

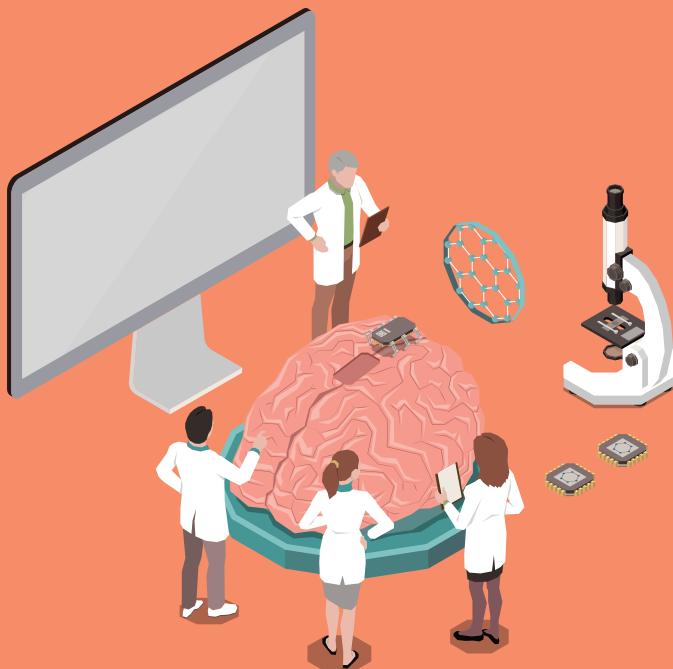
제231회 한림원탁토론회

뉴럴링크 : 뇌와 세상의 소통

일 시 : 2024년 12월 20일(금), 15:00

장 소 : 한림원회관 B1 대강당

(온·오프라인 동시 진행)



모시는 글

인공지능이 빠르게 발전하게 되면서 인간이 기계와 소통하는 일들이 점차 증가하게 될 것으로 예상되지만 우리는 여전히 수십 년 전 개발된 인터페이스를 통해 인공지능과 소통하고 있습니다. 그러나 미래에는 뇌-컴퓨터 인터페이스 기술 등을 통해 컴퓨터나 로봇 등과 소통하게 될 것이며, 인간과 기계 간 소통을 돋는 기술 개발은 점차 중요해지고 있습니다. 특히 이러한 기술은 장애나 질병의 치료, 정신건강 관리 등 의료 분야에서도 큰 잠재력을 가지고 있으며 주요 국가들은 뇌-컴퓨터 인터페이스 기술 개발에 박차를 가하고 있습니다. 뇌-컴퓨터 인터페이스 기술 개발과 상용화를 위해서는 제도 개선 및 인프라 구축 등과 더불어 윤리적 문제 등의 해결을 위한 노력도 함께 이루어져야 합니다. 이에 한국과학기술한림원은 뇌-컴퓨터 인터페이스 기술의 현재와 미래를 대중에게 알리고 이 기술의 현실화와 관련된 규제와 승인 과정에 대해서도 논의해 보고자 하오니 많은 관심과 참여를 부탁드립니다.

2024년 12월

한국과학기술한림원

한림원탁토론회는 국가 과학기술의 장기적인 비전과 발전전략을 마련하고 국가사회 현안문제에 대한 과학기술적 접근 및 해결방안을 도출하기 위해 개최되고 있습니다.

Program

사 회 이현주 KAIST 전기및전자공학부 석좌교수

시 간	프로그램	내 용
15:00~15:05 (5분)		개 회
		주제발표
15:05~15:45 (40분)	발표자	<p>뇌-컴퓨터 인터페이스의 현재와 미래 임창환 한양대학교 바이오메디컬공학과 교수</p> <p>인공지능 시대, 뇌-로봇 인터페이스가 새로운 미래의 기회를 만들다 정재승 KAIST 뇌인지과학과 교수 및 융합인재학부 학부장</p>
		지정토론 및 자유토론
15:45~17:00 (75분)	좌 장	이현주 KAIST 전기및전자공학부 석좌교수
	토론자	이기원 와이브레인 대표이사
		우세준 분당서울대학교병원 의료기기연구개발센터 센터장
		박건혁 한국한의학연구원 한약자원연구센터 책임연구원
		박정환 서울대학교 의과대학 교수
		질의응답
17:00		폐 회

참여자 주요 약력

💡 사회 및 좌장



이 현 주

KAIST 전기및전자공학부 석좌교수

- 한국차세대과학기술한림원 공학부 간사
- 과학기술진흥 유공 장관표창
- 前 한국연구재단 뇌첨단의공학단 전문위원

💡 주제발표자



임 창 환

한양대학교 바이오메디컬공학과 교수

- 한양대학교 뇌공학연구센터 센터장
- 대한뇌파신경생리학회 회장
- 와이브레인 Chief Scientist



정 재 승

KAIST 뇌인지과학과 교수 및 융합인재학부 학부장

- 대한민국 근정포장, 대한민국과학문화상 대상 수상
- 다보스 포럼 선정 '2009 차세대 글로벌 리더'
- 前 한국계산뇌과학회 회장

참여자 주요 약력

💡 토론자



이기원

와이브레인 CEO/CTO

- 세라젬 클리니컬 CEO
- ISO/IEC JTC1 IoT and Digital Twin 및 Brain Computer Interface 국제표준위원회 한국대표
- 前 한국연구재단 뇌과학 R&D 발전전략위원



우세준

분당서울대학교병원 의료기기연구개발센터 센터장

- 분당서울대학교병원 안과 과장
- 한국망막학회 학술이사
- 대한안과학회 영문학술지(KJO), 부편집자



박건혁

한국한의학연구원 책임연구원

- 한국차세대과학기술한림원 의약학부 회원
- 국제표준[ISO/TC249] 한약분과 전문위원
- 한국환경과학회 기획사업이사



박정환

서울대학교 의과대학 교수

- 한국차세대과학기술한림원 의약학부 회원
- 前 미국 콜롬비아대학교 의과대학 연구원

I

주제발표

주제발표 1 뇌-컴퓨터 인터페이스의 현재와 미래

- **임창환** 한양대학교 바이오메디컬공학과 교수

**주제발표 2 인공지능 시대, 뇌-로봇 인터페이스가
새로운 미래의 기회를 만들다**

- **정재승** KAIST 뇌인지과학과 교수 및 융합인재학부 학부장

주제발표 1
뇌-컴퓨터 인터페이스의 현재와 미래

• • •



임 창 환

한양대학교 바이오메디컬공학과 교수

뇌-컴퓨터 인터페이스의 현재와 미래

한양대학교 공과대학 전기생체공학부 바이오메디컬공학과

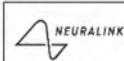
임 창 환



cone.hanyang.ac.kr

뇌-컴퓨터 인터페이스의 현재와 미래

일론 머스크의 새로운 도전



Neuralink is developing ultra high bandwidth brain-machine interfaces to connect humans and computers.

We are looking for exceptional engineers and scientists. No neuroscience experience is required: talent and drive matter far more. We expect most of our team to come from other areas and industries.

We are primarily looking for evidence of exceptional ability and a track record of building things that work.

All positions are full time and based in San Francisco.



(KBS News9, 2017.03.29)



Featured Topics Newsletters Events Podcasts

SIGN IN

SUBSCRIBE

HUMANS AND TECHNOLOGY

With Neuralink, Elon Musk Promises Human-to-Human Telepathy. Don't Believe It.

Why the billionaire is wrong that telepathy technology will be available in a few short years.

By Antonio Regalado

April 22, 2017

(MIT Technology Review, 2017)

2

뇌-컴퓨터 인터페이스의 현재와 미래

뉴럴링크 설립 후 2년

AN INTEGRATED BRAIN-MACHINE INTERFACE PLATFORM WITH THOUSANDS OF CHANNELS

Elon Musk & Neuralink

(Musk & Neuralink, JMIR, 2019)

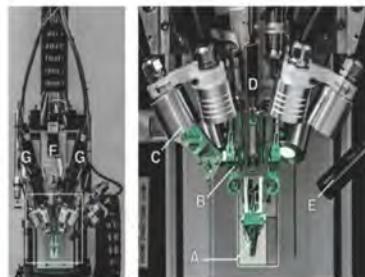


Figure 5. The insertion system, enlarged view of the inserter head shown in the inset. A. Loaded needle probe bridge. B. Low-force contact force probe mount. C. Light module with multiple independent mounting. D. Needle mount. E. One of four cameras focused on the needle during insertion. F. Camera with wide angle view of surgical field. G. Stereoscopic camera.

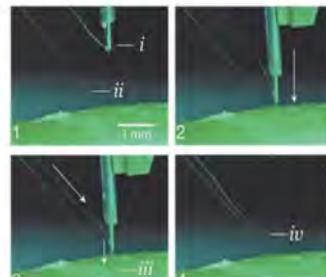
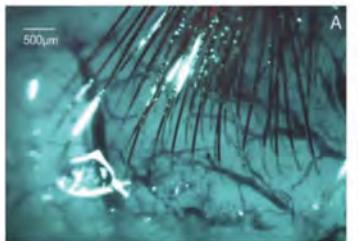


Figure 6. The inserter approaches the brain tissue with a channel. 1. needle and cannula. ii. previously inserted channel. 2. Inserter touches on the brain tissue surface. 3. Needle penetrates tissue plane, advancing the channel to the desired depth as mounting fixed. 4. Inserter pulls away leaving the thread behind in the tissue proxy. ii. cannula. thread.

3

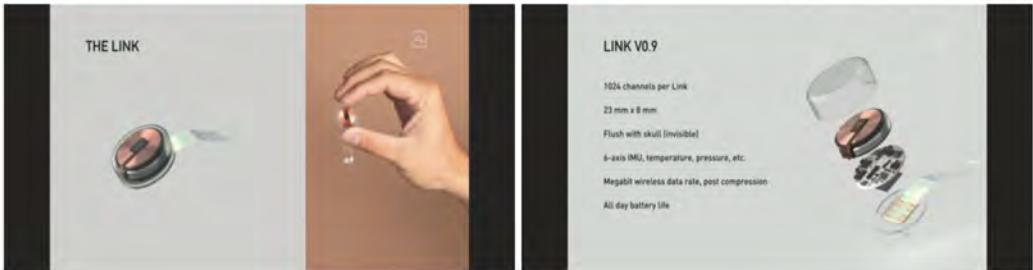
뇌-컴퓨터 인터페이스의 현재와 미래

다시 1년 후…



(Musk & Neuralink, JMIR, 2019)

(Neuralink Press Conference, 2020.08.28)



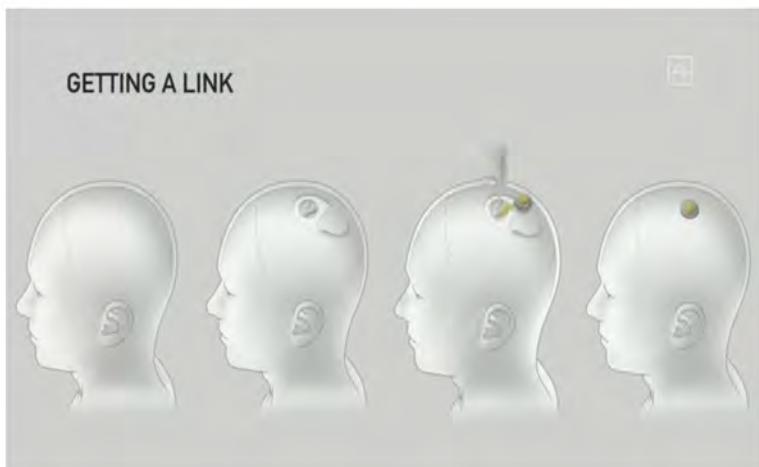
LINK V0.9

1024 channels per Link
23 mm x 8 mm
Flush with skull [invisible]
6-axis IMU, temperature, pressure, etc.
Megabit wireless data rate, post compression
All day battery life

4

뇌-컴퓨터 인터페이스의 현재와 미래

간직수술에 비유



(Neuralink Press Conference, 2020.08.28)

5

뇌-컴퓨터 인터페이스의 현재와 미래

그리고 인간에게…



(BBC, 2021)

▶ 산업 산업일반

마스크 '뉴럴링크', 뇌 이식 칩 임상환자 등록 개시



서울 대전경기, 광주, 난원 실증 환자 대상
Join Neuralink's Patient Registry

(더그루 2023.1.12)

뉴럴링크, 인간 임상실험 FDA 승인 획득

▲ 김대준 기자 ⓒ 입력 2023.05.28 07:44 ⓔ 댓글 0 모 품이요 0

● ● ● ● ● ●

계획보다 2년 늦어...상용화는 5~10년 후 예측

(S)파일즈 2023.5.28.

뇌-컴퓨터 인터페이스의 현재와 미래

사지마비 환자의 체스 게임

YTN 뉴스 6일 전 · 네이버뉴스

마스크 "인간 뇌에 뉴럴링크 칩 이식 완료...환자 회복 중"



YTN, 2024. 01. 31

일론 머스크 테슬라 최고경영자(CEO)가 소유한 뇌신경과학 스타트업 뉴럴링크가 최초로 인간의 뇌에 칩을 이식했다고 머스크가 29일(현지시간) 밝혔다. 머스크는 이날 자신의 소셜미디어 앱(X-옛 트위터)에 "어제(28일) 첫 환자가 뉴럴링크로부터 이식..."



세계일보, 2024. 03. 31

(뉴럴링크 X)

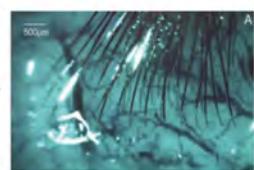
새로운 기술은 아닙니다



(Rehab Management, 2012)



(Blackrock Neurotech)

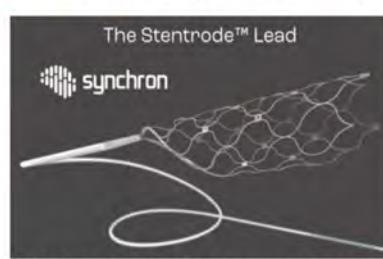


(Musk & Neuralink, JMIR, 2019)

(New York Times, 2006)

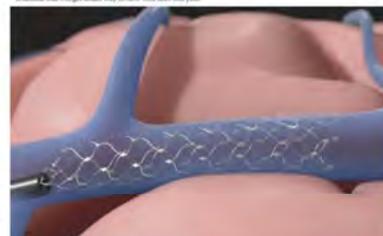
8

뇌 신호를 읽어 들이는 것이 이유

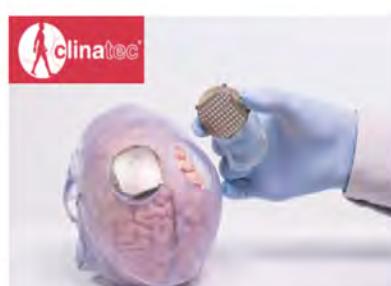


FDA clears Synchron's brain-computer interface device for human trials

A clinical trial will get under way in New York later this year.



(Synchron, Clinatec)



뇌-컴퓨터 인터페이스의 현재와 미래



9

뇌-컴퓨터 인터페이스의 경의

뇌-컴퓨터 인터페이스의 현재와 미래

Brain-Computer Interface (BCI) 뇌-컴퓨터 인터페이스

A Technology to decode neural signals to control external devices, communicate with others, or estimate one's mental states

The diagram illustrates the BCI process. It starts with a brain image labeled "신경 신호" (Neural Signal), which is processed by a computer monitor labeled "번역기" (Translator). The output is a communication interface labeled "의사소통" (Communication).

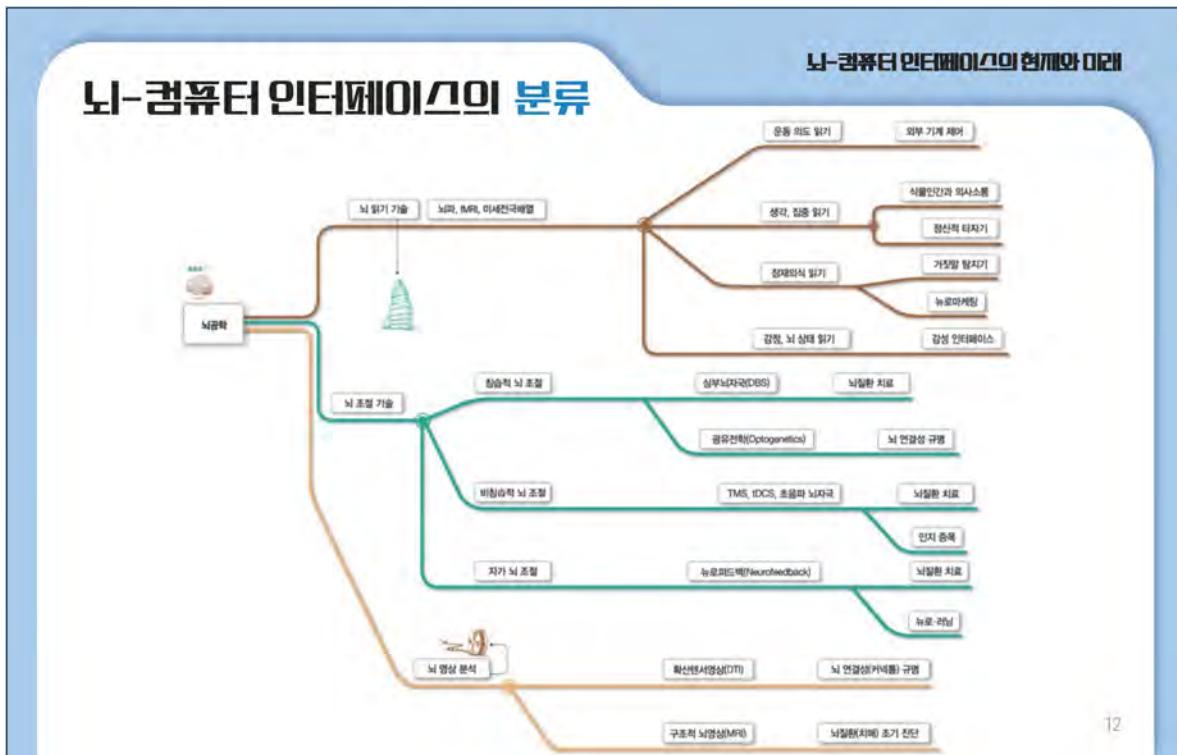
뇌 신호를 읽는 방법

뇌-컴퓨터 인터페이스의 현재와 미래

This diagram shows four main methods for reading brain signals:

- (Scalp) EEG:** Electrodes on the scalp detect signals from the surface of the brain.
- ECoG:** Electrodes placed directly on the surface of the brain (cortex) detect signals.
- MEA:** Microelectrodes placed directly on individual neurons (axons) detect signals.
- NIRS:** Near-Infrared Spectroscopy measures changes in blood flow and oxygenation in the brain tissue.

