KAIST

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

KAIST 2021 ANNUAL R&D REPORT

2020년을 빛낸 연구성과

KAIST

2021 KAIST

ANNUAL R&D REPORT

1971 — 2021

INNOVERSARY 1971 KAIST 2021

KAIST

2021 KAIST

ANNUAL
R&D REPORT

Global Value-Creative Leading University

CONTENTS

GLOBAL VALUE-CREATIVE WORLD-LEADING UNIVERSITY

세계를 선도하는 과학기술의 중심,
바로 '창의와 도전' 속의 KAIST입니다.

우리는 '새로운 생각'을 멈추지 않습니다.
'새로운 생각'이 '더 많은 가능성'을 만듭니다.

상상 그 이상의 아이디어를
멈추지 않는 열정과 도전 정신으로 세상을 바꾸는
가장 혁신적인 힘이 될 것입니다.

WORLD CLASS SCIENCE AND TECHNOLOGY UNIVERSITY

쉼없이 달려온 50년, 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

KAIST IN KOREA

한국 속의 KAIST

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

KAIST IN THE WORLD

세계 속의 KAIST

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

THE WORLD IN KAIST

KAIST 속의 세계

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

발간사 | Message from the President

올해 개교 50주년을 맞은 KAIST는 그동안 1만 4,500여 명의 박사를 포함해 7만여 명의 졸업생을 배출했고, 세계 최고 수준의 대학으로 성장하며 대한민국의 자부심이 되었습니다. “KAIST가 대한민국의 미래다”라는 평가는 그 소중한 50년의 역사를 말해줍니다.

새로운 50년을 시작하는 지금, 우리의 발걸음은 세계와 인류를 향해 있습니다. 우리는 창의, 도전, 배려의 정신 위에 질문(Question)하는 인재를 키우는 교육 혁신을 비롯해 연구(Advanced research) 혁신, 국제화(Internationalization) 혁신, 기술사업화(Start-up) 혁신, 대국민 신뢰(Trust) 제고 등으로 대변되는 ‘KAIST 신문화 전략, QAIST’를 추진하며 ‘글로벌 가치창출 대학’의 비전을 성취하고자 합니다.

특히, 연구 혁신을 통해 남이 정의해 놓은 문제의 답을 찾는 HOW 연구에서 무엇을 연구할지 찾는 WHAT 연구로 전환하며 세계 10위권 대학으로 도약할 것입니다.

지난해 코로나19 펜데믹 속에서 KAIST는 ‘코로나19대응 과학기술 뉴딜사업단’을 구성하고 이동형 음압병동을 비롯해 한국형 방역패키지 기술을 개발해 K-방역의 창의성을 보여주었습니다. 또한, ‘2020 사이배슬론 국제대회’에서 우승을 차지하며 국민들에게 자신감을 주었을 뿐 아니라 과학기술 혁신의 선두에 서서 학계와 산업현장 곳곳에 창의적인 에너지를 불어넣었습니다.

「2021 KAIST R&D Annual Report」에는 2020년 한 해 동안 KAIST가 일구어낸 대표적인 연구혁신 성과들을 담았습니다. 본 보고서를 통해 연구자들은 새로운 영감을 얻고, 학생들은 과학기술 분야에 더 많은 관심을 가지고 더욱 큰 꿈을 키워갈 수 있길 바랍니다.

‘4차 산업혁명’과 ‘코로나19’로 촉발된 대변혁의 시대, KAIST는 변화의 중심에서 국가와 인류, 지속가능한 지구를 위해 끊임없이 고민하며 새롭고 희망찬 미래를 만들고, 세계 유일무이의 독특한 빛깔을 가진 대학으로 성장해나갈 것입니다.

여러분의 많은 관심과 성원을 부탁드립니다.

감사합니다.

2021년 4월

KAIST 총장 **이 광 형**

비전 2031 KAIST VISION 2031

앞선 도전으로 새로운 가능성을 발견합니다.
KAIST의 꿈이 인류를 위한 가치를 만들어 냅니다.

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

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

사회적 가치 창출 장의 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

인류와 국가의 난제 해결 연구
- 지속가능한 연구제도 혁신
- 창의적/도전적 연구지원혁신
- 글로벌 선도 융합, 협업 연구그룹 육성

기술사업화 혁신

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

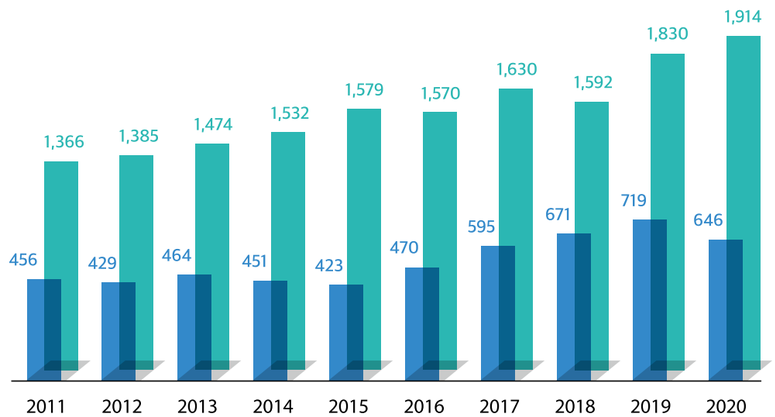
국제화혁신

World Bridge KAIST by 2031
- 글로벌 캠퍼스
- 해외 국제 캠퍼스
- 카이스트 주도 국제연구
- 카이스트 발전모델 제 3세계 확산

예산 및 지원 현황 RESEARCH & DEVELOPMENT BUDGET

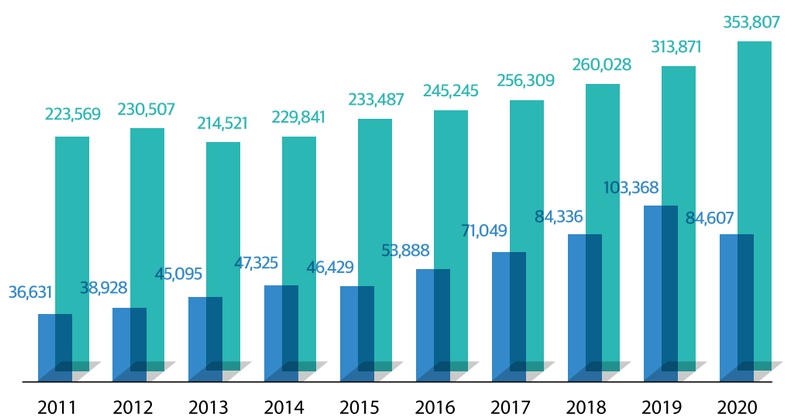
최근 10년간 연구실적(과제수)

● 정부주도
● 일반수탁
(단위 : 건)



최근 10년간 연구실적(연구비)

● 정부주도
● 일반수탁
(단위 : 백만원)

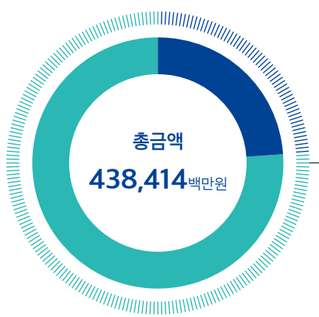


KAIST는 한국 최고의 국가 연구개발 기관으로서
다양한 과학기술 R&D 사업을 추진하고 있습니다.

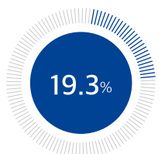
6T 연관 비중별 구성비율

정보기술	생명공학기술	나노기술	우주항공기술	환경기술	문화기술	기타
Information Technology	Bio Technology	Nano Technology	Space Technology	Environmental Technology	Cultural Technology	Others
32.2%	18.4%	14.2%	6.5%	6.8%	1.3%	20.7%

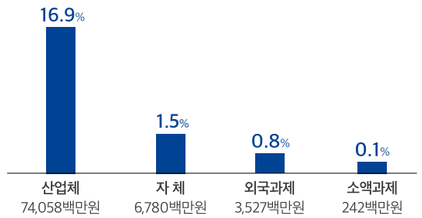
연구 계약금액 구성비



| 민간출연 연구비 구성비율 |

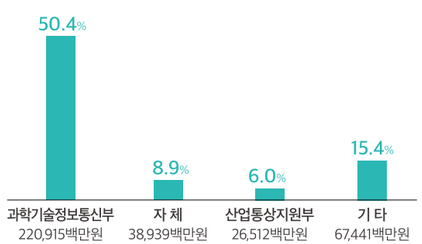


84,607백만원



| 정부출연 연구비 구성비율 |

353,807백만원

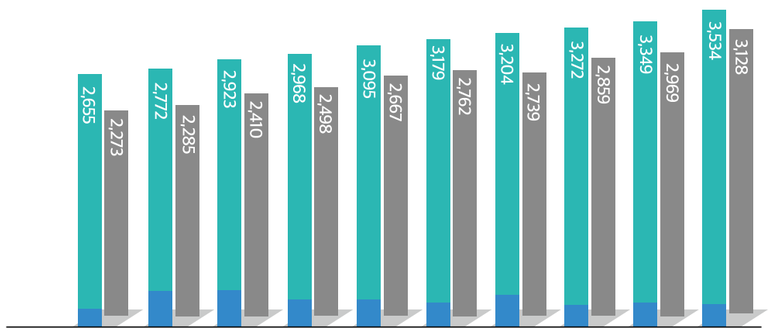


연구성과 통계자료 RESEARCH OUTCOMES

최근 10년간 논문수

- 국외
- 국내
- SCI

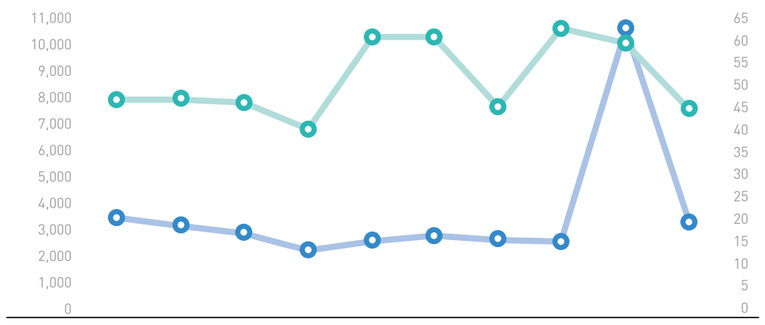
(단위 : 건)



	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
국외	2,441	2,445	2,595	2,657	2,785	2,913	2,895	3,024	3,067	3,258
국내	214	327	328	311	310	266	309	248	282	276

최근 10년간 기술이전 계약실적

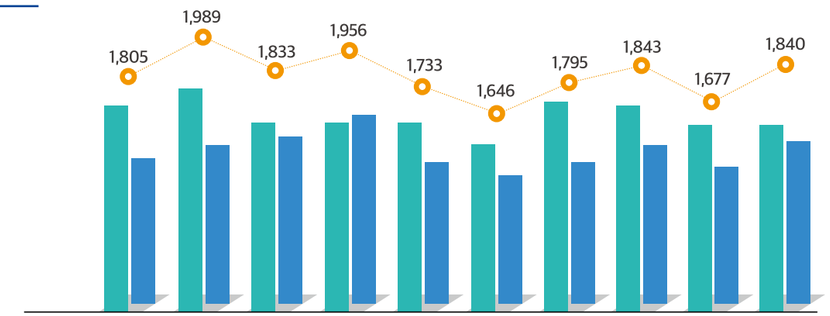
- 계약건수(단위 : 건)
- 계약금액(단위 : 백만원)



	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
계약건수	47	48	46	40	61	61	45	63	58	43
계약금액	3,857	3,056	2,790	2,051	2,615	2,701	2,683	2,595	10,183	3,382

최근 10년간 국내 특허실적

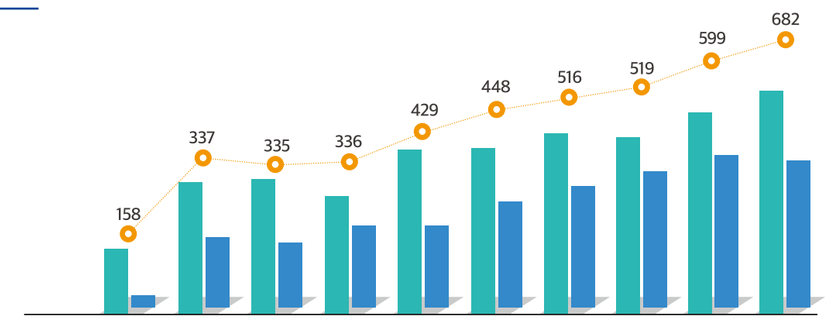
- 출원건수
- 등록건수
- 총계



	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
출원건수	1,059	1,139	939	947	1,042	1,009	1,073	1,070	993	1,044
등록건수	746	850	894	1,009	691	637	722	773	684	796

최근 10년간 국외 특허실적

- 출원건수
- 등록건수
- 총계



	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
출원건수	114	242	244	230	321	327	360	350	416	504
등록건수	44	95	91	106	108	121	156	169	183	178

KAIST'S TOP 10 RESEARCH ACHIEVEMENTS OF 2020

2020년 10대 우수성과

KAIST는 2021년 QS 아시아 대학 순위 12위
국내 대학 랭킹 2위를 기록하였습니다.
KAIST의 교수와 연구진들은 세계 속에
한국 과학기술의 저력을 알려왔습니다.
세계 유수의 학술지에 게재된 2020년을 빛낸
KAIST의 10대 연구 성과를 소개합니다.

TOP 10 RESEARCH ACHIEVEMENTS

희토류 - 백금 합금 나노입자 촉매 연구

Rare-earth-platinum alloy nanoparticles for catalysis

소속학과 화학과 연구책임자 유룡 홈페이지 http://rryoo.kaist.ac.kr

금속 나노 촉매는 화학 공정에 핵심 요소이다. 특히 2가지 이상의 금속으로 이루어진 합금 나노입자를 합성하여 촉매의 특성을 조절하는 것이 대단히 중요하다. 그러나 지금까지 희토류 원소는 화학 반응 포텐셜이 낮기 때문에 금속 촉매 입자로 만드는 것이 어려웠다. 유룡 교수의 연구진은 메조다공성 제올라이트의 표면을 이용하여 희토류 금속 원소를 단원자 상태로 분산시키는 방법을 창안하였다. 이에 따라 희토류 원소의 화학 포텐셜을 증가시킬 수 있게 되어 희토류-백금 합금 나노입자를 합성할 수 있었다. 이 합금 입자는 프로판에서 수소를 떼어 내서 프로필렌을 합성하는 석유화학 반응에서 대단히 우수한 촉매 특성을 나타냈다. 유룡 교수 연구진은 이처럼 새로운 개념의 획기적 발전을 이룩함으로써, 앞으로 불균일계 촉매 분야의 기초 연구와 응용성 개척에 크게 기여할 것으로 전망된다.

1. 연구배경

카이스트 유룡 교수 연구진은 최근 20년 동안에 메조다공성 물질의 합성 연구를 수행하였으며, 카이스트의 영문 명칭을 따라서 명명한 CMK series 탄소와 메조 다공성 제올라이트 등의 새로운 물질을 합성하여 네이쳐지에 5편과 사이언스지에 1편의 논문을 발표하였다. 이번에 유룡 교수가 정년 퇴임을 앞 둔 마지막 학기에 제1저자 및 교신 저자로 네이쳐지에 발표한 연구는 "희토류-백금 합금 나노입자 촉매"로서, 지금까지 합성 연구에 주력하였던 메조 다공성 제올라이트 물질의 연구를 표면 화학적 반응 특성 탐구 방향으로 확장하면서 새롭게 발견한 현상(즉, 희토류 원소를 단원자 상태로 표면에 분산)을 적용하여 촉매 합성 분야의 발전 가능성을 탐색한 것이다. 특히 카이스트에서 개척한 메조다공성 제올라이트를 프로판 탈수소화 반응 촉매로 응용할 수 있는 가능성을 열게 되었다. 이 반응은 셰일가스와 천연가스에 들어 있는 프로판을 이용하는 반응으로서 현재 석유화학 분야에서 가장 중요한 토픽이다.

2. 연구내용

희토류 원소는 낮은 화학 반응 포텐셜로 인해 환원이 어려워서 금속 나노입자를 만들거나 다른 원소와의 합금 나노입자를 만들기가 어렵다. 유룡 교수 연구진은 메조다공성 제올라이트의 표면 특성을 조절하여 희토류 원소를 제올라이트 표면에 단원자로 고르게 분산시키는데 성공하였다. 단원자로 분산된 희토류는 기존의 희토류 산화물에 비교했을 때 활성화되어 있어서 훨씬 쉽게 환원될 수 있었다. 이와 같이 단원자로 분산된 희토류를 이용하여, 기존에는 불가능하다고 여겨졌던 희토류 금속원자들(La, Ce, Y)과 백금간의 인터메탈릭 컴파운드 나노입자 형성에 성공할 수 있었다. 이렇게 얻어진 Pt-La, Pt-Y, 그리고 Pt-Ce 나노입자들은 그림 1a의 원자분해능 STEM 사진에서 볼수 있듯이 초격자를 가지는 L12 구조를 가지는 인터메탈릭 컴파운드였다. 이러한 방법으로 만들어진 희토류-백금 나노입자는 프로판 탈수소화 반응에서 우수한 촉매 활성 및 안정성을 보였다. 그림 1b와 1c의 결과를 보면, 희토류-백금 촉매들의 활성은 적게는 7일에서 길게는 20일 동안 지속 가능하였다. 이는 상용촉매인 알루미나에 담지된 Pt-Sn 촉매의 수명에 비해 수배에서 수십배 증진된 것이다.

3. 기대효과

본 연구를 통해 발견한 원자적 합금과정 원리는 비단 백금-희토류간 뿐만 아니라 일반적인 백금 전이금속 간의 경우에도 특이 성질을 갖는 합금을 형성하는데 이용할 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 프로판 탈수소화 반응뿐만 아니라 산업적으로 중요한 여러 화학 반응의 촉매를 설계하는데 적용할 수 있을 것으로 예상한다.

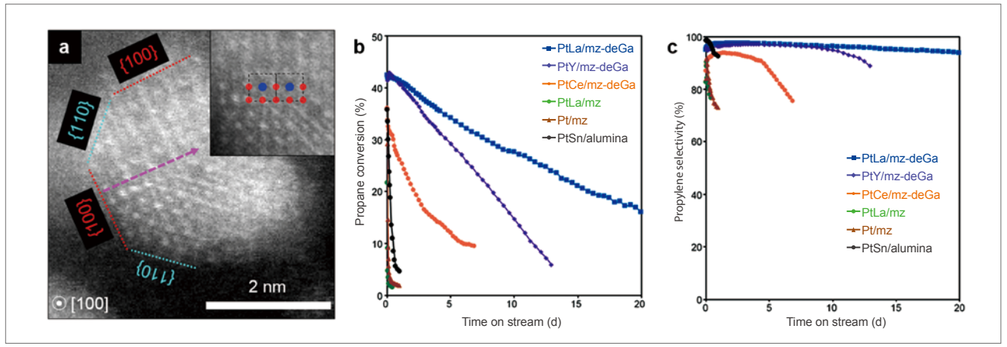


그림 1. (a) 메조다공성 제올라이트에 담지된 L12 구조를 가지는 Pt3Y 인터메탈릭 컴파운드 합금 나노입자의 원자분해능 STEM 사진. 다양한 백금 기반 촉매의 프로판 탈수소화 반응에서의 시간에 따른 (b) 프로판 전환율 (propane conversion) 과 (c) 프로필렌 선택도 (propylene selectivity).

연 구 성 과 **[논문]** R. Ryoo,* J. Kim, C. Jo, S. W. Han, J.-C. Kim, H. Park, J. Han, H. S. Shin, and J. W. Shin, "Rare-earth-platinum alloy nanoparticles in mesoporous zeolite for catalysis", Nature 585, 221-224 (2020) [2019 Impact Factor = 42.778].
[특허] 유룡, 김재헌, 조창범, 김정철, 국내 및 PCT 특허 출원 중.
[홍보] KAIST 유룡 교수, 백금-희토류 합금 나노촉매 개발, 연합뉴스, 2020년 9월 10일
카이스트, 셰일가스서 프로필렌 만드는 기술 개발, 조선비즈, 2020년 9월 10일

연구비 지원 **[기관고유과제]** 나노물질 설계 및 합성 (과제코드: IBS-R004-D1-2020-a00)

TOP 10 RESEARCH ACHIEVEMENTS

분자 내 모든 원자들이 움직이는 위치를 실시간 관측

Tracking the movements of all atoms in a molecule

소속학과 화학과 연구책임자 이효철 홈페이지 http://time.kaist.ac.kr

화학 반응에 대한 기초 연구를 위해 반응 좌표에서의 분자동역학을 고려하는 경우가 많다. 하지만, 에너지 표면상의 반응 좌표는 주로 계산이나 상상에 의해 제안되어 왔고, 이를 실험적으로 직접 관측하는 것은 매우 어려운 과제이다. 실제로 반응 중인 분자 내의 모든 원자의 위치를 추적하여 반응 좌표를 밝혀내는 일은 매우 단순한 삼원자분자에 대해서도 실현된 바가 없다. 본 연구에서는 펨토초 엑스선 회절법을 통해 금 삼합체의 화학결합 형성 반응 동안의 금 원자의 움직임을 실시간으로 추적하였다. 금 원자의 운동을 추적한 결과, 반응 시작 후 처음 35펨토초 내에 첫 번째 공유 결합이 형성되고, 그 이후 360펨토초 내에 두 번째 공유 결합이 형성된다는 것을 밝혀낼 수 있었다. 펨토초 엑스선 회절법을 통해 분자 내의 원자의 움직임을 실시간으로 추적함으로써 많은 화학 반응과 관련된 원자 운동을 추적할 수 있을 것으로 기대한다.

1. 연구배경

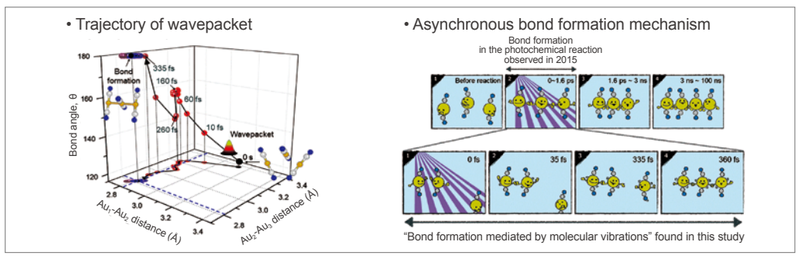
물질의 특성을 결정짓는 기본 단위는 분자이고 분자를 이루는 기본 단위는 원자라고 할 수 있다. 즉 이런 원자들이 화학결합을 통해 뭉쳐져 있는 것이 분자이다. 단백질과 같은 분자는 수천 개의 원자로 이루어져 있지만 이러한 원자들이 실제로 어떻게 움직이고 있는지를 밝히는 것은 겨우 3개의 원자로 이루어져 있는 극히 단순한 분자의 경우에 대해서도 직접적으로 관찰한 경우가 없었다. 예를 들어 3개의 원자로 이루어진 분자의 경우 두 개의 화학결합을 가지는데 이 두 개의 화학결합이 동시에 형성되는지 아니면 하나씩 차례대로 형성되는지와 같은 기초적인 질문에 대한 답도 사실상 실험적으로 관측하고 규명하는 것이 쉽지 않다. 그 이유는 이러한 원자들의 움직임이 매우 빠르고 원자의 크기가 작기에 이것을 실시간으로 포착하는 것이 쉽지 않기 때문이다. 이러한 기초적인 질문에 대한 답을 찾기 위해 평소에는 가까운 곳에 흩어져 있다가 레이저 빛을 쏘아주면 반응하여 화학적으로 결합하는 성질이 있는 세 개의 금 원자들이 모여 있는 금 삼합체(gold trimer)를 실험모델로 삼아 금 삼합체 내의 화학 결합이 생성되기 이전의 분자 내의 모든 원자의 움직임을 실시간으로 관측함으로써 반응 메커니즘을 구체적으로 밝히는 것을 목표로 하였다.

