KAIST
2011 Annual R&D Report

2011년을 빛낸 연구성과

KAIST

Korea Advanced Institute of Science and Technology
대전광역시 유성구 대학로 291 (구성동 373-1) 305-701
Tel 042-350-2114 **Fax** 042-350-2210(2220)
http://www.kaist.ac.kr

세계의 중심에서 세상을 움직이는
최고의 과학기술대학

한국 속의 KAIST

KAIST는 국가가 필요로 하는 고급 과학기술 인력을
양성하고, 연구중심 대학의 모델을 제공키 위해
1971년에 설립됐습니다.

세계 속의 KAIST

KAIST는 현재 세계 과학계의 존경받는 일원으로
성장했습니다.

KAIST 속의 세계

KAIST는 앞으로 한국만이 아닌 세계의 시선이
집중되는 세계 최고 수준의 대학이 될 것입니다.

KAIST 경쟁력

국가 경쟁력 강화를 위한 교육개혁 선도

교육선진화를 추진하여 산업체가 만족하는 인재양성 및 배출

교원활동 지원의 확충을 통해 세계 일류 수준의 학문적 탁월성 성취

국제화에 부응한 교과과정 재편성

연구활성화 및 효율성 제고

기초분야의 연구기반 강화

대학원 교육과 연계

복합기술개발을 위해 산학연 협동 강화

학제간 복합연구 수행 : IT, BT, NT 등

중장기 연구과제 수행 활성화

산학협동을 통한 국가경쟁력 강화

벤처의 산실 역할 (신기술 창업 지원)

산업체에 대한 기술지도 및 기술지원

KAIST

2011 Annual R&D Report

2011년을 빛낸 연구성과

발 간 사

● **세계속의 KAIST는 인류사회에 공헌하기 위해서 노력해 왔습니다.** KAIST는 연구 중심대학으로서 창의적인 연구를 통해 미래사회에 필요한 과학기술의 발전에 기여하고 있습니다. 또한 시대가 요구하는 세계적이며 인간다운 인재 양성에 전력을 다하며, 교수 방법및 연구 방법을 끊임없이 개선하여 교육과 연구부분에서 진정한 세계적 리더 양성을 지향합니다.

● **40세가 된 KAIST의 2011년은 다사다난하였지만 교육 및 연구 분야 성과는 어느 해보다도 충실한 진전이 있었습니다.** KAIST는 나날이 발전하는 연구 성과를 최근 4개의 중점연구분야로 정리했습니다. 에너지(Energy), 건강(Health), 지식(Knowledge), 보안(Security)이 바로 KAIST가 값진 성과를 쌓아올린 분야들입니다. 또한 이들 분야에서 더 충실한 연구로 창의적인 지식을 창출해내기 위해 4대 연구전략을 수립했습니다. 융합연구(Fusion technology), 집단연구(Group work), 큰 주제발견(Big questions), 극단주제 설정(Concentration on the extreme topics of U shaped smile curve)이 KAIST의 전략입니다.

● **KAIST의 뛰어난 교수들과 도전적인 연구진들이 4대 연구전략을 통해 4대 분야에서 너무나 많은 업적을 이루었습니다.** 한국의 과학기술과 인류의 진전을 위해 불철주야 노력하는 이들을 모두 소개하고 자랑스러운 성과들을 공유하고 싶지만 일일이 나열하기에는 너무 많아 우수한 65선을 선별하고, 그 중에서도 최고의 연구성과 10선을 선정하여 국민 여러분과 공유하려 합니다. 최신 연구결과를 모든 사람들이 쉽게 이해할 수 있도록 정리하여 작은 책자로나마 발간합니다. 이 책자를 통해 연구자들이 다른 분야의 연구를 이해하여 융합연구를 계획하고 추진하는 데 도움이 되는 한편, 학생들이 과학기술을 이해하고 흥미를 지님으로써 교육에도 크게 기여하기를 기대합니다.
바쁜 가운데도 크나큰 사명감으로 이 보고서 발간을 위하여 수고를 아끼지 않으신 분들과 어려운 여건 속에서 교육과 연구에 전념하신 KAIST 가족 모두의 노고에 깊이 감사 드립니다.

2012년 4월 KAIST 총장 서남표

KAIST 2011
Annual Report

Contents

02 발간사

06 KAIST 일반현황
08 **비전과 목표**
10 **예산 및 지원 현황**
12 **연구성과 통계자료**

14 KAIST 10대 우수성과
20 **초고체 발견과 존재 규명 |** 물리학과 김은성 교수
24 **벌집 모양의 고효율 제올라이트 촉매 물질 합성 |** 화학과 유룡 교수
28 **생체 리듬 유전자 발견 및 메커니즘 규명 |** 생명과학과 최준호 교수
32 **신개념 뇌-신경 약물전달기술 개발 |** 바이오및뇌공학과 최철희 교수
36 **LNG선의 차세대 극저온 화물창 기술 개발 |** 기계공학전공 이대길 교수
40 **대장균을 이용한 폴리젖산 생산 |** 생명화학공학과 이상엽 교수
44 **질소 첨가 그래핀을 이용한 초고용량 축전지 개발 |** EEWS대학원 최장욱 교수
48 **고해상도 멀티-에너지 카운팅 X선 이미지 센서 |** 전기및전자공학과 조규형 교수
52 **Smart Fab 생산 운영을 위한 시뮬레이션 기반 P&S 시스템 개발 |** 산업공학과 최병규 교수
56 **새로운 이동통신 시스템 5G의 핵심기술 |** KAIST IT 융합연구소 조동호 교수

60 KAIST 주요 연구성과
64 **NT 융합분야**
68 **BT 융합분야**
70 **IT 융합분야**
76 **기타 융합분야**

KAIST

세계 속의 KAIST

쉼없이 달려온 40년, KAIST는 끊임없는 연구에 꺼지지 않는 불을 밝히며
한국 과학기술의 등불 역할을 수행해 왔습니다.
KAIST는 한국을 넘어 세계 속의 연구기관으로서 인류의 미래를 밝히는
길잡이가 될 것입니다.

The World Best Institute of Science & Technology

Vision

KAIST는 수준 높은 교육과 인적자원을 바탕으로 세계 최고 수준의 과학기술 교육연구기관을 지향합니다.

우수한 학생 선발

- 01 최고수준의 교육과정
  - 학부생 교육 혁신
  - 시스템 설계 교육과 연구 강화
  - 전체 수업 영어 강의 실시
  - 학비/장학금 시스템 정비
  - 외국 저명 대학과 공동·복수 학위
- 02 최고수준의 교수진
  - 학과 중심 체제
  - 영년직과 승진 제도의 혁신적 개선
  - 합리적 연봉 책정, 공로에 대한 보상 시스템 구축
  - KAIST 특훈 교수 임용
  - 신임 교원 충원으로 학생대 교수 비율 6:1로 향상

KAIST

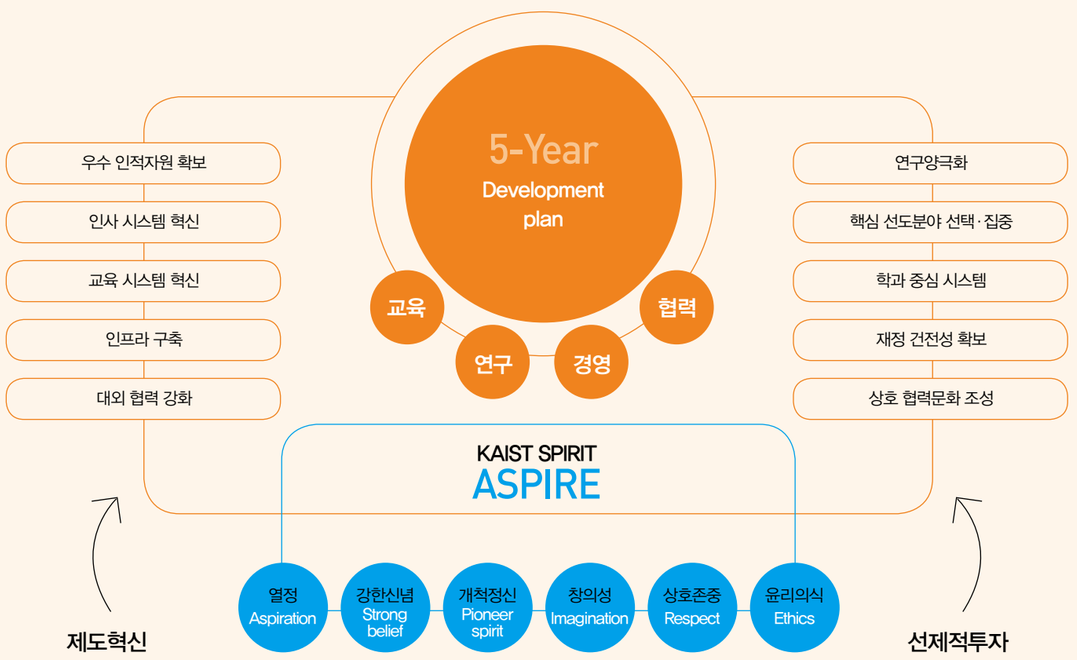
- 03 최고수준의 연구개발
  - 연구임팩트 극대화
  - 선별된 핵심 융합 분야 집중 육성
  - KAIST 연구원 설치
- 04 최고수준의 기반시설
  - 도서관 기숙사, 연구/실험실
  - 체육시설 확충
  - 7년간 1조원 기금 모음
  - 탐험 연구를 위한 종자기금 확대
  - 특허 취득 지원 확대
  - 공동 연구시설 지원 확대

세계 최고 수준의 졸업생 + **세상을 바꾸는 연구성과**

KAIST는 세계 최고 수준의 연구기관으로 도약하기 위해 노력하고 있습니다.

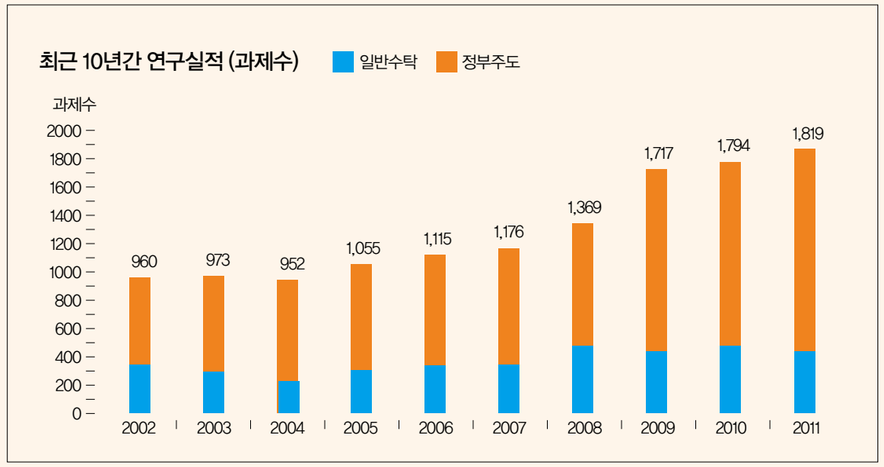
KAIST Vision

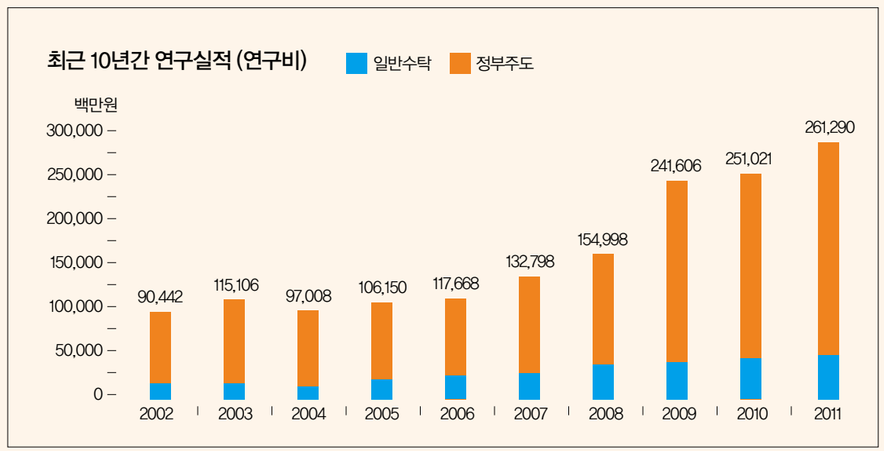
One of the Best S&T Universities in the World

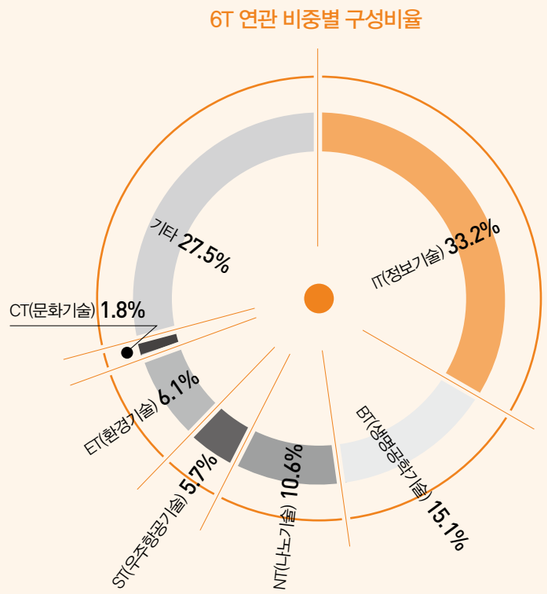


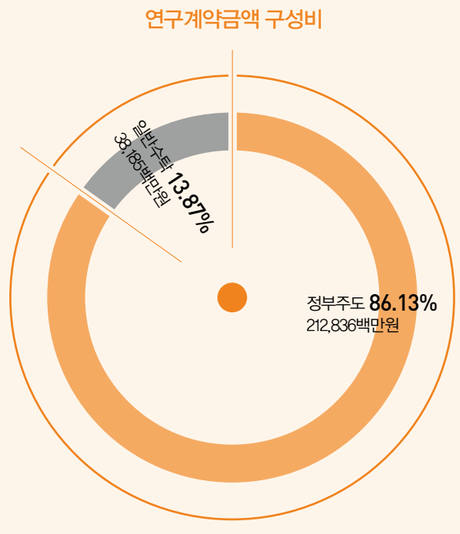
Research & Development Budget

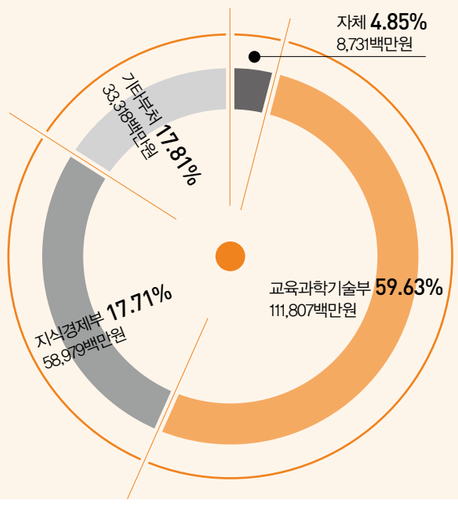
KAIST는 한국 최고의 국가 연구개발 기관으로서 다양한 과학기술 R&D 사업을 추진하고 있습니다. 특히 세계적 연구기관으로 발돋움하기 시작한 2008년 이후 연구비가 급증하여 현재의 성과를 내는 기반이 되었습니다.

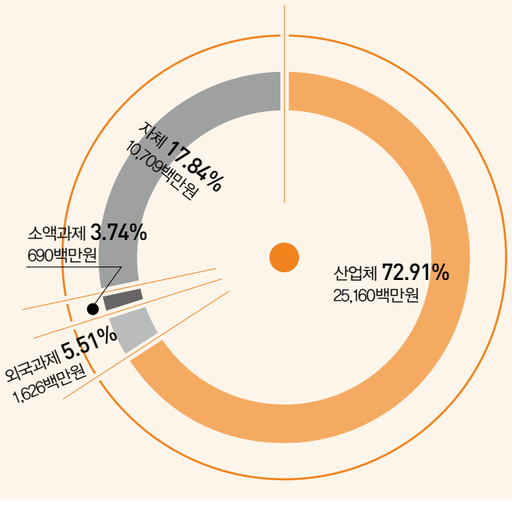






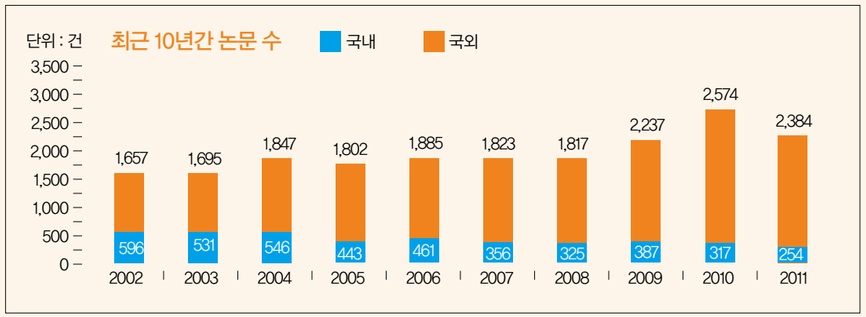


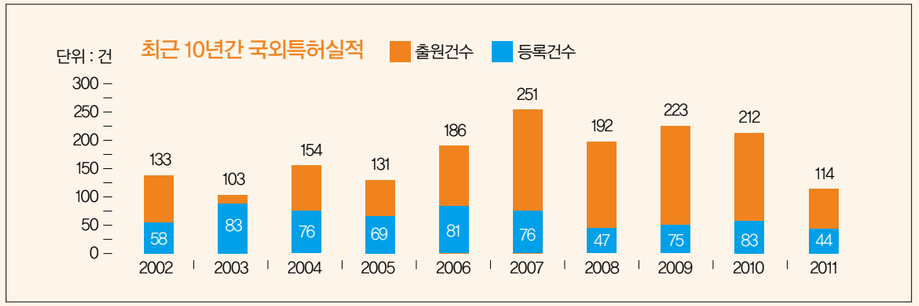


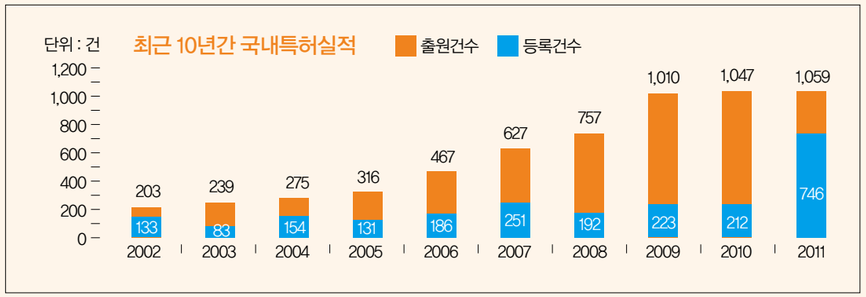


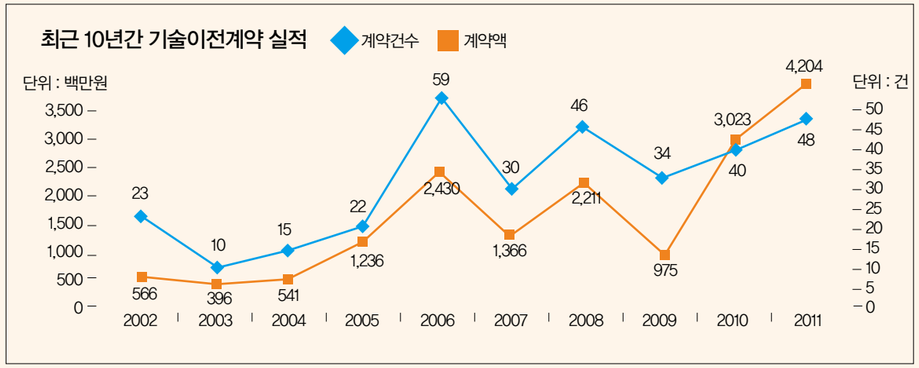
Research Outcomes

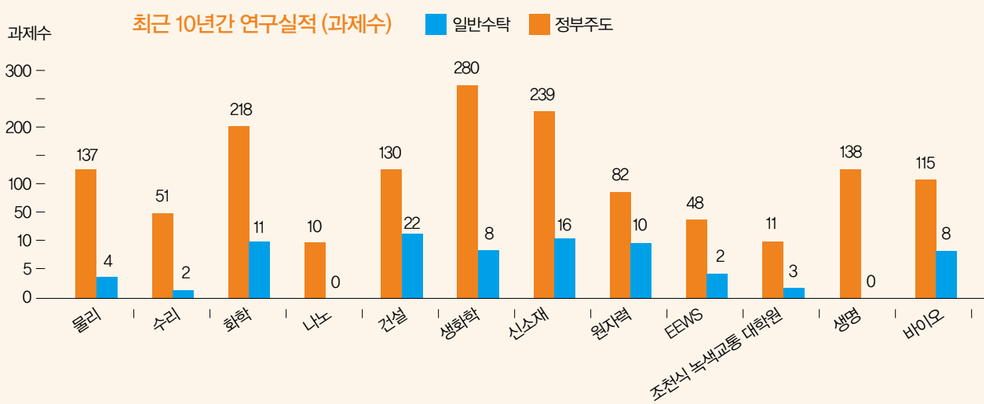
KAIST는 논문의 양과 질 모두에서 한국을 대표하는 과학기술 연구기관으로서 면모를 갖추어 나가고 있습니다.
발표한 연구성과를 특허와 기술이전으로 연계해 낸 성과도 높아 산업 발전에 큰 기여를 해왔습니다.

