

한림원탁토론회 :

AI 프런티어 시리즈

제 6 회

「AI x BCI」: 뇌와 인공지능의 미래 연결

일시 | 2025년 11월 18일(화), 15:00

장소 | 한림원회관 B1층 강당

주최 | 한국과학기술한림원
한국차세대과학기술한림원



제6회 「AI x BCI」: 뇌와 인공지능의 미래 연결



Program

시간	프로그램	
15:00~15:10 (10분)	핵심의제 임창환 한양대학교 바이오메디컬공학과 교수	
	주제발표	
	주 제	[발제1] 뇌 인터페이스 기술의 현재와 미래: 정보 추출과 입력 정천기 서울대학교 의과대학 신경외과학교실 명예교수
		[발제2] 뇌 연결 기술의 실제 적용 및 미래 양성구 (주)지브레인 대표
		[발제3] 뇌 인터페이스: 측정 및 자극 안종현 연세대학교 전기전자공학부 교수
		[발제4] 뇌 인터페이스 지능형 저전력 집적회로 시스템 김 철 KAIST 바이오및뇌공학과 교수
		[발제5] 이식 가능한 온 디바이스 AI 한재호 고려대학교 뇌공학과 주임교수
	지정토론 및 자유토론	
16:20~17:00 (40분)	좌 장	임창환 한양대학교 바이오메디컬공학과 교수
	토론자	이은정 한국과학기술자협회 회장
		주제발표자 5인
	질의응답	
17:00	폐 회	

제6회 「AI x BCI」: 뇌와 인공지능의 미래 연결



참여자 주요 약력

핵심익제 및 좌장



임창환 한양대학교 바이오메디컬공학과 교수
한양대학교 뇌공학연구센터 및 바이오메디컬AI연구센터 센터장
前 대한뇌파신경생리학회 회장
(주)비웨이브 공동창업, (주)메쥬 사외이사

주제발표 및 토론



주제발표 1_ 뇌 인터페이스 기술의 현재와 미래: 정보 추출과 입력
정천기 서울대학교 의과대학 신경외과학교실 명예교수
서울대학교 의과대학 신경과학연구소 책임연구원
前 대한뇌기능매핑학회 회장
前 서울대학교병원 신경외과 과장

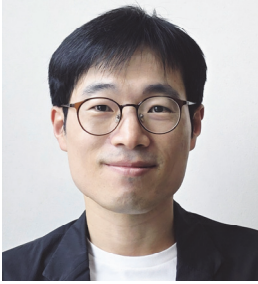


주제발표 2_ 뇌 연결 기술의 실제 적용 및 미래
양성구 (주)지브레인 대표
인천대학교 생명공학부 교수
인천대학교 BMI 연구소 소장
한국연구재단 ICT융합연구단 전문위원



주제발표 3_ 뇌 인터페이스: 측정 및 자극
안종현 연세대학교 전기전자공학부 교수
한국과학기술한림원 공학부 정회원
前 삼성미래육성재단 분과위원회 위원장
前 한국그래핀학회 회장

주제발표 및 토론



주제발표 4_ 뇌 인터페이스 지능형 저전력 집적회로 시스템

김 철 KAIST 바이오 및 뇌공학과 교수
KAIST 전기및전자공학부 겸임교수
New York University 겸직교수
前 SK Hynix 선임연구원



주제발표 5_ 이식 가능한 온 디바이스 AI

한재호 고려대학교 뇌공학과 주임교수
국가과학기술자문회의 기초연구진흥협의회 위원
前 한국연구재단(공학단) 전문위원 및 기획자문위원



토론자_이은정 한국과학기자협회 회장
KBS 과학전문기자
서울대학교 생명과학부 객원교수
한국여성과학기술단체총연합회 과학소통위원회 위원장



Contents

주제발표 1	뇌 인터페이스 기술의 현재와 미래: 정보 추출과 입력	1
	정천기 서울대학교 의과대학 신경외과학교실 명예교수	
주제발표 2	뇌 연결 기술의 실제 적용 및 미래	17
	양성구 (주)지브레인 대표	
주제발표 3	뇌 인터페이스: 측정 및 자극	29
	안종현 연세대학교 전기전자공학부 교수	
주제발표 4	뇌 인터페이스 지능형 저전력 집적회로 시스템	41
	김 철 KAIST 바이오및뇌공학과 교수	
주제발표 5	이식 가능한 온 디바이스 AI	51
	한재호 고려대학교 뇌공학과 주임교수	
토 론	기술 활용 가능성과 인간 삶에 미칠 영향	63
	이은정 한국과학기자협회 회장	

주제발표 1

뇌 인터페이스 기술의 현재와 미래: 정보 추출과 입력

정천기 서울대학교 의과대학 신경외과학교실 명예교수



제245회 한림원탁토론회 「AI x BCI」[뇌와 인공지능의 미래 연결]
2025년 11월 18일



KAST 한국과학기술한림원
The Korean Academy of Science and Technology

뇌 인터페이스 (BCI) 기술의 현재와 미래: 정보 추출과 입력



정 천 기

서울대학교 의과대학 신경외과학교실 명예교수

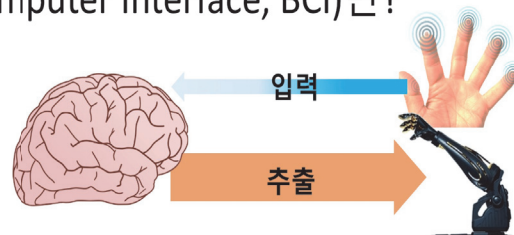


목차

- 뇌 컴퓨터 인터페이스 (Brain-Computer Interface, BCI)란?

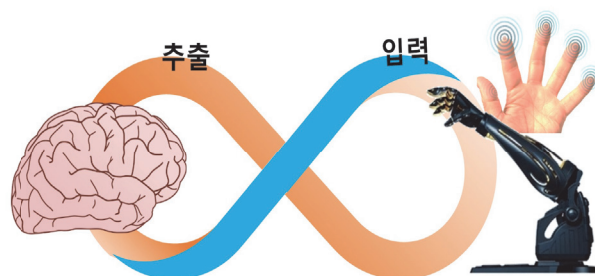
- BCI 의 현재

- 정보 추출과 입력이 분리

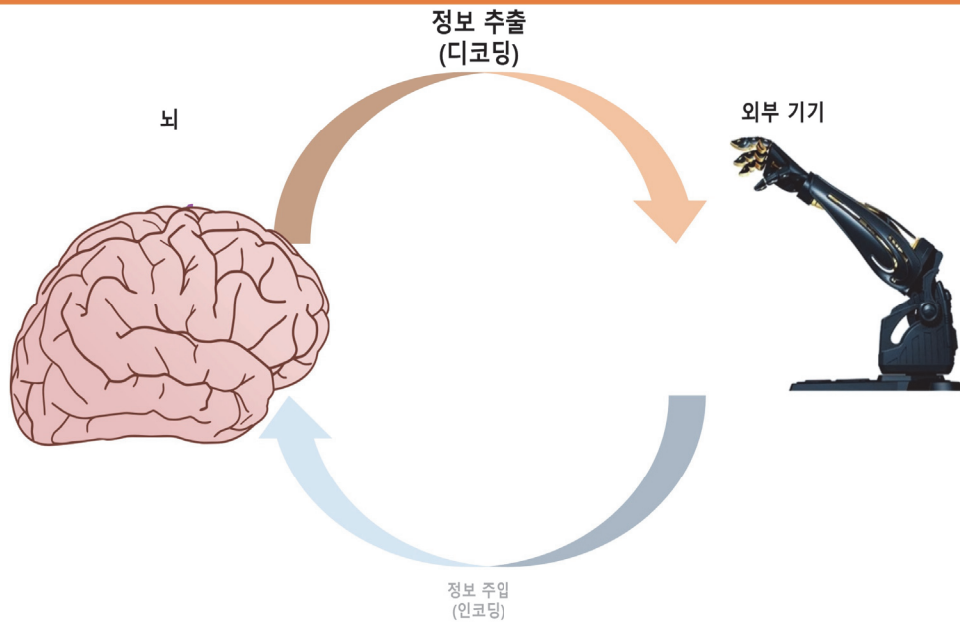


- BCI 의 미래

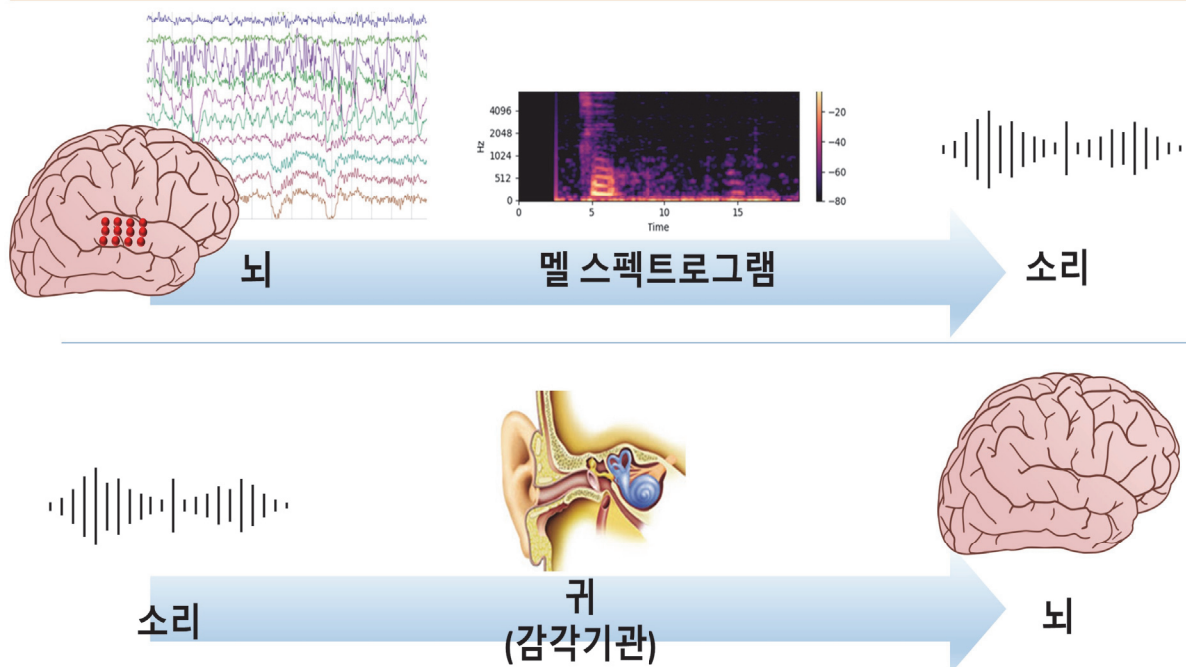
- 정보 추출의 입력의 통합



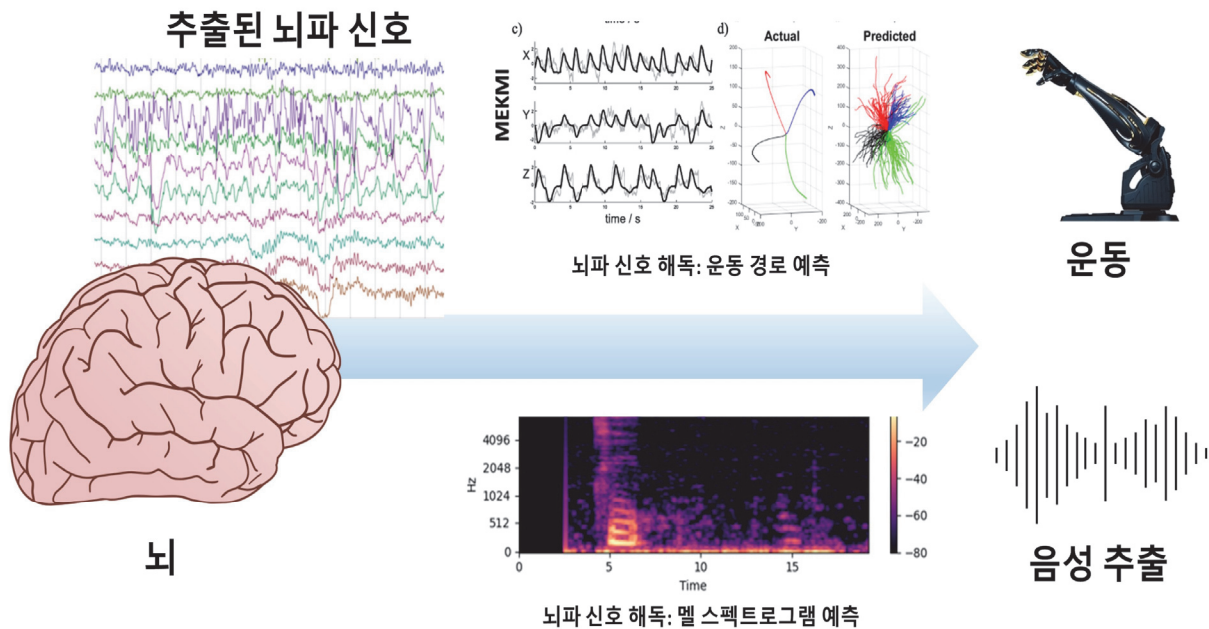
뇌 - 컴퓨터 인터페이스 Brain-Computer Interface (BCI)



BCI의 현재: 정보 추출과 입력이 분리



BCI의 현재: 정보 추출



정보 추출: 팔 움직임

nature

Explore content ▾ About the journal ▾ Publish with us ▾

nature > letters > article

Letter | Published: 16 May 2012

Reach and grasp by people with tetraplegia using a neurally controlled robotic arm

Leigh R. Hochberg Daniel Bacher Beata Jarosiewicz Nicolas Y. Masse John D. Simeral Joern Vogel Sami Haddadin Jie Liu Sydney S. Cash Patrick van der Smagt & John P. Donoghue

Nature 485, 372–375 (2012) | [Cite this article](#)

51k Accesses | 2424 Citations | 842 Altmetric | [Metrics](#)



Hochberg et al., Reach and grasp by people with tetraplegia using a neurally controlled robotic arm Nature, 2012

정보 추출: 팔 움직임

인간 ECoG BMI 시연 영상



인간 대상 체성감각 피드백 기반 운동제어-감각정보 통합형 침습적 상지운동 제어 뇌-기계 인터페이스 개발, 2022
(한국연구재단 원천기술개발사업, 2016. 06. 01 - 2021. 02. 28, 연구책임자 정천기)

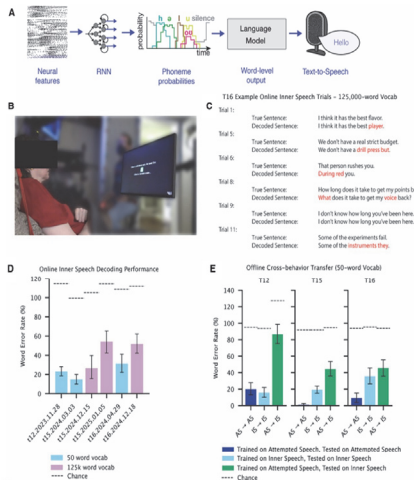
정보 추출: 팔 움직임



Agudelo-Toro et al. Accurate neural control of a hand prosthesis by posture-related activity in the primate grasping circuit. *Neuron*, 2024

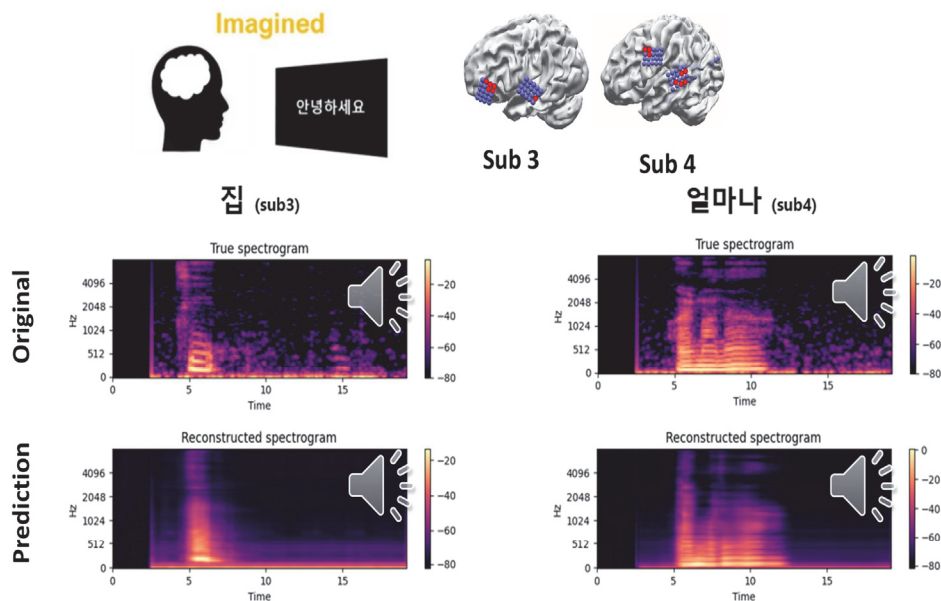
정보 추출: 언어 디코딩

마비 환자에서 발화 시도 (입모양) 및 상상 언어 디코딩



Kunz, E. M. et al. Inner speech in motor cortex and implications for speech neuroprostheses. *Cell*, 2025

정보 추출: 상상 음성 디코딩

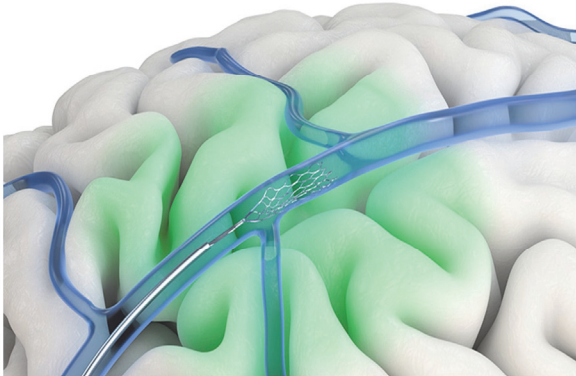


음성의사소통을 위한 완전이식형 폐회로 Brain to X 개발

(산업통상자원부 산업기술 알키미스트 프로젝트. 2020. 09. 01 - 2026. 12. 31, 연구책임자 정천기)

G.Y. Lee. *Improving Imagined Speech Decoding: Combining Adaptive Feature Selection with Linguistic Feature Decoding to Enhance Intelligibility*, Thesis, Seoul National University, 2025

정보 추출: 기업 동향 (싱크론)