2. 연구내용

원자의 움직임은 시간적으로는 펨토초(1천조분 1초) 수준으로 그 속도가 매우 빠르고, 공간적으로는 옹스트롬(100억분의 1미터) 수준으로 이동량이 매우 작기 때문에 원자의 움직임을 실시간으로 포착하는 것은 결코 쉬운 일이 아니다. 이 고난도 과제를 풀기 위해 PAL-XFEL(선형4세대방사광가속기)에서 제공하는 펨토초 엑스선 펄스를 이용한 '펨토초 엑스선 회절법' 실험 기법으로 수용액 내의 금 삼합체 분자의 실시간 삼차원 분자 구조를 분석하였다. 레이저 기술과 엑스선 회절법 기술을 결합한 '펨토초 엑스선 회절법' 실험을 통해 레이저를 조사하여 금 삼합체의 화학결합 형성 반응을 개시하고, 펨토초 엑스선 펄스라는 특수 광원을 이용하여 시간에 따른 금 삼합체 내의 세 개의 금 원자의 실시간 위치 변화를 엑스선 회절 이미지의 분석을 통해 추적한 것이다. 시간에 따른 분자 내의 금 원자의 위치를 실시간으로 추적한 결과, 금 삼합체의 경우에 두 개의 화학결합이 동시에 형성되지 않고 하나의 화학결합이 아주 빠른 속도로 먼저 형성된 후에 나머지 화학결합이 한참 후에야 차례대로 형성되는 것으로 밝혀졌다. 화학결합 형성이 끝난 이후의 원자 움직임 역시 관측하였는데, 금 원자들이 같은 자리에 머무는 것이 아니라 진동 운동을 하게 되는 것을 알아냈다. 화학결합이 형성된 이후의 금 삼합체 분자의 진동 운동은 대칭적으로 거리가 늘어나고 줄어드는 형태의 '대칭 진동 운동'을 따르는 것이 밝혀졌고, 그 진동 운동이 얼마나 빠른지를 나타내는 주기(period) 역시 밝혀낼 수 있었다.

3. 기대효과

본 연구를 통해 실현된 '펨토초 엑스선 회절법을 이용한 반응 경로의 실시간 추적' 방법을 산업적, 공업적 가치를 갖는 다양한 유기, 무기 촉매 반응들과 수용액 상의 단백질의 반응을 위한 연구에까지 확장시킬 계획이다. 기존의 연구들이 바닥상태나 반응중간체와 같은 평형 혹은 준평형상태에 있는 분자에 대한 연구에 집중되어 있던 것과 비교하여 본 연구는 획기적으로 향상된 시간, 공간분해능을 바탕으로 평형 상태들 사이의 비평형 전이 과정을 관측하는 데 성공한 것으로 다양한 반응에서의 전이 상태(transition state)에 대한 정보를 제공하고 실제 반응 경로를 특정 짓는 것이 가능하다. 이에 따라 다양한 반응의 메커니즘을 명확히 규명하고 반응의 효율을 극대화시키기 위한 전략을 세우기 위한 핵심 정보를 제공할 수 있다. 유기, 무기 촉매 반응에 대한 적용을 통해 산업, 공업적으로 사용되고 있는 다양한 반응의 효율을 극대화시키기 위한 정보를 알아낼 수 있다. 또한 단백질이 관여하는 체내의 다양한 반응에의 적용을 통해 반응 메커니즘을 정확히 이해할 수 있다. 이를 바탕으로 반응의 제어는 물론이고, 질병 치료, 신약 개발에 필요한 기초 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.



참고 그림.
펨토초 엑스선 회절법 실험을 통해 반응의 개시 이후의 시간별 엑스선 산란 이미지를 얻고, 이를 분석하여 분자 내 모든 원자의 움직임을 결정하여 반응 메커니즘을 규명한다.

연 구 성 과 [논문] "Mapping the emergence of molecular vibrations mediating bond formation", Nature, 582, 520-524 (2020) [2019 Impact Factor = 42.778]

연구비 지원 기초과학연구원 (과제명: 나노구조 물질의 합성 및 화학반응 메커니즘 연구)

TOP 10 RESEARCH ACHIEVEMENTS

별아교세포의 시냅스 제거에 따른 기억력 유지 기전 규명

Astrocytes phagocytose adult hippocampal synapses for circuit homeostasis

소속학과 생명과학과 연구책임자 정원석 홈페이지 https://www.kaistglia.org

성인 해마에서는 학습 및 기억 형성 중에 기존의 시냅스는 사라지고 새로운 시냅스가 생기는 시냅스 재구성이 일어난다. 그러나 시냅스 제거의 기전과 생물학적 의미는 거의 알려지지 않았다. 이에 본 연구진은 신경교세포 중 가장 많은 별아교세포가 MEGF10 수용체를 통해 해마의 흥분성 시냅스를 지속적으로 제거함으로써 회로의 항상성이 유지된다는 사실을 증명하였다. 새로 개발한 바이러스 기반 시냅스 제거 리포터를 이용하여, 기존의 방법으로는 관찰할 수 없었던 별아교세포가 성인 해마에서 신경세포 활성도에 따라 불필요한 시냅스 연결을 지속적으로 제거한다는 사실을 밝혔다. 또한 해마에 존재하는 별아교세포의 포식작용을 선택적으로 억제한 결과, 비정상적인 시냅스의 연결이 현저하게 증가하여 정상적인 해마 회로의 가소성과 기억 형성을 방해한다는 것을 처음으로 관찰하였다. 이번 연구 성과를 통해, 성인 뇌의 흥분성 시냅스가 재구성되는 기전과 해마에서 단기 기억이 저장되었다가 사라질 수 있는 새로운 기전을 제시하였다. 이 기전은 신경 회로가 학습과 기억 및 질병에서 어떻게 변화할 수 있는지에 새로운 패러다임을 제시하며 앞으로 다양한 뇌 연구에 응용될 수 있을 것이라 기대된다.

1. 연구배경

성인 해마에서는 학습 및 기억 형성 중에 기존의 시냅스는 사라지고 새로운 시냅스가 생기는 시냅스 재구성이 일어난다. 그러나 어떻게 성인 뇌에서 시냅스가 사라지고 이러한 시냅스 제거가 학습과 기억 과정 중에 어떠한 역할을 수행하는지는 여전히 알려져 있지 않았다. 이에 신경교세포 중 가장 숫자가 많은 별아교세포가 발생 시기 때 시냅스를 먹어서 없앤다는 본 연구팀의 선행 연구 결과에 착안하여, 성체 뇌에서도 별아교세포가 불필요한 시냅스를 끊임없이 제거함으로써 학습 및 기억에 중요한 해마 내 흥분성 시냅스 및 회로가 유지될 것이라는 가설을 세우고 실험을 시작하게 되었다.

2. 연구내용

본 연구팀은 시냅스에 산성화 감지가 가능한 형광단백질 조합 (mCherry-eGFP)으로 구성된 바이러스 기반 시냅스 제거 리포터를 새로 개발하였다. mCherry와 eGFP는 일반적인 중성 pH 조건에서 원래의 형광 강도를 유지하지만, 세포 속 소화기관 같은 산성 환경에서는 eGFP는 빠르게 분해되어 신호가 사라지고 mCherry는 천천히 분해되어 신호가 유지된다. 이러한 원리를 활용하여, 연구팀은 mCherry-eGFP를 바이러스를 통해 흥분성 및 억제성 시냅스에 각각 발현시켰고 이후 mCherry-eGFP로 표시된 시냅스가 mCherry-단독 신호로 관찰됨을 확인하였다 (그림 1)

연구팀은 새로 개발한 방법을 이용하여, 기존의 방법으로는 관찰할 수 없었던 현상인, 별아교세포가 성인 해마에서 시냅스를 지속적으로 제거하며 특히 흥분성 시냅스를 더 많이 제거 하고 있음을 발견하였다(그림 2).

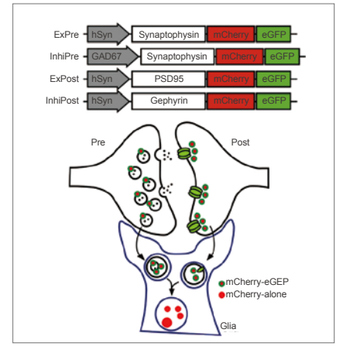


그림 1. 시냅스 제거 리포트

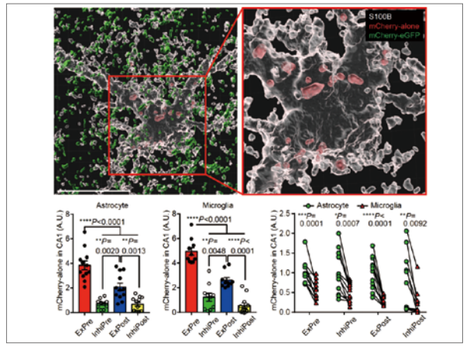


그림 2. 별아교세포의 주도적인 시냅스 제거 기능

놀랍게도, 연구진은 뇌의 면역세포라 불리는 미세아교세포보다 별아교세포가 주도적으로 정상 해마의 흥분성 시냅스를 제거하고 있음을 확인하여, 미세아교세포가 시냅스를 제거하는 주된 세포라는 기존의 학설을 뒤집었다. 미세아교세포를 제거하였을 때는 시냅스의 수가 변하지 않았지만, 해마의 별아교세포가 시냅스를 먹지 못하도록 억제했을때, 비정상적인 시냅스가 과도하게 급증가하고 정상적인 해마 뇌회로의 기능과 기억형성이 저해 된다는 것을 처음으로 관찰한 것이다 (그림 2). 뿐만 아니라, 생쥐의 별아교세포의 시냅스 포식 작용을 저해하면, 해마 내 시냅스 연결 가소성과 기억 형성에 문제가 생김을 발견하였다. 이는 불필요한 시냅스들을 별아교세포가 제거하지 않는다면 정상적인 학습과 기억 능력이 유지될 수 없다는 것을 의미한다.

3. 기대효과

이번 연구 성과를 통해, 별아교세포에 의한 성인 뇌의 흥분성 시냅스 재구성이 정상적 신경회로망 유지 및 기억 형성에 필수적인 기전이라 제시하였다. 이 기전은 신경 회로가 학습과 기억 및 질병에서 어떻게 변화할 수 있는지에 대한 새로운 패러다임을 제시하며, 향후 뇌기능 및 관련 신경 회로의 항상성 유지에 관한 다양한 연구들에 활용될 수 있을 것으로 기대되고 있다. 또한, 비정상적인 수준의 시냅스 수 변화는 자폐 스펙트럼 장애, 조현병, 전 측두엽 치매 및 여러 형태의 발작과 같은 다양한 신경질환의 유병률과 연관성이 높기 때문에, 시냅스 수를 다시 정상으로 회복하기 위해 별아교세포가 시냅스를 먹는 현상을 조절하는 것이 이들 뇌 질환을 치료하는 새로운 전략이 될 수 있을 것으로 생각된다.

연 구 성 과 **[논문]** Lee JH*, Kim JY*, Noh S, Lee H, Lee SY, Mun JY, Park HJ*, Chun WS*. Astrocytes phagocytose adult hippocampal synapses for circuit homeostasis, Nature (Article), 2020.12.23. Online ahead of print (* Equally contributed).
[특허] 신경교세포에 의한 식작용 모니터링용 재조합 리포터 벡터 구조체 및 이의 용도 (2020. 10. 21. 출원)
[홍보] 외국미디어 12건 이상, 국내 미디어 50건 이상 보도

연구비 지원 삼성미래기술육성사업 (SSTF-BA1701-18)
뇌과학원천기술개발사업 (2016M3C7A1905391)

TOP 10 RESEARCH ACHIEVEMENTS

세계최고 보행속도와 기능성을 갖는 하반신마비 장애인용 웨어러블 로봇

Gold and Bronze Medalists in Cybathlon 2020:
The Fastest and the Most Versatile Wearable Robot in the World

소속학과 기계공학과 연구책임자 공경철 홈페이지 http://robotics.kaist.ac.kr

공경철 교수가 이끄는 팀 엔젤로보틱스가 11월 13일 우리 대학 본원 캠퍼스에서 열린 사이배슬론(Cybathlon) 2020 국제대회에서 압도적인 기량을 선보이며 금메달과 동메달을 석권했습니다. 착용형 외골격 로봇 종목에 출전한 김병욱 선수(47세, 남)는 소파에서 일어나 컵 쌓기 장애물 지그재그 통과하기 험지 걷기 계단 오르내리기 옆 경사로 통과 경사로 및 문 통과하기 등 6개의 임무를 3분 47초 만에 완벽하게 수행하며 금메달을 차지했습니다. 함께 출전한 이주현 선수(20세, 여) 역시 모든 임무를 성공적으로 수행하는데 5분 51초를 기록해 동메달의 주인공이 되었습니다. 은메달은 6개의 미션을 4분 40초 동안 수행한 스위스 팀이 차지했습니다.

1. 연구배경

하반신 마비 장애인은 휠체어 위주의 매우 국한된 활동만 가능하기 때문에 비장애인과 같은 일상생활의 영위가 불가능하다. 이를 돕기 위해 전동형 외골격 로봇을 사용하여 하반신 마비 장애인의 기립 보행을 가능하게 하는 기술은 이미 개발되었지만, 최고 수준의 외골격 로봇도 앉기/서기 및 평지 보행 정도의 간단한 동작들만 수행 가능하며 이마저도 항상 보조자가 수반되어야 했다. 외골격 로봇을 사용해 하반신 마비 장애인의 독립적인 일상생활을 가능케 하기 위해서는 로봇의 하드웨어, 소프트웨어 모두 연구 개발이 필요했다.

2. 연구내용

연구진의 1차 목표는 하반신 마비 장애인의 일상 생활을 위한 외골격 로봇 슈트, 워크온 슈트 (WalkON Suit 4.0)를 개발하고 국제대회 사이배슬론(Cybathlon) 2020에 참가하여 그 성능을 검증받는 것이었다. 외골격 로봇 슈트의 연구 개발은 하드웨어 개발 - 제어 알고리즘 개발 - 학습을 통한 사용자 맞춤형 보행궤적 생성 - 미션궤적 생성 및 훈련 순으로 이루어졌다.
워크온 슈트의 하드웨어는 6 자유도 시스템이다. 양쪽 고/슬관절에는 고 기어비 사이클로이드 감속기를 설계, 작은 부피로 큰 토크를 구현해 냈다. 슬관절에는 추가적으로 구동기 동작범위 끝단에서 추가 토크를 발생시켜주는 장치(Dynamically Optimized Gait Assisting Knee)를 설계하여 한 다리로도 100kg이 넘는 착용자와 로봇의 몸체를 계단 위로 들어올릴 수 있는 강력한 토크를 발생시킬 수 있다. 발목 관절은 선형 구동기에 스프링을 병렬 연결하여 구동하는데 발바닥 굽힘(plantar flexion) 동작에서는 큰 힘을, 발

등 굽힘(dorsi flexion) 동작에서는 빠른 움직임을 구사하는 인간 근육 구조를 모사하여 설계되었다.
제어 알고리즘으로는 일반적인 피드백(feedback) 제어기에 외란관측기(disturbance observer)와 피드포워드(feed forward) 제어를 추가하여 지면 충격과 착용자의 움직임으로 인한 외란에도 강인한 정밀 제어를 구현하였다.
착용자의 동적 특성에 알맞은 인간-최적화 보행궤적을 생성하기 위해 ILHB (Iterative Learning of Human Behavior, 인간행동 반복 학습 알고리즘)을 개발하였다. 지면 접촉 순간을 보행 성능의 새로운 지표로 정의하고, 매 걸음마다 정확한 순간에 보행 주기가 교체될 수 있는 보행 궤적을 목표로 상체 기울임 각도를 보정하는 알고리즘을 제시하였다. 이를 통해, 착용자가 로봇을 사용하면 20걸음 이내에 편의성과 안전성이 보장되는 착용자 맞춤형 보행궤적을 생성할 수 있었다.
미션 궤적 생성 및 착용자 훈련은 한국과학기술원으로부터 본원 기계공학동 서관 1층 훈련장과 스포츠 컴플렉스 장소를 제공 받아 이루어졌다. 약 1년간의 대회 준비 기간 동안 소파에서 일어나 컵 쌓기 장애물 지그재그 통과하기 험지 걷기 계단 오르내리기 옆 경사로 통과 경사로 및 문 통과하기 등 6가지 장애물을 빠른 속도로 주파하기 위해 로봇의 동작 생성 후 6명의 착용자로부터 피드백 수렴을 반복했다. 이를 통해 일상 생활에서 외골격 로봇을 운용하기 위한 로봇의 궤적을 개발해냄과 동시에 국제대회 사이배슬론 2020에서 외골격 분야 금메달(김병욱 선수)과 동메달(이주현 선수)을 석권하였다. 현재 워크온 슈트 착용자의 보행속도는 0.76m/s로 비장애인의 보행속도와 비슷한 수준이다. 이는 하지 마비 장애인용 외골격 슈트에서는 세계 최고 기록이다.

3. 기대효과

하반신 완전 마비 장애인이 휠체어에서 벗어나 독립적인 일상생활이 가능해진다.

연 구 성 과

[논문] Kyeong-Won Park, Jeongsu Park, Jungsu Choi, and Kyoungchul Kong, "Adaptive Gait Pattern Generation of a Powered Exoskeleton by Iterative Learning of Human Behavior", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Available Online, 2020.
[수상] 국제대회 사이배슬론 2020 외골격 로봇 레이스 금메달
국제대회 사이배슬론 2020 외골격 로봇 레이스 동메달
[홍보] KBS, SBS, JTBC 등 주요 방송사 보도 20여회
중앙일보, 조선일보, 국민일보 등 언론사 보도 200여회

연구비 지원 산업통상자원부 한국산업기술평가관리원, 로봇산업핵심기술개발사업

TOP 10 RESEARCH ACHIEVEMENTS

공정한 기계학습

Fair Machine Learning

소속학과 전기및전자공학부 연구책임자 서창호 홈페이지 http://csuh.kaist.ac.kr

최근 기계학습이 우리 삶에 지대한 영향을 미치면서, 공정한 기계학습 알고리즘의 필요성이 높아지고 있다. 이에 따라 공정한 알고리즘을 얻는 다양한 방법이 제시되고 있는데, 이들은 공정성의 측도를 직접 다루지 않고 대체척도(proxy)를 이용한다는 공통점을 가지고 있다. 하지만 대체척도에 의존하는 방법으로는 최적의 공정성을 달성할 수 없다는 한계가 있다. 본 연구에서는 정보이론의 핵심 개념인 상호의존정보(mutual information)를 이용하여 공정한 알고리즘을 얻을 수 있다는 것을 이론적, 실험적으로 입증했다. 또한, 이를 데이터 오염(data poisoning)에 강건한 모델을 얻는 아이디어로 확장하여 최적의 "예측정확도-공정성 트레이드오프"를 달성했다. 더 나아가 최적의 학습 안정성을 보장하는 커널밀도추정 기반의 새로운 알고리즘을 개발하여 우수한 트레이드오프를 안정적으로 달성하였다. 본 연구결과는 최상위AI국제학회인 ICML 2020과 NeurIPS 2020에 게재되었다. 해당 연구는 공정한 기계학습 모델 개발의 초석을 다지고, 향후 공정하고 정의로운 사회를 이룩하는 데에 크게 이바지할 것으로 기대된다.

1. 연구배경

최근 대출심사, 기업채용 서류심사, 범죄자 가석방 여부 판단 등 우리 삶에 지대한 영향을 미치는 의사결정에 기계학습이 활용되기 시작했다. 이 시점에 미 대법원에서 사용하는 COMPAS 알고리즘과 구글 포토의 이미지 인식 알고리즘 등이 인종 차별 논란을 일으키며 기계학습이 차별을 부추길 수 있다는 우려가 증가하고 있다. 데이터에 내재된 편향성을 기계학습 알고리즘이 그대로 학습할 수 있기 때문이다.

이에 편향된 데이터를 가지고 있더라도 공정한 기계학습 모델을 얻는 방법에 관한 연구가 큰 관심을 받고 있는데, 기존에는 공정성의 측도를 직접 최적화하지 않고 대체척도(proxy)를 이용하는 방법이 성행했다. 그러나 대체척도에 의존하는 방법으로는 최적의 공정성을 달성할 수 없다는 한계가 있다.

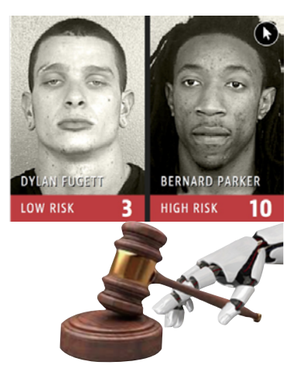


그림 1. (상) 미 대법원에서 사용중인 COMPAS 알고리즘의 범죄자 위험도 예측값; (하) AI가 법정 판결을 내리는 것을 비유한 그림. 언론사 ProPublica는 좌측 그림과 같이 COMPAS 알고리즘이 대체로 백인 범죄자에 대해서는 낮은 위험도 점수를, 흑인 범죄자에 대해서는 높은 위험도 점수를 매긴다는 것을 밝혔다. COMPAS 개발사인 NorthPointe사는 즉시 이에 대한 반박 성명문을 냈으나, 이는 큰 논란으로 이어졌다.

2. 연구내용

본 연구에서는 정보이론의 핵심 개념인 상호의존정보(mutual information)를 이용하여 공정하게 기계를 학습시키는 방법론을 개발했다. 구체적으로, 모델의 예측값과 인종/성별 등 민감한 정보 사이의 상호의존정보를 최소화하여 공정성을 달성할 수 있음을 이론적, 실험적으로 입증했다. 이러한 연구를 바탕으로, [논문 1]에서는 상호의존정보를 이용하여 공정하면서 동시에 데이터 오염(data poisoning)에 강건한 모델을 얻는 방법을 개발했다. 이 연구를 통해 기존 최첨단 알고리즘의 예측정확도-공정성 트레이드오프를 크게 개선할 수 있었다. [논문 2]에서는 기개발한 상호의존정보 기반 방법이 모델을 학습시키기가 어렵다는 점에 착안하여 이를 보완한 커널밀도추정 기반의 새로운 알고리즘을 제안했다. 해당 알고리즘은 다른 알고리즘에 비해 월등히 빠른 연산 속도로 더 좋은 트레이드오프를 달성하였다.

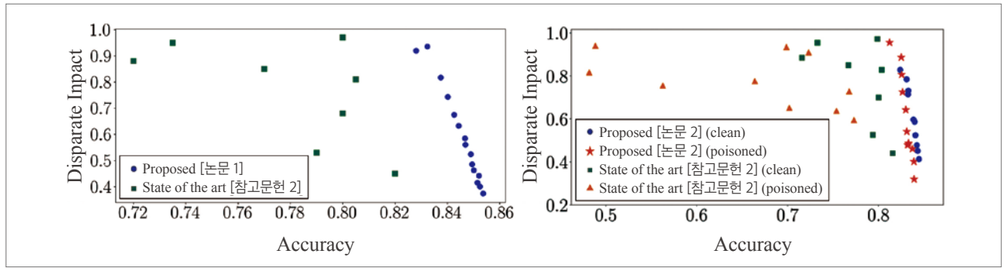


그림 2. (좌) AdultCensus 데이터셋[참고문헌 1]에서 측정한 제안알고리즘 정확도-공정성 트레이드오프; (우) 정상 (clean) 및 오염된 (10% poisoned) 데이터셋에서 측정한 정확도-공정성 트레이드오프. 제안알고리즘은 구글의 최신알고리즘인 Adversarial Debiasing[참고문헌 2]보다 우수한 성능을 달성한다.

3. 기대효과

현재 미 대법원에서 사용 중인 COMPAS 알고리즘은 NorthPointe사가 개발했는데, 우리나라 역시 정부기관에 필요한 각종 알고리즘을 개발할 필요가 있다. 또한, 세계 각국 금융기관의 대출심사 소프트웨어, 민간에서는 채용 서류심사 프로그램 등 다양한 영역에서 공정한 알고리즘을 도입할 필요가 있다. 본 연구는 이러한 시스템에 들어가는 핵심기술로서, 기술 선점 시 향후 큰 경제적 가치를 창출할 것으로 기대된다. 더불어, 이러한 일련의 연구를 통해 정의롭고 공정한 사회를 이룩하는 데에 큰 역할을 할 수 있을 것으로 기대한다.

