상이 오리라 예견한 바 있다. 환



KIST에서 개발한 귀금속 나노 촉매의 자성 표면에 나노 입자가 고정되는 메커니즘을 보여주는 모식도.

경나노소재를 기반으로 한 수처리 기술은 그의 예견을 현실화할 수 있는 무대라고 해도 과언이 아니다. 수중 오염물질 제거라는 근본적인 목표를 넘어 여러 현실적 문제를 동시에 해결할 수 있는 기술로 패러다임이 이동하고 있는 것이다. 특히 주목해야 할 기술은 에너지 자립형 수처리 기술, 오염물질 타깃형 수처리 기술, 자가 유지 보수형 수처리 기술의 세 가지다.

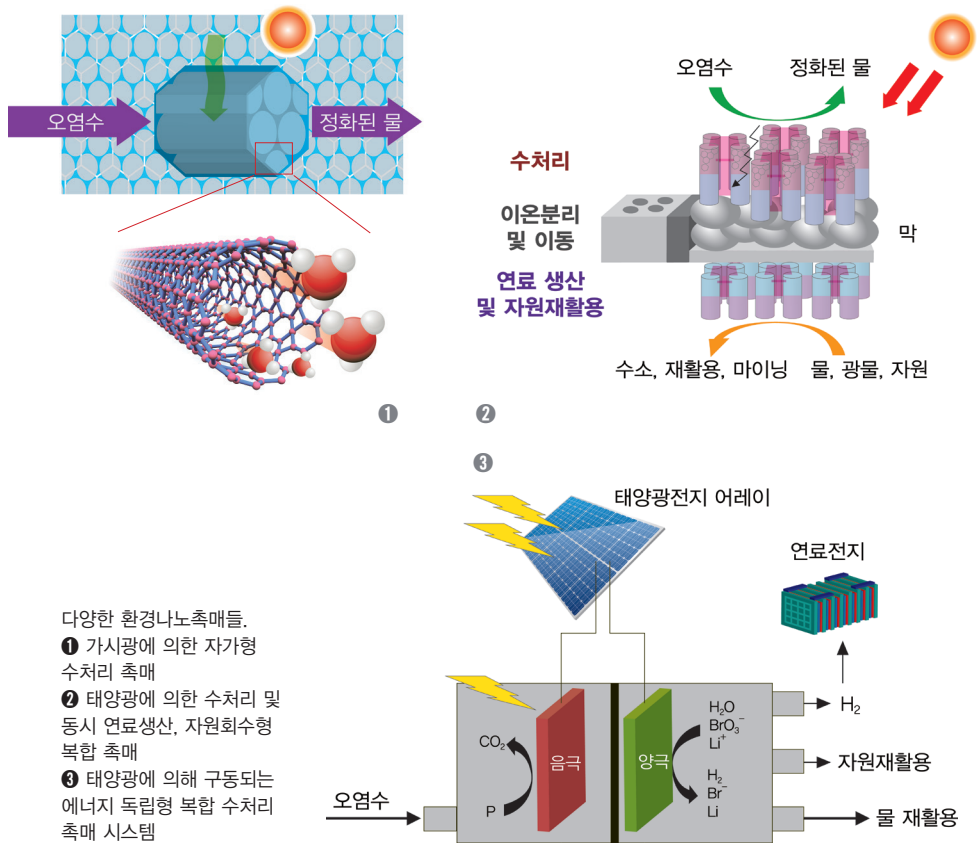
에너지 고갈은 전 인류가 직면하고 있는 가장 심각한 문제다. 수처리 기술 역시 이 문제로부터 자유로울 수 없다. 현재 국내 수처리 시설이 소비하고 있는 전력은 연간 총 전력사용량의 0.5%로 결코 적은 양이 아니다. 에너지를 효율적으로 운용하는 방안

으로서 에너지 자립형 수처리 기술이 등장한 이유다. 이를 위해 빛을 받으면 오염물질을 분해하는 ‘활성 산소종(Reactive oxygen species)’을 만들어 내는 광촉매를 이용해 수처리 공정을 구성하고, 태양전지를 주요 동력원으로 활용하는 전기 분해 장치를 시스템에 넣는 기술이 개발되고 있다. 단순히 오염물질을 제거할 뿐 아니라 시스템을 운용하며 ‘수소’라는 차세대 에너지원을 동시에 생산하는 방법도 연구 중이다.

오염물질 타깃형 수처리 기술은 오염 물질과 비 오염 물질이 섞여 있는 상황에서 특정 오염 물질만을 선택적으로 제거, 처리할 수 있는 기술이다. 반응 물질이 물속에 존재하는 여러 물질과 무작위적인 반응을 일으켜 효율이 급격하게 떨어지는 것을 막고, 이를 통해 반응 물질의 수명을 연장하려는 의도에서 제안됐다. 반응 물질 표면에 특정 오염 물질만이 통과할 수 있는 분자 크기 격자를 짜거나 특정 오염 물질의 분자 형상을 입력해 선택적인 흡착, 분해가 가능하도록 한 나노 구조 재료 합성 기술이 대표적인 예다.

이 기술은 최근 사회적 문제가 되고 있는 미량 의약품질(Pharmaceutical)이나 환경 호르몬 같은 내분비계 교란물질(Endocrine disrupting compounds) 등을 효과적으로 선택해 제거할 수 있는 수단으로도 관심을 모으고 있다.

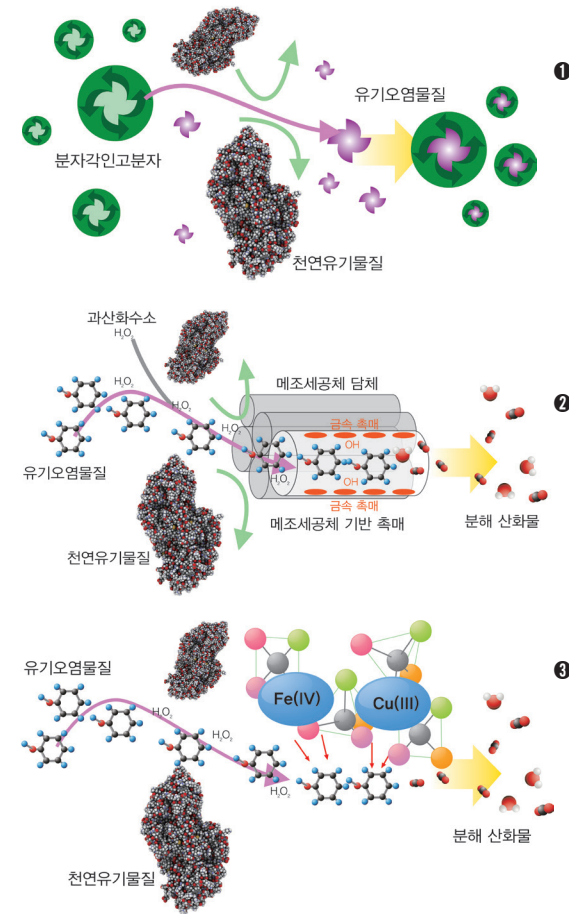
자가 유지 보수형 수처리 기술은 수처리 공정의 유지보수 비용뿐 아니라 필요성까지 최소한으로 줄이는 기술을 의미한다. 전체 공정 비용을 줄이는 한편, 시스템 관리가 용이하지 않은 오지 및 저개발 국가에서도 손쉽게 설비를 운용할 수 있도록 고안됐다. 시스템의 파손 부위가 스스로 재결성, 치유되는 기술과 함께 유기물이 가라앉아 기기에 달라붙는 현상을 막는 성분을 나노 구조화한 뒤 기존 재료에 얇게 덮어 소재의 내구성을 높이는 기술을 포함하고 있다.



양날 검 나노, 어느 쪽을 휘두를까?

환경나노소재 기술의 미래가 마냥 장밋빛은 아니다. 일단 비용의 벽이 만만치 않다. 환경나노재료의 합성에 소요되는 비용은 기존 수처리 소재비용보다 수 배에서 최고 수십 배에 달한다. 아무리 비용대비 효율이 좋은 환경나노재료라 하더라도, 현장에 적용하는 과정에서 비용 측면의 거부감이 발생할 수 있다. 합성 비용의 저감을 위해서는 환경나노재료의 안정적 대량생산을 위한 기술 혁신이 필요하다.

나노물질 자체를 수처리 공정에 그대로 적용할 경우, 처리수로부터 나노물질을 분리하는 별도 추가 공정이 필요하다는 점도 걸림돌이다. 나노물질을 지지체에 고정해



오염물질 타깃형 수처리 소재 개념도

- 1 분자각인 고분자 적용 수처리 소재
- 2 메조세공체 담체를 활용한 고도산화 촉매
- 3 선택적 산화제 생성 고도산화촉매

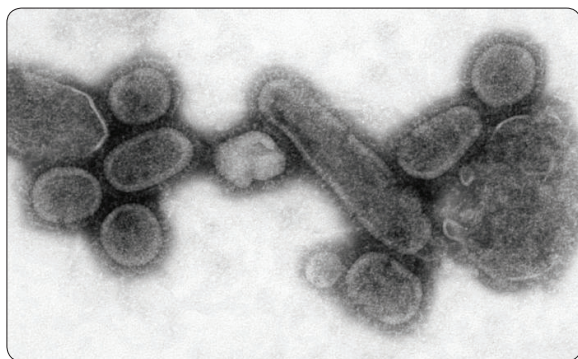
활용하는 방법이 대안으로 제시되고 있지만, 소재 합성이 번거로울 뿐 아니라 나노물질의 반응성 저하를 감수해야 하는 문제가 있다.

무엇보다 가장 중요하고 위험한 문제는 환경나노소재에 포함된 나노물질이 사용과정 중 자연계로 누출되어 2차 환경오염을 유발할 수 있다는 점이다. 제품 내 포함된 나노물질의 환경노출은 생태계를 교란할 수 있고, 생태축적을 통해 인체에도 축적돼 새로운 문제를 일으킬 수도 있다. 나노물질을 포함하는 제품에 대한 'EHS(환경, 건강, 안전)'이 가까운 미래에 무역장벽으로 작용될 전망이다. 환경나노물질의 수처리 기술 적용을 위해서는 나노물질의 환경위해성에 대한 체계적 평가가 선행되어야 한다.



07 유해 미생물, 꼼짝 마라!

우경자(나노포토닉스연구센터) kjwoo@kist.re.kr



20세기 초반을 휩쓴 무서운 전염병인 스페인독감을 일으킨 바이러스의 전자현미경 사진.

1918년 세계적으로 수많은 생명을 앗아간 스페인독감, 2002년 사스(중증급성호흡기증후군), 2009년 신종플루, 2013~2014년 조류독감처럼 변종 및 신종 바이러스에 의한 전염성 질환들이 끊임없이 인류를 위협하고 있다. 의학이 발달하고 위생시설이 발전했지만, 교통이 발달하고 도시

생활과 군집생활을 하는 현대인의 특성상 변종 및 신종 바이러스의 출현에 의한 전염병이 발생하면 그 전파속도가 엄청나게 빨라지는 특성이 있다. 그렇지만 대부분의 바이러스 질환은 세균성 질환과 달라서 항생제로 치료되지 않고, 항바이러스제가 알려져 있는 질환 역시 극히 제한적이다. 계절 독감과 같이 미리 그 변종을 예측하여 백신을 개발해 예방하는 경우도 있지만, 2013년 말 나타난 신종플루처럼 기존 백신에 대한 내성이 생겨 새로운 방법으로 숙주를 공격하는 변종 바이러스가 등장하면 손쓸 방법이 없다.

여기서 주목할 것이 은 나노입자로 만든 복합체다. 은 나노입자는 생물에 치명적인 독성이 있다는 이유로 외면 받아 왔지만, 잘 활용하면 수많은 변종 및 신종 유해 미생

물들을 제거하고, 우리의 건강하고 행복한 삶을 지켜줄 수 있는 꿈의 소재이기도 하다. 특히 다양한 미생물에 대한 항균 및 항바이러스 기능이 기타 어떤 물질보다도 탁월하다. 그야말로 다루는 자에 따라 모습을 바꾸는 ‘야누스의 두 얼굴’ 또는 ‘양날의 검’인 셈이다. 은 나노입자를 어떻게 통제하면서 유용하게 사용할 수 있는지를 은 나노입자의 항균 메커니즘과 함께 살펴보자.

야누스의 두 얼굴, 은 나노입자

예로부터 은으로 된 식기류나 생활도구는 독의 유무를 가려내기 위해서 사용되어 왔다. 21세기에 들어서는 나노기술이 발달함에 따라 은 나노입자를 살균제나 항균제로 이용하려는 노력이 지속되고 있다. 그러나 나노입자가 가진 다양한 독성문제가 대두되며 논란이 일기 시작했다. 특히 은 나노입자는 강력한 살균 작용과 더불어 생명체에 대한 강력한 독성을 일으키는 탓에 사용이 까다롭다.

은 나노입자는 나노입자 자체가 가진 독성이 가장 즉각적일 뿐만 아니라 방출하는 이온과 활성산소 역시 독성을 나타낸다. 은 나노입자는 기본적으로 박테리아 표면에 부착되어 구멍을 만들며 살균 능력을 발휘하는데, 이 과정에서 이온이나 활성산소와 함께 세포막에 축적되거나 세포 안으로 들어가 단백질이나 DNA 등에 변화를 일으킨다. 결국 세포에 직접적인 해를 입히는 것이다. 은 나노입자의 강한 독성 때문에 EU 국가들은 규제 대상 물질로 지정했을 정도다.

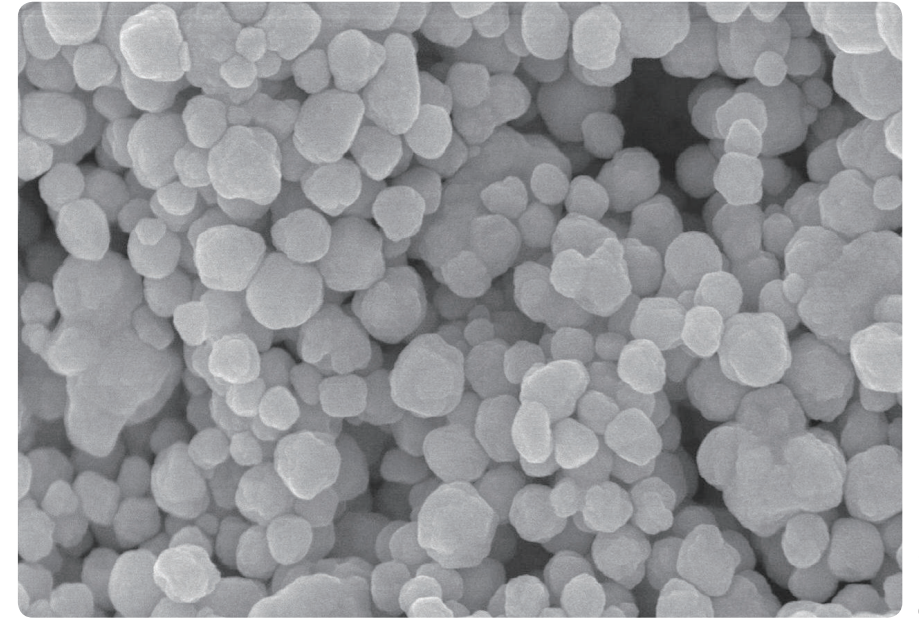
이런 독성은 은 나노입자의 표면이 노출되는 순간 발휘된다. 또 나노입자의 표면이



2002년 말부터 2003년 여름까지 전 세계적으로 유행한 사스(SARS)는 대규모 전염병에 대한 공포를 일깨웠다. 당시 언론들은 사스를 제2의 스페인독감이라 할 수도 있다며 경고했지만, 다행히 큰 피해 없이 지나갔다. 그러나 슈퍼박테리아나 변종 및 신종 바이러스의 출현, 심화되는 도시화 등 여러 악조건을 고려하면 대규모 전염병의 발병 가능성은 상존한다.