Apple Vision pro와 결합하여 실생활 BCI 접목

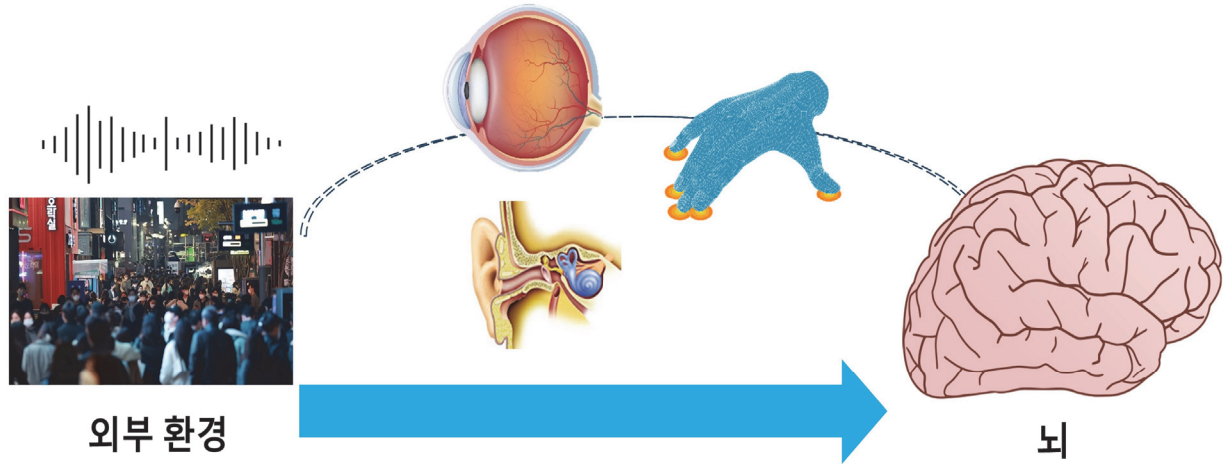
https://www.youtube.com/watch?v=c_OVgQ5q7k

정보 추출: 기업 동향 (뉴럴링크)



<https://youtu.be/Y9s0Q5LH0lc?si=wRyX9wyToElmqXUn>

BCI의 현재: 정보 입력



정보 입력 : 시각

JCI The Journal of Clinical Investigation

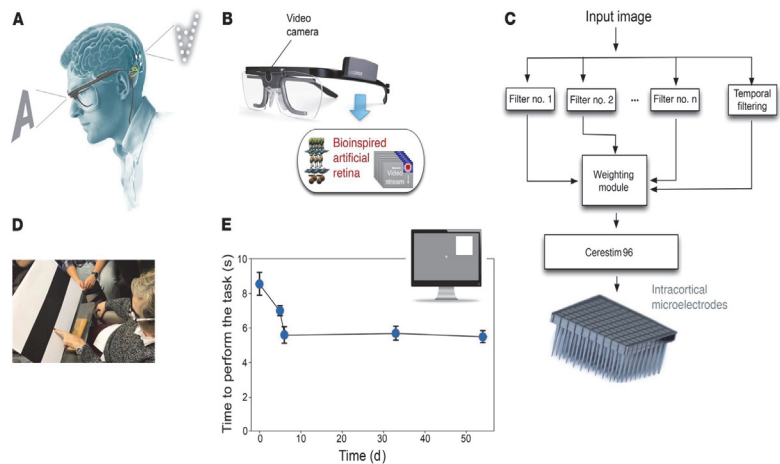
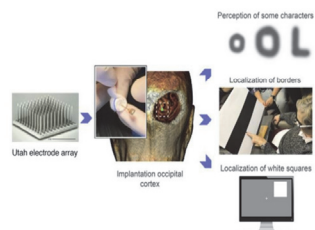
Visual percepts evoked with an intracortical 96-channel microelectrode array inserted in human occipital cortex

Eduardo Fernández, ..., Tyler S. Davis, Richard A. Normann

J Clin Invest. 2021;131(23):e151331. <https://doi.org/10.1172/JCI151331>.

Clinical Research and Public Health Neuroscience Ophthalmology

Graphical abstract



정보 입력: 기업 동향 (뉴럴링크)

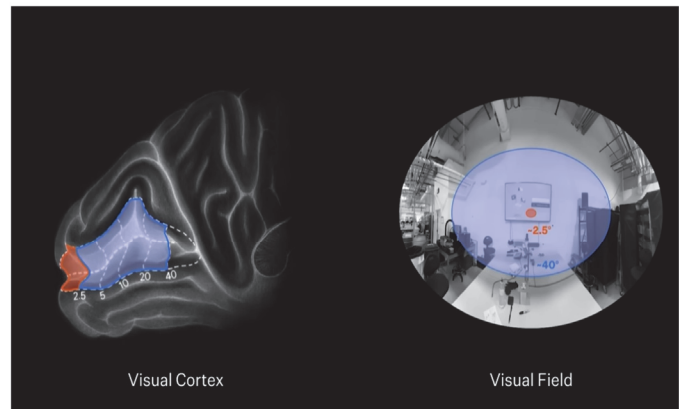
Elon Musk's Neuralink targets first Blindsight implant in a human by end of 2025

Blindsight received 'breakthrough' status from the US Food and Drug Administration (FDA) in September last year. It has been tested successfully on monkeys according to Musk.



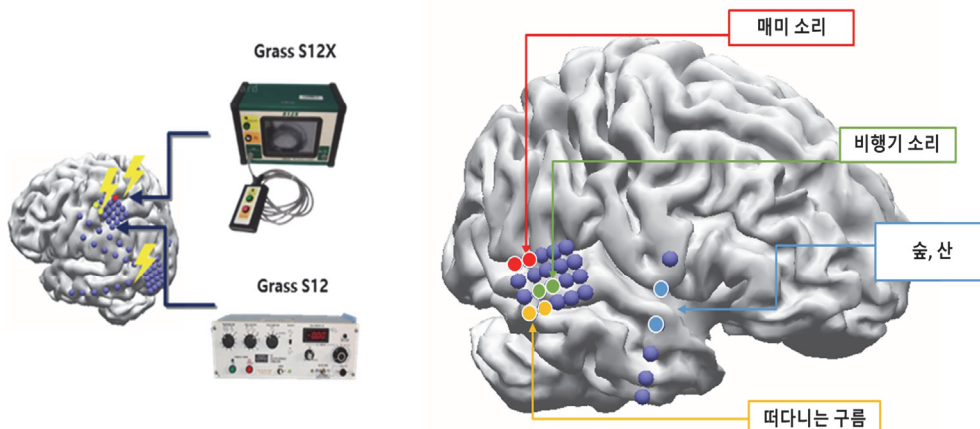
Elon Musk's brain chip company, Neuralink, is aiming to achieve a major medical milestone by the end of 2025 with the first human implantation of its artificial visual prosthesis, Blindsight. The ambitious project aims to restore vision to people who are completely blind, including those who have lost both eyes and their optic nerve or were born blind.

<https://www.businesstoday.in/technology/news/story/elon-musks-neuralink-targets-first-blindsight-implant-in-a-human-by-end-of-2025-470083-2025-04-01>



<https://www.youtube.com/watch?v=Y9s0Q5LHOlc>

정보 입력: 고차원 감각정보 유도



음성의사소통을 위한 완전이식형 폐회로 Brain to X 개발

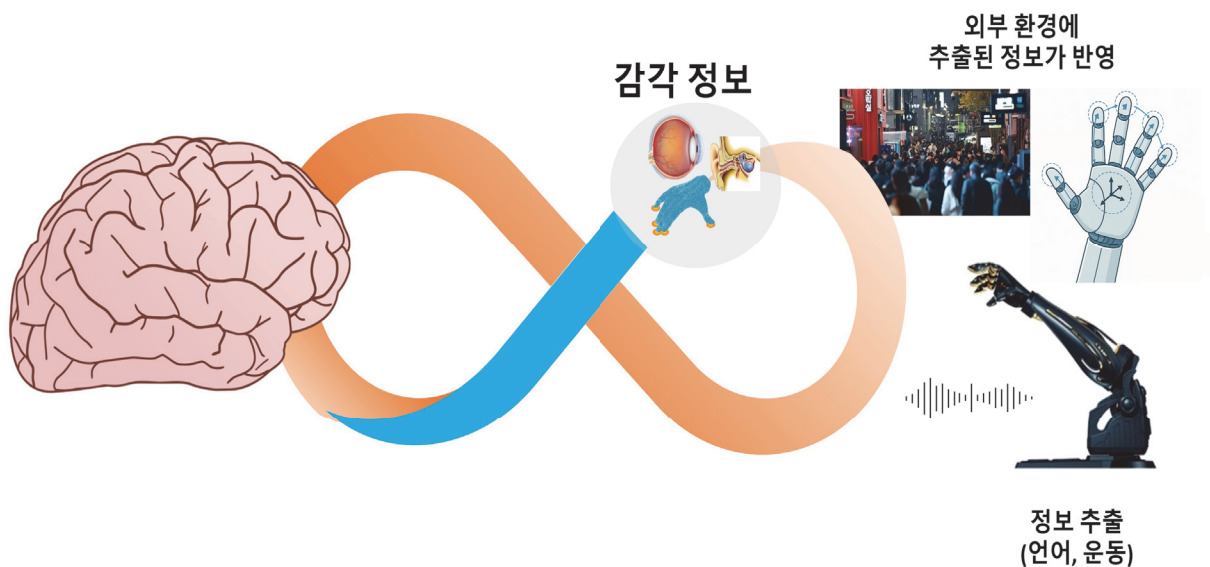
(산업통상자원부 산업기술 알키미스트 프로젝트, 2020. 09. 01 - 2026. 12. 31, 연구책임자 정천기)

Hong, Y., Ryun, S., & Chung, C. K. Evoking artificial speech perception through invasive brain stimulation for brain-computer interfaces: current challenges and future perspectives. *Frontiers in neuroscience*, 18, (2024)

BCI의 미래: 정보입력과 추출이 실시간으로 통합

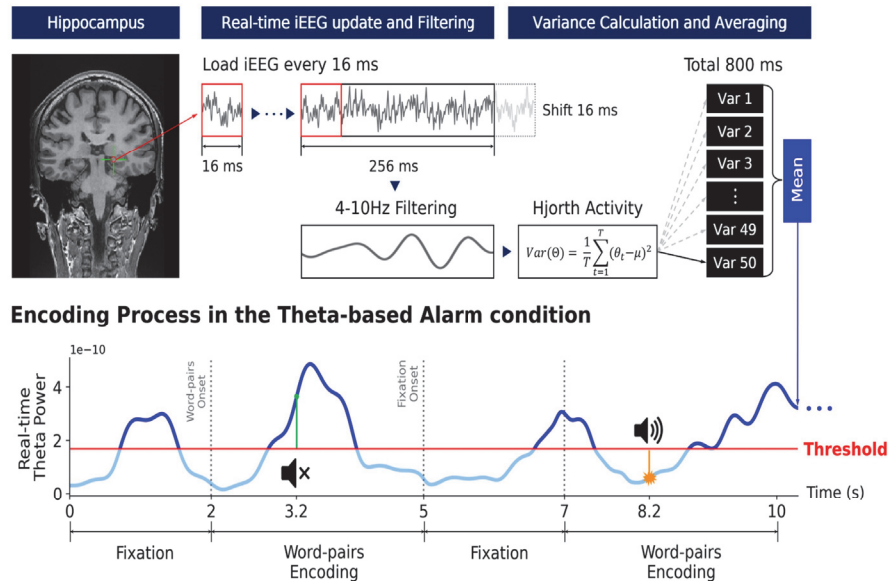


현재 수준: 정보입력은 원래대로, 정보 추출만



소리 자극으로 청각 이용: 실시간 폐회로 기억 증강

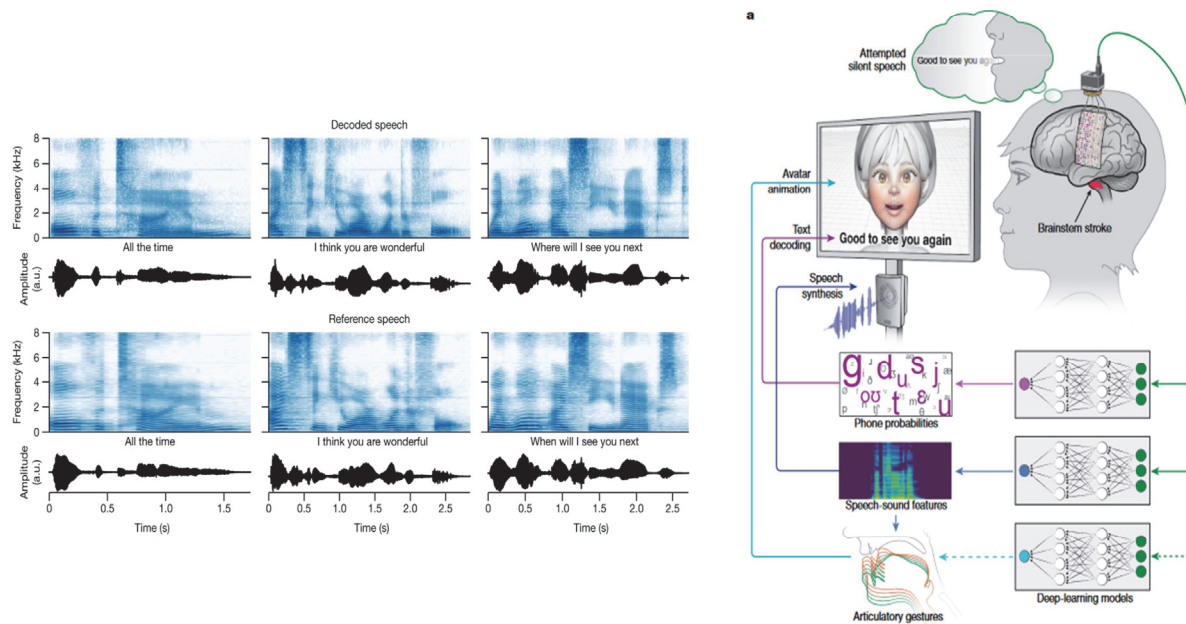
Real-time Theta Power Computation Process



기억 디코딩을 이용한 강화학습 플랫폼 개발, 2024
(한국연구재단 2021.04.01 ~ 2023.12.31, 연구책임자 정천기)



시각, 청각 자극 이용: 실시간 폐회로 음성 BCI



Metzger, S. L. (2023) "A high-performance neuroprosthesis for speech decoding and avatar control", *Nature*

직접 뇌 자극: 체성감각 영역 자극으로 움직임 통제

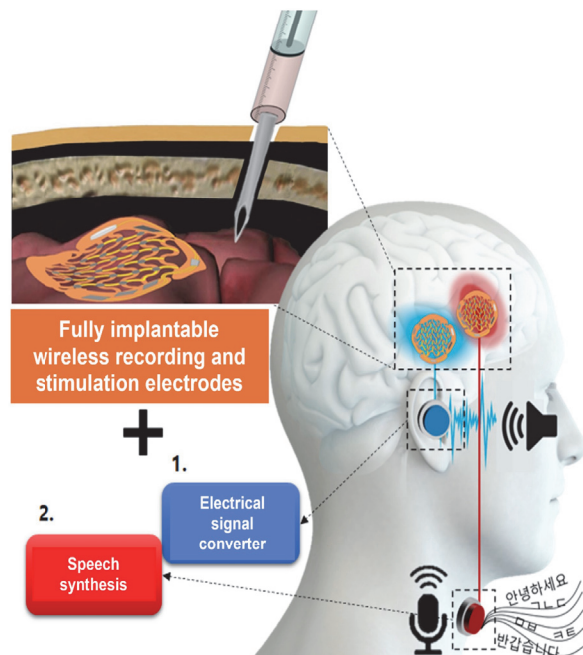


인간 대상 체성감각 피드백 기반 운동제어-감각정보 통합형 침습적 상지운동 제어 뇌-기계 인터페이스 개발, 2020
(한국연구재단 원천기술개발사업. 2016. 06. 01 - 2021. 02. 28, 연구책임자 정천기)

완전 무선 폐회로 시스템

Alchemist Project: Brain to X

산업통상자원부 산업기술평가원 지원.
(2020. 09. 01 - 2026. 12. 31)
연구책임자 정천기



BCI 용 최신 전극 국내 독자 개발



[르포] 국내 개발 뇌 이식 의료기기 첫 임상...그 현장을 가다



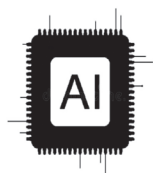
정종오 기자 입력 2025.06.20 09:40

지브레인, 뇌-컴퓨터 인터페이스 기술 첫걸음



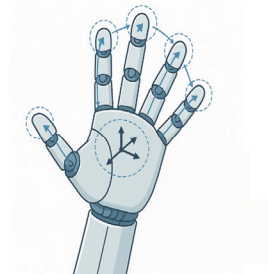
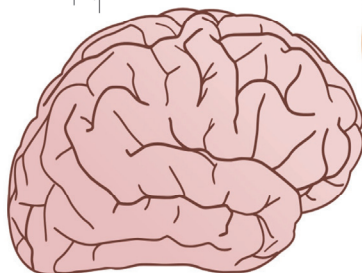
(inews24, June 20, 2025)

BCI의 미래: AI 이용 정보추출-입력 완전 통합 시스템

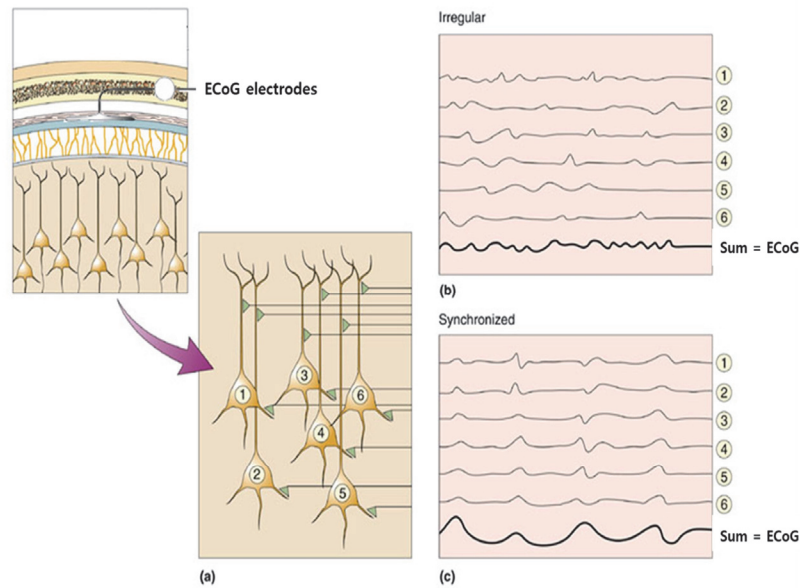


AI 이용 뇌 연산 향상

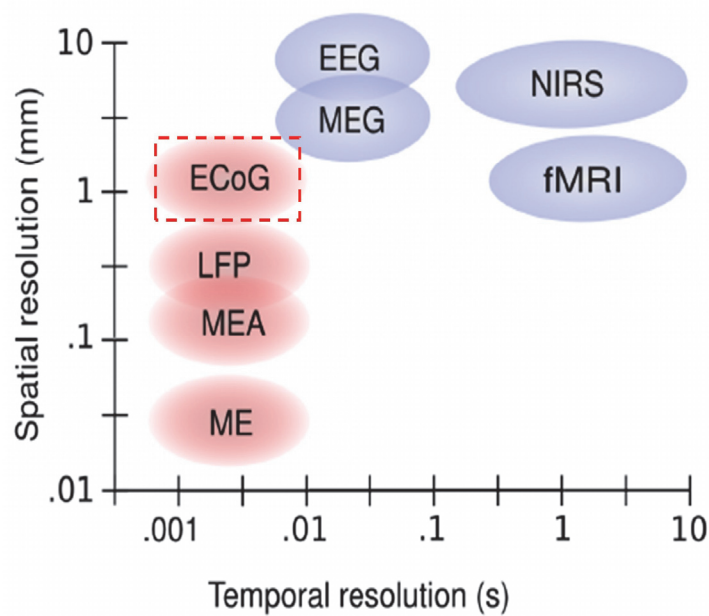
실시간 폐회로



뇌파란 무엇인가?