4. 참고문헌

[1] D. Dua and C. Graff, "UCI machine learning repository", 2017.
[2] B. H. Zhang, B. Lemoine and M. Mitchell, "Mitigating unwanted biases with adversarial learning", AIES, 2018.

연 구 성 과

[논문] Y. Roh, K. Lee, S. Whang and C. Suh, "FR-Train: A mutual information-based approach to fair and robust training", ICML, Aug. 2020 (탑 티어 인공지능 학회).
J. Cho, G. Hwang and C. Suh, "A fair classifier using kernel density estimation", NeurIPS, Dec. 2020 (탑 티어 인공지능 학회).
[특허] "상호의존정보에 기반한 기계학습 수행 방법 및 장치" 출원
"커널밀도추정에 기반한 기계학습 수행 방법 및 장치" 출원
[수상] 2020년 8월 네이버 우수논문상, 미 공군 연구소(AFOSR) grant 2년간 수상
[홍보] 2020년 2월 "Information Theory and Applications Workshop" 초청 강연
2020년 7월 "International Conference on Signal Processing and Communications" 초청 강연

연구비 지원

[해외과제] 미 공군 AOARD, "모델 해석을 통한 시뮬레이터 기반 학습 검증"
[정부과제] 정보통신기획평가원, "인공지능 모델과 학습데이터의 편향성 분석-탐지-완화-제거 지원 프레임워크 개발"

TOP 10 RESEARCH ACHIEVEMENTS

GANPU: 생성적 적대 신경망을 위한 온 디바이스 학습 프로세서

GANPU: An On-Device Training Processor for Generative Adversarial Networks

소속학과 전기및전자공학부 연구책임자 유회준 홈페이지 http://ssl.kaist.ac.kr

생성적 적대 신경망 (Generative Adversarial Network, GAN)의 추론 및 학습을 모바일 기기 상에서 에너지 효율적으로 처리하는 인공지능 반도체에 대한 연구이다. 생성적 적대 신경망은 기존 인공지능과 달리 존재하지 않는 사람의 사진을 생성해내는 등, 새로운 데이터를 생성해낼 수 있다는 점에서 주목을 받는다. 그러나 많은 연산이 필요하고 신경망의 구조가 복잡하여 최적화된 가속기 설계가 어렵다는 문제가 있었다. 본 연구에서는 복잡한 신경망 구조에 맞춰 프로세서 내부 구조를 재정렬 하는 가변형 프로세서 아키텍처와 희소 연산을 효율적으로 처리하는 방식을 제안하였다. 제안된 기술을 통해 기존 연구대비 4.8 배 증가한 에너지 효율을 달성하였으며, 속도와 전력소모가 제한된 모바일 기기 상에서 온 디바이스 AI의 구현을 가능케 하였다.

1. 연구배경

기존의 인공지능 반도체 영역에서 주로 연구된 인공지능 기술인 분류형 모델(Discriminative Model)은 주어진 질문에 대한 답을 하도록 학습된 인공지능 모델로, 물체 인식 및 추적, 음성 인식, 안면 인식 등에 활용된다. 이와 달리 생성적 적대 신경망(Generative Adversarial Network, GAN)은 새로운 이미지를 생성, 재생성 할 수 있어 이미지의 스타일 변환, 영상 합성, 손상된 이미지의 복원 등 광범위한 분야에 활용된다. 동영상에 다른 사람의 얼굴을 입힐 수 있어 큰 이슈가 되었던 딥페이크 (Deepfake) 기술도 GAN을 기반으로 한 기술이다. GAN은 많은 영상, 사진 콘텐츠가 생산되고 소비되는 모바일 기기의 다양한 응용 프로그램에 활용될 가치가 높아 학계뿐만 아니라 산업계에서도 큰 주목을 받고 있다.

하지만 GAN은 기존의 네트워크와는 달리 복수 개의 심층 신경망으로 이루어진 복잡한 구조로, 개별 심층 신경망마다 서로 다른 특성을 보여 가속기의 최적화가 어렵다. 계속되는 디스플레이, 이미지센서의 고해상도화로 요구되는 고해상도 이미지 생성을 위해 기존 AI 모델보다 수십 배 많은 연산량을 요구한다. 따라서 속도와 전력이 제한된 모바일 장치 (스마트폰, 태블릿 등)에서 GAN을 구현하는데 제약이 있으며, 온 디바이스 학습을 구현하는 데는 더 큰 한계가 있다.

2. 연구내용

기존의 연구들은 추론 단계만을 지원하거나 단일 신경망에 한정되어있었지만 GAN과 같은 다중 심층 신경망을 처리할 수 있도록 본 연구에서는 세계최초로 모바일 플랫폼에서 추론 및 학습이 가능한 저전력 인공지능 반도체 GANPU (Generative Adversarial Networks Processing Unit)를 개발하여, 모바일 장치가 스스로 자연스러운 그림을 그릴 수 있는 새로운 인공지능 시대를 열었다.

모바일 기기에서 저전력으로 다중 심층 신경망을 가속하기 위해서는 적응형 워크로드 할당을 통해 다중 신경망에 맞춰 프로세서 아키텍처를 가변적으로 재정렬하는 기술이 제안되었다. 이를 통해 외부 메모리 대역폭, 연산 자원등의 제한된 자원의 효율적 할당을 가능케 한다. 또한, 심층 신경망에는 비선형 활성화 함수로 인해, 데이터에 0이 다량 존재한다. 불필요한 0 연산을 뛰어넘는 프로세서 아키텍처를 설계하여 추론 및 학습 과정에서의 속도와 에너지 효율을 극대화 하였다.

위의 기술을 활용하여 제작된 인공지능 반도체 GANPU는 기존 기술 대비 4.8 배 높은 에너지 효율을 달성하였다. 추가적으로, 본 연구를 통해 설계한 GANPU를 집적하여 모바일 시스템을 구현하였으며, 이를 통해 GAN 응용 기술을 시연하였다. 태블릿 카메라로 찍은 사진을 사용자가 직접 수정할 수 있으며, 사진 상의 얼굴에서 머리, 안경, 눈썹 등 17가지 특징에 대해 추가, 삭제 및 수정사항을 입력하면 GANPU를 통한 연산으로 이 결과를 실시간으로 보여주는 시스템이다. 이것에 더해, 새로운 사용자 데이터가 입력되었을 때 온 디바이스 학습으로 개선된 신경망을 통해 정확한 결과를 도출해낼 수 있다.

응용 기술 시연 영상 - https://www.youtube.com/watch?v=HnNWsgqkEU0

3. 기대효과

세계최초로 하나의 칩에서 추론만이 아니라 학습까지 가능하며, 여러 개의 심층 신경망을 동시에 가속하는 저전력 인공지능 반도체를 개발하여 모바일 기기에서 새로운 인공지능 응용을 가능하게 했다는 점에서 의미가 크다.

또한, 본 연구에서 개발한 인공지능 반도체는 서버로 데이터를 보내지 않고 모바일 장치 내에서 생성적 적대 신경망(GAN)을 스스로 학습할 수 있어 사생활 보호를 가능하게 하며 화면의 스타일 변환, 영상 합성, 손상된 이미지의 복원하는 프로세서라는 점에서 그 활용도가 주목받는다. 이를 통해 모바일 기기가 스스로 자연스럽게 그림을 그리는 새로운 인공지능 시대를 여는 발판이 될 수 있다.

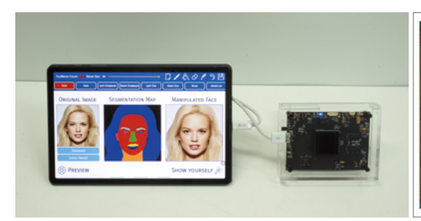


그림 1. setup

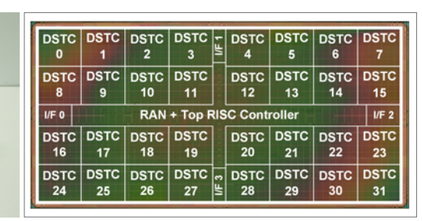


그림 2. 칩사진

연 구 성 과

[논문] S. Kang, D. Han, J. Lee, D. Im, S. Kim, S. Kim, H-J. Yoo, "GANPU: A 135TFLOPS/W Multi-DNN Training Processor for GANs with Speculative Dual-Sparsity Exploitation", 2020 IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC 2020).
S. Kang, D. Han, J. Lee, D. Im, S. Kim, S. Kim, J. Ryu, H-J. Yoo, "GANPU: A Versatile Many-Core Processor for Training GAN on Mobile Devices with Speculative Dual-Sparsity Exploitation", 2020 IEEE Hot Chips Symposium.
[특허] 국내 특허 출원 완료, 미국 특허 출원 완료
[수상] 제 26회 삼성전자 휴먼테크 논문대상 금상 수상
2020 Microsoft Research Asia Fellowship 수상
[홍보] YTN 뉴스 보도, "스스로 그림 그리는 AI 반도체 칩 개발" / 문화일보, 동아사이언스 등 국내 30 여개 언론 보도

TOP 10 RESEARCH ACHIEVEMENTS

종양 후성유전학적 리프로그래밍 기술 개발

Epigenetic Reprogramming of Cancer via Microenvironment Engineering

소속학과 바이오및뇌공학과 연구책임자 김필남 홈페이지 http://pilnamkim.kaist.ac.kr

최근에 암면역치료의 임상적 성공에 힘입어 종양미세환경에 대한 관심과 연구가 증가하고 있으나 종양미세환경의 물리적 요인이 암세포의 악성화 및 치료반응에 어떤 영향을 주는지에 대한 연구는 거의 없었다. 본 연구에서는 인간의 종양미세환경과 유사한 위암실험모델을 개발하고, 이를 이용하여 단단해진 미세환경에 의한 위암세포의 후성유전학적 악성화 메커니즘을 규명하였다. 암을 유발하는 단백질로 잘 알려진 YAP (Yes-associated protein)의 DNA 가 단단해진 조직내에서 후성유전학적 변화인 DNA 탈메틸화가 유도되어 악성화가 촉진됨을 밝혔다. 또한, 단단하게 변성된 미세환경을 다시 물렁한 조직으로 변화할 경우, 악성화된 위암 세포에서 후성유전학적 역전현상이 일어나 악성화가 약화됨을 확인하였다. 본 연구 결과는 치료가 어려운 난치성 미만형 위암의 악성화를 촉진하는 원인을 규명하므로서 새로운 치료 가능성을 제시하였고, 위암 뿐만 아니라 다양한 암종의 유사한 표현형의 암에 대한 치료 확장성에 기여할 것으로 기대한다.

1. 연구배경

대부분의 고형암의 경우에는 암의 진행과정에서 종양조직주변의 세포외기질 (Extracellular Matrix, ECM)의 물리/기계적 특성 변화를 수반하고, 이는 암을 포함한 조직 내의 세포의 성장을 비롯한 생물학적 상태 변화를 일으킬 수 있음이 밝혀지면서, 암세포의 물리/기계적 자극에 대한 연구의중요성이 증대되고 있다. 특히, 이러한 세포-외부환경적 요인은 세포의 가역적 혹은 비가역적인 후성유전학적 변화를 동반 할 수 있으나, 외부환경적 요인의 제어가 불가능 하여, 이와 관련된 연구는 전무하다.

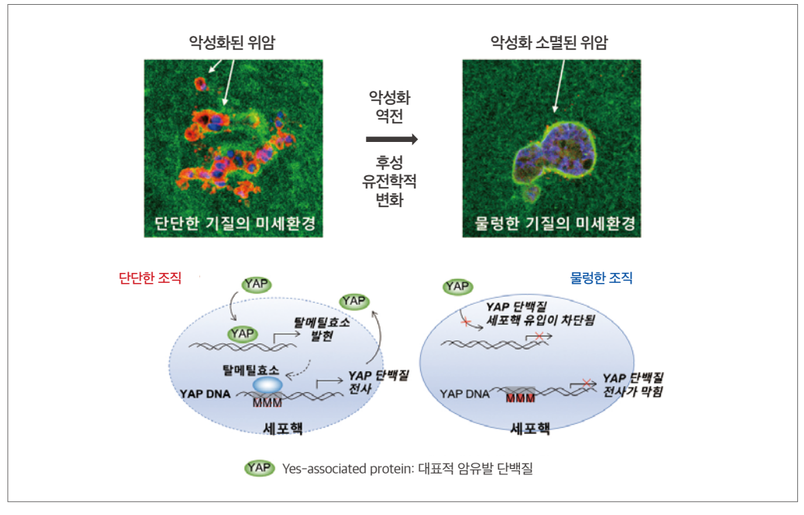
2. 연구내용

본 연구에서는 종양미세환경의 물리/기계적 변화에 의한 암세포의 악성화 기전을 후성유전학적 관점에서의 분석하고 그 메커니즘을 규명하였다. 종양 내 세포외기질물질 (ECM)의 대부분의 구성성분인 콜라겐 단백질을 활용하여 in situ 조직 물성을 변화시킬 수 있는 종양미세환경을 구현하였다. 이러한 시스템을 이용하여 위암세포주를 배양하여 물성 변화에 따른 암화진행과정, 악성화과정, 악성화 소멸과정 등 다양한 병리생태를 실시간 분석하였다. 유전체 분석을 통해서 외부적 환경에 따른 가역적인 특성을 보이는 유전자를 추출하여 분석한 결과 유전자 (DNA)의 메틸레이션을 조절하는 효소들에서 가역적인 변화가 수반됨을 확인 하였다. 이러한 결과를, 공개 DB (The Cancer Genome Atlas, TCGA) 및 공개

메틸레이션 프로파일을 이용해서 단백질을 특정한 결과, 암을 유발하는 단백질로 알려진 YAP (Yes-associated protein) 의 DNA 가 단단해진 조직 내에서 후성 유전학적 변화인 DNA 탈메틸화가 유도되어 악성화가 촉진됨을 확인 하였다. 효소를 이용해 단단하게 변성된 조직의 물성을 바꾸게 되면 악화된 암세포들의 악성이 약화되는 형질역전(Phenotype Reversion)현상이 일어나고, 항암제 내성이 낮아지는 세포로 변화함을 확인하였다. 본 연구를 통해서, 종양미세환경의 변화에 의한 세포의 변화는 유전학적/후성유전적으로 역전되는 현상이 관찰되었고, 이는 종양미세환경 타겟-암의 악성화를 제어하고 치료 할 수 있음을 시사한다.

3. 기대효과

본 연구 결과는 인체와 유사한 종양미세환경을 구현하는 암모델을 제작 할 수 있기 때문에 가능한 연구결과로, 종양미세환경의 후성유전학적 변화를 유발할 수 있는 '암의 물리적 치료' (예시: 초음파를 통한 섬유조직 변성 등) 와 같은 혁신적인 치료법의 개발이 가능할 것임을 시사한다. 이를 통해, 임상적으로 가장 어려운 scirrhous cancer 의 새로운 치료 가능성을 제시하고 있으며, 본 접근 방식을 확장하여, 위암, 뿐만 아니라 다양한 암종의 유사한 표현형의 암에 대한 치료 확장성에 기여할 것으로 기대한다.



연 구 성 과

[논문] M. Jang, J. An, S. W. Oh, J. Y. Lim, J. Kim, J. K. Choi*, J.-H. Cheong*, P. Kim*, "Matrix stiffness epigenetically regulates the oncogenic activation of the Yes-associated protein in gastric cancer", Nature Biomedical Engineering, (2020) [2020 IF: 18.952] [언론보도 14건]
J. Cha, P. Kim*, "Time series assessment of the effects of hypoxic stress on glioma tumorsphere development within engineered microscale niches", Biomaterials (2019) [2019 IF: 10.317]

[수상] 2019 한국 로레알-유네스코 여성과학자상 펠로우십 수상 [한국로레알-유네스코]
2019 한국과학기술 논문우수상 수상 [한국과학기술단체총연합회]

연구비 지원

KAIST 미래형 시스템 헬스케어 연구개발 사업
한국연구재단 기초연구사업인 중견연구자지원사업 및 보건복지부 연구중심병원 R&D 사업

TOP 10 RESEARCH ACHIEVEMENTS

역노화 원천기술 개발

Fundamental Technology Development for Reverse Aging

소속학과 바이오및뇌공학과 연구책임자 조광현 홈페이지 http://sbie.kaist.ac.kr

인간 세포의 노화는 지금까지 비가역적 생명현상으로 여겨졌다. 본 연구에서는 이를 가역화할 수 있는 역노화 원천기술을 세계 최초로 개발하였다. 이를 위해 본 연구자는 인간 진피 섬유아세포의 세포노화 분자 조절 네트워크 모델을 구축하고 시뮬레이션하여 PDK1(3-phosphoinositide-dependent protein kinase 1)을 세포노화 가역화 타겟으로 발굴하였으며, 분자 세포실험 및 노화 인공피부 모델 실험을 통해 인간 진피 섬유아세포에서 PDK1을 억제했을 때 세포노화 표지 인자들이 사라지고 주변 환경에 적절하게 반응하는 정상 세포로서의 기능을 회복한다는 것을 확인하였다. 개발된 원천기술은 피부노화 개선을 포함한 회춘 및 노인성 질환을 치료하기 위한 잠재적 치료전략에 대한 통찰력을 제공하고, 인류의 건강 수명 연장에 기여할 수 있다. 특히 ㈜아모레퍼시픽 기술연구원은 이번 연구 결과로부터 동백추출물에서 이번에 발굴된 PDK1 억제 성분을 추출해 노화된 피부의 주름을 개선하는 화장품을 개발 중이다.

1. 연구배경

세포노화는 텔로미어 단축, 산화 스트레스, 암유발유전자(oncogene) 활성화, 그리고 DNA 손상과 같은 스트레스에 대응하여 세포가 세포주기를 영구히 멈추는 생명현상으로서 비가역적인 것으로 여겨졌다. 세포노화는 손상된 세포의 증식을 차단함으로써 종양 형성을 억제하는 기능을 하지만 개체가 나이가 들어감에 따라 조직에 축적된 노화된 세포가 염증성 사이토카인을 통해 암을 비롯한 노화 및 노인성 질환의 발생에 기여할 수 있다는 것이 알려지면서 노화된 세포를 대상으로 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 최근에는 인위적 조작을 통한 노화된 세포의 세포주기 회복에 대한 연구 결과들이 보고되면서 세포노화가 비가역적인 생명현상이라는 인식이 재고되고 있다. 대표적으로 OSKM(Oct4, Sox2, Klf4, c-Myc)을 일시적으로 발현시켜 노화된 세포를 젊은 세포로 되돌리는 부분적 역분화(partial reprogramming)는 간, 심장, 골격근 등 여러 장기의 재생 능력을 향상시킬 뿐만 아니라 조기노화 유도 동물모델의 수명을 연장한다는 것이 보고됐다. 하지만 기존 기술들은 종양의 형성과 암의 진행을 유발하는 부작용을 가지고 있다. 따라서 이와 같은 부작용을 배제할 수 있는 새로운 정교한 제어기술 개발이 필요하였다.

2. 연구내용

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 인간 진피 섬유아세포의 세포노화 신호전달 네트워크의 컴퓨터 모델을 개발하고, 이를 대규모 시뮬레이션 분석하여 노화된 인간 진피 섬유아세포를 젊은 세포로

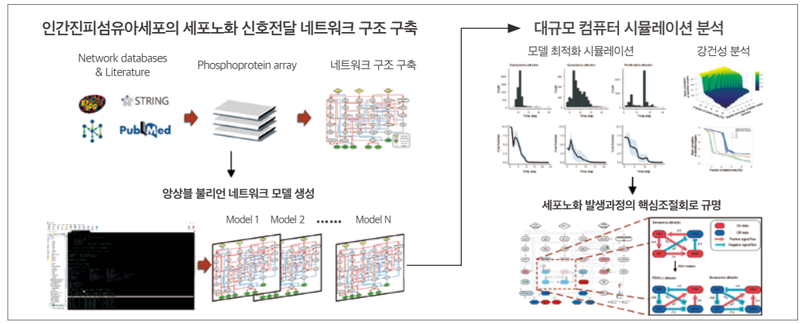


그림 1.
앙상블 불리언 네트워크 모델링 및 대규모 컴퓨터 시뮬레이션 분석. 연구팀은 기존의 방대한 분자생물학 실험결과들을 집대성하고 직접 실험을 통해 생산한 대규모 단백질 인산화 데이터를 활용해 인간진피섬유아세포의 노화 신호전달 네트워크의 수학모델을 정립하였으며 실험관찰을 가장 잘 표현하는 앙상블 불리언 네트워크 모델들을 생성했다. 그리고 이로부터 대규모 컴퓨터 시뮬레이션 분석을 통해 세포노화 발생과정의 핵심조절회로를 규명했다.

되돌리는데 필요한 핵심 인자를 규명하는 시스템생물학 연구를 수행하였다. 연구팀은 모델의 동역학 분석 결과를 통해 세포노화 상태에서 활성화되는 양성 피드백 루프를 구성하며 하위의 mTOR와 NF-kB를 동시에 활성화시키는 상위 조절자인 3-phosphoinositide-dependent protein kinase 1(PDK1)을 노화된 세포를 정상적인 젊은 세포로 되돌릴 수 있는 역노화 단백질 타겟으로서 세계 최초로 발굴하였다.
특히 (주)아모레퍼시픽과의 협동연구를 통해 노화된 인간진피섬유아세포에서 PDK1을 억제했을 때 세포노화 표지인자들이 사라지고 주변 환경에 적절하게 반응하는 정상 세포의 기능을 회복하는 것을 상처치유 분석(wound healing assay)과 3D 인공피부 모델(3D reconstructed skin model)을 통해 검증했다. 이러한 결과는 노화된 인간 진피 섬유아세포에서 PDK1이 mTOR와 NF-kB를 활성화해 노화와 관련된 분비 표현형(SASP: Senescence Associated Secretary Phenotype)을 유발하고 노화 형질을 유지하는 것과 연관돼 있음을 보여준다. 즉, PDK1을 억제함으로써 다시 원래의 정상적인 젊은 세포 상태로 안전하게 되돌릴 수 있음을 세계 최초로 증명한 것이다.

3. 기대효과

시스템생물학 접근방식을 통해 노화된 세포를 정상적인 젊은 세포로 변환시키는 세포노화 역행 전략은 지금까지 시도된 바 없으며, 연구 과정에서 찾아낸 표적 단백질의 활성을 억제할 수 있는 저분자화합물과 관련된 신약개발과 그리고 전임상실험을 통한 노화된 세포의 정상 세포화라는 역노화 전략은 노인성 질환의 치료 기술과 회춘 기술에 관한 새로운 통찰을 제공한다. 특히 (주)아모레퍼시픽 기술연구원은 이번 연구 결과로부터 동백추출물에서 PDK1 억제 성분을 추출해 노화된 피부의 주름을 개선하는 화장품을 현재 개발 중이며 곧 대량생산을 시작할 예정이다.

연 구 성 과

[논문] An, S., Cho, S. Y., Kang, J., Lee, S., Kim, H. S., Min, D. J., ... & Cho, K.-H.* (2020). Inhibition of 3-phosphoinositide-dependent protein kinase 1 (PDK1) can revert cellular senescence in human dermal fibroblasts. Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS).

[특허] K.-H. Cho*, S.B. Lee, S.G. An, J.S. Kang, S.Y. Cho, H.S. Kim (KAIST), Composition for reverse control of cellular senescence comprising PDK1 inhibitor, EP No. EP19204217.4 (Oct. 21, 2019)
K.-H. Cho*, S.B. Lee, S.G. An, J.S. Kang, S.Y. Cho, H.S. Kim (KAIST), Composition for reverse control of cellular senescence comprising PDK1 inhibitor, PCT No. PCT/KR2019/012970 (Oct. 2, 2019).