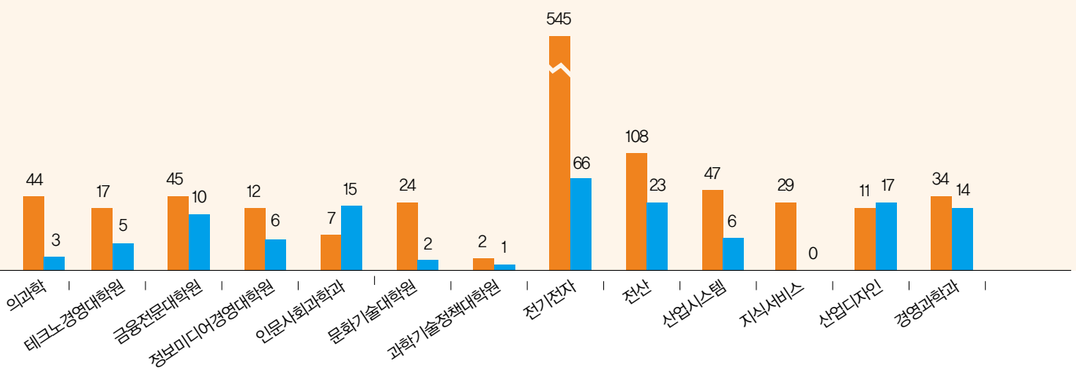












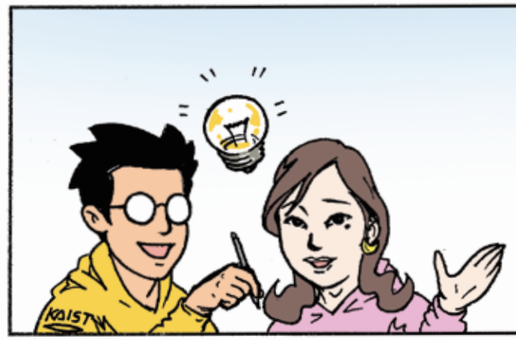
KAIST

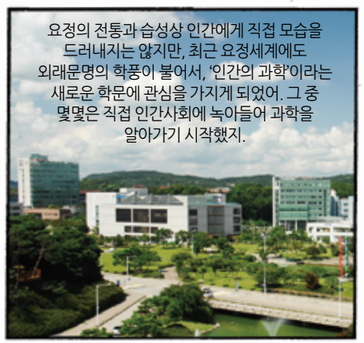
2011년을 빛낸 KAIST 10대 성과

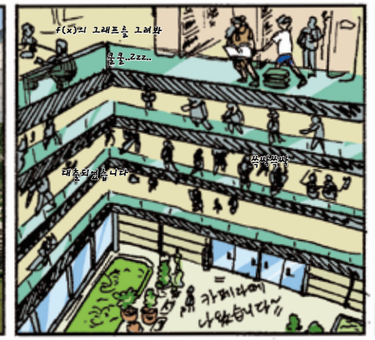
KAIST의 교수와 연구진들은 세계 속에 한국 과학기술의 저력을 알려왔습니다.
세계 유수의 학술지 표지를 장식하며 2011년을 빛낸 연구성과들을 소개합니다.

KAIST의 2011년을 빛낸 10가지 성과들

글 · 그림 김재이 (KAIST 생명화학공학부 학사과정)





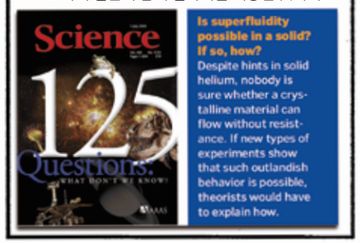


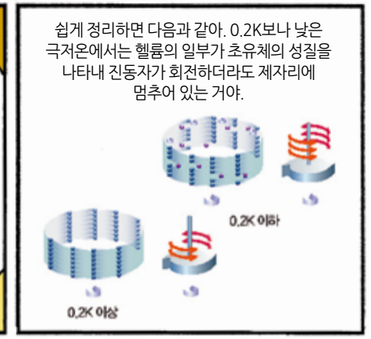
작년 초 세계 물리학계를 떠들썩하게 했던 초고체, 2010년 노벨상을 수상한 그래핀으로 만든 축전지, 화학계에 일대 혁명을 몰고 올 바이오플라스틱, 이동통신의 새 장을 열 5G 이동통신, 생산성과 수율을 높여 크나큰 경제적 가치를 지닌 제올라이트 촉매, 생명의 비밀을 한 꺼풀 벗겨 낼 생체리듬 조절 메커니즘, 세계 조선산업 1위 자리를 굳혀 줄 LNG선 극저온 화물창 기술, 레이저의 또 다른 발견 뇌-신경 약물전달기술, 반도체 제조공정의 효율성을 한 단계 끌어올릴 시뮬레이션 기반 공장제어시스템, 나노 단위 물질을 셈할 수 있는 멀티 X레이 카운팅 기술, 이 모두가 세계 과학계의 시선을 한국에 집중시키게 한 주역입니다.

한국 과학기술연구의 구심점으로 탄생한 KAIST는 한국의 울타리를 넘어 세계로 뻗어나갔습니다. 세계를 놀라게 한 KAIST의 성과들을 모았습니다.

초고체 발견과 존재 규명

KAIST 물리학과 김은성 교수 연구팀은 초고체의 존재를 입증하는데 한발 다가서는 성과를 이뤄냈어. Science지가 지난 2005년 선정한 인류가 풀지 못한 125가지 질문의 답에 실마리를 제공한 것이지.





초고체의 발견자, 초고체 논란을 종결짓다

초고체 발견과 존재 규명

김은성 지정석좌교수 (물리학과)

초고체 양자물성 연구단은 RIKEN과의 공동연구를 통해 '초고체'가 존재한다는 사실을 규명했다. 초고체는 연구단장인 김은성 교수가 2004년 처음 보고한 물질의 상태로 기존의 고체, 액체, 기체와는 성질이 다르다. 김 교수의 발견 후 고체가 단단해지는 현상을 물질의 새로운 상태로 오해한 것뿐이라는 반론이 있었다. 이번 연구로 논란을 종결짓고 초고체가 실재로 존재함을 증명했다.

Science지가 선정한 "인류가 풀지못한 125가지 질문들" 표지 (왼쪽) 그리고 그 중 하나를 차지한 초고체의 발견 (오른쪽)

2004년 당시 펜실베니아 주립대학교 물리학과의 박사과정 학생이었던 김은성 교수는 고체 헬륨에서 기존의 상식을 뒤집는 새로운 현상을 발견했다. 이 현상은 생활 속의 비유를 통해 더욱 쉽게 이해할 수 있다. 집에서 흔히 볼 수 있는 둥그런 컵에 젤리를 가득 담았다고 상상해 보자. 컵을 손으로 잡고 돌리면 안에 들어있는 물질도 같이 회전한다. 이는 컵의 표면과 젤리의 표면 사이에 점성이 작용했기 때문이다. 하지만 컵 안에 든 물질이 물리학자들이 발견한 '초유체'라는 상태가 되면 물질의 고유 성질인 점성이 없어진다. 액체 헬륨을 매우 낮은 온도(약 2K)까지 냉각하면 이러한 초유체로 상태가 바뀌는 것을 관찰할 수 있다.

김은성 교수의 실험은 위에서 언급한 예와 매우 유사하다. 단, 둥그런 컵을 돌려주는 것 대신 비틀림 진동자라는 실험 장치를 일정한 속도로 회전 방향으로 진동시킨다는 것과 액체 대신 고체 헬륨을 사용했다는 것만 다르다. 만약 액체 헬륨의 경우와 같이 고체 헬륨에서도 점성이 없어지는 '초유체'적인 현상이 나타난다면, 내부의 고체 헬륨은 그릇(비틀림 진동자)을 아무리 진동시켜도 그 진동으로부터 분리돼 움직이지 않을 것이다. 실제 김은성 교수의 실험 결과, 자연계에서는 존재할 수 없을 만큼 낮은 온도인 약 0.2K 근처에서 고체 헬륨을 담은 그릇을 따라 진동하는 헬륨의 양이 줄어들었다. 이는 일부의 고체 헬륨이 마치 초유체와 같은 성질을 띠게 된 것으로, 기존 물리학의 상식을 뒤집는 결과였다. 김은성 교수는 두 가지 공존할 수 없는 성질을 동시에 가지고 있는 고체 헬륨의 상태를 '초고체'라고 이름 지었다.

초고체 존재 논란 마침표 찍어

김은성 교수는 두 가지 새로운 실험 장치를 가지고 초고체를 둘러싼 논란을 종식시킬 실험을 준비했다. 그는 먼저 일본 RIKEN과의 협력 연구를 통해 회전식 냉각장치를 사용하기로 했다.

회전식 냉각장치를 도입한 이유는 간단하다. 일반적으로 초유체의 양은 초유체를 담은 그릇의 회전 속도가 커질수록 줄어드는 고유한 특성이 있다. 고체 헬륨이 정말로 초유체적인 성질을 가지고 있다면, 즉 초고체라는 물질의 상태가 정말 존재한다면 회전식 냉각장치를 빨리 회전시킬수록 그 안에 든 초고체의 양이 줄어들어야 한다. 반면에 고체 헬륨의 단단한 정도는 물질 고유의 성질이기 때문에, 냉각 장치의 회전 속도를 아무리 변화시켜도 그 값이 전혀 변하지 않는다. 따라서 초고체에 반론을 제기하는 물리학자들의 의견처럼 2004년의 실험 결과가 단순히 고체 헬륨의 단단함 때문에 나타난 것이라면, 회전 속도를 변화시켜가며 진동 주기를 통해 초고체의 양을 측정했을 때, 그 값이 변해서는 안 된다.

김은성 교수는 나아가 이런 가설을 확실히 증명하기 위해 초고체로 변한 고체 헬륨의 양과 그것의 단단함을 동시에 측정할 수 있는 새로운 비틀림 진동자를 고안했다. 기존의 실험들에서는 초고체의 양과 단단한 정도 중 하나만을 측정했기 때문에 상호 비교해보는 해석에 한계가 있었던 반면, 똑같은 고체 헬륨의 두 가지 물리량을 함께 측정할 수 있으면 둘의 상관관계를 명확히 볼 수 있기 때문이다.

만약 단순히 고체 헬륨이 더 단단해지는 현상을 초고체 상태의 발현으로 오해하고 있는 것이라면, 회전식 냉각장치의 회전 속도에 따라 두 물리량이 변하는 경향이 같아야 한다. 또한 회전식 냉각장치의 회전 속도를 바꾸었을 때, 고체 헬륨의 단단한 정도가 초고체의 양과 같은 양상으로 변화하지 않는다면 두 현상은 원인이 다른 독립적인 현상이라고 결론지을 수 있다.

결국 2010년 KAIST-RIKEN 공동연구팀의 실험 결과 두 현상은 실제로 다른 현상임이 밝혀졌다. 실제로 고체가 초유체적 성질을 가진다는 것을 다시 한 번 증명한 셈이다. 이로써 초고체의 존재 여부를 둘러싼 가장 큰 논란에 마침표를 찍었다.

의미와 전망

김은성 교수 연구팀은 이번 성과를 통해 고체 헬륨이 초유체와 같이 움직인다는 사실을 재차 확인했다. 또한 비틀림 초고체 상태의 발현과 고체의 단단함은 직접적인 인과관계가 없는 다른 현상이라는 사실도 증명했다. 결론적으로 이번 연구는 초고체 발견을 둘러싼 논란을 종식시키고, 마지막 퍼즐 조각인 초고체의 물리적 원인을 밝히기 위한 실마리를 발견한 것으로 평가받는다.

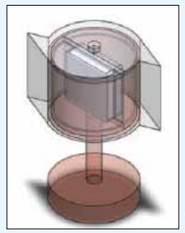
01

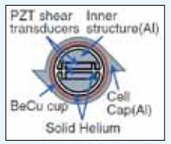
01 2010년 KAIST-RIKEN 공동연구에서 사용한 회전식 냉각장치를 외부에서 본 모습

02, 03, 04 진동 주기 이외에도 층밀림 탄성까지 측정할 수 있도록 고안된 새로운 비틀림 진동자. 이 비틀림 진동자는 내부에 압전변환기를 부착하여 고체의 단단함을 측정할 수 있도록 설계되었다.

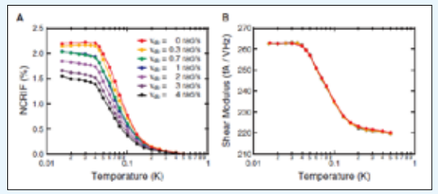
05 Science지에 발표한 실험 결과. 회전식 냉각장치의 회전 속도를 증가시키면서 측정한 결과 초고체의 양을 알려주는 NCRI (사라진 회전 관성의 총량, 즉 초고체의 양과 비례한다) 점점 줄어들며 (왼쪽), 이는 초유체의 대표적 성질이다. 하지만 단단함은 냉각장치의 회전 속도에 전혀 영향을 받지 않았다. (오른쪽) (H.Choi et al, Science 330, 1512 (2010))

02


03



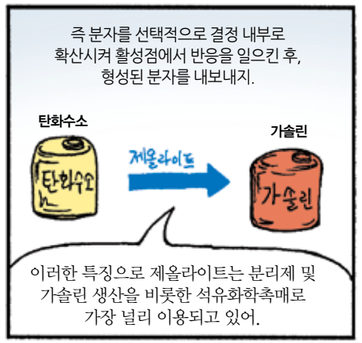
04

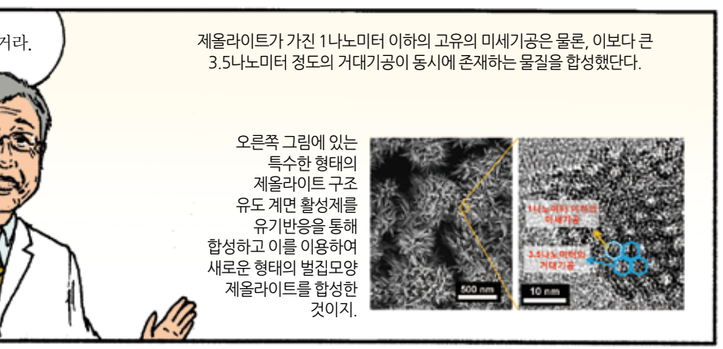


05

●**연구비 지원** | 창의적 연구사업 – 초고체 양자물성 연구단 ●**성과** | H. Choi, D. Takahashi, K. Kono and E. Kim, Science 330, 1512 (2010)
●**관련 문헌** | "기체, 액체, 고체 뛰어넘는 새 물질 '초고체'"(과학과 기술 2011년 1월호 36페이지)

벌집 모양의 고효율 제올라이트 촉매 물질 합성





25억 달러 넘는 촉매 시장 이끌 신기술

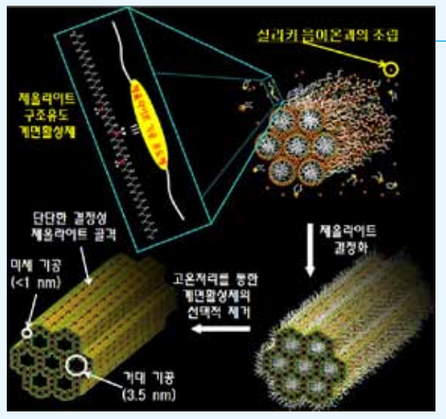
벌집 모양의 고효율 제올라이트 촉매 물질 합성

유룡 특훈교수 (화학과)

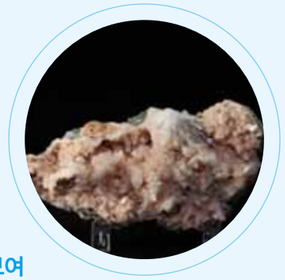
기능성 나노물질 연구단은 벌집 모양을 가지고 있는 고효율 제올라이트 촉매 물질을 합성하는 데 성공했다. 이는 크기 3.5㎚의 거대기공이 벌집 모양의 연탄구멍처럼 뚫려 있고, 그 기공을 지탱하는 골격에는 크기 1㎚이하 미세기공이 규칙적으로 뚫려있는 형태로 기존의 촉매 물질들에 비해 월등히 뛰어난 촉매 활성을 보여주고 있다.

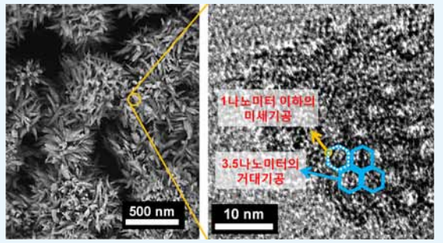
제올라이트는 모래의 주성분인 실리카와 알루미늄이 규칙적으로 연결돼 형성된 결정성 물질이다. 결정 내부에는 작은 분자들이 드나들 수 있는 지름 1㎚ 이하 크기의 수많은 미세기공이 규칙적으로 배열돼 있다. 머리카락 굵기의 약 1/1,000정도의 크기인 각각의 구멍들은 나노 크기 영역에서 물질의 반응을 촉진시키는 역할을 할 뿐 아니라, 구멍 크기에 맞는 분자만 선택적으로 통과시키는 '필터' 역할도 한다. 즉 반응 분자를 선택적으로 제올라이트 결정 내부로 확산시켜 활성점에서 반응을 일으킨 후, 형성된 분자를 결정외부로 배출하는 것이다.

이러한 특징으로 제올라이트는 분리제 및 가솔린 생산 등에서 쓰이는 석유화학촉매로 각광받고 있다. 문제는 미세 기공이 3차원적으로 촘촘한 배열을 이루다보니 이를 통과한 분자들이 잘 움직이지 않아 제올라이트 내부의 미세 기공을 막아버려서 촉매 활성이 급격히 저하된다는 점이다. 반응이 끝난 분자가 자리를 차지한 채 움직이지 않으니 반응을 할 새로운 분자가 들어갈 자리가 없어 금세 반응성이 떨어져버리는 것이다. 뿐만 아니라 미세 기공의 크기보다 큰 분자들의 경우에는 제올라이트의 미세 기공 내부로 들어갈 수 없기 때문에 촉매로 활용이 불가능하다. 제올라이트 분야에서 이 문제를 해결하는 신개념의 물질을 합성하는 것은 오랜 숙원 과제였다.



① 벌집모양의 제올라이트의 합성은 염기성 수용액에 제올라이트 구조유도계면활성제와 실리카를 첨가하면서 시작된다. 계면활성제는 비누 속에 존재하는 분자로서 물을 좋아하는 친수성 머리 부분과 물을 싫어하는 소수성 꼬리 부분으로 구성된다. 이 연구에서는 위 그림에서 보는 것과 같은 새로운 구조의 계면활성제를 설계하고 이를 유기 합성을 통해 준비하여, 벌집모양의 제올라이트를 합성하는데 구조유도체로 활용하였다. 이 수용액 내에서 계면활성제는 꼬리(하얀색)들간의 소수성 상호작용으로 인해 자가 조립(Self-assembly)되어 마이셀(micelle)이라고 하는 거대 분자를 형성하고, 이 마이셀은 벌집형태로 규칙적으로 배열된다. 이와 동시에, 양전하를 가지는 계면활성제의 머리 부분은(빨간색 공으로 표시되어 있는 부분) 음전하를 띠는 실리카들과 결합되어 벌집구조의 골격을 형성한다.
② 이렇게 만들어진 용액을 압력솥에 넣어 고온(140도)의 열을 가하면, 벌집 구조의 골격을 이루고 있는 실리카들이 결정화되어 제올라이트로 변환된다.
③ 제올라이트로 변환된 실리카 골격은 600도 이상의 고온에서도 안정하기 때문에, 고온처리를 (550도) 통하여 계면활성제를 선택적으로 제거한다.
④ 유기계면활성제가 제거된 공간에는 벌집모양으로 배열된 3.5 nm의 거대 기공과 1 nm 이하의 미세기공이 형성되어, 최종적으로 벌집모양의 제올라이트를 얻어낼 수 있게 된다.





▲ 벌집구조 제올라이트의 결정 형상을 보여주는 주사전자현미경(좌)과, 결정의 내부 구조가 3.5나노미터의 거대기공 및 1나노미터 이하의 미세기공으로 이루어져 있다는 것을 보여주는 투과전자현미경(우) 사진.

수많은 기공 통해 뛰어난 촉매 활성 보여

유룡 교수가 이끄는 화학과 기능성 나노물질 연구단은 제올라이트가 가진 고질적인 문제점인 저효율 분자 확산 문제를 해결하기 위해 많은 연구를 수행했다. 기존 제올라이트들이 가진 문제점들은 1㎚ 이하의 매우 작은 기공만으로 촘촘하게 배열된 골격 구조에서 비롯되었기 때문에, 유룡 교수 연구팀은 기존의 제올라이트가 가진 1 ㎚ 이하의 고유 미세기공은 물론, 이보다 큰 거대기공이 동시에 존재하는 물질을 합성함으로써 문제 해결방법을 제시했다. 이를 위해 연구단은 특수한 형태의 제올라이트 구조 유도 계면활성제를 유기 반응을 통해 합성하고, 이를 활용해 신개념의 제올라이트를 만들었다. 이렇게 만들어진 제올라이트는 3.5㎚의 거대기공이 벌집형태로 규칙적으로 배열돼 있으며, 거대기공들을 지탱하는 거대기공들 사이의 골격 내부에는 1㎚ 이하의 미세 기공들이 동시에 존재한다.