뇌파 종류



Van Gerven, M., Farquhar, J., Schaefer, R., Vlek, R., Geuze, J., Nijholt, A., ... & Desain, P. (2009)

Acknowledgements



권지이



박예진



이성진



권용현



노신화

- **Sensorimotor BCI & Somatosensory Cortical Stimulation**

- 인간 대상 체성감각 피드백 기반 운동제어-감각정보 통합형 침습적 상지운동 제어 뇌-기계 인터페이스 개발 (한국연구재단 원천기술개발사업. 2016. 06. 01 - 2021. 02. 28)
- 정밀한 다이나믹 체성감각 유발을 위한 시공간적 전기장 제어 기반 침습적 뇌자극 연구 (한국연구재단. 2020. 09. 01 - 2021. 08. 31)
- 전기 생리에 기반한 감각 신호 대뇌 신경활동 분석 (과학기술정보통신부. 2023. 01. 01 - 2023. 12. 31)

- **Speech BCI**

- 뇌신호 해독을 통한 BCI-Musicing 시스템 개발 (삼성전자 미래기술육성센터. 2019. 12. 01 - 2023. 05. 31)
- 음성의사소통을 위한 완전이식형 폐회로 Brain to X 개발 (산업통상자원부 산업기술 알키미스트 프로젝트. 2020. 09. 01 - 2026. 12. 31)



감사합니다.



주제발표 2

뇌 연결 기술의 실제 적용 및 미래

양성구 (주)지브레인 대표



뇌 연결 기술의 실제 적용 및 미래

Brain-Computer

브레인-컴퓨터 인터페이스 기반의 의료 솔루션

brain 양 성 구

Dr.
In Your
Brain

Brain Computer Interface

- 인간의 두뇌와 컴퓨터를 연결해 뇌파를 통해 컴퓨터를 제어 하는 기술
- 질병 진단/치료 및 외부기기 제어 기술로 활용



뇌파 기록
(DECODING)



뇌파 주입
(ENCODING)



진단
외부기기제어



질병 치료 정
보 주입

Dr. In Your Brain



뇌파 기록 (DECODING)

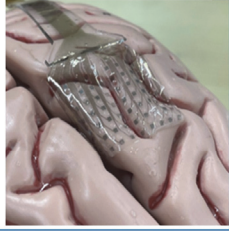


진단

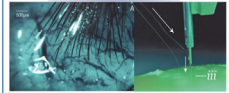
뇌질환 진단 BCI, 시작을 알리다

- 1) EEG
- 2) flexible ECoG (유연 표면 전극)
- 3) Brain-penetrating electrode (뇌 심부 전극)

ECoG (표면 전극)

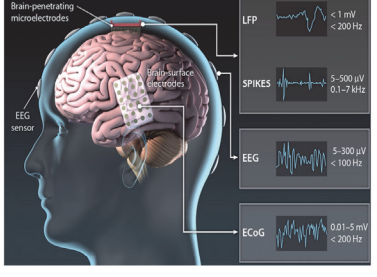


뇌 심부 전극



ECoG (표면 전극)



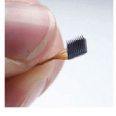


뉴럴링크(미국)



NEURALINK

블랙락(미국)



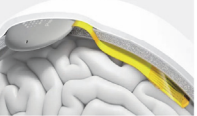
Blackrock
Neurotech

지브레인(한국)



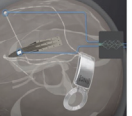
brain

프리시존 뉴로사이언스(미국)



Precision

인브레인(유럽)



INBRAIN
NEUROELECTRONICS

Dr. In Your Brain



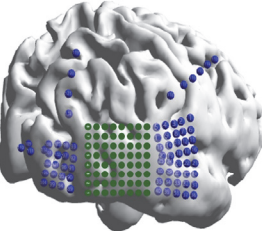
뇌파 기록 (DECODING)

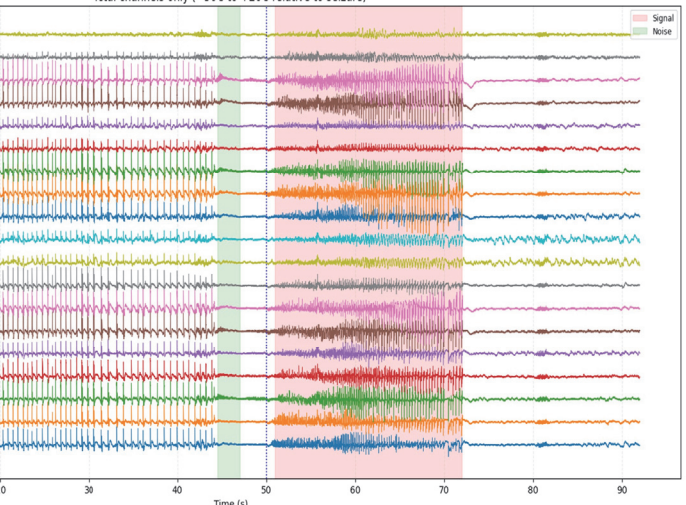


진단

유연표면전극을 이용해 국내 최초 임상실험에 도전하다

- 지브레인 ECoG, 표면 전극을 이용한 뇌전증 진단
- 서울대의대 정전기/이은정 교수님 연구팀 수행
- 뇌전증(간질) 뇌파 측정을 통해서 뇌전증 발작부위 제거수술
- 종양부위 확인하여 종양 부위 수술로 제거에 적용 (인브레인)










Dr.
In Your
Brain



뇌파 기록
(DECODING)



외부기기제어

탐침형 전극을 이용한 외부기기제어 성공스토리

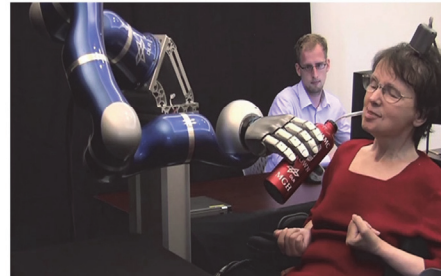
- Blackrock 회사에서 제공하는 유타 어레이를 이용한 BCI 기술
- 뇌졸중, 사지마비환자 대상 컴퓨터 조작 및 로봇 팔 제어에 성공




- Matthew Nigle
- 2004년 유타어레이 임플란트
- 컴퓨터 조작에 성공



유타 어레이 (Utah array)



- 58세 여성으로 15년간 뇌졸중으로 인해 사지마비된 환자
- 로봇 팔을 이용해 음료를 섭취하는데 성공



Dr.
In Your
Brain

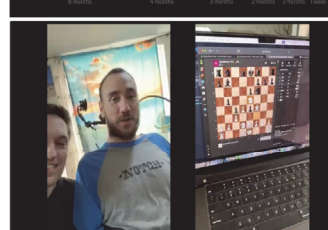


뇌파 기록
(DECODING)



외부기기제어

외부기기제어 BCI시장을 선도하는 뉴럴링크 무선통신, 인공지능 기술을 선보이다

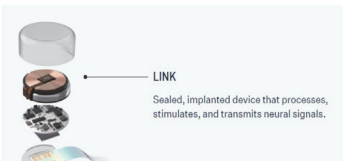



- Noland Arbaug
- 뉴럴링크 임플란트 첫 환자



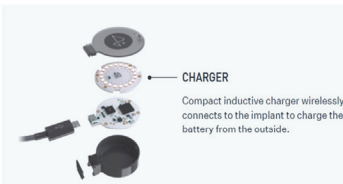
NEURAL THREADS
Each small and flexible thread contains many electrodes for detecting neural signals.

실과 같은 크기의 전극



LINK
Sealed, implanted device that processes, stimulates, and transmits neural signals.

뇌파 측정, 자극, 인공지능 회로



CHARGER
Compact inductive charger wirelessly connects to the implant to charge the battery from the outside.

무선통신 위한 배터리 충전



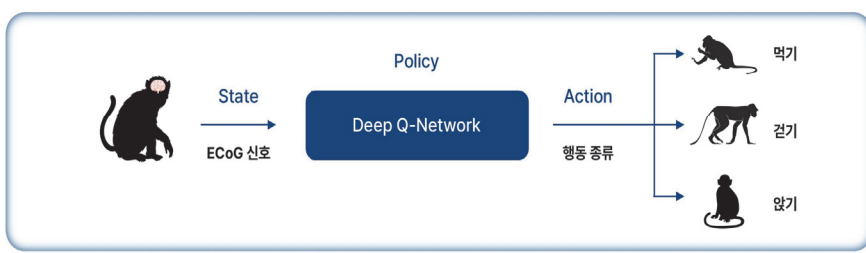
Dr.
In Your
Brain

외부기기제어 BCI시장에서 새로운 도전은 계속된다





뇌파 기록
(DECODING)





외부기기제어





뉴럴임플란트 기반 원숭이
뇌파 디코딩

가상공간의 원숭이 아바타 구현

사족보행 로봇 아바타 구현



Dr.
In Your
Brain

언어 BCI의 가능성이 보인다



- 캘리포니아대학 (UCSF) 연구진(에드워드 창 연구팀)은 말할 수 없는 마비환자의 뇌활동에 단어와 문장을 디코딩할 수 있음을 증명함
- 서울대학교 정천기 교수님 연구팀에서 진보된 언어 BCI 구현 (Imaging BCI)에 성공



뇌파 기록
(DECODING)







외부기기제어

Dr. In Your Brain



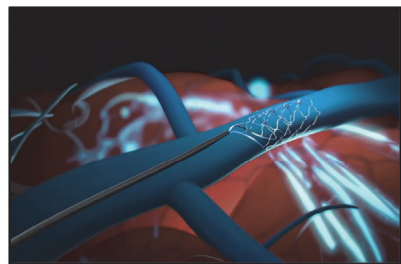
뇌파 기록
(DECODING)



외부기기제어

뇌질환 치료와 외부기기연결을 동시에.....

- 싱크론 회사에서 개발한 스텐트로드 (Stentrode)을 뇌혈관에 삽입함으로써 혈전을 제거하고 동시에 신경신호를 읽어들이어 외부기기 제어하는데 성공

The Synchron BCI





Dr. In Your Brain



뇌파 주입
(ENCODING)



질병치료

제약이 아닌 BCI 기반으로 뇌질환을 치료하다

뇌심부자극
(DBS, Deep brain stimulation)



유연표면전극
(Flexible ECoG)














Dr. In Your Brain

↓

뇌파 주입 (ENCODING)

↓

질병치료

제약이 아닌 BCI 기반으로 뇌질환을 치료하다



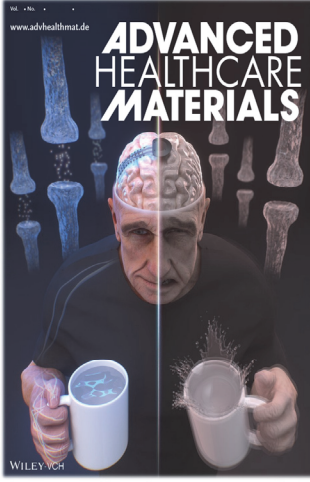
brain

파킨슨병
Disease treatment



brain

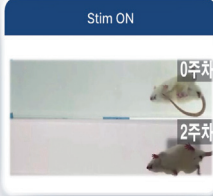
뇌졸중 Stroke



Stim OFF



Stim ON



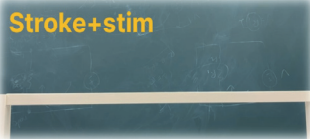
Control



Stroke



Stroke+stim



Dr. In Your Brain

↓

뇌파 주입 (ENCODING)

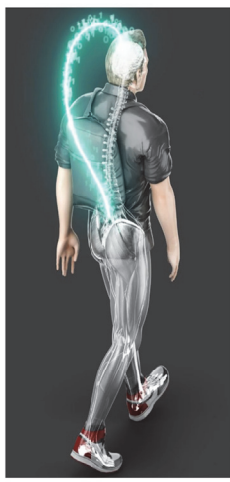
↓

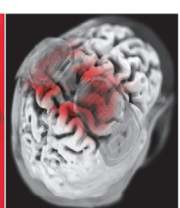
정보주입

BSI기술로 사지마비환자가 일어나는 기적을 보다

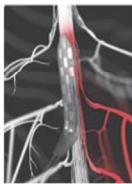
- Brain-Spine Interface (BSI), 뇌-척추 연결기술
- 스위스 Gert-Jan Oskan 는 척추손상 (spine injury) 환자
- 뇌의 정보를 척추신경에 전달하여 걷게 하는 BSI 기술





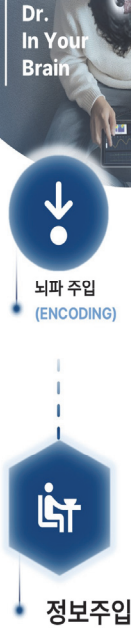



뇌-척추 연결기술




Implantable pulse generator

Paddle lead incorporating 16 electrodes



Dr. In Your Brain

↓

뇌파 주입
(ENCODING)

↓

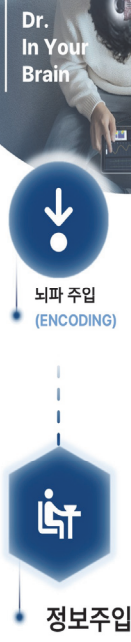
정보주입

BSI기술로 사지마비환자가 일어나는 기적을 보다

- Brain-Spine Interface (BSI), 뇌-척추 연결기술
- 스위스 Gert-Jan Oskan 는 척추손상 (spine injury) 환자
- 뇌의 정보를 척추신경에 전달하여 걷게 하는 BCI 기술







Dr. In Your Brain

↓

뇌파 주입
(ENCODING)

↓

정보주입

장님이 보게 되는 기적을 보다

- 보지 못하는 환자에게 BCI기술을 이용해 볼수 있는 BCI기술 개발
- 안경을 통해서 들어온 사물 이미지는 인공지능으로 사물을 객관적으로 인식하고 자극정보를 생성한후, 시각대뇌에 직접 자극함으로써 보게하는 기술



