

Challenge, Creativity and Caring

# 2017

## ANNUAL R&D REPORT

2017년을 빛낸 연구성과



# KAIST

**KAIST**

KOREA ADVANCED INSTITUTE OF  
SCIENCE AND TECHNOLOGY

## CONTENTS

- 06 발간사  
Message from the President
- 08 비전 2031  
Kaist Vision 2031
- 10 예산 및 자원 현황  
Research & Development Budget
- 12 연구성과 통계자료  
Research Outcomes
- 14 KAIST 10대 우수성과  
KAIST's Top 10 Research Achievements of 2017
- 36 KAIST 주요 연구성과  
Research Highlights of 2017





**GLOBAL VALUE-CREATIVE WORLD-  
LEADING UNIVERSITY**

KAIST





## GLOBAL VALUE-CREATIVE WORLD-LEADING UNIVERSITY

세계를 선도하는 과학기술의 중심, 세계에서 가장 혁신적인 대학 6위,  
바로 '창의와 도전' 속의 KAIST입니다. 우리는 '새로운 생각'을 멈추지 않습니다.

'새로운 생각'이 '더 많은 가능성'을 만듭니다.

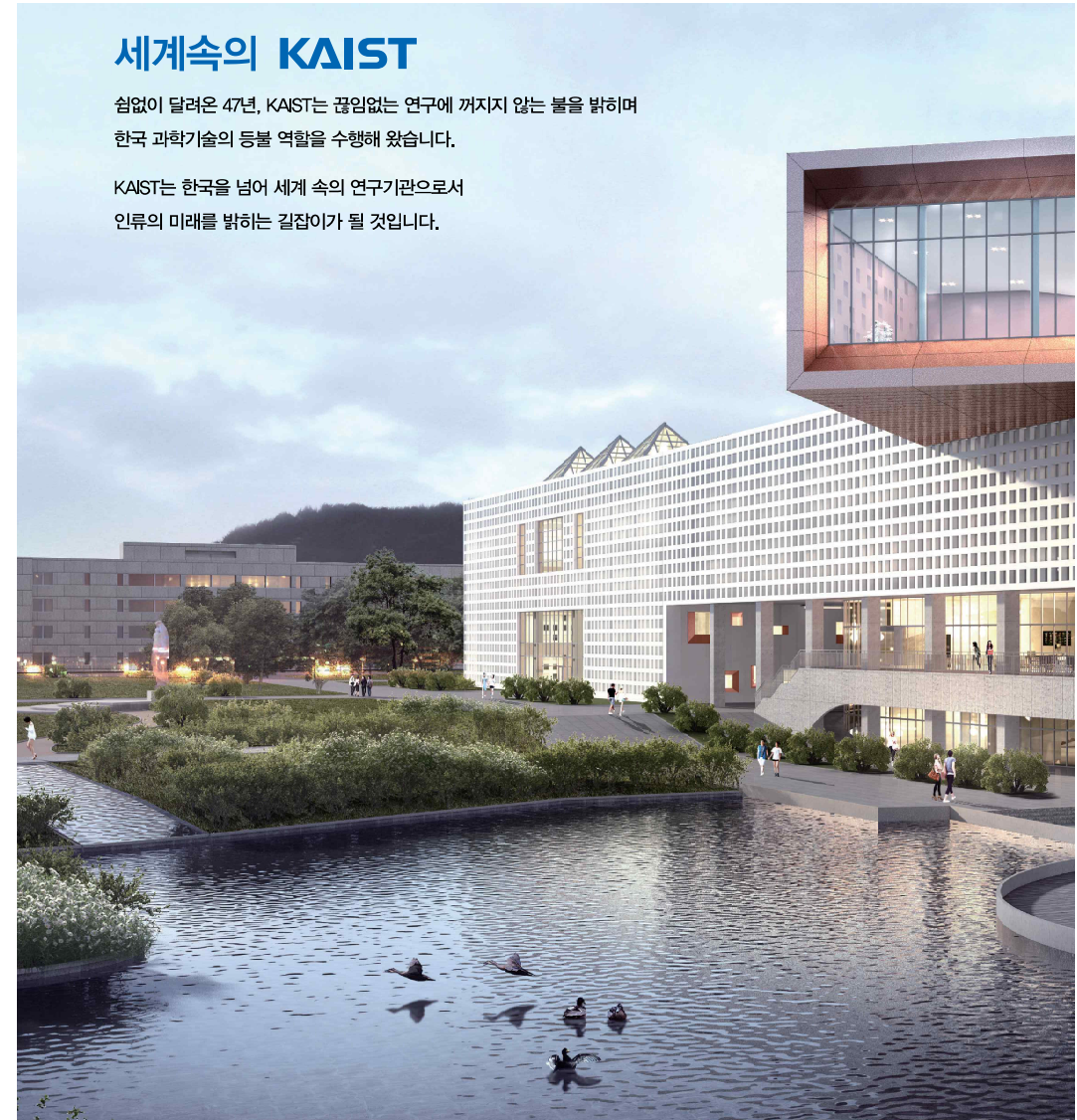
상상 그 이상의 아이디어는 멈추지 않는 열정과 도전 정신으로  
세상을 바꾸는 가장 혁신적인 힘이 될 것입니다.

## WORLD CLASS SCIENCE AND TECHNOLOGY UNIVERSITY

### 세계속의 KAIST

쉽없이 달려온 47년, 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.





# KAIST

- INFORMATION TECHNOLOGY
- BIO TECHNOLOGY
- HEALTH TECHNOLOGY
- ENERGY TECHNOLOGY
- NANO TECHNOLOGY
- OTHERS

세계의 중심에서 세상을 움직이는  
최고의 과학기술대학

한국 속의 KAIST

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

세계 속의 KAIST

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

KAIST 속의 세계

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

## 발간사

Message from the President



1971년 우리나라 산업화 태동기에 국내 최초의 연구중심 대학원으로 출범한 KAIST는 대한민국 산업화의 성공과 정보화 혁신에 중추적인 역할을 담당했습니다. 또한, 끊임없는 교육, 연구, 기술사업화 혁신을 통해 남들이 가지 못한 길을 걸으며 선도성과 수월성과 차별성을 인정받는 세계적인 대학(World-Class University)으로 발돋움했습니다.

4차 산업혁명 태동기, KAIST는 국가와 국민에게 희망과 자존감을 심어줄 '국민의 대학'이자 '국가발전의 선봉장'으로서 새로운 꿈을 향한 힘찬 도전을 시작했습니다. '글로벌 가치창출 선도대학'의 비전 아래 '글로벌 융합 인재 양성의 허브'이자 '세계적 신지식 · 신기술 창출의 진원지'가 되어 대한민국과 인류의 번영과 행복에 기여하고자 합니다.

다양한 혁신의 노력을 통해 KAIST는 2017년에도 세계를 선도하는 혁신적인 연구성과를 창출했습니다. 그 중에서 대표적인 10대 연구혁신 성과를 선정하여 '2017 KAIST Annual R&D Report'를 발간함으로써 KAIST의 세계적인 연구역량을 알려 국민들의 자긍심을 고양하는 동시에 과학기술계의 연구자들에게 새로운 영감을 주고자 합니다. 또한, 본 보고서를 통해 우리 청소년들을 비롯한 국민들이 과학기술 분야에 더욱 많은 관심을 갖고 미래에 대한 큰 꿈을 꿀 수 있기를 바랍니다.

앞으로도 KAIST가 세계 최고이거나, 최초이거나, 유일한 연구 성과를 창출해 국가와 인류의 발전에 공헌할 수 있도록 여러분의 많은 성원과 관심을 부탁드립니다.

감사합니다.

2018년 3월

  
KAIST 총장 신 성 철

## 비전 2031

Kaist Vision 2031



### 인류의 행복과 번영을 위한 과학기술혁신 대학

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



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

- 기업이 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





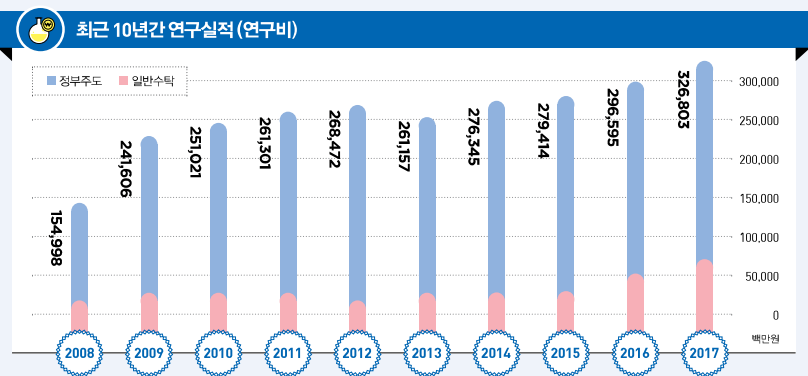
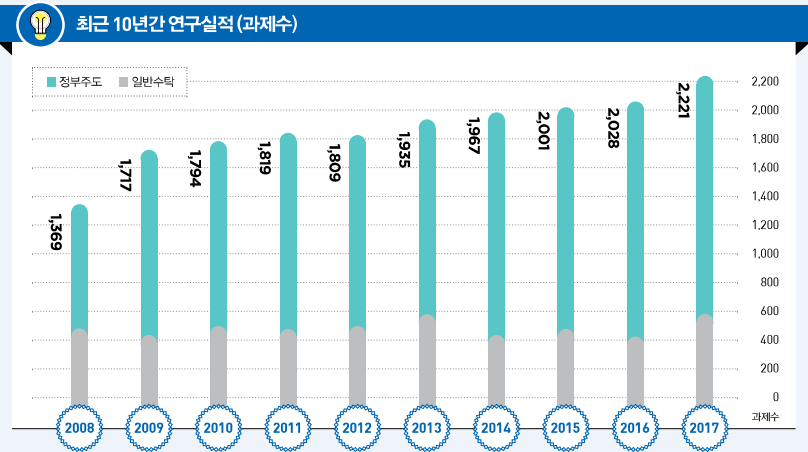
앞선 도전으로 새로운 가능성을 발견합니다.  
KAIST의 꿈이 인류를 위한 가치를 만들어냅니다.

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



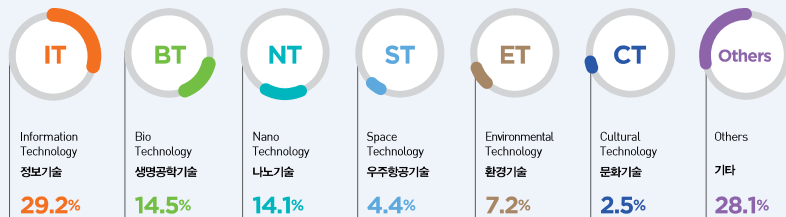
## 예산 및 지원 현황

### RESEARCH & DEVELOPMENT BUDGET

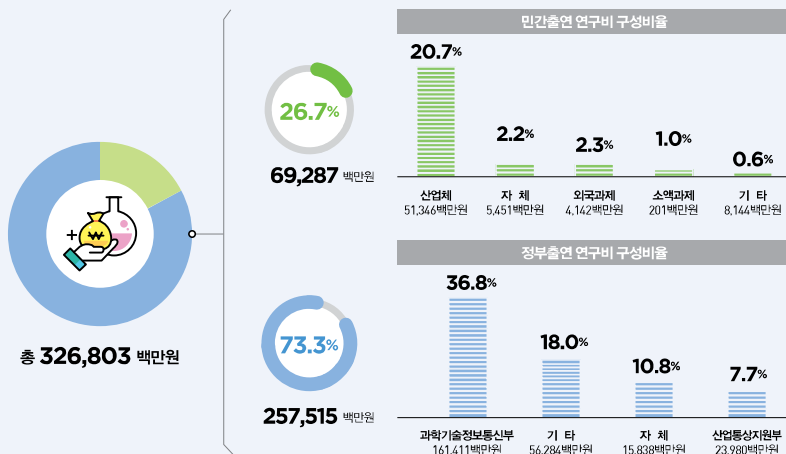


KAIST는 한국 최고의 국가 연구개발 기관으로서 다양한 과학기술 R&D 사업을 추진하고 있습니다. 특히 세계적 연구기관으로 발돋움하기 시작한 2008년 이후, 연구비가 급증하여 현재의 성과를 내는 기반이 되었습니다.

### 6T 연관 비중별 구성비율



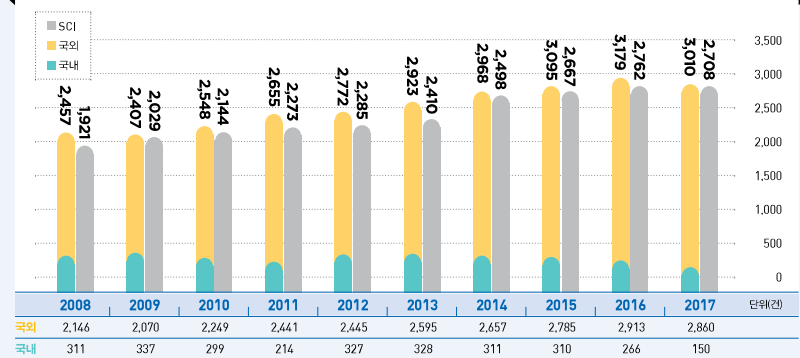
### 연구 계약금액 구성비



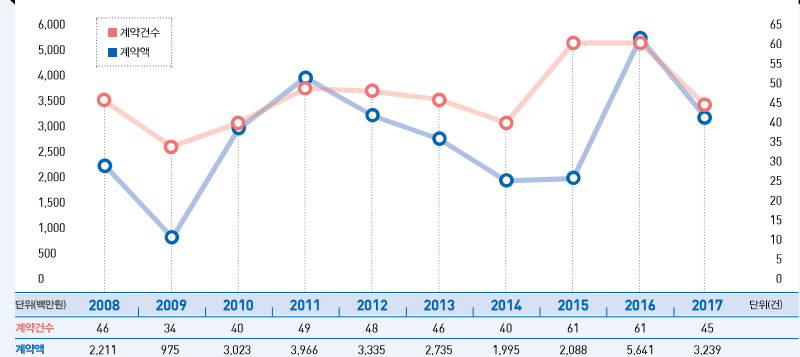
## 연구성과 통계자료

### Research Outcomes

#### 최근 10년간 논문수

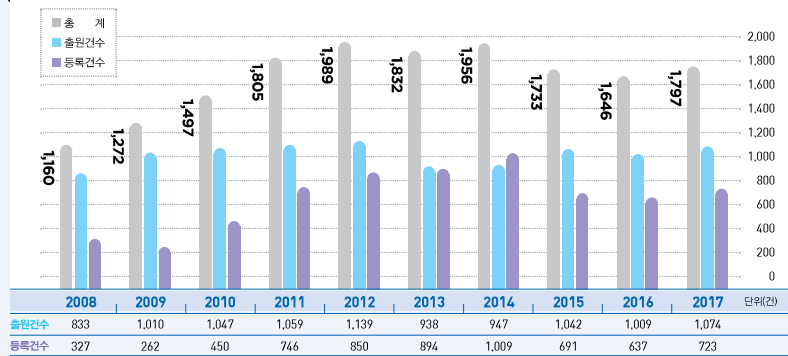


#### 최근 10년간 기술이전 계약실적

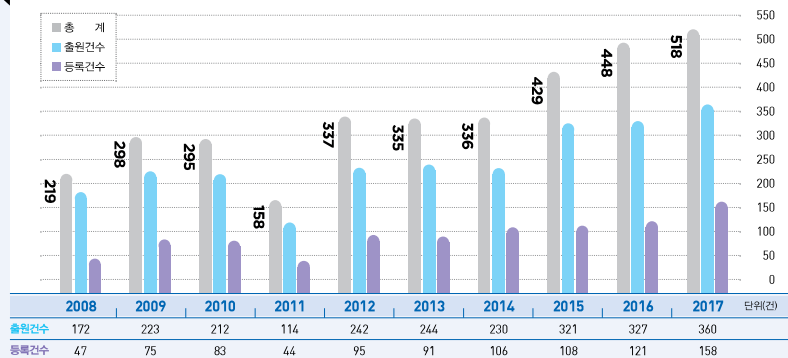




### 최근 10년간 국내 특허실적



### 최근 10년간 국외 특허실적



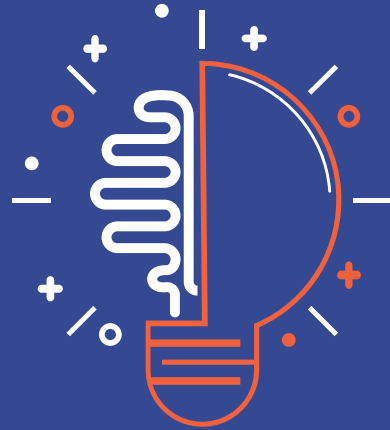
KAIST  
2017

## ANNUAL R&D REPORT

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

## 10대 우수성과

### KAIST'S TOP 10 RESEARCH ACHIEVEMENTS OF 2017



KAIST의 교수와 연구진들은 세계 속에 한국 과학 기술의 저력을 알려왔습니다.  
세계 유수의 학술지 표지를 장식하며 2017년을 빛낸 KAIST 10대 연구성과들을 소개합니다.

KAIST는 2017년 '로이터 통신의 세계에서 가장 혁신적인 대학 100곳' 선정에서 6위에 올랐습니다.  
또한 아시아에서 가장 혁신적인 대학 랭킹 1위를 기록하였습니다.  
이에 걸맞는 우수한 연구성과도 매년 발표되고 있습니다.  
2017년의 10대 우수연구로 선정된 나노신소재, 생명공학, 첨단 로봇, 에너지,  
정보통신, 지식과 산업디자인 각 분야의 기술을 소개합니다.

## 초고속 동작 자기메모리 핵심 기술

물리학과 김 갑 진

자구벽 이동 기반 자기메모리 (domain wall motion-based magnetic memory)는 자성 나노선에서 움직이는 자구벽의 이동에 기반한 신개념 비휘발성 메모리 소자로서, 기존 메모리들의 장점을 합한 유니버설 메모리가 될 것으로 기대를 모으고 있는 차세대 메모리이다. 그러나 실용화를 위해서는 자구벽의 속도를 높여야 하는 문제가 있었다. 본 연구에서는 자구벽(magnetic domain wall) 이동 속도를 증가시키는 새로운 메커니즘을 제안하고, 이를 실험적으로 증명하였다. 연구진은 페리자성체  $GdFeCo$ 의 각운동량 보상점 (각 운동량이 0이 되는 지점)에서 자구벽의 속도가 급격히 증가할 것을 이론적으로 예측하였고, 이를 실험을 통해 확인한 결과, 상온에서 자구벽의 속도가  $2km/s$  이상을 가짐을 확인하였다. 이는 차세대 메모리의 구현을 앞당기는 의미를 가질 뿐만 아니라, 각운동량이 사라지는 지점에서 나타나는 새로운 물리현상을 발견했다는 의미에서 학문적으로도 큰 가치가 있는 결과라 할 수 있다.



