

뇌와 컴퓨터의 접속(Brain-Computer Interface)



이성환

고려대학교 뇌공학과

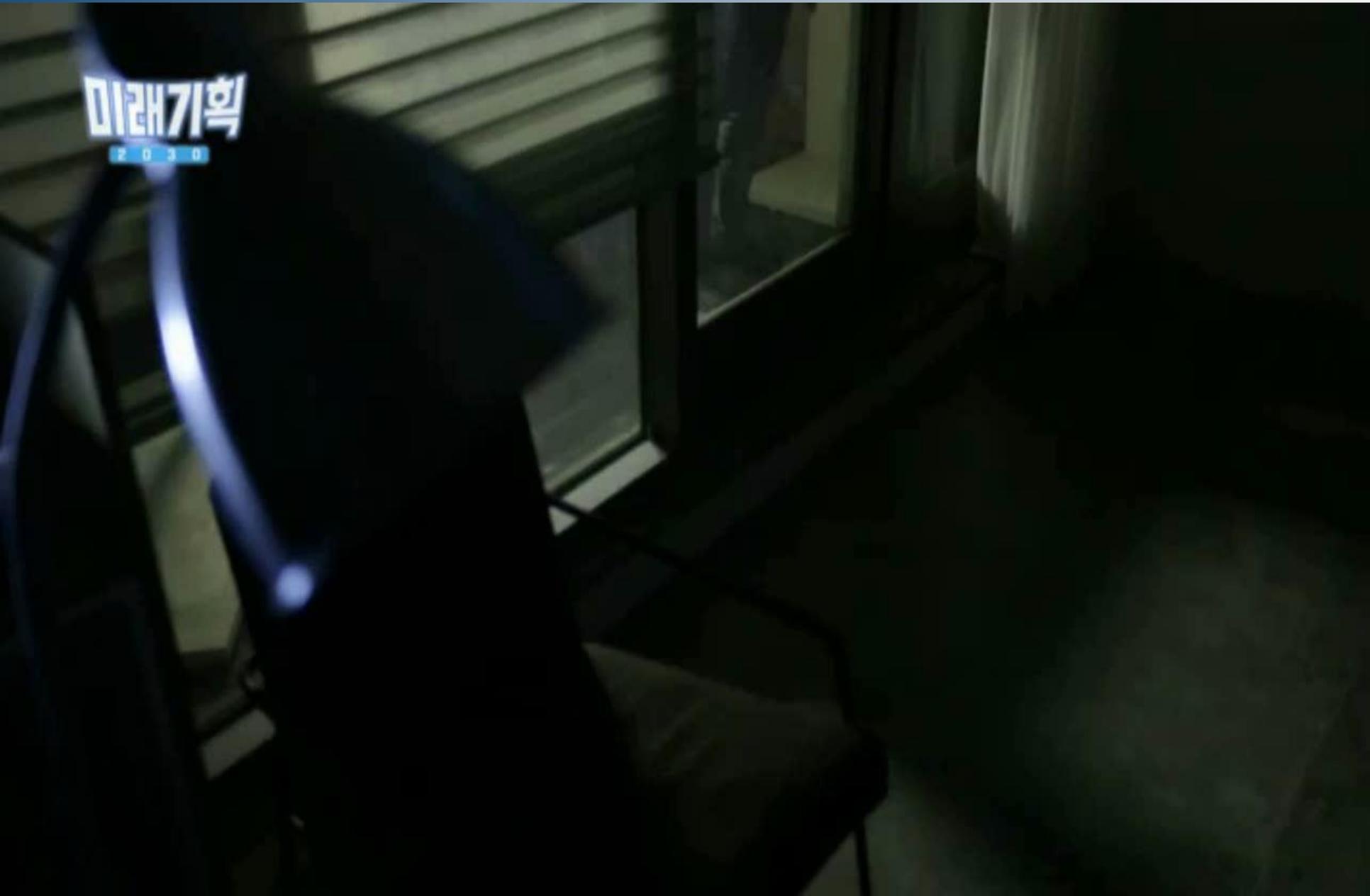
2017년 3월 26일

<http://brain.korea.ac.kr/swlee>

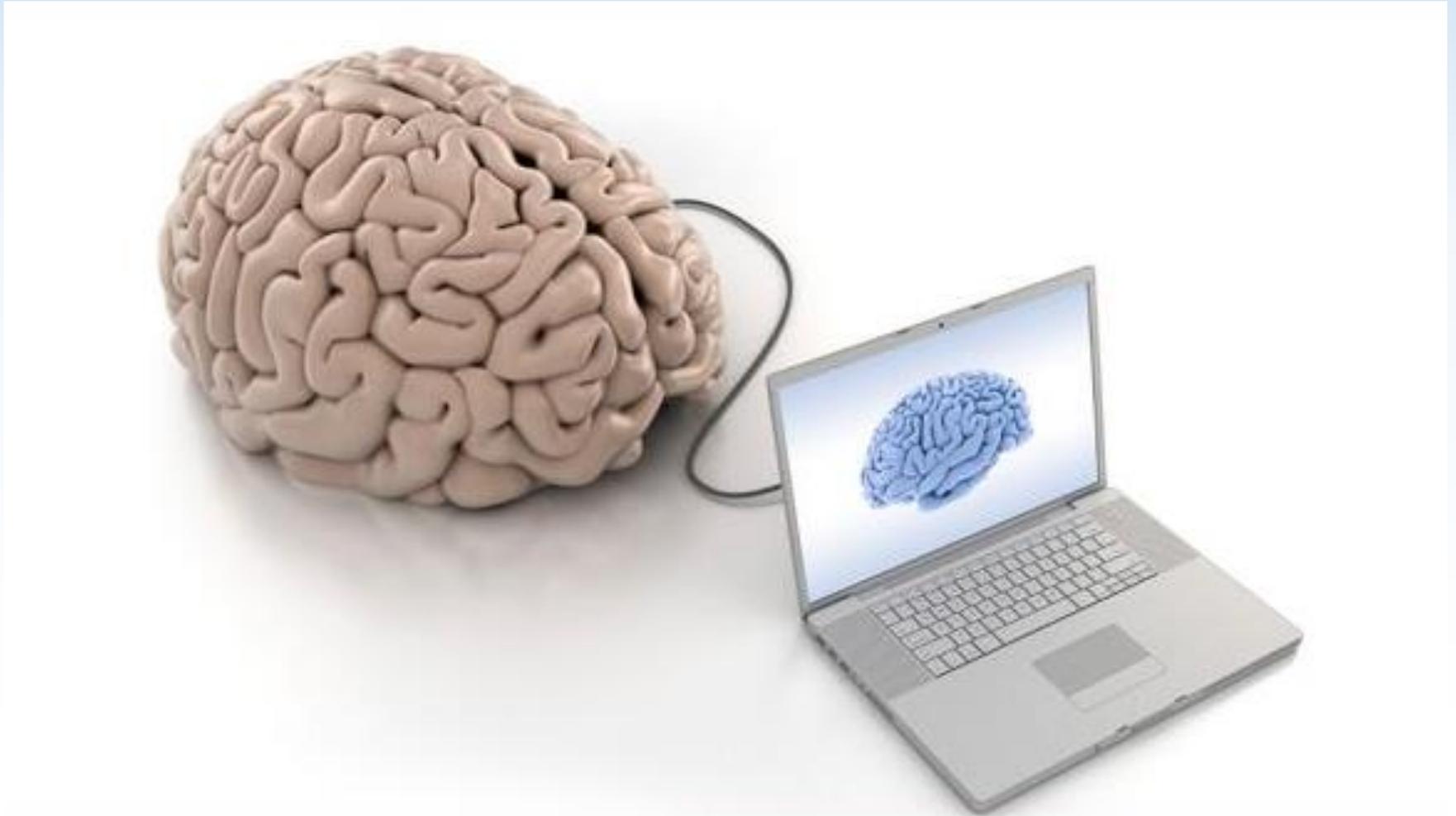
BCI로 만나는 미래 세상

출처: 미래기획 2030 (KBS 1TV, 2016년 11월 27일)