 FreeLittleFish


Calibrated Vision

이것은 교정 후 시각 장애인
시력을 시뮬레이션한 예시입니다
**AND HERE'S
WHAT A**

감사합니다

주제발표 3

뇌 인터페이스: 측정 및 자극

안종현 연세대학교 전기전자공학부 교수



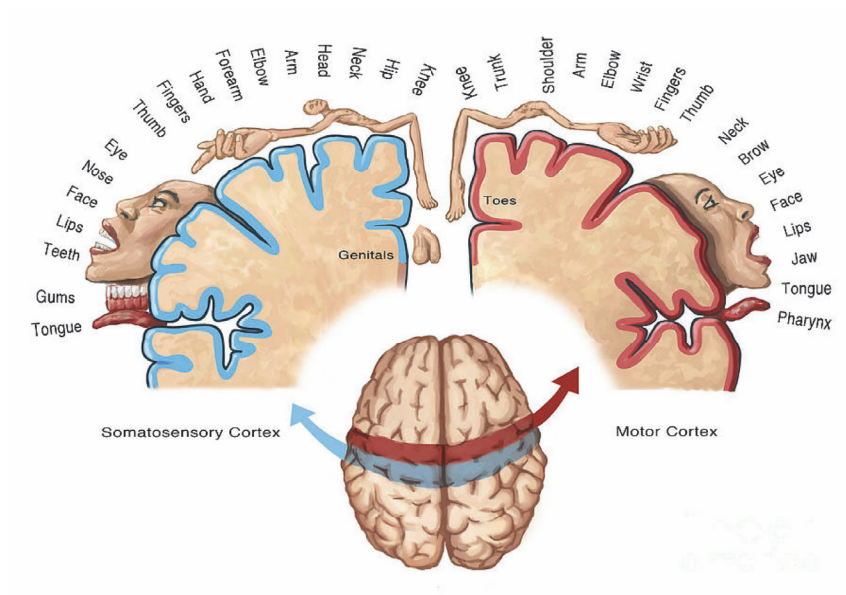
뇌 인터페이스: 측정과 자극



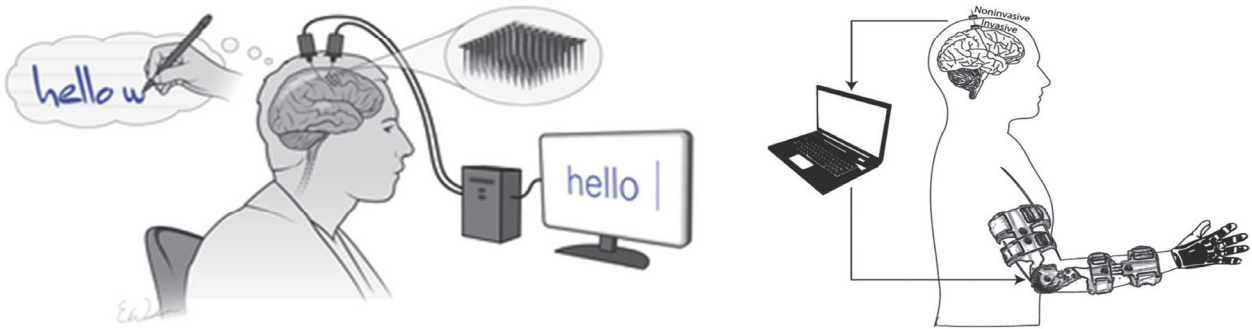
안 종 현
연세대학교 전기전자공학부



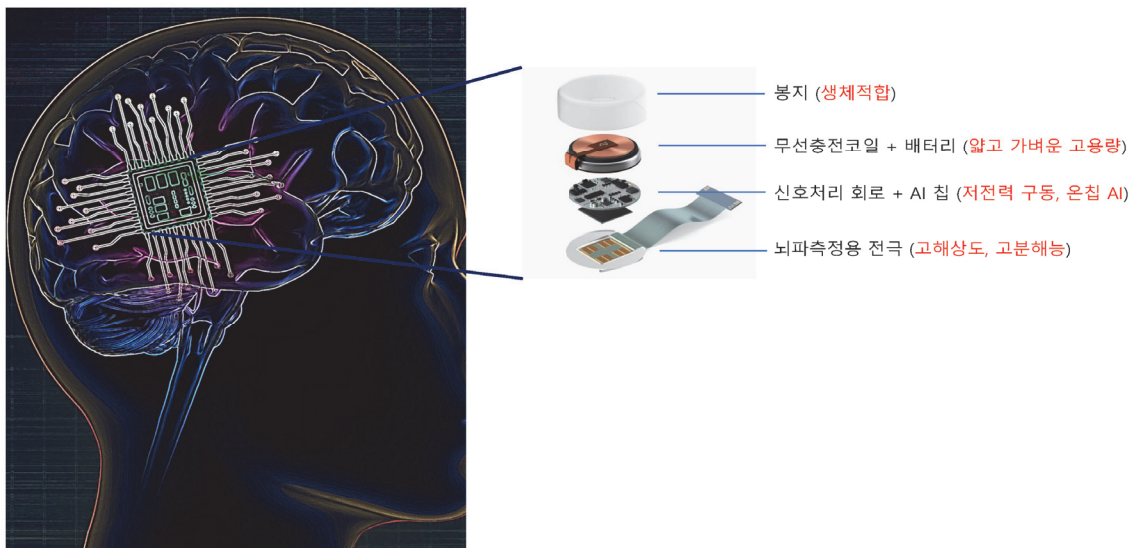
■ 대뇌피질의 운동, 감각 영역



■ 뇌 인터페이스 활용 예



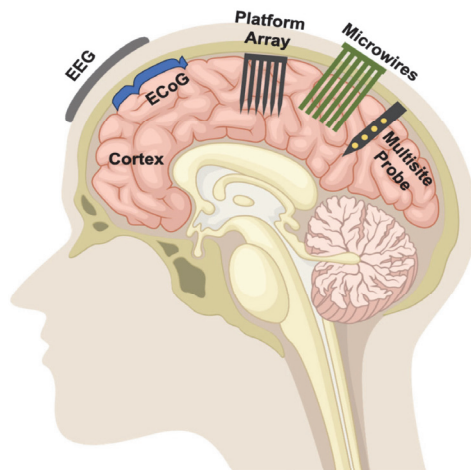
■ 뇌 인터페이스를 온칩 AI 기술



뇌 인터페이스: 측정과 자극 기술의 목적과 용도

	대표 응용 분야	치료 방식
측정	뇌질환 진단	- 뇌 신경세포의 뇌파(EEG) 신호 획득 - 전자공학·인공지능 기술로 신호 처리 및 해석 - 뇌전증, 파킨슨병 등 다양한 뇌질환 진단에 활용
	외부 기기 제어	- 로봇팔, 컴퓨터 인터페이스 등 제어 가능 - 질병·사고로 인한 장애 극복 지원
자극	파킨슨병 (Parkinson's disease)	뇌심부자극술(DBS)로 운동 조절 관련 신경핵(시상하핵, 흑질 등) 전기 자극
	뇌전증 (Epilepsy)	발작 발생 부위에 전극 삽입 → 발작 신호 억제
	우울증 및 불안장애 (Depression & Anxiety disorders)	전두엽 변연계 회로 전기 자극
	알츠하이머병 (Alzheimer's disease)	기억 관련 해마·전두엽 회로 전기 자극
	장애 치료	뇌 신호를 읽어 로봇팔·컴퓨터 제어, 또는 신경 자극으로 근육 반응 유도

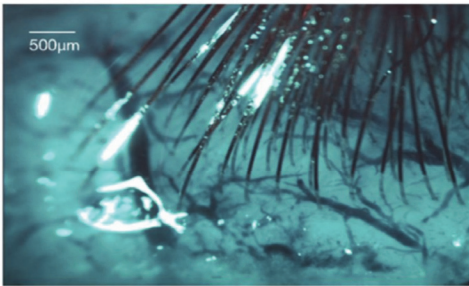
뇌파 신호



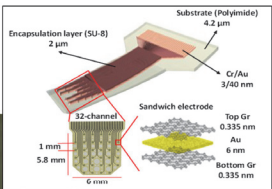
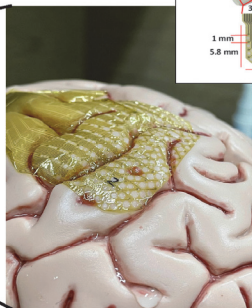
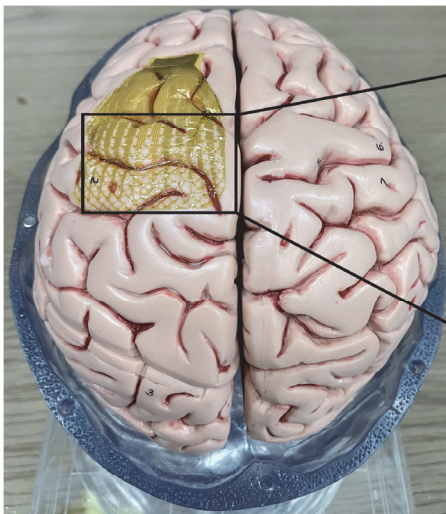
EEG		5–300 μ V < 100 Hz
ECoG		0.01–5 mV < 200 Hz
LFP		< 1 mV < 200 Hz
SPIKES		5–500 μ V 0.1–7 kHz

■ 뇌 인터페이스: 측정과 자극 기술의 목적과 용도

Neuralink to start human trial of brain implant for paralysis patients



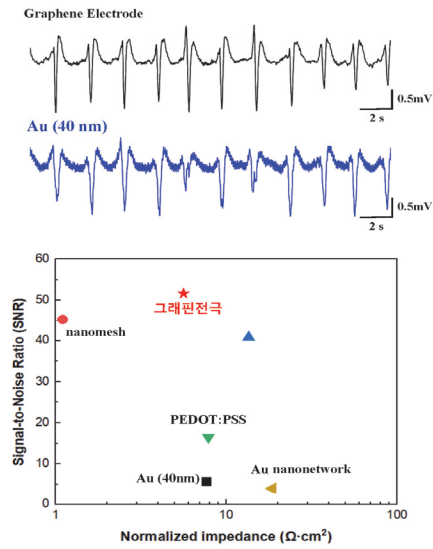
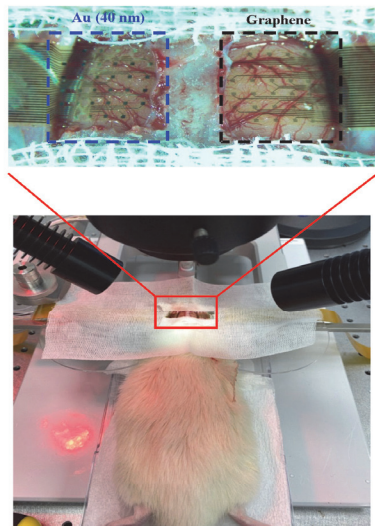
■ 대면적 그래핀 기반 Surface 측정 전극



Types	Materials	Pixel Number	Coverage (mm ²)	Spatial Density (sites mm ⁻²)
Passive	PtNR	1024-ch	23	44.4
	PtNR	1024-ch	1024	1
	PtNR	2048-ch	6400	0.32
	Metal	16-ch	4	4
	Metal	294-ch	114.4	2.57
	Pt/Au-TiO ₂ NWs	32-ch	1.28	25
	Metal	72-ch	27	2.67
	PEDOT:PSS	240-ch	840	0.29
	PEDOT:PSS	64-ch	1	64
	PtNR Graphene	256-ch	23	11.1
	Graphene	32-ch	30.2	1.1

S. Park ... J.H. Ahn et al., *Small*, 4, 1801732 (2018)
M. Lee ... J.H. Ahn et al., *NPG Asia Materials*, 13:65 (2021)
J. Lim ... J.H. Ahn et al., *NPG Asia Materials*, 15:7 (2023)

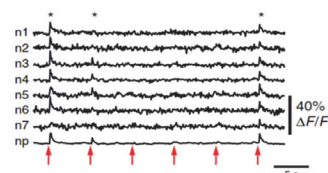
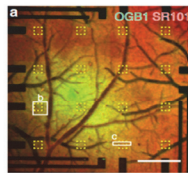
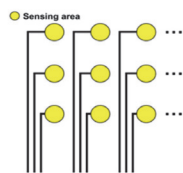
그래핀 기반 Surface 전극의 특성



수동형 대 능동형 Surface 전극 기술

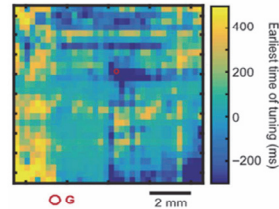
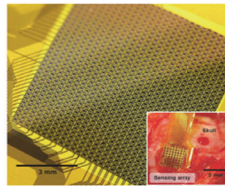
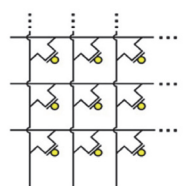
Passive array

- ▶ Ease of fabrication
- ▶ Direct voltage readout



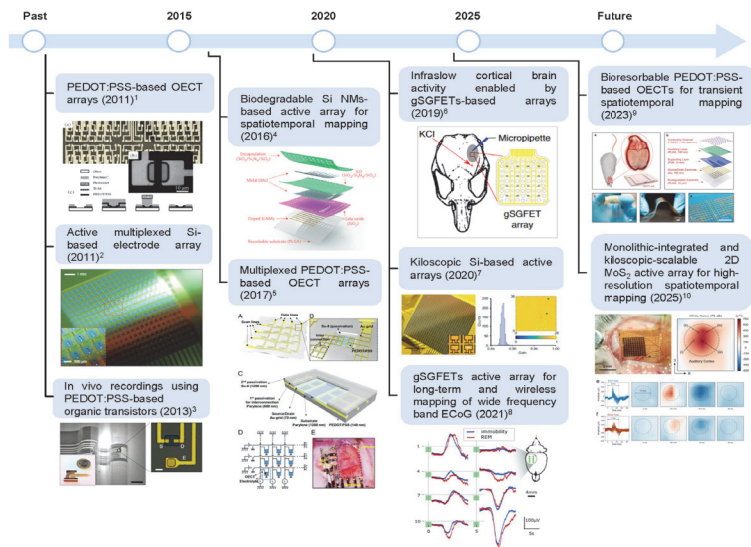
Active array

- ▶ High-density monitoring with signal modulation



- Active transducer: The bioelectric signals are amplified (the current modulation), crosstalk can be eliminated.
- Multiplexing topology: Multiplexors can reduce the number of wires and increase density, resulting in high spatial resolution.

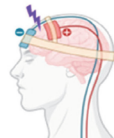
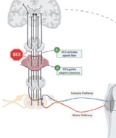
능동형 Surface 전극 기술



Representative references:

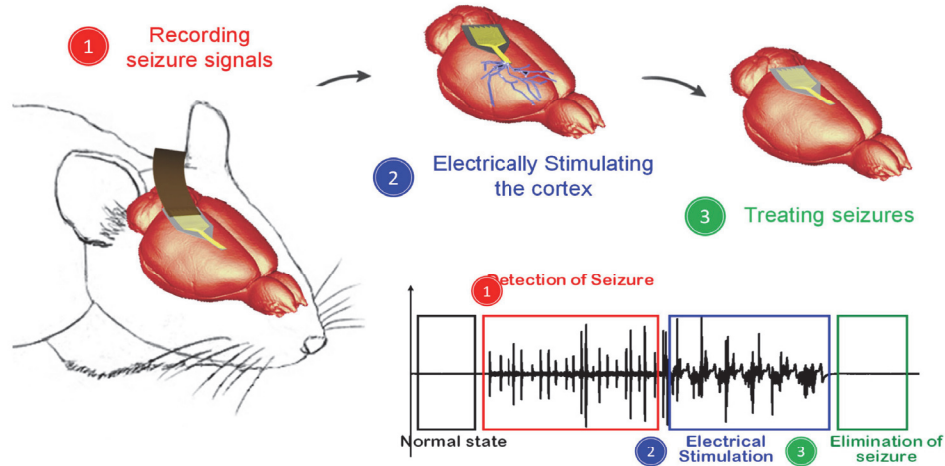
1. Appl. Phys. Lett. **99**,16 (2011).
2. Nat. Neurosci. **14**, 1599 (2011).
3. Nat. Commun. **4**, 1575 (2013).
4. Nat. Mater. **15**, 782 (2016).
5. Proc. Natl. Acad. Sci. **114**(40), 10554 (2017).
6. Nat. Mater. **18**, 280 (2019).
7. Sci. Transl. Med. **12**(538), eaay4682 (2020).
8. Nat. Commun. **12**, 211 (2021).
9. Advanced Science, **10**(14), 2300504 (2023).
10. Nat. Mater. *In press* (2025).

자극 기술

Type	Deep brain stimulation (DBS)	Vagus nerve stimulation (VNS)	Rhythmic transcranial magnetic stimulation (rTMS)	Transcranial direct current stimulation (tDCS)	Functional electrical stimulation therapy (FEST)
Target(s)	• Midbrain • Thalamus • Pallidum • Striatum 	• Vagus nerve 	• Right/left dorsolateral prefrontal cortex • Right/left primary motor cortex 	• Left dorsolateral prefrontal cortex • Posterior parietal cortex 	• Muscles 
Target disease(s)	• Parkinson disease • Depression • Gilles de la Tourette syndrome • Obsessive-compulsive disorder • Alzheimer disease	• Epilepsy • Depression • Stroke	• Alzheimer disease • Parkinson disease • Stroke	• Alzheimer disease • Parkinson disease	• Spinal cord injuries
Current	• Low frequency (8-30 Hz) • High frequency (50-250 Hz) • 1-20 voltages	• 30 Hz • 1.5 mA intensity	• Single or repeated sessions • 5-20 Hz	• Single or repeated 20-minute sessions • 1-2 mA intensities	• 10-1000 mA in 10-1000 minutes (personalized to participants)

측정과 자극 기술의 활용 예

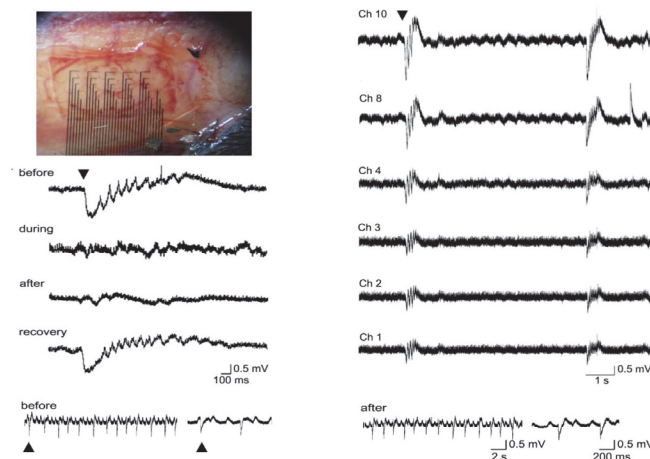
Epilepsy diagnosis and treatment



S. Park...J.H. Ahn *et al.*, *Small*, 4, 1801732 (2018)

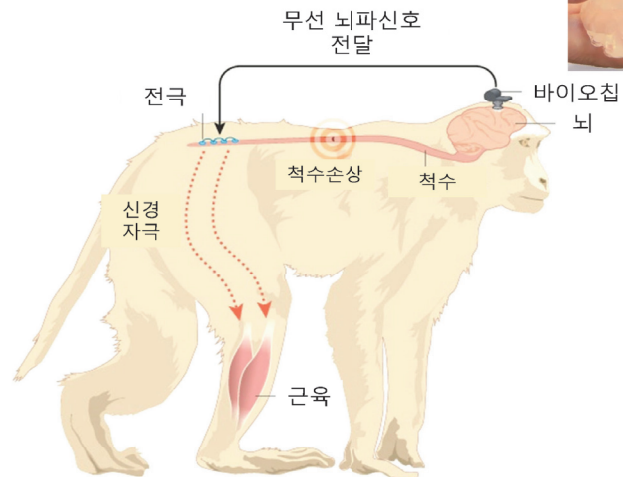
측정과 자극 기술의 활용 예

In vivo multichannel recording and stimulation

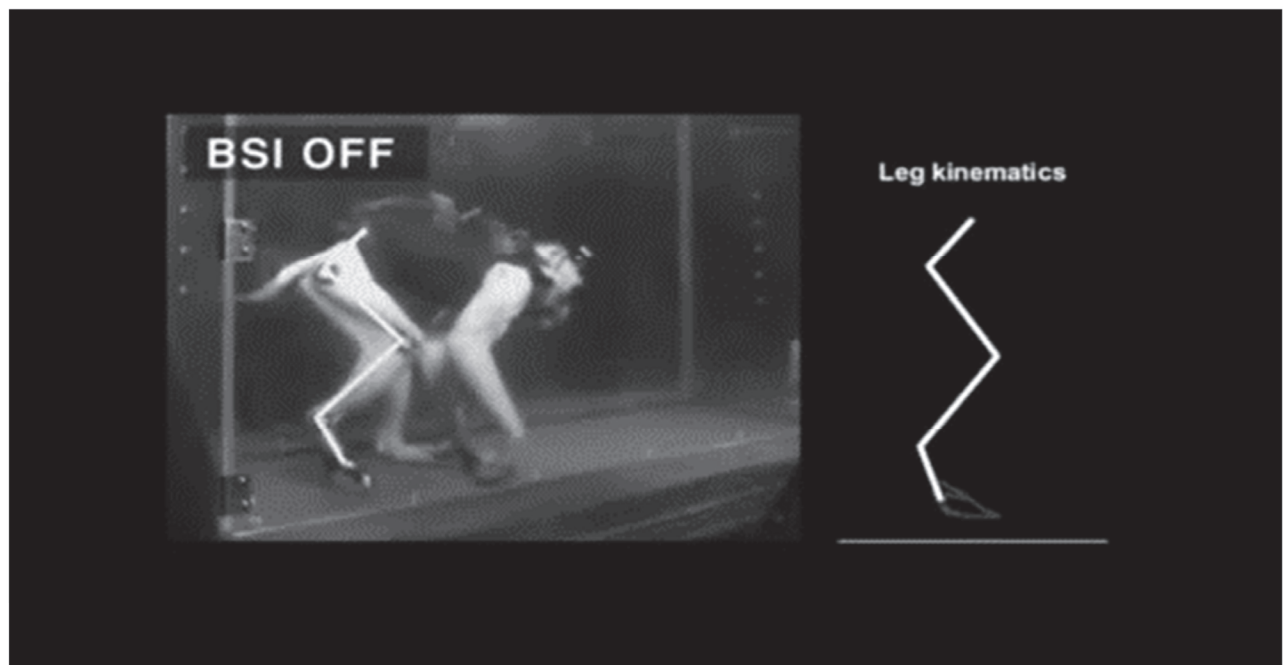


측정과 자극을 통한 장애 치료

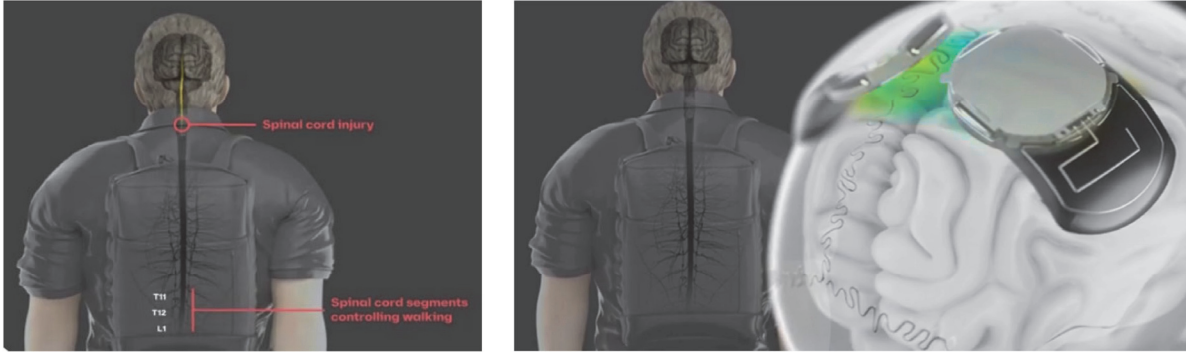
- 뇌 신호 감지
- ↓
- 신호 해독 및 전송
- ↓
- 척수 자극
- ↓
- 움직임 생성



Nature 539, 284 (2016)



척수 손상 환자 치료



- 자연스러운 보행 회복: 그는 BCI 시스템을 통해 자신의 생각만으로 다리 움직임을 제어하여 일어선고, 걷고, 심지어 계단을 오르는데 성공
- 무선 연결: 모든 시스템이 무선으로 작동하기 때문에, 환자는 실험실을 벗어나 독립적으로 움직임 실현.