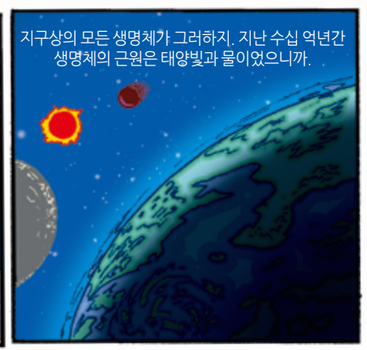
이러한 구조의 제올라이트 물질은 나노 파우더 형태로 얻으며, 무수히 뚫린 거대 기공과 미세기공들로 인해 10g의 표면적이 축구장 넓이에 해당될 만큼 엄청나게 넓은 표면적을 가진다. 이처럼 넓은 제올라이트의 표면에는 촉매로서 반응물질과 작용할 수 있는 곳이 무수히 많은데, 이로 인해 값싼 분자로부터 산업적으로 부가가치가 높은 화합물질을 만드는 촉매 반응에서 기존의 촉매 물질들에 비해 월등한 효율을 보여준다.

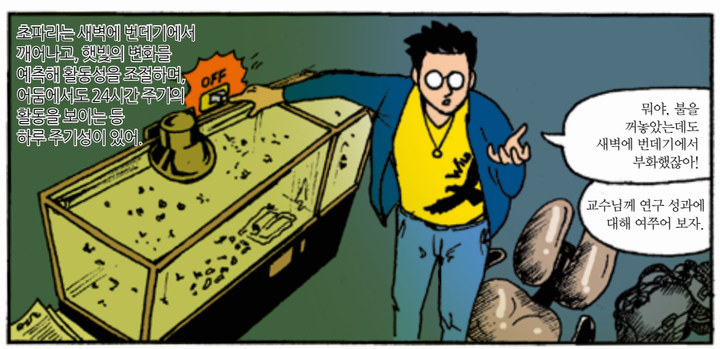
◎ 의미와 전망

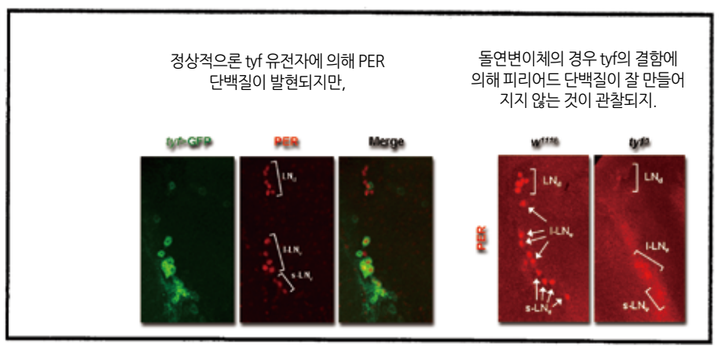
산업적으로 제올라이트가 촉매로서 차지하는 비중은 40% 이상이다. 세계적으로 제올라이트와 연관된 시장규모는 25억 달러이고, 이를 활용해 얻는 이익은 300억 달러로 추정된다. 즉 제올라이트가 산업에 기여하는 정도가 막대하며, 이러한 제올라이트의 효율을 증대시키는 것은 제올라이트를 활용하는 수많은 산업 분야에 경제효과를 증가시킬 수 있다는 점에서 중요하다. 앞서 소개한 벌집구조의 제올라이트 물질은 세계 최초로 발표된 신개념의 구조로서 학계와 산업 분야에서 지난 20여 년 가까이 합성하고자 노력해왔던 물질이다. 유룡 교수의 성공으로 이 물질에 대한 원천기술은 특허로 보호받고 있으며, 향후 산업화를 통해 다양한 산업 분야에서 고부가가치의 화합물을 생산하는 데 활용될 수 있을 것으로 전망된다.

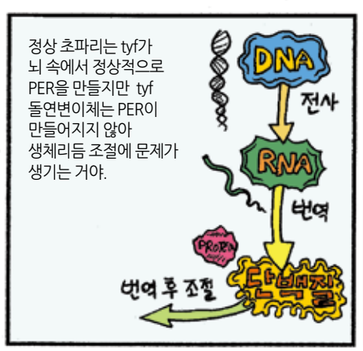
● **연구비 지원** | 교육과학기술부 『국가과학자 연구지원 사업』(과제 번호 : 20100029665) ● **특허출원** | 국내특허(출원번호 : 10-2010-0064200), PCT 특허(출원번호 : PCT/KR2011/004128) ● **관련 문헌** | Directing Zeolite Structures into Hierarchically Nanoporous Architectures. Science 333, 328-332 (2011)

생체 리듬 유전자 발견 및 메커니즘 규명









생체 리듬 연구의 신기원 이룩

생체 리듬 유전자 발견 및 메커니즘 규명

최준호 교수 (생명과학과)

최준호 교수 연구팀은 새로운 초파리 생체 리듬 유전자 '투웬티-포(twenty-four)'를 찾아내어 생체 시계 작용 기작 중 전사체에서 단백질을 만드는 번역 단계에서의 조절이 중요하다는 점을 밝혀냈다. 이 결과는 네이처(Nature)지에 게재됐다.

지구의 자전에 의해 생기는 낮과 밤은 빛, 온도와 같은 환경 변화를 일으킨다. 이에 적응하기 위해 인간, 초파리, 쥐 등 많은 생명체들은 하루를 주기로 작용하는 생체 시계를 가지고 있다. 각각의 생명체가 몸속에 지닌 생체 시계는 시간에 대한 정보를 주는 빛이나 온도 등의 외부 자극 없이도 약 24시간을 주기로 여러 생명 현상이 일어나도록 조절한다. 시간에 대한 정보가 주어질 경우 생체 시계는 외부 환경 변화 주기와 일치하도록 동조화된다.

해외여행시 시차로 인한 어려움을 겪다가 점차 현지 시간에 적응을 하게 되는데, 이는 우리 몸 안에 있는 생체 시계가 현지의 시간에 맞춰지는 과정이다. 하루 주기의 생체 시계는 생명체의 잠을 조절하는 중요 요소로 알려져 있다. 생체 시계와 관련된 수면 장애로는 전진성 수면 위상증후군이 대표적인데, 매우 이른 시간에 잠이 오고, 이른 시간에 기상하는 수면 양상을 보인다.

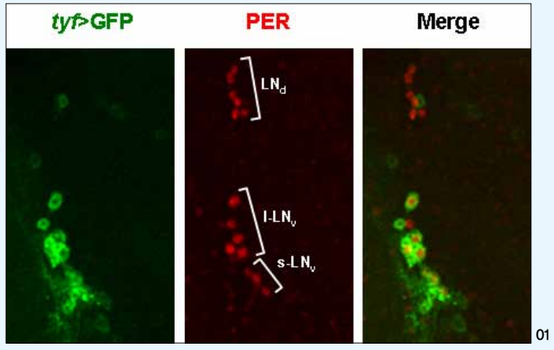
최준호 교수가 실험에 사용한 초파리는 다른 모델 동물들에 비해 개체 수를 늘리기가 쉽고 유전학적 실험이 수월하며 쥐, 인간과 유사한 생체 시계 구조를 가지고 있어 하루 주기 생체 리듬 연구에 널리 쓰이고 있다. 초파리 뇌에는 생체 리듬을 조절하는 신경 세포들이 있고, 각 세포는 분자적 시계를 가지고 있어 하루 주기 생체 리듬을 만들어 낸다. 이를 구성하는 6개의 중요 유전자들은 시계의 부품과 같이 맞물려 돌아가면서 외부 자극 없이도 하루 주기로 돌아가는 생체 시계를 유지시키고 있다. 생체 시계 관련 유전자들은 전사체 합성, 인산화 등의 번역 후 조절, 단백질 분해 등의 여러 단계에서 조절된다. 초파리는 하루 중 주로 새벽에 번데기에서 성체가 깨어나고, 해가 뜨기 전과 해가 지기 전에 미리 빛의 변화를 예측해 활동성이 증가하며, 지속적인 어둠에서도 약 24시간 주기의 활동 양상을 보이는 등의 하루 주기성 생명 현상을 보인다.

초파리 생체 리듬과 번역 기작 사이 연결 고리 찾아

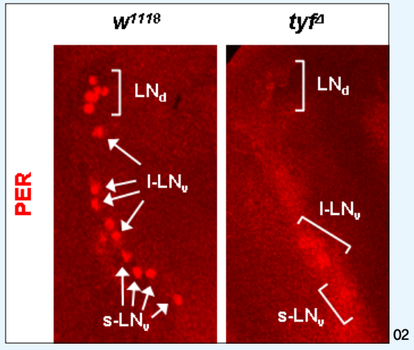
최준호 교수 연구팀은 새로운 생체 리듬 유전자를 찾기 위해서 형질 전환 초파리 라이브러리를 이용해 하루 주기의 행동 변화를 관찰했다. 연구팀이 3일간 12시간 단위로 빛, 어둠 상태가 되는 실험조건과 7일 동안 어둠 상태 조건에서 컴퓨터와 연결된 행동 측정 모니터를 이용해 초파리의 하루 주기 행동을 관찰, 분석한 결과, 야생형 초파리에 비해 주기성이 약해지고 행동 주기가 24시간보다 길어진 형질 전환 초파리를 찾을 수 있었다. 최준호 교수는 이 형질 전환 초파리의 이상 행동이 새로운 유전자에 의한 것임을 밝히고, 이 유전자를 '투웬티-포(twenty-four)'라고 이름 지었다. 또한 유전학 실험과 행동 분석을 통해 초파리 뇌 내의 시계 세포에서 투웬티-포의 정상 발현이 지속적인 어둠상태에서 하루 주기 활동 유지에 중요하다는 사실을 증명했으며, 생체 리듬 조절에 중요한 유전자들과의 상호작용을 조사함으로써 투웬티-포에 의한 기간(period)의 번역(전사체 정보를 이용해 단백질을 생성하는 단계) 조절이 초파리의 생체 시계 조절 기작의 일부임을 밝혔다. 지금까지 초파리 생체 리듬에 관한 연구는 전사 단계와 번역 후 조절에 관해 주로 초점이 맞춰져 있었고, 번역 단계에서의 조절은 상대적으로 많이 연구되지 않았다. 그러나 이번 연구를 통해 투웬티-포와 번역 단계에서 작용하는 여러 단백질이 상호작용하고 있음이 밝혀져, 초파리 생체 리듬과 번역 기작 사이의 연결 고리를 찾게 됐다.

의미와 전망

최준호 교수의 연구는 유전자 번역 단계에서의 조절이 생체 시계의 작용 기작과 연관되어 있음을 밝히는 데 성공했다. 이번 연구 성과는 쥐, 인간과의 연관성을 바탕으로, 고등 생명체의 생체 리듬 연구와 생체 리듬 장애로 인해 생기는 수면 문제를 푸는 데 도움이 될 것이다.



01



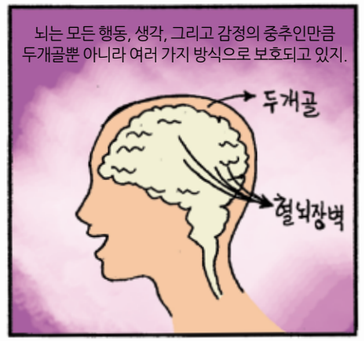
02

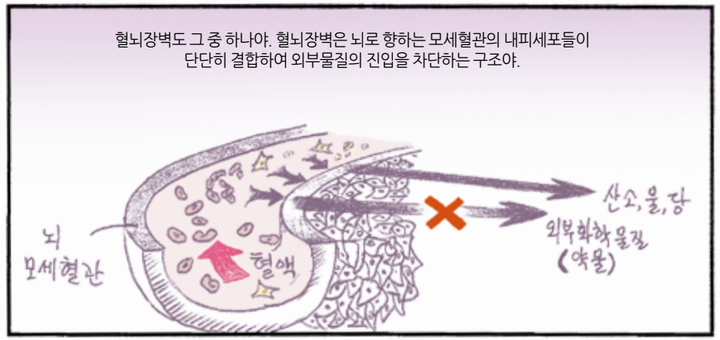
01 초파리 뇌 내의 투웬티-포(tyf)와 피리어드 (PER)의 발현 양상.

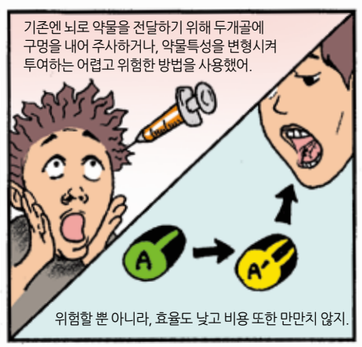
02 투웬티-포 돌연변이체 뇌 내의 피리어드 단백질의 발현 저하.

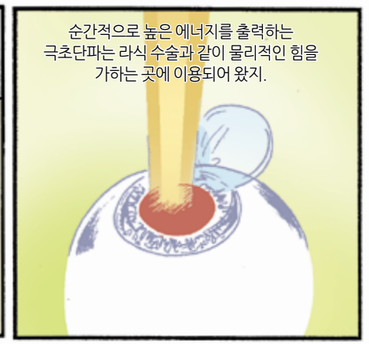
●**연구비 지원** | 교육과학기술부 21세기프론티어 뇌기능활용 및 뇌질환 치료기술개발사업 ●**관련 문헌** | Lim, C., Lee, J., Choi, C., Kilman, V. L., Kim, J., Park, S. M., Jang, S. K., Allada, R., and Choe, J. (2011) The novel gene twenty-four defines a critical translational step in the Drosophila clock. Nature 470, 399-403.

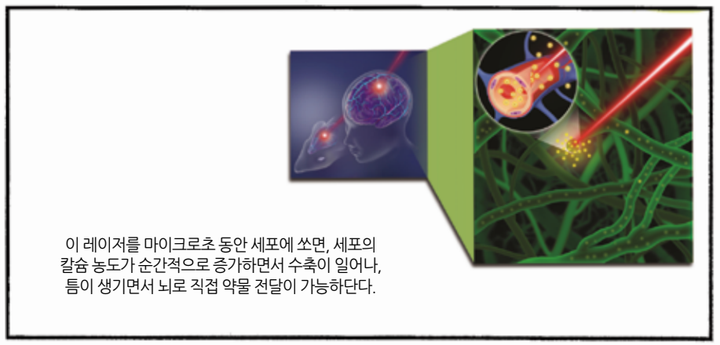
신개념 뇌–신경 약물전달기술 개발







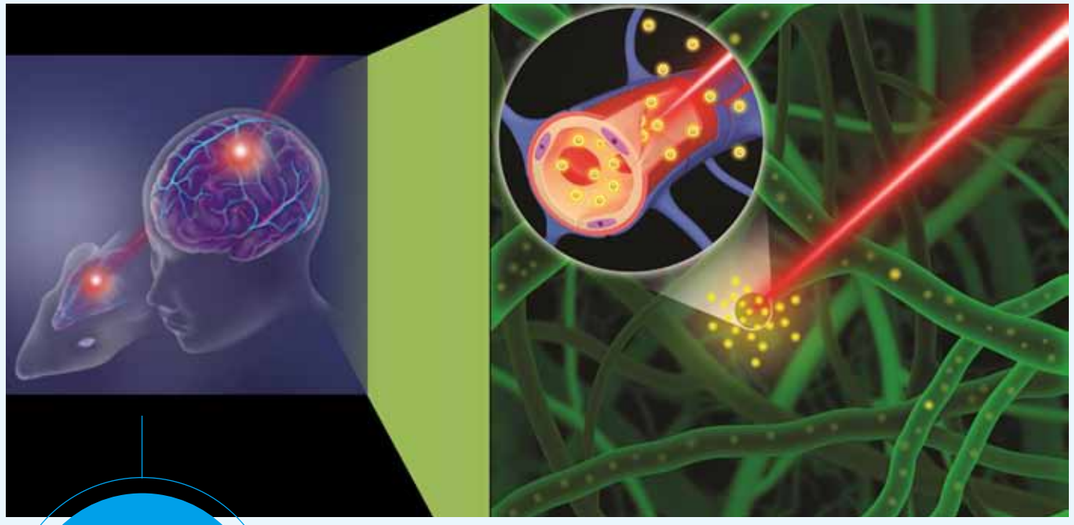




두개골 주사 등 위험한 시술은 그만

신개념 뇌-신경 약물전달기술 개발

최철희 교수 (바이오및뇌공학과)



최철희 교수 연구팀은 레이저를 이용하여 혈액 속의 약물을 뇌로 안전하게 전달하는 방법을 개발했다. 뇌와 혈관을 가르는 막에 아주 짧은 시간 동안 자극을 주어 보통 때는 뇌 속으로 이동할 수 없는 고분자물질이 뇌로 들어갈 수 있게 한다.

최철희 교수 연구팀은 빛을 이용해 혈액 속에 존재하는 약물을 뇌로 안전하게 전달할 수 있는 기술을 세계 최초로 개발했다. 이는 극초단파 레이저를 1,000,000분의 1초 정도 매우 짧은 시간 동안 혈관벽에 쬐어줌으로써 혈관에는 손상을 주지 않으면서 혈액 속에 있던 고분자 약물을 뇌로 안전하게 전달할 수 있는 원천기술이다.

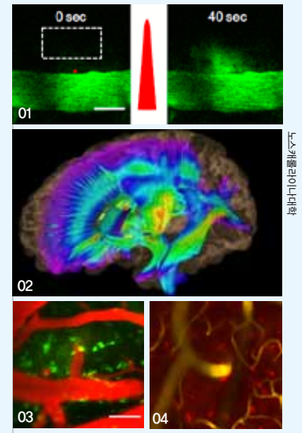
감기나 소화불량이 생겼을 때 우리는 약을 먹는다. 그렇다면 뇌에 질병이 생겼을 때는 어떨까? 뇌에 약물을 전달하는 것은 생각만큼 쉽지 않다. 이는 혈뇌장벽이라는 특수한 구조가 존재하기 때문이다. 혈뇌장벽은 생각과 감정을 담고 조절하는 특수 기관인 뇌를 보호하기 위해 스스로 갖추고 있는 특수한 구조이다. 정상인 상태에서는 방어를 해주는 고마운 구조이지만, 질병이 생겼을 때에는 약물 전달을 어렵게 만드는 양날의 검과 같은 존재다. 때문에 많은 과학자와 의학자들은 뇌의 질병을 치료하는 데 있어 정상적인 기능을 보존하면서도 약물을 투과할 수 있게 만드는 기술을 찾기 위해 무수한 노력을 기울여 왔다. 현재까지 뇌에 약물을 전달하기 위해 사용되는 방법으론 두개골에 구멍을 내서 직접 주사를 하거나 약물의 특성을 변형시켜 투여하는 등 위험하고 어려운 것이 대부분이다. 이러한 방법들은 환자를 힘들게 하고 비용이 많이 든다는 단점을 가지고 있으며, 약물 전달 효율성 등에 있어서도 개선해야 할 점이 많았다.

극초단파 펄스 레이저로 혈뇌장벽 열어

2011년 최철희 교수 연구팀은 빛을 이용해 뇌로 약물을 전달하는 신개념 약물 전달 기술을 개발하는 데 성공했다. 극초단파 펄스 레이저를 이용해 혈뇌장벽을 짧은 시간 동안 열어서 뇌의 원하는 부위에 약물을 전달할 수 있도록 한 것이다. 연구팀은 출력이 일정한 일반적인 레이저(Continuous wave laser)가 아니라 펄스 형태로 짧은 시간 동안 높은 에너지를 출력할 수 있는 펄스 레이저를 사용했다. 특히 연구팀이 사용한 극초단파 펄스 레이저는 100 펨토초(10의 13제곱분의 1초)라는 짧은 펄스 하나의 지속시간 동안 매우 높은 에너지를 출력하는 것이다.

순간적으로 높은 에너지를 출력하는 극초단파는 원래 라식 수술이나 금속 공정과 같은 물질에 열 혹은 물리적인 변화를 가하는 데 이용되던 것이다. 이중 낮은 에너지 범위의 극초단파 펄스 레이저는 수 마이크로 제곱미터(10의 12제곱분의 1제곱미터)이하에만 국소적으로 에너지를 전달할 수 있어 주위 생체조직에 피해를 주지 않기 때문에 최근 생체영상 촬영에 널리 이용되고 있다.

연구팀은 극초단파 펄스 레이저가 생체영상 촬영에 이용되는 에너지보다 높은 에너지에서 생체 기능을 조절할 수 있는 것을 발견했다. 극초단파 펄스 레이저를 이용해 마이크로초(백만 분의 1초)동안 세포를 자극하면 세포에서 여러 가지 기능을 담당하는 물질인 칼슘의 농도를 조절할 수 있는 것이다. 레이저를 통해 혈관을 감싸던 혈뇌장벽을 자극하면 칼슘이 증가하면서 순간적으로 수축이 일어나 혈관 주위 막이 사라지며 혈관으로부터 약물을 전달할 수 있게 된다. 연구팀은 레이저 자극을 통해 열린 혈뇌장벽이 수 분이 지난 후에 다시 원상태로 회복이 되는 것을 확인했다. 이는 레이저 자극이 혈뇌장벽을 완전히 파괴하는 것이 아니라 짧은 시간 동안만 변형을 일으킨다는 의미로, 기존의 해로운 물질을 차단하면서 뇌를 보호하는 기능이 파괴되지 않은 채 약물을 전달할 수 있는 가능성을 증명한 것이다.



01 빛 자극에 의해 열린 혈뇌장벽 사이로 흘러나가는 혈액(녹색).

02 3D 이미지로 재구성한 뇌 속의 신경전달 경로. 뇌는 인체에서 가장 복잡하고 민감한 장기다.

