



KAIST 2020 ANNUAL R&D REPORT 2019년을 빛낸 연구성과



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

2020 KAIST

ANNUAL R&D REPORT



**GLOBAL VALUE-CREATIVE
LEADING UNIVERSITY**

CONTENTS

- 06 발간사
Message from the President
- 08 비전 2031
KAIST Vision 2031
- 10 예산 및 지원 현황
Research & Development Budget
- 12 연구성과 통계자료
Research Outcomes
- 14 KAIST 10대 우수성과
KAIST's Top 10 Research Achievements of 2019
- 36 KAIST 주요 연구성과
KAIST's Research Highlights of 2019



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

세계속의 KAIST

쉽없이 달려온 49년, 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



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

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

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

Message from the President

발간사



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

달리는 말은 말굽을 멈추지 않습니다. 2031년 설립 60주년을 맞이하는 KAIST는 ‘세계적인 대학’을 넘어 ‘글로벌 가치창출 선도대학(Global Value-Creative Leading University)’을 향한 ‘비전2031’을 수립하고, 교육·연구·기술사업화·국제화·미래전략 등 5대 혁신을 선도하고 있습니다.

특히, 연구 혁신에 있어 세계 최고(Best)이거나, 최초(First)이거나, 유일(Only)한 연구를 통해 인류의 난제를 해결하고 지속가능한 성장에 공헌하고 있습니다. 2019년에는 2개의 ‘초세대 협업연구실’을 추가 지정하여 총 6개의 연구실에서 학문의 대를 잇는 연구를 수행하고 있으며, 국내 최초로 도입한 ‘글로벌 특이점 연구사업’은 ‘신소재’와 ‘헬스케어’ 분야에서 각각 1개의 과제를 선정해 세상의 혁신적 변화를 가져올 연구를 시작했습니다. ‘KAIST가 던지는 궁극의 질문’ 공모전은 인류 발전에 필요한 문제를 찾아 정의하고 해결책을 찾는 창의적인 연구 문화를 확산·정착하는 데 기여했습니다.

‘2020 KAIST Annual R&D Report’에는 2019년 한 해 동안 KAIST가 일구어낸 대표적인 연구 혁신 성과들을 담았습니다. 본 보고서를 통해 과학기술계 연구자들은 새로운 영감을 얻고, 학생들은 과학기술 분야에 더 많은 관심을 갖게 되길 바랍니다.

‘4차 산업혁명’과 ‘포스트 코로나’ 시대, KAIST는 지속적인 연구 혁신을 통해 ‘글로벌 가치창출 선도대학’으로 발돋움함으로써 세계 속에 대한민국의 국격을 제고하고, 국가와 국민이 과학기술을 통해 희망찬 미래를 꿈꿀 수 있도록 최선을 다하겠습니다.

여러분의 많은 관심과 성원을 부탁드립니다.

감사합니다.

2020년 5월

KAIST 총장 신성철

비전 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 Prosperity교육혁신
비전 2031사회적 가치 창출 창의
리더십 인재 양성

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

연구혁신
비전 2031인류와 국가의
난제 해결 연구

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

기술사업화혁신
비전 2031기술가치 창출
기업가형 대학

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

국제화혁신
비전 2031World Bridge
KAIST by 2031

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

미래전략혁신 How보다 What을 찾는 대학

KAIST 3C Spirit

Challenge

Creativity

Caring



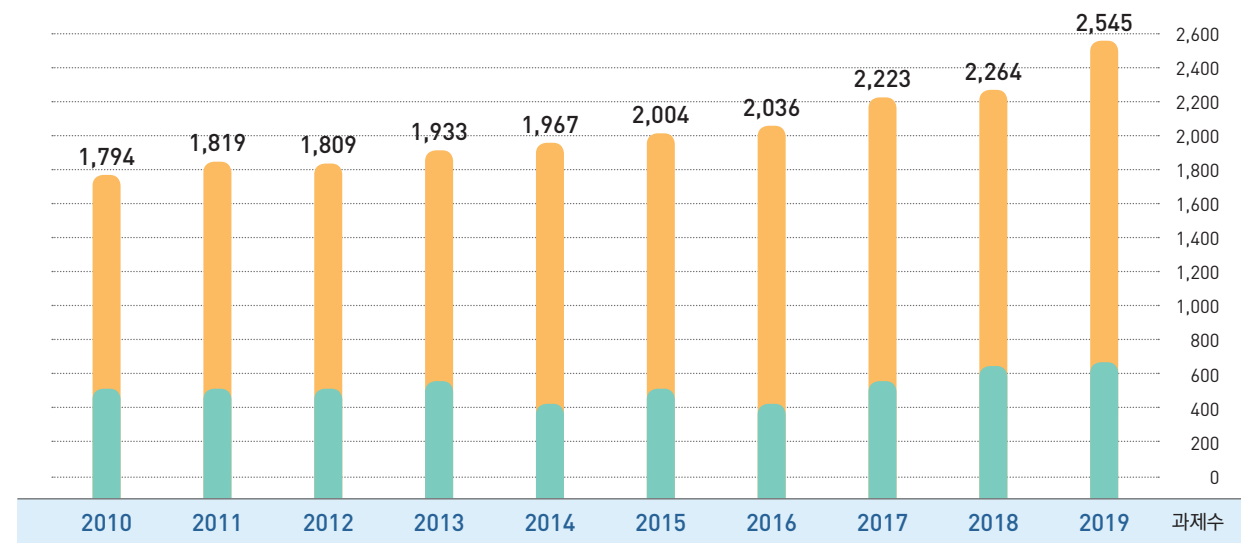
앞선 도전으로
새로운 가능성을 발견합니다.
KAIST의 꿈이 인류를 위한
가치를 만들어냅니다.

KAIST의 역사는 대한민국 과학기술의 역사입니다.

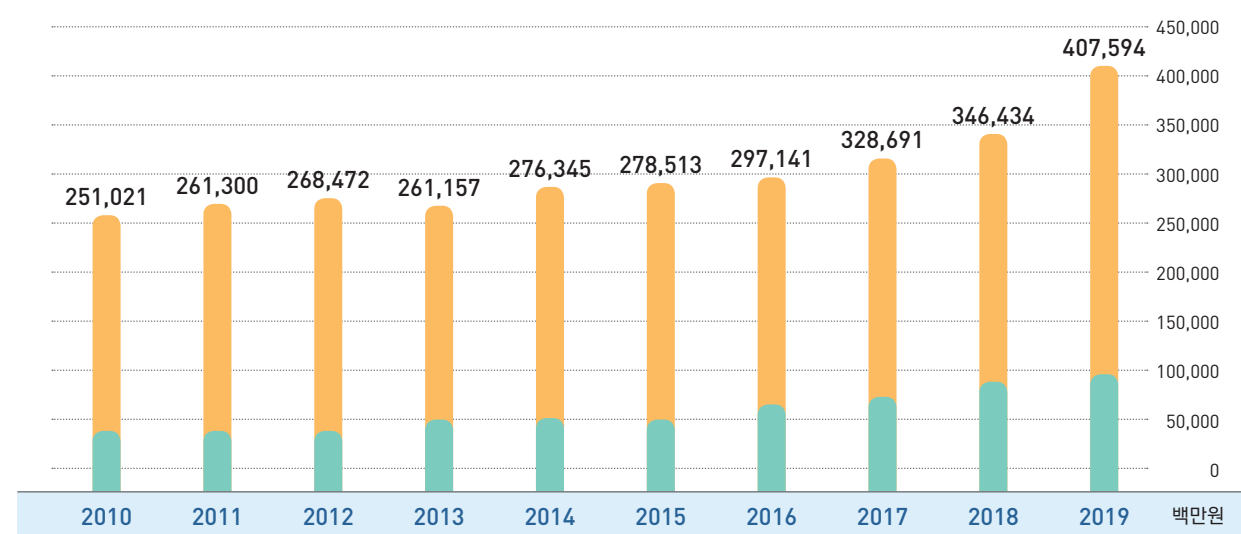
우리는 무한대의 변화와 새로운 도전을 통해 창의적인
미래를 열어가는 세계 과학기술의 주인공입니다.

예산 및 지원 현황

최근 10년간 연구실적 (과제수)

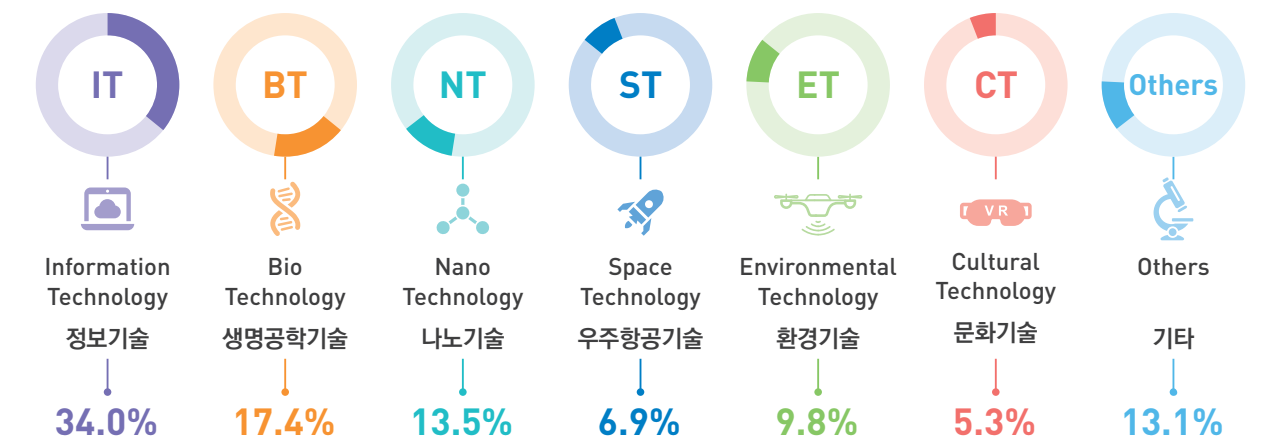


최근 10년간 연구실적 (연구비)

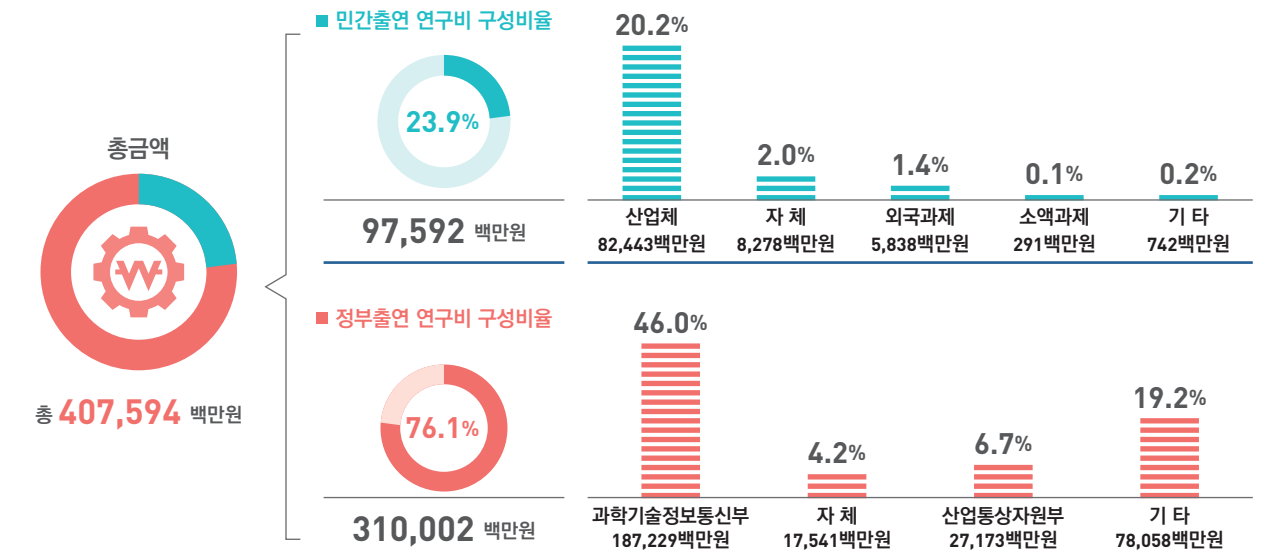


KAIST는 한국 최고의 국가 연구개발 기관으로서 다양한 과학기술 R&D 사업을 추진하고 있습니다. 특히 세계적 연구기관으로 발돋움하기 시작한 2010년 이후, 연구비가 급증하여 현재의 성과를 내는 기반이 되었습니다.

6T 연관 비중별 구성비율



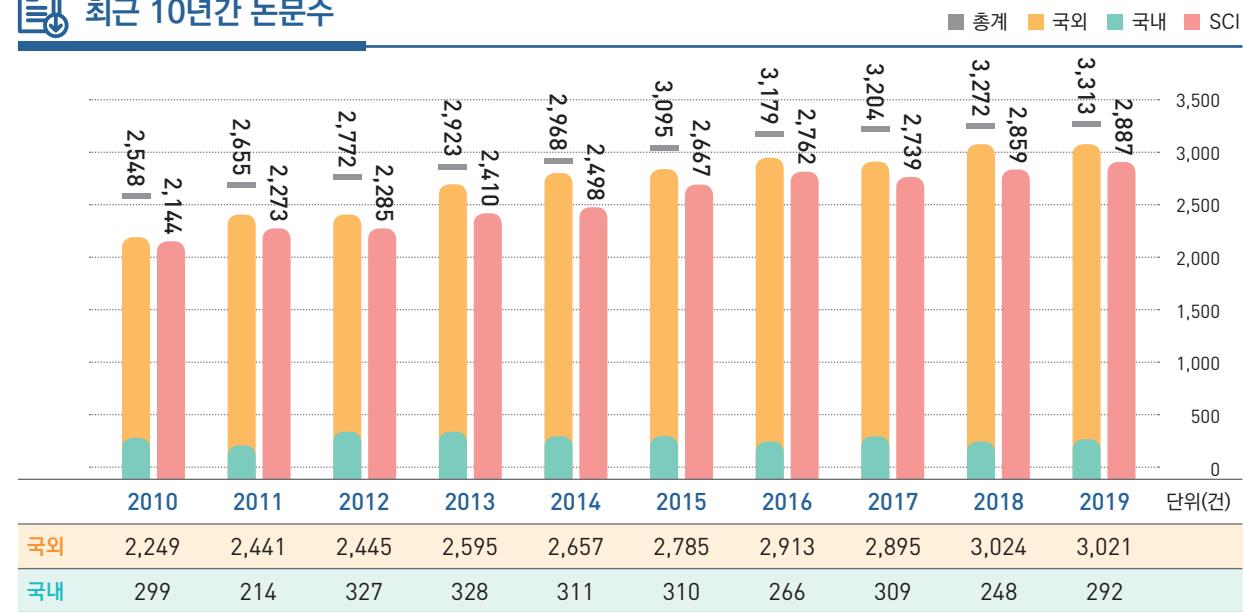
연구 계약금액 구성비



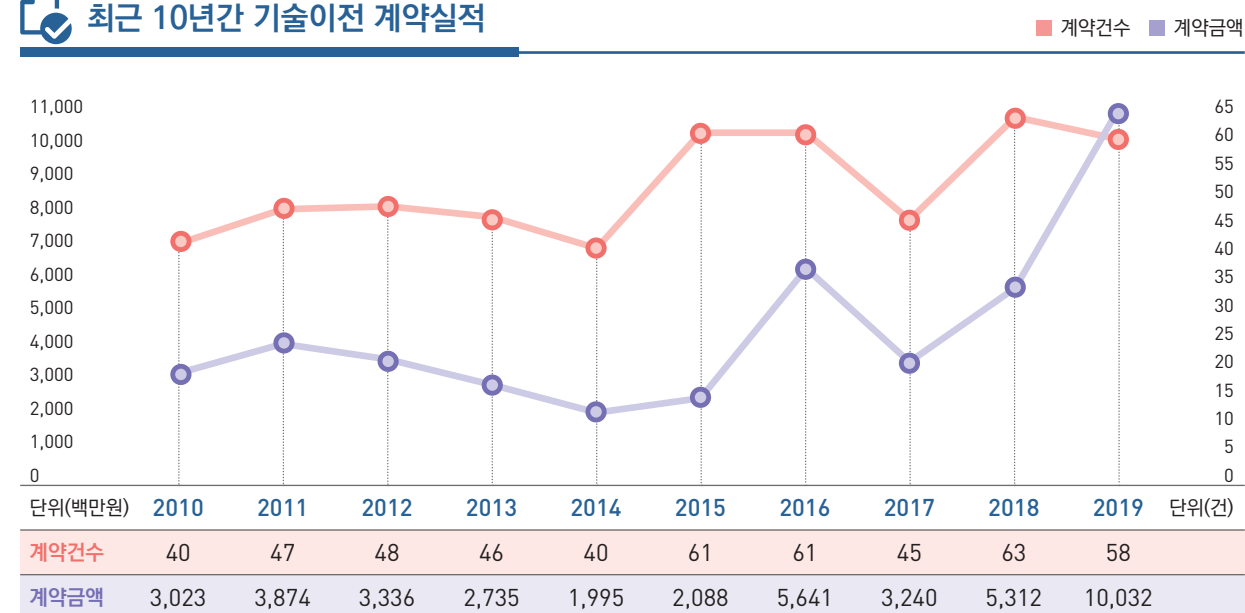
RESEARCH OUTCOMES

연구성과 통계자료

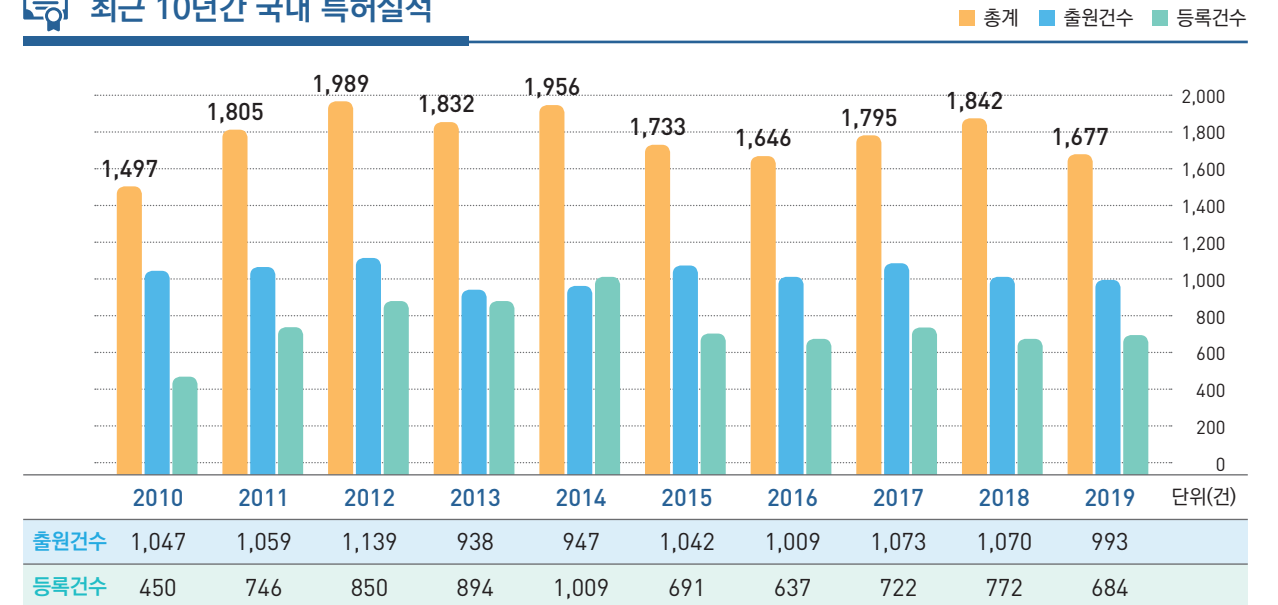
최근 10년간 논문수



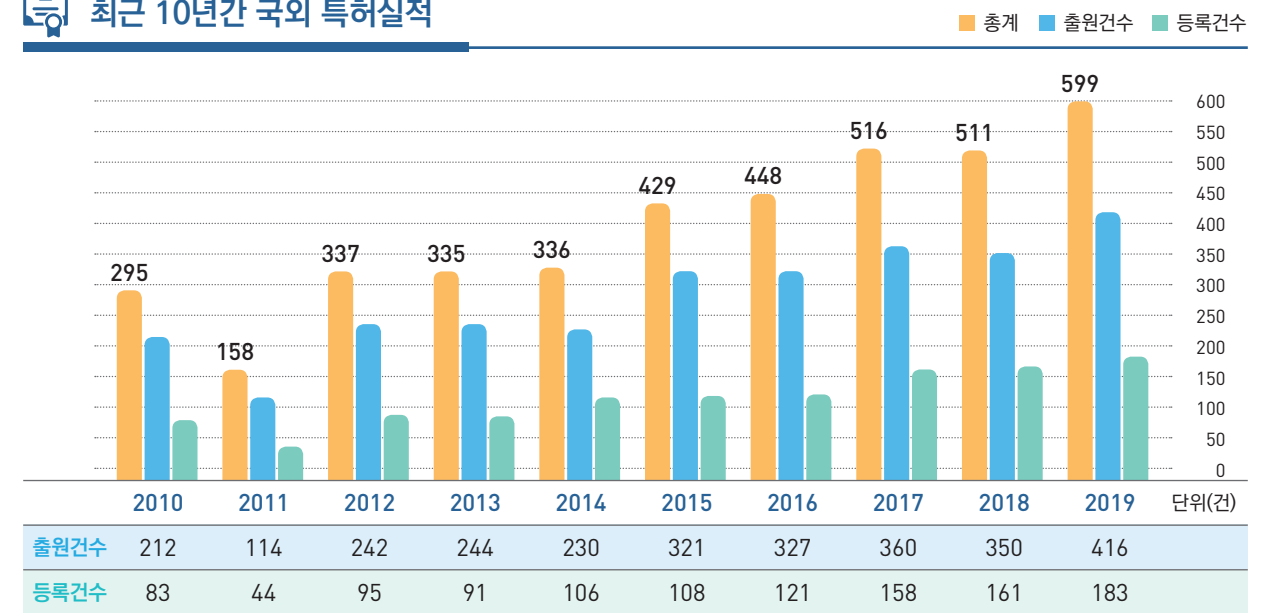
최근 10년간 기술이전 계약실적



최근 10년간 국내 특허실적



최근 10년간 해외 특허실적



2020 KAIST ANNUAL R&D REPORT

KAIST는 2020년 QS아시아 대학 순위 9위,
국내 대학 랭킹 1위를 기록하였습니다.

KAIST의 교수와 연구진들은
세계 속에 한국 과학 기술의 저력을 알려왔습니다.
세계 유수의 학술지에 게재된
2019년을 빛낸 KAIST 10대 연구 성과를 소개합니다.

KAIST'S TOP 10
RESEARCH
ACHIEVEMENTS OF 2019
2019년 10대 우수성과



전자 파동함수의 피코초 진동 관측법 개발

물리학과
심 흥 선

나노 소자의 양자역학적 특성을 이용하여, 새로운 개념의 전기소자를 구현하는 것이 학계의 중요 방향이다. 최근 나노 전기소자 내에서 전자 파동함수의 피코초(1조분의 1초) 수준의 초고속 움직임을 관찰하는 방법을 카이스트 심흥선 교수 연구팀이 제안했다 [논문1]. 심흥선 교수 연구팀은 양자역학적 공명 상태(resonant state)에 기반한 나노 셔터를 제안하였는데, 이를 이용하면 기존의 전기 신호 분해능 (10~100 피코초)을 1000배 이상 향상시킬 수 있다. 이를 이용하여, 양자점 전자펌프 내에서 전자의 양자역학적 파동함수가 초고속 (서브 테라헤르쯔) 공간 진동하는 것을 최초로 관측하는데 성공하였다.

연구배경

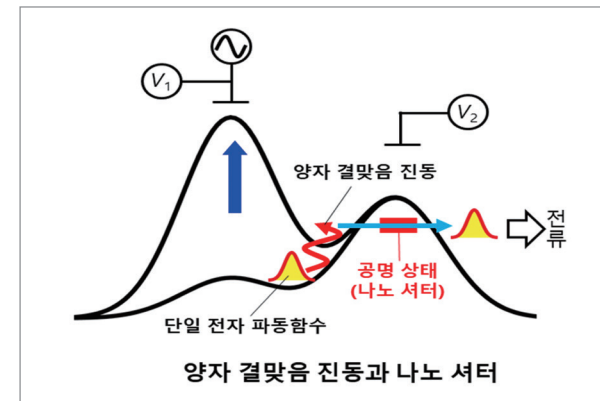
나노 소자의 양자역학적 특성을 이용하여, 새로운 개념의 전기소자를 구현하는 것이 학계의 중요 방향이다. 새로운 전기소자를 기반으로, 양자역학적 근본원리를 발견하거나 풀리지 않은 채 남아있는 학문적 난제를 해결한다. 또한, 나노 전기소자(nano-electronics) 기술을 발전시켜서, 정보를 양자역학적으로 처리하는 양자정보 소자(quantum information device) 구현에 도달할 수 있다. 이를 위해서는 나노 전기소자 내에서 빠르게 움직이는 전자(electron)를 제어하고 측정할 수 있어야 한다.

움직이는 물체를 관찰하기 위해서는 카메라를 이용하여 연속적으로 촬영하면 된다. 이 방법은 셔터의 작동 속도 (시간 분해능)보다 더 빠른 물체의 움직임은 포착할 수 없다는 한계가 있다. 이러한 문제점은 나노 전기소자에도 나타난다. 전자가 나노 전기소자를 횡단하는데 수 피코초 (10^{-12} 초)가 소요된다. 현재 가장 좋은 측정기기의 전기 신호 시간 분해능이 100~1000 피코초 (10^{-8} ~ 10^{-9} 초)이어서, 나노 전기소자 내부의 전자들의 움직임을 관측하는 것은 불가능하다고 여겨져 왔다. 전자의 초고속 양자역학적 움직임을 기반으로 하는 양자정보 소자 구현을 위해서는 이러한 문제점이 해결되어야 한다.

연구내용

KAIST 심흥선 교수 연구팀은 '나노 셔터'를 나노 전기소자 옆에 부착하여 이 문제점을 해결할 수 있다는 이론을 제시했다 (아래 그림 참조) [논문1]. 나노 셔터는 공명 상태(resonance state)를 갖는 불순물로, 나노 전기소자 내의 전자가 불순물 근처에 도달할 때 전자는 공명 상태를 통해 소자 바깥으로 나오게 돼 전류 신호로 관측된다. 전자 에너지와 공명 상태 에너지가 같을 때만 바깥으로 나올 수 있으므로 공명 상태 에너지를 시간에 따라 변화시켜 나노 셔터를 빠르게 열거나 닫을 수 있다. 나노 셔터를 여는 시간을 바꾸면서 전류를 측정하면 전자가 불순물 근처에 도달한 시점 정보를 얻게 돼 나노 전기소자 내의 전자 움직임을 포착할 수 있다.

심흥선 교수 연구팀의 해결책에 따라 일본 NTT 연구소는 영국 NPL 연구소와 협력해 나노 셔터를 구현했다. 실험 연구팀이 이용한 나노 전기소자는 양자점 전자 펌프(quantum-dot



〈그림 1〉

나노 전기소자 내에서 초고속으로 움직이는 전자를 측정하는 방법. 전자가 공명 상태를 통해 바깥으로 나오는 특성을 응용하여, 공명 상태를 "나노 셔터"로 활용한다. 공명 상태 에너지를 시간에 따라 변화시켜서 셔터를 열거나 닫는다. 공명 상태를 통해 나오는 전류를 측정하여, 나노 전기소자 내의 전자 파동함수의 양자 결맞음 공간 진동을 포착할 수 있다.

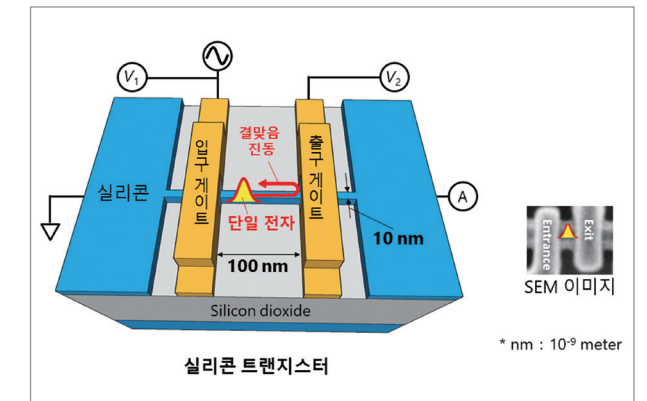
single-electron pump)로, 이 소자는 단일 전자를 정해진 주기로 발사하는 역할을 하며 전류의 표준을 연구할 때 사용된다. 양자점 전자 펌프의 출구에 나노 셔터를 구현해 양자점 전자 펌프 내에서 전자 파동함수가 공간적으로 진동하고 있음을 관찰했다 (참고로, 이러한 전자 파동함수 공간 진동의 존재는 심흥선 교수 연구팀이 이전 연구에서 예측하였다 [논문2]). 진동수는 무려 250기가헤르츠로 시간으로 환산하면 수 피코초 수준의 진동이다. 10GHz 이상의 진동수의 전자 움직임을 포착한 것은 이번 연구가 처음이다.

|연구성과|

- [논문] • Gento Yamahata, S. Ryu, N. Johnson, H.-S. Sim, A. Fujiwara and M. Kataoka, "Picosecond coherent electron motion in a silicon single-electron source, Nature Nanotechnology 14, 1019 (2019).
- S. Ryu, M. Kataoka, and H.-S. Sim, "Ultrafast Emission and Detection of a Single-Electron Gaussian Wave Packet: A Theoretical Study", Physical Review Letters 117, 146802 (2016).
- [논문1]이 저널에서 우수 연구로 선정되어 소개됨. Nature Nanotechnology, News & Views: G. Feve, "Picosecond detection of electron motion", Nature Nanotechnology 14, 1005 (2019).

|연구비 지원|

- 한국연구재단, 선도연구센터지원사업



〈그림 2〉

실리콘 기반 양자점 전자 펌프. 양자점 펌프는 실리콘 나노 도선, 입구 게이트, 출구 게이트로 구성된다. 펌프 내에서 전자가 양자 결맞음 공간 진동을 보이기 되는데, 이를 관측하기 위해, 나노 셔터 (불순물 공명 상태)를 출구 게이트 아래에 구현하였다.

기대효과

본 연구는 양자역학 상태를 제어해 기존 기술의 한계를 돌파할 수 있음을 보여주었다. 개발된 나노 셔터는 전자의 양자역학 근본원리를 탐구하는 데에 활용될 뿐 아니라 전류 표준, 초정밀 전자기장 센서, 초고속 큐비트 제어 등 차세대 양자정보 소자에 응용될 수 있다.