Nature 618, 126 (2023)

맺음말

“인간의 삶의 질 향상 및 국가 성장 동력”



주제발표 4

뇌 인터페이스 지능형 저전력 집적회로 시스템

김 철 KAIST 바이오및뇌공학과 교수

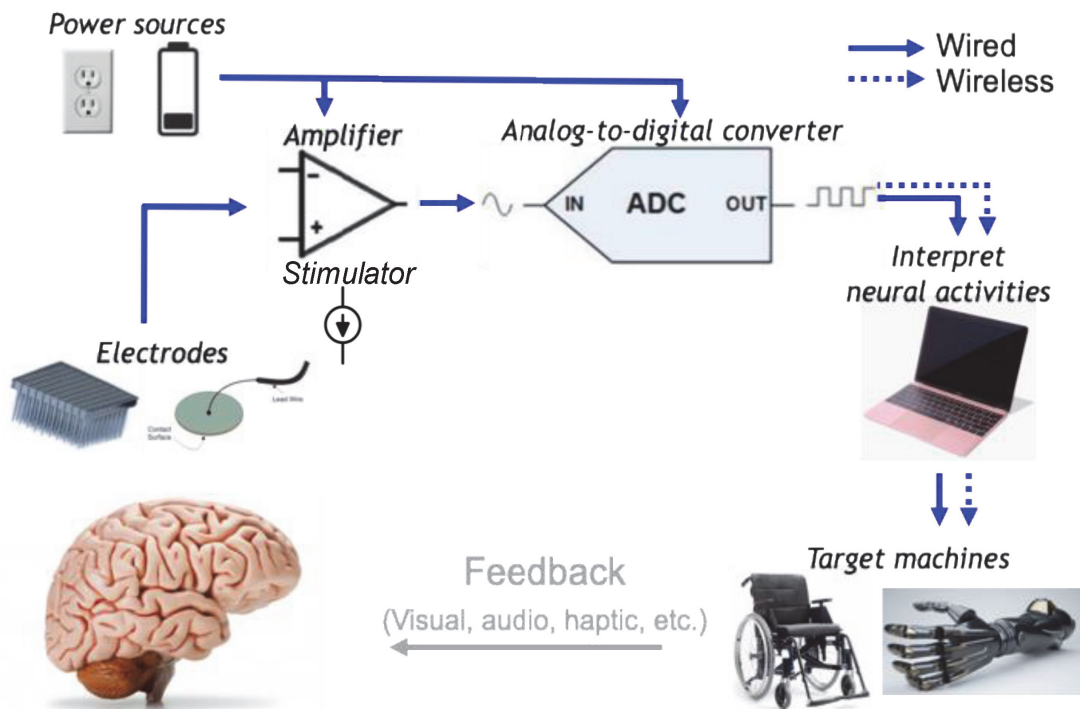


한림원탁토론회 뇌와 인공지능의 미래 연결 뇌 인터페이스 지능형 저전력 집적회로 시스템

BEEE Biomedical Energy-Efficient
Electronics Laboratory



뇌 인터페이스를 위한 주요 구성



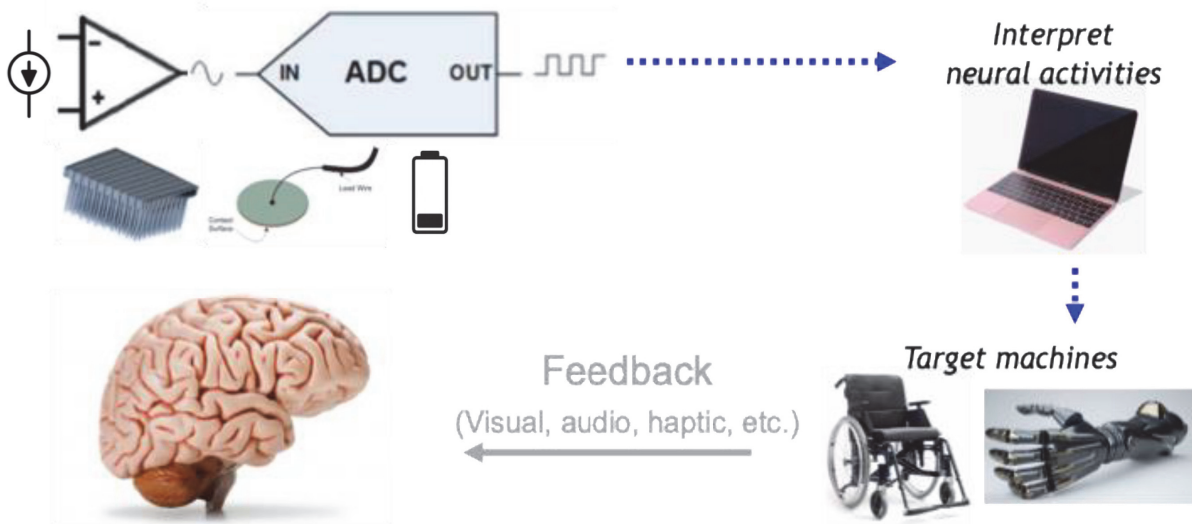
BEEE Biomedical Energy-Efficient
Electronics Laboratory

KAIST

무선 뇌 인터페이스를 위한 주요 구성

.....> Wireless

*Battery-operated (or power autonomous)
integrated neural recording*



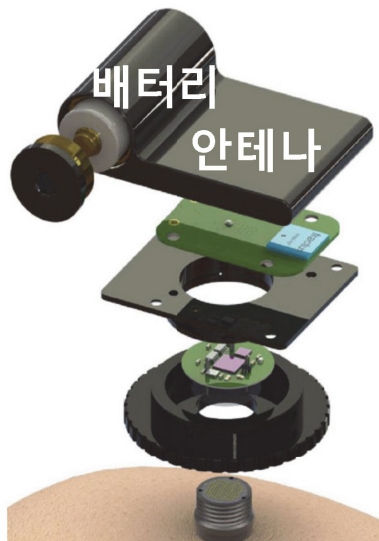
BEEE Biomedical Energy-Efficient
Electronics Laboratory

KAIST

무선 뇌 인터페이스



A participant in the BrainGate clinical trial uses wireless transmitters that replace the cables normally used to transmit signals from sensors inside the brain. Credit: Braingate.org



The original wireless device was developed in the lab of Brown's Arto Nurmikko.

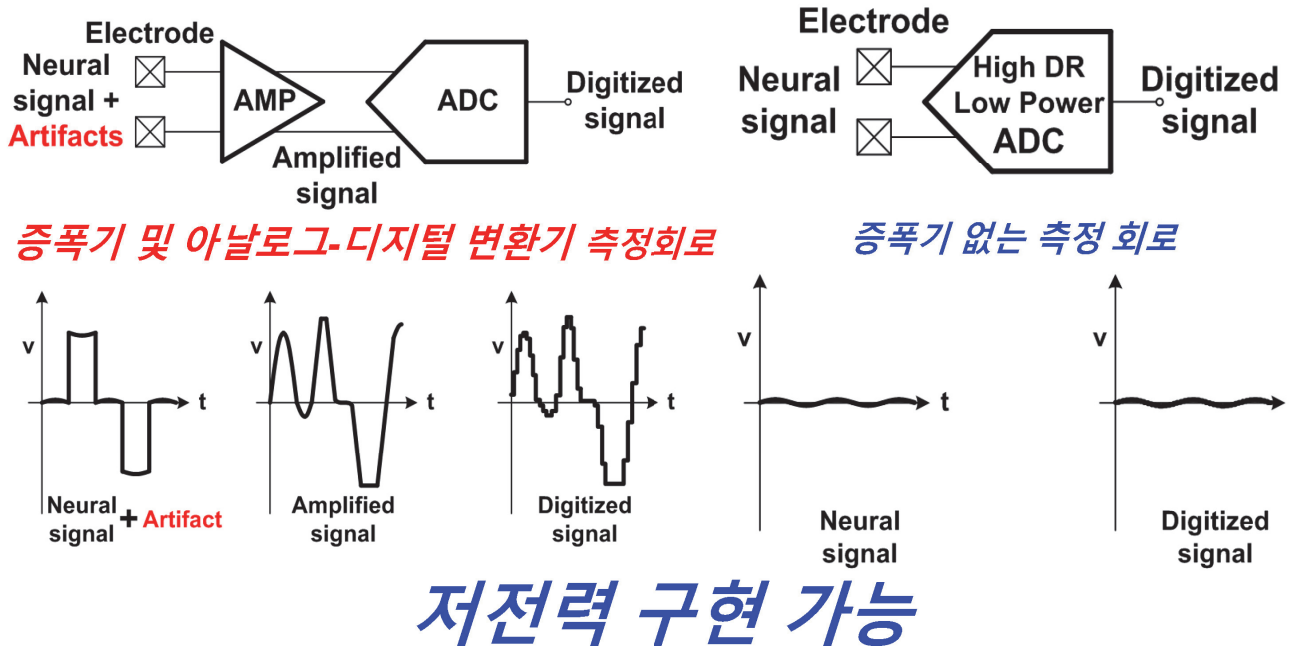
외부 노출
작은 사이즈의 배터리
저전력 집적회로

BEEE Biomedical Energy-Efficient
Electronics Laboratory

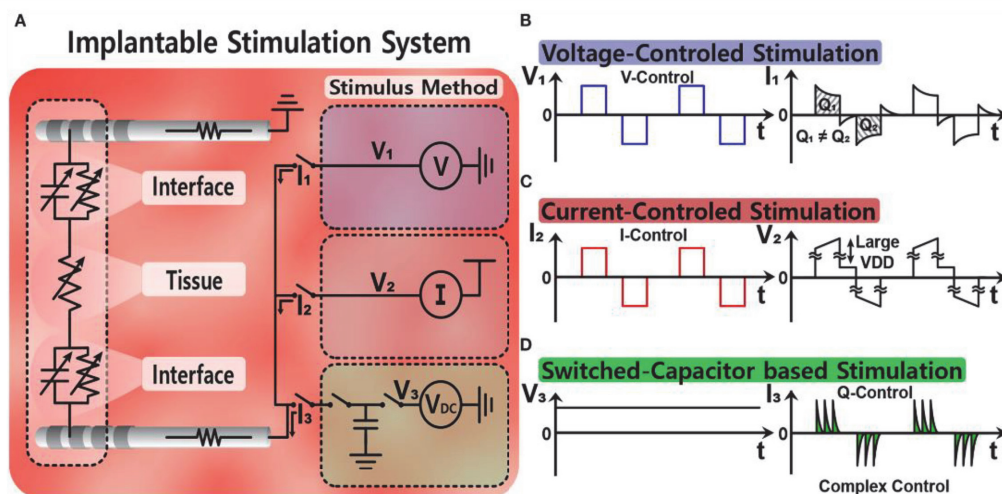
J. D. Simeral et al., IEEE TBME 2021

KAIST

뇌 신호 측정 회로



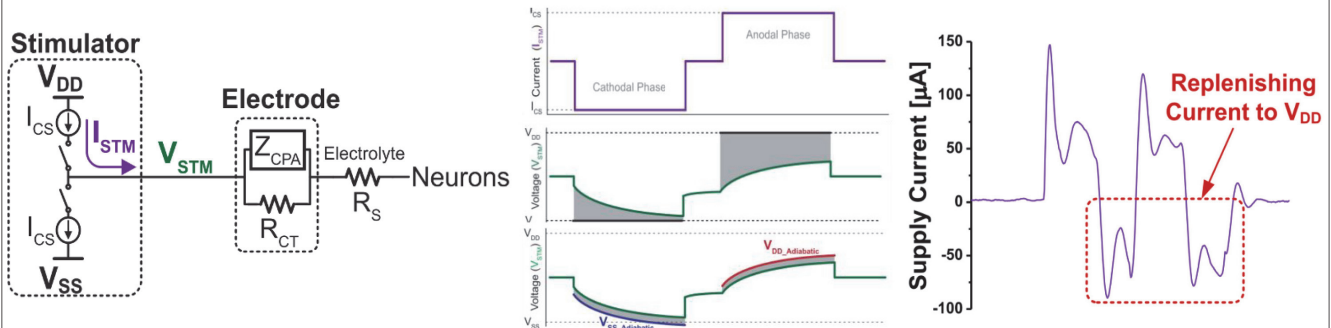
뇌 자극 회로



전기 자극 회로 종류

- ☐ 전압 컨트롤 자극
- ☐ 전류 컨트롤 자극 → 안전도 측면에 유리
- ☐ 차지 컨트롤 자극

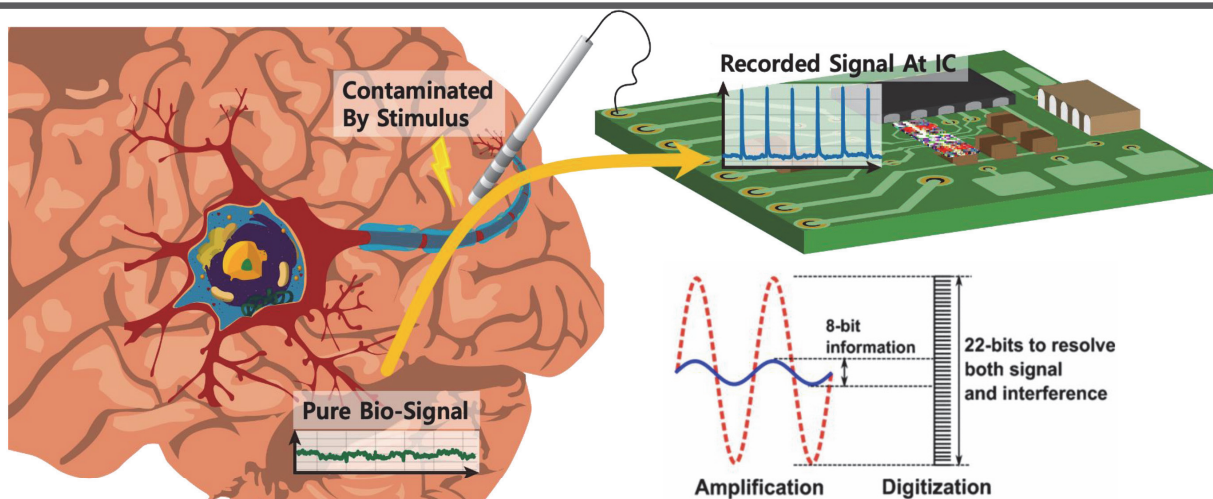
뇌 자극 회로



전기 자극: 뇌 인터페이스 시스템 중 가장 높은 피크전력 소모

- 전류 컨트롤 자극: 에너지 효율 나쁨
- ✓ 적응형 전원전압 반도체 회로 설계로 이론적 100% 에너지 효율을 가지는 전류 컨트롤 전기자극 회로 구현 가능

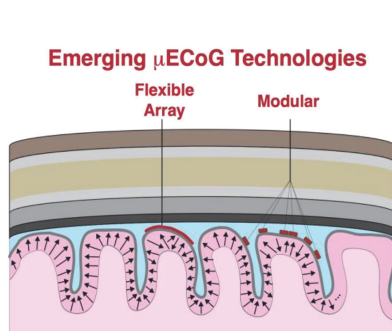
온 디바이스 프로세싱: 전기자극잡음 실시간 제거



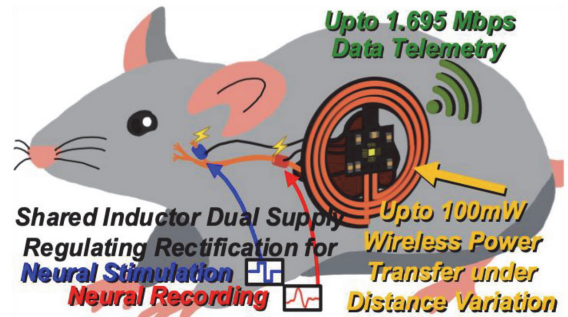
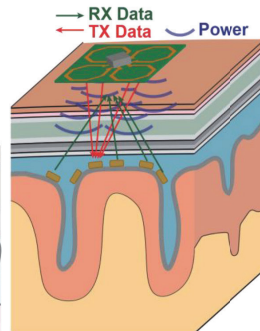
뇌 신호 측정과 전기 자극 동시 구현

- 미세한 뇌신호에 매우 큰 가짜 신호가 만들어짐. 미세한 뇌신호+큰 가짜신호 모두 외부 전송 후 외부 컴퓨팅 기기에서 큰 가짜 신호 분리 제거
- 필요 이상의 높은 데이터 전송률 요구함 → 전력소모
- 데이터 전송 전 가짜 신호 제거 요망됨 → 온 디바이스 프로세싱

배터리 없는 뇌 인터페이스 기기 구현

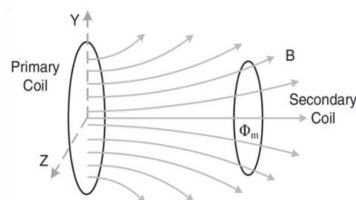


뇌 인터페이스 시스템

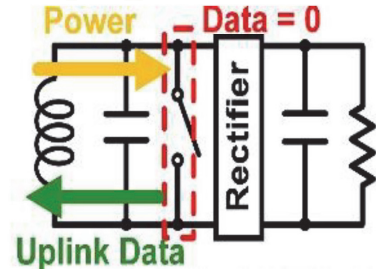
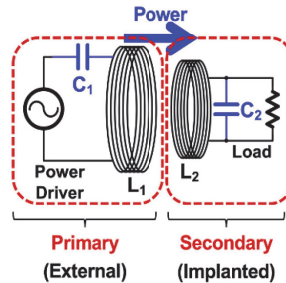