노출되면 높은 표면에너지로 인해 입자들끼리 뭉쳐서 마구잡이 크기와 모양으로 변하며 나노입자의 특성을 잃어버리기도 한다. 이 때문에 일반적으로 나노입자 제품은 입자 표면을 유기물 리간드나 폴리머로 보호해 물에 분산한 용액 또는 분말 상태로 판매하고 있다. 물론 최종 소비자가 마트 등지에서 편하게 구입하는 제품이 아니라 연구용이나 생활용품 등의 제조에 쓰이는 기초물질들이다.

또 다른 문제는 은 나노입자를 사용한 후에 100% 회수할 수 없기 때문에 환경으로 유출돼 2차 피해를 일으킨다는 점이다. 입자의 크기가 작을수록 미생물이나 환경에 미치는 독성이 더 심하다고 알려져 있으며, 회수하기도 그만큼 더 어려워진다. 따라서 최근에는 은 나노입자를 복합체로 만들고 입자표면을 노출시켜 나노 특성을 활용하면서도 회수가 용이한 소재로 만들어 쓰려는 노력이 진행되고 있다. 예를 들면 약 10nm 크기의 은 나노입자를 여과막에 코팅해 미생물로 오염된 물을 정화하는 방법이



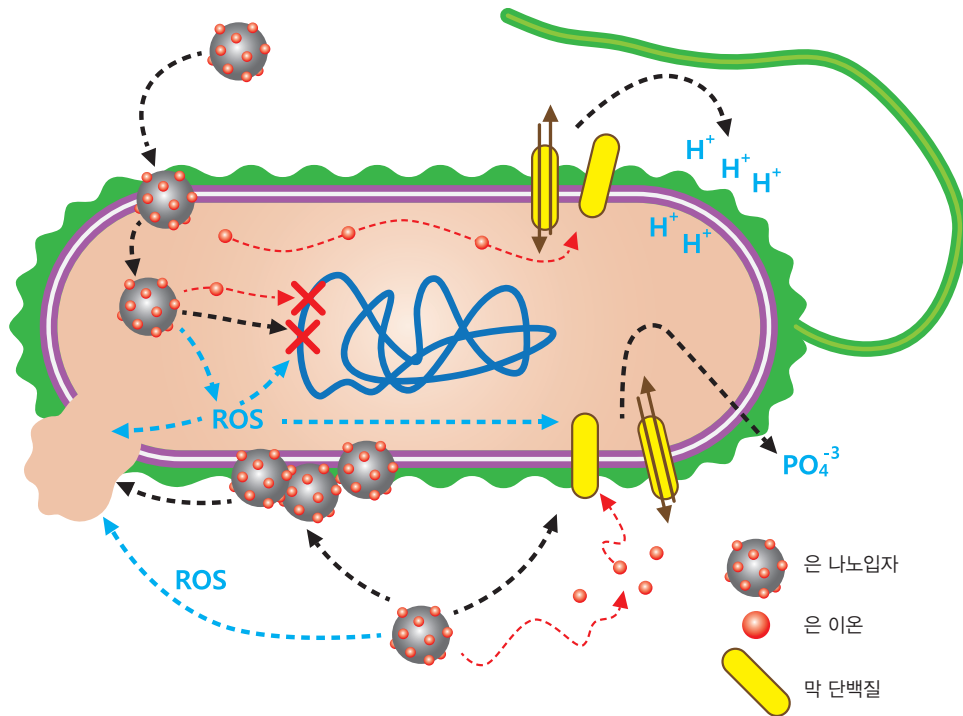
은 나노입자는 강력한 살균력을 지녔지만 인간에게도 위험하여 다루기 까다롭다. 이 때문에 유해미생물 제거에 탁월한 효과를 보이면서도 실용화하기는 어려운 편이다. 사진은 은 나노입자의 주사전자현미경 사진.

있다. 그러나 이 방법은 사용 후에 코팅된 은 나노입자의 일부(10%가량)가 유실되어 환경으로 배출되는 문제를 여전히 안고 있다.

2012년 12월에는 자성 나노입자 부분과 실리카 부분으로 이루어진 야누스 나노막대를 만들고, 이 막대의 실리카 부분에 직경 4nm 이하의 은 나노입자를 흡착시켜서 만든 은 나노복합체 소재가 보고된 바 있다. 이 소재로 박테리아 오염수를 처리했을 때 시간에 따라 박테리아 증식이 줄어들었을 뿐만 아니라 자성을 이용해 남은 복합체를 전량 회수할 수도 있었다. 그러나 이 문헌에 소개된 은 나노입자는 실리카 표면에 물리적으로 붙인 것이라 분리되어 환경으로 유출되는 위험을 없애지는 못했다. 또 4nm 크기의 나노입자 한 가지에만 국한하여 실험했기 때문에, 많은 수의 은 나노입자가 결합되어 있는 복합체의 경우에도 이를 구성하는 은 나노입자의 크기가 작을수록 독성이 심한지에 대한 연구 보고는 없는 상황이었다.

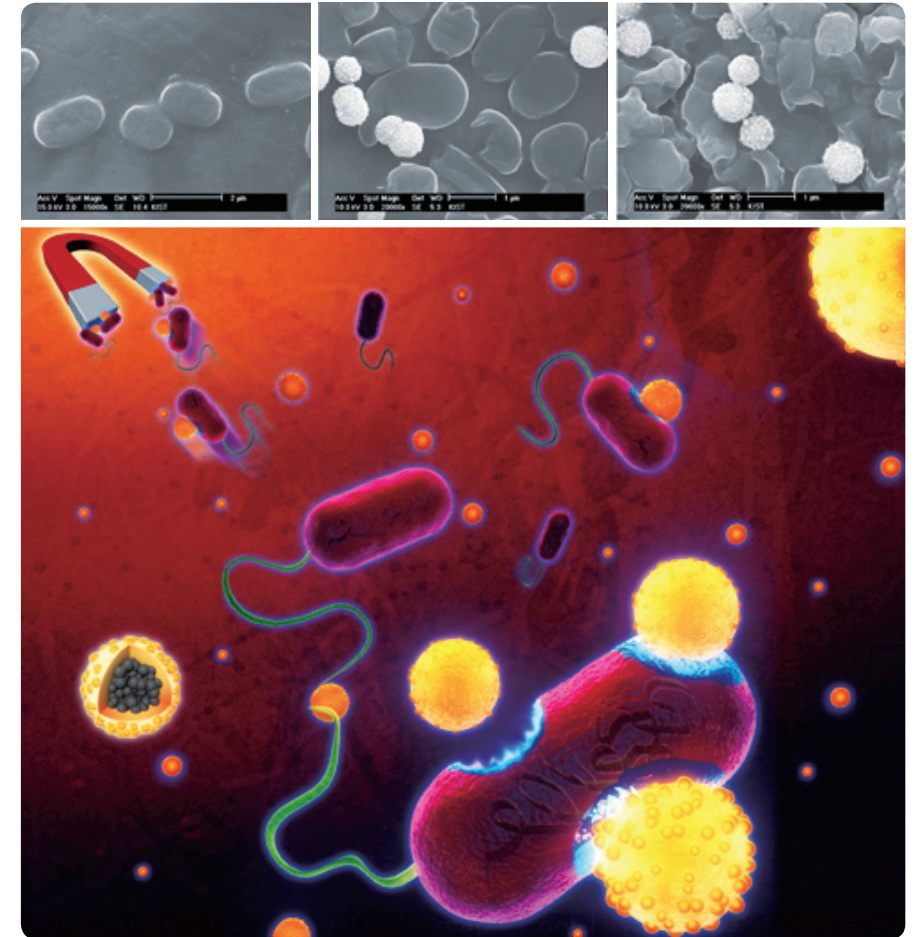
은 나노입자가 세포독성을 나타내는 메커니즘

은 나노입자는 세포막에 축적되거나 직접 세포질 속으로 들어가서 은 이온을 세포질 내에 방출한다. 은 이온은 DNA에 직접 작용하여 유전정보를 교란시켜 정상적인 생명활동을 불가능하게 한다. ROS(Reactive Oxygen Species)는 활성산소의 약자다.



유해 미생물의 천적, 관리가 관건

그 뒤를 이어 2013년 6월에 발표된 것이 KIST 연구팀이 개발한 은 나노복합체 소재이다. 연구팀은 은 나노입자를 자성을 갖는 실리카 복합체 표면에 견고하게 고정하는 방법을 고안해 은 나노입자의 효과를 최대로 끌어올리는 동시에 환경 유출 문제를 해결할 수 있도록 했다. 이 은 나노복합체는 접촉하자마자 박테리아를 물어뜯고, 바이러스를 은 나노복합체 표면에 화학적으로 강하게 끌어당겨 박테리아나 바이러스에 오염된 환경을 확실히 정화할 수 있다.

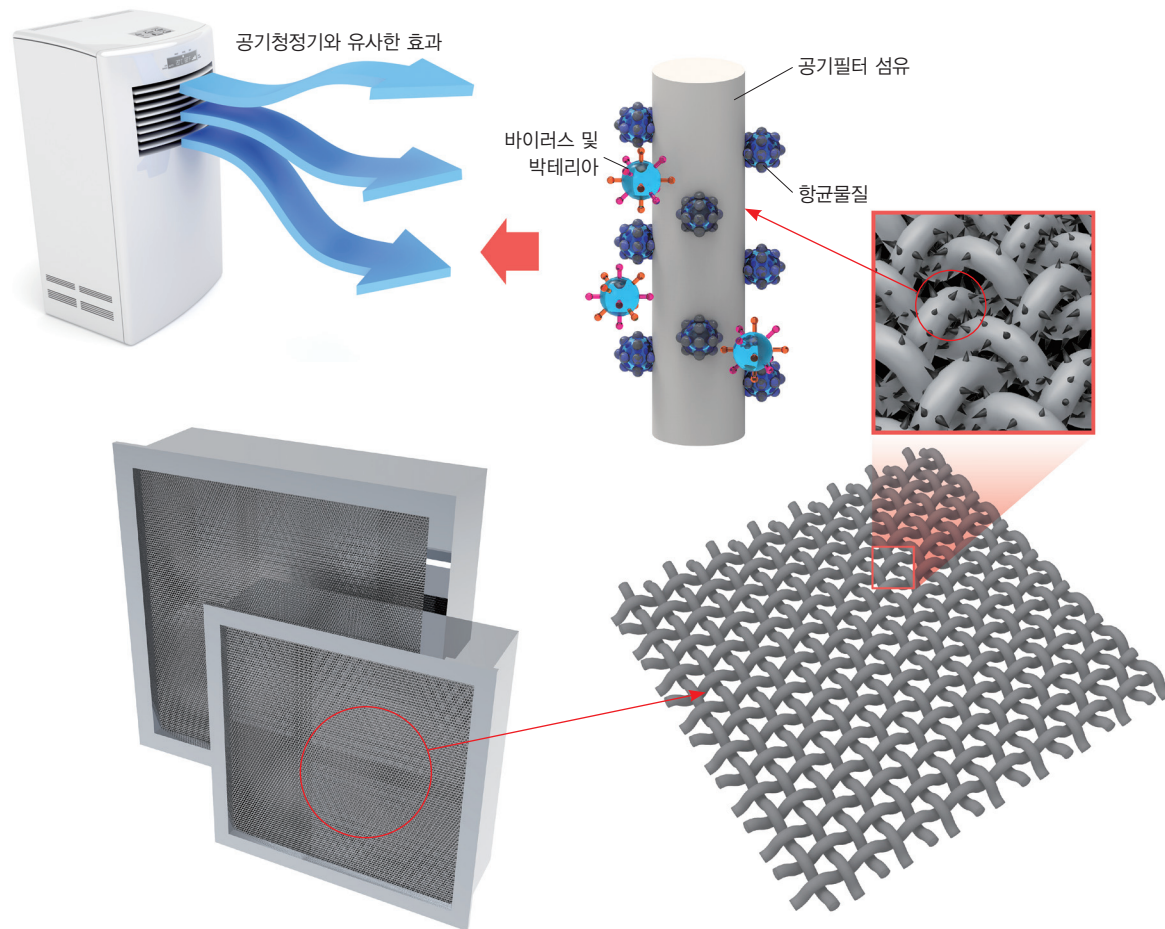


은 나노복합체가 박테리아를 물어뜯는 모양을 보여주는 전자현미경 이미지(위)와 삽화(아래). 위 사진에서 왼쪽은 정상 박테리아, 가운데는 은 나노복합체와 박테리아를 섞은 직후, 오른쪽은 30분이 지났을 때의 모습이다.

은 나노복합체가 박테리아와 바이러스를 없애는 메커니즘은 아이러니하게도 박테리아와 바이러스의 표면 구조에 있다. 박테리아의 세포막을 구성하는 유기물들은 마그네슘과 칼슘 이온이 단단하게 잡아 주고 있다. 그런데 복합체 표면의 은 나노입자들은 이 이온들을 강하게 끌어당겨 없애 버린다. 말 그대로 박테리아 몸이 찢어져 버리는 것이다. 바이러스의 경우 몸체 표면의 사이올(thiol) 기가 은과 강하게 화학 결합

은 나노복합체의 공기청정 효과

건물의 공기정화필터에 은 나노복합체를 코팅하면 별도의 공기청정기를 사용할 필요 없이 유해 미생물을 제거할 수 있다.



하는 것으로 해석되었다. 박테리아와 바이러스의 표면구조는 대부분 이와 같은 구조적 특성을 갖기 때문에 은 나노복합체가 그 효능을 여러 종류의 미생물에 대해 두루 나타낼 것으로 예측된다.

나노입자의 크기 문제도 해결했다. 연구팀이 개발한 은 나노복합체의 효과는 복합체 표면에 결합된 은 나노입자의 크기가 클수록 더 강하고 즉각적이었다. 실험에서는 박테리아는 99.9999%, 바이러스는 99% 이상이 1시간 내에 사라지는 것으로 나타났다. 이렇게 만든 은 나노복합체의 크기는 지금까지 보고된 것 중 가장 크며, 박테리아보다 약간만 작기 때문에 효과가 더욱 즉각적이고 강하게 나타나는 것으로 판단된다.

기존 연구 결과와 마찬가지로 자성을 이용하여 사용한 복합체를 전량 회수할 수 있는 것은 물론이다. 여기에 더해 더 간단한 회수 방법도 찾아냈다. 개발한 은 나노복합체는 크기가 크고 무거운 편이므로 전통적인 원심분리 방법으로 쉽게 회수할 수 있는 것. 이렇게 되면 합성 방법이 훨씬 간단해지고 경제적으로 대량생산까지 할 수 있기 때문에 실용화 가능성이 매우 높아진다.

연구자들은 연세대 공동연구팀 및 기업체와 협력해, 개발한 은 나노복합체를 코팅한 에어필터를 공기정화시스템에 접목하는 연구를 계속 진행하고 있다. 에어필터에 코팅된 은 나노복합체는 거센 바람에도 떨어지지 않을 정도의 견고한 힘으로 필터에 고정되어 있다. 이렇게 만들어진 공기정화필터는 기존의 은 나노입자를 사용하는 경우보다 활용성이나 안전성이 탁월하게 향상될 것이다. 은 나노입자의 새로운 가능성을 여는 순간이다.

01 움직이기만 하면 충전이 된다?

02 플렉서블 디스플레이용 차세대 광원소재기술

03 IT기술로 만드는 최첨단 스포츠 훈련

04 사람이 중심이 되는 차세대 3D 디스플레이

CHAPTER 4

온몸으로 느끼는 스마트한 생활



01 움직이기만 하면 충전이 된다?

강종윤(전자재료연구단) cykang@kist.re.kr

자동차 에어백, 카메라 오토포커싱 장치, 초음파 진단기, 가스레인지의 공통점은? 압력을 가하면 전기가 나오고 전기를 흘리면 진동하는 ‘마법의 돌’ 압전체가 들어 있다는 점이다. 압전체가 일으키는 효과(압전 효과)는 1880년 프랑스의 피에르 퀴리와 자크 퀴리 형제가 발견했다. 전기석에 응력을 가했을 때 표면에 전하가 발생하는 것을 확인했던 것이다.

최근 압전효과는 전기를 발생시킬 수 있는 새로운 기술로 떠오르고 있다. 바로 압전 에너지 하베스팅(Harvesting) 기술이다. 즉, 진동 에너지를 전기 에너지로 변환하여 실 생활에 유용한 에너지를 얻어내는 기술을 말한다.