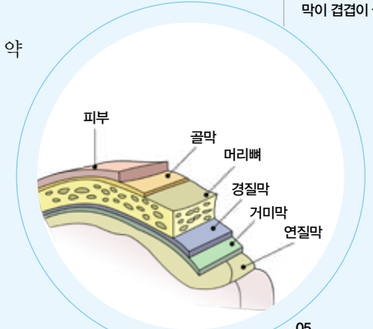
03 빛 자극에 의해 뇌로 전달된 아데노 바이러스에 의해 발현된 녹색형광 단백질(GFP).

04 빛 자극에 의해 뇌로 전달된 약물에 의해 염색된 성상교세포(붉은색).

05 뇌를 둘러싼 막들. 뼈 안쪽에도 세 개의 막이 겹겹이 둘러싸서 뇌를 보호한다.

의미와 전망

빛을 이용해 약물을 전달하는 기술은 경구투여 방식으로도 뇌에 약물을 전달할 수 있기 때문에 바늘을 통하여 약물을 전달하는 기존의 방식에 비해 환자의 편의성을 크게 개선시킬 수 있다. 또한 수술이 필요하지 않기 때문에 치료비용 절감 및 치료의 효율을 크게 높이는 것도 가능하다. 결론적으로 빛의 깊은 투과성을 이용하면 별도의 수술 없이 뇌의 깊은 부위까지 치료가 필요한 곳에 선택적으로 약물을 전달할 수 있어 여러 가지 뇌 질환에 새로운 치료법을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

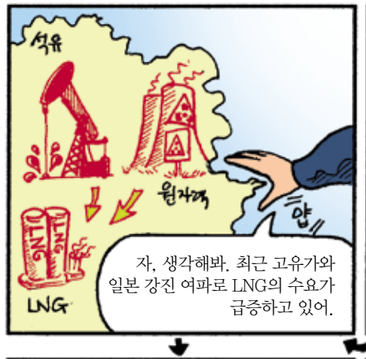


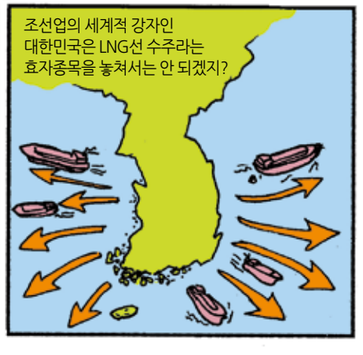
National Institutes of Health

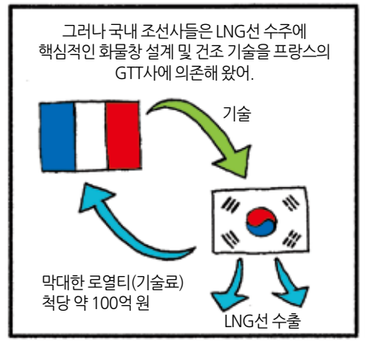
05

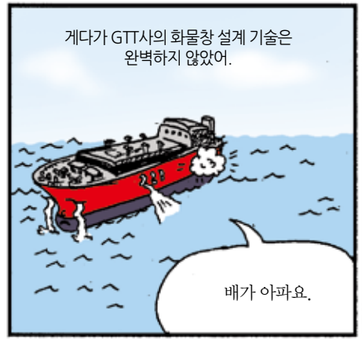
● **연구비 지원** | 교육과학기술부 21세기프론티어 뇌기능활용 및 뇌질환 치료기술개발사업
● **관련 문헌** | Proceedings of the National Academy of Sciences USA (5-Year Impact Factor=10.3) 2011.05.16

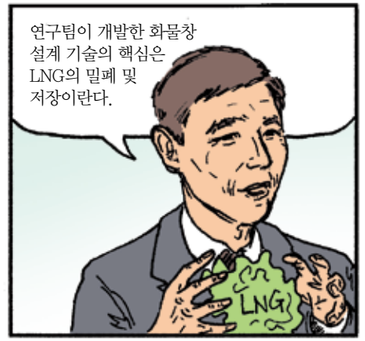
LNG선의 차세대 극저온 화물창 기술 개발

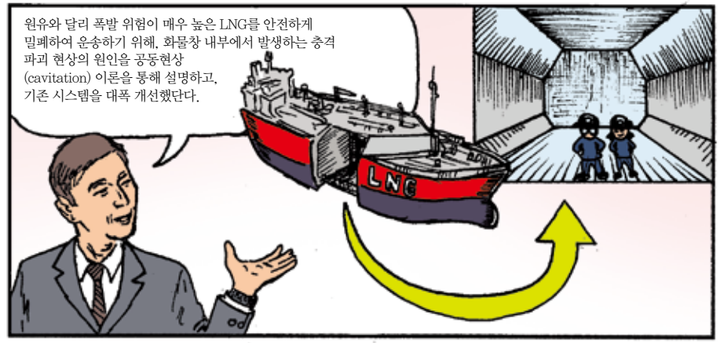


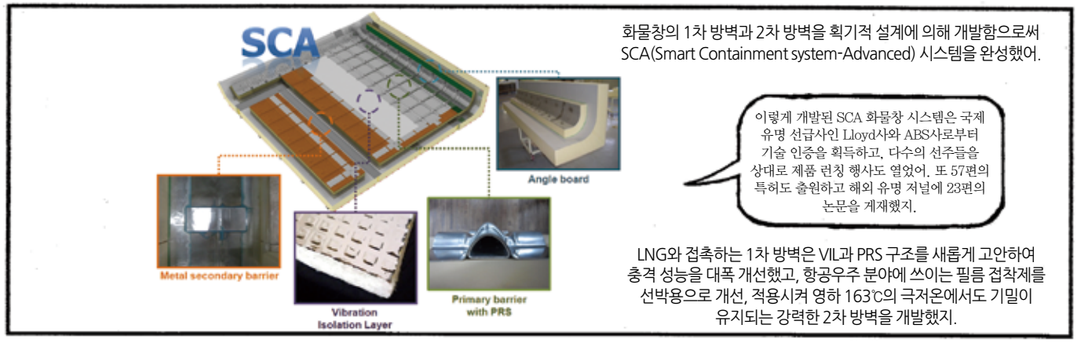












세계 LNG선 시장 선도 기반 마련

LNG선의 차세대 극저온 화물창 기술 개발

이대길 교수 (기계공학전공)

이대길 교수 연구팀은 LNG선 화물창의 2차 방벽을 스테인리스 스틸(Stainless steel)과 알루미늄(Aluminum) 박판으로 구성한 후, 두 박판을 항공우주용 필름 접착제로 접합해 극저온에서도 높은 기밀성을 가진 화물창을 개발했다. 이는 40년 동안 사용해도 전혀 가스 누출이 없는 신뢰성 높은 화물창 건조기술을 세계 최초로 확립한 것이다.

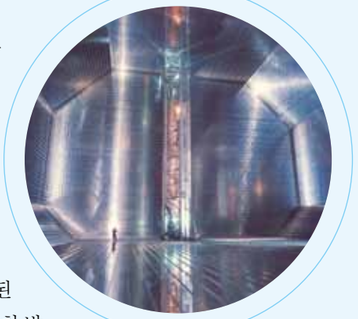
최근 고유가와 일본 강진의 여파로 인해 LNG(Liquefied Natural Gas)의 수요가 크게 늘어나면서 LNG 운반선의 수요 또한 급증하고 있다. 이에 한국, 일본, 중국 등 3국은 전 세계 LNG 운반선 수주를 놓고 치열한 경쟁을 벌이고 있다. LNG선은 −163℃의 LNG를 저장 및 수송하도록 설계된 고부가가치 선박으로, 1척당 가격이 약 2,000억 원 이상이다. 그동안 삼성중공업, 현대중공업, 대우조선 등 국내 조선 3사는 높은 선박 건조 기술과 경쟁력을 바탕으로 세계 LNG선박 시장을 사실상 독점해 왔다. 하지만 LNG선박의 핵심 기술인 화물창 건조 기술은 프랑스의 GTT(Gaz Transport & Technigaz)사의 기술에 의존해 왔으며, 선박 가격의 5%에 달하는 기술 로열티를 지급해 왔다. 이에 KAIST와 삼성중공업은 지난 2007년 화물창 독자 기술 개발의 필요성을 인지하고 기존 시스템에 비해 높은 신뢰성을 갖는 새로운 화물창 시스템 개발을 시작했다.

극저온에도 기밀 유지돼 신뢰성 향상

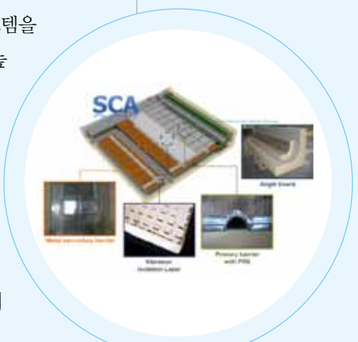
LNG선의 화물창은 −163℃의 LNG를 운항 도중 누설 없이 저장하기 위해 1, 2차 방벽으로 구성된 이중 방벽 구조를 사용한다. 기존 GTT사의 MARK-III 시스템은 1차 방벽에 열 수축에 의한 응력을 줄이고자 주름부가 있는 스테인리스 스틸을 사용하고 2차 방벽은 복합재료로 구성된 방벽재료를 액상 에폭시 접착제를 이용해 구성했다. 하지만 1차 방벽은 운항도중 LNG의 유동에 의한 충격에 매우 취약한 구조를 가지고 있었으며, 2차 방벽은 방벽 재료(복합재료)의 누설 특성으로 인해 방벽으로서의 기능을 제대로 수행하지 못한다는 문제점이 있었다. 이에 이대길 교수 연구팀은 충격에 의한 파손을 억제하기 위해 세계 최초로 개발된 VIL(Vibration Isolation Layer) 및 PRS(Pressure Resisting Structure) 구조를 1차 방벽에 적용했다.

연구팀은 여기에 복합재료에 비해 높은 밀폐성능을 갖는 스테인리스 스틸(Stainless steel) 과 알루미늄(Aluminum) 박판 재료를 항공우주용 필름 접착제로 접착한 2차 방벽 시스템을 세계 최초로 개발했다. 이는 −163℃의 극저온에서도 기밀이 유지돼 그 신뢰성이 높다.

이렇게 개발된 극저온 화물창 시스템인 SCA(Smart Containment system-Advanced) 시스템은 해외 유명 선급 업체인 영국의 로이드(Lloyd's Register)와 미국의 ABS(American Bureau of Shipping)로부터 기술 인증을 획득했으며, 지난 2011년 9월에는 영국 런던에서 주요 선주 및 선급을 대상으로 공식 런칭 행사를 개최해 기술 설명회를 가지기도 했다. SCA 시스템을 통해 국내 조선 업계는 완전한 기술 독립을 이룰 수 있었으며 국내 조선 기술의 발전과 세계 LNG선 시장의 지속적인 비교 우위를 확보할 수 있게 됐다.



▲ 극저온 화물창(Cryogenic Containment System)의 내부구조

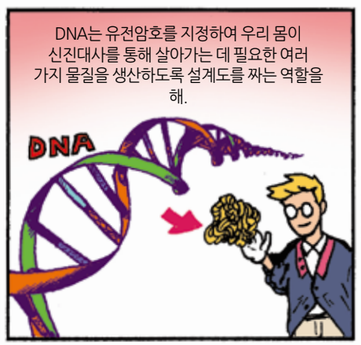


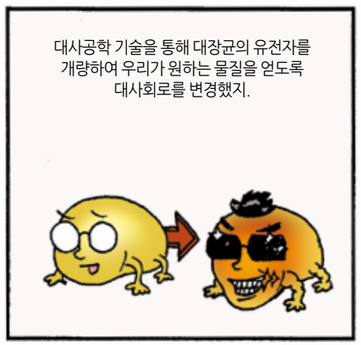
◎ 의미와 전망

SCA 시스템은 충격 저감장치 및 압력지지 구조를 가지는 1차 방벽과 항공우주 기술을 적용한 2차 방벽이 적용돼 이미 해외로부터 그 기술을 인정받았다. 이는 완전한 기술 독립을 통해 국내 조선업계가 지불하는 막대한 기술 로열티로부터 벗어날 수 있음을 의미한 것이다. 또한 새로운 독자 모델의 기술 우위는 국내 조선 업계에게 세계 LNG선 시장을 선도할 수 있는 기반을 마련하는 한편, 관련 생산업계에 상당한 시너지 효과를 가져올 것으로 기대된다. 이번에 개발된 화물창 설계 기술과 국내 조선사들의 선박 건조 능력 및 생산 노하우와의 조합은 대한민국의 조선업이 '영원한 절대강자'라는 사실을 세계에 다시 한번 알릴 것으로 기대된다.

● **연구비 지원** | 4년간(2007년~현재) 삼성중공업으로부터 25억원의 연구비 지원
● **특허출원** | 57건의 특허 출원 ● **관련 문헌** | 해외 학술지에 23편 게재

대장균을 이용한 폴리젖산 생산





‘썩는’ 플라스틱, 제품도 만드는 방법도 친환경

대장균을 이용한 폴리젖산 생산

이상엽 특훈교수 (생명화학공학과)

플라스틱 일회용품은 편리하지만 분해가 잘 되지 않아 환경문제를 일으키는 경우가 많았다. 그러나 박테리아가 쉽게 분해할 수 있는 친환경 플라스틱이 개발되면서 일회용 플라스틱 제품 사용이 증가하는 등 친환경 플라스틱 시장이 커지고 있다. 이상엽 교수 연구팀은 박테리아를 이용해서 세계 최초로 자연계에서 만들어지지 않는 ‘폴리젖산(Polylactic acid, PLA)’을 생산하는 데 성공했다. 폴리젖산 플라스틱은 흙속에 존재하는 미생물들에 의해서 자연 분해되어 물과 이산화탄소로 다시 돌아오기 때문에 환경 친화적인 원료로 각광을 받고 있다.

석유의 가장 중요한 용도 중 하나는 바로 플라스틱이다. 플라스틱이란 단어가 ‘모양을 마음대로 만들 수 있다’는 뜻에서 유래한 데서 알 수 있듯 플라스틱은 가공이 쉽고 가볍고 튼튼한데다 저렴하게 대량생산할 수 있어 재료분야의 혁명이었다. 그러나 화석연료가 점점 고갈되고 환경에 미치는 악영향이 속속 보고되면서 옥수수 등과 같은 유기물로부터 플라스틱과 유사한 물질을 얻는 방법에 관심이 쏠리기 시작했다. 학계에서는 최근 미생물에서 화학연료를 추출하는 바이오리파이너리(Biorefinery)에 관심을 두고 생물로부터 필요한 물질을 얻어내는 방법을 찾고 있으며 여러 분야에서 성과를 내어 시판되는 제품도 등장했다.

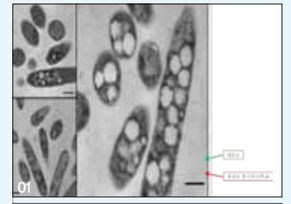
KAIST의 이상엽 교수 연구팀은 숙신산, 나일론원료 등 다양한 화학물질들을 대사공학을 통해 만드는 연구를 해왔다. 특히 기존 폴리에스터를 대체할 수 있는 물질인 폴리하이드록시알카노에이트를 미생물을 이용하여 효율적으로 생산하는 공정도 개발하는 성과를 거둔 바 있다. 한편, 최근에는 유기물질 플라스틱 중 자연 상태에서 완전히 분해되는 생분해성이 높고 독성이 거의 없어 생체에 영향을 주지 않는 폴리젖산이 주목받고 있다. 폴리젖산과 유사한 바이오 기반의 플라스틱을 대량생산할 수 있다면 기존 플라스틱을 완전히 대체하는 것도 가능하다는 관측이 나올 정도다. 그러나 미생물 공정과 화학적 공정을 함께 사용하는 복잡한 과정을 통해서 폴리젖산을 만들어야 했기에 많은 공정 개선이 필요했다. 무엇보다 폴리젖산은 자연상태에서 존재하지 않는 물질이라 전적으로 인공적인 생산에 의존해야 한다는 점에서 대량생산에는 난점이 많다. 이상엽 교수팀은 LG화학과의 공동연구를 통해 자연계에 존재하지 않는 고분자 화합물을 미생물을 이용하여 생산한다는 아이디어를 통해 연구를 진행하고 있으며 비천연고분자 생산에 관한 첫 번째 성과가 바로 폴리젖산이다.

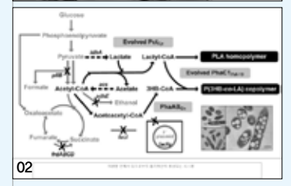
이상엽 교수의 표지논문으로 실린 Biotechnology and Bioengineering 2011년 2월호

◀ 미생물로부터 얻은 바이오고분자. 차세대 친환경 플라스틱으로 각광받고 있다.

‘석유·석탄 없이 바이오 플라스틱’ 국내 성공

이 교수팀은 미생물인 박테리아를 이용하여 폴리젖산(Polylactic acid, PLA)을 효율적으로 생산하는 방법을 찾아냈다. 기존의 복잡한 2단계 공정을 통해 생산되던 폴리젖산을 지구상에 가장 풍부한 리그노셀룰로우즈 등의 재생 가능한 원료로부터 미생물의 직접 발효로 생산할 수 있게 한 것. 한마디로 미생물을 배양하고 적절한 먹이만 주면 이들이 바이오플라스틱을 생산해낸다는 것이다. 이 교수팀은 여기서 그치지 않고 다른 단량체들과 젖산이 함께 섞인 다양한 성질의 플라스틱을 만드는 방법도 발견했다. 이 교수 연구팀의 방법을 이용하면 기존의 유기물 기반 플라스틱을 저렴한 비용으로 대량생산할 수 있다. 이번 연구결과는 전 세계 특허출원 중이며 ‘Biotechnology and Bioengineering’에 표지논문으로 게재되었으며, 세계경제포럼 등과 CNN, Economist, US News & World Report 등 다양한 언론의 주목을 받았다.


01



02

01 이상엽 교수가 개발한 대장균이 폴리젖산을 만들어내고 있다.

02 대장균이 폴리젖산을 만들어내는 과정. 포도당을 이용하여 에너지를 얻고 그 산물로 폴리젖산이 나온다.

의미와 전망

바이오플라스틱은 석유나 석탄 없이 플라스틱 생산이 가능하기 때문에 이산화탄소 배출량 감소, 원료비용 절감 등 다양한 장점이 있다. 무엇보다 환경오염, 기후변화 등 환경문제가 심각한 때에 바이오플라스틱은 친환경 플라스틱이라는 점이 가장 큰 매력이다. 게다가 화석원료가 고갈되어가고 있으므로 폴리젖산을 비롯한 바이오플라스틱의 사용은 전세계적으로 점점 더 확대될 것이다. 이번 연구는 앞으로 크게 확장될 바이오플라스틱 시장에 대비하는 첫걸음이다. 폴리젖산을 대량생산하는 방법을 응용하면 친환경적인 방법으로 다양한 바이오플라스틱을 만들어낼 수 있을 것이다.

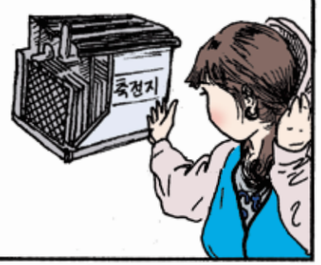
03

03 바이오플라스틱은 짧은 시간 안에 생분해가 가능하여 일회용품으로 많이 이용된다.

●**연구비 지원** | 교육과학기술부 바이오의료기술개발사업-시스템인포메틱스사업 / LG화학(주) 기술연구원 ●**특허출원** | Park, S.J., Jung, Y.K., Cho, J., Lee, S.Y., “Cells or Plants Having an Producing Ability of Polylactate or Its Copolymers and Method for Preparing Polylactate or Its Copolymers Using the Same”, Patent no. WO 2006/126796 Park, S.J., Yang, T.H., Kim, T.W., Lee, S.Y. et al., “Copolymer containing 3-hydroxyalkanoate unit and lactate unit, and its manufacturing method”, Patent no. WO 2008/062996 ●**관련 문헌** | Jung, Y.K., Kim, T.Y., Park, S.J., and Lee, S.Y., “Metabolic engineering of Escherichia coli for the production of polylactic acid and its copolymers”, Biotechnol. Bioeng., 105(1): 161– 171 (2010.1) Jung, Y.K. and Lee, S.Y. “Efficient production of polylactic acid and its copolymers by metabolically engineered Escherichia coli”, J. Biotechnol, 151(1): 94–101 (2011.1) Yang, T.H., Jung, Y.K., Kang, H.O., Kim, T.W., Park, S.J., and Lee, S.Y. “Tailor-made type II Pseudomonas PHA synthases and their use for the biosynthesis of polylactic acid and its copolymer in recombinant Escherichia coli”, Appl. Microbiol. Biotechnol. 90(2): 603–614 (2011.4)

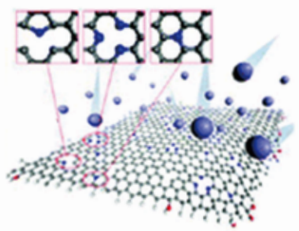
질소 첨가 그래핀을 이용한 초고용량 축전지 개발

축전지란, 충전과 방전을 되풀이 할 수 있는 전지를 의미해.