[홍보] 논문에 대하여 언론보도 68회 (방송 13회, 국내기사 28회, 해외기사 20회, 지면기사 7회)
"피부 노화 스위치 찾았다…'젊어지는 길' 한발 가까이", SBS 뉴스, 2020년 11월 26일
"사람의 노화 세포 젊은 세포로 되돌린다", KBS 뉴스, 2020년 11월 26일

연구비 지원
한국연구재단 중견연구자지원사업 [2020R1A2B5B03094920]
한국전자통신연구원 연구운영지원사업 [20ZS1100, 자율성장형 복합인공지능 원천기술 연구]
KAIST 그랜드챌린지 30 (KC30) 프로젝트 / 아모레퍼시픽 R&D 센터

TOP 10 RESEARCH ACHIEVEMENTS

대기 오염 물질 정화를 위한 불균일계 금속 원자 촉매

Heterogeneous Metal Atomic Catalysts for Gas-Phase Pollution Remediation

소속학과 생명화학공학과 연구책임자 이현주 홈페이지 http://catmat.kaist.ac.kr

자동차 배기가스의 일산화탄소(CO), 탄화수소, 질소산화물(NO_x)은 대표적인 대기 환경오염 물질로 반드시 불균일계 촉매 반응을 통해 정화하여 배출해야 한다. 기존 자동차 촉매는 저온(150도 이하)에서의 낮은 활성 및 수열노화에 대한 낮은 내구성 등의 문제로 배기가스 정화 성능이 충분하지 못하여 환경 문제가 지속되어 왔다. 본 연구에서는 금속(백금, 팔라듐, 로듐) 원자 촉매를 개발하여 배기가스 정화 반응에 대해 세계 최고 수준의 저온 활성을 달성하였다. 또한 금속 원자 촉매는 수열노화, 장시간 반응, 재사용 평가 등에 대해 우수한 내구성을 나타냈다. 본 기술은 자동차 촉매 분야를 선도할 원천 기술로써 학술적 및 산업적 이용 가치가 매우 크다.

1. 연구배경

자동차 배기가스에서 배출되는 일산화탄소(CO), 탄화수소, 질소산화물(NO_x) 등은 인체 호흡기 유독 물질이며, 미세먼지 및 스모그의 전구체가 되는 대표적인 대기 환경오염 물질이다. 이 오염 물질들은 불균일계 촉매에 의한 산화 및 환원 반응을 통해 질소(N_2), 물(H_2O), 이산화탄소(CO_2) 등으로 정화하여 배출해야 한다. 하지만 기존 자동차 촉매는 저온(150도 이하)에서 낮은 활성을 가지고 물이 있는 고온(750도 이상)에서 낮은 내구성을 가져 배기가스를 충분히 정화하지 못했다. 특히 가솔린 하이브리드 자동차 등의 경우 연비가 크게 높아진 대신 자동차 내부 촉매층 온도가 낮아져 저온에서의 높은 활성을 갖는 촉매를 개발하는 것이 매우 중요하다. 또한 활성 자체는 낮은 온도에서 나타나야 하지만, 연소 과정에서 고온이 동반되는 바, 습기가 존재하는 고온 환경에서도 촉매 구조가 무너지지 않고 높은 내구성을 나타내야 한다.

2. 연구내용

모든 금속 원자가 표면에 드러나 100% 분산도를 나타내고, 강력한 금속-지지체 상호작용을 갖는 금속 원자 촉매(metal atomic catalysts)를 만들기 위해서 본 연구진은 결함자리가 풍부한 환원형 금속 산화물 지지체를 고안해냈다. 본 연구에서는 알루미나(γ-Al_2O_3) 지지체를 수소로 환원 처리하여 강력한 고정 자리인 Al^{3+}_{penta} 자리를 다량 형성시켰다. 이 자리에 세리아(CeO_2)를 담지시켜 알루미나-세리아 이중 구조 지지체를 디자인하였다. 두 지지체간에 강력한 상호작용으로 인해 결함자리가 매우 많은 세리아가 합성되었다. 금속(백금, 팔라듐, 로듐)이 세리아에 담지될 때, 금속 원자와 세리아 결함자리 간에 강력한 상호작용이 발생하여 불안정한 금속 원자의 표면 자유에너지를 효과적으로 낮추었다. 그 결과, 모든 금속 원자가 표면에 드러나 100% 분산도를 갖는 Pt, Pd, Rh/CeO_2-Al_2O_3의 금속 원자 촉매가 디자인되었다. 금속 원자 촉매를 대표적 자동차 배기가스 정화 반응인 삼원 촉매 반응과 질소산화물 흡장형 촉매 반응에 적용하였다. 삼원 촉매 반응에 본 연구의 금속 원자 촉매를 사용했을 때, 기존 상용 삼원 촉매 대비 월등한 촉매 활성과 내구성을 보였다. 일산화탄소, 프로필렌, 질소산화물이 150 ℃ 이하에서 모두 제거되었고 프로판도 300 ℃ 이하에서 100% 전환율을 달성하는 등 금속 원자 촉매는 세계 최고 수준의 저온 활성을 나타냈다. 수열노화(900 ℃, 24시간), 장시간 반응(420시간), 재사용 평가 등에서 금속 원자가 전혀 소결되지 않고 안정적으로 100% 분산도 구조를 유지하며 매우 우수한 내구성을 나타냈다. 또한 질소산화물 흡장형 촉매 반응에 본 연구의 금속 원자 촉매를 사용했을 때, 200 ℃ 이하에서 기존 상용 촉매 대비 질소산화물 제거 성능이 3배 이상 향상되었다. 또한 수열노화(750 ℃, 25시간) 이후에도 금속 원자 촉매의 구조가 변하지 않고 안정적으로 유지되었으며, 질소산화물 제거에서 초기 성능의 93%를 달성하였다.

3. 기대효과

본 연구진은 자동차 배기가스 대기 오염 물질 정화를 위한 고효율-고내구성 불균일계 금속 원자 촉매를 개발하였다. 금속 원자 촉매는 100% 분산도를 갖는 독특한 구조적 장점으로 인해 세계 최고 수준의 저온 활성을 달성하였다. 더 나아가서 강력한 금속-지지체 상호작용으로 인해 금속 소결이 현저히 억제되어 기존 자동차 촉매를 뛰어넘는 우수한 내구성을 지녔다. 따라서 본 기술은 자동차 배기가스 촉매 분야의 미래를 선도할 핵심 원천 기술로써, 고효율-고내구성 불균일계 금속 촉매 개발을 위한 가이드라인을 제시할 것이다. 또한 지속적으로 강화되고 있는 국제적 환경 규제에 효율적으로 대처할 수 있어서 다양한 가솔린 및 하이브리드 차량의 배기가스 촉매로 적용 가능할 것이다. 더 나아가서 선박, 항공, 오토바이, 발전소 등 배출가스 정화가 필요한 산업 전반에 걸쳐 본 기술을 응용할 수 있을 것이다.

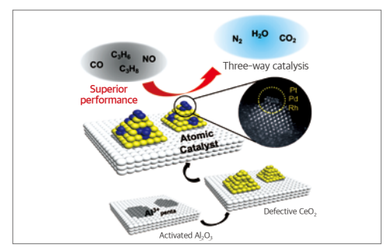


그림 1. 삼원 촉매 반응용 고활성-고내구성 금속 (백금, 팔라듐, 로듐) 원자 촉매

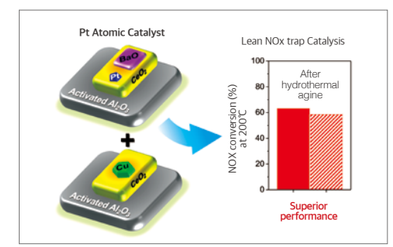


그림 2. 질소산화물 흡장형 촉매 반응용 고활성-고내구성 백금 원자 촉매

연 구 성 과

[논문] H. Jeong, O. Kwon, B.-S. Kim, J. Bae, S. Shin, H.-E. Kim, J. Kim, H. Lee*, "Highly Durable Metal Ensemble Catalysts with Full Dispersion for Automotive Applications beyond Single-Atom Catalysts", Nature Catalysis 3, 368-375 (2020) [2020 Impact Factor = 30.471]
B.-S. Kim, H. Jeong, J. Bae, P. S. Kim, C. H. Kim, H. Lee*, "Lean NO_x Trap Catalysts with High Low-Temperature Activity and Hydrothermal Stability", Applied Catalysis B: Environmental 270, 118871 (2020) [2020 Impact Factor = 16.683]

[홍보] 논문 1에 대하여 언론보도 10여 회

연구비 지원

[정부과제] 부처명: 미래창조과학부, 과제고유번호: 2016R1A5A1009592, 연구사업명: 선도연구센터지원사업, 연구과제명: 초저에너지 자동차 초저배출 사업단
부처명: 과학기술정보통신부, 과제고유번호: 2018R1A2A2A05018849, 연구사업명: 이공분야기초연구사업, 연구과제명: 불균일계 단일 원자 촉매 개발

[기업과제] 기업명: 현대엔지비(주), 과제고유번호: R-183091.0001, 연구사업명: 산업체연구개발사업, 연구과제명: 저온 활성화 LNT 촉매 개발

TOP 10 RESEARCH ACHIEVEMENTS

감염병원 서비스를 위한 이동 확장형 음압 병동

Mobile and Extendable Negative Pressure Clinic Module
For Contagious Disease Hospital Service

소속학과 산업디자인학과 연구책임자 남택진 홈페이지 http://mcm.kaist.ac.kr

감염병 위기상황에서는 음압격리병실의 수요가 급증한다. 본 연구는 고급 의료 설비를 갖춘 이동형 음압병동을 단기간에 경제적으로 구축할 수 있는 시스템인 Mobile Clinic Module(MCM)을 제시하였다. MCM은 음압프레임, 에어텐트, 기능패널의 기본 모듈 조합을 통해 음압병동을 구축할 수 있도록 한다. 단계적 음압화와 효과적인 공기 순환을 용이하게 한다. 4개월만에 사용자 연구, 디자인, 시제품개발을 완료했다. 임상시험이 가능한 병동을 개발하여 원자력병원에 설치하였다. 사용자 중심 시스템 디자인의 성과로써 MCM은 K-방역의 대표 제품이 될 것으로 기대된다.

1. 연구배경

COVID-19와 같은 감염병 대유행 상황에서는 중등도 이상 환자 치료에 필요한 음압격리병실 수요가 급증한다. 기존 음압병상 구축 방법은 막대한 설치비와 운영을 위한 기회비용이 소요된다. 위기 시 신속 설치가 가능하고 평상시에 보관할 수 있는 신개념의 이동형 음압격리병동 개발이 요구된다. 컨테이너 개조로 대표되는 기존 이동식 병실은 단순 격리 기능에 치중되어 의료 활동이 어렵다. 이러한 한계를 극복하고자, 본 연구에서는 병원 시스템과의 연계, 의료진, 환자, 관리자 등 다양한 이해관계자의 니즈를 고려한 이동형 음압격리 병동을 제안하였다.

2. 연구내용

이동 확장형 음압 병동(MCM: Mobile Clinic Module)의 주요 특징

MCM은 중등도 이상 환자를 위해 단시간에 의료 환경을 구축하고 효과적으로 이송 및 보관할 수 있는 음압 격리 시설 구축 시스템이다. 기능성, 경제성, 효용성의 기본적인 요구사항뿐만 아니라, 환자와 의료인을 위한 사용 편의성, 감성적 만족감을 함께 고려하였다. MCM는 음압프레임, 에어텐트, 기능패널의 세가지 구성 요소를 포함하여 이들의 조합을 통해 다양한 양음압의료시설 구축이 가능하다. 부지의 특성에 따라 다양한 구성 및 배치를 용이하게 하는 소프트웨어도 함께 개발되었다.

가장 중요한 구성 요소인 음압프레임은 양음압 공조 복합기로써 인접한 텐트 양방향으로 차등 압력을 효과적으로 설정할 수 있다. 상단부의 양압기와 하단부의 음압기를 통해 공기를 순환시킨다. 음압프레임의 화면을 통해 실시간으로 공간별 압력, 온도, 습도 등을 확인할 수 있으며, 의료진은 환자와 메시지를 주고받는 등의 의사소통 매개체로도 활용할 수 있다. 에어텐트는 에어빔과 이중막 구조로 구성되어 있다. 음압프레임 내 공기압 유지 장치와 연결되어 최소의 에너지로 안정된 구조를 유지한다. 고립 환자를 위해 충분한 크기의 병실 공간 구축이 용이하다. 천정부에 에어샤워 효과를 낼 수 있는 통풍구가 전산유체해석을 기반으로 적용되었다. 기능패널은 텐트의 구조적 안정성을 보강하면서 필요 기능을 제공한다. 의료 패널의 경우 중환자에게 필수적인 의료 가스를 공급한다. 글로브&패스박스 패널은 개인 방호복을 입지 않고도 감염환자에게 필요한 물품을 전달하거나 간단한 진단과 치료를 할 수 있도록 한다.

전실과 병실로 구성되는 MCM의 기본 유닛은 약 15분 이내 설치가 가능하다. 기존 구조 개조 방식에 비해 비용 측면에서 약 80% 비용 절감이 예상된다. 보관시 부피는 75%, 무게는 60%, 이송시는 75%가 줄어들 것으로 예상된다. 모듈화되어 있어 항공 운송이 가능하여 해외 수출시 병동 전체를 항공으로 운송할 수 있다는 것이 차별점이라 할 수 있다.

디자인 개발 과정 및 평가

MCM은 사용자 중심 디자인과 신속하고 순환적인 프로토타이핑을 통해 개발되었다. 의료진과의 협력을 통해 감염환자 입원 및 치료에 대한 기존의 프로세스를 이해하고 디자인 요구사항을 파악 하였다. 4개월만에 사용자 연구, 디자인, 시제품 개발, 임상적 운영이 가능한 병동 개발을 완료하였다. 한국원자력의학원의 500제곱미터 실외 주차장 공간에 설치된 병동에서 의료진 및 환자의 사용성, 안정성, 만족도를 평가하였다.

3. 기대효과

MCM은 주기적으로 반복될 감염병 위기 상황에 필수적인 방역 시스템이 될 것이다. 의료 자원을 효율적으로 운용하게 하고 불필요한 병동 증축을 최소화할 것이다. MCM은 기능성, 효용성, 경제성뿐만 아니라 사용성과 감성적 만족감을 극대화한 사용자 중심 음압병동 시스템으로써 다양한 의료 시설로 활용할 수 있을 것이다.

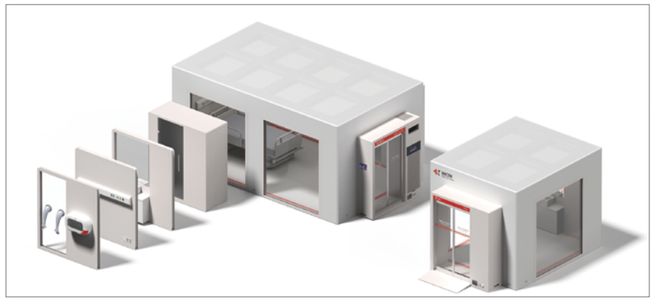


그림 1. MCM 주요 구성 요소: 음압프레임, 에어텐트, 기능패널

그림 2. 원자력병원에 설치된 중환자용 음압병동

연 구 성 과 COVID-19 위기상황에서 실용화를 목표로한 연구로 원자력병원에 실제 설치된 음압격리병동이 주요 성과임.
[특허] 양·음압시설 구축용 조립형 모듈러 시스템(2020. 12. 07. 출원)
이동형 음압병동 구축용 음압프레임, 전실 포함 이동형 음압 병실 유닛, 중환자 병상 음압화를 위한 이동형 음압 병실 유닛, 이동형 음압병동 구축용 의료 설비 패널, 이동형 음압병동 구축용 글로브 및 패스박스 패널 등 5건(2020. 12. 10. 출원)
[수상] Red Dot Award: Product Design 2021, Best of the Best

연구비 지원 KAIST 2020년 코로나대응 과학기술뉴딜사업 (이동형 감염병원)

KAIST'S RESEARCH HIGHLIGHTS OF 2020

2020년 주요 연구성과

한국 과학기술의 산실인 KAIST는
학계의 화두인 융합 연구를 선두에서 수행하고 있습니다.
학문 간 경계를 넘어 새로운 장을 연 연구를 소개합니다.

IT
Information Technology

무어법칙 연장을 가능하게 한 초저전력 초고속 터널 트랜지스터의 개발

물리학과
조성재, 김성호
http://qtak.kaist.ac.kr

무어 법칙에 따른 트랜지스터 소형화 및 집적도 증가는 현대의 정보화 기술을 가능하게 했지만 최근 전력 소모가 급격히 증가해 이제는 무어 법칙에 따라 트랜지스터 소형화가 진행되지 못하는 상황이다. 이전에 개발되었던 저전력 터널 트랜지스터의 경우 트랜지스터 채널을 구성하는 두 물질의 이종접합 계면에서 격자 불균형, 결함, 계면 산화 등의 문제가 발생하여 작동 상태에서 낮은 전류를 가지는 문제가 있었다. 작동 상태 전류는 트랜지스터 작동속도에 비례하기 때문에, 낮은 작동 상태 전류는 저전력 트랜지스터의 경쟁력을 떨어뜨린다. 우리 연구는 기존의 저전력 터널 트랜지스터에서 사용해왔던 서로 다른 두 물질의 이종접합이 아닌, 단일 물질 (흑린)의 두께 변화로 이종접합을 구성하여 계면에서 발생하는 문제들을 해결했다. 결과적으로 트랜지스터의 전력 소모를 기존의 트랜지스터 대비 1만배 가까이 낮추면서, 빠른 트랜지스터 작동 속도를 동시에 달성하여, 무어 법칙을 연장할 수 있는 기틀을 최초로 마련했다.

연구성과

[논문] "Thickness-Controlled Black Phosphorus Tunnel Field-Effect Transistor for Low Power Switches", Seungho Kim, Gyuho Myeong, Wongil Shin, Hongshik Lim, Boram Kim, Taehyuk Jin, Sungjin Chang, Kenji Watanabe, Takashi Taniguchi, Sungjae Cho*.
Nature Nanotechnology 15, 203 (2020).

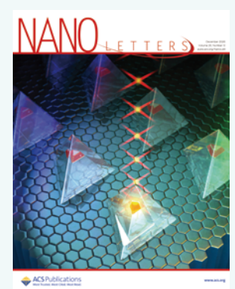
[특허] 국내 특허 2020년 3월에 등록 (등록 번호: 10-2093141), 미국, 중국 2020년 7월에 특허 출원. (출원 번호: 16930422)

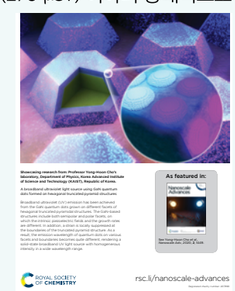
IT
Information Technology

질화물 반도체 양자점의 대칭성 제어를 통한 고체 기반 양자광원 개발

물리학과
조용훈
http://qnp.kaist.ac.kr

광대역 밴드갭을 갖는 반도체 양자점 (QD) 구조의 대칭성을 정교하게 제어할 수 있다면, 편광얽힘 광자쌍과 같은 양자 포토닉스 응용을 상온에서도 가능하게 할 수 있다. 멀리 떨어져 있는 두 개의 광자가 양자얽힘 상태에 있으면 하나의 상태를 알게 되면 얽혀있는 다른 광자의 상태를 알게 되는데, 편광얽힘 광 자쌍이란 편광을 양자적 상태로 사용하여 두 개의 광자를 양자얽힘 상태로 만든 것이다. 본 연구에서는 자기 제한 성장 메커니즘을 통해 삼각형 피라미드의 꼭지점에서 3중 대칭성을 갖는 질소화합물 반도체 양자점을 성공적으로 형성하였다. Wurtzite 결정에서의 c-축 평면 상의 회전 대칭성을 높이고 커다란 내부 전기장을 사용하여 미세 구조 분리 에너지를 줄일 수 있었다. 삼각 피라미드 꼭지점에 형성된 양자점은 피라미드 측면에 형성된 양자 우물의 방출과는 구별되며, biexciton-exciton cascade 과정에서 단일 광자 특성을 보이게 된다. 이렇게 제작된 3중 대칭성을 갖는 양자점에서 측정 한계(270 μeV) 이하의 상대적으로 낮은 광학 편광 이방성과 작은 미세 구조 분할 에너지를 관측하였다. 질화물 반도체 양자점이 일반적으로 강하게 편광된 단일 광자 광원으로 활용되고 있는 것과는 달리, 본 연구에서는 질화물 반도체 양자점의 대칭성을 효과적으로 제어하는 방법을 보임으로써 상온에서도 작동할 수 있는 편광얽힘 광자쌍 형성을 위해 활용할 수 있는 기반을 마련하였다.





연구성과

[논문] H. S. Yeo, K. Lee, J. H. Cho, S. H. Park, and Y. H. Cho*, "Control of the 3-Fold Symmetric Shape of Group III-Nitride Quantum Dots: Suppression of Fine-Structure Splitting", Nano Letters 20, 8461 (2020). [IF = 12.344] - Supplementary Cover로 선정
J. H. Cho, S. H. Lim, M. H. Jang, C. W. Lee, H. S. Yeo, Y. C. Sim, J. H. Kim, S. Matta, B. Alloing, M. Leroux, S. H. Park, J. Brault, and Y. H. Cho*, "Broadband ultraviolet light source using GaN quantum dots formed on hexagonal truncated pyramid structures", Nanoscale Advances 2, 1449 (2020). [IF = 7.233] - Outside Back Cover로 선정

IT
Information Technology

펨토초 레이저 광빗 기반 수백 테라헤르츠 광주파수의 초정밀 (1.0 Hz 안정도) 생성 및 대기 전송

기계공학과
김승우, 김영진, 강현재, 양재원, 김병수
http://pem.kaist.ac.kr
https://upm2.kaist.ac.kr

연구팀은 1/1,000,000,000,000,000 (천조분의 일)의 우수한 안정도를 가지는 193 THz 펨토초 레이저 광빗(수백만개의 광주파수 보유)을 18 km 대기를 통과시켜 전송하고, 이 때 광빗이 대기를 통과하면서 겪게 되는 광주파수/광위상에의 영향을 정밀하게 측정하고 제어함으로써, 광주파수를 1 Hz 수준의 안정도로 전송하는 동시에 광위상까지 완벽하게 복원하는 다채널 광주파수 초정밀 대기전송 기술을 개발하였다.