The central illustration shows a cross-section of the brain layers: Scalp, Skull, Dura mater, Arachnoid, Subarachnoid space, Pia mater, Active synapses, and Efferent axon.



12

뇌-컴퓨터 인터페이스의 현재와 미래

파트 1. 뇌로 소통하는 세상**파트 2. 생활과 하나가 된 BCI****파트 3. BCI의 미래**

뇌-컴퓨터 인터페이스의 현재와 미래

생각 기록 장치를 상상하다



Hugo Gernsback

1919

(Pale of Future)

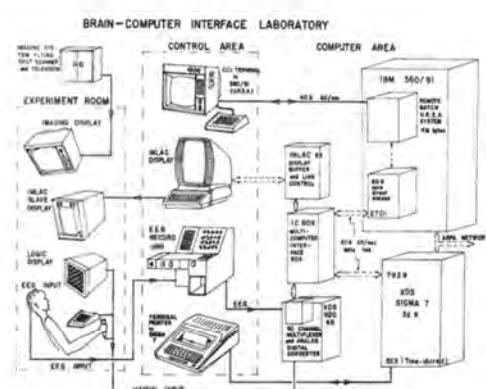
14

나-컴퓨터 인터페이스?

Copyright 1971. All rights reserved.

TOWARD DIRECT BRAIN-COMPUTER COMMUNICATION

JACQUES J. VIDAL¹
*Brain Research Institute,
University of California, Los Angeles, California*



(자크스 비단)



(UCLA)

BCI
(Brain-Computer Interface)

뇌신호를 이용해 외부 기기를
제어하거나 외부와의 의사소통을
가능하게 하는 기술

뇌-컴퓨터 인터페이스의 현재와 미래

100년의 전화

Hugo Gernsback
1919

16

뇌-컴퓨터 인터페이스의 현재와 미래

완전감금증후군 환자와 의사소통

a

Riemann distance to "MS"	Riemann distance to "LMI"
1.2	1.8
1.5	2.0
1.8	2.2
2.0	2.4
2.2	2.6
2.5	2.8
2.8	3.0
3.0	3.2
3.2	3.4

b

Comparison	Classification accuracy (%)
LMI vs MS	~95
MS vs TMI	~75
LMI vs TMI	~65

c

Model	Classification accuracy (%)
RG	~98
LDA	~92
SVM	~88

d

Time Step	Classification accuracy (%)
1	~50
2	~65
3	~75
4	~80
5	~85
6	~88
7	~90
8	~92
9	~94
10	~95
11	~96
12	~97
13	~98
14	~98.5
15	~99
16	~99.5
17	~99.8
18	~99.9
19	~100

"뇌파로 의사소통"...한양대, 환자 대상 연구서 가능성 확인

(서울=연합뉴스) 신선미 기자 = 국내 연구진이 생체신호인 뇌파를 이용해 '예', '아니오' 정도의 의사소통 가능성을 확인할 수 있는 기술을 개발했다. 또 1년 이상 의사소통을 못했던 환자를 대상으로 이 기술의 적용 가능성을 확인했다.

기술이 상용화되면 의사소통이 불가능한 환자의 생각을 어느 정도 파악해 이들의 삶의 질을 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

한양대 연구진은 뇌-컴퓨터 인터페이스(BCI) 기술을 이용한 의사소통 기술을 개발했다고 7일 밝혔다.

연구진은 손의 움직임을 상상할 때와 임산을 할 때 사람의 뇌에서 각각 다른 패턴의 뇌파가 발생한다는 대주 목했다. 이를 각각 '예'와 '아니오'에 대응한 시스템을 구성했다. 가령 '예'라고 대답하고 싶으면 한손의 움직임을 상상하고, '아니오'라고 대답하고 싶으면 505에서 9를 빼는 임산을 하는 것이다. 그러면 말이나 몸짓 없이 뇌파 측정만으로 의도를 파악할 수 있게 된다.

연구진은 의사소통을 하지 못하는 완전감금증후군(Completely Locked-in Syndrome-CLIS) 환자를 대상으로 새 시스템이 제 기능을 한다는 것을 확인했다.

(연합뉴스)

[Han et al., J. Neuroeng. Rehabil., 2019]

생각을 말로 바꿀 수 있을까?



(영화 및 위민 원트, 2000)

18

3가지 발화 인식 방법

Vocal Speech Recognition

음성 발화 인식



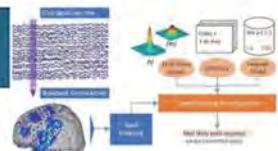
Silent Speech Recognition

침묵 발화 인식



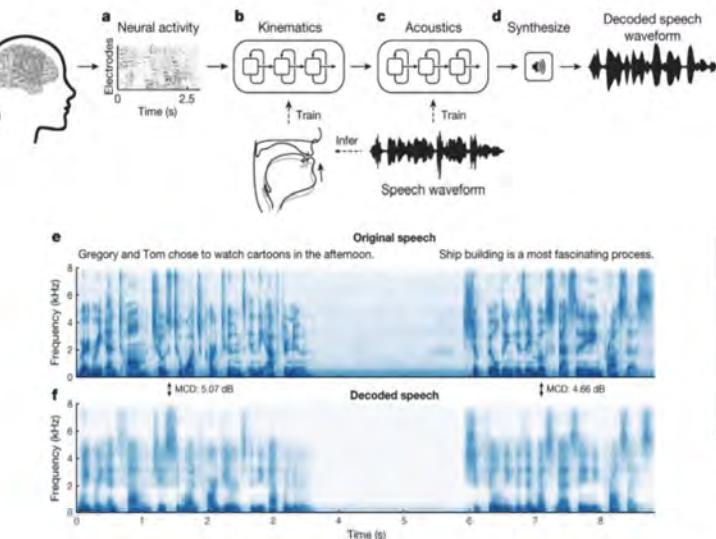
Imagined Speech Recognition

상상 발화 인식



뇌-컴퓨터 인터페이스의 현재와 미래

상상 음성 합성



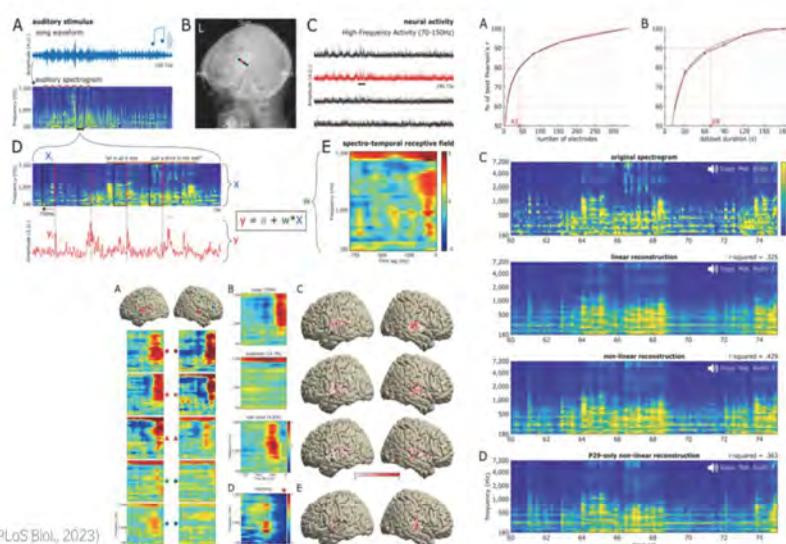
에드워드 창 @ UCSF

(Anumanchipalli et al., Nature, 2019)

20

뇌-컴퓨터 인터페이스의 현재와 미래

뇌파로부터 듣고 있는 음악 합성



(Bellier et al., PLoS Biol., 2023)

21

뇌-컴퓨터 인터페이스의 현재와 미래

파트 1. 뇌로 소통하는 세상

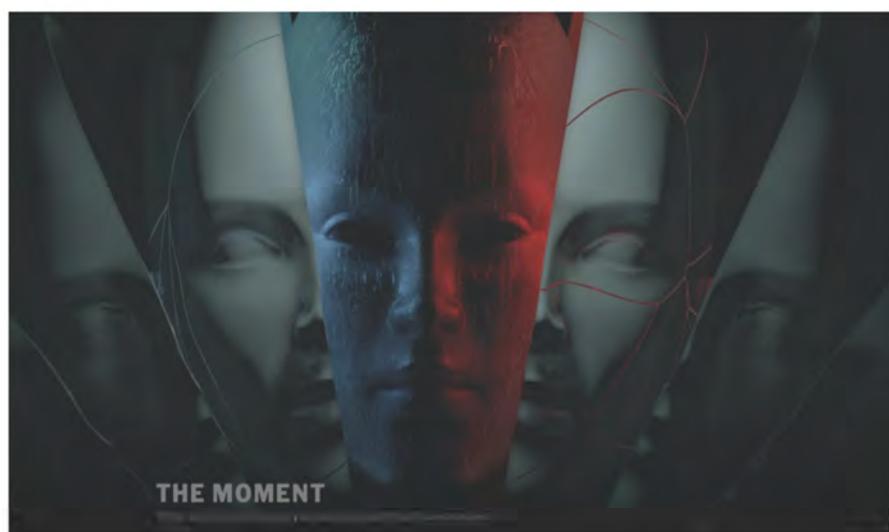
파트 2. 생활과 하나가 된 BCI

파트 3. BCI의 미래

cone.hanyang.ac.kr

뇌-컴퓨터 인터페이스의 현재와 미래

Brain-Controlled Movie



The Moment (2018) by Richard Ramchurn

<http://braincontrolledmovie.co.uk>

23

뇌-컴퓨터 인터페이스의 현재와 미래

수동형 BCI - 교육 응용

Internet courses

unidirectional

AI Teacher

Different Contents

Bidirectional Interactive

Name: Brian (male, 22)
Grade: A0 (course B)
- Brain States
Concentration
Boredom
Valence

24

뇌-컴퓨터 인터페이스의 현재와 미래

BCI를 이용한 객용형 교육

(a) Calibration and Learning

Screen

Attention level

Calibration

Learning

(b) Lecture and Attention Level Graph

Lecture

Feedback

Attention level

Post-test

Score

Con-NF Exp 1 Con-RE Exp 2

[Kim et al., IEEE Trans. Learning Technologies, 2023]

뇌-컴퓨터 인터페이스의 현재와 미래

한국 사례(1) - 현대모비스

Newsroom | Press Releases

A Brainwave Technology from Hyundai Mobis Proven to Reduce Drowsiness and Inattentive Driving by Up to 1/3

2022.04.18

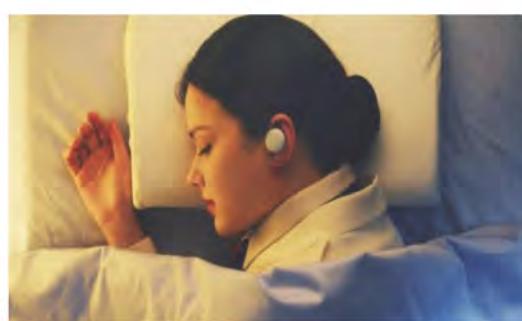


https://youtu.be/POKrrDrr1wM?si=C_RscIGHiyfU_vAL

There are numerous conditions and limitations to measure brain signals.

한국 사례(2) - LG전자

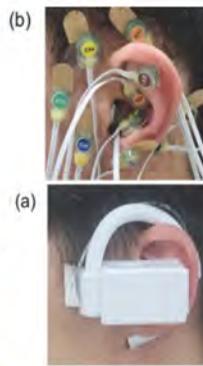
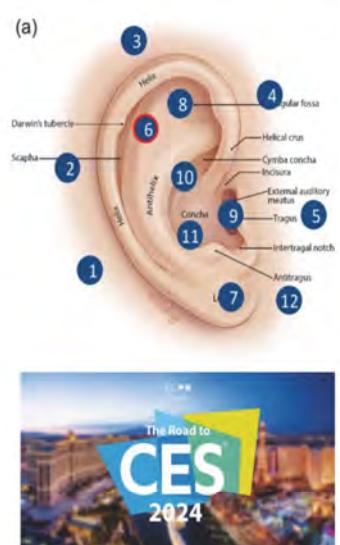
뇌-컴퓨터 인터페이스의 현재와 미래



(LG electronics)

뇌-컴퓨터 인터페이스의 현재와 미래

한국 기례(3) - 삼성전자



SAMSUNG
ELECTRONICS
ID.EARS



(Kim et al., in revision)

한국 기례(4) - SK바이오 phẩm



(dongA.com)



(Sedaily)



SK biopharmaceuticals

뇌-컴퓨터 인터페이스의 현재와 미래

수동형 BCI의 응용 분야



뇌-컴퓨터 인터페이스의 현재와 미래

파트 1. 뇌로 소통하는 세상

파트 2. 생활과 하나가 된 BCI

파트 3. BCI의 미래

뇌에 끼식 입력하기

“단 몇 분 만에 쿵푸 고수가 될 수 있을까?”



(영화 액트워크스, 1999)

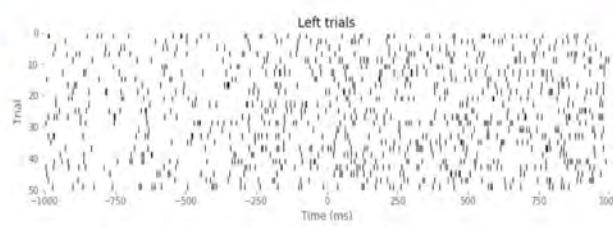


32

뇌의 언어를 이해해야...

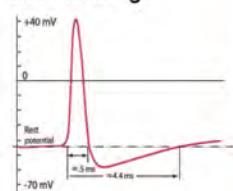
Neural Code

-뇌의 언어



(<https://mark-kramer.github.io/Case-Studies-Python/l10.html>)

All or nothing



모스 코드

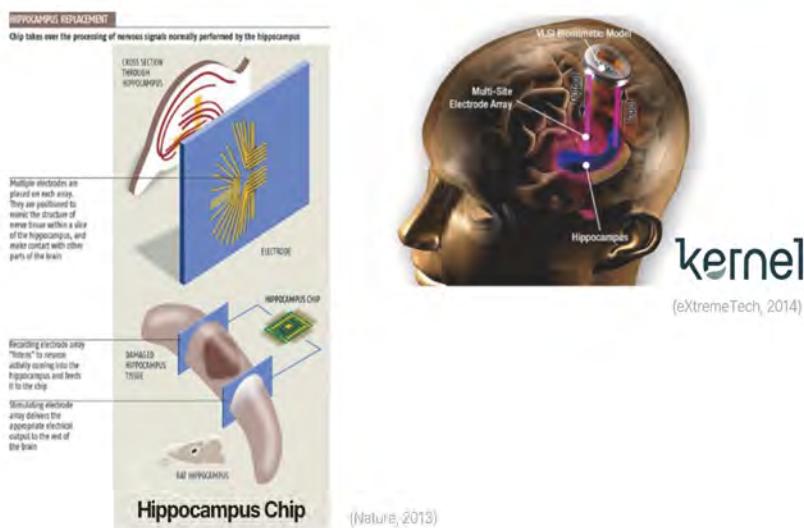
(Morse Code)



(<https://www.ekac.org/biblemorse.html>)

33

보조 인공 뇌 - AI를 이용



34

딥러닝 기술의 BCI 분야 적용



Functional connectivity의 고려를 위한 새로운 CNN architecture

(Kim and Im, Comput. Biol. Med., 2021)

35

딥러닝 기술의 BCI 분야 적용

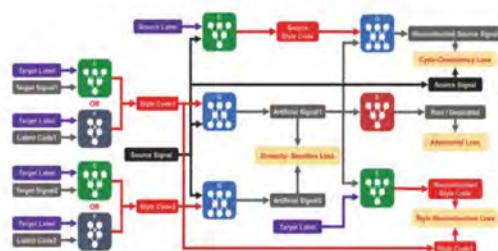
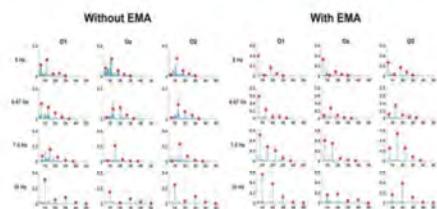


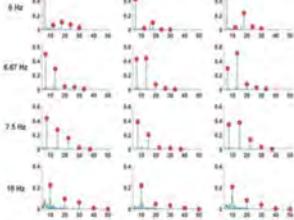
Fig. 3. The data flow of the training process.



한양대 연구진 'AI로 가상뇌파 생성' 기술 개발

Scikit-learn 0.23.2

Гипотеза о том, что модель РСК не под



서울=연합뉴스 김현은 기자 = 국내 연구단이 이미지 변환이나 음성 변조의 활용되는 인공지능 세력으로 거친 경쟁을 벌이고 있는 가운데 기술을 개발했다.