미래기획
2030

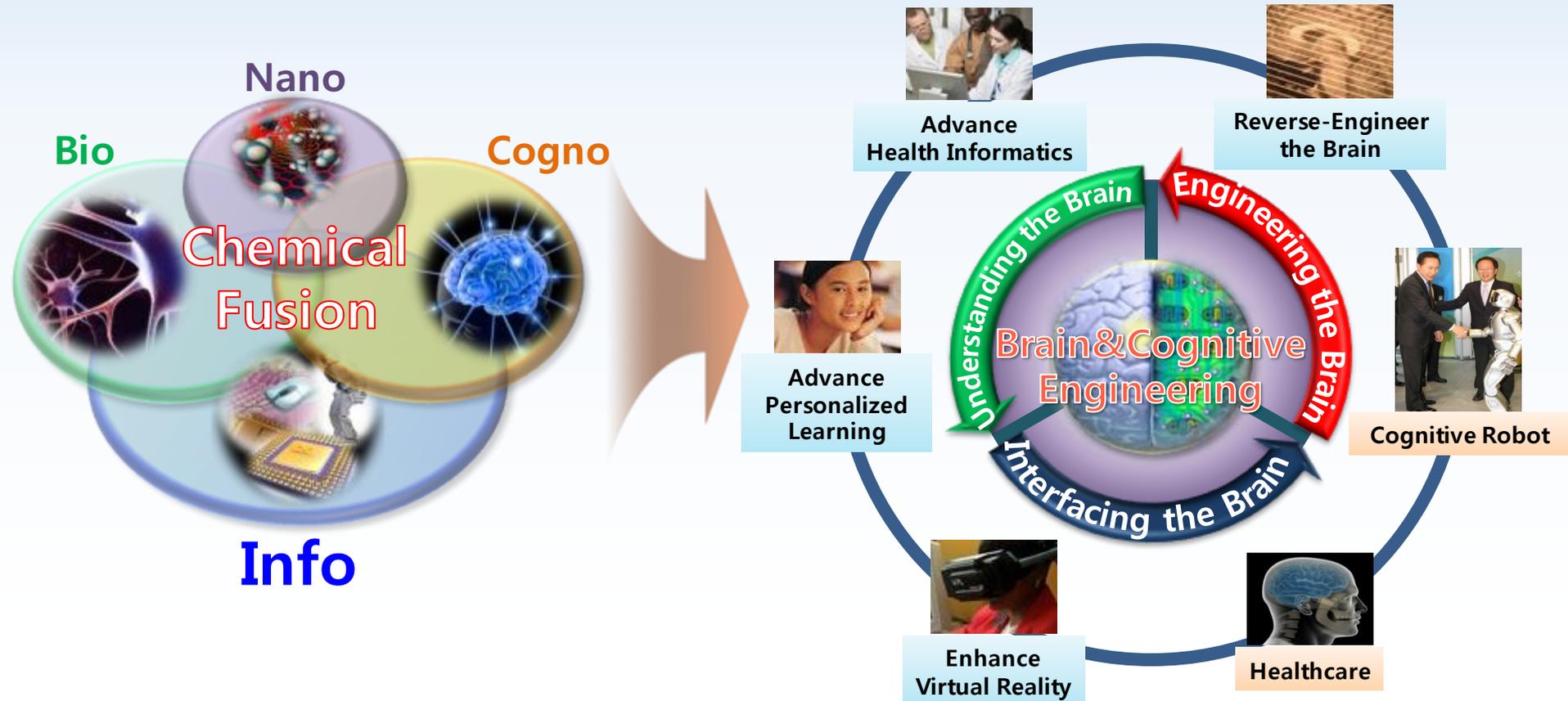
A dark, futuristic interior scene. A glowing blue light source, possibly a screen or a light fixture, is visible on the left side, casting a bright blue glow. The scene is dimly lit, with a window or glass partition visible in the background, showing a glimpse of a brighter area outside. The overall atmosphere is mysterious and high-tech.

뇌와 컴퓨터의 접속?



뇌공학이란?

뇌의 고수준 정보처리 구조와 원리를 이해하고,
이를 실세계와 지능적으로 상호작용하는 인공 시스템에 구현하는 기술 연구



뇌 신호 측정 방법

침습적(Invasive)

외과 수술을 통하여 뇌 내에 직접 센서를 장착하여 뇌 신호를 측정하는 기술로, 주로 신체적 장애 환자를 대상으로 연구가 진행중임



ECoG(Electrocorticogram)

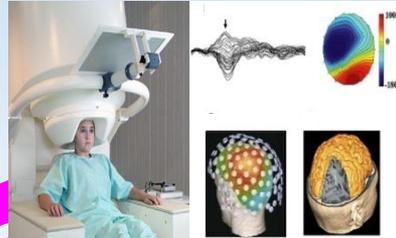
비침습적(Non-invasive)

별도의 수술 없이 두피 바깥에서 뇌 신호를 측정하는 기술로, 측정 비용이 비교적 낮고 인체에 무해하여 차세대 인터페이스 기술로 주목 받고 있음

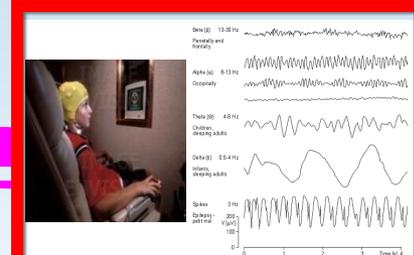


EEG(Electroencephalogram)