전자약

배터리 제거 이식기기 구현? → 무선전력전송

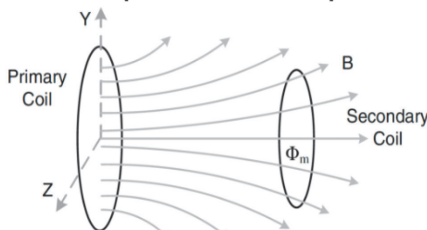


패러데이 법칙



배터리 없는 뇌 인터페이스 기기 구현

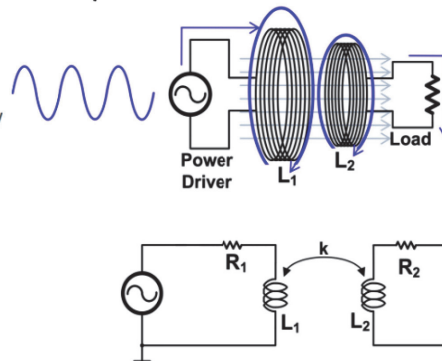
- Principle of wireless power delivery



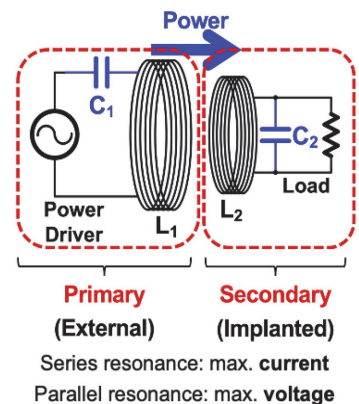
Faraday's law of induction

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_m}{dt}, \quad \Phi_m = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}$$

Theory



Circuit implementation



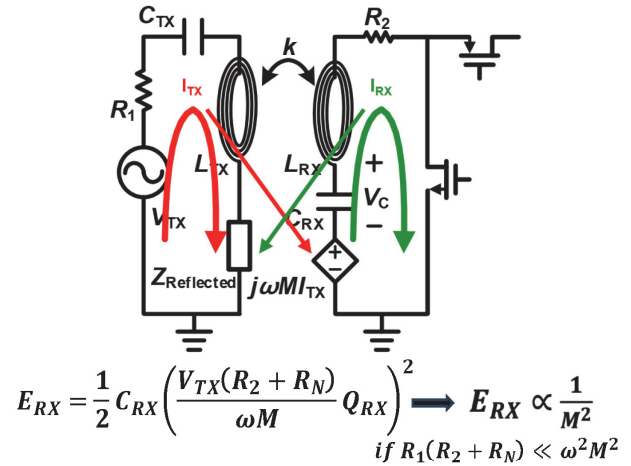
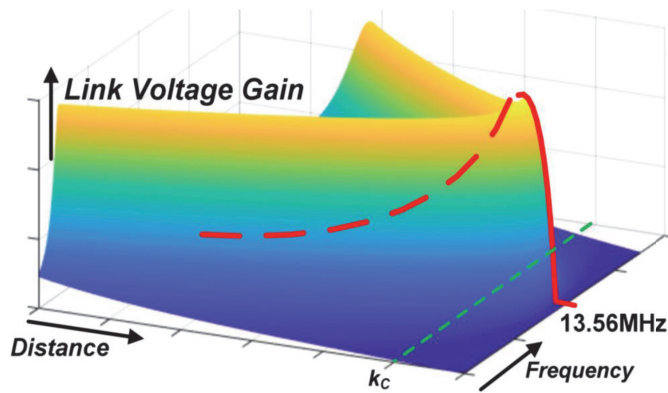
Resonance

전력 수신 안테나 크기: 지금 수 cm 내외

일반적인 전력 송신 거리: 약 1 cm 내외

전력 송신 거리 확장 필요 → 거리 변화에 둔감한 기술 요구

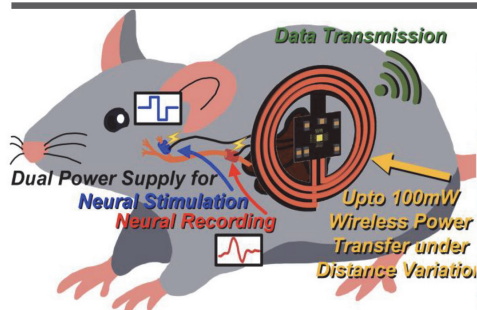
배터리 없는 뇌 인터페이스 기기 구현



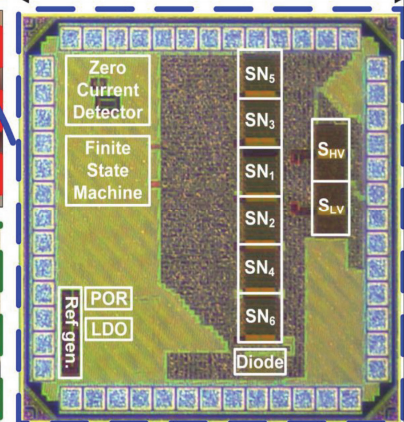
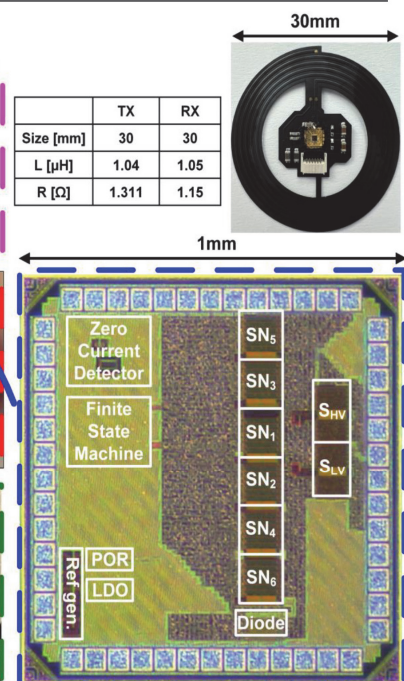
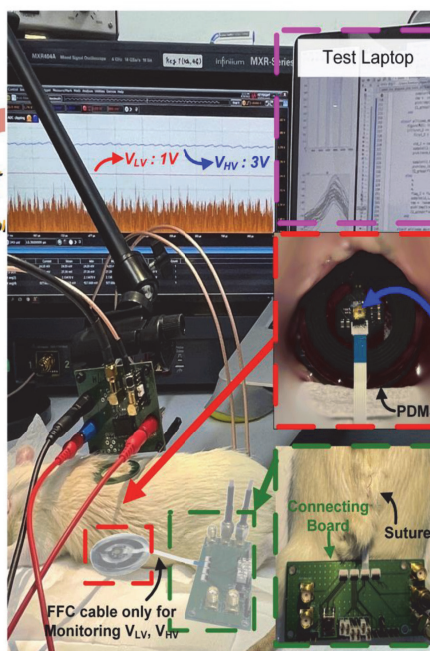
직렬 공진 활용 시 매우 재밌는 현상 발견됨

- 거리가 멀수록 수신되는 전압이 더 커짐
 - 이는 두 안테나 간의 간섭 현상이 원인임
- 직렬 공진 시 발생하는 현상을 활용한 거리 변화 둔감 전력 전송

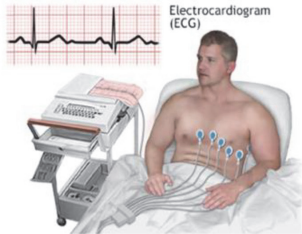
배터리 없는 뇌 인터페이스 기기 구현



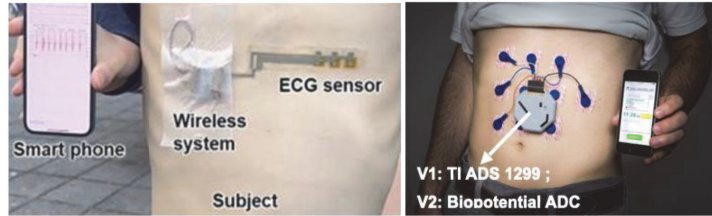
- ✓ Flexible Printed Circuit Board
- ✓ PDMS Bioencapsulated System
- ✓ FFC only for Waveform Monitoring



온 디바이스 프로세싱: 웨어러블 기기

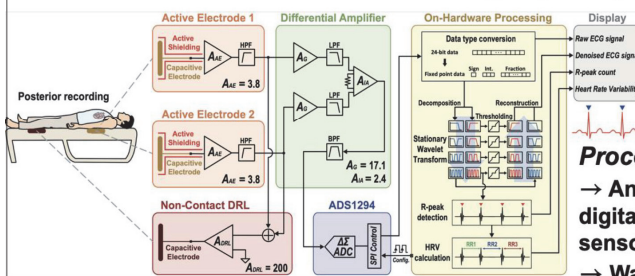


Wired ECG at hospital



Wearable ECG device

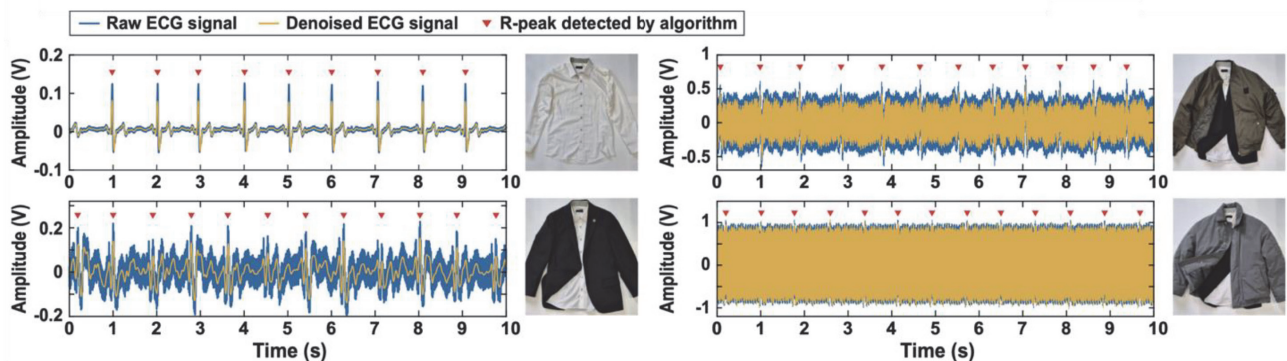
ECG-on-Things (EoT)



Processing in Sensor
→ Analog front-end + digital signal processing in sensors
→ Wavelet transform



온 디바이스 프로세싱: 웨어러블 기기

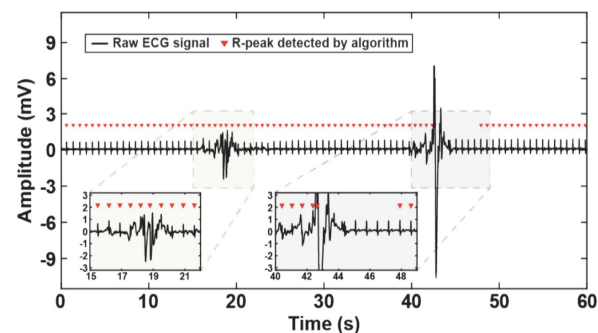


옷의 두께에 따라 측정 신호 품질 저하

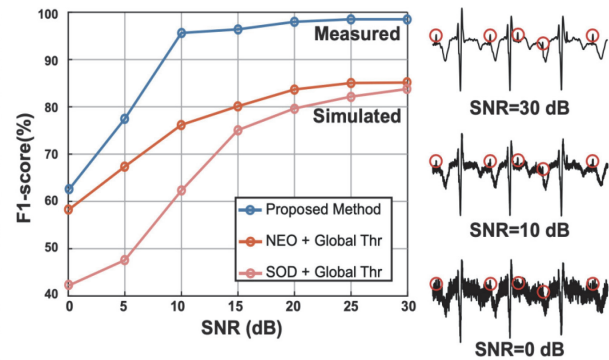
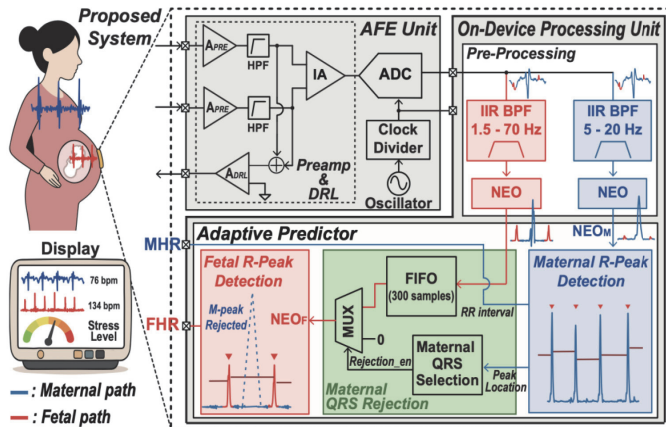
- 어느정도 두께에서는 온 디바이스 프로세싱으로 신호 품질 향상 가능
- 신호 품질이 나쁜 경우에도 심박변위도 측정 가능

움직임에 따른 신호측정

- 미세한 움직임에서는 측정 가능



온 디바이스 프로세싱: 웨어러블 기기



태아 심장 신호 측정 필요

- 초음파를 통한 측정
- 전기 신호를 활용한 측정

산모 심장 신호와 태아 심장 신호의 혼재

- 온 디바이스 프로세싱을 활용: 실시간 산모/태아 심장 신호 분리 가능

Thank You

1971

주제발표 5

이식 가능한 온 디바이스 AI

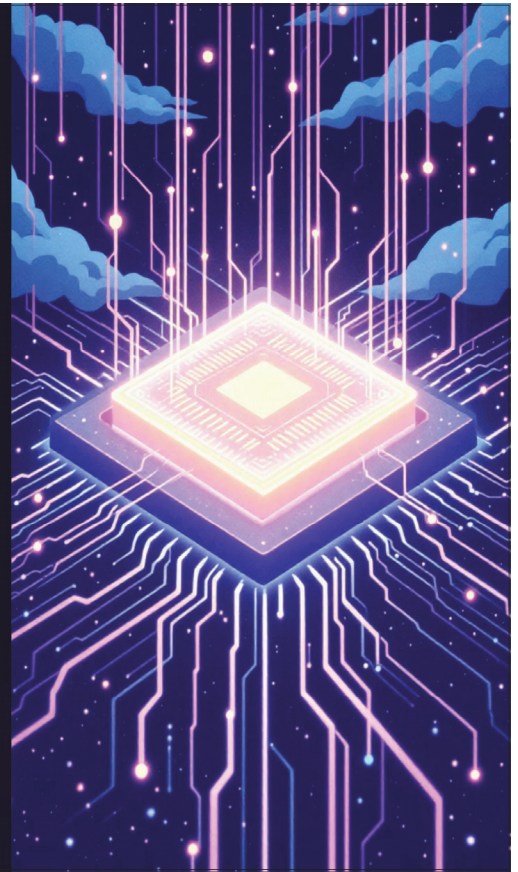
한재호 고려대학교 뇌공학과 주임교수



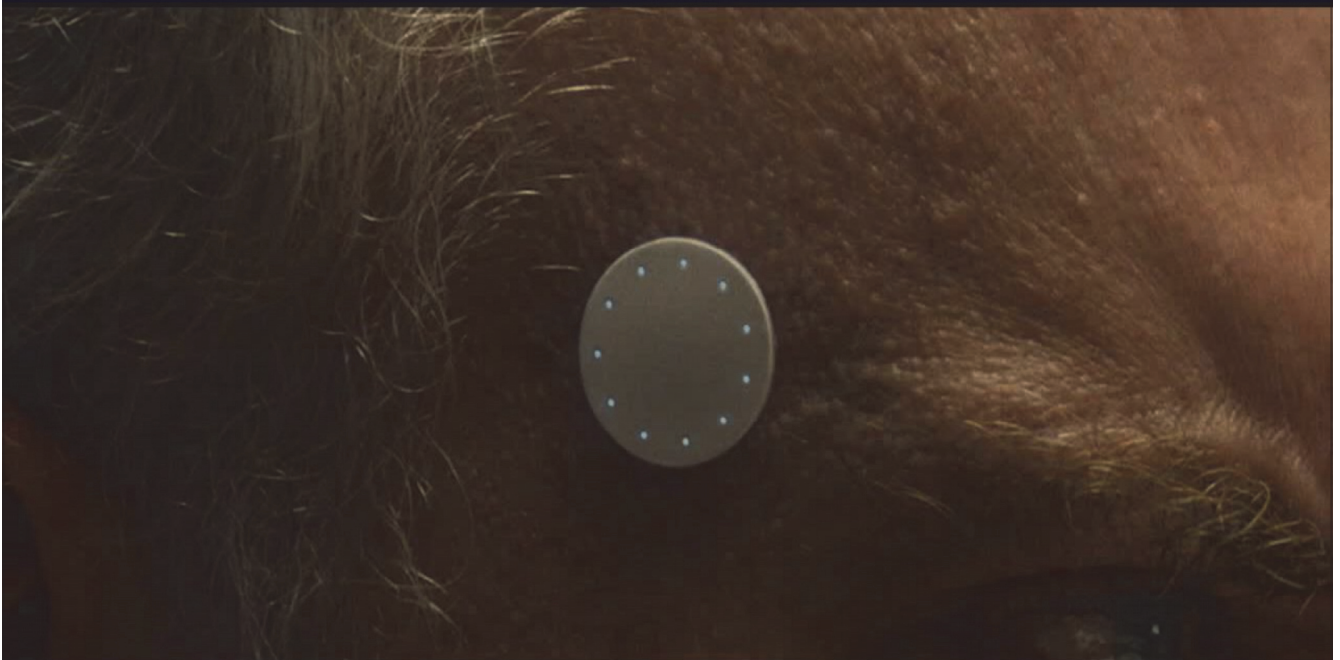
이식 가능한 온 디바이스 AI : 뇌 이식형 AI 칩 Brain Implantable AI Chip

한재호

고려대학교 뇌공학과 (겸 인공지능학과)



중계 제외



Black Mirror (Netflix)

뇌 이식형 AI 칩: 정의와 핵심 개념

정의

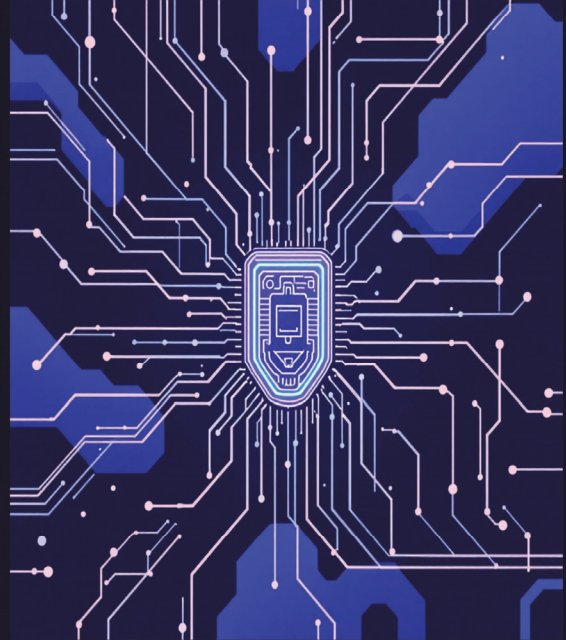
뇌-컴퓨터 인터페이스(BCI, Brain-Computer Interface) 기술의 한 형태로, 인공지능(AI) 기능을 통합한 **초소형 칩을 뇌에 직접 이식**하여 뇌 신호를 읽고 해석하며, 필요에 따라 뇌에 전기 신호를 전달하는 장치입니다.