하지만 이 기술로 발생되는 전력이 실제로 적용하기에는 아직 제한적이고, 주소재인 압전 세라믹스의 깨지기 쉬운 성질을 극복해야 한다. 그래서 압전 세라믹스와 폴리머의 복합소재, 새로운 압전 단결정 소재를 개발해 에너지 하베스팅 분야에 적용하는 노력이 진행 중이다. 또한 환경 문제를 해결할 남 없는 압전 소재의 특성도 크게 향상되고 있다.

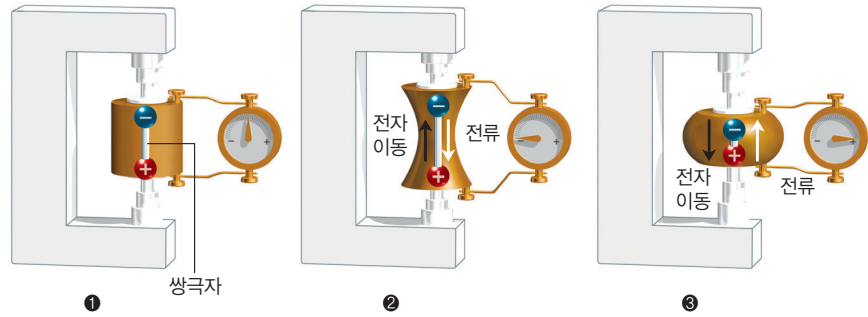
빠른 시일 내에 PZT 세라믹스를 대체할 수 있는 새로운 소재가 등장하고, 기계적 충격이 큰 에너지 하베스팅 기술에 대한 큰 수요가 창출될 것이다. 이에 따라 입고 걷기만 해도 휴대전화나 MP3 플레이어가 충전되는 옷이 등장할 날도 머지않았다.

각종 센서에서 에너지 생산까지 무궁무진한 응용 분야

압전 효과란 비대칭 결정 구조를 갖는 재료에 압력이나 진동 같은 기계적 변형이 가

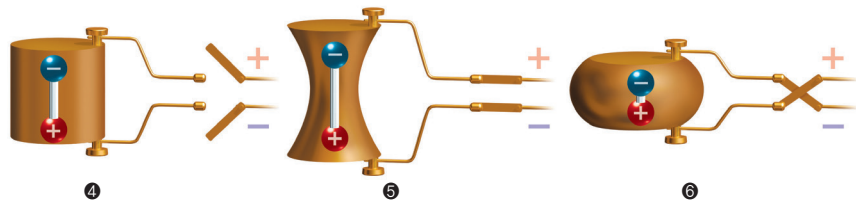


‘딸깍’하면 불이 켜지는 가스레인지의 손잡이. 압전소자가 들어있어 순간적으로 높은 전압을 내어 불을 붙인다.



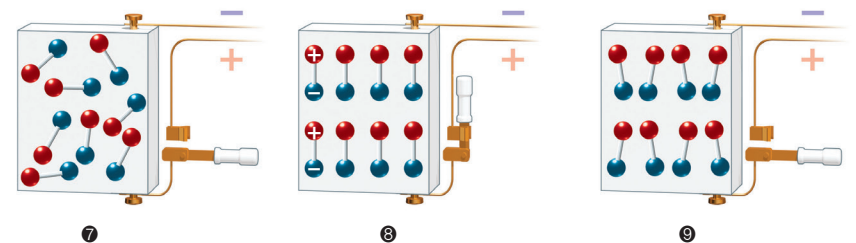
정압전효과

압전체(①)를 잡아당기거나 찌그러뜨리면 전위차가 생기는데, 이 효과를 상쇄시키려고 전자가 움직이고 전기가 발생한다. 잡아당기는 경우(②) 전자가 쌍극자의 양극에서 음극으로 이동하며 전류는 반대로 흐른다. 찌그러뜨리는 경우(③)는 이와 반대로 전류가 흐른다.



역압전효과

압전체에 전기를 흘릴 때(④) 연결에 따라 압전체의 길이가 늘어나거나 줄어든다. 쌍극자의 음극(또는 양극)과 전원의 양극(또는 음극)이 연결되면(⑤) 서로 잡아당겨 압전체가 늘어나는 반면, 쌍극자와 전원의 같은 극이



인공 압전체의 분극 메커니즘

인공 압전체를 만들려면 두께 1mm당 3500V의 높은 전압을 걸어줘 무질서하게 흩어져 있던 쌍극자들(⑦)을 한 방향으로 정렬시킨다(분극, ⑧). 분극 후 전압을 끊으면 쌍극자들이 약간 흐트러진다(⑨).

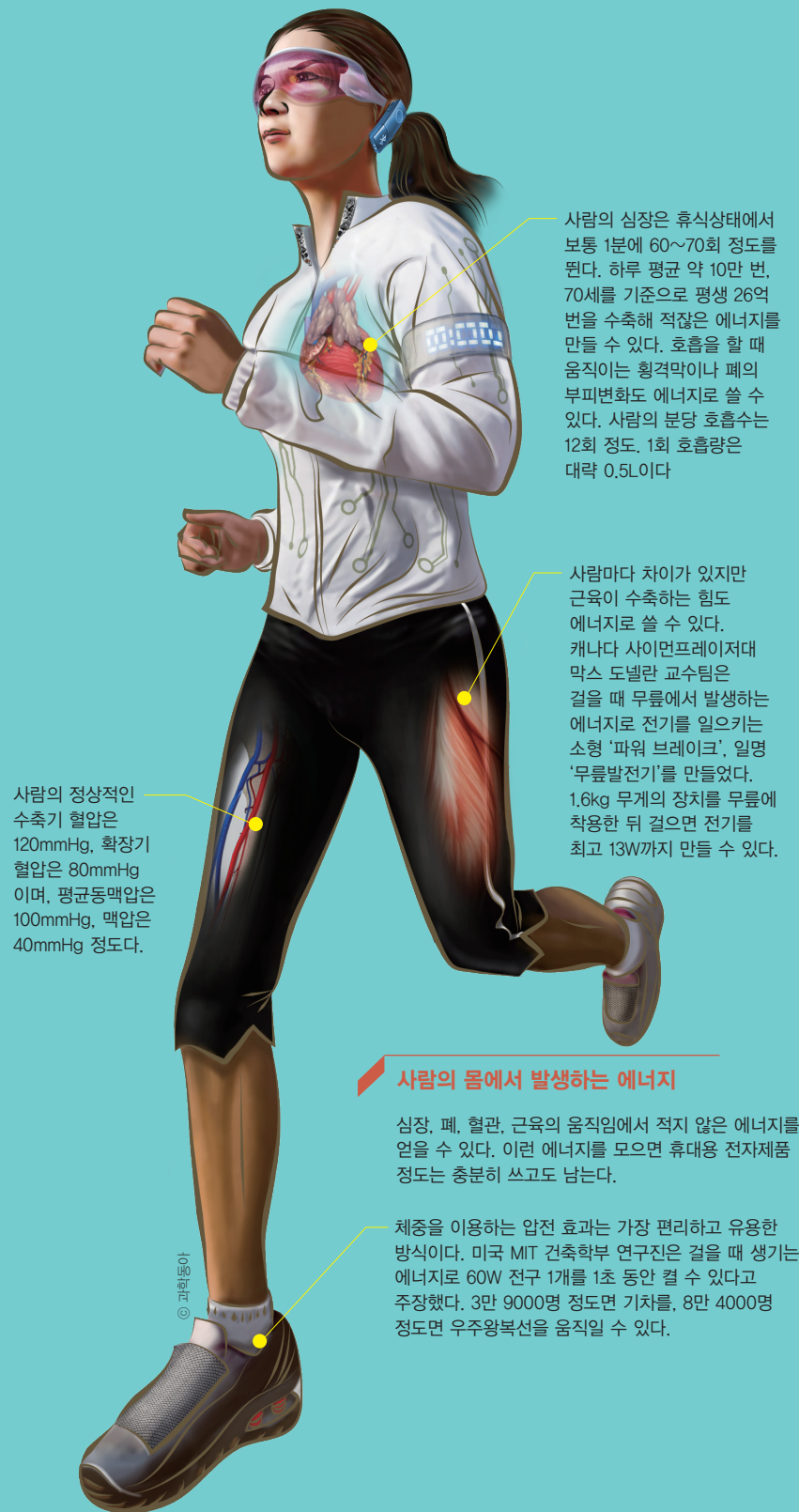
해지면 전기가 발생되고(정압전효과), 반대로 전기가 가해지면 직접적으로 압력이나 진동 같은 기계적 변형이 발생하는 현상(역압전효과)을 통칭하는 것이다.

압전 현상에 대한 연구는 1, 2차 세계 대전을 겪으면서 급속히 발전하게 되었다. 1947년 티탄산바륨 세라믹스에서 압전효과가 발견되자 이를 바탕으로 페로브스카이트(Perovskite) 구조의 특성에 착안하여 활발한 연구가 진행되었다. 그 결과 아주 우수한 압전 특성을 갖는 PZT 세라믹스가 개발되어 현재 항공, 군수, 우주, 해양, 전자 등 산업 전반에 걸쳐 폭넓게 사용되고 있다.

하지만 최근에는 환경 문제에 대한 규제가 심해져 납을 사용하지 않은 압전 세라믹 재료를 개발할 필요성이 높아지고 있다. 또한 PVDF라는 고분자계 소재 또는 나무 소재인 셀룰로오스에서도 압전 현상이 나타나므로 이를 이용한 응용 기술 개발도 활발히 진행되고 있다.

압전 재료의 활용 분야는 음파, 초음파, 전력(에너지)을 발생시키는 분야에서부터 각종 액추에이터 및 센서 분야에 이르기까지 매우 다양하다. 대표적으로 압전 재료는 압전 스피커, 수중 통신 및 탐지를 위한 초음파 소나(Sonar), 의료용 초음파 진단장치 등에 쓰이고 있다.

최근 화석연료의 고갈, 이로 인한 지속적인 에너지 가격 상승, 화석연료의 온실가스 배출로 인한 환경 문제가 제기됨에 따라 신재생 에너지 개발과 에너지 효율 향상에 대한 사람들의 관심이 높아지고 있다. 자동차, 정보통신, 환경 등 산업계 전반에 걸쳐 에너지 효율을 높이고 에너지를 절약하는 기술을 활발히 개발하고 있다. 특히 환경을 해



사람의 심장은 휴식상태에서 보통 1분에 60~70회 정도를 뒀다. 하루 평균 약 10만 번, 70세를 기준으로 평생 26억 번을 수축해 적잖은 에너지를 만들 수 있다. 호흡을 할 때 움직이는 횡격막이나 폐의 부피변화도 에너지로 쓸 수 있다. 사람의 분당 호흡수는 12회 정도, 1회 호흡량은 대략 0.5L이다

사람마다 차이가 있지만 근육이 수축하는 힘도 에너지로 쓸 수 있다. 캐나다 사이먼프레이저대 막스 도널란 교수팀은 걸을 때 무릎에서 발생하는 에너지로 전기를 일으키는 소형 '파워 브레이크', 일명 '무릎발전기'를 만들었다. 1.6kg 무게의 장치를 무릎에 착용한 뒤 걸으면 전기를 최고 13W까지 만들 수 있다.

사람의 정상적인 수축기 혈압은 120mmHg, 확장기 혈압은 80mmHg이며, 평균동맥압은 100mmHg, 맥압은 40mmHg 정도다.

사람의 몸에서 발생하는 에너지

심장, 폐, 혈관, 근육의 움직임에서 적지 않은 에너지를 얻을 수 있다. 이런 에너지를 모으면 휴대용 전자제품 정도는 충분히 쓰고도 남는다.

체중을 이용하는 압전 효과는 가장 편리하고 유용한 방식이다. 미국 MIT 건축학부 연구진은 걸을 때 생기는 에너지로 60W 전구 1개를 1초 동안 켤 수 있다고 주장했다. 3만 9000명 정도면 기차, 8만 4000명 정도면 우주왕복선을 움직일 수 있다.

손하지 않으면서도 안정적으로 공급이 가능한 미래의 새로운 에너지 자원을 개발하기 위해서 다양한 시도가 이루어지고 있다.

이러한 상황에서 다양한 곳에 흩어져 있는 진동에너지를 전기에너지로 바꾸어 전자 제품이나 여러 기기들의 에너지 효율을 향상시키는 연구가 활발하다. 미래지향적으로는 추가적인 에너지 공급 없이 진동에너지를 이용해 독립적으로 구동이 가능하도록 하는 압전 에너지 하베스팅 기술에 대한 연구 개발이 이루어지고 있다.

압전 에너지 하베스팅 기술은 압전 재료를 통해 진동이나 압력을 전기 에너지로 바꿔 실생활에 필요한 에너지를 획득하는 기술이다. 예를 들어 신발 바닥에 압전 장치를 넣으면 사람이 걸어다닐 때마다 전기가 발생해 휴대용 전자기기가 충전될 수 있을 것이다.

한국의 압전 세라믹스, 세계와 겨루다

세계적으로 압전 소재, 압전 소자 및 압전 시스템을 망라해 관련 기술을 개발하려고 노력하고 있다. 압전 세라믹스는 독일의 세람텍(Ceramtec), 미국의 CTS, 일본의 무라타(Murata) 등을 위시하여 많은 업체에서 생산하고 있다. 그럼에도 불구하고 압전 에너지 하베스팅 기술은 발생하는 전력이 실제 적용하기에는 아직도 제한적이다. 특히 압전 세라믹스는 깨지기 쉬운 성질로 인해 기계적 충격이 큰 에너지 하베스팅 기술에 직접적으로 적용되기 어려운 점이 앞으로 극복해야 할 문제점으로 대두되고 있다. 그리고 성능을 획기적으로 개선시킬 수 있을 것으로 기대되는 압전 나노 구조 소재 또는

단결정 소재의 경우 까다로운 공정, 수율 한계, 높은 제조 단가 등에 의해 아직 대량 생산에 적합하지 않은 문제점이 남아 있다.

국내의 경우 1990년대 초반 삼성전기, LG 전자부품(LG 이노텍의 전신) 등이 압전 세라믹스 개발에 참여하였으나 중단하였고, 현재는 경원훼라이트, 동일기연, 아이에스 테크놀로지 등의 중소기업에서 압전 세라믹스를 개발, 생산하고 있다.

경원훼라이트는 KIST의 압전 세라믹스 조성물 특허권을 기술 이전받아 압전 착화소자, 자동차 노킹센서, 가슴기용 초음파 진동자, 초음파 센서 등의 응용 제품을 생산 중에 있다. 동일기연은 적층 압전 변압기 개발에 주력하여 적층 세라믹스 기술력이 우수하다.

단결정 압전 세라믹스의 경우 세라콰와 아이블포토닉스 등에서 생산되고 있다. 특히 세라콰의 경우 독자적인 기술인 고상 단결정성장법에 의해 압전 단결정을 생산함으로써, 제조단가를 낮추고 수율이 높은 제품을 생산 중에 있다. 제품의 단가 및 성능에 있어 세계적 수준에 도달해 있다. 고상 단결정성장법은 고체상태의 다결정 소재 분말 속에 단결정의 결정핵을 넣고 적절한 온도의 열처리를 통해 단결정을 성장시키는 방법이다.

국내 압전 세라믹스의 기술력은 세계 수준에 버금가는데, 특히 학계와 연구계의 연구 성과는 세계적 수준에 도달해 있다. KIST, 한국전기연구원, 한국세라믹기술원 등이 납계 압전 세라믹스 또는 납이 없는 압전 세라믹스에 대한 조성 특허를 확보하고 있다. 최근에는 서울대, 울산대, 고려대 등 학계에서 납이 없는 다양한 압전 세라믹스의

압전효과의 다양한 응용 분야

			
압전 착화기	압전 수중청음기	초음파 발생기	압전 진동자
			
압전 가속도 센서	압전 광변조 소자	압전 스피커	압전 초음파 모터
정압전효과 (기계 → 전기)를 이용한 응용 분야		역압전효과 (전기 → 기계)를 이용한 응용 분야	

	
SAW 필터 듀플렉서	압전 변압기
전기 → 기계 → 전기 변환 효과를 이용한 응용 분야	

조성 및 공정 기술을 개발하여 특허권을 확보 중에 있다. 그러나 국내 업체의 활동 영역은 일부 응용 제품에 적합한 압전 세라믹스 생산에 국한되어 미국, 일본, 독일과 같은 국가의 세계적인 소재업체의 수준에는 미치지 못하는 실정이다.