### 1. 연구배경

현재 사용 되는 메모리 소자는 DRAM, SRAM, Flash memory, HDD 등이 있다. DRAM과 SRAM은 속도가 빠름에 반해, 전원이 꺼지면 메모리가 사라지는 휘발성 특성을 보인다는 문제가 있다. Flash memory는 비휘발성이긴 하나, 동작속도가 느리고, 쓰고 지우는 횟수의 한계가 존재하는 단점이 있다. HDD (Hard Disk Drive)의 경우 높은 용량이 장점이나, 기계적인 회전을 사용함으로써, 전력 사용량이 높고 충격에 약하다는 단점이 있다. 자구벽 이동 기반 자기메모리 (Domain wall motion-based magnetic memory, 일명 racetrack memory)는 이러한 기존 메모리의 단점을 해결하고자 등장한 메모리이다. 자구벽 메모리의 핵심 동작원리는, 하드디스크의 기계적인 회전을 전류에 의한 자구벽 이동으로 대체하는 것이다 (다음 페이지 그림 참조). 자성 나노선을 사용함으로써 비휘발성 특성을 확보하고, 기계적인 회전을 없앴으로써 전력 사용량을 줄이고 충격에 강한 메모리를 만들겠다는 아이디어를 기반으로 한다. 따라서, 고속 동작만 가능하다면, 기존의 메모리의 장점을 모두 가지는 새로운 메모리가 될 것으로 기대를 받고 있다.

현재까지 연구 결과, 자구벽 메모리의 속도는 수백 m/s 정도의 한계를 가진다는 것이 보고되었다. 이는 자구벽이 이동할 때, 회전하면서 이동하게 되는 워커붕괴현상(Walker breakdown)이 근원적인 원인이 된다. 이러한 워커붕괴현상은 자성물질이 본질적으로 가지게 되는 각운동량에 기인하기 때문에 피할 수 없는 현상으로 알려져 왔다. 자구벽 메모리 소자의 초고속 동작에 있어서, 워커붕괴 현상은 치명적인 약점으로 작용하기 때문에 이를 극복하기 위한 해결방안이 필요하였다.



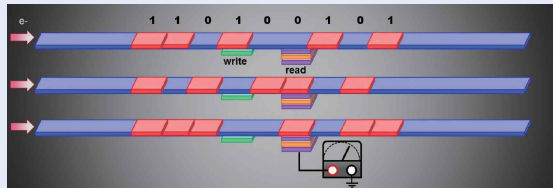


그림 1. 자구벽 메모리의 개념도

## 2. 연구내용

기존의 자구벽 메모리 연구는 대부분 강자성체에서 이루어졌다. 강자성체는 물질 내부의 자화가 한 방향으로 향하는 물질로서, 항상 각운동량이 존재하기 때문에 위크붕괴 현상을 피할 수가 없다.

본 연구진은 강자성체가 아닌 반강자성체를 주목하였다. 반강자성체는 인접한 스핀이 반평행을 이루고 있어서 전체적인 자화의 총합이나 각운동량의 총합이 0이 되는 물질이다. 본 연구진은 이론적인 선행 연구를 통하여, 반강자성체에서는 각운동량이 0이므로 위크붕괴현상이 사라지고 자구벽의 속도가 급격히 빨라질 것이라는 것을 예측하였다. 그러나 이를 실험적으로 규명하는 것은 쉽지 않았는데, 그 이유는 반강자성체는 자화가 0이므로, 외부자기장으로 제어하는 것이 불가능하기 때문이다.

이에 본 연구진은 GdFeCo 합금에 주목하였다. 이 물질은 페리자성체로서, Gd의 자화와 FeCo의 자화가 반평행으로 나열되어 반강자성체적 특성을 띄지만, 각각의 원소의 자화크기가 달라서, 전체적으로 총 자화가 0이 되지 않는 물질이다. GdFeCo의 경우, 물질의 조성이나 온도를 바꿈으로써, 자화의 총합이나 각운동량의 총합을 바꿀 수 있는데, 특히하게도 자화의 총합이 0이 되는 온도와 각운동량의 총합이 0이 되는 온도가 다르게 나타난다. 즉, 각

운동량의 총합이 0이 되는 곳에서 자화가 남아 있으므로, 외부 자기장으로 제어가 가능하다는 것을 의미한다.

본 연구진은 GdFeCo의 각운동량이 0이 되는 지점에서의 자구벽 속도를 조사하였고, 그 결과 속도가 급격히 빨라지는 것을 관측하였다. 이는 각운동량이 0이 되는 지점에서 위크붕괴현상이 사라지면서, 자구벽이 반강자성체적 동작을 한다는 것을 의미하는 것이다.

본 연구진은 여기에서 한 걸음 더 나아가 GdFeCo의 조성 조절을 통하여, 상온에서 2km/s 이상의 자구벽 속도를 얻는 것에 성공하였다. 이는 기존 강자성체 기반 소자에서의 자구벽 속도를 크게 뛰어넘는 것으로 자구벽 메모리의 실현을 앞당기는 결과라 할 수 있다.

## 3. 기대효과

본 연구는 물질의 각운동량이 0이 되었을 때 나타나는 새로운 현상을 발견한 결과로서, 학문적으로 큰 의의가 있다. 이러한 결과는 “페리자성체 스피트로닉스”라는 새로운 학문 분야를 촉발시키는 계기가 될 것으로 기대된다.

상온에서 자구벽의 속도를 크게 증가시킨 결과는 자구벽 이동 기반 메모리 소자의 실용화에 크게 기여할 것으로 생각 된다. 자구벽 이동 기반 메모리 소자가 실현된다면, 국내외 메모리시장에 큰 파급력을 일으킬 것으로 기대된다.

# 이중 안정점을 가진 포텐셜계

수리과학과 변재형

Potential  $V$ 가  $\mathbb{R}^n$ 에서 두 개의 최소점  $p, q$ 를 가질 경우 상미방계의 일반화된 형태인 elliptic system  $\Delta u(x) - V_n(x, u(x)) = 0, x \in \mathbb{R} \times \Omega \subset \mathbb{R}^n, u(x) = p$  for  $x_1 = -\infty, u(x) = q$  for  $x_1 = \infty$ 을 만족하는 heteroclinic solution  $u$ 의 존재성은 역학계 연구에서 아주 근본적인 질문이다. 우선 가장 기본적인 heteroclinic solution의 존재성을 이전의 결과들을 가장 일반적으로 확장하는 potential에 대한 최적의 조건하에서 heteroclinic solution의 존재를 증명하였다. scalar case에서는 임의의 shadowing chains에 대응하는 해의 존재에 필요충분조건이 gap condition으로 알려져 있다. systems의 경우 이에 대응하는 isolatedness condition을 찾고 이 경우 임의의 shadowing chains에 대응하는 해의 존재, 즉 해의 집합의 chaotic 구조를 증명하였다.



## 1. 연구배경

단진자 운동을 보면 세가지 형태의 해가 존재하는데, 첫째는 주기해, 둘째는 평형점에서 평형점까지 무한시간동안 움직이는 해(homoclinic 또는 heteroclinic solutions), 셋째는 회전운동을 하는 해이다. 단진자 운동을 나타내는 potential은 sine 함수로 주어지고 하나의 방정식으로 기술된다. 이때의 존재성과 해의 성질은 아주 간단한 phase plane analysis를 통하여 알 수 있다. 이에 비해 여러 방정식들이 potential을 통하여 연결되어 있고, 더 일반적으로 편미방정식계를 생각하면 존재성의 증명은 아주 까다로운 문제가 된다. 세가지 형태의 해의 구성을 위하여 서로 다른 수많은 연구와 방법론이 개발되어 왔다. 본 연구는 평형점을 연결하는 heteroclinic 또는 homoclinic solutions에 대한 연구를 진행하였다.

## 2. 연구내용

다음  $n$ 개 편미방정식을 생각한다.

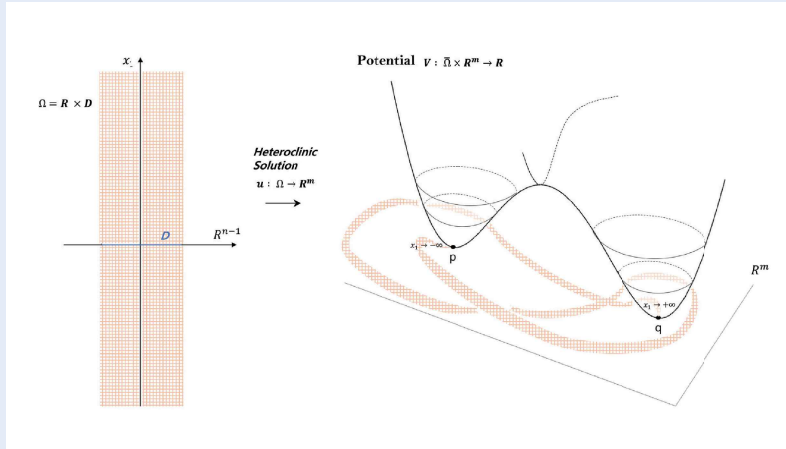
$\Delta u(x) - V_n(x, u(x)) = 0, x \in \mathbb{R} \times \Omega \subset \mathbb{R}^n, u(x) = p$  for  $x_1 = -\infty, u(x) = q$  for  $x_1 = \infty$   $m=1$ 인 상미방정식계의 경우 potential이 무한대와  $p, q$ 와 다른 점들에서 최소값  $V(p)=V(q)$ 보다 크고 두 최소점  $p, q$  근처에서의 potential의 적당한 비퇴화적인 조건하에서 해의 존재성이 알려져 있었다. 본 연구에서는 최소점 근처에서의 비퇴화성 조건없이 위 편미방정식에 대하여 해의 존재를 보일 수 있었다. 또한 2015년 Journal of the European Mathematical Society에 발표된 논문에서 Alikakos-Fusco는 potential이 아주 특수한 local condition(ball shape basin with two wells)을 만족할 경우 local version으로서 heteroclinic solution의 존재를 증명하였는데 이를 확장하여 아주 일반적인 potential에 대한 local condition(convex basin with two wells)

## I 연구성과 I

[논문] Kab-Jin Kim et al, "Fast domain wall motion in the vicinity of the angular momentum compensation temperature of ferrimagnets", Nature Materials 16, 1187 (2017)

[특허] 시프트 레지스터 및 그 데이터 시프트 방법, Shift register and data shift method thereof, 출원번호: 10-2017-0110968

[홍보] 논문과 관련하여 각각 언론보도 10여회 (10.17일자 "초고속 자전력 메모리 속도 향상 기술 개발")



하에서 존재증명을 하였다. 이때 Alikakos-Fusco의 조건인 최소점 근처에서의 비퇴화성의 가정 없이 보일 수 있었다. scalar case에서는 임의의 shadowing chains에 대응하는 해의 존재에 필요충분조건이 building block solutions들의 gap condition으로 잘 알려져 있다. systems의 경우 gap condition을 일반화하는 isolatedness condition을 찾고 이 조건이 만족할 경우 임의의 shadowing chains에 대응하는 해의 존재를 증명하였다. 이는 해의 집합이 아주 chaotic 구조를 가지는 것을 보이는 것으로 이 방정식에 대한 최초의 결과이다.

### 3. 기대효과

해를 가장 일반적인 조건하에 증명하는 것은 그 결과 자체도 의미가 있지만 그 증명 방법은 다양한 문제에 응용할 수 있을 것으로 기대한다. 실제로 편미분 방정식을 포함한 다양한 문제가 무한 차원공간위의 상미분 방정식으로 표현할 수 있는데 본 논문의 결과와 방법론을 무한차원으로 확장하여 보다 일반적인 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대한다.

### | 연구성과 |

[논문] Jaeyoung Byeon, Piero Monttchiarri and Paul Rabnowitz, A double well potential system, Analysis and PDE, 9(2016), 1737–1772

## 염기성 금속을 이용한 선형과 고리형 알카인 분자의 선택적인 탈수소화 촉매 반응

화학과 백 무 현

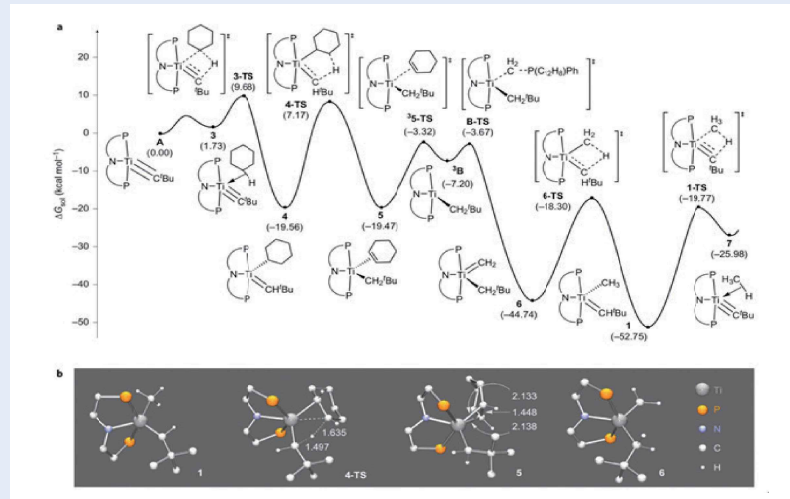
오늘날까지, 간단한 알케인 분자를 고부가 가치의 기초 원료로 전환하기 위한 올레핀화 반응은 로듐과 루테튬 등과 같이 희소성이 높고 값비싼 전이금속을 촉매로 사용함과 동시에, 굉장히 높은 온도가 필요했다. 따라서, 화학 산업계에서는 보다 효율적으로 올레핀을 얻기 위해, 지구상에 풍부한 전이금속을 사용하면서도 상대적으로 낮은 온도에서 알케인을 올레핀으로 변환시킬 수 있는 올레핀화 반응의 개발을 위해 지속적으로 노력해왔다. 이에 본 연구팀은 지구상에 풍부한 염기성 금속인 타이타늄을 이용한 지속적인 연구를 기반으로, 온화한 조건 (75 °C)에서 촉매적 탈수소화반응을 통해 알케인 분자를 선택적으로 올레핀화시킬 수 있는 반응을 최초로 개발하였다 (Nature Chemistry 2017, 9, 1126). 본 연구팀은 밀도범함수(Density Functional Theory)를 활용한 계산 화학을 통해 이러한 올레핀화 반응들의 메커니즘에 대한 이해를 높임으로써, 10년이 넘는 기간 동안 긴밀한 협력적 연구를 수행해오고 있는 미국 펜실베이니아 대학의 Dan M. Mindiola 교수 연구팀과 함께 해당 반응의 개발에 성공하였다. 이번 연구는 지난해 보고된 이리듐 촉매를 이용한 메탄가스의 탄소-수소 결합 활성화 반응(Science 2016, 351, 1424)의 연구 결과를 토대로 진행하였다.

### 1. 연구배경

취발성 알케인을 올레핀과 같은 보다 산업적으로 유용한 원료로 전환하기 위한 공정은 매우 중요하다. 이와 관련하여, 알케인의 스팀 크래킹 (steam cracking)은 1-뷰텐, 1-헥센 및 1-옥텐과 같은 올레핀의 제조를 위한 중요한 공정으로 자리를 잡았다. 하지만, 현재까지 효율적으로 올레핀을 제조하기 위해서 비금속 알킬리덴을 이용한 화학 양론적 반응에 대한 광범위한 연구가 진행되었음에도, 800 °C 이상의 높은 온도가 요구되고, 값비싼 금속 기반의 촉매가 필요로 하는 등 아직까지도 올레핀 생성에는 많은 한계점이 존재하고 있는 실정이다. 또한, 기존에는 포스핀 물질의 제거없이 티타늄 복합체(PNP)Ti=CHtBu (CH<sub>2</sub>tBu)와 반응하여 포스피노 알킬리덴 복합체 (PNP)Ti=CHPPh<sub>2</sub>(Ph) 및 H<sub>3</sub>CtBu를 형성하는 메틸렌 일라이드가 보고된 바 있으나, 이 방법은 일라이드 (H<sub>2</sub>CPPh<sub>2</sub>)의 변질로 인하여 대량의 올레핀 합성에 부적합하였다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서, 본 연구에서는 염기성 금속 티타늄 촉매와 함께 새로운 일라이드(CH<sub>2</sub>P (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>) (Ph))를 활용, 온화한 조건에서 탈수소화 촉매 반응을 통하여 고리형부터 C4-C8의 선형에 이르는 알케인을 올레핀으로 변환하는 데 성공하였다.

### 2. 연구내용

본 연구에서는 티타늄 촉매와 함께 산화제와 수소 수용체 역할을 동시에 수행할 수 있는 일라이드 등의 메틸렌 전달체를 사용하면 알케인을 탈수소화하여 올레핀을 합성할 수 있다는 것이 증명되었다. 또한, 동위원소 추적분석과 화학 반응성 및 계산화학 연구를 기반으로, 취발성의 알케인에 대한 탈수소화의 완전한 촉매 반응 메커니즘을 제안하였다. 이 메커니즘에 따르면, 먼저 촉매[(PNP)Ti=CtBu]에 사이클로 헥세인의



1,2-첨가 반응이 일어난 후 베타-수소 추출이 일어나며, 그 결과로 준 안정한 사이클로 헥세인 첨가 생성물(PNP)  $Ti(CH_2Bu)(\eta^2-C_6H_{10})$ 이 형성된다. 그 후 사이클로 헥세인 생성물이 해리되면서  $Ti(III)$  삼중항 상태로의 스핀 교차가 일어난다. 마지막으로, 촉매의 삼중항 중간체가 메틸리딘기 전달 메커니즘을 통해 일라이드와 반응하면서  $(P(C_6H_5)_3)_2Ti$ 가 해리되며 촉매가 재생성된다.

본 연구는 다음과 같은 의의를 가진다. 첫째, 기존에 보고된 균일 촉매들과는 달리, 본 촉매는 온화한 온도에서 반응을 진행할 수 있다. 둘째, 본 촉매에서는 선형 알케인의 말단기에서만 선택적으로 반응이 일어난다. 또한, 현재 상태에서는 제한적인 전환수만이 가능하지만, 활성 상태의 촉매 형성속도와 메틸리딘 전환 시약의 근원을 원리적으로

조절할 수 있기 때문에, 반응 최적화를 통하여 실용적인 전환수 역시 얻어낼 수 있을 것으로 보인다.

### 3. 기대효과

본 연구는 기존의 올레핀 생성 반응에서 고온(800 °C)조건과 일라이드( $H_2C=CHPh$ ) 물질의 변질을 동시에 해결함과 더불어, 온화한 조건에서 저렴한 타이타늄 촉매를 활용하여 올레핀 생성반응에 성공하였다. 즉, 본 연구는 친환경적이면서 동시에 보다 효율적으로 올레핀 생성을 가능하게 하였고, 이를 응용하여 플라스틱, 전도성 고분자, 의약품과 같은 중요한 화합물 생성에 있어서 상당한 부가 가치를 창출할 수 있을 것으로 기대된다.

