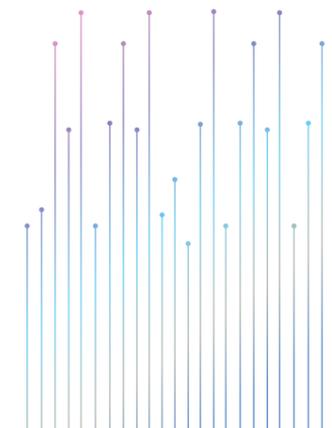


2022 ANNUAL R&D REPORT

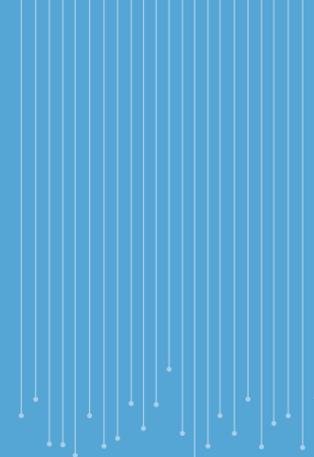


KAIST 2022 ANNUAL R&D REPORT 2021을 총 반년 연구성과

KAIST

KAIST

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



2022

KAIST
ANNUAL
R&D REPORT

Global Value-Creative Leading University

CONTENTS

발간사	06	Message from the President
비전 2031	08	KAIST Vision 2031
예산 및 지원 현황	10	Research & Development Budget
연구성과 통계자료	12	Research Outcomes
KAIST 10대 우수성과	14	KAIST's Top 10 Research Achievements of 2021
KAIST 주요 연구성과	36	KAIST's Research Highlights of 2021



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 아이디어는 멈추지 않는
열정과 도전 정신으로
세상을 바꾸는 가장 혁신적인 힘이 될 것입니다.

WORLD CLASS SCIENCE AND TECHNOLOGY UNIVERSITY

세계속의 KAIST는

쉽없이 달려온 51년, 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.

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

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

한국 속의
KAIST

세계의 중심에서
세상을 움직이는
최고의
과학기술대학

세계속의
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

KAIST는 지난 반세기 대한민국의 산업화와 과학기술 발전에 중추적인 역할을 담당해 왔습니다. 이제 우리 대학은 대한민국을 대표하는 과학기술 특성화 대학을 넘어, 국가와 인류, 지구를 위한 독특한 빛깔의 세계 10위권 대학을 목표로 새로운 반세기를 열어가고자 합니다.

KAIST의 미래 50년은 인류가 당면한 문제를 찾아 정의하고 해결하며, 국가와 인류의 번영 및 지속가능을 위한 글로벌 가치를 창출해야 합니다. 남들이 하지 않는 최초의 연구를 목표로 신지식/신기술을 창출하는 선도형 연구개발 역량을 키워나가며, KAIST 신문화 전략'QAIST'를 지속해서 추진해 나가야 합니다.

지난해 KAIST의 연구성과 5개가「2021년 국가연구개발 우수성과 100선」에 선정되었습니다. 우리 사회의 다양한 문제를 해결하기 위한 과학기술 기반의 연구성과를 통해 대한민국을 대표하는 교육/연구기관의 위상을 다시 한번 확인하였습니다. 또한 세계적 학술지 네이처(Nature)의 재료과학 분야 기관 순위(2021 Nature Index 2021 Materials Science)에서 세계 18위(국내 1위)를 기록하며, 국내 교육/연구기관 중 가장 우수한 연구경쟁력을 평가받았습니다.

「2022년 KAIST R&D Annual Report」에는 우수한 연구경쟁력을 바탕으로 2021년 한 해 동안 KAIST가 일구어낸 대표적인 연구혁신 성과들을 담았습니다. 본 연례보고서가 단순히 연구성과를 소개하는데 그치지 않고 KAIST의 구성원은 물론 과학기술계 연구자들에게 영감을 주어, 국가의 성장과 인류의 번영에 공헌할 수 있는 소중한 자료로 활용되기를 희망합니다.

앞으로 우리 대학은 코로나19로 인한 경제사회 구조의 대전환 속에 글로벌 인재양성과 과학기술을 통한 사회혁신으로, 인류의 행복과 번영을 실현하는 독특한 빛깔의 세계 일류대학으로 성장해 나가겠습니다.

여러분의 많은 관심과 성원을 부탁드립니다.
감사합니다.

2022년 5월

KAIST 총장 이광형

비전 2031 KAIST VISION 2031

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.



사회적 가치 창출 창의 리더십 인재 양성

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



인류와 국가의 난제 해결 연구

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



기술가치 창출 기업가형 대학

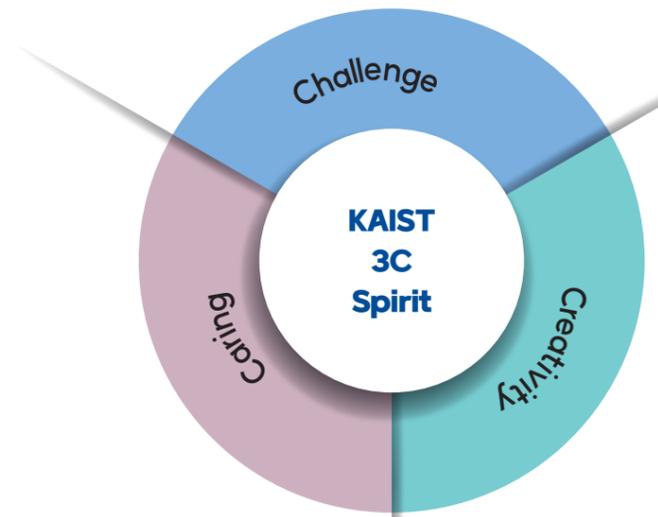
- ▶ 기업가 정신교육 설계 및 확산
- ▶ 창업지원기반 조성
- ▶ 지식재산 창출 및 관리 프로세스 전문화
- ▶ 기술출자 기업육성 및 산학협력 클러스터 구축



World Bridge KAIST by 2031

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

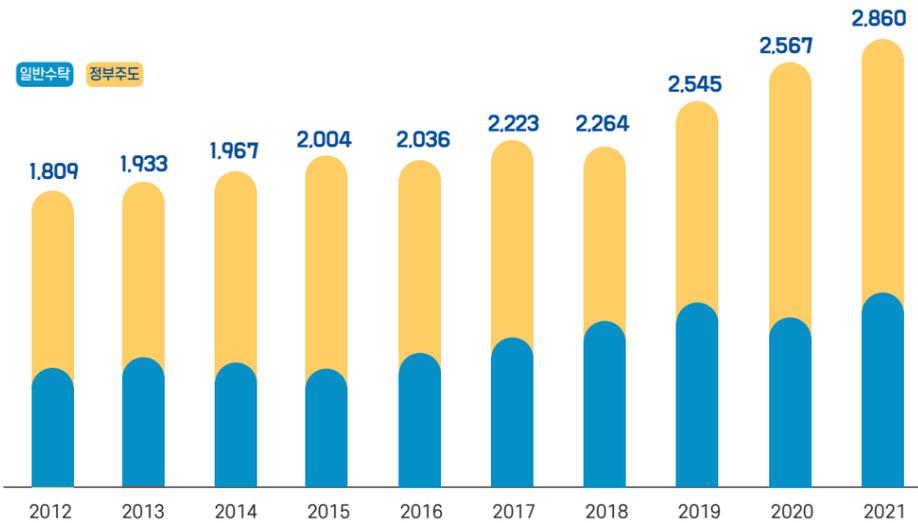
미래전략혁신 How와 What을 같이 추구하는 대학



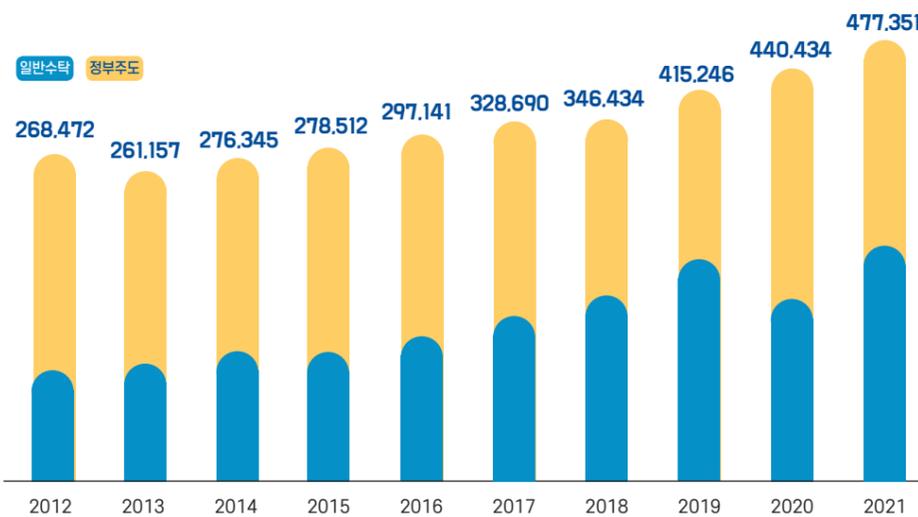


예산 및 지원 현황

최근 10년간 연구실적(과제수) 단위:건

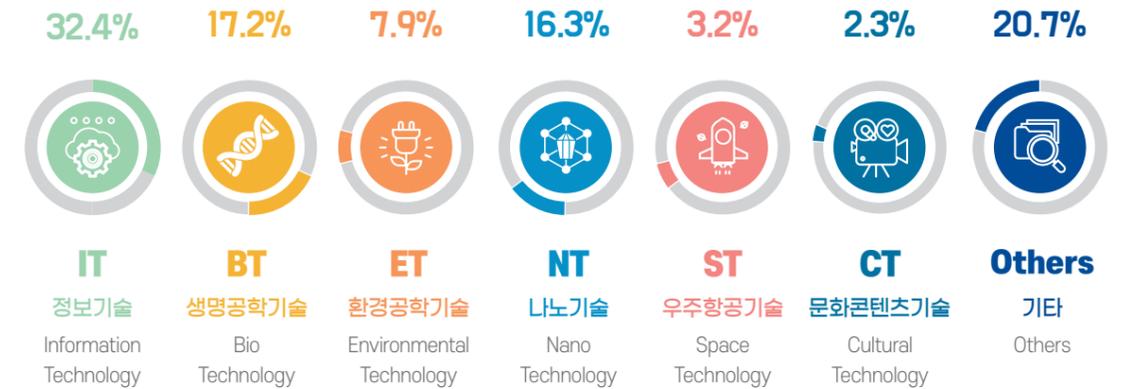


최근 10년간 연구실적(연구비) 단위:백만원

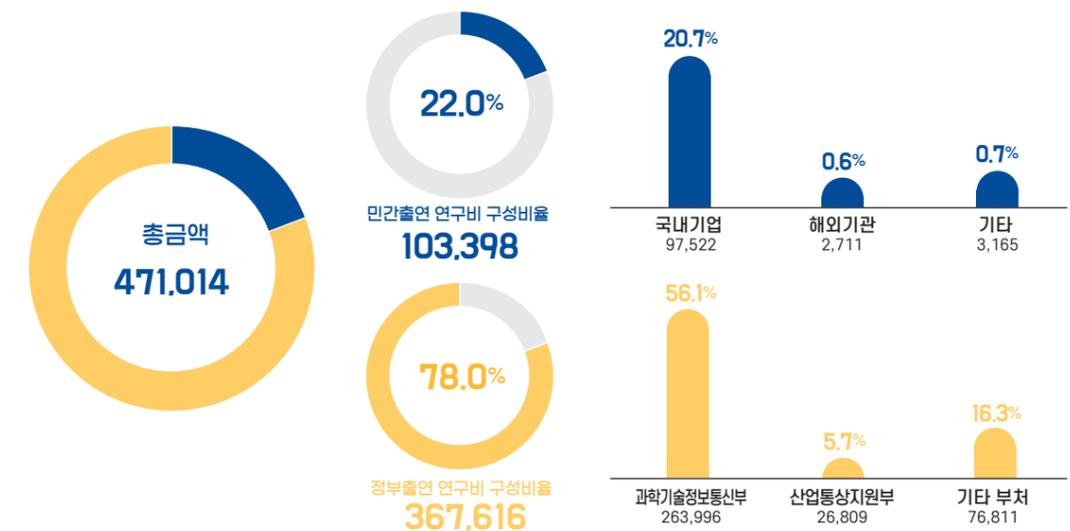


KAIST는 한국 최고의 국가 연구개발 기관으로서 다양한 과학기술 R&D 사업을 추진하고 있습니다.

BT 관련 비중별 구성비율



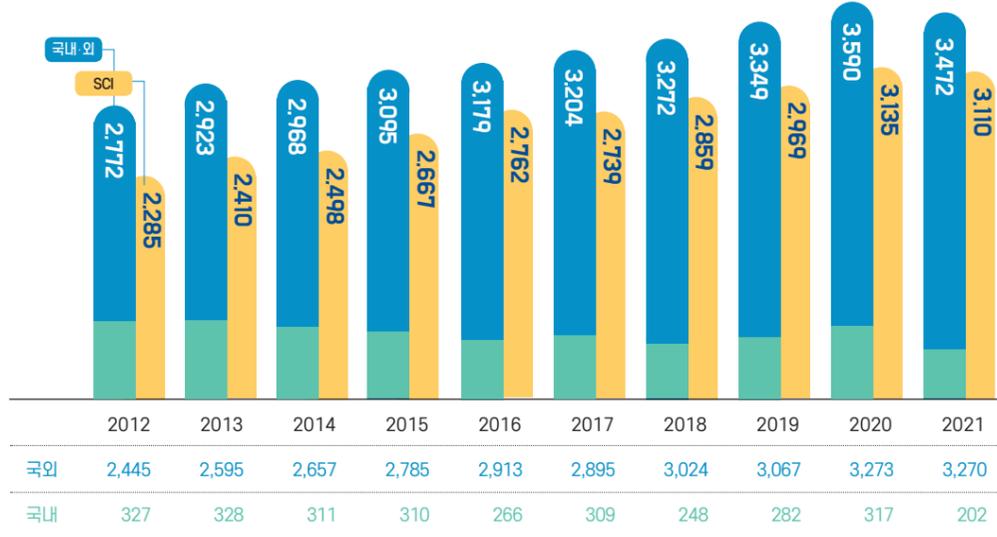
연구 계약금액 구성비 단위:백만원





연구성과 통계자료

최근 10년간 논문수 단위:건



최근 10년간 기술이전 계약실적 단위:건, 백만원

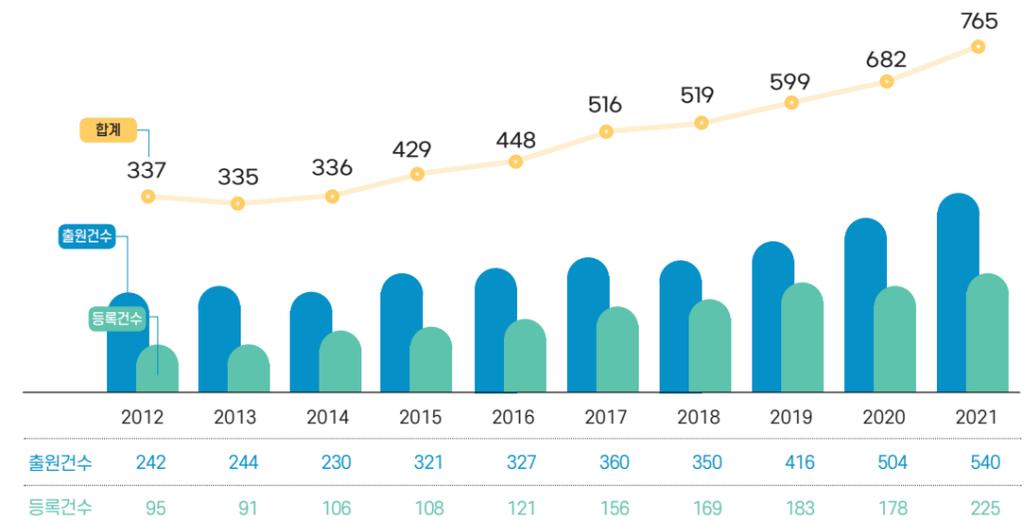


KAIST는 한국 최고의 국가 연구개발 기관으로서 다양한 과학기술 R&D 사업을 추진하고 있습니다.

최근 10년간 국내 특허실적 단위:건



최근 10년간 국외 특허실적 단위:건





KAIST'S TOP 10 RESEARCH ACHIEVEMENTS OF 2021

2021 KAIST 10대 우수성과

KAIST는 2022년 QS 세계 공학·기술 대학 순위 20위에 올랐습니다. 또한 국내 공학 대학 순위 1위, 아시아대학으로는 5위를 기록하였습니다. KAIST의 교수와 연구진들은 세계 속에 한국과학기술의 저력을 알려왔습니다. 세계 유수의 학술지에 게재된 2021년을 빛낸 KAIST의 10대 연구 성과를 소개합니다.



손실을 이득으로 바꾸는 폴라리톤 기반의 PT 대칭성 레이저 개발

Polariton-based PT symmetric laser
turns energy loss into gain

연구책임자: 조용훈 소속학과: 물리학과 홈페이지: <http://qnp.kaist.ac.kr>

정육각형 모양의 반도체 막대 구조 안에서 상호작용이 높은 양자 입자를 생성하여, 손실이 커질수록 발광 성능이 좋아지는 Parity-Time reversal Symmetry (PT 대칭성) 레이저를 개발하는데 성공하였다. 이를 위하여 빛과는 달리 상호작용이 높은 엑시톤-폴라리톤을 이용해 단 한 개의 정육각형 마이크로 공진기 안에 존재하는 서로 다른 모드 사이의 상호작용을 직접적으로 제어하였다. 육각 대칭성을 갖는 단일 공진기 내부에는 에너지가 동일하면서 정삼각형 및 역삼각형 형태의 경로를 갖는 두 개의 광학적 모드가 상호작용 없이 존재하게 되는데, 빛 대신 폴라리톤을 이용하면 엑시톤을 매개로 하여 두 개의 모드 사이에 직접적인 상호작용이 가능하다. 이 중 역삼각형 모드에 대해서만 손실 크기를 연속적으로 조절할 수 있도록 나비넥타이 모양으로 홈이 파여진 기판과 결합했는데, 이를 통해 손실이 증가할수록 작동에 필요한 에너지가 도리어 더 작아진다는 특이한 결과를 상온에서 관측하고 그 원인을 체계적으로 규명했다. 이는 일반적으로 손실이 클수록 작동에 필요한 에너지가 증가한다는 일반적인 직관과는 상반되는 결과로서, 기존에 빛을 이용한 PT 대칭성 시스템의 복잡성과 한계를 극복하고 단 하나의 반도체 마이크로 공진기를 이용해 폴라리톤 기반의 PT 대칭성 레이저를 최초로 구현하였다. 이번 연구를 통해 개발된 PT 대칭성 레이저는 향후 고효율의 레이저 소자부터 양자 광소자에 이르기까지 광범위하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

1. 연구배경

어떠한 물리 시스템에서든 손실(loss)은 가능한 최소화되거나 제거해야 하는 대상으로 인식되어 왔다. 예를 들어, 이득(gain)이 필요한 레이저 시스템에서 손실이 있는 경우에는 작동에 필요한 문턱 에너지가 증가하게 되므로 손실은 가능한 줄여야 하는 대상이었다. 하지만, 양자역학에서 존재하는 PT 대칭성 (parity-time reversal symmetry) 및 붕괴 개념을 수학적 유사성을 통해 광학 시스템에 적용하게 되면, 오히려 손실을 작동에 유익한 방향으로 이용할 수 있는 독특한 광학적 시스템이 가능해진다.

광자로만 구성된 시스템으로 PT 대칭성을 구현하기 위해서는 다음과 같은 까다로운 조건들을 충족시켜야 한다. 기본적으로 광자는 서로 간의 상호작용이 존재하지 않기 때문에, 결합을 매개하기 위해서 공간적으로 분리된 두 개 이상의 광학적 단위구조를 제작해야 한다. 이때, 고유 에너지 (eigenenergy)를 일치시키기 위해서 오차 없이 동일하게 두 구조를 제작해야 하고 이러한 단위구조들에 대하여 손실과 이득을 각각 개별적으로 조절해야 하는 복잡한 제어 과정이 필요하게 된다.

한편, 광자가 진공이나 유전체가 아닌 직접천이형 반도체 내부에 오랜 시간 동안 머물 수 있는 적절한 조건이 성립되면, 반도체 내부의 엑시톤과 광자의 특징을 동시에 갖는 엑시톤-폴라리톤(exciton-polariton)이라는 준-입자를 생성할 수 있다. 엑시톤-폴라리톤은 엑시톤이 갖는 물질적인 성질로 인해 서로 간의 상호작용이 가능해지며, 보즈-아인슈타인 응축현상을 구현할 수 있다. 엑시톤-폴라리톤의 생성 온도는 엑시톤 결합 에너지에 의해서 결정되는데, 대부분의 반도체 물질에서는 열에너지에 의해 엑시톤이 해리되기 때문에 극저온의 실험환경이 필수적인 요소였다. 하지만, 질화물 반도체의 경우 엑시톤 결합 에너지가 상온에서의 열에너지보다 크기 때문에 상온에서도 안정적으로 엑시톤-폴라리톤을 형성할 수 있다.

2. 연구내용

이번 연구에서는 기존의 상호작용이 없는 광자를 이용한 PT 대칭성 구현 방식과는 달리, 서로 간의 상호작용이 가능한 엑시톤-폴라리톤을 이용하였으며, 단 한 개의 정육각형 마이크로 공진기 안에 존재하는 축퇴된 서로 다른 고유 모드 (eigenmode) 사이의 상호작용을 직접적으로 제어할 수 있는 독자적인 방법을 고안하였다.

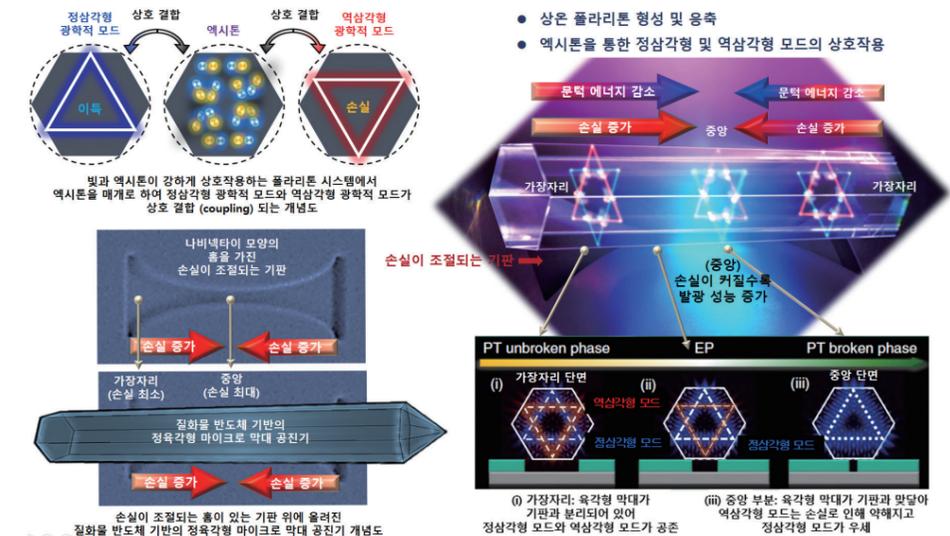
육방정계 (Wurtzite) 결정 구조를 갖는 질화물 반도체를 이용하면 정육각형 대칭성을 갖는 마이크로 막대 구조를 성장할 수 있는데, 정육각형 단면을 갖는 공진기 내부에는 에너지가 동일하면서 정삼각형 및 역삼각형 형태의 경로를 갖는 두 개의 고유 모드가 상호작용 없이 존재하게 된다. 이렇게 질화물 반도체로 제작된 육각 마이크로 막대 구조에서 엑시톤-폴라리톤을 형성하면 엑시톤을 매개로 하여 두 개의 모드 사이에 직접적인 상호작용이 가능할 것이라는 점에 착안했다.

이 중 정삼각형 모드에는 영향을 주지 않으면서 역삼각형 모드에 대해서만 손실 크기를 연속적으로 조절할 수 있도록 나비넥타이 모양으로 홈이 파여진 기판 위에 마이크로 막대 공진기를 올려놓았는데, 이를 통해 기판에 의한 손실이 증가할수록 보즈-아인슈타인 응축 현상에 필요한 문턱 에너지가 도리어 더 작아진다는 특이한 결과를 상온에서 관측하고 그 원인을 체계적으로 규명하였다.

3. 기대효과

이는 일반적으로 손실이 클수록 작동에 필요한 에너지가 증가한다는 일반적인 직관과는 상반되는 결과로서, 기존에 빛을 이용한 PT 대칭성 시스템의 복잡성과 한계를 극복하고, 단 하나의 반도체 마이크로 공진기만으로 PT 대칭성 레이저를 최초로 구현했다는 데 의미가 있다. 이와 같은 PT 대칭성을 적용한 시스템은 기존에 제거하거나 극복해야 하는 대상이었던 손실을 역으로 이용해서 결과적으로 이득이 될 수 있게 해 주는 중요한 플랫폼을 제공하는데, 이를 이용하여 기존 레이저의 문턱 에너지를 낮추거나, 비선형 광소자 및 정밀한 광센서 같은 광소자에도 적용될 수 있을 뿐만 아니라 빛의 방향성을 제어할 수 있는 비가역적인 소자나 초유체 기반의 집적회로 양자 광소자 등 신개념 소자에 활용될 수 있다.