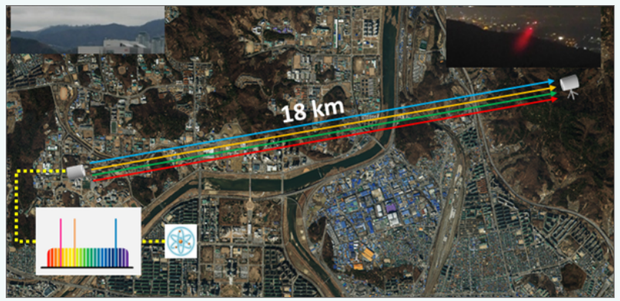


그림 1. 펨토초 레이저 광빗 기반 광파수의 초정밀 생성 및 대기 전송

연구성과

[논문] H.J. Kang, J.-W. Yang, B.J. Chun, H. Jang, B. Kim, Y.-J. Kim and S.-W. Kim, "Free-space transfer of comb-rooted optical frequencies over an 18 km free-space link", Nature Communications, 10, 4438 (2019)

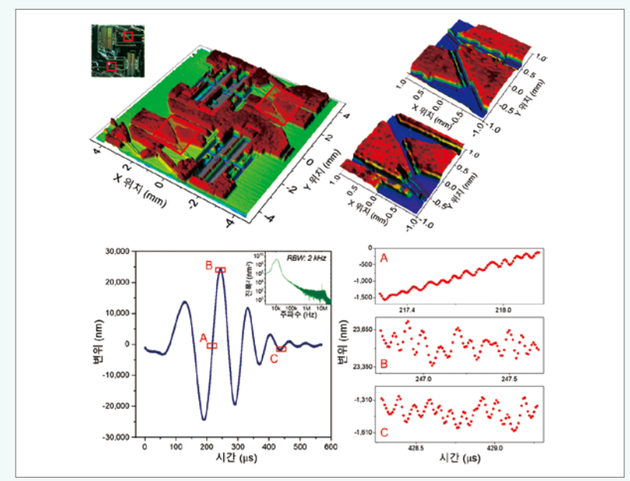
[특허] S.-W. Kim, Y.-J. Kim, B.J. Chun and H. J. Kang, "DEVICE AND METHOD FOR FREE SPACE COHERENT OPTICAL COMMUNICATION BY MEANS OF AUTOMATIC COMPENSATION FOR PHASE NOISE IN ATMOSPHERE USING OPTICAL COMB OF FEMTOSECOND LASER", PCT/KR2015/008760
김승우, 천병재, 김영진, 강현재, "펨토초 레이저의 광빗을 이용한 대기 중의 위상 노이즈의 자동 보상을 통한 자유공간 가간섭 광통신 장치 및 방법", [등록번호: 10-1820652]

IT
Information Technology

나노미터보다 작은 차이를 감지하는 초고속, 고분해능, 다기능성 TOF 센서기술 개발

기계공학과
김정원, 나용진, 전찬기, 안창민, 현민지, 권도현, 신준호
http://upcam.kaist.ac.kr

기계공학과 김정원 교수 연구팀은 펄스 레이저와 전광 샘플링 기법을 이용하여 초고속, 초정밀, 다기능성 펄스비행시간(time-of-flight, TOF) 센서 기술을 개발하였다. 본 연구는 레이저에서 발생한 빛 펄스와 광다이오드로 생성한 광전류 펄스 사이의 시간오차가 100아토초(1경분의 1초) 이하로 작다는 사실을 발견하고, 이를 활용한 새로운 방식의 TOF 센서를 제안하였다. 이 기술을 이용하면 6 mm 범위에 걸쳐서 수소원자 2개의 크기보다도 작은 180피코미터 만큼의 위치 차이도 200분의 1초만에 측정해낼 수 있다. 본 연구는 첨단 소재·부품·장비 개발을 위한 초정밀 3차원 형상이나 고속 변형을 측정하는 다양한 센서들에 적용 가능하다.



연구성과

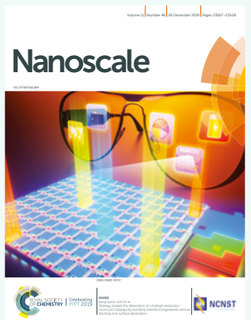
[논문] Y. Na, C. Jeon, C. Ahn, M. Hyun, D. Kwon, J. Shin, and J. Kim*, "Ultrafast, sub-nanometre-precision and multifunctional time-of-flight detection", Nature Photonics 14, 355-360 (2020) [2019 Impact Factor = 31.241]

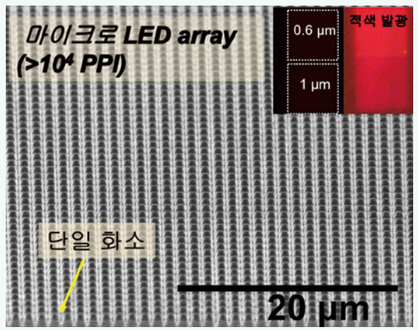
IT
Information Technology

저전류 구동 고해상도 무기물 디스플레이 기술개발

전기및전자공학부
김상현, 금대명, 박주혁
https://www.3doedl.com

현재 마이크로 사이즈의 LED를 픽셀로 하는 마이크로 LED 디스플레이가 차세대 디스플레이로써 활발히 연구/개발되고 있다. 그러나 기존의 조명용 LED 기반의 에피 구조를 사용하여 디스플레이에서 요구하는 저전류 효율이 낮고 제조방식 또한 기계적 정렬을 이용하여 적/녹/청색을 집적하는 공정방식에 의해 해상도가 제한된다. 본 연구에서는 적/녹/청색 픽셀의 수직 적층 및 반도체 모놀리식 3차원 공정을 사용하여 해상도를 궁극적으로 높일 수 있는 방법을 최초로 제시하였으며 에피 구조의 전면 재설계를 통해 저전류 영역의 효율을 획기적으로 높이는데 성공하였다. 본 기술을 통해 차세대 디스플레이 분야의 큰 혁신이 기대된다.





연구성과

[논문] D. -M. Geum, S. -K. Kim, C. -M. Kang, S. -H. Moon, J. Kyhm, J. -H. Han, D. -S. Lee, S.- H. Kim*, "Strategy toward the fabrication of ultrahigh-resolution micro-LED displays by bonding interface-engineered vertical stacking and surface passivation", Nanoscale 11, p. 23139 (2019) (selected as an outside front cover)

[특허] 국내특허 등록, 미국특허 출원, 김상현 외,"다색 픽셀 어레이를 갖는 마이크로 LED 디스플레이 및 그의 구동 회로와 결합에 따른 제조 방법"

IT
Information Technology

나노스케일 소자 내 준-페르미 준위 분리 현상의 제1원리적 기술

전기및전자공학부
김용훈, 이주호, 김한슬, 여현우
http://nanocore.kaist.ac.kr

연구팀은 현대 양자수송 표준 이론인 란다우어(Landauer) 접근법의 대안이 되는 새로운 이론 체계를 확립하여 세계 최초로 구동하고 있는 나노스케일 소자에서의 준-페르미 준위 분리(quasi-Fermi level splitting) 현상을 원자 수준에서 기술해 내는 데 성공했다. 특히, 전도성이 강한 나노 전자소자에서 준-페르미 준위 분리 현상에 의해 전압 강하가 비선형적(non-linear)으로 일어남을 보여 그 개념이 제시된 지 70년이 지난 현재에도 정성적인 수준으로만 남아 있던 준-페르미 준위의 개념을 명확히 확립하였다. 본 연구성과를 통해 전압이 인가된 나노소자의 전기적 또는 수송 특성 이외에 총에너지(total energy)도 정확하게 기술할 수 있게 됨으로써 차세대 전자 소자뿐만 아니라 에너지 저장·변환 소자 개발의 중요한 전기가 될 것으로 기대된다.

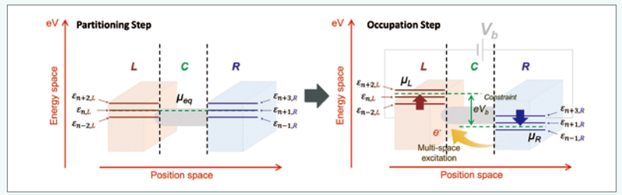


그림 1.
전압 인가 상황의 나노 소자 시뮬레이션을 위해 새롭게 개발된 다공간 제한탐색 밀도범함수론(multi-space constrained-search density functional theory, MS-DFT) 개념 모식도.
저작권 2020 Wiley-VCH.

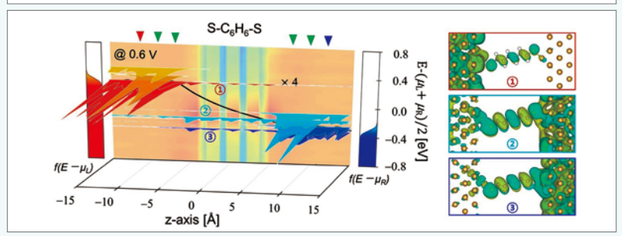


그림 2.
MS-DFT 계산을 통해 분자소자 내 준-페르미 분리 현상을 원자 수준에서 기술.
저작권 2020 National Academy of Sciences of the United States of America.

연구성과

[논문] J. Lee, H. Yeo, and Y.-H. Kim*, "Quasi-Fermi level splitting in nanoscale junctions from ab initio", Proceedings of National Academy of Science of the U.S.A. 117, 10142-10148 (2020)

J. Lee, H. S. Kim, and Y.-H. Kim*, "Multi-space excitation as an alternative to the Landauer picture for non-equilibrium quantum transport", Advanced Science 7, 2001038 (2020)

IT
Information Technology

VR 시각적 편안함 자동 정량화 및 개량 기술

전기및전자공학부
노용만, 김학구, 이상민, 김성엽, 박민호, 임현택, 김기현, 정현욱, W. J. Baddar
http://ivylab.kaist.ac.kr

가상현실 콘텐츠(VR)는 실제와 같은 몰입감을 제공할 수 있어 차세대 미디어/콘텐츠 산업의 핵심이다. 하지만 극심한 체감 불편함을 유발하는 시청 안전 문제로 인해 가상현실 시장의 확장에 어려움을 겪고 있다. 안전한 가상현실 콘텐츠 생산 및 보급을 위한 시각적 편안함을 측정하는 기술이 필요하다. 기존 체감 불편함 측정은 부가적인 생체측정 장비로 예측하는데 이는 HMD 및 모바일 디바이스의 VR 소비환경에는 맞지 않고 실질적으로 가상현실 콘텐츠 시청 환경 적용 및 확장에 한계가 있다. 본 연구에서는 가상현실 콘텐츠만 가지고 인공지능 기술로 콘텐츠의 시각적 불편함 요인을 분석하고 시각적 편안함을 자동 정량화하는 기술을 세계 최초로 개발하였다. 또한, 자동 정량화한 시각적 편안함을 이용하여 체감 불편함이 있는 콘텐츠를 개량 시켜 안전한 가상현실 콘텐츠를 만드는 데 성공하였다. 본 제안 기술은 가상현실 콘텐츠 시청 위험군의 안전성을 확보하여 디지털 소외 문제를 해소하고 재활치료, 교육 등에 안전한 가상현실 콘텐츠를 제공하는데 기여할 것으로 기대된다.

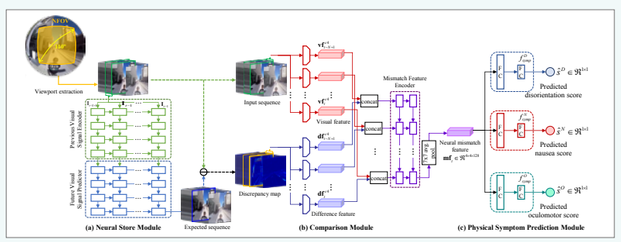


그림.
가상현실 (VR) 콘텐츠 기반 시각적 편안함 및 신체 증상 정량화를 위한 딥 네트워크 구조.

연구성과

[논문] H. G. Kim, H. Lim, S. Lee, and Y. M. Ro, "VRSA Net: VR sickness assessment considering exceptional motion for 360° VR video", IEEE Trans. Image Processing (TIP), vol. 28, no. 4, pp. 1646 - 1660, Apr. 2019 [Image Processing Top tier Journal Impact Factor = 9.340].

H. G. Kim, S. Lee, S. Kim, H. Lim, and Y. M. Ro, "Towards a better understanding of VR sickness: Physical symptom prediction for VR contents", Association for the Advancement of Artificial Intelligence (AAAI), 2021 [AI Top tier Conference, Acceptance rate: 21%].

[특허] VR content sickness evaluating apparatus using deep learning analysis of motion mismatch and method thereof [등록번호: US 10657655]

VR 피로도유발인자의 딥 러닝 분석을 사용하는 VR 컨텐츠 체감 품질 정량적 평가 장치 및 방법 [등록번호: 10-2055481]

IT
Information Technology

양자 네트워크 프로토콜

전기및전자공학부
배준우, 윤지영, 권혁제, Spiros Kechrimparis, Ashutosh Rai
https://sites.google.com/view/qitkaist

양자 암호 프로토콜의 실제 구현은 잡음 환경에서 구현되며 잡음으로 인해 양자 상태는 왜곡된다. 본 연구의 첫 번째 결과는 측정에 대한 채널코딩 기법이다. 잡음 환경에서 왜곡된 상태에 대한 최적의 측정을 보존하는 기법을 제시하고 실제 IBM Q (잡음 환경의 IBM 클라우드 양자 컴퓨팅)에서 시연하였다. 두 번째 결과는, 양자계에 존재하는 얽힘 (entanglement) 과 비국소성의 상관관계를 활용한 네트워크 코딩이다. 이를 통해 네트워크 통신에서 양자 우위 (quantum advantage)를 보였다. 본 연구 결과는 양자 암호 프로토콜 구현을 보완하는 이론적인 방법을 제시하고 양자 네트워크 통신의 기법을 제시하였다.

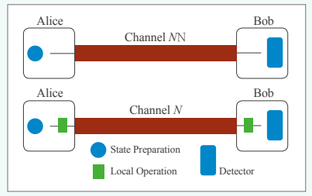


그림 1. 측정에 대한 채널 코딩 개념도

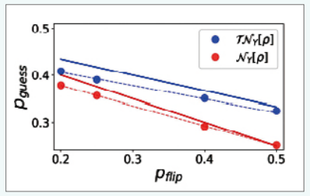


그림 2. IBMQ 시연 결과. 코딩에 의한 개선 (푸른선)

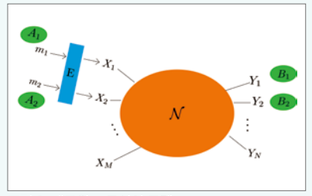


그림 3. 네트워크 통신의 모델

연구성과

[논문] S. Kechrimparis, C. M. Kropf, F. Wudarski, and J. Bae*, "Channel Coding of a Quantum Measurement", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol 38, No 3, 439 (2020) ; Erratum IEEE JSAC Vol 38 No 5 980 (2020). [2019 Impact Factor = 11.42]

J. Yun, A. Rai, and J. Bae*, "Non-Local Network Coding in Interference Channels, Physical Review Letters 125 150502 (2020)". [2019 Impact Factor = 8.385]

IT
Information Technology

E-TUBE: 초고속 유선통신을 위한 부도체 플라스틱 도선

전기및전자공학부
배현민, 최한호
http://nais.kaist.ac.kr

본 연구에서는 금속전선, 광케이블 이후 인류가 만든 3번째 유선 케이블이라 할 수 있는 플라스틱 도파관 케이블을 개발하였다. 금속전선은 통신 속도가 점차 증가함에 따라 표피 효과로 인한 대역폭의 한계가 나타나고 있고 이를 해결하기 위해 개발되고 있는 광케이블은 대체 비용 및 전력 소모가 굉장히 크게 발생하여 규모가 큰 단거리 통신 시장으로는 진입이 힘든 상황이다. 이와 같은 기존 케이블의 문제를 해결하고자 전력 및 비용 효율적인 플라스틱 도파관 케이블을 개발하였고 이를 E-TUBE라 이름 붙였다. E-TUBE는 밀한 매질에서 진행하는 전자기파는 소한 매질로 나가지 않는다는 기본 원리를 이용하여 케이블 양단의 2mm x 2mm 크기의 두 안테나 사이를 밀한 매질인 스폰지 형태의 플라스틱 라인으로 연결하는 기술이다. 이 기술은 수 미터 거리의 다양한 초고속 통신 인터페이스에 적용 가능하며 특히 데이터센터 내 서버 간 연결, 초고해상도 디스플레이 연결, 자동차 이더넷 통신 등에 매력적인 솔루션으로 주목받고 있다.

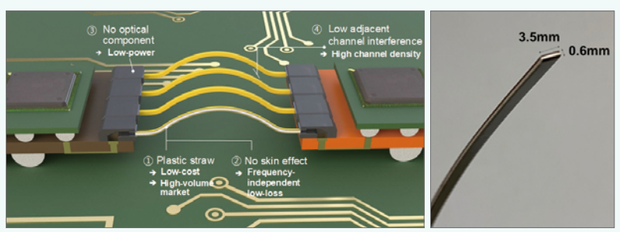


그림. Low-cost / Low-power / High-speed dielectric waveguide solution

연구성과

[논문] Ha Il Song, Joon-Yeong Lee, Hyosup Won, Chang-Ahn Kim, Huxian Jin, Jake Eu, Jinho Park & Hyeon-Min Bae, "E-TUBE: dielectric waveguide cable for high-speed communication", Sci Rep 10, 18263 (2020)

IT
Information Technology

Centaur: 딥러닝 기반 추천시스템을 위한 다중 칩 모듈 기술 기반 혼합형 지능형 가속기 반도체

전기및전자공학부
유민수, 황랑기, 김태훈, 권영은
https://sites.google.com/view/kaist-via

최근 전자상거래, 광고, 동영상 플랫폼 등에서는 사용자의 이력과 기록을 바탕으로, '인공지능 기반의 실시간 개인 맞춤형 추천 서비스'를 제공하고 있다. 본 연구에서 제안하는 '다중-칩 모듈 기술 기반의 혼합형 인공지능 가속기는 추천 시스템의 성능, 에너지 효율성, 기존 데이터 센터에 적용가능성과 공간 효율성 모두를 획기적으로 향상시키며, 추천시스템의 '메모리 병목 현상'과 '계산 병목 현상'을 동시에 해결한 세계 최초의 연구 성과이다.

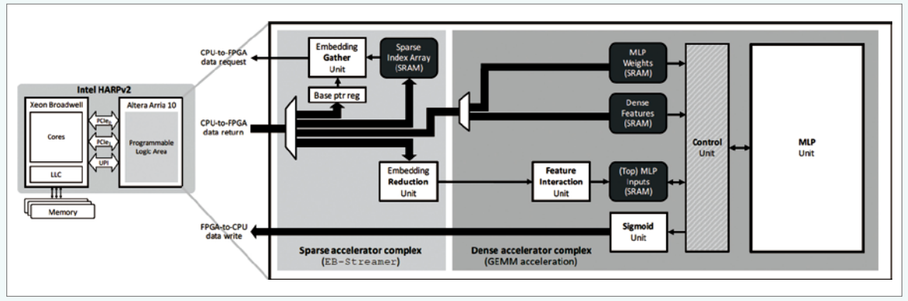


그림 . 가속기의 구조

연구성과

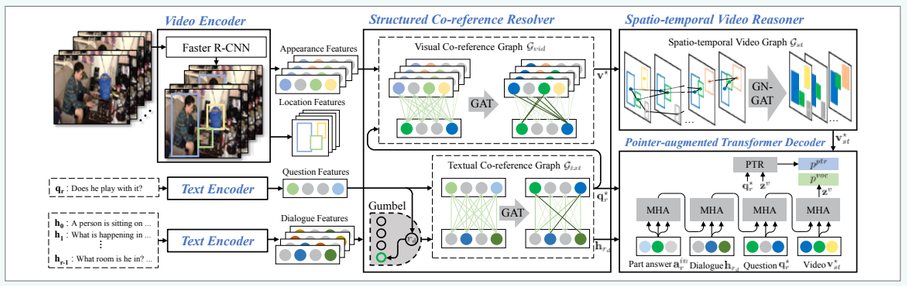
[논문] Ranggi Hwang, Taehun Kim, Youngeun Kwon, and Minsoo Rhu, "Centaur: A Chiplet-based, Hybrid Sparse-Dense Accelerator for Personalized Recommendations", The 47th International Symposium on Computer Architecture (ISCA-47), Valencia, Spain, June 2020 (BK 플러스 CS 분야 최우수 국제 학술 대회)

IT
Information Technology

인공지능 기반 비디오 질의응답 및 대화 시스템

전기및전자공학부
유창동
http://slsp.kaist.ac.kr

본 연구는 비디오 기반 대화 시스템 개발을 목표로 하며, 대화의 맥락을 파악하여 주어진 질의에 대한 응답을 제공하는 알고리즘 (Structured Co-reference Graph Attention; SCGA)을 제안한다. 본 기술은 기존 연구의 문제점인 (1) 대화 및 비디오 내 존재하는 공동 참조의 해결, 그리고 (2) 비디오 내 시간적, 공간적 이해를 해결하고자 제안되었다. 이 기술은 AVSD@DSTC7, AVSD@DSTC8, 그리고 TVQA 데이터 셋에 대하여 세계 최고 수준의 성능을 보여주고 있다. 이 기술은 상담/감시 등 우리 생활에 다방면으로 필요한 인지영역에서 절대적인 도움을 줄 수 있을 것이다. 연구 결과는 기술의 우수성과 실용성을 인정받아 2019년, 2020년 컴퓨터 비전 분야 최우수 학회인 Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)에 각 1건씩 발표되었으며, 2021년 머신 러닝 분야 최우수 학회 중 하나인 AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI)에 1건 발표되었다.



연구성과

[논문] J. Kim, S. Yoon, D. Kim, C. D. Yoo, "Structured Co-reference Graph Attention for Video-grounded Dialogue", In Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI), 2021.

J. Kim, M. Ma, P. Trung, K. Kim, C. D. Yoo, "Modality Shifting Attention Network for Multi-modal Video Question Answering", In IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2020.

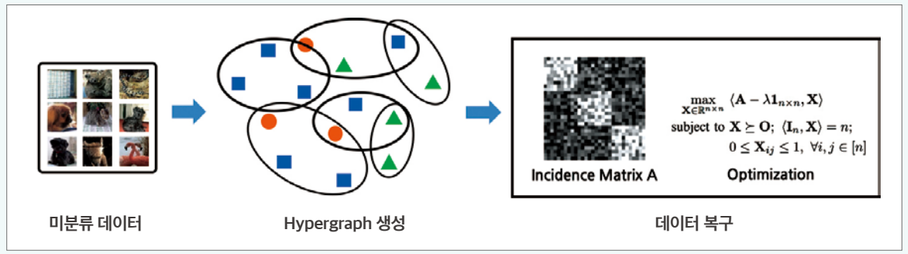
J. Kim, M. Ma, K. Kim, S. Kim, C. D. Yoo, "Progressive Attention Memory Network for Movie Story Question Answering", In IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2019.

IT
Information Technology

소셜네트워크 관계 그래프를 기반으로 소수의 커뮤니티까지 감지하는 강력한 알고리즘 개발

전기및전자공학부
정혜원, 이정환, 김대성
http://iids.kaist.ac.kr

본 연구는 소셜네트워크의 관계 그래프를 통해 네트워크를 구성하는 각 노드가 어떤 특성을 갖고 어떤 커뮤니티에 속하는지 감지하는 알고리즘 개발을 목표로 한다. 관계 그래프 행렬의 고유벡터를 기반으로 동작하는 기존 알고리즘의 경우 그래프 속 각 커뮤니티의 사이즈가 비슷할 때만 모든 커뮤니티를 잘 감지하는 한계를 지닌다. 본 연구에서는 최적화 기법을 사용해 커뮤니티 사이즈가 굉장히 다를 때에도 잘 동작하는 알고리즘을 개발했다. 이 알고리즘을 사용했을 때 소수의 사람으로 구성된 커뮤니티까지 높은 확률로 감지할 수 있음을 정보이론과 랜덤 행렬 이론을 이용해 이론적으로 증명하였으며, 실제 데이터셋에 알고리즘을 적용해 실험적으로도 높은 성능을 보임을 입증하였다.



연구성과

[논문] J. Lee, D. Kim, H. W. Chung, "Robust Hypergraph Clustering via Convex Relaxation of Truncated MLE", IEEE Journal on Selected Areas in Information Theory, Issue 3, 2020.

IT
Information Technology

실용적인 딥러닝 기반 비디오 스트리밍 기술 개발

전기및전자공학부
한동수, 여현호, 김재홍, 정영목
http://ina.kaist.ac.kr/~dongsuh

현재 비디오 스트리밍 시스템은 비디오 화질이 네트워크 대역폭에 제한되는 근본적인 한계점이 있다. 최근 딥러닝 기반 초해상화 기술은 저해상도로 전송된 비디오를 고해상도로 복원함으로써, 기존 비디오 스트리밍 한계점을 극복하는 방법으로 주목받고 있다. 하지만 종래의 초해상화 기술은 1) 상용 모바일 기기에서 실시간 동작이 불가능하고, 2) 라이브 비디오에 적용하기 어려워 실용성이 부족하다. 본 연구에서는 이 문제점을 해결하는 실용적인 딥러닝 기반 비디오 스트리밍 방법을 최초로 제시하였으며, 상용 모바일 기기 및 라이브 비디오 지원에 성공하였다. 본 연구에서 제안한 기술은 네트워크 자원 요구량이 많은 차세대 미디어(예시: AR,VR,4K) 전송에 있어 새로운 대안으로 대두될 것으로 기대된다.