위와 같은 이미지 변환 모델은 한글자짜리 이미지에 대한 공학적 접근법으로 '전기 스타일 전이(visual style transfer)' 기술을 통해 원본 이미지에 적용해 낙서화로 변형을 가능하게 하는 새로운 신경망 모델 D2S-StyleGAN을 만들어냈다.

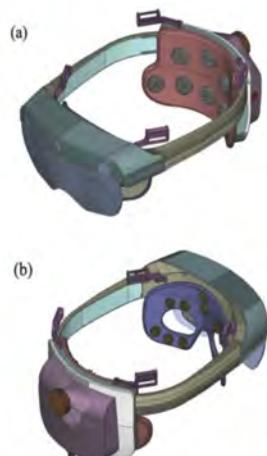
(Kwon et al., ESWA, 2022)

새로운 form factor의 등장



News MW75

(Kim et al., in revision)



(Kim et al., NEC '24)

뇌와 AI의 양방향 교류



(영화 공각기동대, 1995)



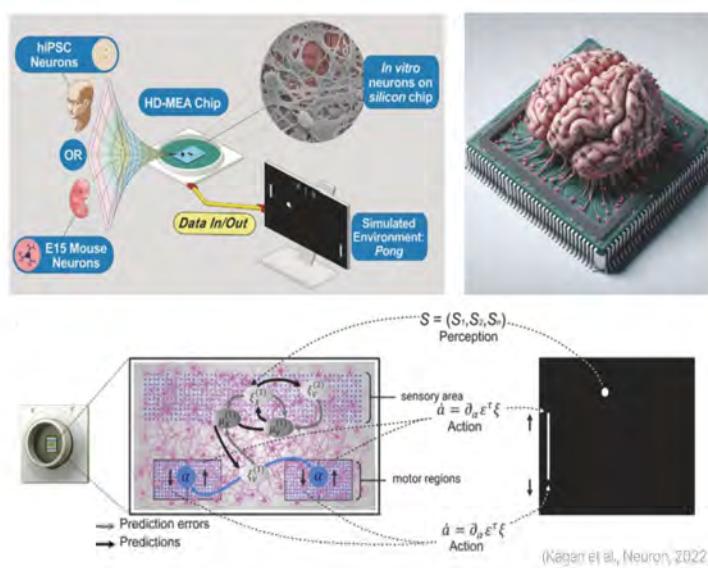
에드워드 보이든 (Edward Boyden), MIT

신경세포와 반도체 칩을 연결해서 새로운 지능을 만들어내는 것이
‘다음 세기 뇌 연구의 주요 목표’가 될 것

언젠가 인간 뇌의 자연적인 신경 회로망과 반도체 회로망이
전기적, 광학적, 화학적으로 완벽하게 결합될 수 있을 것

38

모기노이드 지능 (Organoid Intelligence)



39

뇌-컴퓨터 인터페이스의 현재와 미래

시각보철과 K-Neuralink의 기회

Reuters

World ▾ US Election Business Markets Sustainability Legal More ▾

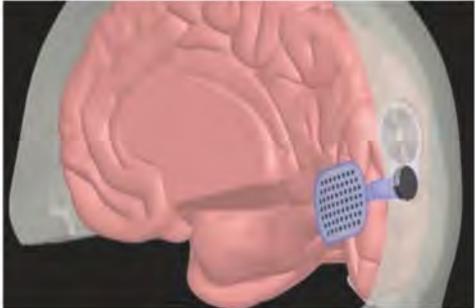
Disrupted | Health | Medtech | Regulatory Oversight | Approval

Musk's Neuralink gets FDA's breakthrough device tag for 'Blindsight' implant

By Reuters

September 18, 2024 10:28 PM CMT+9 Updated a month ago

NEURALINK



(Vivani Medical)

40

주제발표 2

인공지능 시대, 뇌-로봇 인터페이스가 새로운 미래의 기회를 만들다

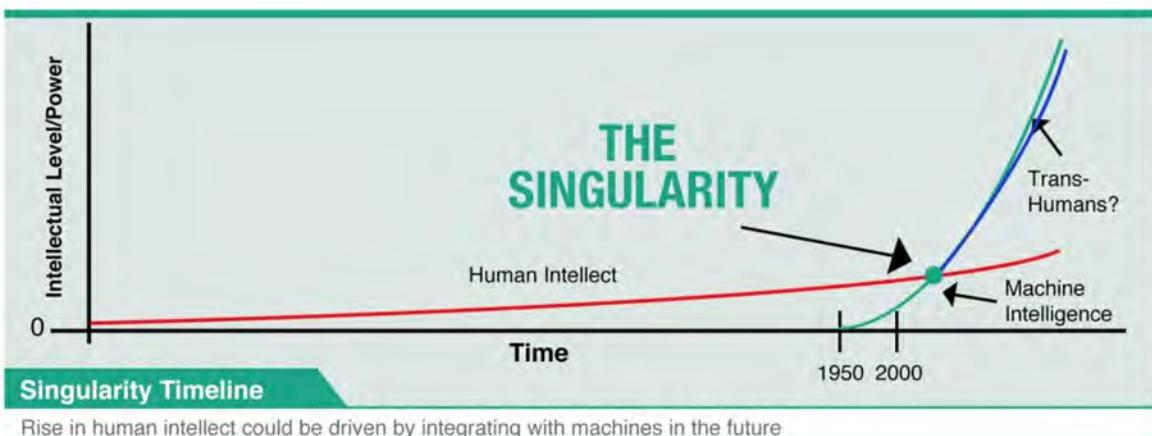
• • •



정 재 승

KAIST 뇌인지과학과 교수 및 융합인재학부 학부장





ARTIFICIAL INTELLIGENCE VS MACHINE LEARNING VS DEEP LEARNING

① Artificial Intelligence

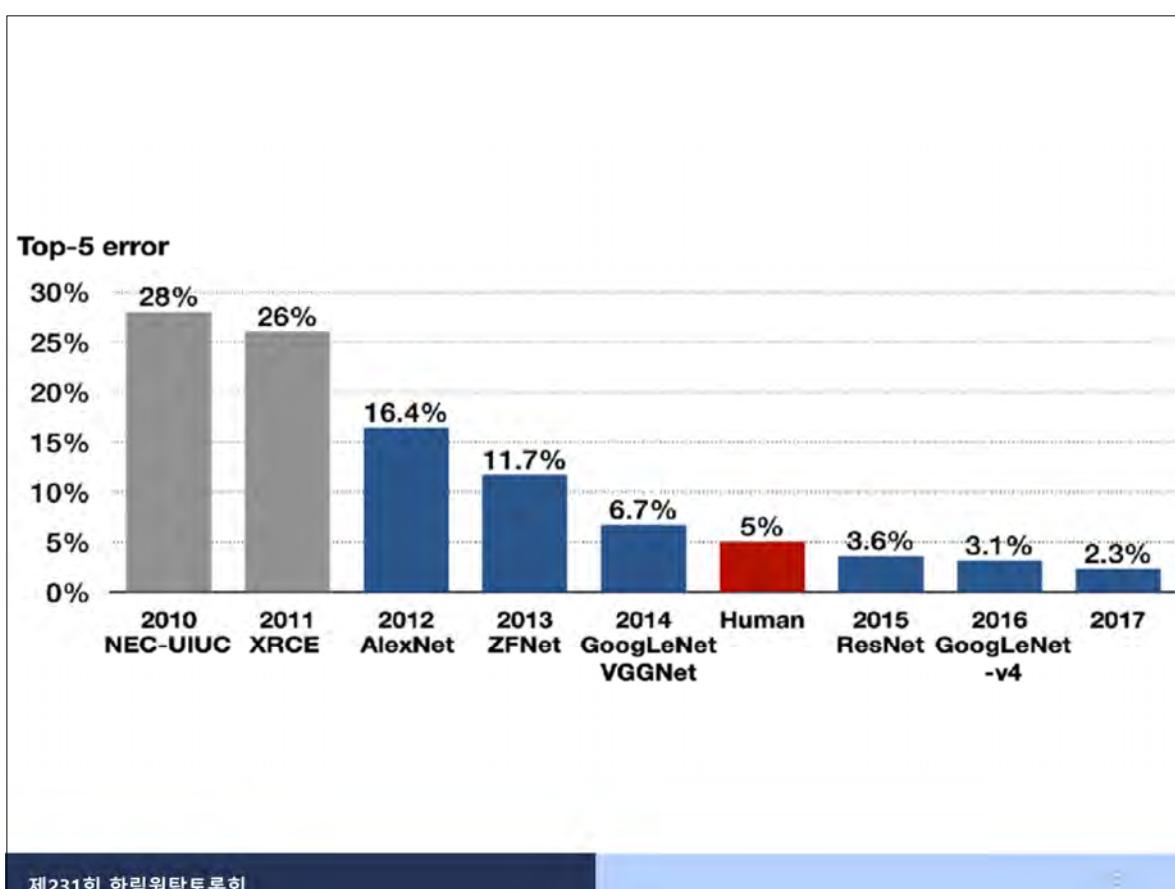
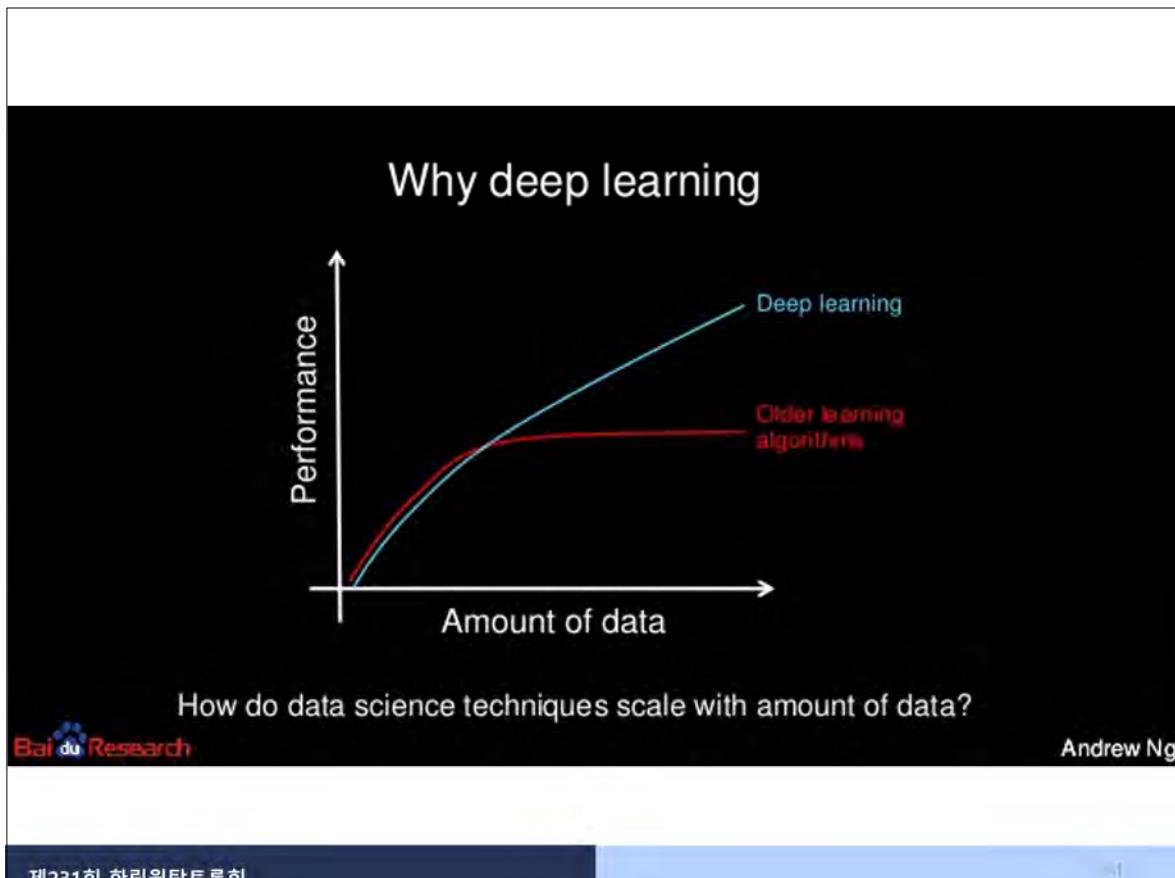
Development of smart systems and machines that can carry out tasks that typically require human intelligence

② Machine Learning

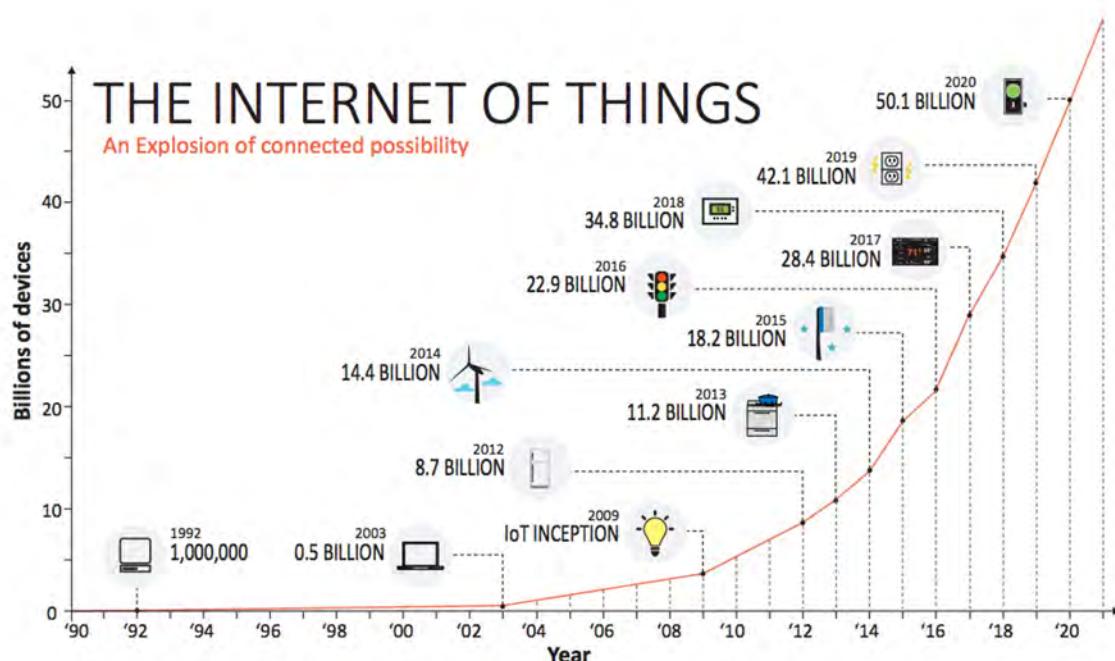
Creates algorithms that can learn from data and make decisions based on patterns observed
Require human intervention when decision is incorrect

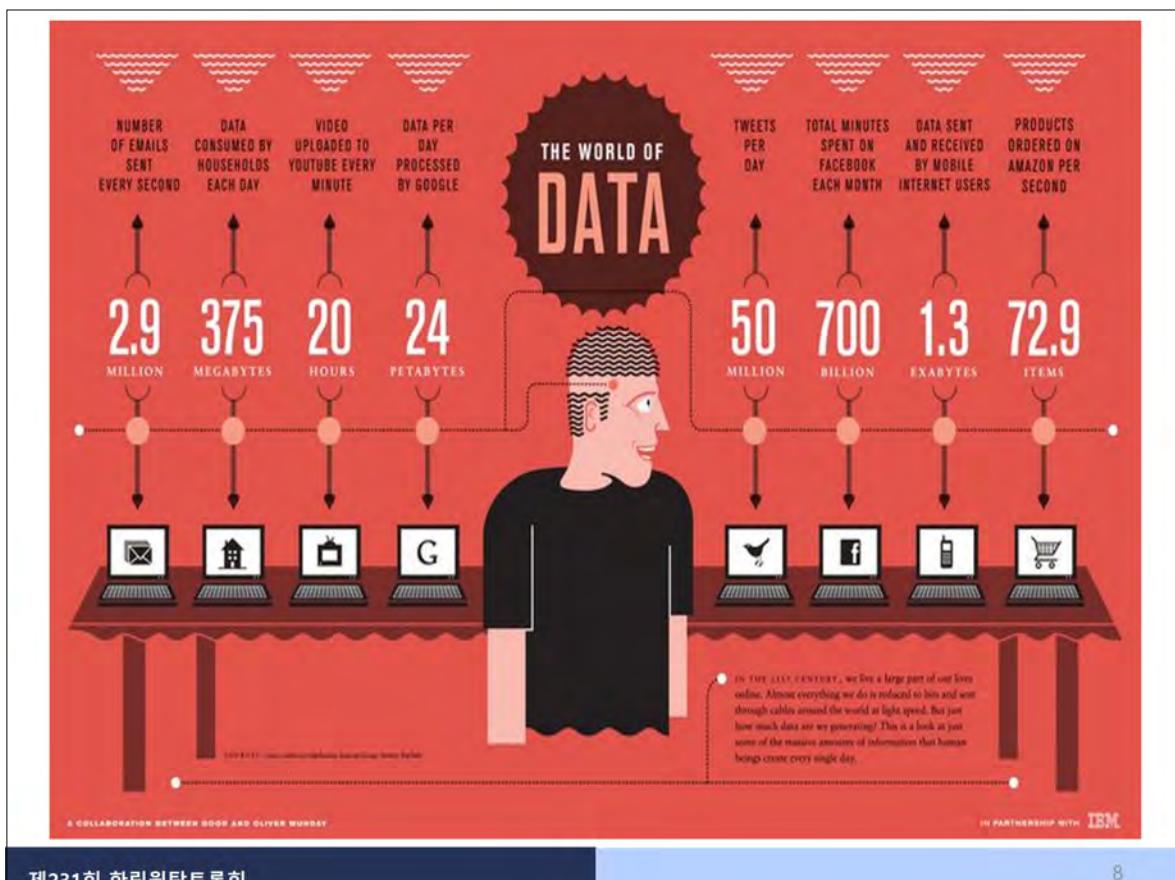
③ Deep Learning

Uses an artificial neural network to reach accurate conclusions without human intervention