MIT 선정 미래 10대 유망기술

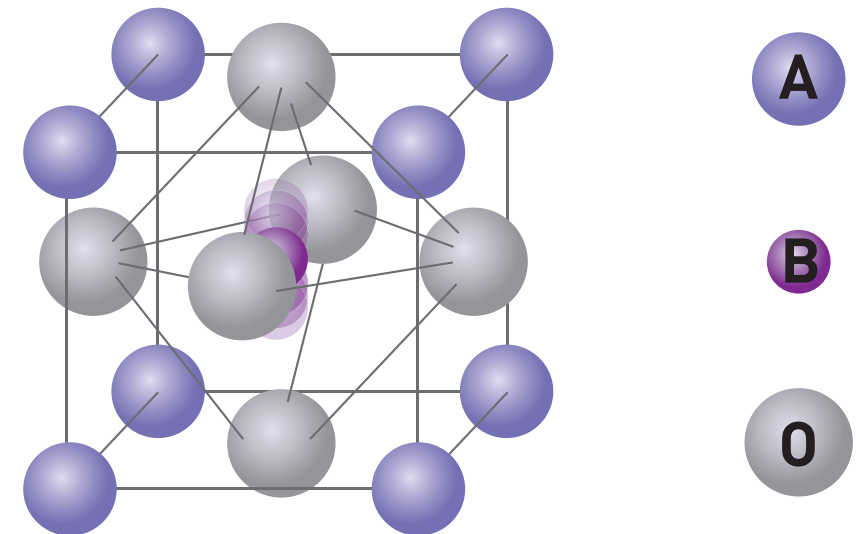
압전 세라믹스 시장은 자동차, 무선 통신, 의료 초음파 진단기, 군수 및 민간용 수중 초음파 센서, 산업용 정밀 스테이지 등의 분야에서 독보적 기술로 발전을 거듭하고 있다. 따라서 압전 세라믹스의 수요는 지속적으로 증가할 것으로 예상되는데, 특히 납 없는 압전 세라믹스에 대한 수요는 가까운 시일 내에 크게 증가할 가능성이 높다. 최근에는 압전 세라믹스가 에너지 하베스팅 분야에서 매우 유망한 소재로 각광받고 있으나 아직은 상용화 단계라기보다는 연구 개발 단계이다.

최근 압전 에너지 하베스팅 기술에 대한 연구는 매우 활발히 이루어져서 매년 수백 편에 달하는 논문이 발표되고 있다. 특히, 압전기술과 나노기술의 접목을 통해 압전 나노 발전기(Piezoelectric nano generator) 분야가 새롭게 형성되고 있는데, 이 기술은 2009년 MIT 선정 미래 10대 유망 기술로 선정되기도 하였다.

학계 및 연구계의 연구 개발뿐 아니라 상용화 관점에서 압전 에너지 하베스터를 적용하고자 하는 연구 개발 또한 활발히 진행되고 있다. 영국, 네덜란드 등의 유럽국가에서는 압전 에너지 하베스터를 댄스 클럽에 도입하여 에너지 소비를 절감하기 위해 노력하고 있다. 이스라엘 이노와텍(Innowattech)은 도로에 압전 에너지 하베스터 모

페로브스카이트 결정구조

현재 쓰이는 대부분의 압전체 내부에 있는 쌍극자는 페로브스카이트라는 결정구조를 갖는 원자블록들 때문에 생성된 것이다. 이 결정구조는 8개의 양이온(A)으로 구성된 직육면체와 산소(O) 음이온 6개로 구성된 팔면체의 공통중심에 또 다른 종류의 작은 양이온(B)이 하나 위치한다. B자리에 있는 양이온은 A자리 양이온이나 산소이온에 비해 작아 상하좌우의 빈 공간으로 쉽게 움직일 수 있기 때문에 이 결정구조의 극성을 결정한다. 예를 들어 B자리 양이온이 위로 이동하면 위쪽은 양극이 되고 아래쪽은 음극이 되는 반면, 아래로 이동하면 위쪽이 음극, 아래쪽이 양극이 된다.



듈을 설치하여 주변에 전기 에너지를 공급하고자 하는 기술을 개발하는 데 도전하고 있다. 일본에서는 지하철 개찰구와 다리에 압전 에너지 하베스터 모듈을 설치하여 전기를 얻어 내는 기술을 개발하는 중이며, 미국과 영국에서는 군화에 압전 에너지 하베스터를 장착하여 스스로 전기를 만들어 낼 수 있도록 ‘배터리 필요 없는 군인 프로젝트’를 진행 중에 있다.



02 플렉서블 디스플레이용 차세대 광원소재기술

최원국(미래융합기술연구본부) wkchoi@kist.re.kr



LG전자가 최근 발표한 곡면 OLED TV. OLED 디스플레이는 시야각이 넓고 가공이 자유로워 다양한 디자인을 만들 수 있다는 장점이 있다. 국제전자제품박람회인 'CES 2013'에서 발표된 이 제품은 같은 해 레드닷디자인상(Reddot Design Award) 대상을 수상하기도 했다.

1897년 독일의 칼 브라운이 발명한 음극선관CRT, 일명 브라운관은 고압으로 가속된 전자빔이 형광물질을 자극하는 방식의 디스플레이다. 브라운관은 흑백TV, 컬러TV, PC 모니터 등으로 광범위하게 사용되면서 1960년대까지 전 세계 디스플레이 시장을 장악했다. 이후 1990년대 후반부터 2차원 평면 디스플레이가 개발됐고 2000년대 들어서면서 액정표시장치(LCD) 등의 디스플레이가 브라운관을 대체했다. LCD는 액정의 정렬에 따라 빛의 양을 조절하는 디스플레이로, 냉형광램프를 디스플레이로 사용한다.

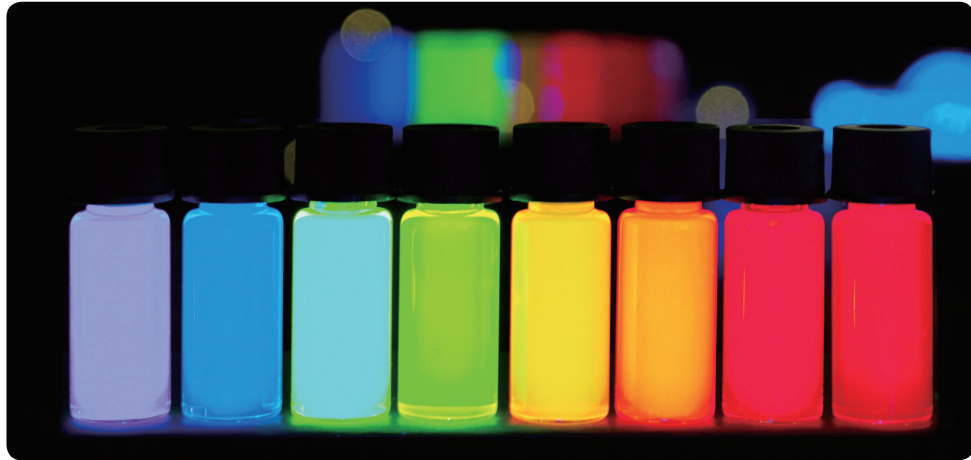
최근 LCD 디스플레이의 백라이트를 형광램프에서 발광다이오드(LED)로 바꾼 디스플레이가 개발됐다. 바로 LED 디스플레이다. LED는 에너지 전환효율이 90% 정도로



화소가 원래 상태로 돌아가지 않아 지속적으로 잔상이 남는 번인 현상은 OLED뿐 아니라 LCD, PDP, CRT 등 디스플레이 기기의 공통적인 문제다. 사진은 델러스 공항의 전광판. 번인 현상으로 글씨의 잔상이 이곳저곳에 남아 있는 모습이 보인다.

높고 수명이 길며, 가볍고 얇으며 짧고 작은 것이 특징이다. 이어 유기 발광다이오드(Organic LED; OLED)가 출현하면서 디스플레이 분야에 일대 혁신이 일어나고 있다. OLED는 자체 발광하고 휘어진 상태에서 발광할 뿐 아니라 초박막형이 가능하며 광시야각을 갖는다는 장점이 있기 때문이다. 2013년 4월 LG전자는 세계 최초로 55인치 크기의 '곡면 유기 발광다이오드 휘어지는 TV'를 선보였다. 이에 삼성전자는 2013년 10월 휘어지는 스마트폰 '갤럭시 라운드'를 공개했다. 이어 LG전자가 'G플렉스'를 발표하면서 휘어지는 스마트폰 경쟁이 본격화될 것으로 예상되고 있다.

현재 플렉서블 디스플레이(flexible display)는 그 휘는 정도에 따라서 깨지지 않는(unbreakable), 휘어지는(bendable), 둥글게 말 수 있는(rollable), 접을 수 있는(foldable) 등의 4단계로 나눌 수 있는데, 현재는 이 가운데 휘어질 수 있는 정도의 수준에 머물고 있으며, 앞으로 전력 공급원인 유연형태의 이차전지 배터리 제작 기술에 의존해 발전할 수 있을 것으로 예상된다.



보라색부터 붉은색까지 백색광의 스펙트럼을 보여주는 양자점들. 독일 기업 '플라즈마켄'에서 대량 생산된 제품이다.

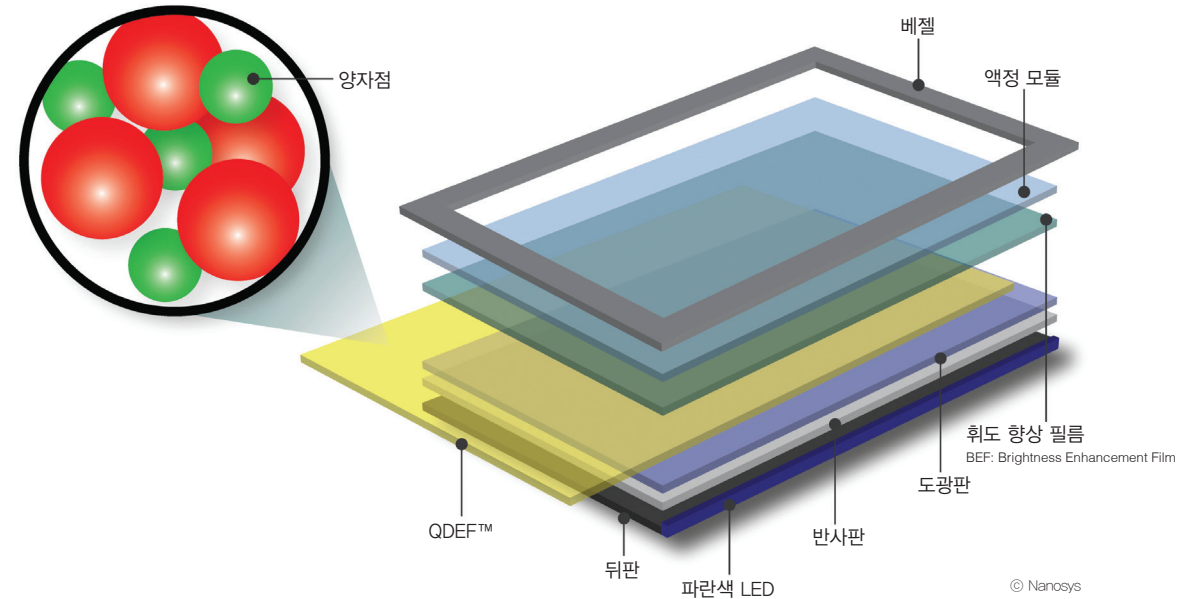
유기발광다이오드 대신하는 콜로이드 양자점

OLED는 LCD에 비해 제조 공정이 단순하고, 더 얇으면서도 말랑말랑한 디스플레이를 구현할 수 있으며, LCD보다도 속도가 빠르고 시야각이 매우 넓다는 장점이 있다. 또한 OLED는 응답속도가 빨라 화면 재생이 부드럽고, 명암비나 색감구현이 좋아 화질이 좋은 특성을 지니고 있다. 기술적으로 현재 LG전자와 삼성전자가 55인치급 HD OLED를 출시한 것에 대해 일본 소니와 대만 AOU는 56인치 4K UHD OLED 또는 LED급 디스플레이를 내놓아 경쟁이 벌어지고 있다. 하지만 아직까지 OLED는 소재 비용이 높아 디스플레이 가격이 LCD 또는 LED에 비해 3~4배 정도 높고, 증착과정을 사용함에 따라 대면적화가 어려울 뿐 아니라 대면적의 경우 패널이 휘어지며, 수분이 나 산소에 노출되면 소재 특성이 변하기 쉽고, 장기간 사용할 때 화면에 잔상이 그대로 남는 번인(burn-in) 현상이 일어나 새로운 소재의 개발이 요구되고 있다.

OLED에 대한 새로운 발광 소재의 대안으로 양자점(quantum dot) 반도체가 부상하고 있다. 양자점 반도체 재료는 크기가 1~10nm이고 약 50여 개의 원자로 이루어진 나노 결정(nano crystal)이며, 벌크 재료 및 원자의 성질을 가지고 있다. 양자점은 크기에 따라 광자나 전자에 의해 활성화된 상태에서 특정 에너지를 가진 광자, 즉 특정 파

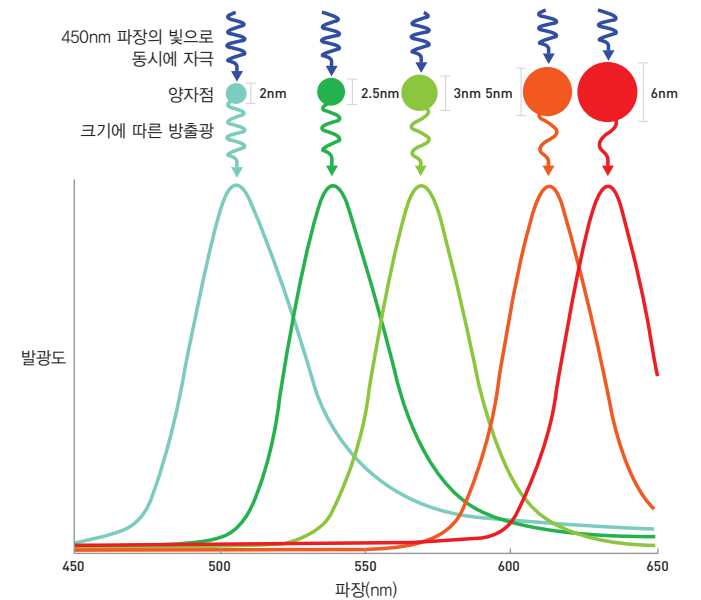
양자점 필름 QDEF 적용 방식

나노시스사의 대표적인 제품인 양자점 필름(QDEF: Quantum Dot Enhancement Film). 기존의 LCD 기판에 적용하여 색 재현율을 높이는 기능을 한다.



양자점의 크기와 색상 특성

양자점은 높은 에너지의 전자기파를 흡수하여 낮은 에너지의 전자기파를 방출한다. 그래프는 파장이 450nm인 파란색 빛을 쬔었을 때 양자점의 크기에 따라 어떤 파장의 빛을 방출하는지 보여준다. 동일하게 450nm의 빛으로 자극했을 때 지름이 2nm인 작은 양자점은 주로 500nm 파장의 하늘색 빛을 방출하는 반면, 지름이 6nm인 양자점은 630nm 파장의 붉은빛을 방출한다.





모네의 1886년 작품, '양산을 쓴 여인'. 모네를 비롯한 인상주의 화가에게서 종종 볼 수 있는 강렬한 색감은 화가의 작품관뿐 아니라 그들이 사용한 안료의 성분도 강하게 영향을 주었다.