1차원 공간상의 움직임으로 6n차원의 공간구조를 이해하는 방법론 제시

수리과학과
백형렬

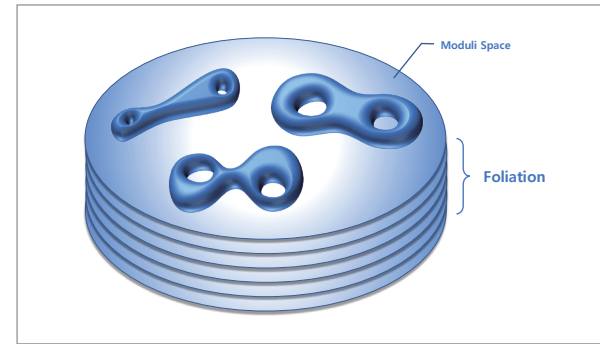
본 연구는 곡면이 가질 수 있는 모든 기하적인 형태들을 모아놓은 공간인 모듈라이 공간의 구조와 관련되어 있다. 모듈라이 공간은 고차원 공간으로, 이렇게 차원이 높은 공간을 직접 이해하기는 어렵다. 주어진 공간을 이해하는 가장 좋은 방법은 주어진 공간을 더 낮은 차원의 부분공간들로 쪼개어 낮은 차원의 이해로부터 전체 공간의 이해를 구축해나가는 것이다. 신기하게도 n차원 공간을 n-1차원 공간으로 쪼개어 보는 것은 1차원 공간상의 동역학과 관계가 있다. 본 연구에서는 모듈라이 공간과 관련된 1차원 동역학계의 미분가능성에 대한 완전한 답을 찾았고, 그로부터 6n차원의 모듈라이 공간을 이해할 수 있는 방법론을 제시했다.

연구배경

우리가 사는 세상은 3차원이지만, 대부분의 물체를 인식할 때 우리는 그 물체의 겉표면의 모양을 통해 인지하게 된다. 그만큼 다양한 곡면이 가질 수 있는 기하학적인 형태들을 이해하는 것은 우리의 삶과 밀접한 관계가 있는 매우 근본적인 질문이다. 주어진 곡면이 가질 수 있는 기하학적인 형태들을 모아놓은 공간을 모듈라이 공간이라고 부르는데, 곡면은 2차원이지만 모듈라이 공간은 상당히 고차원의 공간이다. 예를 들어 워터파크에 워터슬라이드를 탈 때 쓰는 2인용 튜브에 해당하는 곡면을 생각한다면, 이 곡면의 모듈라이 공간은 6차원 공간이 된다. 이와 같이 중요한 의미를 가지지만 차원이 높아 이해하기 힘든 모듈라이 공간을 1차원 공간상의 움직임을 통해 이해할 수 있는 길이 있다면 어떨까? 본 연구는 이 질문에 수학적으로 대답하기 위한 토대에 해당하는 연구이다.

연구내용

어떤 공간이든 그 공간의 대칭변환들을 다 모아놓으면 군이 되는데 (군은 몇몇 조건을 만족하는 이항연산이 정의된 집합이다), 이러한 군을 그 공간의 기본군이라고 부른다. 앞서 말한 모듈라이 공간의 기본군은 사상류군이라고 불린다. 본 연구에서는 사상류군의 1차원 공간상의 작용을 연구하였고, 그 과정에서 직교아틴군에 대한 연구가 핵심이 되었다. 현대사회에는 노드가 많은 복잡한 네트워크의 구조를 분석하는 일들이 다양한 분야에서 이루어지고 있는데, 이러한 네트워크는 기본적으로 점과 선으로만 이루어진 도형으로 볼 수 있고 그래프라고 부른다. 그래프가 주어지면, 그래프의 노드들이 생성원소가 되고 선으로 연결된 두 노드에 해당하는 두 원소의 순서를 바꾸는 것이 허용되는 군을 생각할 수 있는데 이를 직교아틴군이라고 한다. 당연히 예상가능하게도 그래프의 조합론적 구조와 대응되는 직교아틴군의 대수적 구조 사이에는 밀접한 관계가 있다. 곡면이 주어지면 이 곡면의 사상류군 속에 부분군으로 포함된 직교아틴군을 생각할 수 있다. 곡면 위에 그릴 수 있는 닫힌 곡선들을 노드로 하고, 곡면 위에서 만나지 않는 노드들을 연결하면 그래프를 얻게 되는데 이를 곡선그래프라고 한다. 어떤 그래프가 곡선 그래프의 부분그래프로 나타나면, 이 그래프로부터 얻어지는 직교아틴군이 곡면의 사상류군의 부분군으로 표현될 수 있음이



알려져 있다. 이를 이용하면 사상류군 속에 많은 직교아틴 부분군들을 다룰 수 있게 된다. 직교아틴군들은 그 정의가 단순하기 때문에 기술이 쉽고, 이를 연구할 수 있는 수학적인 틀도 많이 개발되어 있다. 아주 단순한 몇 개의 곡면을 제외하면 모든 곡면의 곡선그래프는 점 네 개가 일렬로 연결된 선같이 생긴 그래프를 부분 그래프로 가진다. 때문에 점 네 개가 일렬로 연결된 그래프의 직교아틴군은 이러한 곡면들의 사상류군의 부분군이 된다. 나아가 사상류군의 임의의 유한지수 부분군을 택해도 이 직교아틴군이 여전히 부분군으로 포함되는 것을 밝힐 수 있다. 이 연구의 가장 주요한 결과 중 하나는 점 네 개가 일렬로 연결된 그래프로부터 얻어진 직교아틴군이 컴팩트한 1차원 다양체에 부드러운 (수학적으로는 두 번 이상 미분가능한) 작용을 할 수 없다는 것을 증명한 것이다. 이 결과를 이용하면, (거의 모든 곡면에서) 사상류군의 임의의 유한지수 부분군은 컴팩트한 1차원 공간에 부드러운 작용을 할 수 없음이 증명된다. 처음에는 곡면의 기하학에서 시작한 문제가, 사상류군 속의 특정한 부분군을 찾는 대수적 문제로, 다시 1차원 공간상의 함수의 미분가능성을 묻는 해석학의 문제로 바뀌었다. 이와 같이 여러 분야의 수학이 한데 어우러지는 것이 저차원 위상 수학의 독특한 매력이다.

기대효과

그런데 이와 같은 1차원 동역학계가 가지는 미분가능성에 대한 결과가 모듈라이 공간을 이해하는데 어떻게 도움이 된다는 말일까? 우선 주어진 공간을 이해할 수 있는 한 가지 방법은 이 공간을 그보다 차원이 낮은 부분공간들이 켜켜히 쌓여서 만들어진 것으로 이해하고, 그들이 쌓여있는 구조를 파악함으로써 원래의 공간의 구조를 이해하는 것인데 이러한 구조를 공간의 엽층구조라 한다. 3차원 공간에 대해서는 William Thurston에 의해 근본적인 이해가 많이 이루어졌는데, 특히 그는 3차원 공간을 2차원 공간들이 쌓인 것으로 보는 엽층구조에 대해서 수많은 업적들을 남겼다. 이러한 공로로 그는 1982년 필즈 메달을 수상했다. 한 예로 엽층구조의 한 층에 해당하는 곡면이 컴팩트한 곡면이면, 사실 다른 모든 층도 모두 위상동형의 컴팩트한 곡면이며, 주어진 3차원 다양체는 이러한 곡면을 두껍게 만든 모양 혹은 그 상태에서 경계면 둘을 이어붙여 만든 일종의 도넛같은 형태 등으로만 나타난다는 것을 보였다. 그런데 이렇게 3차원 공간의 엽층구조 이해에 중요한 정리의 증명의 핵심은 주어진 3차원 공간의 기본군이 한쪽 경계점이 생략된 1차원 막대모양 공간에 미분 가능한 작용을 할 수 있느냐를 판단하는 문제였다. Thurston의 연구를 확장한다면, 사상류군의 부분군들이 컴팩트한 1차원 다양체에 미분가능한 작용을 할 수 있느냐는 정보는 이 모듈라이 공간의 구조를 더 깊이 이해하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 기대가 된다. 모듈라이 공간의 구조에 관한 연구는 수학적으로 매우 중요해서 Maryam Mirzakhani가 이에 대한 연구로 여성 최초로 2014년에 필즈 메달을 받기도 하였다.

|연구성과|

[논문] • H. Baik, S. Kim, T. Koberda, "Unsmoothable group actions on compact one-manifolds", Journal of the European Mathematical Society 21(8), 2333-2353 (2019). [2018 Impact Factor = 1.78]

• H. Baik, S. Kim, T. Koberda, "Right-angled Artin Subgroups of C^∞ diffeomorphism group of the real line", Israel Journal of Mathematics 213(1), 175-182 (2016).

[수상] • 대한수학회 상산젊은수학자상 수상 (2018)

|연구비 지원|

• European Research Council Grant Nb.10160104

• 삼성미래기술육성재단, 기초과학분야 연구과제

인슐린, 글루카곤 분비를 조절하는 한 쌍의 글루코스 감지 뉴런

생명과학과
서 성 배

스트레스를 받을 때 당뇨병이 더욱 심해지고 혈당 조절에 어려움을 겪는 이유는 뭘까? 뇌가 체내 혈당 농도 조절에 중요한 역할을 한다는 것은 임상적으로 확인된 사실이지만 구체적인 생물학적 관계는 아직 제대로 규명되지 않았다. 이 연구에서 초파리 모델 시스템을 이용하여 뇌 속에 체내 혈당 조절에 직접적인 기능을 하는 포도당 감지 신경세포를 발견하고 그 구체적 원리를 규명했다. 동물의 뇌 속에는 미각이 발달 되기 이전부터 존재해온 포도당 감지 신경세포가 존재한다. 인간의 포도당 감지 신경세포들은 주로 시상하부나 후뇌 등 뇌의 부위에 다양하게 분포되어있어 중요한 생리학적 기능을 담당할 것으로 생각되어 왔다. 이는 약 50년 전 최초로 발견되었으나 최근까지도 이들의 생물학적 기능에 대한 명확한 해답을 얻지 못하고 있었다. 뇌 속의 포도당 감지 신경세포들은 어떠한 기능을 할까?

이 연구에서는 한 쌍의 신경세포가 체내 포도당 농도 증가에 직접적 반응하여 활성화되는 특징을 가지고 있으며, 췌장 세포가 혈당에 직접 반응하지 않고 그 신경세포를 통해서 반응하는 기작을 세계적으로 처음 밝혀냈다.

연구배경

한국인의 당뇨병 유병률은 14%로 2018년 기준 환자 500만 명을 돌파했다. 당뇨병 증가속도 세계 1위, 잠재적 환자는 4명 중 1명꼴이지만 발병원인은 정확하게 규명되지 않았다. 유전적 요인과 환경적 요인이 존재하지만 대부분 췌장 인슐린 분비세포 기능이 저하되면서 병이 시작되는 것으로 알려져 있다.

최근에는 뇌가 당뇨병의 정도에 영향을 미칠 수 있다는 사실이 밝혀지기도 했다. 대부분 당뇨병 환자에게 스트레스가 당뇨병 증세에 영향을 미치고 혈당 조절을 어렵게 하는데 뇌 어딘가에 존재하는, 알려지지 않은 혈당 조절 능력 때문이라는 것이 학계 주장이다.

저희 연구팀은 오래전부터 초파리를 이용해 허나 내장기관뿐 아니라 동물의 뇌 속에도 포도당을 감지하는 세포와 수용체가 존재한다는 사실을 연구해왔다. 인간 두뇌의 시상하부나 후뇌 등에 포도당을 감지하는 신경세포가 존재할 것이라는 점은 예측돼왔지만, 이런 세포들이 어떻게 포도당을 감지해 몸의 각 부위에 명령을 내리는지에 대한 연구는 지금까지 없었다. 저희는 초파리 전체 뇌 신경조직을 대상으로 한 광범위한 스크리닝을 통해 초파리가 포도당의 영양적 가치를 판단하는데 필수적인 한 쌍의 신경세포를 발견했다. 이 한 쌍의 신경세포가 체내 포도당 농도 증가에 반응해 활성화되는 특징을 가지고 있음을 파악했다.

연구내용

이번 연구는 약학적, 유전학적 방식을 사용해 이들 세포가 인간의 췌장 세포와 유사한 분자적 시스템을 통해 포도당을 인지한다는 사실을 확인했다. 이를 기반으로 연구팀은 포도당 감지 신경세포가 어떠한 신경세포 및 조직에 신호를 전달하는 지에 대해 연구했다.

연구팀은 해당 신경세포가 초파리의 인슐린 생산을 담당하는 신경조직(insulin-producing cells, IPCs)과 글루카곤의 기능을 하는 단백질을 생산하는 조직(AKH-producing cells)에 각각 축삭돌기(Axon, 신경 세포체에서 뻗어 나온 돌기)를 이루고 있음을 확인했다. 이 결과는 한 쌍의 포도당 감지 신경세포가 체내 혈당 조절에 중요한 호르몬을 생산하는 조직들에 직접 체내 영양 정보를 전달할 수 있다는 가능성을

발견한 것이다.

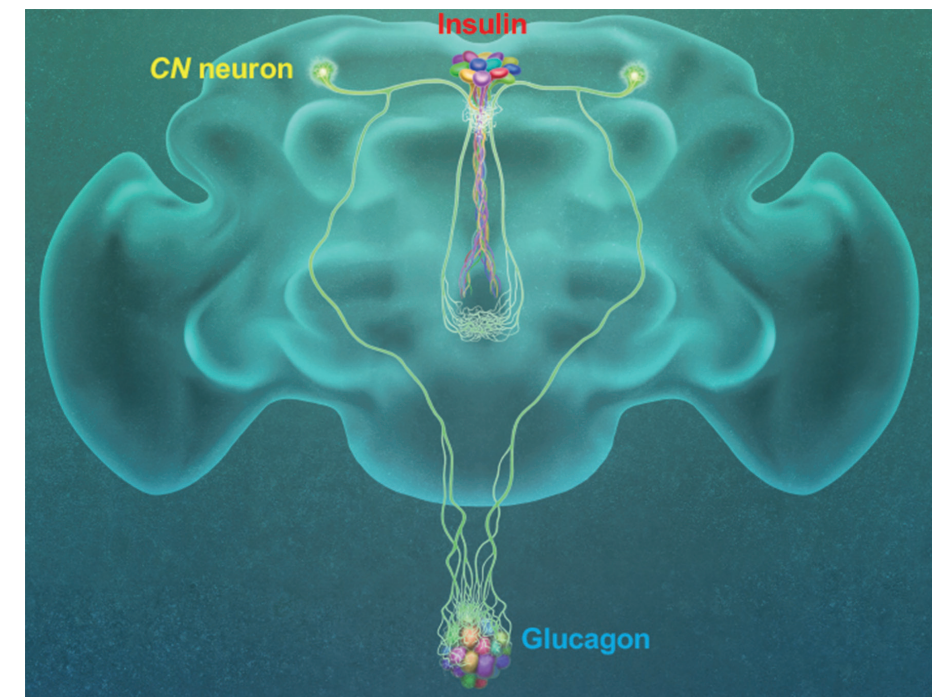
이를 확인하기 위해서 저희는 포도당 감지 신경세포와 두 호르몬 분비 조직들 사이의 물리적, 기능적 상호작용들을 확인했다. 그 결과 한 쌍의 포도당 감지 신경세포가 활성화된 경우 인슐린 생산 조직 역시 활성화되며 반면에 글루카곤 생산 조직의 활동은 억제됨을 확인했다.

또한, 저희는 포도당 감지 신경세포를 억제할 경우 인슐린 생산 조직의 억제로 인해 혈중 인슐린 농도가 감소하며, 글루카곤 생산 조직에 대한 억제가 사라짐에 따라 혈중 글루카곤 농도가 증가됨을 확인했다. 이들 호르몬의 변화로 인해 혈중 포도당 농도가 유의미하게 증가함을 최종적으로 확인했다. 뇌 속에 단 한 쌍의 포도당 감지 신경세포만의 활동을 조절함으로써 당뇨병의 증상을 가지는 초파리를 인위적으로 만들 수 있는 것이다.

한발 더 나아가 저희는 초파리에서 신경전달 기능을 하는 짧은 단백질의 한 종류인 sNPF(small Neuropeptide F)가 해당 포도당 감지 신경세포에서 발현됨을 파악하고 포도당에 노출됐을 때 이 신경전달물질이 분비됨을 확인했다. 또한, 저희는 인슐린 생산 조직과 글루카곤 생산 조직에서 sNPF의 수용체가 포도당 감지 신경세포의 신호를 받는데 필수적인 역할을 함을 증명했다.

기대효과

이번 연구 결과는 초파리에서 의미 있는 발견을 했다는 사실을 넘어 당뇨병 원인 규명과 치료의 패러다임을 근본적으로 바꿀 수 있는 계기를 마련했다고 하겠다. 뇌에서 만들어지는 신호가 체내 혈당 조절에 근본적인 역할을 함이 구체적으로 규명되면 한 단계 진보된 당뇨병의 진단 및 치료뿐 아니라 비만, 대사질환 치료도 가능해질 것이다



| 연구성과 |

[논문] • Yangkyun Oh, Jason Lai, Holly Mills, Hediye Erdjument-Bromage, Benno Giammarinaro, Khalil Saadipour, Justin Wang, Jin-Yong Park, Farhan Abu, Thomas A. Neubert, Greg S. B. Suh (2019) A glucose-excited neuron pair regulates insulin and glucagon in Drosophila. Nature 574, 559-564.

• Jineun Kim, Seongju Lee, Yi-Ya Fang, Shreelatha Bhat, Anna Shin, Koichi Hashikawa, Daesoo Kim, Jong-woo Sohn, Dayu Lin, Suh, Greg S (2019) Rapid, biphasic CRF neuronal responses encode positive and negative valence. Nature Neuroscience 22, 576-586

| 연구비 지원 |

• This research was supported by KAIST Chancellor's fund and Samsung Science & Technology Foundation

비흡연자 폐 선암의 암발생돌연변이 규명

의과학대학원
주영석

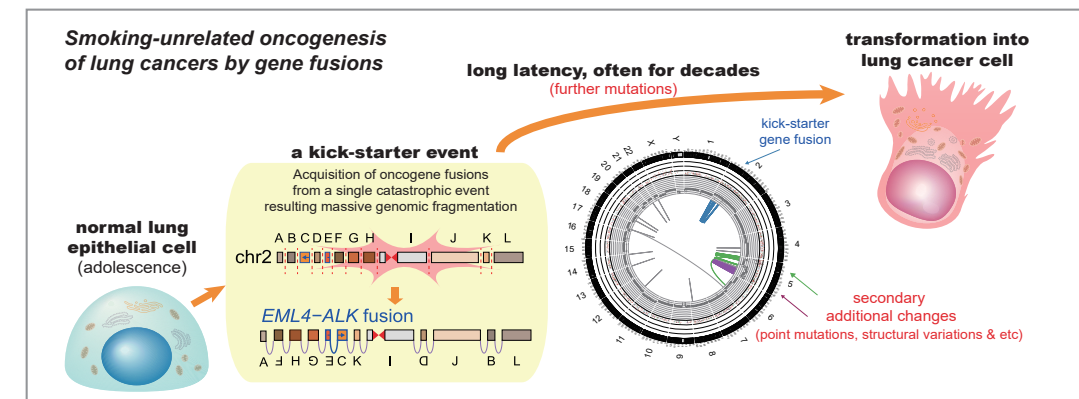
폐암은 사망원인 1위의 암으로서 주로 흡연자에서 높은 빈도로 발생하는 것으로 알려져 있다. 하지만 폐 선암 중 25% 정도는 흡연과 무관하게 나타나며, 10% 정도에서는 폐 세포에서 흡연과 무관한 원인으로 생성되는 ‘융합 유전자’ 생성에 의해 암 발생이 이루어지는 것으로 알려져 있다. 우리는 이번 연구에서 138례 폐 선암의 전장유전체 데이터를 생명정보학 방법을 이용해 분석하여 비흡연자 폐암의 융합유전자를 형성하는 유전체 구조 변이의 패턴과 발생 메커니즘을 추적하는 연구를 진행하였다.

연구배경

사람의 정상 세포는 어떻게 암세포로 돌변하는가? 약 30여년 전 유전자의 단일 돌연변이가 정상세포를 암세포로 변화시키는 데 충분하다는 기념비적인 발견 이후 발암의 원인 돌연변이 및 암유전자의 체계적인 발굴은 암유전체 연구의 중요한 목표였다. 특히 지난 10년 간 초고속 유전체 서열 기술 (Next Generation Sequencing)을 이용하여 수많은 연구가 진행된 바 있다. 약 10% 정도의 폐 선암 (lung adenocarcinoma)은 KRAS나 EGFR 유전자의 point mutation이 아니라, ALK, RET, ROS1등 protein tyrosine kinase 유전자들이 유전체 상에서 멀리 떨어진 다른 파트너 유전자와의 융합에 의해 발생하는데, 우리는 whole-genome sequencing (WGS)을 이용하여 융합유전자에 의해 발생한 폐 선암의 유전체 서열을 규명하고자 하였다.

연구내용

본 연구의 핵심 발견 가운데 하나는, 다수의 융합유전자의 발생이 복잡구조변이에 (complex genome rearrangement) 의해 일어난다는 사실이다. 융합유전자를 생성시킬 수 있는 가장 단순한 시나리오는 역위 (inversion)나 전좌 (translocation)와 같은 단순 유전체 구조 변이지만 (simple rearrangements), 실제 폐암에서는 염색체가 광범위하게 부서지고 재조합되는 복잡 유전체 구조 변이 (complex rearrangements) 과정이 대다수의 (~75%) 융합 유전자를 생성하고 있었다. 일반적으로 복잡구조변이 과정에서는 부서진 많은 유전체 조각들의 결실 (copy number loss)이 빈번히 발생 한다고 알려져 있었으나, 이번 연구에서 융합유전자를 형성하는 복잡구조변이에서는 결실의 빈도가 상대적으로 매우 낮은 특성을 보였다 (copy number balanced). 이러한 특성은 융합유전자들이 세포가 유전체 불안정성 (genome instability)을 확보하기 전, 즉 암세포의 특성을 얻은 시점보다 훨씬 이전, ‘정상세포’ 시기에 발생 하였다는 사실을 시사하고 있다. 우리는 융합 유전자의 발생 시점을 ‘mutation-time analysis’를 이용하여 체계적으로 추정하였다. 암세포에서는 빈번하게 유전체 조각들의 증폭 (copy number gain)이 발생하는데, 증폭 시점 이전에 해당 유전체 조각에 쌓인 point mutation들은 amplicon의 모든 copy에 함께 존재하게 되고 (co-amplification이 일어남), 증폭 시점 이후에 해당 유전체 조각에 쌓인 point mutation들은 함께 증폭될 수 없다. 덧붙여 유전체에 쌓이는 내재적 point mutation들은 시간에 비례하여 누적되는 ‘clock-like property’를



가지고 있으므로, copy number gain지역의 point mutation들의 양상을 분자 시계로 (molecular clock) 이용하면 증폭이 일어난 시점을 대략적으로 추정할 수 있게 된다. 유전체 돌연변이의 정밀 분석 결과 융합유전자의 생성이 환자의 일생에서 매우 이른 시기에 일어났다는 결론에 도달하였다. 정밀한 통계적 접근을 적용하면 평균적으로 융합 유전자는 암 진단 시점으로부터 약 30년 전, 즉 20대 정도에 발생하는 것으로 추정되었으며, 10대 이전 유년기에 융합 유전자가 생성된 것으로 보이는 극단적인 케이스도 있었다. 결론적으로 우리의 연구 결과는, 염색체가 광범위하게 파괴되었다가 재조합되는 복잡구조변이 현상이 인생의 매우 이른 시기에 폐 상피 세포들에서 일어날 수 있으며, 이러한 변이를 가진 세포는 수 십년의 잠복기 후에 폐암세포로 진화할 수 있다는 사실을 보여주고 있다. 일반적으로 폐 선암의 가장 큰 원인 인자는 흡연으로 알려져 있다. 하지만 흥미롭게도 모든 융합유전자에 의한 폐 선암에서는 흡연에 의해 직접적으로 발생된 돌연변이의 빈도가 매우 낮았으며, 이는 융합유전자의 생성이 흡연과는 큰 관련이 없음을 강력히 시사한다. 일반적인 폐 선암들의 유전체 변이 양상과는 다르게 융합유전자에 의한 폐 선암은 (1) point mutation의 개수가 (tumor mutational burden) 흡연에 의한 폐 선암에 비하여 약 10% 내외로 매우 낮았으며 (2) 구조 변이의 빈도 역시 상대적으로 낮아서, 전체적으로 유전체 돌연변이의 수가 매우 적은 특성을 보였다. 뿐만 아니라 일반적으로 폐 선암에서 50-60%의 빈도로 보이는 (3) TP53 (p53) 유전자 돌연변이도 20%

내외로 매우 낮았다. 반면 (4) SETD2 유전자의 truncation mutation의 비율은 약 20%로서 일반 폐 선암에 비하여 매우 높았다 (5배 이상). 결론적으로 융합유전자에 의한 폐 선암은 흡연에 의한 폐 선암과는 발생과정 뿐만 아니라 유전체 돌연변이 특성이 매우 다르다는 점을 관찰할 수 있었다.

기대효과

본 연구는 폐 선암의 전장 유전체를 체계적으로 분석한 첫 번째 연구 결과이다. 본 연구자들은 2012년 폐 선암의 원인 융합유전자인 KIF5B-RET를 RNA sequencing 등을 이용해 처음으로 발견해 보고한 바 있다. 하지만 이러한 융합유전자들이 실제로 폐 상피세포에서 어떻게 발생하는지는 미스테리였으며, 이번 연구를 통해 체계적 정리가 시작된 셈이다. 하지만 우리의 연구 결과는 다시 수 많은 새로운 질문을 던지고 있다. 그 가운데 하나는 사람의 ‘정상 세포에서 복잡구조변이 기전을 유발시키는 원인은 과연 무엇인가’일 것이다. 이를 알아낼 수 있다면, 융합 유전자에 의한 폐 선암을 예방하거나 조기발견 할 수 있는 길이 열리기 때문이다. 실험적으로는 chromosomal segregation error (lagging-chromosome에 의한 micronucleus) 나 chromosome end-to-end fusion에 의한 anaphase bridge 형성이 하나의 가능성으로 제시된 바 있다. 이러한 원인들이 실제로 우리 몸에서 일어나고 있는지, 또 다른 원인들은 무엇이 있는지 체계적으로 규명하는 것이 바로 다음 연구의 중요한 목표가 될 것이다.

| 연구성과 |

[논문] • Lee JJ, Park S, Park H, Kim S, Lee J, Lee J, Youk J, Yi K, An Y, Park IK, Kang CH, Chung DH, Kim TM, Jeon YK, Hong D, Park PJ, Ju YS*, Kim YT*, "Tracing oncogene rearrangements in the mutational history of lung adenocarcinoma", Cell 177(7):1842-1857 (2019) [2018 IF=36.216]

| 연구비 지원 |

• 보건복지부 한국보건산업진흥원 (HI16C2387 and HI17C1836)
• 서경배과학재단, 신진과학자 (SUHF-18010082)

연성 박막 방열 장치 개발

기계공학과
김 성 진

냉각기술은 전자장치의 신뢰성 향상을 위한 핵심적인 기술이다. 최근 전자장치는 플렉서블 디스플레이, 웨어러블 장치 등 휘고 굽힐 수 있는 형태로 발전하고 있으며, 이에 따라 연성 전자장치 내 소자 냉각을 위한 연성 방열장치의 필요성이 대두되고 있다. 하지만, 기존의 연성 방열장치들은 수명 및 성능 면에서 상용화에 한계가 존재한다. 이러한 한계를 극복하기 위해 본 연구단에서는 독창적인 패키징 기술과 설계 기술을 적용한 연성 방열장치를 개발하였다. 개발된 연성 방열장치는 패키징된 채널 내에서 기포의 진동을 통해 열을 효과적으로 전달함으로써 기존 대비 100배 이상의 수명 및 2배 이상의 성능을 가진다. 본 연구단에서 개발한 연성 방열장치는 차세대 냉각 장치로서 다양한 연성 전자장치에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

연구배경

전자장치들의 성능이 향상되면서, 전자장치 내부의 발열량 역시 크게 증가하고 있다. 전자장치에서의 고 발열은 시스템의 온도를 상승시켜 성능 저하, 장치의 수명 및 사용자의 안전등에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 성능의 장기간 작동 신뢰성을 보장하기 위해서는 전자장치 내 열관리 (Thermal management)가 핵심적이다. 더불어, 최근에 웨어러블 기기와 폴더블폰과 같은 연성 전자장치가 개발되고 있는 추세 속에서 이들의 효율적인 냉각을 위한 연성 방열장치의 필요성이 대두되고 있다. 하지만, 기존 연성 방열장치들의 경우 기반 물질의 높은 가스 침투도로 인하여 수 십일 수준의 매우 짧은 수명을 갖는 문제가 존재해왔다. 본 연구단에서는 이러한 한계를 극복하고자 독창적인 패키징 기술과 설계 기술을 적용한 연성 방열장치를 개발하였다.

연구내용

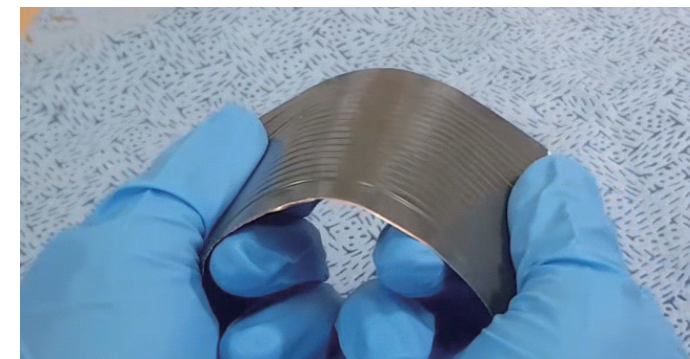
연성 방열장치의 유연성을 위해서 기반 물질은 유연한 물질인 폴리머로 구성되어야 하지만 폴리머 물질들은 매우 높은 가스 침투도를 갖는다. 폴리머를 통해 연성 방열장치내로 침투한 비응축 가스는 열전달 기작의 핵심인 내부 작동 유체의 증발과 응축을 방해하고, 이는 장치의 수명 및 성능을 급격히 악화 시키게 된다. 이러한 한계를 극복하기 위하여 본 연구단에서는 패키징된 채널 내 기포의 진동을 통해 열을 효과적으로 전달하는 연성 방열장치를 개발하였다. 진공을 유지한 채널 내부에 유체를 일부 채워 넣게 되면 유체의 증발과 응축을 통한 압력 차이로 인하여 유체의 진동운동이 일어나게 된다. 이러한 진동운동을 통해 고온부로 침투한 유체는 현열 및 잠열 열전달을 통하여 고온부의 열을 저온부로 확산시켜 고온부를 냉각시킨다. 본 연구에서는 연성 방열장치의 수명을 확보하기 위해 기반 물질인 폴리머를 얇은 금속 막으로 감싸 밀봉하 패키징 기법을 적용하였다. O₂ 플라즈마에 의해 활성화된 폴리머 표면에 실란 분자를 결합해 폴리머와 금속 박막을 패키징하는 방법을 제안함으로써, 비응축 가스의 침투를 막는 효과적인 채널 구조를 구성하였다. 본 과정은 폴리머 표면과 금속 표면이 중간 매개체를 통하여 상온에서 진행되기 때문에 온도 안정성이 낮은 폴리머의 변형이 최소화 된다는 장점을 가지고 있다.