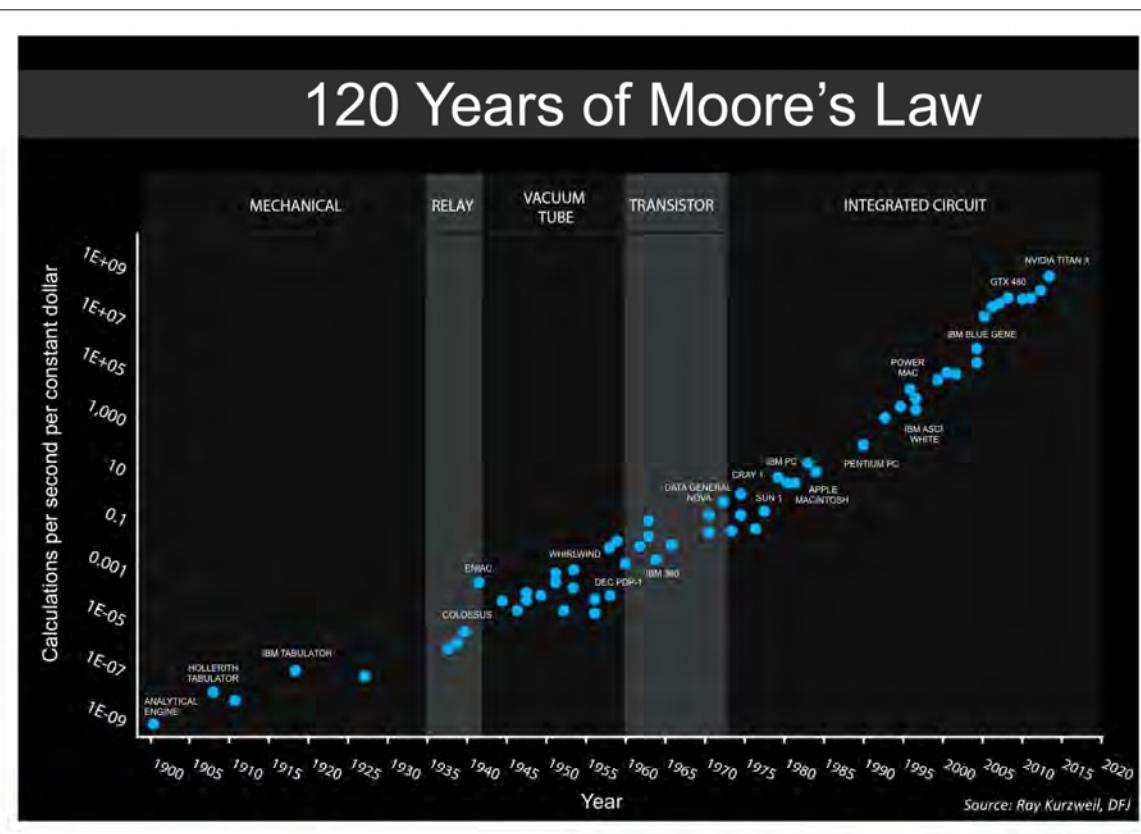
'제 4차 산업혁명'



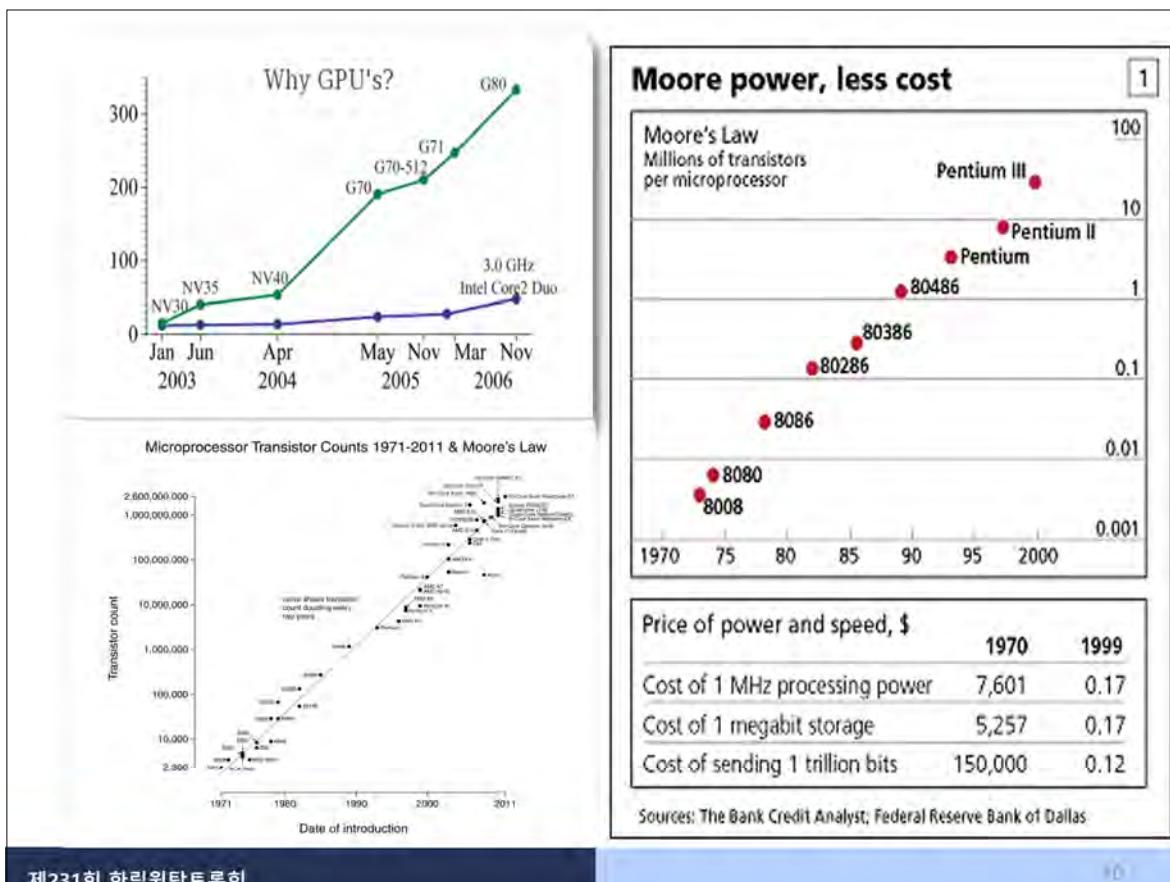


제231회 한림원탁토론회

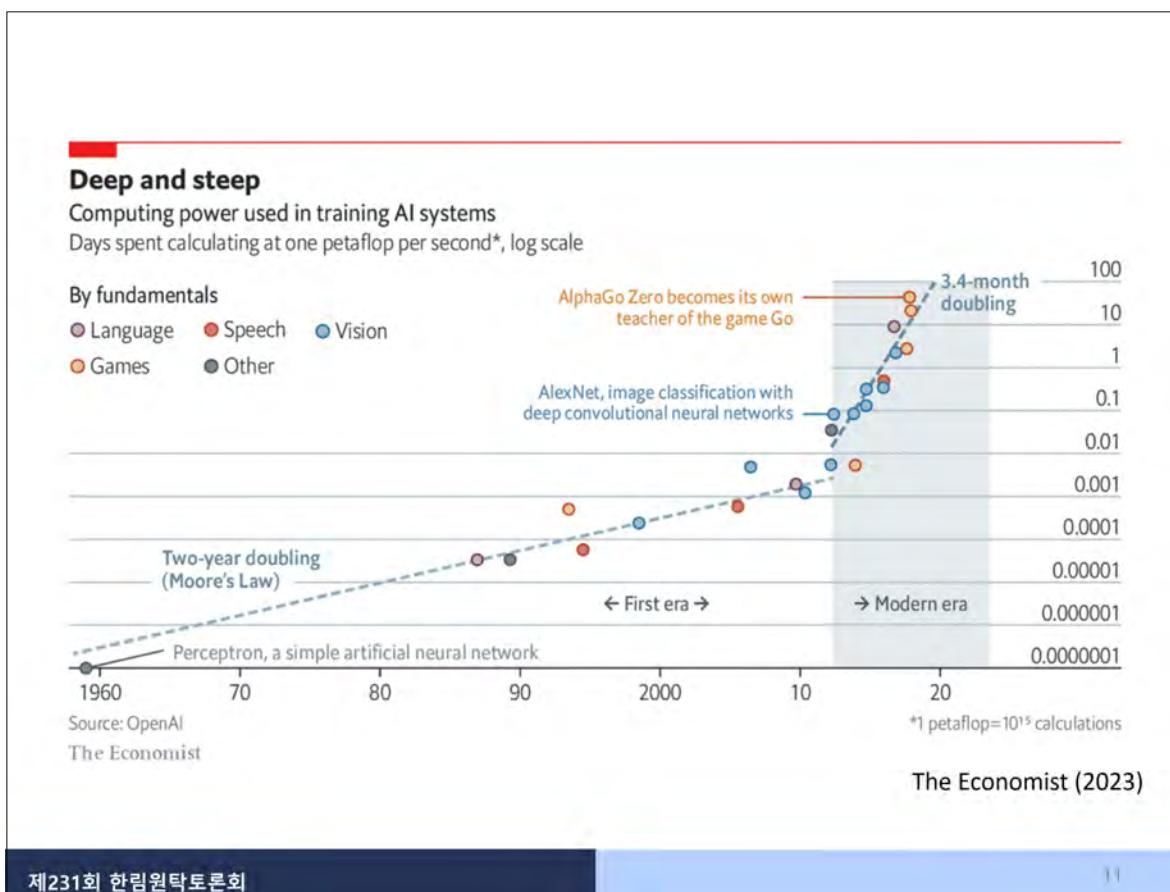
8



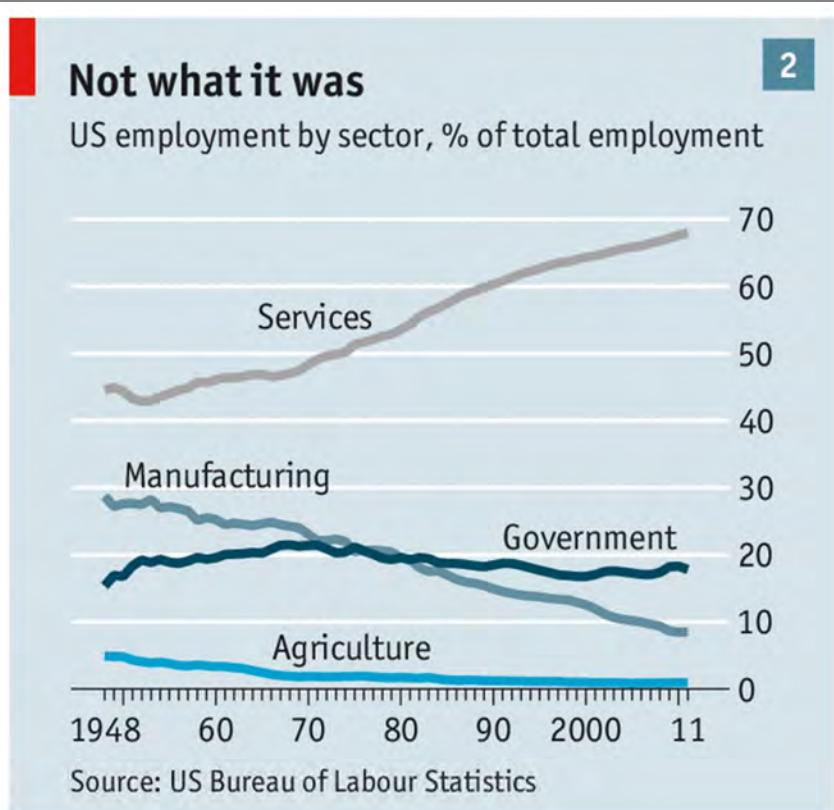
제231회 한림원탁토론회



제231회 한림원탁토론회



제231회 한림원탁토론회



제231회 한림원탁토론회

12

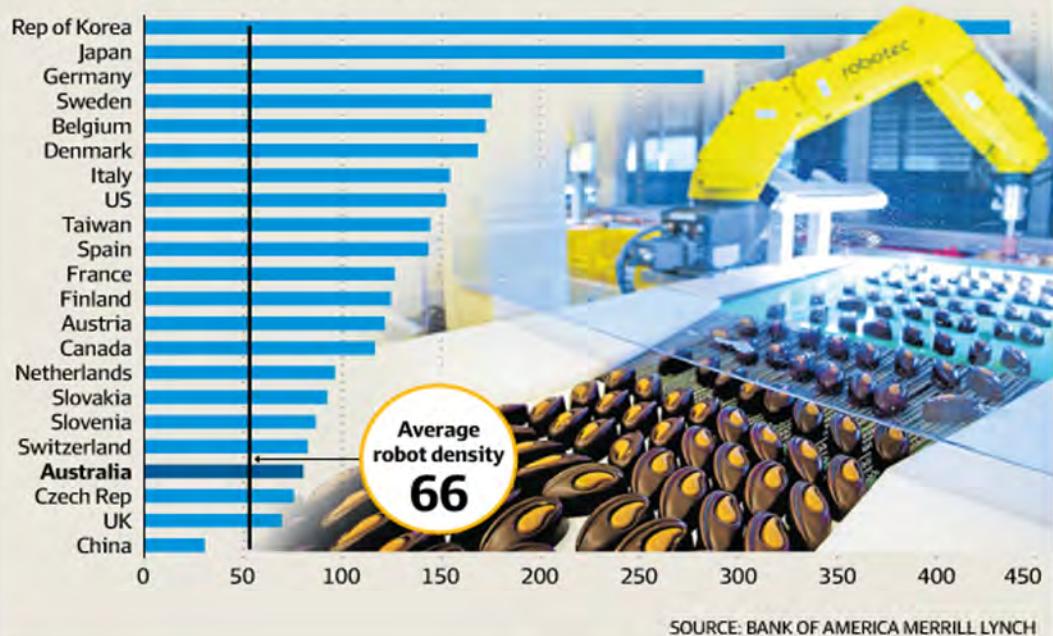


제231회 한림원탁토론회

13

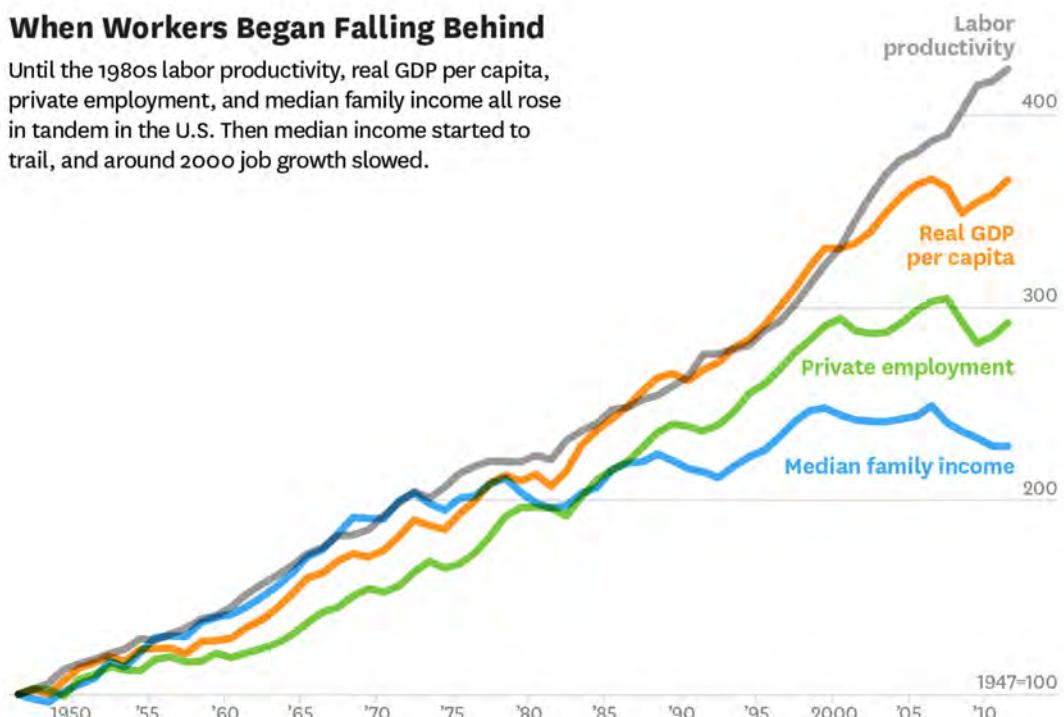
Automatic job losses

Number of multipurpose industrial robots (all types) per 10,000 employees in the manufacturing industry – 2014



When Workers Began Falling Behind

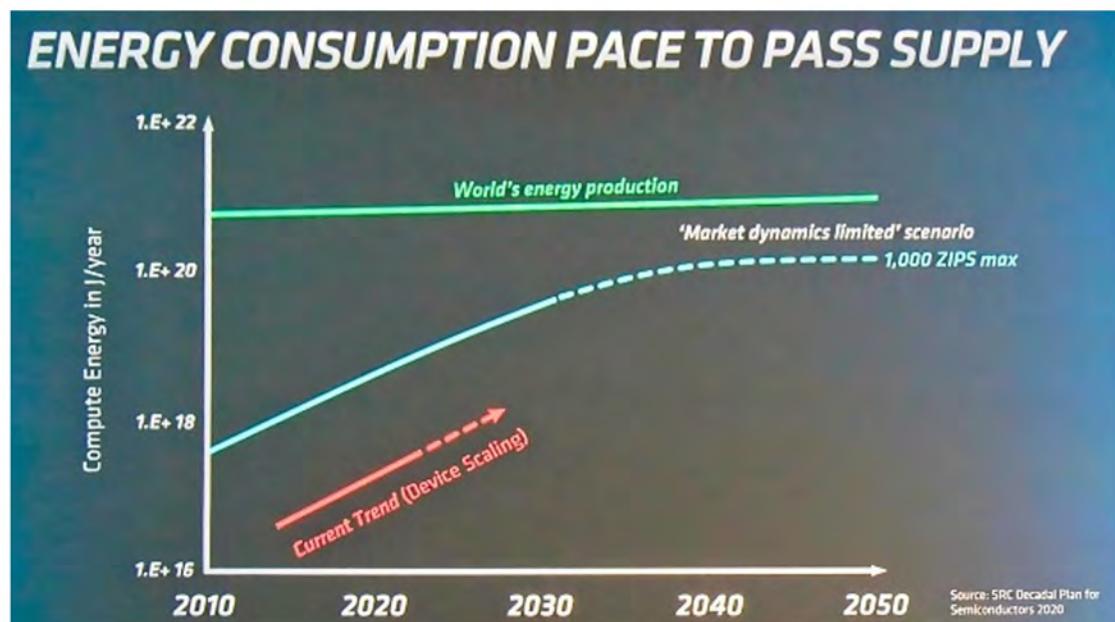
Until the 1980s labor productivity, real GDP per capita, private employment, and median family income all rose in tandem in the U.S. Then median income started to trail, and around 2000 job growth slowed.