그림. 엑시톤-폴라리톤 기반의 PT 대칭성 레이저 개념도



연구성과

논문 "Room-temperature polaritonic non-Hermitian system with single microcavity", H. G. Song, M. Choi, K. Y. Woo, C. H. Park, and Y. H. Cho*, Nature Photonics 15, 582 (2021). [Impact Factor = 38.771]

"Tailoring the potential landscape of room-temperature single-mode whispering gallery polariton condensate", 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*, Optica 6, 1313 (2019). [IF = 11.104]

수상 한국과학기술한림원 주관, 에쓰오일 우수학위논문상 (물리학과 분야 대상) 수상 (2021. 12. 2 수상)

홍보 Phys.org, 한국광학회 K-Light, 한국물리학회 물리학과 첨단기술 등 다수 소개

연구비 지원

정부과제: 한국연구재단 중견연구자지원사업 및 원천기술개발사업, 삼성미래기술육성사업



1차원 공간위의 약한 충격파를 포함하는 리만문제 해결

Resolution of Riemann problem for weak shock in one space dimension

연구책임자: 강문진 | 소속학과: 수리과학과 | 홈페이지: <https://sites.google.com/site/moonjinkang81/>

압축성 유체의 흐름에서 발생하는 충격파의 안정성에 관한 오래된 미해결 난제인 리만문제의 중요한 부분을 최초로 해결하였다. 구체적으로 다음과 같이 기술되는 추측의 중요한 부분을 해결하였다. 1차원 공간 위에서 정의된 압축성 오일러 방정식의 특이점으로 서로 다른 두 개의 상수상태를 평면 불연속으로 연결하는 약한 충격파가 물리적 섭동에 의하여 대역적으로 안정적임을 나비에-스토크스 방정식의 비점성 극한들의 집합 위에서 증명하였다. 이를 위해 다양한 편미분 방정식 모델에 적용 가능한 혁신적이고 강력한 해석적 방법론을 개발하였다.

1. 연구배경

1752년에 오일러(Euler)에 의해 최초로 유도된 압축성 오일러 방정식은 압축성 비점성(invscid) 유체의 역학을 기술하는 가장 유명한 비선형 편미분 방정식으로써 다양한 분야에서 광범위하게 사용돼 왔다. 압축성 오일러 방정식의 가장 중요한 특징은 충격파(shock)라는 특이한 해를 갖는 것이다. 이 특이점의 불연속성과 비가역성에 의해 충격파는 난해한 연구 대상이고, 19세기 중반에 이르러서야 리만(Riemann)에 의해 수학적으로 엄밀하게 연구되기 시작했다. 리만에 의해 제시된 충격파를 포함하는 불연속 파동에 관한 리만문제(Riemann problem)는 압축성 오일러 방정식의 자기닮음 파동의 안정성에 관한 문제이다. 구체적으로 리만문제를 기술하자면 다음과 같다.

리만문제: 서로 다른 두 개의 상수상태를 평면 불연속으로 연결하는 초기 상태에서 발현된 자기닮음 파동이 물리적 섭동에 의하여 시간의 흐름에 따라 안정적인가?

이러한 리만문제는 19세기 중반에 유체의 점성 효과를 고려하기 위해 압축성 오일러 방정식에 점성 항(viscous term)을 추가함으로써 유도 된 나비에-스토크스(Navier-Stokes) 방정식의 등장과 20세기의 해석학의 비약적인 발전에 의해 다음과 같은 추측(conjecture)으로 재정립되었다.

추측: 리만문제는 압축성 나비에-스토크스 방정식의 비점성 극한(vanishing viscosity limit)들의 집합 위에서 해결될 수 있다.

위의 추측은 수리유체역학 분야에서 가장 중요하고 오래된 문제로서 단순한 경우조차 미해결인 난제이다.

2. 연구내용

Alexis Vasseur 교수와의 공동 연구에 의해 위의 추측의 중요한 부분이 최초로 해결되었다. 구체적으로 1차원 공간 위에서 정의된 압축성 나비에-스토크스 방정식의 비점성 극한들의 집합 위에서 오일러의 약한 충격파(weak shock)의 안정성을 증명하는데 성공하였다. 약한 충격파의 안정성을 1차원 공간 위에서 해결하기 위하여 다양한 맥락에서 적용 가능한 형태의 혁신적이고 강력한 해석적 방법론을 개발하였다. 개발된 새로운 방법론의 구체적인 아이디어는 다음과 같다.

3. 기대효과

우선 나비에-스토크스 방정식의 비점성 극한들의 존재성을 보장하기 위하여 충격파에 대응하는 나비에-스토크스 방정식의 점성 충격파(viscous shock)를 고려하는데, 점성 충격파는 점성 계수가 0으로 접근함에 따라 충격파로 수렴하는 나비에-스토크스 방정식의 특이한 해이다. 이러한 점성 충격파 주변에서 임의의 크기를 갖는 섭동의 균등적인 안정성(uniform stability)을 증명할 수 있다면 원하는 비점성 극한들의 존재성을 보장받을 수 있게 된다. 리만문제에서 언급한 충격파와 물리적 섭동은 오일러 방정식의 엔트로피 해를 의미하기 때문에 추측을 해결하기 위한 시작점으로써 오일러 방정식의 엔트로피가 갖는 수학적 성질을 잘 이해하고 활용하는 것이다. 엔트로피에 관한 중요한 수학적 성질은 엔트로피가 해에 관하여 strictly convex하다는 것이다. 따라서 이러한 엔트로피에 의해 정의된 상대엔트로피(relative entropy)는 거리 범함수(distance functional)의 역할을 수행할 수 있기 때문에, 나비에-스토크스 방정식의 점성 충격파와 그것의 임의의 섭동과의 거리를 재는데 상대엔트로피를 이용하는 것은 자연스러운 접근 방법이다. 그런데 점성 충격파는 서로 다른 두 개의 상수 상태에 의해 결정된 어떤 상수 속도로 움직이는 반면에 그것의 임의의 섭동(밀도, 운동량, 에너지의 함수들로 구성됨)은 일반적으로 공간의 각 점마다 서로 다른 속도로 공간상에서 퍼져나간다. 따라서 이러한 서로 다른 전파 속도를 제어하기 위하여 임의의 섭동을 공간적으로 평행이동 시키는 함수와 가중치 함수를 적절하게 구축하는 작업이 필요하다. 즉, 적절한 공간적 평행이동과 가중치 하에서 점성 충격파의 임의의 섭동의 궤도 안정성(orbital stability)을 시간과 점성계수에 의존하지 않도록 제어하는 것이 새로운 방법론의 핵심 아이디어이다.

위에서 제시된 연구 성과는 압축성 오일러 및 나비에-스토크스 방정식의 충격파를 포함한 일반적인 엔트로피 해의 존재성, 유일성 및 안정성에 관한 체계적인 연구를 위한 이론적 토대를 제공한다. 또한 연구 결과는 다른 형태의 편미분 방정식의 연구에도 적용될 수 있다. 구체적으로, 압축성 오일러 방정식이 갖는 수학적 구조는 쌍곡형 보존법칙들(hyperbolic conservation laws)이라는 추상적 구조로 설명될 수 있고, 오일러 방정식에서 얻은 결과는 이러한 추상적 구조를 갖는 다양한 형태의 편미분 방정식들의 연구에 적용될 수 있다. 예를 들어, 맥스웰(Maxwell) 방정식, 자기유체역학(magnetohydrodynamics)에 관한 방정식, hyperelastic materials(e.g. strings, membranes)에 관한 방정식뿐만 아니라 최근에 모델링 된 교통량의 흐름, 혈액의 흐름, 에너지 재생에 관한 방정식들은 모두 압축성 오일러 방정식과 동일한 수학적 구조를 갖는다. 따라서 이러한 방정식들에 대해서도 동일하게 리만문제(즉, 위의 모델들의 불연속 파동의 안정성 문제)를 고려할 수 있다. 사실, 위의 몇몇 모델들에 관한 리만문제는 예전부터 중요하게 거론돼 왔고 현재까지 미해결 난제로 남아 있다. 해당 연구 결과는 이러한 다양한 모델들에 대응하는 리만문제를 해결하기 위한 최초의 이론적 토대를 제공한다. 한편 제시된 새로운 방법론은 궁극적으로 리만문제에 관한 추측을 완전히 해결하기 위한 핵심 도구로 사용되어 질 것이다. 구체적으로, 새로운 방법론은 기본적으로 에너지 방법론에 기반을 두고 있어서 충격파를 포함하는 다양한 형태의 자기닮음 파동들(즉, rarefaction wave, contact discontinuity)의 합성파동의 안정성을 증명하는데 활용되어 질 수 있다. 또한 방법론은 점성을 갖는 다양한 맥락의 모델 연구에 활용될 수 있는 강인함(robustness)이 있다. 이는 압축성 나비에-스토크스 방정식에 내포된 보존법칙들의 점성 쌍곡형의 추상적 구조와 엔트로피 구조에 기반을 두고 개발되었기 때문에 일반적인 맥락에서 다양한 모델에 적용 가능하다. 실제로 최근에 이 방법론을 적용하여 종양 혈관 생성(tumour angiogenesis)의 원리를 기술하는 편미분방정식 모델의 진행파 주변에서 임의의 크기로 발생하는 해의 존재성, 유일성, 안정성을 증명하는데 성공하였다.

연구성과

- 논문** Moon-Jin Kang and Alexis Vasseur, Uniqueness and stability of entropy shocks to the isentropic Euler system in a class of inviscid limits from a large family of Navier-Stokes systems, *Inventiones mathematicae*, Vol. 224, pages 55-146, 2021.
- Moon-Jin Kang and Alexis Vasseur, Contraction property for large perturbations of shocks of the barotropic Navier-Stokes system, *Journal of the European Mathematical Society*, Vol.23 pages 585-638, 2021.
- 수상** 2021년 대한수학회 봄 학술대회 논문상 수상 논문

연구비 지원 정부과제(한국연구재단, 블라소브 형태의 방정식의 유체극한과 쌍곡 보존 시스템에 관한 연구)



코로나19 환자의 면역반응 특성 규명

Characterization of immune responses in patients with COVID-19

연구책임자 신의철 소속학과 의과대학원 홈페이지 <http://iuid.kaist.ac.kr/>

코로나19 팬데믹이 시작되면서 코로나19 환자에서 일어나는 면역반응의 특성을 정확히 규명하는 것은 의학적으로 중요한 과제였다. 본 연구에서는 코로나19 환자의 면역세포를 분자 및 세포 수준에서 정확히 규명하여, 중증 코로나19 환자에서는 1형 인터페론이 과잉 염증반응을 일으키는 원인을 세계 최초로 밝혔다. 그리고 코로나19 환자에서는 코로나19 바이러스에 대한 CD8 T세포가 탈진 현상 없이 제대로 기능한다는 사실을 세계 처음으로 보고하였다. 이러한 연구결과로 인해 코로나19 환자의 치료 및 백신개발에 있어 중요한 학술적 토대를 제공하게 되었다.

1. 연구배경

2019년 말 처음 출현하여 2020년부터 팬데믹을 일으키고 있는 코로나19는 현재까지도 심각한 공중보건 문제를 일으키고 있다. 코로나19와 같은 새로운 바이러스 질병이 유행하면 이에 효과적으로 대응하기 위해 신종 바이러스에 대한 인체의 면역반응 특성을 신속히 파악해야 한다. 하지만 코로나19가 출현한 이후 중요한 면역학적 질문에 대해 정확한 답을 구하지 못하고 있던 상황이었다. 이러한 주요 면역학적 질문들은 다음과 같은 것들이 있었다. “어떤 환자들은 무증상이나 경증질환으로 넘어가는데 왜 어떤 환자들은 중증질환으로 이행되어 사망까지 하는가?” “코로나19 환자를 사망에까지 이르게 하는 사이토카인 폭풍은 왜 일어나는가?” “코로나19에 걸렸다가 자연 회복되는 과정에서 항체나 T세포 면역반응은 잘 일어나는가?” “기억 면역반응은 회복 후 얼마나 오랫동안 지속되는가?” 이러한 상황에서 본 연구팀은 2020년과 2021년에 걸쳐 이러한 주요 면역학적 질문에 대한 연구를 수행하여 아래와 같은 연구결과들을 제시할 수 있었다.

2. 연구내용

코로나19 팬데믹 유행 후, 본 연구팀은 먼저 “동일한 코로나19 바이러스에 감염되는데 왜 어떤 환자들은 중증으로 앓고 어떤 환자들은 경증으로 앓는지”에 대한 해답을 구하는 연구를 수행하였다. 이를 위해 중증 및 경증 코로나19 환자의 혈액에서 백혈구 세포들을 분리한 후, 단일세포 전사체 분석 기법을 활용하여 유전자 발현 특성을 개개의 세포 단위에서 분석하였다. 그리고 인플루엔자(독감)에 걸려 중증질환을 앓는 환자들의 혈액도 포함하여 비교 분석을 하였다. 그 결과, 코로나19와 인플루엔자는 제각각의 고유한 면역학적 특성을 나타내었다. 인플루엔자 환자들의 면역세포에서는 인터페론 자극을 받은 영향이 나타났고, 코로나19 환자들의 면역세포에서는 TNF 및 IL-1 자극을 받은 영향이 나타났다. 그런데 중증 코로나19 환자들로 좁혀서 분석해보니, 코로나19의 특성인 TNF와 IL-1의 영향과 함께 인플루엔자의 특성인 인터페론의 영향이 공존하는 것이 뚜렷하게 나타났다. 즉 원래 코로나19와 인플루엔자는 각기 다른 종류의 사이토카인들의 영향을 받아 과잉염증이 되는데, 중증 코로나19 환자에서는 이 모든 것이 다 함께 나타난다는 점을 밝힌 것으로 이를 통해 중증 코로나19 환자에서 나타나는 과잉염증 반응, 즉 사이토카인 폭풍의 구체적인 기전을 세계 최초로 밝혀지게 되었다(Sci Immunol 5:eabd1554, 2020).

그다음으로, 코로나19 환자에서 나타나는 T세포 면역반응 특성규명 연구를 수행하였다. T세포는 바이러스에 감염된 세포들을 재빨리 제거해 주어 바이러스 증식을 막아주는 역할을 하는 면역세포이다. 그런데 코로나19가 출현한 직후부터 코로나19 환자들의 T세포가 제 기능을 하지 못하는 것 같다는 논문들이 나오는 상황이었다. 본

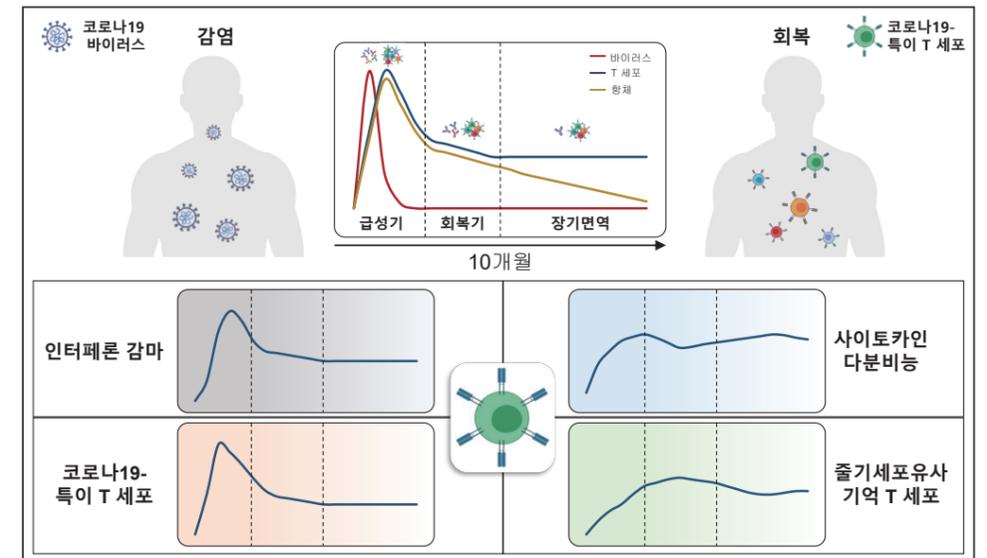
3. 기대효과

연구팀은 코로나19 바이러스 항원에 특이적으로 결합하는 T세포들만을 식별하는 MHC-I multimer 기법을 적용하여 200명이 넘는 환자의 혈액 샘플을 분석하였고, 그 결과 코로나19 환자에서 코로나19 바이러스에 특이적인 T세포들은 특별한 문제없이 항바이러스 기능을 제대로 발휘한다는 사실을 세계 최초로 보고하였다(Immunity 54:44, 2021). 이외에도 코로나19 회복자들의 혈액을 회복 후 10개월까지 분석하여, 코로나19 바이러스에 특이적인 기억 T세포 반응이 10개월 동안 잘 유지된다는 것을 보고하기도 하였다(Nat Commun 12:4043, 2021).

코로나19 팬데믹 초기에는 항바이러스제로서 인터페론 단백질을 환자에게 투여하는 임상시험이 수행되기도 하였는데, 본 연구를 통해 중증 코로나19 환자에서 일어나는 사이토카인 폭풍 현상에 있어 인터페론이 중요한 역할을 한다는 사실을 밝힘으로써 인터페론 임상시험은 감염초기 경증 환자에서만 수행하도록 하는 학계의 논의를 이끌어내었다(Nat Rev Immunol 20:585, 2020). 또한 코로나19 환자에서 T세포 면역반응이 정상적으로 수행되고 회복 후에는 기억 T세포 반응이 10개월 넘게 유지된다는 사실을 밝힘으로써 코로나19 팬데믹에 있어 T세포 면역을 대응의 한 축으로 삼는 학계의 논의를 이끌게 되었다(Nat Rev Immunol 21:687-688, 2021). 뿐만 아니라, 새로운 코로나19 백신 개발에 있어, T세포를 타겟으로 하여 중증질환으로의 이행을 예방하는 백신개발의 방향을 제시하게 되었다.

(Nat Biotech <https://doi.org/10.1038/d41587-021-00025-3>, 2021-12-13)

그림. 코로나19 회복 후의 T세포 면역



연구 성과

논문 Lee JS, Park S, Jeong HW, Ahn JY, Choi SJ, Lee H, Choi B, Nam SK, Sa M, Kwon JS, Jeong SJ, Lee HK, Park SH, Park SH, Choi JY, Kim SH, Jung I, Shin EC*. Immunophenotyping of COVID-19 and influenza highlights the role of type I interferons in development of severe COVID-19. Sci Immunol 5:eabd1554, 2020 (Impact factor = 17.727; 363회 인용, 구글 스칼라)

Rha MS, Jeong HW, Ko JH, Choi SJ, Seo IH, Lee JS, Sa M, Kim AR, Joo EJ, Ahn JY, Kim JH, Song KH, Kim ES, Oh DH, Ahn MY, Choi HK, Jeon JH, Choi JP, Kim HB, Kim YK, Park SH, Choi WS, Choi JY, Peck KR, Shin EC*. PD-1-expressing SARS-CoV-2-specific CD8+ T cells are not exhausted, but functional in patients with COVID-19. Immunity 54:44-52, 2021 (Impact factor = 31.745; 69회 인용, 구글 스칼라)

코로나19 팬데믹에 대한 comment paper 2편

1) Lee JS, Shin EC. The type I interferon response in COVID-19: implications for treatment. Nat Rev Immunol 20:585-586, 2020 (Impact factor = 53.106; 162회 인용)

2) Noh JY, Jeong HW, Kim JH, Shin EC. T cell-oriented strategies for controlling the COVID-19 pandemic. Nat Rev Immunol 21:687-688, 2021 (Impact factor = 53.106)

홍보 국내외 언론 홍보 다수 (Scientific American 등)

연구비 지원

삼성미래기술육성재단 (세포독성이 강한 NKG2D+CD8+ T세포의 특성 및 역할 규명)
※ 기관고유과제, 정부과제, 기업과제, 해외과제 등



플라즈마 제트를 이용한 유체 표면 안정화

Fluid surface stabilization using plasma jets

연구책임자: 최원호 | 소속학과: 원자력및양자공학과 | 홈페이지: <http://gdpl.kaist.ac.kr>

제트 기체를 액체 표면에 분사시키는 구조는 과학분야와 산업기술에서 다양하게 쓰이고 있지만, 기체 제트가 분사되는 액체 표면에서 유체역학적으로 불안정성이 커져 이를 안정화하는 방법에 대한 연구가 절실했다. 본 연구에서는 기체를 이온화시킨 플라즈마가 기체와 액체 사이 경계면의 유체역학적 안정성을 높이는 것을 최초로 발견하고 그 원인을 규명하였다. 플라즈마 제트에 의해 유체 표면에 인가되는 힘은 유체방울의 생성이나 방울이 튀어오르는 것을 최소화하면서도 보다 안정적으로 경계면을 깊이 파이게 한다. 특히, 본 연구는 중성기체 제트에 비해 플라즈마 제트가 경계면에 더욱 깊고 안정적인 공동을 만드는 원인이 수면을 따라 전파되는 가스 이온화 펄스파인 '플라즈마 총알'의 영향임을 보였다. 본 연구는 플라즈마 제트를 활용한 기초 응용과학 발전에 쓸 수 있는 기초 기술을 개발한 것으로 과학 연구와 산업 현장에서 기초 기술로 활용할 수 있으며, 플라즈마 의료, 생명, 농업, 식품, 화학 등 여러 분야의 기술 개발에 기여할 것으로 기대된다.

1. 연구배경

컵에 담긴 물 표면을 향해 빨대로 바람을 불어 넣을 때 경계면이 움푹 들어가는 것과 같이 기체와 액체 사이의 경계면에서 나타나는 기체 유동에 의한 현상들은 다양한 산업 공정에서 활발히 쓰이고 있을 뿐만 아니라, 수면과 충돌하는 로켓 배기가스에 대한 연구 등 경계면 현상들은 기초와 응용 연구 분야에서도 주목받아 왔다. 그럼에도 불구하고 기체 유동에 의해서 기체와 액체 경계면에서 일어나는 유체역학적 불안정성의 원인에 대한 이해가 부족하여 현상에 대한 높은 관심도에 비해 활용성을 높이는 데 한계가 있었다. 계면에서 일어나는 이러한 불안정성은 전기유체역학적 불안정성(electrohydrodynamic instability)으로 인한 테일러 원뿔(Taylor cone) 현상과 같이 기체 또는 액체가 전기적 특성을 가지고 있는 경우에도 나타난다. 그러나 이러한 액체 계면의 불안정성과 이와 관련된 현상들은 복합적인 원인으로 인해 나타나기 때문에 심도 있는 이해가 이뤄지지 않았다.

2. 연구내용

본 연구에서는 플라즈마에 의한 전기바람 발생의 기본 원리를 탐구하며, 기체를 이온화시킨 플라즈마가 기체와 액체 사이의 경계면의 유체역학적 안정성을 증가시키는 것을 최초로 발견하고 이를 규명하는 데 성공했다. 물 표면을 향해 플라즈마가 있는 기체 제트를 분사할 경우, 플라즈마가 발생시키는 전기바람(electric wind)에 의해 물 표면이 더 깊이 파이는데도 불구하고 표면의 안정성이 향상되는 것을 발견하였다. 연구팀이 본 실험에 활용한 플라즈마 제트에서는 '플라즈마 총알(plasma bullet)'로 불리는 높은 속도의 이온화 파동과 전기바람이 발생하는데, 이들에 의해 물 표면이 안정화되는 것을 실험적으로 확인하였다. 플라즈마 제트가 물 표면에 도달한 이후 물의 곡선 표면을 따라 수십 km/s 속력으로 이동하는 플라즈마 총알이 물 표면과 나란한 방향으로 강한 전기장을 발생시킨다. 이 전기장과 물 표면 사이의 전기역학적인 상호작용을 통해 표면의 깊이가 깊어지더라도 물 표면의 모양이 흐트러지지 않고 유지되며 안정적으로 공동이 형성되는 원인을 세계 최초로 규명했다. 또한

3. 기대효과

플라즈마를 만들기 위해 인가한 전압의 펄스 폭을 증가시키면 물 표면이 더 깊어지는 것을 발견하여, 플라즈마에 의한 전기역학적 힘(electrohydrodynamic force)이 물 표면에 가해지는 힘에 큰 역할을 한다는 것을 실험적으로 증명하고, 안정성 또한 향상시키는 것을 규명했다. 이와 더불어, 본 연구팀은 플라즈마 제트와 물 표면에 대한 이론적 전산모형을 개발하여, 실험적으로 발견한 현상을 이론적으로 검증하였다. 개발한 플라즈마 및 유체 전산모형을 이용하여 플라즈마의 특성과 물표면 방향의 전기장 세기를 시공간적으로 분석하고, 이 결과를 바탕으로 전기바람에 의해 물 표면 공동의 깊이가 깊어지면서도 경계면을 안정적으로 만드는 요인을 정량적으로 규명해 냈다.

연구팀이 활용한 플라즈마 제트는 최근 여러 학제간 연구 분야에 다양한 목적으로 활용되고 있다. 따라서 본 연구는 대기압 플라즈마와 같이 약하게 이온화된 플라즈마에서 나타나는 하전입자와 중성입자 사이의 상호작용을 이해하는데 유용한 기반이 되고, 경제적이고 산업적 응용이 가능한 플라즈마 유체 제어 분야를 확대하고 활용을 가속시키는 데 큰 역할을 할 것으로 기대한다. 뿐만 아니라 그동안 부족했던 플라즈마 제트와 물 표면 사이의 상호작용에 대한 이해를 통해 이와 밀접한 관련이 있는 플라즈마 의료, 생명, 농업, 식품, 화학 분야 기술 개발 및 발전에 많은 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.