이러한 이유로 본 연구단에서 개발한 연성 방열장치는 수명과 성능이 기존에 비해 매우 향상되어 수명은 2,000일, 성능은 구리의 2.6배 이상의 값을 가지는 것을 확인하였으며, 더불어 굽힘 조건에서도 수명과 성능이 유지되는 것을 확인하였다.

기대효과

현재까지 개발된 연성 방열장치의 경우 수명이 매우 짧은 한계가 있다. 연성을 위한 폴리머 재질은 가스 투과도가 높기 때문에, 진공 상태가 요구되는 방열장치에서는 수명이 가장

큰 문제로 부각되어 왔다. 본 연구단에서는 독창적인 패키징 기술과 디자인 기술을 통하여 새로운 연성 방열장치를 개발하였다. 개발된 연성 방열장치는 패키징된 채널 내에 기포의 진동을 통해 열을 전달함으로써 기존 대비 100배 이상의 수명과 2배 이상의 성능을 갖는 것을 확인하였다. 본 연구단에서 개발한 연성 방열장치는 기존 장치들의 한계를 극복한 차세대 방열장치로서 다양한 연성 전자장치에 사용될 수 있을 것으로 기대된다.



〈그림 1〉 연성 방열장치의 구성 요소 및 사진



〈그림 2〉 방열장치 내부 작동 유체의 진동 운동

| 연구성과 |

[논문] • J. Lim and S. J. Kim*, "Fabrication and experimental evaluation of a polymer-based flexible pulsating heat pipe", Energy Conversion and Management 156, 358-364 (2018) [Impact Factor = 7.181].

• C. Jung, J. Lim and S. J. Kim*, "Fabrication and evaluation of a high-performance flexible pulsating heat pipe hermetically sealed with metal", Int. J. Heat and Mass Transf. 149, (2020) [Impact Factor = 4.346].

[특허] • (국내) 인공 캐비티를 갖는 판형상의 진동 히트 스프레더

• (미국) 특허 출원 2건

| 연구비 지원 |

• 한국연구재단, 연성박막 초열전도체 개발사업

스마트폰을 이용한 뇌 신경회로 무선 제어 기술 개발

전기및전자공학부
정재웅

뇌는 가장 복잡한 생체 기관 중 하나로, 뇌의 기능을 이해하고 각종 퇴행성 뇌질환을 부작용 없이 치료하기 위해 뇌의 신경회로를 정교하게 제어할 수 있는 새로운 툴(tool) 개발이 매우 시급하다. 본 연구팀은 동물의 뇌에 이식하여 스마트폰앱 조작을 통해 약물과 빛을 뇌 특정 부위에 전달함으로써 목표 신경회로를 정교하게 컨트롤 할 수 있는 뇌 이식용 무선 디바이스를 최초로 개발하였다. 이를 통해 자유롭게 움직이는 동물의 뇌 회로를 무선으로 선택적으로 제어하는데 성공하였다. 본 기술은 뇌의 목표 신경회로를 반복적, 장기적으로 무선 컨트롤하는 걸 가능하게 하기 때문에, 뇌 연구 뿐 아니라 향후 파킨슨병, 치매, 중독 등 뇌질환 치료에도 유용하게 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

연구배경

뇌는 가장 복잡한 생체 기관 중 하나로, 뇌의 기능을 이해하고 각종 퇴행성 뇌질환을 부작용 없이 치료하기 위해 뇌의 신경회로를 정교하게 제어할 수 있는 새로운 툴(tool) 개발이 매우 시급하다. 광유전학과 신경약물학은 주변 신경회로에 영향을 주지 않고 목표로 하는 뉴런이나 신경회로만을 빛 또는 약물, 혹은 그 둘의 조합을 이용하여 정교하게 컨트롤 할 수 있는 방법으로, 기존 전기 자극 방법에 비해 훨씬 더 높은 시공간적 해상도를 가지고 신경회로를 정교하게 컨트롤 할 수 있기 때문에 최근 뇌 연구 및 뇌 질병 치료 목적으로 많은 각광을 받고 있다. 하지만, 현재 뇌 연구에 일반적으로 쓰이고 있는 뇌 이식용 디바이스는 상대적으로 크기가 크고 딱딱한 재질의 소재로 만들어져 있어, 1) 뇌조직을 크게 손상시키고, 2) 정교한 선택적 신경회로 제어가 어려우며, 3) 하나의 다기능성 프로브 형태로 구현이 힘들다. 또한 외부기기(예: 레이저, 약물펌프)에 선이 연결된 형태로 사용되어야 하기 때문에, 4) 동물의 자유로운 행동을 크게 제약하며, 따라서 복잡한 행동연구나 자연스러운 환경에서의 뇌기능 연구, 나아가 뇌질환 치료용으로 적용하기 어렵다.

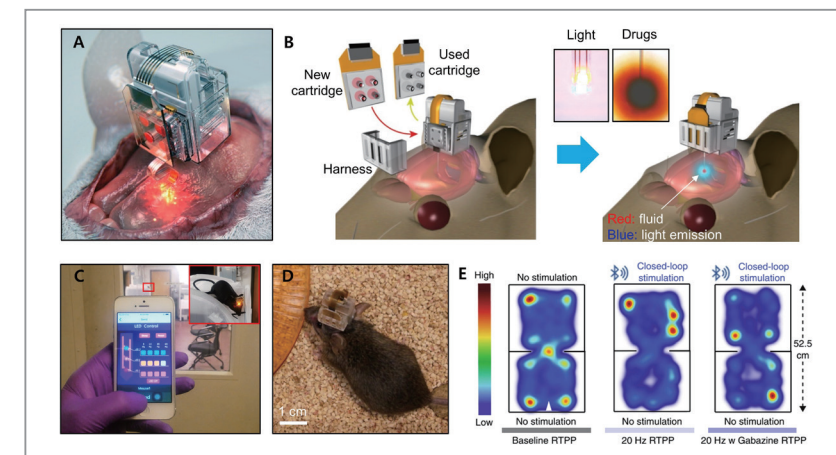
연구내용

본 연구에서는 이러한 기존 뉴런 인터페이스용 툴들의 한계를 극복하고자, 초정밀 마이크로 공정기술, 전달인쇄 기술, 그리고 생체직접형 임베디드 시스템 기술을 이용한 초소형, 무선 유연성 뉴런 디바이스를 개발하였다. 폴리머 미세유체관과 마이크로 LED를 결합하여 머리카락 두께(80 μ m)의 유연한 뇌 탐침을 만들고 이를 소형 블루투스 기반 컨트롤 회로와 교체 가능한 약물 카트리지와 결합함으로써, 스마트폰앱을 통해 무선으로 마이크로 LED와 약물 전달을 제어할 수 있는 무게 2g의 뇌 이식용 디바이스를 구현했다. 특히 약물 카트리지는 레고의 원리를 모사하여 탐침 부분과 쉽게 조립/분리가 가능하도록 하여, 필요할 때마다 새로운 약물 카트리지를 결합함으로써 원하는 약물을 장기간에 걸쳐 뇌의 특정 부위에 반복 전달할 수 있도록 만들었다. 본 연구팀은 개발된 뉴런 디바이스의 기능을 동물 실험을 통해 검증하였다. 쥐의 뇌에 디바이스를 임플란트하고 특정 뇌 신경회로를 무선 디바이스를 통해 제어함으로써 쥐 행동을 원격 컨트롤할 수 있었다. 무선 약물 전달을 통한 뇌 제어 검증을 위해, 이 디바이스를 쥐의 뇌 보상회로에

이식한 후 도파민 활성 약물과 억제 약물이 든 카트리지를 디바이스와 결합하였다. 그 후 간단한 스마트폰앱 컨트롤을 통해 원하는 타이밍에 자유롭게 움직이는 쥐의 활동을 도파민 활성 약물을 이용하여 더욱 증가시키거나, 도파민 억제 약물을 전달하여 억제시키는데 성공하였다. 또한 빛과 약물 모두를 이용한 뇌 제어 기능 검증을 위해, 쥐의 뇌에서 장소 선호도를 유도할 수 있는 부위에 빛에 반응하는 단백질(채널로돕신)을 주입하여 신경세포가 빛에 반응하도록 처리하였다. 그 후 쥐가 특정 장소로 이동하였을 때 마이크로 LED를 켜 광유전학적 자극을 줌으로써 쥐가 그 장소에 계속 머물고 싶게 만들 수 있었다. 반대로, 약물 전달을 통해 뇌 신경회로를 제어함으로써 쥐의 특정 장소 선호도를 없애는데도 성공하였다. 본 뇌 이식용 디바이스는 자유롭게 움직이는 동물의 특정 뇌 신경회로를 빛과 약물을 이용하여 장기간에 걸쳐 무선 스마트폰을 이용하여 제어할 수 있는 최초의 디바이스로서, 기존 이식용 툴로는 불가능한 정교한 광약물학적 무선 뇌 제어를 구현할 수 있다는 점에서 신경과학 연구와 뇌질환 치료 분야에 새로운 가능성을 제시해 주었다.

기대효과

현재 사용되고 있는 뇌 신경회로 제어용 이식용 디바이스는 정교하지 못한 뇌 자극으로 부작용을 야기하고, 뇌조직과 기계적 간극으로 염증반응 등을 유발하여 장기간 이식에 한계가 있으며, 외부 기기에 선이 연결된 형태로 사용되어야 하기 때문에 많은 제약이 있다. 본 연구를 통하여 개발된 뉴런 디바이스는 누구나 손쉽게 간편하게 스마트폰을 이용하여 뇌의 특정 회로를 빛과 약물을 이용해 정교하게 무선 컨트롤 하게 한다는 점에서, 뇌 기능을 밝혀내기 위한 연구나 향후 치매, 파킨슨 병, 중독 등 다양한 뇌질환의 치료 연구에도 유용하게 적용될 수 있을 것이라 기대된다. 또한 한번의 뇌 이식을 통해 지속적으로 약물을 주입하여 그 효과를 관찰 할 수 있기 때문에, 장기간에 걸친 동물 실험이 필요한 신약 개발에도 적용될 수 있을 것으로 기대된다. 뿐만 아니라, 본 디바이스의 국소부위 무선 약물 전달 기능은 광범위한 장기 약영향을 미치는 기존 항암치료의 문제를 극복하기 위한 표적 약물치료 구현에도 적용될 수 있을 것으로 예상된다.



| 연구성과 |

[논문] • R. Qazi, A. M. Gomez, D. C. Castro, Z. Zou, J. Y. Sim, Y. Xiong, J. Abdo, C. Y. Kim, A. Anderson, F. Lohner, S.-H. Byun, B. C. Lee, K.-I. Jang, J. Xiao, M. R. Bruchas* and J.-W. Jeong*, "Wireless optofluidic brain probes for chronic neuropharmacology and photostimulation," Nature Biomedical Engineering 3, 655-669 (2019). [2018 Impact factor: 17.135]

[홍보] • New York Post, The Week, Technology Times, EE News Europe, Innovation Toronto, 신화통신, 조선일보, 동아일보, YTN 뉴스를 비롯한 전세계 60개 이상의 미디어를 통해 보도. Asia Research News 2020 Magazine에 feature story로 보도.

• 개발 디바이스가 미국 과학전문 매거진 The Scientist의 Image of the Day에 선정.

| 연구비 지원 |

- KAIST, 신임교원 정착연구비
- 한국연구재단, 신진연구 지원사업
- 한국연구재단, 기초연구실 지원사업

세탁 가능한 입는 디스플레이 모듈 개발

전기및전자공학부
최 경 철

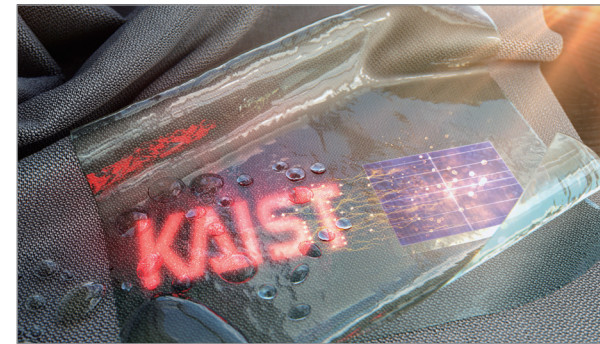
기존 웨어러블 디스플레이 연구는 주로 디스플레이 소자 구현에 초점을 맞춰서 진행되었기 때문에, 소자를 구동 시키기 위한 외부 전원이 필요하거나 세탁이 어려워 실제 웨어러블 디스플레이로의 응용에서 한계점을 가지고 있었다. 이에 본 연구팀은 일상적으로 쓰이는 옷감 위에 외부 전원 없이도 전력을 공급하는 고분자 태양전지(PSC) 유기 발광 다이오드(OLED) 그리고 세탁이 가능한 봉지기술을 적용하여, 전기도 절약되는 실제 입을 수 있는 디스플레이 모듈 기술 개발에 성공하였다. 본 연구에서 개발된 기술은 웨어러블 디스플레이의 상용화의 길을 열 수 있으며, 향후 '입는 디스플레이' 연구에 있어 핵심적이며 선도적인 요소 기술로 이바지할 것이 기대된다.

연구배경

디스플레이는 양방향 동시 입출력이 가능하기 때문에 차세대 정보통신기술(ICT, Information Communication Technology)의 핵심으로 입지를 굳혀나가고 있다. 특히 의류에 센서가 추가되고, 파워가 연결되며, 인터넷 접속이 가능한 웨어러블 IoT(Internet of Things)가 시대가 도래함에 따라 디스플레이 또한 기존의 무겁고 딱딱하던 고정관념에서 탈피한 가볍고 유연한 웨어러블 기술로 재탄생하고 있다. 그렇지만 웨어러블 디스플레이의 경우 외부환경에 노출될 때 소자의 열화현상이 급격하게 발생하므로 이를 위한 봉지기술은 필수불가결한 선택이다. 그렇지만 기존의 봉지기술은 상온에서는 제 역할을 하지만, 습기가 많은 환경에서는 특성을 잃는다는 단점을 가지고 있었다. 즉, 비가 온다든지 세탁을 할 경우에 있어 디스플레이의 안정적인 고수명을 기대하기에는 역부족이다. 따라서 세탁과 일상 생활에서의 활용을 위해선 이러한 한계점을 극복할 필요가 있다. 본 연구진은 이러한 스마트 시대의 흐름에 부응하는 입는 디스플레이 모듈(wearing display module)을 제안하게 되었다. 인간이 매일 입는 옷 위에 디스플레이를 구현하여, 우수한 착용감을 주며 편안하고 부드러울 뿐만 아니라 세탁이 가능하게 함으로써 입는 디스플레이 모듈의 상용화를 앞당기는 것이 본 연구의 목표이다.

연구내용

웨어러블 디스플레이의 상용화에 있어 가장 큰 걸림돌은 세탁이 어렵기 때문이다. 본 연구에서는 취성이 높은 물질의 내부 크랙의 성장을 억제하는 크랙 어레스터(crack arrestor)를 생성하여 옷감 특유의 유연한 기계적 특성을 유지하고 수분에 취약한 물질과 유연한 고분자 물질간의 상호 양성자-탈양성자화(protonation-deprotonation) 작용을 통해 세탁이 가능한 입는 디스플레이 모듈을 개발하였다. 기존의 웨어러블 디스플레이에 있어서 세탁을 하는 경우 디스플레이를 보호하는 봉지막이 그 과정에서 상전기와 같은 기전을 통해 열화가 발생한다. 다시 말해, 디스플레이가 수분에 직접 노출이 되어 더 이상 동작하지 않는 것을 의미한다. 이에 본 연구에서는 이중 물질간 양성자-탈양성자 반응을 통해 수화현상을 방지하여 세탁이 가능하게 할 수 있음을 입증



하였다. 이를 위해 유연한 실리카 고분자 용액과 알루미늄 산화물 및 아연 산화물로 구성된 우수한 봉지 특성을 가지는 나노층화봉지(nano-stratified encapsulation barrier)를 적용한 새로운 봉지 기술을 개발하였다. 푸리에 변환 적외선 분광법(FT-IR, Fourier-transform infrared spectroscopy), 투습률(WVTR, water vapor transmission rate), 그리고 표면 거칠기 변화를 통해 양성자-탈양성자 반응을 통한 세탁 특성 향상을 확인하였다. 또한 기존에는 봉지막 내부에 균열이 존재할 경우 이를 통해 수분과 산소가 유입될 수 있어 균열이 없는 조밀한 봉지막을 제작하는 것을 목표로 했었다. 하지만 본 연구에서는 인위적인 미소균열이 봉지막에 도입되었을 경우 Griffith crack model에 의거하여 유연성을 증대시킬 수 있음을 입증하였다. Griffith crack model은 일반적으로 봉지막 내부에서의 균열이 발생할 경우 균열 첨단의 반경은 원자 간 거리만큼 작기 때문에 응력의 집중화가 커지는 것을 설명한다. 이에 따라 내부에 인위적인 미소균열을 도입하는 경우 균열선단에서의 국부응력을

획기적으로 감소시킬 수 있음을 알 수 있다. 이러한 미소균열을 도입하기 위한 방법으로는 식각과 같은 화학반응을 이용하였다. 최종적으로 열 압착 공정을 통해 직물의 표면 거칠기를 수 천분의 일로 줄임으로써 직물에서 고분자 태양전지(PSC, polymer solar cell) 및 유기 발광 다이오드(OLED, Organic Light Emitting Diode)가 안정적으로 동작할 수 있도록 하는 기술을 개발하였다. 이를 통해 외부 전원 없이 동작 가능한 입는 디스플레이 모듈을 제작할 수 있었고 본 모듈은 한달동안 반복적인 세탁을 하였을때에도 그 특성을 유지하는 것을 확인할 수 있었다.

기대효과

인간에 익숙하고 편리한 플랫폼인 옷은, 웨어러블 디스플레이가 추구하는 최적의 플랫폼이다. 최근 많은 스마트 기기들이 시계, 안경 등의 착용형으로 출시되었지만, 의류의 형태로 구현한다면 더욱 이상적인 스마트 기기를 구현할 수 있을 것이다. 본 연구의 입는 디스플레이는 사용자가 스마트 기기를 착용하고 있음을 인식하는 '웨어러블 스트레스(wearable stress)'를 주지 않기 때문에 편안함과 편리한 사용 환경을 제공한다. 이와 더불어 세탁 가능성을 확인하였기에 상용화의 가능성을 입증하였다고 할 수 있다. 이를 바탕으로 심미적인 디자인을 디스플레이를 통해 가미함으로써 패션 및 산업으로 응용이 가능하고 다양한 스마트 기기와의 연동을 통한 헬스케어 산업으로의 활용이 용이하다. 따라서 본 기술은 궁극적으로 스마트 패션, 섬유, 의학 및 각종 헬스케어 산업의 근간이 되는 기술로 발전할 것이라 기대한다.

| 연구성과 |

- [논문] • E. G. Jeong, Y. Jeon, S. H. Cho, and K. C. Choi, "Textile-based Washable Polymer Solar Cells for Optoelectronic Modules: Toward Self-powered Smart Clothing", Energy & Environmental Science 12, 1878-1889 (2019).[2018 Impact Factor = 33.250, selected as a back cover paper]
- [특허] • 세탁 가능한 나노 층화 봉지 구조체 및 이를 포함하는 전자 장치 (2019. 08. 07)
- [수상] • BK21+ 공학 부문 부총리 겸 교육부장관 표창 (2019. 03. 20)
- [홍보] • Highlighted in Nature Energy (selected as a research highlight, DOI: 10.1038/s41560-019-0341-2)
 - [논문]에 대하여 YTN, YTN 사이언스를 통한 영상 뉴스 보도 및 Forbes를 비롯한 20개 이상 국내외 언론사의 언론 보도

| 연구비 지원 |

- 한국연구재단, 선도연구센터사업
- 한국연구재단, 나노소재기술개발사업
- 한국산업기술평가관리원, 전자부품산업핵심기술개발사업

아침 시간 청백색 조명의 각성 효과

산업디자인학과 석현정

색채를 지각하는 감광세포와 별도로 인간의 망막에는 제3의 광수용체라 불리는 감광신경절세포(ipRGCs)가 생물학 분야에서 화두이다. 이에 본인이 조명 디자인 분야에서 관찰해왔던 청백색 조명의 집중 효과에 대한 원인을 생물학적 관점에서 찾을 수 있으리라 기대하였고, 특히 청색에 민감도가 높은 ipRGCs를 청백색으로 튜닝된 조명으로 자극한다면 건강한 일반인이 아침 시간에 필요한 각성과 상쾌함을 유도할 수 있겠다는 가설로 연구를 시작하였다. KAIST 재학 중인 건강한 남녀 학생을 모집하고 강의실 공간에서 수업 상황을 연출하였다.

따뜻한 색감(3500K)과 시원한 색감(6500K)의 백색 LED를 활용하였으며, 500lx 수준의 중간 밝기로 천장 배광하였다. 멜라토닌과 코티솔 분비량, 그리고 주관적 평가를 반복 측정한 결과, 높은 색온도의 조명, 소위 "청백색" 조명 아래서 아침 시간 멜라토닌 억제가 효과적인 것을 관찰하였다. 이는 실험에 참여한 대학생들의 주관적 평가와 경향이 일치하였다. 백색으로 보이는 조명 광원의 색온도 제어만으로 집중력 높은 아침 시간을 기대할 수 있는 것이다. 조명 의존도가 높은 실내 환경에서 활용 가치가 높을 것이며, 학술적으로는 블루라이트에 대한 막연한 두려움, 오해 그리고 진실을 가늠해 주는 자료로 활용될 수 있다.

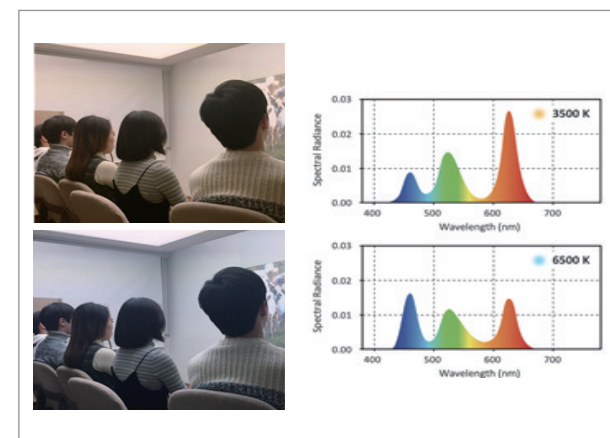
빛은 시각적 색채 경험 뿐만 아니라 생체 리듬을 조절한다고 알려져 있다. 과연 그 영향이 일상 생활에서 관찰될 수 있을 만큼일까?

연구배경

2002년 인간의 망막에 제3의 광수용체, 감광신경절세포(ipRGCs)의 존재가 알려진 이후, 여러 가지 바이오 피드백을 통해 인간의 각성과 수면을 포함한 생체 리듬이 빛의 영향을 받는 것으로 검증되어 왔다. 기존 연구는 대부분 수면 장애와 같은 야간의 취침을 다루었고 외부 요인을 엄격하게 차단하여 변수를 통제하는 것이 정설처럼 여겨지고 있다. 본 연구자는 감광신경절세포를 효과적으로 자극할 수 있는, 그러나 일상에서 충분히 활용 가능한 청백색 조명을 이용하여 건강한 일반인에게 모닝 커피처럼 기분 좋은 각성과 상쾌함을 유도해줄 수는 없을가에 대해 고민을 시작하였다.

연구내용

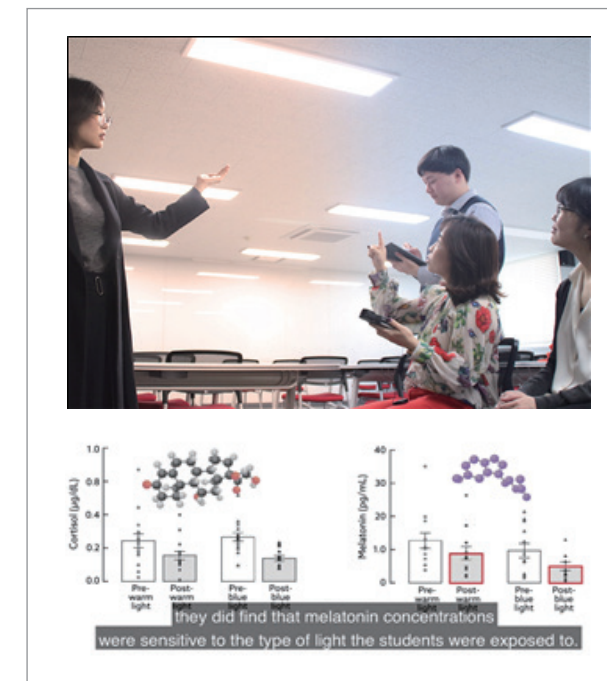
KAIST 재학 중인 건강한 남녀 성인을 실험 참여자로 모집하였으며 평범한 강의실 공간에서 수업 상황을 연출하였다. 빛 자극으로는 이미 시중에 실내 조명으로 활용되는 따뜻한 색감(3500K)과 시원한 색감(6500K)의 백색 LED를 선정하고, 500lx 수준의 중간 밝기 백색광을 천장 배광으로 사용한 점 또한 기존의 단파장 위주의 망막 직접 자극광을 이용한 실험과는 큰 차이를 가진다.



〈그림 1〉

건강한 KAIST 남녀 재학생들을 대상으로 진행한 조명 경험 실험(좌) 및 조명 별 광원의 분광분포(우)

카이스트 재학생들을 대상으로 각 조명 환경마다 벽면에 투사된 영상을 시청하게 한 후 멜라토닌과 코티솔 분비량, 그리고 주관적 평가를 반복 측정하였다. 그 결과, 높은 색온도의 조명, 소위 "청백색" 조명 아래에서 아침 시간 멜라토닌 억제가 효과적인 것으로 관찰이 되었고, 이는 실험에 참여한 대학생들의 주관적 평가와 경향이 일치하였다. 오전에 멜라토닌이 잘 억제된다는 것은 인체가 야간의 수면에서 깨어나 각성 상태가 잘 유도된다는 것을 의미한다. 즉 집중이 필요한 학습 활동에서 학습 능력을 증진시키고, 이른 아침에는 잠을 깨우는 이로인 효과로 볼 수 있다.



〈그림 2〉 언론에 보도된 연구 설명 자료의 일부분.

연구 결과를 토대로 KAIST 내 N25동 419호에는 조명을 동적으로 제어할 수 있는 시스템이 반영되었고(좌), 재학생을 대상으로 진행한 조명 환경에 따른 멜라토닌 검출 결과(우).

이와는 대조적으로, 따뜻한 색감의 낮은 색온도 조명은 휴식에 적합한 셈이다. 웅장하고 멋진 컨퍼런스 룸의 오렌지 색조의 조명 색상이 떠오른다면, 본 연구 결과가 당장 반영되어야 할 장소는 강의실에 국한되지 않는다. 평범한 백색으로 보이는 조명 광원의 사소한 튜닝만으로도 집중력 높은 아침 시간을 기대할 수 있는 것이다. 조명 의존도가 높은 실내 환경에서 이러한 효과는 더욱 두드러질 것이며, 학술적으로는 블루라이트에 대한 막연한 두려움에 대하여 오해와 진실을 가늠해 주는 객관적 자료로 활용될 수 있겠다.

기대효과

청백색 조명이 학습에 집중하기에 적합하다는 연구는 본 연구자가 2016년에 발표한 바 있다*. 당시 대전광역시 대덕초등학교 4학년 학생들의 연산 실력 향상과 카이스트 재학생의 교감신경 활성화도 증가 등으로 입증을 하였다. 왜? 라는 질문을 멈추지 않았고, 생물학에서 원인을 찾아 호르몬 변화를 관찰하려는 시도를 한 것은 디자인 연구자로서 쉽지 않은 도전이었다(생명과학과 정현정 교수 연구실 협업). 2019년 발표된 연구 성과는 Scientific Reports 학술지가 Highlight 연구로도 선정되었는데, 출판사 자체 미디어팀이 연구 홍보를 위한 영상을 제작하여 유튜브 채널에 공개되어 있다. 융합 연구가 적극적으로 진행될 수 있는 연구자 간 네트워킹이야말로 참신하면서도 전문성있는 범학문적 연구 성과를 산출하는 원동력이다. 카이스트는 건강한 융합 연구 생태계를 더욱 활성화할 필요가 여기에 있다.

| 연구성과 |

[논문] • Choi, K., Shin, C., Kim, T., Chung, H. J., & Suk, H. J. (2019). Awakening effects of blue-enriched morning light exposure on university students' physiological and subjective responses. Scientific reports, 9: 345. doi: 10.1038/s41598-018-36791-5.

[홍보] • YTN, 매일경제, 네이버유튜브, (미)허핑턴포스트, SBS 등 국내외 언론

논문관련 *Choi, K. & Suk, H.-J. (2016). Dynamic lighting system for the learning environment: performance of elementary students, Optics Express. 24(10). A907-A916.

| 연구비 지원 |

• 한국연구재단, 여성과학자지원사업

산업및시스템공학과

장영재

반도체/LCD와 같은 첨단 제조 시설과 신속배송을 처리하는 첨단물류 창고에서 자동화와 무인화는 필수요소로 자리매김하고 있다. 이러한 첨단 제조 및 물류 창고는 과거 컨베이어가 아닌 수 백대에 이르는 물류 로봇이 물류 이송 작업을 수행한다. 이러한 물류 배송 로봇들이 사람과 유사하게 서로 충돌을 일으키지 않고 상호 효율적으로 작업을 수행하기 위해서는, 개별 로봇의 성능 향상뿐만 아니라 높은 수준의 AI를 기반으로 다수의 로봇을 지휘하는 협업지능 (Collaborative Intelligence) 기술이 필수적이다. 본 연구에서는 AI의 대표 기술 중 하나인 강화학습(Reinforcement learning) 기반의 자동 물류 군집 로봇 제어 알고리즘을 개발하였다.