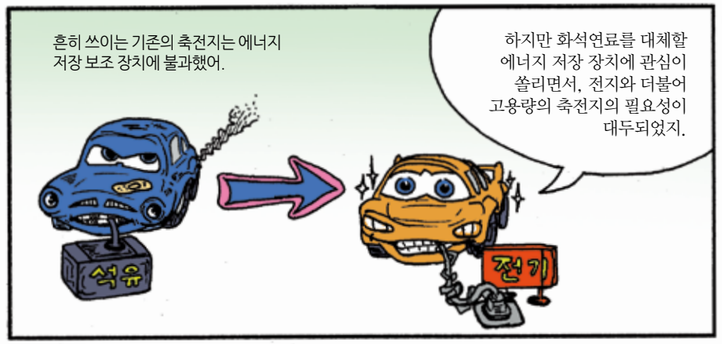


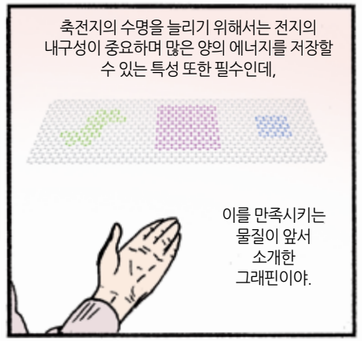
축전지의 핵심 부위에는 신소재인 '그래핀'을 이용할 수 있어.

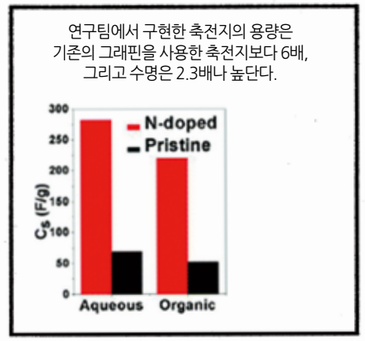
이 그래핀 대신, 그래핀의 특성을 향상시킨 질소 가미 그래핀을 도입하여 기존 축전지의 몇 배에 달하는 용량과 수명을 가지는 신개념 축전지를 개발한 것이지.

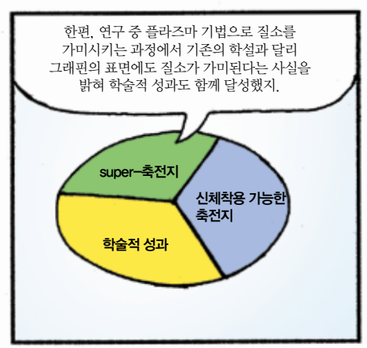


N-doped graphene









전기자동차 실용화, 한국이 이끈다

질소 첨가 그래핀을 이용한 초고용량 축전지 개발

최장욱 교수(EEWS 대학원)

현대사회는 전기를 빼놓고 생각하기 어렵다. 우리가 항상 사용하는 컴퓨터부터 거의 모든 가전제품, 자동차의 계기판 등 우리가 사용하는 거의 모든 곳에 전기가 사용된다. 가히 '전기 문명'이라고 할만한 현대사회의 숨은 공신이 바로 축전지다. 전기를 저장하여 언제 어디서나 쓸 수 있게 함으로써 장소 제약 없이 다양한 기기에 전기를 공급할 수 있기 때문이다. 특히 자동차에는 축전지가 매우 중요하다. 시동을 걸 때 엔진을 처음으로 움직이게 해 주는 것도 축전지고 전세계적으로 개발이 한창인 전기자동차의 핵심 부품도 축전지다. 전기자동차의 경우 그간 축전지의 용량 때문에 개발에 난항이 있었다. 충전 후 이동할 수 있는 거리를 충분히 확보하는 것이 실용화의 관건이었던 것이다. 최근 KAIST EEWS 대학원의 최장욱 교수 연구팀이 개발한 '질소 첨가 그래핀' 축전지는 용량 문제를 상당부분 해결하여 전기자동차 실용화를 앞당길 것으로 기대된다.

흔히 쓰이는 기존 축전지는 소형 가전에 주로 사용된다. 아직 축전지의 용량이 충분치 않아 큰 기기를 움직이기에는 무리가 있기 때문이다. 하지만 화석 연료를 대체할 에너지 저장 장치에 관심이 쏠리면서 전지와 더불어 고용량 축전지의 필요성이 커지고 있다. 따라서 기존 축전지보다 용량이 높은 이른바 초고용량 축전지(Super Capacitor) 연구가 활발해짐에 따라, 발전소 및 전기 자동차의 전원 보조 장치를 대체할 수 있는 가능성이 열렸다. 그러나 지금까지 개발된 초고성능 축전지는 에너지 저장 용량이나 효율 면에서는 제법 발전했지만 실용성은 아직 50% 수준에 머물러 있다. 더불어 이러한 전원 장치에서 가장 중요한 수명 문제를 해결한 사례가 드물다.

장치의 수명을 늘리려면 핵심 부품인 전극(에너지를 직접 저장하는 부분)의 내구성이 중요하며 많은 양의 에너지를 저장할 수 있어야 한다. 이를 모두 만족하는 물질이 요즘 꿈의 소재라 부르는 '그래핀'이다. 그래핀은 흑연을 원자 한 층의 두께로 벗겨낸 나노 물질로 여기에 간단한 처리를 하면 에너지 저장 특성을 개선할 수 있으며, 이를 이용하여 용량과 수명이 대폭 늘어난 축전지를 만들 수 있다.

두 마리 토끼를 잡아준 '질소 첨가 그래핀'

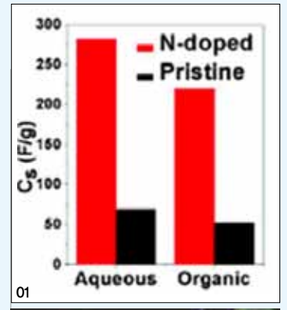
상용화가 가능한 고용량 축전지의 조건은 두 가지다. 용량과 수명. 하지만 이 두 가지 특성은 서로 상충되는 경우가 많다. 용량을 늘리려면 수명이 짧아지고 수명을 길게 하려면 용량이 제한되는 것이다. 한마디로 한 번에 두 마리의 토끼를 쫓는 셈이다. 신소재인 그래핀은 반복해서 사용해도 성능저하가 일어나지 않아 긴 수명을 확보할 수 있지만 용량이 낮아 실용화가 어렵다.

그런데 그래핀에 탄소원자보다 전자 하나가 더 많은 질소를 첨가하면 에너지 저장 용량을 몇 배로 향상시킨 축전지를 만들 수 있다.'질소 첨가 그래핀'은 기존 '그래핀'보다 전하를 끌어당기는 힘이 훨씬 강해서 많은 양의 전하를 저장할 수 있으므로 축전지 용량을 대폭 늘릴 수 있다. 또한 질소를 첨가해도 그래핀이 원래 지닌 내구성과 기계적 특성은 그대로 유지되기 때문에 우수한 수명 특성이 그대로 유지된다. 실제로 최 교수 연구팀에서 구현한 축전지의 용량은 기존 '그래핀'을 사용한 고용량 축전지보다 6배가량 높은 280F/g을, 수명특성은 산업화 가능한 반복 횟수인 10만 회를 훨씬 상회하는 23만 회 이상을 달성했다. 이는 용량과 수명을 기준으로 세계에서 가장 높은 수준의 성능이라 볼 수 있다.

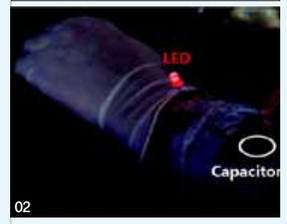
옷처럼 입을 수 있는 축전지?

신소재 그래핀은 탄소 원자가 한 층 두께로 배열된 나노 소재다. 그래핀은 휘거나 접어도 특성이 유지되기 때문에 '휘어지는 디스플레이', '접히는 메모리'등 모양을 자유로이 변화시킬 수 있는 부품을 만들 수 있다. 모양을 자유롭게 변화시켜서 휴대성을 극대화할 수 있으므로 IT업계에서는 그래핀의 가능성에 주목하고 많은 연구가 진행중이다. 그래핀으로 만든 축전지도 자유로이 휘고 접을 수 있기 때문에 몸에 착용할 수 있게 만들 수도 있다. 실제로 최 교수 연구팀에서는 질소가 첨가된 그래핀을 사용하여 팔에 착용할 수 있는 축전지를 구현했다. 자유로이 휘어지는 축전지는 전기 효율과 휴대성을 극대화하여 차세대 IT기기에 필수적인 부품이 될 것이다.

한편, 최 교수 연구팀의 이번 성과는 기존 학계의 이론을 뒤집는 것이기도 하다. 그래핀은 소재로서 우수한 특성 때문에 질소 등 다른 원소를 그래핀에 넣는 연구도 여럿 있었다. 기존의 연구에서는 질소원자가 그래핀의 표면(basal-plane)에는 잘 섞여들지 않고 가장자리(edge)에만 첨가된다고 생각했다. 그러나 최 교수 연구팀이 사용한 플라즈마 기법은 그래핀의 가장자리뿐만 아니라 안쪽 표면에도 질소를 첨가할 수 있다. 이는 이온가속기를 이용한 성분 분석을 통해 실증되었으며 기존의 학계 통념을 뒤집는 성과이기 때문에 학술적으로도 큰 의미가 있다. 최 교수 연구팀은 이번 성과로 질소 첨가 그래핀을 이용하여 초고용량 축전지 구현을 입증한 동시에 학술적 성과도 달성하는, 두 마리 토끼를 잡은 셈이다.



01



02

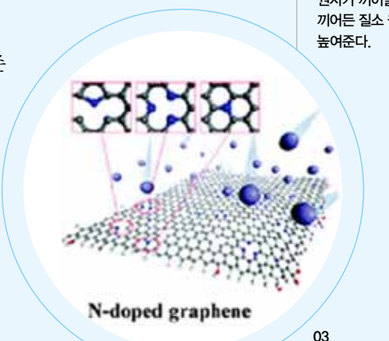
01 질소가 첨가된 그래핀과 일반 그래핀의 비교. 질소첨가 그래핀을 이용한 축전지는 일반 그래핀 축전지와 비교하여 용량이 무려 6배에 달한다.

02 그래핀을 활용한 축전지는 자유롭게 변형시킬 수 있어서 다양한 장소에 적용시킬 수 있다. 조만간 옷처럼 입을 수 있는 형태의 축전지도 나올 전망이다.

03 질소첨가 그래핀은 기존 그래핀에 질소원자가 끼어들어간 형태다. 그래핀 표면에 끼어든 질소 원자들이 전기적 효율을 대폭 높여준다.

의미와 전망

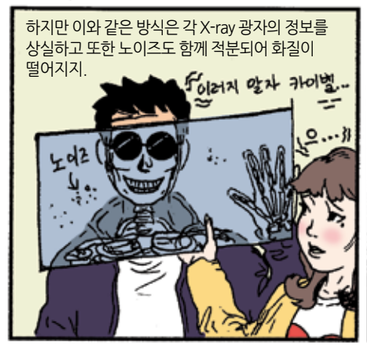
이번에 개발된 초고용량 축전지의 성능은 세계적으로 최고 수준이라 할 수 있다. 전기자동차처럼 고용량 축전지가 필요한 분야에 당장 활용이 가능한 수준이다. 축전지는 화석연료를 대체할 수 있는 핵심 부품으로 손꼽히므로 친환경 산업 분야에 크게 기여할 것이다. 또한 질소를 첨가하는 공정이 매우 간단하며 산업적으로 생산할 때도 새로운 설비 구축 부담이 거의 없기 때문에 빠르게 상용화할 수 있다. 무엇보다 질소 첨가에 따른 에너지 저장 특성 향상 분석 결과가 이례적이어서 학술적으로도 의미가 크다.

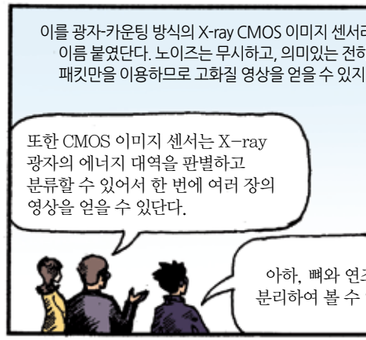


03

- **특허출원** | 국내 특허 출원중
- **관련 문헌** | 미국의 유명 화학 학회지인 '나노 레터스' (Nano Letters)에 게재

고해상도 멀티 에너지 광자-카운팅 X-Ray 이미지 센서





X선 사진도 HD 시대

고해상도 멀티-에너지 카운팅 X-Ray 이미지 센서

조규형 교수(전기및전자공학과)

병원에서 검진이나 진찰시 자주 사용하는 X선. 의사들의 진찰에 커다란 도움을 주는 장비지만 결정적인 역할을 하기는 어려운 경우가 많았다. 사진의 해상도가 낮아서 큰 구조를 보는 데는 적합하지만 미세한 이상까지 파악하기는 어려웠기 때문이다. 그러나 최근 X선 사진의 활용폭을 대폭 넓힐 수 있는 길이 열렸다. 작은 암조직까지 포착할 수 있는 X선 영상 센서가 개발된 것. 바야흐로 X선도 HD 시대에 들어선 것이다.

많은 사람들이 웰빙과 평소의 건강관리에 관심을 두면서 의료시장은 치료 중심에서 진단과 예방 중심으로 패러다임이 변화하고 있다. 망가진 것을 고치기보다 망가지지 않도록 관리하는 쪽으로 바람직한 변화가 불고 있다. 건강의 예방과 진단에서 매우 중요한 도구 중 하나가 바로 X선이다. 몸의 이상이나 질병의 징후는 몸 밖보다 몸 안에서 먼저 나타나는 경우가 많기 때문에 몸 속의 구조를 볼 수 있는 X선 사진의 역할이 중요한 이유다.

그러나 X선의 해상도가 그리 높지 않아 모든 질병을 모두 진단할 수 없다는 문제가 나온다. 예를 들면 암처럼 위험한 질병은 눈에 띌 정도로 질환 부위가 커지면 질병이 상당히 진행된 뒤이고 치료가 늦어지는 경우가 많다. 반대로 심각한 문제가 없는데도 마치 몸속에 이상부위가 있는 것처럼 사진이 찍혀 오진을 하는 경우도 간혹 있다. 그래서 의사들은 X선 사진을 전적으로 믿기보다 참고용 자료로만 쓸 뿐이다. X선 사진이 아직도 LD(Low Definition) 수준에 머물고 있는 탓이다. HD(High Definition)급 X선 사진을 얻을 수 있다면 오진을 줄이면서도 매우 작은 암조직도 검출할 수 있어 의사들의 진단에 큰 도움이 될 것이다.

Novel Foundation

X선은 처음 발견된 이래 의학과 연구, 비파괴검사 등 다양한 분야에서 이용됐다. 특히 분자생물학과 생화학 등 분자들의 미세구조를 파악해야 하는 분야에 크게 기여했다. 1962년 12월 스톡홀름에서 열린 노벨상 시상식에서 이중나선 구조 규명으로 노벨 생리의학상을 공동수상한 제임스 왓슨(오른쪽에서 두 번째)과 모리스 윌킨스(왼쪽), 프랜시스 크릭(왼쪽에서 세 번째).

전하를 하나하나 세어 고해상도를 얻는다

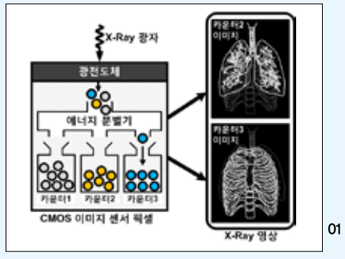
X선 촬영시 필름 역할을 하는 광전도체는 X선을 쪼이면 그 에너지만큼 전하를 방출한다. X선 물체를 투과하여 광전도체에 강하게 닿을수록 많은 전하가 발생하는 것이다. 이렇게 발생한 전하는 이미지 센서가 감지하여 영상 정보로 바꾸어 준다. 기존 X선 이미지 센서는 이 전하들이 시간에 따라 모인 양을 측정하여 이를 전압신호로 변환한 뒤 각 부분의 전압신호 차이를 이용하여 X선 영상을 만들었다. 이 방법으로는 X선이 광전도체에 닿는 순간 각각의 정보가 뭉뚱그려져서 없어지고 주변으로부터 섞여든 노이즈가 끼어들어 영상 화질이 떨어진다.

KAIST 전기및전자공학과 조규형 교수 연구팀은 기존 X선의 문제점을 개선하여 고해상도 촬영이 가능한 기술을 개발했다. 조 교수 연구팀이 개발한 방법은 광전도체에서 발생한 전하를 전압 정보로 바꾸지 않고 전하 패킷(묶음)을 하나하나 세어 이 숫자를 바탕으로 X선 영상을 만들어 내는 것이다. 이 방식을 이용하면 각 전하 패킷의 출처를 분명하게 구분할 수 있어 노이즈를 무시할 수 있기 때문에 X선의 화질을 대폭 높일 수 있다. 또한 새로 개발한 이미지 센서는 촬영에 사용한 X선 광자의 에너지 대역을 판별하고 분류할 수 있어서 멀티 에너지 X선 영상을 만들어낼 수 있다. 멀티 에너지 영상에 image processing 기술을 적용하면 한번에 뼈 사진과 내장 사진을 따로따로 얻을 수 있다.

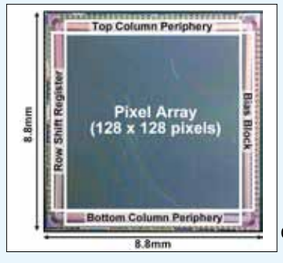
또한 조규형 교수 연구팀이 보유한 세계 최고 수준의 CMOS 회로설계 기술을 이용하여 이미지 센서의 픽셀 크기를 대폭 줄일 수 있었다. 말 그대로 HD급 X선 촬영이 가능해진 것이다. 또한 낮은 노이즈 회로설계 기술을 통해 이미지 센서의 감도를 기존 기술보다 대폭 높였다. 감도가 높아진만큼 이미지 형성에 필요한 에너지도 감소하여 인체 유해성도 크게 줄어들었다.

의미와 전망

조 교수 연구팀이 개발한 X선 이미지 센서는 훨씬 더 정확한 고해상도 X선 영상을 제공함으로써 질병 진단과정에서 의사들의 오진을 획기적으로 줄일 것이다. 새로운 방법을 이용하면 매우 작은 몸의 이상도 정확하게 판별이 가능하여 질병을 조기 진단하고 치료하는 데 크게 기여할 수 있다. 또한 최고 수준의 기술을 미리 확보함에 따라 고가의 수입산 의료영상 장비의 국산화에도 큰 도움이 될 것으로 예상된다.



01



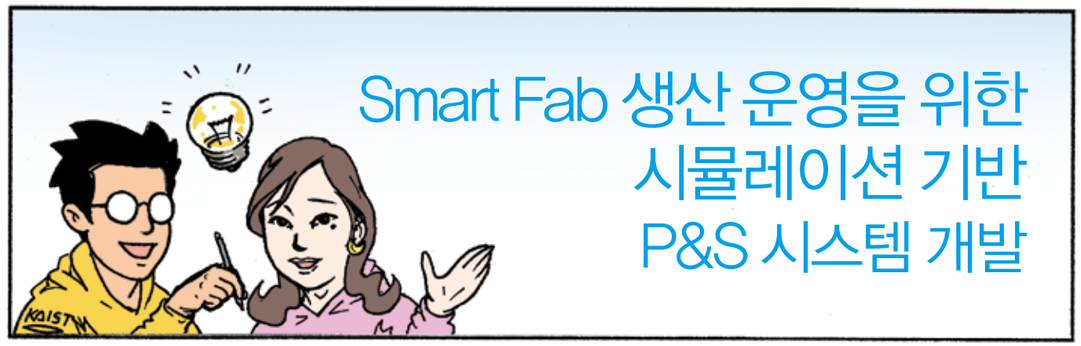
02

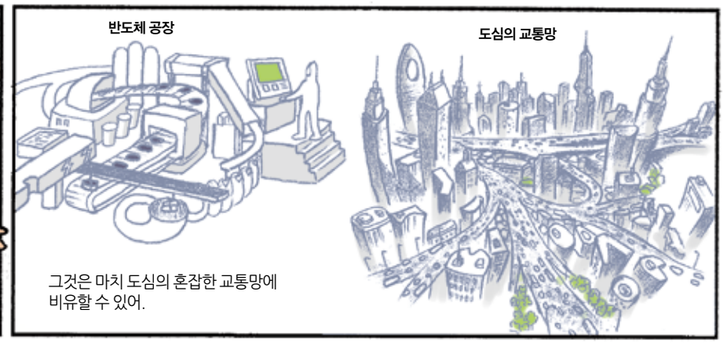
01 멀티에너지 X선의 기본개념. 광전도체에서 나온 전하 패킷을 에너지 분별기가 분류하여 대역폭에 따라 따로 저장할 수 있다. 이를 이용하여 한 번의 촬영으로 여러 가지 사진을 얻는 것이 가능하다.

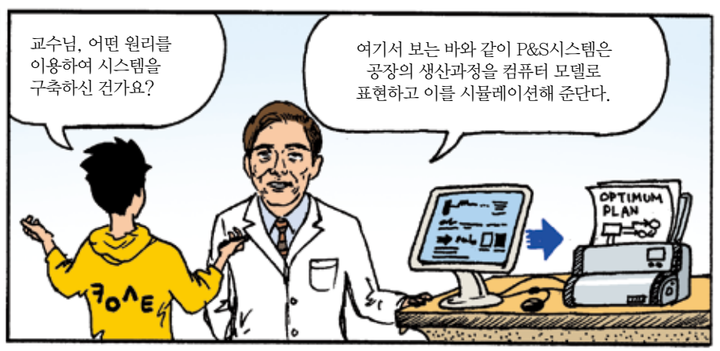
02 이번에 개발한 X선 촬영의 핵심부품, CMOS 이미지 센서 칩

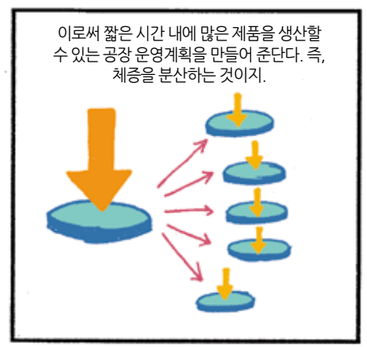
●**관련 문헌** | H-S. Kim, S-W. Han, J-H. Yang, S. Kim, Y. Kim, S. Kim, D-K. Yoon, J-S. Lee, J-C. Park, Y. Sung, S-D. Lee, S-T. Ryu, and G-H. Cho, "A Sampling-Based 128x128 Direct Photon-Counting X-Ray Image Sensor with 3 Energy Bins and Spatial Resolution of 60um/pixel", IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC) 2012.