### | 연구성과 |

[논문] Solowey, D. P.; Mane, M. V.; Kurogi, T.; Carroll, P. J.; Manor, B. C.; Baik, M.-H.; Mindiola, D. J. "A new and selective cycle for dehydrogenation of linear and cyclic alkanes under mild conditions using a base metal" Nat.Chem. 2017, 9, 1126–1132

## 패혈증 원인물질인 박테리아 내독소가 생체 내에서 인식되고 면역활성화를 유도하는 메커니즘 규명

의과학대학원 김 호 민

박테리아감염에 의한 혈액 내 내독소 다량 유입은 고열, 혈압저하, 장기손상 등 과도한 전신염증반응의 결과인 패혈증으로 이어질 수 있지만 내독소 인식 및 전달관련 구체적인 분자가전이 밝혀지지 않아 패혈증 치료제 개발에 한계가 있었다. 특히 패혈증은 에이즈, 뇌졸중, 심근경색보다 더 높은 발병율을 나타내며, 매년 전세계 1,800만명 이상이 패혈증을 진단받고, 패혈증 쇼크 환자의 치사율 또한 30~70%로 매우 높은 질병이다.

의과학대학원 김호민교수는 기존의 실험방법으로 접근이 어려웠던 내독소 및 LBP, CD14, TLR4/MD2 단백질들 간의 동적인 상호작용을 첨단 실험기법을 활용하여 분자수준에서 관찰함으로써, 패혈증의 주된 원인물질인 박테리아 내독소를 우리 몸이 인식하고 전달하는 메커니즘을 분자수준에서 규명하였다. 이 연구는 박테리아 감염에 의한 선천성 면역 활성화 연구에 새로운 방향을 제시하였으며, 패혈증 예방 및 치료제 개발에 크게 기여할 것으로 기대된다.



### 1. 연구배경

우리 몸의 면역체계는 크게 선천성 면역과 적응성 면역으로 분류된다. 이 중 선천성 면역은 박테리아나 바이러스에 감염되었을 때 초기에 빠르고 효과적으로 우리 몸이 대응하기 위해 활성화되는 면역 반응이다. 내독소 (endotoxin)라고도 불리는 그람음성균의 외막성분인 지질 다당류 (Lipopolysaccharide, LPS)은 선천성 면역 반응을 활성화시키는 주요 원인물질이다. 하지만 박테리아 감염 및 급격한 증식에 따라 내독소가 혈액 내 다량 존재하게 될 경우 오히려 과도한 면역반응을 일으켜 발병율과 치사율이 매우 높은 패혈증으로 발전될 수도 있다. 내독소가 혈액 내 유입되면 생체 내 두 단백질 (LBP와 CD14)이 소량의 내독소를 신속히 인지하고, 효과적으로 내독소를 면역세포 표면의 TLR4-MD2 수용체로 전달하여 선천성 면역반응을 활성화시키게 된다. 그러므로 내독소 인식과 전달과정의 이해는 내독소에 의한 면역반응 유발 메커니즘뿐만 아니라 패혈증의 치료전략 수립을 위해서 매우 중요하다.

### 2. 연구내용

지난 20년간 단백질결정학 방법을 통한 LBP, CD14, TLR4-MD2 단백질들의 3차 분자구조 규명 및 다양한 생화학적 연구방법들을 이용하여 내독소 인식 및 전달 관련 많은 연구가 이루어져 왔다. 하지만 내독소 인식 및 전달은 매우 빠르고 동적인 단백질 상호작용에 의해 일어나기에 연구에 많은 어려움을 겪어 왔다.

본 연구에서는 최신 바이오과전자현미경 기법과 단분자 형광기법을 이용하여 이러한 기술적 한계를 극복함으로써 LBP, CD14, TLR4-MD2 단백질들의 상호작용에 의한 박테리아 내독소 인식 및 전달과정의 핵심 분자메커니즘을 규명하였다. 특히, 단백질 분자들의 투과전자현미경



영상을 찍은 후, 컴퓨터를 활용한 이미징 프로세싱을 통해 단백질 각각의 형태 및 동적 구조를 분석하는 첨단 바이오 투과전자현미경 기법을 본 연구에 활용하였다. 이를 통해, 박테리아 내독소와 결합한 LBP 단백질 구조, 내독소를 전달하기 위해 LBP와 결합한 CD14 단백질 구조 등을 세계 최초로 규명하였고 막대모양의 LBP 단백질이 그들의 N-도메인 끝을 통해 내독소 마이셀 표면에 결합함으로써 박테리아 내독소만을 특이적으로 인식하는 것을 발견할 수 있었다. 또한, 동적인 단백질 상호작용을 실시간으로 모니터링하고 정량화 할 수 있는 분자 회광 시스템을 새롭게 구축하여 활용함으로써 마이셀 형태로 존재하는 박테리아 내독소의 표면에 결합한 LBP 단백질의 C-도메인과 막대모양의 CD14 단백질이 정전기적 결합을 통해 빠르게 박테리아 내독소 한 분자만을 가져가는 동적인 상호작용을 규명하였다. 또한 하나의 LBP 단백질에 여러 CD14 분자가 붙었다 떨어졌다를 반복하면서 박테리아 내독소를 계속하여 하나씩 가져가는 분자메커니즘도 규명하였다. 마지막으로 마우스 면역세포인 수지상세포에 내독소 전달 길목을 차단하는 LBP 돌연변이를 처리하였을 때 박테리아 내독소에 의해 유도되는 선천성면역 활성이 현저히 억제됨을 확인할 으로서 패혈증 치료제 개발을 위한 신규 전략을 선도적으로 제시하였다.

## I 연구성과 |

[논문 1] Reconstruction of LPS transfer cascade reveals structural determinants within LBP, CD14 and TLR4-MD2 for efficient LPS recognition and transfer. Immunity, 2017 Jan 17;46(1):38-50

[논문 2] Dynamic lipopolysaccharide transfer cascade to TLR4/MD2 complex via LBP and CD14, BMB Rep. 2017 Feb;50(2):55-57

[수상] 한국구조생물학회 학술상 (2017)

[홍보] [논문 1]에 대하여 연합뉴스, YTN, 동아일보 등 20회 언론 보도

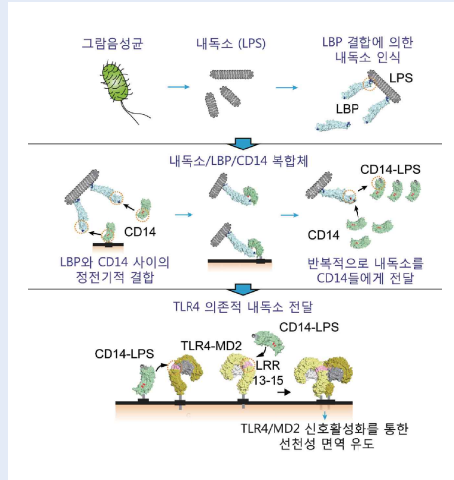


그림 1. 생체 내 박테리아 내독소 인식 및 전달 메커니즘 규명(Immunity, 2017)

## 3. 기대효과

그람음성균의 내독소가 LBP와 CD14를 거쳐 TLR4-MD2로 전달되는 핵심 분자메커니즘을 규명함으로써 박테리아 감염에 따른 선천성면역 관련 연구를 선도할 것으로 기대 된다. 또한 박테리아 감염에 따른 패혈증 발병기전 연구와 치료제 개발에 활용 될 수 있는 분자적, 구조적 기초지식을 제공하였다. 단백질의약품 제약 산업계의 중요 이슈인 내독소의 효과적인 제거를 위해서도 이 연구의 내독소 인식 메커니즘이 활용될 수 있을 것이다. 마지막으로 이 연구의 첨단 연구 기법들은 향후 선천성 면역 관련 다양한 동적인 단백질 상호작용을 이해하는데도 활용될 수 있을 것이다.

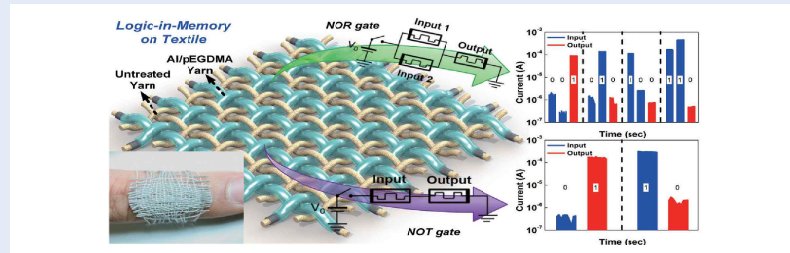
## 멤리스터 기반의 섬유형 웨어러블 전자소자 및 회로 기술

전기 및 전자공학부 최양규·최성울

섬유 기반의 점자 섬유 (e-textile)은 컴퓨터 및 전자소자 응용분야에 편리성을 제공할 수 있는 웨어러블 전자소자 시스템의 기본인 구성요소이다. 그러나, e-textile 기술은 현재 상당한 기술적 어려움에 직면해있다. 이러한 기술적 제한 요소는 물질 자체의 고유한 특성에서 기인하는 공정의 어려움, 기계적-화학적 안정성 및 전력소비 문제 등을 포함한다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여, 실제 섬유를 이용하여 멤리스터 기반 기능성 회로를 세계최초로 개발하였다. 앞서 진행한 연구와 같이 실위에 전극으로 사용될 알루미늄을 증착하고, 그 위에 임성감 교수 도움으로 pEGDMA물질을 iCVD를 이용하여 증착하였다. pEGDMA의 전기적 특성은 선행 연구에서 이미 검증하였으며, 코팅된 실을 격자로 구성하였다. iCVD 증착법은 매우 균일한 막을 나노급으로 상온에서 증착할 수 있는 향상된 기술이다. 이렇게 코팅된 실이 격자로 구성되면 각 교차점은 '금속-절연막-금속' 형태의 memristor용 RRAM 소자가 된다. 이런 교차 배열 형태의 멤리스터 소자 (pEGDMA-textile memristor: ETM)는 직조방식으로 제작할 수 있는 특징이 있다. 이러한 섬유기반의 멤리스터 소자를 기반으로 NOT, NOR, OR, AND, NAND 및 Half Adder와 같은 논리 회로를 세계 최초로 개발하였다. 또한, 궁극적인 웨어러블 전자소자 구현을 위해 세탁 시에도 기계적, 화학적으로 내구성이 매우 강한 것을 실험적으로 검증하였다. 또한, 저전압 동작이 가능하며, 비휘발성 멤리스터 소자를 이용하여 전력공급이 없을 때에 저장된 정보를 유지할 수 있어 대기전력 (static power) 소모가 0 W에 가깝기 때문에 전력 효율면에서도 매우 우수한 회로임을 입증하였다.

## 1. 연구배경

섬유는 인류사회에서 오랜 시간동안 사용해온 가장 보편적인 휴먼 인터페이스로서 섬유형 소재는 유연하고 넓은 표면에 적용할 수 있는 장점이 있다. 이러한 섬유기반의 소재는 능동형 전자 섬유 소재 및 전자 소자 기술이 더해져 효율적이고 친인간적인 전자섬유로 발전하고 있다. 더불어, 궁극적인 의류형 전자소자의 개발을 위해 섬유 자체를 전자소자로 제작하는 것은 필수적이다. 1990년대 후반부터는 입고 사용할 수 있는 컴퓨터나 단말기들이 개발되었다. 그러나, 이러한 하드웨어들은 의류에 장치들을 추가로 부착하여 각 모듈이 그 기능을 수행하도록 제작되었다. 반면에 최근에는 딱딱한 형태의 하드웨어를 의복과 같이 휨 수 있는 친인간화적이고 가벼운 전자소자들로 대체하려는 연구들이 섬유를 기반으로 빠르게 발전하고 있다. 전력 발생기, 휴대용 배터리, 질병 진단이 가능한 센서, 유기발광 디스플레이 등을 섬유 위에 제작됨으로써 스마트 섬유 시대로의 발전이 가속화하고 있다. 그 중 전자소자 분야에서는 트랜지스터, 논리 회로 등을 섬유에 제작한 연구도 진행되었다. 그러나 여전히 의류와 같이 대면적의 직물 형태의 섬유를 기반으로 추가적인 하드웨어의 부착없이 로직 컴퓨팅을 위한 디지털 전자 회로를 구현한 연구는 아직 보고되지 않았다. 앞으로 이상적인 신체 의류형 전자소자는 간단한 구조, 작은 부피, 가벼운 무게, 우수한 구부림 특성을 갖추어야 하며, 특히, 외부환경에서 사용할 수 있도록 소자 열화를 방지할 수 있어야 한다. 그러나 기존의 전자 섬유 기술들에서는 기존 silicon기반의 메모리 소자와 같이 단단한 wafer를 사용하고, 여러 단계의 복잡한 공정과정을 거치므로 의류형 단말을 제작하기 어려웠으며, 의류에 추가적으로 이종 형태의 부착이 대부분이었다.



## 2. 연구내용

본 연구에서는 실제 의류를 제작하는 데 사용되는 면 섬유를 기반으로 사용하여 처음으로 대면적 직물형 메모리 소자 및 로직 컴퓨팅 회로를 세계최초로 구현하였다. 먼저, 섬유 위에 액상 금속인 알루미늄을 코팅하고, 개시제를 이용한 화학 기상 증착 고분자 박막증착법으로 절연막을 형성하였다. 금속과 절연막은 수십나노의 두께로 얇게 증착하여 높은 유연성을 갖는다. 이렇게 코팅된 섬유를 격자 형태로 구성하여 '금속-절연막-금속' 형태를 만들어 2단자 메모리소자용 저항변화 메모리(resistive random access memory, RRAM)를 제작 하였다. 최근에는 메모리 소자의 미세화가 한계에 이를에 따라 기존 3단자 트랜지스터 구조의 메모리를 대체하여 2단자 기반의 고집적도, 낮은 제작 비용, 간단한 제작 공정, 우수한 휘어짐 특성을 갖는 RRAM 및 메모리 소자 연구가 활발히 이루어지고 있다. 코팅된 실의 교차점이 하나의 메모리 셀을 이루게 되고, 아무 처리하지 않은 섬유를 각 격자 사이에 삽입함으로써 각 메모리 셀을 격리하여 모든 셀이 전기적으로 단락되는 것을 방지하였다.

또한, 이러한 구조를 이용하여 단일 메모리 소자 뿐만 아니라, 직물형 로직 회로를 세계최초로 구현하였다. 본 연구에 적용된 RRAM은 메모리 소자로 구현의 최적화된 소자로서 개별 소자를 조합하여 로직 회로를 구동할 수 있다. 27에서 많게는 6개의 메모리소자를 조합하여 NOR, NOT, AND, OR, NAND, Half Adder 등을 구현하였으며, 다양한 조합으로 더 많은 로직 회로를 구성하는 것이 가능하다.

## 3. 기대효과

이러한 메모리 소자 기반의 로직 회로는 기본적으로 비휘발성 메모리 특성을 갖기 때문에 한 번 저장된 데이터가 오랜시간동안 지워지지 않고 유지된다. 따라서, 웨어러블 전자 기기의 배터리 소모를 최소화하기 위하여 기존 폰노이만 컴퓨팅 방식의 한계를 극복함과 동시에 대기전력 (static power)소모를 0 W에 가깝게 하여, 저전력 웨어러블 소자로서 응용가치가 매우 클 것으로 기대된다.

## 연구성과

[논문] H. Bae<sup>1</sup>, B. C. Jang<sup>1</sup>, H. Park, S.-H. Jung, H. M. Lee, J.-Y. Park, S.-B. Jeon, G. Son, I.-W. Tcho, K. Yu, S. G. Im, S.-Y. Choi<sup>2</sup>, and Y.-K. Choi<sup>2</sup>, "Functional Circuitry on Commercial Fabric via Textile-Compatible Nanoscale Film Coating Process for Fibertronics," Nano Letters, 17, 6443-6452 (2017)

[국제학회] H. Bae, W.-G. Kim, H. Park, S.-B. Jeon, S.-H. Jung, H. M. Lee, M.-S. Kim, I.-W. Tcho, B. C. Jang, H. Im, S.-Y. Choi, S. G. Im, and Y.-K. Choi<sup>2</sup>, "Energy-Efficient All Fiber-based Local Body Heat Mapping Circuitry Combining Thermistor and Memristor for Wearable Healthcare Device," International Electron Devices Meeting, San Francisco, CA, USA, Dec, 4-6 (2017)

[특허] 최양규, 배학열, 김대원, 김문석, "Wearable memory with textile substrate and manufacturing method thereof," 출원번호: 10-2015-0144144, Korea

# 점진적 가변형 모델에 기반한 해마 형태학 연구

전산학부 박진아

본 연구는 전산학 (Computer Science) 을 의료분야에 접목한 융합연구로 3차원 메시 (mesh) 모델을 점진적으로 변형하는 기법을 제안하여 이의 정확성 및 강건성을 검증하고, 기억력을 관장하는 해마 (Hippocampus) 모델링에 적용하여 노화현상에 대한 임상연구에 기여하였다. 개발한 모델링 기법의 특징은 점진적 간의 연결성에 기반하여 다단계의 기하학적 인접성 정보를 구축하고 이를 바탕으로 모델의 강도를 결정하는 가변적 가중치 기법을 사용하는 것이다. 이 방식은 템플릿 모델 표현에 대해 광범위한 영역에서부터 국소적인 영역으로 변형을 진행해가며 개별 형상이 가지는 특성을 강건하게 복원하면서도 기하학적 왜곡을 최소화할 수 있다. 본 모델링 기법을 국제공동연구로 진행한 '노화로 인한 해마 형태변화와 인지기능의 상관관계 연구'의 결과와 '코르티솔 호르몬이 해마 형태변화에 미치는 영향에 대한 연구'가 2017년도에 저명 의학전문학술지인 Neurobiology of Aging (IF=5.117) 과 Psychoneuroendocrinology (IF=5.381) 저널에 각각 게재되고, 경도인지장애 (MCI) 조기진단에 대한 연구에도 활용되고 있다. 본 모델링 기법은 해마와 같은 두뇌 소구조 뿐 만 아니라 다양한 인체 장치의 형태기반 분석에도 적용 가능하다.

## 1. 연구배경

해상도가 낮고 노이즈가 심한 세그멘테이션 데이터로부터 대뇌 측두엽에 위치한 해마의 형태를 정확하게 복원하는 것은 개별 형상으로부터 의미 있는 해부학적 관련성을 도출하는 것만큼 중요하면서도 어려운 과정이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 3차원 해마 템플릿 메시에 대한 점진적 모델 변형기법을 개발하였고 이를 통해 불분명 영상에 정합하는 방법을 제안하였다. 본 모델은 메시의 점진적 간의 연결성에 기반하여 다단계의 기하학적 인접성 정보를 구축하고, 이를 바탕으로 모델의 강도를 결정 하는 가변적 가중치 기법을 사용한다. 이 방식은 템플릿 모델을 광범위한 영역에서 국소적인 영역으로 변형함으로써 개별 형상이 가지는 특성을 강건하게 복원하면서도 기하학적 왜곡을 최소화할 수 있다. 본 연구에서 제안한 방법에 대하여 먼저 부드러운 표면 재구성에 있어서 정확도와 강건성을 평가하고, 정상군과 환자군 (경도인지장애 및 알츠하이머병) 간의 형상 차이 감지에 대한 민감도를 측정하였다. 그리고 개별 환자의 형상 모델 간 해부학적 연관성 구축이 강건하게 이루어지는 지와 정상군 내에서 인지 능력과 미세한 형상 변화 간의 관계성 파악에 활용이 가능한지를 평가한 결과, 제안한 기법이 현재 널리 사용되는 모델링 기법들에 비해 표면 생성 과정에서 보다 적은 부피 오차와 높은 형태적 유사성을 보였고, 임상적 변인을 이용한 통계적 분석에서도 해마의 미세한 형상 변화를 민감하게 감지할 수 있음을 확인하였다.