그림1. 기체 제트의 이온화를 통한 액체 표면의 안정화를 묘사한 실험



그림2. Video: High-speed shadowgraph movie of water surface deformations induced by plasma impingement

연구성과

- 논문** S. Park, W. Choe, H. Lee, J. Y. Park, J. Kim, S. Y. Moon & U. Cvelbar, "Stabilization of liquid instabilities with ionized gas jets", Nature 592, 49-53 (2021) [2020-21 Impact Factor = 49.962].
- 행보** 국내 언론보도 27여 회, 외국 언론보도 10여회(Science Daily 등)
 Highlighted in Asia Research News (selected as front cover picture)
 한국물리학회 2021가을 학술대회 초록집의 커버 이미지로 선정
 KAIST 홈페이지 및 KAIST Breakthrough '21에 홍보
 International Low Temperature Plasma Community Newsletter 14에 기사 소개

연구비 지원

KAIST High-Risk and High-Return 프로젝트
 한국연구재단 개인연구지원사업(우수신진연구)



이벤트 카메라 기반 시각 인지기술

Event Camera-based Visual Perception

연구책임자: 윤국진 | 소속학과: 기계공학과 | 홈페이지: <http://vi.kaist.ac.kr>

자율주행 자동차나 드론, 로봇, UAV 등과 같은 인공지능 기반 자율 시스템에서 핵심적으로 사용되는 카메라들은 센서 자체의 여러 가지 한계들로 인해 자율 시스템의 시각 인지에 많은 어려움을 초래한다. 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해, 이벤트 카메라 혹은 뉴로모픽 카메라라고 불리는 새로운 시각 센서를 이용하여, 보다 다양하고 도전적인 상황에서도 높은 수준의 시각 인지를 가능하게 하는 새로운 시각 인지 기술을 개발하였다. 2021년도에 인공지능 분야에서 최고 저널 및 학술대회인 IEEE TPAMI, IJCV와 IEEE/CVF CVPR, ICCV 등에도 다수의 논문을 발표하였다. 더 나아가 CVPR 2021에서 개최된 2021 CVPRW DSEC 챌린지에서 두 TRACK 모두 우승을 거두었고, 관련 연구의 우수성을 인정받아 IEEE SPECTRUM 및 VISION SYSTEMS DESIGN 등에서 주목할만한 최신 연구로 선정되어 소개되기도 하였다. 본 연구에서 개발한 이벤트 기반의 시각 인지 기술은 추후 시각 기반 인지의 수준을 한 단계 끌어올리고 시각 인지와 관련된 산업적인 측면에서 큰 파급 효과가 있을 것으로 기대한다.

1. 연구배경

사람이 주변 환경을 인지/인식함에 있어 시각 정보가 차지하는 비중이 가장 높은 것처럼, 자율주행 자동차나 드론, 로봇, UAV 등과 같은 인공지능 기반의 자율 시스템에서도 주변 환경의 인식을 위해 다양한 종류의 비전 센서를 활용한다. 그중 프레임 기반(frame-based) 카메라들은 매우 풍부한 인식 정보를 제공하고 이를 통해 다양한 시각 인지 기능을 구현할 수 있기 때문에 자율 시스템의 눈이라 불릴 만큼 핵심적인 센서로 자리매김하였다. 하지만 현재 일반적으로 사용되는 프레임 기반 카메라들은 낮은 동적 범위(dynamic range, 영상을 획득할 수 있는 최고-최저 조도 범위)로 인해 극심한 조도 환경에 취약하고, 낮은 프레임 레이트(초당 획득할 수 있는 영상의 수)로 인해 카메라가 빠르게 움직이거나 혹은 빠르게 움직이는 피사체가 있는 상황에서는 모션 블러(움직임으로 인해 영상이 뭉개지는 현상)로 영상의 품질이 저하되는 등의 단점이 있어, 자율 시스템의 시각 인지에 많은 어려움을 초래하고 이로 인해 제한된 환경에서의 동작만 가능하다는 한계가 있다. 따라서 보다 다양하고 극심한 환경에서의 자율시스템을 위해서는 새로운 센서의 활용과 이에 최적화된 시각 인지 기술의 개발이 요구된다.

2. 연구내용

본 연구에서는 위에서 언급한 프레임 카메라의 한계를 극복하고 다양한 환경에서도 강인한 시각 인지를 통해 상황을 인식할 수 있는 대안으로 이벤트 카메라를 활용한 시각 인지 기술을 개발하였다. 이벤트 카메라는 인간의 망막과 시신경 등 인간의 시각 체계를 모방하여 고안된 카메라로, 특정 프레임마다 영상 전체를 취득하는 일반 프레임 기반의 카메라와 달리, 밝기 변화가 발생한 픽셀들만 선택적으로 센싱하여 비동기적인 이벤트 스트림(event stream)의 형태로 기록한다. 이러한 특성 덕분에 이벤트 카메라는 일반 카메라에 비해 영상 획득의 지연시간이 매우 짧고(~10us), 동적 범위가 2배 이상 넓어 극심한 조도 환경에서도 강건하게 동작한다는 장점이 있다. 그러나 획득된 이벤트 스트림의 정보가 희소(sparse)하고 기존 영상 데이터들과는 형태가 달라, 프레임 영상을 대상으로 개발된 기존의 시각 인지 요소 기술들을 직접적으로 적용하기 어렵다. 본 연구에서는 먼저 이벤트 스트림을 입력으로 활용함과 동시에 이벤트 카메라의 특징점을 살린 고명암비(HDR) 영상 생성 기술과 초해상화 기술을 개발(IJCV, TPAMI 논문)하였다. 본 기술에서는 이벤트 스트림을 일정 간격으로 누적(stack)하여 심층 신경망에 입력으로 전달하고 적대적 학습법을 기반으로 고명암비/고해상도 영상을 생성하였으며, 저조도/고조도 영역에 대한 영상 정보 획득도 가능하게 되었다. 이렇게 생성된 영상은 이벤트 카메라의 장점을 모두 지니고 있으면서도 기존의 프레임 기반 영상과 동일한 데이터 형식을 가지고 있어 다른 후속 시각 인지 기능에 활용될 수 있다. 그리고 더 나아가, 서로 다른 모달리티(modality)의 이미지와 이벤트 스트림 간의 양방향 재건 프레임워크를 구성하고 지식 전이 기법을 활용함으로써, 이벤트 카메라를 활용한 범주 분류 및 의미론적 분할 분야에서 최고 성능을 달성(CVPR논문)하였다.

3. 기대효과

이 기술을 통해 이벤트 데이터로부터 영상을 생성하는 단계를 거치지 않고도, 이벤트 데이터를 직접 활용한 시각 인지가 가능함을 보였다.

다만 이벤트 카메라는 많은 부분에 있어서 기존 프레임 카메라의 한계점을 보완하지만, 센서의 특성상 조도의 변화가 발생하지 않으면 이벤트 스트림이 생성되지 않는다는 문제가 있다. 이에 본 연구에서는 프레임 영상과 이벤트 카메라를 모두 사용하는 멀티 모달(multi-modal) 시스템을 구성하고, 변화하는 주변 환경 및 상황에 따라 최적의 특징(feature)을 사용하도록 하는 이벤트-이미지 Recycling 기술을 개발(ICC논문)하였다. 해당 기술은 움직임이 없어 이벤트가 발생하지 않는 경우에는 RGB기존의 프레임 영상에서 주된 특징을 추출하여 3차원 깊이를 추정하고, 조도가 극심하거나 모션 블러가 발생하는 상황에서는 이벤트 스트림을 통한 특징에 대한 보정을 수행하여 더 강인하게 3차원 깊이 추정을 수행하도록 하였다. 해당 방식 외에도, 넓은 시야각을 사용하는 어안렌즈 기반 Wide Field-of-View (WFOV) 이벤트 카메라 시스템을 구축하여 이벤트 스트림의 희소 문제를 최소화하고 Narrow Field-of-View (NFOV)에 비해 보다 풍부한 특징을 추출할 수 있도록 하였다. 이러한 특징점을 바탕으로 해당 연구에서는 WFOV-이벤트 카메라 기반 3차원 깊이 추정 알고리즘을 개발(RA-L 논문)하였으며, 그 연구적 성과를 인정받아 세계적으로 유명한 과학 및 엔지니어링 잡지인 IEEE SPECTRUM 및 VISION SYSTEMS DESIGN에 관련 연구가 소개되었다. 이에 더불어 연구팀은 세계적으로 저명한 학회인 CVPR Workshop에서 개최한 이벤트 카메라 기반 자율주행 차량을 위한 3차원 깊이 추정 기술 경진대회인 DSEC 챌린지에서 관련 기술로 Event-Only 및 Event-Image 두 track 모두에서 1등을 달성하였다.

본 연구에서는 기존의 프레임 기반의 카메라의 단점과 한계를 극복할 수 있는 이벤트 카메라 기반 시각 인지 기술들을 개발하였다. 학문적 측면에서 본 연구를 통해 얻은 시각 인지 기술들은 이벤트 카메라에 대한 선도적인 연구 결과이며 또한 수많은 후속 연구를 이끌어 새로운 연구 분야를 창출할 수 있을 것으로 기대한다. 또한 기술적 및 산업적 측면에서도 본 연구의 결과는 자율주행 자동차나 드론, 로봇, UAV 등은 물론 지능형 모니터링 시스템 및 이미징 시스템 등에 활용될 수 있기 때문에 매우 범용성이 높으며, 이벤트 카메라가 현재 카메라들을 대체하거나 혹은 보완할 수 있는 용도로 활용될 수 있는 가능성을 보여주었기 때문에 다양한 자율 시스템에 활용이 가능할 것이며, 추후에 자율 주행 시스템이나 스마트 시티 등과 같은 다양한 미래 분야에 활용되어 큰 경제적 효과도 거둘 수 있을 것으로 기대한다.

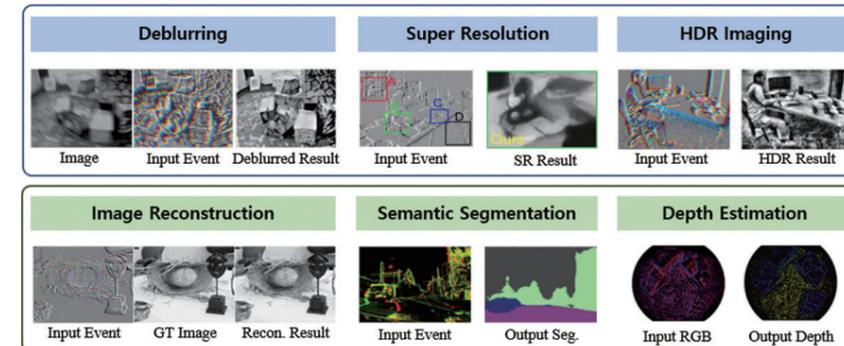


그림 1. 이벤트 카메라 기반 시각 인지 기술 연구 내용 요약



그림 2. Certification of the CVPRW2021 DSEC Event-only (Left) and Event-Image (right) track 1st place

연구성과

- 논문** "Joint Framework for Intensity Image Reconstruction, Restoration, and Super-Resolution with an Event Camera," IEEE T. PAMI, 2021.
- "E2SRI: Learning to Super-Resolve Intensity Images from Events," IEEE T. PAMI, 2021.
- "Learning to Reconstruct HDR Images from Events, with Applications to Depth and Flow," International Journal of Computer Vision (IJCV), 2021.
- "EOMVS : Event-based Omnidirectional Multi-View Stereo," IEEE Robotics and Automation Letters (RA-L), 2021.
- "EvDistill: Asynchronous Events to End-task Learning via Bidirectional Reconstruction-guided Cross-modal Knowledge Distillation," IEEE/CVF Conf. CVPR, 2021.
- "Dual Transfer Learning for Event-based End-task Prediction via Pluggable Image Translation," IEEE/CVF ICCV, 2021.
- "Event-Intensity Stereo: Estimating Depth by the Best of Both Worlds," IEEE/CVF ICCV, 2021.

수상

- 1st Place in CVPRW 2021 DSEC Competition (Event-only Track).
- 1st Place in CVPRW 2021 DSEC Competition (Event-Image Track).

홍보

- IEEE SPECTRUM (<https://spectrum.ieee.org/new-camera-sees-more>)
- VISION SYSTEMS DESIGN(<https://www.vision-systems.com/non-factory/article/14212132/multiview-stereo-method-uses-eventbased-omnidirectional-imaging>)

연구비 지원

이벤트 카메라 기반 시각 지능을 위한 컴퓨터 비전 알고리즘 연구(한국연구재단, 중견연구자지원사업)



신경신호 모사를 통한 인공 감각 시스템 개발

An Artificial Neural Tactile Sensing System

연구책임자 박성준 소속학과 바이오및뇌공학과 홈페이지 http://bnilab.com

보다 현실감 있는 인공 감각을 제공할 수 있는 시스템의 개발은 가상/증강 현실을 통한 메타버스 구현, 화상 환자를 위한 인공피부 제공, 로봇형 의수 제작 등을 위해 반드시 이루어져야 할 목표이다. 본 연구에서는 복합적인 감각을 생성할 수 있는 압전 및 압전 저항성 재료 기반의 유연 전자 피부, 그리고 실제 체내에서 추출한 신경의 감각에 대한 반응 신호 패턴을 기반으로 한 신호 변환 시스템을 개발한 후, 이 두 가지 요소를 결합하여 인간의 촉각 인식 프로세스를 모방한 인공 감각 인터페이스 시스템을 구현하였다. 해당 시스템은 생체 내 환경에서 신호 왜곡 없이 작동하였을 뿐만 아니라, 딥 러닝 기법과 함께 사용되어 높은 정확도의 질감 인식 및 분류 능력을 보여주었다. 해당 연구는 향후 더욱 현실적인 촉각 구현이 필요한 다양한 의료적, 사회적 분야에 적용될 수 있을 뿐만 아니라, 타 감각기관과의 결합을 통한 장애극복 및 감각재활 분야의 발전에 크게 기여할 것으로 기대된다.

1. 연구배경

보다 현실감 있는 인공 감각을 제공할 수 있는 시스템의 개발은 가상/증강 현실을 통한 메타버스 구현, 화상 환자를 위한 인공피부 제공, 로봇형 의수/의족 제작 등을 위해 반드시 이루어져야 할 목표이다. 이를 위해 지금까지 수많은 연구자들이 실감형 인공피부 개발에 노력을 쏟아 왔지만, 현재까지 개발된 시스템들은 실제 사람의 감각기관이 가지고 있는 엄청난 복잡성 및 지금까지도 블랙박스로 남아있는 감각신호 전달의 메커니즘 때문에 실생활에 사용되기에는 그 기능이 충분하지 못한 상황이었다. 특히 사람은 한 가지 유형이 아닌 다양한 종류의 촉각 수용기들을 통해 압력, 진동 등 복합적인 감각 정보를 받아들이고 그 정보들을 조합하여 촉각을 인지하기 때문에, 기존의 단일 압전 및 압저항 소자 기반의 디바이스로는 완벽한 인공 감각 시스템의 구현이 어려울 수밖에 없었다.

2. 연구내용

본 연구에서는 압력/진동 등 복합적인 감각을 생성, 전달할 수 있는 유연성 전자피부 및 실제 신경패턴 기반의 신호 변환 회로를 개발하고, 두 요소를 결합한 시스템을 제작하여 인간의 촉각인식 프로세스를 모방하는 인공 감각 인터페이스 시스템을 구현하였다.

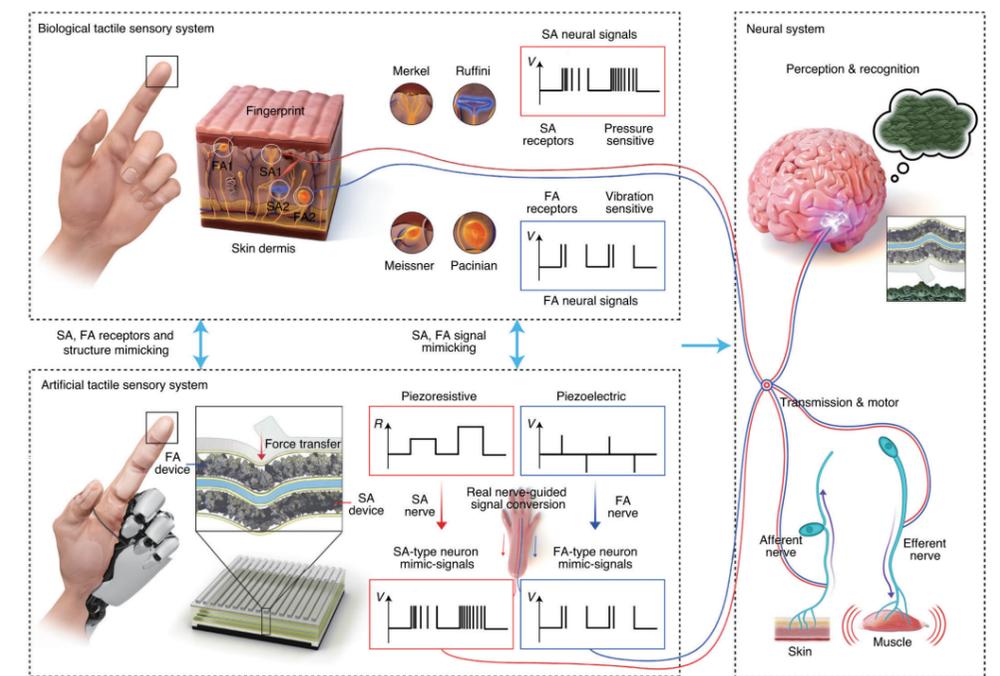
연구팀은 우선 압전재료 및 압전 저항성 재료의 조합으로 이루어진 전자 피부를 제작했다. 이 센서는 나노입자의 적절한 조합을 통해 피부 내의 압력을 감지하는 느린 순응 기계적 수용기(SA mechanoreceptor)와 진동을 감지하는 빠른 순응 기계적 수용기(FA mechanoreceptor)를 동시에 모사할 수 있다는 특징을 가지고 있다. 제작된 전자 피부는 굉장히 유연하여 실제피부나 로봇의 굴곡된 표면에 쉽게 접촉할 수 있을 뿐만 아니라, 움직임에 의해 일어나는 굽힘 및 늘어남 등의 기계적 변화에도 기능성을 크게 잃지 않는다는 장점을 가지고 있다. 해당 센서를 통해 생성된 전위는, 연구팀이 제작한 회로 시스템을 통해 실제 감각 신호와 같은 형태의 패턴으로 변환된다. 이때 생체 내 상황을 최대한 모사하기 위해, 실제 동물의 다리에서 다양한 종류의 감각신경을 추출하는 방법이 사용되었다. 추출 후 단일신경에 다양한 세기와 빠르기의 압력/진동을 가한 뒤 그 끝에서 발생하는 전기 신호의 패턴을 측정하여 함수화하고, 해당 함수를 기반으로 센서에서 발생하는 신호를 새롭게 변환해주는 방식이다.

3. 기대효과

해당 시스템을 동물 모델에 적용한 결과, 연구팀은 인공 감각 시스템에서 발생한 신호가 생체 내에서 왜곡 없이 전달되며, 근육 반사 작용 등 생체 감각 관련 현상을 구현할 수 있음을 확인하였다. 또한 센서를 지문 구조로 제작, 20여 종의 직물을 굽는 실험을 통해 개발한 인공피부가 다양한 표면의 종류 및 질감을 인식, 분류할 수 있는가에 대한 실험을 진행하였다. 그 결과, 개발한 인공 감각 시스템과 딥 러닝 기법의 조합이 직물의 종류 및 질감을 99% 이상 분류할 수 있을 뿐만 아니라, 학습된 신호를 기반으로 직물의 특징마저 인간과 유사한 수준으로 예측할 수 있음이 밝혀졌다.

본 연구에서 개발한 실제 신경신호 기반 인간 모사형 감각 시스템은 향후 더욱 현실적인 감각 구현이 필요한 다양한 의료적, 사회적 분야에 응용될 수 있다. 예를 들어 메타버스 및 텔레커뮤니케이션 분야에 필요한 현실 감각 제공용 하드웨어에 쓰이거나, 장애나 사고로 감각을 잃어버린 환자를 위한 인공피부, 의수/의족에 촉각 기능을 부여하는 방법 등으로 사용될 수 있다. 또한 본 연구에서 최초로 제시한 실제 생체신호 패턴 기반 신호모사 기법이 인체 내 다양한 종류의 타 감각기관(시각, 청각, 미각, 후각기관)을 보조하는 방향으로 발전할 경우, 장애극복 및 감각재활 분야의 발전에 크게 기여할 수 있을 것이다.

그림. 인간 모사 인공 감각 신경 시스템의 구조



연구성과

- 논문** S. Chun, J. Kim, Y. Yoo, Y. Choi, S. Jung, D. Jang, G. Lee, K. Song, K. Nam, I. Youn, D. Son, C. Pang, Y. Jeong, H. Jung, Y. Kim, B. Choi, J. Kim, S. Kim, W. Park, and S. Park*, "An artificial neural tactile sensing system", Nature Electronics 4, 429-438 (2021) [2021 Impact Factor = 33.686].
S. Park, H. Yuk, R. Zhao, Y. Yim, E. Woldegebriel, J. Kang, A. Canales, Y. Fink, G. Choi, X. Zhao, P. Anikeeva*, "Adaptive and multifunctional hydrogel hybrid probes for long-term sensing and modulation of neural activity", Nature Communications 12, 1-12 (2021) [2021 Impact Factor = 14.919].
- 수상** 2021년 5월 미원상사신진과학자상 수상
- 홍보** 에 대하여 국내 언론보도 42건 (대전 MBC 방송보도 포함), 해외 언론보도 3건. [논문 2]에 대하여 국내 언론보도 37건, 해외 언론보도 15건.

연구비 지원

KK-JRC 스마트 프로젝트, 글로벌 이니셔티브 프로그램, Post-AI 프로젝트 사업
한국연구재단 우수신진연구사업, 범부처의료기기 개발사업, 나노소재원천기술개발사업, 차세대 지능형반도체 개발사업



모트 전이 소재 기반 초고속, 저전력, 변이 내성 진성 난수 발생기 개발

Fast, low-power, and variation tolerant true random number generator based on a mott memristor

연구책임자 김경민 소속학과 신소재공학과 홈페이지 <http://semi.kaist.ac.kr>

난수 발생기 (Random Number Generator, RNG)란 정보의 암호화 과정에 필수적으로 이용되는 키 (key)를 생성하는 장치이다. 진성 난수 발생기(True Random Number Generator, TRNG)는 물리적인 무작위 현상을 기반으로 완전한 난수를 발생하는 장치로 차세대 보안 소자의 핵심 기술이다. 기존의 진성 난수 발생기는 무작위한 물리적 현상을 연산장치에서 이용할 수 있도록 디지털화하는 과정이 비효율적이고 느린 한계가 있었다. 본 연구에서는 열에 의해 저항 상태가 바뀌는 모트 전이 현상에서 열적 변동의 무작위성을 기반으로 진성 난수 발생기로 이용하는 방법을 최초로 제시하였다. 모트 전이 현상은 초고속, 저전력으로 동작이 가능하며, 멤리스터 기반의 TRNG 기술 중 가장 빠른 40 kb/s의 속도로 진성 난수 발생에 성공했다. 또한, 이 기술에서 이용하는 열적 변동은 주변 환경의 영향을 받지 않아 극한의 환경을 포함한 다양한 환경에서 활용할 수 있다.

1. 연구배경

보안 시스템은 제3자가 알 수 없는 암호를 활용하며, 이를 위해서는 하드웨어 기반의 진성 난수 발생기 (True Random Number Generator)가 필요하다. 기존 기술에서는 주로 CMOS (Complementary metal-oxide-semiconductor) 하드웨어 기반의 보안 기술이 사용되었는데, 이 경우 보안성이 낮고, 에너지 소모가 크고, 소자의 소형화가 어려운 한계가 있어 초연결 시대에서 하드웨어 보안 기술로 사용되기에 적합하지 않다. CMOS 기반 기술의 한계를 극복하기 위해 최근 TaOx, HfOx와 같은 산화물 저항 변화 소재의 저항 변화 과정에서의 본질적인 혼돈성 (Intrinsic stochasticity)을 이용한 하드웨어 기반 보안 기술이 연구되고 있다. 그러나 산화물 소재 기반의 하드웨어 기반 보안 기술은 많은 주변 회로를 요구하므로 집적화에 한계가 있음을 CMOS 기반 기술과 공유하며, 느린 난수 발생 속도로 인해 실제로 활용되기에 어려움이 있다. 따라서, 저면적에서 에너지 효율적으로 고속으로 구동 가능한 진성 난수 발생기 개발이 필요하다.

2. 연구내용

기존 진성 난수 발생기 기술은 무작위성의 원천으로 확산형 멤리스터나 전하 트랩형 멤리스터를 이용하였으나, 이온 확산 및 전하 트랩 현상은 수 마이크로초(us) 규모의 시간에서 느리게 일어나므로 난수 발생 속도에 제한이 있다. 모트 전이 (Mott-transition)는 절연체-금속 전이 (Insulator-Metal Transition)로써 특정 온도에서 소재가 부도체에서 도체로 가역적으로 변하는 현상이다. 모트 전이는 약 100 fJ의 초저전력으로 700 ps 내에서 초고속으로 일어나며, 모트 전이 소자는 2 단자의 간단한 MIM (Metal-Insulator-Metal) 구조로 제작될 수 있으므로 고성능 난수 발생기에 적합하다.

