

KAIST

KAIST 2019 ANNUAL R&D REPORT

2018년을 빛낸 연구성과

KOREA ADVANCED INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

KAIST

2019 ANNUAL R&D REPORT

2019 ANNUAL R&D REPORT



KAIST

34141 대전광역시 유성구 대학로 291
Tel. 042-350-2114 Fax. 042-350-2210(2220) www.kaist.ac.kr



CONTENTS

06	발간사 Message from the President
08	비전 2031 Kaist Vision 2031
10	예산 및 지원 현황 Research & Development Budget
12	연구성과 통계자료 Research Outcomes
14	KAIST 10대 우수성과 KAIST's Top 10 Research Achievements of 2018
36	KAIST 주요 연구성과 KAIST's Research Highlights of 2018

GLOBAL VALUE-CREATIVE
LEADING UNIVERSITY

GLOBAL VALUE-CREATIVE LEADING UNIVERSITY

세계를 선도하는 과학기술의 중심, 세계에서 가장 혁신적인 대학 6위,
바로 '창의와 도전' 속의 KAIST입니다. 우리는 '새로운 생각'을 멈추지 않습니다.
'새로운 생각'이 '더 많은 가능성'을 만듭니다.
상상 그 이상의 아이디어는 멈추지 않는 열정과 도전 정신으로
세상을 바꾸는 가장 혁신적인 힘이 될 것입니다.



WORLD CLASS SCIENCE AND TECHNOLOGY UNIVERSITY

세계속의 KAIST

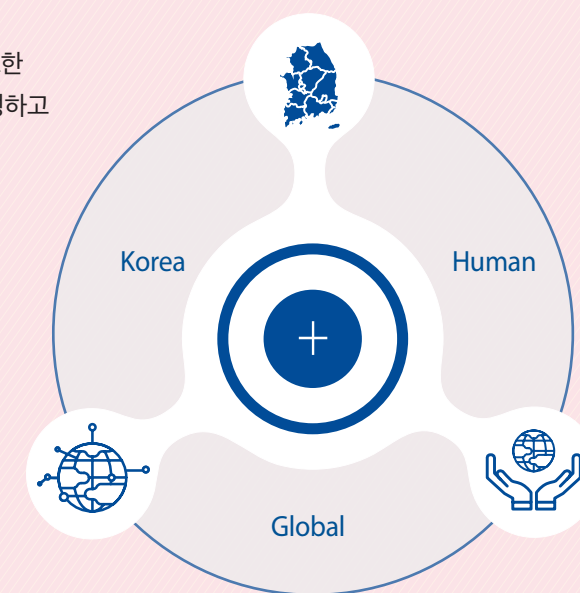
쉽없이 달려온 48년, KAIST는 끊임없는 연구에 꺼지지 않는 불을 밝히며
한국 과학기술의 등불 역할을 수행해 왔습니다.

KAIST는 한국을 넘어 세계 속의 연구기관으로서
인류의 미래를 밝히는 길잡이가 될 것입니다.

세계의 중심에서 세상을 움직이는
최고의 과학기술대학

한국 속의 KAIST

KAIST는 국가 발전에 필요한
고급 과학기술 인력을 양성하고
이공계 연구중심대학의
본보기를 제시하기 위해
1971년 설립되었다.



KAIST 속의 세계

KAIST는 최상의 교육으로,
최초의 발명을 주도하는,
최고의 리더를 배출하여
세계 과학계가 선망하는
초일류 대학으로서의
미래를 지향한다.

세계 속의 KAIST

KAIST는 학문적 수월성과
창의성을 겸비한 인재를 배출하여
세계 과학계의 존경받는
일원이 되었다.

발간사

Message from the President



KAIST는 1971년 우리나라 산업화 태동기에 국내 최초의 연구중심 대학원으로 출범해 대한민국 산업화의 성공과 정보화 혁신에 중추적인 역할을 담당했습니다. 또한 전인미답(前人未踏)의 길을 걸으며 선도성과 수월성과 차별성을 인정받는 세계적인 대학(World-Class University)으로 발돋움했습니다.

반세기만에 KAIST가 일구어낸 혁신적 성과들을 국내외에서 기적이라 표현하며 찬사를 보내고 있습니다. 하지만 달리는 말은 말굽을 멈추지 않습니다. KAIST는 ‘마부정제(馬不停蹄)’의 정신으로 ‘글로벌 가치창출 선도대학(Global Value-Creative Leading University)’의 ‘비전2031’을 수립하고 혁신의 고삐를 당기며 새로운 꿈을 향해 힘찬 도전을 시작했습니다.

설립 60주년을 맞이하는 2031년, KAIST는 ‘글로벌 가치창출 선도대학’으로 발돋움하고자 교육·연구·기술사업화·국제화·미래전략 등 5대 혁신을 선도하고 있습니다. 학교 전 구성원은 세계적 수준의 새로운 학문적 가치, 기술적 가치, 경제적 가치 그리고 사회적 가치를 창출해 대한민국의 지적 브랜드를 세계에 널리 알리며 국격을 제고하고, 국민들이 KAIST를 통해 대한민국의 미래와 희망을 이야기하는 상상 이상의 아름다운 변화를 꿈꿉니다.

특별히, 연구 혁신에 있어 KAIST는 인류에게 필요한 문제를 찾아서 정의하고 해결하는 연구를 수행하고 있습니다. 세계 최고(Best)이거나, 최초(First)이거나, 유일(Only)한 혁신적인 연구를 통해 인류의 난제를 해결하고 지속가능한 성장에 공헌하고자 합니다. 2018년에는 KAIST는 국내대학 최초로 ‘초세대 협업 연구실’을 선정해 학문의 대를 잇는 연구기반을 구축했으며, 올해에는 ‘글로벌 특이점 연구 과제’를 통해 세상의 새로운 변화를 가져올 특이점 연구를 지원해 글로벌 임팩트를 창출하고자 합니다.

2018년도 한 해 동안 우리 구성원들은 세계적인 연구 성과를 창출했습니다. 그 중 대표적인 연구 성과들을 선정해 ‘2019 KAIST Annual R&D Report’를 발간했습니다. 이 책이 과학 기술계 연구자들에게 새로운 영감을 주는 한편, 학생들이 과학기술 분야에 더 많은 관심을 가지고 미래에 대한 큰 꿈을 가지는 계기를 제공하길 바랍니다.

KAIST는 지속적인 연구 혁신을 통해 ‘글로벌 가치창출 선도대학’으로 발돋움함으로써 우리나라 과학기술과 경제발전, 나아가 인류의 발전에 기여하고자 노력하겠습니다. 여러분의 많은 관심과 성원을 부탁드립니다.

감사합니다.

2019년 3월

Shin

KAIST 총장 신 성 철

비전 2031

KAIST VISION 2031

글로벌 가치창출 선도대학

A Global Value-Creative Leading University

인류의 행복과 번영을 위한 과학기술혁신 대학

The University of Science & Technology Innovation
for Humanity's Happiness and Prosperity



교육혁신
비전 2031

사회적 가치 창출 창의
리더십 인재 양성

- 창의적 잠재력을 갖춘 인재선발
- 창의적 융합 인재 양성을 위한 교육과정 및 교육체제 혁신
- 창의적 융합 인재 역량 배양을 위한 교육방식 혁신



연구혁신
비전 2031

인류와 국가의
난제 해결 연구

- 지속가능한 연구제도혁신
- 창의적 / 도전적 연구지원혁신
- 글로벌 선도 융합, 협업 연구그룹 육성



기술사업화혁신
비전 2031

기술가치 창출
기업가형 대학

- 기업가 정신교육 설계 및 확산
- 창업지원기반 조성
- 지식재산 창출 및 관리 프로세스 전문화
- 기술출자 기업육성 및 산학협력 클러스터 구축



국제화혁신
비전 2031

World Bridge
KAIST by 2031

- 글로벌 캠퍼스
- 해외 국제 캠퍼스
- 카이스트 주도 국제연구
- 카이스트 발전모델 제 3세계 확산

미래전략혁신 How보다 What을 찾는 대학

KAIST 3C Spirit

Challenge

Creativity

Caring

앞선 도전으로 새로운 가능성을 발견합니다.
KAIST의 꿈이 인류를 위한 가치를 만들어냅니다.

KAIST의 역사는 대한민국 과학기술의 역사입니다.
우리는 무한대의 변화와 새로운 도전을 통해 창의적인 미래를 열어가는
세계 과학기술의 주인공입니다.

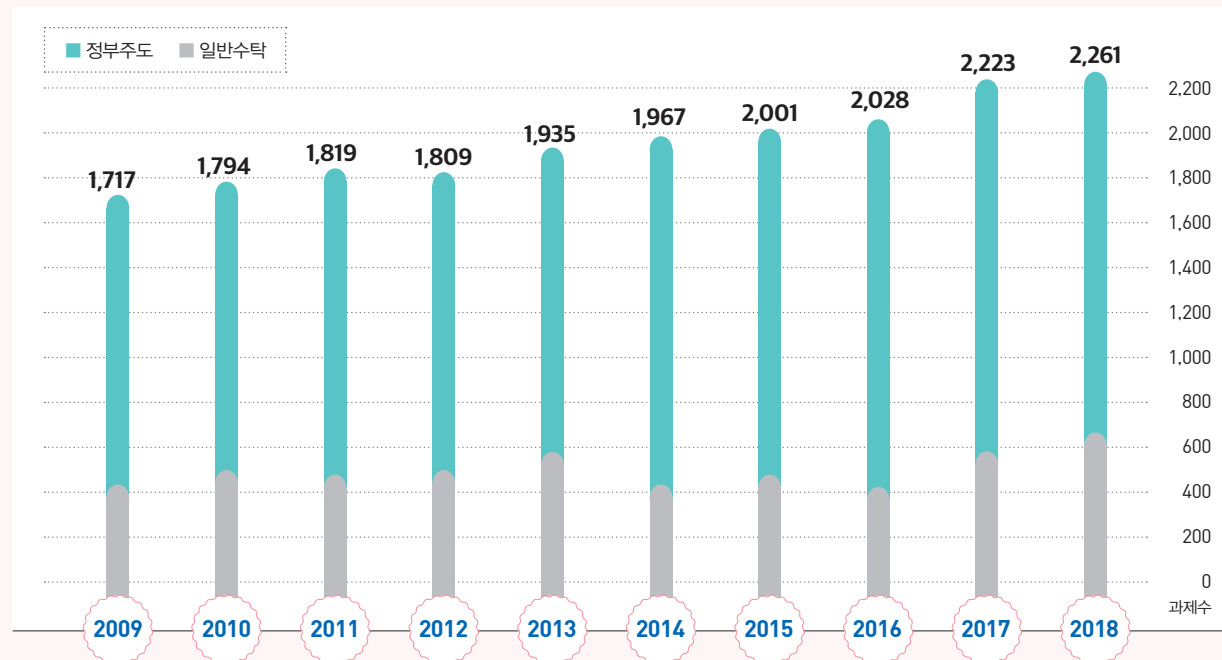


예산 및 지원 현황

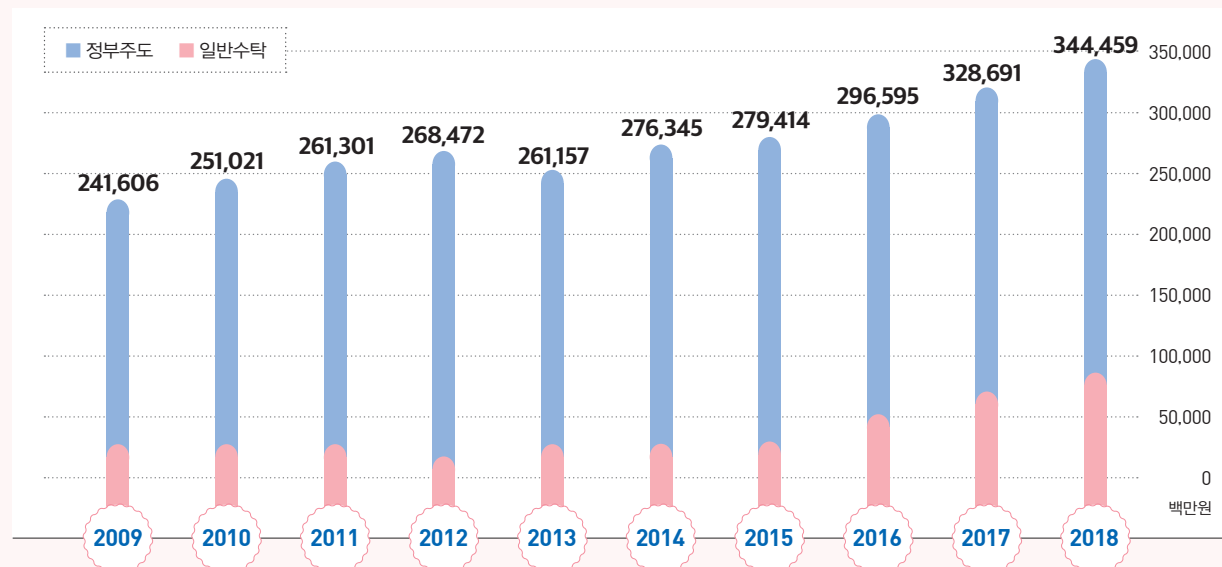
RESEARCH&DEVELOPMENT BUDGET

KAIST는 한국 최고의 국가 연구개발 기관으로서 다양한 과학기술 R&D 사업을 추진하고 있습니다. 특히 세계적 연구기관으로 발돋움하기 시작한 2009년 이후, 연구비가 급증하여 현재의 성과를 내는 기반이 되었습니다.

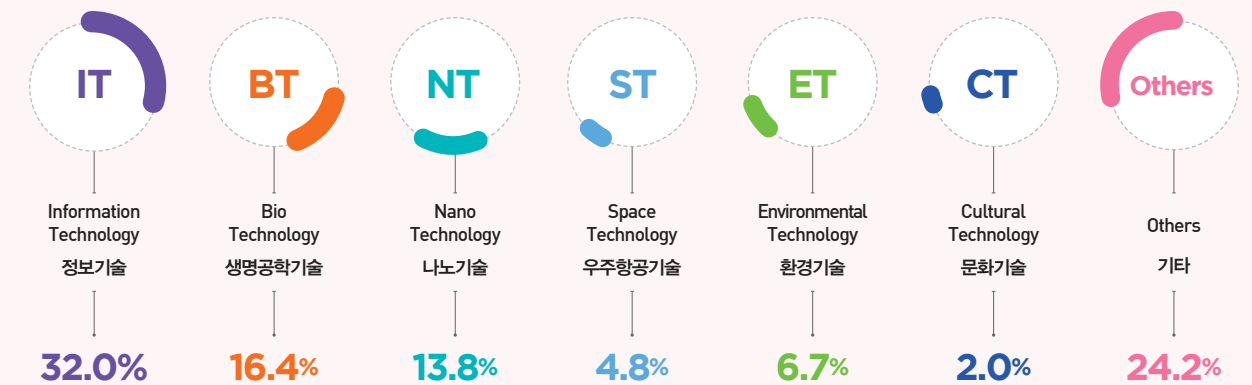
최근 10년간 연구실적 (과제수)



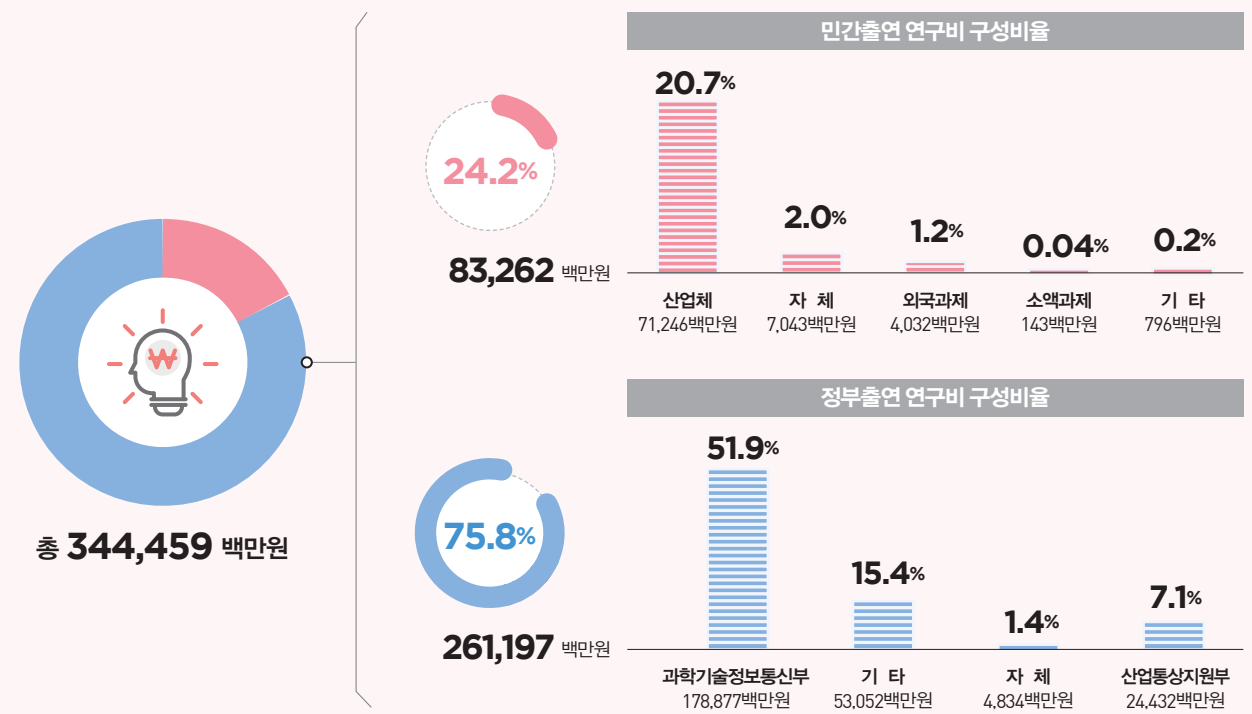
최근 10년간 연구실적 (연구비)



6T 연관 비중별 구성비율



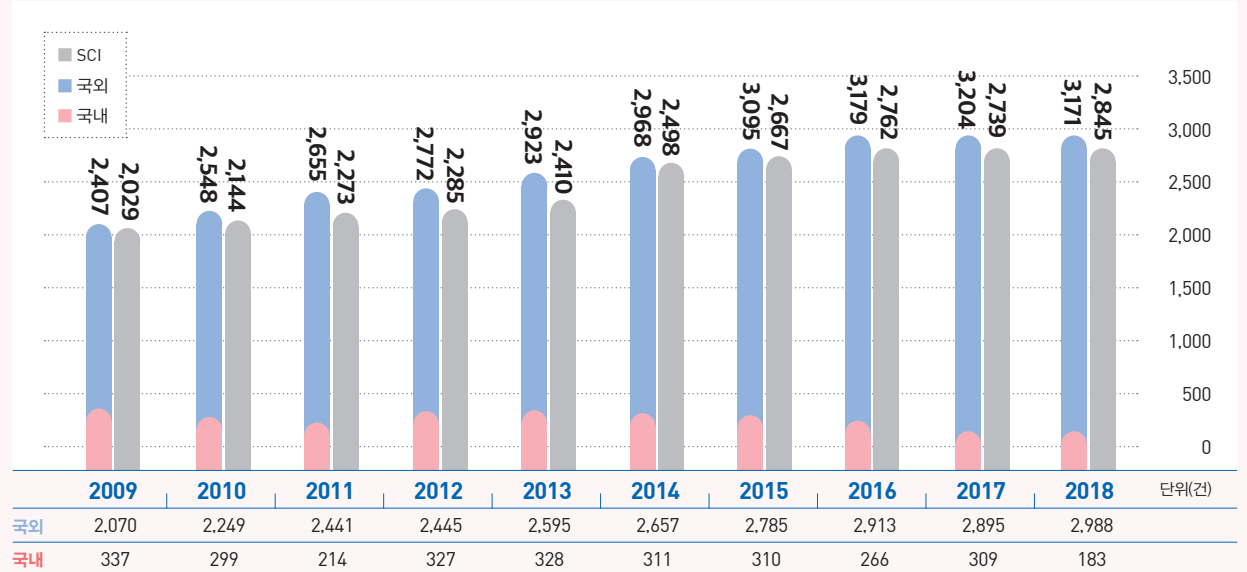
연구 계약금액 구성비



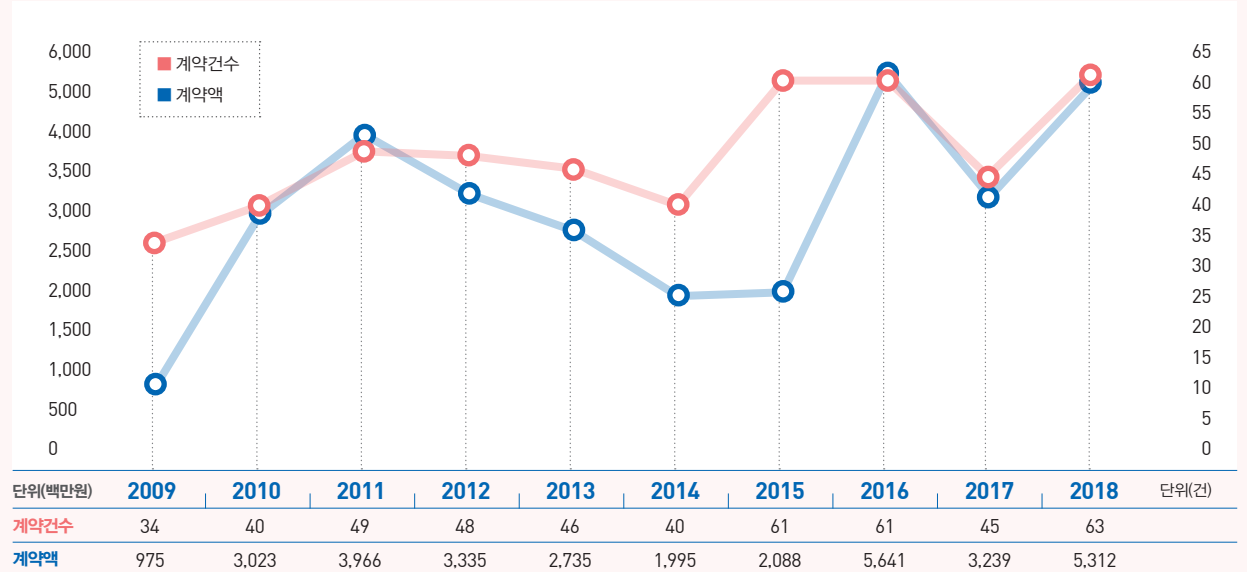
연구성과 통계자료

RESEARCH OUTCOMES

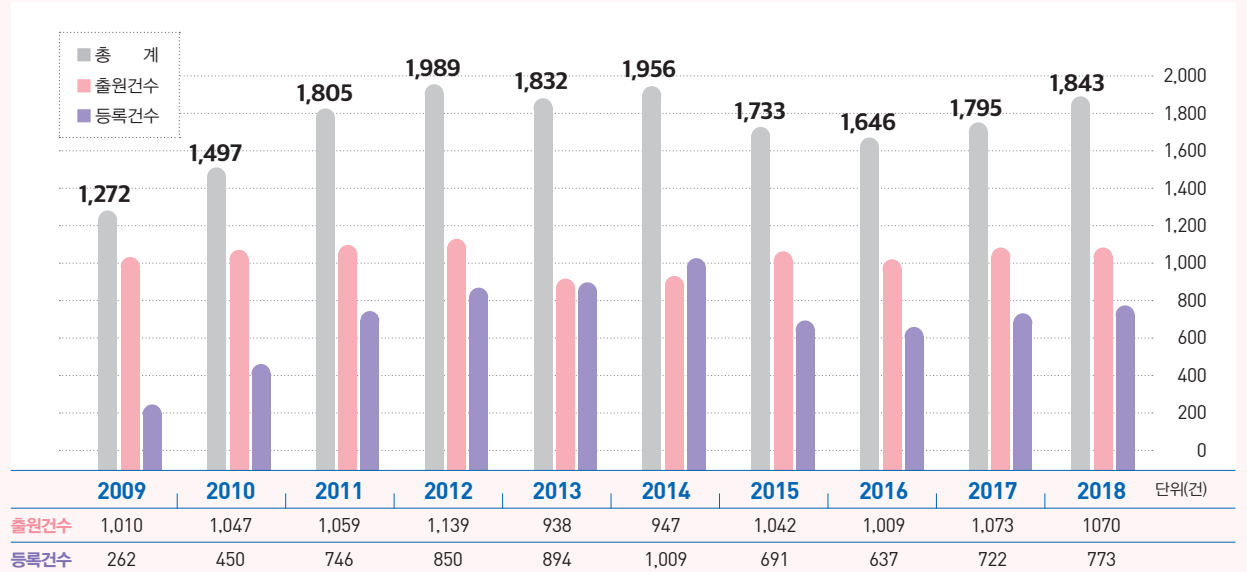
최근 10년간 논문수



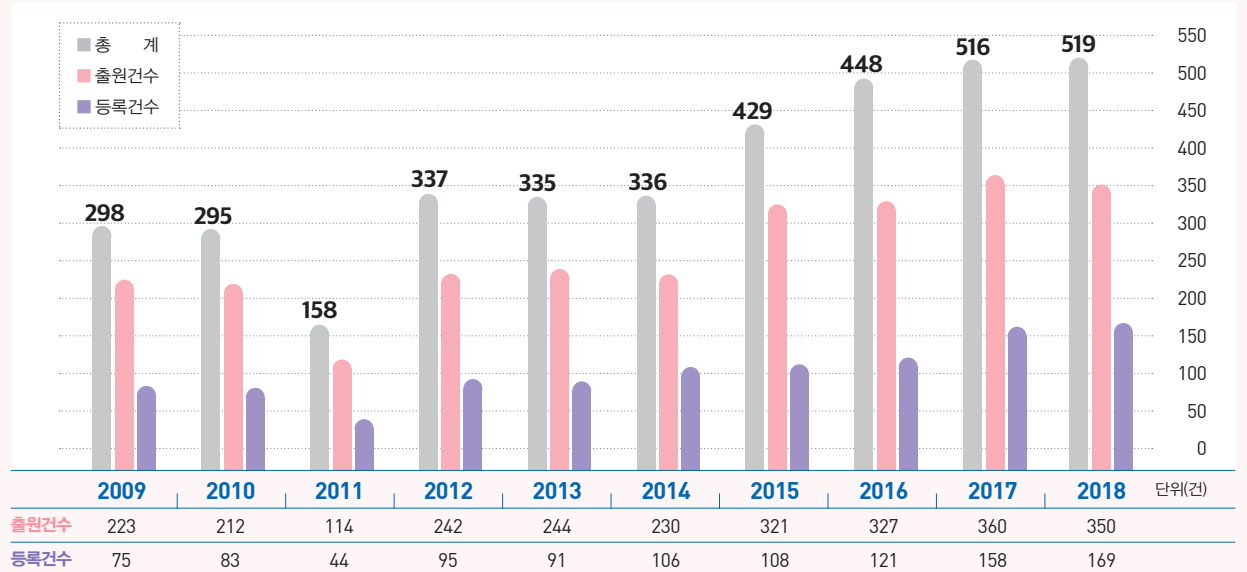
최근 10년간 기술이전 계약실적



최근 10년간 국내 특허실적



최근 10년간 국외 특허실적



KAIST'S TOP 10 RESEARCH ACHIEVEMENTS OF 2018

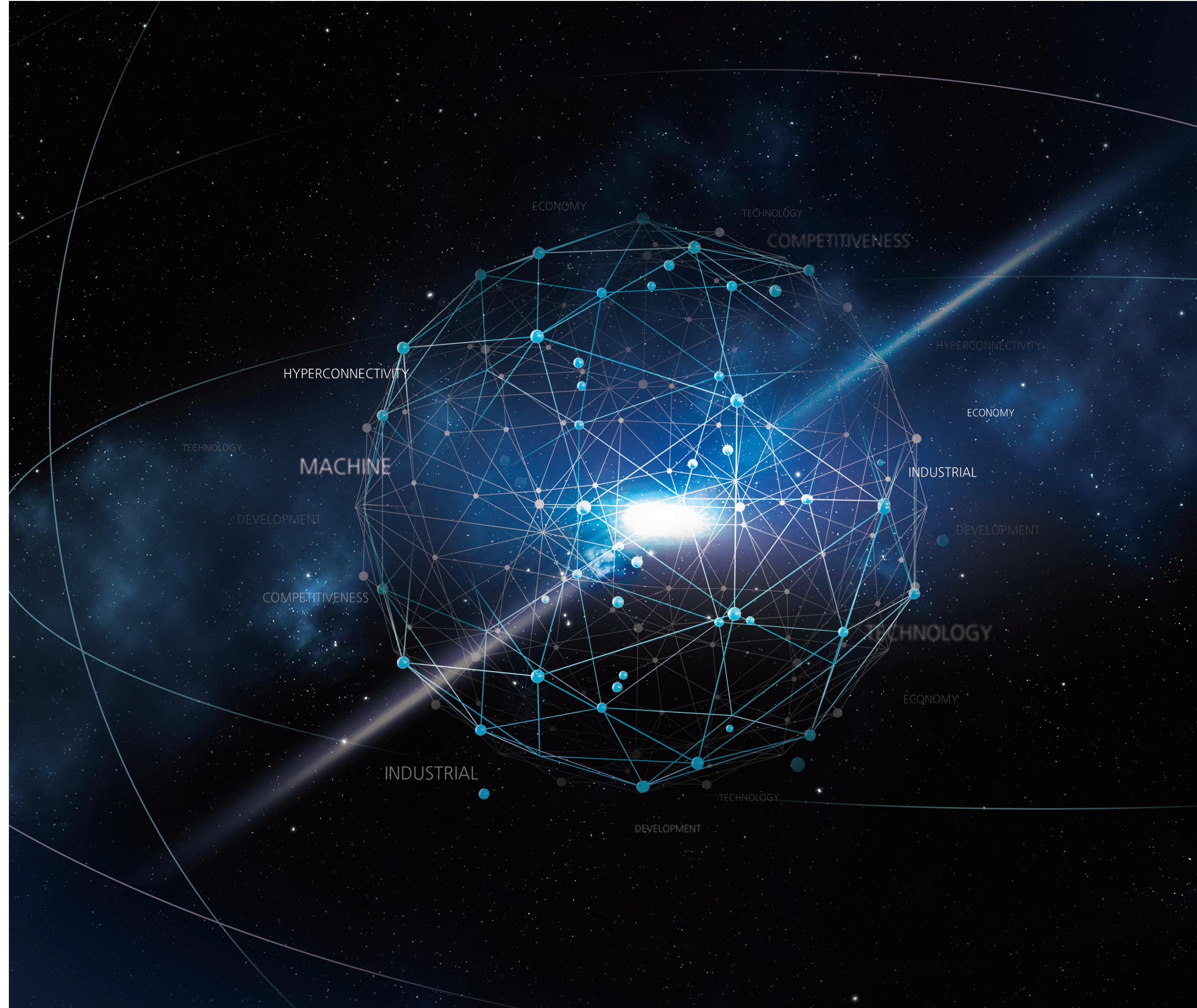
<http://www.kaist.ac.kr>

10대 우수성과

KAIST는 2018년 로이터통신의
'세계에서 가장 혁신적인 100대 대학' 순위에서
11위에 올랐습니다.