본 알고리즘은 다량의 자동 물류 로봇이 제한된 자원을 공유하는 환경에서 상호 협업하여 작업을 수행할 수 있는 두뇌 역할을 담당한다. 본 연구진은 인공지능, 강화학습, 디지털 트윈과 자동 물류 로봇 시스템 도메인 지식을 결합하여 대규모 물류 로봇의 복잡한 제어/관리 문제를 해결하였으며, 1,000대 이상의 물류 로봇 군집 제어 솔루션 상용화에 성공하였다. 기존 학계 벤치마킹 알고리즘과 산업 현장에서 기존 활용 중인 방법과 비교해 물류 성능의 30%이상 개선을 확인하였으며[1], 또한 국내 중견기업과 협업을 통해 솔루션 상용화에도 성공하였다[2].

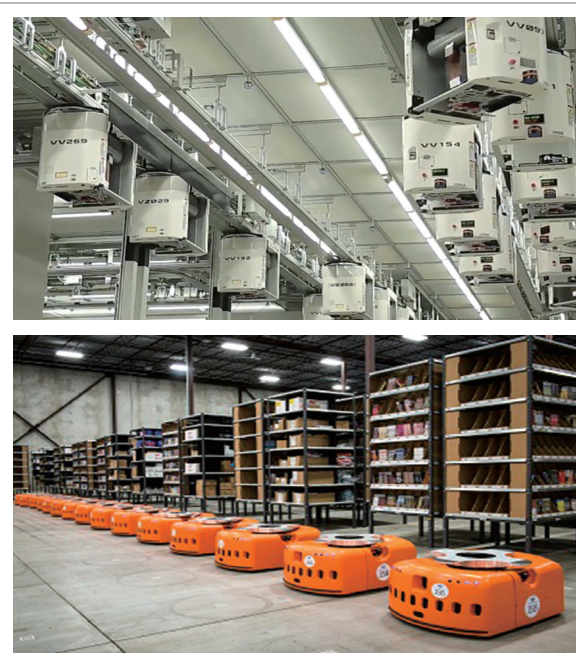
본 연구는 “산업 AI”의 성공적인 구현사례로, 강화학습 기술의 저변을 확장하여 AI의 성공적인 산업 현장적용을 선도할 것으로 예상된다. 또한 다수의 물류 로봇이 동시에 작업을 진행하는 물류 창고, 교통, 서비스 분야로의 확장이 기대된다.

연구배경

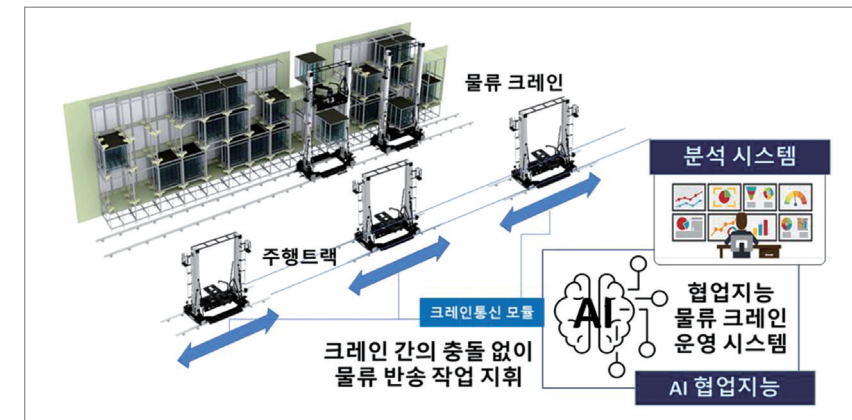
제조 산업 현장에서 제품이나 가공품의 장비간 이송을 물류 로봇이 담당하고 있으며 대부분 2대 이상의 군집으로 작업을 수행하고 있다. 특히 반도체와 같은 첨단 제조 시스템이나 물류 창고에서는 그림1과 같이 수백대 이상의 물류 로봇이 이송을 담당하고 있으며, 이에 대한 군집 제어를 요구하고 있다. 하지만 산업 현장에서는 이러한 로봇들 간 상호작용을 예측하는 것은 상당한 기술적 고도화가 요구되어, 단순한 규칙 기반으로 운영하되 사전 예상하지 못한 상황이 발생하면 사람이 인위적으로 개입하여 임의적인 규칙을 적용하는 비효율적인 방식으로 운영되었다. 마치 시시각각 변화하는 교통상황에서 예상하지 못한 교통 정체가 발생하면 사람이 인위적으로 개입하여 교통신호를 수동으로 제어하는 것과 비슷한 방식으로 운영되었다. 이러한 군집으로 운영되는 물류 로봇을 효율적으로 제어하기 위해 개별 로봇의 성능 향상뿐만 아니라 상호 효율적으로 작업을 수행하기 위해 협업지능 (Collaborative Intelligence) 기술이 필요하다.

연구내용

본 연구에서는 (1)반도체 및 (2)디스플레이 공장에서 다수의 물류 로봇들이 상호 협업할 수 있도록 강화학습 및 디지털 트윈 기술을 이용하여 로봇들의 물류 처리 작업할당 및 이동 경로를 결정하는 알고리즘을 개발하였다.



〈그림 1〉 반도체 공장 물류반송 로봇 (상), 자동 물류창고 물류반송 로봇 (하)



〈그림 2〉 LCD/OLED 디스플레이 물류반송 로봇

[반도체 공장 적용 연구] 최근 반도체 산업 현장에서는 1,000대 이상의 물류 로봇이 동시에 이송작업을 수행하고 있으며, 빈번하게 상호간섭이 발생하고 있다. 제안 알고리즘은 기존 학계와 산업계의 표준 방식으로 사용되는 벤치마크 알고리즘에 비해 2배에 달하는 우수한 성능을 보임을 실증적으로 입증하였다 (유튜브 동영상: [https:// \[www.youtube.com/watch?v=r-WUwqYMD-M\]](https://www.youtube.com/watch?v=r-WUwqYMD-M)(<http://www.youtube.com/watch?v=r-WUwqYMD-M>)). 또한 벤치마크 알고리즘은 경로를 탐색할 때마다 최단 경로 연산을 수행하여 CPU의 과부하가 발생하지만, 제안 알고리즘은 학습된 상태-행동 함수와 메모리를 활용을 통해 CPU 부하를 줄여 대량 군집 제어에 효과적이다. 또한 디지털 트윈을 활용해 학습 속도를 개선하고 로봇들의 군집 움직임의 패턴을 파악해 사전 로봇들의 이상징후를 파악하는 알고리즘도 개발하였다. 기존 방식에 대비 탁월한 기능 뿐만 아닌, 사람의 개입 없이도 스스로 지능화 하여 문제를 인지하고 수정하는 자율운영 (autonomous)의 혁신을 제시하였다.

[디스플레이 공장 적용 연구] 그림 2와 같이 디스플레이 제조 공장에서 사용되는 물류 로봇은 일반적으로 복수의 크레인 로봇이 하나의 레일 위에서 움직임으로 충돌을 방지하는 물류 로봇 간 이동 경로 설정이 최대 관건이다. 본 연구에서는 강화 학습과 인공지능을 결합한 Deep Q Network를 활용하여 실시간으로 각 로봇들의 작업 할당 및 이동 경로를 설정하는

알고리즘을 개발 하였다. 국내 글로벌 LCD제조 업체의 제조 설비에 실제 적용하여 20%이상 성능 효과가 보임을 실증 사업을 통해 증명하였으며 성공적인 사업화를 완료 하였다.

기대효과

본 연구는 AI기술을 활용한 스마트팩토리 솔루션의 성공 사례로, AI 강화학습 기법을 통해 단순한 규칙에 의존하던 ‘룰 (rule) 기반’ 낮은 지능의 물류 로봇을 높은 수준의 협업 지능을 가진 물류 로봇으로 탈바꿈하는 기술을 개발하였으며, 이러한 기술을 통해 물류의 생산성을 혁신적으로 개선 가능함을 실증 사업으로 증명하였다. 연구 결과를 토대로 2018년 국내 반도체 장비 제조사인 (주)시너스텍과 함께 20억원 규모의 AI 자동화 시스템 연구센터 설립, 같은해 (주)LGCNS와 함께 20억원 규모의 AI & 빅데이터 연구센터를 추가 설립하여 활발한 기술 사업화를 추진하고 있으며, 2019년에는 관련 기술로 총 1억원의 기술료 수입을 달성하였다. 본 연구는 “제조 산업 AI”의 구체적인 사례를 제시하였으며, 강화학습 기술의 산업 활용 저변을 확장하고 향후 다양한 제조 산업 AI 연구의 기준이 될 것으로 기대된다. 또한, 강화학습 기반 물류 흐름 제어 프레임워크는 다수의 물류 로봇이 상호작용하는 환경에서 전체 시스템 성능 최대화를 목표로 로봇 군집을 최적 운영하는 기술로, 물류 로봇을 활용하는 물류창고, 교통, 서비스 로봇등 다양한 산업 분야로 확장이 기대된다.

|연구성과|

[논문] • Hwang, Ilho, and Young Jae Jang. "Q (λ) learning-based dynamic route guidance algorithm for overhead hoist transport systems in semiconductor fabs." International Journal of Production Research (2019): 1-23. (저널 에디터 초청 게재 - Editor's Pick)

[기술이전] • 기술 사업화-자동물류 반송 시스템 스케줄링 알고리즘 및 3건 - 총 기술료 1억원 (2019)

• 신성-카이스트 자동화 시스템 연구센터 설립 (2018) - 총 연구비 20억원, LG CNS AI & Big Data 연구센터 설립 (2028) - 총 연구비 20억원

|연구비 지원|

• 한국연구재단, 일반연구지원사업 (산학협력센터 설립)

포토 홀 효과

신소재공학과 신 병 하

홀 효과는 지난 100년이 넘는 시간 동안 가장 일반적인 반도체 특성 분석 기법의 하나며 전 세계의 반도체 연구 기관에서 보편적으로 사용되고 있다. 그러나 현재까지의 분석 기법으로는 홀 효과를 통해 다수 운반체(Majority carrier)와 관련한 특성만 파악할 수 있고, 태양 전지와 같은 소자의 구동 원리 파악에 필수인 소수 운반체(Minority carrier) 정보는 얻을 수 없다는 한계를 가지고 있었다. 본 연구에서는 "Carrier-Resolved Photo-Hall" (CRPH) (포토 홀) 기술을 개발했다. 기존 홀 측정에서는 세 가지 정보를 얻을 수 있었다면 연구팀의 새로운 기술은 실제 작동 조건을 포함한 여러 광도에서 광여기 전하의 농도, 다수 운반체 및 소수 운반체의 전하 이동도, 재결합 수명, 확산 거리 등 최대 일곱 개의 중요한 정보를 얻을 수 있다. 연구팀의 이 기술은 태양 전지, 발광 다이오드와 같은 광전자 소자 분야에서 사용 가능한 신소재 개발 및 최적화에 핵심적인 역할을 할 것으로 기대된다.

연구배경

최근 차세대 에너지원에 대한 중요성이 부각되면서 태양전지에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있는 추세이다. 차세대 태양전지로 각광받고 있는 대표적인 물질 중 하나인 페로브스카이트 태양전지는 근래 광전변환효율의 급격한 증가로 인해 실리콘 태양전지와 대등한 효율을 보이고 있다. 하지만 이를 넘어선 초 고효율을 가지는 태양전지 제작을 위해서는 해결해야 할 다음과 같은 근본적인 문제들이 있다: 광원에 노출된 상황 하에서 태양전지 재료의 성능은 소수 캐리어 정보와 관련된 물리적 특성에 크게 의존하지만, 현재까지 태양전지가 구동되는 광원 조건에서 해당 특성을 분석할 수 있는 기술은 존재하지 않는다. 현재 해당 정보를 얻기 위해서는 하나의 분석 기법인 아닌 여러 가지 분석 장비를 이용하여 계산해 내는 방식을 사용하고 있기 때문에, 그 결과 값의 신뢰도가 매우 떨어지며 실제 태양전지 구동환경에서의 소자 특성은 파악하기 어렵다는 한계를 가지고 있다.

따라서, 태양전지 소자 구동에 큰 영향을 끼치는 물성들의 정보를 한 가지 분석기법을 사용하여 모두 얻을 수 있는 분석 시스템을 구축하는 것이 필수적이며, 학계에서 가장 먼저 해결해야 할 문제점으로 인식하고 있는 상황이다.

연구내용

현재까지의 고전적인 홀 측정 방식은 다수 캐리어에 대한 정보만 얻을 수 있는 분석기법이며 3가지 정보만을 획득할 수 있다. 캐리어의 유형, 전하농도 및 모빌리티이다. 하지만 실제로 광원에 노출될 경우 두 캐리어(전자, 정공) 모두 전도도(σ) 및 홀 계수의(h) 변화에 기여하게 된다. 광원의 세기 변화에 따른 전기전도도 및 홀 계수 측정을 통해 본 연구 그룹은 전자와 정공 각각의 모빌리티, 홀 계수 및 전기전도도를 모두 획득할 수 있는 지금까지 알려지지 않은 획기적인 관계식을 유도하였다:

$$\Delta\mu = \left(2 + \frac{d\ln h}{d\ln \sigma}\right) h\sigma$$

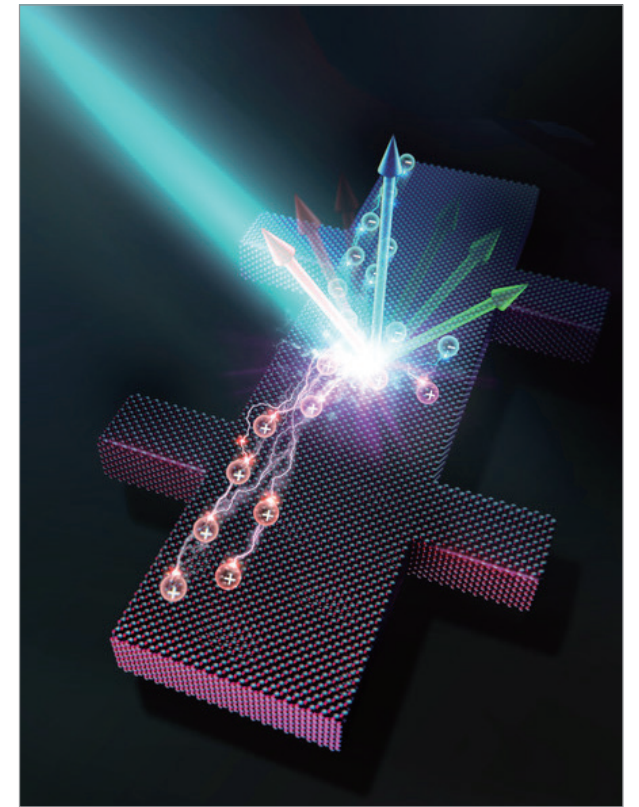
이 방정식을 통해 주어진 광원 조건 하에서 포토-홀 방정식을 통해 광전지 재료에서 원하는 파라미터를 추출할 수 있게 되었다.

이 논문에 보고된 바와 같이 기존 홀 측정에서 얻을 수 있는 세 가지 매개 변수와 달리 이 새로운 기술은 실제 작동 조건을 포함한 여러 광원 세기에서 다수 및 소수 이동도 및 캐리어 농도, 재결합 수명, 캐리어 확산 길이 등 최대 7개의 매개 변수를 획득할 수 있다. (그림 2 참조). 세계 최고 수준의 광전변환효율을 가진 페로브스카이트 및 $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}, \text{Se})_4$ (CZTSe) 태양전지 박막을 CRPH 기술을 통해 심도 있는 분석을 진행하여 해당 기술의 신뢰성을 획득하였다.

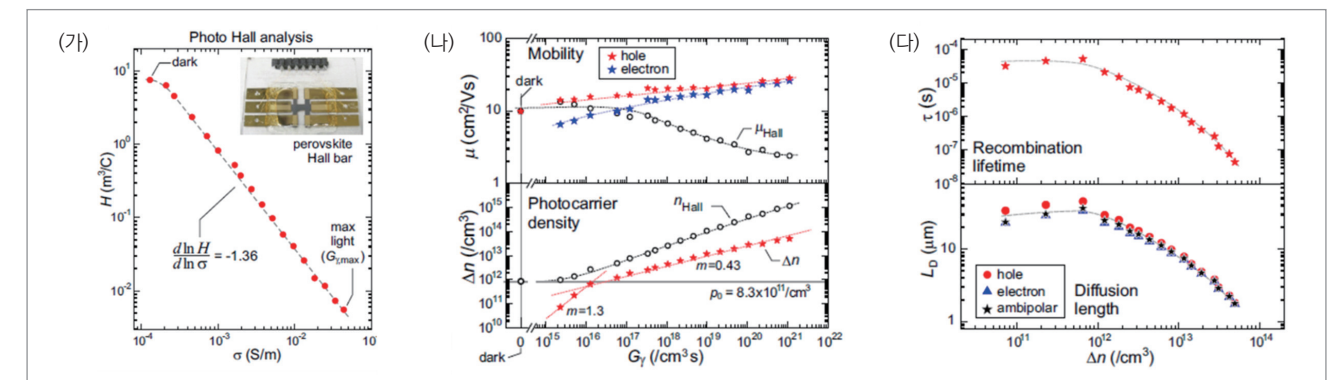
기대효과

홀 효과는 캐리어에 대한 가장 기초적인 정보를 제공하기 때문에 전자 재료 연구에서 가장 중요한 측정 기술이라고 할 수 있다. 또한, 지난 수십 년 동안, 이 효과는 양자 홀 효과와 같은 물리학의 근본적인 발전의 기초가 되었다. 포토 홀 방정식의 발견으로, 다수 및 소수 캐리어의 모든 관련 매개 변수를 추출할 수 있는 기술이 있으며 홀 효과의 기능을 크게 확장시켰다.

이 기술은 태양 전지 또는 반도체 소자 분야에서 사용 가능한 신소재 개발 및 최적화에 핵심적인 기여를 할 것으로 보이며, 140년의 홀 효과 역사에 새로운 패러다임을 제시하였다.



〈그림 1〉 Carrier-Resolved Photo-Hall 기술 개념도



〈그림 2〉 유-무기 하이브리드 페로브스카이트 박막 포토-홀 측정 분석 및 결과

(가) σ - h 관계식 inset: 포토-홀 분석용 페로브스카이트 박막 사진

(나) 다수 및 소수 이동도 및 캐리어 농도 대 흡수된 광자 농도 G_T

(다) 캐리어 농도에 매핑된 재결합 수명 및 소수 캐리어 확산 길이

|연구성과|

[논문] • O. Gunawan*, S. R. Pae, D. M. Bishop, Y. Virgus, J. H. Noh, N. J. Jeon, Y. S. Lee, X. Shao, T. Todorov, D. B. Mitzi, B. Shin*, "Carrier-resolved photo-Hall effect", Nature 575, 151 (2019) [2018 Impact Factor = 41.577]

[홍보] • 해외 언론보도 10여 회

|연구비 지원|

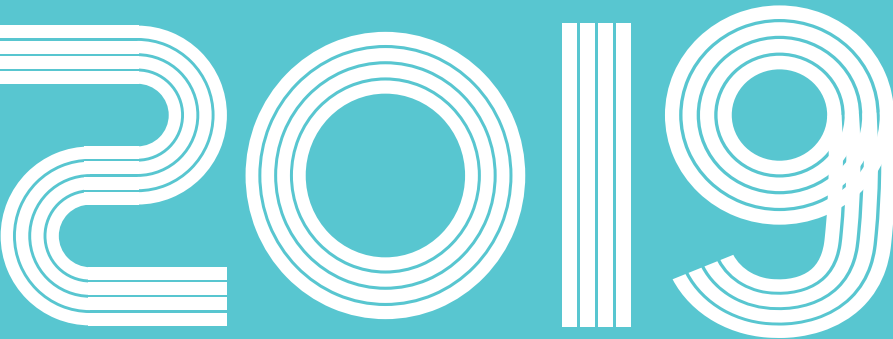
- 한국연구재단, 기후변화대응기술개발사업
- 한국에너지기술평가원, 에너지기술개발사업

2020 KAIST ANNUAL R&D REPORT

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

RESEARCH
HIGHLIGHTS OF
2019

2019년 주요 연구성과





Information Technology

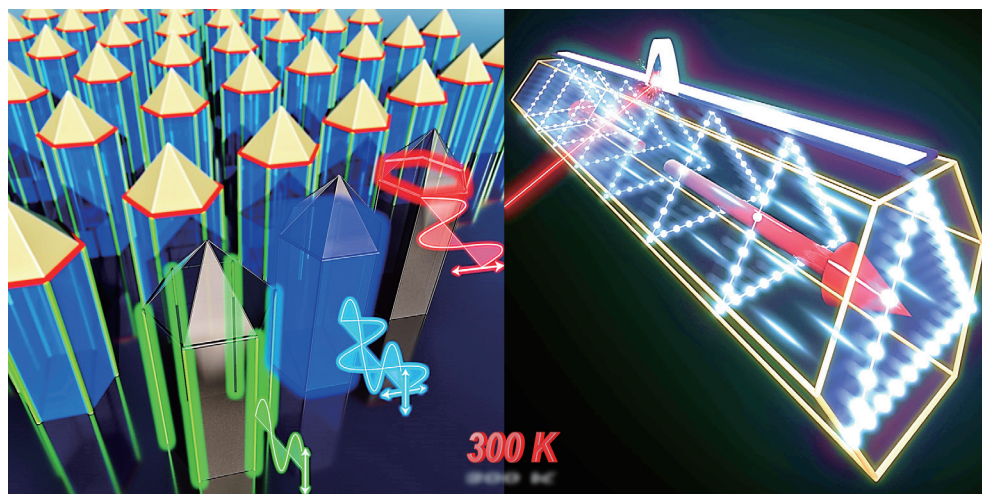
물리학과

조용훈

http://qnp.kaist.ac.kr

연필 모양을 닮은 육각형 막대구조를 활용한 상온 양자 포토닉스 연구

질화물 반도체는 상온에서 가시광 영역의 밝은 빛을 낼 수 있어 현재 LED 조명 및 레이저 등 실생활에서 쉽게 접할 수 있다. 그러나, 기존에 사용되고 있는 평면 구조는 양자광학적 연구를 위해 필수적인 저차원 양자 구조와 공진기 구조를 제작하기가 어려웠다. 본 연구에서는 연필 모양을 닮은 육각형 마이크로 막대구조를 통하여 문제를 해결했다. 연필 모양의 반도체를 틀로 활용하여 저차원 반도체 구조인 양자선을 수직 배열해서 다색-다편광을 가지는 신개념 소형 광원을 개발했고, 막대의 단면인 육각형 모양에서 자발적으로 형성되는 공진 모드를 이용하여 저온에서만 관측되던 빛과 물질의 성질을 동시에 갖는 양자 입자(엑시톤-폴라리톤)를 상온에서 응축시키고 그 운동량을 제어하는데 성공했다. 본 연구에서 제안한 연필 모양의 육각형 막대 구조는 상온 양자 기술을 목표로 하는 반도체 기반 양자 포토닉스 분야에 있어서 새로운 플랫폼으로 대두될 것으로 기대된다.



연구성과

[논문] • S. Choi[†], H. G. Song[†], S. Cho, Y. H. Cho*, "Orthogonally-polarized, dual-wavelength quantum wire network emitters embedded in single microrod", Nano Letters 19, 8454 (2019). [2018 Impact Factor = 12.279]

• H. G. Song, S. Choi, C. H. Park, S. H. Gong, C. Lee, M. S. Kwon, D. G. Choi, K. Y. Woo, and Y. H. Cho*, "Tailoring the potential landscape of room-temperature single-mode whispering gallery polariton condensate", Optica 6, 1313 (2019). [2018 Impact Factor = 9.263]



Information Technology

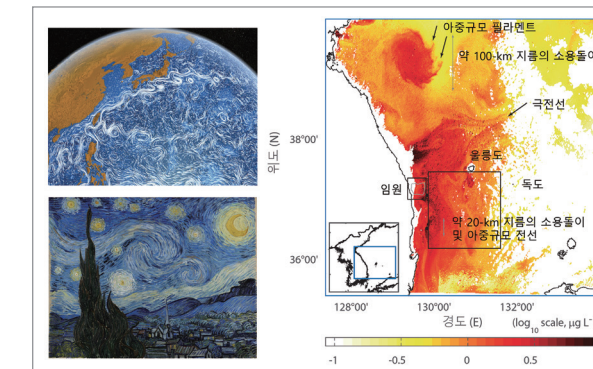
기계공학과

김성용, 이은애, 유장곤

http://efml.kaist.ac.kr

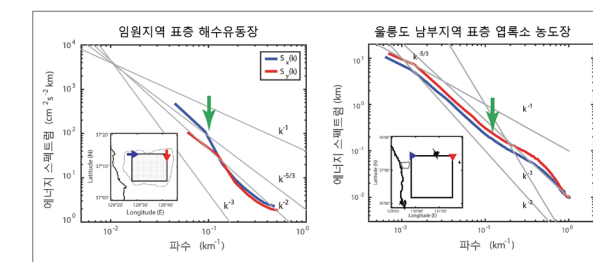
아중규모 관측을 통한 해양에너지가 주입되는 공간규모의 정량화 및 기작과정 규명

한반도 주위 해양원격탐사장비인 연안레이더와 해색위성을 이용하여 2012년부터 최소 1년에서 최대 5년간 관측된 해양 표층 아중규모 (수 킬로미터 및 수 시간 규모)의 해수 유동장과 엽록소 농도장 자료를 빅데이터 분석을 통해 아중규모에서의 해양에너지가 주입되는 공간 규모 및 기작과정을 해양관측자료기반 연구로서는 세계최초로 규명하였다. 이는 해양 아중규모 물리 및 생물 상호작용 연구의 선도적 역할을 하며, 전 지구 및 지역 기후변화 예측모델의 고해상도 모수화 및 성능개선에 기여할 것으로 기대되며, 이를 해양분야 최고의 국제 학술지인 미국 지구물리학회 '저널 오브 지오피지컬 리서치-오션스 (Journal of Geophysical Research-Oceans)'에 2편의 연계 논문으로 게재하였다.



〈그림 1〉

미국 항공우주국 (NASA)의 영원한 바다 (Perpetual Ocean)의 중규모 (지름 100 km 이상 공간규모)의 난류유동 (왼편 위), 반 고흐의 〈별이 빛나는 밤〉(왼편 아래), 대한민국 동해에서 해색위성으로 관측된 표층 엽록소 농도장의 아중규모 (지름 100 km 미만 공간규모) 난류 유동 (소용돌이, 전선, 필라멘트)의 예 (오른편).



〈그림 2〉

동해 임원지역의 표층 해수 유동장과 울릉도 남측지역에서 표층 엽록소 농도장의 수평 및 수직 방향 1차원 파수 (wavenumber) 영역 에너지 스펙트럼. 해양에너지 주입 공간규모 (녹색화살표)

연구성과

[논문] • Lee, E. A. and S. Y. Kim, 2018: Regional variability and turbulent characteristics of the satellite-sensed submesoscale surface chlorophyll concentrations, J. Geophys. Res. Oceans 123(6), 4250 – 4279

• Yoo, J. G., S. Y. Kim, and H. S. Kim, 2018: Spectral descriptions of submesoscale surface circulation in a coastal region, J. Geophys. Res. Oceans 123(6), 4224 – 4249

[수상] • 해양수산부 2019 해양수산과학기술대상 학술부분 우수상



Information Technology

항공우주공학과

이지윤, 이진실, 윤문석,
김민찬, 김동우, 최필훈,
장혜연, 전기영

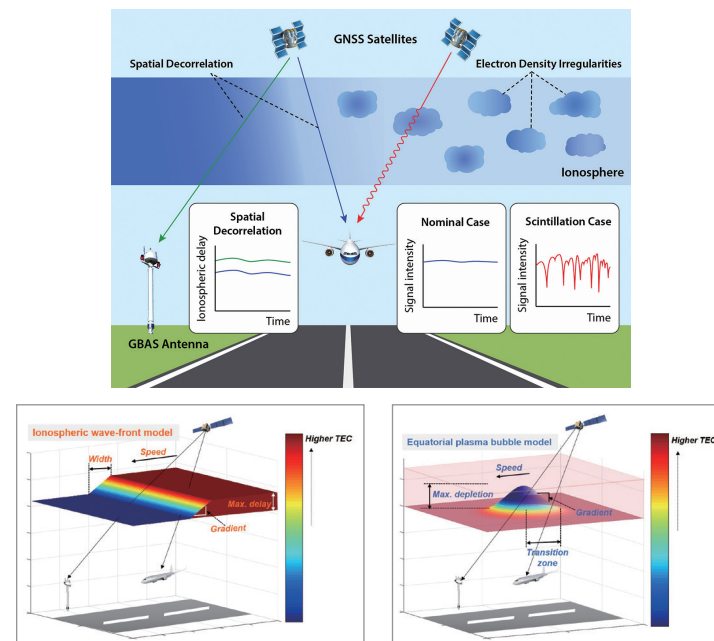
<http://gnss.kaist.ac.kr>

통합적 GNSS 전리층 영향분석 및 응용 소프트웨어 개발

(주요성과·기술) 위성항법시스템(GNSS: Global Navigation Satellite System)의 성능을 저하시키는 주된 요인은 우주전파환경의 영향으로 일어나는 전리층 불균질 현상이며, 이는 GNSS신호의 단절 및 굴절을 유발하여 위치정보의 정확도 및 신뢰성을 떨어뜨림. 이러한 전리층 교란 현상이 GNSS 성능에 미치는 영향을 다각적으로 분석하고 다양한 응용연구를 지원할 수 있는 핵심 소프트웨어를 개발함.

(성과의 우수성) 종전 미확보된 기술인 ‘전리층 분석 및 대응 관련 task들을 종합적/다각적으로 지원할 수 있는 통합 소프트웨어’를 개발했다는 점에서 세계 선도국 수준의 기술을 확보한 것으로 판단됨. 기 소프트웨어 개발에서 확보된 핵심기술은 국제민간항공기구(ICAO)의 국제표준 정립에 활용됨.

(파급효과) 본 소프트웨어를 통하여 우주전파환경이 GNSS에 미치는 영향을 규명/완화하여 GNSS의 효율성을 향상시킬 수 있고, 이를 통해 높은 성능의 PNT(Positioning, Navigation, and Timing)를 제공함. 소프트웨어의 폭 넓은 보급을 통하여 우주환경 분석기술에 대한 교육과 관련 기술 저변 확대, 그리고 해당 기술 인력의 양성을 위하여 활용.