본 연구팀은 NbOx 기반의 모트 전이 소자를 성공적으로 제작하고 모트 전이 소자에 부하 저항(load resistor)을 연결하여 자가 진동 회로를 제작하였다.(그림 1, a) 이러한 모트 전이 소자의 진동 거동은 열의 발생과 전달의 무작위성에 의해 확률적 거동을 보이며, 시간이 지남에 따라 이러한 확률적 거동이 누적되면 완전한 무작위성을 구현할 수 있음을 확인했다.(그림 1, b) 본 연구팀은 이러한 확률적 진동 거동 현상이 모트 전이 소자의 진동거동 중 발생하는 줄열의 발생과 소멸이 불연속적임에 기인하며, 이러한 열적 불안정성이 확률적 진동 거동의 원인을 수치 모사 시뮬레이션과 COMSOL 기반의 열적 시뮬레이션으로 확인했다.(그림 2, a-d)

본 연구팀은 모트 전이 진동 소자가 일정 시간에 동작하는 진동의 횟수가 무작위함을 통해, 이를 홀수와 짝수로 나누어 이진화하는 방식의 진성 난수 발생기 회로를 제시했다.(그림 3) 고안한 진성 난수 발생기는 무작위성을 부여하는 모트 전이 소자 진동 회로, 진동 신호를 증폭하는 operational amplifier, 그리고 진동 횟수를 홀수와 짝수를 구분하고 이를 이진화하는 T flip-flop으로 구성된다. 진성 난수 발생기를 브레드보드에 구성하고, 실제로 구동하여 고안한 진성 난수 발생기가 성공적으로 난수를 발생시킬 수 있음을 확인했다.(그림 4)

3. 기대효과

본 연구팀에서 개발한 진성 난수 발생기는 종래 연구에 비해 11배 에너지 효율적이며 (5.22 nJ/bit), 2.5배 빠르며 (40 kb/s), 7.4 배 집적화된 회로에서 진성 난수를 성공적으로 발생시킬 수 있으며, 브레드보드에 구성된 진성 난수 발생기를 통해 130 M bits의 난수를 생성하고 미국 국립표준기술원에서 고안한 NIST 800-22 난수 테스트를 통해 난수 발생기를 검증함으로써 난수 발생기의 성능을 객관적으로 입증했다. (표 1) 또한, 개발한 진성 난수 발생기는 모트 전이 소자 진동 회로의 전위와 저항에 관계없이 진동 거동이 유발되는 한 난수 발생이 가능하며, 따라서 소자의 열화에 강한 난수 발생 기법임. 더해서, 주변 온도가 올라감에 따라 난수 발생 속도는 오히려 증가하며, 많은 양의 정보를 빠른 속도로 암호화하는 상황에서도 고성능을 유지할 수 있다.

본 연구에서 개발한 보안 소자는 저전력으로 고속 동작이 가능하며, 저면적에서 구동되므로 초연결 시대에서 말단형 IoT 기기에서 데이터 암호화에 활용될 수 있다. 또한 본 연구를 통해 모트 전이 소재의 확률적 진동 거동을 이해하고 활용할 수 있는 원천 소재 기술을 개발하였으며, 기반으로 구축한 모트 전이 소자의 전기적, 열적 모델을 이용하여 더 많은 응용 기술을 개발할 수 있을 것으로 기대한다.

표 1. NIST 800-22 난수 테스트 결과.

NIST test (800-22)	NIST test (800-22)		
	P-value	PASS (if P-value > 0.0001)	Pass rate
1. Frequency (monobit) test	0.010751	PASS	130 / 130
2. Frequency test within a block	0.451555	PASS	128 / 130
3. Runs test	0.082824	PASS	129 / 130
4. Test for the longest run of ones in a block	0.066822	PASS	130 / 130
5. Binary matrix rank test	0.045361	PASS	130 / 130
6. Discrete Fourier transform (spectral) test	0.001173	PASS	128 / 130
7. Non-overlapping template matching test	0.092349	PASS	128 / 130
8. Overlapping template matching test	0.125088	PASS	130 / 130
9. Maurer's 'universal statistical' test	0.017912	PASS	130 / 130
10. Linear complexity test	0.020984	PASS	130 / 130
11. Serial test	0.217981	PASS	130 / 130
12. Approximate entropy test	0.001108	PASS	128 / 130
13. Cumulative sums (cumsum) test	0.003951	PASS	127 / 130
14. Random excursions test	0.009940	PASS	130 / 130
15. Random excursions variant test	0.001527	PASS	130 / 130

Total 130x10^6 binary bits are collected from our NbOx-based oscillator memristor TRNG.

그림 1. a. 모트 전이 소자 기반 진동 회로 b. 모트 전이 소자의 확률적 진동 거동

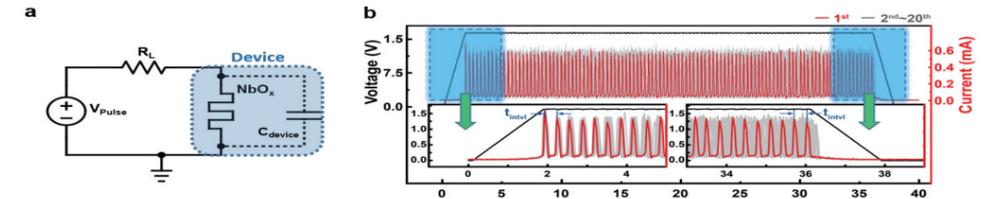


그림 2. a. 수치 모사 시뮬레이션 기반 모트 전이 소자 특성 모사 및 b. 확률적 진동 거동 모사 c. 열적 시뮬레이션 기반 모트 전이 소자의 확률적 진동 거동 모사 및 d. 진동 거동 중 스위칭 온도

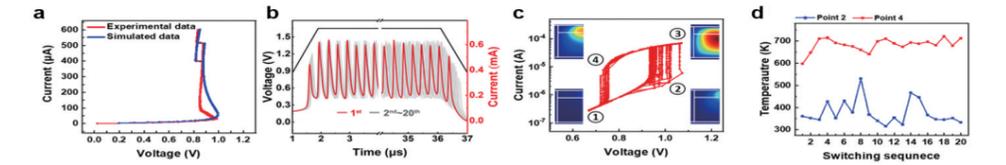


그림 3. a. 진동 시간에 따른 진동 횟수 분포 b. 진성 난수 발생기 회로

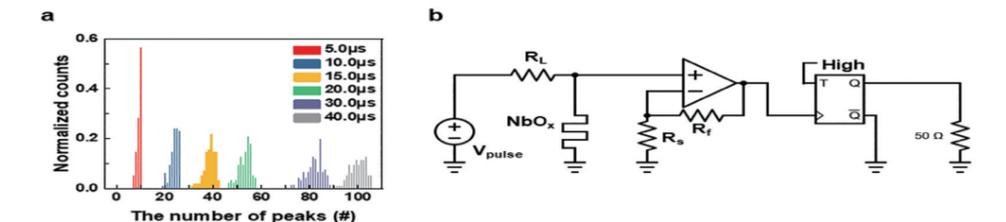
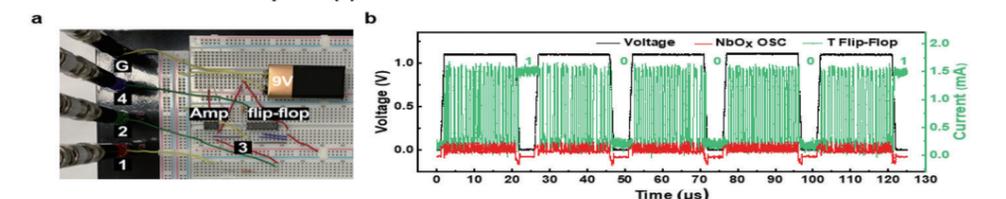


그림 4. a. 브레드보드에 구성된 진성 난수 발생기 b. 진성 난수 발생기 동작 시연



연구성과 **논문** G. Kim, J. H. In, Y. S. Kim, H. Rhee, W. Park, H. Song, J. Park, and K. M. Kim*, "Self-clocking fast and variation tolerant true random number generator based on a stochastic mott —memristor", Nature Communications, 12, 2906 (2021) [2020 impact factor = 14.919]

수상 Self-clocking fast and variation tolerant true random number generator based on a stochastic mott memristor. 제 28회 한국반도체학술대회, 현장우수포스터상 수상.

홍보 언론보도 20여 회

연구비 지원 산업자원통신부, 저전력 멤리스터를 이용한 선형성 대칭성 아날로그 시뮬레이션 구현
산업자원통신부, 크로스바 구조에서 선택소자 없이 동작 가능한 자가정류 저항변화 재료 및 소자 개발
한국반도체연구조합, 크로스바 구조에서 선택소자 없이 동작 가능한 자가정류 저항변화 재료 및 소자 개발



Aline: ESG(환경, 사회, 지배구조) 기반 투자 서비스 디자인 개발

ALINE: Design and development of ESG(environment, social, and governance) based investment service

연구책임자 이상수 소속학과 산업디자인 홈페이지 <http://www.nextinterfacelab.org>

'Aline'은, 단순히 이윤만을 추구하는 기존 투자 방식에서 벗어나, 사용자의 가치관이 반영된 건전한 투자와 소비를 돕는 것을 목적으로 개발한 서비스이다. 최근 화두가 되고 있는 ESG(환경, 사회, 지배구조)에 기반하여, 기업이 얼마나 우리 사회와 환경에 기여하는지, 지배구조는 건전한지에 대한 정보를 투자자에게 직관적으로 전달할 수 있는 직관적인 포트폴리오 시스템을 고안하였다. ESG에 기반해 건전한 투자 및 소비를 유도하는 개념을 구체화하여 모바일 서비스의 형태로 디자인하여 상용화한 사례로, 세계 최고 권위의 디자인 어워드인 iF어워드에 일반 기업 경쟁 부문에 참가해 서비스디자인 부문 최고점을 득점, 1만여개의 경쟁작품 중 75개의 출품작에만 주어지는 최고 등급의 상인 'Gold Award'를 수상했다. 심사위원단은 "정제된 사용자경험(UX) 디자인을 통해 투자 및 소비의 새로운 장을 열었다"고 평가했다. Aline은 iF 디자인어워드의 서비스디자인 부문 표지 작품으로 게재된 것과 동시에 iF가 지구의 날을 맞아 발행한 '2020-2021 지속 가능한(sustainable) 소비를 위한 디자인 10선'에도 선정되는 등 많은 관심을 받았다. 현재 NH투자증권의 모바일 투자서비스 '나무' 앱에 일부분이 실제로 적용되어 실제 대중들의 건전한 투자를 돕고 있다.

1. 연구배경

오늘날 지속 가능한 개발에 대한 인식이 확산되면서, 이 세상을 더 나은 곳으로 만드는 것에 대한 대중의 관심이 커지고 있다. 투자자들 역시 그들의 투자 행위를 통해 단순한 수익 창출을 뛰어넘어 세상을 더 나은 곳으로 변화시키고자 하는 욕구가 커지고 있다. 이러한 대중 및 투자자의 지속 가능한 사회에 대한 커져가는 잠재요구에도 불구하고, 기존의 금융 및 투자 서비스는 재무제표, 수익률, 거래 수수료 등 기업이 행하는 사회적 영향력과는 무관한 경제적 지표들만을 통해 기업의 전망을 평가하여, 투자자의 수익을 극대화하는 것에만 초점이 맞춰져 있다. 이러한 기존 투자 방식은, 높은 투자 이익만을 추구하게 되어, 사회와 환경에 악영향을 주는 회사에 투자하여 자신도 모르게 세상에 나쁜 영향을 끼치는데 일조하게 될 수 있다. 또한, 수익만을 목표로 한 투자는, 기대 수익에 이르지 못했을 때 투자자에게 큰 정신적 스트레스를 불러일으키고 장기 투자를 가로막아, 오히려 수익률 악화를 가져오기도 한다. 이전 연구들에 따르면, 개인의 가치관을 바탕으로 사회적 영향을 고려한 투자를 함으로써 더 장기적이고 지속적인 투자를 실행하여 높은 수익률을 가져올 가능성을 높여준다. 이러한 배경에서, Aline은 투자자들로 하여금 그들의 투자가 사회와 환경 등 세상에 미치는 영향을 직관적으로 이해할 수 있도록 하고, 이를 바탕으로 단순히 이윤만을 추구하는 기존 투자 방식에서 벗어나 사용자의 가치관이 반영된 건전한 투자와 소비를 지향하도록 돕는 것을 목표로 개발되었다.

2. 연구내용

최근 화두가 되고 있는 ESG(환경, 사회, 지배구조)에 기반하여, 기업이 얼마나 우리 사회와 환경에 기여하는지, 지배구조는 건전한지에 대한 정보를 투자자에게 직관적으로 전달할 수 있는 포트폴리오 시스템을 디자인하고, 이를 투자 서비스로 구성하여, 모든 사용자들이 친숙하게 사용할 수 있는 모바일 앱의 형태로 개발하고자 했다. 먼저, ESG의 주요 항목들을 6가지 주요 색상으로 색상 코딩하여, 핵심 가치들을 직관적으로 사용자들이 인식할 수 있도록 했다. 각 색상은 핵심가치 영역을 의미하는데, 빨간색은 기후변화, 노란색은 노동복지, 녹색은 자원관리, 하늘색은 공해 및 폐기물, 파란색은 제품 책임, 분홍색은 기업 윤리를 나타낸다. 이러한 색상을 각 기업에 대해 공개되어있는 ESG평가 결과를 조합하여, 각 기업의 가치를 나타내는 색상 그라디언트를 구성하도록

고안했다. 색상 그라디언트는, 사용자의 투자 포트폴리오, 소비 내역 등 Aline이 제공하는 모든 정보에 일관성 있게 제공될 수 있도록 설계했다. 이를 통해 사용자는, 기업 정보, 현재 투자 내역 및 소비 내역이 ESG를 기준으로 한 개인의 가치관에 부합하는지 여부를 구체적인 수치 정보를 보지 않고도 직관적으로 파악할 수 있다. 특히, 컬러 코딩을 통한 직관적인 정보 표현은, 금융에 익숙한 사용자뿐 아니라, 그렇지 않은 사용자도 본인의 가치관에 맞는 투자를 할 수 있도록 돕는다.

한편, 최근 가속화되고 있는 AI 알고리즘을 활용한 로보어드바이저 (Robo-advisor)를 이용하여, 사용자의 가치관에 맞는 투자처를 자동으로 매칭시켜주도록 함으로써 기존의 높은 투자 진입 장벽을 낮췄다. AI 로보어드바이저는 사용자의 투자 성향과 가치 모두에 부합하는 좋은 잠재적 투자처 및 비슷한 성향을 가진 다른 사용자들을 연결해준다. 또한 투자자에게 도움이 되는 정보를 상황에 맞게 전달하여 금융, 투자, ESG 등에 대한 사전 지식이 없더라도 쉽게 개념을 배우고 서비스를 사용할 수 있도록 도움을 줄 수 있도록 디자인했다.

3. 기대효과

Aline을 통해 투자자는 환경과 사회에 이득이 되는 회사에 더 많은 투자할 수 있게 되고, 자신의 투자가 사회 전체의 이익에 기여한다는 점을 인식하게 됨으로써, 수익 창출 이상의 보람과 즐거움을 느낄 수 있다. 이러한 보람과 즐거움은, 단기적으로 기대 수익에 이르지 못하더라도 본인이 추구하는 더 큰 가치에 부합함을 인식함으로써 단기적인 스트레스를 완화시켜주고, 착한 기업에 대한 장기 투자로 이어질 수 있도록 돕는다. 실제로, ESG 등급이 좋은 회사에 투자하는 것은 여러 요인들로 인해 투자자들에게 장기적으로 좋은 성과를 안겨주는 경향이 있음이 기존 연구들에 의해 밝혀진 바 있다. 나아가, Aline은 금융 및 투자 지식이 적은 사용자들도 쉽고 직관적으로 이용할 수 있도록 하여, 금융 시스템으로부터 소외되는 사람을 줄이고, 더 많은 사람들이 금융 시스템을 이해하고 활용할 수 있는 건전한 금융 시민권(financial citizenship)을 누리는데 기여한다. 또한, 더 많은 사람들이 지속 가능성을 추구하는 회사에 투자하도록 유인함으로써 지속 가능성에 대한 투자자의 인식을 높이고 성장할 가치가 있는 회사를 돕는 사회적 선순환을 만드는데 기여할 수 있다. 사람들이 지속 가능한 기업에 더 많은 관심을 갖고 투자할수록 '착한 기업'은 더 성장할 것이며, 이 선순환은 우리 사회와 지구가 직면한 과제를 해결하는 데 도움이 될 것이다.

ESG기반 투자 Aline은 2021년 12월 현재 NH투자증권의 모바일 서비스인 '나무' 앱에 일부 적용되어, 실제 투자자들에게 ESG기반의 건전한 투자를 제공하고 있다.



그림 1. ALINE 대표이미지

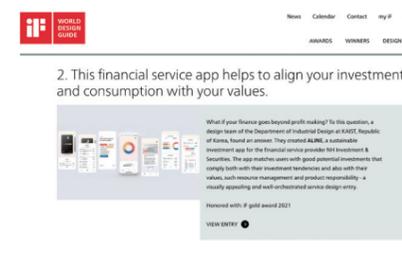


그림 2. iF '2020-2021 지속 가능한(sustainable) 소비를 위한 디자인 10선' 에 선정

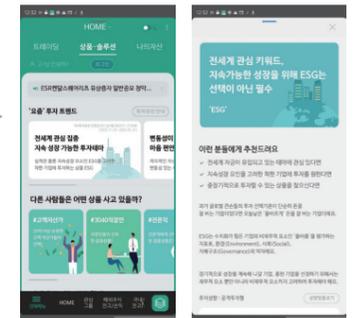


그림 3. NH투자증권의 모바일 투자서비스 '나무' 앱에 실제 적용된 화면

- 연구성과**
 - 수상** iF Design Award 2021 서비스 디자인 부문 Gold 수상 (상위 1%, 1만여 개의 프로세서널 경쟁 작품 중에서 75개의 출품작에 수여, 서비스디자인 부문 최고득점)
 - Red Dot Design Award 2021 브랜드&커뮤니케이션 디자인 부문 본상 수상
 - iF 디자인어워드 2021의 서비스디자인 부문 표지 작품으로 게재, '2020-2021 지속 가능한(sustainable) 소비를 위한 디자인 10선' 에 선정
 - NH투자증권의 모바일 투자 서비스 '나무' 앱에 일부 적용 (NH투자증권 나무앱의 2021년 고객만족도 1위 달성에 기여)
- 홍보** 언론 보도 50여건 이상
- 연구비 지원** NH투자증권-KAIST UX디자인 연구센터



화학색소 없는 구조색 컬러 인쇄 기술 개발

Pigment-free Color Printing Technology for Customized Structural-Color Graphics

연구책임자 김신현 소속학과 생명화학공학과 홈페이지 <http://isml.kaist.ac.kr>

구조색은 화학색소 없이 주기적인 나노구조에 의해 발색되는 반사색으로, 화학색소와는 구별되는 심미성과 응용성을 갖는다. 기존의 기술로는 콜로이드 입자의 결정화에 요구되는 복잡한 공정 과정, 까다로운 조건 및 오랜 시간으로 인해 맞춤형 구조색 패턴화가 거의 불가능했다. 본 연구에서는 직접 프린팅에 적합하며 단시간에 높은 결정성을 갖는 콜로이드 구조체를 형성할 수 있는 잉크를 개발하였으며, 이를 바탕으로 디자인, 색의 명도와 채도, 기계적 물성, 각도의존성, 인쇄 기판 등을 모두 자유롭게 조절할 수 있는 인쇄기술을 개발하였다. 본 기술은 구조색 패턴화의 속도와 자유도를 비약적으로 향상시켰으며, 향후 광학 소자나 광학 센서, 위변조방지 소재, 신개념 감성 코팅 소재 등을 응용 및 개인 맞춤형으로 제작할 수 있어 높은 기술적 파급효과가 기대된다.

1. 연구배경

구조색은 자연에서 종종 관찰되는 심미적인 색으로, 화학색소 없이 주기적인 나노구조에 의한 빛의 보강간섭에 의한 발색이다. 구조가 유지되는 한 색이 바래거나 사라지지 않으며 화학색소가 갖는 독성이 없어 인쇄 친화적이다. 더욱 중요한 것은 물질이 아닌 구조가 색깔을 결정하여 한 가지 소재로 다양한 발색이 가능하다. 이러한 특색으로 인해 구조색은 반사형 디스플레이 및 광학 센서를 포함한 광학 소자나 위조방지 소재, 고감성 코팅 소재 등으로 그 가치가 매우 높다. 구조색 발색에 사용되는 콜로이드 결정은 주로 증발 공정에 기반을 두는데, 그 제조 공정 및 조건이 복잡하고 까다로우며, 결정화에 긴 시간이 소요되어 실용화에 한계가 있었다. 비교적 최근에는 콜로이드 현탁액을 잉크젯 기술을 통해 반구형태의 콜로이드 결정을 기판에 프린팅하는 기술이 개발되고 있으나, 낮은 결정성과 낮은 표면 도포율로 인해 반사율이 낮아 실용적 응용은 불가하였다.

2. 연구내용

본 연구에서는 정교하게 포물레이션한 콜로이드 잉크를 직접 프린팅하여 증발 없이 빠른 속도로 콜로이드 결정을 패턴화할 수 있는 기술을 개발하였다. 콜로이드 잉크는 실용성 확보를 위해 광경화 가능한 레진을 연속상으로 사용하였으며, 레진에 분산된 실리카 입자가 반발력에 의해 빠른 속도로 결정화가 일어날 수 있도록 설계하였다. 이와 동시에 실리카 입자의 부피 분율을 고체전이분율에 가깝게 설정하여 직접 인쇄에 적합한 유변 물성을 달성하였다. 뿐만 아니라 사용하는 레진의 종류에 따라 최종적으로 형성되는 구조물의 탄성도를 제어할 수 있도록 설계하여, 기계적 변형에 따른 변색이 가능한 소재 또한 구현하였다. 또한 잉크의 점도를 조절하여 콜로이드의 결정화도를 조절하였다. 높은 결정화도를 갖는 콜로이드 구조체는 높은 각도 변색 특성을 보이도록 하였으며, 낮은 결정화도를 갖는 유리 구조체는 각도에 따른 변색이 없도록 설계하였다. 추가로 실리카 입자 외에 카본 블랙 입자나 폴리 도파민 입자를 도입함으로써 색의 명도 및 채도를 조절함과 동시에 무채색 또한 구현하였다. 본 기술에서는 광결정 형성을 위한 잉크가 도포 과정에서 받은 전단력이 콜로이드 결정 구조의 배향 방향을 결정한다는 흥미로운 점이 발견됐다. 광결정과 광유리를 위한 잉크의 유변 특성을 관찰한 결과, 두 잉크는 반발력이 작용하는 시간 및 거리 척도에 차이가 있으며 특히 전자의 경우 흐름에 따라 콜로이드가 배열되고 입자가 부재하는 면이 실시간으로 형성됨을 유변물성 분석 및 SEM 관찰을 통해 확인하였다. 노즐 내부에서 형성되는 Poiseuille 흐름과 노즐 및 기판의 상대운동에 따라 형성되는 Couette 흐름의 중첩에 의해 발생하는 위치 특이적인 흐름 방향이 최종 구조 내부에서의 콜로이드 결정 배향 방향을 지배하였다. 형성된 광결정 구조는 실리카 입자의 크기에 따라 다양한 색을 발현하며 이 색들은 밝고 각도의존성이 높다. 토출 조건에 영향을 주는 요소는 공압과 노즐의 이동 속도, 그리고 노즐과 기판 사이의 거리로, 해당 조건들을 조절하여 높은 해상도의 선형

3. 기대효과

패턴을 최소 머리카락 굵기의 너비로 최대 15 mm/s의 속도로 인쇄할 수 있다. 기판에도 제한이 없어 유리, 플라스틱, 금속, 실리콘 웨이퍼, 천, 종이 등 다양한 타깃 기판에 광결정 및 광유리 구조를 형성할 수 있는 큰 장점도 있다. 면 패턴은 선 구조를 인접하게 인쇄하고 이들 간의 융합을 통해 형성하며, 형성된 면은 평평한 표면을 가지고, 융합 시 가해지는 높은 전단력에 의해 균일하고 높은 결정도를 나타낸다. 높은 결정도로 인해 면 패턴은 90%에 달하는 강한 반사율을 보인다. 같은 고분자 레진을 사용하면 서로 다른 입자를 가진 잉크를 인접하게 인쇄하여도 경계에서 잉크 간 혼합이 발생하지 않아 자유롭게 다색 패턴을 구현할 수 있다. 사용하는 고분자 레진의 종류에 따라 강도나 신축성 등의 기계적 물성을 조절할 수 있기에 신축에 따라 변색하는 카멜레온의 피부를 모사한 패턴을 형성할 수 있으며 유연한 기계적 물성을 이용하여 구조색의 표면을 가진 3차원의 구조체도 형성하였다.

현재까지 보고된 구조색의 패턴화는 대부분 먼저 증발 공정을 기반으로 콜로이드 결정을 수 시간에 걸쳐 형성하고, 이후 국부적인 후처리를 통해 패턴을 형성했기에 실용성이 낮았다. 본 연구는 콜로이드 잉크의 정교한 포물레이션을 바탕으로 직접 인쇄를 통해 콜로이드 결정을 패턴화할 수 있었으며, 인쇄 속도는 15 mm/s 수준이며, 필름의 경우 90%에 달하는 절대 반사도를 달성할 수 있었다. 또한 콜로이드 결정 인쇄는 플라스틱, 유리, 금속, 종이뿐만 아니라 섬유에까지 인쇄가 가능하며, 잉크의 조성을 조절하여 소재의 물성을 탄성에서 비탄성까지 제어할 수 있다. 이 기술은 높은 자유도로 다색 컬러 그래픽을 빠르게 인쇄할 수 있으며, 색깔의 명도 및 채도, 각도에 따른 변색 정도 제어가 가능하고, 탄성 소재의 경우 변형에 따른 변색을 유도할 수 있다. 본 구조색 인쇄 기술은 응용 및 개인 맞춤형 구조색 패턴화가 가능하며 반사형 디스플레이 및 광학 센서를 포함한 광학 소자나 위변조방지 소재 및 고감성 코팅 소재 등으로 다양한 응용이 가능할 것으로 예상된다. 특히 화학색소와 구별되는 구조색의 높은 심미성은 MZ세대에게 개성을 표출하는 새로운 기술적 도구가 될 수 있을 것이라 예상된다.