그러나 ... 빅데이터 인공지능이 야기할 문제들

제231회 한림원탁토론회

16



Brian Bailey, AI Power Consumption Exploding, Semiconductor engineering (2022)

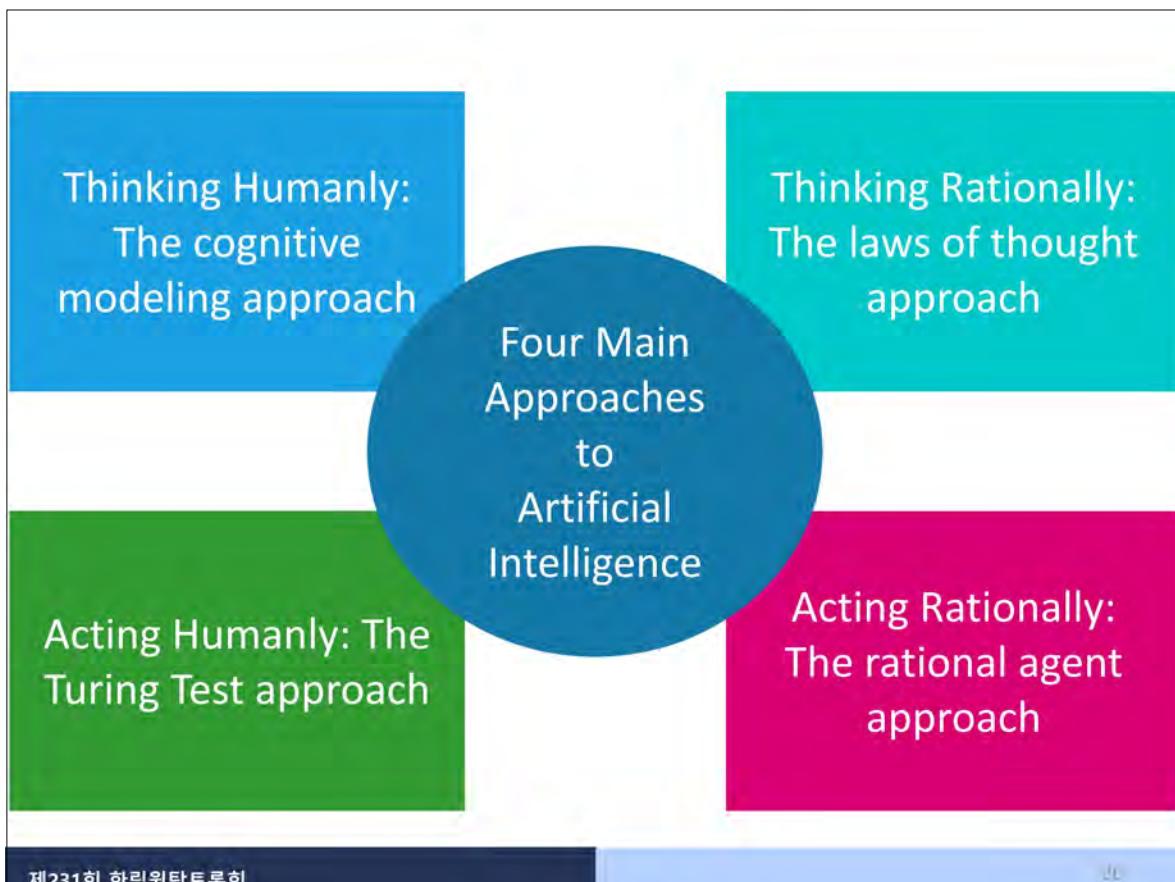
제231회 한림원탁토론회

17



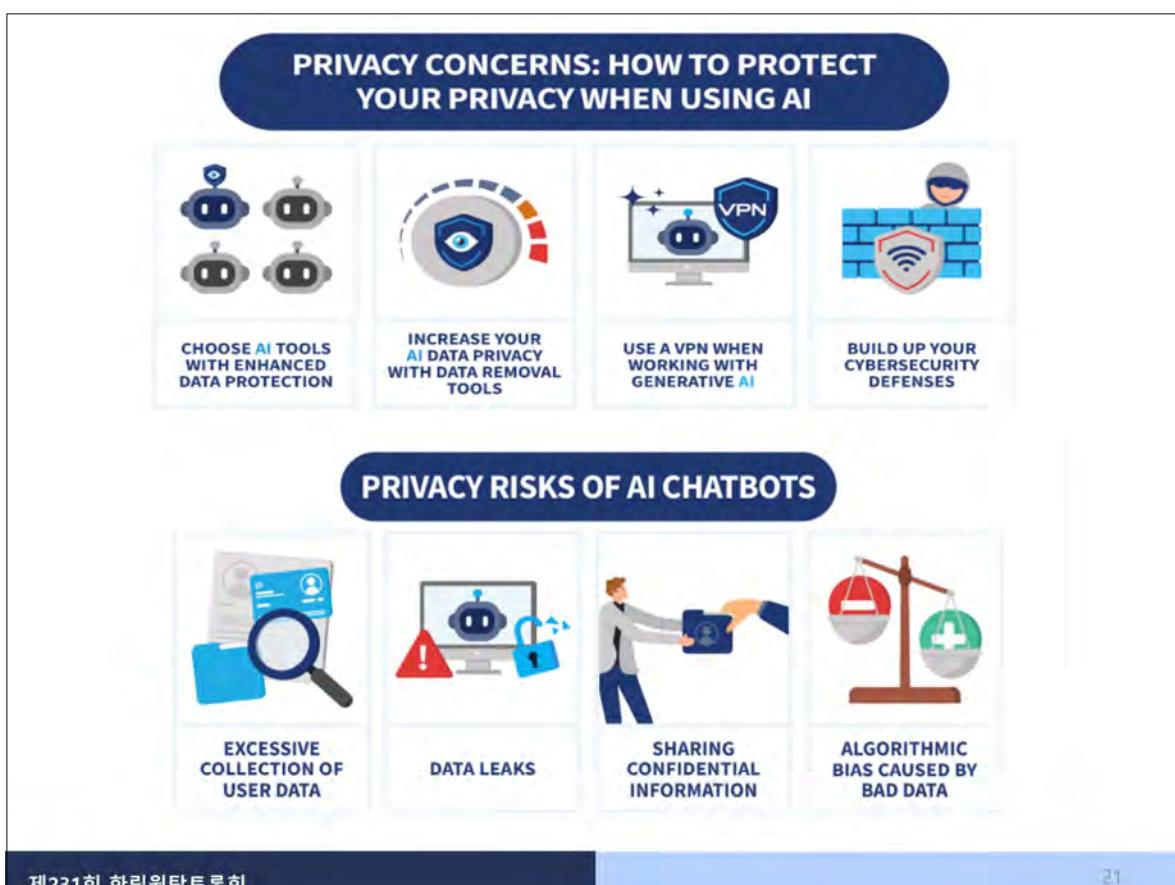
Interactions of the elderly and children with social robots





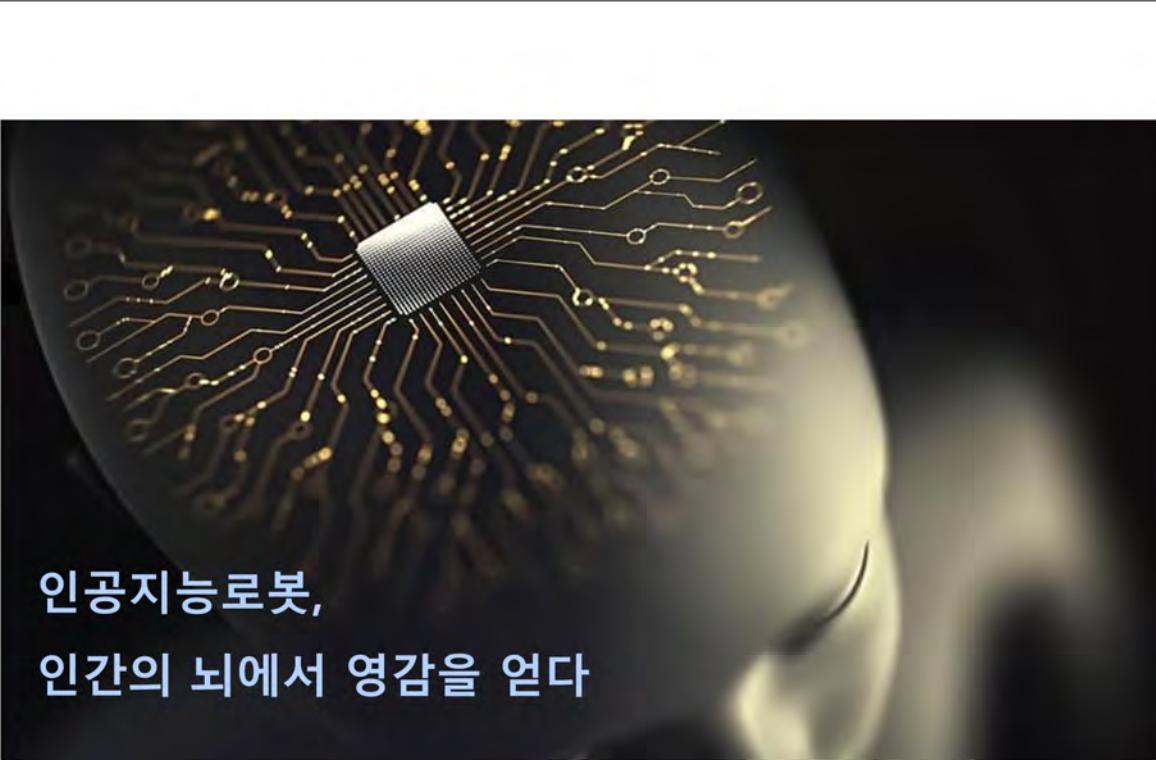
제231회 한림원탁토론회

11



제231회 한림원탁토론회

21



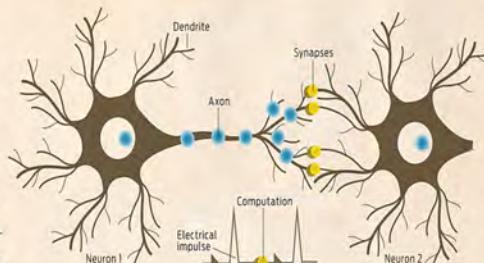
Next generation AI and computing processors

제231회 한림원탁토론회

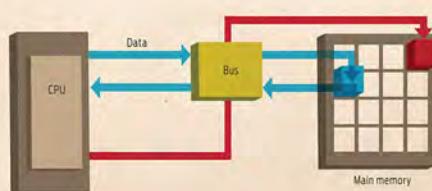


Hardware vs. Wetware To understand the difference between the architecture of the brain and a standard computer, compare the path of a hypothetical bit of data in a brain with that in a brain simulation.

BRAIN In the mammalian brain, storage and computation happen at the same time and in the same place. Neuron 1 sends a signal down the axon to Neuron 2. The synapse of Neuron 2 evaluates the importance of the information coming from Neuron 1 by comparing it with its own previous state and the strength of its connection to Neuron 1. Then, these two pieces of information—the information from Neuron 1 and the state of Neuron 2's synapse—flow toward the body of Neuron 2 over the dendrites. By the time that information reaches the body of Neuron 2, there is only a single value—all computation has already taken place during the information transfer.

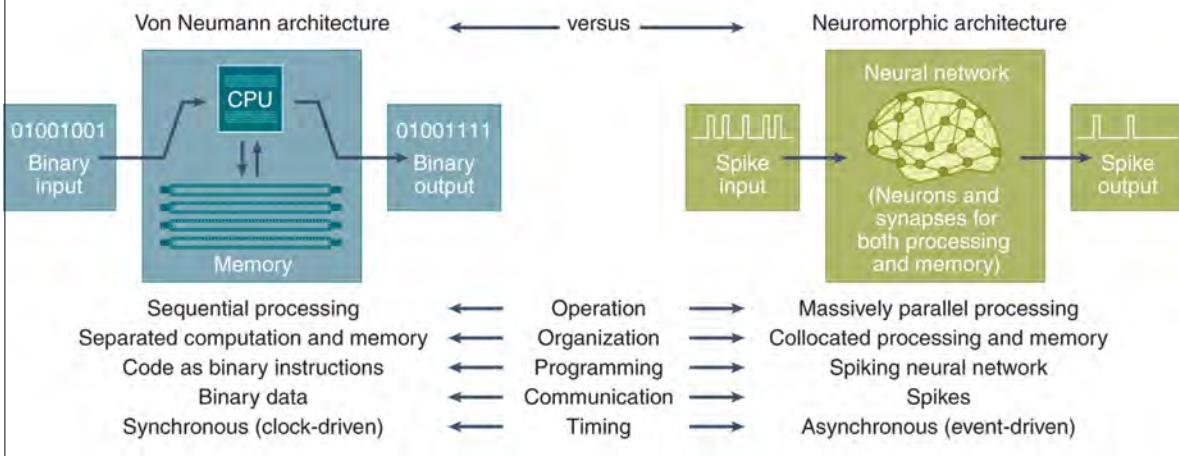


COMPUTER On a computer, the memory and processor are physically separated—a significant physical distance separates the place where the data is stored from the areas where it is manipulated. Modeling just a single synapse requires the following to happen in a location in main memory. To change that state, a signal must originate somewhere on the processor, travel to the edge of the processor, be packaged for transfer over the main bus, travel between 2 and 10 centimeters to reach the physical memory, and then be unpackaged to actually change the destination memory location. Millions of that sequence—up to 8000 synapses—as many as in a single rat neuron—and then again by the brain's billions of neurons yields a single millisecond of brain activity.



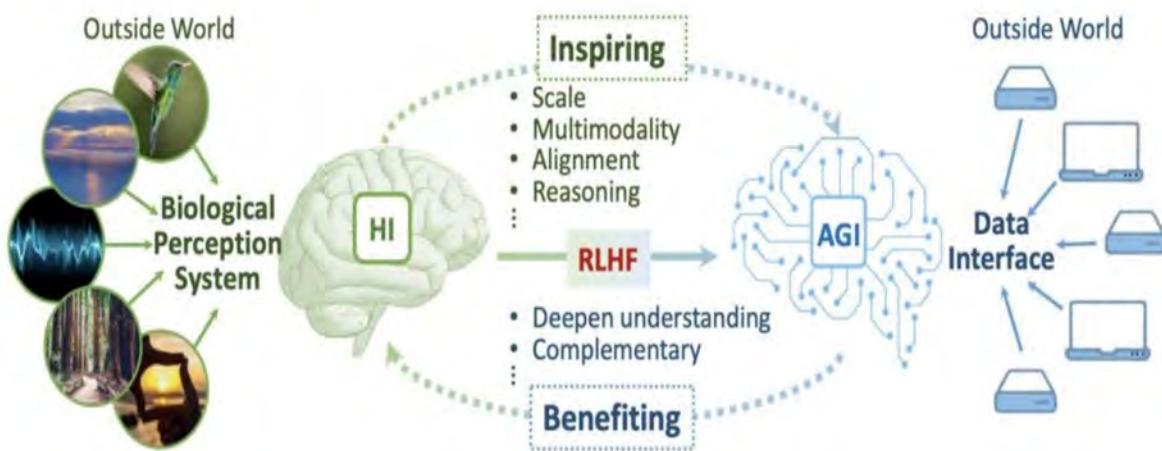
제231회 한림원탁토론회

생물학적 뇌를 닮은 컴퓨터 (Neuromorphic computing)