대표적인 비침습적 뇌 신호 측정장치



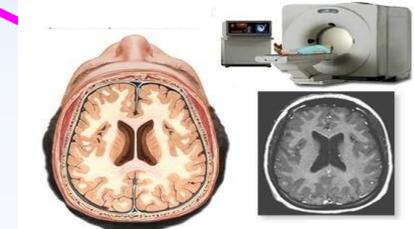
MagnetoEncephalography (MEG)
- 뇌자도



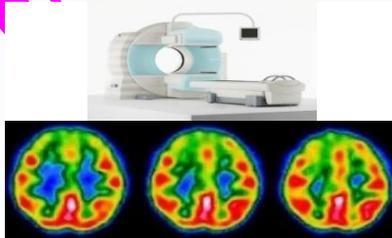
ElectroEncephalography (EEG)
- 뇌전도



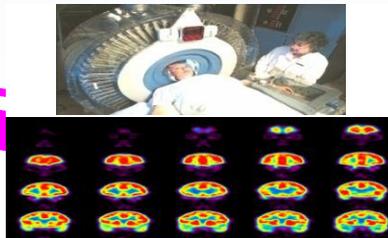
Computed Tomography (CT)
- 컴퓨터 단층 촬영



Magnetic Resonance Image (MRI)
- 자기 공명 영상



Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT)
- 단일 광자 단층 촬영



Positron Emission Tomography (PET)
- 양전자 단층 촬영

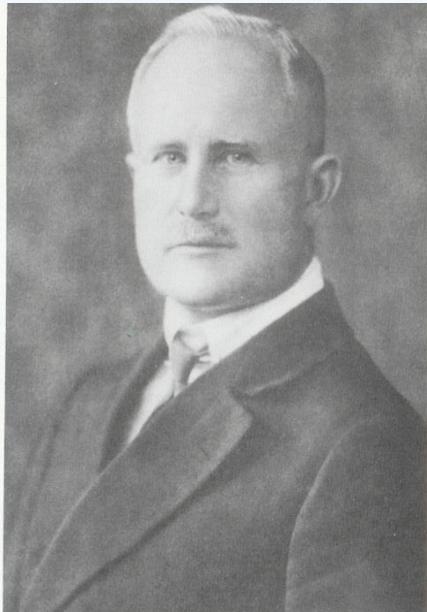


functional Magnetic Resonance Image (fMRI)
- 기능성 자기 공명 영상

ElectroEncephaloGraphy(EEG)