장의 빛을 방출할 수 있다. 따라서 양자점은 선택적으로 전자를 방출하거나 흡수할 수 있는 나노 상자라 불린다. 이때 방출되는 빛의 파장은 전적으로 양자점의 크기에만 의존하는 스케일링 효과를 보여준다.

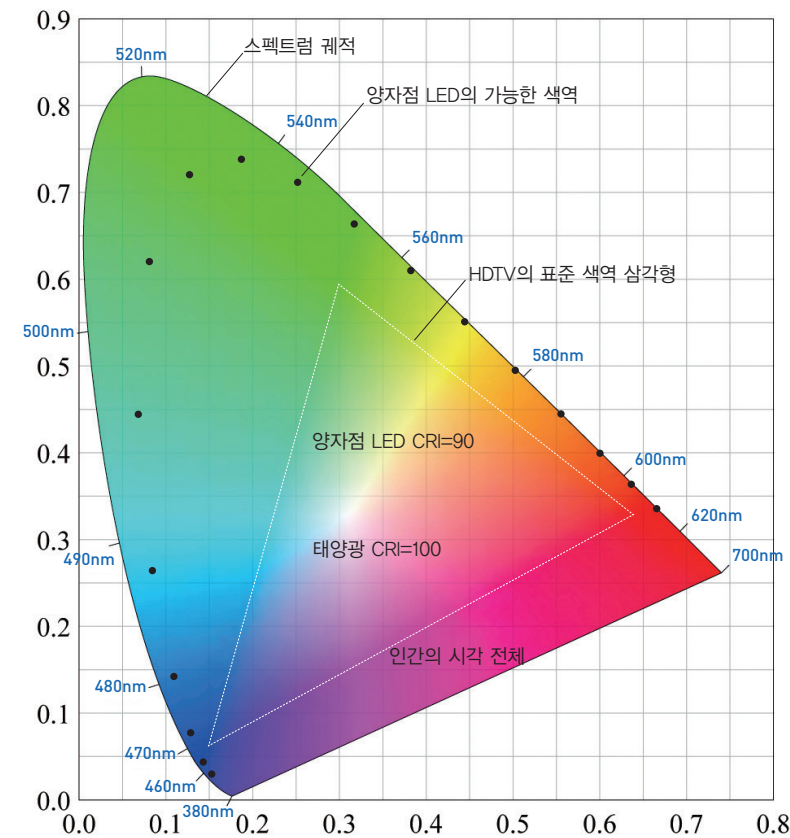
양자점 반도체로 주목받는 콜로이드 양자점은 크기 분포, 순도, 구조, 모양을 조절할 수 있는 입자다. 유기 고분자 용액에 분산된 형태로 제작될 수 있어서, 저비용 프린팅 또는 코팅 기술을 기

반으로 해 광잉크와 같은 형태로 주입하여 만들 수 있다. 또한 황화아연(ZnS), 산화아연(ZnO)과 같은 물질은 자외선을, 황화카드뮴(CdS), 카드뮴 셀레나이드(CdSe)와 같은 물질은 가시광선을, 황화납(PbS)은 근적외선 영역까지 방출해 파장을 조절할 수 있다. 특히 주목받는 물질은 카드뮴 셀레나이드 양자점이다.

흥미롭게도 클로드 모네Claude Monet, 빈센트 반 고흐Vincent van Gogh, 앙리 마티스Henri Matisse 등 인상과 화가들이 보여주는 강한 색감은 미량의 불순물이 포함된 카드뮴 화합물 안료와 직접 관련이 있다고 알려져 있다. 모네의 '수련', 고흐의 '해바라기', 마티스의 '빨강의 조화' 등의 작품을 보면 노란색, 주황색, 빨간색을 띠는 황

양자점 디스플레이의 연색지수

완벽한 채도의 스펙트럼 궤적과 양자점 LED의 연색지수(CRI: Color Rendering Index)를 비교한 그래프. 양자점 LED는 태양광에 거의 가까운 색역을 지녀 색재현율이 높다.

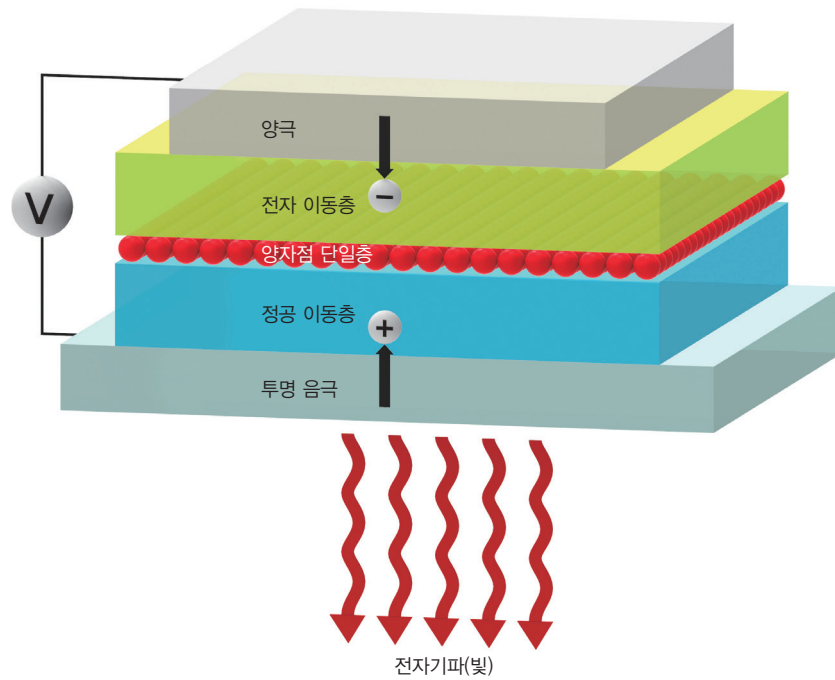


화카드뮴 안료의 효과를 떠올릴 수 있다.

양자점의 우수한 색감은 색조(hue), 채도(saturation) 면에서 인간의 눈으로 느끼는 정도와 비교해 보면 파악할 수 있다. 양자점의 적색(R)-녹색(G)-청색(B) 영역이 고화질 TV에서 요구되는 색상 영역보다 훨씬 넓다. 이런 면을 고려할 때, 양자점 박막형태는 발광다이오드, 태양전지, 광다이오드, 광전도체, 전계효과 트랜지스터 등에 적용할 수 있어 조명, 디스플레이부터 저비용 태양전지 및 위조지폐 방지, 보안 태그

양자점 디스플레이의 구조

양극에서 발생한 전자와 음극에서 발생한 정공이 양자점 단일층으로 이동하여 양자점 층이 활성화된다.



(security tagging) 등 광범위한 분야에 이용될 수 있는 큰 잠재력을 가지고 있다. 그리고 양자점 용액은 바이오 이미징, 센싱, 그리고 라벨링 등에 적용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다.

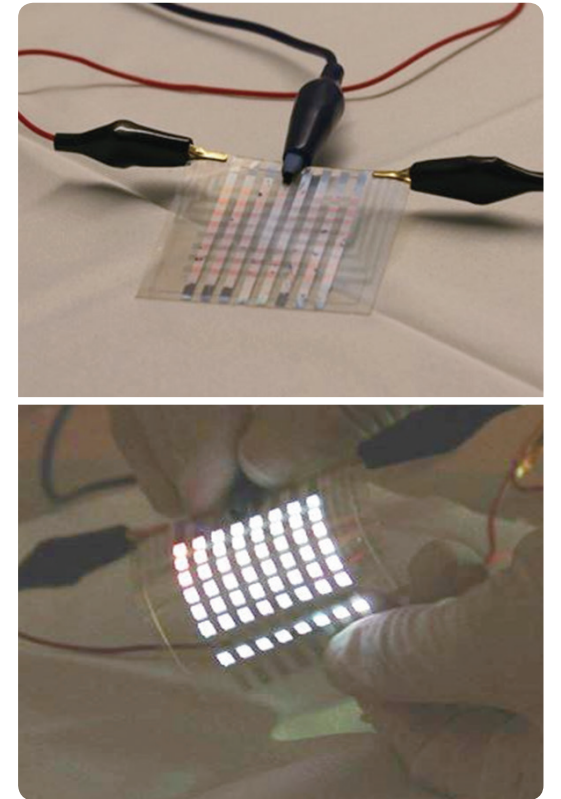
친환경, 고효율 양자점 개발 필요

콜로이드 양자점을 산업화하는 데 큰 걸림돌은 우수한 광특성을 보이는 양자점 (CdSe, CdS 등) 대부분이 독성 있는 중금속인 카드뮴을 포함하고 있다는 점이다. 그래서 카드뮴이 들어가지 않은 양자점, 즉 친환경적인 양자점을 제작하고, 이를 대량 생산할 수 있도록 높은 수율과 양산 시설을 갖추는 것이 선행돼야 한다. 이에 대한 소재로는 인(P), 구리(Cu) 계열 화합물이 대표적으로 연구되고 있다.

2012년 한국과학기술연구원에서는 친환경 소재인 산화아연(ZnO) 나노입자와 그

래 핀 양자점(GQD: Graphene Quantum Dot)이 결합된 양자점을 합성하여, 이를 이용해 백색광 양자점 LED를 최초로 개발했다. 이렇게 개발된 양자점은 향후 광검출기, 바이오센서, 연료전지, 태양전지, 발광소자 등 여러 가지 분야에 쓰일 것으로 예상되고 있다. 또 최근에는 연성 PET 기판 위에 프린팅 기법을 이용해 연성 ZnO-GQD 양자점 면광원(面光源)을 개발하는 데도 성공한 바 있다.

현재 OLED는 얇고 가벼우며 플렉서블하기 때문에 말아서 들고 다니는 디스플레이를 구현할 수 있지만, OLED 광원은 아직까지 수명 측면에서 안정적이지 못하고 공정 자체가 불순물 입자에 매우 민감하며 대면적화에 필요한 공정을 개발해야 한다. 콜로이드 양자점 소재는 이러한 OLED의 단점을 대부분 해결할 수 있으며, 단기간에 외부 양자 수율과 밝기를 기술적으로 향상시킬 수 있을 것으로 예상되고 있다. 2013년 초 일본 소니는 미국 QD 비전과 협력해 콜로이드계열 양자점을 활용한 차세대 대면적 LED TV 출시를 발표한 바 있다.



KIST에서 개발에 성공한 ZnO-GQD로 제작한 LED 매트릭스 패널. 유연한 소재에 적용할 수 있어 활용도가 높다.



IT기술로 만드는 최첨단 스포츠 훈련

김진욱(영상미디어연구원) zinook@kist.re.kr



2014년 동계올림픽에서는 비인기종목의 분전이 눈에 띄었다. 특히 관심을 끈 컬링은 머리싸움이 주가 되는 스포츠라는 점에서 향후 과학적인 훈련을 통해 성장 가능성이 큰 종목으로 점쳐지기도 했다.

스포츠에 대한 관심이 높아지면서, 더욱 좋은 성과를 내기 위해 훈련하는 선수들이 이용하는 최첨단 기술에 대한 관심도 높아지고 있다. 수영에서 전신수영복이 등장한 이후 세계신기록이 급격히 늘어났다가 결국 전신수영복이 금지된 일은 잘 알려져 있다.

지난 2012년 런던 올림픽에서 등장한 스포츠 선진국의 첨단 훈련프로그램과 그에 따른 경기력 향상도 스포츠와 과학의 결합이 얼마나 중요한지 보여준 좋은 사례다. IT기술을 접목한 훈련 프로그램이 등장하면서 스포츠 산업 역시 비약적으로 발전했고, 더불어 스포츠 과학, 스포츠 산업이 현대의 핵심 키워드가 됐다. 그중 가상현실의 주요 기술인 몰입형 디스플레이, 휴먼 인터랙션, 센서 입출력,





미국의 육상선수인 롤로 존스는 2012년 런던 올림픽을 준비하는 훈련 과정에 첨단 스포츠 과학을 도입했다. 존스 선수의 훈련은 에너지 드링크 회사 레드 불의 후원으로 진행되었다.

가상 코칭 콘텐츠 등이 스포츠 과학화의 핵심 역할을 하고 있다. 우리나라 역시 스포츠 분야의 기술개발에 투자하여 최첨단 훈련 시스템을 갖춘 스포츠 강국으로 발돋움해야 한다.

IT기술을 이용한 체계적 분석

선수가 자신의 상태를 파악하고 현재 상태에 맞는 맞춤형 훈련에 따르는 건 경기력에 매우 중요하다. 또한, 상대방의 경기력을 더욱 정확하게 파악해서 맞춤형 전술을 준비하는 것도 큰 도움이 된다. 스포츠 선진국에서는 선수와 상대방의 경기력을 측정하기 위해 다양한 IT장비를 이용하고 있다.

예를 들어, 2012년 런던 올림픽에 대비하기 위해 미국 허들 종목의 간판격 육상선수인 롤로 존스는 훈련장 트랙에 총 40대의 적외선 카메라 및 초고속 카메라를 설치해서 허들 동작을 체계적으로 분석하려 했다. 존스는 신체의 각 부분과 관절의 움직임은 정밀하게 측정하기 위해 총 39개의 센서를 몸에 붙이고 훈련했다. 센서의 측정 결과는 스포츠 과학자들이 분석해 코칭 스태프에게 전달했다. 3차원 입체 영상을 분석했는데, 초반 가속구간에서 지면 접촉 시간, 신체 중심과 허들 사이의 거리, 구간별 속도, 허들을 넘는 속도와 거리 등이 분석 대상이었다.

이를 토대로 존스는 자신의 문제점을 확인하고 이를 보완할 대책을 준비했다. 지면 접촉 시간을 줄여 초반 가속 구간에서 기록을 향상시켰고, 허들을 더욱 효율적으로 넘을 수 있게 됐다. 비록 런던 올림픽에서 4위에 머물렀지만, 그 전인 베이징 올림픽에서 얻은 성적에 비하면 괄목할 만한 성과를 이뤘다. 현지에서도 롤로 존스의 향후 기록 향상에 기대를 걸고 있다.

남자 육상 100m의 스타인 우사인 볼트 역시 초고속 카메라와 3차원 동작분석 장치를 이용해 달리는 동작을 분석했다. 스포츠 과학자들은 우사인 볼트의 영상을 분석한 뒤 약점을 찾아냈다. 스타팅 블록에서 발을 너무 높게 올려 초반 기록이 떨어진다는 점이다. 또한 선천적인 척추측만증으로 인해 어깨와 골반의 움직임이 너무 크다는 점도 문제였다. 볼트는 이를 교정하던 과정에서 고충을 겪었지만, 결국 이겨내고 9초 63이라는 올림픽 기록을 세우며 금메달을 차지했다.

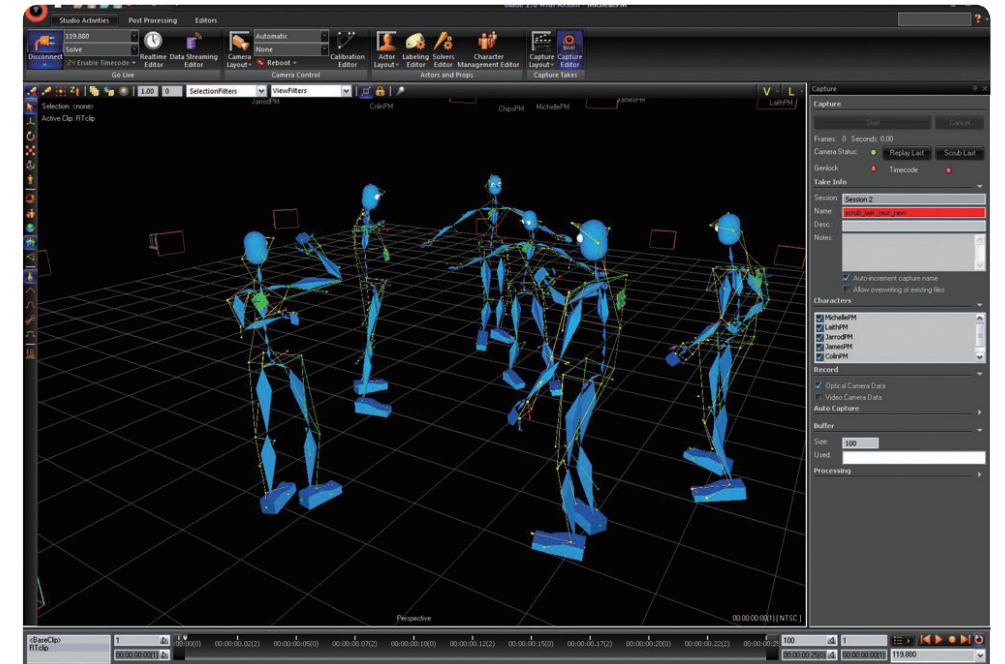
동계올림픽도 마찬가지다. 알파인 스키 활강 종목은 최고 시속 160km에 달하는

스포츠인데, 선수들은 코스를 파악하고 코스에 맞게 회전을 한다. 이때 엄청난 원심력을 견뎌야 하고 그러기 위해서는 근력과 지구력이 필요하다. 캐나다 알파인 스키 팀은 스포츠 과학자에게 의뢰해 2009년 세계 선수권대회 우승자인 노르웨이의 악셀 룬 스빈달과 경쟁할 수 있는 훈련 프로그램을 개발하려고 노력한 바 있다.