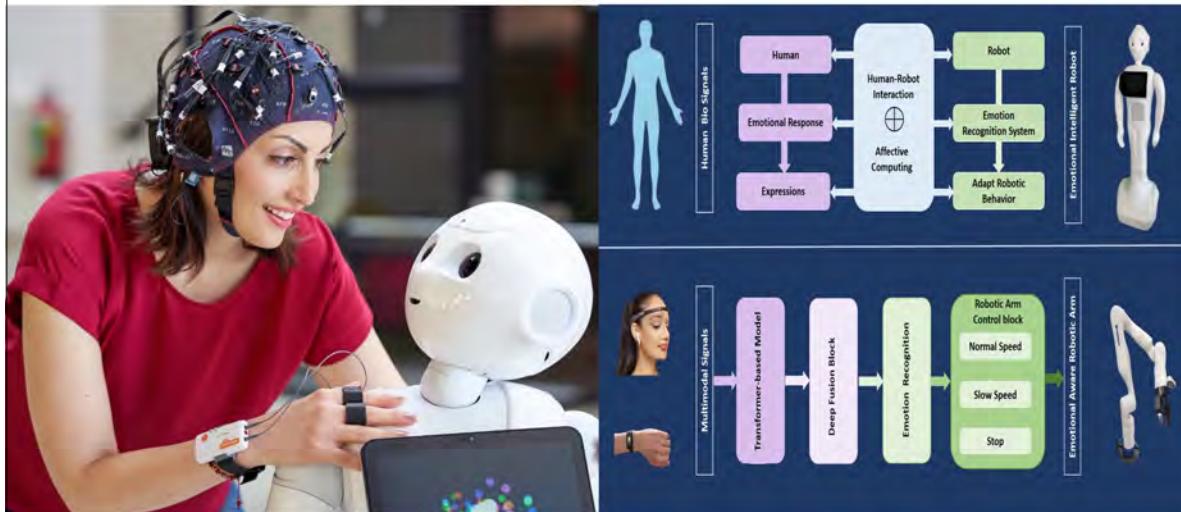
Catherine D. Schuman et al., Nature (2022)

Brain-inspired Artificial Intelligence



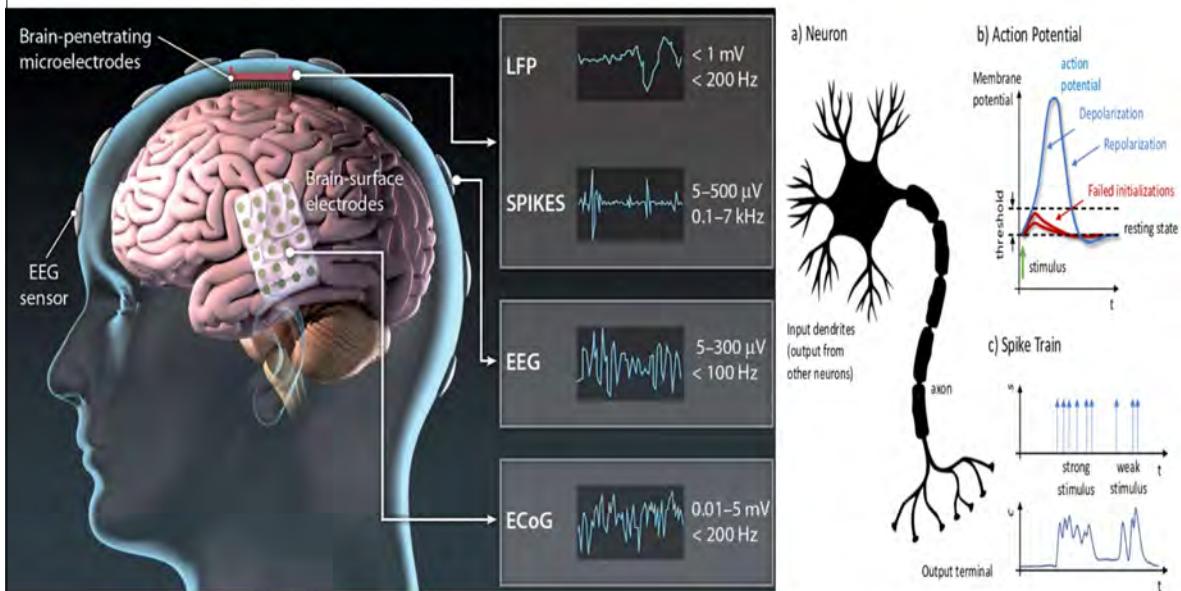
Lin Zhao et al, When Brain-inspired AI Meets AGI, Meta-Radiology (2023)

Human-Robot Collaboration through Brain-machine Interface



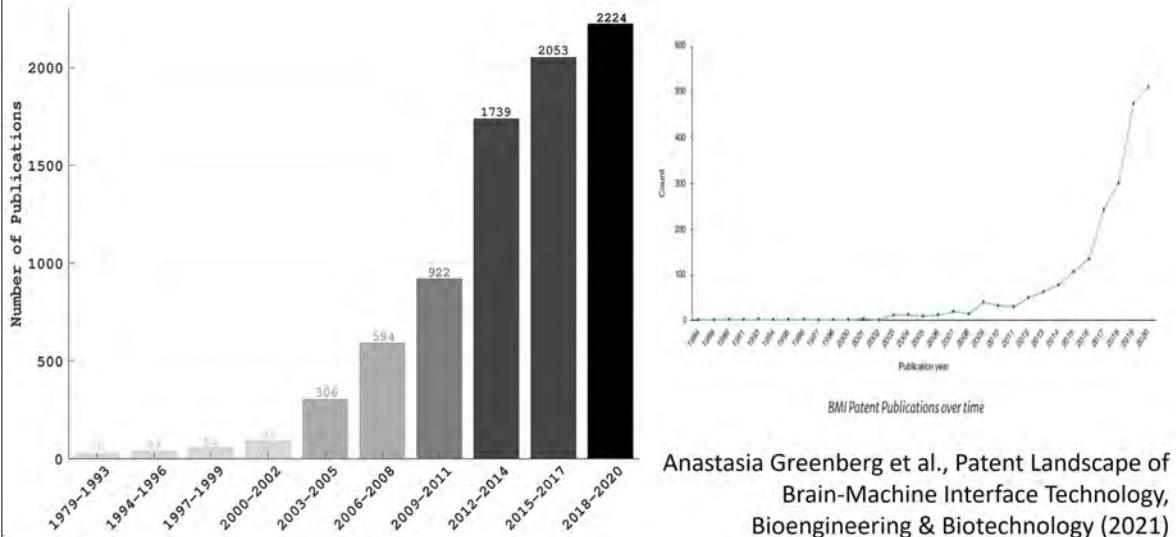
제231회 한림원탁토론회

뇌-기계 인터페이스(Brain-machine Interface)



제231회 한림원탁토론회

BMI publications and patents

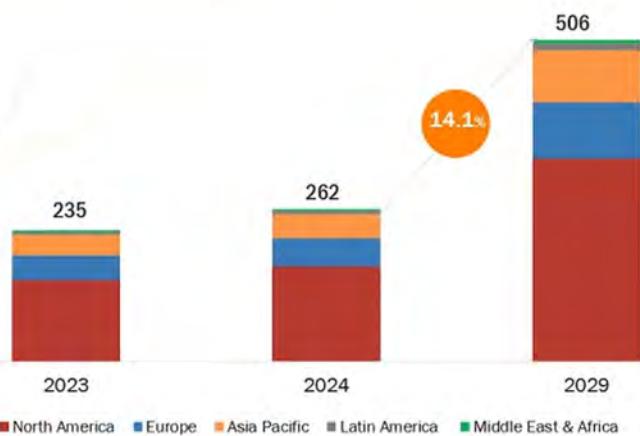


BRAIN COMPUTER INTERFACE MARKET GLOBAL FORECAST TO 2029 (USD MN)



CAGR OF
14.1%

The global brain computer interface market is expected to be worth USD 506 million by 2029, growing at a CAGR of 14.1% during the forecast period

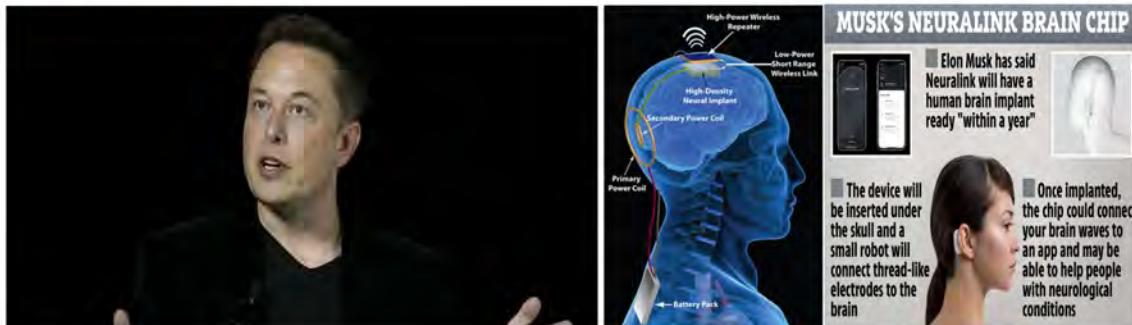


Elon Musk launches Neuralink, a venture to merge the human brain with AI

Rockets, cars, and now brain chips

by Nick Statt | @nickstatt | Mar 27, 2017, 4:10pm EDT

[f SHARE](#) [t TWEET](#) [in LINKEDIN](#)



제231회 한림원탁토론회

32

PARALYSED PRIMATES WALK

A wireless implant bypasses spinal-cord injuries in monkeys, enabling them to move their legs.

Wireless information transfer

Implant

Brain

Injury

Spinal cord

Electrodes

Neuronal impulse

Muscle

©nature

Primates Regain Control of Paralyzed Limb

Non-human primates regain control of their paralyzed limb. A neuroprosthetic interface serves as a wireless bridge between the brain and spine, completely bypassing the injury.

Brain Implant

SPINAL CORD LESION

Motor cortex activity

1 Decoding Motor States

2 Pulse generator

3 Spinal implant

4

©EPFL

Marco Capogrosso, Grégoire Courtine et al., Nature (2016)

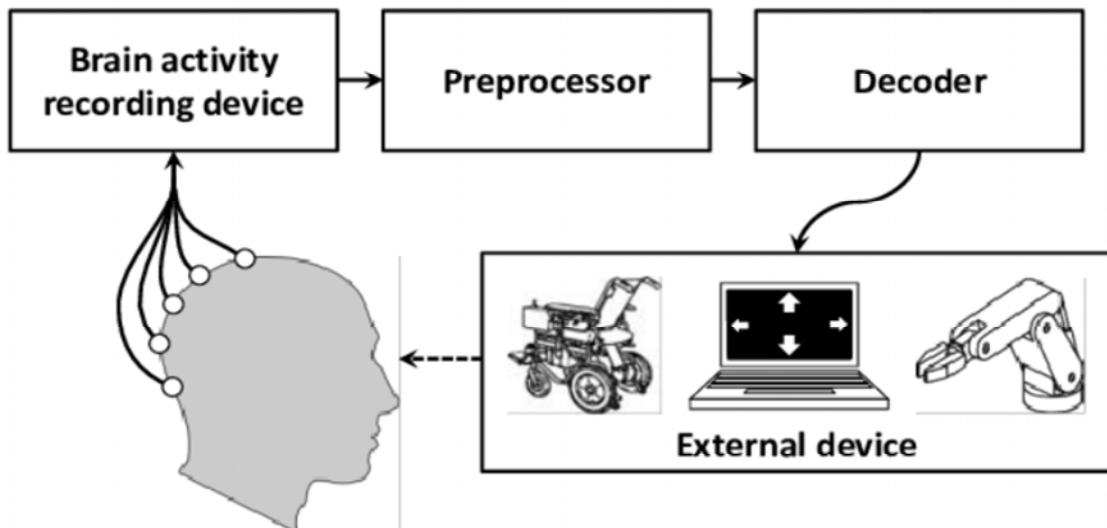
제231회 한림원탁토론회

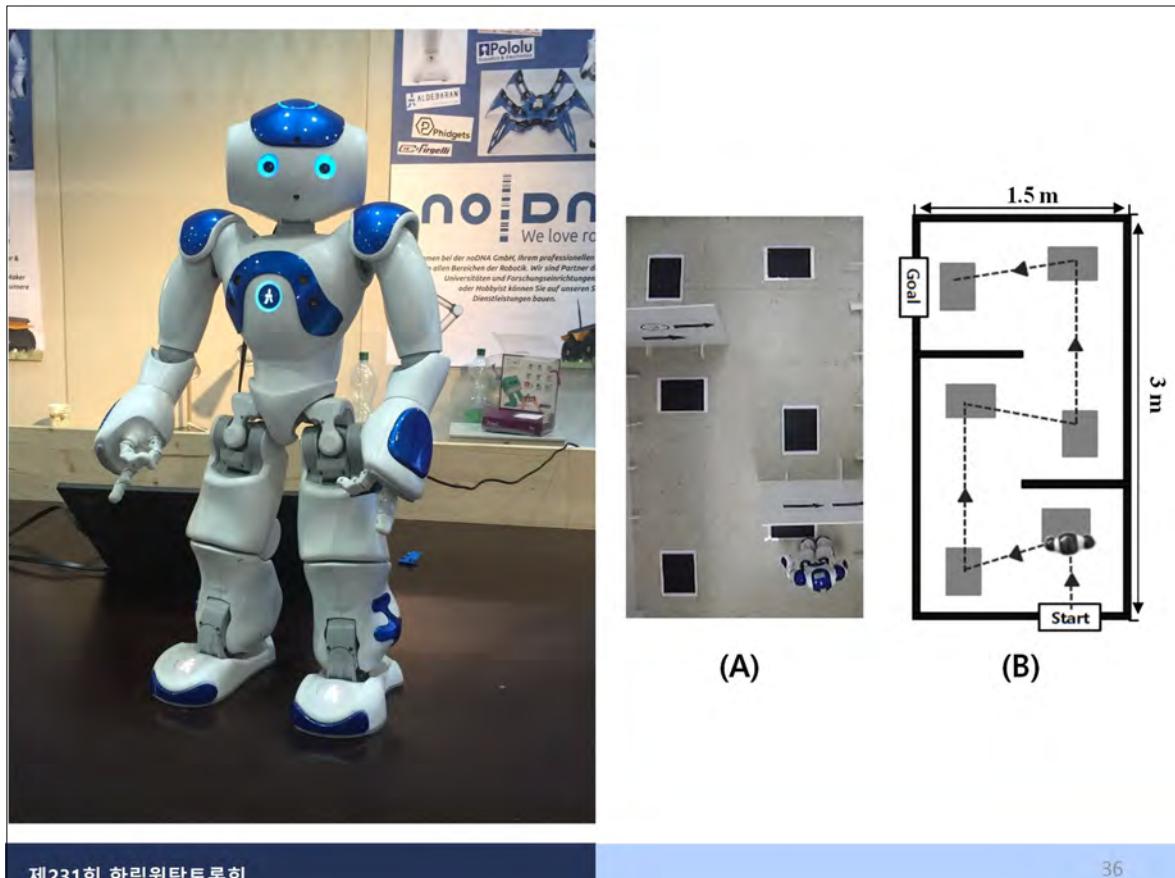
33



Grégoire Courtine et al., Nature (2022, 2024)

Noninvasive BMI





제231회 한림원탁토론회

36



제231회 한림원탁토론회

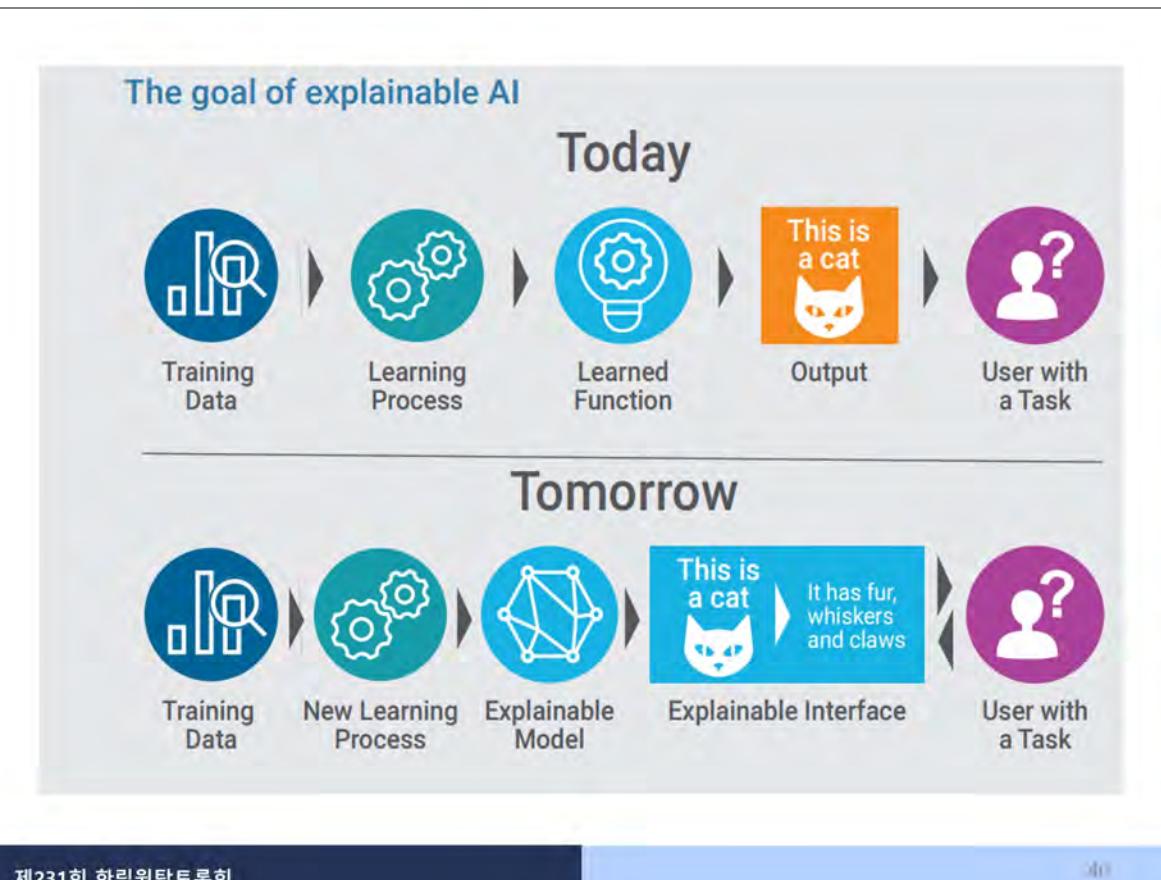
37



인간,
인공지능과 협업하다

인간에게 요구되는 능력은?