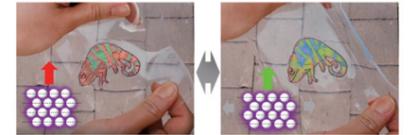


그림1. 신축에 의해 색이 달라지는 구조색 카멜레온 패턴

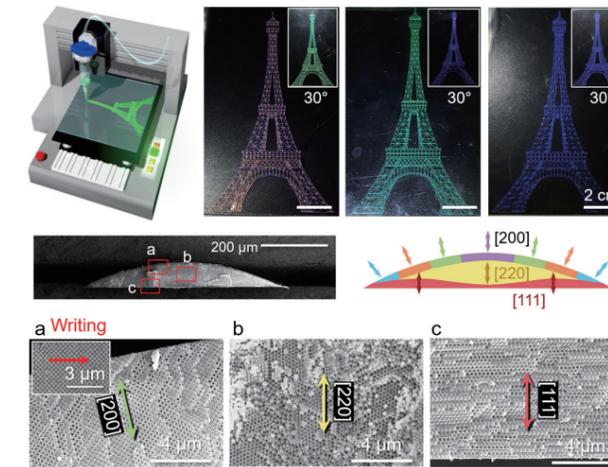


그림2. 직접 프린팅을 통한 구조색 선형 패턴의 인쇄 및 내부 격자 구조

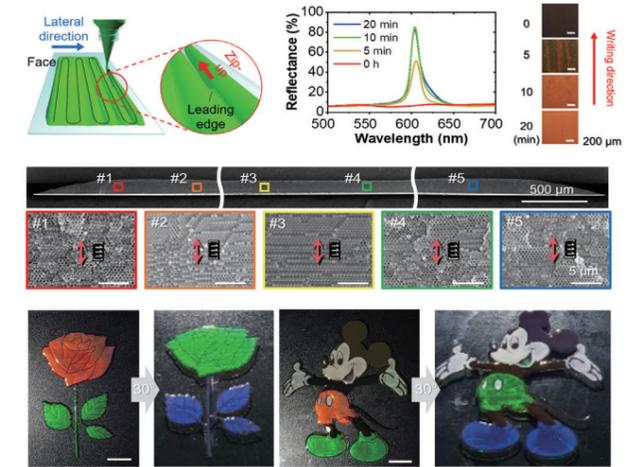


그림3. 직접 프린팅을 통한 구조색 면 패턴 광학특성과 내부 격자 구조, 그리고 각도 의존적인 장미와 미키마우스 구조색 패턴

연구성과	논문	J. B. Kim, C. Chae, S. H. Han, S. Y. Lee, S.-H. Kim, Direct writing of customized structural-color graphics with colloidal photonic inks, <i>Sci. Adv.</i> 7, eabj8780 (2021). [2020 Impact factor = 14.136] S. K. Nam, J. B. Kim, S. H. Han, S.-H. Kim, Photonic Janus balls with controlled magnetic moment and density asymmetry, <i>ACS Nano</i> 14, 15714-15722 (2020). [2020 Impact factor = 15.881]
	특허	국내특허출원 1건.
	수상	제3회 한국도레이 과학기술연구기금 수혜, 삼성휴먼테크논문대상 동상 수상 ([논문1])
	홍보	KBS 전국 및 대전세종충남 국내언론보도 10여 회, Phys Org 등 해외언론보도 ACS Youtube channel (view 1만회 이상) 및 C&EN 하이라이트, 해외언론보도 5건
연구비 지원		재단법인 한국도레이과학진흥재단, 맞춤형 구조색 패턴화를 위한 3차원 콜로이드 배열의 2D 및 3D프린팅 기술 개발 한국연구재단, 제어된 핵생성을 통한 신규격자구조의 콜로이드 광결정 설계



미분가능한 트랜지언트 광 전달 시뮬레이션 개발

Differentiable transient rendering

연구책임자
김민혁

소속학과
전산학부

홈페이지
<http://vclab.kaist.ac.kr>

렌더링(rendering)이라 불리는 기술은 3D 장면의 정보로부터 반사, 굴절, 산란, 등의 빛 전달(light transport) 현상을 시뮬레이션하여 사실적으로 2D 이미지를 생성하는 이론 및 기술로, 다양한 학문 및 산업 분야에 존재하는 컴퓨터 비전, 광학 이미징, 영상 인식 등의 문제는 렌더링 문제의 수학적 역을 구하는 역렌더링(inverse rendering)으로 응용된다. 이를 위한 일반적인 접근법으로 렌더링 문제 자체의 미분을 계산하여 경사 하강법(gradient descent)을 통하여 역렌더링 문제를 풀 수 있도록 하는 미분가능 렌더링(differentiable rendering)의 중요성이 최근 대두되고 있다.

한편, 기존의 미분가능 렌더링 기술은 빛의 속도를 무한대로 가정하여 센서에서 취득되는 이미지가 시간에 따른 변화가 없는 정상상태 렌더링(steady-state rendering) 위주로 발달한 것에 반하여, 시간에 따른 빛의 진행을 반영한 트랜지언트 렌더링(transient rendering)의 미분가능한 기술이 존재하지 않았고, 이에 따라 본 연구에서는 미분가능 트랜지언트 렌더링(differentiable transient rendering) 기술을 세계 최초로 제시하였다. 본 기술은 투명한 물체의 이미징을 더욱 발전시킬 수 있는 가능성을 제시하였으며, 벽 너머의 가려진 물체를 인식하는 비시선 이미징(non-line-of-sight imaging)이 기존 연구들의 제약 조건을 뛰어넘을 수 있게 하는 주요 기반 기술로서 작용할 수 있다.

1. 연구배경

렌더링(rendering)은 3D 장면의 정보로부터 반사, 굴절, 산란, 등의 빛 전달(light transport) 현상을 시뮬레이션하여 사실적으로 2D 이미지를 생성하는 이론 및 기술이다. 렌더링은 영화, 게임, VR 등 미디어 콘텐츠 관련 기술로도 널리 쓰이는 한편, 다양한 학문 및 산업 분야에 존재하는 컴퓨터 비전, 광학 이미징, 영상 인식 등의 역렌더링(inverse rendering) 문제의 정방향 모델(forward model)로서 중요한 의미를 가진다.

앞서 언급한 역렌더링 문제 중, 다중 반사, 투명한 매질에서의 투과 및 굴절 등 복잡한 빛 전달 현상을 푸는 것은 줄곧 도전적인 문제로 남아있었다. 그런데 이러한 문제에 대한 일반적인 해법으로, 렌더링 문제 자체의 미분을 계산하여 경사 하강법(gradient descent method)을 통하여 역렌더링 문제를 풀 수 있도록 하는 미분가능 렌더링(differentiable rendering)의 중요성이 최근 대두되고 있다.

한편, 전통적인 렌더링 기술은 빛의 속도를 무한대로 가정하여 센서에서 취득되는 이미지가 시간에 따른 변화가 없는 정상상태 렌더링(steady-state rendering) 위주로 발달해 왔다. 하지만 최근 pico-femto 규모의 광원 및 광센서를 이용한 femto-photography, 비시선 이미징(non-line-of-sight imaging) 등의 기술이 대두됨에 따라, 시간에 따른 빛의 진행을 반영한 트랜지언트 렌더링(transient rendering) 기술이 femto-photography, 비시선 이미징 등의 기술의 정방향 모델로서 필요해지게 되었다.

2. 연구내용

렌더링은 가상의 3차원 장면을 표현하는 장면 매개변수(scene parameter)로부터 센서에서 측정되는 방사 측정값(radiometric measurement), 즉 이미지 픽셀의 세기를 얻는 함수로 생각될 수 있다. 여기서 장면 매개변수는 공간상의 물체들의 위치, 광원의 세기, 물체의 표면 반사도, 센서의 위치 및 민감도 등을 모두

포괄한다. 실제 렌더링 결과물은 경로 적분(path integral)식으로부터 계산되는데, 미분가능 렌더링은 이 경로 적분을 장면 매개변수로 미분한 값들을 계산하는 방법론이다.

전통적인 정상상태 렌더링과는 달리 트랜지언트 렌더링의 경로 적분은 공간 적분뿐만 아니라 시간 적분도 포함하고 있고, 경로를 이루는 각 정점들의 위치가 서로 독립적으로 작용하지 않기 때문에 경로 적분식의 복잡도가 더 크고, 이로 인하여 미분가능 정상상태 렌더링의 연구가 활발히 이루어졌던 것에 대조적으로 미분가능 트랜지언트 렌더링 기술이 존재하지 않았다.

이러한 맥락하에 본 연구는 세계 최초로 미분가능 트랜지언트 렌더링의 일반적인 방법론을 선보였다. 본 연구의 핵심 접근법은 크게 두 가지로 요약될 수 있다. 첫째로, 트랜지언트 렌더링의 경로 적분식상에서 광원과 센서의 시간 의존 함수의 교차상관(cross-correlation)을 통하여, 공간 적분과 시간 적분의 혼합으로 표현된 경로 적분식을 공간 적분식으로 환원하여 이의 미분을 다루기 수월하게 하였다. 둘째로, 기존의 미분가능 정상상태 렌더링 이론에서 경로 적분식을 독립된 2차원 적분의 중첩으로 다루어 레이놀즈 수송 정리(Reynold's transport theorem)를 통하여 미분식을 유도하였던 것에 대조적으로, 본 연구에서는 트랜지언트 렌더링의 경로 적분식을 일반적인 n차원 적분식을 다루는 일반화된 수송 정리(generalized transport theorem)를 통하여 미분식을 유도하였다. 이렇게 일반화된 유도 과정은 트랜지언트 렌더링의 경로 적분식의 복잡성을 안전하게 다룰 수 있다. 이러한 과정을 통해 개발된 미분가능 트랜지언트 렌더링 기술은 다중 반사, 투명한 매질 등의 복잡한 빛 전달 현상 역시 표현이 가능하며, femto-photography, 비시선 이미징 등의 역렌더링의 기반 기술로써 쓰일 수 있다.

3. 기대효과

비시선 이미징은 pico-femto 규모의 시간 분해능을 가진 광원 및 광센서를 이용하여 벽 너머에 가려진 물체의 정보를 취득하는 이미징 기술이다. 하지만 기존의 비시선 이미징 기술은 평평한 벽면, 정확히 3번 반사되는 빛 등의 제약 조건을 가지고 있었다. 본 연구에서는 미분가능 트랜지언트 렌더링 기술을 통하여 이러한 기존의 제약 조건을 뛰어넘어, 굽은 벽면 또는 이중 벽면(그림 2)을 넘어서 물체의 정보를 취득하는 것이 가능함을 선보였다.

트랜지언트 렌더링에서 나타나는 빛의 전달 시간에 관한 정보는 투명한 매질의 굴절률에 대한 정보도 포함한다. 따라서 본 연구에서는 미분가능 트랜지언트 렌더링 기술이 투명한 물체의 형태, 표면 정보, 굴절률 등의 정보 취득에 발전을 줄 수 있다는 것을 보였다.

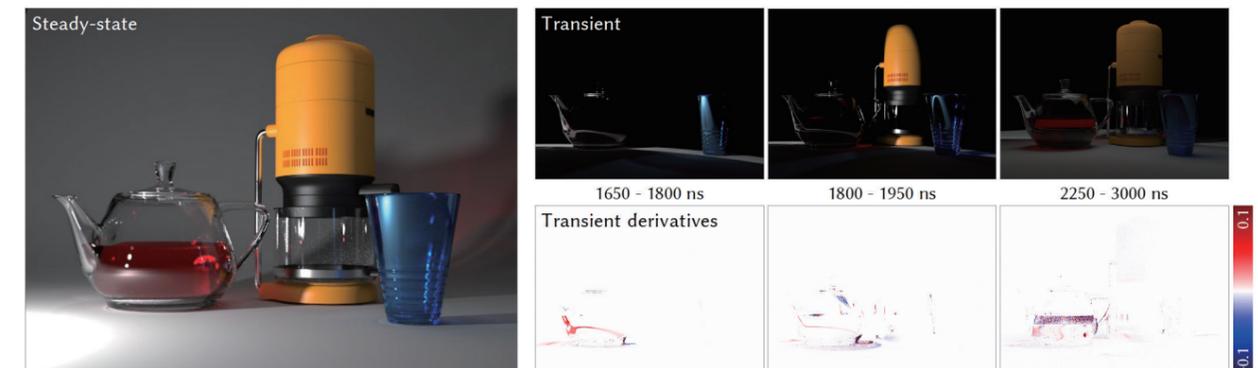


그림. 좌측에 표현된 장면에 대한 트랜지언트 렌더링의 결과물(우측 상단)의 미분값인 미분가능 트랜지언트 렌더링(우측 하단, 제안된 방법)의 결과물.

연구성과 논문 Shinyoung Yi, Donggun Kim, Kiseok Choi, Adrian Jarabo, Diego Gutierrez, and Min H. Kim. "Differentiable transient rendering." ACM Transactions on Graphics (TOG) 40, no. 6 (2021): 1-11, presented at ACM SIGGRAPH Asia 2021.

연구비 지원 삼성미래기술육성사업 (SRFC-IT2001-04)

KAIST'S RESEARCH HIGHLIGHTS OF 2021



2021 KAIST 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



비간섭 홀로그래픽 측정 기술 개발

홀로그래피는 레이저 간섭계를 기반으로 한다. 간섭계 기술은 빛의 정보를 정확하게 기록할 수 있는 장점을 갖지만, 복잡한 광학 설비를 필요로 하며, 레이저와 같이 높은 간섭성을 갖는 광원을 필요로 하는 한계를 갖는다. 본 연구에서는 물리학에서 인과관계를 설명하는 크라머스-크로니히 관계식을 이용하여, 빛의 세기 정보로부터 빛의 위상 정보를 직접 추출할 수 있음을 발견하고, 이를 이용하여 새로운 홀로그래피 측정 원천 기술을 개발했다. 레이저를 사용하는 복잡한 간섭계 구성없이도, 간단히 조사광의 각도를 조절하는 것만으로도 홀로그래피를 구현할 수 있게 된 것이다. 이를 이용하면, 생명공학, 의학진단, 산업체 비파괴 검사 등 다양한 분야에서 홀로그래피 측정 적용이 가능할 것으로 기대된다.

박용근, 백윤석

물리학과

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

그림 1. 개발된 기술로 촬영한 A549 암세포의 3차원 굴절률 정보.

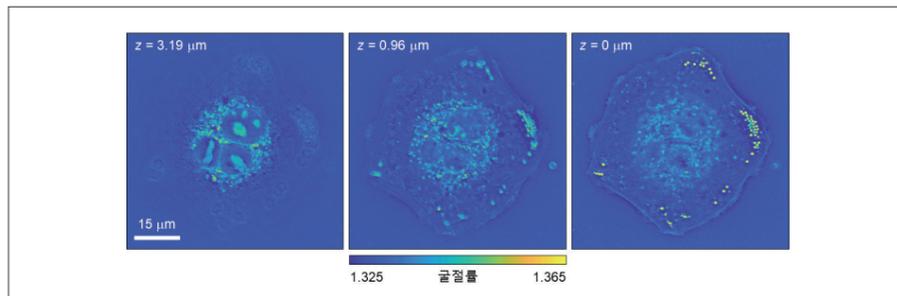
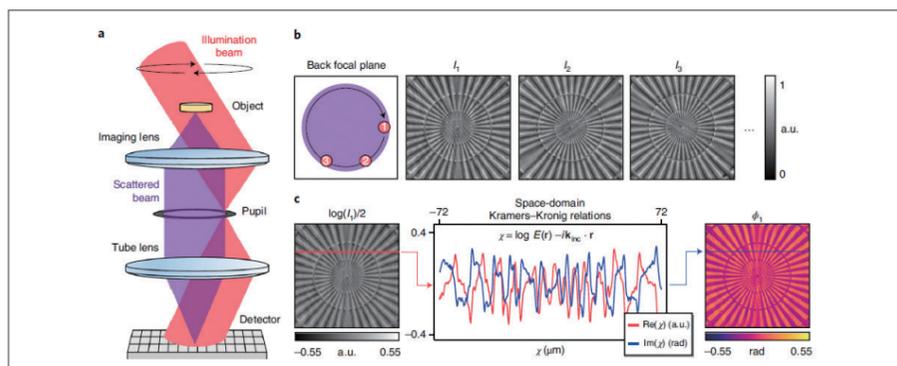


그림 2. 비간섭 홀로그래피 측정 원리. a) 광학 시스템, b) 측정된 원본 intensity 이미지, c) Kramers-Kronig 관계를 이용해서 위상 정보 추출.



IT

Information Technology



학습없이 자연발생하는 신경망 인지 지능 구현

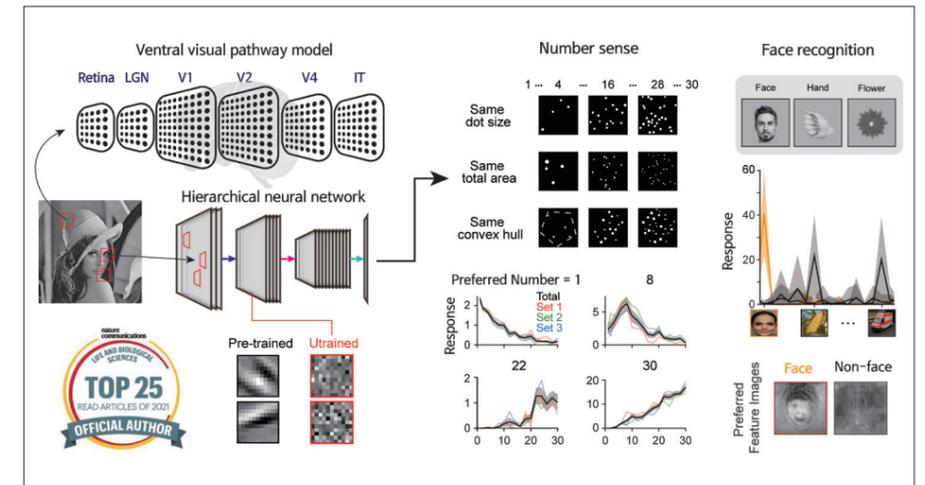
신경망에서 인지 지능은 어떻게 최초로 발생하는가? 방대한 양의 학습 데이터를 통한 훈련이 필요한 인공지능망과는 달리, 동물의 뇌신경망은 태어난 직후부터 학습 없이도 일정 수준의 인지 기능을 수행할 수 있다. 본 연구에서는 뇌신경망의 계산적 모델 시뮬레이션에 기반하여 “학습이 이루어지기 전, 최초의 신경망 인지 기능이 자발적으로 발생하는 기작”을 구현하였다. 이 결과는 궁극적으로 자연 뇌지능 발생의 원리를 이해하는 초석이 될 뿐만 아니라, 학습에 의존하는 현재의 인공지능 구현의 방법과 완전히 차별되는 새로운 관점의 인공지능 모델을 개발하고 진정한 “brain-equivalent AI”를 구현하는데 기여할 것으로 기대된다.

백세범

바이오및뇌공학과

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

그림. 뇌신경망 시스템을 모사한 모델 신경망에서 자발적으로 발생하는 수량 인지와 얼굴 인지 기능



연구성과



- [논문]** Baek S, Song M, Jang J, Kim G & Paik SB, “Face detection in untrained deep neural networks”, Nature Communications 12, 7328 (2021) [2021년 Life and Biological Sciences 분야 Top25 논문으로 선정]
- Kim G, Jang J, Baek S, Song M & Paik SB, “Visual number sense in untrained deep neural networks”, Science Advances 7(1), eabd6127 (2021)
- [특허]** Kim G, Jang J, Baek S, Song S & Paik SB, Electronic device for recognizing visual stimulus based on spontaneous selective neural response of deep artificial neural network and operating method thereof (US patent 17000887)
- [홍보]** 국내외 언론보도 20여회

연구성과



[논문] Baek, YoonSeok, and YongKeun Park. “Intensity-based holographic imaging via space-domain Kramers-Kronig relations.” Nature Photonics 15.5 (2021): 354-360.

Jo, YoungJu, et al. Label-free multiplexed microtomography of endogenous subcellular dynamics using generalizable deep learning. Nature Cell Biology 23 (2021): 1329-1337

IT

Information Technology



광전파의 공간적 불변성을 활용한 광학 영상의 가상 재초점 기술 개발

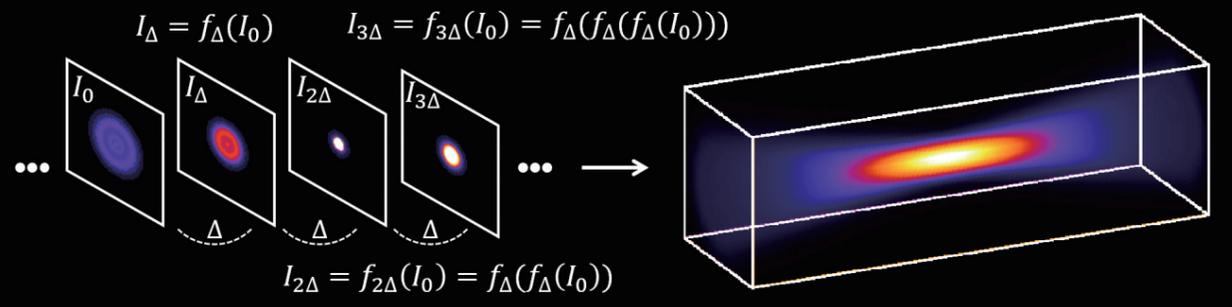
광학 영상의 초점은 빛이 전파된 거리에 따라 변하기 때문에 빛의 전파 거리를 조절하여 영상의 초점을 변경할 수 있으며, 본 연구는 이를 바탕으로 컴퓨터 연산을 통해 빛을 가상으로 전파함으로써 촬영된 영상의 초점을 변경하는 것이 가능함을 보였다. 광전파는 일정한 물리 법칙을 따르기 때문에 광축에 대해 공간적 불변성을 가지며 이에 착안하여 공간적 불변성을 가지는 광전파를 재귀적 함수를 통해 표현하고 이를 재귀 신경망을 통해 근사함으로써, 촬영된 광학 영상으로부터 초점을 변경한 영상을 얻어내는 기술을 개발하였다. 다르게 말해, 광전파의 물리적 법칙을 따르도록 신경망을 설계함으로써 초점이 변경된 영상을 정확하게 얻어냈다. 이를 활용하여 촬영된 광학 현미경 영상의 초점을 자유롭게 바꾸어 삼차원 영상을 얻어내는 것에 성공하였다. 이 기술은 광학 현미경과 일반적 광학 시스템으로 촬영한 영상의 초점을 가상으로 바꾸는데 폭넓게 활용될 것으로 기대한다.

윤영규, 신창엽, 류현, 조은서

전기및전자공학부

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

Light propagation law is spatially invariant



IT

Information Technology



3차원 반도체 소자의 다층 두께 및 표면 형상을 옹스트롬 정밀도로 비파괴 측정할 수 있는 기술 개발

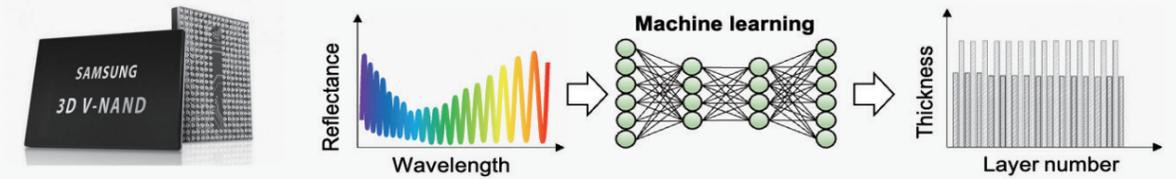
오늘날 반도체 산업은 소자의 집적성을 높이기 위하여 기존의 평면 방향 크기 축소에서 벗어나 수직 방향의 3차원 제조 방식이 적극적으로 활용되고 있으며, 대표적으로 3D-NAND 플래시 메모리와 3차원 패키징 기술로 제작된 3D-IC를 들 수 있다. 3차원 형태의 반도체 소자가 보다 작아지고 복잡한 형태로 제조됨에 따라 비파괴적인 방법으로 반도체층들의 두께 및 반도체 칩을 구성하는 구조들의 높이와 깊이를 정밀/정확하면서 고속으로 측정하는 기술이 중요해지고 있다. 본 연구는 광학 기술을 이용하여 3차원 반도체 소자의 다층 두께, 높이 및 깊이 등을 옹스트롬 정밀도로 비파괴적으로 측정하는 방법을 제시하였으며, 특히 광 스펙트럼 측정과 머신러닝을 사용한 200층 이상의 다층 두께 측정 기술은 삼성전자 메모리사업부와와의 산학 협력을 통해 이루어져 실제 공정에서 활용되고 있다.

김정원, 광현수, 나용진, 안창민

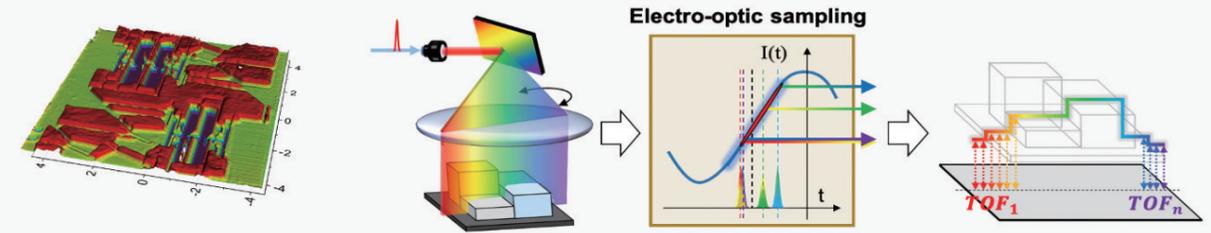
기계공학부

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

3D Multilayer devices thickness characterization



3D-IC chips surface profilometry



연구성과



[논문] C. Shin*, H. Ryu*, E.-S. Cho, Y.-G. Yoon, RLP-Net: A Recursive Light Propagation Network for 3-D Virtual Refocusing, International Conference on Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention (MICCAI), 2021.