ElectroEncephaloGraphy = 전기의 + 뇌의 + 기록법

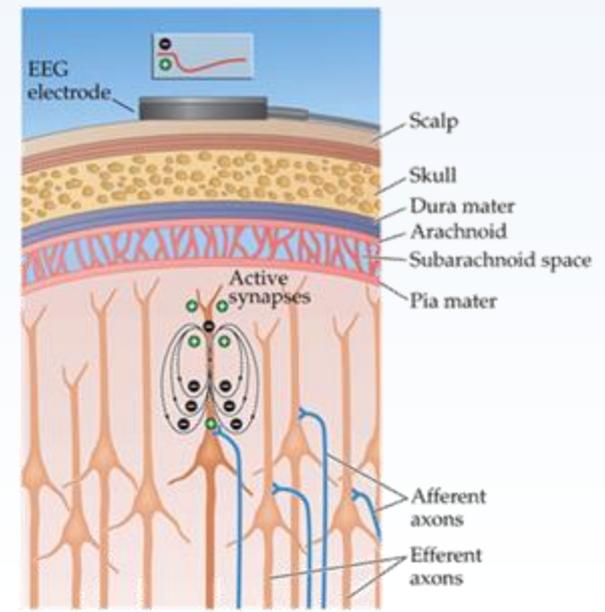
- 뇌가 활동함에 따라 뇌신경 사이에 신호가 전달될 때 생기는 전기의 흐름을 두피에 부착한 전극을 통해 측정하는 신호
- 독일의 생리학자 Hans Berger가 최초로 측정



Hans Berger (1873-1941)



EEG 측정 장비



EEG 신호 원리

EEG 측정에 필요한 것들



뇌 신호를 측정하기
위해 두피에 부착
하는 센서

EEG 전극



EEG 전극을 안정적
으로 고정하기 위한
모자

EEG-Cap



전도성 향상을 위해
두피와 전극 사이에
바르는 젤

전도성 젤



ADC(아날로그 신호
를 디지털 신호로 변
환) 장치와 미세한
EEG 신호를 증폭하
고 컴퓨터에 전송하
기 위한 장치

ADC(Analog to Digital Converter) 장치 & 증폭기

EEG 측정 절차

EEG-Cap 착용



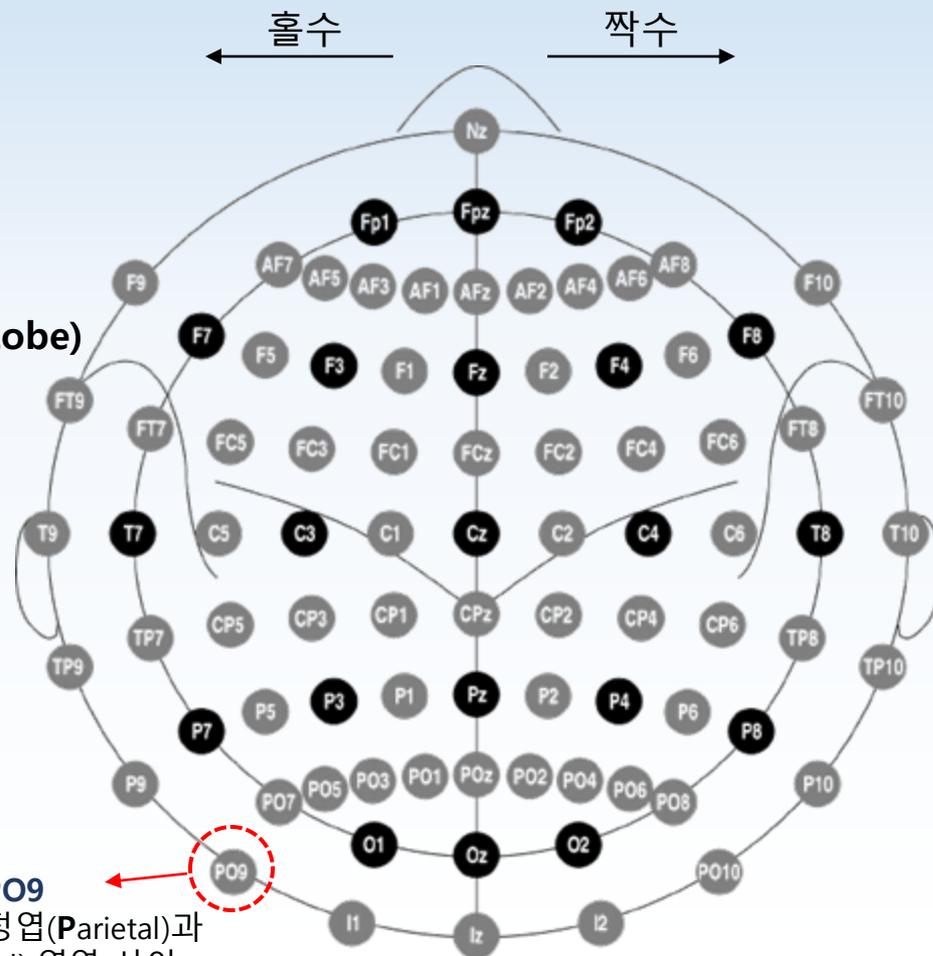
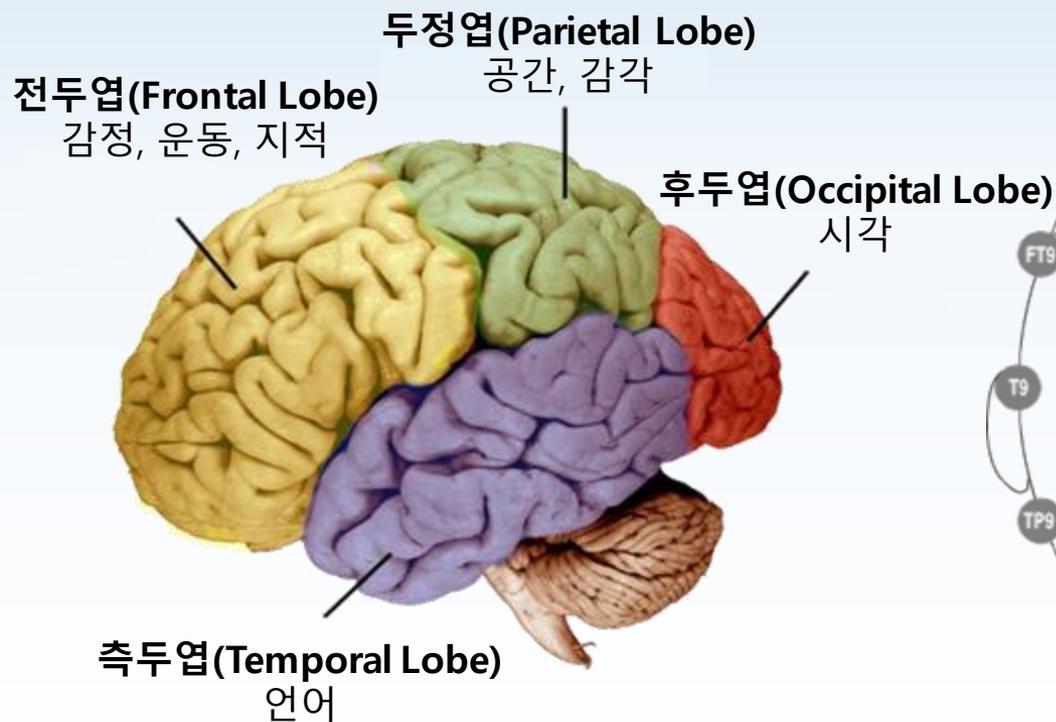
젤 삽입(전도성 향상)