연구성과

[논문] • J. Lee, J. Morton, J. Lee, H. Moon, and J. Seo, "Monitoring and Mitigation of Ionospheric Anomalies for GNSS-Based Safety Critical Systems," IEEE Signal Processing Magazine, vol. 34, no. 5, pp. 96–110, Sept. 2017. (Impact Factor 7.602, Cited by 36)

• M. Yoon, D. Kim, S. Pullen, and J. Lee, "Assessment and Mitigation of EPB Impacts on Category-I GBAS operations in the Brazilian Region," Navigation, vol. 66, no. 3, pp. 643–659, August 2019.



Information Technology

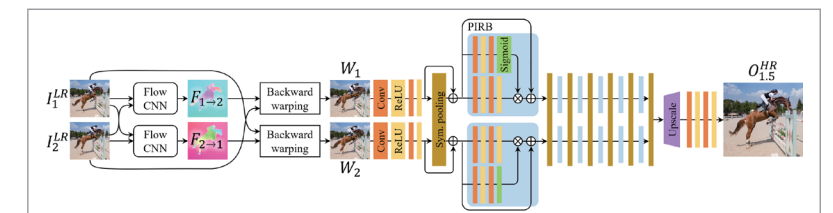
전기및전자공학부

권인소, 최진수

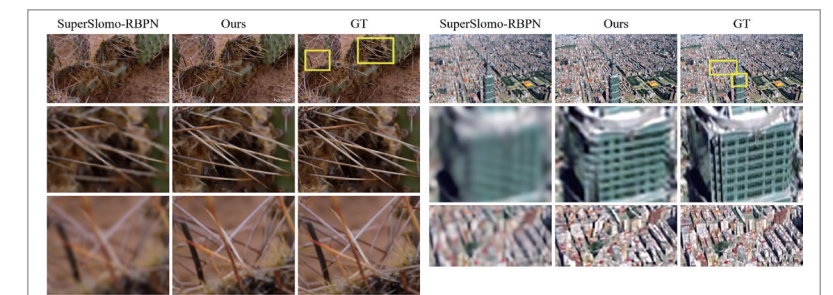
<http://rcv.kaist.ac.kr/>

초해상도 및 영상보간 기술 개발

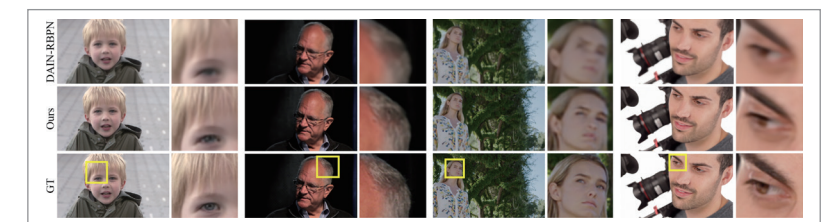
현재 인터넷은 상당량의 비디오로 이루어져 있으며 꾸준히 증가하고 있다. 이 추세에 힘입어 YouTube, Netflix, Adobe와 같은 유수 비디오 관련 기업들이 비디오 소프트웨어 기술 개발에 총력을 가하고 있다. 현재 비디오 관련 기술의 큰 화두는 용량 및 대역폭이 제한되었을 때의 비디오 처리 기술이다. 본 연구는 초해상도와 영상보간법을 접목하여 공간적, 시간적으로 비디오 압축을 가능하게 하고 비디오 재건에 대한 딥러닝 기술을 제시한다. 본 제안 기술은 고해상도와 높은 초당 프레임 수의 비디오를 생성할 수 있어 비디오 처리 분야에 있어서 새로운 대안으로 대두될 것으로 기대된다.



〈그림 1〉 제안된 딥러닝 SR-FI 모델



〈그림 2〉 SPMCS data에서의 성능 비교 (Ours: 본 연구, GT: 원래 image)



〈그림 3〉 Vimeo90k data에서의 성능 비교 (Ours: 본 연구, GT: 원래 image)

연구성과

[논문] • J. Choi, T. Oh, I. Kweon, "Joint Super Resolution and Frame Interpolation via Permutation Invariance," IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2020, Submission.

[수상] • 제11회 전자신문 ICT 논문 공모 대제전, 대상 (과기정통부 장관상) 수상.



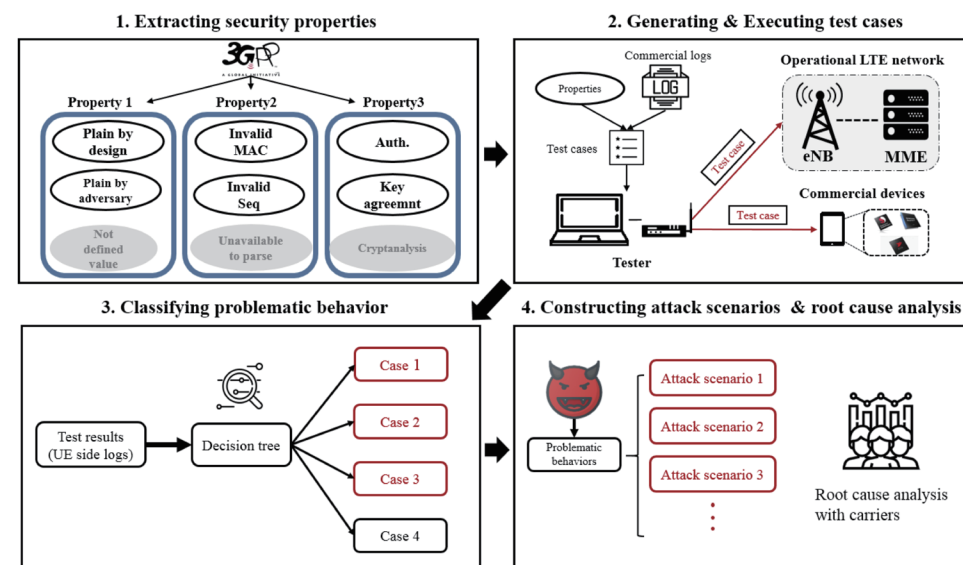
Information Technology

전기및전자공학부

김용대, 김홍일, 이지호,
이은규<https://www.syssec.kr>

LTEFuzz: 이동통신 제어평면에 대한 자동화된 보안성 분석 툴

현재 이동통신 시스템은 표준, 구현, 운영 상의 보안 취약점에 대한 테스트 표준이 제정되어 있지 않다. 본 연구를 통하여 김용대 교수 연구팀은 세계 최초로 통신사가 운영하고 있는 이동통신 코어망, 그리고 단말기의 이동통신 모뎀, 그리고 이동통신 표준의 취약점을 찾아낼 수 있는 Tool을 개발하고, 이 Tool을 이용하여 국내 3개 통신사 및 세계 최우수 이동통신 단말기 (삼성, 애플, 화웨이, LG)의 모뎀 등에서 총 60여 개의 취약점을 발견하였다. 이 Tool은 일반적인 보안성 테스트를 위한 표준 특허로 발전될 가능성이 매우 높으며, 이를 위하여 첫 번째 길목 특허를 출원하고 표준화를 위한 다양한 과제 및 기술 개발을 국가 과제, 삼성전자, LG U+, 퀄컴 등과 함께 수행을 하고 있으며 세계 유수의 통신사로부터 테스트 요청, 테스트 업체와는 기술 이전 계약을 준비 중이다.



연구성과

[논문] • Hongil Kim, Jiho Lee, Eunkyu Lee, Yongdae Kim, Touching the Untouchables: Dynamic Security Analysis of the LTE Control Plane, IEEE Symposium on Security & Privacy (보안최우수 학회), 2019

[수상] • 사이버안보논문공모전 최우수상, Qualcomm BugBounty \$15,000, Qualcomm Security Advisory CVE-2019-2289, Huawei Security Advisory CVE-2019-5307



Information Technology

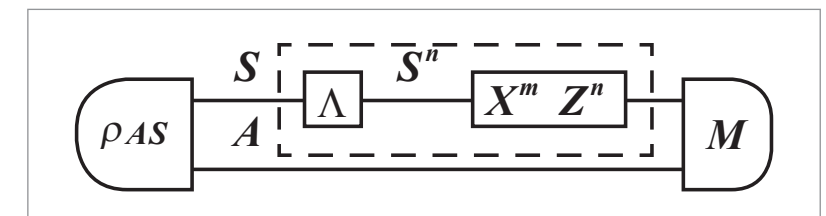
전기및전자공학부

배준우

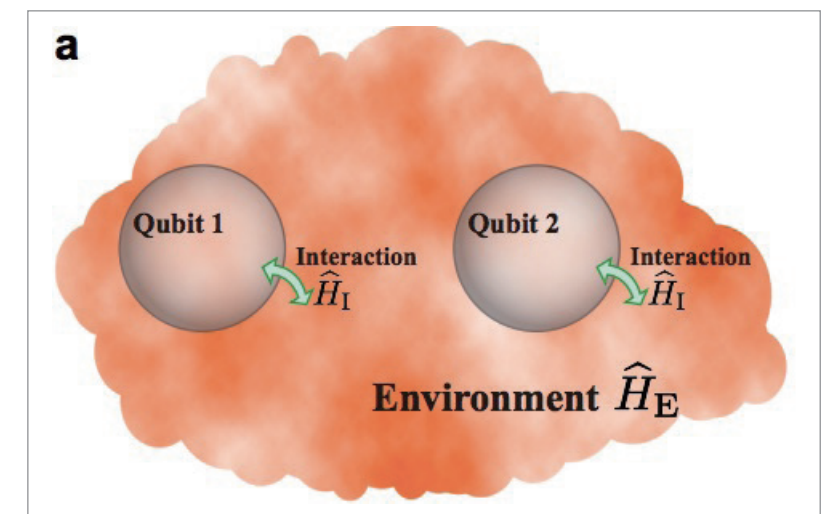
<https://sites.google.com/view/qitkaist/>

양자정보처리 자원으로서 양자얽힘

양자얽힘은 양자시스템 간에 존재하는 상호관계이다. 양자얽힘은 일반적으로 양자정보처리를 가능케 하는 핵심 자원으로 인식되어 왔다. 또한, 양자얽힘은 양자시스템과 외부환경과의 상호작용에서 발생하여 양자잡음을 발생하게 하기도 한다. 본 연구에서는 양자얽힘이 더 많을수록 더 효율적인 양자정보처리가 가능함을 처음으로 보였다. 동시에 양자얽힘으로 발생한 양자잡음들 중 양자오류정정 기법을 통해 수정 가능한 양자잡음의 종류를 밝혀냈다.



〈그림 1〉 입력상태와 측정을 통해 양자채널의 구별



〈그림 2〉 양자정보처리를 수행하는 큐비트들 간의 상호작용으로 인해 발생한 양자잡음

연구성과

[논문] • More Entanglement Implies Higher Performance in Channel Discrimination Tasks, J. Bae, D. Chruscinski, and M. Piani, Physical Review Letters 122 140404 (2019) [2018 Impact Factor 9.227]

• Quantifying the nonclassicality of pure dephasing H.-B. Chen, P.-Y. Lo, C. Gneiting, J. Bae, Y.-N. Chen, and F. Nori, Nature Communications 10 3794 (2019) [2018 Impact Factor 11.880]



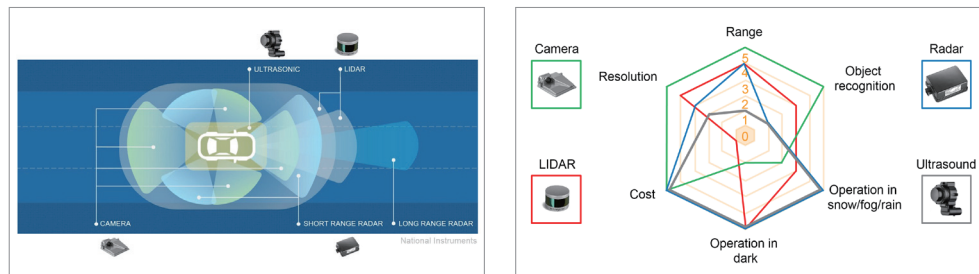
Information Technology

전기및전자공학부

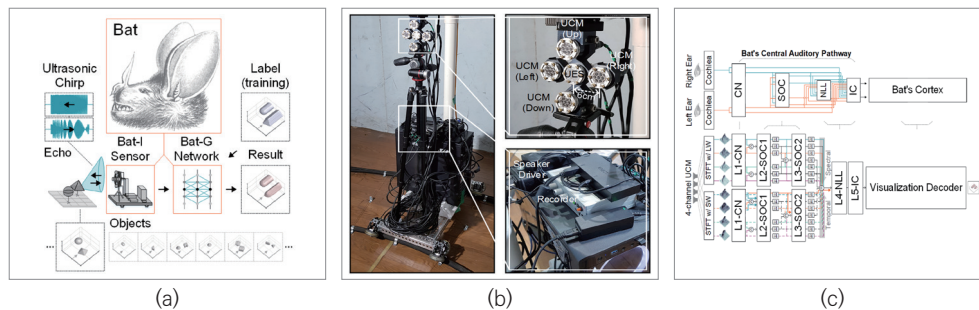
배현민, 황건필, 김서현,
이승현<http://nais.kaist.ac.kr/>

박쥐를 모방한 고해상도 3차원 이미지 복원 기술 개발

본 연구에서는 박쥐를 모방한 고해상도 3차원 초음파 이미징 시스템을 최초로 개발하였다. 박쥐들은 초음파를 이용해 3차원 공간을 인지한다. 이러한 점에 기인하여, 쌍곡선 주파수 변조 (HFM) 칩 (chirp) 형태의 초음파 에코로부터 물체의 3차원 이미지를 복원해내는 새로운 뉴럴 네트워크 (Bat-G 네트워크)를 개발하였다. Bat-G 네트워크는 박쥐의 중추신경망을 모방한 인코더와 3차원 시각화를 담당하는 디코더로 구성되었다. 또한, 초음파 센서 (Bat-I 센서) 모듈을 수 제작하여 초음파 데이터를 획득하고 획득한 데이터를 Bat-G 네트워크 트레이닝과 성능 검증에 사용하였다. 본 연구를 통해 박쥐가 사용하는 광학적 정보에 기초하지 않고 사운드 기반의 이미징 시스템의 구현 가능성을 최초로 보였다는 점에서 큰 의의가 있다. 결과적으로 카메라의 단점을 보완할 수 있는 인공지능 초음파 시스템은 자율 주행 시스템의 새로운 센싱 방식으로 자리매김할 것으로 기대된다.



〈그림 1〉 자율 주행 무인 시스템에서 사용되는 센서들 (카메라, 라이다, 레이더, 초음파)과 각 센서들의 특징 비교도



〈그림 2〉 (a) 박쥐를 모방한 초음파 이미징 시스템의 간략한 모식도, (b) 박쥐 모방 이미징 센서 (Bat-I sensor), 그리고 (c) 박쥐의 중추신경계를 모방한 시각화 네트워크 (Bat-G network)

연구성과

[논문] • Gunpil Hwang, Seohyeon Kim, and Hyeon-Min Bae, "Bat-G net: Bat-inspired High-Resolution 3D Image Reconstruction using Ultrasonic Echoes," Advances in Neural Information Processing Systems. 2019. [1st tier conference in AI and ML]

[특허] • 3차원 이미지 생성 방법 및 장치



Information Technology

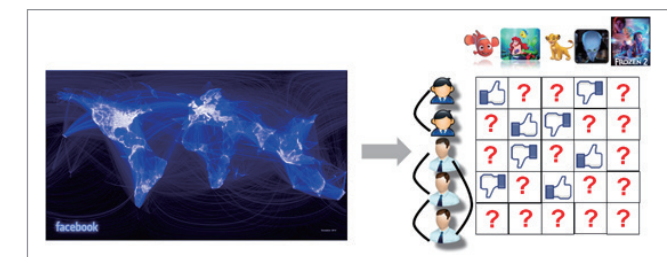
전기및전자공학부

서창호, 서기원, 안준형

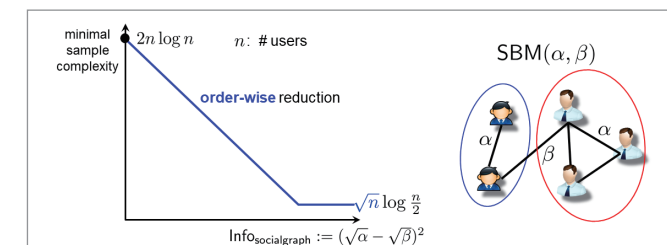
<http://csuh.kaist.ac.kr/>

소셜네트워크를 활용한 추천시스템 개발

빅데이터/소셜미디어 시대에 도입하여 추천시스템의 역할은 점점 커져 가고 있다. YouTube의 동영상추천, Amazon의 상품추천, Netflix의 영화추천 등 우리 일상 생활에 큰 부분을 차지하고 있다. 추천시스템 운영을 위한 보편적인 머신러닝 알고리즘으로 “낮은계수행렬채움”(Low-rank Matrix Completion) 알고리즘이 있다. 이는 접근가능한 일부분의 정보를 토대로 사용자의 성향을 파악하여, 사용자가 선호할 만한 item을 추천해 주는 방식이다. 이에 한 가지 큰 문제점이 있는데, 이는 접근가능한 정보가 매우 한정적일 때 사용자의 성향을 파악하기가 매우 어렵다는 것이다. 실제 “Cold Start Problem”를 예로 들 수 있다. 새로운 사용자 혹은 새로운 item이 시스템에 들어왔을 경우 이에 대한 정보는 전무한 상황이고 따라서 좋은 알고리즘 성능을 기대하기 어렵다. 본 연구에서는 이를 극복하기 위한 방안을 제시하였다. “소셜네트워크” 정보를 활용하여 추천시스템 성능을 높이는 것이다. 가령 Facebook의 “friendship graph”를 활용하여 사용자간의 성향을 파악한 후 새로운 사용자가 선호할 만한 item을 추천해 주는 것이다. 이와 같은 방식을 사용할 시 추천시스템 성능이 수십 배 이상 좋아짐을 확인하였고, 이는 카카오톡과 SKT의 추천시스템에 구현 중이며, 해당 기술은 NeurIPS 2018에 게재되었다.



〈그림 1〉 소셜그래프를 활용한 추천시스템



〈그림 2〉 (좌) 소셜그래프 정보증감에 따른 minimal sample complexity 성능 향상;
(우) 소셜그래프 모델 (Stochastic Block Model)

연구성과

[논문] • K. Ahn, K. Lee, H. Cha and C. Suh, "Binary rating estimation with graph side information," NeurIPS, December, 2018

• J. Yoon, K. Lee and C. Suh, "On the joint recovery of community structure and community features," Allerton, Oct. 2018



Information Technology

전기및전자공학부

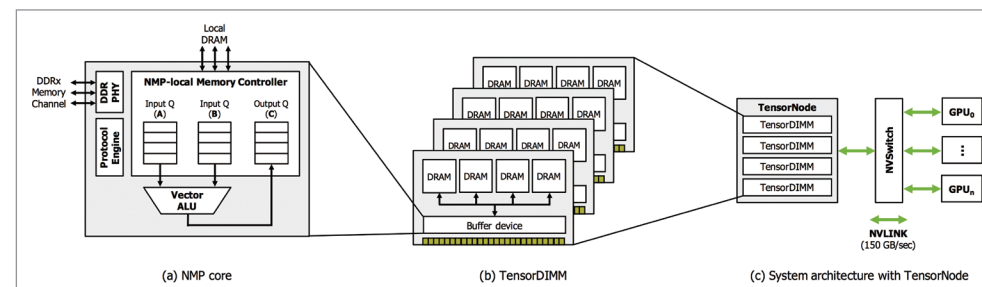
유민수, 권영은, 이윤재

<https://sites.google.com/view/kaist-via>

TensorDIMM: 메모리 중심의 인공지능 가속기 컴퓨팅 시스템

전자상거래, 광고 등의 온라인 서비스에서는, 고객의 상품 구매 이력이나 관심 상품 기록 등을 활용한 “개인 맞춤형 추천 서비스”를 인공지능 기술을 통해 제공하고 있다.

본 연구에서 제안한 메모리-중심의 인공지능 가속기 시스템은 추천 시스템의 성능과 에너지 효율성 모두를 획기적으로 개선한 세계 최초의 연구 성과로서, Facebook 본사에서 인공지능 컴퓨팅 시스템 연구를 선도하는 세계 유수의 연구진 10여 명을 선별적으로 초청하여 개최한 Facebook AI Systems Faculty Summit에 아시아권 국가에서는 유일하게 KAIST 유민수 교수가 본사에 초청되었다. 이 행사는 지난 2019년 9월에 Facebook 본사에서 개최되었으며, 세계 각국의 연구진들과 연구 성과를 교류하는 기회를 가지는 등 세계 유수의 IT 기업들에 큰 반향을 일으켰다.



연구성과

[논문] • Kwon et al., “TensorDIMM: A Practical Near-Memory Processing Architecture for Embeddings and Tensor Operations in Deep Learning”, The 52nd IEEE/ACM International Symposium on Microarchitecture (MICRO-52), Columbus, OH, Oct., 2019



Information Technology

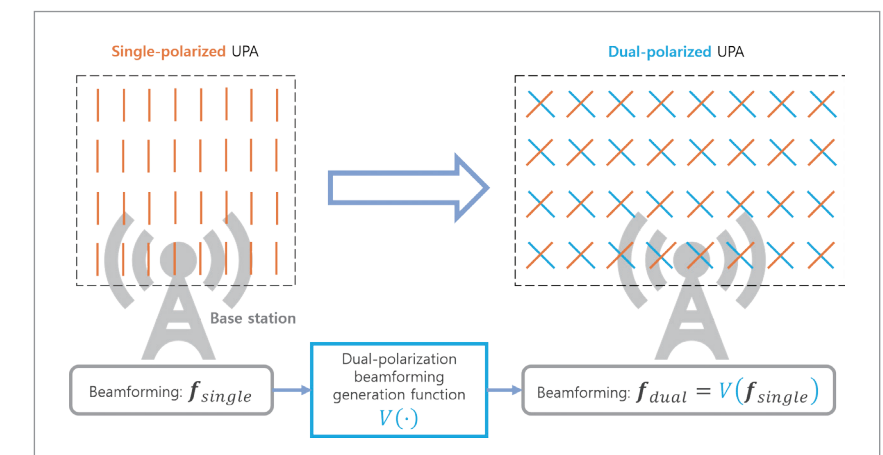
전기및전자공학부

최준일, 김수철

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

이중 편파 평면 배열 안테나를 이용하는 밀리미터파 백홀을 위한 빔포밍

5G 및 그 이후 통신 시스템에서는 기지국의 숫자가 많아질수록 기지국 사이의 효율적인 백홀 통신이 필수적이다. 무선 백홀 통신의 경우 다수의 안테나를 사용한 빔포밍이 요구되며, 안테나의 구조가 복잡할수록 빔포밍의 복잡도 또한 증가한다. 본 연구에서는 밀리미터파를 이용하는 백홀에서 평면 배열 안테나 구조에 이중 편파 구조를 추가로 사용할 때에 빔포밍을 효율적으로 디자인하면서, 동시에 단일 편파 구조의 경우와 동일한 복잡도로 구현할 수 있는 방법을 개발하였다. 기존의 이중 편파 평면 배열 안테나를 위한 빔포밍을 기준으로 하였을 때, 위의 빔포밍 방법을 통해 성능을 약 10% 정도 개선하였다.



연구성과

[논문] • 김수철, 송지호, 최준일, “Beam Design in Millimeter Wave System With Dual-Polarized Uniform Planar Arrays”, 2019년도 한국통신학회 동계종합학술발표회, 2019. 01.

• Suchool Kim, Jiho Song, Junil Choi, “Beam Designs for Millimeter-Wave Backhaul with Dual-Polarized Uniform Planar Arrays”, IEEE Transactions on Communications, to appear in 2020.

[수상] • 제 11회 전자신문 ICT 논문 공모 대제전에서 우수상 수상

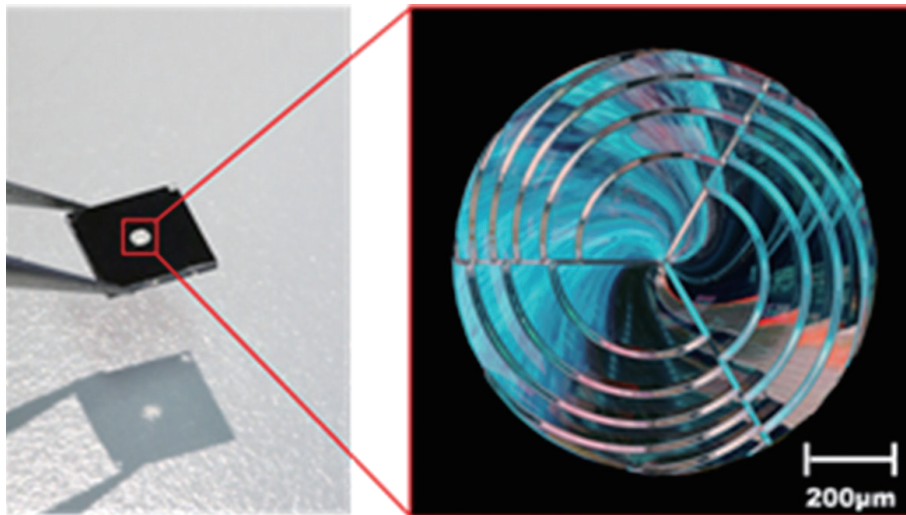


Information Technology

전산학부

김민혁, 전석준, 백승환,
이신영http://vclab.kaist.ac.kr/
minhkim/회절을 이용한
단일 렌즈 초분광 카메라 개발

기존의 초분광 영상 측정 장비들은 복잡한 광학시스템 때문에 일반 카메라에 비해 크기가 매우 크다. 본 연구에서는 렌즈 및 분광장치를 포함한 다수의 광학시스템을 하나의 회절 광학 소자에 응축 통합시켜 초소형 초분광 영상시스템을 개발했다. 또한 인공지능 기반의 초분광 복원 알고리즘을 접목시켜 한 번의 촬영으로 고해상도 2차원 초분광 영상을 획득하는데 성공했다. 본 제안 기술은 기존의 굴절 기반 이미징 시스템 대신 회절 광학 기술을 이용하여 초분광 카메라 소형화에 성공한 사례로 다양한 이미징 분야에서 응용될 것으로 기대된다.



〈그림 1〉 본 연구에서 개발된 회절 광학 소자

연구성과

[논문] • Compact Snapshot Hyperspectral Imaging with Diffracted Rotation, Daniel S. Jeon, Seung-Hwan Baek, Shinyoung Yi, Qiang Fu, Xiong Dun, Wolfgang Heidrich, Min H. Kim, ACM Transactions on Graphics (TOG), presented at ACM SIGGRAPH 2019, 38(4), pp. 117:1--13 [2019 Impact Factor = 6.495].

• Hyperspectral Image Reconstruction Using a Deep Spatial-Spectral Prior, Lizhi Wang, Chen Sun, Ying Fu, Min H. Kim, Huang Hua, Proc. IEEE Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2019), Long Beach, CA, USA, June 16--20, 2019



Information Technology

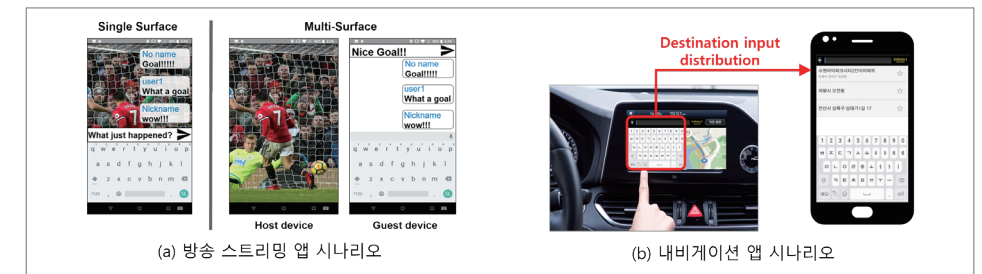
전산학부

신인식, 오상은, 김아현,
이선재, 이길호, 정대룡,
Steven Y. Ko

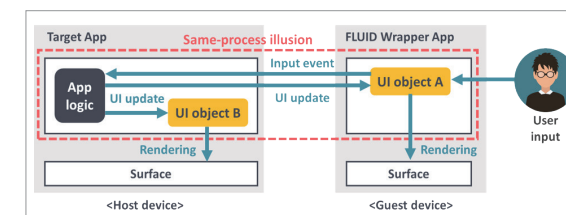
http://cps.kaist.ac.kr

모바일/IoT 다중 서피스 컴퓨팅을 위한
차세대 모바일 운영체제 기술

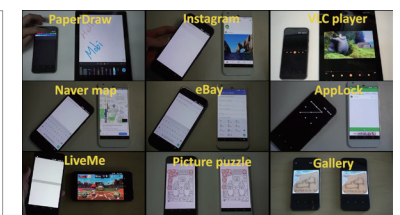
현재 글로벌 모바일/IoT 산업체들은 스마트폰의 경계를 넘어, 다양한 형태의 차세대 스마트 디바이스들을 경쟁적으로 출시하고 있으며, 또한 차세대 스마트 디바이스 생태계 확보를 위한 플랫폼 구축에 사활을 걸고 있다. 본 연구는 개별 모바일 앱이 동시에 여러 기기의 서피스(터치 스크린)를 자유자재로 활용하는, 새로운 다중 기기 패러다임을 제시하는 차세대 모바일 플랫폼/운영체제 기술 (FLUID)을 최초로 선보였다. 현재의 모바일 앱은 한 순간 하나의 디바이스만을 사용하도록 설계된 단일 기기 프로그래밍 모델의 제약에 갇혀, 다양한 스마트 디바이스의 출현이 가져올 다중 기기 활용의 잠재성을 제한하고 있다. 본 연구에서는 이러한 고정관념을 타파하기 위하여, UI 단위의 새로운 다중 기기 분산 컴퓨팅 모델을 세계 최초로 제시하고, 이 모델을 지원하기 위한 핵심 모바일 운영체제 기술로 1) selective cross-device UI distribution 기술과 2) transparent multi-device interaction 기술을 독자적으로 개발하였다. 그 결과, 20개의 대표적인 상용 모바일 앱에서 일체의 앱 수정 또는 재개발 없이도 다양한 형태의 다중 기기 활용이 가능함을 보였다. 본 연구 결과는 현재 산업체의 관심이 집중되어 있는 차세대 스마트 디바이스 플랫폼의 새로운 방향성을 제시하여 기술을 선도하며, 국내 스마트기기 제조사와의 협업을 통해 모바일 IoT 소프트웨어 분야의 국제 경쟁력 제고에도 큰 역할을 할 것으로 기대된다.