과학자들은 두 가지 방법으로 접근했다. 먼저 스빈달의 스키 활강에서 나타나는 하지 근육의 활성화 정보와 코스를 완주할 때의 경로를 분석했다. 하지 근육의 활성화 정보는 무선 근전도 시스템을 이용했고, 그 결과를 캐나다 선수들과 비교해 문제점을 찾으려고 했다. 분석 결과 스빈달은 하지 근육을 적절한 타이밍에 사용하는 데 비해 캐나다 선수들은 다리 근육을 지나치게 많이 사용하는 경향이 있다는 점을 알아냈다. 또한 GPS를 이용해 최적화된 루트를 설계하고 선수들에게 최적화 코스와 본인이 활강한 코스를 비교해가며 오차를 줄이는 방식의 훈련 시스템을 꾸준히 적용했다.

첨단 훈련시스템으로 경기력 올린다

이처럼 선수의 문제점을 찾아내고 상대방을 분석하는 일은 코칭 스태프에게 유용한 정보를 전달하고 체계적인 훈련시스템을 갖추는 데 큰 역할을 한다. 최근 KIST는 선수의 동작은 편리하게 분석하고 가상 코치가 문제점을 찾아 실시간으로 알려주는 방식의 서비스를 개발했다. 이 서비스를 이용하면 IMU(Inertial Measurement Unit)센서를 주요 부위에 붙여 빠르게 움직이는 동작을 인식하고 잘못된 동작을 찾아낼 수 있다. 동작을 3D 영상으로 돌려볼 수 있어 향후 기능을 개선할 경우 상황에 구애받지 않



© Puma, Vicon motion systems, NHK

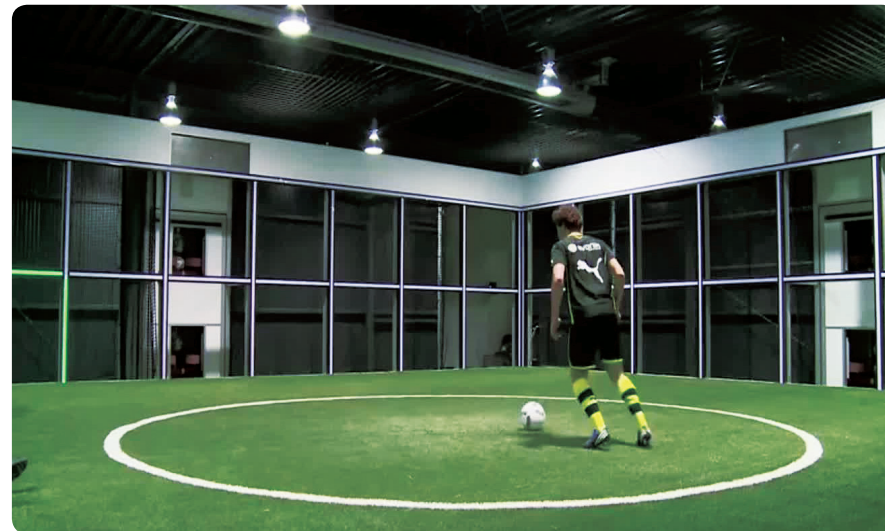


알파인 스키는 철나의 시간으로 희비가 엇갈리는 스포츠다. 이 때문에 주어진 코스에서 최단 경로를 어떻게 설계할 것인가가 매우 중요하다. 캐나다 캘거리대 연구팀은 GPS를 이용한 'STEALTH' 시스템을 도입하여 캐나다 대표팀 훈련에 적용시켜 최적의 경로를 계산해낼 수 있었다.

고 어디서든 선수의 경기력을 파악하고 코칭해줄 수 있다. 가상 코칭 시스템이라는 새로운 제품과 시장을 창출해 낼 수도 있을 전망이다.

해외에서는 독일의 명문 축구구단 보루시아 도르트문트가 개발한 패싱 머신을 예로 들 수 있다. 이 장치는 축구 경기에서 생길 수 있는 다양한 상황을 구현해 선수들이 체험할 수 있게 해준다. 선수들에게 상황별 패스 성공률을 제공해 선수들도 본인이 고쳐야 할 부분을 분명히 알 수 있게 됐다. 실제로 보루시아 도르트문트 구단의 패스 성공률과 점유율은 눈에 띄게 높아졌다. 패싱 머신은 다양한 각도에서 공을 쏘아주는 기계와 공이 나오는 방향과 패스해야 할 방향을 알려주는 지시등, 기록용 센서로 이뤄져 있다. 경기에서 생기는 조건을 10평 남짓한 작은 공간에 구현해 선수들이 언제든 다양한 조건에서 패스 연습을 할 수 있다.

2012년 런던 올림픽에서 자존심을 지키기 위해 노력한 영국 육상팀의 훈련 프로그램도 마찬가지다. 영국은 다양한 상황에서 반복적으로 훈련하고 훈련 시 발생하는 문제점



독일 분데스리가의 보루시아 도르트문트가 사용하는 패싱 머신 시스템. 정사각형 방의 각 변에 공을 쏘아보내는 장치가 있어 다양한 상황에서 공을 받거나 패스하는 연습을 할 수 있다.

을 실시간으로 알려주는 시스템을 구축했다. 훈련을 마친 뒤 자신의 경기를 되짚어보며 문제점을 찾는 게 아니라 맞춤형 훈련 프로그램을 따르면서 생기는 문제를 실시간을 확인하며 고쳐나가는 방식이었다. 이런 과학적인 훈련 프로그램을 이용한 훈련 덕분에 영국은 종합 3위라는 기록으로 자국에서 열린 대회를 성공적으로 마무리할 수 있었다.

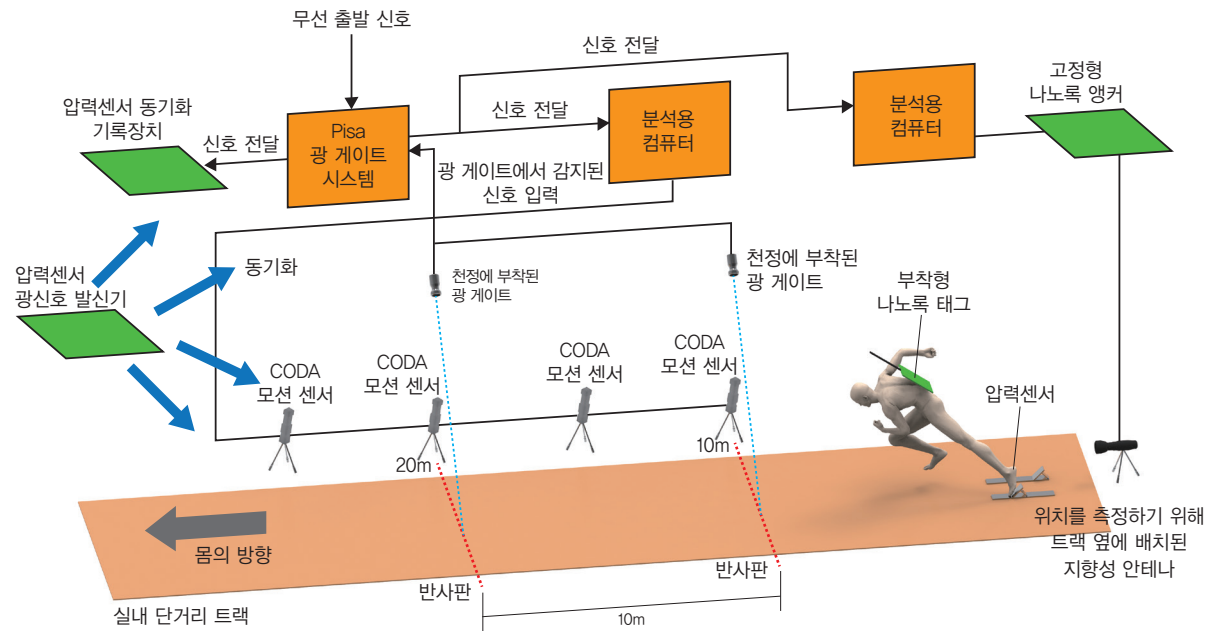
가상현실에서 훈련한다

첨단 훈련 프로그램은 기후 제약도 없앨 수 있다. 스노보드와 같은 동계 스포츠 종목은 계절의 영향을 많이 받아 우리나라에서는 훈련 조건이 열악하다. 우리나라는 2018년 평창 동계올림픽을 앞두고 있지만 비인기 종목일수록 훈련 시스템이 미흡하다. 예산 부족으로 전지훈련을 떠나지 못한 크로스컨트리나 스키점프 선수들은 인라인 스키를 이용해 훈련하고 있을 정도다.

가상현실 기술을 이용한 훈련 시뮬레이터는 열악한 환경에서 훈련받는 선수들에게

영국 나노록 훈련 시스템

영국 단일팀이 2012년 런던 올림픽을 준비하면서 사용한 훈련시스템 개요도. 나노록(nanoLoc)이라는 시스템이 핵심으로 0.5~1m 오차 이내에서 실시간으로 선수의 위치를 추적, 기록할 수 있다. 자신의 훈련 과정을 세세하게 모니터링하여 문제점을 수정할 수 있게 구성되었다.



해결책이 될 수 있다. 최근 KIST는 체감형 스노보드 시뮬레이터를 개발했다. 시스템과 사용자가 서로 물리적 에너지를 주고받는 것이 핵심 특징으로, 기존 게임처럼 사용자가 일방적으로 시스템에 명령하거나 시스템이 일방적으로 사용자에게 운동감을 제시하는 일방향 인터랙션 oneway interaction에서 벗어난 것이다.

선수는 자신의 동작을 기반으로 훈련 프로그램을 소화하고, 다시 시스템이 영상과 운동감을 선수에게 전달한다. 이때 사용자는 몸의 균형을 유지하기 위해 움직이는데, 이러한 반응이 다시 시스템에 입력되면서 사용자와 시스템 사이에 양방향 인터랙션 bidirectional interaction 이 이뤄진다. 훈련자가 시스템에 자신의 의도를 반영하고, 시



도로를 주행해야 하는 사이클은 실제 훈련이 어려운 종목 중 하나다. 최근에는 실제 지형 정보를 반영한 가상훈련시스템이 등장하여 선수들의 훈련을 돕고 있다.

스템은 이에 따른 결과를 훈련자에게 보여주어 다시 새로운 의도를 반영하게 함으로써 스스로 피드백하는 폐루프 closed loop가 만들어지는 것이다. 또한 이 시뮬레이터는 이동 가능하게 만들어져 어디서든 사용할 수 있다.

가상현실 기반 시뮬레이터는 앞으로 해결해 나가야 할 과제가 많다. 하지만, 첨단 IT기술을 이용해 양방향 인터랙션 기능을 갖추고 더욱 현실감 있는 상황을 제공하면 환경의 제약을 많이 받거나 사정이 여의치 않은 종목의 선수도 과학적이고 체계적인 훈련을 받을 수 있을 것이다.

국민 기대에 걸맞게 스포츠 산업 발전시켜야

가상현실 기반 훈련 시스템에 적용할 수 있는 기술이 많이 개발되고 있다. 최근에는 기존 스포츠 시뮬레이터의 단점을 보완할 수 있는 다방향 트레드밀 omni directional



다방향 트레드밀을 이용한 시뮬레이터는 스포츠 훈련뿐 아니라 재활치료, 엔터테인먼트 등 다양한 분야에서 응용되고 있다. 사진은 보행을 분석하는 모텍 메디컬의 시뮬레이터.

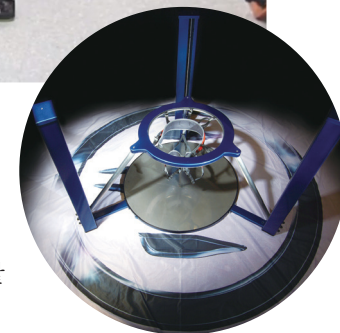
treadmill 기술이 각광을 받고 있다. 전후좌우를 가리지 않고 사용자의 움직임에 맞춰 트레드밀이 움직이는 방식이다. 이런 기술이 상용화되면 더욱 다양한 스포츠 상황을 반영한 훈련용 시뮬레이터를 만들 수 있다.

대표적인 사례가 모텍 메디컬 Motek Medical사의 시뮬레이션 플랫폼이다. 모텍사의 시뮬레이터는 선수들의 움직임을 파악하고 이를 토대로 움직이는 근육의 활성화 정도를 선수들에게 실시간으로 제공한다. 이를 통해 선수들은 본인의 근육이 어떤 상황에서 각각 어떻게 움직이는지 객관적으로 정밀하게 파악하여 자신의 문제점을 효율적으로 개선할 수 있다.

이런 훈련 방식에는 아직 해결해야 할 문제점도 있다. 우선 가상현실을 이용하기에는 실제 상황에서 생기는 다양한 상황을 고려하는 데 한계에 부딪힐 수밖에 없다. 그리고 가상현실 훈련을 이용하기 위해 착용하는 여러 장비가 선수를 불편하게 만들고 실제 경기와 똑같은 동작을 하지 못하게 할 수 있다. 따라서 앞으로 가상현실 기반 훈



비엔나공대에서 제작한 버추얼라이저는 입체영상을 보여주는 HMD와 다방향 트레드밀을 결합하여 가상현실을 구현할 수 있게 했다.



련 시뮬레이션을 만들기 위해서는 실제 상황과 가상현실의 차이를 줄여 나가야 한다. 선수에게도 재미보다는 훈련의 성과를 극대화할 수 있는 방향으로 기술을 발전시켜야 한다.

스포츠에 대한 국민의 기대는 점점 커지고 스포츠 산업도 비약적으로 발전하면서 스포츠와 과학기술의 융합이 앞으로도 계속 커질 전망이다. 그러나 국내 스포츠 산업 시장은 중소기업 위주로 형성되어 있으며 글로벌 브랜드와 경쟁하기에는 기술적으로 매우 부족하다. 스포츠 산업과 스포츠 과학의 중요성에 대한 인식이 낮아 연구개발 예산이 부족한 것도 현실이다. 우리나라가 스포츠 강국으로 자리매김하기 위해서는 스포츠 과학에 적극적으로 투자해 첨단 훈련 시스템을 갖출 필요가 있다. 그래야만 제2의 김연아와 박태환도 나올 수 있을 것이다.



04 사람이 중심이 되는 차세대 3D 디스플레이

박민철(센서시스템연구센터) minchul@kist.re.kr



© 21세기폭스

개봉 당시 '영상 혁명'이라는 평가까지 받았던 영화, '아바타'. 이 영화 이후 3D 영화가 본격적으로 유행하기 시작했다.