## 2. 연구내용

### 노화로 인한 해마 형태변화와 인지기능의 상관관계 연구

해마의 형상 측정결과를 기억력을 포함한 여러 인지능력의 척도와와의 상관관계가 있음이 널리 알려져 있고 주로 전체 볼륨을 측정하여 지표로 사용하고 있다. 하지만 실제로 해마는 형태 변화의 지역적인 특성이 있으며, 노화 뿐 아니라 인지





그림 1. 제안된 구조물 6자유도 동적거동 정밀제어 시스템 개요

필요로 하는 것과는 달리 추가적 후처리 없이도 실시간으로 구조물의 동적거동 산정 정밀도를 향상시킬 수 있다. 개발된 시스템은 국내의 영종대교와 이순신대교, 중국의 Xihoumen bridge에서 현장실험을 통해 현재 교량에 설치된 GPS-RTK의 정밀도(약 5~10mm)보다 월등히 우수한 정밀도(약 1~2mm 수준)를 갖는 것을 검증하였다.

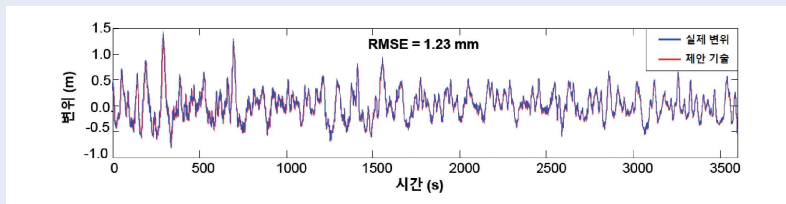


그림 2. 이순신대교 현장성능검증 실험 결과

## 연구성과

[논문 1] Kiyoung Kim, Jaemook Choi, Gunhee Koo and Hoon Sohn, "Dynamic displacement estimation by fusing biased high-sampling rate acceleration and low-sampling rate displacement measurements using two-stage Kalman estimator," Smart Structures and Systems, Vol. 17(4), pp. 647~667, 2016

[논문 2] Junhee Kim, Kiyoung Kim, Hoon Sohn, "Autonomous dynamic displacement estimation from data fusion of acceleration and intermittent displacement measurements," Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 42(1~2), pp. 194~205, 2014

[수상] 연구대상, KAIST, 2017

[특허 1] 동적 변위 계산 장치 및 동적 변위 계산 방법, 등록번호 : 10-1803503-0000

[특허 2] 구조물의 정밀 계측 시스템 및 그 방법, 출원번호 : 10-2017-0061811

[기술이전 1] 동적 변위 계산 장치 및 동적 변위 계산 방법 : 2016.06.03., 풍산 FNS

[기술이전 2] 동적 변위 계산 장치 및 동적 변위 계산 방법 : 2016.12.14., TM ENC

[기술이전 3] 동적 변위 계산 장치 및 동적 변위 계산 방법 : 2016.12.14., EJTECH

## 3. 기대효과

제안기술은 하나의 센서로 구조물의 6자유도 변위, 속도, 가속도 및 각변위를 동시에 계측할 수 있는 세계 최고/최초의 시스템이다. 기존 건설구조물에 적용되는 변위 센서인 GPS-RTK(3,000만원)와 비교하여 성능이 월등히 우수하므로(정확도 2mm 이내/샘플주파수 100Hz), 검사의 신뢰성을 높일 수 있으며, 안전에 대한 국민의 요구를 충족시킬 수 있다. 또한 기존 변위센서보다 저렴한 가격(약 1,500만원)으로 상용화 가능할 것으로 예상된다. 현재 2개 특허가 등록되었고, 1개의 특허가 등록 예정이다. 또한, 3건(3억)의 기술이전을 완료하였다. 이를 바탕으로, 건설신기술 인증 신청을 완료하였으며, 2016년도 11월에 공고된 49억 상당의 "인천국제공항고속도로 교량계측시스템 제조/구매" 사업에 본기술 선정됨에 따라 영종대교에 적용 될 예정이다.

## 종양 내 인공수용체 전달을 통한 종양 표적치료기술

바이오 및 뇌과학과 박 지 호

종양 표적치료란 일반적으로 종양의 성장, 발생에 관여하는 특정 분자를 표적하여 종양의 성장을 저해하는 치료를 일컫는다. 하지만 표적치료는 표적이 있는 환자에게만 효과가 있으며 표적이 소량으로 존재하거나 불균질하게 존재할 경우 치료효과가 제한된다. 본 연구에서는 이와 같은 문제해결을 위해 리포솜이라는 인공 나노소포체와 세포로부터 자연적으로 분비되는 세포외 소포체는 생체나노소포체를 이용하여 종양 내 모든 위치로 인공수용체를 전달할 수 있는 기술을 개발하였다. 이 기술은 표적치료가 어려운 다양한 종양을 치료하는데 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.



## 1. 연구배경

종양 표적치료란 일반적으로 종양의 성장, 발생에 관여하는 특정 분자를 표적하여 종양의 성장을 저해하는 치료를 일컫는다. 하지만 표적치료는 표적이 있는 환자에게만 효과가 있으며 표적이 소량으로 존재하거나 불균질하게 존재할 경우 치료효과가 제한된다. 종양세포에서 분비되는 세포외 소포체(extracellular vesicle)는 생체기원 나노소포체로서 모세포의 인지질, 단백질, RNA 등을 내포하고 있고, 이러한 생물학적 물질들을 주변 세포 및 특정 세포로 이동시키는 기능을 한다고 알려져 있다. 따라서 여기에 효율적으로 표적 가능한 인공수용체를 탑재할 수 있다면 종양 세포의 신호전달 체계를 따라 종양의 심부까지 인공수용체를 전달할 수 있을 것이다.

## 2. 연구내용

먼저 인공수용체가 종양세포에서 분비되는 세포외 소포에 효율적으로 탑재되게 하기 위해서, 세포막과 효율적으로 결합하는 인공나노소포체인 세포막 결합성 리포솜을 개발하였다. 리포솜이란 세포막을 구성하고 있는 인지질과 콜레스테롤을 이용하여 인위적으로 만든 인공나노소포체이다. 리포솜의 막은 인지질 이중층으로 구성되어 있어서 그 막에 물에 잘 녹지 않는 약물들이 탑재될 수 있고, 리포솜의 내부는 물로 채워져 있어서 그 내부에는 물이 잘 녹는 약물들이 탑재될 수 있다고 알려져 있다. 본 연구에서는 리포솜의 구성 성분인 리피드에 바이오틴(biotin) 분자를 결합시켜 인공수용체로서 기능하도록 하였다. 먼저, 세포배양 환경에서 인공수용체를 함유한 리포솜을 세포에 처리하여 주었을 때 세포막에 효과적으로 인공수용체가 전달되었으며 스트렙타비딘(streptavidin)을 이용하여 표적 가능한 것을 확인하였다. 또한, 리포솜이 전달된 세포로부터 분비된 세포외 소포체를 수집



하여 다른 세포에 처리해 주었을 때, 세포들이 표적 가능한 것을 확인하였다. 결과적으로 세포간 인공수용체 전달이 세포와 세포에 의해서 매개됨을 확인 하였다.

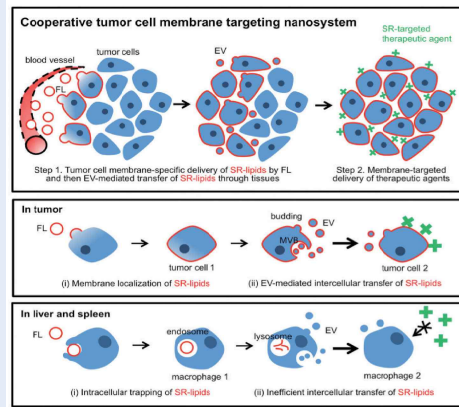
나아가 암이 이식된 동물모델에서 혈류를 통하여 인공 수용체가 탑재된 세포막결합성 리포솜을 종양에 전달하였을 때, 인공수용체가 종양으로 잘 전달되고 시간이 지남에 따라 조직 내에서 균질하게 분포하고 있는 것을 관찰 하였다. 인공수용체가 균질하게 퍼진 후에 이를 표적하였을 때 인공 수용체를 전달하지 않은 그룹에 비하여 종양 표적이 크게 향상된 것을 확인하였다.

마지막으로 치료효과를 보기 위하여 암이 이식된 동물 모델에서 혈류를 통한 리포솜 주입으로 인공수용체를 종양으로 전달해 주었다. 이후 이를 표적할 수 있는 분자에 빛에 반응해 치료효과를 내는 광과민제를 결합하여 주입한 후 종양 부위에 빛을 조사하였을 때, 효과적으로 표적치료가 일어남을 확인하였다. 일반적으로 암 표적치료란 암세포에 특이적으로 많이 나타나는 특정 단백질이나 특정 유전자 변화를 표적으로 암의 성장과 발생에 연관되는 신호를 차단함으로써 암세포를 특이적으로 죽일 수 있는 표적항암제를 일컫는다. 표적치료를 위해서는 먼저 조직검사로 떼어낸 종양의 특성을 파악해야 하며 종양이 가진 정보를 분석하여 그 중앙만이 가진 특징을 찾아내야 한다. 이후 그 특징을 표적할

수 있는 약물을 투여한다. 하지만 표적이 없는 상태라면 표적치료제를 사용하여도 치료효과를 기대할 수 없게 된다. 본 연구에서는 종양이 자연적으로 갖고있는 표적이 아닌 인공수용체를 전달함으로써 암의 종류와 상관없이 효과적으로 표적 가능한 기술을 개발한 것이라고 할 수 있다.

### 3. 기대효과

본 연구는 인공나노소포체인 리포솜을 이용하여 종양 미세환경에서 종양세포들이 분비하는 생체나노소포체인 세포의 소포체에 효율적으로 인공수용체를 탑재할 수 있게 하여, 소포체의 고유 이동경로를 통해 인공수용체가 종양 전역으로 전달될 수 있음을 밝힘으로써 표적이 어렵거나 불가능한 종양 표적치료를 하는데 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.



### 1 연구성과

[논문] "Cooperative Tumor Cell Membrane Targeted Phototherapy" Heegon Kim, Junsung Lee, Chanhee Oh, and Ji-Ho Park, Nature Communications (2017) 15880

[홍보] YTN 뉴스 (종양만 공격하는 표적치료 효과 높은 기술 개발), 매일경제 ([Science &] 암세포 발출을 끌어..진화하는 항암치료), 연합뉴스 ("종양 표적치료" 적용 대상 늘린다... 신기술 개발), 아시아투데이 (박지호 KAIST 교수, 암세포 전체 표적치료 기술 개발)

## 휴미코타: 세라믹 3D 프린팅을 통한 가슴기 디자인

산업디자인학과 배 상 민

휴미코타(HUMICOTTA)는 제6차 나눔프로젝트를 위하여 개발된 제품으로, 3D프린터로 제작된 세라믹 가슴기이다. 휴미코타는 가슴을 극대화 시켜주는 필터 부분, 내장형 팬이 있는 베이스 받침대로 구성되어 있으며, 필터 내부 실린더 공간에 담긴 물이 다공성의 필터로 흡수되어 이를 하단 팬에서 불어온 바람으로 증발시켜 공기를 가슴 시키는 원리이다. 휴미코타의 필터는 구조토의 재질 특성과 벌집구조의 형태 특성을 결합한 다공성 구조로 가슴에 최적화되어 있다. 주원료인 구조토는 미세한 다공질의 천연 소재로 수분 흡수력이 매우 뛰어나며, CAD프로그램 연산을 통하여 구조의 안정성을 유지하면서도 표면적을 극대화 시킬 수 있는 벌집 구조를 디자인 하였다. 기존 세라믹 성형 방법으로는 제작할 수 없는 다공성의 벌집구조형태를 제작하기 위하여 세라믹 3D 프린터를 활용하였으며, 이를 보다 적극적으로 활용하여 사용자가 직접 디자인하여 제작할 수 있는 개방형 플랫폼 서비스를 제공하여 언제 어디서나 사용자가 3D프린터를 통해 자신의 공간에 적합한 가슴기를 제작할 수 있도록 하였다. 이에 휴미코타는 기존 가슴기들의 가슴기 살균제 및 박테리아, 고전력 요구, 필터 교체 비용에 대한 우려 없이 쉽게 관리할 수 있으며, 높은 에너지 효율성을 가진 반영구적으로 사용가능한 새로운 형식의 가슴기로 활용될 수 있다.

### 1. 연구배경

진동을 통해 미세하고 차가운 공기를 내뿜는 기존 초음파식 가슴기는 박테리아나 유독한 가슴기 살균제에 대한 취약점이 있으며, 가열식 가슴기 또한 뜨거운 공기에 의한 화상위험과 큰 전력 소모라는 문제점을 가지고 있다. 이를 대체하는 자연식 가슴기는 청결히 관리하기 어렵고 필터 교체를 위한 유지비가 많이 든다는 단점이 있다. 이러한 사용상의 어려움을 보완하여 본 연구에서는 박테리아나 독성물질에 대한 위험없이 저전력으로 사용할 수 있는 세라믹 3D 프린팅기반 가슴기(휴미코타)를 개발 하였다.

### 2. 연구내용

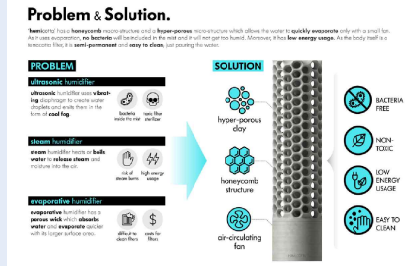
휴미코타는 가슴을 극대화 시켜주는 필터 부분과 내장형 팬이 있는 베이스 받침대로 구성되어 있으며, 필터 내부 실린더 공간에 담긴 물이 다공성의 필터로 흡수되어 이를 하단 팬에서 불어온 바람으로 증발시켜 공기를 가슴 시키는 원리이다. 이를 위해서는 흡수성이 높은 소재와 표면적을 극대화한 형태가 매우 중요하다. 소재적 측면에서 구조토는 미세한 다공질의 흙으로 흡수와 방출이 매우 뛰어난 천연소재로, 재질적 특성에서 착안하여 가장 가슴 효과가 뛰어나면서도 안정된 형태를 유지할 수 있는 원료의 배합을 테스트를 통해 도출해 내었다. 또한 표면적을 극대화할 수 있는 형태를 구성하기 위해 알고리즘 베이스의 3D CAD프로그램 연산을 통하여 구조의 안정성을 유지하면서도 표면적을 극대화 시킬 수 있는 벌집 구조를 도출 하였다. 이와 같은 다공성 구조의 필터 하단부에서 팬을 돌리면 매우 낮은 전력으로도 높은 가슴 효과를 가질 수 있다. 상용 가슴기와와의 성능 테스트 결과, 가열식 가슴기 대비 전소모량은 8배 적었으며 자연식 가슴기와 비교하여 효과 면에서 월등한 가슴력을 확보하였다.

### 3. 기대효과

본 구조는 몰드 방식의 전통적인 세라믹 성형방법으로는 제작이 어려우며 이를 효과적으로 제작하기 위하여 세라믹 3D프린터를 활용하였다. 제작을 위해 3D프린터를 이용한 것에서 더 나아가, 누구나 접근 가능한 온라인 오픈 플랫폼을 함께 개발하여 사용자가 웹이나 모바일 플랫폼에 접속하여 가습기를 사용할 환경의 데이터를 입력하면 최적의 휴미코타 형태를 확인할 수 있고, 이를 3d프린터를 통해 쉽게 만들 수 있다. 3D프린터가 보다 상용화/개인화 되는 시점에서 활발한 사용자 중심의 디자인이 진행될 수 있을 것으로 기대된다.

본 제품은 6차 나눔프로젝트를 위하여 개발된 상품이다. 2006년부터 시작된 나눔프로젝트는 새로운 상품 개발을 통해 자선활동을 펼치는 인도적 사회 순환 시스템을 창조 하는 것을 목적으로 한다.

국제구호개발기구 월드비전과 카이스트 IDHMC디자인 랩이 각자의 능력을 기부하고 협력 하여 수익금 전액을 저소득층 어린이의 교육을 위해 기부하는 사업이다. 휴미코타의 소재적, 형태적 혁신을 통하여 지속가능한 삶과 환경에 기여하는 것과 더불어, 그 수익을 통해 저소득층 어린이들이 또 다른 기부의 주체로 자라날 수 있도록 돕는 밀거름이 될 수 있도록 돕는 사회적 기여를 함께 도모하고 있다. 이에 대한 가치를 인정받아 미국



IDEA 어워드에서 은상을 수상하였으며, 앞으로 쾌적한 환경 조성과 많은 아동들에게 평등한 교육의 기회를 제공 하는 데에 큰 역할을 수행할 것으로 기대 된다.

### Ⅰ 연구성과 Ⅱ

#### 국제성과

[수상] 국제디자인어워드 IDEA 2017 / SILVER AWARD 단독 수상

[전시] 미국산업디자인협회 주관 IDSA 2017 Conference / 전시 및 발표

[홍보] 세계적인 권위의 디자인 매거진 INNOVATION MAGAZINE / HOME & BATH 부문에 수록

#### 국내성과

[홍보] 경향신문 지면보도 외 10여 건

- 경향신문 지면보도 <국제 디자인 공모전서 4개 부문 동시 수상> 2017.09.14.

- YTN 방송보도 <카이스트 배상민 교수, IDEA 4개 상 획득> 2017.09.15.

#### 사회환원

휴미코타의 수익은 월드비전과 IDHMC LAB의 협력으로 진행되는 <나눔 프로젝트>의 기반이 될 <나눔 프로젝트>를 통해 17억원의 나눔자산을 마련하여 167명 청소년들의 꿈 지원비로 기금을 조성함

## 고안정성 초박막 이온성 고분자 박막 제작 기술

생명화학공학과 임 성 갑

이온성 고분자는 우수한 전기 전도도, 다양한 기능성에도 불구하고 기계적 물성이 약하고 용매에 쉽게 용해되는 단점으로 인해 안정적인 박막 형태로의 적용이 제한적이었다. 우리는 본 연구를 통해 고안정성의 다기능성 초박막 (sub-20 nm) 이온성 고분자 물질을 새로이 설계하고 및 이를 구현할 수 있는 신규 기상 합성법을 새로이 개발하였다. 다양한 이온성 단량체 물질의 발굴과 더불어, 안정성을 향상시킬 수 있는 이온 가교 반응의 개발을 통해 박막의 표면 특성을 원하는대로 조절할 수 있는 다양한 종류의 맞춤형 이온성 고분자 물질의 합성에 성공하였다. 새로운 박막 증착 공정의 도입을 통해 통해 초박막 이온성 고분자의 균일한 도포가 가능해졌고, 이를 통해 기재의 bulk 특성은 그대로 유지한 채 표면 전하를 정밀하게 제어할 수 있는 표면 개질 플랫폼을 확립하였다. 발굴된 이온성 고분자 초박막은 물/기름 분리용 멤브레인, 고성능 초강력 접착제, 항균성 표면처리 등의 다양한 분야에 새로이 적용될 수 있음을 보였다.