〈그림 1〉 멀티 서피스 활용을 통한 새로운 모바일 사용자 경험 예



〈그림 2〉 UI 분산을 통한 멀티 서피스의 유연한 활용



〈그림 3〉 FLUID 통한 상용 앱의 멀티 서피스 활용

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

• "UbiTap: Leveraging Acoustic Dispersion for Ubiquitous Touch Interface on Solid Surfaces", H. Kim, A. Byanjankar, Y. Liu, Y. Shu, I. Shin, ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys), 2018



Information Technology

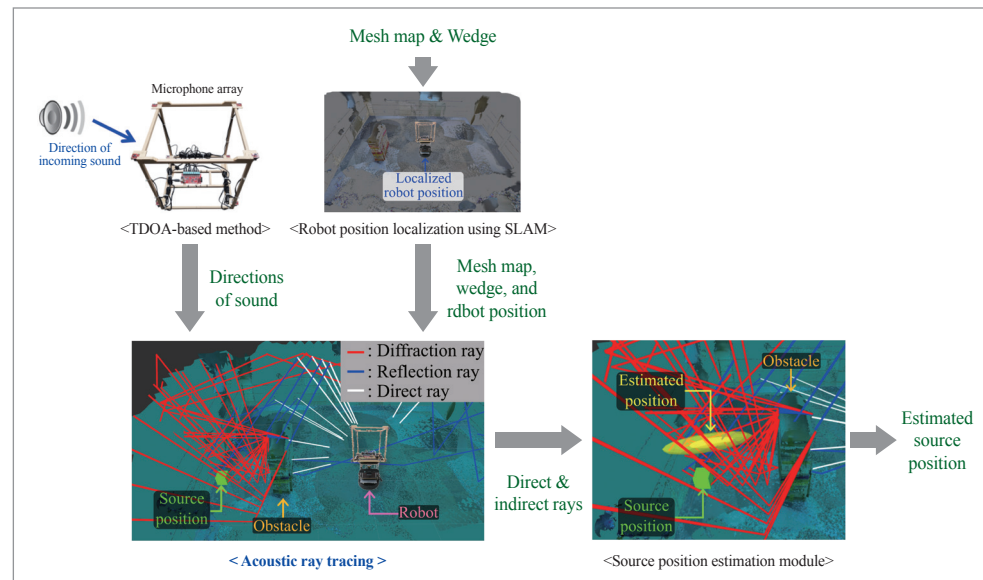
전산학부

윤성의, 안인규, 최정우

<https://sgvr.kaist.ac.kr/>

반사/회절 인지 소리 위치 추적 기술

본 연구에서는 반사와 회절을 고려하여 실내 환경에서 3차원 음원 위치 추적을 가능하게 하는 기술을 세계 최초로 개발하였습니다. 기존의 연구에서는 반사/회절을 고려하지 않거나, 특정 가정(예, 음원이 정지된 상태에서 지속해서 소리를 생성하는 상황) 하에서만 동작하였지만, 본 연구에서는 이에 벗어나 다양한 환경에 적용 가능한 기술입니다. 이를 이루기 위해 소리가 음원에서 마이크로 직접 전달되는 직접 음파뿐만 아니라, 천장과 벽과 같은 장애물의 표면에 의해 반사되는 과정을 그래픽스 기법을 활용하여 고속으로 시뮬레이션하였습니다. 특히 이 과정을 기존 기술에서는 시도되지 않았던 역-음향 광선 추적법을 이용하여 직접 전파, 반사 음향, 회절 효과까지 표현하는 다양한 음파 경로를 실시간으로 생성하였습니다. 이런 음파 경로에서 몬테-카를로 위치 추적법을 활용하여 음원의 3차원 위치를 추정하였습니다. 본 연구에서는 정육면체 형태의 마이크 어레이를 탑재한 모바일 로봇을 설계하였고, 실제 실내 환경에서 정확하게 실시간 음원 위치 추적이 가능하다는 것을 확인하였습니다. 이러한 복잡한 3차원 환경에서의 음원 위치 추적 결과는 지금까지 관련 분야에서 보고되지 않았고, 본 연구의 효과를 넓히기 위해, ICRA 19에서 워크숍을 주최하여 관련 연구자들과 공유하였습니다.



〈그림 1〉 반사와 회절을 고려한 3차원 음원 위치 추적 기법의 개요

연구성과

[논문] • Organized workshop on Sound Source Localization, ICRA 2019

• An, Inkyu, et al. "Reflection-Aware Sound Source Localization." 2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, 2018.



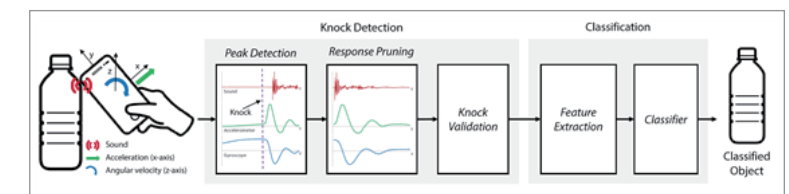
Information Technology

전산학부

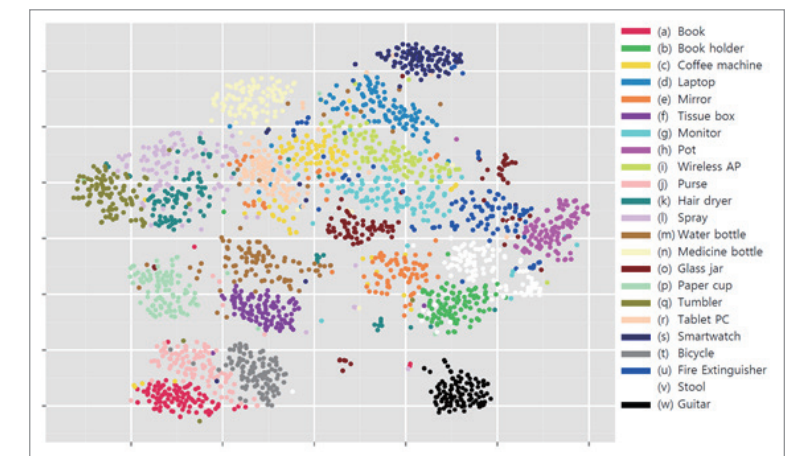
이성주, 공태식, 조현성, 이보원

<https://nmsl.kaist.ac.kr/>
스마트폰으로 두드려
사물을 인식하는 신기술

스마트폰으로 두드려 사물을 인식하는 “노커 기술”을 본 연구에서 최초로 제시하였다. 이 신기술은 카메라나 RFID 등 별도의 기기를 쓰지도 않고도 접촉만으로 높은 정확도로 사물을 인식할 수 있어 기존 기술의 한계를 뛰어넘었다. 노커 기술은 물체에 “노크”를 해서 생긴 반응을 스마트폰의 마이크, 가속도계, 자이로스코프로 감지하고, 이 데이터를 기계 학습 기술을 이용, 분석해 사물을 인식하는 기술이다. 일상생활에서 흔히 접할 수 있는 23종의 사물로 실험한 결과 혼잡한 도로, 식당 등 잡음이 많은 공간에서는 83%의 사물 인식 정확도를 보였고, 가정 등 실내 공간에서의 사물 인식 정확도는 98%에 달했다. 이번 연구 결과는 일상 생활에서 스마트폰을 활용한 다양하고, 새로운 서비스를 가능하게 할 것으로 기대된다.



〈그림 1〉 노커의 사물 고유 반응 센싱 및 기계학습을 통한 분류 과정



〈그림 2〉 23개 사물에 대해 스마트폰 센서로 추출한 노크 고유 반응 시각화

연구성과

[논문] • T. Gong, H. Cho, B. Lee, and S.-J. Lee, "Knocker: Vibroacoustic-based Object Recognition with Smartphones", Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies (IMWUT aka UbiComp), vol. 3, no. 3, September 2019.

• T. Gong, H. Cho, B. Lee, and S.-J. Lee, "Identifying Everyday Objects with a Smartphone Knock", Proceedings of the ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2018), Extended Abstract, Montreal, Canada, April 2018.



Information Technology

전산학부

한동수

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

클라우드소싱 라디오맵 구축 자동화 AI 기술 개발

본 연구에서는 불특정 다수의 스마트폰에서 수집된 신호의 수집위치를 정확하게 라벨링하고 라디오 맵을 구축하는 기법을 개발하였다. 수집된 신호를 건물별로 나누고, 기압과 무선신호를 조합하여 층별로 분류하고, 계단, 엘리베이터, 에스컬레이터를 마킹하는 기법을 개발하였다. 또한 층 내에서 신호를 라벨링하는 반자율학습 AI 기법을 개발하였다. 클라우드소싱 데이터를 사용하여 95%의 층 분해율과 3-6미터 수준의 정확도를 달성하였다. 개발된 기술은 전 세계 대부분의 건물에서 위치 인식 서비스를 제공하는 실내 GPS 시스템 구축의 기반기술이 될 것으로 기대된다.



〈그림 1〉 구글 WiFi Positioning System(WPS)와 카이스트에서 개발된 시스템 (KAILOS) 비교

연구성과

- [논문] • Jung, Suk-hoon, Byung-chul Moon, and Dongsoo Han. "Unsupervised learning for crowdsourced indoor localization in wireless networks." IEEE Transactions on Mobile Computing 15 (11), 2892-2906, (2015) [Impact Factor = 3.822].
- Jung, Suk-hoon, Geonwoo Lee, Moon, and Dongsoo Han, Methods and tools to construct a global indoor positioning system, 'IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems 48 (6), 906-919, (2017) [Impact Factor = 5.131].



Information Technology

바이오및뇌공학과

최정균, 김정연

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

빅데이터 기반 새로운 면역항암치료 예후예측 마커 발굴

최근 큰 주목을 받고 있는 항암면역치료의 경우 차세대 항암치료로서 각광을 받고 있지만 매우 고가의 치료비용에도 불구하고 치료에 반응을 보이는 환자의 비율이 20% 정도에 불과하여 어떤 유전체적 특성이 면역치료에 대한 반응성의 마커로 사용될 수 있는지 활발한 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 유전체/후성유전체/전사체 빅데이터 분석을 통하여 그 중에서도 DNA methylation 이라는 후성유전체 정보가 항암면역치료의 주요한 마커로 작용할 수 있다는 최초의 발견과 함께 그 작용기작에 대한 연구결과를 발표하였다.

연구성과

- [논문] • Jung H, Kim HS, Kim JY, Sun JM, Ahn JS, Ahn MJ, Park K, Esteller M, Lee SH*, Choi JK*, "DNA methylation loss promotes immune evasion of tumours with high mutation and copy number load", Nature Communications 10, 4278 (2019) [2018 Impact Factor = 11.880].

[특허] • DNA 메틸화 변이를 이용한 면역항암치료 반응성 예측방법



Information Technology

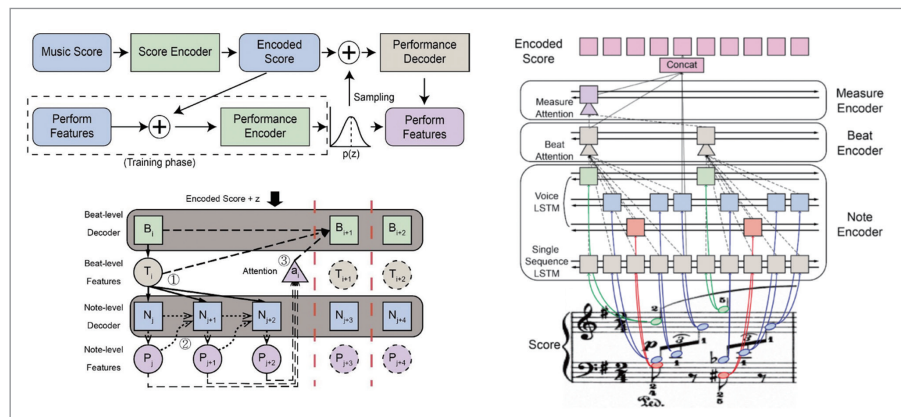
문화기술대학원

남주한, 정다샘, 권태균,
김유진
[서울대] 박종화, 박정미,
홍유정, 유승연, 김사라

<https://maclab.kaist.ac.kr>

머신 러닝을 이용한 감성적 음악 연주 생성 시스템

VirtuosoNet은 주어진 악보에 대하여 템포, 셈여림, 음표 길이, 페달 조절, 꾸밈음 등 음악에 감정을 불어넣는 다양한 연주 표현을 생성하여 감성적인 음악 연주를 하는 소위 “AI 피아니스트” 시스템이다. VirtuosoNet은 variational auto-encoder, hierarchical attention networks, graph neural network 등 다양한 딥 러닝 모듈로 이루어져 있으며, 향후 새로운 형태의 예술 및 공연, 지능형 음악 교육, 자동 작곡 및 자동 음원 생성 등 다양한 문화 예술 및 콘텐츠 분야에 응용될 수 있다.



연구성과

- [논문] • Dasaem Jeong, Taegyun Kwon, Yoojin Kim, and Juhan Nam, "Graph Neural Network for Music Score Data and Modeling Expressive Piano Performance", International Conference on Machine Learning (ICML), 2019
- Dasaem Jeong, Taegyun Kwon, Yoojin Kim, Kyogu Lee and Juhan Nam, "VirtuosoNet: A Hierarchical RNN-based System for Modeling Expressive Piano Performance" Proceedings of the 20th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR), 2019



Information Technology

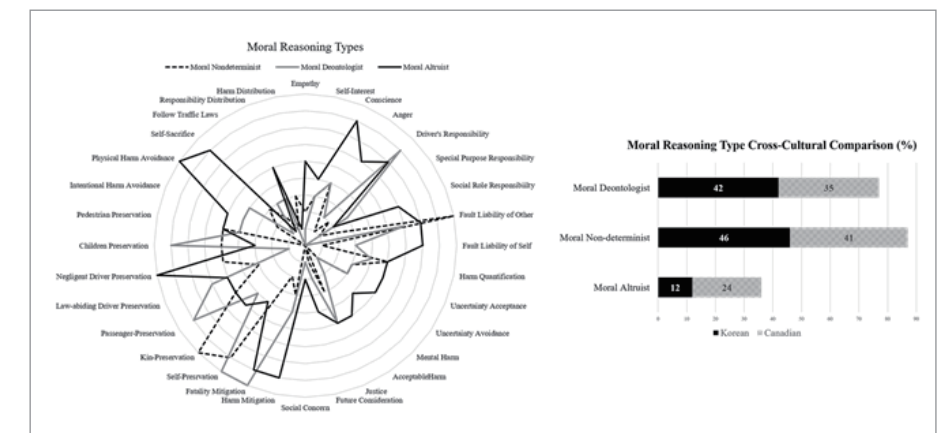
문화기술대학원

이지현, 임지민, 이기쁨

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

자율 주행 자동차의 도덕적 딜레마에 대한 인간의 도덕적 추론 유형 분류: 한국과 캐나다의 문화적 비교 연구

자율 주행 자동차 (AV)가 상용화 될 때 사람들의 신뢰를 얻기 위해서는 피할 수 없는 교통사고 상황에서 AV가 어떻게 도덕적 추론을 하는지 이해하는 것이 필수적이다. 하지만 아직까지는 AV의 윤리적 결정 방식에 대한 사회적 합의가 존재하지 않으며, 여전히 모호한 상태이기에 좀 더 명확한 의사결정 과정에 대한 이해를 바탕으로 프로그램화 가능한 단계의 AV 도덕적 추론 과정이 논의되어야 한다. 본 연구는 혼합 연구 방법론을 바탕으로 문화적 비교연구를 (집단주의 문화: 한국, 개인주의 문화: 캐나다) 진행하여 사회적 가치를 반영하는 자율 주행 자동차의 세 가지 도덕적 추론 과정 유형을 정의하였고, AV 도덕적 추론이 문화 별 차이가 있음을 밝혔다. 본 연구는 최초로 AV의 윤리는 다원론적임을 밝혔으며, AV 윤리는 문화에 영향을 받는 것을 확인했다. 이를 응용하여 일반 운전자가 수용 가능한 AV의 윤리적 의사결정 알고리즘 구현 근거를 제공할 것으로 기대된다.



〈그림 1〉 Cluster Centers for Moral Reasoning Types

연구성과

- [논문] • Rhim, J., Lee, G. B., & Lee, J. H. (2020). Human moral reasoning types in autonomous vehicle moral dilemma: a cross-cultural comparison of Korea and Canada. Computers in Human Behavior, 102, 39–56. [2018 Impact Factor = 4.306]
- was introduced in Self Driving Cars @SelfDrivingFEED



Bio Technology

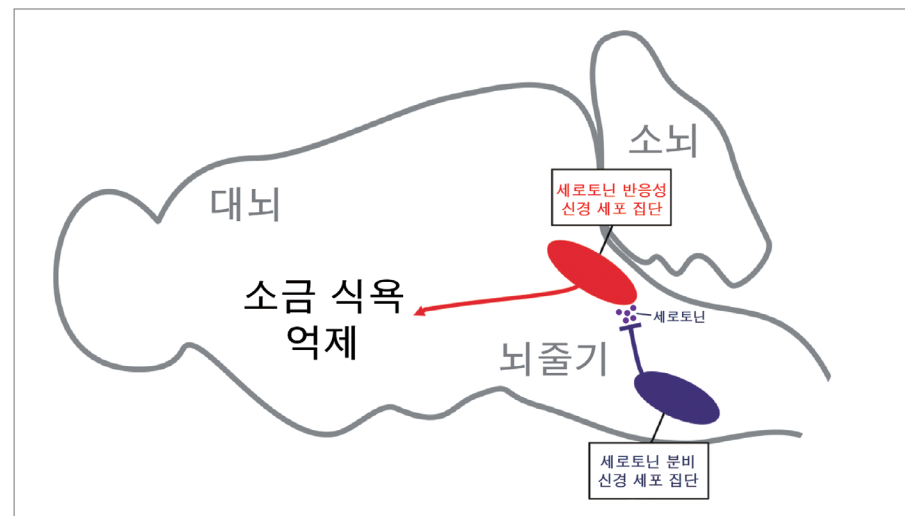
생명과학과

손종우, 박시형

<http://sites.google.com/site/sohnlab2014>

소금 식욕 억제 신경회로 발견 및 조절

소금의 주요 성분인 나트륨은 혈액을 포함하는 세포외액의 부피를 유지하는 데 중요한 이온이다. 소금 식욕은 소금의 섭취를 촉진하여 우리 몸의 세포외액량을 유지하는 데 기여하는데, 소금의 과도한 섭취는 고혈압 등의 질병을 유발할 수 있어 소금 식욕을 억제하는 기전을 동정하고 이를 조절하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 기존에 알려지지 않은, 뇌줄기의 세로토닌 신경회로를 포함하는 새로운 소금 식욕 억제 신경회로를 발견하였으며, 이 신경회로의 활성을 촉진 또는 억제하여 소금 식욕을 조절할 수 있음을 보였다. 본 연구는 향후 새로운 개념의 혈압 조절제를 개발하는 데 중요한 과학적 기초를 제공할 것으로 기대된다.



〈그림 1〉 뇌줄기 세로토닌 신경회로에 의한 소금 식욕 조절 기전

연구성과

[논문] • S. Park, K. W. Williams, C. Liu, and J.-W. Sohn (2020) "A neural basis for tonic suppression of sodium appetite", Nature Neuroscience, 23(3): 423–432. [2018 Impact Factor = 21.126].



Bio Technology

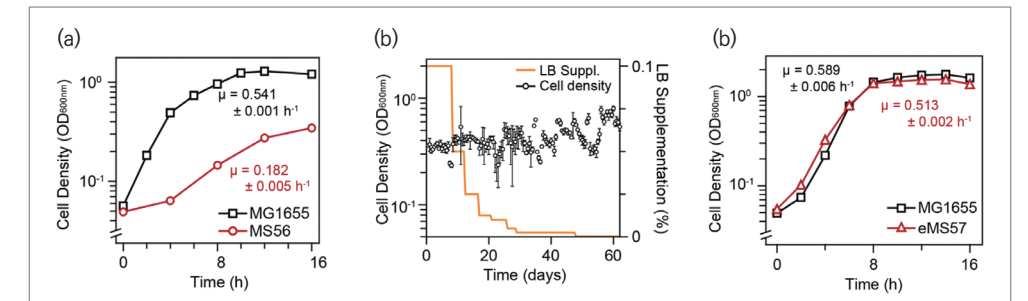
생명과학과

조병관, 김선창, 최동희, 이준형, 황순규, 성봉현, 조수형, Bernhard Palsson

<http://cholab.or.kr>

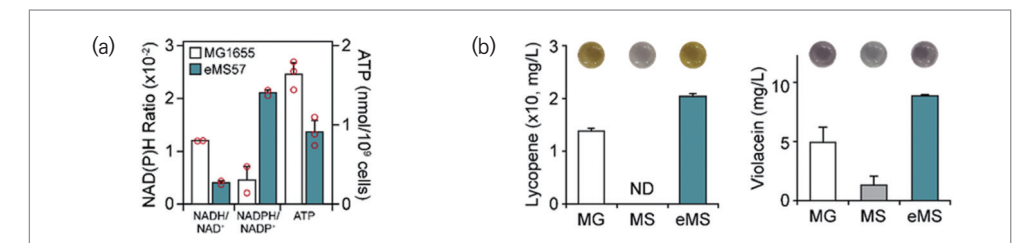
유전체 최소화 대장균 개발

전자 기기를 제작하듯이 세포를 원하는 대로 합성하여 다양한 고부가가치 물질을 생산하는 합성생물학 기술이 등장했다. 그중에서도 불필요한 유전자가 모두 제거되고 생명을 유지하기 위한 최소한의 유전자만 남긴 '최소유전체'가 주목받고 있다. 최근까지 최소유전체 제작이 시도되었으나, 성장속도가 느려지는 등 한계가 발생해 활용 가치가 크지 않았다. 연구팀은 자연계의 진화를 모방하여 최소유전체 대장균이 실험실에서 단기간에 적응 진화하도록 유도했다. 이로써 최소유전체의 성장 속도를 정상세포 수준(기존 최소유전체의 180%가량)으로 회복시키고, 단백질 생산성을 획기적으로 향상시켰다. 특히 최소유전체는 정상 대장균과는 다른 당대사 경로를 이용하여, 환원력이 4.5배 높은 것이 밝혀졌다. 이로써 리코펜 또는 비올라세인과 같은 유용물질을 80% 더 많이 생산했다. 이 연구를 통해 향후 미생물 기반 바이오 화합물 생산 산업에 큰 기여를 할 것으로 기대된다.



〈그림 1〉 최소유전체 대장균의 적응진화 과정

(a) 일반 대장균 (MG1655) 대비 성장이 저해된 기존 최소유전체(MS56)
(b) 실험실 적응진화과정 (c) 적응진화로 최적화된 최소유전체 대장균 (eMS57)



〈그림 2〉 (a) 적응진화 최소유전체의 높은 환원력. (b) 일반 대장균 대비 80% 향상된 유용물질 생산량.

연구성과

[논문] • D. Choe, J. Lee, M. Yoo, S. Hwang, B. Sung, S. Cho, B. Palsson, S. Kim, and B. Cho*. "Adaptive laboratory evolution of a genome-reduced Escherichia coli", Nature Communications 10, 935 (2019) [2019 Impact Factor = 11.878]

[특허] • 국내 특허 출원 및 해외 4개국 특허 출원 진행 중

[홍보] • 언론보도 15회



Bio Technology

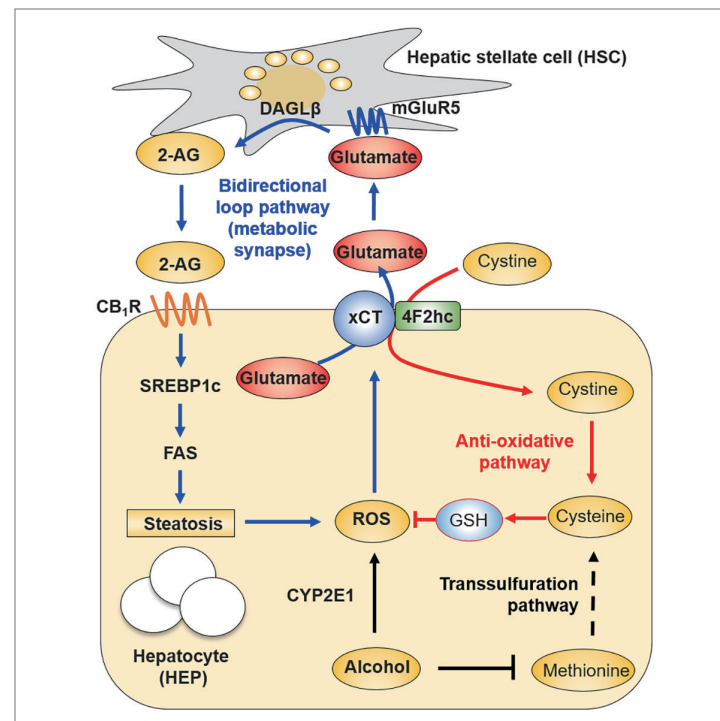
의과학대학원

정원일, 최원목, 김희훈, 김명호, Cinar R, 이현승, 은혁수, 김석환, 최영진, 이영선, 김소연, 서원호, 이준희, 심영리, 김예은, 양경모, 류담, 황정환, 이철호, 최흥식, Gao B, 김원, 김상겸, Kunos G

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

간내 대사시냅스 조절을 통한 알코올성 지방간 치료표적 제시

만성적 알코올섭취는 손상된 황화경로와 시스테인 결핍을 유도하고 결국 산화적 스트레스 매개 간 손상을 유도한다. 알코올 분해에 따른 산화적 스트레스를 보상하기 위해 간세포의 xCT를 통해 신경 전달물질인 글루타메이트(glutamate)를 분비하고, 이는 인접한 간성상세포에서 글루타메이트 수용체인 mGluR5를 활성화시켜 엔도카나비노이드 2-AG 생성을 촉진하게 된다. 생성된 2-AG는 결과적으로 간세포의 중성지방 축적을 유도하게 되어 두 세포간 '양방향 대사시냅스'를 통한 알코올성 지방간 기전을 최초로 규명하였다. 본 연구를 통해 간에도 '유사 신경계'가 존재한다는 새로운 패러다임을 제시하였을 뿐만 아니라, 대사시냅스(metabolic synapse)의 조절이 현재까지 치료제가 없는 알코올성 지방간 질환의 새로운 치료 표적이 될 수 있음을 제시하였다.



〈그림 1〉 간내 대사시냅스(metabolic synapse)를 통한 알코올성 지방간 형성 기전도

연구성과

[논문] • Choi WM, Kim HH, Kim MH, Cinar R, Yi HS, Eun HS, Kim SH, Choi YJ, Lee YS, Kim SY, Seo W, Lee JH, Shim YR, Kim YE, Yang K, Ryu T, Hwang JH, Lee CH, Choi HS, Gao B, Kim W, Kim SK, Kunos G, Jeong WI*, "Glutamate Signaling in Hepatic Stellate Cells Drives Alcoholic Steatosis" Cell Metabolism 30(5), 877-899 (2019) (2018 Impact Factor = 22.415)



Bio Technology

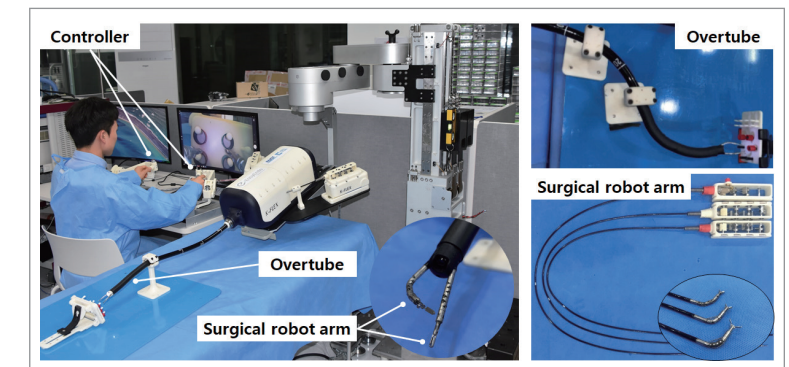
기계공학과

권동수, 황민호, 김준환, 김한솔, 백동훈, 안정도, 유재민, 이동호

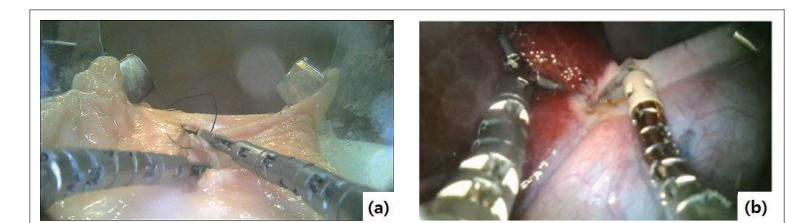
<http://robot.kaist.ac.kr/>

유연 내시경 수술로봇, K-FLEX

수술로봇은 절개를 최소화하고 의사의 손이 도달하기 어려운 부위에 접근하여 정밀한 수술을 제공한다. 하지만 곧고 단단한 수술도구를 이용하는 기존의 수술로봇은 좁고 굴곡진 곳에 위치한 환부への 접근과 술기 수행이 어렵다. 본 연구에서는, 유연한 굽음이 가능한 오버튜브와 수술로봇 팔을 갖는 유연 내시경 수술로봇, K-FLEX를 개발했다. 본 로봇은 유연한 오버튜브를 이용해 환부 접근성을 향상시키며, 특히, 작고 유연하면서도 큰 힘을 낼 수 있는 로봇 팔의 관절 기술을 개발하여 유연 수술로봇의 난제를 극복하였다. 조직실험 및 동물실험을 통해 제안하는 수술로봇의 유효성과 임상 적용 가능성을 확인하였다. 본 기술을 통해 기존의 수술로봇이나 내시경으로는 수행하기 어려운 수술에 대해 정밀한 로봇 수술을 확대 적용 가능하며, 입, 항문, 배꼽 등의 자연개구부를 이용해 로봇이 진입하여 환자의 몸에 흉터를 남기지 않아, 빠른 회복과 미용적 효과 등 환자의 삶의 질 향상에 기여할 것으로 기대한다.