핵심 기술

BCI + AI/머신러닝의 융합. **칩이 뇌 신호를 '학습'하고 '해석'**하여 외부 장치(컴퓨터, 로봇팔 등)를 제어하거나 뇌 기능을 보조하고 강화합니다.

목표

- 잃어버린 감각 및 운동 기능의 복원(치료적 접근)
- 인간의 인지 능력 강화(증강적 접근)
- 뇌와 디지털 세계의 직접적 연결



소개: 뇌 이식형 AI 칩이란 무엇인가?



뇌의 복잡성

우리의 뇌는 수십억 개의 신경 세포가 복잡하게 연결된 우주와 같습니다.
이 뇌가 **생각하고, 느끼고, 움직이게 하는 모든 신호를 디지털 언어로 읽을 수 있다면?**



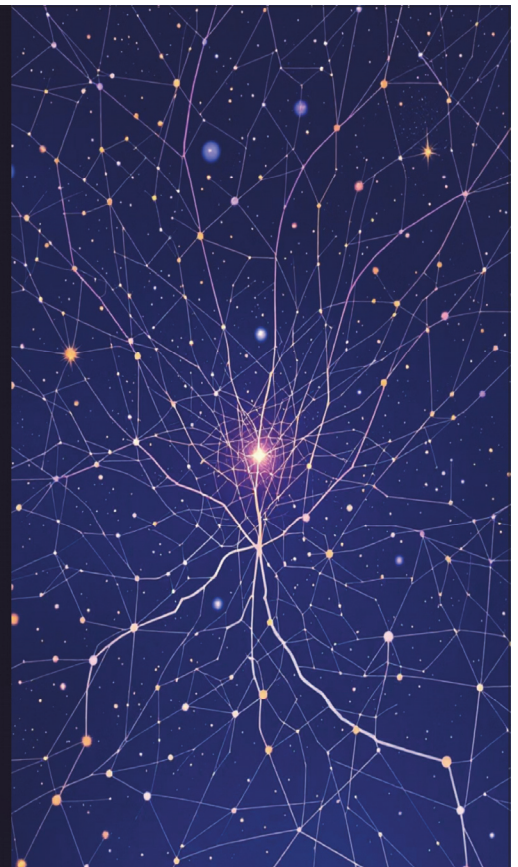
AI의 통합

인공지능(AI)의 지능을 가진 초소형 칩을 뇌에 직접 심어, **뇌와 컴퓨터가 직접 소통**하게 만듭니다. 이는 단순한 신호 기록을 넘어선 지능적 해석입니다.



양방향 통신

뇌에서 신호를 읽는 것뿐만 아니라, **거꾸로 뇌에 신호를 보내 우리의 삶을 변화**시킬 수 있는 상상을 현실로 만드는 혁신적 기술입니다.



작동 원리: 뇌의 언어를 디지털로 번역하다

뇌 이식형 AI 칩은 세 가지 핵심 단계를 통해 뇌와 기계의 소통을 가능하게 합니다.



1. 기록 (Recording)

칩의 미세 전극이 뉴런의 전기적 신호를 감지하고 기록합니다.
마치 뇌 속에서 일어나는 생각을 엿듣고 있는 것과 같습니다.



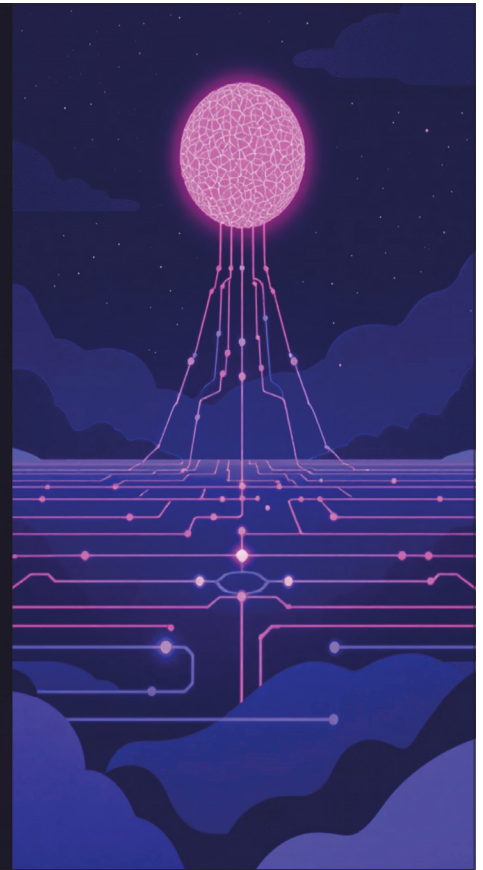
2. 해석 (Decoding)

내장된 **AI 칩이 대량의 뇌 신호 패턴을 분석**하고 특정 의도(예: 손을 움직이려는 생각)와 매칭합니다. 시가 뇌의 언어를 학습하는 과정입니다.



3. 출력 (Output)

해석된 신호를 외부 장치(컴퓨터, 로봇팔 등)로 전송하여 제어하거나, 뇌에 직접 자극 신호를 보내 마비된 기능을 복구합니다.



**뇌 이식형 AI 칩은
우리의 삶에 어떤 변화를
가져올 수 있을까?**





의료 응용: 잃어버린 기능을 되찾는 희망

마비 환자의 운동 기능 복구

루게릭병, 척수 손상 등으로 **사지가 마비된 환자들에게 새로운 희망**을 제공합니다. 생각만으로 컴퓨터 커서를 움직이고, 스마트폰을 조작하며, 로봇팔을 제어하여 스스로 물건을 집을 수 있게 됩니다.

신경 질환 치료

파킨슨병, 간질, 만성 통증, 우울증 등 특정 **뇌 영역의 비정상적인 전기 신호가 발생하는 질환에 대응**합니다. 이상 신호를 실시간으로 감지하고 정밀한 전기자극으로 교정하여 증상을 완화시킵니다.

감각 복원

실명 또는 청각 장애 환자를 위한 혁신적 솔루션입니다. 외부 카메라나 마이크에서 들어온 시각/청각 정보를 디지털 신호로 변환하여 뇌에 직접 전달함으로써, 세상을 다시 보고 들을 수 있는 잠재력을 제공합니다.

인간 증강: 인간 능력의 확장

치료를 넘어선 미래 지향적 응용 분야로, **인간의 한계를 뛰어넘는 가능성**을 제시합니다.



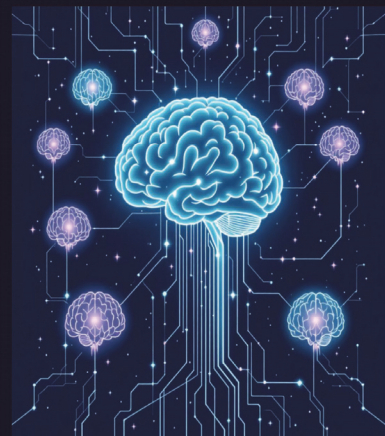
학습 및 집중력 증강

뇌파를 측정하여 집중력과 관련된 뇌파 패턴(예: 알파파, 세타파)을 실시간으로 피드백하거나 자극하여, 사용자가 스스로 인지 상태를 조절하도록 돕고 학습 능력을 향상시킵니다.



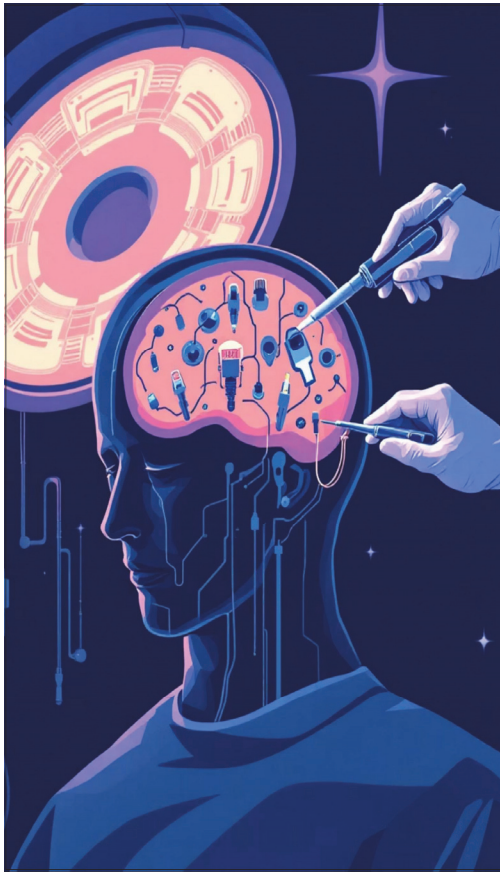
기억력/인지 능력 강화

SF 영화처럼 기억의 암호와 백업이 가능해질 수 있습니다. 필요할 때 기억을 검색하는 것도 이론적으로는 가능합니다. 현재는 이론적 수준이지만, 활발한 윤리적 논의가 진행 중입니다.



텔레파시/초고속 통신

생각만으로 직접 디지털 기기와 통신하고, 다른 사람의 뇌 정보와 연결하여 언어 없이 의사를 교환하는 디지털 텔레파시의 가능성이 열립니다.



기술적 한계: 극복해야 할 도전 과제

1 침습성 문제

뇌에 직접 칩을 심는 과정의 위험성이 존재합니다. 뇌 수술 자체의 위험과 이식 후 염증 및 감염 발생 가능성, 칩 주변 조직의 반응 등 안정성 문제가 해결되어야 합니다.

2 내구성 및 전력 공급

칩의 장기적인 작동 안정성과 배터리 충전 또는 교체 문제가 중요한 과제입니다. 수명을 연장하고 효율적인 충전 방식을 개발해야 합니다.

3 신호 해독의 정확성

뇌의 생각은 매우 복잡하고 미묘합니다. 복잡한 의도까지 정확하게 파악하고, 모든 뇌 신호를 오류 없이 해석하는 것은 현재 AI 기술의 한계를 나타냅니다.

윤리적 과제: 당신의 생각은 안전한가?

1 사생활 및 데이터 주권

가장 은밀한 영역인 생각과 기억의 데이터화가 이루어집니다. 뇌 신호의 해킹 및 오용 위험이 존재하며, '정신적 사생활(Mental Privacy)' 침해 논란과 위험이 심각한 윤리적 이슈로 대두됩니다.

2 접근성 및 불평등

부유한 소수만이 인지 능력 강화의 혜택을 받을 수 있습니다. 고비용으로 인한 계층 간 인지 능력 격차가 심화될 위험이 있으며, 새로운 형태의 사회적 불평등을 야기할 수 있습니다.

3 인간 정체성의 변화

'나는 누구인가?'라는 근본적 질문이 제기됩니다. 생각과 감정이 기계의 영향을 받게 될 때, 기계와 뇌의 융합이 인간의 정의, 정체성, 그리고 자율성에 어떤 영향을 미치는지 깊이 있는 논의가 필요합니다.





BCI 이식형 AI 칩의 한계: AI 자체의 도전 과제

AI의 도전: 뇌의 언어를 이해하는 어려움

뇌 신호의 복잡성과 학습 데이터 제약

- 데이터의 질적 문제

뇌 신호는 매우 약하고 주변의 잡음(Noise) 비율이 높아, AI가 순수한 의도 신호만 정확하게 분리하여 학습하기 어렵습니다.

- 개인별 편차

사람마다 뇌 신호 패턴이 다르기 때문에, 한 사람에게 학습된 AI 모델을 다른 사람에게 적용하기 어려우며 개인 맞춤형 훈련의 부담이 큼니다.

- 학습 데이터 부족

이식 수술의 위험성 때문에 대규모의 고품질 뇌 신호 데이터 확보가 어려워, AI의 심층 학습 능력이 제한됩니다.

뇌신호의 비정형성과 장기적 불안정성

- 신호 드리프트(Drift)

칩 이식 후 시간이 지나면 뇌 조직의 반응으로 신호 패턴이 변질되어, 이전에 학습된 AI 모델이 무용지물이 되고 지속적인 재학습이 필요합니다.

- 실시간 정확도

BCI는 사용자의 의도 발생 즉시 반응해야 하지만, 실시간 처리와 높은 정확도를 동시에 유지하는 것은 큰 기술적 난제입니다.

- 비선형적 해석

뇌 활동은 예측 불가능하고 비선형적이어서, AI 모델이 복잡하거나 미묘한 의도에 대한 일관된 패턴을 해석하는 데 한계가 있습니다.



인지적 모호성과 투명성 부족

"AI가 뇌를 읽는 것과 뇌를 이해하는 것은 전혀 다른 문제입니다. 패턴 인식은 가능하지만, **의미의 해석은 여전히 인간의 영역**입니다."

해석 가능성의 딜레마

높은 성능의 복잡한 모델은 해석하기 어렵고, 해석 가능한 단순한 모델은 성능이 떨어집니다. 의료 분야에서는 이 둘 사이의 균형이 필수적입니다.

맥락 의존성

동일한 뇌 신호도 상황, 맥락, 개인의 상태에 따라 다른 의미를 가질 수 있습니다. AI는 이러한 맥락적 뉘앙스를 충분히 반영하지 못할 수 있습니다.

윤리적 책임

AI의 결정이 환자의 삶에 직접적인 영향을 미칠 때, 누가 책임을 져야 하는가? 개발자, 의료진, 아니면 AI 자체인가? 명확한 윤리적 프레임워크가 필요합니다.



타인의 지식을 내게 이식: BCI의 궁극적 목표와 한계



타인의 지식을 내게 이식

BCI의 궁극적 목표

BCI 기술의 가장 야심찬 비전 중 하나는 **타인의 지식, 기술, 경험을 직접 뇌에 이식**하는 것입니다. 마치 영화 '매트릭스'처럼 헬리콥터 조종법을 몇 초 만에 '다운로드'하거나, 전문가의 수십 년 경험을 순식간에 획득하는 미래를 상상해볼 수 있습니다.

1단계: 신경 해독

전문의가의 뇌 활동을 기록하고, 특정 지식이나 기술과 관련된 신경 패턴을 추출합니다. 이는 '신경 코드'를 읽는 과정입니다.

2단계: 번역 및 표준화

개인 간 뇌 구조와 신경 활동의 차이를 고려하여, 추출된 신경 패턴을 범용적으로 번역하고 표준화합니다.

3단계: 신경 작성

표준화된 신경 패턴을 수신자의 뇌에 맞게 재변환하고, BCI를 통해 적절한 뇌 영역을 자극하여 새로운 신경 연결을 형성합니다.

이러한 비전은 교육 혁명, 장애 극복, 인간 능력의 증강이라는 측면에서 매력적이지만, 현실적으로는 넘기 어려운 여러 장벽이 존재합니다.

현실적 한계: 넘기 힘든 벽

지식 이식이 어려운 근본적인 이유

1

신경 코드의 개인차

지식은 뇌에 '파일'처럼 저장되지 않습니다. 대신 광범위한 신경망에 분산되어 있으며, **각 개인의 경험, 유전자, 발달 과정에 따라 고유한 방식으로 인코딩**됩니다. 한 사람의 '피아노 연주' 신경 패턴을 다른 사람에게 그대로 복사하는 것은 마치 한국어로 쓰인 소프트웨어를 일본어 운영체제에 직접 설치하려는 것과 같습니다.

2

맥락과 신체화된 인지

진정한 지식은 단순한 정보 이상입니다. 그것은 맥락, 감각-운동 경험, 정서적 연관과 깊이 얽혀 있습니다. 예를 들어, '자전거 타기'는 단순히 근육 제어 신호의 시퀀스가 아니라, 균형 감각, 시각-운동 조정, 수많은 시행착오를 통한 암묵적 학습의 결과입니다. 이러한 **신체화된(embodied) 지식을 순수한 신경 신호로 추출하고 이식하는 것은 현재 과학의 이해 범위를 넘어섭니다.**

3

신경가소성의 시간적 제약

뇌가 새로운 지식을 '학습'하려면 시냅스 강도의 변화, 새로운 신경 연결의 형성, 심지어 **새로운 뉴런의 생성**이 필요할 수 있습니다. 이러한 구조적 변화는 본질적으로 시간이 걸리며, 몇 초 만에 '다운로드'될 수 없습니다. 무리하게 빠른 신경 변화를 유도하려는 시도는 신경 손상이나 기존 기억의 왜곡을 초래할 위험이 있습니다.

4

기술적 복잡도

의미 있는 지식 이식을 위해서는 수백만 개 이상의 뉴런을 동시에 정밀하게 자극해야 할 것입니다. 현재의 BCI는 기껏해야 수천 개의 전극을 사용하며, 이는 필요한 규모에 훨씬 못 미칩니다. 더욱이 각 뉴런을 개별적으로 타겟팅하고 조절하는 것은 엄청난 계산 복잡도와 에너지를 요구합니다.

윤리적/철학적 딜레마

개인의 정체성과 사회 구조의 위협

정체성의 위협

우리의 정체성은 우리가 평생 축적한 경험, 학습, 기억의 총체입니다. 만약 타인의 지식과 기억을 이식할 수 있다면, '나'는 누구인가? 이식된 지식은 진정 '나의 것'인가, 아니면 빌려온 것인가? **지식 이식은 자아의 경계를 모호하게 만들고, 개인의 고유성과 진정성에 대한 근본적 질문을 제기합니다.**

불평등의 심화

지식 이식 기술이 상용화된다면, 그것은 부유층만이 접근할 수 있는 특권이 될 가능성이 높습니다. 이는 **'인지적 불평등'이라는 새로운 형태의 계층화를 초래**할 수 있습니다. 증강된 엘리트와 '자연적' 인간 사이의 격차가 벌어지면, 사회적 이동성이 저하되고 기존의 불평등 구조가 고착화될 위험이 있습니다.

노력과 성취의 가치 절하

지식과 기술이 순식간에 획득될 수 있다면, 학습 과정 자체의 가치는 무엇이 될까요? **노력, 인내, 실패를 통한 성장이라는 인간 경험의 핵심적 측면이 평가절하**될 수 있습니다. 또한 전문가의 장기간 훈련과 경험의 가치가 하락하면, 교육 시스템과 전문직 구조 전체가 재편될 수밖에 없습니다.