EEG 측정



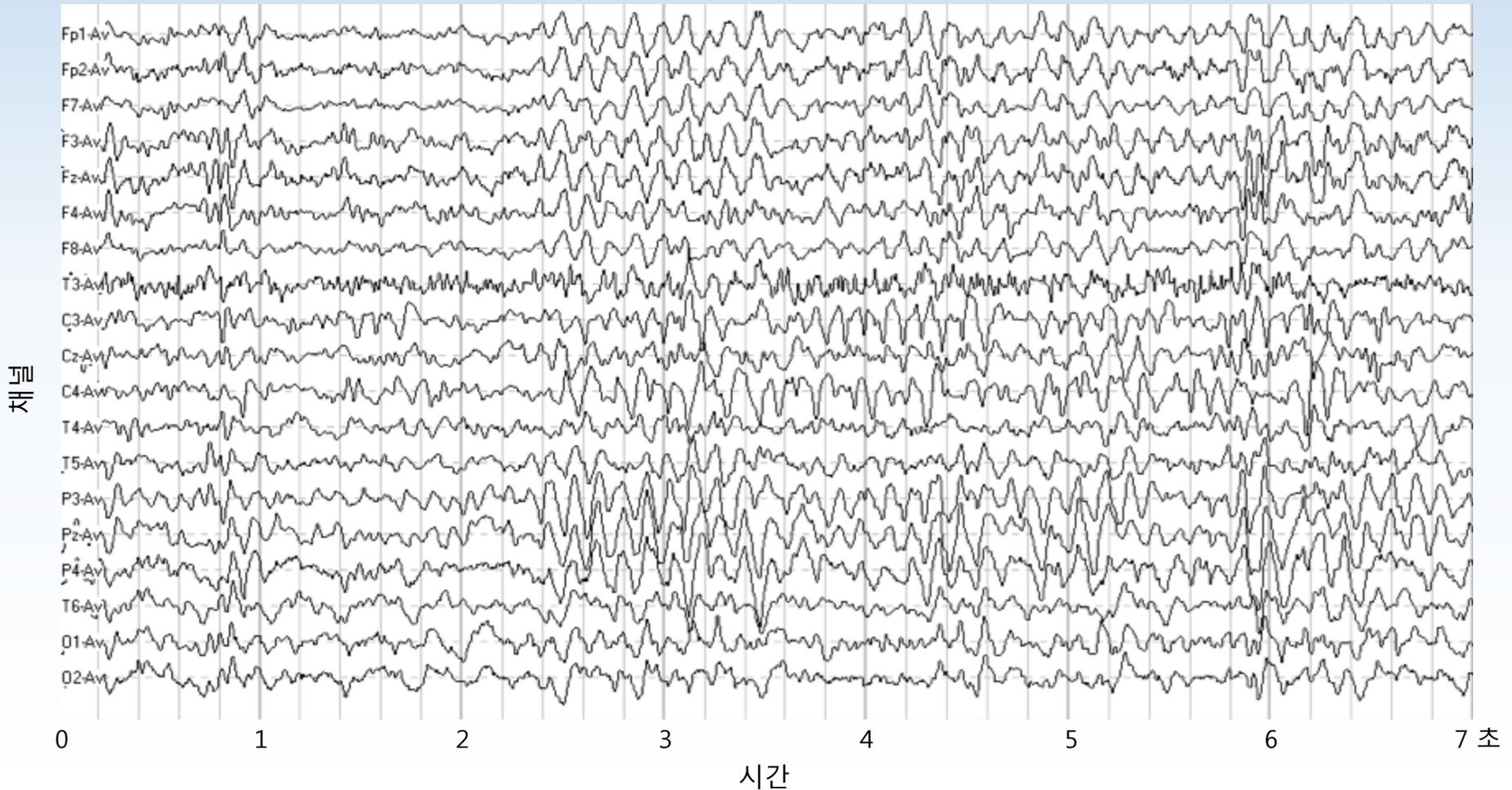
EEG 전극 표준 좌표계



Ex) PO9
 왼쪽 영역의 두정엽(Parietal)과
 후두엽(Occipital) 영역 사이

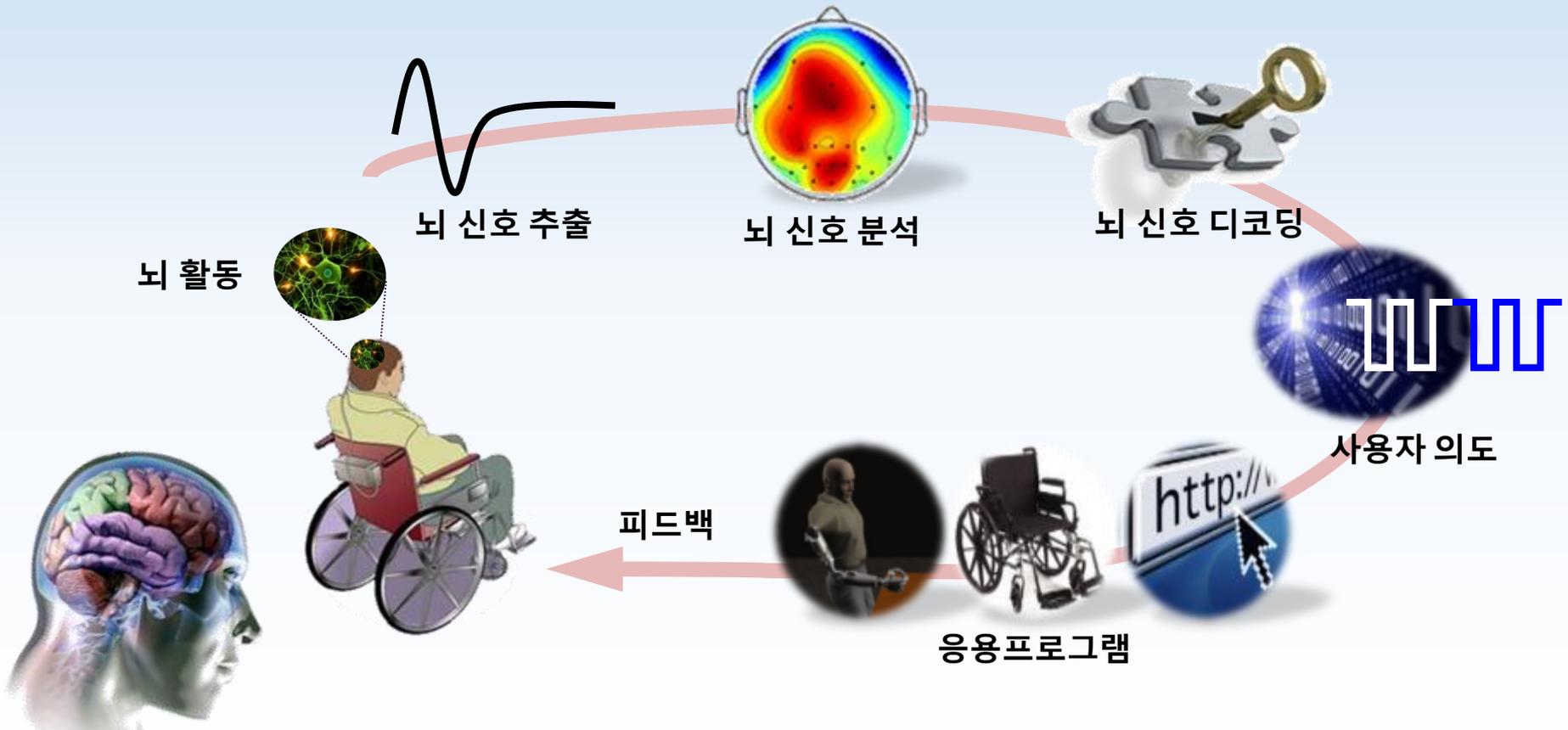
International 10-20 System

측정된 EEG 신호



무슨 생각을 하고 있는 뇌 신호일까요?

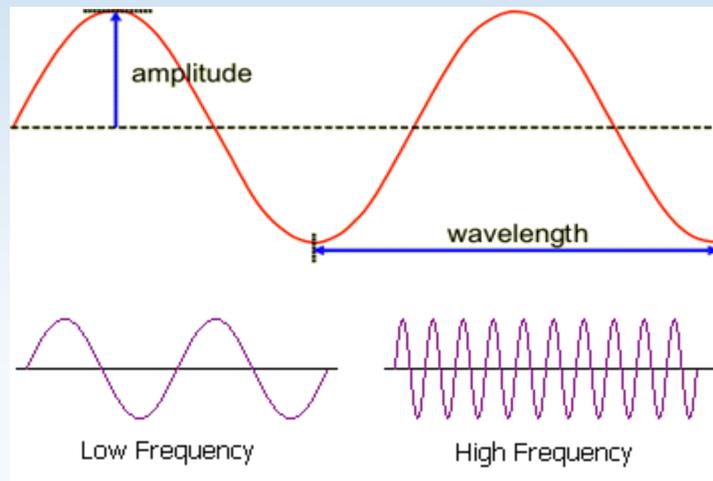
뇌-컴퓨터 인터페이스



Brain-Computer Interface(BCI): 다양한 두뇌 활동 시 발생하는 뇌 신호를 자동 분석하여 인간의 의도를 인식함으로써 외부 장치를 제어하는 기술

EEG 신호 특징

- **진폭(Amplitude)**
 - 진동이나 파동 현상에서의 변위 크기의 극대값
- **파장(Wavelength)**
 - 반복되는 모양을 주기적으로 보이는 파동에서 골과 골 사이의 거리
- **주파수(Frequency)**
 - 진동이나 파동 현상에서 단위 시간 내에 일정한 주기나 파형이 반복되는 횟수