〈그림 1〉 유연 내시경 수술로봇, K-FLEX



〈그림 2〉 (a) 조직 봉합. (b) 담낭절제

연구성과

[논문] • Minho Hwang, Dong-Soo Kwon*, "Strong Continuum Manipulator for Flexible Endoscopic Surgery," IEEE /ASME Transactions on Mechatronics (2019), Vol. 24, No. 5, pp. 2193-2203. [2018 IF = 4.943, JCR 10%]
• M. Hwang, J. H. Kim, D. H. Lee, J. Ahn, J. You, D. Baek, H. Kim, DK Sohn, D. S. Kwon*, "A flexible endoscopic surgery robot K-FLEX and its feasibility validation in in-vivo animal trial," Proceeding of The 14th Asian Conference on Computer Aided Surgery (ACCAS2018) [Best Paper Award]



Bio Technology

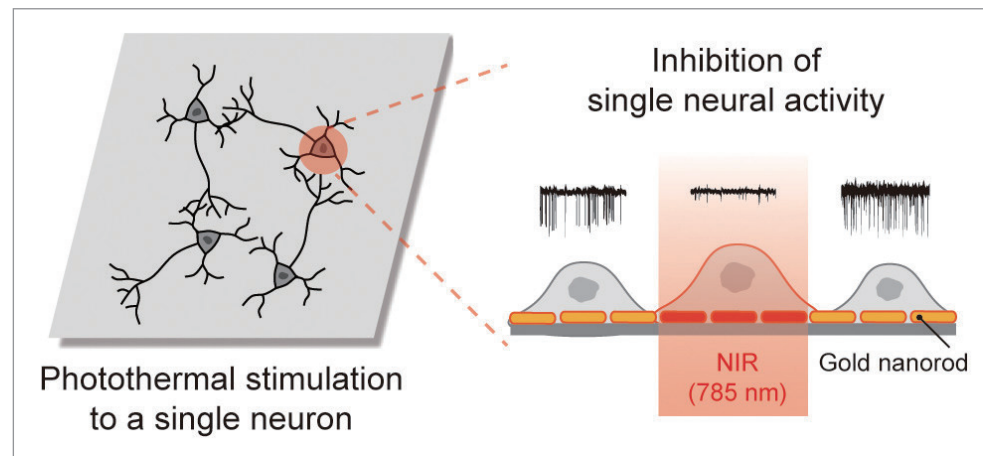
바이오헬스공학

남윤기, 박지호, 유상진

<https://neuros.kaist.ac.kr>
https://openwetware.org/wiki/Park_Lab

신경망 분석을 위한 단일 세포 광열신경조절기술 개발

광열 신경조절기술은 밀리미터 미만의 정밀도로 심부 뇌의 신경 활동에 대한 최소 침습적 제어를 제공할 수 있기 때문에 신경과학 연구를 위해 개발되고 있는 신기술 중 하나이다. 그러나, 단일 신경세포의 활성을 제어하기 위해서는 유전자 조작이 필요한 광유전자기반 신경조절기술을 이용해야 한다는 어려움이 있었다. 본 연구에서는 높은 시간 해상도와 단일 신경세포의 활동을 억제할 수 있는 광열신경조절기술을 소개한다. 금나노입자가 코팅된 마이크로 전극 어레이 플랫폼에 키워진 신경세포에 저강도 근적외선 빛을 단일 세포 크기로 집중시킴으로써 표적 신경세포 아래에서 광열 효과를 생성하여, 단일 신경세포의 활성을 일정 시간동안 억제할 수 있었다. 이러한 단일 신경세포에 대한 광열신경억제기술은 열적 손상 없이 빠르고 신뢰성이 높으며, 신경망 활성의 패턴 변화를 유도할 수도 있어 앞으로 생체 내 신경회로를 분석하는데 다양하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.



〈그림 1〉 플라스모닉 나노입자를 이용한 신경회로 분석 기술

연구성과

[논문] • "Single-Cell Photothermal Neuromodulation for Functional Mapping of Neural Networks" Sangjin Yoo, Ji-Ho Park*, and Yoonkey Nam*, ACS Nano 13 (2019) 544–551.



Bio Technology

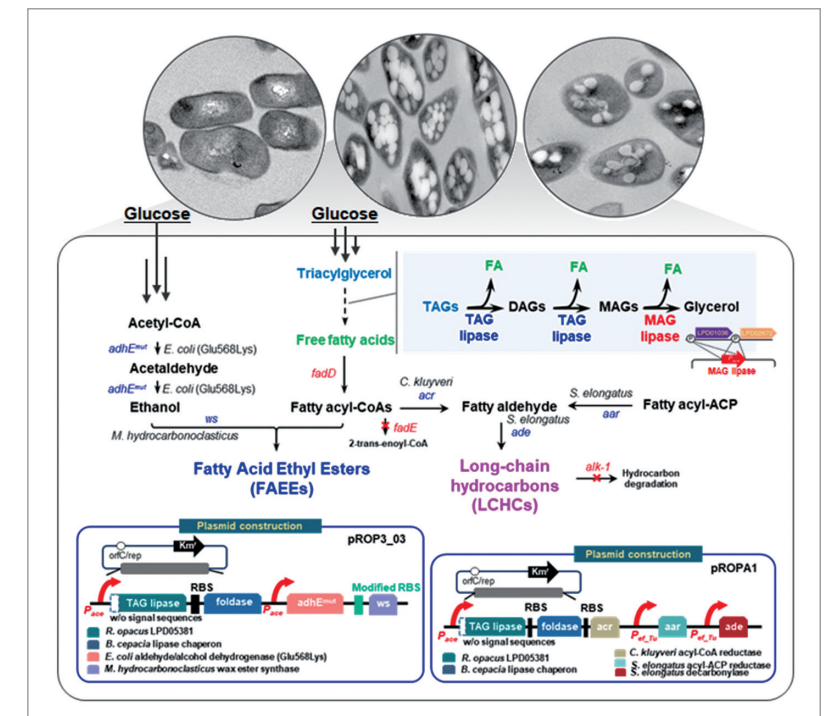
생명화학공학과

이상엽, 김혜미, 채동언,
최소영, 김원준

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

오일 축적 미생물 기반 지방산 및 연료 생산 기술 개발

자연적으로 세포 내 오일을 축적하는 것으로 알려진 미생물인 로도코커스 (Rhodococcus)의 대사조작을 통해 비식용 바이오매스로부터 고효율의 지방산 및 바이오 디젤을 생산하는 균주와 발효 공정을 개발하였다. 이는 '시스템 대사공학'에 기반한 체계적인 대사회로 조작을 통해 이루어졌다. 가장 먼저 배양 조건을 최적화하여 포도당으로부터 세포 내 과량의 오일 (트리아실글리세롤, triacylglycerol)을 축적하게 하였다. 축적한 오일을 선별한 외래 효소의 도입, 경쟁대사회로의 제거 등의 유전자 조작을 통해 효과적으로 지방산 및 바이오디젤 물질로 전환시켜 세계 최고 농도 및 생산성을 달성하였다. 이는 심각한 환경문제를 안고 있는 기존의 석유화학산업을 지속가능하고 환경친화적인 바이오기반 산업으로 재편하는 데에 큰 역할을 할 것으로 기대된다.



〈그림 1〉 미생물 내에 축적된 지질 물질과 이를 기반으로 생산되는 지방산 및 지방산 유도체 (바이오디젤)

연구성과

[논문] • H. M. Kim, T. U. Chae, S. Y. Choi, W. J. Kim, and S. Y. Lee*, "Engineering of an oleaginous bacterium for the production of fatty acids and fuels". Nat. Chem. Biol., 15, 721–729 (2019) [2018 Impact Factor = 12.154].



Bio Technology

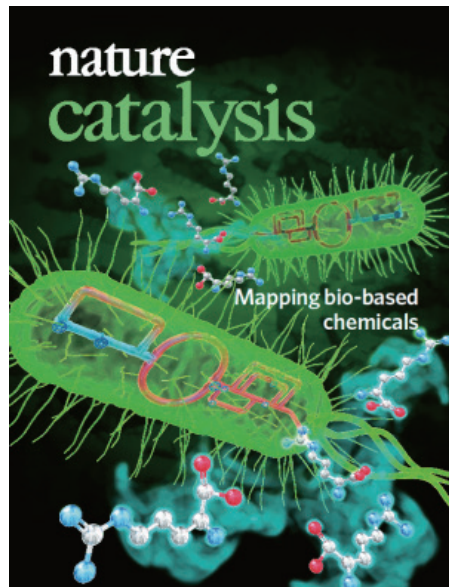
 생명화학공학과

 이상엽, 김현욱, 채동언,
조재성, 김제웅, 신재호,
김동인, 고유성, 장우대,
장유신

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

바이오 기반 화학물질 합성 지도 개발

지속가능한 화학 산업을 위해 미생물을 이용하여 다양한 화학물질들을 생산하는 기술은 날이 갈수록 점점 더 중요해지고 있다. 지난 20년간 자연계에 존재하는 혹은 존재하지 않는 수많은 화학 물질을 생산하는 재조합 미생물 균주들이 개발됐다. 본 연구에서는 생물학적 혹은 화학적 반응들을 통하여 생산될 수 있는 산업적으로 유용한 화학물질들을 총정리하였다. 이를 기반으로 단일 혹은 다중의 생물학적 반응, 화학적 반응, 그리고 생물학적 반응과 화학적 반응을 같이 사용하여 특정 화학물질을 생산할 수 있는 경로 및 전략들을 총 정리하고 있는 바이오 기반 화학물질 합성 지도를 개발할 수 있었다.



〈그림 1〉 해당 논문 journal cover 그림



〈그림 2〉 본 연구에서 개발된 바이오 기반 화학물질 합성지도

연구성과

[논문] • S.Y. Lee*, H.U. Kim, T.U. Chae, J.S. Cho, J.W. Kim, J.H. Shin, D.I. Kim, Y.-S. Ko, W.D. Jang, and Y.-S. Jang, "A comprehensive metabolic map for production of bio-based chemicals" Nat. Catal. 2, 18-33 (2019) [Journal cover paper: Impact Factor 미정]



Nano Technology

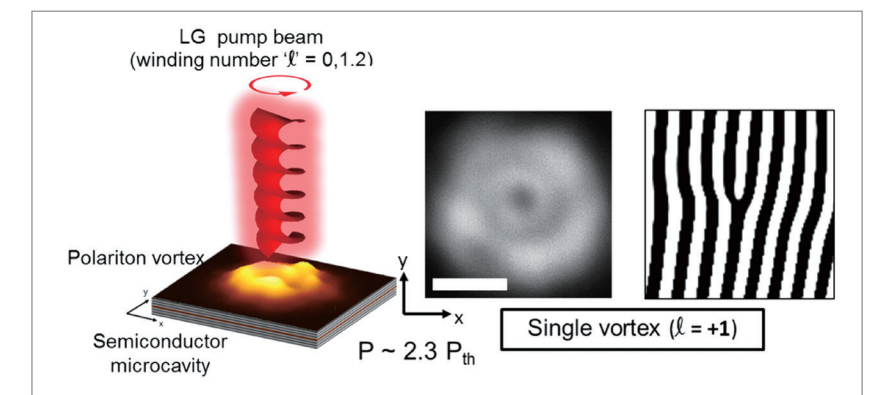
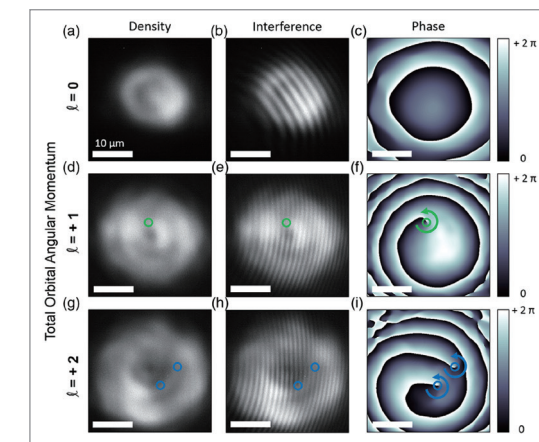
 물리학과

 조용훈, 최형순, 권민식,
오병용, 공수현, 김제형,
강항규, 강수석, 송진동

 [조용훈]
<http://qnp.kaist.ac.kr>
[최형순]
<http://absoluteze.ro>

반도체 내 양자 소용돌이 생성 기술 개발

반도체 내의 엑시톤-폴라리톤을 초유체로 응축하는 데에 성공한 이래로 초유체의 고유한 특성 중 하나인 양자 소용돌이를 형성하기 위한 다양한 시도가 있어 왔다. 특히 양자 소용돌이의 회전 방향과 개수를 결정적(deterministic)으로 제어하기 위해 유도 광 파라메트릭 발진이나 키랄성 렌즈 등을 개발하였으나 레이저의 에너지, 입사각도, 초점의 크기나 모양 등을 정교하게 조절해야 하는 어려움이 있었다. 본 연구에서는 레이저의 궤도 각운동량만 조절함으로써 손쉽게 양자 소용돌이를 생성할 수 있는 방법을 개발하였다. 양자 소용돌이를 비교적 손쉬운 광학적 방법으로 제어할 수 있게 됨에 따라 양자 소용돌이의 위상학적 안정성을 활용하면 고속의 정보 처리나 양자 시뮬레이션 등에 활용될 수도 있을 것으로 기대된다.



연구성과

[논문] • Min-Sik Kwon, Byoung Yong Oh, Su-Hyun Gong, Je-Hyung Kim, Hang Kyu Kang, Sooseok Kang, Jin Dong Song, Hyoungsoon Choi, and Yong-Hoon Cho, Physical Review Letters 122, 045302 (2019)



Nano Technology

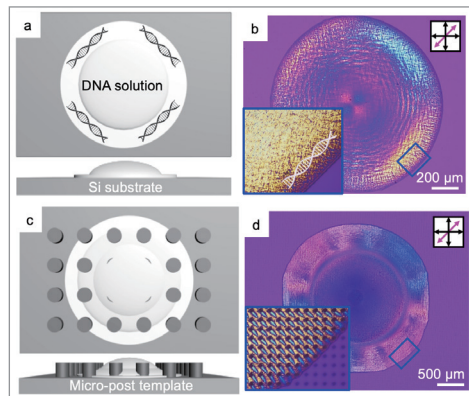
나노과학기술대학원, 화학과

윤동기, 박순모

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

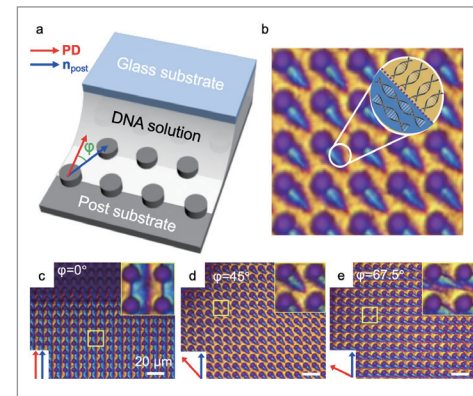
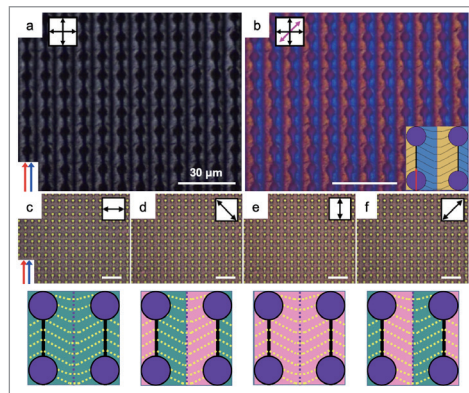
DNA 기반 미세 구조체 패터닝 기술 개발

자연계에 무한한 수준으로 있는 DNA와 커피링 효과를 이용하여 마치 물감으로 그림을 그리듯이 유리판을 문질러서 마이크로-나노패턴을 구현하고 액정물질, 금 나노 막대 등을 대면적에서 고배향시키는 기술을 개발하였다. 특히 본 연구에서는 값비싸게 합성된 DNA 물질이 아닌 연어에서 추출하여 기존의 바이오 응용 분야에 사용되던 DNA와 비교해 가격이 1000배 이상 저렴한 DNA 물질을 사용한 만큼 나노 및 마이크로미터 크기의 패턴을 요하는 디스플레이, 센서 및 광고판, 페인트 등 각종 색을 표현하는 응용 분야에 널리 사용될 수 있는 원천 기술이다.



〈그림 1〉

평판(a)과 마이크로미터 크기의 요철이 존재하는 기판(c) 위 DNA 용액을 증발시켰을 때, 거시적으로는 유사하나 미시적으로는 전혀 다른 DNA 배향 양상(b, d)



〈그림 2〉

두 기판을 문지르면서 용매를 증발시키는 닥터 블레이드 코팅 방법을 활용하여 증발 현상을 다각도로 제어하고 (a) 나타나는 DNA 분자의 배향 양상을 실시간으로 관찰 (b-e), (b) 그림(e)의 확대부분 및 DNA 분자 배향 모식도

〈그림 3〉

DNA-금 막대 입자 복합체의 배향 양상(a,b)과 나타나는 플라즈모닉 광학 현상 (c-f)

연구성과

[논문] • Yun Jeong Cha, Soon Mo Park, Ra You, Hyoungsoo Kim, Dong Ki Yoon* "Microstructure arrays of DNA using topographic control" Nat. Commun. 10, 2512 (2019)



Nano Technology

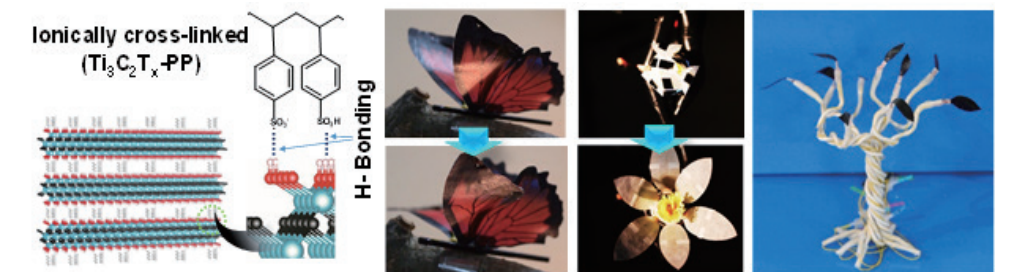
기계공학과

오일권, 시마 엄라오,
라솔 타바시안, 김재환,
반히엡응우엔,
치타오 저우, 남상희

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

맥신 기반 인공근육

소프트 로봇 공학 분야는 현재 액추에이터의 단점으로 인해 여전히 많은 어려움을 겪고 있다. 기존 인공근육은 보다 빠른 반응속도, 더 높은 굽힘 변형 및 더 우수한 내구성을 위한 혁신적인 기술이 필요하다. 본 연구에서는 poly(3, 4ethylenedioxythiophene): polystyrenesulfonate (PEDOT:PSS)와 이온적으로 교차된 $Ti_3C_2T_x$ 를 기반으로 한 MXene 인공근육을 보고했다. 낮은 입력전압범위(0.1~1.0V)에서 최대 18,000 사이클까지 97%의 장시간 안정성 및 위상지연을 획기적으로 감소시켰으며, 최대 20Hz의 매우 넓은 주파수 대역폭으로 반복적인 전기 자극에서 박리 없이 우수한 구조적 신뢰성을 보였다. 이러한 특성으로 인해 제한된 액추에이터는 소프트 로봇 공학에서 구현하기에 완벽한 후보이다.



연구성과

[논문] • Sima Umrao, Rassoul Tabassian, Jaehwan Kim, Van Hiep Nguyen, Qitao Zhou, Sanghee Nam, Il-Kwon Oh*, MXene artificial muscles based on ionically cross-linked $Ti_3C_2T_x$ electrode for kinetic soft robotics, Science Robotics 4, eaaw7797 (2019) [2018 Impact Factor = 19.400].



Nano Technology

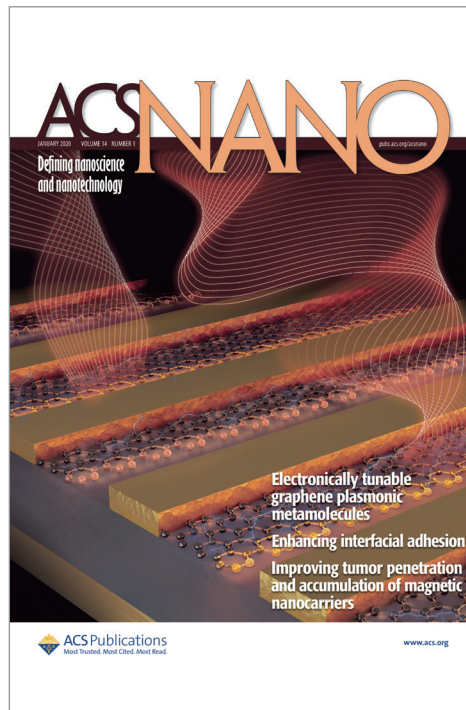
전기및전자공학부

장민석, 한상준, 김신호

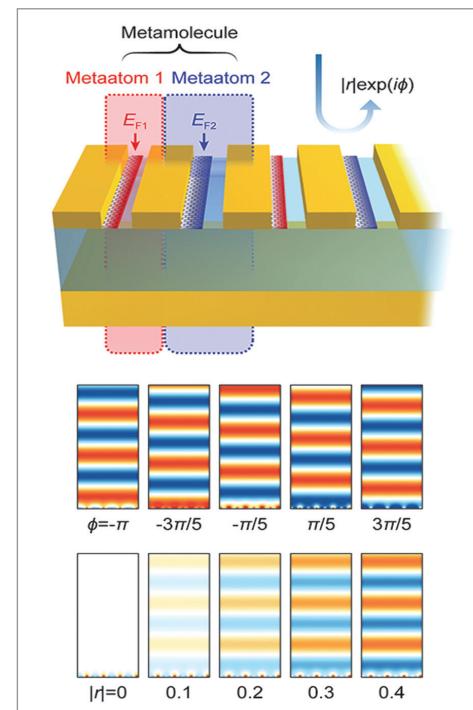
<http://jlab.kaist.ac.kr/>

그래핀 기반 메타표면을 이용한 중적외선 빛의 세기 및 위상 독립 제어

고해상도 능동 파면 제어는 광학 분야에서 오랫동안의 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 플라스몬 나노 공진기로 이루어진 메타원자들을 결합한 메타분자를 소개한다. 메타분자의 특성은 이를 구성하는 그래핀 나노 공진기의 페르미 준위에 의해 결정되며, 이러한 두 개의 조절 변수를 통해 완전한 위상 변조뿐만 아니라 큰 범위의 진폭 변조를 독립적으로 수행할 수 있다. 이러한 복소 반사 계수 변조를 최대화하기 위해 필요한 직관적인 가이드라인으로, 일반화된 도식적 접근 방법을 개발하였다. 또, 메타분자 설계의 확장성을 보이기 위해, 능동 빔 스티어링과 빔 포커싱을 전파 시뮬레이션으로 구현하였다.



〈그림 1〉 해당 논문 journal cover 그림

〈그림 2〉 빛의 세기 및 위상의 독립 제어가 가능한
그래핀 기반메타표면의 모식도 및 성능

연구성과

[논문] • Sangjun Han, Seyoon Kim*, Shinho Kim, Tony Low, Victor W. Brar, Min Seok Jang*, "Complete Complex Amplitude Modulation with Electronically Tunable Graphene Plasmonic Metamolecules", ACS Nano, In press. [2018 Impact factor - 13.903, DOI: 10.1021/acsnano.9b09277]



Nano Technology

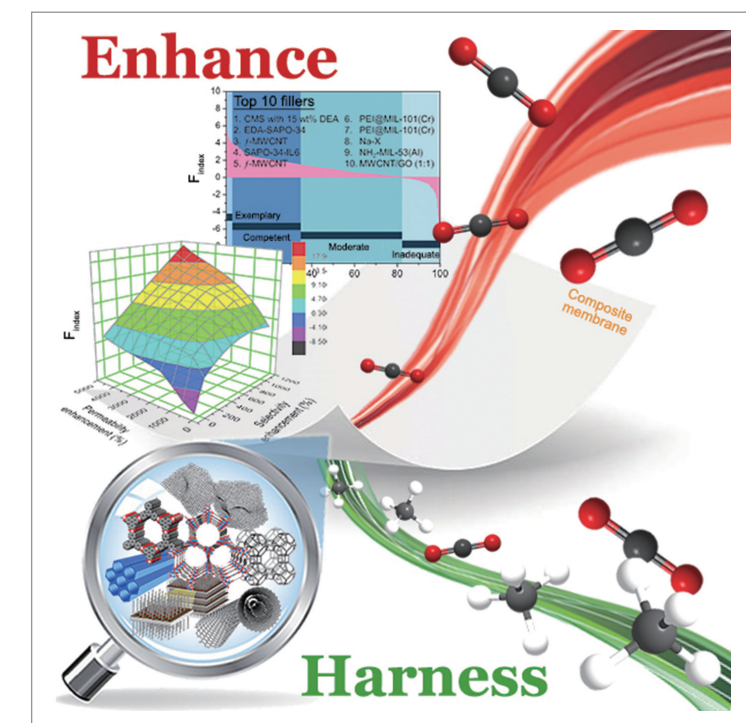
생명화학공학과

배태현

<http://sites.google.com/site/thebaeresearchgroup>

복합막 데이터 분석을 통한 “필러인덱스” 제안과 이에 기반한 고성능 분리막 제조

현재까지 문헌에 보고된 복합막 (mixed-matrix membrane)의 성능데이터를 취합하고 분석하여, 첨가제 (filler)에 의한 분리막의 성능변화, 즉 투과도와 분리도의 증감 정도를 단일 수치로 통합해 나타낸 지표인 “필러인덱스 (filler index)”를 개발하고 제안하였다. 이 값이 첨가제의 효과를 성공적으로 정량화하여 나타낸다는 것을 데이터 분석을 통해서 증명하였고, 이를 바탕으로 제조가 쉽고 경제적인 첨가제로도 우수한 분리막을 제조할 수 있다는 것을 후속연구에서 실험적으로도 증명하였다. 필러인덱스는 앞으로 새로운 복합막을 제조할 시에 첨가제를 좀 더 효율적으로 선별하고 수많은 실험적 시도를 줄일 수 있는 효과적인 수단으로 사용될 수 있다.



연구성과

[논문] • C. Y. Chuah, K. Goh, Y. Yang, H. Gong, W. Li, H. E. Karahan, M. D. Guiver, R. Wang, T. H. Bae*, Harnessing Filler Materials for Enhancing Biogas Separation Membranes, Chem. Rev. 2018, 118, 8566–8769 [2018 Impact Factor = 54.301]

• W. Li¹, K. Goh¹, C. Y. Chuah, T. H. Bae*, Mixed-Matrix Carbon Molecular Sieve Membranes using Hierarchical Zeolite: A Simple Approach Towards High CO₂ Permeability Enhancement, J. Membr. Sci. 2019, 588, 117220 [2018 Impact Factor = 7.015]

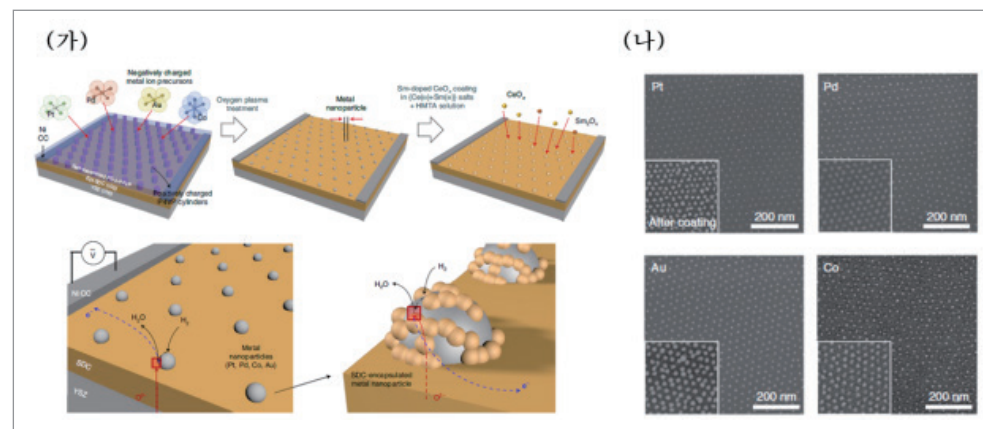


Nano Technology

신소재공학과

정우철, 김상욱, 정성윤,
김현유<http://seml.kaist.ac.kr>고온 전기화학 소자를 위한
신개념 나노촉매 기술 개발

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 나노단위 분석 기법을 개발하여 세계 최초로 고온 촉매의 반응기구를 규명하고 고성능 전극을 설계하는데 성공했다. 또한 내구성이 우수한 금속 나노입자를 산화물 전극 표면에 자발적으로 합성하는 새로운 공정 기법을 개발하여 고온 전기화학 소자에서 금속 나노촉매의 활용 가능성을 입증했다. 개발된 분석·합성 기술들은 소재의 촉매특성에 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 기여할 것으로 기대된다.



〈그림 1〉 나노단위 금속촉매의 전기화학적 활성 평가를 위한 새로운 플랫폼
Block copolymer 나노패터닝 공정 과정에 대한 모식도 (좌),
산화물 전극 표면에 동일한 크기 (10 nm)와 간격으로 합성된 네 가지 금속 나노입자 (Pt, Pd, Au, Co) (우)

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, 245–251 (2019) [2018 Impact Factor = 33.407]
- N. W. Kwak^{*}, S. J. Jeong^{*}, H. G. Seo, S. Lee, Y. Kim, J. K. Kim, P. Byeon, S.-Y. Chung, and W. Jung^{*}, In situ synthesis of supported metal nanocatalysts through heterogeneous doping, Nature Communications 9:4829 (2018) [2018 Impact Factor = 11.878]



Space Technology

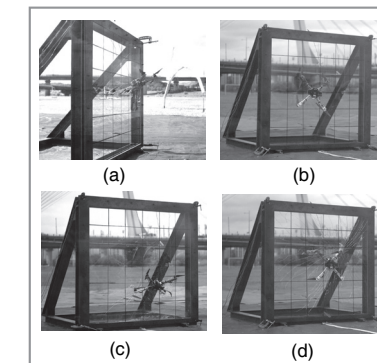
건설및환경공학과

홍정욱, 이상언, 최영준

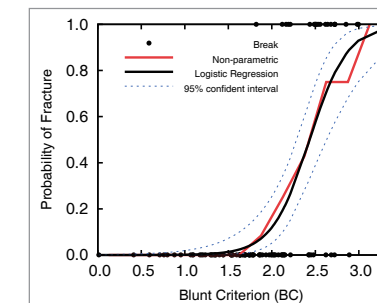
<http://aaml.kaist.ac.kr/>

소형 무인비행체의 충돌손상 평가

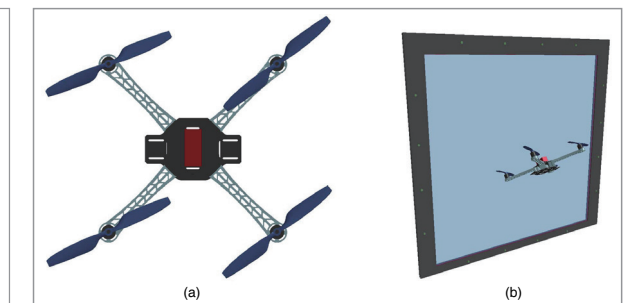
도시 환경에서의 물류 및 구조·구급 활동에서 소형 무인 항공기 (UAV)에 대한 수요가 증가함에 따라 인적·물적 피해 가능성이 증가하고 있다. 그러나 도시 지역의 소형 UAV에 대한 안전 규정은 아직 확립되지 않았으며 발생 가능성이 높은 UAV와 건물 구조 간의 충돌에 대한 연구는 거의 진행되지 않았다. 본 연구에서는 널리 사용되는 건물 외장재인 열 강화 유리의 UAV 충돌로 인한 손상을 고속카메라와 동적 힘 센서를 이용한 실험과 유한요소 해석 모델을 통한 시뮬레이션으로 평가하였다. 본 연구에서 수행된 충돌 테스트는 UAV 안전 규정을 확립하기 위한 기본 데이터를 제공할 수 있고, 검증된 수치 모델을 적용하여 다른 UAV에 대한 다양한 충돌 시나리오를 평가할 수 있다.