또한 "아시아에서 가장 혁신적인 75대 대학"에서
1위를 기록하였습니다.

KAIST의 교수와 연구진들은 세계 속에
한국 과학기술의 저력을 알려왔습니다.
세계 유수의 학술지에 게재된 2018년을 빛낸
KAIST의 10대 연구 성과를 소개합니다.



리드버그원자 양자시뮬레이터 개발



양자컴퓨팅이 중요한 미래기술의 하나로 대두되고 있다. 최근 KAIST의 물리학 연구진들이 초기 단계의 양자 컴퓨팅에 해당하는 리드버그 원자를 이용한 25큐비트 양자 시뮬레이터를 실험-이론의 공동연구를 통하여 개발하였다. 이 양자시뮬레이터는 양자-아이징모델로 잘 알려진 중요한 물리문제를 계산하는 데 활용되어, 양자얽힘 다체계의 열화과정을 실험적으로 관찰하는데 성공하였다. 이 시스템은 프로그램이 가능한 범용 양자컴퓨터 수준에 아직 도달하지 못하였으나, 제한된 물리 문제를 계산하는 데에는 활용할 수 있음을 보여주었다.

물리학과
안재욱
심흥선

KAIST'S TOP 10 RESEARCH ACHIEVEMENTS OF 2018



- 최근 양자컴퓨터에 대한 관심이 높아지고 있다. 양자 컴퓨터는 중첩, 얽힘, 비국소성 등의 양자역학적 현상을 정보계산에 직접적으로 활용하는 기계장치이며, 디지털 컴퓨터가 원리적으로 감당할 수 없는 계산을 수행할 것으로 예상되어, 이를 개발하기 위한 연구경쟁이 전세계적으로 진행되고 있다. 양자컴퓨터의 핵심기술은 양자역학적 정보단위인 양자비트(큐비트)를 저장하는 입자들 간의 상호작용을 외부잡음으로부터 철저히 분리하면서 프로그램하는 것이며, 현재까지 이러한 기술을 구현하는 물리계로는 이온덫과 초전도체 회로가 알려져 있다. 양자컴퓨터가 50개 정도의 큐비트 입자를 임의로 프로그램할 수 있으면 디지털 컴퓨터의 성능을 앞서게 되지만, 최근의 빠른 발전에도 불구하고, 현재의 양자컴퓨터는 최대 20개 정도의 큐비트만을 구동하고 있다.

- KAIST 연구진은 2016년에 광학집계덫을 이용하여 새로운 중성원자 배치기술을 개발하였다. 그리고 2018년에는 이를 이용하여 리드버그원자 양자시뮬레이터(양자컴퓨터 전단계의 기계장치로서 프로그램 능력이 제한적임)를 개발하였다. 이 장치는 고진공에서 극저온으로 냉각된 중성원자를 임의의 마이크로미터 크기의 구조체로 배열한 후에, 리드버그원자(마이크로미터 크기의 원자상태)를 형성하여, 양자얽힘 원자-다체계를 달성하는 실험장치이다. 레이저 원자냉각장치, 광학집계열의 생성 및 이동장치, 단일원자 현미경과 초고성능 분석계산장치로 구성되어 있다. 현재까지 약 40큐비트 규모의 양자얽힘

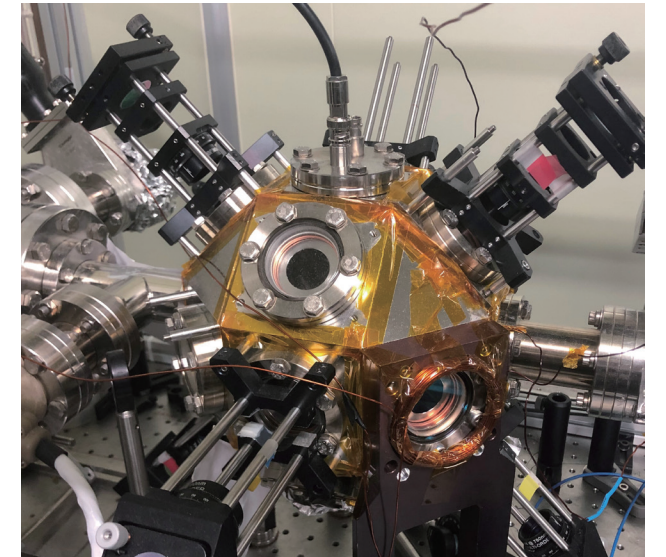


그림 1. 리드버그원자 양자시뮬레이터

원자열을 구성할 수 있으며, 약 25큐비트까지 동적상태를 분석할 수 있다. 프로그램 능력은 아직 제한적이지만, 일부 중요한 물리문제의 해밀토니안을 구현할 수 있다.

개발한 양자 시뮬레이터를 활용하여 첫번째로 얻은 실험결과는 다음과 같다. 양자-아이징 해밀토니안을 구동하여 양자 다체계(quantum many-body system)가 평형상태(steady state)로 진행할 때 그 근간에 놓인 동역학이 무엇인지를 연구하였다. 루비듐 단일원자(single atom)가 스핀-1/2 입자의 특성을 모방할 수 있음에 착안하였다. 원자들을 공간상에 지그재그로 배치하여 각도를 조절하면서, 원자간의 상호작용이 가장 가까운 원자끼리 또는 다음 가까운 거리까지 미치는 양자 아이징모델(또는 transverse-field Ising model)를 구현하였고, 각 원자의 스핀 상태의 시간 변화(time evolution)를 실험 측정을 통해 실시간 추적하였다. 힐버트 공간 전체의 확률분포를 분석한 결과, 스핀계의 동역학이 최초의 결맞음 진동(coherent oscillation)에서 이론적으로 예측된 평형상태로 수렴함을 보였고, 수렴하는 방식이 열화과정(thermalization)의 미세균형(detailed balance) 조건을 만족함을 확인할 수 있었다. 이는 양자스핀계의 열화가 분산(diffusion)에 기반한 통계역학적 열화방식과 대응되는 경우가 존재함을 실험적으로 보인 것에 해당한다.

- 양자시뮬레이터는 양자컴퓨터의 전단계 연구용 기계장치로서, 관련 연구와 양자컴퓨터 개발을 위한 기술수준을 발전시키는 중요한 역할을 한다. 현재 리드버그원자 양자시뮬레이터는 KAIST, 하버드대, 프랑스 광학연구소가 보유하여 연구하고 있으며, 구동 정확도 (gate operation fidelity)가 다른 양자컴퓨터 경쟁모델(이온덫과 초전도체회로)에 비해 부족하지만, 큐비트 개수를 확장할 수 있는 장점이 있다. 50개 큐비트 규모의 양자얽힘을 구현할 수 있으며, 최근 물리학에 중요하게 대두되고 있는 다양한 양자 다체계 문제에 활용될 것으로 기대된다.

연구성과

[논문] • Hyosub Kim, Yeje Park, Kyungtae Kim, H.-S. Sim, and Jaewook Ahn, "Detailed balance of thermalization dynamics in Rydberg atom quantum simulators," Physical Review Letters 120, 180502 (2018).

이 논문은 Physical Review Letters 저널에서 주목할 논문(Editors suggestion)으로 선정

• Woojun Lee, Hyosub Kim, and Jaewook Ahn, "Defect-free atomic array formation using the Hungarian matching algorithm," Physical Review A 95, 053424 (2017).

[특허] Jaewook Ahn, Hyosub Kim, Woojun Lee, "Dynamic holographic single atom tweezers and tweezing method using thereof," Korea Patent 1017834040000 (2017-09-25).

상온에서 가능한 탄소-수소 결합촉매반응



화학과
백 무 현

탄화수소는 자연상태에 많이 존재하지만 일반적 조건에서는 반응성이 낮아 합성의 원료로 사용되기 어렵다. 본 연구는 합성실험과 계산화학연구를 바탕으로 지금까지 불가능 하다고 여겨졌던 값싼 탄화수소의 아릴화 반응을 상온에서 이리듐을 이용해서 성공했다. 이 새로운 방법을 통해 의약품 및 재료 물질과 같은 중요한 화합물을 쉽고 빠르게 합성할 수 있을 것으로 기대된다.

KAIST'S TOP 10 RESEARCH ACHIEVEMENTS OF 2018



● 탄화수소는 자연상태에 많이 존재하지만 일반적 조건에서는 반응성이 낮아 합성의 원료로 사용되기 어렵다. 반응을 촉진시키기 위해 금속 촉매를 활용하는 등 다양한 연구가 이루어지고 있다. 특히 의·약학이나 재료화학분야에서 중요하게 활용되는 대다수의 화합물들이 분자 내에 아릴기를 포함하고 있기 때문에, 효율적이고 위치 선택적으로 아릴기를 도입할 수 있는 반응의 개발은 유기화학 분야의 지속적인 연구주제이다. 안정한 탄소-수소 결합에 아릴기 도입 반응을 유도하기 위해서는 탄소-수소 결합에 할로젠 원자나 유기금속을 붙여 사전활성화하거나 이 과정 없이 탄소-수소 결합을 직접 활성화(C-H functionalization)하는 과정을 거친다. 직접 활성화하는 방법이 효율성과 경제성이 뛰어나지만 개발된 반응 대부분이 고온의 반응온도, 과량의 첨가물이 필요한 격렬한 반응 조건을 필요로 하고 탄소-수소 결합이 분자 내에 많이 존재하므로 선택성 확보 역시 어려웠다.

● 본 연구진은 이리듐 촉매 하에서 아릴실레인(arylsilanes)을 반응제로 사용하여 탄소-수소 결합 활성화를 통한 아릴화 반응을 상온에서 구현하는 데 성공하였다. 여태껏 전이금속 촉매를 사용하는 탄소-수소 결합 활성화를 통한 아릴화 반응이 대부분 높은 온도에서 이루어진 것과 달리, 상온(25℃)에서도 이 반응이 가능할 뿐 아니라, 분자 내에서 위치 선택적으로 아릴기를 도입할 수 있다. 상온에서 아릴기 도입 반응에 성공할 수 있었던 것은 실험과 이론연구가 동시에 이루어졌기 때문이다. 기존에 알려진 아릴화 반응경로는 과정 중 생성되는 금속교환 반응 중간체(transmetallation intermediate)의 안정성

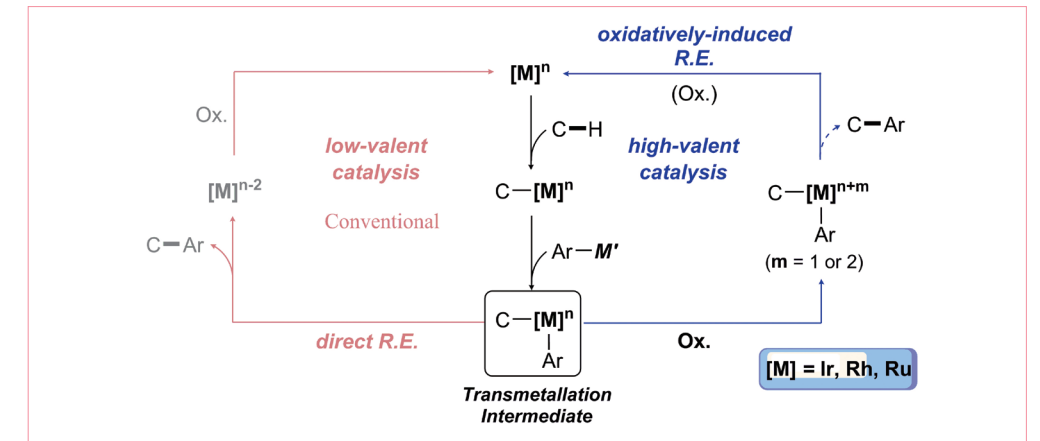


그림 1. 상온에서 진행 가능한 새로운 촉매 반응 경로 설계

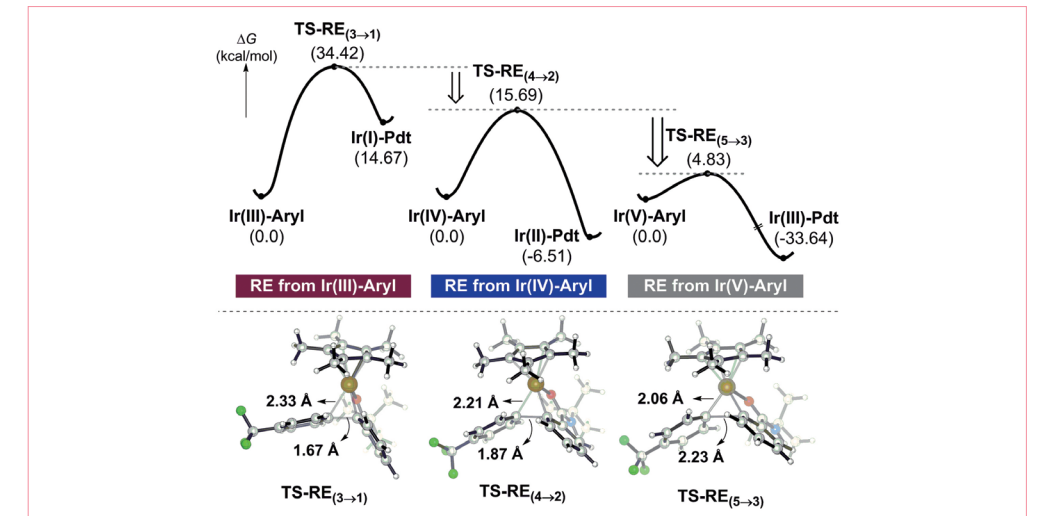


그림 2. 범함수이론을 활용한 새로운 반응 경로의 이론적 검증

때문에 반응과정에서 높은 에너지가 요구되었다. 메커니즘 연구를 통해 전이금속을 촉매로 하는 탄소-수소 결합 활성화를 통한 아릴화 반응에서 최초로 금속교환반응 중간체를 분리·분석해 내었다. 이를 바탕으로 금속교환반응 중간체만을 선택적으로 산화시키는 새로운 경로를 개발하여 에너지 장벽을 효과적으로 낮추었다. 또한, 밀도범함수 이론을 활용한 계산화학으로 실험 결과를 토대로 제안된 반응경로의 타당성을 검증하였다.

● 본 연구는 기존의 아릴화 반응에서 고온 조건의 필요성을 해결함과 더불어, 온화한 조건에서 촉매를 활용하여 유용한 화합물 합성에 성공하였다. 즉, 본 연구는 메커니즘적 이해를 바탕으로 효율적인 유기 합성을 가능하게 하였고, 이를 응용하여 의약품과 같은 중요한 화합물 생성에 있어서 상당한 부가가치를 창출할 수 있을 것으로 기대된다.

연구성과

- [논문] • "Iridium-catalysed arylation of C-H bonds enabled by oxidatively induced reductive elimination" Kwangmin Shin, Yoonsu Park, Mu-Hyun Baik and Sukbok Chang, Nat. Chem. 2018, 10, 218–224 – DOI:10.1038/nchem.2900
- "Selective Formation of gamma-lactams via C-H Amidation Enabled by Tailored Iridium Catalysts" Seung Youn Hong, Yoonsu Park, Yeongyu Hwang, Yeong Bum Kim, Mu-Hyun Baik and Sukbok Chang, Science 2018, 359, 1016–1021 – DOI: 10.1126/science.aap7503

DNA 사이의 상호작용에서 막대모양 이온의 역할 규명

나노과학기술대학원
김 용 운



스페르민이나 스페르미딘 같은 막대모양의 폴리아민 이온들이 DNA나 세포 미소관 같이 전하를 띤 다양한 생체 고분자들 사이에 인력적 상호작용을 유도하고 이를 통해 생체 기능에 중요한 역할을 수행하는 고분자들의 응집상을 촉발한다는 것이 최근 들어 실험적으로 알려졌다. 그러나 같은 전하를 띤 생체 고분자는 항상 정전기적 척력을 경험할 수밖에 없다는 것이 지난 백 년 동안 이러한 이온용액을 기술하는데 널리 사용되어 온 포아송-볼츠만 이론의 예측이었다. 최근 KAIST 연구진은 막대모양의 이온들을 고려한 이론 모델을 통해 이와 같은 모순을 해결하고, DNA 사이에 인력적 상호작용이 가능함을 보였다. 본 연구를 통해 막대모양의 폴리아민 이온들이 생체조건에서 어떻게 효과적으로 고분자 응집상을 유도하는지 이해할 수 있었고, 이는 전하를 띤 생체물질들의 상호작용에 대한 근본적 이해를 넓힐 것으로 기대된다.

KAIST'S TOP 10 RESEARCH ACHIEVEMENTS OF 2018



● 디옥시리보 핵산(DNA), 미세관(microtubule), 액틴필라멘트(actin filament)와 같이 전기적 전하를 띤 생체 고분자들은 세포 내에서 특징적인 자기조립 구조를 만들고 이를 통해 생명현상에 필요한 다양한 기능을 수행하기 때문에 생물학 분야에서 많은 관심의 대상이 되어왔다. 특히, 같은 전하를 띤 고분자들이 어떻게 전기적 반발력을 극복하고 평형상태에서 특징적인 자기조립 구조 및 응집상을 만들 수 있는가란 질문은 비단 생물학자들뿐만 아니라 물리학자들에게도 오랫동안 풀리지 않는 수수께끼였다. 고분자 전해질 같은 이온 용액을 기술하는데 지난 한 세기 동안 성공적으로 사용되어온 포아송-볼츠만 방정식(Poisson-Boltzmann equation)의 해에 의하면 고분자 전해질은 항상 서로 밀어내는 척력을 보일 수밖에 없다는 점에서 인력적 상호작용을 의미하는 고분자의 자기조립 구조는 무른 응집물질 물리 분야의 대표적 퍼즐 가운데 하나로 인식되었다.

● 이 질문에 대해, 지난 20년 동안의 연구를 통해 받아들이고 있는 설명은 다음과 같다. 세포 내에는 고분자 전해질과 반대 전하를 띤 다가(multivalent) 이온들이 존재하며, 다가 이온들이 만들어내는 강한 정전기적 상관관계(strong electrostatic correlations)를 통해 고분자 전해질 사이에 인력이 형성되는데, 이러한 정전기적 상관관계는 일종의 평균장 이론인 포아송-볼츠만 방정식에 의해 기술될 수 없다는 것이다. 위와 같은 설명은 포아송-볼츠만 방정식의 예측과 반대되는 실제 현상을 설명할 수 있기에 얼핏 만족스러워 보인다. 그러나 실제 세포 내에는 많은 양의 일가(monovalent) 전해질 이온들이 존재하는

데, 이러한 경우 이온들 사이의 강한 정전기적 상호작용이 중요하지 않게 되고 포아송-볼츠만 방정식이 여전히 유효하다는 사실 또한 잘 알려져 있다. 즉, 평균장 근사가 유효하리라 기대되는 실제 생체 조건에서 고분자 전해질들 사이의 인력적 상호작용을 어떻게 설명할 수 있는가에 대한 해답은 아직 명확하지 않으며 이것이 본 연구의 주된 관심사였다.

KAIST 연구진은 고분자의 자기조립 과정에서 스페르민(spermine), 스페르미딘(spermidine)과 같은 다가 이온들이 중요한 역할을 수행한다는 실험 결과에 주목하였다. 이러한 이온들은 막대

모양을 가지고 있으며 막대모양의 뼈대를 따라 이산적인 전하 분포를 가지고 있다. 따라서 포아송-볼츠만 방정식에서 흔히 쓰이는 점전하 근사가 더 이상 유효하지 않게 된다. 이에 본 연구에서는 몬테카를로 시뮬레이션(Monte Carlo simulations)을 통해, 용액 속에 아령 모양의 막대형 이온들이 존재할 때, 전하를 띤 고분자들 사이의 상호작용을 계산하였다(그림 1). 그 결과, 막대형 이온의 길이 커짐에 따라 포아송-볼츠만 방정식이 유효한 약한 상호작용의 영역에서도 고분자들이 인력적 상호작용을 할 수 있음을 보였다(그림 2, 왼쪽). 이는 고분자들 사이에 분포하는 막대모양 이온들이 두 고분자들을 연결(bridge)하는 형태로 고분자 축에 수직하게 배열함으로써 고분자 사이 공간의 삼투압력이 음의 값을 가지기 때문이라는 것을 밝혔다(그림 2, 오른쪽).

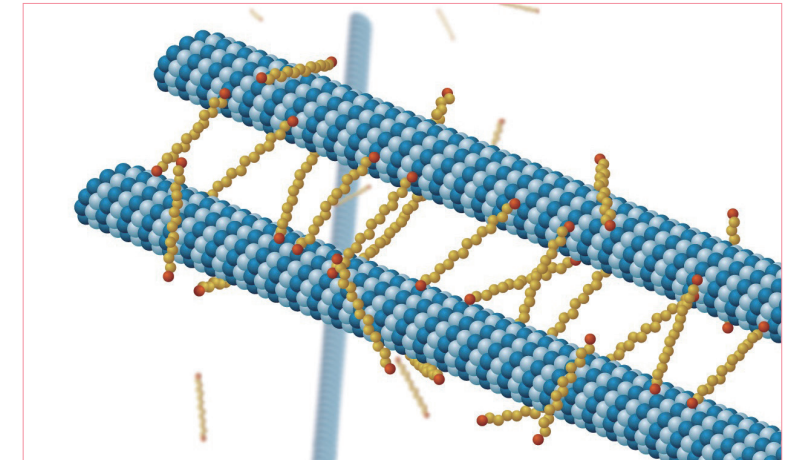


그림 1. 전하를 띤 두 고분자와 막대 모양의 이온

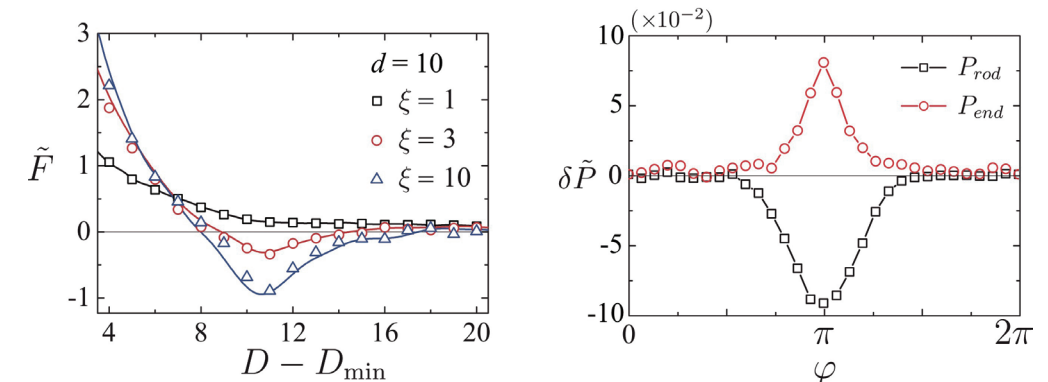


그림 2. 고분자 사이에 작용하는 힘(왼쪽)과 삼투압력(오른쪽) [Cha, Ro, and Kim, Phys. Rev. Lett. 121, 058001 (2018)]

● 본 연구를 통해 다가이온의 막대형 구조와 이로 인한 비등방적 삼투압력을 고려하는 것이 고분자 전해질 사이의 상호작용을 이해하는데 중요함을 알 수 있었다. 특히, 본 연구는 생체내에 소량으로 존재하는 폴리아민 계열 이온들이 왜 생체 고분자의 응집상 형성에 중요한 역할을 수행하는지, 그 물리적 기작을 밝힌 최초의 연구로서 막대모양 이온을 이용하여 생체 고분자의 자기조립상을 제어하기 위한 후속 연구들의 이론적 토대를 마련할 것으로 기대된다. 또한 지난 백 년 동안 포아송-볼츠만 방정식에서 사용되어온 점전하 근사를 뛰어넘어 이온들의 형태적 자유도를 고려한 이론 연구라는 점에서 학문적 의의를 지니고 있다.

연구성과

[논문] M. Cha, S. Ro, and Y. W. Kim*, "Rodlike counterions near charged cylinders: counterion condensation and inter-cylinder interaction", Phys. Rev. Lett. 121, 058001 (2018)

연구비 지원

This research was supported by a National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korean government (Grant No. NRF-2017R1A2B4A007608)

자원의 탐색 및 획득을 조절하는 신경회로 발견 및 조절

생명과학과
김 대 수



유용한 목표를 획득하기 위해 노력하는 신경회로 발견
“김대수 교수 연구팀은 광유전학적(optogenetics) 뇌 연구를 통해 물체에 대한 ‘소유’ 행동을 조절하는 핵심 신경 회로(core-neural circuit)를 최초로 발견하였다. 본능 행동의 동기를 담당하는 시상하부 (hypothalamus) 중 빛으로 생쥐의 전시각중추 (medial preoptic area, MPA)의 특정 회로를 자극했을 때 생존 가치에 개의치 않고 목표 물체를 ‘획득’ 및 ‘보유’하는 현상이 관찰되며, 공중에 떠 있는 물체와 같이 목표 물체를 직접 획득하기 어려운 환경에서도 획득을 위해 노력하는 행동이 (목표 물체를 향한 도약) 관찰되었다. 본 연구에서는 첨단 연결체학(connectomics)을 활용하여 소유관련 행동을 조절하는 신경회로의 세부지도를 완성하고 이 신경회로가 궁극적으로 먹이활동과 사냥행동 조절에 기여한다는 생태학적인 원리를 밝혔다. 또한 본 연구팀은 위 소유행동 신경 회로를 응용하여 동물의 행동을 조절할 수 있는 MIDAS (MPA-induced drive assisted steering) 기술을 개발하였다. 본 연구결과는 물건에 집착하는 수집증이나 쇼핑중독 등 뇌 질환을 치료할 수 있는 단서를 제공할 수 있고, 단순 행동조절에 더해 동물과 인간의 행동을 일으키는 동기 자체를 활용하는 기술개발에 도움을 줌으로써 신경경제학 및 국방, 재난구조 등에 기여할 수 있다.

KAIST'S TOP 10 RESEARCH ACHIEVEMENTS OF 2018



- 동물들의 먹이 활동을(foraging) 위한 호기심 표현 및 탐색, 획득 행동들은 궁극적으로 소유하고자하는 근본적 욕구와 연관이 있으나 정작 이해 대한 생물학적인 이해는 전무한 실정이다. 동물이 유용한 자원 혹은 먹이를 확보하려는 것은 생존을 위한 강력한 욕구이다. 따라서 뇌는 이러한 욕구를 바탕으로 유용한 목표를 탐색하고 획득하는 행동을 만들어 낸다. 그러나 현재까지 이러한 욕구를 만들어내는 신경회로 기전에 관해서 알려진 바 없었다.

물건 및 재화, 사회적 지위를 획득, 소유하려는 욕구는 인간행동의 생물학적 근간이 된다. 유년기에는 처음 보는 물건이나 장난감에 대한 소유 및 놀이행동이 나타나고 이는 성인이 되면서 점차 복잡한 형태의 전략으로 발달한다. 나아가 이러한 욕구는 한정된 재화를 소유하기 위해 사회적 경쟁을 유발하며 합리적인 경쟁을 위한 다양한 사회체제의 확립과 연관이 있다.

전시각 중추 (Medial preoptic area)는 시상하부의 일부 구조체로 많은 종류의 서로 다른 신경들로 구성되어 있다. 선행 연구들은 이 신경들이 주로 사회적 대상에 대한 행동을 조절하는데 중요하다고 제안하였다. 그러나 전시각 중추가 목표 물체나 먹이감을 획득하는 비사회적 대상에 대한 행동 발현에 기여한다는 것은 알려진 바 없었다.

- 본 연구팀은, 사물을 탐색하고 획득하는 전시각중추의 기능을 연구하기 위하여 빛으로 신경을 자극 또는 억제할 수 있는 광유전학(optogenetics) 기법을 활용하였다. 생쥐의 뇌에서 CaMKII 유전자를 발현하는 전시각 중추

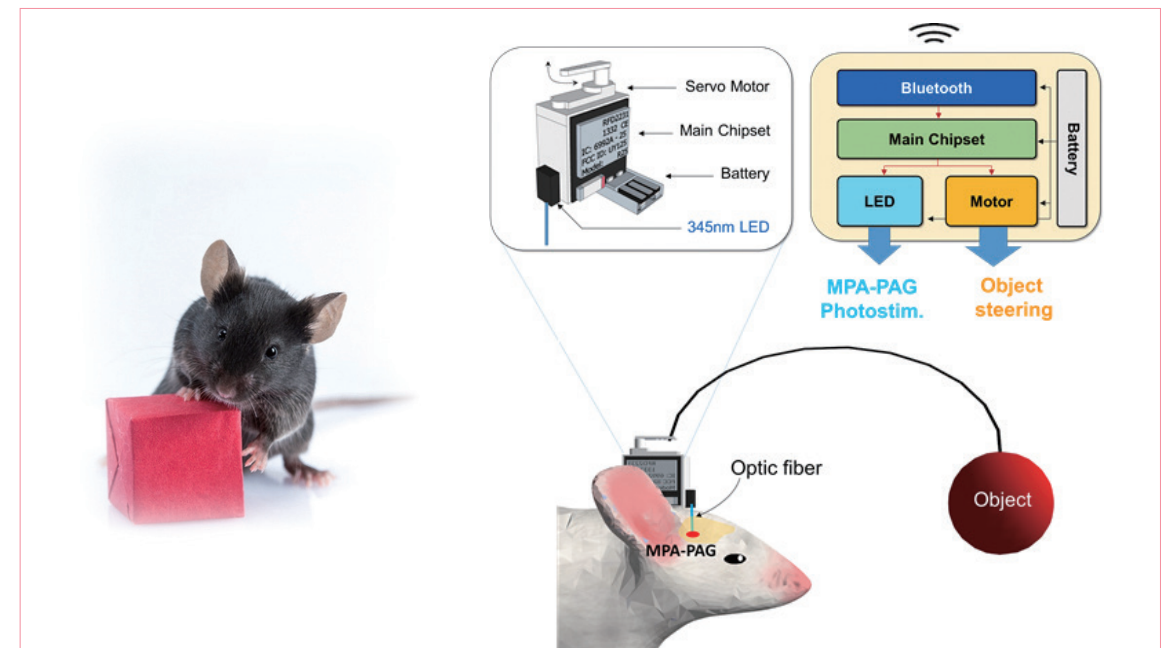


그림 1. 자원탐색신경회로를 활용하여 동물의 행동을 조절하는 MIDAS 기술

신경을 빛으로 자극할 시, 생쥐가 물건에 집착하는 이상행동을 보인다.

이러한 물건에 대한 집착은 CaMKII 전시각중추 신경들이 수도관주의 회색질신경 PAG, Periaqueductal grey 으로 정보를 보내어 만들어진다는 것을 밝혔다. 이러한 MPA-PAG 신경회로를 억제하면 새로운 물건에 대한 호기심 및 욕심이 감소함을 밝혔다.