### 1. 연구배경

이온성 고분자 (ionic polymer)는 고분자 사슬 내에 이온 성분을 가지는 고분자 물질로서 우수한 전기 및 화학적 특성을 가지고 있어, 다양한 분야로의 확장성이 높다. 하지만, 현재 사용되는 이온성 고분자는 주로 액상에서 제조되고 있으며, 이로 인해 여러 문제점들이 노출되고 있다. 특히, 이온성 고분자는 대부분의 유기용매에 취약하며, 기계적 강도가 낮아 주로 겔 (gel) 형태의 성형이 이루어지고 있으며 sub-micron 단위의 초박막 형태로의 성형은 매우 어렵다. 기체 표면의 마이크로 및 나노 크기의 표면 구조가 있을 경우, 겔 형태의 이온성 고분자를 기체에 액상으로 도포하면 점도 및 모세관력으로 인해 그 표면 구조를 유지하지 못하고 덮어버릴 우려가 있다. 이는 다공성 멤브레인 같은 기체에 이온성 고분자를 도포할 경우 기공의 막힘과 함께 멤브레인의 수축 혹은 구조 변형을 초래하여 멤브레인의 투과성을 크게 저하시킬 우려가 있다.

### 2. 연구내용

용매에 대한 불안정성과 낮은 기계적 강도는 이온성 고분자에 기교반응을 도입함으로써 극복할 수 있다. 하지만, 일반적으로 가교도가 증가 할수록 고분자의 용해도가 낮아지기 때문에 기판에 가교된 형태로의 직접적인 도포가 어렵다는 문제점이 있다. 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해 기상증착 고분자합성 공정인 개시제를 통한 화학증착 (initiated chemical vapor deposition, 이하 iCVD) 공정을 도입하여 새로운 형태의 고안정성 이온성 고분자 박막 형성에 성공하였다. 기상 공정인 iCVD 공정에서는 용매나 첨가제를 사용하지 않기 때문에 초고순도의 고분자 합성이 가능하며, 기상에서는 다양한 물성의 단량체 물질을 균일하게 혼합하는 것이 가능하므로, 여러 기능을 동시에 갖는 공중합체의 균일한 합성이 가능해진다. 본 연구에서는 tertiary amine 단량체와 alkyl halide

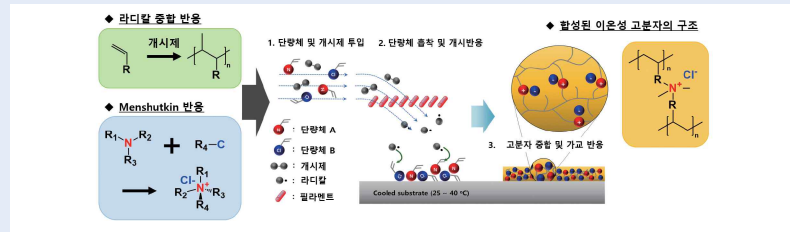


그림 1. In-situ 이온성 가교반응을 이용한 이온성 고분자 물질 중합 및 증착 모식도

단량체를 iCVD system에 동시에 주입하여 고분자 중합반응과 더불어 tertiary amine과 alkyl halide 간의 친핵성 가교 반응을 동시에 유도함으로써, 기상에서 높은 가교도를 지니는 새로운 이온성 고분자 박막 물질을 one-step으로 중합하는데 성공하였다. 본 친핵성 반응을 통해 가교된 이온성 고분자는 이온 성분이 소멸되지 않기 때문에 기존의 일반적인 가교 방식과는 달리 박막 내의 이온 밀도를 극대화할 수 있었다. 또한, 다양한 기능을 포함하는 단량체의 도입 및 주입된 단량체의 상대적인 조성의 제어를 통해 박막의 물성을 정밀하게 제어할 수 있음 역시 증명하였다. 무엇보다도, 이온성 고분자 박막의 두께를 20 nm 이하의 초박막 두께에서도 정밀하게 제어가 가능함을 증명함으로써, 향후 다양한 초박막 표면 개질 분야에 있어 중요한 다짐들이 될 것으로 기대된다. 또한, 이온 가교 반응의 세부적인 제어를 통해 단계적 가교 역시 가능한 합성 방법의 개발 역시 이루어짐으로써, 초강력 나노 점착제의 개발 및 이를 활용한 Ag nanowire 전극의 개발 등 다양한 분야로의 적용이 가능함 역시 발표하였다. 이러한 연구결과는 기상 공정을 통해서도 다양한 형태의 이온성

고분자의 중합이 가능하다는 것을 실험적으로 증명한 최초의 사례로서, 향후 초박막 이온성 고분자 개발에 있어 하나의 중요한 기반 기술이 될 것으로 기대된다.

### 3. 기대효과

이온성 고분자 특유의 전기화학적 활성과 더불어 우수한 친수성, pH 등과 같은 주변환경에 대한 감응성 등 독특한 장점을 지닌 이온성 고분자 물질이 여러 용매에서도 우수한 안정성을 지니며, 20 nm 이하의 초박막의 형태로 다양한 기재에 직접적으로 적용 가능하다는 점을 본 연구를 통해 증명하였다. 본 연구팀은 이미 본 이온성 고분자 물질의 멤브레인 개질을 통해 물/기름 혼합물을 효과적으로 분리할 수 있음을 보인 바가 있으며, 또한 생체적합성을 띠면서도 항균성을 가져 의료용 기기의 표면개질에 적합할 박막 물질의 개발도 이루어졌다. 다양한 전기화학적 에너지 저장매체로의 확장성 역시 높은 기술로서 향후 다양한 표면 물성의 요구에 대응할 수 있는 새로운 platform 기술로서의 확장 가능성이 무궁무진할 것으로 기대된다.

### | 연구성과 |

[논문 1] M. Joo<sup>†</sup>, J. Shin<sup>†</sup>, J. Kim, J.B. You, Y. Yoo, M.J. Kwak, M.S. Oh, S.G. Im\*, "One-Step Synthesis of Cross-Linked Ionic Polymer Thin Films in Vapor Phase and Its Application to an Oil/Water Separation Membrane", Journal of the American Chemical Society, 2017, 139(6), 2329-2337

[논문 2] M. Joo<sup>†</sup>, M.J. Kwak<sup>†</sup>, H. Moon, E. Lee, S.Q. Choi, S.G. Im\*, "Thermally Fast-Curable, "Sticky" Nano-Adhesive for Strong Adhesion on Arbitrary Substrate, ACS Applied Materials and Interfaces, 2017, 9(46), 40868-40877

[수상] 제 23회 삼성 휴먼테크논문대상 Energy & Environment 부문 동상 수상

[특허] 특허 3건 출원, 1건 등록 (등록: 10-1746632, 2017.06.07.)

[홍보] 언론 홍보 1건 (대덕넷, 2017.03.20.)

KAIST  
2017

ANNUAL  
R&D REPORT

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

## 2017년 주요 연구성과

### RESEARCH HIGHLIGHTS OF 2017



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

교직원과 학생들이 협력하여 밤 낮 없이 일구어낸 연구과정과 학문적인 성과는 새로운 지식과 기술을 창출해내는 가장 중요한 초석이 되었고 세계적으로 훌륭한 연구 성과도 매년 내놓고 있습니다. 다양한 분야에서 우수한 연구 결과를 낸 KAIST의 2017년 연구 성과를 모았습니다.

# 01

## 영상 품질과 경제성을 고려한 거리 동시 측정 열화상 카메라

### RESEARCH HIGHLIGHTS

#### IT

INFORMATION TECHNOLOGY

전기 및 전자공학부

권인소 · 황순민 · 김남일  
박종찬 · 최유경

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

자율주행과 같은 지능형 시스템의 상용화를 위하여, LiDAR 또는 적외선 센서 등 환경 변화에 강한 센서 활용이 필수적이다. 다양한 센서를 중에서 열화상 카메라가 어둠거나 조명이 극심하게 변하는 환경에서 좋은 성능을 발휘한다. 본 연구에서는 기존 학계에서 서로 다른 파장/센서의 정보들을 함께 사용하기 위해서 두 정보를 모두 입력으로 활용했던 방식이 아닌, 열화상 이미지를 인공 신경망의 입력으로 취하고 그것으로부터 가시광 대역(Visible)의 풍부한 정보를 추정하게 하는 새로운 방식의 멀티스펙트럴 퓨전(Multispectral fusion) 방법론을 제안한다. 제안된 방법은 열화상 영상 기반의 모델이 가시광 및 열화상 영상의 보완적인 정보를 학습하도록 인공신경망을 훈련한다. 인공 신경망의 학습을 위한 데이터로서 가시광적으로 정렬된 가시광 및 열화상 영상이 활용되고, 학습된 인공 신경망은 단일 열화상 입력에 적용되기 때문에 열화상 카메라를 이용하는 다양한 분야에서 활용될 수 있다. 본 연구내용은 컴퓨터비전/로봇공학 분야의 문제들 중, 주/야간에 활용 가능한 단일 열화상 영상 기반의 거리 측정 문제와 열화상 영상의 화질 개선에 적용되었다. 본 연구는 열화상 카메라가 자율주행자동차 등 지능형 시스템의 필수적인 요소로 활용 될 수 있는 가능성을 제시한다.

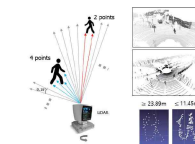


그림 1. LiDAR 거리 정보

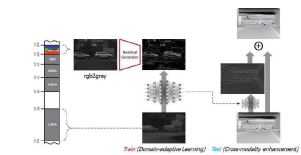


그림 2. 열화상 화질 개선 프레임워크

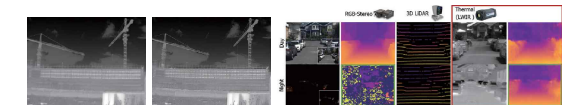


그림 3. (왼쪽부터) 화질 개선 전/후, 밤/낮에 따른 센서별 거리 추정 결과, 단일 열화상 영상만으로 컬러 영상 수준의 거리 측정 정확도 달성

[논문 1] Multispectral Transfer Network: Unsupervised Depth Estimation for All-day Vision, AAAI 2018, Feb (accepted) [top-tier conf, on AI]

[논문 2] Thermal Image Enhancement using Convolution Neural Network, IROS 2016, Oct [top-tier conf, on Robotics]



## 02

## 플로 처리 소프트웨어 미들박스를 위한 재활용 가능한 네트워킹 스택 설계 및 구현

## RESEARCH HIGHLIGHTS

### IT

INFORMATION TECHNOLOGY

## 전기 및 전자공학부

## 박경수 · 한동수

문영균 · 김동휘 · Asim Jamshed

<http://www.ndsl.kaist.edu/>

침입 탐지 시스템, 애플리케이션 방화벽과 같은 TCP 플로 기반 네트워크 미들박스들은 최근까지 네트워크 운영에 필요한 필수 기능들을 담당하고 있다. 하지만, 이러한 미들박스들의 효율적인 디자인은 항상 어려웠는데, 이는 TCP 플로 처리를 위한 네트워킹 스택이 존재하지 않아 발생하는 문제였다. 따라서 기존 미들박스 개발자들은 매번 복잡한 플로 관리 로직을 매번 새로 작성해야 했을 뿐만 아니라, 이로 인해 안정적인 시스템 구현 및 디버깅에 많은 시간을 소요해야 했다. 본 연구에서는 미들박스를 위한 TCP 플로 처리를 수행하는 재사용 가능한 네트워킹 스택인 mOS를 디자인 및 구현 하였다. mOS 프로그래밍 API는 개발자들로부터 복잡하고 까다로운 low-level 패킷 및 플로 처리 구현을 감춰줌으로써, 개발자들이 핵심 애플리케이션 로직 구현에 집중할 수 있도록 도와준다. mOS 네트워킹 스택은 수백만 개의 TCP 플로 이벤트를 처리할 수 있도록 확장성을 가진 효율적인 이벤트 시스템을 탑재하였다. 본 연구팀의 실험 결과 mOS는 플로 기반 미들박스들의 개발에 필요한 소요 시간과 비용을 크게 줄였으며, 수십 Gbps 환경에서 성능 상 오버헤드가 거의 없는 미들박스를 구현할 수 있음을 밝혔다.

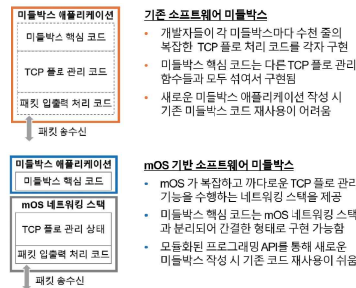


그림 1. 기존 소프트웨어 미들박스 개발 방식(왼쪽)과 mOS 기반 개발 방식(아래쪽) 비교

[논문] mOS : a reusable networking stack for flow monitoring middleboxes, Asim Jamshed, YoungGyou Moon, Donghui Kim, Dongsoo Han, and Kyoungsoo Park, Proceedings of the 14th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI), 2017

[수상] NSDI 2017 Best paper award 수상, (USENIX NSDI는 네트워크 시스템 분야 세계 최정상 컨퍼런스로 250여편 제출 논문중 1편에게 최우수 논문상이 주어짐, 한국 최초 수상, 아시아 두 번째 수상 (기수상: 2011년 Microsoft Research Asia))

[홍보] 전자신문 2차례 소개

## 03

## 유연소재 기반의 촉각 센서를 이용한 소프트 로봇 피부

## RESEARCH HIGHLIGHTS

### IT

INFORMATION TECHNOLOGY

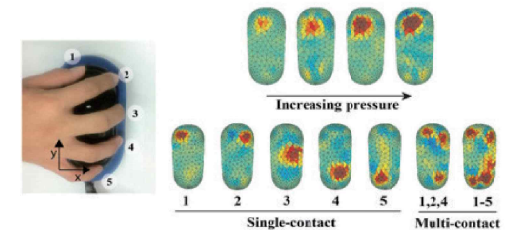
## 기계공학부

## 김 정 · 박인규 · 이효상

권동욱 · 조해도

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

본 연구에서는 로봇과 인간의 공생에 필수적인 물리적인 안전성 확보를 위해 신축성이 높고 내구성이 있으며 제조가 용이한 로봇 피부를 개발하였다. 이 로봇 피부의 소재는 사람의 피부와 기계적 물성이 유사한 실리콘 소재와 전기 전도도를 증가시키는 탄소 나노 소재를 이용하여 개발되었으며 물리적 자극의 위치와 강도를 구분해 낼 수 있는 능력이 있다. 개발된 로봇피부는 매우 유연하며 부드럽고 극소수의 전극만 사용하더라도 전체의 촉각 정보를 측정 전달할 수 있으며 충격에 강해 망치로 내려거나 칼등을 찍어도 재생이 가능하다. 이 새로운 접근 방법은 내구성을 보장할 수 있었으며 전극을 보호 할 수 있으며 여러 형상으로 제조가 용이하기 때문에 로봇 피부, 재활기기 등의 인간-로봇 복지 기기에 활용도가 매우 높은 기술이다.



[논문] Scientific reports, "Soft Nanocomposite Based Multi-point, Multi-directional Strain Mapping Sensor Using Anisotropic Electrical Impedance Tomography" 7, 39837, 2017

[국제학회] International Conference on Human-Robot Interaction (HRI), 2017

[특허 1] 특허 등록 1건 (국내 2017-07-27 / 10-1764384-0000)

[특허 2] 특허 출원 1건 (국내 2017-03-17 / 10-2017-0033907)

[홍보] KBS, MBC, SBS, YTN, TJB, Yonhap News 보도 (국내 언론보도 40여 회)

## 04

## 주파수 파편화 측정지수 개발

## RESEARCH HIGHLIGHTS

## IT

INFORMATION TECHNOLOGY

기술경영학부

권영선 · 박덕규 · 이홍재

http://itip.kaist.ac.kr

주파수 파편화는 이동통신서비스에 분배된 주파수가 쪼개져 있는 현상을 의미하고, 주파수 파편화 정도가 높을수록 주파수 이용효율성이 저하된다. 이동통신산업이 음성서비스 중심 산업에서 데이터서비스 중심 산업으로 전환되면서 주파수의 경제적 가치가 크게 증가하고 있고 주파수 파편화 현상에 대한 관심도 높아지고 있다. 이 연구를 통해서 우리는 주파수 파편화 원인에 따른 10개 측정지수를 개발하였고 개발된 주파수 파편화 지수를 한국과 일본에 적용해 계산하고 비교했다. 10개 모두 0과 1사이의 값을 갖고 이중 세 개는 싸일지수로서 주파수 수요와 공급정보를 이용해 계산된다. 향후 주파수 파편화 통계가 국제적으로 수집 되면 주파수 파편화가 이동통신산업의 경제적 효율성에 미치는 영향을 분석하는 연구에서 중요한 데이터로 활용될 것이다.