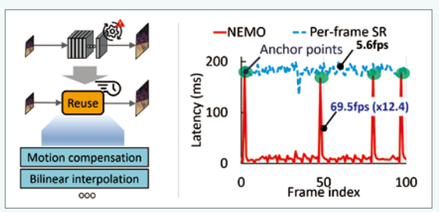


그림 1. 비디오 내 시간 종속성을 이용한 초해상화 가속

그림 2. 초해상화 화질 개선 예시

연구성과

[논문] NEMO: Enabling Neural-enhanced Video Streaming on Commodity Mobile Devices, Hyunho Yeo, Chan Ju Chong, Youngmok Jung, Juncheol Ye, and Dongsu Han, ACM MobiCom 2020 (Acceptance Rate 62/384: 16.1%) 모바일 시스템 최우수 학회

Neural-Enhanced Live Streaming: Improving Live Video Ingest via Online Learning Jaehong Kim, Youngmok Jung , Hyunho Yeo, Juncheol Ye, and Dongsu Han, ACM SIGCOMM 2020 (Acceptance Rate 53/250: 21.2%) 네트워크 시스템 최우수 학회

IT
Information Technology

디버그 와치 포인트 기반 프로세스 내부 메모리 보호 기술 개발

전산학부
강병훈, 장진수
cysec.kr

2014년에 OpenSSL 라이브러리에서 서버 메모리상의 임의 데이터를 유출 가능하게 하는 Heartbleed 취약점이 발견되었다. 취약한 OpenSSL을 사용하는 전 세계 모든 서버가 해킹의 위협에 노출되었으며, 이로 인해 스레드 간의 메모리 격리와 이를 강제하기 위한 보안 기술 연구의 필요성이 대두되었다. 본 연구는 이러한 필요성을 충족시키기 위하여 스레드의 비밀 데이터를 효과적으로 격리시키고 보호할 수 있는 "프로세스 내부 메모리 격리 기술"을 설계하고 시제품을 구현하였다. 특히, 프로세서 제조사에 종속된 제한적 보안 기술이 아닌 디버그 와치포인트라는 범용적으로 내재된 하드웨어 기능을 활용하여 실질적이고 효과적인 범용 보안 기능을 구현하였다는 점에 주목할 만하다.

제안된 방식은 중요한 데이터를 하드웨어 와치포인트 설정을 통해 보호하는 방식으로써, 개발자가 쉽게 호출하여 사용 가능하도록 공유 라이브러리 형태로 구현되었다. 연구 결과는 기술의 우수성과 실용성을 인정받아 2019년 6월 최우수 시스템 학회 중의 하나인 Design Automation Conference(BK21 CS 우수학회 인정 IF:3) 에서 발표되었다.

연구성과

[논문] Jang, Jinsoo, and Brent Byunghoon Kang. "In-process Memory Isolation Using Hardware Watchpoint". 2019 56th ACM/IEEE Design Automation Conference (DAC). IEEE, 2019.

IT
Information Technology

영상 기반 편광 반사 함수 획득 및 모델링

전산학부
김민혁, 백승환, 황인승, 구현진
http://vclab.kaist.ac.kr/minhkim

물체의 양방향 반사율 분포 함수(BRDF) 모델링은 물리기반 극사실적 컴퓨터 렌더링에 필수적인 요소이다. 지난 수십 년 동안, 실제 물체의 반사계 측정값을 포함하는 데이터베이스는 물체의 반사계 모델 개발에서 활용되며 렌더링 기술에 다양한 혁신을 가져왔으나, 이전 연구들은 모두 영상의 시각적 사실성을 높이는 데 초점이 맞춰져 있었으며, 일반적으로 인간의 눈에는 감지할 수 없는 빛의 편광 효과는 무시했다. 하지만 편광현상은 관찰 대상 물체의 모양과 물질 특성에 대한 풍부한 추가 정보를 얻을 수 있는 실마리를 제공한다. 특히 인버스 렌더링과 같은 기술을 통해서 물질의 특성들을 파악할 수 있는 수 있게 해준다. 본 연구는 이미지 기반 반사계 측정원리와 편광 타원측정법을 이용한 편광 측정법을 결합하여 새로운 편광 측정원리 및 시스템을 개발하였으며, 실제 물질의 편광 특성을 전체 각도 영역과 다중 파장에 걸쳐 획득한 최초의 편광 BRDF(pBRDF) 데이터셋을 제공한다. 본 연구는 다양한 편광 반사계 데이터의 실측값을 오픈 데이터셋 형태로 제공함으로써 비시각적 편광 반사계 정보를 이용한 다양한 컴퓨터 그래픽스 및 비전 응용 연구에 큰 기여를 할 것으로 기대한다.

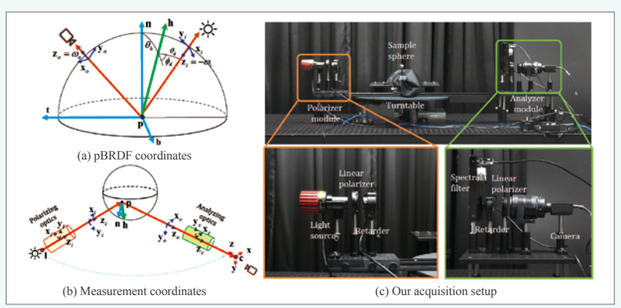


그림. 본 연구에서 사용된 편광 반사계수 좌표 시스템 및 개발된 영상 기반 편광 반사계 계측시스템.

연구성과

[논문] "Image-BasedAcquisition and Modeling of Polarimetric Reflectance", Seung-Hwan Baek, Tizian Zeltner, Hyun Jin Ku, Inseung Hwang, Xin Tong, Wenzel Jakob, Min H. Kim, ACM Transactions on Graphics (TOG), 39(4), presented at ACM SIGGRAPH 2020, Jul. 19-23, 2020

IT
Information Technology

차세대 스마트 디바이스 패러다임을 위한 멀티-디바이스 모바일 운영체제 기술

전산학부
신인식, 오상은, 김아현, 이선재, 이길호, 정대룡, Steven Y. Ko
http://cps.kaist.ac.kr

스마트폰이 우리 일상 생활에 혁명적 변화를 가져오듯이, 다른 스마트 디바이스(TV, 자동차 등)에도 혁명적 진화가 발생할 것이다. 예를 들어, TV와 스마트폰 사이에 새로운 차원의 밀결합 연동이 가능하면, TV 시청 패러다임의 혁신적 진일보를 가져올 것이다. 스마트폰 경우에서 보듯이, 스마트 디바이스 혁명의 핵심 요소는 앱 생태계 출현 및 활성화이다. 본 연구에서는 스마트폰과 스마트 디바이스가 자유자재로 연동하는 새로운 다중 기기 (multi-device) 패러다임을 제시하며, 이를 위한 새로운 모바일 플랫폼/운영체제 기술을 세계 최초로 제시하였다. 본 제안 기술은, 단일 기기 환경을 타겟으로 이미 개발된 수백만 개의 앱에 대하여, 앱 코드를 전혀 수정하지 않아도, 다중 기기 환경에서 앱을 자유자재로 분할하며 성공적으로 분산 실행하는 것이 가능하여, 다양한 스마트 디바이스들의 앱 생태계 출현 및 활성화의 핵심 기술로 자리잡을 것으로 기대된다.

그림. FLUID는 한 app을 UI 별로 여러 스마트 디바이스들에 분산하여 동시에 실행하는 OS 기술이며, UI 분산을 통하여, single-device 환경에서는 불가능한, 새로운 차원의 multi-device UX 제공 가능; YouTube 영상 UI는 TV에서, 댓글창 및 영상목록창 UI는 스마트폰에서 각각 실행 가능

연구성과

[논문] "FLUID: Flexible User Interface Distribution for Ubiquitous Multi-device Interaction", S. Oh, A. Kim, S. Lee, K. Lee, D. Jeong, S. Ko, I. Shin, ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom), 2019

[특허] 국내 특허 등록, "어플리케이션 수행에 있어서 모바일 기기 간에 기능을 분배하는 방법", 2019.
국내 및 PCT 특허 출원, "다중 기기 상호작용을 위한 사용자 인터페이스 분산 방법", 2020.

IT
Information Technology

역 음향 광선 추적법 기반 3차원 음원 위치 추적 기술 개발

전산학부
윤성의, 안인규, 권용선, 김태영, 최정우, 조병호
https://sgvr.kaist.ac.kr/~ikan/papers/SSL-BPS

로봇 또는 AI 스피커가 주변 화자와의 다양한 상호작용을 위해서는 화자의 정확한 위치파악이 중요하다. 기존 카메라 기반의 SLAM 기술이 존재하나, 보이지 않는 화자에 관한 연구가 존재하지 않았다. 본 연구진은 2018년부터 광선 추적을 역으로 이용하여 일반 3차원 공간상에서 음파의 진행 방향을 고려하여 음원의 정확한 위치 추적 연구를 세계 최초로 진행하고 있다.

특히 연구진은 소리 전파 경로를 통해 전달된 소리 신호의 변화를 추정하고, 이를 활용해 음원 위치 추적 정확도를 향상하는 연구를 진행했다. 음원에서 발생한 소리가 청자로 전달될 때, 전파 거리, 반사, 회절 등을 요소로 인해 음압의 감쇄가 발생한다. 본 연구에서는 마이크 어레이에서 측정된 소리 신호가 전파 중 감쇄하는 과정을 역으로 추정하는 기법 (역-전파 신호: Back-propagation signal)을 개발하고, 이를 활용해 음원 위치 추적 정확도를 향상했다.

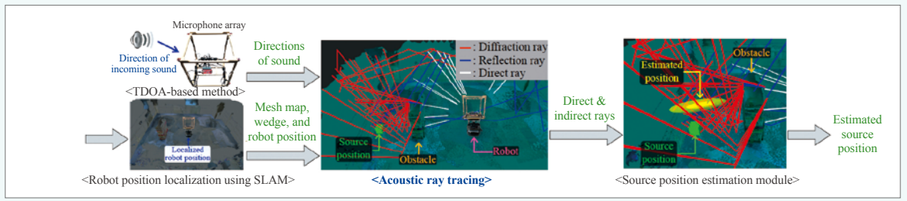


그림 1.
반사/회절 음향 광선을 생성하고, 이에 기반한 음원의 위치를 추적 기술 개요

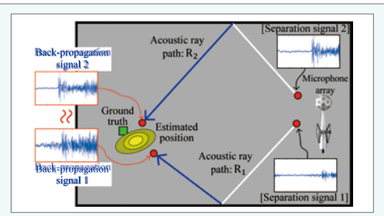


그림 2.
반사 전파 경로를 통해 전달된 신호를 역으로 추적하고 (역-전파 신호: Back-propagation signal), 이를 활용해 음원 위치 추정 정확도 향상 예시

연구성과

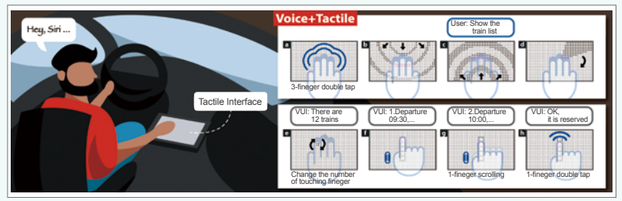
[논문] "Robust Sound Source Localization considering Similarity of Back-Propagation Signals", Inkyu An, Byeongho-Jo, Youngsun Kwon, Jung-woo Choi, and Sung-Eui Yoon, IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA), 2020

IT
Information Technology

음성+촉각 : 촉각 출력 터치패드 인터랙션을 이용한 차량 음성 인터페이스 개선

전산학부
이기혁, 정진근, 이상윤, 홍지우, 윤은혜
http://hci.kaist.ac.kr

시각적 주의 분산이 문제가 되는 차량 환경에서 음성 인터페이스는 중요한 대안이다. 특히 최근 AI 기술의 발전과 함께 더욱 현실적인 대안으로 주목받고 있다. 그러나 VUI는 음성인식 기술이 충분하더라도 화자 전환 (turn-taking) 문제, 대화 흐름 조절 문제, 연속량 입력의 불편, 단기 기억 부담 등의 근본적인 문제를 지니고 있다. 이 문제를 해결하기 위하여 시각적 피드백을 활용할 수 있으나 시각 주의 분산이 문제가 되는 차량 환경에서 시각적 피드백의 활용은 바람직하지 않다. 본 연구에서는 음성 인터페이스의 이러한 근본적 문제 해결을 위하여 음성 인터렉션과 촉각적 출력이 가능한 터치패드 기반 양방향 인터랙션을 결합한 Voice+Tactile 인터페이스 개념을 제안하고 구체적 인터페이스 구현과 사용자 스터디를 통하여 문제점 해결 가능성을 확인하였다.



연구성과

[논문] Jung, J., Lee, S., Hong, J., Youn, E., & Lee, G. (2020). Voice+Tactile: Augmenting In-vehicle Voice User Interface with Tactile Touchpad Interaction. CHI 2020.

IT
Information Technology

대화형 인공지능 에이전트를 위한 인간모사형 대화 인터랙션 흐름 제어 기술 개발

전산학부
이의진
http://iclab.kaist.ac.kr

대화형 인공지능 에이전트(애플 시리, 아마존 알렉사, SK 누구, 네이버 클로버 등)의 보급률이 최근 수년간 급속도로 증가하였다. 현재 인공지능 에이전트와의 인터랙션 패러다임은 사용자의 요청에 따라 에이전트가 수동적으로 대화 서비스를 제공하는 방식이다. 앞으로는 인공지능 에이전트가 능동적으로 대화 서비스를 제공하는 차세대 인터랙션 패러다임으로 변화할 것으로 기대된다. 본 연구에서는 인공지능 에이전트가 선제적으로 사용자 맞춤형 대화 서비스를 최적으로 제공하기 위해 필수적인 "인간모사형 대화 인터랙션 흐름 제어"(즉, 대화의 시작, 중단, 재개 지원) 기술의 이론적 토대와 구현 가능성을 최초로 제시하였다.

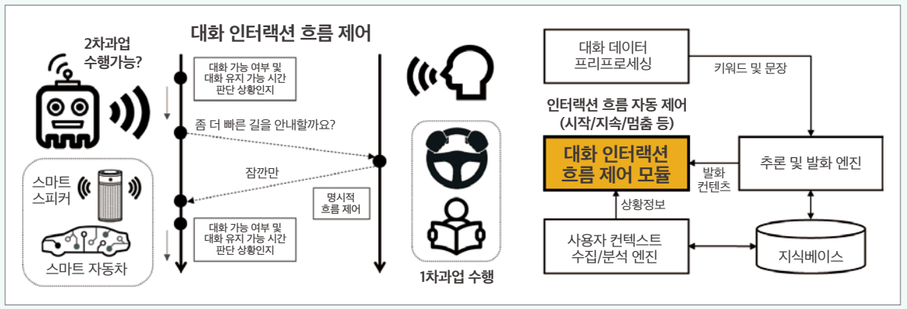


그림. 대화 인터랙션 흐름 제어 기술의 개념도

연구성과

[논문] N. Cha, A. Kim, C. Y. Park, S. Kang, M. Park, J.-G. Lee, S. Lee, U. Lee. "Hello there! Is now a good time to talk?": Understanding Opportune Moments for Proactive Conversational Interaction with Smart Speakers, Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies (IMWUT) Vol. 4, No. 3, Article 74, Sept. 2020 (전산 최우수 학회)

IT
Information Technology

수면의 질을 예측하는 인공지능

전산학부
차미영, 박성규, 한성원, 이상원, 챙태 리, 쳉 슈
https://ds.kaist.ac.kr

수면 장애는 다양한 형태로 존재하는데 지금 활용되는 인지행동치료(CBT)는 통계적 자료 기반으로 개인별 차이를 반영하기란 어렵다. 이 연구는 인공지능과 정신의학(AI+Psychiatry) 분야 간 협업을 통해 수면 연구에 획기적인 방법론과 실험데이터를 제공한다. 6주에 걸쳐 수집된 개인의 행동 및 수면을 기록한 데이터에 기반한 딥러닝 기반 패턴 군집화, 개인화된 수면 효율 예측 모델, 수면 효율을 높이는 알고리즘 기반 중재의 제공을 통해 수면에 대한 이해를 인공지능으로 실현한다. 제안된 기술은 정밀 정신건강의학(Precision Psychiatry) 분야에서 선도적 역할을 하고 산업적으로 유용한 서비스 혹은 대국민 캠페인으로 발전 가능할 것으로 기대된다. 이 연구는 교내 전산학부 및 (前)의과학대학원(현재 칠곡경북대학교병원) 연구진의 협업으로 이루어졌으며 그 결과는 전산과 의료 학술지 모두에 실렸다. 이 연구를 통해 개발되고 있는 서비스가 불면증으로 어려움을 겪은 이들에게 실질적인 도움을 주길 기대한다.

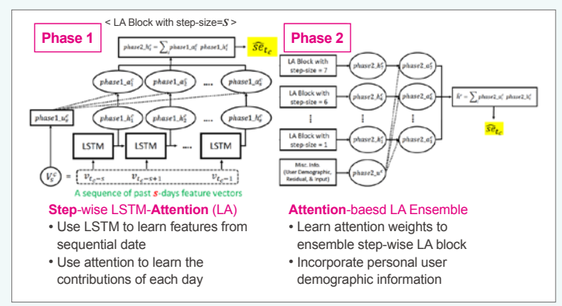


그림 1. 수면 모델링을 위한 딥러닝 구조도

그림 2. 맞춤형 중재가 구현된 앱 스냅샷

연구성과

[논문] S. Park, C. T. Li, S. Han, H. Cheng, S. W. Lee, and M. Cha*. "Learning Sleep Quality from Daily Logs", In proc. of the ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD), 2019. [전산학부 최우수학회리스트, Acceptance rate=14.2%]
S. Park, S. W. Lee, S. Han, and M. Cha*. "Clustering Insomnia Patterns by Data From Wearable Devices: Algorithm Development and Validation Study", JMIR mHealth and uHealth, 7(12), e14473, 2019. [Impact Factor = 4.31]

IT
Information Technology

스마트팩토리 운영을 위한 그래프 기반 다중에이전트 강화학습 기법 개발

산업및시스템공학과
박진규, 박준영, 안규리, 전재형
http://silab.kaist.ac.kr

공학 시스템의 규모가 커지고 복잡해짐에 따라 이들을 효과적으로 모델링하고 제어하는 것이 어려워지고 있다. 특히 수많은 공정과 장비들로 이루어진 반도체 공정을 최적으로 스케줄링하거나 수백여 대의 무인 반송 로봇을 협동적으로 운영하는 전략을 기존 모델링 기법과 최적화 기법으로 도출하는 것은 불가능에 가까운 일이다. 본 연구는 시스템의 구성요소들을 독립적으로 제어 가능한 의사결정자 (agent)로 간주하고, 이들의 독립적인 의사결정이 시스템 전체의 성능향상을 유도하도록 개별 agent의 정책함수를 도출하는 그래프 기반 다중에이전트 강화학습 기법을 제시하였다. 개발된 알고리즘을 활용하여 반도체 공정 최적으로 스케줄링하는 정책함수와 반도체 팹의 무인 반송 로봇들의 협동으로 운영할 수 있는 정책함수를 도출하였다.

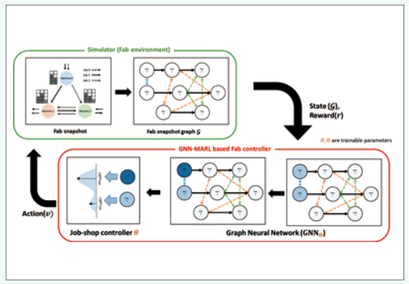


그림 1. 반도체 공정 최적 스케줄링

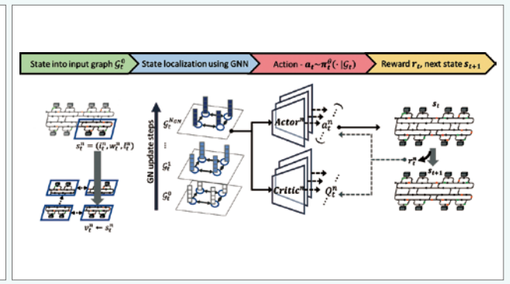


그림 2. 반도체 팹 무인반송 로봇 협동 운영

연구성과

[논문] K. Ahn, and J. Park*, "Cooperative Zone-based Rebalancing of Idle Overhead Hoist Transportations using Multi-Agent Reinforcement Learning with Graph Representation Learning", IISE Transactions (Accepted) (2020)

IT
Information Technology

증강/가상 현실에서의 가상 객체 조작을 위한 빠른 움직임의 손 관절 자세 추정

문화기술대학원
우운택, 박갑용, 이주영
http://uvrlab.org

손의 관절 자세 추정은 원격의 사용자와의 AR/VR 원격협업을 위해 가상객체를 조작 하고자 할 때 활용 될 수 있는 기술이다. 기존의 방식들은 느리고 부드러운 손의 움직임에 대해서 모션 블러가 발생하지 않은 깊이 이미지들로부터 손의 자세를 성공적으로 추정하였다. 하지만 손이 빠르게 움직일 때에는, 기존의 깊이 카메라 이미지가 모션 블러에 의하여 훼손이 되기 때문에 기존 방식들의 손 자세 추정 정확도가 현저하게 낮아진다. 본 연구에서는, 모션블러가 발생하는 상황에서 손의 자세를 추정하는 방법을 제시하였으며, 그 응용으로서 빠르게 가상 객체를 조작하는 것을 보여준다. 본 제안 기술은 손이 빠르게 움직일 때 모션 블러가 존재하는 상황에서, 기존에 연구된 방식들과 비교하였을 때 더 정확하게 손의 자세를 추정하는 것을 정량적/정성적으로 보여준다.

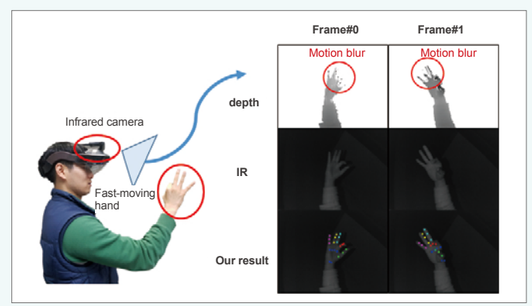


그림 1. 안경형 디스플레이 착용 및 손 관절 위치 추정

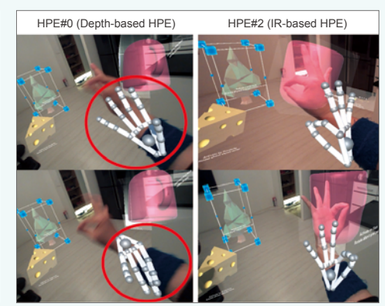


그림 2. 빠른 가상 객체 조작 결과(좌: 기존 결과 우: 제안한 방식)

연구성과

[논문] G. Park, A.A. Argyros, J. Lee, W. Woo, "3D Hand Tracking in the Presence of Excessive Motion Blur", IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics (TVCG), 26, 5, (2020) [2019 Impact Factor = 4.558].

IT
Information Technology

상이 공간 간 텔레프레즌스 아바타 동작 생성 기술 개발

문화기술대학원
이성희, Leonard Yoon, 양동석, 정충호, 김재현
http://motionlab.kaist.ac.kr

아바타 매개 증강현실 텔레프레즌스는 원격지 사용자를 대신하는 3D 가상 아바타를 현 공간에 나타내고, 이를 통해 원격지 사용자와 마치 한 공간에 있는 것처럼 느끼며 소통할 수 있게 한다. 본 연구는 공간 형상, 가구 배치 등이 다른 공간에서 활동하는 원격 사용자의 위치와 자세의 의미를 최대한 보존하도록 현 공간 아바타의 배치 및 제스처를 생성하는 방법을 최초로 제시했다. 이를 통해 아바타는 현 공간 객체(가구 등)를 의미 있게 활용하며 사용자와 교류·협업할 수 있다. 본 연구는 서로 다른 공간에 있는 원격 사용자들이 전신을 자유롭게 사용하며 소통할 수 있게 하는 기술의 초석을 제시했다. 본 연구의 중요성은 저탄소, 언택트 시대에 더욱 높아지고 있다.

그림. 크기 및 가구 배치가 다른 공간 (상-하)에 있는 사용자들이 아바타를 통해 회의(좌), 교육(중), 창작(우)하는 구현 예시.