본 연구팀은 MPA-PAG 신경회로를 자극할 시, 눈앞의 목표를 획득하려는 성질을 활용하여 세계 최초로 포유류 행동조절에 성공하였다. MIDAS (MPA-induced drive assisted steering) 라고 명명된 이 기술을 통해 실험자가 원하는 장소로 생쥐가 장애물들을 스스로 극복하며 이동하도록 할 수 있었다. MPA-PAG 신경회로는 다양한 생물종에서 진화적으로 보존된 신경회로이기 때문에 다양한 동물의 행동조절에 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

- 본 연구를 통해 동물이 먹이나 사물을 탐색하고 획득하는 뇌 기능에 대한 이해가 증진될 것으로 사료된다. MPA-PAG

신경회로를 다양한 동물에서 연구하면 어떻게 많은 동물들이 선택적으로 먹이사슬을 이루는 지에 대한 생태학적 원리를 규명하는데도 유용할 것이다.

본 연구에서 개발된 MIDAS 기술을 활용하면 다양한 동물의 행동을 조절할 수 있는 길이 열린다. 동물의 행동조절을 농업에 활용하여 고대 농업혁명의 시작이 되었듯이 MIDAS 기반의 자유로운 행동조절 방법은 현재 로봇틱스의 한계를 극복 하는데 유용한 수단이 될 것이다.

MIDAS 동물은 스스로 먹이 활동을 하기에 로봇과 같이 에너지 공급 문제가 없으며, 스스로 장애물을 극복할 수 있으므로, 섬세한 조종이 필요없다. 네비게이션과 같이 경로만 선택해 주면 동물이 스스로 목표지점을 찾아가도록 설계할 수 있다. 본 연구의 ‘자원에 대한 소유행동 조절기전 발견’은 인간이 다양한 형태로 소유욕을 발전시켜 현대 사회 및 경제, 문화를 이루게 된 단서를 제공하게 될 것이다. 나아가, 소유행동 신경회로를 자극 또는 조절할 수 있는 기술로 발전될 가능성을 열어준다. 이는 4차 산업 혁명의 흐름에 따라 산업 및 경제 발전에 이바지할 수 있게 될 것이다.

연구성과

[논문] Sae-Geun Park, Yong-Cheol Jeong, Dae-Gun Kim, Min-Hyung Lee, Anna Shin, Geunhong Park, Jia Ryoo, Jiso Hong, Seohui Bae, Cheol-Hu Kim, Phill-Seung Lee and Daesoo Kim (2018) Medial preoptic circuit induces hunting-like actions to non-social objects and prey, Nature Neuroscience.

[특허] Park, S and Kim, D et al., PCT/KR2017/001470, Method for controlling behavior of animals using object seeking behavior Park, S and Kim, D et al., KR10/2016/0016473, An animal whose behavior can be regulated by light and use thereof

[언론 보도] Highlighted in INSCPOPIX news (must-read neural circuit papers in Jan, 2018), USA

뇌종양의 원인 규명과 새로운 치료법 제시



이정호 교수팀은 뇌 종양을 유발하는 돌연변이의 기원과 새로운 병인 기전을 분자 수준에서 규명하였으며 한걸음 더 나아가 새로운 치료법을 제시하는 연구 성과를 내었다.

1. 교모세포종은 가장 예후가 좋지 않은 암 종중 하나로, 암 발생의 근본적인 원인에 대한 이해가 부족하며, 치료법이 묘연한 암이다. 연구팀은 교모세포종 유발 돌연변이는 암 부위가 아니라, 암에서 멀리 떨어진 뇌실하영역 부위에서 기원된다는 사실을 세계 최초로 규명하였고 이는 기존 치료법과 연구의 한계를 뛰어 넘어 암이 존재하지 않는 뇌실하영역에서 암이 시작된다는 새로운 발상으로 교모세포종 치료의 새로운 전기가 마련될 것으로 예상된다. (2018 Nature 게재).

2. 소아 뇌종양은 성인 뇌종양에 비해 난치성 뇌전증이 빈번하게 동반되는 특징을 갖고 있으나 난치성 뇌전증의 발생 원인에 대해서는 밝혀진 바가 없으며 현존하는 항 뇌전증 약물에 반응하지 않기 때문에 환자 치료에 많은 어려움을 겪고 있다. 연구팀은 난치성 뇌전증을 일으키는 소아 뇌종양의 근본 원인과 뇌전증 발생의 원리를 규명해 새로운 치료법을 제시하였다. (2018 Nature Medicine 게재).

의과학대학원
이정호

KAIST'S TOP 10 RESEARCH ACHIEVEMENTS OF 2018



● 성인과 소아의 뇌에서 모두 발생할 수 있는 뇌 종양은 그 근본적인 원인과 병인 기전에 대한 이해가 부족하여 치료법이 요원한 상황이다. 이정호 교수팀은 인간의 뇌의 발달 및 노화과정에 후천적으로 발생하는 돌연변이를 연구하여 소아 뇌종양 및 성인 악성 뇌종양을 일으키는 돌연변이의 기원, 분자유전학적 병인기전 및 새로운 치료법을 제시하는 연구 성과를 내었다.

● **성인 악성 뇌종양의 근본 원인 규명과 새로운 치료법 제시**
교모세포종은 가장 예후가 좋지 않은 암 종중 하나로, 암 발생의 근본적인 원인에 대한 이해가 부족하며, 수술적 치료가 가장 중요하지만 수술만으로 치료할 수 없고 항암 치료, 방사선치료, 표적항암제 등이 사용 중이나 아직도 그 치료법이 묘연한 암이다. 연구팀은 교모세포종 유발 돌연변이가 암 부위가 아니라, 암에서 멀리 떨어진 뇌실하영역 부위에서 기원된다는 사실을 세계 최초로 규명하였다.

교모세포종의 근본 원인을 규명한 획기적 연구 결과로, 기존 치료법과 연구의 한계를 뛰어 넘어 암이 존재하지 않는 뇌실하영역에서 암이 시작된다는 새로운 발상으로 교모세포종 치료의 새로운 전기가 마련 될 것으로 예상된다. (2018 Nature 게재)

난치성 뇌전증(간질) 동반 소아 뇌종양의 근본 원인 규명과 새로운 치료법 제시

소아 뇌종양은 성인 뇌종양에 비해 난치성 뇌전증이 빈번

하게 동반되는 특징을 갖고 있다. 그러나 소아 뇌종양에서 특이적으로 난치성 뇌전증이 발생하는 원인에 대해서는 밝혀진 바가 없으며 현존하는 항 뇌전증 약물에 반응하지 않기 때문에 환자의 치료에 많은 어려움을 겪고 있다. 난치성 뇌전증을 일으키는 소아 뇌종양의 근본 원인과 뇌전증 발생의 원리를 규명해 새로운 치료법을 제시하였다.

● 이번 연구 결과를 통해 수술 치료에 어려움이 있는 소아 뇌종양 기반의 난치성 뇌전증 치료에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다. (2018 Nature Medicine 게재).

그림 1. 교모세포종 환자의 종양, 정상, 뇌실하 조직을 얻어 변이 분석 후 생물학적 모델링을 하는 과정

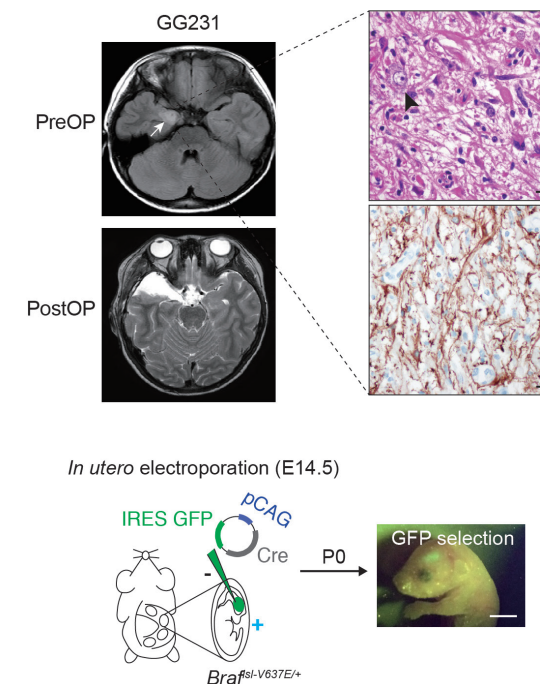
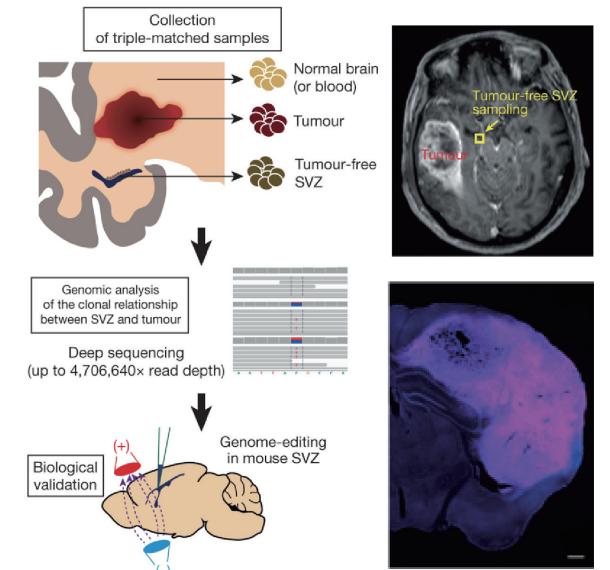


그림 2. 뇌전증을 유발하는 소아 뇌종양 환자의 조직을 분석 후 생물학적 모델링을 하는 과정과 뇌전증 발생 기전.

연구성과

[논문] • Lee et al, Human glioblastoma arises from subventricular zone cells with low-level driver mutations. Nature. 2018 Aug;560(7717):243-247. (IF=41.6)

• Koh et al, BRAF somatic mutation contributes to intrinsic epileptogenicity in pediatric brain tumors. Nature Medicine. 2018 Nov;24(11):1662-1668. (IF=32.6)

[언론 보도] 두 논문 모두 10개 이상의 주요 언론사에 홍보됨.

연구비 지원

Suh Kyungbae Foundation

IBS-R002-D1

Korean Health Technology R&D Project, Ministry of Health & Welfare (H15C3143 and H16C0415)

Citizens United for Research in Epileps

시공간 경계를 이용한 빛의 선형 주파수 변환 기술 개발

기계공학과
민 범 기



빛의 주파수 변환 기술은 거의 모든 경우, 비선형 물질이나 소자를 이용하여 개발되어 왔다. 본 연구에서는 이러한 기존 접근 방법에서 벗어나 전자기파가 매질의 시간 경계를 지나는 경우, 비선형성에 의존하지 않는 선형적 주파수 변환이 생기는 점에 착안하여 설계가 가능한 선형 주파수 변환 소자를 최초로 구현하였으며, 더 나아가 변환된 빛의 위상 역시 제어가 가능함을 보였다. 제안된 기술은 매우 낮은 입력 세기를 가지는 빛 주파수 변환을 가능케 할 것이며, 더불어 변환된 빛의 위상 제어 가능성은 새로운 광학 파면 제어 기술로 발전될 것으로 기대된다.

KAIST'S TOP 10 RESEARCH ACHIEVEMENTS OF 2018



● 지난 20여 년간 진행된 메타물질 연구는 마이크로/나노 공정의 도움으로 파장 이하 스케일에서 유효 매질의 공간적인 변화 (공간 구조체)를 극한까지 이용하였다. 하지만, 일반적으로 구현된 메타물질의 성질은 시간 영역에서 변하지 않거나 상호작용하는 전자기파의 진동 주파수에 비해 느린 시간 영역에서 변하는 한계를 가지고 있었다. 최근 2~3년간, 극소수의 선도적인 연구자들에 의해 유효 매질의 시간적인 변화 (시공간 구조체)를 이용하여 시간적으로 고정된 유효 물성의 한계를 극복하고 메타물질의 기능적인 유효 물성을 더욱 넓히려는 연구가 태동되었다. 매질의 시간적인 특성 변화를 이용하여 광학 물질 더 나아가 광학 소자의 기능을 넓히고자 하는 접근 방법은 빛의 비가역적 투과 (Nonreciprocal transmission)와 시간 역행파의 생성에 관한 연구 등에서 찾아볼 수 있다. 본 연구는 시변 매질을 이용한 또 다른 시도로 전자기파의 주파수 변환에 관한 연구이다. 일반적으로 주파수 변환은 비선형 (메타)물질이나 (메타)소자를 이용하여 구현되었으나, 전자기파의 주파수 변환은 시변 물질과 전자기파의 상호작용을 통하여도 얻어질 수 있다. 물질의 급격한 공간적 물성 변화, 즉, 공간적 경계면 (Spatial boundary or discontinuity)을 빛이 지나가는 경우, 빛의 운동량 (파수벡터)은 보존되지 않으나 빛의 에너지 (주파수)는 보존된다. 반면, 빛이 물질의 급격한 시간적 물성 변화, 즉, 시간적 경계면 (temporal boundary or discontinuity)을 지나는 경우, 빛의 에너지 (주파수)는 보존되지 않으나 빛의 운동량 (파수벡터)은 보존된다. 이러한 원리는 대칭성과 보존량에 대한 관계를 기술하는 뇌터 정리 (Noether's theorem)에도 부합한다. 따라서, 시변

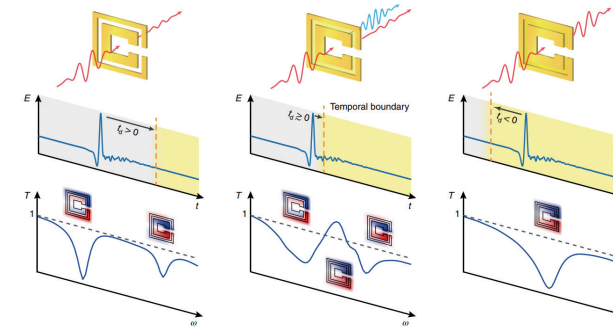


그림 1. 시간 변화 메타표면을 이용한 주파수 변환의 개념도과정

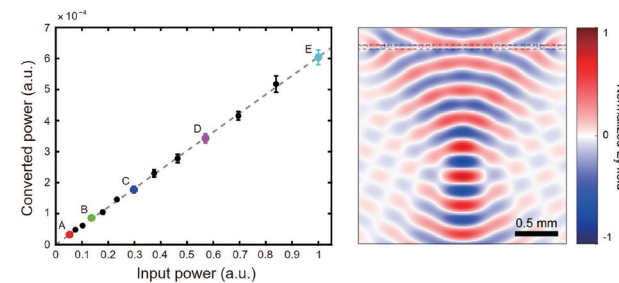


그림 2. (좌) 주파수 변환량의 선형성 (우) 메타 원자 각각의 위상 제어를 통한 변환 주파수 성분 집중

또는 시공 변화를 가진 매질을 이용하면 주파수 변환을 효과적으로 얻을 수 있다.

● 본 연구에서는 시공간 경계면을 구현하기 위하여 능동적으로 변화 가능한 메타표면을 이용하였다. 메타표면, 특히 금속 메타원자로 구성된 유효 표면은 능동적으로 빠르게 변화 가능한 물질과 결합 시 섭동적인 영역을 벗어나는 커다란 시간 경계면을 구현하는 데에 이상적이다. 보다 구체적으로 초고속 광학적 여기 (Ultrafast optical excitation)에 의해 전도성이 계단식으로 변화되는 반절연성 (Semi-insulating) GaAs 위에 테라헤르츠 대역에서 2개의 기본 공진모드를 가지는 금속 메타 원자를 설계하였다. 제작된 소자가 광학적으로 여기되는 경우, 2개의 기본 공진모드가 1개의 합병된 공진모드를 가지게 되어 주파수 대역에서 분산적인 시공간 경계면이 형성되도록 하였다.

연구성과

[논문] • Kanghee Lee, Jaehyeon Son, Jagang Park, Byungsoo Kang, Wonju Jeon, Fabian Rotermund, and Bumki Min, "Linear frequency conversion via sudden merging of meta-atoms in time-variant metasurfaces", *Nature Photonics* 12, 765–773 (2018) [IF = 32.521]
• Teun-Teun Kim, Sangsoon Oh, Hyeon-Don Kim, Hyun Sung Park, Ortwin Hess, Bumki Min, and Shuang Zhang, "Electrical access to critical coupling of circular polarized waves in graphene chiral metamaterials", *Science Advances* 3, e1701377 (2017) [IF = 11.51]
[기조 강연] Bumki Min, "Rapidly time-variant metadevices for linear frequency conversion", SPIE Optics+Photonics 2018, San Diego, http://spie.org/newsroom/op18_landing/op18_min

입사하는 테라헤르츠 대역 전자기파가 광학적 여기에 의해 생성된 시간 경계면과 상호 작용하는 경우, 주파수 변환이 일어나며 입사파의 세기와 변환된 전자기파의 세기가 선형적인 관계가 있음을 실험적으로 증명하였다. 이러한 실험적 결과는 이론적인 계산과 수치해석적인 검증을 통하여 검증되었으며 선형적 주파수 변환의 메커니즘을 명확히 하였다. 이론적인 계산을 통하여 상대적 주파수 변화량과 변환효율의 곱이 일정한 것을 보임으로써 선형적 주파수 변환의 변환 효율의 최대치를 이론적으로 밝혀내었으며, 선형적 주파수 변환에 있어 주파수의 상향 변환 (Up-conversion) 및 하향 변환 (Down-conversion) 모두 가능함 또한 보였다. 제안된 주파수 변환 기술은 기존의 광학에서 이용되던 비선형 주파수 변환 소자에 비하여 새로운 주파수 성분의 생성에 있어 훨씬 더 높은 자유도를 가지게 된다. 또한, 변환된 주파수 성분의 위상 역시 시간 경계면의 위치를 조절함으로써 제어가 가능함을 보였다. 이러한 위상 제어 가능성은 변환된 전자기파의 파면제어에 응용 가능할 것이다.

● 본 연구에서는 메타표면의 시공간 경계를 설계할 수 있는 방법론을 제시하였을 뿐만 아니라 이에 관한 독자적인 해석 이론을 제시하였다. 즉, 기존의 시변 매질 연구 분야에서 이론적으로만 탐구되어 오던 매우 급격하게 변화하는 물성을 구현할 수 있는 방식을 메타표면을 이용해서 증명하였을 뿐만 아니라 이를 이용하여 주파수 변환을 세계 최초로 관측하였다. 제안된 선형적 주파수 변환 방식은 기존의 테라헤르츠 비선형 기반의 주파수 변환 방식에서 얻어진 가장 높은 변환 효율과 비등한 결과를 보여주었다. 학술적으로는 독립적인 두 연구 분야였던 시변 매질과 메타표면 연구를 접목하여 새로운 연구 방향을 제시하였으며, 기술적으로는 강한 빛을 사용할 수 없는 신호처리 및 통신 분야에 적용할 수 있을 것으로 예상된다. 따라서, 새로운 개념의 주파수 변환 소자에 관한 시장을 선점할 수 있는 기술이라 생각하며, 기존의 비선형성 기반의 광학 소자를 시변 매질 기반의 소자로의 대체 할 수 있을 것이라 예상된다.

상용화 가능한 투명 유연 포스 터치 센서 개발



포스 터치 센서는 외부로부터 가해진 압력의 위치뿐만 아니라 크기까지도 인식 가능하여 스마트폰, 로봇, 웨어러블 장치 등 다양한 제품에 적용하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 하지만 지금까지 개발된 포스 터치 센서는 민감도와 같은 특정 성능만 향상 시켰을 뿐 상용화에 필요한 민감도, 투과도, 유연성, 동작 신뢰성 및 재현성 등 모두를 만족시키지 못해 아직 상용화에 한계를 가지고 있다.

이에 본 연구는 나노 복합 절연층 및 유연 나노그레이팅 기판에서 발생하는 응력 집중 현상과 센서 전극 디자인을 이용하여 상용화에 필요한 모든 성능을 만족시키는 세계 최고 수준의 고민감도 투명 유연 포스 터치 센서를 제작하였다. 더불어, 이를 맥박 모니터링 헬스케어와 스마트폰에 성공적으로 적용함으로써 본 센서가 다양한 응용 제품에 적용 가능한 상용화 수준의 센서임을 확인하였다

전기 및 전자공학부
윤 준 보

KAIST'S TOP 10 RESEARCH ACHIEVEMENTS OF 2018



● 포스 터치 센서는 인식되는 터치 위치 정보와 더불어 누르는 압력도 인식 가능한 기술로 실제 스마트폰에 집적돼 한 번의 터치만으로 다양한 기능을 제공할 수 있어 많은 관심을 받고 있다. 최근 포스 터치 센서를 스마트폰 뿐 아니라 플렉서블 기기를 포함한 다양한 응용 제품에 적용하기 위해 마이크로-나노 크기의 미세 구조를 이용한 민감도 및 유연성 향상 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 기존의 고성능 센서들은 특정 성능만을 향상시킴으로써 실제로 필요한 민감도, 유연성, 투과도, 재현성, 다양한 사용 환경에서의 동작 신뢰성 등의 총체적인 성능을 동시에 만족시키지 못해 상용화에 한계가 있었다. 대표적으로 압력에 따른 전도성 미세 구조의 접촉면적 변화를 이용한 압전 저항 센서는 고민감도의 센서 구현은 가능하였지만, 접촉 부분에서의 마모로 인해 반복 동작에 대한 낮은 신뢰성을 가지는 문제점이 있었다. 반면 압력에 따른 전극 사이의 거리 변화를 극대화하기 위해 다공성 절연층을 사용한 정전용량 센서는 민감도 향상과 반복 동작 신뢰성을 향상시킬 수 있었지만, 다공성 구조 내부에서의 빛 굴절로 인한 낮은 투과도와 적층 구조의 두꺼운 두께로 인한 굽힘 시 스트레스 및 변형이 발생하여 감지 성능 변화한다는 문제가 있었다. 따라서 아직까지 상용화에 필요한 모든 성능들을 동시에 향상시킨 상용화 수준의 포스 터치 센서가 필요한 상황이다.

● 본 연구팀은 기존 정전용량 센서의 문제 해결을 위해 포스 터치 센서는 공기를 포함한 간격을 갖는다는 기존 상식에서 벗어나 속이 가득 찬 센서를 제안하였다. 제안한 포스

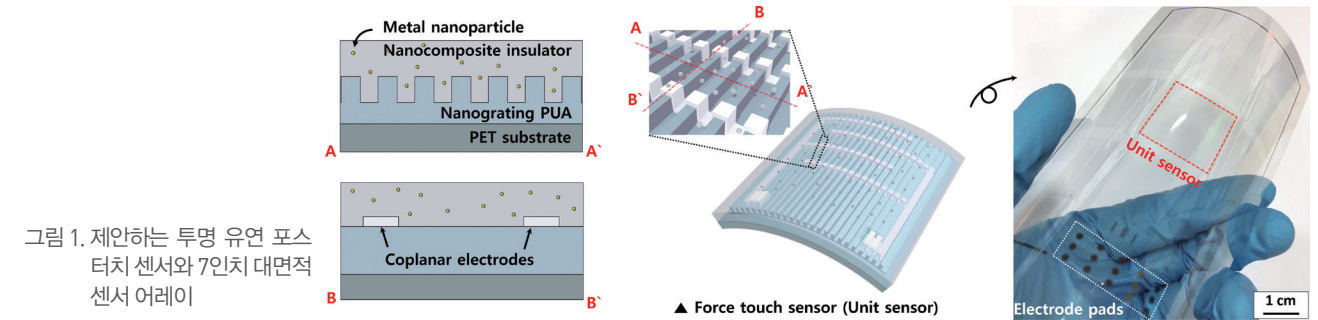


그림 1. 제안하는 투명 유연 포스 터치 센서와 7인치 대면적 센서 어레이

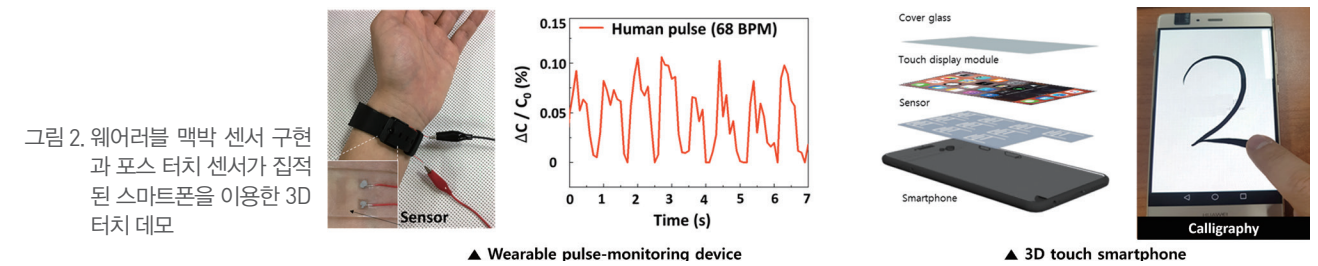


그림 2. 웨어러블 맥박 센서 구현과 포스 터치 센서가 집적된 스마트폰을 이용한 3D 터치 데모

터치 센서는 내부에 압력에 따른 유전율 변화를 극대화할 수 있는 금속 나노 입자가 포함된 투명 나노 복합 절연층, 전극에 의한 빛 가림을 최소화하여 높은 투과도를 가지게 하는 동일 평면 전극과, 가해진 압력을 집중시켜 민감도를 높일 수 있는 나노그레이팅 구조의 유연 기판으로 구성되어 있다.

연구팀은 나노 복합 절연층과 유연 나노그레이팅 기판을 이용하여, 나노그레이팅의 골짜기 부분에 가해진 응력을 집중시켜 절연층 내부 나노파티클의 밀집도 변화를 증가시키고 동시에 정전용량(유전율)의 변화를 증가시킴으로써 세계 최고 수준의 고민감도 투명 유연 포스 터치 센서를 제작하는 데 성공하였다. 또한, 연구팀은 감지 전극을 감지층의 상하부에 형성한다는 기존 방식에서 벗어나 동일 평면(기계적 중립면)에 배치함으로써 불평형 정도의 극대화된 굽힘 정도에서도 성능의 변화 없이 동작하는 것을 확인했다.

마지막으로 대량 양산 시 주요 고려 사항인 대면적 균일성, 제작 재현성, 온도, 습도 및 장기 사용에 따른 신뢰성 등 역시 간단한 제작 공정과 온도 및 수분에 대해 높은 내구성을 가지는 절연층을 공극 없이 센서를 제작함으로써 상용화 수준의 성능을 보여주었다.

연구팀은 상용화 수준의 센서를 맥박 모니터링이 가능한 헬스케어 웨어러블 기기에 적용해 미세 압력인 실시간 맥박을 감지하였으며, 국내 포스 터치 센서 기업인 (주)하이딥과 함께 7인치 대면적 센서를 스마트폰에 실제 장착해 실시간 압력 분포를 확인해 상용화 가능한 수준임을 증명하였다.

● 간단한 구조와 공정을 이용하여 개발된 상용화 수준의 포스 터치 센서는 상용화에 필요한 다양한 성능 향상 방법을 획기적으로 제안하여 포스 터치 센서 분야이외에 다양한 분야에서도 응용이 가능할 뿐만 아니라, 다양한 사용 환경에서 높은 신뢰성을 요구하는 사용자 터치 인터페이스와 웨어러블 기기에 널리 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

연구성과

[논문] • J. Y. Yoo, M. H. Seo, J. S. Lee, K. W. Choi, M. S. Jo, J. B. Yoon "Industrial Grade, Bending-Insensitive, Transparent Nanoforce Touch Sensor via Enhanced Percolation Effect in a Hierarchical Nanocomposite Film," Advanced Functional Materials 28, 1804721 (2018), [2017 IF = 13.33].

• J. Y. Yoo, M. H. Seo, J. S. Lee, K. W. Choi, M. S. Jo, H. J. Song, J. B. Yoon "Maximizing Percolation Effect Using Sub-100 nm Nano-valley for High Performance Wearable Transparent Pressure Sensor" 32nd IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems(MEMS) 2019,

[특허] 국내 특허 7건과 해외 특허 2건 출원

[언론보도] • 연합뉴스, 전자신문, Science Daily를 비롯한 24개 국내외 언론보도

• 어드밴스드 사이언스 뉴스(Advanced Science News)에 영상 초록(Video Abstract) 소개

• Advanced Functional Materials Journal 후면 표지 논문 선정

[수상] 논문 2는 IEEE MEMS 2019 conference에서 우수 학생 논문상(Outstanding Student Paper Award) 수상 (490편의 학생 논문 중 3편에만 수여, 한국 소속 학생으로 최초 수상)

반도체 웨이퍼 내 혼합된 형태의 결함 패턴 탐지 및 분류 방법 개발

산업 및 시스템공학과
김 희 영



반도체 제조 공정에서 각 칩의 불량 여부 테스트 결과에 따라 일정값을 부여한 맵을 웨이퍼빈맵이라고 한다. 웨이퍼빈맵의 불량칩 패턴은 공정 이상 원인에 따라 다르게 형성된다고 알려져 있다. 불량칩의 분포 패턴을 분석하는 것은 공정 이상을 탐지하고 그 원인을 파악하는데 중요한 단서를 제공한다. 최근 반도체 제조 공정이 점점 복잡해짐에 따라 한 웨이퍼 안에 여러 형태의 불량칩 패턴이 혼재되어 있는 경우가 증가하게 되었다. 이러한 경우, 1) 사전에 서로 다른 몇 개의 패턴이 혼재되어 있는지 알지 못한다는 점, 2) 각 패턴이 복잡한 모양을 가진다는 점, 3) 일정 패턴을 형성하지 않고 랜덤하게 분포하는 불량칩이 패턴 탐지를 방해하는 점이 어려움으로 작용한다. 본 연구에서는 일정 패턴을 형성하는 불량칩을 탐지하는 필터링 기술을 개발하고, 데이터 스스로 패턴 수를 결정하되 복잡한 모양의 실제 패턴을 데이터의 잠재공간에서 단순한 모양으로 변환시켜 효과적으로 분류하는 방법을 제안하였다.

KAIST'S TOP 10 RESEARCH ACHIEVEMENTS OF 2018



- 반도체 웨이퍼 제조공정은 웨이퍼 표면에 집적회로를 형성하는 복잡한 일련의 공정으로 구성된다. 웨이퍼 제조가 끝난 후 웨이퍼 내 각 칩의 불량 여부를 테스트해서 테스트 결과에 따라 일정값을 부여한 맵을 웨이퍼빈맵이라고 한다. 이때 웨이퍼빈맵의 불량칩 패턴은 공정 이상 원인에 따라 다르게 (예: 원, 링, 스크래치 등) 형성된다고 알려져 있다. 따라서 불량칩의 분포 패턴을 분석하는 것은 공정 이상을 탐지하고 그 원인을 파악하는데 중요한 단서를 제공한다. 최근 반도체 제조 공정이 점점 복잡해짐에 따라 한 웨이퍼 안에 여러 형태의 불량칩 패턴이 혼재되어 있는 경우가 증가하게 되었다. 이러한 경우 1) 사전에 서로 다른 몇 개의 패턴이 혼재되어 있는지 알지 못하고, 2) 각각의 패턴이 복잡한 모양을 가질 수 있으며, 3) 패턴을 형성하지 않고 랜덤하게 분포하는 불량칩이 노이즈로 작용하여 패턴 탐지를 방해할 수 있어서, 몇 개의 어떤 패턴이 존재하는지 정확히 분석하는 것이 어려워졌다.