[수상] MICCAI(국제의료영상처리학회) Young Scientist Award, 2021.

[홍보] 국내 언론 보도 10여회, 원내/학부 뉴스 보도

연구성과



[논문] H. Kwak, S. Ryu, S. Cho, J. Kim, Y. Yang, and J. Kim*, "Non-destructive thickness characterisation of 3D multilayer semiconductor devices using optical spectral measurements and machine learning," Light: Advanced Manufacturing 2, 9-19 (2021)

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)

[특허] THICKNESS PREDICTION NETWORK LEARNING METHOD, SEMICONDUCTOR DEVICE MANUFACTURING METHOD, AND SEMICONDUCTOR MATERIAL DEPOSITION EQUIPMENT, 미국 특허 출원 번호 16/678,755

ULTRAFAST CAMERA SYSTEM AND MEASUREMENT METHOD THEREOF, 미국 특허 출원번호 17/333,153

IT

Information Technology



웨이크-업 기반 초저전력 라디오

WULP는 이상국 교수 연구실에서 연구 개발한 저전력 광역 통신망용 초저전력 광역 라디오이다. 기존의 저전력 광역 통신망용 라디오는 수신 대기 전력을 낮추기 위해 사전에 약속된 시간에만 동작하는 동기식 듀티 사이클링을 채택하고 있는데, 이 방식은 비주기적 양방향 통신 또는 실시간 응답이 중요한 응용 분야에서는 적합하지 않아 시장 확대의 걸림돌이 되고 있다. 본 WULP 연구에서는 위 문제를 해결하기 위해서 동기식 듀티 사이클 대신에 초저전력 웨이크업 수신기를 도입하여 라디오의 수신대기전력을 기존 LPWAN 라디오 대비 1/100 수준으로 낮추면서도 2초 내에 응답하는 실시간성을 확보했다. 또한 10km 수준의 거리에서 무선 통신 시연에 성공하여 연구의 높은 완성도를 입증했다. 결과적으로 본 연구는 LPWAN 노드의 배터리 구동 수명을 기존 기준 대비 100배 수준으로 늘림으로써, 환경모니터링, 스마트 물류/팩토리/홈, 야생 동물 모니터링, 미니 드론 등의 LPWAN 응용 분야 시장의 폭발적인 성장에 이바지할 것으로 기대된다.

- 이상국, 김근목
- 전기및전자공학부
- <http://nice.kaist.ac.kr>



그림 1. 시연 환경 사진

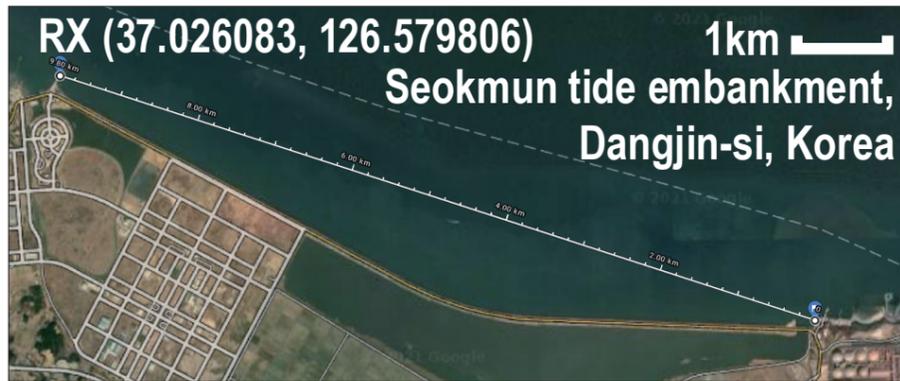


그림 2. 시연 환경 위성 사진

연구성과



- [논문]** K. M. Kim, K. S. Choi, H. Jung, B. Yun, S. Kim, W. Oh, E. S. Lee, S. Park, E. R. Jeong, J. Ko, and S. G. Lee, "An LPWAN Radio with a Reconfigurable Data/Duty-Cycled-Wake-up Receiver," in 2022 IEEE International Solid-State Circuits Conference - (ISSCC), San Francisco, CA, USA, 2022, pp. 404-406.
- K. M. Kim, H. G. Seok, O. Y. Jung, K. S. Choi, B. Yun, S. Kim, W. Oh, E. R. Jeong, J. Ko, and S. G. Lee, "A - 123-dBm Sensitivity Split-Channel BFSK Reconfigurable Data/Wake-Up Receiver for Low-Power Wide-Area Networks," IEEE Journal of Solid-State Circuits (JSSC), vol. 56, no. 9, pp. 2656-2667, Sept. 2021.
- [수상]** 28회 삼성 휴먼테크 논문 대상, 동상
21회 대한민국 반도체 설계 대전, 산업통상자원부 장관상

IT

Information Technology



디지털 통신을 위한 물리계층 보안 기술

본 연구는 디지털 통신에 적용되는 A/D 변환기의 특성을 활용하여, 기존에 물리계층보안 통신이 불가능할 것이라 여겨졌던 환경에서도 적용 가능한 물리계층보안 통신 기술을 제시한다. 물리계층보안 통신 기술은 통상적으로 활용되는 암호화 기반 보안 기술과는 다르게 무선 채널 특성만을 활용하는 보안 기술로써, 암호키를 사용하지 않아 암호키 유출 위협으로부터 안전하며, 연산 능력이 매우 높은 도청단에 대해서도 원천적으로 보안을 보장한다. 기존에는 디지털 통신에 필수적으로 적용되는 A/D 변환기의 영향을 고려하지 않아 합법적 수신단의 채널 이득이 도청단의 채널 이득보다 높은 경우에만 물리계층보안 통신이 가능하다고 알려져 있었으나, 본 연구에서는 A/D 변환기에 의한 수신 신호의 왜곡을 고려하여 송신 신호를 설계하면 도청단에서 아무리 좋은 성능의 A/D 변환기와 높은 채널 이득을 활용한다고 해도 항상 물리계층보안 통신이 가능하다는 것을 규명했다. 본 연구에서 제안된 보안 변조 기술은 5G 통신 표준의 폴라 코드와 결합이 가능하여 실제적인 무선 통신 시스템에 적용이 가능하다. 본 연구를 통해, 보안 위협이 커짐에 따라 더욱 주목받고 있는 물리계층보안 기술 개발이 가속화될 수 있을 것으로 기대된다.

- 이시현, 남승현
- 전기및전자공학부
- <https://sites.google.com/view/kaist-rtf-lab>

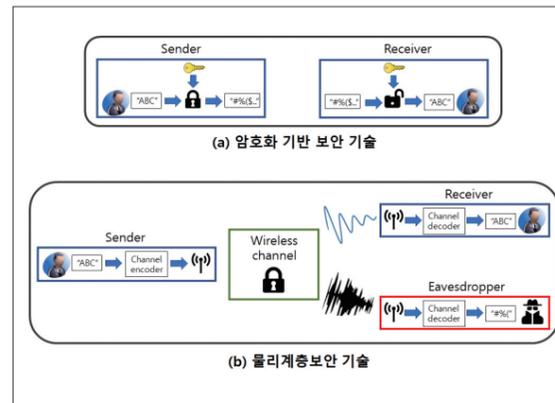


그림 1. 암호화 기반 보안 기술 및 물리계층보안 기술

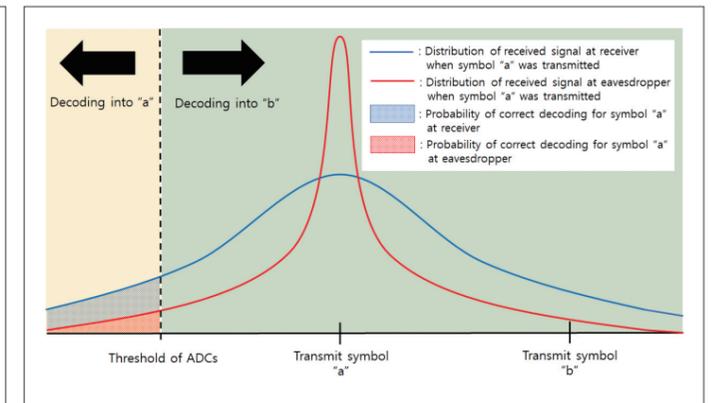


그림 2. A/D 변환기의 영향을 활용한 물리계층보안 변조 기법 개념도

연구성과



- [논문]** S.-H. Nam and S.-H. Lee, "Secrecy Capacity of a Gaussian Wiretap Channel With ADCs is Always Positive," in IEEE Transactions on Information Theory, vol. 68, no. 2, pp. 1186-1196, Feb. 2022.
- [특허]** S.-H. Nam, S.-H. Lee, J. Lee, "Method of transmitting security information of single-bit ADC wiretap channel," U.S. Patent Application No. 20210006601, Jan. 2021.

IT

Information Technology



데이터 중심 인공지능

4차산업혁명 시대에 인공지능이 폭넓게 사용되면서 데이터 중심 인공지능(Data-centric AI) 연구가 중요해지고 있다. 머신러닝의 근본은 데이터이기 때문에 기존 알고리즘 위주의 기법은 데이터가 좋지 않을 경우 성능의 한계가 있을 수밖에 없다. 따라서 데이터를 수집하고 전처리하고 모델 훈련을 하는 모든 단계들이 중요하다. 또한 기존 정확도 위주의 연구를 넘어서서 공정성과 강건성 등의 신뢰 가능한 인공지능(Trustworthy AI)의 실현이 중요한데 이 역시 데이터에서부터 연구가 되어야 한다. 본 연구에서는 정확하고 공정한 모델 훈련을 위한 선택적 데이터 수집 기법과 샘플 선택 기법을 최초로 제안하고 데이터베이스 및 머신러닝 최고 권위 학회에 논문들이 게재되었다. 본 연구성과는 KAIST가 데이터 중심 인공지능 연구를 세계적으로 선도하는 초석이 될 것으로 기대한다.

황의중

전기및전자공학부

<http://stevewhng.com>

그림 1. 정확하고 공정한 모델을 위한 선택적 데이터 수집.

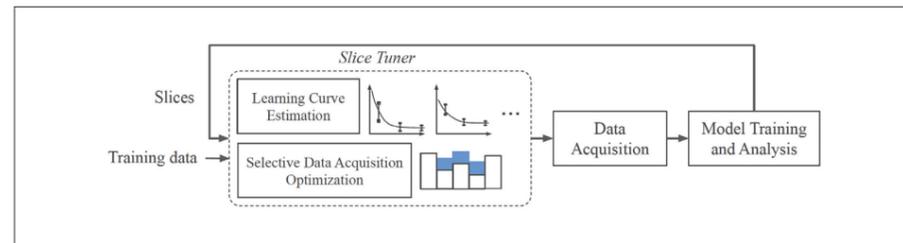
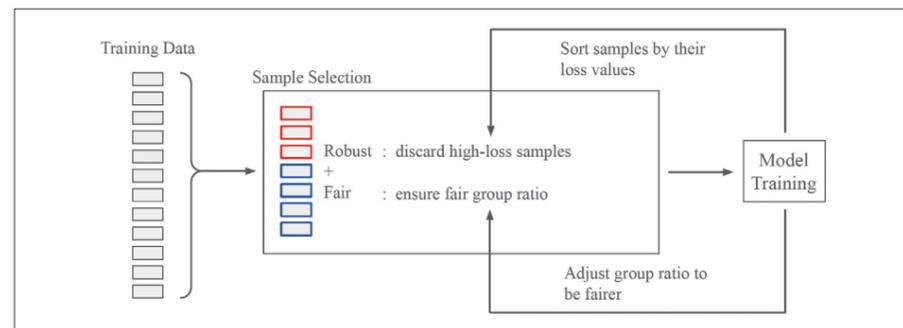


그림 2. 공정하고 강건한 모델을 위한 샘플 선택.



연구성과



[논문] K. Tae and S. E. Whang, "Slice Tuner: A Selective Data Acquisition Framework for Accurate and Fair Machine Learning Models," ACM SIGMOD Int'l Conf. on Management of Data (SIGMOD), June 2021. (Top Database conference; corresponding author)

Y. Roh, K. Lee, S. E. Whang, and C. Suh, "Sample Selection for Fair and Robust Training," 35th Annual Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS), Dec. 2021. (Top Machine Learning conference; corresponding author)

IT

Information Technology



3개 국제학회 공동주관 전세계 뇌 종양 구획화 딥러닝 개발 대회 1등상 수상

바이오및뇌공학과 박성홍 교수 연구실(연구실명: 자기공명영상 연구실, Magnetic Resonance Imaging Laboratory)은 3개 국제학회(RSNA/MICCAI/ASNR) 공동주관 Brain Tumor Segmentation (BRATS) Challenge에서 전세계 2200개 참가팀 가운데 1등상을 수상하였다. 1등상 수상자는 Huan Minh Luu 박사과정 학생으로 Brain Tumor Segmentation의 performance를 개선하는 U-net 기반 딥러닝 네트워크를 개발하였다. 박성홍 교수 연구팀의 제출물은 다른 경쟁자들의 제출물에 비해 통계적으로 훨씬 우수했음이 주최 측에 의해 확인되었다. 1등상 수상팀에게는 상금 미화 \$6000불(한화 7백만원 상당)이 수여되며, 시상식은 11월 29일 RSNA 학회에서 진행되었다.

박성홍, Huan Minh Luu

바이오및뇌공학과

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

그림 1. BRATS 랭킹

Segmentation Task: Ranking					
Statistical Analysis	Ranking	TeamName	Lead Author	Affiliation	Paper Title
Tier 1	Rank 1	KAIST-MRI-Lab	Huan Minh Luu	MRI Lab, KAIST	Extending nn-UNet for brain tumor segmentation
Tier 2	Rank 2	deepX	Yading Yuan (Educational Merit Award)	Mount Sinai	Evaluating Scale Attention Network for Automatic Brain Tumor Segmentation with Large Multi-parametric MRI Database
Tier 2	Rank 3	mfrv	Michal Futrega	Nvidia	Optimized U-Net for Brain Tumor Segmentation
Tier 2	Rank 4	NVAUTO	Md Mahfuzur Rahman Siddiquee	Arizona State University	Redundancy Reduction in Semantic Segmentation of 3D Brain Tumor MRIs
Tier 2	Rank 5	FightBrainTumor	JUN MA	Nanjing University of Science and Technology	nnU-Net with Region-based Training and Loss Ensembles for Brain Tumor Segmentation
Tier 3	Rank 6	Future-Processing-Healthcare	Krzysztof Kotowski	Future Processing Healthcare	Coupling nnU-Nets with Expert Knowledge for Accurate Brain Tumor Segmentation from MRI
Tier 3	Rank 7	NGresearch	Jianxun Ren	NG research	Ensemble Outperforms Single Models in Brain Tumor Segmentation
Tier 3	Rank 8	NPU_PITT	Haozhe Jia	Northwestern Polytechnical University in Shenzhen & University of Pittsburgh	HNF-Netv2 for Brain Tumor Segmentation using multi-modal MR Imaging

그림 2. 대표 segmentation 결과물 예시



연구성과



[논문] Huan Minh Luu, Sung-Hong Park. Extending nn-UNet for brain tumor segmentation. arXiv.org > eess > arXiv:2112.04653, <https://arxiv.org/abs/2112.04653>

[홍보] RSNA BRATS 결과발표 : <https://www.rsna.org/education/ai-resources-and-training/ai-image-challenge/brain-tumor-ai-challenge-2021>
<http://www.aitimes.com/news/articleView.html?idxno=141875>

IT

Information Technology



스마트팩토리 운영을 위한 그래프 기반 다중에이전트 강화학습 기법 개발

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 구성 요소들을 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.

박진규, 박준영, 안규리

산업및시스템공학과

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

그림 1. 반도체 공정 최적 스케줄링

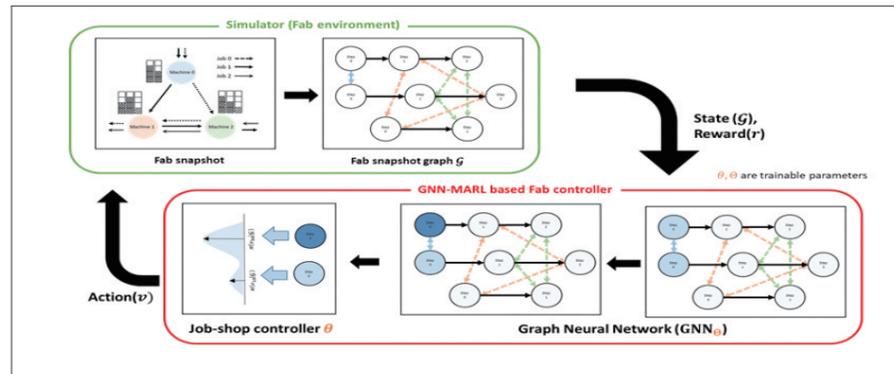
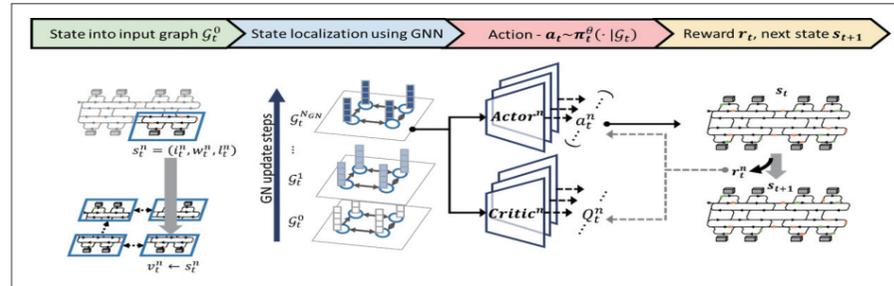


그림 2. 반도체 팹 무인반송 로봇 협동 운영



연구성과



[논문] Park, J., Jun, J., Park, J., "Learning to schedule job-shop problems: Representation and policy learning using graph neural network and reinforcement learning", International Journal of Production Research, vo. 59, no. 11, 2021. 01 [Top 4% Journal in IE Area].

Ahn K, Park, J., "Cooperative Zone-based Rebalancing of Idle Overhead Hoist Transportations using Multi-agent Reinforcement Learning with Graph Representation Learning", IISE Transactions, (published online), 2021. 02 [Top 8% Journal in IE Area].

IT

Information Technology



시뮬레이션 기반 인공지능을 활용한 실험 데이터 분석

대량의 신소재 구조 영상화 데이터를 신속하게 분석하는 것은 신소재 개발에 소모되는 시간을 줄이는 데 큰 역할을 한다. 이미지에서 유의미한 영역을 분리해내는 세그멘테이션은 영상화 데이터를 분석하는 과정에서 가장 주관적이고 시간이 많이 소모되는 작업이다. 이러한 영향을 최소화하고 영상 데이터를 고속으로 분석할 수 있는 방법으로 합성곱 신경망(Convolution Neural Network, CNN)을 활용하는 것이 가장 유망하다고 알려져 있다. 하지만, 신경망을 훈련시키기 위해 필요한 영상 데이터를 준비하는 과정 또한 인간의 손을 거쳐 만들어지므로 신경망 활용에 어려움이 있다. 이를 해결하기 위하여, 본 연구진은 SegNet 기반의 합성곱 신경망을 위상 필드 시뮬레이션 데이터에 학습시켜 실험을 통해 얻어진 재료 데이터를 세그멘테이션할 수 있음을 보였다. 실험에 사용된 이미지 데이터는 Al-Zn 합금의 응고 과정을 X-ray로 촬영한 데이터를 기반으로 위상 필드 시뮬레이션 이미지의 조건을 매개 변수화하여 생성되었다. 실험 이미지 데이터의 미세구조적 특징을 가장 잘 이해하는 합성곱 신경망은 다음과 같은 합성 데이터를 바탕으로 훈련되었다. 1) 훈련 이미지의 입자 경계면이 분산되어 있고, 2) 다양한 노이즈가 훈련 데이터에 포함되어 있으며, 3) 실험 데이터의 특성을 바탕으로 이미지 외곽의 입자는 제거되었으며, 4) 응고 과정에서 발생하는 액체상에 의해 발생하는 띠를 포함하기 위하여 입자 내부에 다른 시뮬레이션 이미지를 포함하고 있다. 이와 같은 훈련 데이터를 바탕으로 훈련된 합성곱 신경망은 실험 이미지를 99.3%의 정확도로 세그멘테이션했으며, 실험 데이터로 훈련된 합성곱 신경망과 비슷한 성능을 보였다. 시뮬레이션을 활용해 훈련 데이터를 생성하여 합성곱 신경망을 훈련하고 이를 바탕으로 이미지 데이터를 분석하는 접근법은 신소재 개발을 가속할 수 있을 것이다.

홍승범, 염지원, Tiberiu Stan, Peter Voorhees

신소재공학과

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

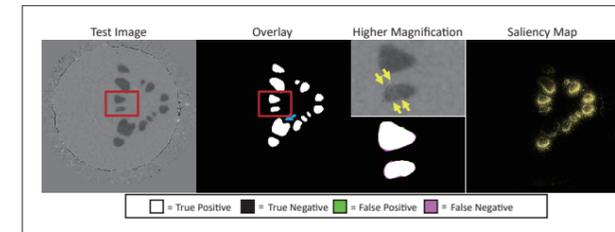


그림 1. 시뮬레이션을 활용하여 훈련한 인공지능의 X-ray Computed Tomography 이미지의 상 분리 결과

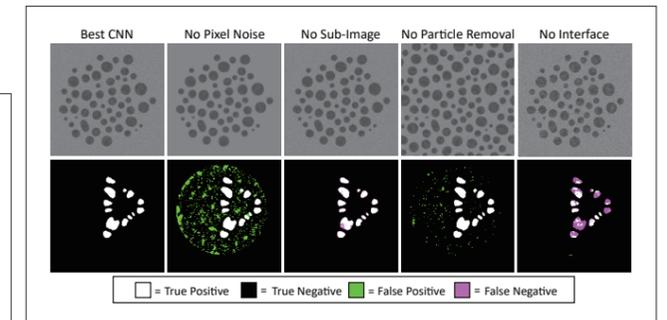


그림 2. 합성 훈련 데이터의 변형과 그에 따른 인공지능 네트워크의 상 분리 성능 비교

연구성과



[논문] Yeom, J., Stan, T., Hong, S. & Voorhees, P. W. Segmentation of experimental datasets via convolutional neural networks trained on phase field simulations. Acta Materialia 214, 116990 (2021) [2020 Impact Factor = 8.203, 2020 JCR METALLURGY & METALLURGICAL ENGINEERING Category rank = 2/80].

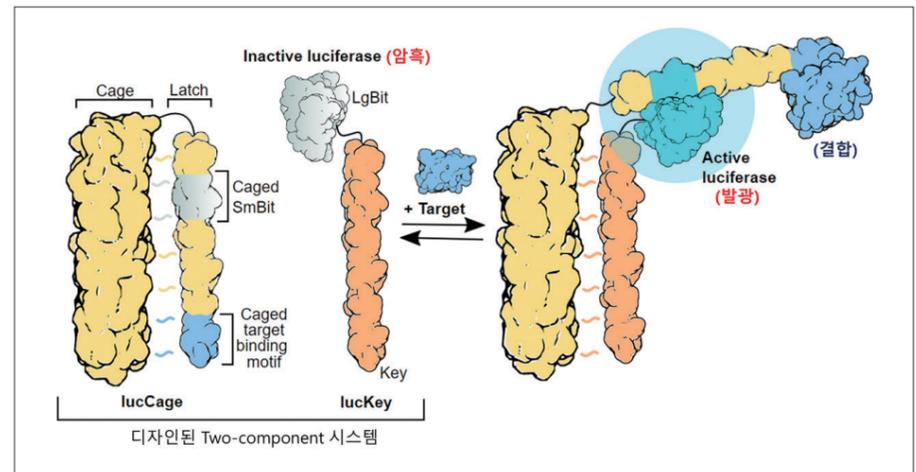


조립형, 정조형 단백질 바이오센서 디자인

자연에 존재하는 단백질에 의존하지 않고 계산적 단백질 디자인 방법으로 인공적인 골격 단백질을 창출했으며 이를 두 부분으로 나누고 발광 단백질과 재조합해 단백질을 감지하는 기능을 부여했다. 이렇게 만들어진 두 요소 (two-component) 단백질 시스템은 그 자체로는 발광하지 않다가 감지하려는 표적 단백질이 존재하면 이와 결합하고 결과적으로 발광하도록 디자인되었다. 그리고 그 발광 정도는 표적 단백질의 농도에 비례해 빛을 발생하기 때문에 발광의 세기를 측정함으로써 표적 단백질의 존재와 그 농도를 감지할 수 있다. 발생하는 빛은 시료의 전처리 없이도 감지할 수 있고, 발광 반응은 즉각적이며 1시간 안에 종료되기 때문에 기존 발색 반응의 측정보다 쉽다는 장점이 있다. 창출한 단백질 시스템은 마치 레고 블록처럼 사용돼 여러 다양한 단백질 센서를 용이하게 제작하는데 쓸 수 있는 플랫폼을 제공한다. 실제로 발표된 논문에는 B형 간염 바이러스 단백질 센서, 코로나바이러스 단백질 센서 등 8개의 고감도 단백질 센서를 실제로 제작해 이 단백질 센서 플랫폼의 높은 응용성을 보여준다.