연구성과

[논문] Placement Retargeting of Virtual Avatars to Dissimilar Indoor Environments, L Yoon, D Yang, J Kim, C Chung, S-H Lee, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics (TVCG), August. 2020 [Impact factor 4.558, JCR Rank 10/108]

A Mixed Reality Telepresence System for Dissimilar Spaces Using Full-Body Avatar, L Yoon, D Yang, C Chung, S-H Lee, ACM SIGGRAPH Asia 2020 XR

BT
Bio Technology

수리 모델을 이용한 불안정한 수면 사이클 원인 규명 및 신약 개발

수리과학과
김재경, 김대욱
http://mathsci.kaist.ac.kr/~jaekkim

생체시계 (Circadian clock)는 우리가 24시간 주기에 맞춰 살아갈 수 있도록 수면을 포함한 다양한 행동과 생리작용을 조절한다. 본 연구에서는 시공간 확률론적 수리 모델링과 실험을 결합하여 비만·치매·노화가 세포내 혼잡을 유발해 불안정한 일주기 리듬 (Circadian rhythms)과 수면 사이클을 유발함을 최초로 밝혔다. 나아가 글로벌 제약회사인 Pfizer와 공동연구를 통해 일주기 리듬 수면 장애 신약을 개발하는 과정에서 발생한 동물 시험과 임상 시험 간 약효 차이 그리고 사람간의 약효 차이의 원인을 수학적 모델을 밝힘으로써 신약 개발 가능성을 획기적으로 높였다.

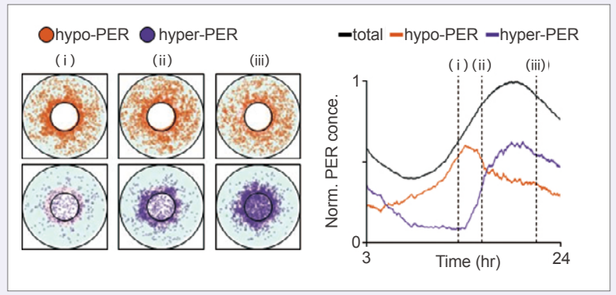


그림. 생체시계 PER 분자의 세포내 움직임과 인산화와 같은 생화학 작용을 묘사하는 생체시계 시공간적 확률 수리 모델 시뮬레이션 결과

연구성과

[논문] Beesley S+, Kim DW+, DAlessandro M, Jin Y, Lee K, Joo H, Young Y, Tomko R, Kim JK*, Lee C*, "Wake-sleep cycles are severely disrupted by diseases affecting cytoplasmic homeostasis", PNAS (2020) [2020 IF=9.3]

Kim DW, Chang C*, Chen X, Doran A, Gaudreault F, Wager T, DeMarco GJ, Kim JK*, "Systems approach reveals photosensitivity and PER2 level as determinants of clock-modulator efficacy", Mole Syst Biol (2019) [2020 IF=9.58]

BT
Bio
Technology

뇌하부 뇌막 림프관을 통한 뇌 속 노폐물 배출 경로 최초 규명

의과학대학원
안지훈, 조현수, 김준희, 김신흔, 함제석, 박인태, 서상헌, 홍선표, 송주혜, 홍영권, 정용, 박성홍, 고규영
http://vascular.ibs.re.kr

뇌에서는 대사활동의 부산물로 상당한 양의 노폐물이 생성되어 뇌척수액을 통해 중추신경계 밖으로 배출되는데, 베타-아밀로이드, 타우 단백질과 같은 노폐물이 배출되지 않고 뇌에 축적되면 기억력 등 뇌 인지 기능이 저하되고, 치매 발병 확률이 높아진다. 뇌막 림프관은 딱딱한 머리뼈 속에서 다른 혈관들과 복잡하게 얽혀있어 정확한 관측이 어려워, 아직까지 뇌척수액의 정확한 주요 배출 경로가 밝혀지지 않았었다. 이 연구에서는 동물실험을 통해 뇌척수액을 밖으로 배출하는 주요 통로가 뇌 하부에 위치한 뇌막 림프관이라는 사실을 밝히고, 나이가 들수록 그 기능이 떨어지는 것을 확인하였다. 뇌 하부 뇌막 림프관의 정확한 위치와 기능은 물론, 노화에 따른 변화를 규명한 것으로, 향후 치매를 포함한 퇴행성 뇌질환 연구에 새로운 이정표가 될 것으로 기대된다.

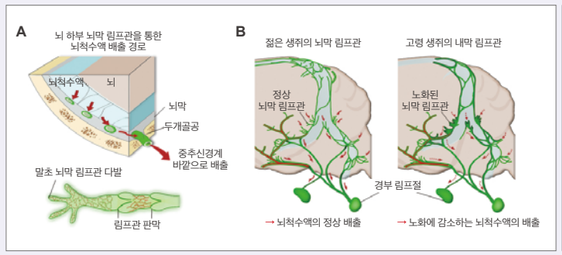


그림 1. 뇌막 림프관의 위치와 연령에 따른 구조 변화 과정 모식도

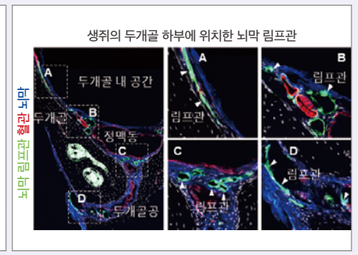


그림 2. 뇌척수액과 가깝게 위치한 뇌 하부 뇌막 림프관

연구성과

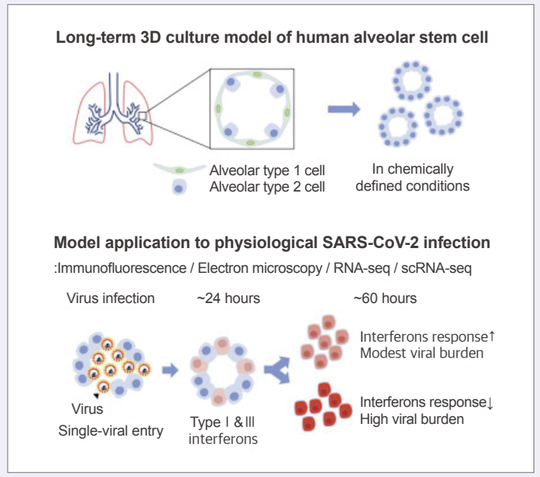
[논문] JH Ahn, H Cho, JH Kim, SH Kim, JS Ham, I Park, SH Suh, SP Hong, JH Song, YK Hong, Y Jeong, SH Park*, GY Koh*. "Meningeal lymphatic vessels at the skull base drain cerebrospinal fluid", Nature 572(7767):62-66 (2019) [2019 Impact Factor = 42.779]

BT
Bio
Technology

사람 폐포의 3차원 배양모델을 이용한 SARS-CoV-2의 폐 감염기전 연구

의과학대학원
주영석, 육정환, 김태우, 이기종, 김수연
http://julab.kaist.ac.kr

본 연구는 사람 폐포 줄기세포(human alveolar type2 cell)를 실험실에서 3차원으로 배양하여 장기간 (~10 month) 계대배양할 수 있는 폐포 오가노이드 (lung alveolar organoid) 수립 조건을 최초로 확립하였습니다. 기존에 많이 사용되었던 배양보조세포 (feeder cell)의 도움 없이 장기간 인간의 폐포를 배양해 낸 것은 본 연구가 처음입니다. 이렇게 수립한 인간의 폐포 모델을 바탕으로 COVID-19의 원인 바이러스인 SARS-CoV-2 바이러스를 실험실 조건에서 인간의 폐포에 감염시켰고, 이를 이미징 및 유전체 기술을 이용해 추적 관찰하였습니다. 이로부터 SARS-CoV-2 이 인간 폐포에 감염되는 기전 및 인간 폐포 세포의 반응을 단일세포 수준에서 규명하였습니다.



연구성과

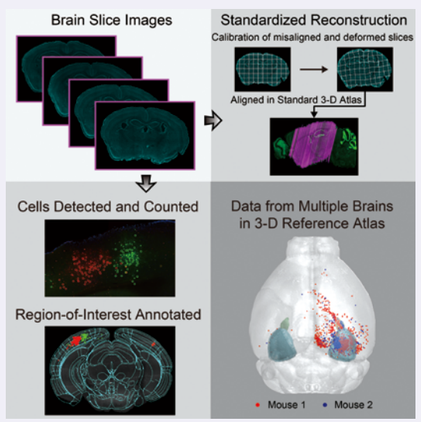
[논문] Youk J et al., Three-Dimensional Human Alveolar Stem Cell Culture Models Reveal Infection Response to SARS-CoV-2. Cell Stem Cell (2020); online 2020.10.21.; print 2020.12.03. (IF=20.860)

BT
Bio
Technology

뇌 신경세포의 정확한 분포정보를 3차원으로 관측하는 핵심 분석 기술 개발

바이오및뇌공학과
백세범, 송준호, 최우철
http://vs.kaist.ac.kr

본 연구에서는 뇌신경과학 연구에서 광범위하게 사용되는 실험용 쥐의 뇌 절편 영상을 자동으로 보정하고 규격화하여 신경세포의 3차원 분포정보를 정확하게 얻을 수 있는 핵심 분석 기술을 개발했다. 이 기술은 실험자의 경험에 의존하던 기존 분석 방식의 문제점을 해결하는 한편 여러 개체에서 얻은 뇌 이미지를 표준적인 3차원 지도상에서 비교 분석할 수 있도록 하여, 기존 분석 방식으로는 불가능했던 다중 개체 데이터의 표준화를 통해 뇌 전역에 걸쳐 뇌세포 간 상호 연결 형태의 정확한 공간적 분포를 발견할 수 있는 길을 열었다는 점에서 의미가 크다.



연구성과

[논문] Song JH*, Choi W*, Song YH, Kim JH, Jeong D, Lee SH and Paik SB (* Equally contributed), "Precise mapping of single neurons by calibrated 3-D reconstruction of brain slices reveals topographic projection in mouse visual cortex", Cell Reports 31(8), 107682 (2020) [2019 Impact Factor = 8.109]

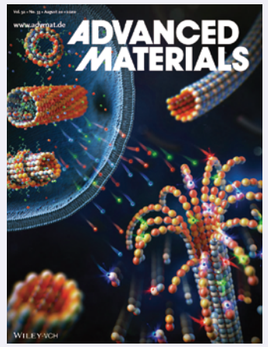
Liu D, Li W, Ma C, Zheng W, Yao Y, Tso CF, Zhong P, Chen X, Song JH, Choi W, Paik SB, Han H and Dan Y, "A common hub for sleep and motor control in the substantia nigra", Science 367(6476), 440-445 (2020) [2019 Impact Factor = 41.845]

BT
Bio
Technology

튜불린 기반 단백질 나노튜브 개발 및 항암제 전달체로의 응용

바이오및뇌공학과
최명철
http://mcchoi.kaist.ac.kr

생명 현상의 중요한 역할을 담당하는 튜불린 기반 단백질 나노튜브의 구조를 제어하는 혁신적인 기술을 개발하였고, 이를 항암제 전달체로 응용하는데 성공했다. 우리 몸속 세포물질을 그대로 이용하되 자연의 설계를 뛰어넘어 혁신적인 나노건축물을 구현해낸 것으로, 튜불린 단백질을 나노소재의 기초물질로 활용하게 해줄 핵심 전략을 제시했으며, 항암제의 목표물을 전달체로 활용하는 새로운 개념의 치료제 개발이라는 의미가 있다.



연구성과

[논문] J. Kim, J. Lee, J. Lee, H. Keum, Y. Kim, Y. Kim, B. Yu, S. Y. Lee, J. Tanaka, S. Jon*, M. C. Choi*, "Tubulin-based Nanotubes as Delivery Platform for Microtubule-Targeting Agents", Advanced Materials, 32 2002902 (2020) 표지 논문 [IF 27.398]

J. Lee, C. Song, J. Lee, H. P. Miller, H. Cho, B. Gim, Y. Li, S. C. Feinstein, L. Wilson, C. R. Safinya, M. C. Choi*, "Tubulin Double Helix: Lateral and Longitudinal Curvature Changes of Tubulin Protofilament", Small, 16 2001240 (2020) 표지 논문 [IF 11.459]

BT
Bio
Technology

개미산과 이산화탄소만으로 잘 증식하는 대장균 개발

생명화학공학과
이상엽, 방준호, 황창훈, 안정호, 이종언
http://mbel.kaist.ac.kr

지난 수십년간 화석 연료 사용이 증가함에 따라 이산화탄소 발생량 및 대기 중 이산화탄소 농도가 지속적으로 증가하였고, 이로 인한 지구온난화 및 기후변화가 큰 문제로 떠오르고 있다. 이를 해결하기 위해 대기 중 이산화탄소 저감을 목표로 다양한 분야에서 연구 개발이 진행되고 있다. 또한, 개미산은 탄소 하나로 구성된 카르복실산으로, 최근에는 일산화탄소로부터 개미산으로의 전환법이 많이 개발되고 있으며 다른 C1 탄소원에 비해 보관 및 수송이 용이하여 주된 C1 탄소원으로 이용될 수 있는 물질이기도 하다. 본 연구에서는 시스템 대사공학을 이용해 대장균에 C1 탄소 동화 회로를 도입하고, 탄소 및 에너지 공급 대사경로를 총체적으로 분석 및 개량하여 포도당 등의 바이오매스 기반 탄소원을 전혀 사용하지 않고 개미산과 이산화탄소만을 사용하여 높은 세포 농도까지 성장이 가능한 대장균 개발에 최초로 성공하였다. 이번 연구를 통해 개발된 기술은 온실가스인 이산화탄소 저감에 기여할 뿐만 아니라 개미산, 이산화탄소, 일산화탄소 등 C1 탄소 화합물로부터 각종 화학물질을 생산하는 C1 리파이너리 시스템 구축에 필요한 핵심 원천 기술이다.

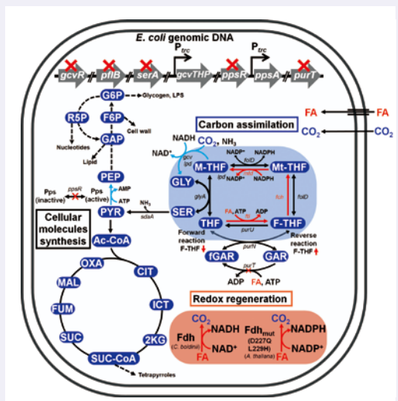


그림. 개미산 및 이산화탄소만을 이용하여 성장하는 대장균의 전체 대사 흐름 및 균주 개발에 사용된 전략

연구성과

[논문] Bang, J., Hwang, C.H., Ahn, J.H., Lee, J.A., and Lee, S.Y. "*Escherichia coli* is engineered to grow on CO_2 and formic acid", Nature Microbiol., 5: 1459-1463 [2019 Impact Factor=15.540]

NT
Nano
Technology

섬유 위에 기능성 나노구조체를 자유롭게 만들 수 있는 생체적합 공정 개발

기계공학과
박인규, 고지우, 안준성, 조인철
http://mintlab1.kaist.ac.kr

최근 웨어러블 디바이스에 대한 관심이 커짐에 따라 섬유를 기판으로 하는 스마트 섬유에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 섬유에 초미세 패턴을 구현하기 위해 다양한 방법이 시도되었지만, 섬유의 거친 표면 특성으로 인해 기존의 공정은 디바이스의 소형화 및 성능 향상에 필수적인 정교한 패턴을 구현할 수 없다는 한계점이 존재하였다. 본 연구에서는 물에 잘 젖는 섬유의 특징에 착안하여 수용성 고분자이며 생체적합성이 우수한 히알루론산을 이용함으로써 섬유에 초미세 패턴을 구현하는 방법을 최초로 제시하였다. 이 방법을 통해 금속과 비금속 소재의 다양한 나노구조체를 섬유 위에 자유롭게 제작할 수 있으며, 전기적/광학적 성질을 이용하여 수소 센서와 보안패턴 등에 적용 가능함을 보여주었다. 본 제안 기술은 섬유에 센서, 배터리, 보안패턴, 자가 세정 등의 첨단 기능을 구현할 수 있는 간편하면서도 범용성 있는 나노패터닝 방법이므로 스마트 섬유 제작에 있어서 새로운 방법으로 대두될 것으로 기대된다.

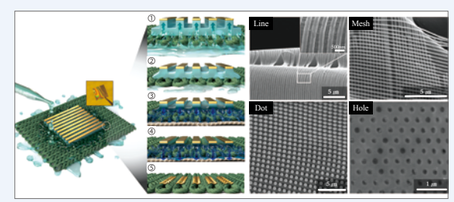


그림 1. 수용성 고분자 나노 템플릿을 이용한 섬유 기판에 나노구조체 전사 공정도와 전사 결과

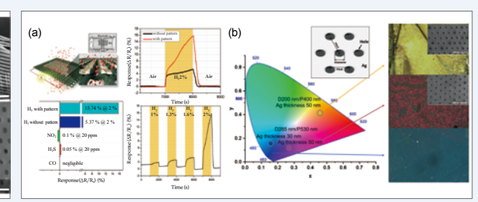


그림 2. 제안된 방법을 이용한 응용: (a) 제작된 팔라듐 기반의 수소 센서, (b) 나노구조색을 이용한 보안패턴

연구성과

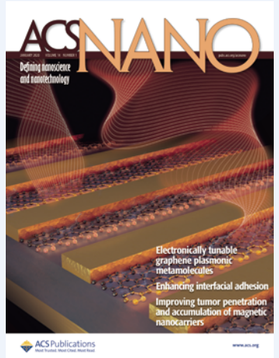
[논문] J. Ko, Z.-J. Zhao, S.H. Hwang, H.-J. Kang, J. Ahn, S. Jeon, M. Bok, Y. Jeong, K. Kang, I. Cho, J.-H. Jeong*, and I. Park*, "Nanotransfer printing on Textile Substrate with Water-Soluble Polymer Nanotemplate", ACS Nano 14(2), 2191-2201 (2020) [2019 Impact Factor = 14.588].

NT
Nano
Technology

그래핀 기반 메타표면을 이용한 중적외선 빛의 세기 및 위상 독립 제어

전기및전자공학부
장민석, 한상준, 김신호
http://jlab.kaist.ac.kr

고해상도 능동 파면 제어는 광학 분야에서 숙원 과제였다. 최신 능동 메타표면은 메타원자의 위상 변조 기능을 기반으로 구동되어 왔으나, 위상과 진폭 변조를 동시에 하지 못하는 한계 때문에 원하는 파면을 재구성함에 있어 상당한 결점이 있었다. 이 논문에서는 금속 안테나와 그래핀 플라즈모닉 나노 공진기로 이루어진 메타원자들을 결합한 메타분자를 소개한다. 메타분자의 특성은 이를 구성하는 그래핀 나노 공진기의 페르미 준위에 의해 결정되며, 두 개의 조절 변수를 통해 완전한 위상 변조뿐만 아니라 큰 범위의 진폭 변조를 독립적으로 수행할 수 있다. 복소 반사 계수 변조를 최대화하기 위해 필요한 직관적인 가이드라인으로, 일반화된 도식적 접근 방법을 개발하였으며, 메타분자 설계의 확장성을 보이기 위해 능동 빔 스티어링과 빔 포커싱을 전파 시뮬레이션으로 구현하였다.



연구성과

[논문] Han, S., Kim, S., Kim, S., Low, T., Brar, V. W., & Jang, M. S. (2020). Complete complex amplitude modulation with electronically tunable graphene plasmonic metamolecules. ACS nano, 14(1), 1166-1175. [ACS Nano: 2019 Impact factor - 14.588]

NT
Nano
Technology

비발화 ESS 수계전지 개발

생명화학공학과
김희탁, 이주혁, 김리율, 김수현, 허지윤, 권혁진, 양정훈
http://eed.kaist.ac.kr

리튬이온전지기반 대용량에너지저장장치 (ESS)의 빈번한 발화사고로 인해 새로운 비발화 및 저가 ESS 전지의 필요성이 증대되고 있다. 아연브롬전지는 근원적 비발화특성과 초저가격에도 불구하고, 음극 Zn 전착반응시 생성되는 덴드라이트로 인해 전지수명의 한계에 봉착해 왔다 본 연구에서는 카본의 단일 결함구조가 Zn와 오비탈혼합을 통해 Zn핵의 표면확산을 통한 응집 및 덴드라이트 생성을 억제함을 발견하고, 단일결함구조가 농축된 전극을 개발하여 리튬이온전지의 30배에 달하는 높은 충방전 전류밀도에서 (100 ㎃/㎠)에서 리튬이온전지의 5배의 수명 (5000사이클)을 구현하였다. 이는 지금까지 보고된 수계레독스전지 중 가장 우수한 결과로서 리튬이온전지 기반 ESS의 발화문제를 해결할 새로운 대안을 제시한 의미를 가진다.

그림 1.
결함구조 카본 집전체를 이용한 균일아연전착 메커니즘

그림 2.
차세대 배터리 연구센터 융합연구성과, 언론보도


서울경제 2020년 10월 06일 화요일 A31면 피플

"불 안나고 오래가는 ESS 상용화 머지 않았죠"

<에너지저장장치>

'신기술 신재' 김희탁 KAIST 교수 세계최고 수명 ESS 수계전지 개발 "충·방전 5,000회이상 반복 가능 4년내 새로운 ESS 시스템 제시"

"태양광·풍력발전 등에 쓰이는 에너지저장장치(ESS)는 먼저 안전성과 경제성이 확보돼야 합니다. 불이 나지 않고 오래 가는 새로운 ESS 전지기술로 이 두 마리 토끼를 잡을 수 있습니다."

세계 최고 수명의 대용량 ESS 수계(물)전지를 개발한 김희탁(사진) KAIST 생명화학공학과 교수는 6일 서울경제와의 인터뷰에서 "이번 신기술은 최근 부각되고 있는 리튬이온전지를 사용했지만 최근 잇따른 화재로 안전성 문제가 제기돼 왔다.

김 교수는 "리튬이온전지는 전해액에 유기물로 구성돼 화재위험이 있는 데 반해 수계전지는 불 전해질을 이용하는 장점으로 대체 전지로 주목받고 있다"며 "기존 수계전지가 리튬전지보다 2~3배 비싸고 수명이 짧은 것은 단점"이라고 설명했다.

수계전지는 값이 저렴한 아연을 소재로 하지 않는다는 것을 규명했다"며 "그동안 해외 학계나 업체들이 시도하지 않은 방식으로 해결책을 찾았다"고 말했다.

불이 나지 않는 수계전지에 이 기술을 적용하면 충·방전을 5,000회 이상 반복하는 것이 가능하다. 기존 리튬이온전지의 1,000회나 기존 수계전지의 200~500회와 비교하면 수명을 획기적으로 늘린 것이다. 김 교수는 "아연 소재를 그대로 사용하기 때문에 전지 비용도 기존(시간당 1백 기준)보다 훨한 수준으로 낮출 수 있다"며 "새로운 전지기술은 태양광·풍력 설비 비용을 낮추고 관련 기업의 수익성도 높일 수 있을 것"이라고 말했다.

KAIST에서 화학공학을 전공한 김 교

연구성과

[논문] J.-H. Lee, R. Kim, S. Kim, J. Heo, H. Kwon, J.H. Yang, H.-T. Kim*, Dendrite-free Zn electrodeposition triggered by interatomic orbital hybridization of Zn and single vacancy carbon defect for aqueous Zn-based flow batteries, Energy and Environ. Sci., 13, 2839-2848 (2020) [2019 Impact Factor = 30.289].

NT
Nano
Technology

물의 흡착 및 흐름을 이용한 에너지 하베스터 시스템 개발

신소재공학과
김일두, 배재형
http://advnano.kaist.ac.kr

에너지 하베스팅이란 자연에서 버려지는 에너지원을 모아 활용도 높은 전기 에너지로 변환하는 기술이다. 기존에 개발된 에너지 하베스터들은 특정 에너지원이 제공될 때만 전력을 생성하기 때문에 시간, 공간, 환경적인 제약이 많았다. 본 연구에서는 소량의 물로 고전도성나노소재가 코팅된 친수성 멤브레인에서 직류형태의 전기에너지를 생성할 수 있는 방법을 최초로 제시하였으며, 에너지 생성 원리를 규명하였다. 특히, 본 기술에 자가 수분 흡착 물질을 이용하여 인공적인 물 순환 시스템을 만들어주면 에너지 생성 시간을 장기화 할 수 있으며, 향후 4차산업 사물인터넷 기술의 핵심 에너지 기술로 대두될 것으로 기대된다.