동의와 데이터 권리

누군가의 지식을 추출하고 이식하는 과정에서 '신경 데이터'의 소유권과 사용권리는 누구에게 있을까요? 지식 제공자는 충분한 정보를 바탕으로 동의할 수 있을까요? **이식된 지식에 원제공자의 개인적 기억이나 정서가 포함된다면, 프라이버시 침해의 우려가 있습니다.** 명확한 법적, 윤리적 프레임워크가 부재한 상황에서 이러한 기술의 발전은 심각한 윤리적 위반을 초래할 수 있습니다.

결론 및 미래 전망

현재의 역할

뇌 이식형 AI 칩은 현재까지 마비 환자의 의사소통 회복, 사지 마비 환자의 로봇 팔 제어, 파킨슨병과 같은 신경 질환의 증상 완화 등 의료 분야에서 혁신적인 잠재력을 보여주고 있습니다. 이러한 **치료적 응용은 수많은 환자들에게 삶의 질 향상과 독립성 회복이라는 실질적 혜택을 제공**하고 있습니다.

미래의 도전

기술이 발전할수록 '뇌 증강'과 '치료'의 경계는 점점 모호해질 것입니다. 장애를 치료하는 것과 정상 기능을 넘어서는 능력을 추구하는 것 사이의 선을 어디에 그을 것인가는 사회적 합의를 필요로 하는 어려운 질문입니다.

뇌 데이터의 보호와 오용 방지

신경 데이터는 가장 사적인 정보입니다. 강력한 프라이버시 보호 체계가 필수적입니다.

기술의 공정한 접근

BCI 기술이 특권층만의 것이 되지 않도록, 의료 보험 적용과 공공 지원이 필요합니다.

법적·윤리적 규제

기술 발전 속도에 맞춰 국제적 기준과 규제 프레임워크가 마련되어야 합니다.

- **핵심 메시지:** 뇌 이식형 AI 칩은 인류의 질병 정복에 기여하는 강력한 도구이지만, 그 힘만큼이나 신중한 접근이 필요합니다. 기술 자체보다 그것을 둘러싼 사회적, 윤리적, 법적 논의가 더욱 중요합니다.

뇌와 AI의 미래

뇌와 AI를 직접 연결하는 것은 가능합니다. 우리는 이미 그 여정을 시작했습니다. 하지만 정말 **중요한 질문은 '할 수 있는가'가 아니라 '어떻게 해야 하는가'**입니다.

기술의 방향

BCI는 치료에서 증강으로, 단방향에서 양방향으로, 침습적에서 비침습적으로 진화할 것입니다. 그러나 각 단계마다 새로운 윤리적 질문이 등장합니다.

사회적 합의

과학자, 의료진, 철학자, 법률가, 그리고 일반 시민이 함께 대화해야 합니다. 기술은 중립적이지 않으며, 우리의 가치를 반영합니다.

인간성 보존

궁극적으로 우리가 지켜야 할 것은 기술 발전 그 자체가 아니라, 인간의 존엄성, 자율성, 그리고 우리를 인간답게 만드는 경험의 가치입니다.

뇌-컴퓨터 인터페이스는 인류에게 전례 없는 가능성을 열어주지만, 동시에 우리가 누구인지, 무엇이 되고 싶은지에 대한 깊은 성찰을 요구합니다.

우리의 선택이 미래를 결정할 것입니다.



토 론

기술 활용 가능성과 인간 삶에 미칠 영향

이은정 한국과학기자협회 회장
주제발표자 5인



토 론

기술 활용 가능성과 인간 삶에 미칠 영향

이은정 한국과학기자협회 회장

1. BCI 기술의 발전 현황

뇌-기계 인터페이스(BCI)는 뇌의 신경 신호를 전기적 신호로 변환해 외부 기계 장치나 컴퓨터 시스템과 상호작용 할 수 있도록 하는 기술이다. 뇌-컴퓨터 인터페이스(BCI) 기술이 공상과학에서 현실로 빠르게 전환하고 있다. 일론 머스크의 뉴럴링크가 공개한 동영상이 유튜브에서 상당한 조회 수를 기록하며 인기를 끌고 있다.

2021년 뉴럴링크는 원숭이의 뇌에 칩을 이식해 원숭이가 생각만으로 탁구 게임을 하는 모습을 시연한 바 있으며 2025년 6월에는 사용자들이 뇌와 연결된 컴퓨터로 1인칭 슈팅 게임을 즐기는 모습을 공개했다. 국제 학술지 네이처에는 뇌에 아스피린 알약 크기의 칩 2개를 이식한 사지마비 환자가 알파벳을 분당 90자까지 쓸 수 있다는 연구 결과가 실리기도 했다.

2. 대중의 주요 관심사

대중의 관심은 크게 두 가지로 볼 수 있다. 첫 번째는 “실제로 이 기술이 가능한가?”이며 두 번째는 “이 기술이 사용될 경우 인간에게 미칠 영향은 무엇인가?”이다. 두 가지 관심 모두 미래에 대한 청사진과 두려움을 동시에 내포하고 있다.

(1) “이 기술이 실제로 가능한가?”

첫 번째 관심, 실현 가능성과 관련해서 대중들은 BCI 기술에 대해 주로 언론보도를 통해 접하고 있고, 구체적인 연구 내용, 작동 매커니즘 등은 정확히 이해하지 못하고 있다. 그러므로 생각대로 이루어지는 이 꿈의 기술이 가능한지에 대해서 가장 궁금해하고 있다.

아마도 BCI 기술에 대한 많은 정보가 해외 연구진에서 들어오고 있으며, 해외 언론보도 내용이 다시 번역되어 보도되면서 중간 과정이 생략된 상태로 미래 공상과학영화 같은 장면만 확대 재생산되고 있기 때문이 아닐까 한다. 이번 토론회에서 국내 전문가들이 발표한 내용들을 보다 대중 친화적으로 알리는 방법을 강구 할

필요가 있다. 이번 주제발표 내용을 보면 BCI 기술의 현재와 미래에 대해 현 상황을 잘 설명하고 있다. 현재 기술로는 정보 추출(디코딩)과 정보 주입(인코딩)이 분리되어 있는데 미래에 인코딩과 디코딩을 통합하기까지 앞으로 어떤 기술이 더 개발되어야 하는지, 시간은 얼마나 걸릴지에 대해 대중은 많은 궁금증을 가지고 있을 것이다.

이 같은 정보 부족에 기인하겠지만 일부 대중들은 ‘아직 불완전한 기술인데 과학자들이 실현 가능성을 부풀려 얘기하는 것이 아닌가?’ 하는 의문과 함께 이번 토론회의 발표 중 하나인 ‘뇌 연결 기술의 실제 적용과 미래’에 대해 많은 관심이 있을 것으로 보인다. 주제발표에서 뇌 질환을 진단하는데 BCI 기술을 이용할 수 있고, 나아가 BCI 기술로 뇌질환을 치료할 수 있는 가능성에 대해 자세히 설명해주고 있으며, 뇌질환 진단과 치료법 개발에서 전세계의 동향과 한국 산업계의 상황을 알릴 필요가 있다.

(2) “이 기술이 인간 생활에 어떤 영향을 미칠까?”

두 번째는 뇌 인터페이스 기술이 인간 생활에 미칠 영향이다. 기술의 내용을 보면 신경마비 환자를 돕는 재활 기술로 활용될 것으로 기대된다. 하지만 신기술에 대한 두려움도 있다. 인간의 뇌 속에 넣는 디바이스가 안전할지, 뇌 속에서 오래 기능 할 수 있을지 의문이 든다. 주제발표 내용 중 ‘이식 가능한 온 디바이스 AI’에도 대중은 큰 관심이 있다.

주제발표 내용 가운데 ‘배터리 없는 뇌 인터페이스 기기 구현’이 궁극적으로 추구하는 바라고 생각된다. 전력송신 거리를 확장하고 직렬 공전을 활용하는 기술에 대해 좀 더 자세히 대중에게 설명할 필요가 있다.

3. 윤리적·철학적 쟁점

BCI 기술과 뇌 이식형 AI칩 기술 개발은 윤리적, 철학적 딜레마를 가져올 수밖에 없다. 인간의 정체성이 무엇인지에 대한 의문과 노력과 성취에 대한 가치 절하가 우리 사회를 위협할 것이라는 예측에 동의한다. 이러한 현상은 새로운 과학기술이 등장할 때마다 인간 사회가 겪게 되는 반응이다. 처음에는 신기술에 대한 호기심이 생기고, 이후 부작용이 인지되면서 기술 발전에 대해 우려가 팽배한다. 이후 이런 논의들이 안정화되고 기술에 적응하게 된다(일부 기술은 우려 때문에 사라지기도 한다). 기술이 발전하는 초기부터 기술 개발 상황에 대해 우리 사회와 공유하고 과학계 스스로 부작용과 우려에 대해서도 투명하게 공개하는 자세를 가져야 할 것이다.

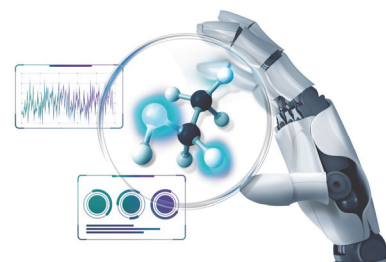
4. 사회적 소통과 제도적 준비의 필요성

대중들이 가질 수 있는 또 하나의 우려 중 하나는 ‘나의 머릿속에 들어있는 데이터’, 즉 나의 생각이 해킹되거나 유출될 가능성이다. 인간의 뇌, 인간의 생각은 개인의 정체성과 직접 연결되는 은밀한 영역이다. 의사가 나의 콩팥이나 대장을 수술하는 것과는 차원이 다른 이슈다. 주제발표 내용을 통해 새롭게 인지한 부분은 ‘인

간의 뇌에 들어있는 정보에 대한 권리'이다. 콘텐츠에 대한 저작권은 콘텐츠가 발표된 시점과 창의성 등을 근거로 저작권을 등록할 수 있지만 머릿속 생각에 대한 저작권은 어떻게 정의될 수 있을지 의문이다. 과학기술의 발전 경로를 정확히 예측할 수 없듯이 기술의 발전이 우리 사회에 미칠 영향은 더욱 예측이 어렵다.

우리 사회가 새로운 과학기술을 받아들이고 수용하는 과정에서 정보가 빨리 전달되고, 다양한 계층이 논의할 수 있는 시스템을 미리 준비해야만 혼란을 줄일 수 있을 것이다.

한림원탁토론회는...



한림원탁토론회는 국가 과학기술의 장기적인 비전과 발전전략을 세우고, 동시에 과학기술 현안문제에 대한 해결방안을 모색하기 위한 목적으로 개최되고 있는 한림원의 대표적인 정책토론 행사입니다.

지난 1996년 처음 개최된 이래 지금까지 200회 이상에 걸쳐 초·중·등 과학교육, 문·이과 통합문제, 국가발전에 미치는 기초과학 등 과학기술분야의 기본문제는 물론 정부출연연구소의 발전방안, 광우병의 진실, 방사능, 안전 방제 등 국민생활에 직접 영향을 미치는 문제에 이르기까지 광범위한 주제를 다루고 있습니다.

한림원은 과학기술 선진화에 걸림돌이 되는 각종 현안문제 중 중요도와 시급성에 따라 주제를 선정하고, 과학기술 유관기관의 최고책임자들을 발제자로 초빙하여, 한림원 석학들을 비롯해 산·학·연·정의 전문가들이 심도 깊게 토론을 진행하고 있습니다.

토론결과는 책자로 발간, 정부, 국회와 관련기관에 배포함으로써 정책 개선방안을 제시하고 정책 입안자료를 제공하여 여론 형성에 기여하도록 힘쓰고 있습니다.

한림원탁토론회 개최실적(2022년~2025년)

회차	일 자	주 제	발제자
194	2022. 1. 25.	거대한 생태계, 마이크로바이옴 연구의 미래	이세훈, 이주훈, 이성근
195	2022. 2. 14.	양자컴퓨터의 전망과 도전: 우리는 무엇을 준비해야 할까?	이진형, 김도현
196	2022. 3. 10.	오미크론, 기존 바이러스와 무엇이 다르고 어떻게 대응할 것인가?	김남중, 김재경
197	2022. 4. 29.	과학기술 주도 성장: 무엇을 해야 할 것인가?	송재용, 김원준
198	2022. 6. 2.	더 이상 자연재난은 없다: 자연-기술 복합재난에 대한 이해와 대비	홍성욱, 이호영, 이강근, 고상백
199	2022. 6. 17.	K-푸드의 가치와 비전	권대영, 채수완
200	2022. 6. 29.	벤자민 버튼의 시간, 노화의 비밀을 넘어 역노화에 도전	이승재, 강찬희
201	2022. 9. 26.	신약개발의 새로운 패러다임	김성훈, 최 선, 김규원
202	2022. 9. 29.	우리는 왜, 어떻게 우주로 가야 하는가?	문홍규, 이창진
203	2022. 10. 12.	공학과 헬스케어의 만남 - AI가 여는 100세 건강	황 희, 백점기
204	2022. 10. 21.	과학기술과 사회 정의	박범순, 정상조, 류석영, 김승섭
205	2022. 11. 18.	지속 가능한 성장과 가치 혁신을 위한 수학의 역할	박태성, 백민경, 황형주
206	2022. 12. 1.	에너지와 기후변화 위기 극복을 위한 기초과학의 역할	유석재, 하경자, 윤의준
207	2023. 3. 15.	한국 여성과학자의 노벨상 수상은 요원한가?	김소영, 김정선
208	2023. 3. 22.	기정학(技政學) 시대의 새로운 과학기술혁신정책 방향	이승주, 이 근, 권석준

회차	일 자	주 제	발제자
209	2023. 4. 13.	우리 식량 무엇이 문제인가?	곽상수, 이상열
210	2023. 5. 24.	대체 단백질 식품과 배양육의 현재와 미래	서진호, 배호재
211	2023. 6. 14.	영재교육의 내일을 생각한다	권길현, 이덕환, 이혜정
212	2023. 7. 6.	후쿠시마 오염수 처리 후 방류의 국내 영향	정용훈, 서경석, 강건욱
213	2023. 7. 12.	인구절벽 시대, 과학기술인재 확보를 위한 답을 찾아서	오현환, 엄미정
214	2023. 8. 17.	과학·영재·자사고 교장이 이야기하는 바람직한 학생 선발과 교육	허우석, 오성환, 김명환
215	2023. 10. 27.	과학기술을 통한 삶의 질 향상 시리즈 (Ⅰ) 국민 삶의 질 향상을 위한 과학기술정책의 대전환	정선양, 박상철
216	2023. 11. 9.	과학기술을 통한 삶의 질 향상 시리즈 (Ⅱ) 삶의 질 향상을 위한 데이터 기반 식단 및 의학	박용순, 정해영
217	2023. 12. 5.	과학기술을 통한 삶의 질 향상 시리즈 (Ⅲ) 삶의 질 향상을 위한 퍼스널 모빌리티	공경철, 한소원
218	2023. 12. 19.	새로운 의로서비스 혁명: 디지털 치료제	서영준, 배민철
219	2024. 1. 31.	노쇠와 근감소증	원장원, 권기선, 고홍섭
220	2024. 3. 13.	필수의료 해결을 위한 제도적 방안	박민수, 김성근, 홍윤철
221	2024. 3. 19.	코로나보다 더 큰 위협이 올 수 있다, 어떻게 할까?	송대섭, 신의철
222	2024. 3. 20.	퍼스트 무버(First Mover)로의 필수 요소 - 과학네트워킹	김형하, 이상엽, 조희용
223	2024. 5. 10.	시민, 과학자가 되다	홍성욱, 박창범, 김 준
224	2024. 5. 29.	GMO, 지속가능성을 위한 전략	하상도, 김해영

회차	일 자	주 제	발제자
225	2024. 6. 21.	전략기술시리즈 (Ⅰ) K-반도체 위기 극복을 위한 국제 협력 전략	정은승
226	2024. 8. 21.	조류인플루엔자의 위협: 팬데믹의 전조인가?	윤철희, 김우주, 송대섭
227	2024. 8. 28.	전략기술시리즈 (Ⅱ) AI로 과학하기: 새로운 패러다임	문용재, 백민경, 서재민
228	2024. 11. 18.	전략기술시리즈 (Ⅲ) K-방산의 완성: 첨단 항공기 엔진 독자 개발	심현석, 이홍철, 김재환
229	2024. 12. 3.	과학기술 정책은 얼마나 과학적인가?	이정동, 이성주
230	2024. 12. 17.	전략기술시리즈 (Ⅳ) 첨단 바이오, 난치병 치료의 게임 체인저	최강열, 신영기, 천병년
231	2024. 12. 20.	뉴럴링크: 뇌와 세상의 소통	임창환, 정재승
232	2024. 12. 24.	전략기술시리즈 (Ⅴ) 식탁 위 숨겨진 건강 비밀: 마이크로바이옴이 열어가는 미래	이주훈, 김상범, 방예지
233	2025. 2. 25.	연구성과의 가치, 어떻게 평가할 것인가?	이학연
234	2025. 4. 29.	한국 AI의 미래 시리즈(Ⅰ) AI 3대 강국을 향한 우리의 전략	이경우, 김진형
235	2025. 5. 9.	흥미로운 양자정보기술 ±20년	이승우, 안재욱, 김기환, 배준우, 이수준, 김윤호, 최정운
236	2025. 5. 15.	한국 AI의 미래 시리즈(Ⅱ) 국가 AI 특화 인재 육성과 확보방안	이상원, 신진우
237	2025. 5. 29.	한국 AI의 미래 시리즈(Ⅲ) AI+X 대전환의 양면성: 혁신, 도전, 한계	이상근, 박준기
238	2025. 7. 9.	동물실험 없는 미래, 정말 가능할까?	박준원, 임경민
239	2025. 9. 10.	AI 프런티어 시리즈(Ⅰ) 「AI x STEM 교육」: 교실에서 시작되는 미래 인재	유연주, 차대길, 권가진
240	2025. 9. 18.	AI 프런티어 시리즈(Ⅱ) 「AI x K-방산」: AI로 국방의 혁신을 이룬다	곽기호, 서영우

회차	일 자	주 제	발제자
241	2025. 9. 29.	AI 프런티어 시리즈(III) 「AI x Physics」: 양자, 물질, 우주를 다시 쓰다	박경덕, 이인호, 홍성욱
242	2025. 9. 29.	AI 프런티어 시리즈(IV) 「AI x 신소재」: 미래 산업소재의 혁신 설계	최윤석, 한승우, 신정호
243	2025. 11. 11.	우리나라 과학기술 여성 리더십, 도전과 기회	조연주, 신용현
244	2025. 11. 13.	「AI x 농생명」: AX 융합형 지속 가능 농생명 혁신	최도일, 김상오, 성제경