- 본 연구에서는 위와 같이 여러 형태의 불량칩 패턴이 혼합되어 있는 웨이퍼빈맵에서 자동으로 패턴을 탐지하고 분류하는 방법을 개발하였다. 먼저, 랜덤 분포가 아닌 일정 패턴을 형성하고 있는 불량칩을 효과적으로 탐지할 수 있는 connected-path filtering (CPF) 방법을 개발하였다. CPF 방법은, 특히 스크래치 (가늘고 긴 선) 형태로 분포하는 불량칩을 탐지하는 데 있어서 기존 방법에 비해 탁월한 성능향상을 보였다. 또한, CPF 방법으로 탐지된

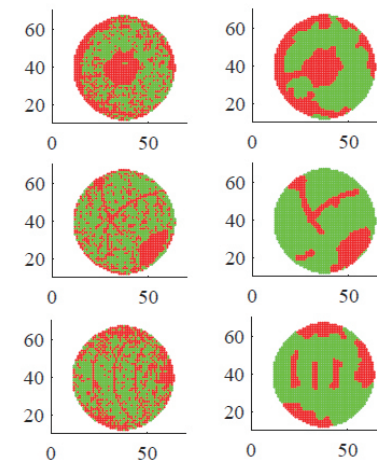


그림 1. (좌) 원본데이터, (우) 제안하는 방법을 이용하여 랜덤불량칩을 제거한 후의 결과

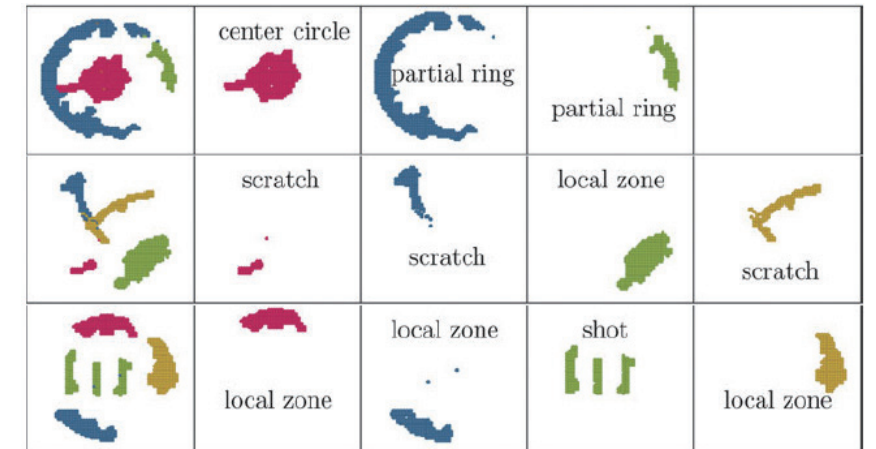


그림 2. (첫번째 열) 여러형태의 혼합된 불량칩 패턴, (두번째~네번째 열) 제안하는 방법을 이용하여 각 특정 패턴으로 분류한 불량칩 패턴

불량칩들을 다수의 패턴 별로 분류하기 위해서 infinite warped mixture model을 이용할 것을 제안하였다. 그리하여 분류 과정에서 데이터가 스스로 패턴 수를 결정할 수 있도록 하였으며, 복잡한 모양의 실제 패턴을 바로 이용하는 대신 데이터의 잠재공간(latent space)에서의 단순한 모양의 패턴을 이용함으로써 보다 효과적으로 다수의 복잡한 모양의 불량칩 패턴을 분류할 수 있도록 하였다. 실제 반도체 회사에서 수집한 웨이퍼빈맵 데이터를 이용하여 제안하는 방법의 탁월한 성능을 검증하였다.

- 이전에는 웨이퍼 한 장에 하나의 불량패턴만 있는 단순한 경우를 가정하여 연구가 진행되어, 여러 형태의 불량패턴이 혼합된 현실적인 상황에서는 실제로 적용하는 데 한계가 있었다. 본 연구에서는 실제 반도체 현장에서 수집한 여러 형태의 불량패턴이 혼합된 웨이퍼빈맵 데이터를 가정하여 연구를 진행하고 결과를 검증하였다. 과거에는 웨이퍼 테스트 후 전문가가 일일이 웨이퍼빈맵 데이터를 눈으로 확인하면서 공정이상 여부를 판단하였다. 본 연구에서 제안하는 방법을 이용하면 여러 불량패턴이 혼합되어 있는 경우에도 자동으로 몇 개의 서로 다른 패턴이 존재하는지 탐지 가능하게 되어, 이전 공정에서 어떠한 공정 이상이 있었는지 쉽게 파악하고 문제를 해결할 수 있다. 이로써 반도체 공정에서 비용을 절감하고 품질을 향상시킬 수 있으며, 우리나라 반도체 산업의 중요성을 생각할 때 큰 경제적인 효과를 기대할 수 있다.

연구성과

[논문] J. Kim, Y. Lee, and H. Kim (2018), "Detection and clustering of mixed-type defect patterns in wafer bin maps," IISE Transactions, 50(2), 99–111. (Selected as a featured article)

[국제산업공학회 매거진 특집기사] J. Kim, Y. Lee, and H. Kim (2018), "Can different defect patterns be recognized when they are mixed over a wafer?," IISE magazine, January, 2018

[언론 보도] YTN 뉴스, YTN 사이언스 포함 다수의 언론보도

연구비 지원

National Research Foundation of Korea (NRF), 2015R1C1A1A02037090

프로그램이 가능한 스핀기반 로직소자 기술 개발

신소재공학과
박 병 국



현재 사용되는 컴퓨팅 기술은 논리 연산을 수행하는 프로세스와 기억을 하는 메모리가 물리적으로 분리된 폰노이만 구조를 사용하고 있다. 따라서 정보처리를 위해서 두 소자 사이에 데이터의 전송이 필수적이고 이에 따른 에너지 소모와 시간 지연이 발생한다. 이러한 폰노이만 병목현상은 특히 인공지능, 사물인터넷, 빅데이터 등 대용량 정보처리가 요구되는 최첨단 컴퓨팅 기술에서는 특히 심각한 문제를 야기합니다. 본 연구에서는 스핀오빗 토크 스위칭 임계전류를 전계로 제어하는 기술을 이용하여 메모리와 로직을 동시에 수행하는 스핀기반 로직소자를 개발하였다. 또한 전계효과의 극성을 제어함으로 “n형”과 “p형” 특성을 지닌 스핀로직 소자를 최초로 개발하여 상보성 로직동작을 보고하였다. 본 연구에서 개발된 소자는 비휘발성과 프로그램이 가능한 특성을 가져, 향후 폰노이만 병목현상, 고집적의 물리적 한계 등 기존 반도체기반 소자의 한계를 극복할 기술로 활용될 것으로 기대된다.

KAIST'S TOP 10 RESEARCH ACHIEVEMENTS OF 2018



● 차세대 반도체 소재 기술

현재 사용되는 컴퓨팅 기술은 논리소자와 메모리소자가 공간적으로 분리되어 있는 폰노이만 구조를 사용하고 있다(그림 1a). 따라서 정보처리를 위해서 두 소자 사이의 신호 전달에 의한 전력소모 및 신호지연을 피할 수 없고, 휘발성 특성으로 정보유지를 위한 지속적인 전력 공급으로 전력소모의 문제점을 야기한다. 또한 컴퓨터 CPU 및 스마트폰 AP의 성능은 메모리/논리 소자 개수에 비례하기 때문에 성능 향상을 위한 지속적인 용량 증가를 위해서는 소자의 집적도 향상 및 소모전력 감소 기술이 선행되어야 한다.

이러한 근본적인 문제를 해결하는 방법 중 하나는 논리소자에 정보저장 기능을 탑재한 로직메모리 소자를 도입하는 것으로(그림 1b), 이를 위해서 비휘발성이면서 프로그램이 가능한 로직소자를 개발해야 한다.

스핀트로닉스는 전자의 고유의 성질인 전하와 스핀을 모두 사용하여 기존 소재/소자가 갖지 못한 새로운 기능의 전자소자를 개발하는 연구 분야이다. 스핀트로닉스의 대표적인 소자는 자성메모리(MRAM)로 비휘발성 및 고속동작 특성을 가지고 있어 삼성, Hynix, Intel, Qualcomm 등 국내외반도체 기업에서 차세대 메모리로 활발히 개발 중에 있다. 자성메모리의 성공에 이어 최근 스핀트로닉스 기반의 로직소자의 개발에 관심이 집중되고 있고, 비휘발성, 프로그램 가능성, 간단한 구조 등의 장점으로 기존의 반도체 기반의 CMOS를 대체할 경우 그 기술적/산업적 파급효과가 클 것으로 예상된다. 하지만 아직 스핀트로닉스 기반의 로직소자는 동작원리를 시연하는 수준의 연구가 진행되었고, 특히 로직소자를 구성하기 위한 핵심 기술인 상보성 로직기능(Complementary logic operation)은 아직 개발되지 않았다.

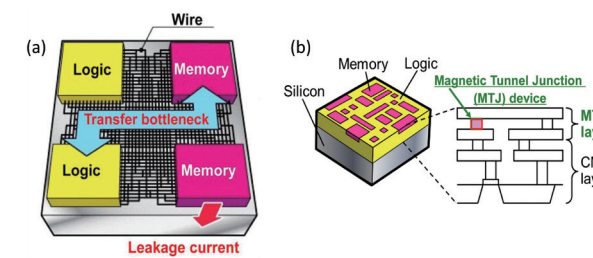


그림 1. 컴퓨터 구조. (a) 논리소자와 메모리 소자가 분리된 기존 메모리. (b) 논리소자와 메모리 소자가 결합된 스핀로직 소자

● 상보성 스핀로직 소자 개발 : 논리와 기억을 동시에 하는 스마트 전자소자

본 연구에서는 차세대 자성메모리의 동작방식의 하나인 스핀궤도토크(Spin orbit torque)를 외부 전기장을 이용하여 제어하는 기술을 이용하여 스핀 기반 로직소자를 개발하였다(그림 2a). 스핀궤도토크는 전자의 스핀과 궤도간의 상호작용을 이용하여 자화방향을 제어하는 기술로 자화반전 속도가 기존의 스핀전달토크보다 약 10배 이상 빠르기 때문에 로직소자 적용에 매우 유리하다.

수직이방성을 갖는 Ta/CoFeB/MgO 구조의 소자에 약 5MV/cm의 전기장을 인가함으로 스핀궤도토크 스위칭 임계전류를 30% 이상 조절하는 것을 성공하였다(그림 2b). 이러한 특성을 바탕으로 “AND”, “OR” 등의 로직함수를 구현하는 스핀기반 로직소자를 개발하였다.

또한 CoFeB/MgO 계면의 산화 상태를 조절하여 전계효과의 극성을 제어할 수 있었다. 즉 산화 상태에 따라서(+) 전기장 인가에서 스위칭이 용이한 “n-형” 로직소자와 (-) 전기장 인가에서 스위칭이 용이한 “p-형” 로직소자를 개발하였다(그림 2b). 이러한

“n-형” 소자와 “p-형” 소자를 결합하여 상보성 로직함수를 수행하는 로직소자를 개발하였다(그림 2c). 이는 기존 반도체 로직소자를 구성하는 기본 구조인 CMOS를 대체할 수 있는 소자로 스핀 기반 기술로는 최초로 구현되었다.

본 연구팀은 소자 전산모사를 이용하여 스핀기반 로직소자가 기존의 반도체기반의 소자에 비해서 집적도 획기적으로 높이고 전력소모를 줄일 수 있음을 보였고, 이를 바탕으로 AI나 IoT 칩을 설계하고 그 성능을 평가하고 있다.

이 결과 외에 스핀 로직소자 성능향상을 위한 소재기술을 개발하였다. 특히 강자성/비자성 계면유도 스핀전류 생성 소재는 스핀의 방향을 임의로 제어할 수 있어 스위칭 효율 증가 및 무자기장 동작을 가능하게 하여 저전력, 고집적 스핀궤도토크 기반 소자개발에 활용될 것으로 판단된다.

● 스핀기반 로직소자는 연산과 기억을 동시에 할 수 있는 전혀 새로운 소자로 기존 컴퓨팅 기술의 근본적 한계를 극복할 수 있는 기술이다. 예를 들면, 기존의 DRAM, FLASH 등의 메모리 소자와 로직소자를 단일 비휘발성 로직소자로 통합하여 소자의 단순화로 공정단가를 낮추는 효과뿐만 아니라 기존의 논리/메모리 분리되어 있는 폰노이만 구조의 컴퓨터 구동방식을 넘어 논리와 기억을 동시에 하는 뉴로모픽 컴퓨팅에 응용될 수 있을 것이다 또한 본 연구에서 개발된 스핀궤도토크 기술은 고속 동작이 가능하여 자성메모리에 적용할 경우 기존의 SRAM 기반 캐시메모리를 대체할 수 있는 핵심 기술이다. 이는 비휘발성으로 메모리 전력소모를 감소시켜 웨어러블, 모바일, 바이오센서 및 사물인터넷과 같은 저전력 동작을 필수적으로 요구하는 전자기기에 응용되어 관련 기술 발전에 기여할 것이다.

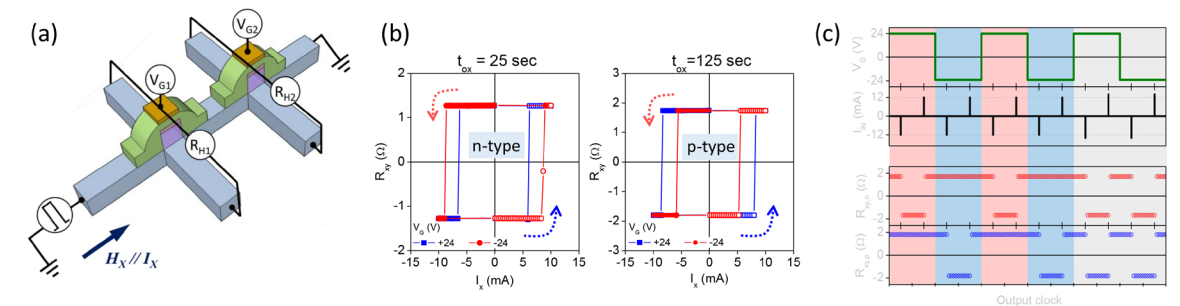


그림 2. 스핀기반 로직소자. (a) 스핀로직소자 개략도, (b) “n-형”, “p-형” 스핀로직소자 구동, (c) 상보성 스핀로직 함수 구현 결과

연구성과

[논문] • “Complementary logic operation based on electric-field controlled spin-orbit torques”, Nature Electronics 1, 398 (2018)

• “Spin currents and spin-orbit torques in ferromagnetic trilayers”, Nature Materials 17, 509 (2018)

[특허] 반도체 소자 및 반도체 로직소자 (2017-0117642, 2017-0101259, US 15/723278, JP 2017-203154)

[언론보도] “고효율 스핀전류 생성 신소재 개발” 중앙일보 등 10건 이상 보도 (2018.04.11.)

탄소나노튜브 기반의 초소형 X-선 튜브 및 이를 이용한 근접 암치료장비 개발

원자력 및 양자공학과
조 성 오



탄소나노튜브를 이용해 직경 5 mm인 진공밀봉형 초소형 X-선 튜브를 최초로 개발하고, 이를 이용하여 상용화 수준의 X-선 근접 암치료장비를 개발했다. 개발한 암치료장비는 인체 표면에 근접하거나 몸 속으로 삽입해서 피부암, 식도암, 기관지암, 자궁암, 직장암, 췌장암 등 다양한 암을 치료할 수 있다. 이 장비는 대형 선형가속기를 이용한 기존의 방사선 암치료장비보다 정상세포의 손상을 줄이면서 암만을 선택적으로 치료할 수 있고, 가격이 1/20 이하로 저렴하고 크기가 1/10 이하로 작은 장점이 있다. 이로 인해, 지금까지 대형 종합병원에서나 도입이 가능했던 방사선 치료장비가 중소형 병원에까지 보급이 되어, 부작용이 적으면서도 쉽고 값싸게 더 많은 암 환자들을 치료할 수 있는 길이 열릴 것으로 기대한다.

KAIST'S TOP 10 RESEARCH ACHIEVEMENTS OF 2018



- 암을 치료하는 전통적인 방법에는 수술과 화학요법이 있다. 수술은 장기의 손실이 불가피하며 입원을 요하고 화학요법은 부작용을 유발하는 단점이 있다. 이러한 단점들은 방사선 치료법으로 상당히 극복될 수 있다. 현재의 방사선 치료는 선형가속기로 인체 외부에서 고에너지 방사선을 발생하여 인체내부로 조사함으로써 암을 치료한다. 그런데, 고에너지 방사선이 인체를 통과하면서 암이 아닌 정상세포들을 손상시키는 부작용을 유발한다. 반면 근접 암치료장비는 초소형 X-선 튜브를 몸 안에 삽입하거나 피부 근처에 위치한 암에 근접시켜, 암 주위의 국소적 부위에만 저에너지 방사선을 발생시켜 암을 치료하기 때문에 정상세포의 손상을 최소화할 수 있는 장점이 있다. 초소형 X-선 튜브 기반의 근접 암치료장비는 미국과 독일에서 개발되어 있다. 그러나, 이러한 초소형 X-선 튜브들은 소형 필라멘트를 가열하는 열전자방출 방식으로 동작하므로 수명이 10시간 이내로 짧고 동작 안정성이 떨어져 실제 암치료를 널리 사용되지 못하고 있다. 따라서, 이러한 단점을 극복하는 새로운 근접 암치료장비가 필요하다.

- 본 연구에서는 탄소나노튜브 (carbon nanotube; CNT)를 이용한 전계방출 방식으로 진공밀봉형 초소형 X-선 튜브를 최초로 개발하였다. 이 방식은, 필라멘트와 달리, 가열이 필요하지 않아 X-선 튜브의 수명을 늘릴 수 있고 소형화가 가능하다. 개발된 초소형 X-선 튜브의 직경은 5 mm이고 길이는 치료 목적에 맞게 조절이 가능하다 (그림 1). 더불어, CNT 기반의 X-선 튜브가 실용화되지 못한 가장 큰 이유였던 고전압 방전으로 인한 CNT의 파괴현상을 극복할 수 있는 새로운 기술을 개발하여, X-선 튜브의 동작안정성을 획기적으로 향상시켰으며 동작 수명을 500

시간 이상으로 증가시켰다. 한편, 초소형 X-선 튜브를 이용하여 암치료를 하기 위해서는 발생하는 X-선의 공간분포를 조절하는 어플리케이터 (applicator)가 필요한데, 피부암, 췌장암, 켈로이드 등을 치료하는 surface applicator와 자궁암, 직장암, 유방암 등을 치료하는 cylindrical applicator를 3D 프린터를 이용하여 환자맞춤형으로 제작하는 기술도 개발하였다. 개발된 초소형 X-선 튜브와 어플리케이터를 이용하여 상용화 수준의 근접 암치료장비를 개발하였다 (그림 2). 전체 시스템과 각 부품 및 구동 소프트웨어 등은 이 장치를 사용할 방사선 종양학과 교수들과 의료가기 인증 자문사의 자문을 받아 실제 병원에서의 사용적합성과 의료가기 인증조건을 만족하도록 개발되었다. 이 장비는 내장된 터치스크린이나 외부 PC로 구동할 수 있고 방사선 치료량을 실시간으로 측정가능하며 방사선 안전성이 확보된 경우에만 동작되도록 설계, 제작되었다. 한편, 개발된 근접 암치료장비를 이용하여 암세포와 동물실험을 수행한 결과, 기존 선형가속기 기반의 방사선 암치료장비와 동등한 치료효과를 보여줌을 확인하였다.

- 기존의 선형가속기를 이용한 방사선 치료장비는 가격이 50억 이상으로 비싸고 넓은 설치공간을 필요로 하기 때문에 종합병원과 같은 대형 병원에서만 보유가 가능하였다. 반면 본 연구에서 개발한 근접 암치료장비는 2~3억대 가격으로 기존 장비보다 20배 이상 저렴하고 소형이어서, 대형병원뿐 아니라 중소형 병원에서도 도입이 가능하다. 또한 앞에서 언급한 것과 같이, 정상세포의 손상을 최소화하면서 암을 치료할 수 있다. 따라서, 더 많은 암환자들이 부작용이 적으면서 쉽고 값싸게 암을 치료받을 수 있고, 기존 방사선 치료법과는 다른 새로운 암치료기술을 개발 및 발전시키는 데에도 기여할 것이다.

연구성과

[논문] • Hyun Nam Kim, Ju Hyuk, Lee, Han Beom Park, Sung Oh Cho, "Surface applicator of a miniature X-ray tube for superficial electronic brachytherapy of skin cancer, Medical Physics 45, 29-36 (2018)

• Han Beom Park, Hyun Nam Kim, Ju Hyuck Lee, Ik Jae Lee, Sung Oh Cho, "Dosimetric characterization and commissioning of a superficial electronic brachytherapy device for skin cancer treatment", Nuclear Engineering and Technology 50, 937-943 (2018)

[특허] • 조성오, 김현진, 김현남, 박한범, "탄소나노튜브 기반의 X-선 튜브를 이용한 켈로이드 및 피부암 치료용 X-선 근접 치료 시스템", 등록번호: 10-1837593-0000, 등록일: 2018. 3. 6

• 조성오, 김현진, 김현남, 박한범, "탄소나노튜브 기반의 X-선 튜브를 이용한 켈로이드 및 피부암 치료용 X-선 근접 치료 장치에 사용되는 초소형 X-선 튜브시스템", 등록번호: 10-1837599-0000, 등록일: 2018. 3. 6

[언론 보도] • YTN 뉴스보도, TJB 뉴스보도, 대전 CBS 인터뷰보도, 연합뉴스 등 일간지 보도 33회 (2018. 11. 22 ~ 11. 29)

[기술 이전] • 기타 위 장치개발과 관련된 2017년 이전 실적 (2009년 ~ 2017년)

• 논문 9편, 국제특허 2건, 국내특허 11건, 기술이전 1건 (165,000,000원 + 경상료 2% + 기술개발비 50,000,000원)

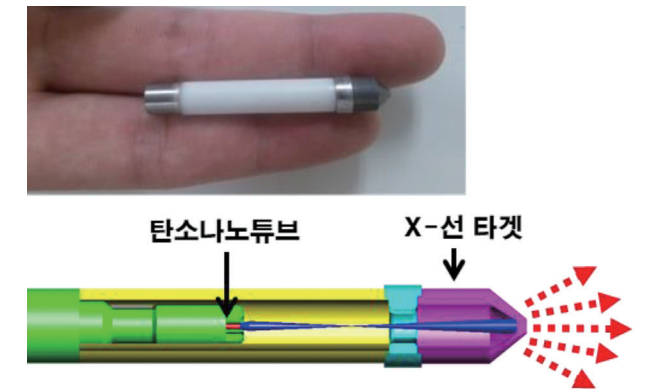


그림 1. 탄소나노튜브를 이용하여 만든 초소형 X-선 튜브



그림 2. 개발한 근접 암치료장비

KAIST'S RESEARCH HIGHLIGHTS OF 2018

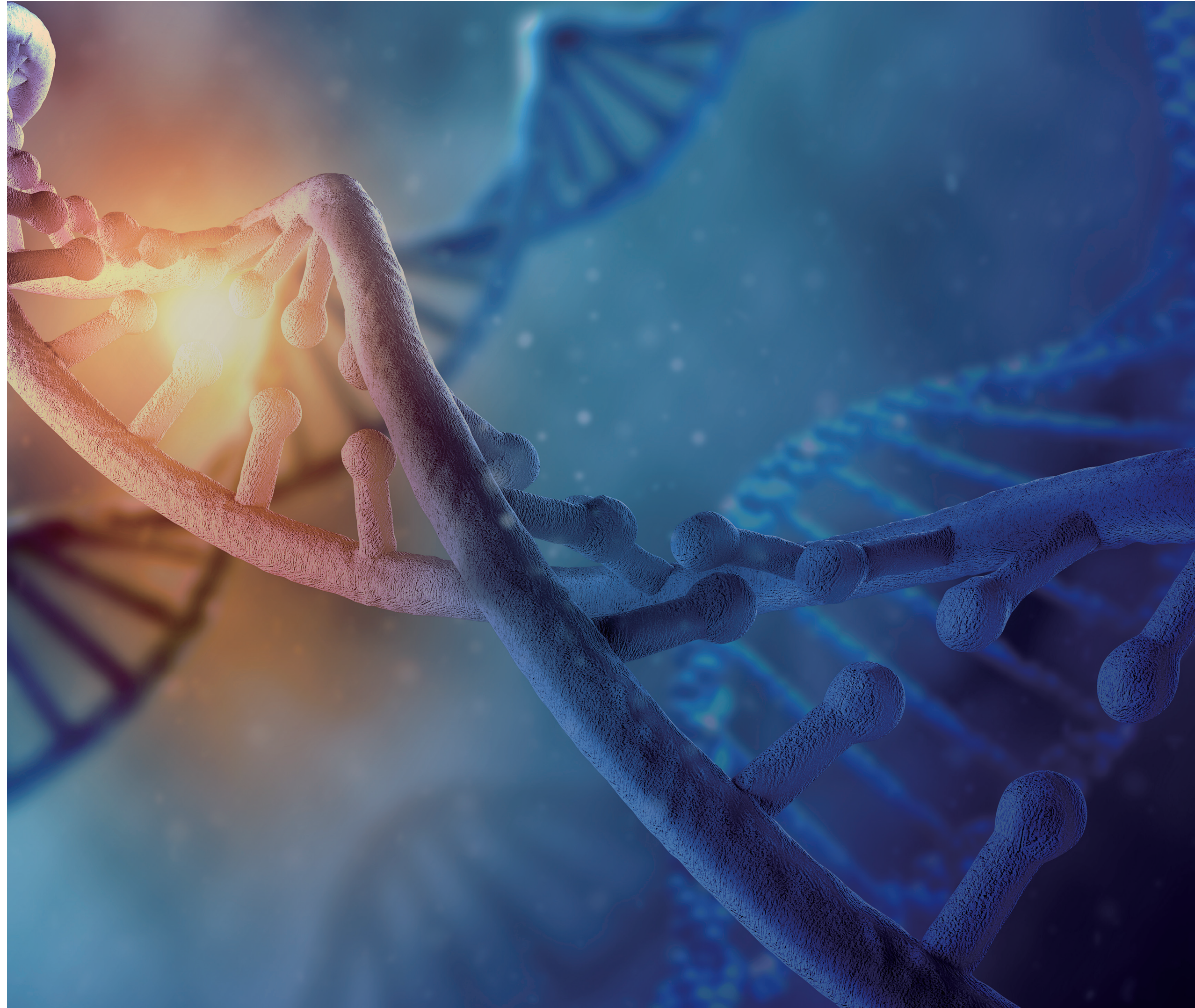
<http://www.kaist.ac.kr>

2018년 주요 연구성과

한국 과학기술의 산실인

KAIST는 학계의 화두인 융합연구를
선두에서 수행하고 있습니다.

학문 간 경계를 넘어 새로운 장을 연
연구를 소개합니다.



인공지능 기반의 대도시 교통 예측 및 신호제어 기술

RESEARCH HIGHLIGHTS

건설 및 환경공학과

여화수 · 김성훈 · 이등훈 · 윤진원

<https://stslabblog.wordpress.com/>

교통혼잡과 교통안전의 문제는 대도시 지역의 시민들에게 오래된 문제이지만, 도시의 규모가 메가시티 규모로 커지고, 도시민들의 사회적 활동들이 다양해지고, 복잡해짐에 따라, 그 해결이 더 어려워지고 있다. 본 연구에서는 이런 대도시의 복잡한 교통문제를 해결하기 위한 새로운 시도로 데이터와 인공지능 기술을 교통공학 기술과 결합하여, 미래의 교통혼잡과 도로상의 사고위험 상황을 사전에 예측하는 예측형 체계와, 이를 바탕으로 시스템이 교통혼잡과 사고위험을 자동으로 최소화하기 위한 기술들을 개발하였다. 클라우드 기반의 교통혼잡, 도로상의 다양한 위험을 예측하는 시스템과 이런 정보를 운전자에게 전달하는 인터페이스, 대도시의 교통신호들을 2단계로 최적화시키는 체계와 이를 위한 시뮬레이터 등의 종합적인 체계를 개발하였고, 그 효과를 보였다. 본 연구의 결과는 스마트시티의 교통부분 디지털트윈 구축의 핵심엔진 역할을 할 것이며, 대도시의 혼잡과 안전문제를 효과적으로 해결할 수 있는 방안을 제시한다.

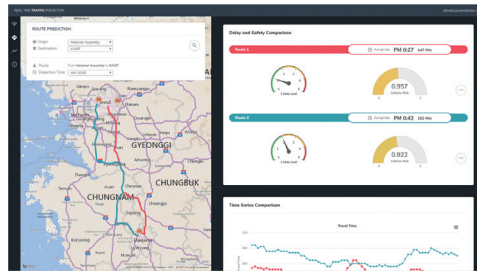


그림 1. 클라우드 기반 통행시간 및
충돌위험도 예측 시스템

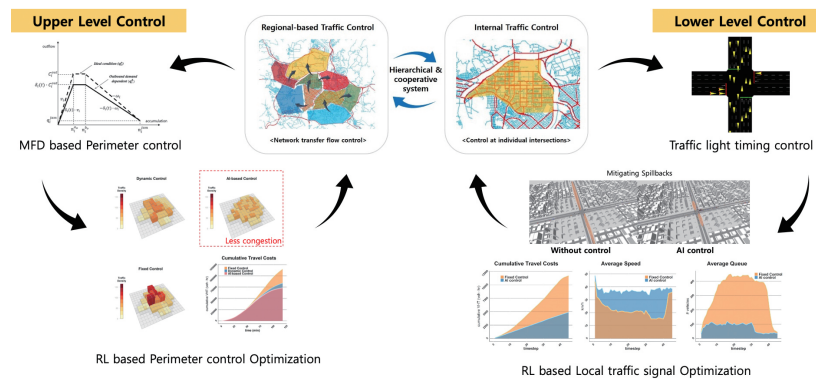


그림 2. 딥러닝 기반 대도시 교차로 신호제어 기술

- [논문] • Sunghoon Kim, Sehyun Tak, and Hwasoo Yeo, Agent-based Network Transmission Model using the Properties of Macroscopic Fundamental Diagram, Transportation Research Part C, (2018) Vol. 93, pp.79–101 (IF=3.968) (DOI: 10.1016/j.trc.2018.05.024)
- Sehyun Tak, Sunghoon Kim, Simon Oh, and Hwasoo Yeo, Development of a Data-driven Framework for Real-time Travel Time Prediction, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, Vol. 31(10), pp 777–793 (2016) (IF=5.786) (<http://dx.doi.org/10.1111/mice.12205>)

“에어 스케폴딩”을 활용한 패속 3D 스케칭 기술

RESEARCH HIGHLIGHTS

산업디자인학과

배석형 · 김용관 · 안상균 · 이준협

<http://sketch.kaist.ac.kr>

누구나 한 번쯤 자신이 그린 그림이 종이에서 튀어나와 현실이 되는 모습을 꿈꾸어 보았을 것이다. 이는 대부분 사람에게는 즐거운 상상일 뿐이겠지만, 현장의 디자이너에게는 절실한 바람이다. “3D 스케칭”은 디자이너가 그린 평면 그림과 실제 제품의 입체 형상 사이의 “끊어진 연결고리”를 이을 수 있는 기술이다. 디자이너는 3D 스케칭을 활용하여 그림을 그리면서 자연스럽게 평면 그림에 부족한 입체 형상 정보를 채워나감으로써 복잡한 3D CAD 모델링 소프트웨어를 사용하지 않고서도 마치 펜과 종이를 사용하듯이 입체 형상을 “곧바로 그릴” 수 있다. 산업디자인학과 배석형 교수 연구팀은 디자이너가 손을 움직임으로써 타고난 공간 감각을 활용하여 입체 형상을 빠르게 표현하고 이를 정교한 펜 스케칭의 “입체 밑그림”으로 활용하는 새로운 3D 스케칭 기술인 “에어 스케폴딩(air scaffolding)” 기술을 개발하였다. “Agile 3D sketching with air scaffolding”이라는 제목의 논문으로 발표된 본 기술은 인간-컴퓨터 상호작용(HCI) 분야 최고 수준 및 최대 규모의 ACM CHI 2018 국제 학술 대회에서 전체 제출 논문(약 2,500편) 중 상위 1%에 주어지는 최우수 논문상을 수상함으로써 우수성을 인정받았다. 본 기술은 3D 스케칭의 디자인 실무 적용 가능성을 한층 높였을 뿐만 아니라, 머지않아 우리 모두가 일상에서 손쉽게 입체적으로 아이디어를 표현하고 공유하는 시대를 앞당기고, 더 나아가 3D 프린팅 등 스마트 생산 기술과 연계되어 더욱 빠르고 유연한 제조 혁신에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

그림 1. 산업디자인학과 배석형 교수 연구팀이 개발한 “에어 스케폴딩” 기술. 디자이너는 공중에서 손 움직임으로 제품의 대략적인 크기와 비율을 빠르게 표현하고 이를 밑그림 삼아 펜으로 정교한 3차원 형상을 그리는 과정을 반복하여, 우수한 품질의 제품(자동차 운전대) 콘셉트 스케치를 제작할 수 있다.