일반적인 신호 특징

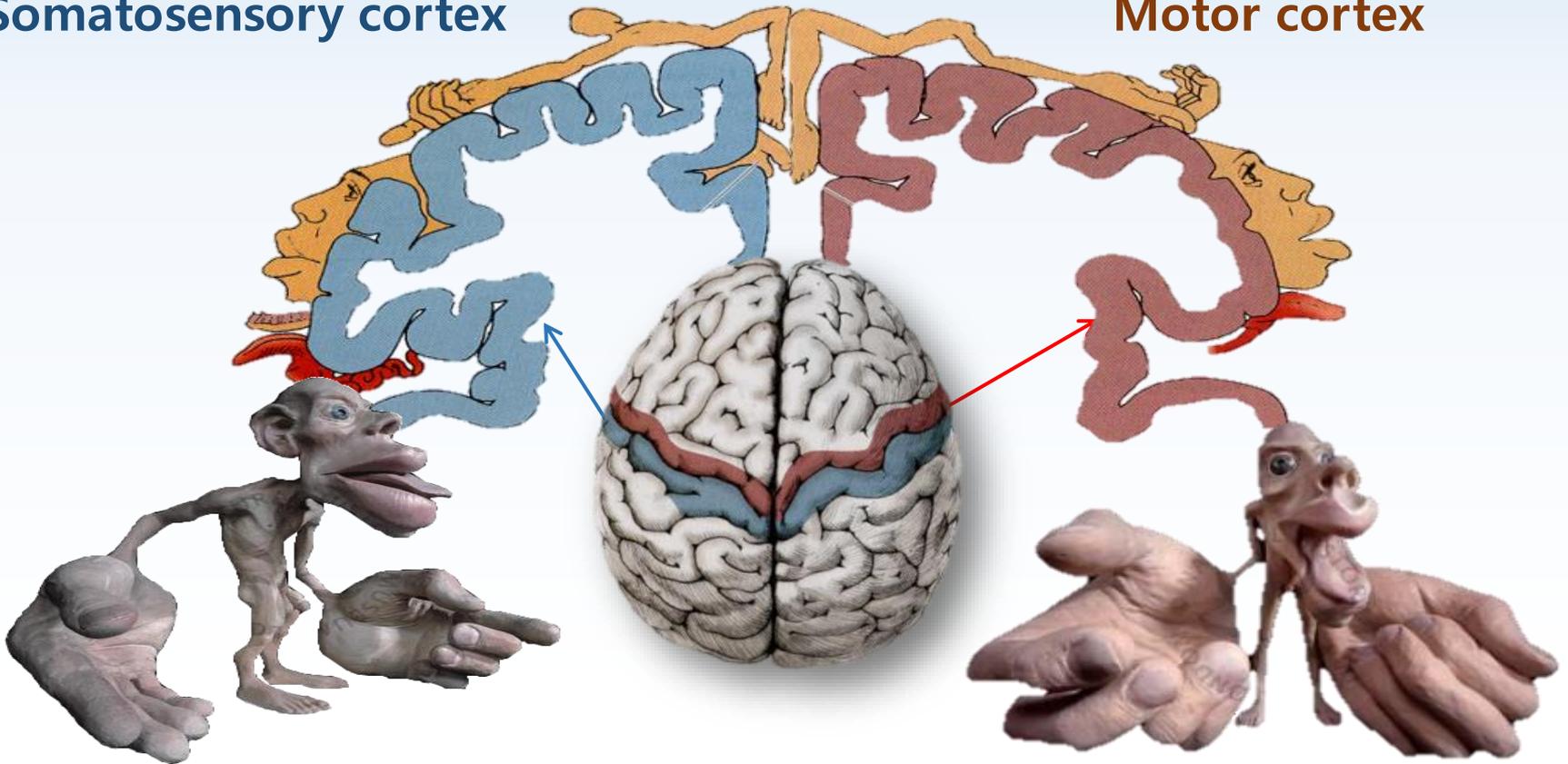
종류	주파수	정신상태
Delta파 (δ)	1-4Hz	깊은 수면
Theta파 (θ)	4-8Hz	수면, 명상
Alpha파 (α)	8-13Hz	안정, 휴식
Beta파 (β)	13-30Hz	작업중, 스트레스
Gamma파 (γ)	> 30Hz	스트레스, 흥분

호문쿨러스(Homunculus)

- 인간 뇌의 감각과 운동 피질에서 얼마나 많은 부분이 신체의 각 부분을 담당하는지에 따라 만들어진 왜곡된 형태의 모델

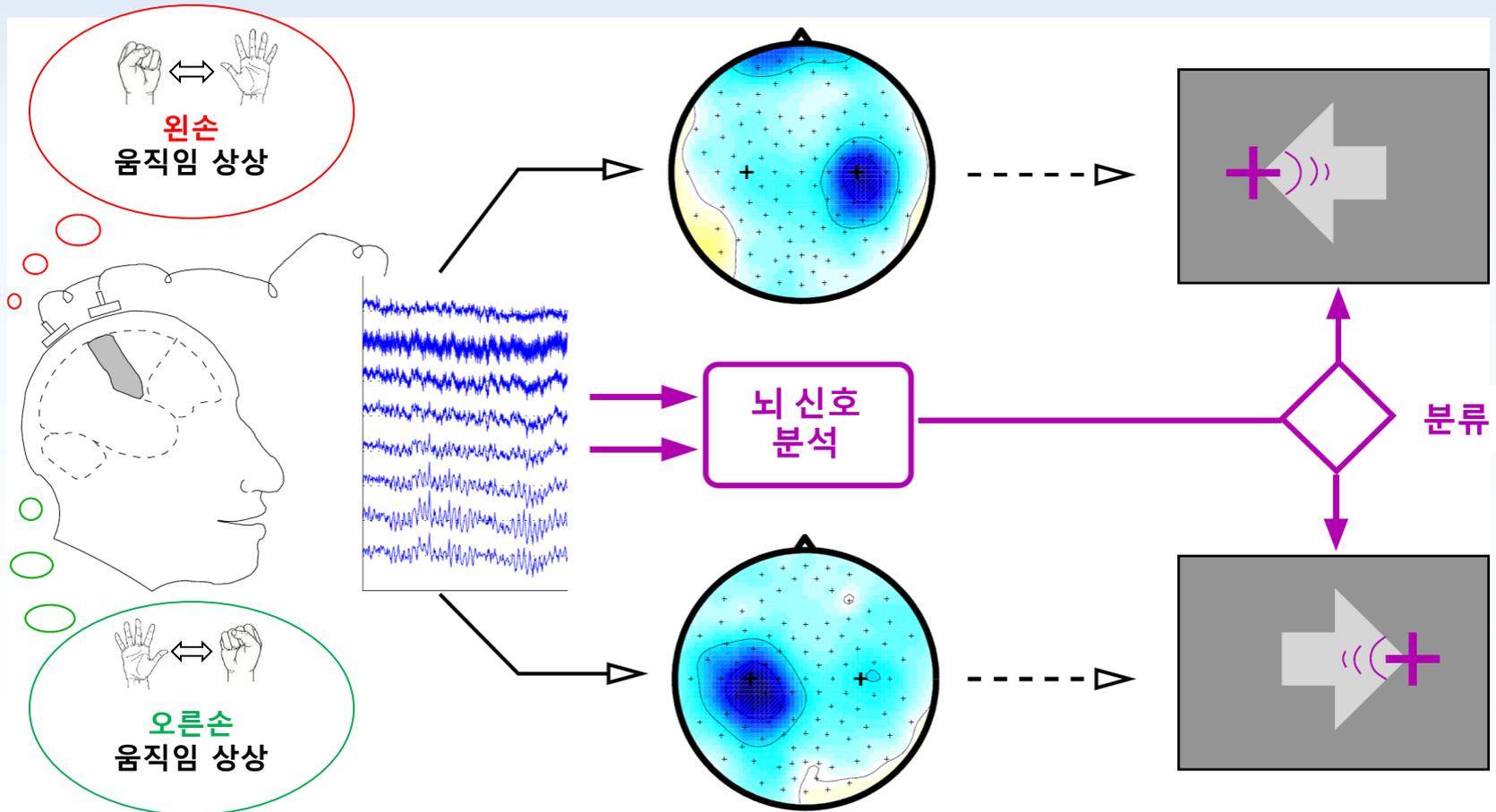
Somatosensory cortex

Motor cortex



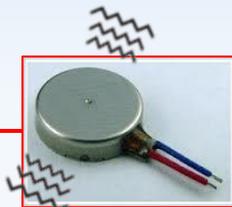
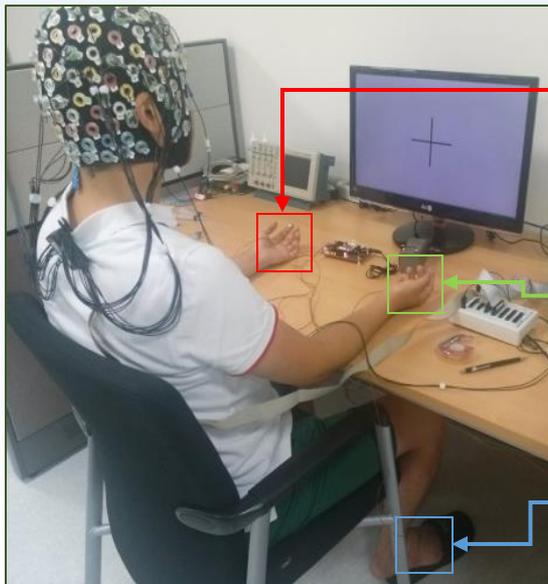
호문쿨러스 기반 대표적 뇌-컴퓨터 인터페이스 패러다임(1/2)