2009년 12월에 개봉한 제임스 카메론 감독의 3D 영화 '아바타'가 전 세계적으로 크게 흥행하면서 3D(3차원) 영상에 대한 관심과 산업이 크게 성장했다. 2010년에 들어서 많은 게임과 영화, TV 프로그램 등 다양한 콘텐츠가 3D로 제작됐고, 삼성을 비롯해 LG와 소니 등 세계적인 디스플레이 기업은 일제히 3D TV를 상용화해 제품을 출시했다. 디스플레이조사기관인 디스플레이뱅크는 2015년에 3D TV가 전체 TV시장에서 57%를 차지할 것으로 전망했다. 실제 2013년 국내에서 출시된 대형 TV의 90% 이상이 3D TV였다.

그런데 이렇게 확 달아올랐던 3D 영상 콘텐츠와 기술에 대한 관심은 곧 가라앉았





19세기에 광학의 발전과 함께 양안시의 원리가 규명되면서 3D 영상도 유행하기 시작했다. 당시의 3D 이미지는 양 눈만큼의 시차를 두고 같은 대상을 찍은 사진 두 장을 하나로 겹쳐서 보는 방식이었다. 이는 우리가 3차원 공간감을 느끼는 원리와 동일하다. 사진은 19세기 가장 인기를 끌었던 '홀즈'스코프.

다. 사람들이 3D TV를 구입하고는 있지만 정작 3D 콘텐츠를 즐기고 있지는 않다. 사실 즐기고 싶어도 즐길 수 있는 콘텐츠도 많지 않다. 왜 이런 일이 벌어졌을까?

불편한 3D 영상 기술

여러 가지 원인이 있겠지만 전문가들은 3D 영상 기술의 문제점을 지적한다. 안경을 써야 하는 불편함뿐만 아니라 눈의 피로도가 높아 오래 시청할 수 없다는 사실이다. 처음에는 사람들이 실체와 같은 3D 영상을 볼 수 있다는 사실에 열광했다. 하지만 이용할 수 있는 콘텐츠가 많지 않을 뿐 아니라 3D 영상에 대한 만족도가 생각보다 낮았던 반면, 불편함은 생각보다 더 크게 나타났다. 또한 3D 콘텐츠를 제작하는 데도 많은 비용이 들었다.



현재의 3D TV 대부분은 특수 제작된 안경을 착용해야 한다. 양 쪽 눈에 서로 다른 정보를 주어야 하기 때문이다.

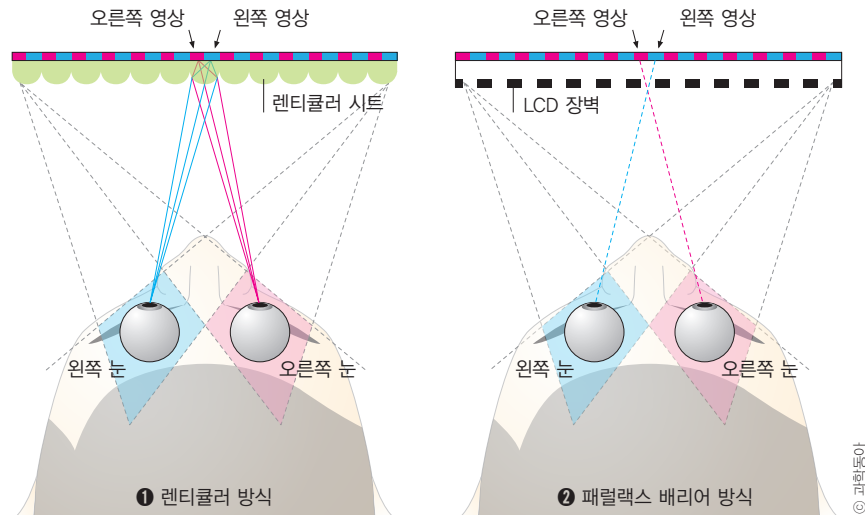
사실 3D 영상 기술은 신기술이 아니고, 170여 년이 더 된 오래된 기술이다. 1838년 우리의 두 눈이 떨어져 있다는 성질(양안시)을 이용하면 평면 영상을 보면서도 입체적으로 보이게 할 수 있다는 사실이 밝혀졌다. 1849년 프리즘 방식의 입체안경이 개발되면서 '스테레오스코프'라는 이름으로 3D 영상이 처음 등장했다.

그리고 1922년에는 상업용 3D 영화 '사랑의 힘'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 '아바타'의 흥행으로 3D 영상의 대중화와 상용화가 크게 붐을 일으켰다.

현재 대중화된 3D TV는 특수안경을 써야만 3D 영상을 즐길 수 있는 서터클래스 방

3D 디스플레이 구현을 위한 렌티큘러 방식과 패럴랙스 배리어 방식

안경을 쓰지 않아도 입체영상을 볼 수 있지만, 하나의 화면 공간을 촘촘히 분할하여 시야각이 좁고 화질이 떨어진다는 한계를 극복하지 못하고 있다. 기술적으로는 엽서나 책갈피 등에 활용되는 입체이미지와 유사하다.



식이나 편광방식이다. 화면이 평평한 TV는 원래 3D를 표현하기 어렵다. 그래서 왼쪽 눈과 오른쪽 눈에 보이는 영상을 따로 촬영한 다음, 두 영상을 동시에 보여주며 입체감을 느끼게 한다. 맨눈으로는 두 영상을 구분할 수 없기 때문에 특수안경으로 왼쪽 눈과 오른쪽 눈이 서로 다른 영상을 볼 수 있게 한다. 이렇게 하면 뇌가 2개의 영상을 조합해 이를 입체 영상으로 인식하게 된다. 특수 안경으로 뇌를 속이는 셈이다. 뇌를 속이며 가짜로 입체 영상을 만들다 보니 오래 보면 메스껍고 어지럽다는 사람들이 생긴다.

맨눈으로 3D 영상을 즐길 수 있다?

안경을 쓰는 불편함을 해소하려고 안경 없이도 입체 영상을 볼 수 있는 기술이 개발됐다. 반원통형 렌즈인 렌티큘러 스크린을 화면에 붙여서 왼쪽 눈과 오른쪽 눈이 다른 영상을 보도록 하는 렌티큘러 방식과 화면에 여러 개의 장벽을 설치해 양쪽 눈이 서로 다른 화면을 보게 하는 패럴랙스 배리어 방식이다. 하지만 아직까지 화질이 떨어지고 누워서 볼 수 없다는 단점 등 다양한 문제점을 안고 있다.

이런 이유로 눈의 피로감은 최소로 하면서 자연스럽게 3D 영상을 볼 수 있도록 하는 차세대 3D 디스플레이 기술이 이슈가 되고 있다. 초다시점, 플로팅, 홀로그램이 그것이다.

초다시점 디스플레이는 각 시점 간의 간격을 조밀하게 하여 한쪽 눈에 여러 개의 시점 영상이 동시에 맺히게 하는 기술이다. 이렇게 하면 두 눈에 다른 영상이 맺히면서 양안 시차를 제대로 만들어내는 동시에 눈의 초점도 올바르게 맞출 수 있어 눈이 피로해지는 현상을 줄일 수 있다.

플로팅은 미리 준비한 영상을 프로젝션 장치가 쏘면 반사판이 이를 반사시킨다. 반사된 빛은 무대 위에 비스듬하게 설치한 투명막에 투사되고, 그 영상이 마치 공중에 영상이 떠 있는 홀로그램과 비슷하게 관객들에게 보여지게 하는 기술이다. 2012년에 등장한 '홀로그램 K팝(코리안팝) 공연'도 이 기술을 이용한 것이다.

앞과 뒤, 위와 아래 모두가 실제처럼 보이는 홀로그램은 완전한 입체3D 영상을 재현하는 기술이다. 우리 눈이 물체에 반사된 빛으로 사물을 보는 원리를 이용해, 물체에 반사된 빛과 물체에 닿지 않은 빛의 회절과 간섭현상을 모두 기록해 재생하면 실제로



플로팅 디스플레이는 미래지향적인 느낌을 주어 공연이나 광고 등에 종종 활용된다. 홀로그램과 달리 모든 방향에서 동일한 화면이 보여 완전한 3D는 아니다. 사진은 대만 타이페이의 쇼핑몰에 설치된 플로팅 디스플레이.



홀로그램은 완전한 3D 이미지를 공간에 구현할 수 있는 기술이다. 시각적인 효과가 커서 SF 영화에 종종 등장하며, 영화에 묘사된 대로 활용범위도 넓다. 기술적인 요소들은 거의 모두 알려져 있지만 실제로 구현하기는 쉽지 않다.

없는 사물도 앞에 있는 것처럼 만들 수 있다. 과학자들은 홀로그램을 이론적으로는 완벽하게 알고 있다. 하지만 아직까지 기술적으로 구현하는 데 어려움을 겪고 있다.

50인치 정도의 홀로그램을 만들려면 빛을 조절하는 공간광변조기 수천 개가 필요하고 눈으로 선명한 실시간 홀로그램 영상을 만들려면 고선명HD TV보다 25만 배나 더 선명한 영상이 필요하다. 웬만한 슈퍼컴퓨터로도 처리할 수 없을 정도로 엄청난 데이터양이다. 또 영상 전송 기술도 부족하다. 게다가 홀로그램은 레이저를 사용하기 때문에 위험한 일이 생길 수 있다.

기술의 우수성 vs 사용자 만족도

우리나라는 정부 주도로 2015년까지 안경 없이 3D TV를 볼 수 있게 하기 위한 연구개발R&D과 미래에 완전한 입체 영상을 구현할 홀로그램 기술의 경쟁력을 확보하기 위한 투자를 병행하고 있다. 정부 정책에 발맞춰 KIST는 삼성디스플레이, LG전자,

3D 입체영상 기술과 종류

동향	1세대 → 2세대 → 3세대				
종류	스테레오	다시점	집적영상	플로팅	초다시점
특징	양안 패럴랙스	모션 패럴랙스	풀 패럴랙스 (불연속)	풀 패럴랙스 (불연속)	자연적 모션 패럴랙스
					홀로그래피 (연속적)

LG 디스플레이, 레드로버를 비롯하여 한국전자통신연구원, 한국전자부품연구원, 한국광기술원, 강원대, 건양대, 경북대, 경희대, 고려대, 광운대, 인하대, 상명대, 서울대, 세종대, 충북대 등과 함께 차세대 3D 디스플레이 관련 연구를 수행하고 있다.

하지만 자연스러운 차세대 3D 디스플레이 기술은 아직까지 많은 한계를 가지고 있다. 세 가지 기술 중에서 플로팅 기술은 ‘홀로그래프’이라고 불리며 상용화가 이뤄졌다. 이 기술은 완벽하게 입체로 보여주는 홀로그램과 달리 어디에서 봐도 똑같은 장면을 보여주기 때문에 진짜 홀로그램은 아니다.

그런데도 왜 홀로그램이라 불릴까? 이유는 영상에서 배경을 없애 인물들이 공중에 떠 있는 것처럼 보이게 한 다음, 화면을 빠르게 바꾸면 마치 홀로그램처럼 입체적으로 느껴지게 하기 때문이다. 게다가 다양한 특수효과를 이용해 실제 콘서트에서 볼 수 없는 장면이 연출되어 홀로그램 효과가 더 강해졌다. 양옆에도 스크린을 설치한 다음, 관련 영상을 보여주면 입체효과가 극대화된다. 홀로그램이라는 이름에 맞게 꾸민 영상과 빠른 화면 전환, 특수 무대장치가 평면 영상을 홀로그램처럼 만든다.

사람들은 불완전하고 어색한 진짜 홀로그램보다 사운드와 결합시킨 움직임 효과로 입체감을 높인 가짜 홀로그램 공연에 더 열광했다. 기술의 우수성보다는 직접적으로 느낄 수 있는 사용자 만족도에 이끌렸다.

사람에 대한 이해가 필요하다!

기존에는 기술 발달이 늦어 사람보다는 기계나 기술을 중심으로 사람들이 생각하

고 이해했다. 기계나 컴퓨터를 잘 다룰 수 있도록 사용법을 익히는 것을 당연하게 생각했다. 기술을 이용할 수 있는 것만으로도 다행으로 여겼다. 하지만 기술이 발달한 지금은 상황이 달라졌다. 기계가 사람에게 맞추고 있다. 같은 기술이라도 사람이 더 편리하고 사람이 중심이 되는 기술이 각광을 받는다. 스마트폰처럼 웬만한 사람이라면 직관적으로 바로 쓸 수 있어야 한다.

이런 맥락에서 차세대 디스플레이 기술에서 빼놓을 수 없는 것이 휴먼팩터 연구다. 휴먼팩터는 장치나 시스템에 인간이 관련될 때 일어나는 현상을 뜻한다. 사람을 위한 시스템을 만든다는 관점에서 인간공학이라고 표현하기도 한다. 또 휴먼팩터 연구는 기술이 지닌 효과를 제대로 평가해 시장에서의 적합성과 만족도를 미리 예측하는 데 도움을 주기도 한다. 디스플레이 분야에서 휴먼팩터 연구는 현실에서 영상을 지각하고 인지하는 방식과 디스플레이에서 구현되는 영상을 인식하는 방식의 차이에 주로 초점을 맞추고 있다.

심리학과 생리학, 신경과학 등 다양한 관점에서 휴먼팩터 평가 연구가 진행되고 있으며, 3D가 인체에 미치는 부정적인 영향을 규명하기 위한 연구가 주를 이루고 있었다. 하지만 최근에 홀로그램에 대한 관심이 높아지면서 현실감 높은 3D 콘텐츠를 구현하기 위한 긍정적인 휴먼팩터에 대한 연구가 본격적으로 시작됐다. 이런 흐름에서 KIST는 기존의 심리학과 생리학, 신경과학 측면의 연구에 광학과 디스플레이, 컴퓨터 기술을 추가로 접목하여 더 효과적인 휴먼팩터 연구를 수행하고 있다.

휴먼팩터 평가 방법은 사람의 기억을 측정 방식에 따라 크게 주관적 방법과 객관적



공연에 종종 사용되어 흔히 '홀로그램'이라고 불리는 영상은 사실 플로팅 디스플레이다. 플로팅 디스플레이는 이미 10여 년 전부터 셀리브 디옹과 엘비스 프레슬리, 스눅독과 투팍의 공연 등에 사용되어 왔다. KT는 최근 동대문에 K팝 홀로그램 전용관, '클라이브(Klive)'를 동대문에 개관하겠다는 계획을 발표하기도 했다.

© KT

방법으로 분류한다. 주관적 평가 방법은 사람의 기억에 의존하여 자기 보고형 설문지나 인터뷰 방식으로 이루어진다.

객관적 평가방법은 생리적 매커니즘에 따라 시각기능, 자율신경계, 인지 기능 평가 등으로 구분한다. 시각기능 평가는 특정 자극에 노출되었을 때의 평균 눈 깜박임 수, 동공크기, 융합력과 조절 대 폭주비 등의 변화를 측정하여 사용자의 시각 피로도를 평가한다.

자율신경계 평가는 외부 환경변화에 대한 인간의 생체리듬 항상성을 교감신경과 부교감신경의 상대적 비율을 이용하여 평가한다. 자율신경계의 항상성을 평가하는 기술은 사용자의 심박 리듬을 분석하거나 속옷에 부착한 센서를 이용하여 심전도를 측정하고 건강상태를 진단하는 웨어러블 컴퓨팅 기술로도 활용되고 있다. 이외에도 피부전도도, 피부 온도 및 호흡을 분석하는 기술, 옷 위에서 혈류를 측정할 수 있도록 빛의 투과량을 조절할 수 있는 맥파 측정기술 등이 있다.

인지기능 평가는 뇌의 여러 부위에 있는 혈액의 산소분포를 정확하게 투영함으로써 뇌의 어떤 부위가 활성화되고 있는지를 높은 공간해상도로 측정할 수 있는 기능성 자기공명영상fMRI, 특정 자극에 종속적인 뉴런이 활성화될 때 발생하는 자기장에 근거하여 뇌 활동을 측정하는 뇌자도측정MEG: MagnetoEncephaloGraphy, 외부 자극에 대한 수많은 신경세포들의 작용에 의해 발생된 전기적 펄스가 축적되어 특정한 형태로 나타나는 뇌파 측정을 이용한다.