그림 2. ACM CHI 2018 국제학술대회에서 최우수논문상을 수상한 배석형 교수 연구팀. 좌측부터 이준협 박사과정, 배석형 교수, 김용관 박사, 안상균 박사 과정.

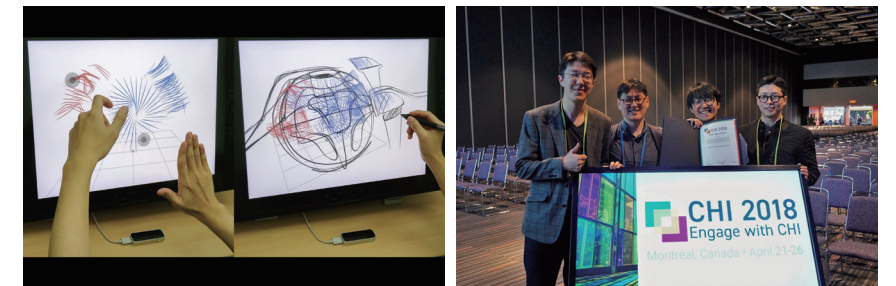


그림 1.

그림 2.

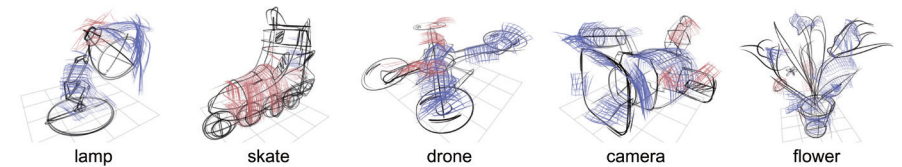


그림 3. “에어 스케폴딩” 기술을 활용하여 제작된 다양한 3차원 콘셉트 스케치 결과물(좌측부터 조명, 스케이트, 드론, 카메라, 화분). 각 결과물은 모두 10분 이내로 빠르게 완성되었다.

- [논문] ACM CHI 2018 국제학술대회 논문 게재: Kim, Y., An, S. G., Lee, J. H., & Bae, S. H. (2018). Agile 3D Sketching with Air Scaffolding. In Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM.
- [수상] ACM CHI 2018 국제학술대회 최우수 논문상(전체 제출 논문 2500여편 중 상위 1%)
- [홍보] 국외 보도 11건, 국내 방송 보도 3건, 국내 지면 및 온라인 보도 22건
- [홍보] 국외 전시 1회(ACM CHI 2018 Demo), 국내 전시 2회(2018 한국전자전, 2018 산학협력엑스포)

시간적 컨볼루션 특징 수집을 통한 비디오 디캡서닝

RESEARCH HIGHLIGHTS

전기및전자공학부

권인소 · 김다훈 · 우상현

<http://rcv.kaist.ac.kr>

시각 미디어의 소비에 있어, 데이터의 손실이나 손상을 복구하는 것은 매우 중요하다. 최근 인공지능 기술은 컴퓨팅 시스템이 수많은 미디어 데이터를 스스로 이해하고, 처리할 수 있는 가능성을 열었다. 우리는 이러한 맥락에서 비디오 데이터를 사람과 기계 모두가 이해하기 쉽도록 처리하는 기술에 초점을 둔다. 일반적으로 비디오 데이터는 다양한 언어의 자막, 주석이나 광고 문구를 포함하고 있다. 이러한 자막은 프레임의 시각정보를 부분적으로 차단하고, 시각 인지 시스템의 성능을 저해한다. 기계학습과 딥러닝 기술의 발전에도 불구하고, 이러한 비디오 시퀀스에서 실시간으로 자막을 제거하는 것은 여전히 어려운 문제로 남아있다. 본 연구는 비디오에 다양하게 혼재되어 있는 임의의 텍스트를 인식하고 제거하여 원 영상을 복원하는 비디오 디캡서닝(인페인팅) 과제를 다룬다. 본 연구는 비디오 프로세싱을 위한 새로운 개념의 “DVDNet: Deep Blind Video Decaptioning with 3D-2D Gated Convolutions” 딥러닝 아키텍처를 제안한다. 이는 비디오에서 물체나 자막의 움직임을 통해 자막에 가려진 부분에 대한 힌트를 얻기 위해 다중프레임으로부터 시간 정보를 활용하는 구조이다. 제안된 딥러닝 아키텍처는 미리 구해진 자막의 위치정보를 필요로 하지 않으며, 시간 축으로 부드러운 원본 동영상을 복원한다. 또한 비디오 프레임의 빠른 밝기 변화에 강인하게, 비디오 내부의 글자와 자막을 구분하여 영상을 실시간으로 복원한다.

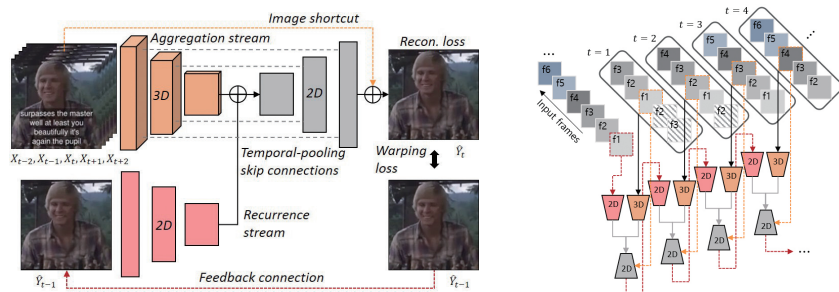


그림 1. 제안된 딥러닝 아키텍처. 시간 정보 수집 경로와, 재귀 경로에서의 정보를 통합하여 현재 프레임을 복원 (왼쪽). 비디오 프레임들 순차적으로 처리 (오른쪽).



그림 2. 제안된 방법은 임의 비디오 시퀀스에 심각한 밝기 변화가 있거나(왼쪽), 비디오 자체의 텍스트가 재생되는 경우에도(오른쪽) 덧입혀진 자막을 인식, 제거한 후, 자연스럽게 채워넣는다

비디오 게임 데이터를 활용한 딥러닝 기반 차량충돌예측시스템

RESEARCH HIGHLIGHTS

전기및전자공학부

서창호

<http://csuh.kaist.ac.kr/>

본 연구에서는 단순한 규칙들에만 의존하는 기존의 차량충돌예측시스템을 대체하기 위한 딥러닝 기반 시스템을 개발하였다. 딥러닝 모델을 학습시키기 위해서는 많은 데이터가 필요한데 학습에 필요한 충분한 양의 사고 장면을 실제 세상에서 모으는 것은 쉽지 않다. 이를 해결하기 위해 우리는 비디오 게임을 조작하여 자동으로 다양한 사고 주행 장면을 합성하는 시뮬레이터를 최초로 개발하였다. 시뮬레이터로 합성된 주행 장면을 이용하여 학습된 모델을 실제 주행 장면에 적용하면 성능 저하가 관측되는데, 이를 해결하는 새로운 도메인 적응 기법 (“Backward Translation”, “Label Adaptation” 기술이라 칭함) 또한 제시하였다. 우리의 모델은 1.6 ~ 1.8초 후의 충돌을 예측하는 문제에 대해 기존 모델 (양이 부족한 실제 데이터 기반) 대비 18.5% 개선된 검출율을 달성한다. 더 나아가 우리의 모델은 기존의 규칙 기반 시스템으로는 불가능했던 정교한 사고 예측을 주변 차량의 다양한 요소들(바퀴각도, 방향 그리고 속도)을 복합적으로 고려하여 성공적으로 수행한다. 본 연구는 운전 부주의로 인해 발생하는 수많은 인명사고를 획기적으로 낮출 수 있는 새로운 핵심기술로 활용될 것으로 기대된다.

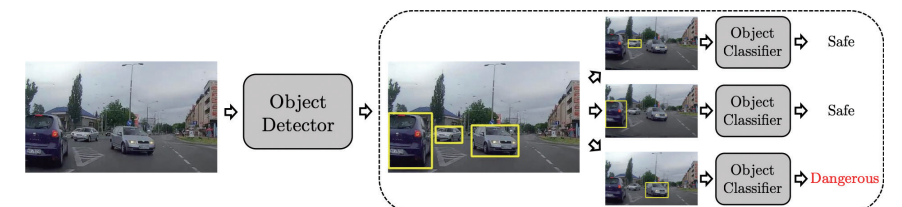


그림 1. 딥러닝 기반 차량충돌예측시스템



그림 2. 시뮬레이터로부터 생성된 사고 주행 장면(1,2)과 실제 사고 주행 장면(3,4)

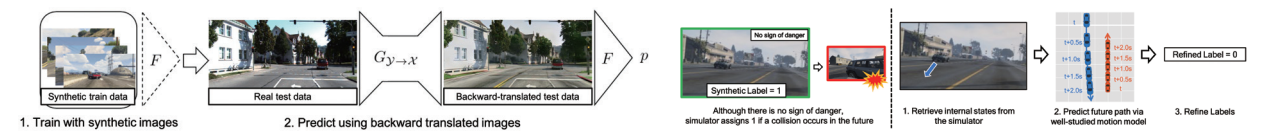


그림 3. Backward Translation

그림 4. Label Adaptation

- [논문] • H. Kim, K. Lee, G. Hwang, and C. Suh, “Crash to Not Crash: Learn to Identify Dangerous Vehicles using a Simulator,” AAAI, Honolulu, Hawaii, USA, January, 2019 (탑 티어 국제 인공지능 학회, 학회 합격을 16.2%, oral presentation)
- K. Lee, H. Kim, and C. Suh, “Simulated+Unsupervised Learning with Adaptive Data Generation and Bidirectional Mappings,” ICLR, BC, Canada, April, 2018 (최고 권위 국제 머신러닝 학회)

머신러닝을 이용한 반도체 리소그래피 해상도 향상 기술

RESEARCH HIGHLIGHTS

전기및전자공학부

신영수

<http://dtlab.kaist.ac.kr>

반도체 공정은 10nm 또는 그 이하의 미세한 패턴을 빛을 이용해 웨이퍼상에 형성하는 과정을 반복함으로써 이루어진다. 이 정도의 미세패턴을 정밀하게 형성하기 위해 해상도를 향상 또는 보완할 수 있는 많은 RET 기술들이 개발되어 왔다. RET는 크게 경험에 기초한 규칙기반 (rule based)이거나 모델을 이용한 수정 후 시뮬레이션을 통해 확인을 반복하는 방법 (model based)으로 나눌 수 있는데, 오랜 노력에도 불구하고 산업체에서 만족할 수준의 정확도, 만족할 수준의 빠른 계산을 하지 못하고 있다. 본 연구에서는 머신러닝을 이용해 RET 기술들을 어떻게 획기적으로 발전시킬 수 있는지를 보였다. 예를 들어 optical proximity correction (OPC)의 경우 기존 상용기술 대비 10여배 빠르게 계산할 수 있다는 것을 실험으로 보였다.

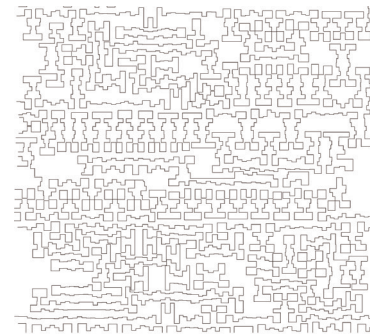


그림 1. OPC처리된 레이아웃 이미지

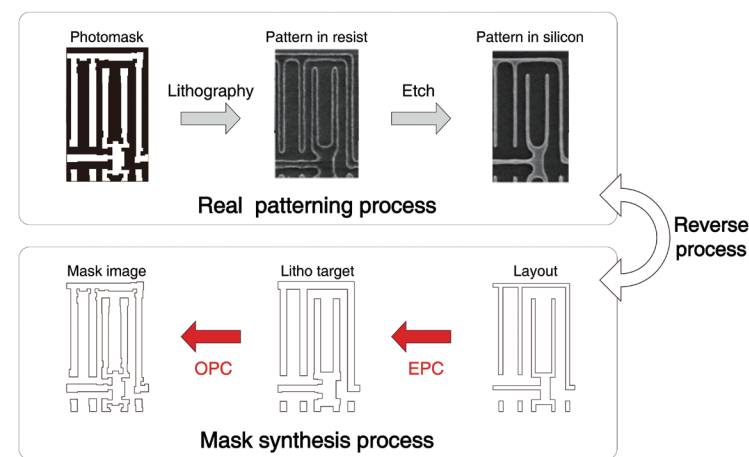


그림 2. 반도체 마스크 합성 과정

- [논문] • S. Choi, S. Shim, and Y. Shin, "Neural network classifier-based OPC with imbalanced training data," IEEE Transactions on CAD, accepted for publication.
- S. Shim and Y. Shin, "Machine learning-guided etch proximity correction," IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, vol. 30, no. 1, pp. 1–7, Feb. 2017.

의류 디스플레이 구현을 위한 섬유형 유기 발광 다이오드 개발

RESEARCH HIGHLIGHTS

전기및전자공학부

최경철

<http://adnc.kaist.ac.kr>

본 연구팀은 판상형 기판 위에 디스플레이 디바이스를 형성하는 기존의 2차원적인 공정 방식에서 탈피하여, 웨어러블 디스플레이 구현을 위해 직물이 직조되기 전 '섬유'에 주목하였다. 연구팀은 균일한 나노 단위의 박막을 섬유 위에 형성하기 위해 '딤코팅법'을 활용하였고, 형성된 섬유형 유기 발광 다이오드는 동일 구조의 판상형 유기 발광 다이오드에 버금가는 전류 효율 및 수명을 보였다. 이를 통해 현재까지 보고된 섬유형 유기 발광 다이오드 가운데 세계 최고 효율인 11.1 cd/A를 달성하였으며, 이 때 한 가닥의 섬유는 무려 11,780 nit의 휘도 특성을 보여주었다. 또한, 300μm에서 90μm까지의 얇은 직경의 섬유에도 유기 발광 다이오드를 적용하여, 제안한 공정 방법이 섬유의 두께에 큰 영향을 받지 않고 적용 가능하다는 것을 검증하였다. 뿐만 아니라, 105℃ 이하의 저온 공정을 활용하였기 때문에 열에 취약한 일반 의류에 응용이 가능하며, 구현된 섬유형 OLED를 실제 의류 및 직물에 직조하여 시연함으로써, 관념적으로 존재했던 웨어러블 디스플레이의 실현 가능성을 실증적으로 증명하였다.

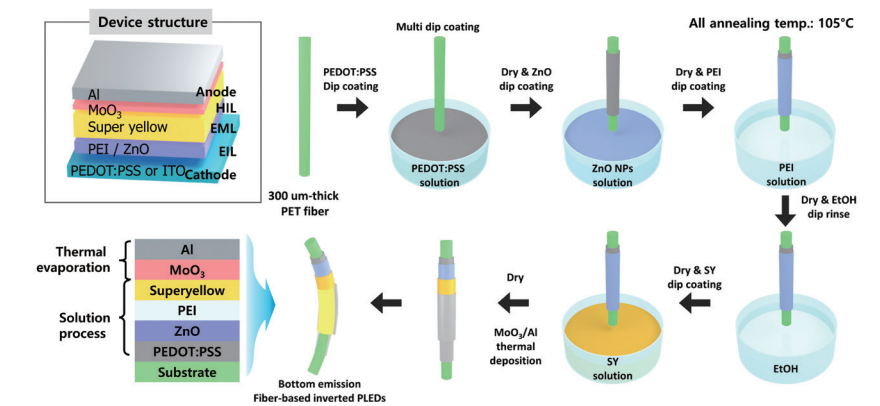


그림 1. 섬유형 유기 발광 다이오드 공정 모식도

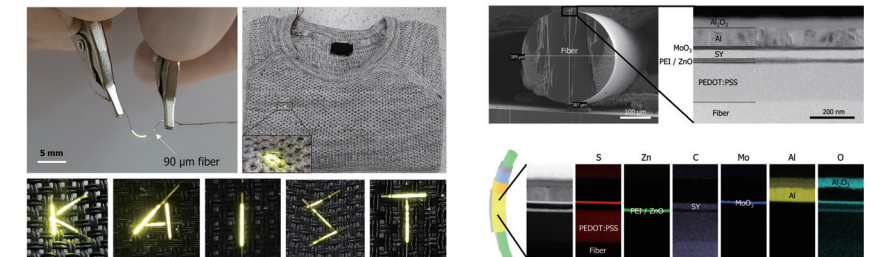


그림 2. 섬유형 유기 발광 다이오드를 실제 의류에 적용하여 시연한 사진

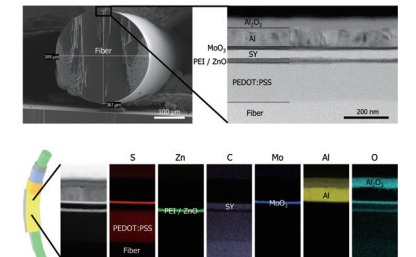


그림 3. 섬유형 유기 발광 다이오드의 단면 STEM, EDS 분석

- [논문] S. Kwon, H. Kim, S. Choi, E. G. Jeong, D. Kim, S. Lee, H. S. Lee, Y. C. Seo, and K. C. Choi*, "Weavable and Highly Efficient Organic Light-Emitting Fibers for Wearable Electronics: A Scalable, Low-Temperature Process", Nano Letters, 18, 347–358 (2018) [2018 IF = 12.080]

차량용 독립음향공간 형성 기술

RESEARCH HIGHLIGHTS

전기및전자공학부 · *기계공학과

최정우 · 소형준 · *김양한

http://sound.kaist.ac.kr

본 연구팀에서는 차량 실내에서 좌석별로 서로 다른 오디오 콘텐츠를 동시에 즐길 수 있는 차량용 독립음장 (Personal Sound Zone) 시스템을 개발하였다. 차량의 기본 스피커와 헤드레스트에 추가된 스피커들의 음파 간섭을 최적 제어를 통해 조절함으로써, 한 좌석에서 들리는 소리가 다른 좌석으로 전파되는 것을 최소화 하여 개별 좌석 별로 독립적인 소리 공간을 형성하였다. 복잡한 음향 반사와 잔향을 강건하게 제어하는 본 기술의 기본 이론(음향 대조 제어)을 2002년 최초로 제안한 데 이어, 2014년부터 차량용 기술 개발에 착수하여 2018년 현대기아 자동차와 (Separated Sound Zone)이라는 이름으로 실차에 적용하여 CES 2018에 출품하였다.

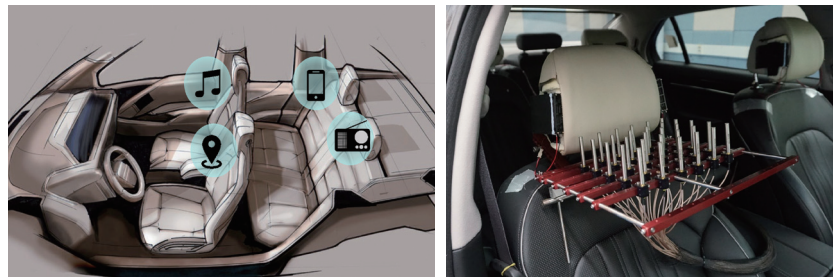


그림 1. (좌) 독립음향 시스템 개념도 (우) 차량내 음장 스캔

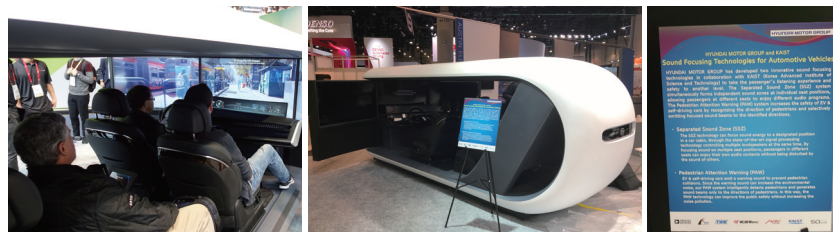


그림 2. CES 2018 차량용 독립음향시스템 데모 (Kia 5G virtual cockpit)

[논문] • J.-W. Choi and Y.-H. Kim, Generation of an acoustically bright zone within an illuminated region using multiple sources,” Journal of the Acoustical Society of America(JASA), Vol. 111 (4), pp. 1695–1700, Apr 2002.

• Jung-Woo Choi, “Sound Sketch,” Plenary Lecture, Inter-Noise 2014, Melbourne, Australia, November 16–19, 2014.

[특허] • Yang-Hann Kim and Joung-Woo Choi, Multiple speaker system for generation of bright and dark sound zones and method thereof, Korea Patent Registration, No.10-0519052-0000, 2005.9.27.

• Yang-Hann Kim, Jung-Woo Choi, Ji-Ho Chang, Jin-Young Park and Chan-Hui Lee, Sound system, sound reproducing apparatus, sound reproducing method, monitor with speakers, mobile phone with speakers, US Patent Registration, 8369536, 2013.2.5.

근거리 보안 통신을 위한 부호개발

RESEARCH HIGHLIGHTS

전기및전자공학부

하정석

http://cocoa.kaist.ac.kr/

본 연구의 주요 결과는 RF-ID, e-Passport, 간편결제 등과 같은 근거리 통신의 보안을 물리계층에서 확보하기 위한 보안 부호를 설계 및 응용 방법확보 및 관련 연구결과를 산업화하는 것이다. 제안된 기술은 보안키의 사전 공유가 필수적인 기존 보안기술과 달리 보안키의 사전 공유가 불필요하며 도청자의 연산 능력과 무관한 보안 통신이 가능한 장점이 있다.

또한, 초저전력/초저복잡도 구현이 가능하여 저복잡도 단말장치들이 유발하는 잠재적 보안 위협 극복할 수 있는 장점이 있어 다양한 요소들로 구성된 미래 통신망의 보안을 위한 유용한 기술이다.

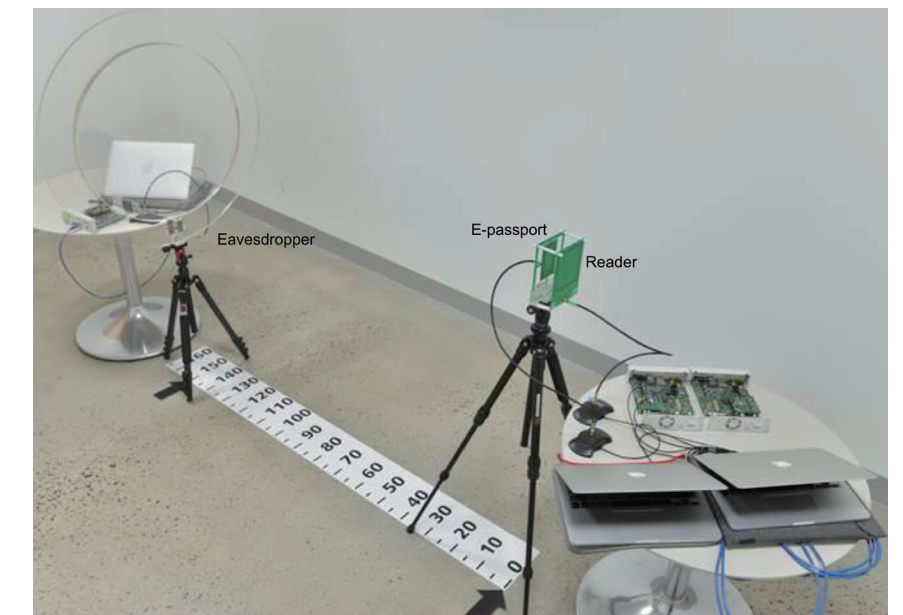


그림 1. 제안된 보안통신 방식을 이용한 전자여권 시스템 실험

[논문] • M. Hyun, W. Song, J. Choi, S. Yoo, and J. Ha, “Code Design for Type-I Wiretap Channel,” Allerton conference on Communication, Control, and Computing, Illinois, USA, Sept. 2011

• W. Song, J. Choi, and J. Ha, “Perfect Secrecy over Binary Erasure Wiretap Channel of Type-II,” IEEE Transactions on Information Forensics and Security, vol. 7, issue 4, pp. 1414–1418, Aug. 2012

딥러닝 기반의 비디오 스트리밍 기술

RESEARCH HIGHLIGHTS

전기및전자공학부

한동수 · 신진우

<http://ina.kaist.ac.kr/~dongsuh/>
<http://ina.kaist.ac.kr/~nas/>

Youtube와 Netflix 등에서 사용되고 있는 적응형 비디오 스트리밍은 비디오 화질을 네트워크 대역폭에 따라 실시간으로 변경한다. 따라서, 종래의 스트리밍 방식에서는 비디오 화질이 서버와 클라이언트 사이의 대역폭에 의존도가 높다는 근본적인 한계점이 존재한다. 이를 극복하기 위해서, 본 연구는 합성곱 신경망 (CNN) 기반의 초해상화 기술을 적응형 스트리밍에 적용한 비디오 전송 시스템(명칭: NAS)를 최초로 개발하였다. NAS 서버에서는 비디오마다 저해상도 비디오(240p~720p)를 고해상도 비디오(>=1080p)로 변환하는 콘텐츠 인지 신경망을 학습시킨 후에 비디오와 함께 제공한다. 그리고 NAS 클라이언트는 강화학습 기반의 알고리즘을 사용하여 네트워크 상황에 맞게 비디오와 콘텐츠 인지 신경망을 동시에 내려받는다. 네트워크 대역폭이 낮아 저화질의 비디오를 받더라도, 클라이언트는 자신의 컴퓨팅 파워를 사용해 콘텐츠 인지 신경망을 비디오에 적용하여 고화질의 비디오를 시청한다. 따라서, NAS는 사용자의 체감 품질을 개선하거나 종래의 방법과 똑같은 품질을 제공하면서 사용되는 네트워크 대역폭을 감소시킬 수 있다. 본 기술은 최신 신경망 기술을 활용하여 좋지 않은 네트워크 환경 속에서도 4K나 AR/VR 등 새로운 미디어 콘텐츠를 전송할 가능성을 제시한다.

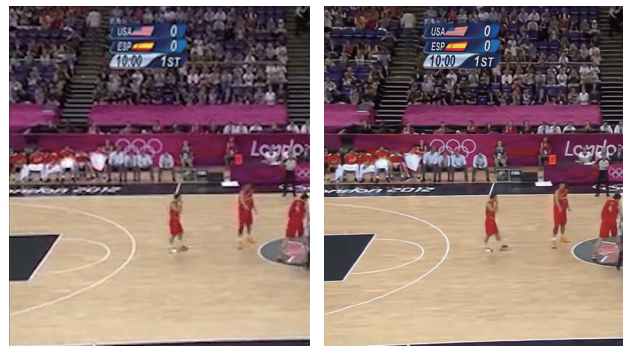


그림 1. 본 기술이 적용되기 전과 (좌) 적용된 후의 (우) 비디오 화질

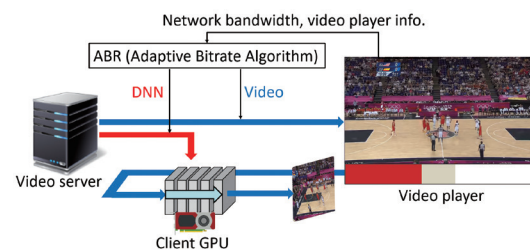


그림 2. 본 기술의 컨셉

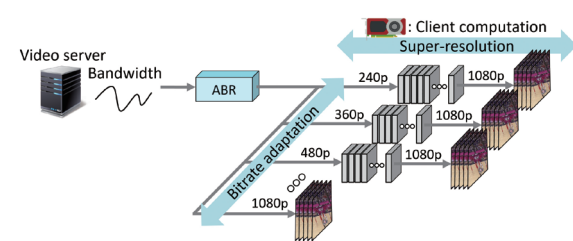


그림 3. 저화질로 내려받은 비디오를 고화질의 비디오로 개선하는 과정

[논문] • Neural Adaptive Content-aware Internet Video Delivery, Hyunho Yeo, Youngmok Jung, Jaehong Kim, Jinwoo Shin, Dongsu Han, USENIX OSDI 2018 (KAIST 1st OSDI paper for 24 years OSDI history)
 • OSDI is a flagship computer system conference. Many renowned papers including TensorFlow, MapReduce are published in OSDI.

휴대용 카메라를 이용한 3차원 물체의
표면반사함수 측정 기술 개발

RESEARCH HIGHLIGHTS

전산학부

김민혁

<http://vclab.kaist.ac.kr>

최근 증강현실(augmented reality, AR)과 가상현실(virtual reality, VR) 기술의 발전과 더불어 Microsoft의 Hololens, Facebook의 Oculus와 같은 상용 제품들이 앞다투어 출시되고 있다. AR/VR 환경에서 사용자에게 실제와 같은 몰입감을 주기 위해서는 현실 세계의 3차원 물체의 정확한 지형정보(geometry)와 표면반사성질(SVRDF)를 그대로 재현하는 3D 콘텐츠를 만드는 것이 중요하다. 본 연구는 전문적이고 복잡한 3D 실감 콘텐츠 제작 과정을 간소화/자동화하는 기술을 개발하여, 누구나 손쉽게 한 개의 휴대용 카메라만을 이용하여 AR/VR 환경에서 현실 세계의 3차원 물체를 그대로 재현할 수 있는 기술을 제안하였다. 본 연구는 2018년 컴퓨터 그래픽스 분야 최고 학술지인 ACM Transactions on Graphics (TOG)에 논문이 게재되었고, ACM SIGGRAPH Asia 2018 학술대회의 대표 연구성과로 선정되어, 올해 다수의 해외 유명 미디어(EurekAlert, ScienceDaily, SciTech 등)에 소개되기도 하였다.