Spectrum fragmentation (SF) indices.

| Sources of SF                       | Indices   | Formula                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Facility-based competition          | $SFT11_i$ | $1 - \frac{1}{O_i}$                                                                                                                                        |
|                                     | $SFT12_i$ | $1 - \sum_{j=1}^{O_i} p_j^2$                                                                                                                               |
|                                     | $SFT13_i$ | $\sum_{j=1}^{O_i} p_j \ln \left( \frac{p_j}{q_j} \right)$                                                                                                  |
| Coexisting multiple technologies    | $SFT21_i$ | $1 - \sum_{j=1}^{O_i} \frac{1}{f_j}$                                                                                                                       |
|                                     | $SFT22_i$ | $1 - \sum_{j=1}^{O_i} \sum_{k=1}^{f_j} \left( \frac{f_{jk}}{f_i} \right)^2$                                                                                |
|                                     | $SFT23_j$ | $\sum_{k=1}^{f_j} p_{jk} \ln \left( \frac{p_{jk}}{q_{jk}} \right)$                                                                                         |
|                                     | $SFTT_i$  | $\sum_{j=1}^{O_i} \sum_{k=1}^{f_j} \left( \frac{f_{jk}}{f_i} \right)^2 \left[ \left( \frac{f_{jk}}{f_i} \right) \left( \frac{q_{jk}}{q_i} \right) \right]$ |
| Scattered & divided spectrum blocks | $SFT31_i$ | $1 - \frac{1}{NCB_i}$                                                                                                                                      |
|                                     | $SFT32_i$ | $1 - \sum_{m=1}^{NCB_i} \left( \frac{f_m}{f_i} \right)^2$                                                                                                  |
|                                     | $SFT33_i$ | $1 - \sum_{m=1}^{NCB_i} \sum_{n=1}^{SB_i} \left( \frac{f_{mn}}{f_i} \right)^2$                                                                             |

[논문] Kwon, Y., Park, D.K., & Rhee, H. (2017), Spectrum fragmentation: Causes, measures and applications. Telecommunications Policy, 41(5-6), 447-459. [2016 Impact Factor = 1.526]

[기조연설] ITU 지역표준화포럼 키노트 스피치에서 동 연구결과 발표: Keynote speech at the ITU Regional Standardization Forum for bridging the Standardization Gap on October 24, 2017 at Seoul, (https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/bsg/201710/Pages/default.aspx)

## 05

“기억력 좋은”  
저전압 고유연 유기메모리

## RESEARCH HIGHLIGHTS

## IT

INFORMATION TECHNOLOGY

1. 전기 및 전자공학부

2. 생명화학공학과

유승철\* · 임성갑<sup>2</sup>

http://www.ioel.kaist.ac.kr

플래시 메모리는 태블릿, 스마트폰, USB 드라이브 등 대부분의 IT 기기에서 사용되는 정보 저장에 위한 필수 소자이다. 하지만 소재의 제약으로 인해 유연성과 성능을 동시에 갖춘 유연 플래시 메모리 구현은 사실상 이뤄지지 못했다. 본 연구에서는 개시제 기반 화학 기상 증착법(initiated chemical vapor deposition, iCVD)을 이용한 고성능의 고분자 절연막 군(群)을 활용, 10년 이상의 메모리유지, 낮은 프로그래밍 전압, 우수한 유연성을 동시에 확보한 최초의 고유연 유기 메모리를 구현하였다. 개발한 기술은 머리카락 두께의 약 1/10의 박막 플라스틱에 적용되어 접을 수 있는 수준의 메모리로서 시연되었으며, 더 나아가 종이 위에서도 구현되어, 차세대 웨어러블 및 전자신문, 전자명함 등 다양한 스마트기기에 활용될 수 있음을 보였다.

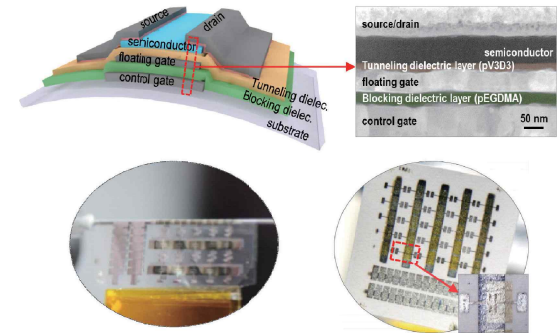


그림 1. 개발된 유연 비휘발성 메모리 소자의 구조 (위) 및  
롤러블 메모리 소자와 종이 메모리 소자 구현 예 (아래)

[논문] S. Lee et al., "Organic flash memory on various flexible substrates for foldable and disposable electronics" Nature Communications 8, 725 (2017)

[홍보] The 1st UDC\* Innovative Research Award in Organic Electronics

[수상] \*Universal Display Corp. (UDC), USA

## 06

딥러닝 전용 명령어를 가진  
인공지능 프로세서 개발

## RESEARCH HIGHLIGHTS

## IT

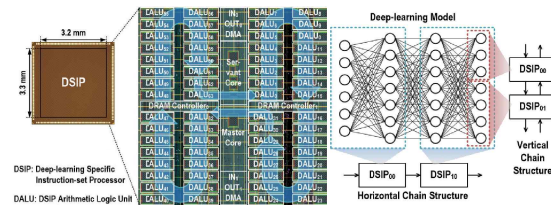
INFORMATION TECHNOLOGY

전기 및 전자공학부

박인철 · 조지혁

http://ics.kaist.ac.kr

최근 딥러닝에 기반한 인공지능 시스템에 대한 관심과 응용 분야가 커지고 있지만, 딥러닝은 많은 연산을 요구하므로 이를 실시간으로 처리하기 위해서 최적화된 하드웨어가 반드시 요구된다. 산업계 및 학계에 발표된 딥러닝 가속기는 전용 하드웨어 형태여서 범용성이 부족하거나 한정적인 인공지능 알고리즘만을 지원할 수 있다. 기존 시스템의 한계를 극복하기 위하여 본 연구에서는 딥러닝에 특화된 전용 명령어와 이를 기반으로 한 master-servant 구조의 프로세서를 세계 최초로 제안하였다. 이를 응용하면 오늘날 활발하게 적용되고 있는 다양한 convolution neural network 모델들을 프로그램 변경만으로 빠른 연산 속도와 높은 에너지 효율로 처리할 수 있다는 것을 실험을 통해 확인하였다. 일반적으로 시스템의 최대 성능은 프로세서 의해 결정되기 때문에, 제안한 프로세서는 자율주행 자동차 및 클라우드 컴퓨팅 등의 딥러닝 시스템에 탑재될 핵심 요소로 대두될 것으로 기대된다.



[논문 1] J. Jo, S. Cha, D. Rho, and I. -C. Park, "DSIP: A Scalable Inference Accelerator for Convolutional Neural Networks," IEEE Journal of Solid-State Circuits (JSSC), to be published

[논문 2] J. Jo, and H. Yoo, and I. -C. Park, "Energy-efficient Floating-point MFCC Extraction Architecture for Speech Recognition Systems," IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, vol. 24, no. 2, pp. 754-758, Feb. 2016

[수상] The First Place, "Energy-efficient Automatic Speech Recognition for Smart Automobile Systems," Altera (Intel) Design Contest, 2014

## 07

데이터센터를 위한  
초저지연 혼잡제어 기술

## RESEARCH HIGHLIGHTS

## IT

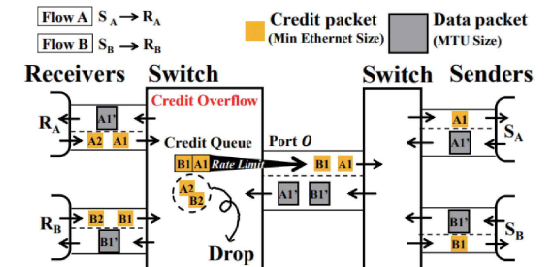
INFORMATION TECHNOLOGY

전기 및 전자공학부

한동수 · 조인호 · 장 건

http://ina.kaist.ac.kr

현대의 데이터센터는 클라우드 자원을 호스팅하는 공간으로 그 규모가 엄청난 속도로 커지고 있다. 수천 개의 호스트가 동시에 통신을 할 때 트래픽이 많이 몰리는 구간에서 병목현상이 일어나 패킷 손실이 발생하게 되는데, 이러한 병목현상을 해결하여 패킷 손실을 줄이는 기술을 "혼잡제어 기술" 이라고 한다. 기존에 제안된 혼잡제어 기술을 사용하면 종단 간 네트워크 지연시간이 통신하는 호스트의 개수에 비례하여 증가하기 때문에 저지연을 달성하기 어렵다. 본 연구에서는 credit 패킷을 이용하여 데이터 패킷 손실이 일어나기 전에 능동적으로 네트워크 혼잡을 제어하여, 호스트의 개수가 많은 상황에서도 초저지연을 달성하는 기술을 제안하였다. 본 기술은 높은 대역폭과 초저지연을 요구하는 데이터센터에서 기존의 혼잡제어 방식을 대체할 수 있는 새로운 대안으로 활용될 것으로 기대된다.



[논문] Inho Cho, Keon Jang\*, and Dongsu Han\*, "Credit-Scheduled Delay-Bounded Congestion Control for Datacenters," ACM SIGCOMM 2017

[홍보] "데이터 전송 병목현상 없앤다... KAIST, 버퍼 최소화하는 혼잡제어 기술 개발", 전자신문, 2017.09.12, http://www.etnews.com/20170912000284

## 08

## 기존 기술 대비 소모 전력을 1/10 수준으로 낮추는 세계 최고 수준의 IoT 용 초저전력 무선 수신기 IC

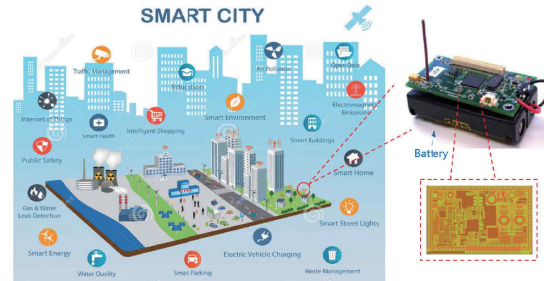
## RESEARCH HIGHLIGHTS

### IT

INFORMATION TECHNOLOGY

전기 및 전자공학부  
이상국 · 석현기 · 정오용 · 안자나  
<http://nice.kaist.ac.kr>

IoT 시장의 성장과 함께 새로운 IoT용 무선통신 표준들이 제시되고 있으며, 제시된 표준들은 공통적으로 저 전력 및 장거리 통신기능을 지향하고 있다. 하지만 기존의 IoT용 통신을 위한 무선 송수신기 기술들은, 송신기능에 초점을 두고 운용되는 응용 중심으로 개발됨으로써, 스마트 팩토리, 약자보호시스템, 각종 군사정보시스템, 등과 같은 실시간 송수신 기능이 요구되는 분야에 적용하기에 수신기 소모전력이 과다한 문제점을 갖고 있다. 이는 IoT 기술의 응용분야 확대에 큰 장애 요인으로 작용하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 무선송수신기의 고감도(-102dBm)의 장거리 통신과 다중채널 기능까지 보장하면서, 1mW 미만(기존 대비 1/10 ~ 1/20)의 수신 대기전력을 소모하는 2.4 GHz IoT용 초저전력 무선수신기를 개발하였다. 개발된 수신기는 더 작은 배터리를 사용하면서도 더 긴 수명의 동작을 가능하게 함으로써, 기존 기술이 지원하지 못하였던 양방향 실시간 IoT 통신기술 구현에 대한 핵심기술로서 관련 시장을 확대하고 새로운 시장을 여는 요소기술이 될 수 있을 것으로 기대된다.



[논문 1] Hyun-Gi Seok, Oh-Yong Jung, A. Dissanayake, and S. G. Lee, "A 2.4GHz, -102dBm-sensitivity, 25kb/s, 0.466mW interference resistant BFSK multi-channel sliding-IF LUP receiver," in 2017 Symposium on VLSI Circuits, June 2017, pp. C70-C71.1

[논문 2] A. Dissanayake, Hyun-Gi seok, Oh-Yong Jung, S. K. Han, and S. G. Lee, "A 64 uW, 23 dB gain, 8 dB NF, 2.4 GHz RF front-end for ultra-low power internet-of-things transceivers," in 2017 IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium (RFIC), June 2017, pp. 184-187

## 09

## 초소형/초고해상도 초분광 영상기술

## RESEARCH HIGHLIGHTS

### IT

INFORMATION TECHNOLOGY

전산학부  
김민혁  
<http://uclab.kaist.ac.kr/minhkim/>

초분광 영상측정 기술을 기존의 삼원색 기반의 컬러 영상과 달리, 각 파장별 물체의 속성을 다채널 영상으로 측정할 수 있도록 하는 기술로서, 예를 들면 가시광선의 경우 무려 30채널의 영상(10nm 파장당 1채널)을 동시에 획득하는 기술이다. 하지만 2차원 영상 센서를 이용하여 3차원 초분광 영상을 측정하기 때문에, 공간해상도와 분광해상도 사이의 기술적인 트레이드오프가 존재하며, 컴팩트한 영상기기로부터, 초고해상도의 초분광 영상을 획득하기 위한 많은 연구가 시도되고 있다. 김민혁 교수는 현재 초분광 영상 처리기술에 세계적인 지명도를 확보하고 있다. 기존의 초분광 영상 시스템은 대형 광학계를 필요로 하며, 또한 원 초분광 신호를 복원하기 위해서는 방대한 양의 연산을 필요로 한다. 본 연구에서는 (첫째) 대형 광학계를 소형 광학계로 줄일 수 있는 영상 처리 솔루션을 개발하였으며, (둘째) 복원된 영상의 분광/공간 해상도를 혁신적으로 높일 수 있는 인공지능 솔루션을 개발하였다. 본 연구는 세계 최고의 컴퓨터 그래픽스 저널인 ACM Transactions on Graphics(TOG)에 두 편의 연구 결과를 발표했다. 본 연구 결과물은 고충실 컴퓨터 그래픽스, 지질학, 생물학 등 다양한 분야의 학문 연구에 사용될 것이며, 기존의 압축 초분광 이미지의 좋은 대안으로 대두될 것이다.

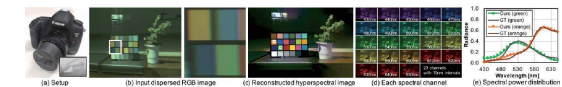


그림 1, 일반 프리즘을 이용한 초소형 초분광 이미징



그림 2, 스펙트럴 사전 확률(spectral prior)을 이용한 고품질 초분광 복원 알고리즘

[논문 1] Inchang Choi, Daniel S. Jeon, Giljoon Nam, Deigo Gutierrez, Min H. Kim, High-Quality Hyperspectral Reconstruction Using a Spectral Prior, ACM Transaction on Graphics (TOG), 36(6), Nov 27-30, 2017, pp. 218:1-13

[논문 2] Seung-Hwan Baek, Incheol Kim, Diego Gutierrez, Min H. Kim, Compact Single-Shot Hyperspectral Imaging Using a Prism, ACM Transaction on Graphics (TOG), 36(6), Nov. 27-30, 2017, pp. 217:1-12



## 10

하이브리드 소프트웨어 결함 및  
보안 취약점 검출 기술

## RESEARCH HIGHLIGHTS

## IT

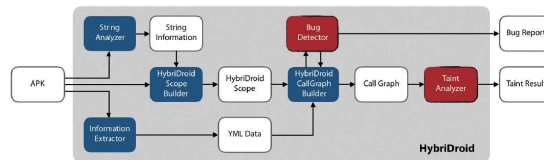
INFORMATION TECHNOLOGY

전산학부

류석영

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

하이브리드 소프트웨어는 사용자와 상호작용을 지원하는 자바스크립트와 스마트폰 등 기기의 정보를 다루는 안드로이드 등 다수의 언어를 사용하여 작성된 프로그램이다. 하이브리드 소프트웨어는 다양한 사용자 정보를 취급하고 상호작용이 필수인 금융권의 핀테크 분야에서 주로 사용한다. 자바스크립트와 안드로이드의 결함을 따로 검출하는 기술은 있지만, 본 연구에서는 이를 동시에 이해하고 분석하는 결함 검출 기술 기법을 세계에서 최초로 개발하였다. 최근 늘어나는 하이브리드 소프트웨어의 내부 결함이나 보안 취약점을 검출하여 핀테크 및 banking 분야의 보안성을 대폭 높이는 기반 기술이 될 전망이다.



[논문 1] S. Lee, S. Hwang, and S. Ryu, "All about Activity Injection: Threats, Semantics, and Detection," Proceedings of the 32nd IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering (ASE), 252–262, November 2017. [전산학분야 최우수학회]

[논문 2] S. Lee, J. Dolby, and S. Ryu, "HybridDroid: Static Analysis Framework for Android Hybrid Applications," Proceedings of the 31st IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering (ASE), 250–261, September 2016. [전산학분야 최우수학회]

[홍보] "KAIST, 하이브리드앱 결함검출 기술 세계 첫 개발" 전자신문 2017.11.08.

[소프트웨어] IBM T.J. Watson Libraries for Analysis 공개소스 소프트웨어에 통합: <https://github.com/wala/WALA>

## 11

다중 기기 간의 기능 공유를 위한  
모바일 플랫폼 설계

## RESEARCH HIGHLIGHTS

## IT

INFORMATION TECHNOLOGY

전산학부

신인식

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

4차 산업혁명 시대의 핵심 요소인 사물인터넷 (IoT) 기술의 발전으로 스마트 기기의 중요성은 더욱 높아지고 있다. 특히, 자동차, 냉장고, TV 등 모든 사물들을 통신으로 연결해 보다 편리하게 사용하는 새로운 UX 시나리오가 급증하고 있다. 이러한 추세를 가속하고 선도하기 위해, 본 연구에서는 기존 앱들을 전혀 수정하지 않고도, 앱 기능의 종류에 상관없이 포괄적으로 기기간의 기능 공유를 지원하는 모바일 플랫폼 기술을 세계 최초로 제시하였다. 기존의 기능 공유 기술은 통상적으로 자체 애플리케이션의 개발이 필요하거나 특정 유형의 기능들만 지원할 수 있었으나, 본 연구에서 제안된 모바일 운영체제(OS) 기술은 기존 RPC (remote procedure call) 메커니즘을 다중 기기 환경에 맞게 확장시킴으로써, 기존 기술의 한계들을 뛰어 넘는 것에 성공하였다. 이는 스마트 홈 · 자동차 · 헬스케어 등의 다양한 영역에서 여러 스마트 기기들을 마치 하나의 기기처럼 가상화하는 새로운 스마트 IoT 플랫폼의 기반 기술이 될 것으로 기대된다.



그림 1. 원격 센서 기능을 이용한 게임 플레이

그림 2. 원격 결제 기능을 이용한 안전한 쇼핑

[논문] Sangeun Oh, Hyuck Yoo, Dae R. Jeong, Duc Hoang Bui, and Insik Shin, "Mobile Plus: Multi-device Mobile Platform for Cross-device Functionality Sharing", In Proceedings of the 15th ACM International Conference on Mobile Systems, Applications and Services (MobiSys), June 2017. (5급 Top Conference)

[수상] MDM 2017 Best PhD Forum Presentation Award 수상

[특허] 2017. 7. 14, 국내 특허 출원 (출원번호: 10-2017-0089910)

[홍보] KBS, YTN 등 국내 주요 뉴스 언론 보도 5회와 매일경제, 연합뉴스 등 신문 언론 보도 20여 회

[수상] 2017 Google PhD Fellowship 선정 (오상은 박사과정)



## 12

대면적 광시야각  
3차원 홀로그래픽 디스플레이

## RESEARCH HIGHLIGHTS

IT  
INFORMATION TECHNOLOGY

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

홀로그래픽 디스플레이는 맨눈으로 볼 수 있는 3차원 입체 영상을 표시하는 장치이다. 기존의 홀로그래픽 디스플레이는 영상의 크기와 영상 시청이 가능한 시야각이 실용적이지 못한 수준으로 크게 제한되어 왔는데, 이는 실제 아상적인 3차원 이미지가 담고있는 정보의 양에 비해 디스플레이가 표현할 수 있는 정보의 양인 공간대역폭이 매우 작기 때문이다. 본 연구에서는 빛의 무작위한 산란을 이용하여 3차원 홀로그래픽 디스플레이의 공간대역폭을 향상시키는 방법을 최초로 제시하였으며, 이를 이용하여 대면적 광시야각 3차원 홀로그래픽 디스플레이를 구현하였다. 본 제안 기술은 현재 한계에 봉착하고있는 3차원 홀로그래픽 디스플레이의 상용화에 있어 새로운 대안으로 대두될 것으로 기대된다.