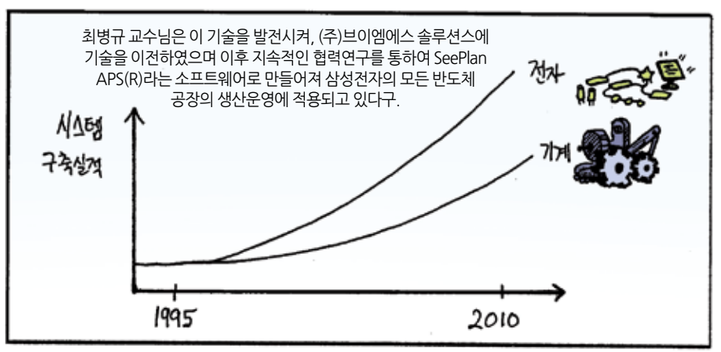
Smart Fab 생산 운영을 위한 시뮬레이션 기반 P&S 시스템 개발











반도체 공장에는 교통관제센터가 있다?

Smart Fab 생산 운영을 위한 시뮬레이션 기반 P&S 시스템 개발

최병규 교수 (산업공학과)

매일 아침저녁으로 혼잡하게 얽히는 도심의 도로. 신호등처럼 통행을 관리하는 장치가 없다면 순식간에 차들이 얽혀 꼼짝도 못하게 되고 만다. 복잡한 공정을 거쳐 만들어지는 반도체를 생산하는 공장도 마찬가지다. 공장에도 교통관제센터가 필요한 것이다. KAIST에서 개발한 시뮬레이션 기반 P&S 시스템은 도시의 지능형 교통제어시스템과 같은 역할을 함으로써 생산라인이 얽히거나 정체가 일어나지 않게 도와준다.

반도체는 크기는 작지만 온갖 첨단 기술의 집약체다. 당연히 고도의 기술과 복잡한 공정이 필요하기 때문에 반도체 생산 공장의 구조도 매우 복잡하다. 공장의 생산라인은 한 방향의 '흐름'이 있고 이들이 복잡하게 교차된다는 점에서 대도시의 혼잡한 도로와 유사하다. 차량의 통행량이 많아지면 도로가 복잡해지고 병목현상이 일어나며 교차로 관리가 어려워지는 것과 마찬가지로 공장에서는 제품 생산량이 늘어날수록 전체 공정을 관리하기가 어려워진다. 공장을 효율적으로 가동하려면 단위 시간에 최대한 많은 제품을 생산해야하므로 공장 설계와 관리에서는 이처럼 혼잡해진 생산라인을 어떻게 정리하는지가 중요한 고려사항이다.

공장의 생산라인이 도로와 유사하다면 도로교통의 관리체계를 그대로 도입해서 활용할 수도 있을 것이다. 서울이나 대전과 같은 대도시에서는 지능형 교통제어시스템을 사용하여 도심 교통량을 조절한다. 대표적인 사례가 신호등 제어. 복잡한 도심에서는 출퇴근 시간에 차량 통행량이 많은 방향의 신호등의 파란불 점등시간을 늘려주고 상대적으로 교통량이 적은 방향은 줄여줘서 교통량에 관계없이 일정한 흐름이 최대한 유지될 수 있게 한다.

한국 IT 산업을 이끌어 온 반도체 공장. 최병규 교수 연구팀은 공장을 효율적으로 가동하는 데 필요한 '교통관제센터', P&S 시스템을 개발했다.

삼성전자

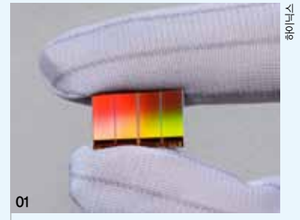
복잡한 생산라인의 교통경찰, P&S 시스템

마찬가지로 반도체 공장에서도 제품의 생산량을 관리해줄 수 있는 시스템의 구축이 필요하다. KAIST 산업공학과의 최병규 교수 연구실에서는 시뮬레이션에 기반한 P&S (Planning & Scheduling) 시스템을 연구하고 있다. P&S 시스템은 공장의 생산과정을 컴퓨터 모델로 표현하고 이를 시뮬레이트하여 짧은 시간 내에 많은 제품을 생산할 수 있는 공장 운영 계획을 만들어준다. 즉, 제품이 몰려들어서 체증이 발생할 위험이 있는 설비들을 미리 파악하고 생산 흐름을 골고루 분배함으로써 병목현상 없이 생산 흐름을 원활하도록 해주는 것이다. 국가지정연구실에 선정된 최 교수는 위의 기술을 발전시켜 벤처기업인 ㈜브이엠에스 솔루션스에 제공하고 삼성전자와 함께 보다 진보된 시스템을 개발하고 있다.

최 교수 연구팀이 개발하여 ㈜브이엠에스 솔루션스에 기술이전된 시뮬레이션 기반 P&S 시스템은 이후 지속적인 협력연구를 통하여 SeePlanAPS(R)라는 소프트웨어로 제품화됐다. 삼성전자는 SeePlanAPS(R)를 모든 반도체 및 LCD 공장의 생산 운영에 적용하고 있으며, 2011년 말에는 삼성전자의 표준 솔루션으로 도입하여 공장계획(factory plan)영역까지 확대한 시스템을 구축하고 있다. SeePlanAPS(R)의 성공에 힘입어 4~5명으로 시작한 ㈜브이엠에스 솔루션스는 현재 직원이 30명으로 크게 늘었으며 고부가가치 기술벤처회사로 인정받고 있다. 하이테크 부품 산업의 경쟁력은 누가 빨리 신제품을 개발하여 안정적으로 대량생산을 할 수 있는가에 따라 좌우되는데 본 연구개발로 국내 기업들이 이 분야에서 선진국 업체들을 앞서 갈 수 있으리라 기대된다.

◎ 의미와 전망

시뮬레이션 기반 P&S 기술의 성공은 두 가지 측면에서 의미가 있다. 첫째, 국내 제조 산업의 중추적인 역할을 담당하고 있는 하이테크 부품 산업의 생산 공장을 효율적으로 운영할 수 있도록 솔루션을 제공했다는 것과 둘째, 취약한 국내 소프트웨어 산업에서 순수 국내 기술로 만든 솔루션을 보급하는 고부가가치 기술벤처회사를 탄생시켰다는 점이다. 실제로 SeePlanAPS(R)는 종전에 유사한 역할을 해오던 외국계 고가 제품들과 당당히 경쟁하여 삼성전자는 물론, 최근 한국타이어 등 다른 국내기업에도 생산 운영 시스템을 구축함으로써 해당 산업의 경쟁력 향상에 이바지하고 있다. 나아가 본 기술을 이용한 다양한 응용 시스템을 폭넓게 개발하여 해외시장에 내놓을 수 있을 것으로 기대된다. 해외진출의 관점에서 보면 삼성전자의 미국 및 중국의 생산 공장에 적용되고 있으며 한국타이어 헝가리 공장에도 시스템을 구축하고 있다.



삼성전자

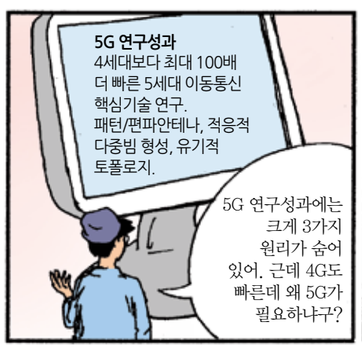
SK 하이닉스

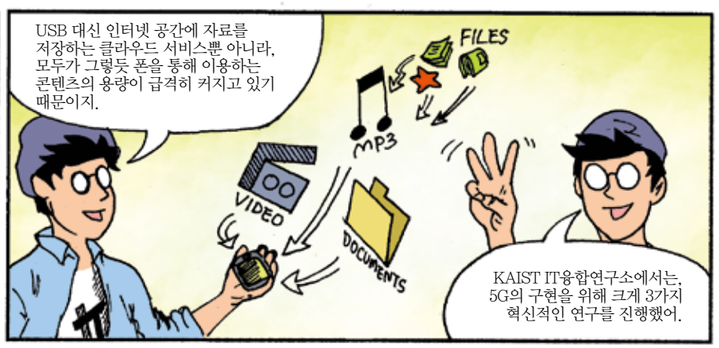
01 작고 단순해 보이지만 하나의 반도체를 만들기 위해서는 복잡하면서도 정교하고 치밀한 공정을 거쳐야 한다.

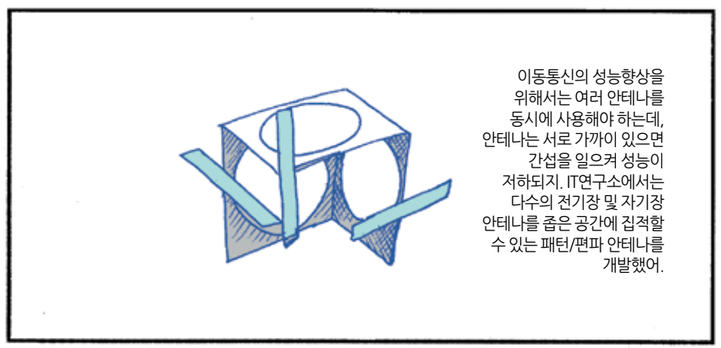
02 반도체의 단가는 산업 전반에 큰 영향을 준다. 우리 생활에 없어서는 안될 IT기기는 물론, 자동차부터 건물 제어 시스템에 이르기까지 거의 모든 분야에 반도체가 이용되기 때문이다.

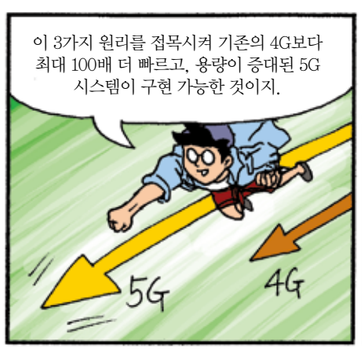
● **연구비 지원** | 현대자동차, 삼성전기, 삼성전자, LG 디스플레이 등의 굴지의 국내 제조업체뿐 아니라 과학기술부와 중소기업청 등의 공공 기관들과 총 34회의 시뮬레이션 기반 P&S 관련 프로젝트를 실시 ● **수상** | 시뮬레이션 기반 P&S 기술을 개발한 공로를 인정받아 2009년도에 KAIST로부터 기술혁신상을 수여했으며 교육과학기술부로부터 한국 공학상을 수상

새로운 이동통신 시스템 5G의 핵심기술









LTE, 4G를 넘어 초고속 이동통신 네트워크 시대를 연다

새로운 이동통신 시스템 5G의 핵심기술

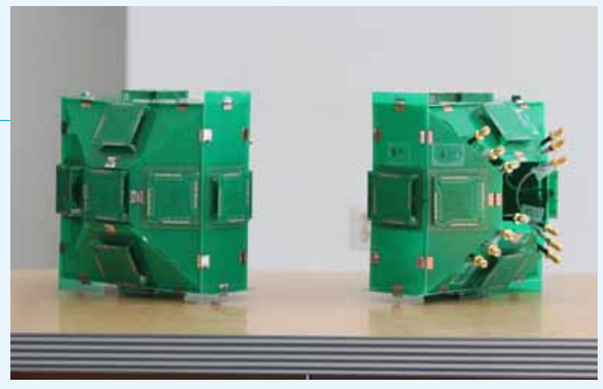
조동호 교수 (KAIST IT 융합연구소)

한창 이동통신계의 화두로 떠오르고 있는 LTE는 기존 CDMA기반 기술보다 월등한 속도를 낼 수 있어 4세대 이동통신으로 불린다. LTE가 아직 보편화되지 않은 지금 국내에서 5세대 이동통신의 핵심 기술이 연구중이다. 5세대 이동통신은 4세대보다 최대 100배는 빠르다고 한다. 문제는 기존의 이동통신 시스템 구성으로는 5세대 이동통신의 속도를 제대로 지원할 수 없다는 것이다. 이 때문에 5세대 이동통신을 위해서는 단말기와 기지국간 데이터를 전송하는 방식이 달라진다.

이동통신은 음성통화 위주(1, 2세대)에서 영상통화 가능한 수준(3세대)을 거쳐 데이터를 자유롭게 주고받는 정도(4세대)까지 이르렀다. 4세대로의 전환은 스마트폰의 보급에 힘입은 면이 크다. 스마트폰으로 인터넷 접속이 자유로워지고 다양한 서비스가 제공되면서 데이터 수요가 3세대 방식으로는 감당할 수 없을 만큼 폭발적으로 늘어났기 때문이다. 그러나 개인 클라우드와 같은 새로운 형태의 서비스가 지속적으로 등장하고, 고용량의 비디오 등 한꺼번에 많은 데이터를 처리해야 하는 일이 많아지고 있기 때문에 현재의 4세대 이동통신 역시 얼마 안 있어 한계에 부딛힐 것으로 예상된다. 이 때문에 세계 각국에서는 4세대 이후를 준비하면서 5세대 이동통신 시스템 연구를 진행하고 있다.

5세대를 가능하게 한 주역들

KAIST IT 융합연구소는 5세대 이동통신을 집중적으로 연구하고 있다. 5세대 이동통신망은 4세대 대비 100배나 더 큰 데이터 전송량을 달성하기 위해 기존의 매크로셀 기지국 – 단말로 구성되는 1단계 시스템 대신 소형셀과 다중 빔을 기반으로 하는 매크로셀 기지국 – 분산소형기지국 – 단말로 구성되는 2단계 구조를 도입하는 방안을 연구하고 있다. 분산소형기지국이 중계 역할을 하고 신호를 증폭시켜서 안정적으로 대량의 데이터 유통을 가능하게 하는 것이다. 또한 모든 방향으로 퍼져서 신호가 약하던 전파를 한 방향으로 모아서 보내는 빔통신 방식과 지향성 안테나의 전기장 및 자기장 편파 특성을 이용하는 패턴편파 전송방식을 이용하여 무선전송용량을 대폭 늘릴 수 있다. 또한 이들 수많은 분산소형기지국이 상호 협력하여 이용자의 QoS를 지원하는 것이 5세대 통신망의 가장 큰 특징이다.



13개의 원형 편파 안테나를 좁은 공간에 집적시킨 시제품. 여러 개의 안테나를 집적시킨 안테나를 이용하여 기지국을 소형화할 수 있다.

편파 안테나(Polarized antenna)

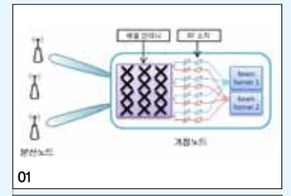
이동통신의 성능 향상을 위해서는 여러 개의 안테나를 동시에 사용해 서로 다른 신호를 전송할 수 있어야 한다. 일반적으로는 안테나가 서로 가까이 있는 경우 전파간 간섭이 생겨 신호 전달 능력이 나빠진다. 이 때문에 중계국을 소형화하는 데 제약이 있었다. 소형화하려면 여러 안테나를 좁은 공간에 밀어 넣어야 하기 때문이다. 이 문제를 해결하는 방법이 바로 편파 안테나다. 편파 안테나는 특정 방향으로 신호를 집중하여 발사하므로 간섭현상을 최소화할 수 있다. 다수의 전기장 및 자기장 안테나를 좁은 공간에 집적할 수 있는 가능성을 보였다.

적응적 다중 빔 형성(Adaptive multiple beam-forming)

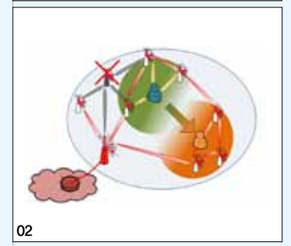
모든 사용자는 자신을 위한 신호를 서비스 받는 동시에 주변 사용자를 위한 신호에 방해받고 있다. 신호 혼선 문제를 해결하려면 사용자를 정확하게 겨냥하여 신호를 발사해야 한다. 적응적 다중 빔 형성은 기지국이 아주 세밀한 빔 모양의 신호를 생성하고 방향 조정을 통해 주변 사용자를 방해하지 않으면서 목표 사용자에게 서비스를 제공한다. IT 융합연구소의 연구진은 매크로셀과 분산소형기지국에서 다중 빔을 형성할 수 있는 안테나 구조를 설계하고 연구 시제품까지 제작했다.

유기적 토폴로지(Organic topology)

일반 기지국은 반경 1km 정도의 영역에 존재하는 사용자들을 서비스한다. 이를 커다란 서비스 단위라고 하여 '매크로셀'이라 부르는데, 이동통신의 성능을 늘리려면 매크로셀이 커버하는 넓은 영역 안에서 반경 100m 정도를 커버하는 수많은 분산소형기지국 설치가 필요하다. 이 경우 분산소형기지국의 신호가 서로 겹치기 마련이므로 각 소형 기지국이 협력하지 않으면 서로 방해하여 양질의 서비스를 제공할 수 없다. 유기적 토폴로지란 이러한 상황에서 기지국들이 동적으로 그룹을 형성하여 협력하고, 전력 소모도 줄일 수 있게 하는 방법이다.



01



02

01 5세대 이동통신에 적합한 기지국의 모습과 다중 빔 형성 시스템. 특정 방향으로 지향성을 지닌 신호를 여러 개 발사할 수 있다.

02 유기적 토폴로지에서 매크로셀을 중심으로 분산소형기지국이 서비스 제공을 위한 클러스터를 형성하는 모습.인접한 분산소형기지국들이 스스로 소집단을 이루어 협력한다.

의미와 전망

지금까지 기존 이동통신 시스템의 특허를 다수 확보하고 있던 퀄컴사는 기술사용료로 막대한 이득을 얻었다. 반대로 국내 이동통신 기술의 발달과 시장 성장에도 불구하고 매년 막대한 금액의 로열티가 한국으로부터 빠져나갔다. 퀄컴의 사례처럼 특허와 표준화를 통해 국제 이동통신 시장에서 경쟁력을 갖추는 것은 매우 중요하다. 본 과제에서는 5세대 이동통신 시스템의 핵심 후보 기술들을 제안하여 검증하고, 특허 출원과 표준화를 진행하고 있다. 이러한 지적재산권 선점은 향후 막대한 기술사용료 이득을 얻을 수 있게 하는 한편 국내 이동통신 관련사들의 경쟁력을 강화해 줄 것이다.

● **연구비 지원** | 방송통신위원회의 지원을 받고 있음 연구기간 5년, 연구비 총액 192억원, 1차년도 연구비 25억원 ● **특허출원** | 20건 출원 및 IEEE 국제 표준화 기고문 5건 기고 및 채택 ● **관련 문헌** | 5세대 이동통신 핵심기술 관련 논문 15편 게재 및 학회 발표

KAIST

2011년을 빛낸 KAIST의 주요 연구 성과

한국 과학기술의 산실인 KAIST는 학계의 화두인 융합 연구의 선두에 서서
다양한 연구를 수행했습니다.
학문간 경계를 넘어 새로운 장을 연 연구를 소개합니다.

지난 한 해, KAIST는 수많은 연구성과를 내놓으며 세계 100대 대학의 하나로 우뚝 섰습니다. KAIST는 남들이 생각하지 못한 역발상, 도전적이고 융합적인 아이디어에서 시작하여 크고 작은 프로젝트를 수행해 왔습니다.

다양한 분야에서 세계적으로 두각을 나타낸 대표 연구사례들을 엄선하여 소개합니다.

NT 융합분야
Nano Technology

기능성 계층적 “나노 – 숲” 구조체 구현과 고효율 태양전지 및 전기소자에의 응용

기계공학전공/KAIST 나노융합연구소 고승환 교수
http:// ants0.kaist.ac.kr

기능성 계층적 “나노-숲” 나노구조체를 개발하여 염료감응형 태양전지의 효율을 세계최대 수준으로 끌어올렸다. 본 방법을 통해 새로운 개념의 나노구조체를 개발하여 신물질 개발 중심의 에너지소자 개발의 한계를 극복하는 새로운 연구방법을 제시했다.

나노입자의 선택적 레이저 공정을 통한 유연, 인쇄전자소자 개발

기계공학전공/KAIST 나노융합연구소 고승환 교수
http:// ants0.kaist.ac.kr

유연, 인쇄전자는 미래의 입을 수 있는 컴퓨터를 구현하기 위한 기초기술이다. 기존의 전자소자공정들은 고온공정에 부식성 화합물들을 이용하기 때문에 플라스틱 기판이 이용될수 없었다. 본 연구를 통해 용액공정이 가능한 나노잉크와 레이저 저온 패터닝기술을 개발하여 새로운 유연, 인쇄전자소자를 개발하는 기법을 개발하였다.