- 동작 상상(Motor Imagery: MI)
 - 신체(왼손, 오른손, 발 등) 움직임 상상을 통해 발생하는 뇌 신호



호문쿨러스 기반 대표적 뇌-컴퓨터 인터페이스 패러다임(2/2)

- 정상-상태 체성감각 유발 전위(Steady-State Somatosensory Evoked Potential: SSSEP)
 - 특정 진동 자극에 대한 선택적인 집중으로 인해 발현되는 뇌 신호
 - 일반적으로 15~30Hz의 진동 자극에 반응



왼손
(17Hz)

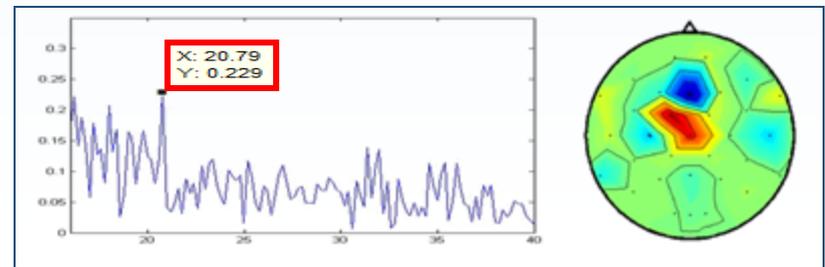
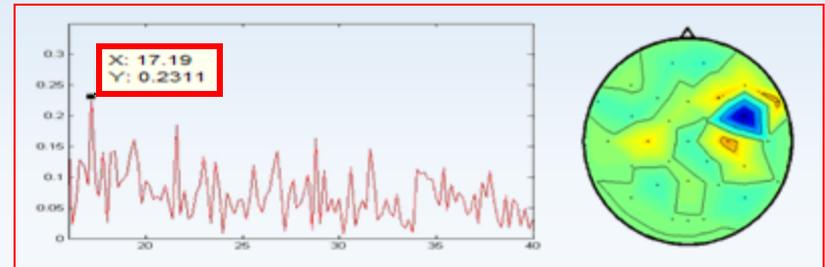


오른손
(27Hz)



발
(20Hz)

진동 자극



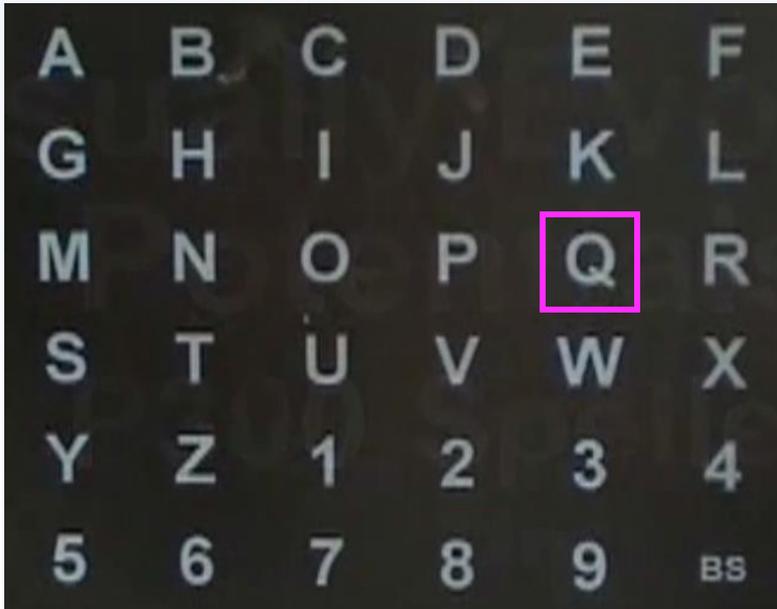
정상-상태 체성감각 유발 전위 관련 뇌 신호 획득을 위한 실험 모습

주파수 및 공간 특징 분석 결과

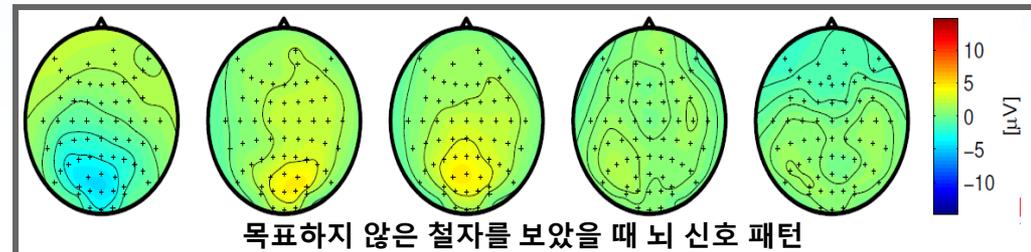
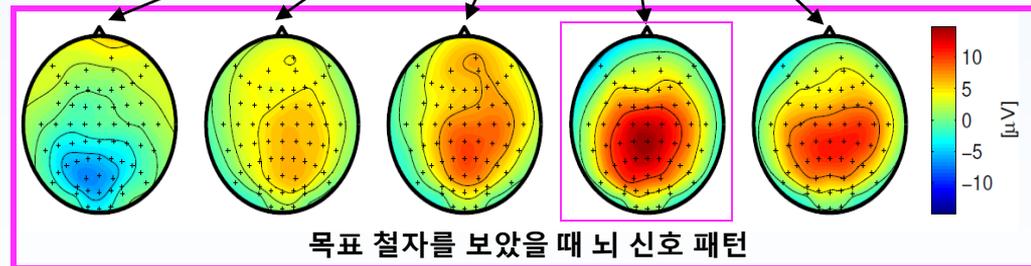
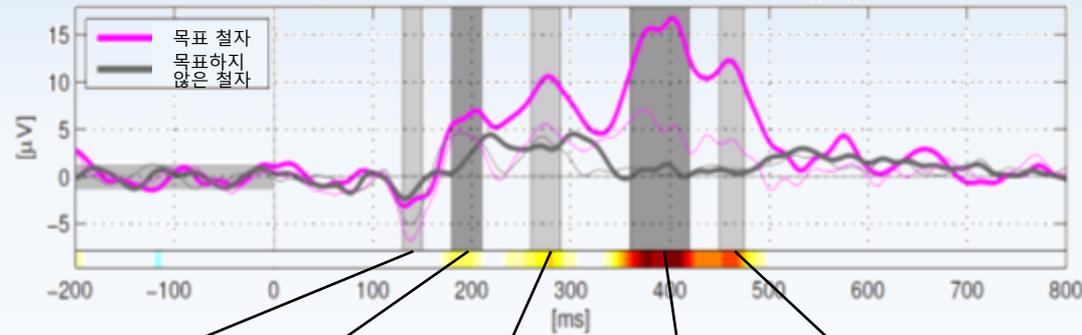
자극 기반 대표적 뇌-컴퓨터 인터페이스 패러다임(1/2)