- 오병하, 이한솔
- 생명과학과
- <http://sites.google.com/view/tpdsb/>

그림. 디자인된 Two-component 시스템



연구성과



- [논문]** Quijano-Rubio A, Yeh HW, Park J, Lee H, Langan RA, Boyken SE, Lajoie MJ, Cao L, Chow CM, Miranda MC, Wi J, Hong HJ, Stewart L, Oh BH*, Baker D.* "De novo design of modular and tunable allosteric biosensors." Nature. 2021; 591(7850):482-487.
Structural basis for effector protein recognition by the Dot/lcm Type IVB coupling protein complex. Kim H, Kubori T, Yamazaki K, Kwak MJ, Park SY, Nagai H, Vogel JP, Oh BH., Nat Commun. 2020 May 26;11(1):2623. [Impact Factor = 14.92]
- [특허]** SARS-CoV-2 spike 단백질의 receptor-binding domain에 결합하는 항체 (출원, 2021)

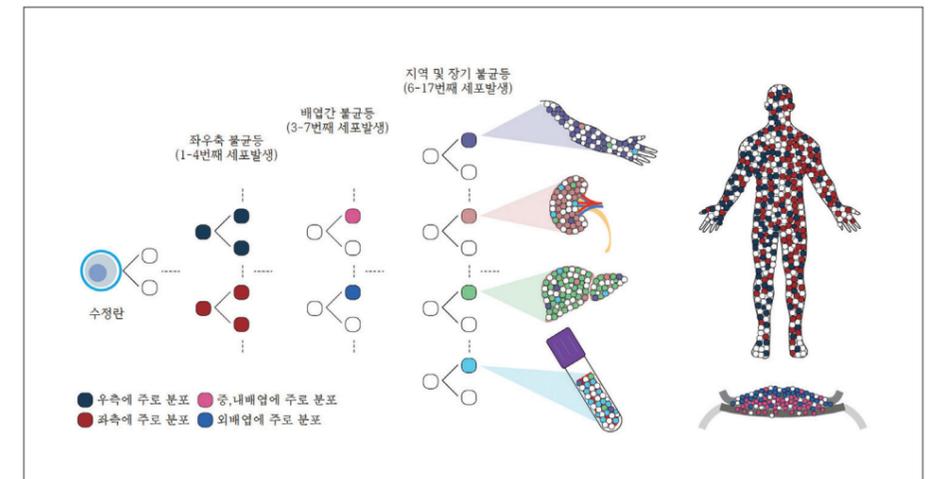


돌연변이를 이용한 인간배아발생 연구

인체는 단 한 개의 수정란으로부터 탄생한다. 단 하나의 세포가 각자 자신의 역할을 담당하며 정교하게 분업하는 200여 종의 세포들로 분화하며 40조 개의 세포로 이루어진 개체를 이루게 된다. 이 과정을 배아발생 (human embryogenesis)이라고 한다. 발생과정은 하나의 생명체가 형성되는 과정을 고스란히 보여주기에 오랜 시간 동안 과학자들의 관심사였다. 그러나 인간의 발생과정을 정확히 이해하기는 여전히 쉽지 않다. 자궁 속에서 발생이 이루어지는 포유류의 특성상 배아의 상태를 연속적으로 관찰하기 어려울 뿐만 아니라 배아를 파괴하는 연구는 윤리적으로 허용되지 않기 때문이다. 모델 동물로부터 얻은 결과를 통해 유추하거나 유산된 태아를 관찰하는 정도가 기존의 한계였다. 본 연구에서는 윤리적으로 문제가 없으면서도 세포의 움직임을 추적하기 위하여 세포의 DNA 돌연변이에 주목했다. 수정란이 세포 분열을 하는 과정에서 매 세포마다 무작위적으로 돌연변이가 발생하고 축적되는데, 이렇게 특정 세포에 발생한 돌연변이는 그 자손 세포에 그대로 전달된다. 각 배아세포의 계통(lineage)을 구분할 수 있는 일종의 바코드로 돌연변이를 이용하는 것이다. 따라서 성체 각 조직에 분포한 각각의 세포마다 존재하는 돌연변이를 체계적으로 분석하면, 이들을 만들어 낸 배아 발생 과정을 거꾸로 재구성해 낼 수 있게 된다. 이를 바탕으로 5명의 개인의 배아발생과정을 최초로 해석하는 데 성공하였다.

- 주영석, 박성열, 김 료, 임준오, 김태우, 이기중, 육정환, 안요한, 김수연, 오수아
- 의과학대학원
- <http://julab.kaist.ac.kr>

그림. 본 연구로 관찰된 인간배아발생과정의 패턴



연구성과



- [논문]** Park Seongyeol et al., Nature (2021) 597:393-397
Nature, Nature Reviews Genetics, Nature Reviews Nephrology에서 News and Views조명

BT

Bio
Technology



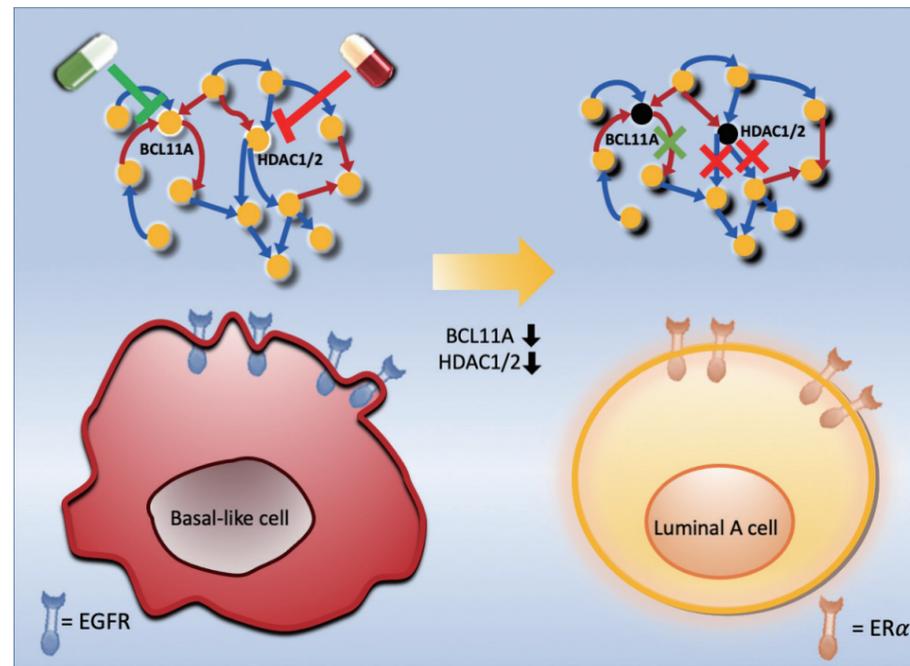
악성 유방암세포의 리프로그래밍 기술 개발

삼중음성유방암은 지금까지 온전한 치료방법이 없는 악성종양이다. 본 연구팀은 이러한 삼중음성유방암세포를 치료가 가능한 루미날-A형 (Luminal-A) 유방암세포로 리프로그래밍하는 기술을 세계 최초로 개발했다. 유방암의 여러 유형 중 삼중음성유방암은 호르몬 수용체의 발현이 없는 암종이어서 표적치료가 불가능하며 부작용이 심한 독성 항암화학요법 외에는 치료방법이 전혀 없는 상황이다. 본 연구팀은 이러한 문제를 해결하고자 유방암 환자의 유전체 데이터와 암세포 분자네트워크의 컴퓨터 모델링과 분석, 분자세포실험을 융합한 시스템생물학 연구를 통해 BCL11A와 HDAC1/2라는 숨겨진 분자스위치를 조절함으로써 삼중음성유방암세포를 호르몬치료가 가능한 루미날-A 유방암세포로 변환하는 암세포 리프로그래밍 기술을 개발했다.

조광현, 최새롬, 황채영, 이종훈

바이오및뇌공학과

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



연구성과



[논문] S. R. Choi, C.Y. Hwang, J. Lee, and K.-H. Cho* (2021), "Reprogramming basal-like breast cancer into anti-ER therapy responsive cells via network analysis", *Cancer Research*.

[특허] K.-H. Cho*, S. R. Choi, C. Y. Hwang, and J. Lee, (KAIST). Network control of reprogramming aggressive breast cancer subtype into terminally differentiated subtype with normal-like feature. Korea Patent 46613 (2021) / PCT is to be submitted.

[홍보] 언론보도 40회 (방송 2회, 국내기사 28회, 해외기사 8회, 지면기사 2회)

BT

Bio
Technology



단백질 나노튜브 개발 및 암치료 전달체 응용 연구

생명 현상의 중요한 역할을 담당하는 튜불린 단백질 기반 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.

최명철, Safinya, Feinstein, Wilson, 전상용, Tanaka

바이오및뇌공학과

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

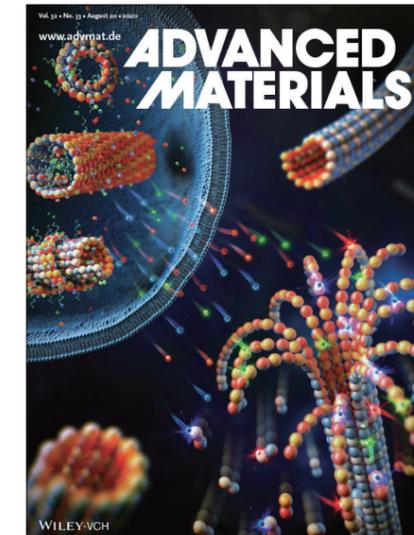


그림1. Adv. Mat. (2020) 표지 논문

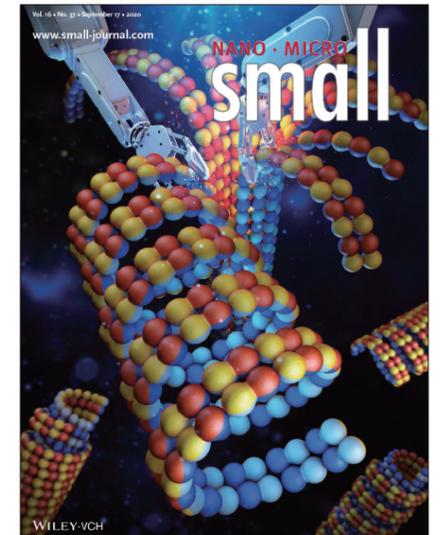


그림2. Small (2020) 표지논문

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 30.849].

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 13.281].

[수상] 2021 국가연구개발 우수성과 100선 선정되어 수상.



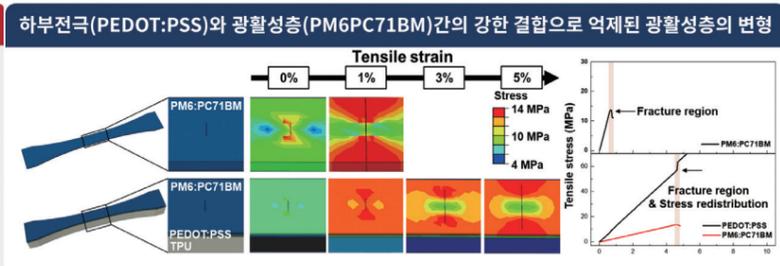
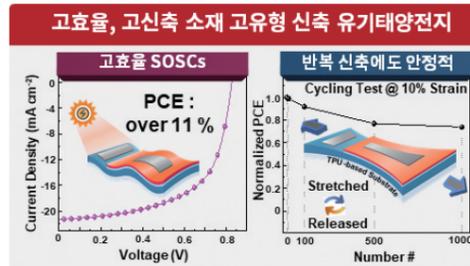
11% 이상의 고효율을 갖는 소재고유형 스트레처블 유기태양전지

본 연구팀에서는 태양전지를 구성하는 모든 층이 신축성을 가져, 늘었을 때도 동작하는 고효율 소재 고유형 신축 유기태양전지(intrinsically stretchable organic solar cells)를 개발하였다. 신축성 유기 태양전지는 종량당 생산 전력이 높고 강한 내구성을 가져 바이오 센서, 전자 피부 및 신축성 디스플레이를 포함한 웨어러블 전자장치의 오프 그리드(off-grid) 전원으로 상당한 주목을 받고 있다. 하지만 기존 연구에서는 실제 웨어러블 소자에 적용될 만큼 충분한 1)신축성과 2)전력 변환 효율(PCE, power conversion efficiency) 두 가지 모두를 만족하는 태양전지는 보고되지 않고 있다.

이정용 교수 연구팀은 생명화학 김범준 교수 연구팀과의 공동 연구를 통해 유기태양전지 초기 PCE 가 11% 이상이면서, 원래 길이의 10%로 늘었을 때도 초기 효율의 90% 이상 유지하는 신축 유기태양전지의 구현에 성공했다. 또한 10% 변형을 1,000번 반복했을 때도 초기 PCE의 74% 이상을 유지하는 높은 내구성을 보여 신축성 유기 태양전지가 실제 웨어러블 전자 제품에 적용될 가능성을 보였다.

소재 고유형 스트레처블 유기 태양전지의 장점

- 고출력
- 무독성/안정성
- Seamless
- 공정 용이



연구성과

[논문] J. Noh et al., Intrinsicly Stretchable Organic Solar Cells with Efficiencies of over 11%. ACS Energy Letters, 6, 2512 (2021).
J. Park et al., Material Design and Device Fabrication Strategies for Stretchable Organic Solar Cells, Advanced Materials, (accepted) (2022).

[특허] 국내&PCT 소재고유형 스트레처블 유기태양전지, 그의 제조방법 및 그를 포함한 웨어러블 전자장치(등록)
국내 신축성 기판을 포함하는 박막형 신축성 전자소자 및 그의 제조방법(등록)



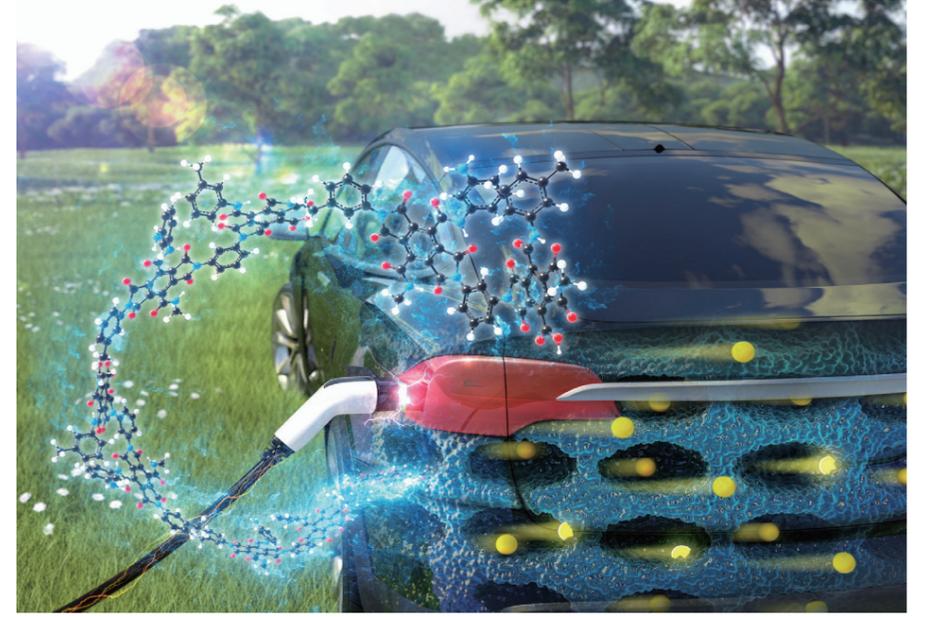
차세대 친환경 유기 이차전지 핵심기술 개발

유기 이차전지는 원료 수급에 제한이 적고 재활용이 용이하여 지속 가능한 친환경 전지 시스템으로 각광 받고 있으나, 실제 전기차 및 휴대용 전자기기 등에 적용되기 어려운 느린 충전 속도와 수명 저하 문제가 결정적인 걸림돌로 지적되었다. 본 연구에서는 전기화학적 활성과 안정성을 제한하는 기존의 비정렬적 전극 구조 대신 재현성 있는 광학 패터닝 기술을 통해 고도로 정렬된 나노 네트워크 구조의 유기 음극을 설계해 리튬유기전지의 충-방전 성능을 획기적으로 향상시켰다. 다양한 유기 화합물과 호환 가능한 본 제안 기술을 통해 무기물 기반의 현 전극 소재를 대체하고 장기적으로는 전기차, 휴대용 전자기기 등 상용화에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대되고 있다.

함영진, 김일두, Paul V. Braun(UIUC), 전석우 등

신소재공학과

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

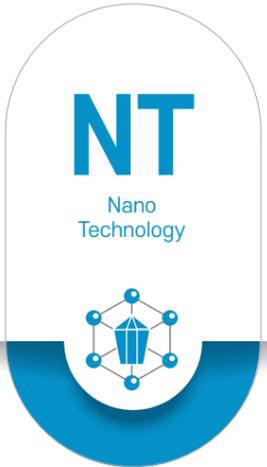


연구성과

[논문] Y. Ham, N. Fritz, G. Hyun, Y. B. Lee, J. S. Lee, I.-D. Kim*, P. V. Braun*, and S. Jeon*, "3D periodic polyimide nano-networks for ultrahigh-rate and sustainable energy storage", Energy & Environmental Science 14(11), 5894-5902 (2021) [Inside Back Cover Featured] [2021 Impact Factor = 38.532].

[특허] 국내특허 및 미국특허 출원 (출원명: 유기계 활물질들을 포함하는 정렬된3차원 다공성 나노네트워크 전극, 이의 제조 방법 및 이를 포함하는 이차 전지)

[홍보] 언론게재 30여 개 매체



조성재, 김성호, 명규호
신원길, 김보람, 임홍식

물리학과

http://qtak.kaist.ac.kr

초저전력 고속 터널 전계효과 트랜지스터 개발

트랜지스터의 전력 소모는 크게 작동 전력 소모와 대기 전력 소모로 나뉜다. 작동 전력과 대기 전력을 같이 낮추기 위해서는 트랜지스터의 작동 전압과 대기 상태 전류를 동시에 낮추는 것이 필수적이다. 이를 위해서는 전류를 10배 증가시키는데 필요한 전압으로 정의되는 SS 값 (subthreshold swing, 단위: mV/decade = mV/dec)의 감소가 필요한데, 금속 산화물 반도체 전계효과 트랜지스터에서는 SS 값이 상온에서 60 mV/dec 이하로 낮아질 수 없다. 이를 해결하기 위해서는 상온에서 SS 값을 60 mV/dec 이하로 낮출 수 있는 새로운 트랜지스터의 개발이 필요하다. 이전에 개발되었던 낮은 SS를 가지는 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. 본 연구진은 기존의 저전력 터널 트랜지스터에서 사용해왔던 서로 다른 두 물질의 이종접합이 아닌, 단일 물질 (흑린)의 두께 변화로 이종접합을 구성하여 계면에서 발생하는 문제들을 해결했다. 결과적으로 본 연구진은 트랜지스터의 전력 소모를 낮추기 위한 낮은 SS뿐만 아니라, 터널 트랜지스터의 계면 문제를 동시에 해결함으로써 높은 작동 상태 전류를 동시에 달성하였다.

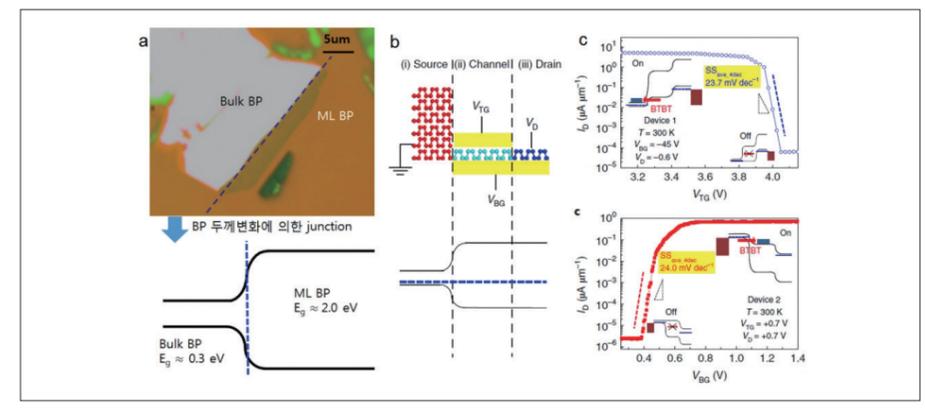
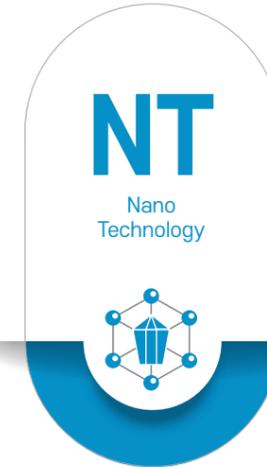


그림.
a. 흑린의 두께 변화로 제작한 이종접합.
b. 터널 트랜지스터의 개략도와 두께에 따라 변화하는 밴드갭 다이어그램.
c. 트랜지스터의 낮은 SS와 높은 On 전류를 보여주는 측정



박인규, 오용석, 조석주,
한현석, 최중락, 한찬규

기계공학과

http://mintlab1.kaist.ac.kr

육창 예방을 위한 무선 배터리-프리, 소프트 압력 센서 시스템 개발

육창은 신체의 특정 부위에 가해지는 지속적인 압력에 의해 발생하는 모세혈관의 순환장애로 인한 피부 및 하부조직 괴사이다. 육창 발생률을 획기적으로 낮추기 위해서는 누워있는 환자의 피부 계면에서의 압력과 온도를 연속적으로 측정하기 위한 우수한 신뢰성을 갖는 센서와 시스템 기술이 필요하다. 본 연구에서는 NFC 통신 플랫폼 및 MEMS 소자 기술 기반의 무선, 배터리-프리 압력 센서 시스템을 개발해, 피부 계면에서 압력과 온도의 연속적인 모니터링을 구현하였다. 또한, 육창 위험군 환자들에 대한 무선, 배터리-프리 센서 시스템에 대한 유효성과 안정성 임상 평가를 통해서 육창 발생 주요 부위에서의 장시간 압력, 온도의 연속적인 모니터링과 체위 변경에 대한 압력의 정량적 측정을 검증하였다.

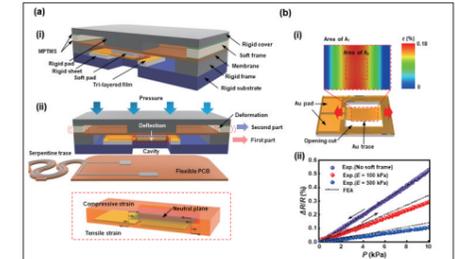


그림 4.
(a) 압력센서의 구조 및 측정 메커니즘에 대한 개략도.
(b) 하중에 따른 메달 필름 위의 변형률 분포에 대한 시뮬레이션 결과와 센서의 출력특성의 제어

그림 1.
(a-b) 무선, 배터리-프리 센서 플랫폼에 대한 분해도와 사진.
(c-d) 패키징된 센서 플랫폼의 인장에 따른 서펜타인(serpentine) 구조의 늘어나는 기능에 대한 사진과 시뮬레이션 결과

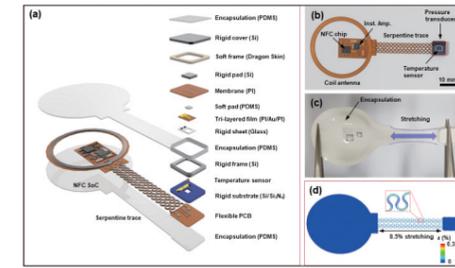


그림 2.
(a) 무선, 배터리-프리 센서 시스템의 개략도.
(b) 파워 및 데이터 전송을 위한 칩대 매트리스 아래에 배치된 2개의 안테나와 침구 옆의 리더기(reader)와 멀티플렉서(multiplexer)

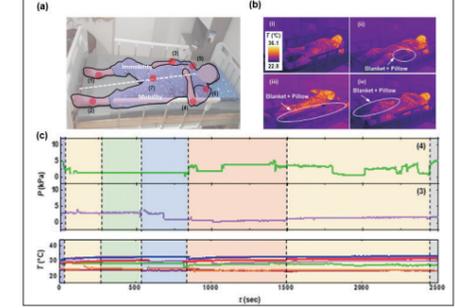
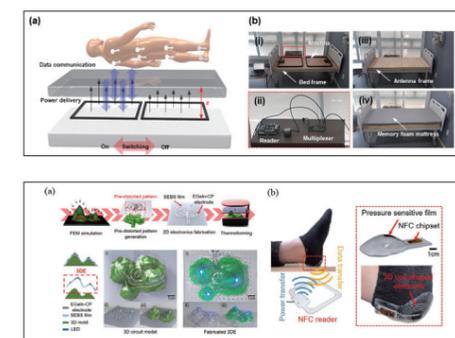


그림 5.
(a) 반신마비 환자의 피부에 센서 부착 위치를 표시한 사진.
(b) 누워있는 환자의 체위 변경에 대한 적외선 사진.
(c) 센서 부착 부위에 대한 압력과 온도의 연속적인 모니터링 결과

그림 3.
(a) 사진패터닝 기술 및 열 성형기술을 이용한 신축성 3차원 전자소자 제작 기술.
(b) 이 공정을 이용한 피부밀착형 무선/배터리-프리 피부 압력 센서



연구성과

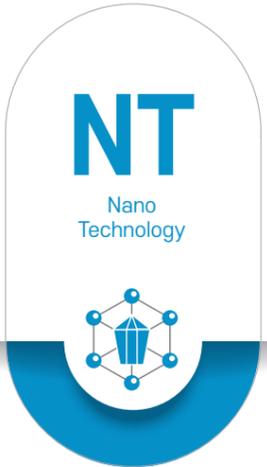


- [논 문] Monolayer Hexagonal Boron Nitride Tunnel Barrier Contact for High Performance Heterojunction Tunnel Field-Effect Transistors/eungho Kim, Gyuho Myeong, Jihoon Park, Kenji Watanabe, Takashi Taniguchi, Sungjae Cho* (Nano Letters 5, 3963 (2020))
thickness-Controlled Black Phosphorus Tunnel Field-Effect 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))
- [특 허] 1. 대한민국 등록: 자연해테로 접합 터널 전계효과 트랜지스터 (등록번호:10-2093141, 2020년)
2. 미국 특허 등록: 2D-3D Heterojunction Tunnel Field-Effect Transistor (등록번호: US 11121243 B2, 2021년)
3. 중국 특허 출원: 2D-3D Heterojunction Tunnel Field-Effect Transistor (출원번호: CN 112242440 A, 2021년)
- [수 상] 2020년 신진물리화학자상 수상 (한국물리학회)
- [홍 보] 국내외 언론보도 10여회 이상