〈그림 1〉
초고속 카메라로 촬영한 유리 패널과 UAV의 충돌 전과 후 모습.
(a) 앞쪽 rotor 충돌 직후 발생한 UAV의 회전 운동
(b) 저속 충돌에서 파괴되지 않은 유리 패널
(c) 얇은 패널에서 자주 관찰되는 앞쪽 rotor 충돌로 인한 파괴
(d) 두꺼운 패널에서 자주 관찰되는 뒤쪽 rotor 충돌로 인한 파괴



〈그림 2〉 Blunt criteria를 이용한 유리 패널의 파괴 예측 함수



〈그림 3〉 (a) 3차원 UAV의 수치해석 모델 및
(b) 수치해석상 유리패널과 UAV 충돌 장면

연구성과

- [논문] • S.E. Lee, J.W. Jung, Y. Choi, Y.J. Yoon, and J.W. Hong, Unmanned Aerial Vehicle Impacts on Heat-strengthened Glass, IEEE Access, 7, 104269–104278, (2019) [2018 impact factor: 4.098].
- Y. Choi, J.W. Jung, S.E. Lee, and J.W. Hong, Impact Risk Assessment of Small Unmanned Aerial Vehicles, Proceedings of the Sixth International Conference on Parallel, Distributed, GPU and Cloud Computing for Engineering, (2019).



Environment Technology

원자력및양자공학과

김영철, 정세민

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

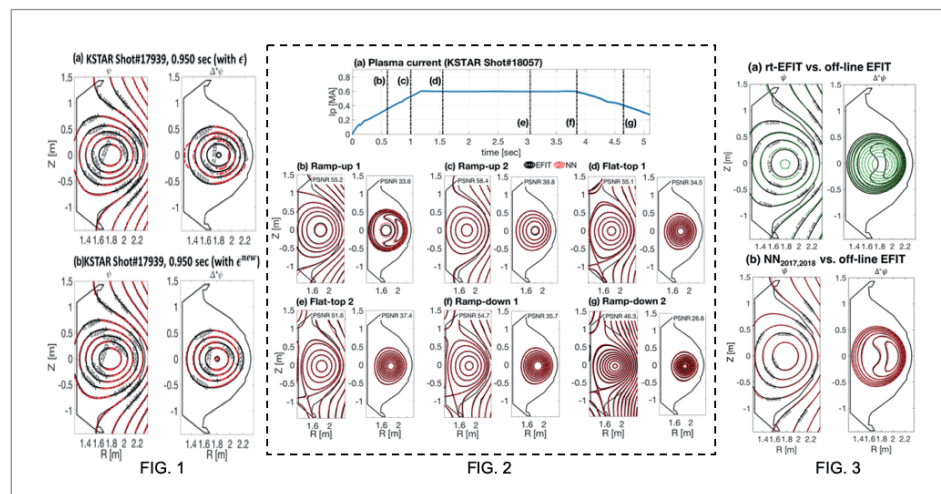
인공신경망 기반 실시간 핵융합플라즈마 자기장 구조 재구성 기법 개발

차세대 대용량 에너지원인 핵융합발전은 1억도로 가열되어 플라즈마 상태로 존재하는 중수소와 삼중수소의 고성능 감금·제어를 요구한다. 이를 위해 전 세계적으로 가장 활발히 활용되는 자기장 기반 감금장치인 토카막의 고성능 운전은 정확한 내부 자기장 구조를 실시간으로 재구성하여야 한다. 현재의 실시간 자기장 재구성 기법은 여러 가정과 함께 간소화된 방법론이 활용되며, 이는 수치학적으로 더욱 엄밀하게 재구성된 비실시간 기반 자기장 구조와 오차를 가진다.

본 연구에서는 인공신경망을 활용하여 비실시간 기반 자기장 구조와 오차를 최소화하는 동시에 실시간으로 정보를 확보할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 본 제안 기술은 핵융합발전의 필요조건인 토카막의 고성능 운전 달성에 큰 영향을 미칠 것으로 기대된다.

$$\begin{aligned}\Delta^*\psi &\equiv \left(R \frac{\partial}{\partial R} \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} + \frac{\partial^2}{\partial Z^2} \right) \psi \\ &= -\mu_0 R j_\phi \\ &= -\mu_0 R^2 \frac{dp(\psi)}{d\psi} - F(\psi) \frac{dF(\psi)}{d\psi}\end{aligned}$$

〈Grad-Shafranov 식〉



연구성과

[논문] • Semin Joung, Jaewook Kim, Sehyun Kwak, J.G. Bak, S.G. Lee, H.S. Han, H.S. Kim, G. Lee, D. Kwon and Y.-c. Ghim*, "Deep neural network Grad-Shafranov solver constrained with measured magnetic signals", Nuclear Fusion 60, 016034 (2020)

• Semin Joung, Jaewook Kim, Sehyun Kwak, Y.M. Jeon, S.H. Han, H.S. Kim, J.G. Bak, S.G. Lee, D. Kwon, G. Lee and Y.-c. Ghim*, "Data-driven Grad-Shafranov solver with KSTAR EFIT data based on neural network and Bayesian inference", 3rd IAEA Technical Meeting on Fusion Data Processing, Validation and Analysis, Vienna, Austria, May 2019



Environment Technology

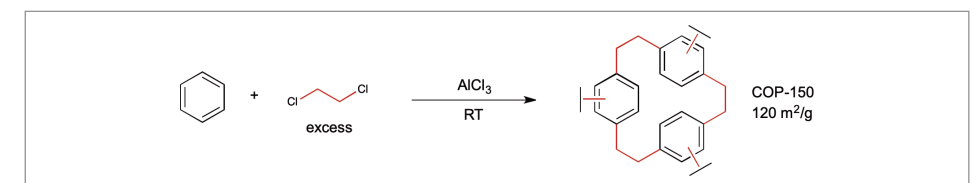
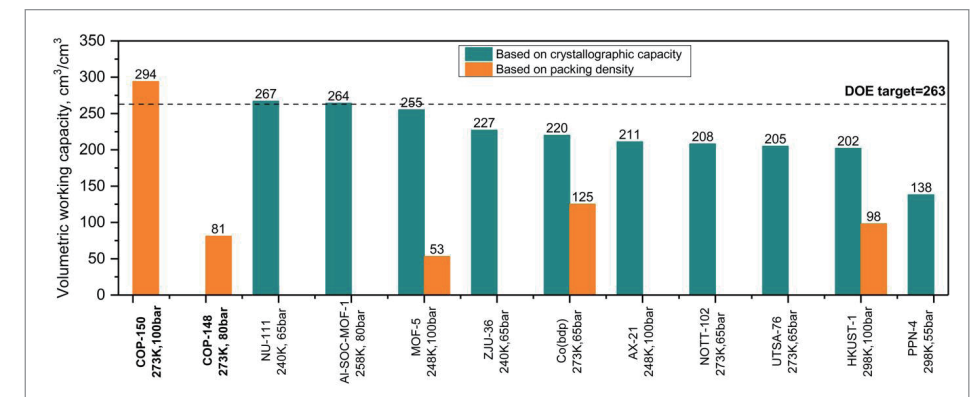
EEWS

Cafer T. Yavuz

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

신축성 있는 다공성 고분자를 이용한 천연 가스 저장 기술 세계 신기록 경신

흡착 천연가스 (ANG) 기술은 기존의 압축 천연가스 (CNG)나 액화천연가스 (LNG)를 대체할 수 있는 안전하고 저렴한 대안으로 대두되고 있다. 그러나 아직 미국 에너지부에서 지정한 목표치(0.5 g g⁻¹, 263 L L⁻¹)에는 도달하지 못해 실용적이지 못하다는 평가를 받고 있다. 이에, 본 연구진은 벤젠과 1, 2-다이클로로메테인을 이용해 1kg 스케일의 신축성 있는 다공성 고분자를 개발했다. 이 고분자는 5~100 bar의 압력 구간에서 0.625 g g⁻¹ 또는 294 L L⁻¹의 작업 용량 (working capacity) 을 기록하였다. 이 다공성 고분자의 신축성은 빠른 탈착과 열 안정성을 제공하며, 소수성과 공유 결합성 골격의 특성으로 인해 열악한 환경에서도 안정성을 보인다. 또한, 흡착이 잘되지 않는 N₂ 가스의 등온선이 고용량으로 흡착 가능한 CO₂의 등온선과 비슷한 경향을 보였는데, 이는 흡착 엔탈피에 의한 열적 팽창으로부터 야기되는 흡착기억 효과 (adsorbate memory effect)에 의한 것으로 밝혀졌다. 이렇게 고용량 메탄 흡착능과 특유의 흡착기억 효과를 통해 합성된 다공성 고분자는 ANG 기술에 유망한 흡착제로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.



연구성과

[논문] • V. Rozyyev, et al., High-capacity methane storage in flexible alkane-linked porous aromatic network polymers, Nat. Energy, 4, 604–611, (2019).



Culture Technology

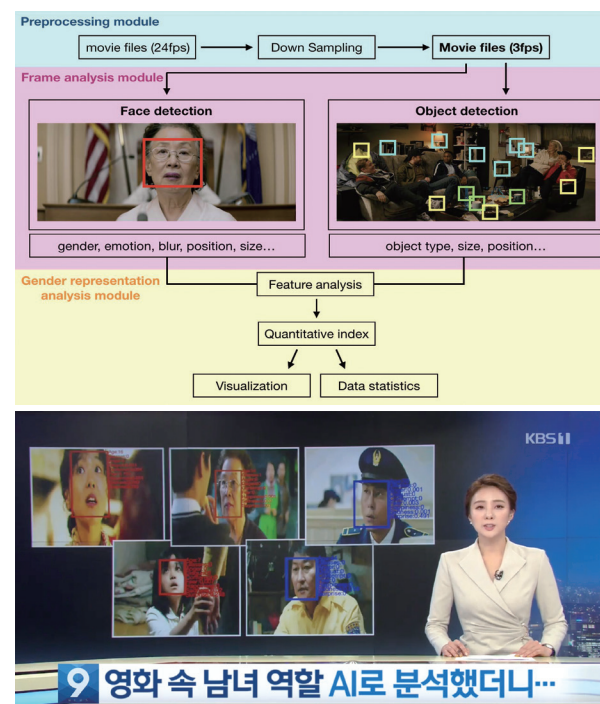
문화기술대학원

이병주, 장지윤, 이상윤

<http://kiml.org>

인공지능 이미지 분석을 기반으로 한 상업 영화에서 젠더 표현 편향 정량화

- 상업 영화 내에서 여성 캐릭터와 남성 캐릭터가 묘사되는 방식엔 유의미한 차이가 존재함
- 벡델 테스트는 영화의 스크립트를 분석하여 그러한 젠더 표현 편향의 존재 여부를 판단하고 여성의 최소한의 권리를 주장하기 위해 널리 쓰임
- 하지만 벡델 테스트는 영화가 시각 및 시간 예술이라는 것을 간과하고 영화의 스크립트만을 분석함으로써 상업 영화 내의 젠더 표현 편향이 가질 수 있는 다양한 양상을 드러내지 못함
- 이 연구는 영화의 이미지 프레임들을 인공지능 기술로 분석하여 여성과 남성 캐릭터가 어떻게 서로 다르게 묘사되는지 8가지의 지표들로서 정량화함 (감정 다양성, 공간적 역동성, 공간적 점유도, 시간적 점유도, 캐릭터 연령, 지적 이미지, 외양 강조도, 주변 물체의 빈도 및 종류)
- 이로부터 연구는 영화 제작 지역 (할리우드 vs. 한국), 벡델 테스트 통과 여부에 따른 성별 표현 차이 등에 대해 기존에 알려져 있지 않던 사실들을 밝혀낼 수 있었음
- 이 연구는 “영화 등 문화 콘텐츠의 인공지능 기반 분석”이라는 문화기술의 새로운 연구 분야를 열 수 있을 것으로 기대됨



연구성과

[논문] • Jang, Ji Yoon, Sangyoon Lee, and Byungjoo Lee. "Quantification of Gender Representation Bias in Commercial Films based on Image Analysis." Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction 3.CSCW (2019): 198.



Others

화학과

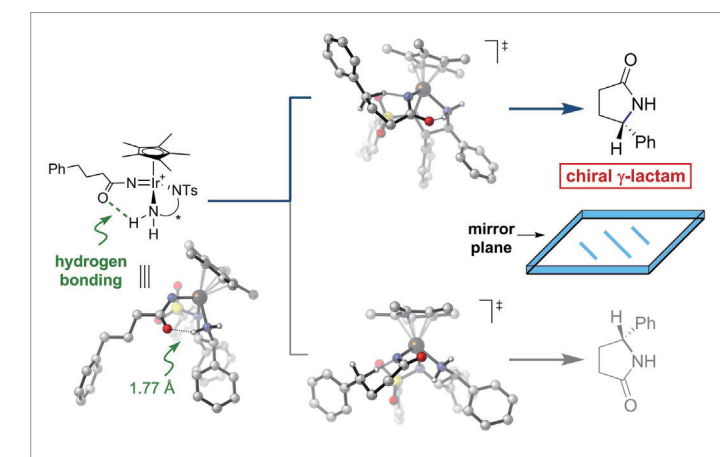
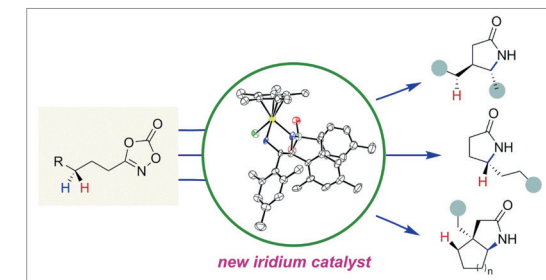
장석복, 박윤수

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

거울상 선택적으로 분자 합성하는 새로운 촉매 개발

자연계의 많은 분자들은 자신과 똑 닮은 거울상 이성질체를 갖고 있다. 이들은 구성하는 원소의 종류와 개수가 같아도 서로 완전히 다른 성질을 나타낸다. 하지만 유용한 이성질체만을 선택적으로 합성하는 비대칭 반응은 아직까지 현대 화학의 난제로 꼽히고 있다. 본 연구에서 연구진은 두 개의 거울상 이성질체 중 한 종류의 분자만을 선택적으로 합성할 수 있는 새로운 촉매를 개발했다.

이 촉매를 이용해 자연에 풍부한 탄소수소화합물을 의약품의 필수재료인 카이랄 락탐으로 제조하는데 성공했다. 이렇게 합성된 카이랄 락탐은 독특한 입체적 특성 때문에 생체 단백질과의 상호작용이 유용하다. 특히 우리 신체를 구성하는 아미노산 유도체나, 천연물도 모두 카이랄성 분자인 만큼, 신체 내 생리활성을 효과적으로 높인 약물 개발이 가능할 것으로 기대된다.



연구성과

[논문] • Yoonsu Park & Sukbok Chang, Asymmetric Formation of γ -Lactams via C-H Amidation Enabled by Chiral Hydrogen-Bond-Donor Catalysts, Nature Catalysis 2019, 2, 219-227.

• Sukbok Chang et al., Selective formation of γ -lactams via C-H amidation enabled by tailored iridium catalysts, Science 2018, 359, 1016-1021



Others

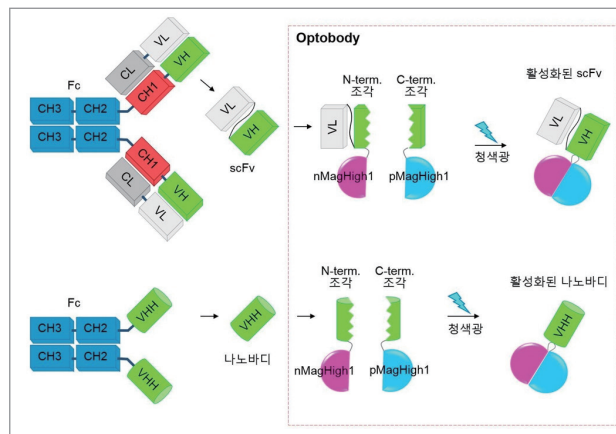
생명과학과

허원도, 유다슬이, 이한솔,
홍종률, 정현진, 조영주,
오병하, 박병욱

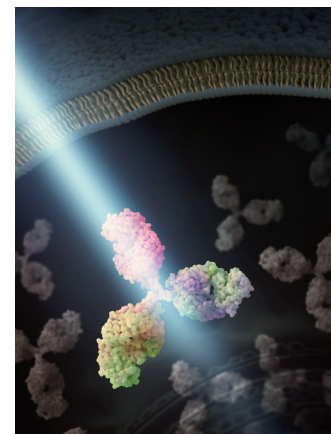
<https://sites.google.com/view/heolab/home>

빛으로 세포 내 항체를 활성화 시키는 기술 개발

나노바디나 scFv와 같은 세포 내 발현하는 항체로서 세포 내 단백질을 이미징하거나 그 기능을 조절하는 기술로 각광받고 있다. 많은 항체 공학기술이 개발되고 있지만, 세포 내 항체의 활성을 시공간적으로 조절하는 기술은 아직 보고되지 않았다. 본 연구에서는 빛으로 항체를 활성화시키는 광활성 항체기술 (옵토바디)을 세계 최초로 개발하였으며, 이 기술을 이용하여 빛으로 세포 내 단백질의 기능을 저해함으로써 본 기술이 단백질 기능 억제제로 사용가능함을 보여주었다. 원하는 위치와 시간대에 항체의 활성을 유도하는 본 기술은 단백질 기능을 밝히는 연구분야에 활용성이 크며, 새로운 개념의 의약품으로 발전될 가능성이 있다.



〈그림 1〉옵토바디 기술 디자인



〈그림 2〉옵토바디 (Optobody)의 개념도



〈그림 3〉
Nature Methods지 이달의 저자로 소개

연구성과

[논문] • D. Yu, H. Lee, J. Hong, H. Jung, Y. Jo, B. Oh, B. O. Park*, and W. D. Heo*, "Optogenetic activation of intracellular antibodies for direct modulation of endogenous proteins", Nature Methods, 16(11), 1095–1100 (2019) [2019 Impact Factor = 28.467]

[특허] • 가역적으로 활성화 가능한 항체 유사체 및 그의 용도 (2016)



Others

경영공학부

김동규

<https://sites.google.com/site/donggyukim0329/home>

금융 빅데이터를 활용한 Factor GARCH-Ito 모델

정보통신기술 발달로 high-dimensional high-frequency financial data의 활용이 활발해졌다. 이러한 금융 빅데이터를 활용하여 금융 시장의 dynamics를 분석함에 있어서 데이터가 가지고 있는 complex dynamic 구조적인 특성뿐만 아니라 “curse of dimensionality” 문제가 큰 이슈였다. 본 논문에서는 그러한 curse of dimensionality 문제를 해결하기 위해 factor model을 기반으로 하는 새로운 process를 개발하였다. 특히 high-frequency data의 complex dynamic 구조를 분석하기 위해 새로운 Ito diffusion process(Factor GARCH-Ito)를 제시하였다. 즉, 본 논문은 Factor GARCH-Ito 모델을 활용하여 high-frequency data와 같은 금융 빅데이터를 활용하는 방법을 제시하였고 이것을 활용하여 금융 시장의 market dynamics를 더욱 잘 설명할 수 있게 되었다. 이러한 금융 빅데이터의 활용은 금융 시장의 위험을 더욱 빠르게 인지하고 대응할 수 있게 도와줄 것이며 새로운 금융 리스크를 분석하는 방안으로 널리 사용될 것으로 기대된다.

연구성과

[논문] • Kim, D. and Fan, J. "Factor GARCH-Ito Models for High-frequency Data with Application to Large Volatility Matrix Prediction", Journal of Econometrics, 208, 395–417 (2019).

• Kim, D. and Wang, Y. "Unified discrete-time and continuous-time models and statistical inferences for merged low-frequency and high-frequency financial data", Journal of Econometrics, 194, 220–230 (2016).



Others

 경영공학부

 이윤신

 <http://business.kaist.ac.kr/faculty/yunshin>

구매자와 공급자간의 보너스 및 페널티 인센티브 계약의 효과 분석: 국가 간 차이가 존재하는가?

이 논문에서는 구매자와 공급자간 계약의 효율성을 높이는 수단으로 사용되는 보너스 및 페널티 인센티브의 성과가 국가 문화에 따라 어떠한 차이가 있는지 행태적으로 분석하고 이론화하였다. 이를 위해 캐나다, 중국, 한국 세 국가에서 인센티브 계약의 효율성을 알아보는 행태 실험을 하였고, 주어진 인센티브 계약에 반응하는 공급자의 행태를 국가별로 비교 분석하였다. 본 연구에서는 인센티브 계약의 효과를 측정하기 위해 공급자의 행태를 인센티브 계약의 수락 빈도수 (acceptance rate), 수락 후 시행한 일의 양 (effort level) 그리고 약속 이행 정도 (shirking rate), 이렇게 세 부분으로 나누어 보았다. 또한 인센티브 계약의 효과에 영향을 미치는 문화적 차원 (cultural dimension)으로 권력거리 (power distance), 인도주의 지향성 (humane orientation), 집단주의 (collectivism)로 이론화하였다. 실험 데이터 분석 결과, 보너스 인센티브 계약의 경우 세 국가에서 공급자들은 비슷한 빈도로 계약을 수락하는 것이 확인되었다. 하지만, 페널티 인센티브 계약의 경우 권력거리가 짧고 인도주의 지향성이 높은 문화를 가진 캐나다에서 다른 두 나라에 비해 계약 수락 빈도수가 현저히 낮은 것을 보였다. 또한 집단주의가 강한 중국과 한국에서 공급자가 보너스 인센티브 계약을 더 성실히 이행하는 행태를 확인할 수 있었다.

연구성과

[논문] • Y.S. Lee*, D. Ribbink, S. Eckerd, "Effectiveness of bonus and penalty incentive contracts in supply chain exchanges: Does national culture matter?". Journal of Operations Management 62 59-74 (2018) [2019 Impact Factor = 7.775]



Others

 경영공학부

 황성하

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

협상규범의 형성과 지속: 진화적 접근

본 연구는 기존의 공리적 협상 해결책(axiomatic bargaining solution)들을 진화적인 관점, 행동 경제학적 관점에서 접근하여, 어떠한 협상 해결책(bargaining solution)이 관습적인 계약과 협상 규범(bargainig norm)으로 사회에서 광범위하게 받아들여지며, 장기적으로 지속될 수 있는지를 연구한다. 또한, 기존의 협상 해결책(bargaining solution)과는 전혀 다른 새로운 협상 규범(bargaining norm)이 나타날 수 있음을 보이고자 한다. 본 연구에서는 이론적인 연구를 통하여 가설을 도출해 내고, 이러한 가설을 실제 lab 실험을 통하여 검증, 확증한다. 따라서, 본 연구는 주어진 협상 규범에 대한 이론적인 정당화와 실험적인 정당화를 동시에 제공하여, 협상 규범 (bargaining norm)을 이해하는데 유기적이면서 일관된 하나의 틀을 제공한다.

연구성과

[논문] • S. Naidu, S.-H. Hwang, S. Bowles "The Evolution of Egalitarian Sociolinguistic Conventions", American Economic Review, 2017, Vol.107, pp.572-577

• S.-H. Hwang, J. Newton "Payoff dependent dynamics and coordination games", Economic Theory, 2017, Vol. 64, pp.589-604.

• S.-H. Hwang, W. Lim, P. Neary, and J. Netwon, "Conventional contracts, intentional behavior and logit choice: Equality without symmetry, Games and Economic Behavior, , 2018, Vol. 110, pp.273-29



Others



기술경영학부



이수진, 박귀현, 김예강,
나시타 필라이



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

감사가 팀 창의성에 미치는 영향

많은 아이디어와 제품들은 팀원들 간의 공동의 노력을 통해 탄생한다. 이에 팀 창의성을 높이기 위한 방법을 찾는 것은 매우 중요한 화두이다. 본 연구는 “집단정보처리 관점”에 기반하여, 감사함을 느끼는 것이 팀 내에서 의견을 정교하게 발전시키는 과정을 통해 높은 수준의 팀 창의성을 발전시키는 강력한 선행요인임을 주장한다. 첫 번째 실험에서는 감사함을 느끼는 팀원들로 구성된 팀과 평상시 상태의 팀의 아이디어의 창의성 정도를 비교하였다. 두 번째 실험에서는 감사함을 느끼는 팀과 긍정적인 감정을 느끼는 팀을 비교하였다. 실험 결과 긍정적인 감정을 느끼는 팀은 더 높은 열정과 자신감을 나타내지만 팀원 간의 의견 교환 과정에 있어 아이디어를 정교하게 발전시키지 않아 단순 아이디어 개수만 많이 도출하였다. 하지만 감사함을 느끼는 팀의 경우 팀원이 낸 아이디어를 면밀한 검토와 고려를 통해 정교하게 발전시켜서 고품질의 창의적인 아이디어를 창출하였다.

요컨대 감사함이 팀원들 간의 의견 교환을 활성화해 시켜 정보처리의 정교성을 높임으로써 결과적으로 팀의 창의성을 향상시키는 것으로 나타났다.

연구성과

[논문] • Nashita Pillay, Guihyun Park*, Ye Kang Kim, & Sujin Lee* (Published 11/30/2019). Thanks for your ideas: Gratitude and team creativity. Organizational Behavior and Human Decision Processes, <https://doi.org/10.1016/j.obhdp.2019.11.005> *corresponding author [FT50 Journal]

KAIST'S TOP 10 RESEARCH ACHIEVEMENTS OF 2019

10대 우수성과

- 16 _ 전자 파동함수의 피코초 진동 관측법 개발
- 18 _ 1차원 공간상의 움직임으로 6n차원의 공간구조를 이해하는 방법론 제시
- 20 _ 인슐린, 글루카곤 분비를 조절하는 한 쌍의 글루코스 감지 뉴런
- 22 _ 비흡연자 폐선암의 암발생돌연변이 규명
- 24 _ 연성 박막 방열 장치 개발
- 26 _ 스마트폰을 이용한 뇌 신경회로 무선 제어 기술 개발
- 28 _ 세탁 가능한 입는 디스플레이 모듈 개발
- 30 _ 아침 시간 청백색 조명의 각성 효과
- 32 _ AI기반 자동물류 스마트 팩토리 솔루션
- 34 _ 포토 홀 효과

RESEARCH HIGHLIGHTS OF 2019

2019년 주요 연구성과



IT

- 38 연필 모양을 닮은 육각형 막대구조를 활용한 상온 양자 포토닉스 연구
- 39 아중규모 관측을 통한 해양에너지가 주입되는 공간규모의 정량화 및 기작과정 규명
- 40 통합적 GNSS 전리층 영향분석 및 응용 소프트웨어 개발
- 41 초해상도 및 영상보간 기술 개발
- 42 LTEFuzz: 이동통신 제어평면에 대한 자동화된 보안성 분석 툴
- 43 양자정보처리 자원으로서는 양자얽힘
- 44 박쥐를 모방한 고해상도 3차원 이미지 복원 기술 개발
- 45 소셜네트워크를 활용한 추천시스템 개발
- 46 TensorDIMM: 메모리 중심의 인공지능 가속기 컴퓨팅 시스템
- 47 이중 편파 평면 배열 안테나를 이용하는 밀리미터파 백홀을 위한 빔포밍
- 48 회절을 이용한 단일 렌즈 초분광 카메라 개발
- 49 모바일/IoT 다중 서피스 컴퓨팅을 위한 차세대 모바일 운영 체제 기술
- 50 반사/회절 인지 소리 위치 추적 기술
- 51 스마트폰으로 두드려 사물을 인식하는 신기술
- 52 클라우드소싱 라디오맵 구축 자동화 AI 기술 개발
- 53 빅데이터 기반 새로운 면역항암치료 예측예측 마커 발굴
- 54 머신 러닝을 이용한 감성적 음악 연주 생성 시스템
- 55 자율 주행 자동차의 도덕적 딜레마에 대한 인간의 도덕적 추론 유형 분류: 한국과 캐나다의 문화적 비교 연구



BT

- 56 소금 식욕 억제 신경회로 발견 및 조절
- 57 유전체 최소화 대장균 개발
- 58 간내 대사시냅스 조절을 통한 알코올성 지방간 치료표적 제시
- 59 유연 내시경 수술로봇, K-FLEX
- 60 신경망 분석을 위한 단일 세포 광열신경조절기술 개발
- 61 오일 축적 미생물 기반 지방산 및 연료 생산 기술 개발
- 62 바이오 기반 화학물질 합성 지도 개발



NT

- 63 반도체 내 양자 소용돌이 생성 기술 개발
- 64 DNA 기반 미세 구조체 패터닝 기술 개발
- 65 맥신 기반 인공근육
- 66 그래핀 기반 메타표면을 이용한 중적외선 빛의 세기 및 위상 독립 제어
- 67 복합막 데이터 분석을 통한 “필러인덱스” 제안과 이에 기반한 고성능 분리막 제조
- 68 고온 전기화학 소자를 위한 신개념 나노촉매 기술 개발



ST

- 69 소형 무인비행체의 충돌손상 평가



ET

- 70 인공지능망 기반 실시간 핵융합플라즈마 자기장 구조 재구성 기법 개발
- 71 신축성 있는 다공성 고분자를 이용한 천연 가스 저장 기술 세계 신기록 경신



CT

- 72 인공지능 이미지 분석을 기반으로 한 상업 영화에서 젠더 표현 편향 정량화



Others

- 73 거울상 선택적으로 분자 합성하는 새로운 촉매 개발
- 74 빛으로 세포 내 항체를 활성화 시키는 기술 개발
- 75 금융 빅데이터를 활용한 Factor GARCH-Ito 모델
- 76 구매자와 공급자간의 보너스 및 페널티 인센티브 계약의 효과 분석: 국가 간 차이가 존재하는가?
- 77 협상규범의 형성과 지속: 진화적 접근
- 78 감사가 팀 창의성에 미치는 영향



KAIST

COMPETITIVE EDGE

국가 경쟁력 강화를 위한 교육개혁 선도

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

연구 활성화 및 효율성 제고

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

산학협동을 통한 4차 산업혁명 대응 국가경쟁력 강화

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