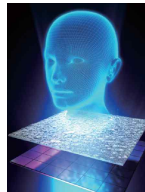


그림 1. 개념도

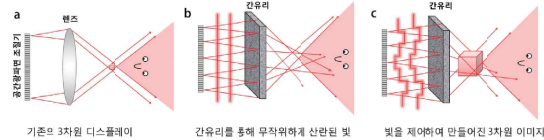


그림 2. 간유리를 이용해 향상된 이미지 크기와 시야각을 갖는 3차원 홀로그램 구현

[논문 1] H. Yu, K.R. Lee, J. Park, and Y.K. Park\*, "Ultrahigh-definition dynamic 3D holographic display by active control of volume speckle fields", *Nature Photonics* 11, 186-192(2017)

[논문 2] H. Yu, K.R. Lee, Y.K. Park\*, "Ultrahigh enhancement of light focusing through disordered media controlled by Megapixel modes", *Optics Express*, 25(7), 8036-8047 (2017)

[특허] "APPARATUS AND METHOD FOR FORMING 3 DIMENSIONAL HOLOGRAPHIC IMAGE USING SCATTERING LAYER", P-11789-US, 미국특허 등록

[홍보] 언론보도 [Photonics.com] [Arstechnica] [Forbes] [연합뉴스] [동아사이언스] 등 10 여 회

## 13

생체모방설계에서의 생물학적 시스템  
탐색을 위한 메타데이터 설계 및  
추천 시스템 개발 연구

## RESEARCH HIGHLIGHTS

IT-BT  
INFORMATION TECHNOLOGY  
BIO TECHNOLOGY

문화기술대학원  
이지현 · 김선중  
<http://ibdlab.kaist.ac.kr>

생체모방설계는 설계 과정에서 설계자들의 창의적 사고를 증진시키기 위한 가장 효율적인 방법으로 평가받고 있다. 설계자는 자연에 존재하는 많은 수의, 다양한 스케일의, 지속가능성이 뛰어난 시스템들을 참고하여, 미처 생각해내지 못한 창의적인 솔루션을 개발해낼 수 있다. 그러나 충분한 생물학적 자식이 부족한 대부분의 설계자들은, 응용하기에 적합한 시스템을 전 자연계에서 선출해내는데 어려움을 겪는다. 이러한 이유로 기업들은 생체모방설계의 파급력에 대하여 높이 평가하면서도, 막대한 비용의 부담으로 생체모방설계를 적극적으로 도입하지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는, 이 문제를 해소하기 위하여, 공학적 어휘를 이해하는 설계자가 전 자연계를 대상으로 생물학적 시스템 탐색 과정을 수행할 수 있도록, 생태학적 사고에 의한 추천 시스템을 개발하였다. 구체적인 스케일의 생물학적 시스템들의 특징 메타데이터 정보를 생태학적 사고에서 총체적으로 대표할 수 있는 구조 틀을 개발하고, 이를 연관 검색에 기반한 추천 시스템으로 개발하였다.



그림 1. 생체모방설계 활용 영역과 사례

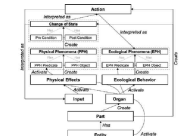


그림 2. 새롭게 개발된 생물학적 시스템 대표화 구조

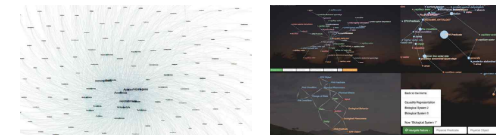


그림 3. (좌)구축된 온톨로지 및 (우)구현된 추천시스템 예시

[논문 1] Engineering Applications of Artificial Intelligence SCIE 논문 출판, Kim, S.-J. and Lee, J.-H., (2017). A study on metadata structure and recommenders of biological systems to support bio-inspired design, *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 57, pp.16-37, SCIE

[논문 2] Advanced Engineering Informatics SCIE 논문 출판, Kim, S.-J. and Lee, J.-H., (2014). Parametric shape modification and application in a morphological biomimetic design, *Advanced Engineering Informatics* 29(1), pp. 76-86, SCIE 등

[수상] 과학기술정보통신부 장관 장관상 [KIST 융합연구정책위원회] 수상 대상 등

[특허] Apparatus and Method for Processing Biological System Information(10-2016-0043057)출원 등

## 14

X-밴드 레이더용 초저잡음  
마이크로파 주파수 합성기

## RESEARCH HIGHLIGHTS

**IT-ST**  
INFORMATION TECHNOLOGY  
SPACE TECHNOLOGY

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

본 연구는 부품의 신뢰성과 가격 경쟁력이 뛰어난 광섬유 광학 기술과 상용화된 DDS 칩만을 이용하여 세계 최고 수준의 위상잡음을 가지는 X-밴드 마이크로파 주파수 합성기를 개발하였다. 기존에는 이러한 초저잡음 성능을 위해서는 특수제작된 고가의 마이크로파 소자나 복잡한 광학 시스템을 사용해야 했는데, 상용화된 기술들만으로도 훨씬 간단하고 저가로 고성능 주파수 합성기를 만들 수 있다는 것을 보여준 것에 의의가 있다. 특히 본 연구는 최근 이슈가 된 사드(THAAD) 레이더를 비롯한 고성능 레이더들과 우주통신 분야에서 그 중요성이 커지고 있는 X-밴드에서 동작하는 신호원으로서 더 의미가 있다.

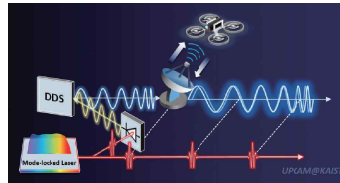


그림 1. 광섬유광학 기반 X-밴드 레이더 신호원의 개념도

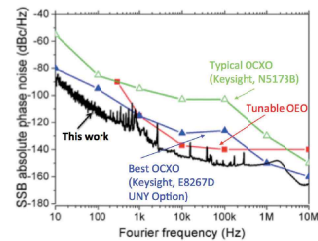


그림 2. 10-GHz에서의 위상잡음 측정 결과와 기존의 최고수준 주파수 합성기들과의 성능 비교

[논문 1] J. Wei, D. Kwon, S. Zhang, S. Pan, and J. Kim, "All-fiber photonics-based ultralow-noise agile frequency synthesizer for X-band radars," *Photonics Research*, vol. 6, no. 1, pp. 12–17, January 2018

[논문 2] D. Kwon and J. Kim, "All-fiber interferometer-based repetition-rate stabilization of mode-locked lasers to  $10^{-14}$ -level frequency instability and 1-fs-level jitter over 1 s," *Optics Letters*, vol. 42, no. 24, pp. 5186–5189, December 2017

[특허] "광섬유 지연 라인을 이용한 펄스 레이저의 반복률 위상 잡음 측정 및 억제 방법 (Method for measuring and suppressing phase noise of repetition rate of a femtosecond laser by optical fiber delay line)" 대한민국 특허 10-1687118 및 US Patent Application 15/588965

## 15

신경의 반발성 흥분현상을 활용한  
파킨슨씨 병 치료기술

## RESEARCH HIGHLIGHTS

**BT**  
BIO TECHNOLOGY

 생명과학과  
 김대수  
 <http://bs.kaist.ac.kr/~brain>

파킨슨병의 새로운 발병원인 밝혀, 30 년간 내려온 정설을 뒤집는 발견.

"김대수 교수 (KAIST) 연구팀은 파킨슨병 치료를 위한 핵심원리를 규명하였다"고 밝혔다. 파킨슨병은 뇌 속에서 도파민 신경이 과사하여 나타난다. 환자들은 몸을 제대로 조절할 수 없게 되는 무서운 운동질환이다. 인간 수명의 증가로 파킨슨병 환자는 해마다 증가하고 있으나 (2015 년 기준, 세계적으로 6 백만 이상) 확실한 치료방법이 없는 실정이다. 파킨슨병 환자의 뇌에서는 '기저핵'으로부터 신경의 활성을 억제하는 억제성 신호물질들을 분비한다. 1980 년대 드롱 박사 (DeLong) 연구팀은 기저핵 억제성 신호물질이 뇌의 운동신경을 억제하여 운동기능을 방해한다는 '운동신호 억제이론'을 제시하였다. 현재까지 중요한 이론으로 파킨슨 병 치료연구에 활용되고 있다. 김 교수 연구팀은 기저핵 억제성신호가 타겟신경을 '억제'하는 것이 아닌 '흥분'시킴으로서 파킨슨병의 운동이상을 유발한다는 것을 밝혔다. 기저핵 신경을 광유전학적 방법으로 자극하면 기저핵의 억제성 신호를 받는 시상핵 신경의 활동이 잠시 억제되지만 이후 '반발성 흥분'을 만들어낸다. 이러한 반발성 흥분을 약물이나 빛으로 억제하면 파킨슨 증상이 완전히 회복시킬 수 있음을 밝혔다.

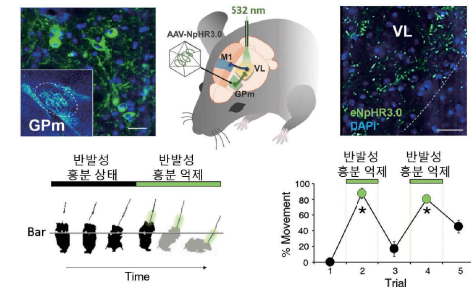


그림 1. 시상핵의 반발성 흥분을 억제하기 위한 광유전학 기술 모식도(좌), 반발성 흥분 억제에 의한 운동질환 회복(우)

[논문] Kim, J., Kim Y., Nakajima, R., Shin, A., Jeong M., Park A. H., Jeong, Y., Yang, S., Park, H., Cho, S., -H., Cho, K., Chung J. H., Paik S., -B., Augustine, G., Kim D. (2017) Inhibitory basal ganglia inputs induce excitatory motor signals in the thalamus, *Neuron*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuron.2017.08.28>.

[홍보] 연합뉴스, 조선일보 등

## 16

## 자원의 탐색 및 획득을 조절하는 신경회로 발견 및 조절

## RESEARCH HIGHLIGHTS

### BT

BIO TECHNOLOGY

생명과학과

김대수

<http://bskaist.ac.kr/~brain>

유용한 목표를 획득하기 위해 노력하는 신경회로 발견.

김대수 교수 (KAIST) 연구팀은 광유전학(optogenetics)을 연구로 통해 물체에 대한 '소유' 행동을 조절하는 핵심 신경회로(core-neural circuit)를 최초로 발견하였다. 빛으로 생쥐의 전사각중추(medial preoptic nuclei, MPA)의 일부 회로를 자극했을 때 물체를 '획득' 및 '보유'하는 현상이 관찰되며, 억제하면 물체에 대한 호기심이 사라진다. 본 연구에서는 첨단 연결체학(connectomics)을 활용하여 소유권 행동을 조절하는 신경회로의 세부지도를 완성하고 소유행동신경회로가 먹이활동과 사냥행동을 조절한다는 생태학적인 원리를 밝혔다. 또한 본 연구팀은 물건에 대한 소유욕 회로를 조절하여 동물의 행동을 조절할 수 있는 MIDAS (MPA-induced drive assisted steering) 기술을 개발하였다. 본 연구결과는 물건에 집착하는 수집증이나 도벽 등 뇌 질환을 치료할 수 있는 단서를 제공하며 동물과 인간의 행동을 조절하는 강력한 동기를 활용하는 기술개발에 도움을 줌으로써 신경경제학 및 국방, 재난구조 등에 기여할 수 있다.



그림 1. 소유욕 신경회로 탐색 연구방법론

[논문] Sae-Geun Park, Yong-Cheol Jeong, Dae-Gun Kim, Min-Hyung Lee, Anna Shin, Geunhong Park, Jia Ryoo, Jiso Hong, Seohui Bae, Cheol-Hu Kim, Phil-Seung Lee and Daesoo Kim (2017) Medial preoptic circuit induces hunting-like actions to non-social objects and prey Nature Neuroscience, in press

## 17

## 시각과 청각 통합의 신경회로망 발굴

## RESEARCH HIGHLIGHTS

### BT

BIO TECHNOLOGY

생명과학과

이승희

<http://sites.google.com/site/leelab2013>

무수히 많은 세포들이 상호 연결되어 네트워크를 구성하고 있는 대뇌 피질에서는 외부 감각 정보의 재구성 및 정보 처리가 활발히 이루어진다. 서로 다른 감각 양식 정보는 대뇌 피질에서 통합되어 지각되는데, 이러한 다중 감각 통합 신경망에 대한 이해는 매우 부족한 실정이다. 본 연구에서는 상위 연합피질 신경망의 해부학적, 생리학적 기능을 새롭게 밝히고, 시각과 청각 정보의 통합이 이루어지는 신경 메커니즘을 최초로 규명하였다. 특히, 광유전학, 바이러스 트래이서, 생체 내 전기생리학, 동물 정신물리학과 같은 최첨단 신경과학 기술을 도입하여 복잡한 두뇌의 신경망이 어떻게 구성되어 있으며, 신경 세포의 타입에 따른 생리적 기능을 새롭게 규명하였다. 이를 통해 포유류 동물 모델에서의 고차원적 통합 지각 및 인지 행동이 이루어지는 신경망 원리를 규명하여, 인간의 고등 인지 행동 원리로 이어질 수 있는 고차원 신경계 작동 근간을 이해하는 데 크게 기여하였다.

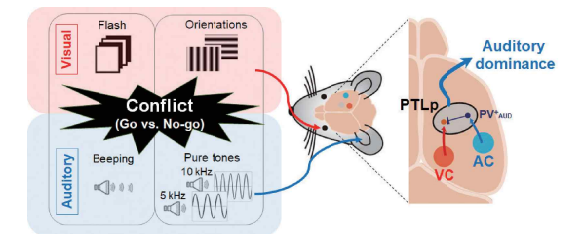


그림 1. 본 연구는 후두정엽(PTLp) 연합피질 내의 PV 발현 억제성 회로망의 발달이 시각과 청각의 인지적 행동 결정 및 청각 우세성 지각 행동에 매우 중요함을 최초로 규명하였음.

[논문 1] YH, Song, JH, Kim, HW, Jeong, I, Choi, D, Jeong, K, Kim, SH, Lee, "A neural circuit for auditory dominance over visual perception", Neuron 93, 940-954, (2017)

[논문 2] JH, Kim, AH, Jung, D, Jeong, I, Choi, K, Kim, S, Shin, SJ, Kim, SH, Lee, "Selectivity of neuromodulatory projections from the basal forebrain and locus ceruleus to primary sensory cortices", Journal of Neuroscience 36, 5314-5327, (2016)

[논문 3] highlighted in Neuron Preview, selected as Issue Highlights in Neuron

[수상 1] 포스탁-동아일보 '한국을 빛낼 젊은 과학자 30인'

[수상 2] 한국뇌신경과학회 '사이텍코리아 젊은 과학자' 상

[홍보] 한국경제신문 뉴프런티어 '이종각각 통합 신경회로망 발굴 두뇌 치료기술 특허 선정 나서'



## 18

음향열적가열법을 이용한  
미세액적 제어 기술

## RESEARCH HIGHLIGHTS

BT  
BIO TECHNOLOGY기계공학과  
성형진 · 박진수  
<http://flow.kaist.ac.kr>

가시적 유동현상을 다루는 전통적인 유체역학과 달리 미세유체역학이란 마이크로미터 단위의 미시적 유동을 다루는 분야다. 동전 크기의 미세유체칩은 극미량의 유체 샘플을 이용한 생화학, 물질합성, 제약 연구 분야에 활용될 수 있을 뿐만 아니라 최근에는 모바일 헬스케어에 위한 랩온어칩 형태의 건강 진단 장치를 위한 핵심 기술로 대두되고 있다. 성형진 연구 교수팀은 독자적으로 개발한 음향열적가열법을 활용해 미세유체칩 내에서 섞이지 않는 두 유체로 구성된 액체방울(액적)의 위치를 정교하게 제어할 수 있는 기술을 개발했다. 기존의 방법과 비교해 비접촉식으로 저전력으로 표지 없이 마이크로미터 단위에서 정교하게 액적을 제어할 수 있을 뿐만 아니라 미세유체칩이 분리가능해 상용화에 가장 근접한 기술로 널리 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

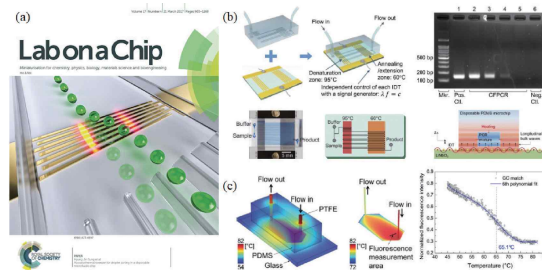


그림 1. (a) 음향열적 가열 기반 미세액적 위치 제어 기술 (Lab on a Chip 2017년 7호 표지논문)  
(b) 음향열적 가열 기반 미세유체칩 내 PCR  
(c) 음향열적 가열 기반 미세유체칩 내 DNA 변형분석

[논문] J.Park, J.H.Jung, G.Destgeer, H.Ahmed, K.Park and H.J.Sung, "Acoustothermal tweezer for droplet sorting in a disposable microfluidic chip", Lab on a Chip (Front Cover), Vol.17, pp.1031-1040, 2017

[수상] 2017년 이달의 과학기술인상(과학기술정보통신부 장관상)

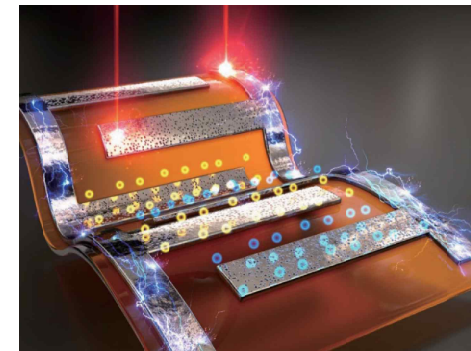
## 19

레이저를 이용한  
다공성 은 전극 생성 및 고성능 필름형  
슈퍼커패시터로의 응용

## RESEARCH HIGHLIGHTS

NT  
NANO TECHNOLOGY기계공학과  
양민양 · 이재학  
<http://agile.kaist.ac.kr>

슈퍼커패시터는 높은 출력 및 반영구적인 수명을 가지고 있어 많은 주목을 받고 있는데, 그중에서도 유연한 기판에 제조되는 필름형 슈퍼커패시터의 경우, 웨어러블 및 플렉서블 전자소자의 회로에 직접 연결되어 전원 역할을 할 수 있기에 차세대 전자소자의 핵심 전력소자이다. 본 연구에서는 은 유기금속이온화합물 용액에 레이저를 조사하여 은 미세패턴을 제조함과 동시에 다공성의 나노구조를 갖게 하여 기존에 복잡한 과정으로 제작되던 필름형 슈퍼커패시터의 제조공정을 레이저를 이용한 보다 간단하고 빠른 단일공정으로 개선시키며 높은 전기전도도와 표면적의 다공성 은 전극이 높은 성능의 소자 제조를 가능하게 하였다.



[논문] J. Lee, J. Seok, S. Son, M. Yang\*, B. Kang\*, High-energy, flexible micro-supercapacitors by one-step laser fabrication of a self-generated nanoporous metal/oxide electrode, Journal of materials chemistry A, online published in 2017, 10, 31.