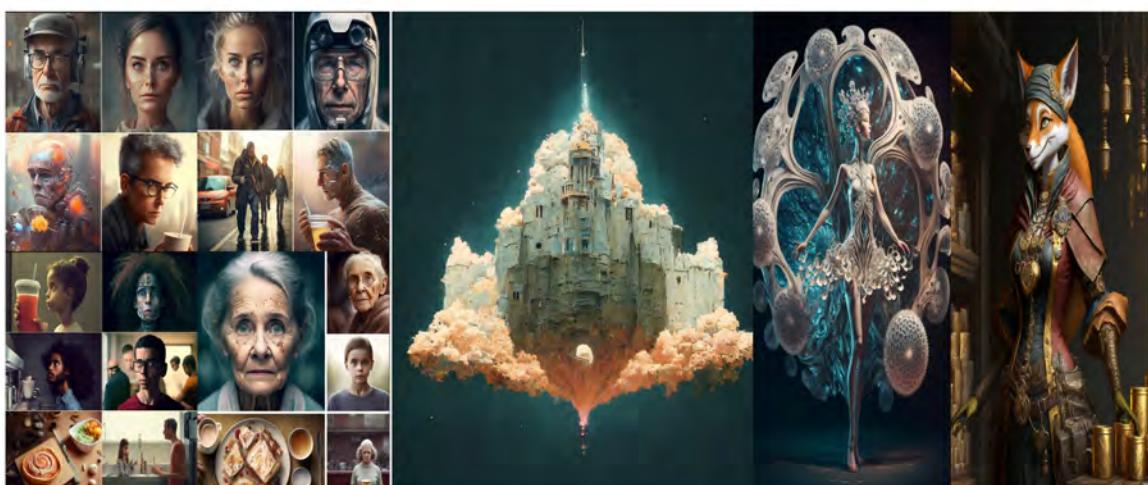
- 인간에게 요구되는 능력: 인터넷에 없는 생각을 만들어라
- 평범하지만 수많은 기존 데이터들의 연장 및 조합으로 만들어진 작품들 중에서 고르는 방식의 사람-인공지능 협업
 - User created content (ucc) 에서 컨셉 예술의 시대로
 - 이야기의 구조(사건 후 이야기 전개 및 결말)가 계속 바뀐다
 - 데이터의 양이 많아지고, 오독이 줄어들고, 창조적 오독이 늘어나면 새로운 형태의 창작 출현



제231회 한림원탁토론회

30

인간은 인공지능과 질문하며 협업한다



제231회 한림원탁토론회

31

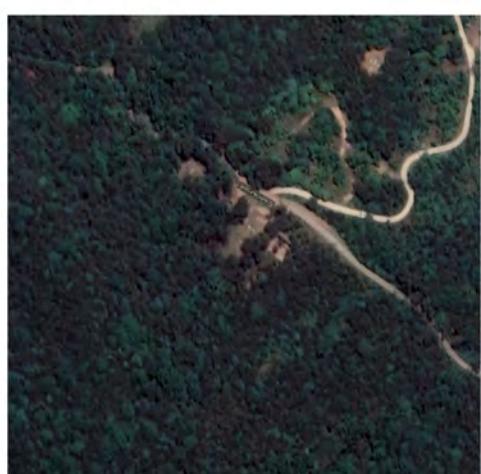
협업의 파트너, 도우미로서의 인공지능 Exploration in the solution space with Artificial intelligence



ADD BCI competition



미사일 발사대



예시

KAIST-BCI REsults

		Set 1	Set 2	Set 3
Human	BCI 정답율	44.44	60.00	62.22
	군인 정답율	91.11	93.33	91.11

		Set 1	Set 2	Set 3
AI	BCI 정답율	57.77	57.77	48.88
	군인 정답율	86.66	100	91.11

		Set 1	Set 2	Set 3
Human	BCI 정답	4	2	4
	군인 오답 수	4	3	4
	BCI 보완율 (%)	100.00	66.67	100.00

		Set 1	Set 2	Set 3
AI	BCI 정답	4	0	1
	군인오답 수	6	0	4
	BCI 보완율 (%)	66.67	0	0.25

		Set 1	Set 2	Set 3
Human + AI	상호 보완율 (%)	100.00	97.91	100.00

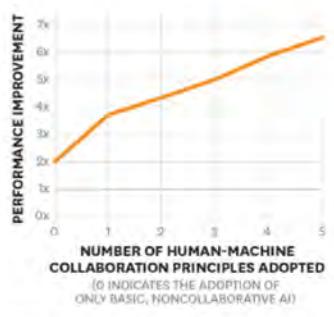
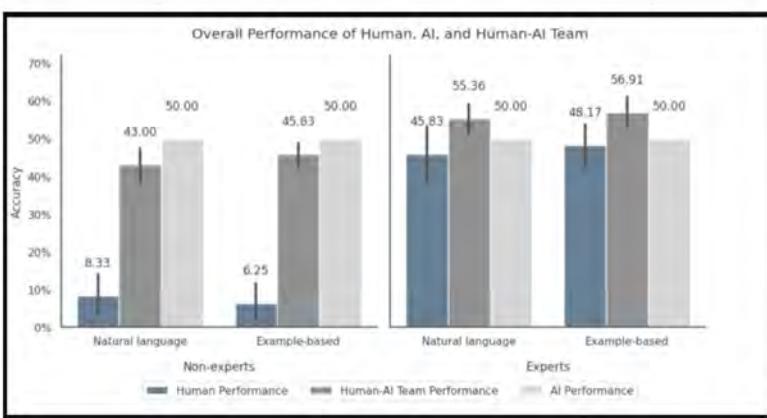
		Set 1	Set 2	Set 3
Human + AI	상호 보완율 (%)	95.83	100	93.75

상호 보완으로 최적의 결과를 얻을 수 있음

제231회 한림원탁토론회

44

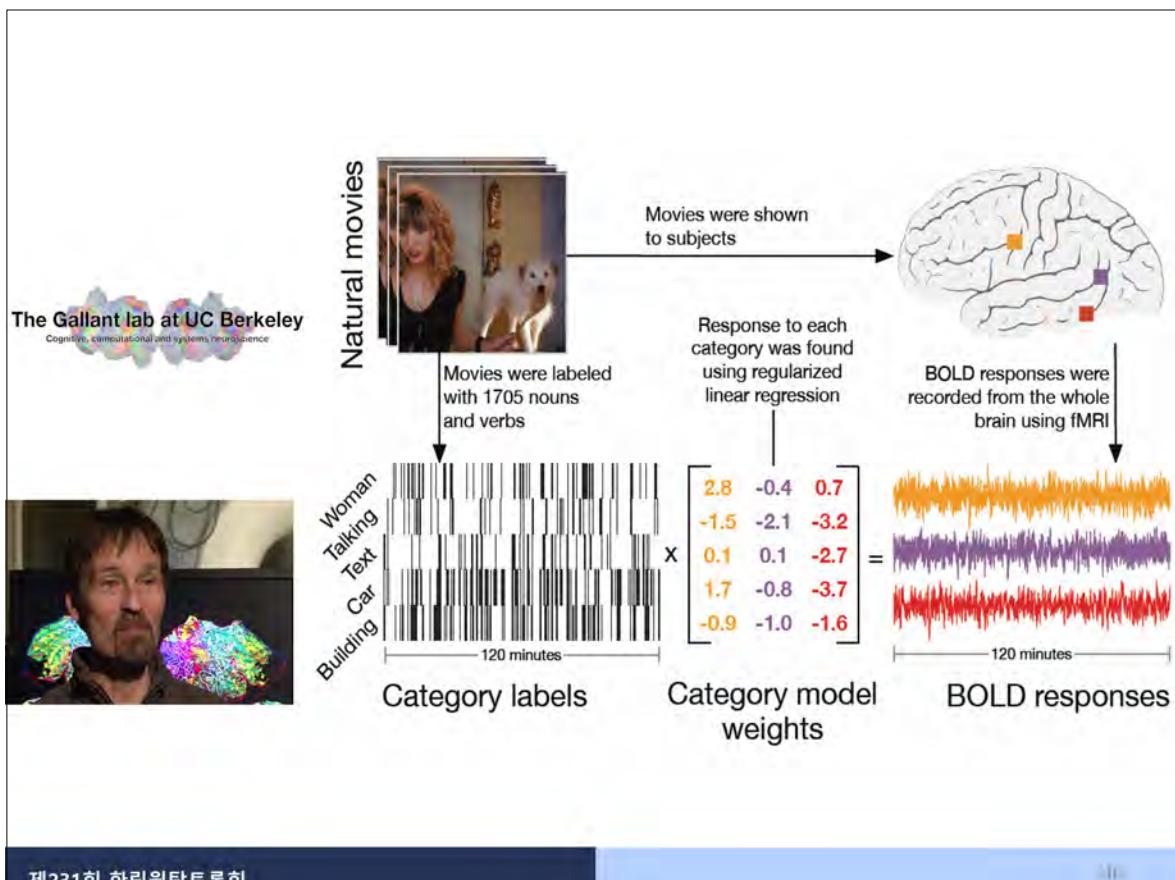
Human expert and AI team shows better performance



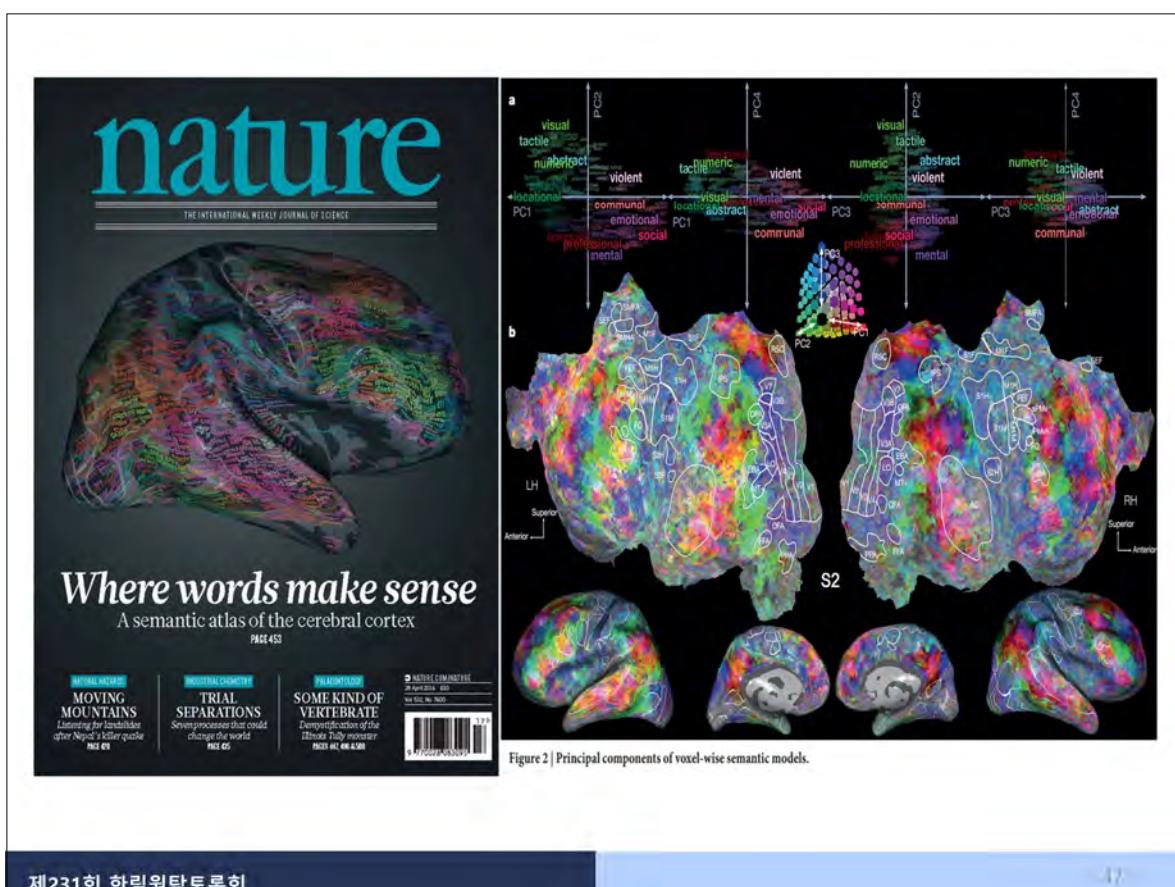
Katelyn Morrison et al., The Impact of Imperfect XAI on Human-AI Decision-Making (2023)

제231회 한림원탁토론회

45



제231회 한림원탁토론회

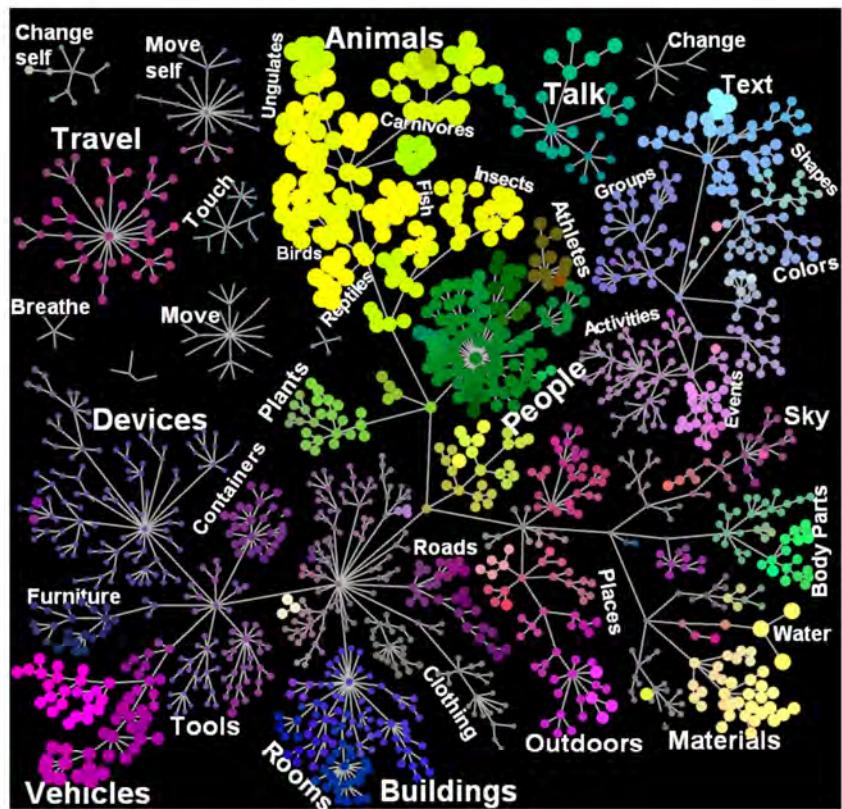


제231회 한림원탁토론회



Alexander G. Huth et al., Natural speech reveals the semantic maps that tile human cerebral cortex, Nature (2016)

제231회 한림원탁토론회



제231회 한림원탁토론회

The Future of Human-AI Collaboration

Embracing the Future of Human-AI Collaboration



II

토 론

좌 장 이현주 KAIST 전기및전자공학부 석좌교수

지정토론 1 이기원 와이브레인 대표이사

지정토론 2 우세준 분당서울대학교병원 의료기기연구개발센터 센터장

지정토론 3 박건혁 한국한의학연구원 한약자원연구센터 책임연구원

지정토론 4 박정환 서울대학교 의과대학 교수

지정토론 1

• • •



이 기 원

와이브레인 대표이사

Neuralink가 의료기기로 규제되는 이유

Neuralink는 뇌-컴퓨터 인터페이스(BCI) 기술로 뇌에 연결되는 기기를 개발 중이며, 이는 의료기기의 정의에 부합해 규제된다. 의료기기는 질병의 진단·치료·경감, 장애의 보정, 신체 기능의 검사·대체·변형을 목적으로 사용되는 제품을 의미한다. Neuralink는 특히 장애를 보정하거나 신체 기능을 대체하는 기술로, 뇌 신호를 디지털로 변환해 마비 환자의 움직임을 돋거나 청각·시각 장애 개선을 목표로 한다. 따라서 의료기기에 해당되며, 기기의 안전성과 효과를 보장하고, 사용자의 건강과 생명을 보호하기 위해 엄격한 규제와 승인이 필수적이다.

의료기기 규제 특성으로 보는 BCI 상용화 가능성

의료기기 규제는 기존 상용 기술과의 유사성이 높은 경우 예측 가능한 위해도를 기반으로 빠른 인체 임상과 시장 진입을 허용한다. Neuralink 등 BCI와 관련된 기존 상용 의료기기 품목은 측정, 디코딩, 자극의 세 가지로 살펴볼 수 있다.

- 측정: 이식형 뇌 신호 측정 장치는 식약처 4등급, FDA Class III(고위험)
- 디코딩: 생체신호 분석 소프트웨어는 식약처 2등급, FDA Class II(중간 위험)
- 자극: 이식형 뇌 자극 장치는 식약처 4등급, FDA Class III

Neuralink의 BCI 기술은 고위험군인 측정·자극 기술과 중간 수준의 디코딩 소프트웨어로 구성된다. 실제 상용화에는 규제 충족을 위한 다양한 안전성 및 성능 시험 성적서와 엄격한 임상 시험이 필수적이지만 기존 이식형 뇌심부자극기 등 유사 사례가 존재하므로 상용화 가능성은 매우 높은 것으로 판단할 수 있다.

마비 환자 기본권 보장과 보건 재정 건전성을 위한 국산 BCI 필요성

마비는 척수 손상 등 중추신경계 손상으로 발생하며, 환자의 자율성과 독립성을 제한해 기본권을 침해한다. 전 세계적으로 약 5천만 명이 신경계 손상으로 불편을 겪고 있으며, 기술적 대안 부족으로 평생 타인의 도움에 의존해야 한다.