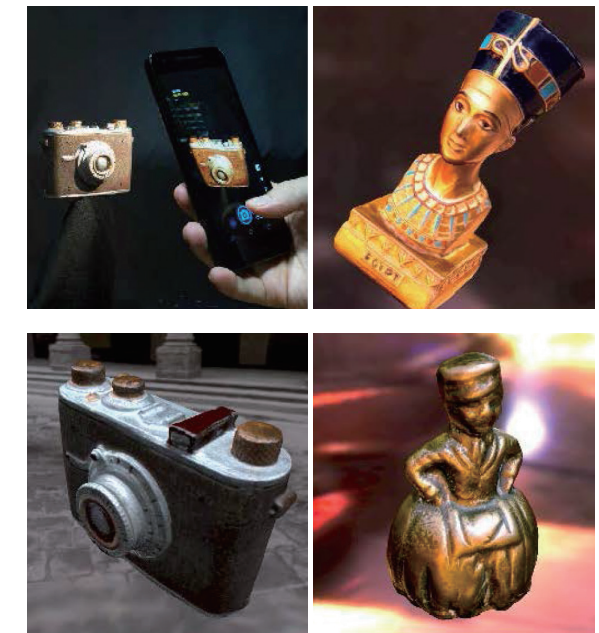


그림 1. 실제 물체를 휴대폰을 이용한 촬영 예시(좌상단 이미지)와 본 기술로 제작한 3차원 콘텐츠를 극사실적 렌더링 기술을 이용하여 가상환경에서 재현한 결과물(나머지 세 이미지)

[논문] Giljoo Nam, Joo Ho Lee, Diego Gutierrez, Min H. Kim, "Practical SVBRDF Acquisition of 3D Objects with Unstructured Flash Photography," ACM Transactions on Graphics (TOG), 37(6), pp. 267:1–267:12 (2018) [Top journal in computer graphics]

[특허] 김민혁, 남길주, "3차원 객체 획득 방법", 국내출원번호: 10-2018-0119872

글로벌 실내위치인식 시스템을 위한 무선신호 수집위치 라벨링 AI 기법

RESEARCH HIGHLIGHTS

전산학부

한동수

<http://isilab.kaist.ac.kr>

GPS 신호가 도달하지 않는 실내에서는 무선랜 신호를 사용하여 위치정보를 제공할 수 있다. 하지만 무선랜 신호를 사용하여 위치 정보를 제공하기 위해서는 건물의 많은 지점에서 무선랜 신호를 수집해야 한다. 여기에 막대한 시간과 노력이 요구된다. 본 연구에서는 불특정 다수의 스마트폰에서 수집된 무선랜 신호의 수집 위치를 자동으로 라벨링하는 무선신호 수집위치 라벨링 AI 기법을 개발하였다. 이 기법을 사용하면 전 세계 도시 대부분의 건물 내부에서 정확도 높은 실내 위치정보에 필요한 신호지도(일명 라디오맵)를 단기간에 저비용으로 구축할 수 있다. 건물 입구 탐지, 핑거프린트의 층 구분, 그리고 핑거프린트의 수집위치 라벨링이 이 기법의 핵심 단계이다. 이 기법은 향후 실내 GPS를 실현하는 데 있어 핵심적인 기법으로 자리 잡을 것으로 기대된다.

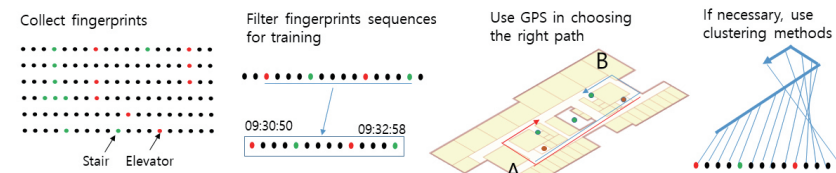


그림 1. 크라우드소싱 방식으로 수집된 무선랜 핑거프린트 수집위치 라벨링

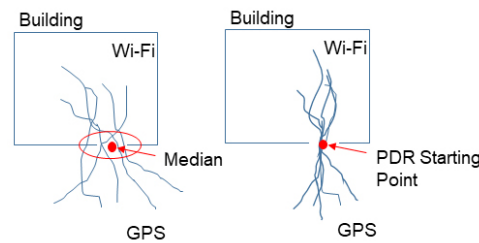


그림 2. 건물 입구 탐지

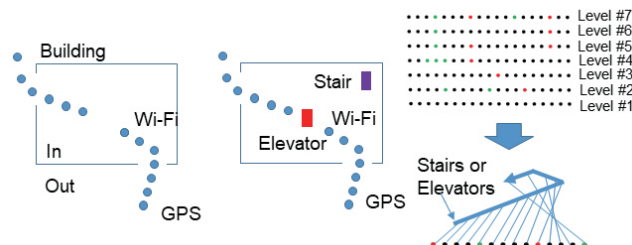


그림 3. 핑거프린트 층 구분을 위한 계단/엘리베이터 탐지

[논문] • S. Jung, B. Moon, D. Han, "Unsupervised learning for crowdsourced indoor localization in wireless networks", IEEE TMC 15 (11), 2892–2906 (2017).

• S. Jung, G. Lee, D. Han, "Methods and tools to construct a global indoor positioning system", IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 48 (6), 906–919 (2017).

컴퓨터 수치해석학 : 연속 데이터 처리 알고리즘의 기반

RESEARCH HIGHLIGHTS

전산학부

지글러 마틴

<http://kaist.theoryofcomputation.asia>

일반적으로 컴퓨터공학은 정수, 유한 비트열, 그래프 등 이산 데이터에 대한 문제를 다룬다. 이와는 대조적으로 연속 데이터는 실수, 수렴하는 수열, 미분가능함수, 연산자, 컴팩트 유클리드 영역 등을 포함한다. 과학과 공학, 수학에서의 계산은 온도, 속도 등 연속 데이터 위주다. 온도의 예를 들자면, 18°C에서 중간 과정을 뛰어넘어 19°C에 도달하는 경우가 없다.

컴퓨터 수치해석학은 상술한 연속 데이터를 디지털 컴퓨터로 처리하는 혁신적인 방법론을 일컫는다. 전통적인 수치해석학의 결과를 포함할 뿐더러, 부호 이론, 근사 알고리즘 설계, 비트-비용 분석, 복잡도 이론, 프로그래밍 언어론, 논리 및 형식 검증을 비롯하기에, 기존의 수치해석학을 뛰어넘는다.

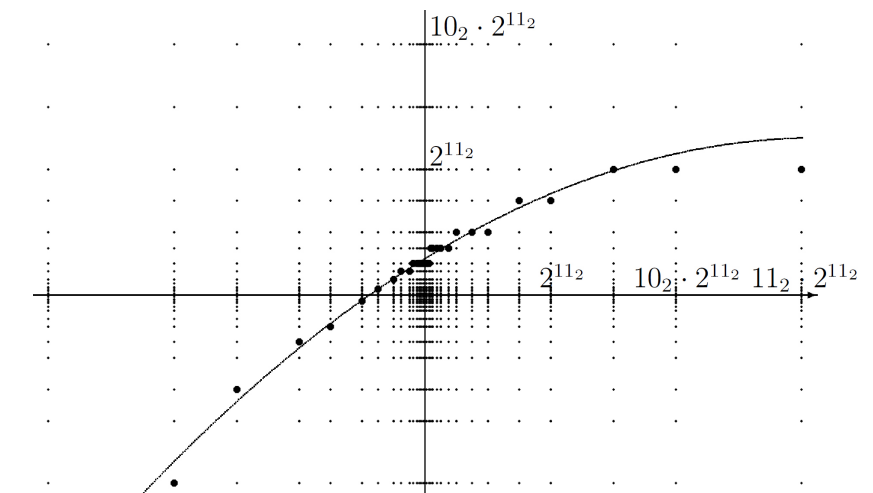


그림 1. 매끄러운 실함수의 float를 이용한 최적 근사. 연속성, 순증가성 (strict monotonicity) 등 수학적 성질들의 우아함이 파괴된다.

• arXiv:1608.05787v4 에서, 실수 위에서 정확히 동작하는 편리한 명령형 프로그래밍 언어를 고안하였다. 또한 그 언어가 튜링완전하다는 것을 증명하였다. 즉, 튜링 기계로 계산 가능한 모든 실함수들이, 그리고 그러한 함수들만이 표현가능하다는 것을 밝혔다. [Turing'37]

• doi:10.1007/978-3-319-75172-6_12 에서는 이러한 패러다임을 대수적 모형론에서의 피리어드 계산에 적용한다. 피리어드 계산 알고리즘을 고안하고, 구현하고, 분석한다.

• arXiv:1809.08695 에서 임의의 컴팩트 거리 공간의 최적 인코딩 방법을 밝혔다. 최적 인코딩은 무한 비트열로 이루어지며, 해당 공간의 콜모고로프 (Kolmogorov'59) 엔트로피에 준하는 modulus of continuity를 갖는다.

위의 결과는 연속 데이터 계산을 위한 엄밀한 기반을 닦으며, 정량적인 지표가 된다.

자율 공중 센서 네트워크를 이용한 정보 획득 최적화 기술

RESEARCH HIGHLIGHTS

✎ 항공우주공학과
최한림 · 하정수 · 박순서
이수진 · 조두현
http://lics.kaist.ac.kr

다수의 무인기에 카메라, EO/IR, 레이더 등의 센서를 탑재하여 활용하는 자율 공중 센서 네트워크는 국방 감시 정찰, 환경 모니터링, 재난 구조 등 다양한 분야에서 적용성이 기대되는 기술이다. 자율 공중 센서네트워크 구축과 활용을 위해 해결이 필수적인 문제 중 하나는 관측 대상에 대해 최대한의 정보를 얻을 수 있도록 다수 무인기의 관측 경로를 생성하는 문제이다. 이러한 경로 계획은 관측 대상의 동역학에 대한 불확실성, 복잡한 지형에 따른 관측 특성의 변화, 바람과 같은 외란의 영향, 멀티패스와 같은 통신 환경의 변동성을 종합적으로 고려해야하기 때문에 매우 어려워진다. 본 연구에서는 정보 이론, 추정 이론, 최적 제어 이론을 융합/접목하여 복잡한 경로 계획 문제에 대한 이론적인 틀을 제시하였다. 또한, 포텐셜 게임 이론과 분산 컨벡스 최적화 기법을 활용하여 다수의 센서 플랫폼이 효과적으로 협업 경로를 생성할 수 있는 기법 또한 제시하였다. 개발한 경로 계획 기법의 검증에 위해 복수의 RF신호원을 추적하는 비행시험을 콜로라도 대학 연구팀과 공동으로 수행하였다. 본 연구에서 개발한 이론과 알고리즘은 향후 다양한 무인이동체 기반의 센서 네트워크의 효과적인 운용에 기여할 것으로 기대된다.

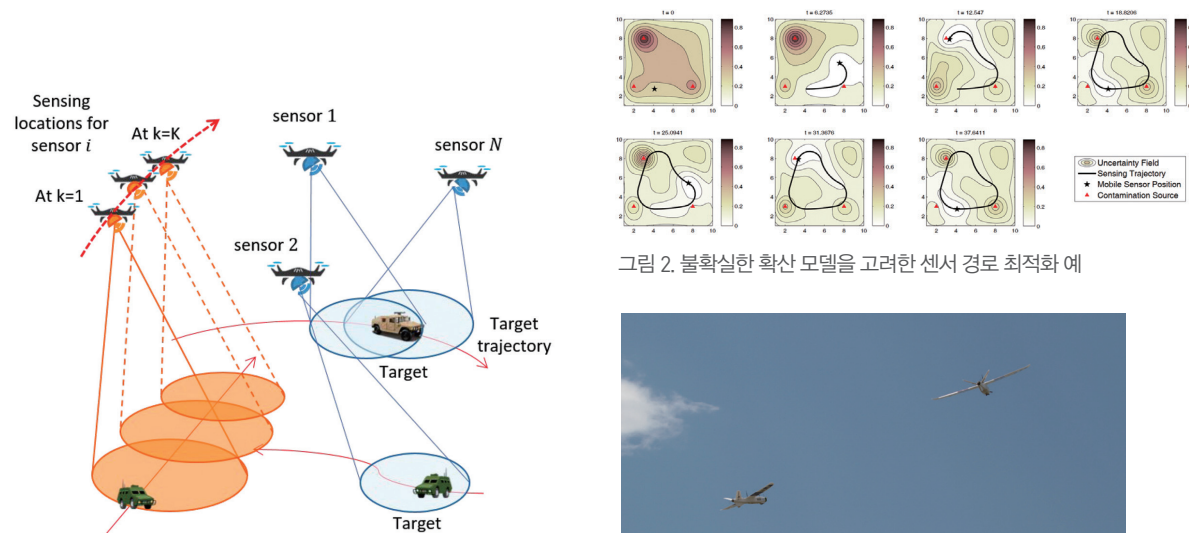


그림 1. 공중 센서 네트워크를 활용한 지상 표적 추적 개념

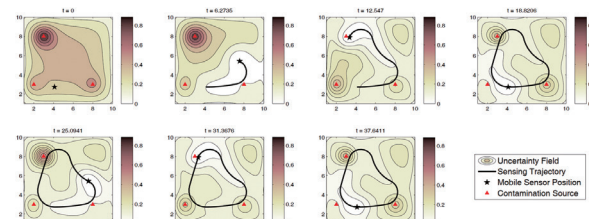


그림 2. 불확실한 확산 모델을 고려한 센서 경로 최적화 예



그림 3. 무인기를 이용한 비행 시험 장면

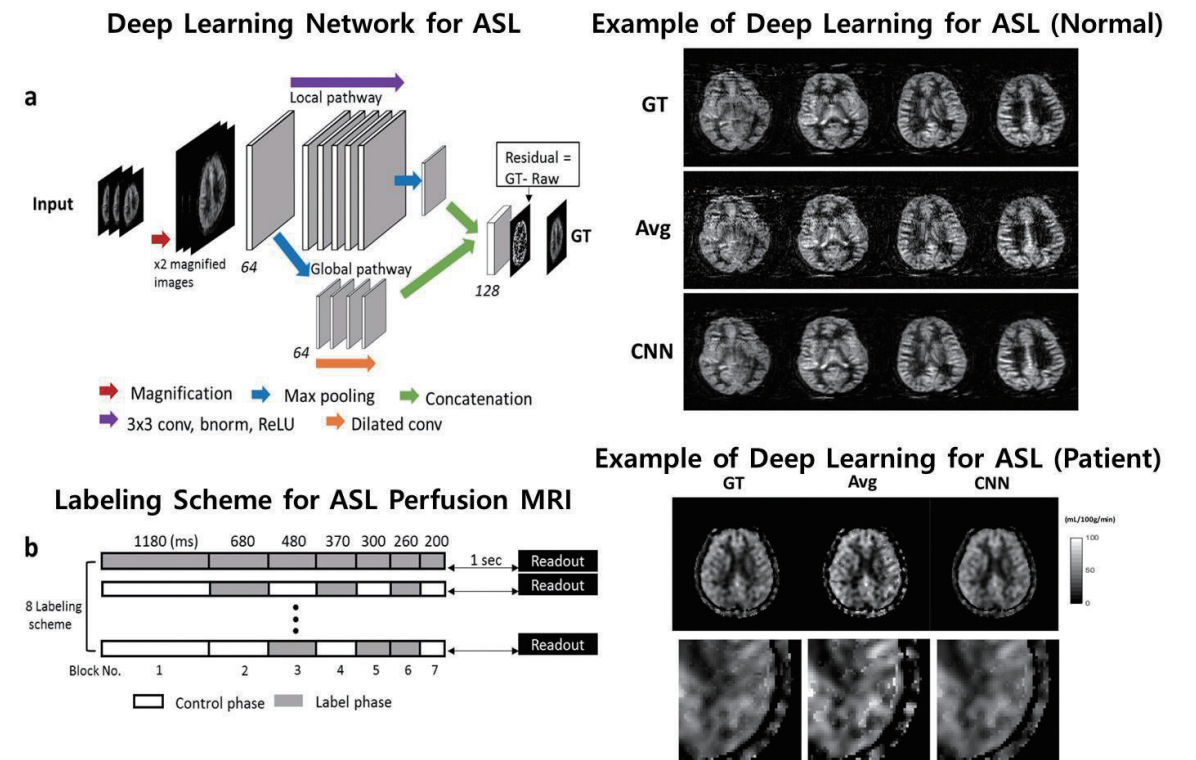
- [논문] • J.-S. Ha and H.-L. Choi, "On periodic solutions of persistent sensor planning for continuous-time linear systems," *Automatica*, vol. 99, pp.138–148, Jan. 2019 [IF: 6.126 – Control & Automation 분야 Top저널]
• S.-J. Lee, S.-S. Park, and H.-L. Choi, "Potential game-based non-myopic sensor network planning for multi-target tracking," *IEEE Access*, Vol. 6, pp. 79245–79257, Dec. 2018 [IF: 3.557]

딥러닝을 통한 동맥스핀표지 MRI 개선 기법

RESEARCH HIGHLIGHTS

✎ 바이오및뇌공학과
박성홍
http://mri.kaist.ac.kr

동맥스핀표지 MRI는 여러 가지 의료영상 modality 중 거의 유일하게 관류를 noninvasive하게 측정할 수 있는 기법으로서 25년 이상 개발 및 발전해왔다. 그러나, 낮은 신호대잡음비와 긴 촬영시간으로 인해 임상으로 전환되는데 어려움을 겪고 있다. 본 연구에서는 이러한 동맥스핀표지 MRI의 한계를 딥러닝으로 극복할 수 있음을 최초로 보이고 stroke 환자군의 임상진단에 유용하게 쓰일 수 있음을 보여준 최초의 연구이다. 본 연구는 향후 동맥스핀표지 MRI를 딥러닝을 통해 더욱더 개선하고 임상에 routine하게 적용할 수 있는 발판을 마련하였다.



- [논문] Ki Hwan Kim, Seung Hong Choi, and Sung-Hong Park*. Improving Arterial Spin Labeling by using Deep Learning, *Radiology*, 2018;287(2):658–666, <https://doi.org/10.1148/radiol.2017171154>

여성의 자폐 발병률이 낮은 원인에 대한 가설 제시

RESEARCH HIGHLIGHTS

생명과학과

김은준 · 정화진 · 박하람

<http://molneuro.kaist.ac.kr>

자폐증은 사회성 결핍과 반복행동 등을 동반하는 뇌 발달 장애로, 남성의 발병률이 여성보다 4배 이상 높다. 자폐증은 일반적으로 유전병이라고 여기지만 환경적인 요소도 관련되어 있어, 아직 발병 원인을 단정지을 수 없다. 자폐증은 범주(스펙트럼) 장애로서, 환자마다 굉장히 다양하고 복잡한 증상을 보이며, 수많은 유전자가 관련되어 있다. 그동안 자폐증의 발병 원인에 대해서 많은 가설이 제시되어 있지만, 모든 환자에게 적용 가능한 공통 기작과 관련된 연구는 요원했다. 본 연구진은 남성에서 자폐증 환자가 많은 이유에 주목했다. 연구진은 자폐증 환자에서 발견된 CHD8(Chromodomain Helicase DNA binding protein 8) 유전자의 변이(Asn2373LysfsX2)를 생쥐에 도입하고 수컷과 암컷이 행동, 전기생리 및 유전자 발현 면에서 서로 다른 특징을 보이는 것을 최초로 밝혀내었다. CHD8이 변이된 수컷 생쥐에서 유전자 발현이 자폐증 환자들과 비슷하게 변화했으며, 이러한 변화가 흥분성 뉴런의 활성도를 증가시켜 자폐증과 유사한 행동을 초래한 것이다. 반면에 암컷 생쥐에서는 CHD8 변이에 대응하여 특이적인 유전자의 발현이 증가하고, 이것이 억제성 뉴런의 활성도를 증가시켜 흥분성 뉴런을 안정화시킴으로써 정상적으로 행동하게 하는 “여성 방어 효과”가 나타났다. “여성 방어 효과”를 일으키는 특이적인 유전자들은 앞으로 자폐증 치료 연구에 도움이 될 것이다.

- CHD8이 변이된 생쥐 해마의 유전자 발현 변화
- CHD8 타겟 유전자와의 비교 분석
- 암컷 특이적인 변화를 보인 유전자의 속성 분석
- 자폐 관련 유전자와의 비교 분석
- 세포 특이적 유전자와의 비교 분석

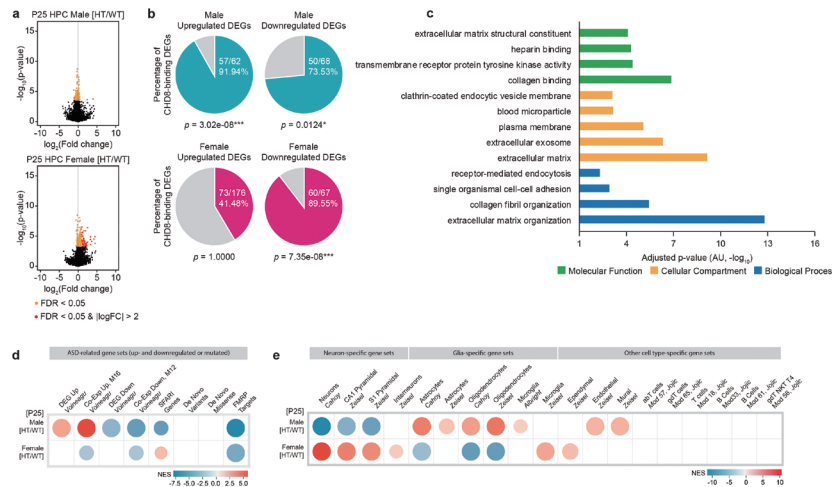


그림 1. CHD8 변이 생쥐에서 나타난 유전자 발현 양상의 성별 차이

[논문] Jung H*, Park H*, Choi Y, Kang H, Lee E, Kwon H, Roh JD, Ellegood J, Choi W, Kang J, Rhim I, Choi SY, Bae M, Kim SG, Lee J, Chung C, Yoo T, Park H, Kim Y, Ha S, Um SM, Mo J, Kwon Y, Mah W, Bae YC, Kim H, Lerch JP, Paik SB, and Kim E, "Sexually dimorphic behavior, neuronal activity, and gene expression in Chd8-mutant mice," *Nature Neuroscience*, 21: 1218–1228, 2018. [2018 IF = 19.912]

난치성 유전질환인 섬모병증 치료제 후보 발굴

RESEARCH HIGHLIGHTS

의과학대학원

김 준

<https://sites.google.com/site/kaistjklab/>

섬모병증은 세포 소기관인 섬모와 관련된 유전자의 돌연변이로 발생하며, 망막 퇴행, 소뇌 기형, 신장 낭종 등의 증상을 보인다. 섬모병증을 비롯한 기능손실 돌연변이로 발생하는 대부분의 희귀 유전질환은 치료약물이 존재하지 않는다. 본 연구에서는 질병모사 세포주를 이용한 화합물 라이브러리 스크리닝으로 섬모병증에서 나타나는 섬모의 기능적 이상을 개선하는 저분자 화합물을 발굴하였다. 이번 연구는 기능손실 돌연변이로 인한 유전질환에 대한 효과적인 약물개발 전략을 제시하였다.

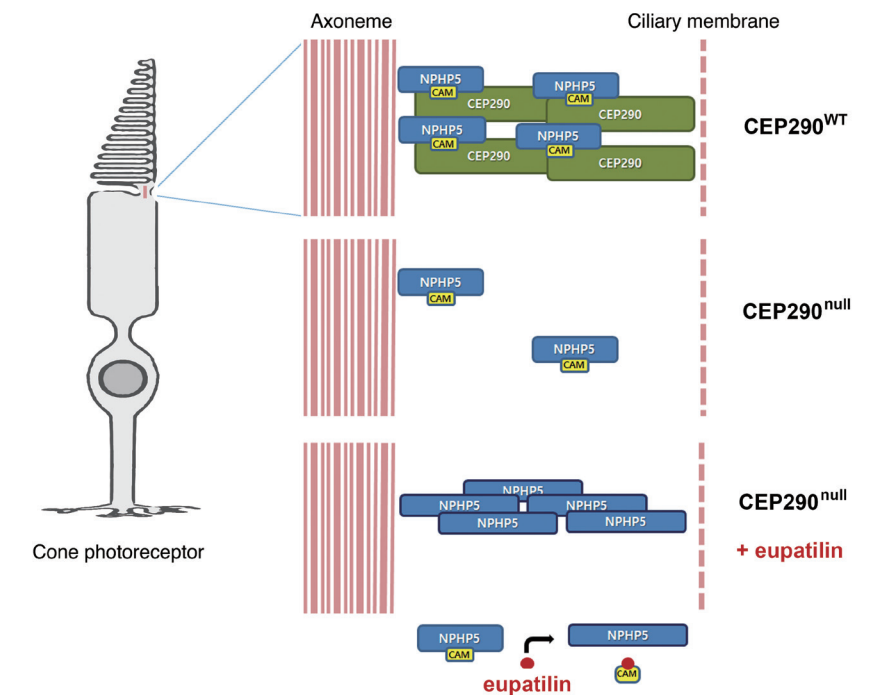


그림 1. CEP290 결손 광수용체 세포의 연결섬모 이상이 Eupatilin에 의해 복구되는 기전

[논문] Kim YJ, Kim S, Jung Y, Jung E, Kwon HJ, and Kim J. Eupatilin rescues ciliary transition zone defects to ameliorate ciliopathy-related phenotypes. *Journal of Clinical Investigation* (2018) 128:3642–3648 [2018 IF = 13.25]

방관자 면역세포의 인체 손상 원리 발견

RESEARCH HIGHLIGHTS

의과대학원
신의학
<http://liid.kaist.ac.kr>

바이러스 감염질환에서는 바이러스의 증식 때문에 인체 세포가 손상되기도 하지만 오히려 과도한 면역반응에 의해 인체 세포가 손상되는 경우도 있다. 간염 바이러스 감염 시에 유발되는 간 손상이 과도한 면역반응에 의한 것으로 알려졌지만 정확한 기전은 밝혀지지 않았다. 본 연구에서는 A형 간염 바이러스에 감염된 환자를 분석하여, 해당 바이러스에 특이적인 면역세포뿐 아니라 다른 바이러스에 특이적인 방관자 면역세포들까지 활성화되는 것을 발견했고 이러한 방관자 면역세포에 의해 간 조직이 손상되고 간염이 유발되는 것을 발견하였다. 이번 연구는 방관자 면역세포가 인체 손상을 일으키는 데 관여한다는 점을 처음으로 규명하였고, 이 과정을 억제함으로써 인체 손상을 최소화할 수 있는 치료제 개발의 가능성을 제시하였다.

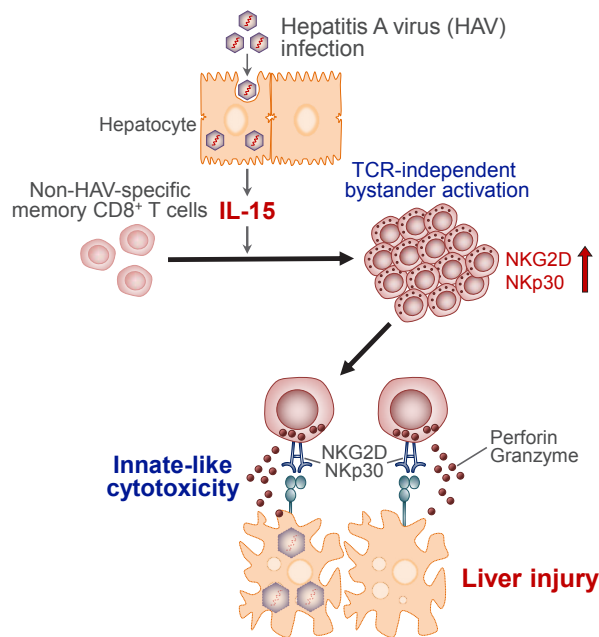


그림 1. 급성 A형간염에서 방관자 T 세포의 활성화에 의한 숙주세포 손상 기전

[논문] • Kim J, Chang DY, Lee HW, Lee H, Kim JH, Sung PS, Kim KH, Hong SH, Kang W, Lee J, Shin SY, Yu HT, You S, Choi YS, Oh I, Lee DH, Lee DH, Jung MK, Suh KS, Hwang S, Kim W, Park SH, Kim HJ, Shin EC: Innate-like cytotoxic function of bystander activated CD8+ T cells is associated with liver injury in acute hepatitis A. *Immunity* 48(1), 161–173 (2018) [2017/2018 IF = 19.734].

• Choi YS, Jung MK, Lee J, Choi SJ, Choi SH, Lee HW, Lee JJ, Kim HJ, Ahn SH, Lee DH, Kim W, Park SH, Huh JR, Kim HP, Park JY, Shin EC: Tumor necrosis factor-producing regulatory T cells are associated with severe liver injury in patients with acute hepatitis A. *Gastroenterology* 154(4), 1047–1060. (2018) [2017/2018 IF = 20.773].

딥러닝 기술을 이용한
약물-약물 및 약물-음식 상호작용 예측

RESEARCH HIGHLIGHTS

생명화학공학과
이상엽 · 류재용 · 김현욱
<http://mbel.kaist.ac.kr/>

약물 상호작용이란 한 약물의 효과가 다른 물질 (약물, 음식, 건강보조제 등)에 의해 변화하는 약리현상을 일컫는다. 이러한 약물 상호작용은 심각한 약물 부작용을 야기할 수 있기에 매우 중요하다. 기존의 약물 상호작용 예측 방법론은 오직 약물-약물 간의 상호작용이 일어날 수 있는 확률 정도를 예측하기에, 구체적 약리작용에 대한 정보를 제공하지 못하였다. 본 연구에서는 인공지능 기술 중 하나인 딥러닝 방법론을 이용하여 약물-약물 및 약물-음식 성분 간 상호작용을 정확하게 예측하는 방법론인 DeepDDI를 개발하였다. 또한 이를 활용하여, 약물 상호작용 기전 예측, 인체 부작용 최소화 대체 약물 예측, 약물-음식 성분 상호작용 예측, 음식 성분의 활성 예측을 수행하였다. 본 기술은 신약개발, 복합적 약의 처방, 투약시의 음식조절 등을 포함하여 헬스케어, 정밀의료 산업 및 제약 산업에 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

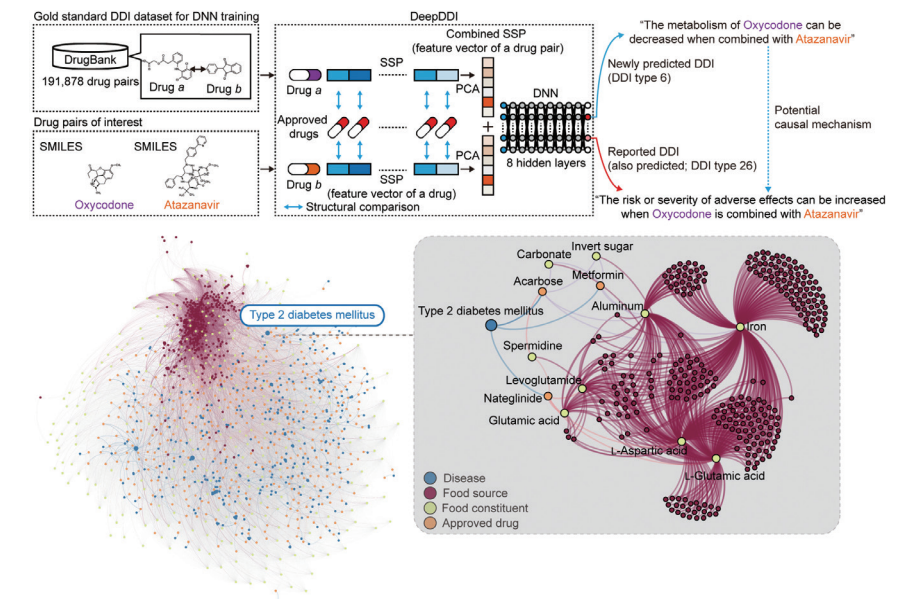


그림 1. 약물 상호작용 예측 방법론인 DeepDDI의 모식도 및 예측된 약물 상호작용들의 시각화

[논문] Ryu, J.Y., Kim, H.U., and Lee, S.Y. "Deep learning improves prediction of drug-drug and drug-food interactions", *Proc. Nat. Acad. Sci. (PNAS)*, 201803294: 1–8 (2018, 4) [2017 IF = 9.504].