탄소나노튜브와 그래핀의 3차원 나노스케일 분자자기조립

신소재공학과/KAIST 나노융합연구소 김상욱 교수
http:// snml.kaist.ac.kr

KAIST 나노융합연구소 김상욱 교수팀은 환원된 그래핀 기판 위에 수직배향된 탄소나노튜브를 기른 하이브리드 탄소나노구조체를 만들었으며, ‘브레스피겨(breath-figure)’ 자기조립방법을 통해 마이크로 크기의 탄소기반 필름을 제조하였다. 결과적으로, 이상적인 3차원 탄소 나노구조체 제작을 통해 에너지 변환 및 저장소자의 전극, 촉매의 기판, 센서, 전계방출소자 등의 다양한 분야의 기술향상을 위한 기반기술을 마련할 수 있었다.

원자력 기반의 전기, 담수 그리고 수소 생산용 통합 시스템 개념 설계 및 핵심 기술 검증

원자력및양자공학과 노희천 교수
http:// hydrogen.kaist.ac.kr

원자력 기반의 전기, 담수 그리고 수소 생산용 통합 시스템인 WHEN(Water-Hydrogen-Electricity Nuclear reactor) 시스템은 피동적 안정성을 가지는 고온가스냉각로의 열원을 이용하여 친환경적인 에너지와 물 인프라의 구축을 가능하게 하고 기술저작권과 관련된 해외 수출 위축 등의 한계를 극복하여 국내외적인 산업 도약을 가능하게 한다. 이번 연구로 원자력 기반의 통합 서비스 시스템 설계기술을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

직접메탄올연료전지 분야에 백금을 대체할 수 있는 탄소나노튜브 연료전지 촉매

나노과학기술대학원 김용현 교수
http:// qnmsg.kaist.ac.kr

실험과 이론의 공동연구를 통하여 매우 비싼 백금 촉매를 대체할 수 있는 비백금 산화환원반응 연료전지촉매로서 “철-포피린 탄소나노튜브”의 합성에 성공했다. 이러한 자연모사 철-포피린 탄소나노튜브는 수소연료전지나 직접메탄올연료전지 분야에 직접적으로 기여할 뿐만 아니라 나노센서, 에너지 저장, 태양전지, 인공광합성, 나노-바이오메디’ 기술 등 다양한 나노미래기술에 적용 가능하다.

매우 높은 굴절률을 가지는 테라헤르츠 메타물질의 구현

KAIST 광기술연구소 민범기 교수
http:// me.kaist.ac.kr/~photon

본 연구팀은 분극율이 매우 크며 동시에 반자성이 매우 약한 금속/유전체 메타물질을 설계하고 제작하여, 테라헤르츠 영역에서 인위적인 값으로는 가장 높은 38.6에 달하는 굴절률을 세계 최초로 실증하였다. 이러한 연구결과는 음굴절률 메타물질의 영역을 넘어서 자연계에 존재하지 않는 매우 높은 굴절률을 메타물질의 새로운 영역으로 포함시켰다는 의미를 갖는다.

그래핀의 미세한 주름 구조와 도메인 구조의 규명

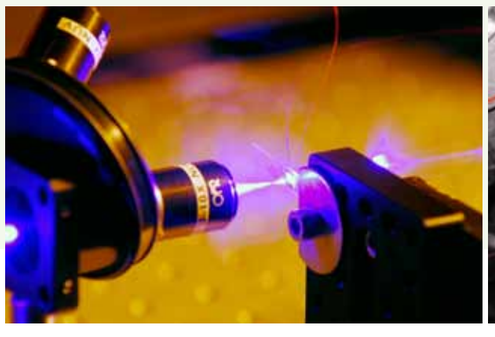
EEWS대학원 박정영 교수
http:// scale.kaist.ac.kr

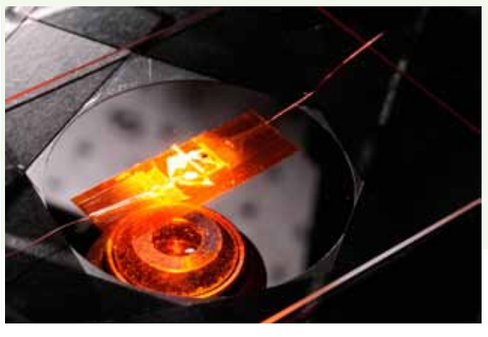
그간 개념상으로만 알려졌던 그래핀의 미세한 주름 구조와 도메인 구조, 그 구조들의 생성원리 및 열처리 공정을 통한 주름구조 제어 가능성을 규명하였다. 박 교수팀은 기계적 박리법을 이용해 제작한 단일층 그래핀 박막을 원자힘 현미경을 이용하여 측정한 결과 마찰력이 현저히 다른 구역이 존재하는 것을 발견하였다. 마찰력을 이용한 도메인 구조의 규명은 그래핀 기반의 휘어지는 전자소자 개발의 핵심 기반기술을 제공한다.

나노소재 기반 인공광합성 기술개발

신소재공학과/KAIST 나노융합연구소 박찬범 교수
http:// biomaterials.kaist.ac.kr

자연광합성 현상을 모방하여 태양광에너지로부터 최종적으로 화학물질 생산이 가능한 나노소재 기반 인공광합성 기술을 개발하였다. 나노크기의 다양한 유/무기 광감응소재들을 설계, 제조하여 자연계의 광합성을 모방한 인공광합성 시스템을 개발하는데 성공하였다.





NT 융합분야
Nano Technology

◎ 플라즈몬기반 초고속 극자외선 펄스 생성

기계공학전공/KAIST 광기술연구소 김승우 교수
http:// pem.kaist.ac.kr

본 연구에서는 원자, 분자와 같은 물질 내부 전자의 움직임을 관찰하고 제어하는데 있어 아주 중요한 극자외선 펄스를, 실험실 규모에서 복잡한 광학장치와 추가 광펌핑 에너지 없이, 3차원 형상의 은(Ag) 도파로를 제작하고 표면플라즈몬을 도파로 내부에 유도하여 간단하게 생성하였다. 플라즈모닉 전자기장 현상에 의해 레이저 광강도는 350배 이상 증강되었으며 18.6 nm 의 짧은 파장의 극자외선 대역까지 생성하였다. 또한 생성된 극자외선은 기존의 고차조화파에 의해 생성된 극자외선보다 시공간 결맞음이 좋을 것으로 기대된다.

◎ 금속 이온에 의한 핵산중합효소 비정상적 활성 유도 및 분자수준 로직게이트 구현

생명화학공학과 박현규 교수
http:// bcbd.kaist.ac.kr

핵산중합효소는, 핵산의 염기쌍이 서로 상보적인 짝을 이룰 경우에만 DNA를 복제할 수 있다. 이번 연구에서는 기존 개념을 뛰어넘어 특정 금속이 있을 경우 T-T 및 C-C 비 상보적인 염기쌍으로부터도 핵산중합효소의 활성을 인위적으로 유도할 수 있다는 사실을 세계 최초로 규명하였다. 또한 이 현상을 기반으로 바이오 컴퓨터 등 미래 바이오전자 소자의 핵심기술인 로직게이트 기술을 성공적으로 개발하였다.

◎ 인산화 단백질의 생합성과 응용연구

KAIST 바이오융합연구소 박희성 교수
http:// web.kaist.ac.kr/~hspark/

단백질 인산화는 생체내에서 일어나는 가장 광범위하고 중요한 단백질 변형으로 세포생장, 분열, 사멸을 결정하는 중요한 역할을 한다. 박희성 교수 연구팀은 인산화 아미노산을 단백질에 직접 첨가하는 새로운 기술을 개발하여 맞춤형 인산화 단백질 생합성에 성공하였다. 이 연구결과를 바탕으로 암을 포함한 각종 병의 원인규명과 차세대 암치료제 개발 연구에서 획기적인 전기를 마련할 것으로 기대된다.

◎ 플렉시블 소자용 고성능 유리섬유 강화 투명복합체 기판 필름

신소재공학과 배병수 교수
http:// www.sol-gel.net/lomc

플렉시블 기판기술은 플렉시블 소자구현을 위한 가장 중요한 핵심 요소기술 중 하나이다. 기존 고분자 기반의 플라스틱 필름은 높은 열팽창계수와 낮은 열안정성으로 인해 플렉시블 소자를 위한 기판으로서의 실제 응용에 큰 제약이 있었다. 이번 연구에서 개발한 유리섬유 강화 투명복합체 기판 필름은 유리에 가까운 13ppm/℃의 낮은 열팽창계수와 높은 투명성, 또한 우수한 열안정성 및 기계적 물성을 가짐으로써 다양한 플렉시블 소자제작을 위한 고성능 기판으로서 활용성이 매우 높다.

◎ 고내열성 및 고굴절률 LED 봉지재를 위한 하이브리머

신소재공학과 배병수 교수
http:// sol-gel.net/lomc

차세대 광원으로 각광받고 있는 LED의 핵심부품인 LED 봉지재 제조를 위하여, 솔-젤 반응을 통한 하이브리머를 연구개발하였다. 제조된 하이브리머는 광추출효율을 높일 수 있는 고굴절률(n=1.58)을 나타내며, 높은 열안정성(440℃)의 특성을 나타낸다. 특히, 장시간(1,152시간) 고온(150℃)에 노출되어도 높은 투명성(90%) 유지함으로써, 국내 LED 봉지재 산업에 필요한 기술력을 확보하였다.

◎ GHz 대역 유기전자 소자 구현을 위한 초고속 유기 다이오드와 정류소자

전기및전자공학과 유승협 교수
http:// ioel.kaist.ac.kr

축구공 모양의 유기반도체인 C_{60}를 이용하여, UHF급 주파수에서도 동작 가능하면서 턴온 전압이 기존 pn접합 다이오드 수준으로 낮은 이상적 고속 다이오드를 구현하였으며, 해당 다이오드를 포함하는 RFID급 초고속 정류장치를 성공적으로 시연하였다. 유기 반도체 기반 전자 소자 중 가장 빠르게 동작된 소자로서, 유기반도체의 응용 폭을 한 차원 높여 준 의의가 있다. 플렉서블 전자 소자 등에 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

◎ 다중 표준을 지원하는 13.56 – MHz RFID 리더용 CMOS 트랜시버

전기및전자공학과 유형준 교수
http:// codes.kaist.ac.kr/

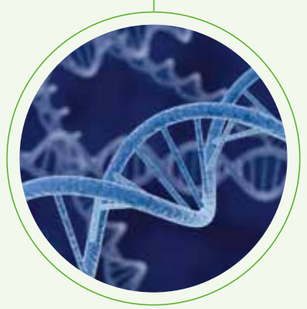
RFID는 물류, 전자여권, 진품확인, 제품관리 등 매우 다양한 용도로 활용되는데, 용도에 따라 다양한 표준들이 존재하고 이를 이용한 태그들이 제품으로 활용되고 있다. 유형준 교수 연구팀은 하나의 리더 시스템으로 다양한 태그들과의 통신을 지원하기 위해 RFID 표준들을 분석하고 이를 수용한 리더 시스템을 칩으로 집적하여 초소형, 저전력 모바일 기기에 사용이 가능하도록 하였다. 이 연구결과는 IEEE TIE(산업전자논문지)의 2011년도 최우수논문상을 수상하였다.

◎ 액정의 복굴절을 이용한 그래핀 결정면의 광학적 시각화 방법 개발

생명화학공학과 정희태 교수
http:// ooem.kaist.ac.kr

꿈의 신소재인 그래핀은 최고수준의 광전자 특성을 가지면서 투명하고 기계적으로 안정하며, 휘어질 수 있는 차세대 전자소재다. 하지만 현재 제조되고 있는 그래핀은 다결정성이라, 단결정일 때 예상되는 이론적인 특성보다 상당히 낮은 전기적, 기계적 특성을 보인다. 이는 그래핀의 특성이 결정면의 크기와 경계구조에 크게 영향을 받기 때문이라고 알려져 왔다. 따라서, 우수한 특성을 갖는 그래핀을 제조하기 위해서는 그래핀의 결정면의 도메인과 경계를 쉽고 빠르게 관찰할 수 있어야 한다. 이 기술이 향후 그래핀의 물성을 크게 향상하고, 상업화하는 데 반드시 필요하다.

BT 융합분야
Bio Technology



EEG 신호처리를 통한 마취심도 분석

KAIST IT 융합연구소 생체의료팀

http:// itc.kaist.ac.kr

수술 중 적정량의 필요 마취제의 양은 개인간의 편차가 매우 크다. 따라서 환자가 마취된 정도는 계속해서 확인해야 한다. 인체의 EEG 신호 분석을 통해 마취된 정도를 알아내고 마취심도 변화와 EEG 신호의 변화 간의 정량적, 생리학적 관계를 신호 모델을 통해 규명함으로써 마취시 더 정확하고 간편하게 마취 심도를 모니터링할 수 있게 되었다.

시냅스 단백질 GIT1과 주의력결핍 과잉행동장애와의 연관성

생명과학과 강창원/김은준 교수

http:// biochem.kaist.ac.kr/

주의력결핍 과잉행동장애(ADHD) 뇌질환이 시냅스 단백질 GIT1의 부족으로 생긴다는 것을 세계 최초로 밝혔다. 강창원 교수팀에서는 환자와 대조군의 유전자 검사를 통해 ADHD 및 GIT1 감소와 연관이 있는 유전자형을 찾았고, 김은준 교수팀에서는 GIT1 결손 생쥐의 행동 분석을 통해 생쥐에서 GIT1의 결손에 의해 ADHD 증상이 나타나는 것을 입증하였다.

인간 – 기계 협업을 위한 표면근전도와 인공신경망을 이용한 실시간 상지부 동작 예측법

기계공학전공 김정 교수

http:// medev.kaist.ac.kr

이 연구에서는 표면 근전도 신호와 인공 신경망을 이용한 실시간 상지부 동작 예측법을 제안하고 인간–기계간의 협업 가능성을 살폈다. 관련 실험에서 제안된 방법은 신체 동작을 충분히 예측할 수 있고 협업 기계 제어에 활용할 수 있음을 보였다. 본 연구의 성과는 IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine 저널에 표지논문으로 게재되었다.

압축센싱 기반 고해상도 동적 자기공명영상기법

바이오및뇌공학과 예종철 교수

http:// bisp.kaist.ac.kr

자기공명영상에서 시공간의 해상도를 동시에 향상시키는 것은 중요한 문제이다. 이를 해결하기 위하여 예종철 교수팀에서는 Nyquist sampling의 한계를 극복한 압축센싱 이론을 동적자기공명영상에 적용하여 심장, 뇌혈류 등 시간적으로 변하는 영상에 대하여 기존의 기법보다 획기적으로 향상된 시공간 분해능을 얻었다.

단분자 형광 기술을 통한 시냅토태그민1의 신경세포 통신 분자제어 메커니즘 규명

물리학과 윤태영 교수

http:// tylab.kaist.ac.kr

윤태영 교수 연구팀은 '표면고정 리포솜 기술'을 통해 신경전달 물질 분출을 세포 밖에서 재구성한 다음, '단일 리포솜 형광 이미징' 기술을 통해 재구성된 신경전달 물질 분출 과정을 실시간으로 관찰했다. 이 연구를 통해 개발된 플랫폼은 신약개발에서 핵심적인 타깃이 되는 생체막 단백질의 기능을 분석할 수 있는 기술을 제공할 수 있다. 이번에 개발된 기술은 현재까지 개발된 것 중 가장 감도가 높다.

VEGF – A 와 angiopoietin의 효과를 동시에 차단하는 이중혈관억제단백질 DAAP 의 개발과 종양의 혈관신생, 전이, 혈관투과성에 미치는 영향에 대한 연구

의과학대학원 고규영 교수

http:// bs.kaist.ac.kr/~ecrg/

이중혈관억제단백질 DAAP을 개발함으로써 VEGF-A와 angiopoietin의 종양 혈관 신생 효과를 동시에 차단하여 항암 효과를 증진할 수 있게 되었다. 종양 혈관 신생에 중요한 물질 두 가지를 동시에 억제하는 것이 각각에 대한 억제보다 종양의 혈관 신생과 전이 현상을 막는데 보다 더 효과적이라는 사실을 밝힐 수 있었다. '이중억제' 이라는 혁신적 개념을 제시함으로써 새로운 종양치료제 개발의 전기를 마련하였다.

인간 이동패턴 측정, 분석 및 통계적 모델 개발

전기및전자공학과 정송 교수

http:// netsys.kaist.ac.kr

한국과 미국의 다섯 장소에서 7개월에 걸쳐 100여명의 자원자들의 GPS 궤적을 측정하고 분석하였다. 그 결과 장소와 무관하게 인간의 움직임 패턴이 물리학자들이 입자들의 움직임 패턴에서 관찰한 것과 유사한 초확산 특성을 지닌다는 사실을 발견하였으며 이를 반영한 새로운 인간 움직임 모델을 개발하였다. 이 모델은 전염병 확산이나 도시계획 등 인간의 움직임이 크게 영향을 끼치는 다양한 분야의 연구에 적용될 것으로 기대된다.

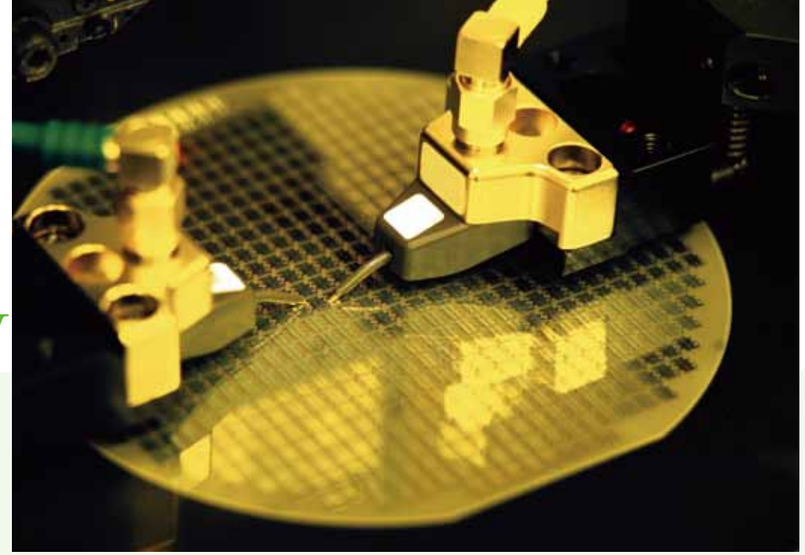
중성자 산란을 이용한 인지질 / 펩타이드 생체막의 열적 요동 및 탄성특성 연구

원자력및양자공학과 최성민 교수

http:// neutron.kaist.ac.kr

인지질 이중막을 기본으로 하는 세포막은 단백질과의 상호작용을 통해 세포에서 일어나는 다양한 생명현상을 지배하며, 인지질 이중막과 단백질의 상호작용에 따른 세포막의 물리적 특성 변화에 대한 이해는 세포에서의 생명현상 이해에 필수적이다. 이번 연구에서는 중성자 산란 기법을 이용하여 항균 펩타이드와 인지질 이중막의 상호작용에 따른 생체막의 열적요동 및 탄성특성 변화를 체계적으로 규명하였다.

IT 융합분야
Info Technology



◎ 집단지성을 이용한 지능형 튜터링 시스템 기술 개발

지식서비스공학과 윤완철/이문용 교수
http:// isl.kaist.ac.kr
http:// kslab.kaist.ac.kr

교육과 관련해서 지금까지 집단지성이 여러 가지 공헌을 해왔으나, 고도의 기술력이 결집한 통합형 집단지성의 교육시스템은 아직 개발이 미흡하다. 이 연구에서는 집단지성을 단순히 학습 콘텐츠를 취합하는 데 그치지 않고, 학습자들의 학습 활동, 학습 경로, 학습 과정, 선행지식, 관심사 등의 정보를 실시간 통합하고 분석하여 학습자 상호간의 경쟁과 협업을 유도하는 통합형 집단지성에 기반한 새로운 이러닝 시스템을 개발했다.

◎ 스마트 e-Book 시스템을 위한 직관적인 탐색 인터페이스 기술 개발

KAIST IT 융합연구소 지식융합팀
http:// itc.kaist.ac.kr/

e-Book 시장은 나날이 커지고 있다. 그러나 여전히 전자책 포맷의 한계로 종이책과 같은 친숙함과 편안함은 적어 깊은 독서가 쉽지 않다. 본 연구는 종이책의 직관적 특성을 그대로 반영한 인터페이스를 개발하여 전자책에 대한 이질감 극복하는 것을 목표로 한다. 이번 연구로 전자책의 장점을 살리면서도 종이책의 장점을 흡수하여 전자책 산업 활성화 기여할 수 있을 것이다.

◎ 이메일 약속정보추출에 의한 캘린더 자동업데이트

KAIST 엔터테인먼트공학연구소 최기선 교수
http:// semanticweb.kaist.ac.kr/

스마트 모바일환경의 한국어 이메일, 메시지 대화에서 약속시간과 장소, 마감시한 등 스케줄 자동업데이트를 하여 생활 효율성을 증대시키는 의의를 갖는다. 약속 시작은 물론 종료시간의 자동파악과 장소를 지리 좌표까지 파악하여 네비게이터에서도 보내진 메시지를 다시 보지 않고도 어디로 가야 하는지를 알 수 있도록 한다. 구체적으로 메시지 대화에서 약속시간, 참가자 변경, 약속장소의 다양성 등을 유연하게 적응하는 기계학습 시스템 등을 개발한다.