이 중에서 기능성자기공명영상과 뇌자도측정 장치는 공간 해상도가 매우 높지만 고가의 대형 장비인데다 측정환경의 제약으로 의료기관 같은 전문 기관에 한정돼 있



어 주로 측정이 임상 치료목적으로 이뤄지고 있다. 이런 이유로 휴먼팩터 평가에서는 공간 해상도는 조금 떨어지지만 시간 해상도가 높고 접근성이 좋은 뇌파 측정을 널리 사용하고 있다.

일반적으로 뇌파 측정은 시간에 따라 사용자의 특정 작업 수행에 대한 몰입도나 피로도를 평가한다. 또 배경 뇌파로 알려진 델타파, 세타파, 알파파, 베타파, 감마파 등의 자발 뇌파의 변화를 전전두엽이나 전두엽에서의 특정 주파수 비율을 비교해 집중력과 피로도를 평가한다. 또한 반복적으로 켜졌다 꺼졌다 하는 6Hz 이상의 밝은 자극에 의해 유발되는 시유발 지속전위도 인지 피로 평가에 활용되고 있다. KIST에서는 시각 자극에 의해 유발된 시유발 지속전위와 청각 자극에 종속적인 사건유발 전위 성분을 복합적으로 분석하여 사용자의 인지적 부하와 몰입도를 평가하고 있다.

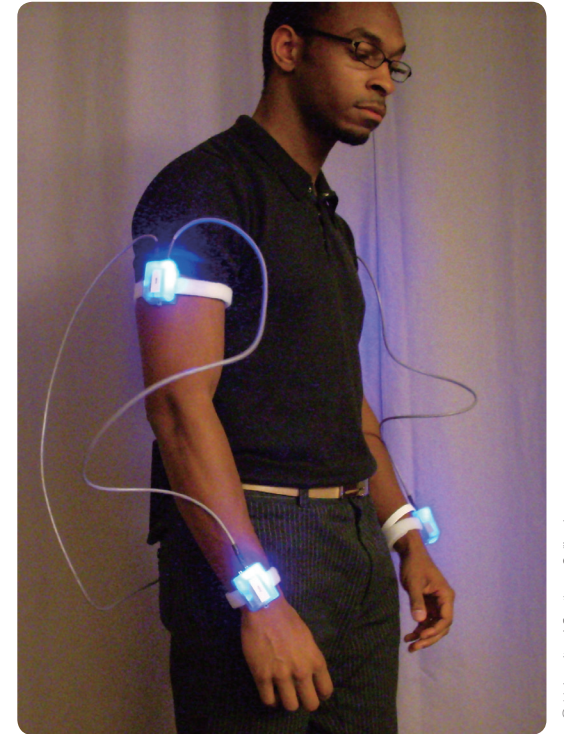
인간 친화적 차세대 디스플레이

차세대 초고화질 디스플레이나 홀로그램이 제공하는 입체감과 현실감을 극대화하려면 인간공학적 측면에서 포괄적인 접근이 필요하다. 현재의 휴먼팩터 평가 기술들은 지

나치게 실험환경에 종속적인 한계점을 지니고 있다. 실생활에서 더 나은 사용자 편의성을 고려할 수 있는 무구속 무자각 생체신호 측정에 대한 기술 개발이 요구되는 시점이다.

웨어러블 센싱의 경우 심전도, 혈압 등의 자율신경계 반응의 신호 대 잡음비는 제한된 실험실 환경에서 만족할 만한 수준을 보이고 있다. 그러나 움직일 때 심전도를 측정하면 많은 노이즈가 생겨 신호의 신뢰성이 크게 떨어질 수 있다. 뇌파도 눈 움직임이나 심박 자체가 노이즈로 작용할 수 있다.

점점 더 다양해지는 차세대 디스플레이는 사용자의 생활 스타일을 고려하여 다양한 상황에서 생체신호를 신뢰성 있게 측정할 수 있는 웨어러블 장비와 고급 신호처리 알고리즘 개발이 필요하다. 이러한 진정한 의미의 무구속 무자각 스마트 센싱을 이용한 휴먼팩터 평가 기술 개발이 초고화질 디스플레이나 홀로그램 등 차세대 디스플레이의 시장이 활성화되는 것을 가로막는 잠재적 위험요소들을 규명하고, 실재감을 극대화할 수 있는 최적의 시청 가이드라인의 개발에 핵심적인 역할을 할 것으로 기대된다.



휴먼 팩터를 속속들이 이해하려면 사람의 다양한 반응을 정확하게 포착할 수 있어야 한다. 웨어러블 센싱 기술의 발전으로 휴먼 팩터에 대한 이해도는 이전에 비해 크게 증가했다. 사진은 실험용으로 제작하여 장착한 웨어러블 센서.

© University of Southern California

12쪽 영화 '그래비티'의 한 장면. 왼쪽 아래 보이는 것이 국제우주정거장(SS)이다. 출처 : by 워너 브라더스 : http://wwws.kr.warnerbros.com/gravity/#/gallery/16	82쪽 작업자의 부주의로 넘어진 인공위성 모습 출처 : by NASA, Bill Ingalls : http://en.wikipedia.org/wiki/File:NOAA-N%27_accident.jpg	출처 : by NASA, Paolo Nespoli : http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-27/html/iss027e036687.html : http://en.wikipedia.org/wiki/File:ISS_and_Endavour_seen_from_the_Soyuz_TMA-20_spacecraft_14.jpg
16쪽 미국에서 발사한 허블망원경의 태양전지판이 우주파편에 의해 손상된 모습 출처 : by ESA(European Space Agency) : http://www.esa.int/TEC/Space_Environment/SEMMLMRMTWE_1.html#subhead2	105쪽 지표면의 높이를 과장하여 나타낸 그림 출처 : by NASA : http://earthobservatory.nasa.gov/Features/GRACE/page3.php : http://en.wikipedia.org/wiki/File:Geoids_sm.jpg	209쪽 스페이스십 2 출처 : by flickr, Jeff Foust(CC BY 2.0) : https://www.flickr.com/photos/jfoust/5106864042
19쪽 최초의 인공위성 스푸트니크 1호 모습 출처 : by NASA (National Aeronautics and Space Administration) : http://nssdc.gsfc.nasa.gov/databse/MasterCatalog?sc=1957-001B : http://en.wikipedia.org/wiki/File:Sputnik_asm.jpg	122쪽 러시아 우주정거장 미르 출처 : by NASA : http://spaceflight.nasa.gov/history/shuttle-mir/photos/sts71/mir-imax/hmg0018.jpg : http://en.wikipedia.org/wiki/File:Earth_%26_Mir_(STS-71).jpg	210쪽 최초의 우주여행객인 데니스 티토 출처 : by NASA : http://nix.ksc.nasa.gov/info;jsessionid=20oqgoj4jqjb?id=KSC-03PD-1489&orgid=5 : http://en.wikipedia.org/wiki/File:Dennis_Tito.jpg
20쪽 스푸트니크 발사 50주년 기념 그림 출처 : by Gregory R Todd(CC BY-SA) : http://en.wikipedia.org/wiki/File:Dawn_of_the_Space_Age.jpg	122쪽 페기케도(무덤케도)로의 이동 출처 : by godach(재도안) : http://ru.wikipedia.org/wiki/Ф а й н :Transfer_to_graveyard_orbit.gif	* 국내에서 개발한 인공위성의 사진과 그 위성들이 촬영한 영상들은 한국항공우주연구원에서 제공했습니다. ** 본 책은 독자들이 내용을 쉽게 이해할 있도록 다양한 이미지(사진 등)를 인용했습니다. 이와 관련하여 가능하면 저작권이 공개된(public domain) 이미지를 사용하고자 노력했으며, 만약 저작권과 관련하여 조정해야 할 부분이 있으면 연락을 주시기 바랍니다. etbook@etnews.com
21쪽, 42쪽 신롬 2호 위성 출처 : by NASA : http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=1963-031A : http://en.wikipedia.org/wiki/File:Syncom_2_side.jpg	127쪽 대동여지도와 구글 어스로 본 한반도 모습 출처 : (좌) by 김정호 : http://ko.wikipedia.org/wiki/대동여지도 출처 : (우) 구글 어스에서 캡처한 이미지	
22쪽 허블우주망원경과 우주인이 수리하는 모습 출처 : by NASA : http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap021124.html : http://en.wikipedia.org/wiki/File:Hubble_01.jpg : http://en.wikipedia.org/wiki/File:Upgrading_Hubble_during_SM1.jpg	128쪽 구글 어스로 본 로마의 콜로세움 전경 출처 : 구글 어스에서 캡처한 이미지	
	131쪽 칠레의 에스콘디다 광산 출처 : by NASA, Japan ASTER Science Team : http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=1000	
32쪽, 33쪽 인공위성이 촬영한 이집트의 고대도시 출처 : by BBC1(Egypt's Lost Cities, 2011. 5. 30.) : http://www.bbc.com/news/world-13522957	135쪽 산림청 디지털산림관리 체계 출처 : by 산림청(재도안) : http://www.forest.go.kr/images/2013/tgis/img_030101_01.gif	
35쪽 미국항공우주국 테라(Terra) 위성이 촬영한 아마존 열대우림의 변화 모습 출처 : by NASA : http://earthobservatory.nasa.gov/Features/WorldOfChange/deforestation.php?all=y>	137쪽 위성 영상을 이용한 토지파복제도 제작 출처 : by 환경부 : http://egis.me.go.kr/ba/grdCoverIntroPage.do?mode=1	
36쪽 ENVISAT 위성의 ASAR 탑재체가 2007년 12월 11일에 촬영한 태안기름유출사고 영상 출처 : by ESA : http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=8304	137쪽 해상도별 토지파복지도 비교 출처 : by 환경부 : http://egis.me.go.kr/ba/grdCoverIntroPage.do?mode=2	
56쪽 1984년에 키홀 1호가 촬영한 영상 출처 : by Wikipedia, Naval Intelligence Support Center : http://en.wikipedia.org/wiki/File:Janeskh11leakedphoto.jpg	143쪽 우리나라 쇄빙선 아라온호 출처 : by 극지연구소 : http://www.kopri.re.kr/home/contents/m_1311000/view.cms	
참조 : http://www2.gwu.edu/~nsarchiv/NSAEBB/NSAEBB13/	144쪽 2010년 8월 2일 그린랜드를 촬영한 독일 TanDEM-X 레이다 영상 출처 : by DLR(CC BY 3.0)	
	156쪽 우주에서의 무중력 컵 모습 출처 : by NASA, collectSpace, YouTube : http://www.collectspace.com/ubb/Forum14/HTML/000725.html : http://www.youtube.com/watch?v=pk7LcugO3zg	
	188쪽 정지궤도상의 상업용 통신위성들 출처 : by BOEING : http://www.docstoc.com/docs/130165236/Commercial-Communications-Satellites-Geosynchronous-Orbit	
	194쪽 아폴로 11호의 우주비행사들과 달 표면 착륙 출처 : by NASA : http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/apollo/apollo11/hires/s69-31739.jpg : http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/apollo/apollo11/hires/as11_40_5868.jpg	
	195쪽 LRO가 촬영한 아폴로 11호와 14호 착륙지점 출처 : by NASA : http://www.nasa.gov/sites/default/files/images/400202main_lroc_apollo11_20091109_full.jpg : http://www.nasa.gov/sites/default/files/images/584395main_M168319885_LR_25cm_ap14_area.jpg	
	199쪽 베네라 7호, 마리너 2호, 마젤란 출처 : by NASA : http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/image/venera_7_capsule.jpg : http://www.nasa.gov/images/content/203286main_image_964_946-710.jpg : http://nssdc.gsfc.nasa.gov/image/spacecraft/mgn_deploy.jpg	
	200쪽 마리너 4호, 마리너 9호, 바이킹 착륙선 출처 : by NASA : http://www.jpl.nasa.gov/history/hires/1967/mariner05.jpg : http://www.jpl.nasa.gov/missions/web/mariner9.jpg : http://nssdc.gsfc.nasa.gov/image/spacecraft/viking_lander.jpg	
	201쪽 큐리오시티 출처 : by NASA : http://www.jpl.nasa.gov/missions/web/440_PIA14837.jpg : http://www.nasa.gov/centers/dryden/images/content/656803main_PIA14156.jpg	
	204쪽 보이저 출처 : by NASA : http://www.jpl.nasa.gov/images/spacecraft/voyager_browse.jpg	
	207쪽 우주왕복선 엔데버호가 도킹한 국제우주정거장의 모습	

황도순 박사

저는 인공위성 본체 개발을 총괄하고 있어요. 본체는 인공위성의 몸이라고 할 수 있답니다. 구조, 열제어, 자세제어, 전력, 추진, 원격측정명령, 탑재 소프트웨어등으로 구성되며, 다양한 탑재체가 임무를 수행하는 것을 돕지요. 우주에서 지구관측이나 통신을 담당하는 인공위성부터 달이나 화성에 가는 탐사선까지, 우주개발에 앞장서고자 오늘도 꾸준히 노력하고 있답니다.

임재혁 박사

저는 인공위성의 구조체 개발을 담당하고 있어요. 인공위성에서 구조체는 뼈와 살에 해당한다고 할 수 있는데, 뼈와 살이 튼튼해야 건강하고 오래살 수 있죠. 인공위성도 그렇답니다. 인공위성이 좀 더 날씬하면서도 튼튼할 수 있도록 오늘도 연구에 연구 중입니다. 날씬한 몸매를 원하시면 저에게??

용상순 박사

저는 인공위성의 탑재체 개발을 담당하고 있어요. 탑재체는 인공위성의 눈, 코, 입, 귀라고 할 수 있죠. 우주로 올라간 위성은 우리에게 다양한 정보와 자료를 제공해 주는데, 모두 탑재체들이 하는 역할 이랍니다. 먼 우주에서 지구를 24시간 지켜보는 인공위성이 좀 더 멀리, 더 자세하고 정확하게 관측하고 우리에게 잘 전달할 수 있도록 오늘도 열심히 연구 중이랍니다.

안상일 박사

저는 인공위성의 지상국 개발을 담당하고 있어요. 지상국은 인공위성을 멀리서 자유자재로 조정할 수 있는 큰 규모의 리모컨이라 할 수 있죠. 값비싼 인공위성이 소기의 임무를 잘 수행할 수 있도록 필요한 첨단 지상국 기술들을 지금까지 연구해온 것처럼 앞으로도 쭉 ~욱 열심히 그리고 재미있게 연구개발할 것입니다.

한조영 박사

저는 인공위성의 추진장치 개발을 담당하고 있어요. 혹시 영화 속에서 위성에 붙은 소형 로켓이 ‘칙칙’ 가스를 분사하며 움직이는 장면을 본 적이 있나요? 이게바로 추진장치이며, 인공위성의 손과 발이라고 할 수 있죠. 무중력 우주에서 인공위성이 자유롭게 이동하거나 자세를 바꾸는 일을 돕지요. 같은 연료량으로 더 멀리 더 빨리 이동할 수 있도록 오늘도 열심히 연구 중이랍니다.

이광재
선임연구원

저는 인공위성의 활용을 담당하고 있어요. 힘들게 위성을 개발하고 많은 인원이 매달려서 운영하는 인공위성의 궁극적인 목적은 바로 위성으로부터 획득한 정보를 잘 활용하는 것이죠. 항상 마지막을 책임지고 있어서 힘들기도 하고 책임도 크지만, 그래도 이 일이 재미있어서 오늘도 늦게까지 연구실에 남아 있답니다.

서희준
선임연구원

저는 인공위성의 우주환경시험을 담당하고 있어요. 우주환경은 고진공 및 극저온 환경이 공존하는 곳으로 지상환경과 판이하게 다르죠. 이러한 우주환경에서 위성이 잘 작동할 수 있도록 위성체가 발사되기 전에 완벽히 검증하여 임무를 성공적으로 완수할 수 있도록 오늘도 열심히 연구중이랍니다

배종희 박사

저는 달 탐사선의 궤적설계와 제어를 담당하고 있어요. 달 탐사선이 지구에서 출발하여 달까지 안전하게 가기 위한 방법과 달에서 성공적으로 임무를 수행하기 위한 방법을 연구하고 있답니다. 우리나라 달 탐사선의 멋진 비행과 성공적인 임무수행을 위해 힘내서 열심히 준비할게요!