개미산 및 이산화탄소로부터 유용화합물을 생산하는 대장균 개발

RESEARCH HIGHLIGHTS

🔬 생명화학공학과
💬 이상엽 · 방준호
🌐 <http://mbel.kaist.ac.kr>

개미산은 C1 가스를 전기화학적 방법으로 환원시켜 효율적으로 생산할 수 있으며, 상온에서 액체 상태이기 때문에 보관 및 수송이 용이하고 독성이 적어 미생물의 발효공정을 통한 유용화합물 생산 시 기존의 포도당 등의 당류 탄소원을 대체하여 탄소원으로 사용할 수 있으나, 개미산으로부터 유용화합물 생산에서 가장 필수적인 부분인 개미산을 탄소 여러 개로 구성된 화합물로 전환하는 대사경로가 존재하지 않아 탄소원으로 사용되지 못했다. 본 연구진은 개미산 두 분자와 또 다른 C1 가스인 이산화탄소 한 분자로부터 C3 화합물인 피루브산을 합성하는 대사경로를 설계하고, 설계한 대사경로를 대장균에 구축하여 개미산과 이산화탄소로부터 피루브산 합성에 성공했다. 또한 이 대사경로와 더불어 개미산 탈수소화효소를 추가로 대장균에 도입하여, 대장균의 발효 공정에서 포도당의 사용을 감소시키고, 개미산의 사용을 증가시키는 데 성공하였고, 더 나아가 포도당 없이 개미산과 이산화탄소만으로도 대장균의 성장이 가능함을 검증하는데 성공했다.

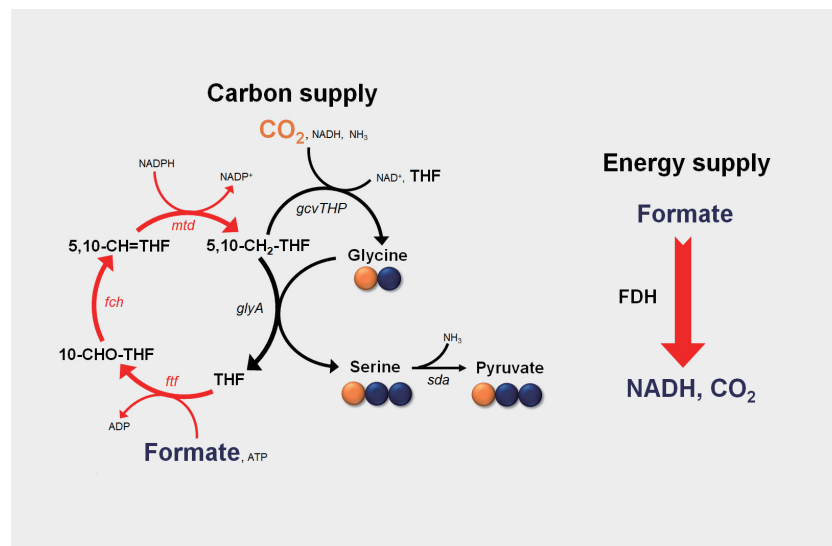


그림 1. 재조합 대장균의 개미산 및 이산화탄소 대사 과정 모식도

[논문] J. Bang, S.Y. Lee*, "Assimilation of formic acid and CO₂ by engineered *Escherichia coli* equipped with reconstructed onecarbon assimilation pathways." *Proc. Nat. Acad. Sci. (PNAS)*, 115(40): E9271–E9279 (2018) [2017 IF = 9.504].

[특허] 이상엽, 방준호, "외부 유전자가 도입된 재조합 미생물 및 상기 미생물을 이용하여 개미산과 이산화탄소로부터 유용물질을 제조하는 방법" 국내특허 출원 (출원번호: 10-2017-0151642)

미생물 발효에 의한 헴의 세포외 분비 생산

RESEARCH HIGHLIGHTS

🔬 생명화학공학과
💬 이상엽 · 자오신루이 · 최경록
🌐 <http://mbel.kaist.ac.kr>

생명 유지에 필수적인 헴은 고급 철분제나 약물로 이용되고 있으며, 최근에는 고기 맛의 핵심 요소로 밝혀져 맛과 영양, 환경, 윤리를 모두 만족시키는 콩고기 제조에 이용되고 있다. 하지만 기존의 헴 생산은 유기용매를 이용한 동물의 혈액 및 일부 식물 조직으로부터의 추출에 의존하고 있기 때문에 비효율적일 뿐만 아니라 친환경적이지 않다. 본 연구에서는 미생물이 높은 헴 농도에 의해 유발되는 독성으로부터 스스로를 방어하기 위해 헴을 세포 외로 분비하는 기작에 주목하였고, C5 대사회로와 대사공학적 기법을 통해 헴의 생산량을 증진시킴으로써 미생물 발효를 통한 헴의 세포외 생산을 가능케 하였다. 또한 헴을 세포 외로 분비하는 데 직접 관여하는 헴 엑스포터를 직접 엔지니어링함으로써 헴의 생산량과 세포외 분비량 모두를 증진시켰다. 본 연구의 기술은 친환경적인 헴의 산업적 활용을 위한 생산/정제를 용이하게 함으로써 헴의 건강 보조제, 의약품, 식품 첨가물 등으로서의 다양한 활용을 가능케 할 것으로 기대된다.

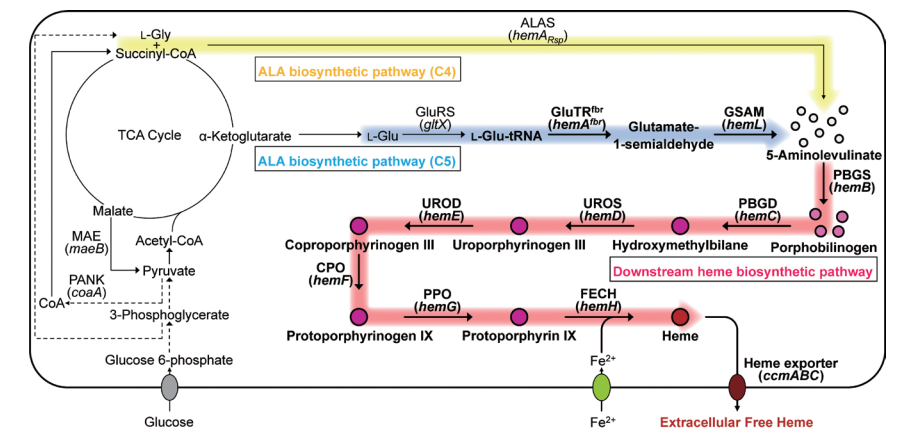


그림 1. 헴의 세포외 분비 생산에 대한 모식도

[논문] X. Zhao, K.R. Choi, and S.Y. Lee*, "Metabolic engineering of *Escherichia coli* for secretory production of free haem", *Nature Catalysis* 1, 720–728 (2018)

[특허] 이상엽, 자오신루이, 최경록, "대사공학적으로 조작된 미생물을 이용한 헴의 세포외 생산방법" 국내특허 출원 (출원번호:10-2017-0170185)

재조합 대장균을 이용한 다양한 나노재료의 생물학적 합성기술 개발

RESEARCH HIGHLIGHTS

생명화학공학과

이상엽 · 최유진

<http://mbel.kaist.ac.kr>

기존 나노재료의 물리·화학적 합성법들은 유독한 유기용매 및 환원제를 사용하여 고온·고압의 조건에서 합성되며, 이 방법들은 환경오염의 문제와 더불어 에너지 효율과 경제성이 떨어진다는 문제점이 있다. 본 연구에서는 재조합 대장균을 이용해 주기율표 내 35가지 원소들을 단일 또는 두가지로 조합한 60가지의 나노재료를 생물학적으로 합성할 수 있는 기술을 개발하였다. 또한, 화학적 방법으로 합성하기 어렵거나 아직 보고 되지 않은 새로운 나노재료들을 재조합 대장균을 이용하여 합성 할 수 있음을 보여주었다. 본 연구를 통하여 생물학적으로 합성된 다양한 나노재료들은 나노입자, 나노막대, 나노 판상형들의 모양을 갖고 있으며 향후 촉매, 화학물질 센서, 바이오 센서, 바이오 이미징, 약물 전달, 암치료 등 산업적 응용분야에 접목 할 수 있을 것으로 기대된다.

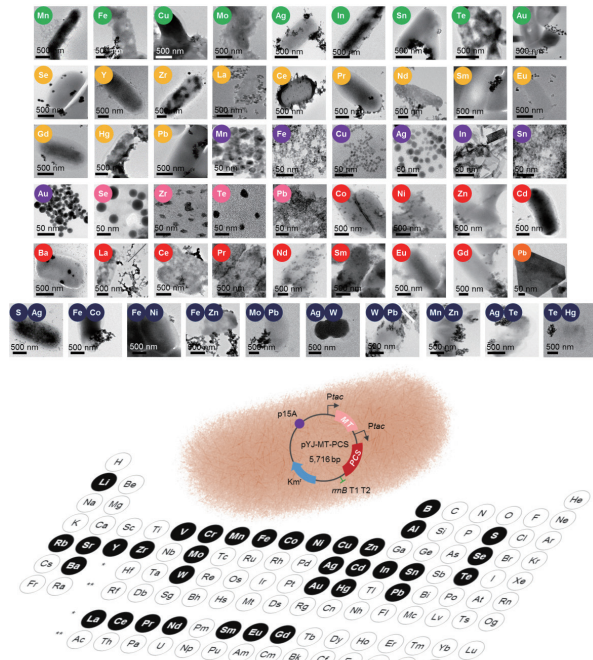


그림 1. 재조합 대장균을 이용한 다양한 나노재료들의 생물학적 합성 기술의 전체 모식도 및 이미지

[논문] Y. Choi, T. J. Park*, D. C. Lee, and S. Y. Lee*, "Recombinant Escherichia coli as a biofactory for various single- and multi-element nanomaterials", Proc. Nat. Acad. Sci. (PNAS), 115(23): 5944–5949 (2018) [2017 IF = 9.504].

[특허] 이상엽, 최유진, "재조합 미생물을 이용한 금속 나노입자 및 금속 황화물 나노입자의 제조방법", 국내특허 등록(등록일: 2018.09.28, 등록번호:10-1905026) 및 PCT 출원(PCT/KR2016/015498)

폴리스티렌(Polystyrene) 구슬의 자기 조립(self-assembly) 현상을 이용한 실리콘 기반 고성능 수소센서 개발

RESEARCH HIGHLIGHTS

기계공학과

박인규 · 정연식 · 가오민

조민규 · 한혁진

<http://mintlab1.kaist.ac.kr>

청정에너지인 수소가스는 차세대 에너지원으로서 다양한 산업 분야에서 활용되고 있지만 무색·무취이기 때문에 조기 발견이 어려워 고성능 수소센서를 개발하는 것이 중요하다. 고감도의 수소 감지를 위해선 센서의 감지 영역이 큰 표면적-부피비를 갖도록 미세 패터닝 기술이 필요한데, 종래의 공정(DUV 리소그래피, 전자빔 리소그래피 등)들은 비용이 매우 커서 상용화에 걸림돌이 되었다. 본 연구에서는 폴리스티렌 나노 구슬의 자기 조립 현상을 이용하여 수십 나노미터 수준의 실리콘 그물(nanomesh) 모양 패턴을 구현하였고, 여기에 수 나노미터 크기의 팔라듐 나노입자를 표면에 균일하게 코팅하여 초소형 고성능 수소 센서를 제작하였다. 이때 팔라듐 나노 입자가 수소 가스를 용해하여 일함수가 바뀌면 화학적 게이트 효과(gate effect)에 의해 실리콘의 전도성이 변화하는 원리를 이용하였다. 실리콘 나노 그물 기반의 수소 센서는 0.1%의 수소 농도에서 10%의 민감도와 5초의 반응속도를 기록해 기존 실리콘 박막 기반 수소 센서보다 50% 이상 빠르고 10배 이상 높은 민감도를 보였다. 또한 본 기술을 통해 제작된 초소형 수소 센서는 제작 과정이 단순하고 비용이 저렴하여 다양한 모바일 기기에 탑재하여 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

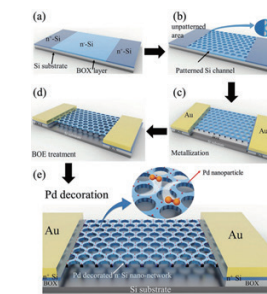


그림 1. 센서 소자 제작 과정

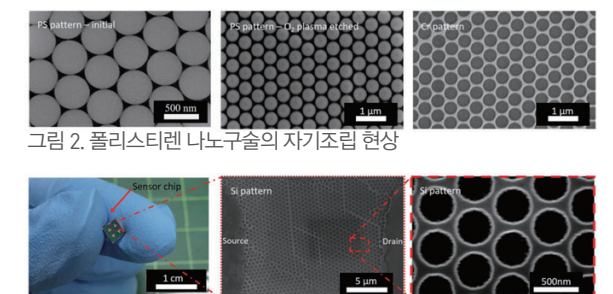


그림 3. 제작된 실리콘 나노그물 기반 수소 센서 소자

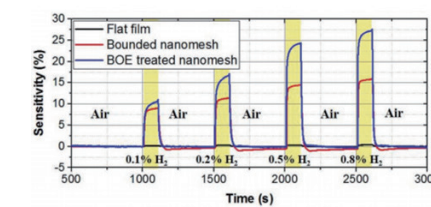


그림 4. 수소 가스에 대한 실시간 응답

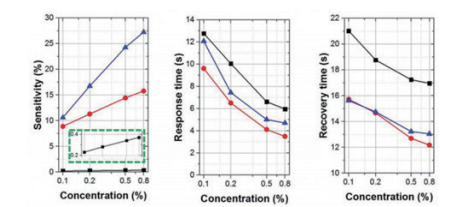


그림 5. 수소 감소 감도 및 응답, 회복 시간

[논문] M. Gao, M. Cho, H. Han, Y. Jung and I. Park*, "Palladium-Decorated Silicon Nanomesh Fabricated by Nanosphere Lithography for High Performance, Room Temperature Hydrogen Sensing", Small, 14, 10 (2018), Front Cover Article

금속-유전체 다층나노구조 간 근접장 복사열전달량 제어기술 개발

RESEARCH HIGHLIGHTS

기계공학과

이봉재 · 이승섭
임미경 · 송재만<http://trad.kaist.ac.kr>

근접장 복사열전달이란 두 물체 사이의 거리가 나노미터 단위일 때 포톤 터널링 효과로 인해서 복사열전달이 매우 크게 증가하는 현상을 말하며, 그 값은 복사열전달량의 이론적인 최대값이라 여겨졌던 흑체 복사열전달량 보다 커질 수 있다. 나노구조에서 발생하는 표면 플라리톤 커플링을 이용하면 두 물체 사이의 복사열전달량을 크게 향상시킬 수 있을 뿐 아니라 파장에 따른 복사열전달 제어가 가능하다는 것은 이론적으로 알려져 있었다. 하지만 현재까지 대부분의 연구는 등방성 물질 사이의 근접장 복사열전달을 측정하는데 국한되었다. 본 연구에서는 커스텀 MEMS 장치 통합 플랫폼과 3축 나노위치 제어 시스템을 이용해 금속-유전체 다층나노구조 사이의 근접장 복사열전달량을 세계 최초로 측정하는데 성공하였으며, 이를 통해 다층나노구조 사이의 거리가 160 나노미터 일 때, 원거리장 복사열전달에 비해 100배 이상 큰 열전달이 일어날 수 있음을 실증하였다. 또한, 금속-유전체 다층나노구조 사이에서 일어나는 표면 플라리톤 커플링을 통해서 근접장 복사열전달을 효율적으로 제어할 수 있음을 실험적으로 규명하였다. 본 기술은 열광전지, 열 정류자, 광냉각기 등 다양한 근접장 복사열전달 적용 장치 개발에 응용될 것으로 기대된다.

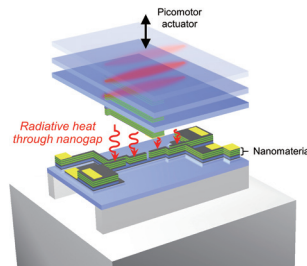


그림 1. 근접장 복사열전달 측정 3차원 개념도

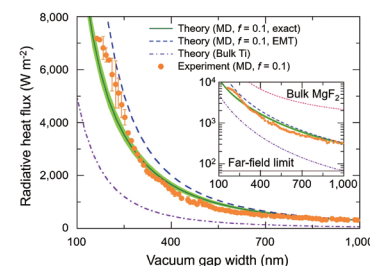


그림 2. 진공거리에 따른 근접장 복사 열유속 측정결과

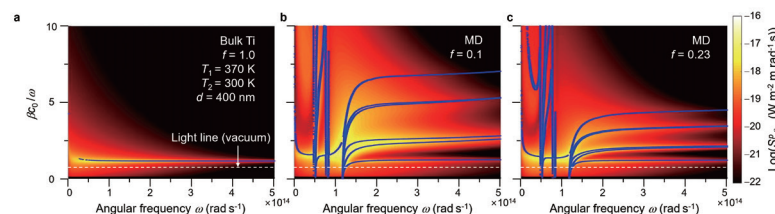


그림 3. 금속-유전체 다층나노구조의 충전 인자에 따른 복사열전달량 분석 결과.
파란선은 각 구조에서의 표면 플라즈몬 폴라리톤 분산 조건, 컨투어는 복사열전달량을 나타냄.
a 충전인자=1.0, b 충전인자=0.1, c 충전인자=0.23.

[논문] • M. Lim, J. Song, S. S. Lee*, and B. J. Lee*, "Tailoring near-field thermal radiation between metallo-dielectric multilayers using coupled surface plasmon polaritons", Nature Communications 9, 4302 (2018)

• M. Lim, J. Song, J. Kim, S. S. Lee, I. Lee, and B. J. Lee*, "Optimization of a near-field thermophotovoltaic system operating at low temperature and large vacuum gap", Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer 210, 35-43 (2018)

그래핀산화물 액정기반 웨어러블 응용소자 개발

RESEARCH HIGHLIGHTS

신소재공학과

김상욱 · Suchithra Padmajan Sasikala
윤태영 · 김인호 · 구성환
황호성 · 정홍주<http://snml.kaist.ac.kr>

그래핀산화물은 2차원의 판상구조로 인해 액정이라는 고유한 특징을 나타내게 한다. 이러한 액정상을 통해 규칙적인 구조를 가지는 물질의 분자적 조립을 자유롭게 조절 가능하고, 특히 2차원 판상의 네마틱 액정상을 활용하여 우수한 전기적, 열적, 기계적 물성의 액정섬유를 확보할 수 있다. 본 연구단은 2009년 그래핀계 신소재인 그래핀산화물 액정을 세계최초로 개발하여 이후 액정 기반의 다양한 신소재 연구를 선도하고 있다. 최근에는 중국, 미국, 호주 등을 중심으로 그래핀산화물 액정을 이용한 새로운 저비용 습식 탄소섬유공정에 대한 연구가 큰 관심을 모으고 있다. 하지만 기존연구에는 섬유형성과정에서 그래핀 층의 접힘이 발생하고 이는 내부의 공극을 유발하여 섬유의 기계적 특성을 떨어뜨리는 고질적인 한계가 있었다. 본 연구는 수중에서도 강한 접착력을 보이는 자연계의 홍합에 존재하는 천연접착제 도파민의 접착특성을 접목시켜 그래핀 층간의 결합력을 향상시키고 기계적 · 전기적 물성을 향상시키는데 성공하였다. 상기와 같은 그래핀 액정을 이용한 다양한 기초 및 응용기술이 전세계적으로 활발히 연구되어 새로운 연구분야를 열고 있으며, 이러한 공로를 인정받아 지난 7월 Royal Society of Chemistry에서 발간하는 세계적으로 권위 있는 리뷰저널 Chemical Society Reviews (IF=40.182)의 2차원소재 액정 특징호 표지 논문으로 초청논문을 발표하여 세계적인 관련 연구동향을 집대성하였다. 이 신기술은 앞으로 기능성 탄소복합섬유 제조 및 다양한 웨어러블 직물 기반 응용소자로의 활용 가능성이 높을 것으로 전망된다.

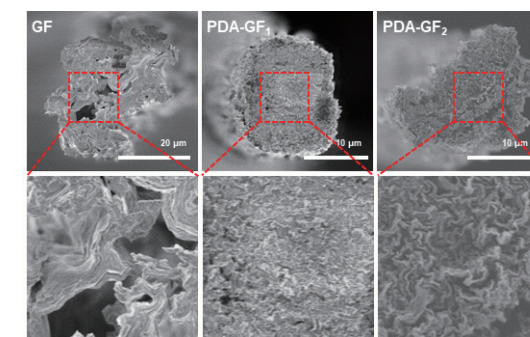


그림 1. 그래핀 섬유(좌) 및 도파민을 도입하여 공극 제어된 그래핀 섬유 (중, 우)

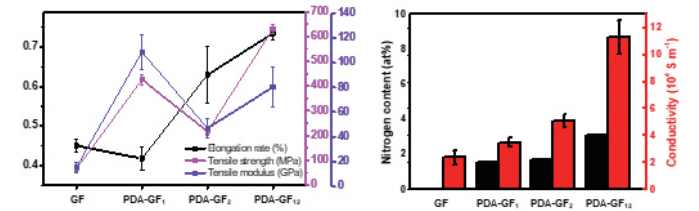


그림 2. 그래핀 섬유와 도파민을 도입하여 공극 제어된 그래핀 섬유의 기계적 및 전기적 물성 변화

[논문] • I. Kim, T. Y. Yun, J. E. Kim, H. Y. Yu, S. P. Sasikala, K. E. Lee, S. H. Koo, H. S. Hwang, H. J. Jung, J. Y. Park, H. S. Jeong and S. O. Kim*, "Mussel-Inspired Defect Engineering of Graphene Liquid Crystalline Fibers for Synergistic Enhancement of Mechanical Strength and Electrical Conductivity", Advanced Materials 30, 40, 1803267 (2018) [2018 IF=21.95, Inside cover]

• S. P. Sasikala, J. Lim, I. Kim, H. J. Jung, T. Y. Yun, T. H. Han*, and S. O. Kim*, "Graphene oxide liquid crystals: A frontier 2D soft matter for graphene-based functional materials", Chemical Society Reviews 47, 6013-6045, (2018) [2018 IF=40.182, Invited Review, Front Cover]

투명 플렉서블 디스플레이 기판용 소재

RESEARCH HIGHLIGHTS

화학

김상울

<http://macro.kaist.ac.kr>

플렉서블 디스플레이에 이어 차세대 디스플레이로 유망한 투명하면서 플렉서블한 디스플레이의 제조에는 유리과 같은 수준의 투명성과 열팽창계수를 가지면서도 휘어지고 접을 수 있는 기판소재가 필요한데, 고분자 소재 중 투명하면서도 유리과 같은 열팽창계수를 갖는 유연한 고분자 소재는 알려진 바가 없었다. 본연구에서 합성에 성공한 새로운 고성능 고분자 물질인 투명한 폴리아마이드이미드 필름은 열팽창정도가 유리 수준으로 낮으면서도 (열팽창계수: 4 ppm/°C) 플렉서블하며, AMOLED 디스플레이 제조공정에 적용할 수 있는 내열성을 갖고 있다.

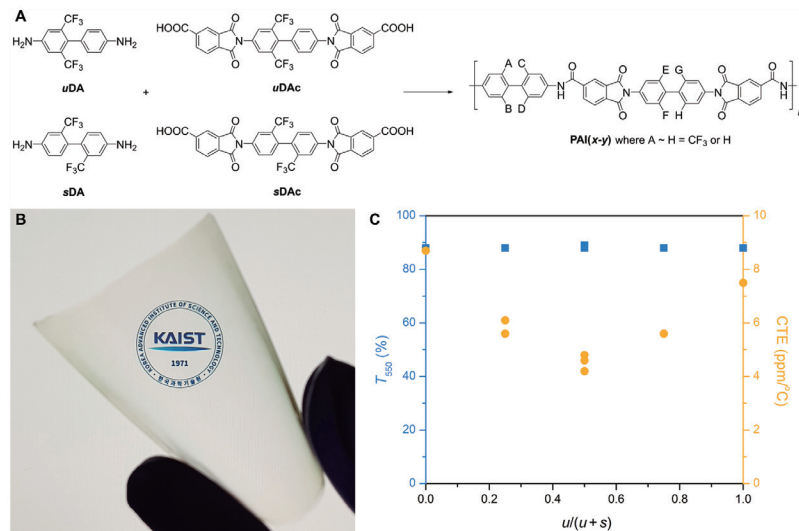


그림 1. 낮은 열팽창계수를 갖는 투명 내열 폴리아마이드이미드

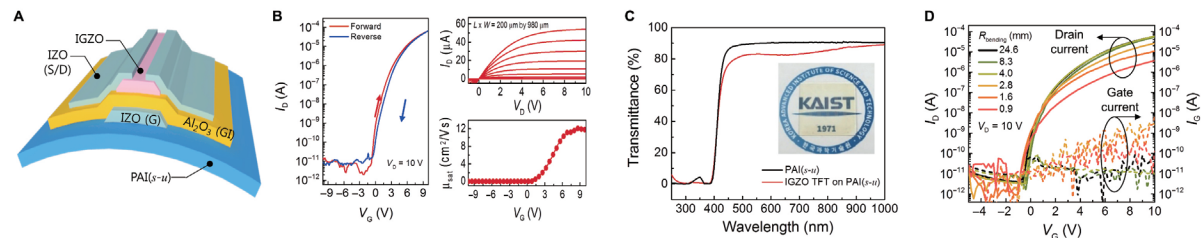


그림 2. 폴리아마이드이미드 필름 위에 제작된 박막 트랜지스터 소자

[논문] S. D. Kim, B. Lee, T. Byun, I. S. Chung, J. Park, I. Shin, N. Y. Ahn, M. Seo, Y. Lee, Y. Kim, W. Y. Kim, H. Kwon, H. Moon, S. Yoo, S. Y. Kim* "Poly(amide-imide) materials for transparent and flexible displays", Science Advances 4, eaau1956 (2018) [2017 IF = 11.51]

[언론 보도] 2018년 11월 9일 (금) 전자신문 24면, 2018년 11월 8일 (목) 동아사이언스, 2018년 11월 9일 한국경제신문, MK뉴스, YTN 등

포스트-이보가 알칼로이드의 합성

RESEARCH HIGHLIGHTS

화학

한순규 · 성시광 · 임형근

synthesis.kaist.ac.kr

한순규 교수 연구팀은 시중에서 구할 수 있는 카타란틴(catharanthine)을 원료로 산화와 재배열을 통해 7종의 이보가 및 포스트이보가 천연물을 합성해냈다. 연구팀은 다양한 효소의 작용을 통해 식물 내에서 이뤄지는 이보가 골격의 원자간 재배열을 플라스크 안에서 화학적으로 구현하는 데 성공했다. 한 교수팀은 이보가 알칼로이드 천연물인 카타란틴이 미국식품의약국(FDA) 승인 항암제인 나벨빈(Navelbine®)의 공업원료로 쓰여 시중에서 쉽게 구할 수 있다는 점에 착안하여 산화와 재배열을 통해 카타란틴의 구조를 변형시켜 고부가가치의 포스트이보가 천연물을 효율적으로 합성했다. 한 교수팀이 본 연구를 통해 합성에 성공한 포스트이보가 알칼로이드에는 타버틴진(tabertingine), 보아틴진(voatingine), 디피닌(dippine) B등이 있는데 이 중 보아틴진과 디피닌 B는 세계 최초의 합성이다. 특히 디피닌 계열의 천연물 합성은 30년 넘게 전세계 화학계의 관심을 끌어왔으나 풀리지 않는 난제로 여겨졌는데 이번에 한 교수팀이 성공시켰다. 이번 연구결과는 다양한 마약중독 치료제 및 항암제 후보물질 생산의 원천기술로 쓰일 것으로 기대된다.

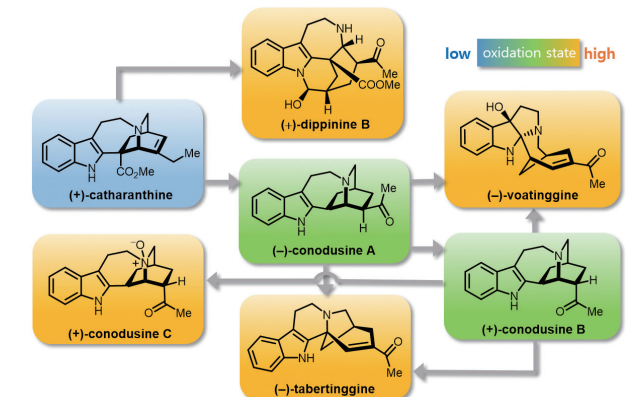


그림 1. 카타란틴을 이용한 다양한 포스트-이보가 알칼로이드의 합성 전략

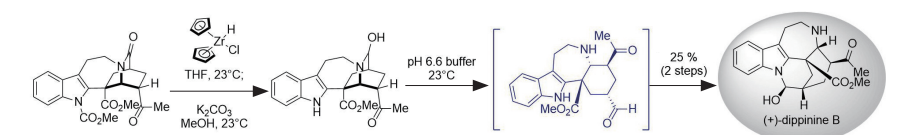


그림 2. (+)-디피닌 B의 합성

[논문] • Seong, S.;[†] Lim, H.;[†] Han, S.* "Biosynthetically Inspired Transformation of Iboga to Monomeric Post-Iboga Alkaloids" Chem 2019, 5, 353 ([†]These authors contributed equally).

• Lim, H.; Seong, S.; Han, S.* "Syntheses of Post-Iboga Alkaloids" Synthesis 2019, ASAP (DOI: 10.1055/s-0037-1612061).