[특허] 다공성 금속전극의 제조방법, 이에 따라 제조되는 다공성 금속전극 및 이를 포함하는 슈퍼 커패시터, 국내등록원로, 2016.2.23, 10-1598583-0000

## 20

DNA 기반  
대면적 패터닝 기술

## RESEARCH HIGHLIGHTS



나노과학기술대학원  
윤동기 · 차윤정  
<http://yoon.kaist.ac.kr>

자연계에 무한한 수준으로 있는 DNA를 이용하여 마치 물감으로 그림을 그리듯이 붓이나 유리판을 문질러서 나노패턴을 구현하고 액정물질, 금나노막대등을 대면적에서 고배향시키는 기술을 개발하였다. 특히 본 연구에서는 값 비싸게 합성된 DNA물질이 아닌 연어에서 추출하여 기존의 바이오 응용분야에 사용되던 DNA에 비해 가격이 1000배 이상 저렴한 DNA물질을 사용한 만큼 나노 및 마이크로미터 크기의 패턴을 요하는 디스플레이, 센서 및 광고판, 페인트 등 각종 색을 표현하는 응용분야에 널리 사용될 수 있는 원천 기술이다.

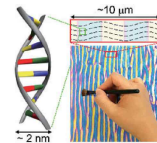


그림 1. DNA를 이용하여 붓질을 하였을 때, 나타나는 규칙적인 DNA 지그재그 구조체의 이미지와 내부 분자의 배향을 설명하는 모식도

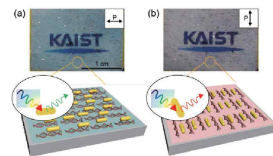


그림 2. 대면적에 배향된 금 나노막대-DNA 박막의 현미경 이미지 및 모식도: 유리 기판 위에 대면적에서 배향된 금 나노막대-DNA 박막은 편광자의 방향에 따라 서로 다른 소멸 색상을 나타내게 된다. 금 나노막대의 정축과 빛의 편광 방향이 일치하면 장파장(660 nm) 대의 빛이 흡수되어 청록색으로 보이며(a), 수직하면 단파장(550 nm) 대의 빛이 흡수되어 박막이 붉은 색을 띠게 된다(b).

[논문 1] Yun Jeong Cha, Dae Seok Kim and Dong Ki Yoon\* "Highly Aligned Plasmonic Gold Nanorods in a DNA Matrix" Adv. Funct. Mater. (in press) DOI: 10.1002/adfm.201703790

[논문 2] Yun Jeong Cha and Dong Ki Yoon\* "Control of Periodic Zigzag Structures of DNA by a Simple Shearing Method" Adv. Mater. 29(3), 1604247

[수상 1] 윤동기: Merck Young Scientist Award in the 17th International Meeting on Information Display

[수상 2] 차윤정: 2017 춘계 학술대회 한국고분자학회 우수논문발표상

[특허] 관련 특허 2건 국내 출원 완료 및 해외출원 준비 중(신학협력단 해외원사업 선정)

[홍보] 관련 연구로 언론홍보 22건 외에, YTN사이언스 <다큐드라마> 방영예정 (촬영일: 11월 22일)

## 21

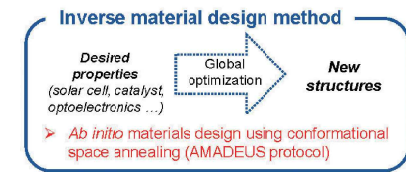
역설계방법을 이용한  
인의 새로운 결정상 예측

## RESEARCH HIGHLIGHTS

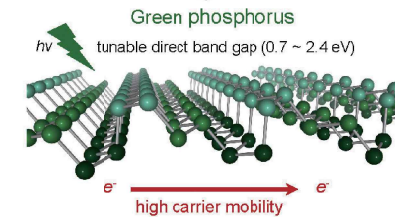


물리학과  
장기주  
<http://taehae.kaist.ac.kr>

2014년 흑린이 그래핀과 같이 얇은 층으로 박리될 수 있음이 처음 보고된 후 높은 전기 전도도와 직접 밴드 갭을 갖는 흑린이 차세대 전자 소자로써 많은 관심을 받고 있다. 인은 다양한 동소체를 가지며 흑린뿐만 아니라 더 우수한 성능을 갖는 새로운 결정구조가 존재할 가능성이 높은 것으로 예상된다. 그러나 수많은 경우의 수와 실험적 자원의 한계로 인해 인의 새로운 결정상 탐색에 어려움이 있었다. 본 연구에서는 광역최적화 방법과 제일원리 계산이 결합된 물질의 역설계방법을 이용해 인의 새로운 결정상인 흑린 구조를 성공적으로 예측하였다. 본 연구에서 발견한 흑린은 제어 가능한 직접 밴드 갭과 높은 전자이동도를 가지며 흑린의 본질적인 한계를 넘어 인 기반의 전자소자 시대를 이끌 수 있을 것이라 기대된다.



Search new phosphorus allotropes for next-generation nano-scale device applications



[논문] W. H. Han, S. Kim, I.-H. Lee, K. J. Chang\*, "A New Phosphorus Allotrope with Direct Band Gap and High Mobility", J. Phys. Chem. Lett. 8, 4627 (2017)

[수상] 논문에 대하여 2017 가을 한국물리학회 우수발표상 수상

[홍보] 논문에 대하여 삼성미래기술육성사업 뉴스레터 SCIENCE & TECH FOCUS에 소개

## 22

초고속,  
초저전력 자성메모리 소재

## RESEARCH HIGHLIGHTS

NT  
NANO TECHNOLOGY

신소재공학과

박병국

http://nanospin.kaist.ac.kr

자성메모리는 얇은 자성체의 자화방향에 정보를 저장하는 구동방식으로 기존의 실리콘 기반의 메모리와 달리 외부 전원 공급이 없는 상태에서 정보를 유지할 수 있는 비휘발성 특성을 가지고 있다. 따라서 차세대 저전력 메모리소재 중 하나로 개발되고 있으나, 현재 기술로는 동작속도와 집적도를 동시에 높이는 데 한계가 있다. 특히 최근 초고속 자성메모리 동작기술로 개발된 스핀케도토크의 경우는 동작을 위해 필수적인 외부자기장 인가가 소자의 집적도를 크게 제한한다. 본 연구에서는 기존에 사용되는 증속 대신 반강자성 소재를 도입하여 반강자성/강자성 계면의 교환결합에 의해 유도되는 유효자기장으로 외부자기장을 대체하는 소재기술을 개발하여, 그 결과를 고속 동작 및 고집적에 동시에 가능한 자성메모리 동작기술로 제안하였다. 이 기술을 적용한 스핀케도토크 자성메모리는 기존의 캐시메모리보다 전력소모가 낮고 비휘발성 특성으로 저전력을 요구하는 모바일, 웨어러블, 사물인터넷용 메모리로 활용될 수 있다.

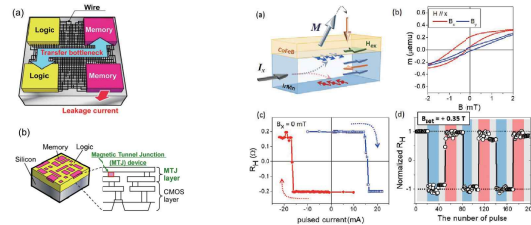


그림1. 메모리 구조 비교

(a) 논리소자와 메모리 소자가 분리된 기존 메모리

(b) 논리소자와 메모리 소자가 결합된 자성 메모리 기반 Logic-in-memory

그림2.

(a) 반강자성/강자성 시편구조

(b) 면내교환결합

(c, d) 외부자기장 없이 동작하는 스핀케도토크 소자

[논문 1] "Field-free switching of perpendicular magnetization through spin-orbit torque in antiferromagnet/ferromagnet/oxide structures" Nature Nanotechnology 11, 878 (2016)

[논문 2] "Observation of transverse spin Nernst magnetoresistance induced by thermal spin current in ferromagnet/non-magnet bilayers" Nature Communications 8, 1400 (2017)

[수상] 과학기술총연합회 주관 2016년 올해의 10대 과학기술뉴스 선정 "차세대 자성메모리 핵심기술 개발"

[특허] 국내 5건 (2015-0066853, 2016-0066853, 2016-0125429, 2016-0137412, 2017-0005900)

해외 3건 (15/346,170, 15/723278, 미국), (2017-203154, 일본)

[총보] [논문1] [논문2]에 대하여 각각 언론보도 15회 이상

## 23

CO<sub>2</sub> 전환 고성능 실리콘 광합성 셀

## RESEARCH HIGHLIGHTS

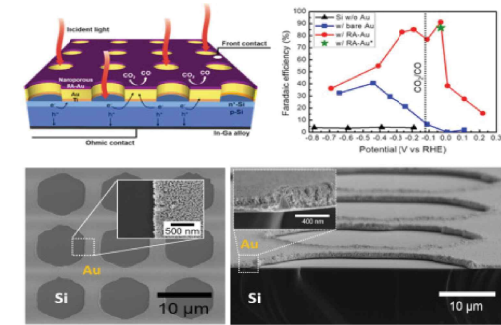
ET  
ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY

EEWS 대학원

오지훈

http://les.kaist.ac.kr

태양광에너지와 물, 이산화탄소로 고부가가치 화합물질을 합성하는 인공광합성 혹은 광전기화학적 이산화탄소 변환 기술은 차세대 기후 변화 기술은 큰 주목을 받고 있다. 이산화탄소를 환원시키기 위한 촉매는 금(Au)과 같은 귀금속 촉매들이 알려져 있으나 기존 촉매들은 이산화탄소 분자의 안정성으로 인해 에너지 효율과 선택도가 매우 떨어지는 것으로 알려져 있다. 이를 극복하기 위해 오지훈 교수 연구팀은 200 nm 두께의 박막형태로 실리콘 광전극에 증착해 이를 양극산화 처리한 뒤 연속적인 환원 처리를 통해 나노 다공성 구조를 갖는 금 박막 제조 공정을 개발하였고, 세계 최고 수준인 480밀리볼트(mV)의 과전압에서 90퍼센트 이상의 이산화탄소 환원 전류 효율을 구현하였다. 나아가 연구팀은 실리콘 태양전지 표면에 다공성 금 나노 박막을 적층하여 사용된 에너지의 약 90%가 이산화탄소의 환원에 사용되고 CO로의 변환을 위해 필요한 에너지보다 낮은 양으로 변환 가능한 실리콘 기반 인공광합성 소자를 세계 최초로 구현하였다.



[논문 1] J. T. Song, H. Ryoo, M. Cho, J. Kim, J.-G. Kim, S.-Y. Chung, J. Oh\*, "Nanoporous Au Thin Films on Si Photoelectrodes for Selective and Efficient Photoelectrochemical CO<sub>2</sub> Reduction," Advanced Energy Materials 7, 1601103 (2017)

[논문 2] S. Oh, H. Song, and J. Oh\*, "An Optically and Electrochemically Decoupled Monolithic Photoelectrochemical Cell for High Performance Solar-driven Water Splitting," Nano Letters 17, 5416-5422 (2017)

[총보 1] 논문 1에 대한 아드밴스드 에너지 머터리얼즈 (Advanced Energy Materials) 2017년 2월 호 내면 표지에 선정

[총보 2] 논문 1에 대한 연합뉴스, YTN 사이언스 뉴스 등 국내 17개의 신문에 소개되었으며, 2017년 가을 KAIST 공과대학 연구뉴스레터에 KAIST Breakthrough로 선정

## 24

우리나라 고유의 지반분류체계 및  
설계스펙트럼 형상계수 개발

## RESEARCH HIGHLIGHTS

## Others

 건설 및 환경공학과

 김동수

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

내진설계 시 구조물에 작용하는 지진력 산정은 필수 요소이며, 이를 위한 지진 시 지반의 부지특성평가와 부지증폭효과 연구는 필수적이다. 한편, 기존 국내 내진설계 기준은 우리나라의 지반조건을 고려하지 않고 외국의 내진설계 기준을 검증 없이 차용하고 있었다. 본 연구에서는 내진설계를 위한 응답스펙트럼 개발을 위해 국내의 지반조건을 반영하여 지반분류체계와 증폭계수를 개발하였고, 본 연구를 통해 개발된 응답스펙트럼을 최근 발생한 경주(2016), 포항(2017)지진에 적용하여 신뢰성을 입증하였다. 해당 기준을 국민안전처의 국내 내진설계 공통기준에 기준에 반영하고 국내 모든 사회기반 시설물의 내진 설계에 적용하여 안전하고 경제적인 내진설계가 가능하도록 하였다.

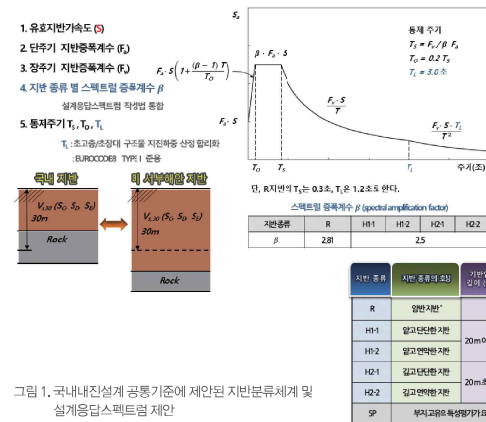


그림 1. 국내내진설계 공통기준에 제안된 지반분류체계 및 설계응답스펙트럼 제안

[논문 1] S. Manandhar, H. I. Cho\*, D. S. Kim, "Site classification system and site coefficients for shallow bedrock sites in Korea", Journal of Earthquake Engineering, DOI: 10.1080/13632469.2016.1277570 (2017)

[논문 2] S. Manandhar, H. I. Cho, D. S. Kim\*, "Effect of bedrock stiffness and thickness of weathered rock on response spectrum in Korea", KSCE Journal of Civil Engineering, Vol. 20, No. 7, pp. 2677-2691 (2016)

[내진설계기준] 국민안전처 국내 내진설계 공통기준 고시

## 25

코너가 있는 영역의  
노이만-푸앙카레 작용소  
스펙트럼 분석

## RESEARCH HIGHLIGHTS

## Others

 수리과학과

 임미경 · 유상현

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

노이만-푸앙카레 작용소에 대한 스펙트럼 특성은 플라즈몬 공명현상이나 국소공명에 의한 투명망토 현상 등의 물리현상과 깊은 관련성이 있어서 최근 많은 관심을 받고 있다. 본 연구에서는 경계면에 코너가 있는 립시츠 평면도형에 대한 노이만-푸앙카레 작용소의 완전한 스펙트럼을 수학적으로 엄밀하게 최초로 계산했다. 또한 공명현상을 이용한 스펙트럼의 분류 방법을 제시했다.

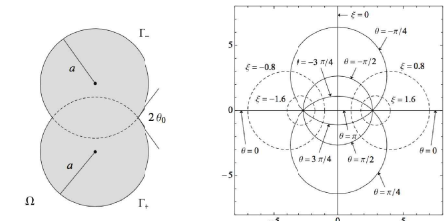


그림 1. 겹친원판과 Bipolar coordinates

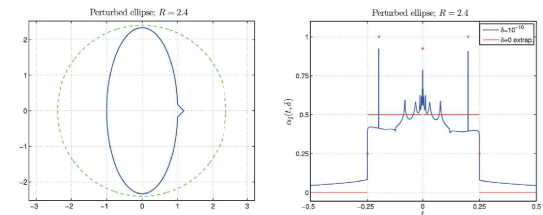


그림 2. 타원에서 작은 변화가 있을 때의 스펙트럼

[논문 1] Hyeonbae Kang, Mikyoung Lim\*, Sanghyeon Yu\*, "Spectral Resolution of the Neumann-Poincaré Operator on Intersecting Disks and Analysis of Plasmon Resonance", Arch. Rational Mech. Anal, 226 (2017) 83-115

[논문 2] Johan Helsing, Hyeonbae Kang, Mikyoung Lim\*, "Classification of spectra of the Neumann-Poincaré operator on planar domains with corners by resonance", Annales de l'Institut Henri Poincaré (C) Non Linear Analysis, AN 34 (2017) 991-1011

## 26

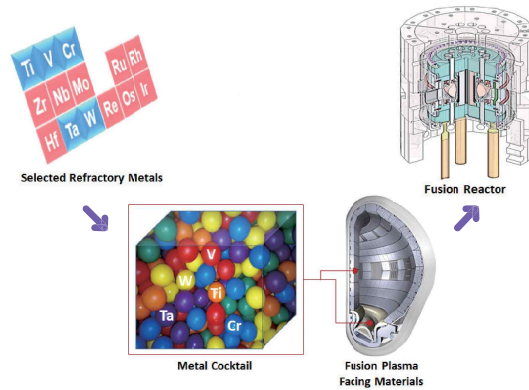
## RESEARCH HIGHLIGHTS

## Others

원자력 및 양자공학과  
류호진 · Owais Waseem  
<http://fuel.kaist.ac.kr>

## 하이엔트로피 합금 핵융합 플라즈마 대면재 개발

미래 에너지원으로 기대되는 핵융합 발전을 실현하기 위해서는 고온의 플라즈마를 가두고 있는 토카막 용기 및 플라즈마 대면재의 내구성이 매우 중요하다. 본 연구에서는 저방사화 금속 분말들을 키테일과 같이 동시에 다량 혼합하여 합성한 결과 텅스텐보다 경도와 강도가 2배 이상 향상된 대면재용 합금을 제조하는데 성공했다. 이는 혼합 엔트로피가 매우 높게 섞여있는 원소들의 원자 크기가 서로 다른 점이 합금의 결정 내에서 변형을 어렵게 하는 효과가 극대화되기 때문이다. 이번 연구를 계기로 하여 핵융합 및 원자력 등 극한환경용 복잡계 금속을 개발하고자 하는 시도가 전세계적으로 활발해질 것으로 기대된다.



[논문] Waseem, Owais Ahmed and Ho Jin Ryu, "Powder Metallurgy Processing of a WxTaTiVCr High-Entropy Alloy and Its Derivative Alloys for Fusion Material Applications," Scientific Reports 7, 1926 (2017)

[수상] 한국원자력학회 2017년 춘계학술발표회 우수논문상 (2017.10.26.)

[특허] 특허등록 "기계적합금화에 의한 다원계 단상 고강도 고엔트로피 합금 제조법" 10-1761009 (2017.07.18.)

특허등록 결정 "텅스텐 합금 및 이의 제조방법" 출원번호 10-2016-0010933 (2017.10.18.)

미국특허출원 "HIGH-STRENGTH AND ULTRA HEAT-RESISTANT HIGH ENTROPY ALLOY (HEA) MATRIX COMPOSITES AND METHOD OF PREPARING THE SAME" 15495411, (2017.04.24.)

[홍보] 논문에 대하여 언론보도 10여 회

[수상] 과학한림원 "2025년 미래 100대 기술 주역" 선정 (2017.11.07.)

## 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 재정 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 산업 역할  
산업체 기술 지도 및 기술 지원







# 2017

ANNUAL R&D REPORT

# 2017

ANNUAL R&D REPORT

**KAIST**

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