그림 1. Energy & Environmental Science 2020년 2월호 저널 뒤표지.

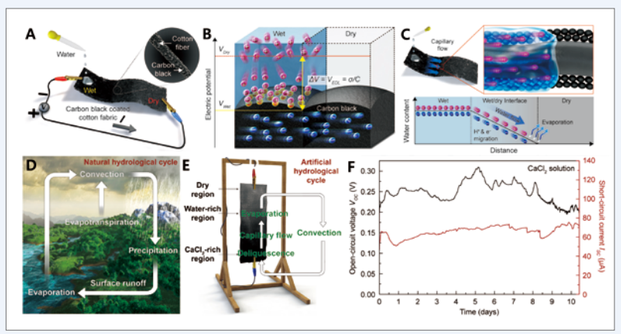


그림 2. (A) 증산 작용이 적용된 에너지 하베스터. (B) 전압 생성 원리. (C) 전류 생성 원리. (D) 대자연 물 순환 과정. (E) 인공 물 순환 시스템이 적용된 증산 기반 에너지 하베스터. (F) 지속적인 에너지 생산 구현.

연구성과

[논문] J. Bae, T. G. Yun, B. L. Suh, J. Kim, I. D. Kim* "Self-operating transpiration-driven electrokinetic power generator with an artificial hydrological cycle", Energy & Environmental Science 13, 527-534 (2020), Featured as Journal Back Cover [2019 Impact Factor = 30.289]

T. G. Yun, J. Bae, A. Rothschild, I. D. Kim* "Transpiration Driven Electrokinetic Power Generator", ACS Nano 13, 12703-12709 (2019) [2019 Impact Factor = 14.588]

NT
Nano
Technology

금 사용량 줄인 이산화탄소 환원 나노구조 촉매 개발

신소재공학과
전석우, 오지훈, 현가예, 송준태
http://fdml.kaist.ac.kr
http://les.kaist.ac.kr

최근 화석 연료의 고갈 및 완전 연소에 따라 배출되는 이산화탄소를 보다 유용한 화합물로 전환하고자 하는 연구가 많은 관심을 받고 있다. 복잡한 나노구조 촉매를 활용해 반응의 선택도를 높이는 연구가 다수 이루어졌으나 반응 생성물인 일산화탄소의 기포가 구조 내부에 막히는 현상으로 인해 효율적인 전환율을 동시에 달성하는 데에는 어려움이 있었다. 본 연구에서는 이산화탄소의 환원 반응 시 물질이동의 한계를 극복하여 값 비싼 금 촉매의 사용을 효과적으로 줄일 수 있는 3차원의 계층 나노구조 촉매를 개발했다. 두 가지 크기의 기공 네트워크를 지닌 계층 다공성 나노구조를 제작하고, 이산화탄소에서 일산화탄소로의 전환율을 기존 나노구조 촉매 대비 최대 3.96 배 향상시킬 수 있는 촉매 디자인을 제시했다. 이 결과는 이산화탄소 환원 촉매 연구 뿐만 아니라 유사 전기화학 분야에서 발생하는 물질이동의 문제를 해결하고 효율적인 촉매활용을 위한 폭넓은 응용이 가능할 것으로 기대된다.

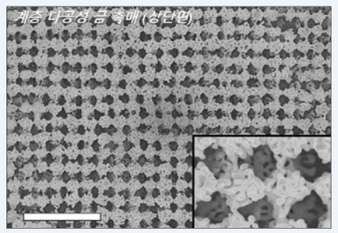


그림 1. 계층 다공성 금 촉매의 상단면 이미지. (스케일 바: 3 μm)

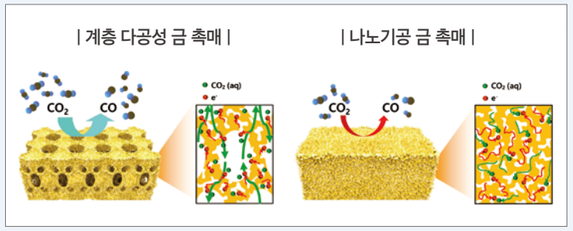


그림 2. 이산화탄소 환원 반응 도중, 계층 다공성 금 촉매와 나노기공 금 촉매 내부의 이산화탄소 및 전자 이동 경로 개략도.

연구성과

[논문] G. Hyun[1], J. T. Song[1], C. Ahn, Y. Ham, D. Cho, J. Oh*, and S. Jeon*, "Hierarchically porous Au nanostructures with interconnected channels for efficient mass transport in electrocatalytic CO_2 reduction", Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 117, 5680-5685 (2020) [2019 Impact Factor = 9.412].

1) G.H and J.T.S contributed equally to this work. *J.O and S.J are co-corresponding author.

NT
Nano
Technology

고온 전기화학 소자를 위한 나노촉매 분석 플랫폼 개발

신소재공학과
정우철, 김상욱, 김현유
http://seml.kaist.ac.kr

금속 나노입자 기반의 불균일계 촉매는 뛰어난 활성을 바탕으로 다양한 분야에 널리 사용되고 있지만, 열적 안정성이 부족하여 연료전지, 수전해, 센서 등 세라믹 기반 고온 전기화학 소자로의 적용이 크게 제한된다. 본 연구에서는 금속 나노입자의 전기화학 반응성을 정밀하게 평가할 수 있는 새로운 나노 단위 분석 기법을 개발하여 세계 최초로 고온 촉매의 반응 기구를 규명하고 고성능 전극을 설계하는 데 성공했다. 개발된 분석·합성 기술들은 소재의 촉매 특성에 대한 표준화된 데이터베이스 확보와 고성능 촉매 개발의 새로운 설계 전략을 제시하며, 향후 금속 촉매가 사용되는 다양한 산업 분야에 적용할 수 있는 높은 유연성과 실용성을 가지고 있다. 특히 차세대 에너지 소자의 성능 향상과 관련 기술 상용화에 크게 이바지할 것으로 기대된다.

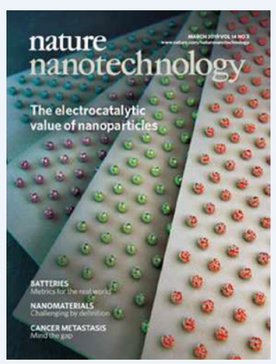


그림 1.
출판된 Nature Nanotechnology 논문 표지

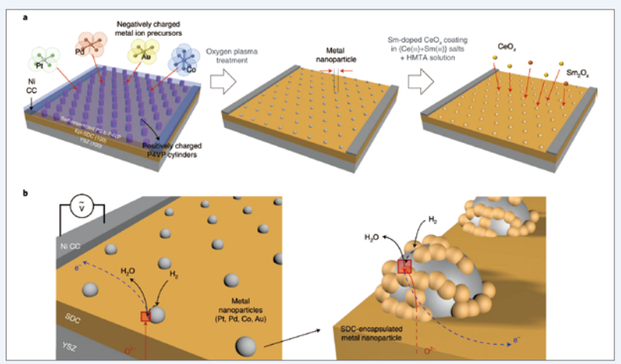


그림 2. 나노단위 금속촉매의 전기화학적 활성 평가를 위한 새로운 플랫폼
Block copolymer 나노 패터닝 공정을 기반으로 산화물 전극 표면에 같은 크기(10 nm)와 간격으로 금속 나노입자(Pt, Pd, Au, Co)를 합성하는 모식도

연구성과

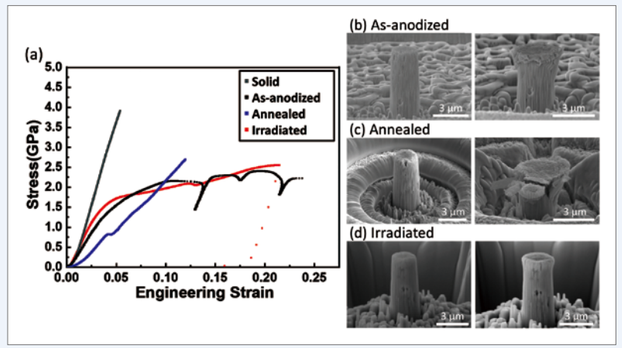
[논문] Y. Choi†, S. K. Cha†, H. Ha†, S. Lee, H. K. Seo, J. Y. Lee, H. Y. Kim*, S. O. Kim* and W. Jung*, Unravelling inherent electrocatalysis of mixed-conducting oxide activated by metal nanoparticle for fuel cell electrodes, Nature Nanotechnology 14 (2019) 245-251

NT
Nano
Technology

나노과학과 방사선 기술이 만든 높은 변형성의 순수 세라믹 재료

원자력및양자공학과
장동찬, 조성오, 신다혜, 김정우
https://rnl.kaist.ac.kr,
http://qtbeam.kaist.ac.kr

석기시대 이후로 세라믹 재료는 단단하지만 변형성이 거의 없이 쉽게 깨지는, 즉 취성(brittleness) 파괴의 특성을 갖는 것으로 여겨져 왔다. 이를 극복하기 위해 인류는 세라믹을 이용한 다양한 복합재료를 고안해 왔다. 고대시대의 벽돌이나 우리나라 전통 가옥의 벽은 진흙 안에 짚을 넣어 파괴 저항성을 강화해 왔으며, 철근 콘크리트 구조물 또한 근본적으로 같은 방법론이 근대적으로 발전된 것이다. 본 연구에서는 취성 특성의 순수 세라믹 물질의 3차원 또는 2차원 나노구조화를 통해 파괴에 대한 저항성을 급격히 증가시켜 높은 변형성을 부여할 수 있음을 입증하였다. 또한, 이러한 세라믹 나노구조에 방사선 조사를 행하면 원자단위 내부 구조를 제어하여 순수 세라믹 재료의 변형성을 금속 재료 수준으로 크게 증가시킬 수 있음을 증명하였다.



연구성과

[논문] Kim, J. W., Shin, D., Park, Y. J., Jang, D., & Cho, S. O. (2019). Ductilization of Nanoporous Ceramics by Crystallinity Control. Nano Letters, 19(12), 8488-8494.
Shin, D., Kang, D. G., Woo, K. Y., Cho, Y.-H., Han, S. M., & Jang, D. (2020). Friction Control by Deformation Mode in Nanopatterned Amorphous Carbon. Nano Letters, doi: acs.nanolett.0c03339.

CT
Culture Technology

인공창의성 연구를 위한 빅데이터-네트워크 이론 기반 창의성 계산 방법 및 서양고전음악 응용

문화기술대학원
박주용, 박도흠, 남주한
http://entropy.kaist.ac.kr

인간 고유의 능력이라고 믿어지고 있는 창의력의 산물인 문화예술의 창작에서도 인공지능과 같은 컴퓨터 알고리즘이 널리 활용되면서 인간 창작품의 창의성을 과학적으로 평가해내는 방법의 필요성이 커지고 있었으나 수치적 창의성의 개념 정립과 방법론의 부재로 인해 큰 발전이 이루어지지 않아왔다. 본 연구는 음악, 문학, 미술 작품 등의 빅데이터로부터 혁신성/모방성과 영향력을 탐지하여 창의성을 계산하는 수학적 공식과 데이터 모델링 기법을 확립함으로써 빠르게 증가하고 있는 창작 콘텐츠의 우수성을 효율적으로 판단할 수 있게 하였다. 본 성과는 인간 모방과 기계학습 기반인 현재의 인공지능을 뛰어넘는 미래의 인공창의성 이론과 기술의 배경이 될 것으로 기대된다.

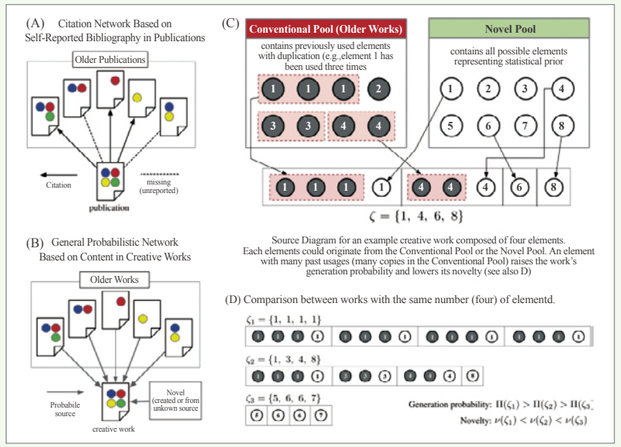


그림.
논문과 저작물 등의 명시적 인용정보를 활용한 인용네트워크(A)와 일반적인 창작품의 창의성을 계산하기 위한 확률적 인용네트워크(B). 주어진 작품이 과거에 사용되었던 구성요소를 포함하는지의 여부에 따라 참신성과 영향력을 계산할 수 있다(C-D).

연구성과

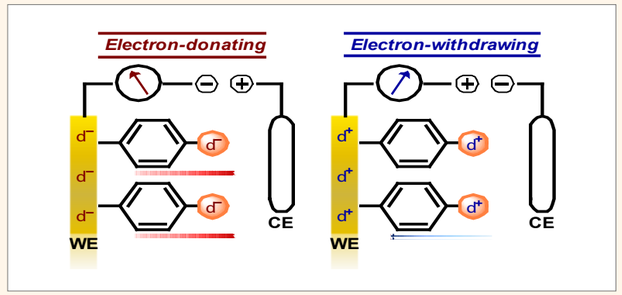
[논문] Doheum Park, Juhan Nam and Juyong Park, "Novelty and influence of creative works, and quantifying patterns of advances based on probabilistic references networks", EPJ Data Science 9:2 (2020) IF=3.278

OTHERS

전기적 유발 효과: 전기적 특성을 조절할 수 있는 작용기로서의 전극 기술 개발

화학과
백무현, 한상우, 허준, 안호진, 원중희, 손진경, 손현경, 이태걸
https://baik-laboratory.com

1937년 미국의 화학자(루이스 하메트)가 도입된 작용기의 종류에 따른 분자의 전기적 성질 변화를 정량화한 공식을 만든 뒤, 80여 년 동안 화학반응을 이해하는 연구에 이 공식이 활용되었다. 하지만 기존 밝혀진 작용기만으로는 분자의 전기적 성질을 세밀하게 조절하기 어렵다는 한계가 있다. 복잡한 분자는 여러 단계를 거쳐 합성되는데, 분자의 종류에 따라 적용할 수 없는 작용기가 존재한다. 따라서 반응마다 최적화된 효과를 줄 수 있는 작용기를 활용하는 것은 현실적으로 불가능했다. 연구진은 하나의 작용기만으로 분자의 반응성을 자유자재로 조절할 수 있는 새로운 도구를 제시했다. 본 연구진은 금 전극에 분자를 부착했다. 전극에 전압을 가하면 분자 내 전자밀도의 분포에 미세한 차이가 발생하고, 이로 인하여 분자의 전기적 성질에 변화가 생긴다. 전압을 바꿔가며 분자의 전기적 성질 변화를 관찰한 결과, 분자는 전극에 음(-) 전압이 걸렸을 때 전자가 풍부해지고, 양(+) 전압이 걸렸을 때 전자가 부족해지는 것을 확인했다. 이후 대표적인 유기화학 반응에 적용해본 결과, '만능 작용기'가 기존 작용기의 효과적인 대체재로 사용될 수 있음을 확인했다.



연구성과

[논문] J. Heo, H. Ahn, J. Won, J. G. Son, H. K. Shon, T. G. Lee, S. W. Han*, M.-H. Baik*, "Electro-inductive effect: Electrodes as functional groups with tunable electronic properties", Science 370, 214-219 (2020) [2019 Impact Factor = 41.845].

OTHERS

‘음향 블랙홀’의 엄밀한 수학적 이론 최초 정립 및 공간 효율적 진동 저감 기술 개발

기계공학과
전원주, 이재연, 박성민
http://wave.kaist.ac.kr

일상생활 속 전자제품이나 교통수단 및 다양한 산업현장에서 발생하는 소음과 진동 문제를 해결하기 위해 꾸준한 학문적/기술적 발전이 있었으나, 기존 기술의 한계를 뛰어넘는 혁신적이고 새로운 솔루션에 대한 필요성은 여전히 높다. 전원주 교수 연구팀에서는 구조물 내에서 전파되는 탄성파를 흡수함으로써 진동 및 진동 유발 소음의 원인을 근본적으로 제거하기 위한 ‘음향 블랙홀’이라는 파동적 개념을 연구하고 있다.

연구팀은 음향 블랙홀의 근사 이론이 수립된 지 31년 만에 음향 블랙홀 내의 탄성파 거동을 기술하는 엄밀한 수학적 이론을 최초로 정립하였다. 특히, 음향 블랙홀 내 탄성파의 거동이 특수함수의 한 형태인 ‘일반화된 초기하 함수(p=0, q=3인 pFq 함수)’를 따른다는 것을 밝혔으며, 유도된 엄밀해를 이용하여 음향 블랙홀 내의 진동장 및 음향 블랙홀의 반사 계수를 정확하게 계산함으로써 음향 블랙홀의 해석과 설계에 활용 가능한 이론적 토대를 마련하였다.

또한, 연구팀은 진동 감쇠 성능은 유지하면서도 공간 효율성을 증대시킨 ‘아르키메데스 나선형 음향 블랙홀’을 진동 감쇠 및 소음 저감의 새로운 해결책으로 제안하고 방전가공을 통한 제작 및 임팩트 해머 실험을 통해 나선형 음향 블랙홀의 진동 감쇠 성능을 입증함으로써 산업 기술로의 응용을 앞두고 있다.

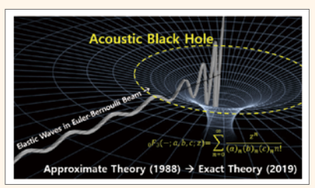


그림 1. 음향 블랙홀 내의 탄성파 거동 및 엄밀한 수학적 이론 정립의 중심이 된 일반화된 초기하 함수

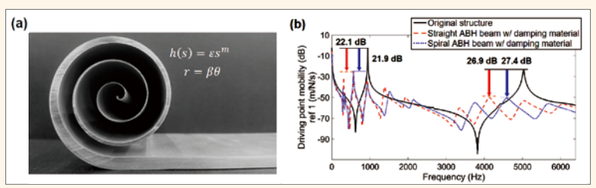


그림 2. (a) 와이어 방전가공(WEDM)으로 제작한 ‘아르키메데스 나선형 음향 블랙홀’, (b) 나선형 음향 블랙홀의 진동 감쇠 성능

연구성과

[논문] J. Y. Lee and W. Jeon, Exact solution of Euler-Bernoulli equation for acoustic black holes via generalized hypergeometric differential equation, Journal of Sound and Vibration, Vol. 452, pp. 191-204 (2019)
S. Park, M. Kim, and W. Jeon, Experimental validation of vibration damping using an Archimedean spiral acoustic black hole, Journal of Sound and Vibration, Vol. 459, 114838 (2019)

OTHERS

도심지 소단면(Φ3.5m급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발

건설및환경공학과
조계춘, 권태혁, 김지원, 김정태, 강석준, 이기준
http://geosystems.kaist.ac.kr

공동구란 다양한 지하 매설물을 공동 수용하여 도시미관, 도로구조 보전, 교통의 원활한 소통, 효율적인 안전·유지관리 등을 꾀하는 지하 시설물이다. 기존 도심지에 공동구를 신규로 시공하기에 필요한 설계 및 시공 기술이 부족하여 공동구의 설치가 제한적이었다. 본 연구에서는 도심지 공동구 설계 및 시공 핵심기술을 개발하였으며, 이를 검증할 수 있는 국내 최초 소단면 터널식 공동구 실대형 성능검증 시설을 구축하였다. 개발된 공동구 설계 및 시공 기술과 실대형 성능검증 시설을 이용한 기술 검증을 통해 안전하고 경제적인 도심지 라이프라인 구축이 가능하다.

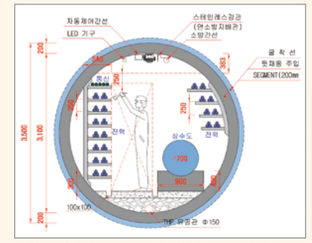


그림 1. 터널식 공동구 (3종 시설물) 표준 단면도

그림 2. TBM 급곡(30m) 장치 시제품

그림 3. 수직구 급속굴착 장비 시제품

그림 4. 소단면 TBM 선단부 굴진 시험 장비

그림 5. 소단면 터널식 공동구 실대형 성능검증 시설

그림 6. 실대형 성능검증 실험동

연구성과

[특허] 소단면 TBM 선단부의 굴진 시험 장비 (등록번호: 10-1987866), 한국과학기술원, 2019.06.04
수직구 굴착시스템 및 이를 이용한 수직구 시공방법 (등록번호: 10-2002526), 한국과학기술원, 2019.07.16.

OTHERS

혁신적 모방 전략

문술미래전략대학원
이상윤
http://soil.kaist.ac.kr

최고의 기술과 인재들, 최대의 자원을 가졌음에도, 리더 기업들과 국가들은 왜 결국 몰락해 가는가? 여러 사회과학 분야들을 관통하며 중요한 이론들을 발전시킨 이 질문에 대해, 전략 분야에서는 최근 '혁신적 모방(innovative imitation)'의 관점에서 그동안 감춰져 있던 비밀을 벗겨내고 있다. 추격을 넘어 새로운 가치를 만들어 내며 리더를 뛰어넘는 모방의 메커니즘(본 연구자의 2013년도 SMJ 논문)이 밝혀진 후로, 혁신과 모방에 관한 오래된 정설들('모방이 어려울수록 리더에게 좋다', '리더가 된 후 모방보다 혁신에 집중해야 한다' 등)이 재검토되고 있다. 그 연장선상에서 '혁신적 모방 전략'의 구체적 방안에 관해 연구한 본 2020년도 SMJ 논문은, 대부분의 조직 내 의사결정에서 이루어지는 벤치마킹(mix-and-match imitation)이 실제로 많은 경우 효과적이지 않을 수 있음을 그 메커니즘과 함께 과학적 이론으로 제시한다. 특히, 학계와 실무에서 당연하게 받아들여져 온 벤치마킹을 위한 전제조건인 '유사한 환경'에 관한 믿음을 재검토하며, 오히려 벤치마킹은 상이한 환경에 놓인 기업이나 국가들에게 더욱 효과적인 혁신적 모방 전략임을 보인다. 본 연구에서 제시한 이론은, 복잡성과 불확실성을 극복할 수 있는 혁신적 모방 전략에 대한 이해와 활용을 촉진함으로써, 앞으로 전략적 혁신에 관한 이론 발전과 실무에서의 의사결정에 중요한 기여를 할 것이다. 특히, 기업들(애플-삼성 등) 간의 제품 경쟁, 국가들(일본-한국-중국 등) 간의 산업/제도 경쟁 등을 보다 깊이 있게 이해하고, 향후 혁신과 발전을 위한 전략을 수립하는데 유용한 혜안을 제공해 줄 것이다. 이론적 관점에서, 유전자 알고리즘에 기반한 혁신적 모방(학습) 메커니즘과 여러 모방 전략/조건들은 머신러닝 연구와도 연관성이 깊으며, 서로에게 유용한 아이디어와 중요한 함의를 제공한다.

연구성과

[논문] Posen, H. E., Yi, S., & Lee, J. 2020. A contingency perspective on imitation strategies: When is "benchmarking" ineffective? Strategic Management Journal, 41(2): 198-221.
(전략분야 특급 저널로서, 이공계 분야의 Nature, Science에 해당)

KAIST'S TOP 10 RESEARCH ACHIEVEMENTS OF 2020

2020년 10대 우수성과

KAIST'S RESEARCH HIGHLIGHTS OF 2020

2020년 주요 연구성과

IT Information Technology

BT Bio Technology

NT Nano Technology

CT Culture Technology

OTHERS

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 연구기반 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 국가 경쟁력 강화

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