◎ 멀티미디어 서비스를 위한 모듈화 기반 지능형 디지털 공간 시스템

KAIST 미래도시연구소 장성주 교수
http:// sedl.kaist.ac.kr

장성주 교수 연구팀이 개발한 'ubi-Space'는 디지털 공간 시스템으로, 큐브형의 3차원 공간에 결합된 디지털 기기들을 통하여 다양한 디지털 서비스의 체험을 가능하게 만든 물리적인 구조체다. 특히 디스플레이 및 센서류, 액추에이터가 장착되어 상황인지와 이에 기반한 액추에이션이 가능한 모듈형 스마트 블록들로 구성되어 있으며 이용자들에게 다양한 인터랙티브 멀티미디어 서비스 뿐 아니라 가상여행이나 가상체험까지 제공한다.

◎ AC/DC 어댑터를 위한 무부하 소비전력 저감 기법

전기및전자공학과 문건우 교수
http:// angel.kaist.ac.kr

AC/DC 어댑터가 전자기기와 연결되어 있지 않은 무부하 상태에서 소비되는 전력의 경우 전체 가정내 소비전력의 5~10 %로 많은 부분을 차지하고 있다. 최근 환경에 대한 관심의 증가와 CO_2 규제 강화에 따라 무부하 소비전력을 저감하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 문건우 교수팀의 연구에서는, 제안된 무부하 소비전력 저감 기법을 통하여 AC/DC 어댑터의 무부하 소비전력을 기존대비 80% 이상 획기적으로 저감할 수 있어, 향후 AC/DC 어댑터에 널리 적용될 것으로 기대된다.

◎ 패킷 쉐이더 : GPU 가속을 이용한 소프트웨어 라우터

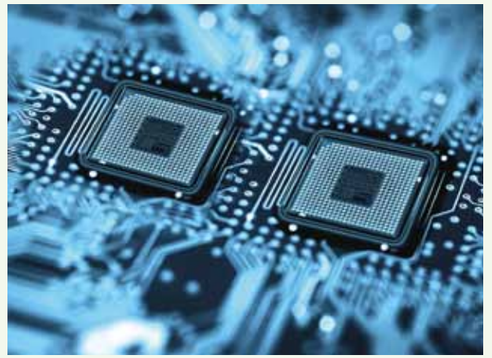
전산학과 문수복 교수, 전기 및 전자공학과 박경수 교수
http:// an.kaist.ac.kr

PacketShader는 네트워크 카드와 PC와의 통신 최적화 및 GPU 활용을 통해 단일 PC상에서 40Gbps 속도를 달성하였다. 2010년 8월 발표된 이후 아직까지도 깨지지 않는 세계 최고 속도로 향후 PC 기반 네트워크 장비 시장에 큰 영향을 끼칠 것이다.

◎ 트위터의 미디어적 특성 분석

전산학과 문수복 교수
http:// an.kaist.ac.kr/

21세기 인간 상호 교류의 기록은 거의 모두 온라인 매체를 통하게 되었다. 사람들은 그 중에서도 싸이월드, 페이스북과



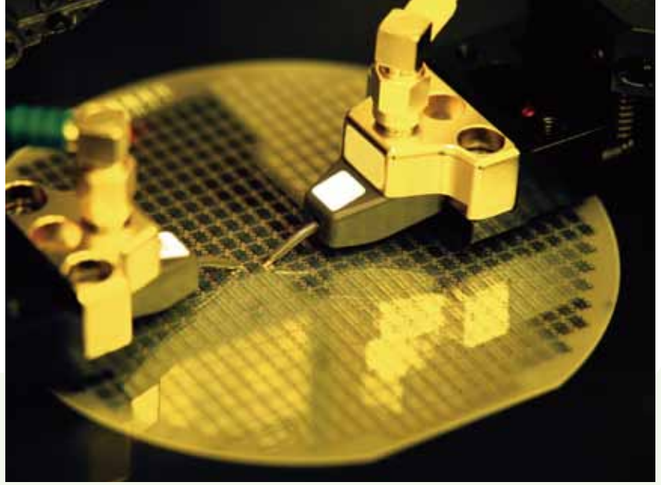
같은 온라인 소셜 네트워크 서비스상에서 제일 많은 시간을 소비하며, 이 서비스들은 사람들의 관계에 기반한 새로운 정보 흐름을 주도하고 있다. 트위터는 단방향성 관계에 기반한 140자 메시지라는 특징으로 타 서비스들과 차별화되는데 소셜 네트워크라기보다는 뉴스 매체의 특성이 강한 서비스임을 본 연구에서 보였다. 향후 온라인상에서의 정보 흐름에 대한 기초적인 연구 방법론과 방향을 제시했다.

◎ 트위터에서의 언팔로우를 통해 본 온라인 관계의 강약 분석

웹사이언스공학전공 문수복 교수
http:// an.kaist.ac.kr/

인간 관계 생성과 소멸은 사회 연구의 기본이 되는 두 축이다. 그러나 생성과 성장과는 달리 소멸에 관한 연구는 자료가 흔하지 않은 탓에 제한된 범위 내에서만 행해져왔다. 트위터에서의 언팔로우는 이런한 소멸 및 인간의 정보 필터링에 대한 귀중한 자료이다. 이 연구에서는 문화적 공동체를 추출하여 분석하는 방법론을 제시하며 소멸의 큰 이유가 정보 과다임을 보인다.

IT 융합분야
Info Technology



◎ 차세대 이동통신을 위한 셀 경계 간섭 제거를 위한 순차적 직교 사영 결합 분산 빔포밍 방식 개발

전기및전자공학과 성영철 교수
http:// wisrl.kaist.ac.kr/

성영철 교수 연구팀은 3G LTE-Advanced Release 10/11 등 차세대 이동통신에서 에너지 효율과 전송률 향상을 위해 핵심적으로 해결해야 할 셀 경계 지역에서의 셀간 간섭 문제를 해결하는 '순차적 직교 사영 결합' 방식이라는 획기적인 분산 빔포밍 방식을 개발하였다. 이 방식은 기존의 제로포싱기법(zero - forcing algorithmm)이나 신호 대 누설 더하기 잡음비 기법(signal - to - leakage - plus - noise algorithm)에 비해 필요 연산이 획기적으로 적으며, 잘 설정된 파라메터를 이용하여 이론적으로 가능한 최적 성능을 내므로, 앞으로 차세대 이동통신 셀 경계 간섭 문제 해결에 크게 기여할 것이다.

◎ 개인화 서비스를 위한 고객정보관리 : 개인정보 보호를 위한 전략적 분석

정보미디어경영대학원 안재현 교수
http:// sites.google.com/site/mmkaist/

IT기술과 e-business의 확산에 따라 개인화 서비스에 대한 요구가 증가하고 있으며, 이를 위해서는 고객의 개인정보 보호를 위한 기업의 투자가 필수적이다. 안재현 교수 연구에서는 개인정보 보호를 위한 기업의 정보시스템 투자를 게임이론적 접근방법으로 모형화하여 각 기업의 균형전략과 그 특성들을 분석하였다.

◎ 진동/바람을 이용한 혁신적인 에너지 수확 시스템 및 자율형 구조물 건전도 감시 시스템 개발

건설및환경공학과 정형조 교수
http:// scaislab.kaist.ac.kr

본 연구는 진동이나 바람을 이용한 다양한 혁신적인 에너지 수확 시스템을 개발했다. 개발된 시스템의 타당성을 수치해석 및 실험을 통해 검증했다. 세부적으로는 자기충전형 스마트 무선센서를 이용한 자율형 구조물 건전도 감시 시스템(SHM)을 개발하고, 공용중인 사장교에서 그 성능을 검증했다. 연구 결과는 〈Applied Physics Letters〉와 같은 저명 논문에 다수 게재했고 〈Smart Materials Structures〉의 2011년 Highlight 논문에 선정되는 성과를 올렸다. 한편 교육과학기술부와 국가과학기술위원회로부터 2011년도 우수연구성과로 선정되었다.

◎ 바이오센서 및 리폼 가능한 논리회로 소자를 위한 나노선 트랜지스터

전기및전자공학과 최양규 교수
http:// nobent.kaist.ac.kr/nobel/

IT 기술의 핵심인 극소형 나노선 트랜지스터를 이용하여 질병 진단이 가능한 바이오센서에 응용하였다. 또한 이 소자는 기계적 리폼(reform)이 가능하므로, 나노선을 기계적으로 구부려서 여러 가지 형태로 변형 가능한(transformable) 논리회로 소자를 제작하였다. 이 기술로 초저전력, 다기능성을 요구하는 차세대 반도체 기술을 선도할 수 있을 것이다.

◎ 고물리성 터치 인터페이스

전산학과 이기혁 교수
http:// hcil.kaist.ac.kr

기존의 터치 인터페이스는 근접정도 및 힘을 포함한 터치의 정도를 감지하지 못하는 제약을 가지고 있다. 이기혁 교수 연구실에서는 터치 표면이 손가락의 접촉뿐 아니라 근접과 압력까지 감지하는 등 보다 물리적으로 민감해 질 미래에 가능한 새로운 가능성을 탐구하고 있다.

◎ MoleBot

산업디자인학과 이우훈 교수
http:// designmedia.kaist.ac.kr

MoleBot은 유기적 유저 인터페이스(OUI: Organic User Interface)의 개념을 기반으로 하는 로봇 생명체로서 테이블 속에 살며 그 위에 있는 작은 사물들과 상호작용한다. 사용자들은 조이스틱 또는 제스추어를 이용하여 MoleBot과 키네틱하게 상호작용을 할 수 있다.

◎ 생활 밀착형 소셜 게임 : 개념 및 핵심 기술

전산학과 송준화 교수
http:// nclab.kaist.ac.kr/

이 연구에서는 일상에서의 사회성 증진을 위한 '생활밀착형 사회성 게임'의 개념을 정립하고 이를 위한 게임 컨텐츠 및 핵심 기술을 개발하였다. 여기서 개발하는 게임은 실생활을 게임과 접목하여서 지능개발, 사회성 증진, 운동, 교육, 의료 등의 다양한 효과와 게임의 재미를 동시에 추구 할 수 있으며, 나아가 기존의 온라인 게임의 심각한 폐해인 중독성을 피할 수 있다. 또한 이를 다양한 분야에 적용하여 새로운 게임 시장을 개발할 수 있는 가능성이 크게 열려 있다. 이 연구에서 개발한 게임 시스템 및 콘텐츠가 대전 마케팅공사에서 채택되어 엑스포과학공원 내에 별도의 전시장을 개설하여 상시 운영되고 있다.

◎ 능동형 모바일 앱을 위한 차세대 모바일 플랫폼

전산학과 송준화 교수
http:// nclab.kaist.ac.kr/

이 연구에서는 모바일 상황기반 컴퓨팅을 지원하는 최초의 모바일 플랫폼을 개발했다. 이 플랫폼은 능동적 모바일 애플리케이션을 지원함으로써 모바일 서비스의 지평을 크게 확장할 것이다. 기존의 서비스는 사용자의 요구에 반응하는 방식으로 수동적인 서비스를 제공하지만 능동형 서비스는 모바일 컴퓨팅의 이점을 최대한 활용하게 한다. 본 연구는 미래 모바일 플랫폼을 위한 모델을 제시하여, 한국 IT 업계가 글로벌 경쟁력을 확보하고 국제 시장에서 리더쉽을 발휘할 기반이 될 것이다.

◎ 사물인터넷을 위한 네트워크 및 소프트웨어 기반 기술

전산학과 김대영 교수
http:// resl.kaist.ac.kr

지금까지의 인터넷은 인간이 정보의 생산자 혹은 소비자로서 정보를 공유할 수 있는 최적의 공간으로 활용되어왔다. 미래에는 인간이 생산해내는 정보와 더불어 일상 사물까지도 인터넷에 연결되어 사물의 정보와 사물이 센싱하는 환경정보까지도 인터넷을 통하여 공유할 수 있는 사물인터넷으로 진화할 것으로 예견되고 있다. 이러한 사물인터넷을 실현하기 위해서는 크게 네트워크와 소프트웨어의 기술 융합이 필요하다. 김대영 교수팀은 네트워크 관련 기술로서 무선 센서 네트워크, 사물의 식별과 트랙킹을 위한 RFID, 인터넷 호환성을 제공하는 IP 기반 센서 네트워크를 실현중이며, 소프트웨어 관련 기술로는 다양한 디바이스를 위한 운영체제, 사물 정보 명세를 위한 메타데이터 기술, 사물을 인터넷 기반의 웹으로 표현하기 위한 Web of Things 기술의 연구를 진행하고 있다.

기타 융합분야
Others

선박간 자동도킹 시스템 개발

해양시스템공학과 한순흥 교수
http:// ose.kaist.ac.kr
http:// kotc2011.tnaru.net

파도치는 해상에서 두 선박간 컨테이너의 안전한 상하역을 보장 할 수 있는 선박간 자동도킹 시스템을 세계 최초로 개발하였다. 해양산업에서는 예측 불가의 거친 바다 환경에서 두 선박을 안전하게 연결하는 것은 불가능하다고 간주되어 왔다. 그러나, KAIST 해양시스템공학전공에서는 모바일하버 사업단과 함께 두 선박을 안전하게 자동으로 계류하는 시스템을 성공적으로 개발하여 시연을 하였다.

화학반응의 비밀 : 원뿔형교차점의 실험적 규명

화학과 김상규 교수
http:// cdnl.kaist.ac.kr/~skkim/

화학반응의 행태를 개별 원자, 분자들의 운동으로 이해하는 것은 화학자들의 오랜 염원이며, 화학반응의 경로를 결정짓는 원뿔형교차점(concial intersection)은 non-adiabatic 전이의 가장 중요한 개념이다. 이 연구는 이론적으로만 예측되던 화학반응의 중요한 개념에 관한 최초의 직접적인 실험적 증거이다.

펨토초 레이저 기반 비행시간법 절대거리측정기술

KAIST 광기술연구소 김승우 교수
http:// pem.kaist.ac.kr

본 연구에서는 장거리측정 시 분해능을 수 나노미터로 가져가기 위해 1,000조분의 1초 단위의 좁은 펄스 폭 및 높은 첨두출력을 가지는 펨토초 레이저와 펨토초 펄스의 시간차를 정밀하게 측정하기 위한 광상호상관원리를 이용하여 고분해능 비행시간법 절대거리 측정원리를 구현하였다.

실감나는 얼굴 애니메이션의 효율적 생성

문화기술대학원/KAIST 엔터테인먼트공학연구소 노준용 교수
http:// vml.kaist.ac.kr

디지털 엔터테인먼트는 현대의 인간 생활을 영위하는데 중요한 요소가 되었다. 실감나는 디지털 콘텐츠의 생성을 가능하게 하는 핵심적인 연구 중의 하나는 사실적인 얼굴 모델링과 애니메이션이다. 이 연구는 원본 데이터의 7% 정도로 압축된 공간에서 초당 300 프레임의 계산 속도를 내며 사실적 얼굴 애니메이션을 만들 수 있는 방법을 제안했다.

사용후핵연료 수송저장시스템 종합안전성 입증시험 기술개발

KAIST 청정에너지연구소 노희천 교수
http:// hydrogen.kaist.ac.kr/

국내의 모든 PWR 원자력발전소(월성원자력 제외)의 사용후핵연료의 임시저장을 위한 공기냉각식 저장시설에 대한 열 및 유체유동 계산을 수행하며, 설계를 위한 기초계산을 수행했다. 또, 수송용 저장시설(콘크리트 캐스크, 금속 캐스크)에 대한 계산도 수행했다. CFD(Fluent)의 격자 분석을 통해 열전도, 열대류, 열속사들을 동시에 고려하여 핵연료봉 내부의 온도, 최대온도, 및 온도구배를 구하고 에너지 균형의 검증 작업을 했다.

금속지지체형 고체산화물연료전지의 열 및 물질전달에 관한 전산해석

기계공학전공 배중면 교수
http:// fuelcell.kaist.ac.kr

친환경 동력원으로 각광받고 있는 고체산화물연료전지(SOFC)를 위한 설계기술을 개발하였다. 화학반응, 전기화학반응, 열 및 물질전달에 관한 통합해석을 수행하고 실험결과를 이용하여 검증하였다. 유로 구조를 변화시킴으로써 금속지지체형 SOFC 성능을 45% 향상시킬 수 있었다.

친환경 액체 추진제를 사용하는 우주선 엔진

항공우주공학전공 권세진 교수
http:// rocket.kaist.ac.kr

항공우주 분야의 핵심기술인 로켓엔진 기술은 선진국으로부터 기술이전이 불가능한 기술이기 때문에 반드시 자체적인 개발이 필요하다. KAIST는 본 연구를 통해 친환경 추진제를 이용한 로켓엔진 기술을 개발하였으며, 이는 달탐사 등 향후 한국의 우주 개발 사업에 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

건설기계용 저온연소 엔진시스템 개발

KAIST 청정에너지연구소 배충식교수
http:// engine.kaist.ac.kr

건설기계용 대형 디젤 엔진에 저온 연소 기술을 적용하여 유해 배기 물질인 NOx와 스모크를 저감한다. 엔진에 저온 연소 기술을 적용할 때 운전 영역이 제한되기 때문에, 운전 영역을 확장하기 위한 노력을 통하여 더 넓은 운전 영역에서 배기 물질이 적게 배출되도록 한다.

기타 융합분야
Others

3차원 스토크스 방정식에 대한 주압력변수를 가지지 않는 FETI-DP 형식

수리과학과 이창옥 교수
E=mc² http:// parter.kaist.ac.kr

이창옥 교수팀이 제안한 알고리즘은 지금까지 개발된 여러 알고리즘보다 덜 복잡하고 선조건자가 계산면에서 훨씬 효율적이기 때문에 영역분할법 비전문가도 집적 병렬컴퓨터를 사용하여 3차원 스토크스 문제를 풀 수 있는 실질적인 알고리즘이다.

암모늄염과 DMF를 이용한 벤조나이트릴 합성에 관한 연구

화학과 장석복 교수
http:// sbchang.kaist.ac.kr/

벤조나이트릴은 의학적, 농화학적으로 매우 중요한 화합물로서 일반적으로 KCN, NaCN과 같은 금속염을 이용하여 합성되었다. 하지만 KCN, NaCN은 다루기 위험한 금속염으로 새로운 합성법이 요구되고 있었다. 본 연구를 통해 값싸고 비교적 안전한 암모늄염과 DMF를 이용한 새로운 벤조나이트릴 합성법이 개발되었다. 흥미롭게도 나이트릴의 탄소와 질소는 각각 DMF와 암모늄염에서 기인하는 것으로 확인되었다.

탈추격 혁신이론

경영과학과 정재용 교수
http:// tinno.kaist.ac.kr

추격기와 탈추격기의 기술 · 사회 시스템을 분석하여 한국형 기술혁신의 고유성을 도출하고 새로운 성장모델을 모색했다. 추격기에 축적된 혁신역량 및 조직/제도적 자산, 새롭게 발흥하고 있는 탈추격형 혁신활동 및 시스템 요소별(기업문화, 기업간 관계, 교육, 숙련형성방식, 정책, 금융, 문화 등) 조직/제도적 배열의 변화, 글로벌 수준의 기술-경제 환경의 변화와 새롭게 요청되는 혁신역량, 탈추격형 기술-사회 시스템 설계 등을 연구했다.

베트남 전쟁과 의학연구 : 미국 의사징병제도와 NIH 엘로베레의 알려지지 않은 유산

과학기술정책대학원 박범순 교수
http:// stp.kaist.ac.kr

이 논문은 미국에서 의과대학 졸업생들을 대상으로 한 병역특례제도가 임상 관련 기초연구를 발전시키는 데 큰 영향을 미쳤음을 보였다. 특히 베트남전쟁 중 매년 100여명이 특별히 선발되어 국립보건원(NIH)에서 의학연구에 전념할 수 있는 기회를 받았는데, 이들은 나중에 학계의 중심적인 리더로 성장해 기초과학과 임상연구의 간극을 좁히는 실용적 연구 전통을 세우는 데 중요한 역할을 했다고 평가했다.

토릭 다양체의 코호몰로지에 의한 결정성

수리과학과 서동엽 교수
E=mc² http:// topology.kaist.ac.kr

위상수학은 여러 가지 공간들을 서로 같은 것끼리 분류하고

자 하는 학문이다. 본 연구에서는 대수기하학에서 중요하게 여겨지고 있는 토릭 다양체로 그 범위를 제한하였을 때 두 토릭 다양체가 이들의 코호몰로지 환이 같으면 서로 위상동형일 것인가에 대한 질문에 대한 특별한 경우의 답을 담고 있다.

미래경제와 사회적기업

기술경영전문대학원 이주성 교수
http:// tmp.kaist.ac.kr

사회적 기업은 현 자본주의 사회의 문제들을 해결하기 위한 '지속가능경영'이며 이에 대한 지식과 뜻을 겸비한 젊은 사회적기업가를 양성하는 것은 시대적 의무이다. 이주성 교수는 젊은 대학생 및 예비 사회적기업가, 나아가 우리 사회의 모든 구성원들을 위한 연구 결과를 책으로 펴냈다. 사회적기업의 발달, 한국 사회적 기업의 토양과 현황, 과학기술의 사회적 책임, 사회적기업 경영과 기업가정신을 핵심 주제를 다루고 있다.

KAIST 2011 Annual R&D Report

2011년을 빛낸 연구성과

발행일 2012년 4월
발행인 한국과학기술원
기획 동아사이언스
주소 305-701 대전광역시 유성구 대학로 291 (구성동 373-1)
전화 042-350-2114
팩스 042-350-2210(2220)
홈페이지 http://www.kaist.ac.kr

Published April 2011
Publisher Korea Advanced Institute of Science and Technology
Address 291 Daehak-ro(373-1 Guseong-dong), Yuseong-gu, Daejeon 305-701, Republic of Korea
Contact +82-42-350-2114
Fax +82-42-350-2210 (2220)
Homepage http://www.kaist.ac.kr