국내 마비 환자 수는 40만 명을 넘어섰고, 장기 요양비와 의료비는 국가적 부담으로 이어지고 있다. 근본적 치료법이 부재한 상황에서 영국의 경우 중추신경계 환자의 연간 요양비가 약 5조 원에 달한다.

Neuralink를 비롯한 BCI 기술의 상용화가 가시화되는 가운데, 중국은 BCI 국제 표준화를 주도하고 국가적 지원을 확대하는 등 상용화에 속도를 내고 있다. 이식형 BCI 기술의 국산화는 마비 환자의 신체 기능 복원과 삶의 질 개선을 위해 반드시 필요하며, 국가 경쟁력 확보의 핵심 과제다. 정부의 적극적인 R&D 지원과 의료기기 규제 정비, 표준화 준비를 통해 해외 기술의존도를 줄일 수 있다면 국산 기술을 통해 환자 기본권 보장, 보건 재정 부담 경감과 신시장 창출의 좋은 성공 사례를 만들 수 있을 것이다.

지정토론 2

● ● ●

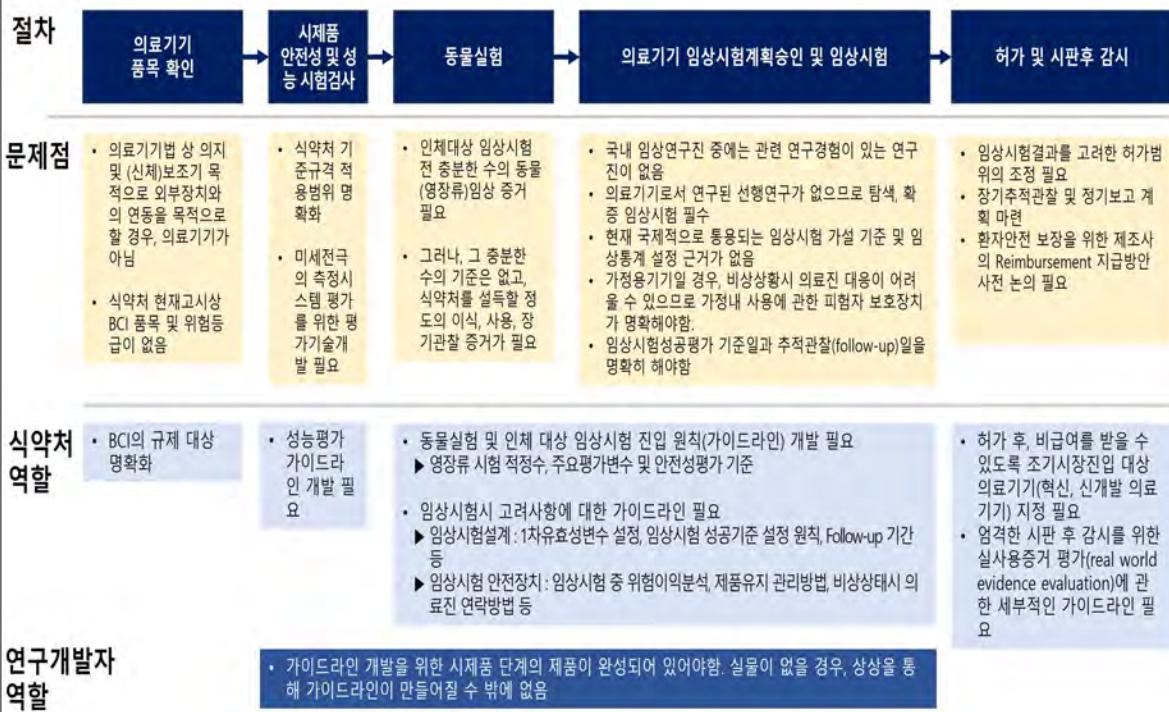


우 세 준

분당서울대학교병원 의료기기연구개발센터 센터장

BCI 인허가 과정과 필요 요건

SNUH 분당서울대학교병원
의료기기연구개발센터



새롭고 혁신적인 과학기술을 이용하여 미충족 의료수요를 해결하는 열정적인 연구·개발자들이 있는가 하면, 혁신기술이 의료분야에서 안전하고 유효하게 대중들에게 사용되기 위해 엄격한 인허가를 요구하는 규제당국이 있다. 미충족 의료수요 해결을 위해 혁신과 안전성 평가의 균형에 관한 논의는 오랜 기간 이해당사자들 간에 지속되어 논의되던 영역이다. BCI 의료제품이 허가되기 위해서는 혁신과 안전에 관한 균형을 찾는 노력이 필요할 것이며, 그 지점들을 짚어보고자 한다.

첫째, 의료기기 분류의 불명확성. BCI제품의 주 활용은 뉴럴링크의 예시에서 볼 수 있듯이 뇌파를 이용하여 마우스나 로봇 팔 등 외부장치와 연결되어 사용되는 것이다. 「의료기기법」 제2조(정의)에서는 장애인보조법에 따르는 의지 및 보조기는 의료기기로 분류되지 않는다. Neuralink와 같은 BCI 제품은 침습적 기기임에도 현재의 식약처의 규제대상으로 분류되지 않을 수 있으며, 이 경우 미국의 규제당국과 달리 안전성과 유효성, 성능 등을 검증할 수 없을 수 있다. FDA가 이식형 BCI자체를 의료기기로 분류했듯, 식약처에서도 BCI 제품에 대한 규제 대상 여부를 명확히 제시해주어야 한다.

둘째, 임상시험 가이드라인 부재. 사람을 대상으로하는 임상시험에 들어가기 위해서는 사람에게도 적용가능함을 입증하는 수많은 선행 증거들을 식약처에 제공해야 한다. 뉴럴링크도 FDA를 설득하기 위해 2018년부터 양과 돼지, 원숭이 등 약 1500 여 마리의 실험을 수행한 것으로 나타나 있다. 그러나, 동물시험윤리를 고려해야하며, 인체 대상 임상시험을 인정해주기 위한 FDA와 같이 가이드라인 및 평가원칙이 필요하다.

셋째, 국내 시제품 개발의 필요성. 정부기관이 가이드라인 개발을 시작할 수는 있지만, 상상하거나 해외제품을 대상으로 국내 가이드라인을 개발할 수는 없다. 제품의 실물이 있어야 그 특성과 시행착오 등을 공유받아야 실효성이 있는 가이드라인 개발이 가능해진다. 따라서 국내에서도 BCI제품이 인허가를 위해서는 동물실험까지 가능한 시제품이 먼저 제시되어야 한다.

넷째, 임상시험의 특수성과 시판후 모니터링 필요성. BCI 특성상 제품은 가정에서 주로 사용된다. 병원밖에서 수행되는 임상 시험은 이상사례발생시 즉각적인 조치가 어렵다는 단점이 있어 안전성에 우려가 발생할 수 있다. 또한 BCI제품은 장기간 인체내 삽입하여 사용하기 때문에 임상시험과 허가 이후에도 장기간 제품사용에 관한 이상사례를 추적하는 강력한 시판 후 감시가 필요하다.

마지막, 수가 정책 필요. 이러한 제품의 안전성 유효성 추적은 업체의 막대한 비용을 필요로 한다. 혁신은 업체의 손해와 희생으로만 이루어지지 않는다. 이식된 환자의 지속적인 감시와 관리하기 위해서는 비급여 지불 등 의료 수가 정책을 통해 판매 수익이 지속적으로 제조업체에게 흘러가야 하는 구조가 이루어져야 한다. 그래야, BCI 제조업체가 지치지 않고 혁신을 유지하며, 환자의 안전을 담보할 수 있을 것이다.

지정토론 3

•••



박 건 혁

한국한의학연구원 한약자원연구센터 책임연구원

현실세계와 가상공간의 경계, 뇌-컴퓨터 인터페이스(BCI)

영화 트랜센던스(Transcendence)는 인간의 의식을 디지털화해 컴퓨터에 업로드하는 과정을 통해 인간과 기술의 융합 가능성을 탐구한다. 이 영화에서 주인공 윌 캐스터는 자신의 의식을 컴퓨터로 옮겨 디지털 초지능으로 재탄생하지만, 이는 기술 발전과 인간성 사이의 갈등을 초래하며 다양한 윤리적 문제를 제기한다.

현대 과학계에서도 영화 속 상상이 점점 현실화되고 있다. 특히, 뇌와 컴퓨터를 연결하여 사고를 인터넷과 실시간으로 공유하는 이른바 ‘생각 인터넷(Internet of Thought)’ 기술은 트랜센던스에서 그려진 디지털 초지능의 초기 단계라고 볼 수 있다. 전세계 많은 연구자들에 따르면, 나노입자 수준이 뇌에 주입되어 인간의 정보를 암호화한 뒤 무선으로 인터넷과 실시간 연결할 수 있을 것으로 전망하기도 한다. 현재로는 설계된 칩을 수술적으로 이식하는 형태로 기술화 된 사례가 축적되고 있다. 이러한 기술은 개인의 뇌와 기계 연결 또는 여러 사람의 뇌를 연결하는 수퍼뇌를 형성하는데 기여될수 있다고 본다.

하지만 영화가 암시하듯, 기술 발전이 가져올 윤리적 딜레마와 사회적 문제는 간과할 수 없다. 트랜센던스는 기술이 인간의 한계를 극복하는 데 기여할 수 있지만, 통제되지 않을 경우 어떤 결과를 초래할 수 있는지를 경고한다. 마찬가지로 생각 인터넷 기술이 현실화된다면,

개인정보 보호, 해킹 위험, 그리고 인간 본연의 정체성에 대한 질문과 같은 문제들이 논의의 중심에 설 것이다.

결국, 영화와 현실 모두에서 중요한 점은 기술의 발전과 인간의 가치를 어떻게 조화롭게 통합할 것인가이다. 트랜센던스가 그린 디지털 초지능의 세계는 더 이상 허구가 아닌, 미래 과학기술의 방향성을 보여주는 하나의 가능성으로 다가오고 있다.

이러한 기술적 발전은 현실 세계와 가상공간의 경계를 점점 희미하게 만들고 있다. 특히 뇌-컴퓨터 인터페이스(Brain-Computer Interface, BCI) 기술은 이러한 변화의 핵심에 있다. BCI는 인간의 뇌와 컴퓨터를 연결하여 인간의 사고와 명령을 디지털 신호로 변환하는 기술이다. 이를 통해 인간은 물리적 장치 없이도 생각만으로 기계를 제어하거나, 가상 세계에서 새로운 형태의 경험을 할 수 있다.

현실과 가상의 경계가 점차 사라지는 시대. 우리는 기술을 통해 새로운 세상을 열어가는 동시에, 인간으로서의 본질을 잃지 않도록 균형을 맞추어야 한다. BCI는 그 중심에 있는 기술로서, 우리의 미래를 형성하는 데 중요한 역할을 하게 될 것이다.

지정토론 4

• • •



박 정 환

서울대학교 의과대학 교수

뇌-기계 인터페이스(Brain-Machine Interface, BMI)는 신경과학과 공학의 융합을 통해 인간의 뇌 신호를 해석하고 기계 장치를 제어하는 기술로, 인간의 삶의 질을 향상시킬 잠재력을 지니고 있다. 그러나 현재의 연구 및 개발 과정에서는 몇 가지 한계와 도전 과제가 존재한다.

1. 기능 중심의 연구 접근 문제점

BMI 연구는 종종 기능적 결과에만 집중하는 경향이 있다. 예를 들어, 정확한 기전 이해 없이 원하는 기능적 결과만 얻으면 수용하는 경향이 있는데, 이러한 접근은 예상치 못한 부작용을 초래하거나 기술의 보편적 적용에 한계를 가져올 수 있다. 따라서 기초 연구를 통해 뇌의 작용 원리를 철저히 이해하고, 이를 응용하려는 노력이 필요하다.

2. 규제와 연구 환경의 차이

우리나라에서는 BMI 연구를 위한 규제가 엄격하여, 사람을 대상으로 한 연구를 위해 식약처의 허가를 받는 데만 약 2년이 소요된다. 반면, 미국과 중국은 임상 연구를 보다 신속하게 진행할 수 있는 환경을 제공한다. 미국의 경우 뉴롤루션(Neurolutions)이라는 회사가 뇌졸중 환자의 손 움직임을 돋는 'IpsiHand'라는 뇌-컴퓨터 인터페이스 장치를 개발했는데, 이 장치는 2021년

4월 미국 식품의약국(FDA)으로부터 승인을 받았다. 이는 임상 승인 신청부터 승인까지 2년 이내에 완료된 사례이다. 중국 칭화대학교 연구진은 2023년 10월 사지 마비 환자의 뇌에 BMI 장치를 이식하여, 환자가 생각만으로 컴퓨터 화면의 커서를 움직일 수 있게 하는 데 성공했다. 이 연구는 임상 승인 신청부터 승인까지 약 1년이 소요되었다. 이러한 사례는 두 나라가 BMI 연구에 있어 보다 유연한 규제와 적극적인 지원을 하고 있음을 보여준다.

3. 기초 및 임상 연구 간의 협력 부족

우리나라에서는 기초 연구와 임상 연구가 분리되어 상호 이해가 부족한 상황이다. 기초 연구자는 임상 적용에 대한 이해가 부족하고, 임상 연구자는 기초 연구를 통한 기전 이해의 중요성을 인식하지 못하는 경우가 많다. 이러한 문제를 해결하기 위해 기초와 임상 연구자 간의 공동 연구 지원 체계를 구축하고, 변수들이 통제된 환경에서 임상 연구를 진행할 수 있도록 별도의 연구비를 지원해야 한다.

4. BMI 연구의 발전 방향

BMI의 궁극적 목표는 뇌의 작용 기전을 이해하여 인류의 편익을 증대시키는 것이다. 이를 위해 다음과 같은 노력이 필요하다:

- **기초-임상의 유기적 협력:** 기초와 임상 연구자 간의 공동 연구를 촉진하고, 변수들이 통제된 환경에서 임상 연구를 진행할 수 있도록 별도의 연구비를 지원해야 한다.
- **허가 절차 간소화:** 기초 연구 결과를 임상에 적용하는 과정에서의 복잡한 절차를 단순화하여 연구 속도를 높이는 방안을 마련해야 한다.

뇌-기계 인터페이스 연구는 기술 혁신뿐만 아니라 규제 및 협력 시스템의 개선을 통해 더 나은 방향으로 발전할 수 있다. 연구자와 정책 결정자 모두가 협력하여 기초 연구와 임상 연구를 통합하는 유기적 체계를 구축한다면, BMI 기술은 인간의 삶을 혁신적으로 변화시킬 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 초중등 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.

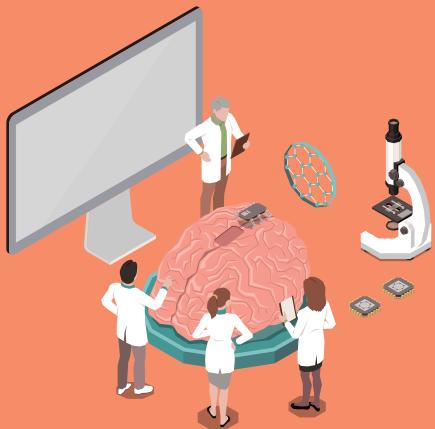
토론후에는 책자로 발간, 정부, 국회와 관련기관에 배포함으로써 정책 개선방안을 제시하고 정책 입안자료를 제공하여 여론 형성에 기여하도록 힘쓰고 있습니다.

■ 한림원탁토론회 개최실적 (2021년 ~ 2024년) ■

회차	일자	주제	발제자
182	2021. 2. 19.	세계대학평가 기관들의 객관성 분석과 국내대학을 위한 제언	이준영, 김현, 박준원
183	2021. 4. 2.	인공지능 시대의 인재 양성	오혜연, 서정연
184	2021. 4. 7.	탄소중립 2050 구현을 위한 과학기술 도전 및 제언	박진호, 정병기, 윤제용
185	2021. 4. 15.	출연연구기관의 현재와 미래	임혜숙, 김명준, 윤석진
186	2021. 4. 30.	메타버스(Metaverse), 새로운 가상 융합 플랫폼의 미래가치	우운택, 양준영
187	2021. 5. 27.	원격의료: 현재와 미래	정용, 최형식
188	2021. 6. 17.	배양육, 미래의 먹거리일까?	조철훈, 배호재
189	2021. 6. 30.	외국인 연구인력 지원 및 개선방안	이한진, 이동현, 버나드에거
190	2021. 7. 6.	국내 대학 연구 경쟁력의 현재와 미래	이현숙, 민정준, 윤봉준
191	2021. 7. 16.	아이들의 미래, 2022 교육과정 개정에 부쳐: 정보교육 없는 디지털 대전환 가능한가?	유기홍, 오세정, 이광형
192	2021. 10. 15.	자율주행을 넘어 생각하는 자동차로	조민수, 서창호, 조기준
193	2021. 12. 13.	인간의 뇌를 담은 미래 반도체 뉴로모픽칩	윤태식, 최창환, 박진홍
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

회차	일자	주제	발제자
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, 최선, 김규원
202	2022. 9. 29.	우리는 왜, 어떻게 우주로 가야 하는가?	문홍규, 이창진
203	2022. 10. 12.	공학과 헬스케어의 만남 – AI가 여는 100세 건강	황희, 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, 이근, 권석준
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, 이해정
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

회차	일자	주제	발제자
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 의료서비스 혁명: 디지털 치료제	서영준, 배민철
219	2024. 1. 31.	노쇠와 근감소증	원장원, 권기선, 고흥섭
220	2024. 3. 13.	필수의료 해결을 위한 제도적 방안	박민수, 김성근, 흥윤철
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, 김준
224	2024. 5. 29.	GMO, 지속가능성을 위한 전략	하상도, 김해영
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



제231회 한림원탁토론회

뉴럴링크 : 뇌와 세상의 소통

이 사업은 복권기금 및 과학기술진흥기금 지원을 통한 사업으로
우리나라의 사회적 가치 증진에 기여하고 있습니다.