[저서] Seong, S.; Lim, H.; Han, S.* "Synthesis of Types II and III Post-Iboga Alkaloids" Strategies and Tactics in Organic Synthesis; Harmata, M., Ed.; Elsevier; 2019, 14, in press.

양자점 광전변환소자를 활용한 무선충전 시스템 개발

RESEARCH HIGHLIGHTS

전기 및 전자공학부

이정용

<http://adec.kaist.ac.kr>

눈에 보이지 않는 근적외선 대역의 빛 에너지를 전기로 변환해 웨어러블 전자기기를 위한 무선충전 시스템을 개발했다. 수 나노미터 수준의 콜로이달 양자점, 특히 황화납 (PbS) 양자점의 경우 가시광을 비롯해 적외선 영역까지 광흡수가 가능해서 여러 광전소자에 응용될 가능성이 크다. 우리는 이러한 콜로이달 양자점 전지의 높은 근적외선 양자효율을 웨어러블 전자기기의 무선충전에 응용했다. 기존의 웨어러블 전자기기는 번거로운 충전 방식이 분야 발전의 큰 걸림돌 중 하나였다. 본 연구에선 양자점 전지 모듈을 유연기판에 제작해 고유연성 웨어러블 배터리와 함께 웨어러블 헬스케어 팔찌의 가죽 내부에 이식해, 양자점 전지가 근적외선 광자를 통해 생성되는 전기를 배터리에 충전할 수 있는 플랫폼을 개발했다. 본 연구에서 개발한 플랫폼은 이전과는 다르게 우수한 장점들이 있다. 근적외선은 비가시대역의 빛이라 생활에 지장을 주지 않으며, 가시광 대역에 비해 높은 투과도를 가지고 있어 전지를 노출할 필요 없이 내부에 이식이 가능하다. 이는 실제 상용화에 중요한 요소인 디자인 측면에서 더 많은 자유도를 준다.

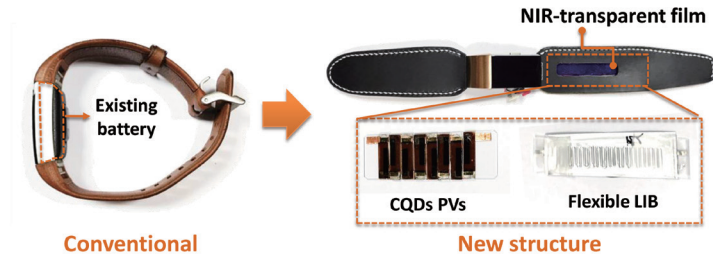


그림 1. 상용화된 헬스케어 손목시계와 무선충전 시스템이 적용된 웨어러블 소자의 모습

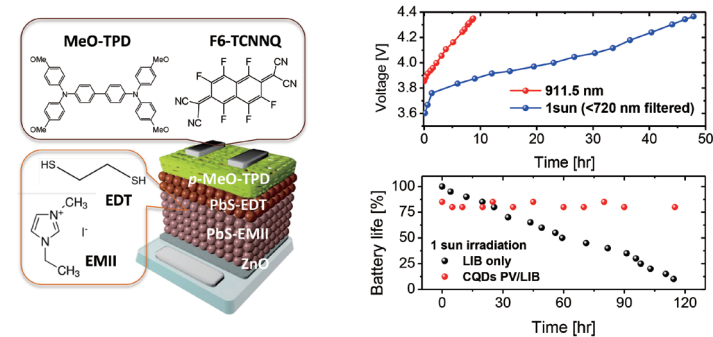


그림 2. (왼쪽) 연구에 사용된 양자점 태양전지 구조. (오른쪽) 근적외선과 태양빛 아래에서 충전중인 배터리의 전압 곡선. 적외선으로 충전가능한 양자점 태양전지 설치 유무에 따른 배터리의 성능 곡선

[논문] • S. Baek, J. Cho, J. Kim, C. Kim, K. Na, S. Lee, S. Jun, J. Song, S. Jeong, J. W. Choi*, and J.-Y. Lee*, "Colloidal quantum dots-based self-charging system via near-infrared band," *Advanced Materials* 30, 1707224 (2018). [2018 IF = 21.95]

• S. Baek, S. Lee, J. Song, C. Kim, Y. Ha, H. Shin, H. Kim, S. Jeong, and J.-Y. Lee*, "A hydro/oxo-phobic top hole-selective layer for efficient and stable quantum dot solar cells," *Energy & Environmental Science* 11, 2078 (2018). [2018 IF = 30.067]

단일 니켈 중심에서의 일산화탄소 및 이산화탄소 활성화 연구

RESEARCH HIGHLIGHTS

화학과

이윤호

<http://sites.google.com/site/yunholab/professor>

본 연구는 자연계에서 발견되는 CO-CO₂ 전환 효소인 carbonmonoxide dehydrogenase (CODH)의 니켈 반응 자리 화학에 대한 이해를 깊이하고, 이를 토대로 효율적인 CO-CO₂ 전환 촉매를 개발하는데 그 목표를 두고 시작하였다. CODH 효소에서 보이는 효율적인 이산화탄소 전환 반응을 이해하고자 본 연구실에서는 PEP 집게 리간드(E = N or P)를 도입하여 니켈 화합물을 합성하고 그 반응성 연구를 진행하고 있다. 다양한 산화상태의 니켈-일산화탄소 중 및 이산화탄소 전환과 관련된 중간체를 합성하는데 성공하였으며, 금속의 구조 조정을 위해 도입된 아크리단 리간드를 통해 니켈 카보닐 종의 선택적 이산화탄소 반응을 성공시켰다. 본 결과는 저산화 상태의 니켈에 이산화탄소 도입과 생성물인 일산화탄소 방출에 대한 연구로서 CODH 효소의 이산화탄소 전환 반응의 새로운 메커니즘을 제안하고 그 화학적 이해를 깊이 하였다.

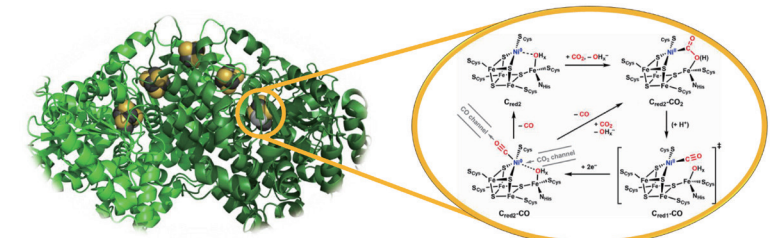


그림 1. CODH 효소의 니켈 반응 자리에서의 이산화탄소 전환 반응

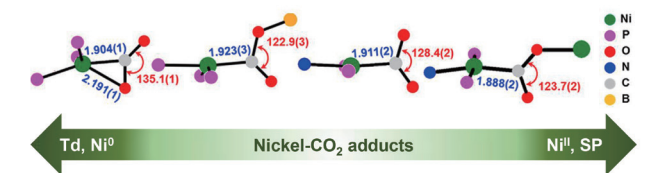


그림 2. PEP 집게 리간드에 따른 니켈-이산화탄소 첨가 생성물의 구조 변화

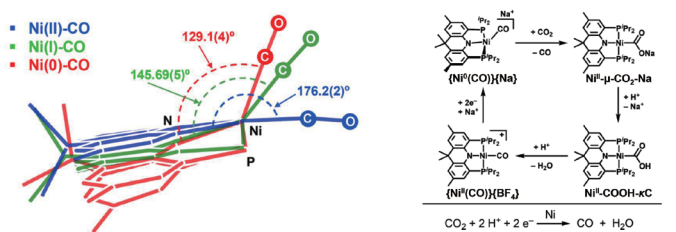


그림 3. P산화 상태에 따른 니켈-일산화탄소 종의 구조 변화 및 이를 이용한 이산화탄소 전환 반응

[논문] • D. Sahoo, C. Yoo, Y. Lee*, "Direct CO₂ addition to a Ni(0)-CO species allows the selective generation of a nickel(II) carboxylate with expulsion of CO", *J. Am. Chem. Soc.* 140, 2179-2185 (2018). [IF = 14.357]

• C. Yoo, Y.-E. Kim, Y. Lee*, "Selective Transformation of CO₂ to CO at a Singlet Nickel Center", *Acc. Chem. Res.* 51, 1144-1152 (2018). [IF = 20.955]

천연 가스 하이드레이트의 심해 점토질 퇴적층 부존원리 규명

RESEARCH HIGHLIGHTS

🔬 건설및환경공학과

🗨 권태혁 · 박태형

🌐 <http://kwon.kaist.ac.kr>

천연 가스 하이드레이트는 해저 퇴적토나 영구 동토층에서 주로 발견되며 막대한 매장량으로 인해 차세대 대체 에너지원으로 각광받고 있다. 최근 전세계적으로 해저 점토질 퇴적층에서 다량의 가스 하이드레이트가 발견되었는데 이는 점토광물이 가지는 나노미터 규모의 작은 공극 크기와 점토 광물 내 높은 이온 농도가 가스 하이드레이트 생성을 방해하는 요인으로 작용한다는 기존 개념과 상반된 발견으로 이론적으로 설명이 어려웠다. 특히 점토광물 표면은 음전하를 띄고 있는데 이 전하들이 점토표면에 흡착된 물 분자에 상당한 전기적 힘을 가해 분극화시킨다. 또한 점토 표면의 음전하를 상쇄하기 위해 주변에 많은 양이온들이 존재한다. 따라서 보통 조건의 물 분자와 분극화된 조건의 물 분자들의 하이드레이트 결정 생성 양상을 비교하는 것이 연구의 핵심이다. 그러나 점토 주변에 자연적으로 존재하는 양이온들로 인해 실험 연구를 수행할 수 없었다. 이에 본 연구진은, 탈이온수에 외부 전기장을 가하여 점토 표면에 흡착된 물분자가 분극화 되는 현상을 실험적으로 모사하고자 하였으며 전기장 내의 물분자들이 분극화되었을 때의 가스 하이드레이트 결정 생성 속도를 측정하여 기존의 실험적 한계를 극복하였다. 그 결과, 물분자가 외부 전기장에 의해 분극화 되면, 분자간의 수소 결합이 부분적으로 약해지고 내부에너지가 감소 됨으로 인해 가스 하이드레이트 결정 형성이 현저하게 빨라진 것을 발견하였다. 반면, 물분자들이 강하게 분극 되었을 때, 기체상의 가스분자들이 물속으로 용해되는 것이 억제됨을 발견하였다. 이는 물-기체의 계면에 얼음 구조와 같이 강하게 정렬된 물분자층이 가스 분자의 침투를 방해하기 때문인 것으로 밝혀졌다. 본 연구를 통해 점토질 퇴적토에서 가스 하이드레이트가 다량으로 발견되는 이유에 대해 좀 더 이해할 수 있게 되었으며 미래에 가스 하이드레이트를 에너지 자원으로 생산할때에 점토질 퇴적토 내 가스 하이드레이트의 생성과 거동을 보다 이해하게 되었다는데 의미가 있다.

그림 1. (Left) 동해 울릉분지에서 가스 하이드레이트 부존 점토질 퇴적토 내 나노미터 규모의 작은 공극 크기 및 (Right) 작은 공극 크기에 의한 가스 하이드레이트 생성 억제 반응

그림 2. (좌측) 전기장 하 분극된 물분자의 가스 하이드레이트 생성 촉진 반응. (우측) 점토 표면의 약하게 분극된 물분자들의 가스 하이드레이트 생성 촉진 모식도

그림 3. (좌측) Case REF(전기장이 없는 상태)와 Case 1(전기장이 있는 상태)에서의 가스 하이드레이트 생성으로 인한 발열 온도 피크 반응 비교 및 (우측) 전기장 유무에 따른 가스 하이드레이트 생성 속도 대수 정규 분포 비교

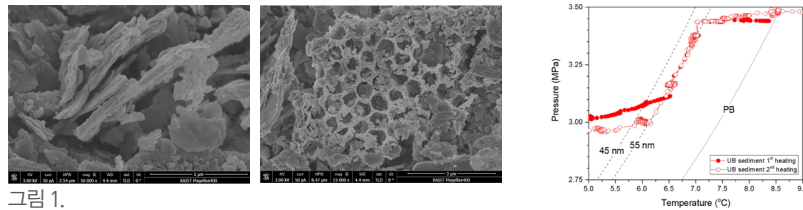


그림 1.

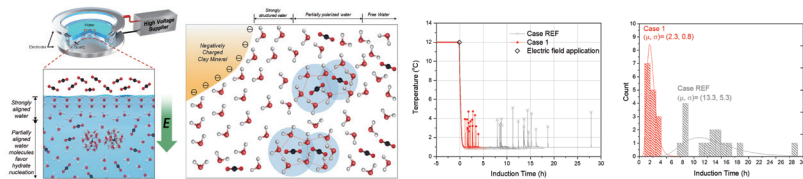


그림 2.

그림 3.

- [논문] • Park, T., Kwon, T.H. (2018) "Effect of electric field on nucleation kinetics of gas hydrate: Evidence for promotion of hydrate formation by negatively charged clay surfaces", *Environmental Science and Technology*, 52 (5), 3267–3274.
- Park, T., Lee, J., Kwon, T.H. (2018) "Effect of pore size distribution on dissociation temperature depression and phase boundary shift of gas hydrate in various fine-grained sediments", *Energy and Fuels*, 32 (4), 5321–5330.

잠항능력 극대화를 위한 디젤-과산화수소 공기불요추진체계 기술 개발

RESEARCH HIGHLIGHTS

🔬 기계공학과

🗨 배중면 · 한광우

🌐 <http://fuelcell.kaist.ac.kr>

공기불요추진체계 (AIP, Air independent propulsion system) 란 수중에서 외부 공기의 흡입 없이 전기를 발생시켜 잠수함이나 수중무인체계를 추진하는 체계를 의미한다. 기존에 사용되고 있는 공기불요추진체계에는 수소저장합금에 저장된 수소를 연료로 연료전지를 구동시켜 추진하는 시스템이 이용되고 있으며, 2주의 연속잠항능력이 보고되고 있다. 연속잠항능력은 시스템 내 수소저장밀도에 의해 제한되며, 기존의 수소저장합금의 수소저장기술로는 잠항능력을 향상시키는데 한계가 있다. 본 연구에서는 수소저장밀도가 높은 디젤연료와 산소저장밀도가 높은 과산화수소를 활용하여 공기불요추진체계에 적용할 수 있는 수소생산기술을 최초로 제안하였으며, 이를 응용하여 kW급 스케일의 시스템을 구현하는데 성공하였다. 본 제안 기술은 잠수함 및 수중무인체계의 잠항능력을 기존 2주에서 세계 최고 수준인 5주 이상으로 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

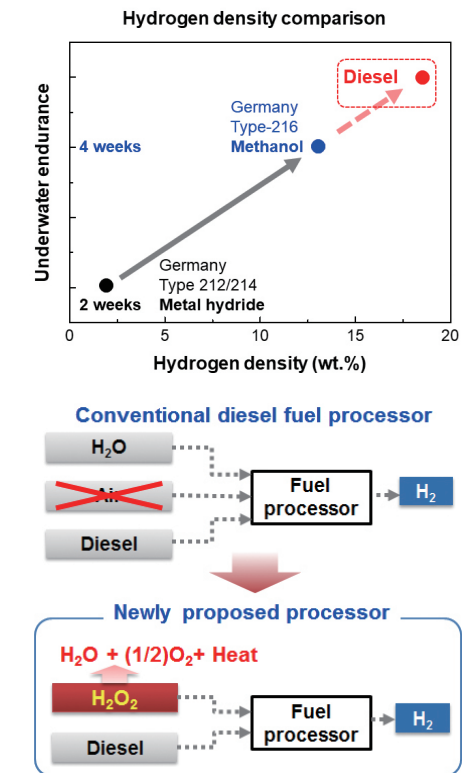


그림 1. 디젤-과산화수소 공기불요추진체계 기술 개념도

- [논문] • K. Lee, G. Han, S. Cho, and J. Bae*, "Pressurized diesel fuel processing using hydrogen peroxide for the fuel cell power unit in low-oxygen environments", *Journal of Power Sources*, 380, 37–45 (2018)
- G. Han, K. Lee, S. Ha, and J. Bae*, "Development of thermally self-sustaining kWe-class diesel reformer using hydrogen peroxide for hydrogen production in low-oxygen environments", *Journal of Power Sources*, 326, 341–348 (2016)

OTHERS

이물질에 의한 응력집중현상 분석

RESEARCH HIGHLIGHTS

수리과학과

임미경

<http://mathsci.kaist.ac.kr/~mklm/>

두 개의 원통모양의 이질탄성체 혹은 이질전도체가 가까이 위치할 때 발생하는 응력집중 현상을 엄밀하게 규명했다. 내포가 서로 떨어져있는 경우와 핵-껍질 모양의 경우에 대하여, 경계치 문제 $\nabla \cdot \sigma(x) \nabla u(x) = 0, x \in R^2, \sigma(x) = 1 + (\sigma_1 - 1)\chi_{\Omega_1}(x) + (\sigma_2 - 1)\chi_{\Omega_2}(x)$ 에 대한 경계적분표현과 Bipolar coordinates 이용한 해의 표현을 이용하여 분석했다. 이를 통해서 두 전도체 사이의 거리가 아주 작아질 때 경계치문제 해의 경도함수가 아주 작은 영역에서 큰 값을 가지는 초집중현상이 외부의 포텐셜 함수의 1차항에서만 비롯된다는 것을 보였다. 또한, 이물질의 크기, 물질계수, 거리에 대해서 일반적으로 성립하는 근사적 표현식을 엄밀한 계산을 통해서 얻었다. 흥미롭게도 이 근사식은 Lerch transcendent function 적분식으로 나타난다. 이 근사식을 통해서 두 개의 원기둥모양의 이질탄성체 (혹은, 이질전도체)가 가까이 위치할 때 발생하는 경도함수 초집중현상을 수학적으로 완전히 규명했으며, Lerch transcendent function에 해당하는 이미지 전하를 엄밀히 계산하여 경도함수 폭발항에 대한 증포텐셜 표현식을 얻었다.

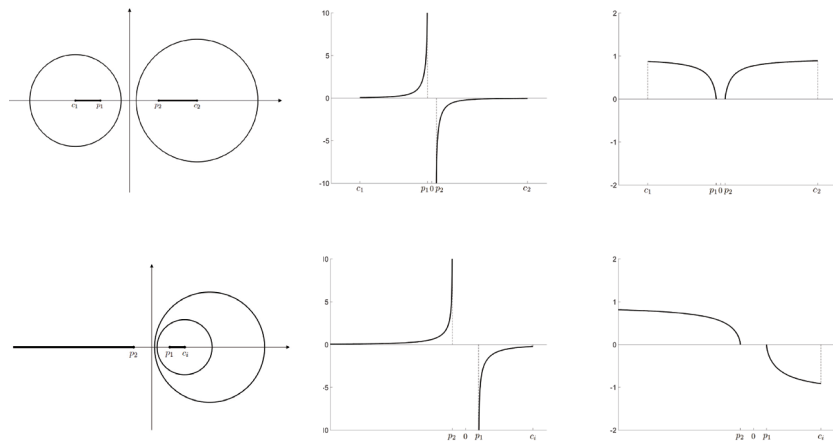


그림 1. 두 개의 원판 모양의 내포(왼쪽 그림)에 의한 이미지 전하. 왼쪽 그림에서 굵은 선은 내포에 의해 발생한 이미지 전하의 위치를 나타낸다. 이미지 전하의 변화가 좁은 영역에 집중되어 경도함수 집중 현상이 나타난다.

[논문] Junbeom Kim and Mikyong Lim, Electric field concentration in the presence of an inclusion with eccentric core-shell geometry, *Mathematische Annalen* (2018), <https://doi.org/10.1007/s00208-018-1688-6>

OTHERS

초공동(supercavitation)을 이용한
수중 운동체의 항력 감소 기술 개발

RESEARCH HIGHLIGHTS

기계공학과

조연우

<http://wfm.kaist.ac.kr>

공기에서 어떤 물체가 운동하는 경우에 물체가 받는 항력은, 동일한 물체가 물속에서 운동하는 경우의 항력보다 매우 작다. 따라서, 만약 물속에서 운동하는 어떤 물체(수중 운동체)가 공기로 완전히 감싸진 채 운동한다면, 그 물체가 받는 항력을 매우 줄일 수 있을 것이다. 연구팀은 압축 공기를 이용하여, 미사일 모양의 수중 운동체를 공기로 완전히 감쌀 수 있는 초공동(supercavitation) 현상을 발생 시킨 후, 수중 운동체에 가해지는 항력을 측정하였다. 그 결과, 동일한 속력에서, 초공동으로 둘러싸인 수중 운동체가 받는 항력은 그렇지 않은 수중 운동체가 받는 항력의 약 1/4로 측정되었고 (75% 항력감소), 이를 또한 이론적으로 규명하였다. 연구 결과는 초고속 수중 운동체 개발 및 공기윤활(air lubrication)을 이용한 초고속 선박의 개발에 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

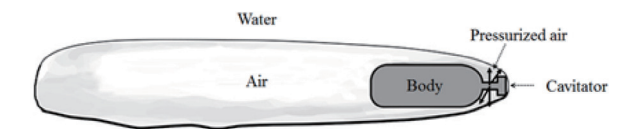


그림 1. 압축공기를 이용한 초공동현상 (Ventilated Supercavitation)

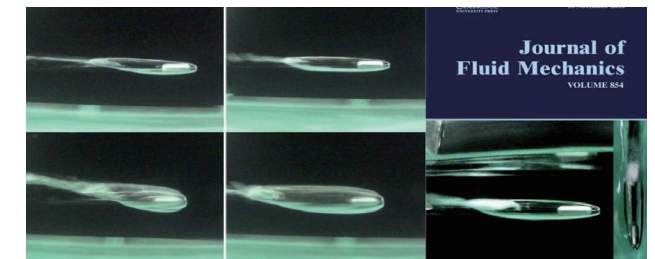


그림 2. 다양한 형상의 초공동 현상

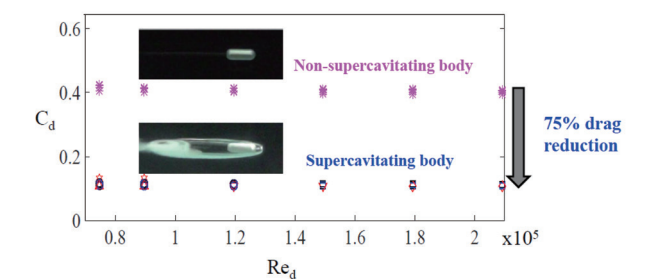


그림 3. 수중 운동체의 속력에 따른 항력 (가로축: 레이놀즈 수 $Re_d = \rho V d / \mu$, 세로축: 항력 계수 $C_d = 2F / \rho V^2$, 여기서, ρ 는 물의 밀도, V 는 수중 운동체의 속력, d 는 수중 운동체의 직경, μ 는 물의 동점성계수, F 는 운동체가 받는 항력).

[논문] Jaeho Chung and Yeunwoo Cho, 2018, "Ventilated supercavitation around a moving body in a still fluid: Observation and drag measurement", *Journal of Fluid Mechanics*, 854, 367-419.

OTHERS

실천으로서 게임의 정체성 확립 연구

RESEARCH HIGHLIGHTS

문화기술대학원

이지현 · 우 탁 · 임익수

<https://www.ibdsite.com/>

게임은 산업적, 연구적인 분야 폭발적인 양적 성장에도 불구하고, 게임의 본질을 다루는 연구는 매우 부족하다. 이러한 게임에 대한 정체성에 대한 고민이 부족한 현실은 게임 과몰입, 사행성 게임과 같은 게임과 관련된 사회적 현안을 논의하거나, 체계적으로 게임연구를 지원하고 수행하는 데 어려움을 겪게 한다. 본 연구는 학문 정체성 형성 관점에서 오늘날에도 유효하게 적용되고 있는 아리스토텔레스의 지식 및 학문 분류 기준을 사용하여 게임과 게임연구의 성격과 본질을 분석하고, 게임의 정체성에 대한 새로운 관점으로 실천을 제안하고 이를 증명하였다. 여기서 실천은 단순한 활동이 아니라 인간답게 살기 위한 옳고 그름에 관한 것을 성찰하고 이를 실현하는 것을 의미한다. 본 연구결과는 게임연구에 대한 독립적인 학술연구분류 방법과 코드를 개발하는 데 활용될 수 있다. 또한, 본 연구에서 제안된 실천은 도덕과 윤리가 가장 우선시 되는 개념이기 때문에, 현재 게임의 가장 큰 사회적 문제점인 확률형 아이템, 게임 과몰입을 유도하는 것과 같은 비윤리적인 게임시스템과 게임 활동을 퇴출하거나 규제하는데 이론적 기반과 실행 전략을 제공할 것을 기대할 수 있다.

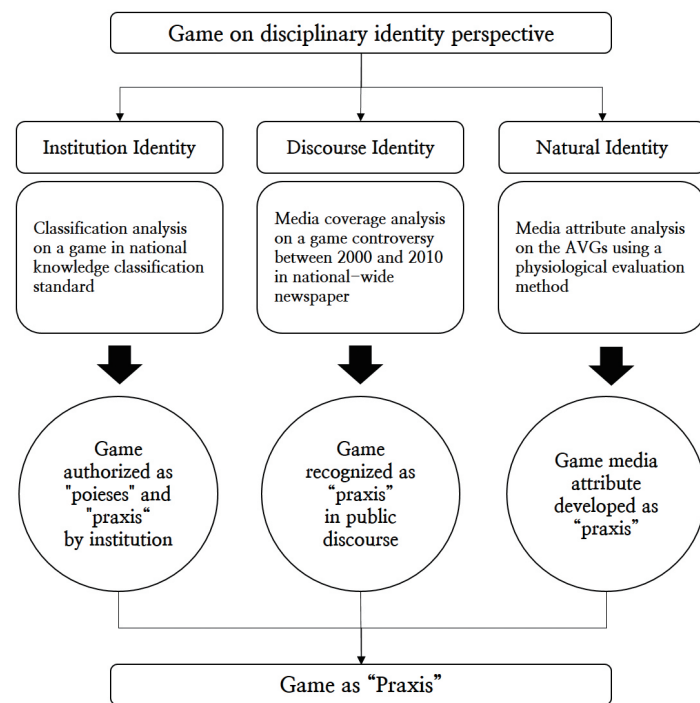


그림 1. 연구 모형 및 결과

[논문] • E. Leem*, T. Woo, "Before Shutdown: Moral Panics over Digital Games and Harmful Effects during 2000–2010 in Korea Daily Newspaper Coverage", Games and Culture, Under Review [2017 IF = 1.500]

• E. Leem, T. Woo, "A Comparison of Heart Rate between Reflective and Reflexive Game Mechanics on Active Video Games", Games for Health Journal, Under Review, [2017 IF = 1.876]

2018년 KAIST 10대 우수 성과

01. 리드버그원자 양자시뮬레이터 개발
02. 상온에서 가능한 탄소-수소 결합촉매반응
03. DNA 사이의 상호작용에서 막대모양 이온의 역할 규명
04. 자원의 탐색 및 획득을 조절하는 신경회로 발견 및 조절
05. 뇌종양의 원인 규명과 새로운 치료법 제시
06. 시공간 경계를 이용한 빛의 선행 주파수 변환 기술 개발
07. 상용화 가능한 투명 유연 포스 터치 센서 개발
08. 반도체 웨이퍼 내 혼합된 형태의 결합 패턴 탐지 및 분류 방법 개발
09. 프로그램이 가능한 스핀기반 로직소자 기술 개발
10. 탄소나노튜브 기반의 초소형 X-선 튜브 및 이를 이용한 근접 암치료장비 개발

2018년 KAIST 주요 연구성과

- IT** - 01. 인공지능 기반의 대도시 교통 예측 및 신호제어 기술
 02. "에어 스캐폴딩"을 활용한 쾌속 3D 스케칭 기술
 03. 시간적 컨볼루션 특징 수집을 통한 비디오 디캡싱
 04. 비디오 게임 데이터를 활용한 딥러닝기반 차량충돌예측시스템
 05. 머신러닝을 이용한 반도체 리소그래피 해상도 향상 기술
 06. 의류 디스플레이 구현을 위한 섬유형 유기 발광 다이오드 개발
 07. 차량용 독립음향공간 형성 기술
 08. 근거리 보안 통신을 위한 부호개발
 09. 딥러닝 기반의 비디오 스트리밍 기술
 10. 휴대용 카메라를 이용한 3차원 물체의 표면반사함수 측정 기술 개발
 11. 글로벌 실내위치인식 시스템을 위한 무선신호 수집위치 라벨링 AI 기법
 12. 컴퓨터 수치해석학: 연속 데이터 처리 알고리즘의 기반
 13. 자율 공중 센서 네트워크를 이용한 정보 획득 최적화 기술

- BT** - 14. 딥러닝을 통한 동맥스핀표지 MRI 개선 기법
 15. 여성의 자폐 발병률이 낮은 원인에 대한 가설 제시
 16. 난치성 유전질환인 섬모병증 치료제 후보 발굴
 17. 방관자 면역세포의 인체 손상 원리 발견
 18. 딥러닝 기술을 이용한 약물-약물 및 약물-음식 상호작용 예측
 19. 개미산 및 이산화탄소로부터 유용화합물을 생산하는 대장균 개발
 20. 미생물 발효에 의한 햄의 세포외 분비 생산
 21. 재조합 대장균을 이용한 다양한 나노재료의 생물학적 합성기술 개발

- NT** - 22. 폴리스티렌(Polystyrene) 구슬의 자기 조립(self-assembly) 현상을 이용한 실리콘 기반 고성능 수소센서 개발
 23. 금속-유전체 다층나노구조 간 근접장 복사열전달량 제어기술 개발
 24. 그래핀산화물 액정기반 웨어러블 응용소자 개발
 25. 투명 플렉서블 디스플레이 기판용 소재
 26. 포스트-이보가 알칼로이드의 합성
 27. 양자점 광전변환소자를 활용한 무선충전 시스템 개발

- ET** - 28. 단일 니켈 중심에서의 일산화탄소 및 이산화탄소 활성화 연구
 29. 천연 가스 하이드레이트의 심해 점토질 퇴적층 부존원리 규명
 30. 잠항능력 극대화를 위한 디젤-과산화수소 공기불요추진체계 기술 개발

- Others** - 31. 복합물질에서의 응력집중현상에 대한 수학적 분석
 32. 초공동(supercavitation)을 이용한 수중 운동체의 항력 감소 기술 개발
 33. 실천으로서 게임의 정체성 확립 연구

KAIST

COMPETITIVE EDGE

국가 경쟁력 강화를 위한 교육개혁 선도

교육선진화를 추진하여 국가 발전을 선도하는 인재 양성 및 배출
교원 연구 활동을 확장 지원하여 세계 일류 수준의 학문적 수월성 성취
국제화에 부응한 교과 과정 재편성

연구 활성화 및 효율성 제고

기초 분야의 연구 기반 강화
대학원 교육과 연계
복합 기술 개발을 위한 산·학·연 협동 강화
IT·NT·BT 등 학제 간 복합연구 수행
중장기 연구 과제 수행 활성화

산학협동을 통한 4차 산업혁명 대응 국가경쟁력 강화

신기술 창업 지원을 통한 벤처의 산실 역할
산업체 기술 지도 및 기술 지원