연구성과



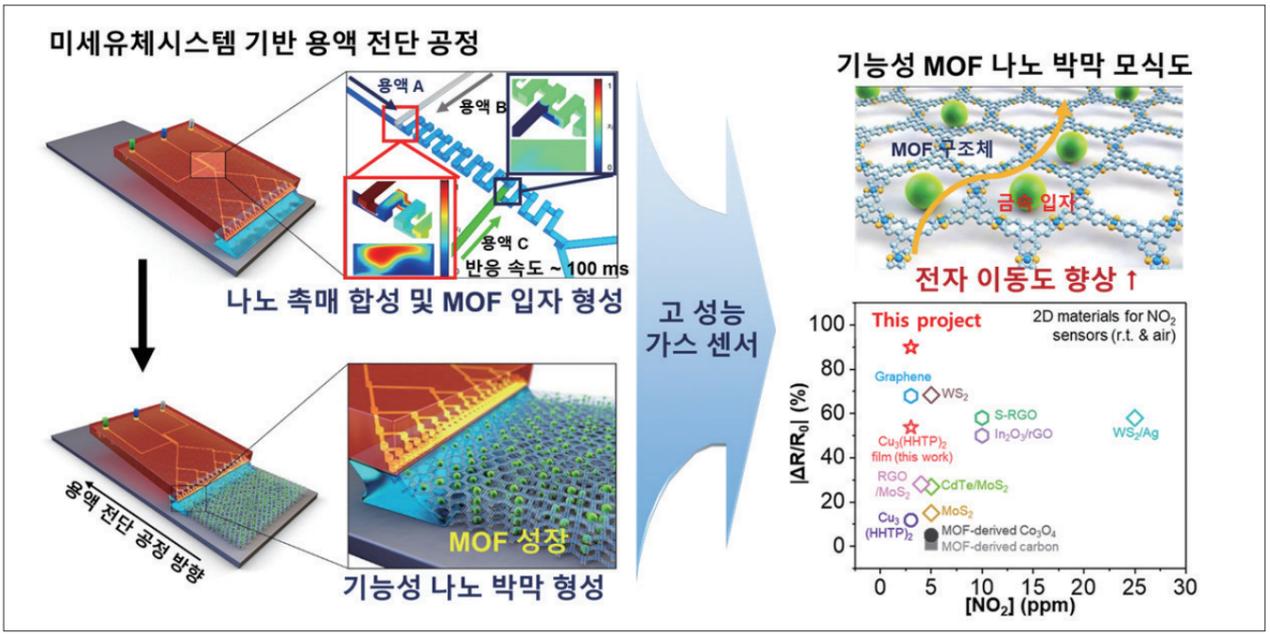
- [논 문] Y. Oh, I. Park, et al., "Battery-Free, Wireless Soft Sensors for Continuous Multi-Site Measurements of Pressure and Temperature for Patients at Risk for Pressure Injuries", Nature Communications 12, 5008, 2021
J. Choi, I. Park, et al., "Customizable, Conformal, and Stretchable 3D Electronics via Pre-distorted Pattern Generation and Thermoforming", Science Advances 7, eabj0694, 2021
- [홍 보] KAIST, '육창 예방' 피부 압력-온도 측정 센서 개발 (연합뉴스 외 20건), [과학의 달인] 스마트 센서로 인류 건강 지킨다 (YTN Science 뉴스, "과학의 달인"코너 생방송 인터뷰)



유체 제어를 통한 대면적 기능성 MOF 나노 박막 제작 기술 개발

전도성 금속유기골격체(Metal-Organic Frameworks, 이하 MOF)는 높은 표면적 대체적비와 초소형 금속 나노입자 촉매의 주입이 가능해, 높은 선택성과 민감도를 요구하는 가스 센서 분야의 차세대 신소재로 각광받고 있음. MOF의 뛰어난 재료적 특성을 활용하기 위해서는 나노 두께의 고품질 대면적 MOF 박막 제작 기술이 요구됨. 본 연구팀은 미세 유체(Microfluidic) 시스템을 도입해 화학 반응을 단계적으로 제어하고 용액 전단 공정 (Solution shearing)을 통해 균일한 전도성 나노 MOF 박막을 제조하는 새로운 공정을 개발함. 이 나노박막을 통해 대기 유독 가스 중 하나인 이산화질소(NO₂) 기체를 선택적으로 검출할 수 있는 가스 센서를 개발하는 데 성공했으며, 기존에 보고된 2차원 소재 기반 가스 센서 대비 우수한 가스 검출 특성을 검증함.

- 스티브박, 김진오
- 신소재공학과
- <http://steveparklab.kaist.ac.kr/>



- 연구성과**
- [논문]** Nature communications, 12, 4294, 2021
Advanced Materials, 32, 2004864, 2020
신진학술상, 대한·금속재료학회, 2020-7-15
 - [홍보]** 언론 보도, KAIST, 유체 제어 기술로 '대면적 기능성 나노박막' 제작기술 개발



인공지능 기반 오정보 탐지 핵심기술 개발

산업과 연구 그리고 국가에서 의사 결정에 사용하는 데이터의 양이 방대해질수록 이를 악용한 가짜 정보가 증가하며, 이에 대응해 신뢰할 수 있는 인공지능 시스템 개발이 중요해졌다. 이 연구는 비정형 데이터의 전처리와 이상치 탐지 학습에 기반해 "가짜 정보의 탐지"를 가능케 하는 새로운 원천 기술 모델을 제시하고, 더 나아가 비지도 학습을 통한 임베딩 학습 방법론 개발로 오정보의 개입에도 강건한 방법론을 선보인다. 개발된 핵심 기술은 세관 우범 선별과 코로나19 인포데믹의 탐지를 비롯한 주요한 실생활의 문제 해결에 활용 가능하다. 연구팀은 가짜정보를 다루는 데이터 전처리와 탐지 기술에 있어 세계적으로 앞서가며 그 결과와 실제 데이터에 적용한 사례를 CVPR, ECCV, BMVC, KDD, AAAI, WWW, JOA, TCSS, JMIR에 게재하였다.

- 차미영, 한성원, 박성원, 이은지, 김선동(IBS), 박성규(KNU)
- 전산학부
- <https://ds.kaist.ac.kr/>

- 연구성과**
- [논문]** S. Park, S. Han, S. Kim, D. Kim, S. Park, S. Hong, and M. Cha. Improving Unsupervised Image Clustering With Robust Learning, In proc. of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), June 2021.
 - S. Kim, Y.-C. Tsai, K. Singh, Y. Choi, E. Ibok, C.-T. Li, and M. Cha. DATE: Dual Attentive Treeaware Embedding for Customs Fraud Detection, In proc. of the ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD), 2020.
 - [홍보]** 세관 우범 선별 기술은 183개국을 대상으로 세계관세기구(WCO)에 전수되었으며, 코로나19 인포데믹의 탐지와 팩트체크 캠페인은 "루머를 앞선 팩트"라는 이름으로 151개국 5만여명에게 전파되고 세계보건기구(WHO)에 우수캠페인으로 초청 발표되었음

Others



Yannis K. Semertzidis, 정준우

물리학과

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

고질량 액시온 검출을 위한 공진기 개발

액시온은 현대물리학이 안고 있는 난제들 중 두 가지, 즉 강한상호작용에서의 대칭문제와 암흑물질 미스터리를 해결할 수 있는 가설 입자이다. 강한 자기장하에서 광자로 변환된 액시온 신호를 공진기의 공명을 이용하는 것이 검출을 위한 가장 효율적인 방법으로 알려져 있다. 본 연구는 고질량대의 액시온 입자를 보다 효율적으로 검출할 수 있는 독창적인 공진기 디자인 개발에 있다. 피자 공진기라고 불리는 이 디자인은 주어진 초전도 자석의 부피를 최대로 활용할 수 있고 실험의 디자인을 단순화시키며 위상 맞춤을 용이하게 하는 등 여러 가지 면에서 기존의 공진기 디자인보다 우월하다. 실제 실험에 적용하여 액시온 검출 실험을 수행함으로써 이 독특한 디자인의 성능을 증명함으로써 차세대 실험에 막대한 영향을 미칠 것으로 기대된다.

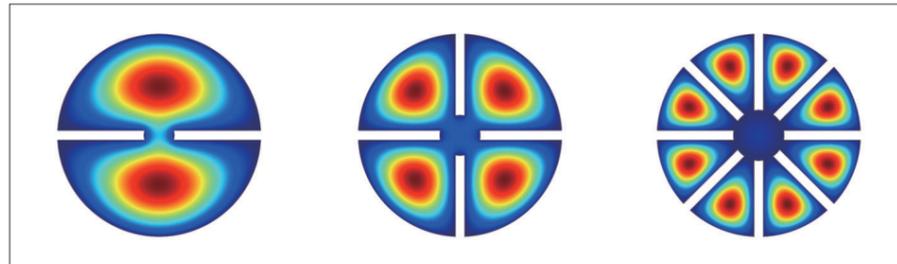


그림 1. 다중방 공진기의 전기장 분포: 이중방, 사중방, 팔중방 공진기

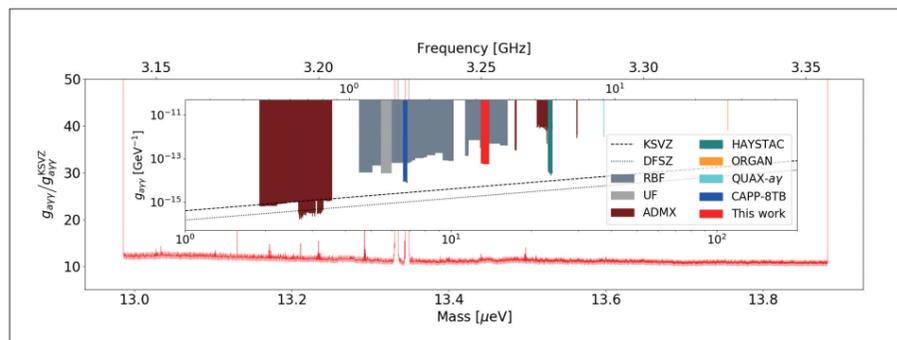


그림 2. Exclusion limits. 본 실험의 결과는 빨간색 영역에 해당한다.

Others



유지환, 김남균, 송영욱, 이동걸, 서동오

건설및환경공학과

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

건축시설물 내 협소공간 모니터링 및 유지보수 위한 자라나는 로봇

지금까지 수많은 이동로봇들이 개발되었지만, 비정형 지역이나 협소공간에서 실망스러운 한계성을 보여 왔다. 이러한 이동로봇 기술의 한계를 극복하기 위해, 유연한 재료가 끝단으로 연속적으로 공급되면서 공압에 의해 길이 방향으로 길게 자라날 수 있는 식물의 줄기를 모방한 로봇 기술이 개발되었으며, 이를 활용해 건축시설물 내 협소공간 모니터링 및 유지보수를 위한 로봇 시스템이 개발되었다. 개발된 로봇은 로봇 직경의 1/4되는 틈도 통과 가능하며, 미끄럽거나 끈적끈적한 지역 그리고 건물의 벽면을 타고 수직 방향으로도 이동이 가능하므로, 산업재해 발생 위험이 높은 건축시설물 내 협소공간 및 위험환경 공간에서 인간 노동자를 대신한 모니터링 및 유지보수 분야에서 유용하게 사용될 수 있을 것이다.



그림 2. 건축시설물 내 협소공간 모니터링 및 유지보수 위한 자라나는 로봇 시제품



그림 1. 식물의 줄기를 모방한 자라나는 로봇의 동작 개념 및 특징



그림 3. 건물 붕괴와 같은 재난모사 환경에서 자라나는 로봇 성능시연 사진

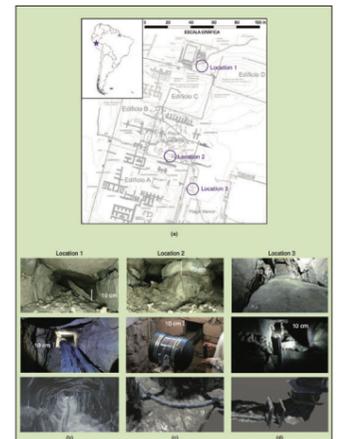


그림 4. 페루 고대 건축물 지하터널 탐사 현장 사진 및 시뮬레이션 이미지

연구성과



[논문] J. Jeong*, S. Youn*, S. Ahn, J. E. Kim, and Y. K. Semertzidis, "Concept of multiple-cell cavity for axion dark matter search", Phys. Lett. B 777 412 (2018)

J. Jeong*, S. Youn*, S. Bae, J. Kim, T. Seong, J. E. Kim, and Y. K. Semertzidis, "Search for Invisible Axion Dark Matter with a Multiple-Cell Haloscope", Phys. Rev. Lett. 125, 221302 (2020)

연구성과



[논문] Vine robots: Design, teleoperation, and deployment for navigation and exploration, IEEE Robotics and Automation Magazine, Vol. 27, No. 3, 120-132 (2020) [Impact Factor = 5.143].

Origami-inspired New Material Feeding Mechanism for Soft Growing Robots to Keep the Camera Stay at the Tip by Securing its Path, IEEE Robotics and Automation Letters, Vol. 6, No. 3, 4592-4599 (2021) [Impact Factor = 3.741].

2021 Best paper award, IEEE Robotics and Automation Magazine

2021 KAIST TOP 2 기술 선정

Others



혁신적 모방 전략

- 이상윤
- 문술 미래전략대학원
- <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'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 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. 이론적 관점에서, 유전자 알고리즘에 기반 한 혁신적 모방(학습) 메커니즘과 여러 모방 전략/조건들은 머신러닝 연구와도 연관성이 깊으며 서로에게 중요한 함의를 제공한다.

Others



디지털 인문학과 코로나(COVID)

- 스캇 게이브리얼 놀스, Bucky Stanton, Shivani Patel, 금현아
- 과학기술정책 대학원
- <http://covid-calls.com>
<https://items.ssrc.org/category/covid-19-and-the-social-sciences/disaster-studies/page/2/>

재난 역사학자 스캇 게이브리얼 놀스는 2020년 봄부터 "디지털 인문학과 코로나(COVID)" 연구를 계획하여 진행해 왔다. 본 연구는 두 가지 주요 프로젝트로 구성된다.
1) 코비드 콜(COVIDCalls); <https://covid-calls.com>, https://www.youtube.com/channel/UCgxa_-w98BhAliwbw2dxKIQ 및 2) COVID 재난 연구 온라인 커뮤니티; <https://items.ssrc.org/category/covid-19-and-the-social-sciences/disaster-studies/page/2/>.

첫 번째 프로젝트인 코비드콜(COVIDCalls)은 재난 역사학자 스캇 게이브리얼 놀스가 주최하는 실시간 토론 형태의 일일 팟캐스트로, 디지털 인문학 역사 아카이브 프로젝트이다. 전 세계의 과학자, 사회과학자, 예술가와 활동가, 선출직 공무원, 의료 종사자 등 다양한 분야에서 500명 이상의 게스트를 초청하였으며, 2년 동안 총 500회, 394시간 분량의 인터뷰를 진행했다. 첫 번째 에피소드는 2020년 3월 16일에 진행되었으며, 지난 2022년 3월 19일에는 500번째 에피소드가 방송되었다. 방송은 대부분 평일에 이루어졌으며, 페이스북 라이브, 유튜브 라이브, 트위터/페리스코프를 통해 송출하였다. 생방송 직후에 각 에피소드는 음악과 휴식 시간을 추가하여 편집되었으며, 모든 주요 팟캐스트 플랫폼에 저장되었다. 본 프로젝트는 현재까지 구축된 코로나19 팬데믹에 대한 가장 심층적인 디지털 인문학 역사 프로젝트로, 약 400만 단어 분량의 녹취록을 생성했다. 녹취록은 AI 소프트웨어의 도움으로 생성하였으며, 스캇 게이브리얼 놀스의 연구팀이 이를 수정하고, 색인화 작업을 진행한다. 이러한 녹취록, 오디오 및 비디오, 삽화, 해설은 현재 프로젝트 아카이브 웹사이트(위 링크)에 보관되고 있으며 다양한 학생 및 학자들에 의해 분석되고 있다. 본 아카이브는 여전히 진행 중인 프로젝트의 일부이며 팬데믹이 계속됨에 따라 계속 진행될 것이다. 뿐만 아니라 이러한 아카이브 작업의 결과물은 오픈 액세스 형태로 전 세계 모든 사람에게 개방되며, 전염병에 대한 중요한 역사적 디지털 데이터베이스라는 의의가 있다. 코로나19 팬데믹의 놀라운 전개 속도는 연구자들의 신속한 대응, 사려 깊은 성찰과 인문/사회과학 연구의 소통 전략을 요구했으며, 코비드콜은 이러한 영역의 문제의식 안에서 작동해왔다. 재난 연구원과 코비드콜의 다른 게스트들은 역사를 통틀어 특정 계층의 사람들의 건강에 어떻게 특권이 부여되며, 일부만을 보호하기 위해 내린 의사 결정 사이에는 어떤 역사적 연결성이 있는지 밝혀낸다. 이에, 코비드콜 아카이브는 공공의 재난 연구원으로서 이러한 역사적 연결성을 우리 앞에 제시하여 현재 코로나19 팬데믹의 미래뿐 아니라 더 먼 미래에 우리 앞의 재난 불평등의 진실상을 바로 잡기 위해 어떠한 분석, 관리 및 정책 도구가 필요한지 제안한다. 코비드콜 진행을 위한 실질적인 행정 지원은 카이스트로부터 받았다.

두 번째 프로젝트인 COVID 재난 연구 온라인 커뮤니티(위 링크)는 사회 과학 및 공중 보건 전문가가 코로나19 팬데믹에 초점을 맞춰 작성한 연구 에세이 모음을 담고 있다. 코로나19 팬데믹 및 이민, 비상 관리, 재난의 역사, 국제적 관점 및 관련 여러 주제를 포괄한 여러 에세이는 온라인에 게시하여 전세계 연구자들에게 접근성을 보장하였으며, 관련 참고 자료를 링크해두었다. 이 에세이 모음집은 2022년에도 온라인 회의를 진행하고 디지털 간행물, 인쇄 간행물 등 여러 매체를 통해 지속적으로 활동을 이어갈 것이며, 이러한 활동은 코로나19 관련 재난 연구 커뮤니티의 기초를 형성할 것이다. 본 프로젝트는 카이스트와 미국사회과학연구위원회(Social Science Research Council)의 자금을 지원 받아 진행했다.

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)
Posen, H. E., Lee, J., & Yi, S. 2013. The Power of Imperfect Imitation. *Strategic Management Journal*, 34(2): 149-164.

연구성과



[논문] Knowles, Scott Gabriel and Stanton, Bucky, "History in the Making: COVIDCalls and the COVID-19 Pandemic," *History Now* 58 (Fall 2020).
Philadelphia Magazine story: <https://www.phillymag.com/news/2020/08/15/scott-gabriel-knowles-covid-calls/>
394개의 팟캐스트 방송 에피소드(YouTube 링크 참조) 및 4,000,000단어의 녹취본.

Others



- 이지현, 장미
- 문화기술대학원
- <https://www.ibdsite.com/>

증강 근접성: 네트워크의 연결성을 강화 시키기 위한 물리적, 가상의 근접성 통합

가상의 근접성으로 물리적 근접성을 증강시키는 것은 소셜 네트워크 내에서 연결성을 향상시킨다. 기존 이론으로는 두 개의 근접성의 공존이 중요함에도 불구하고 별도로 연구되거나 서로 다른 용어로 사용되어 오해를 불러일으킨다. 본 연구에서는 MR(Mixed Reality)의 개념과의 비유를 통하여 물리적 근접성과 가상의 근접성을 네트워크로 결합한 AP(Augmented Proximity)개념을 최초로 제안한다. 물리적이고 가상의 근접성은 두 개의 모드가 공존하는 연속성을 가지고 있으며, 이를 응용하여 네트워크 분류법을 세 가지 차원으로 구성하여 조직화한다. 본 제안 개념은 AP 기반 네트워크를 정량적으로 평가할 수 있을 뿐만 아니라 그래프 이론에 있어서 새로운 대안으로 대두될 것으로 기대된다.

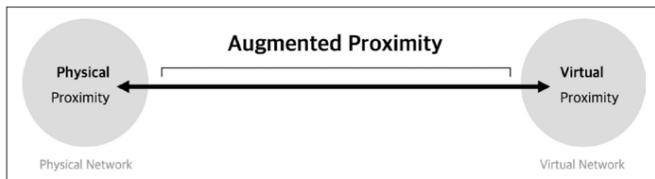


그림 1. AP를 보여주는 Proximity Continuum의 단순화된 표현

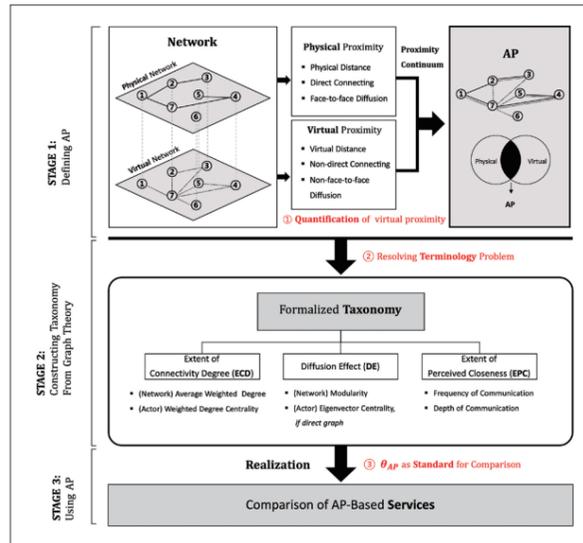


그림 2. 증강 근접성(AP)을 정의하기 위한 3단계 프로세스

연구성과



- [논문]** Chang, M. & Lee, J.-H. (2021). Augmented proximity: integration of physical and virtual proximity to enhance network connectivity. PLoS ONE 16(11): e0260349. SCIE [2020 Impact Factor = 3.240].
Chang, M., Yi, T., Hong, S., Lai, P. Y., Jun, J. & Lee, J.-H. (2022). Identifying Museum Visitors via Social Network Analysis. ACM Journal on Computing and Cultural Heritage (accepted) SCIE [2020 Impact Factor = 2.020].
- [출판]** Lee, J.-H. (Editor) (2020). A New Perspective of Cultural DNA (KAIST Research Series). Singapore: Springer (Sep 24, 2020).
- [학회발표]** Chang, M., et al & Lee, J.-H. (2022). Clustering Analysis of Visited Places in the City based on Social media data: The Case of Daejeon in South Korea (accepted), 2022 Intelligent Human Systems Integration (IHSI), February 22-24, 2022

KAIST'S TOP 10 RESEARCH ACHIEVEMENTS OF 2021

2021 KAIST 10대 우수성과

- 손실을 이득으로 바꾸는 플라톤 기반의 PT 대칭성 레이저 개발
- 1차원 공간위의 약한 충격파를 포함하는 리만문제 해결
- 코로나19 환자의 면역반응 특성 규명
- 플라즈마 제트를 이용한 유체 표면 안정화
- 이벤트 카메라 기반 시각 인지 기술
- 신경신호 모사를 통한 인공 감각 시스템 개발
- 모트 전이 소재 기반 초고속, 저전력, 변이 내성 진성 난수 발생기 개발
- Aline: ESG(환경, 사회, 지배구조) 기반 투자 서비스 디자인 개발
- 화학 색소 없는 구조색 컬러 인쇄 기술 개발
- 미분가능한 트랜지언트 광 전달 시뮬레이션 개발

KAIST'S RESEARCH HIGHLIGHTS OF 2021

2021 KAIST 주요 연구성과

IT Information Technology



- 비간섭 홀로그래픽 측정 기술 개발
- 학습없이 자연발생하는 신경망 인지 지능 구현
- 광전파의 공간적 불변성을 활용한 광학 영상의 가상 재초점 기술 개발
- 3차원 반도체 소자의 다층 두께 및 표면 형상을 옹스트롬 정밀도로 비파괴 측정할 수 있는 기술 개발
- 웨이크-업 기반 초저전력 라디오
- 디지털 통신을 위한 물리계층 보안 기술
- 데이터 중심 인공지능
- 3개 국제학회 공동주관 전세계 뇌 중앙 구획화 딥러닝 개발 대회 1등상 수상
- 스마트팩토리 운영을 위한 그래프 기반 다중에이전트 강화학습 기법 개발
- 시뮬레이션 기반 인공지능을 활용한 실험 데이터 분석

BT Bio Technology



- 조립형, 정조형 단백질 바이오센서 디자인
- 돌연변이를 이용한 인간배아발생 연구
- 약성 유방암세포의 리프로그래밍 기술 개발
- 단백질 나노튜브 개발 및 암치료 전달체 응용 연구

ET Environmental Technology



- 11% 이상의 고효율을 갖는 소재고유형 스트레처블 유기태양전지
- 차세대 친환경 유기 이차전지 핵심기술 개발

NT Nano Technology



- 초저전력 고속 터널 전계효과 트랜지스터 개발
- 육상 예방을 위한 무선 배터리-프리, 소프트 압력 센서 시스템 개발
- 유체 제어를 통한 대면적 고성능 MOF 나노 박막 제작 기술 개발

CT Cultural Technology



- 인공지능 기반 오정보 탐지 핵심기술 개발

Others



- 고질량 액시온 검출을 위한 공진기 개발
- 건축시설물 내 협소공간 모니터링 및 유지보수 위한 자라나는 로봇
- 혁신적 모방 전략
- 디지털 인문학과 코로나(COVID)
- 증강 근접성: 네트워크의 연결성을 강화 시키기 위한 물리적, 가상의 근접성 통합

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