- 사건 관련 전위(Event Related Potential: ERP)

- P300: 특정 사건(시각 자극 등)에 의해, 일정 시간(대략 300ms) 뒤 발현되는 뇌 신호
- 예) 알파벳 Q를 인식하려 할 때, 반짝이는 Q를 보게 되면 300ms 이후에 특정한 뇌 신호 패턴 생성



사건 관련 전위 뇌 신호 측정을 위한 시각 자극

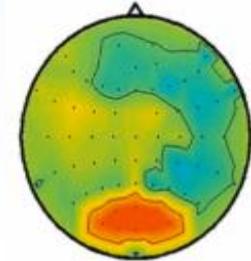
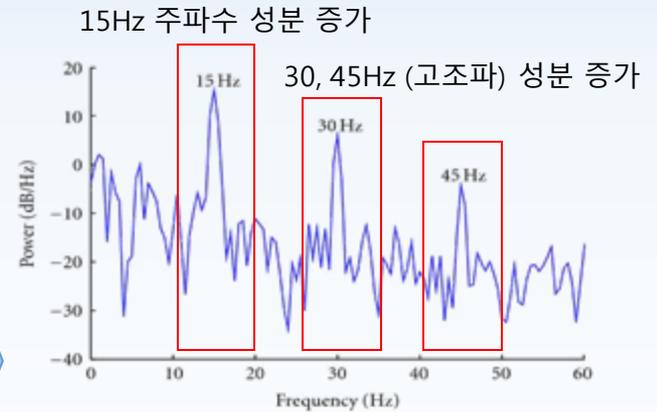
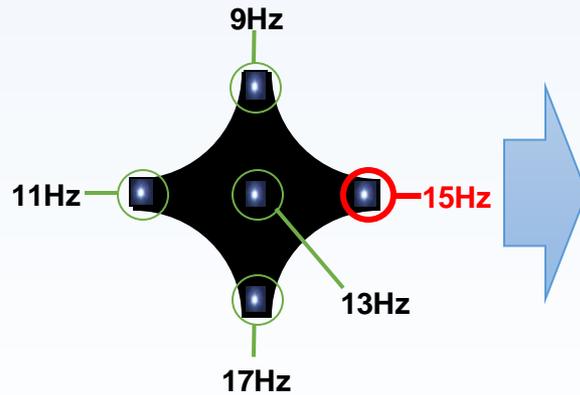


자극 기반 대표적 뇌-컴퓨터 인터페이스 패러다임(2/2)

- 정상-상태 시각 유발 전위(Steady-State Visual Evoked Potential: SSVEP)
 - 특정 주파수로 점멸하는 시각 자극에 대한 응시로 인해 발현되는 뇌 신호
 - 주로 후두엽에서 발생하며, 대략 1~50Hz의 주파수에 반응
 - 응시하는 주파수에 대해, n배에 해당하는 주파수의 세기(Power)가 커지는 고조파(Harmonic frequency) 발생



특정 주파수로 점멸하는 시각 자극



15Hz의 시각 자극을 응시할 때의 정상-상태 시각 유발 전위 뇌 신호 패턴

고려대학교에서 진행중인 뇌-컴퓨터 인터페이스 연구



KU Neuro-Leg



KU Neuro-Arm



KU Neuro-Wheelchair



KU Neuro-Driving



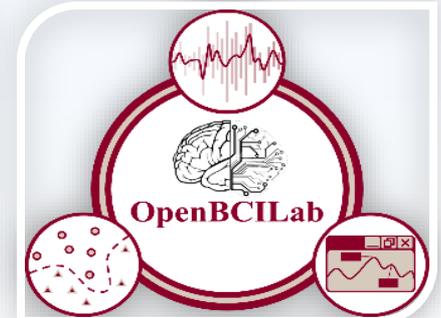
KU BCI-Race



KU Neuro-Speller



KU Ear-EEG



KU OpenBMI

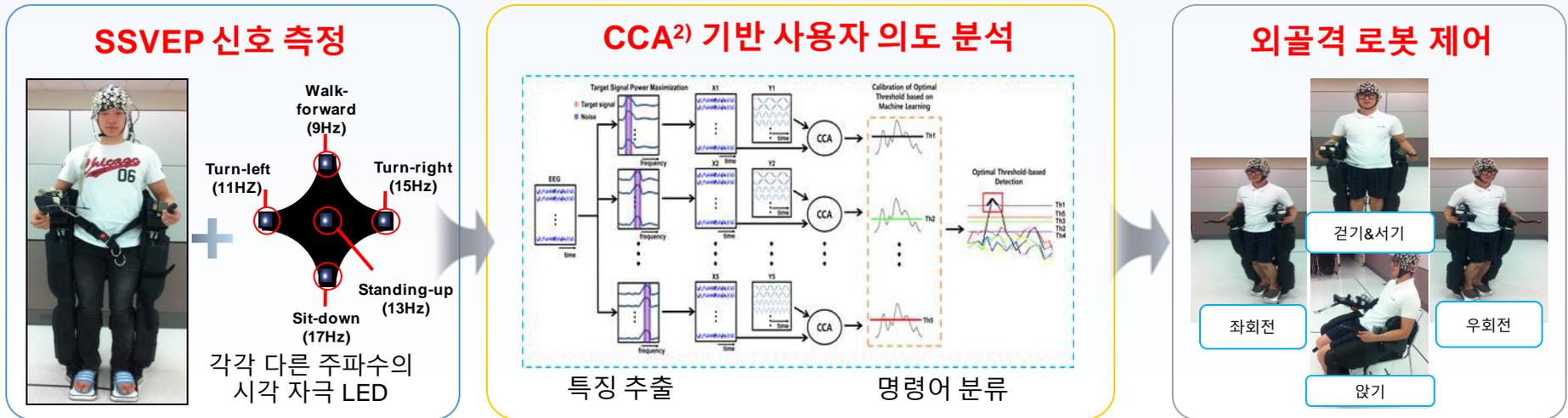
Non-Invasive Brain-Computer Interface

KU Neuro-Leg

- 즉각적인 사용자 의도 인식이 가능한, 정상 상태 시각 유발 전위(SSVEP¹⁾) 기반의 외골격 로봇 제어 시스템
- 잡음이 무수히 유발되는 이동 환경에서도 강인한 사용자 의도 인식이 가능한 뇌 신호 처리 알고리즘 개발
- 제안한 외골격 로봇 제어 시스템의 성능 평가와 실생활에서의 사용 가능성 검증



Journal of Neural Engineering(2015)

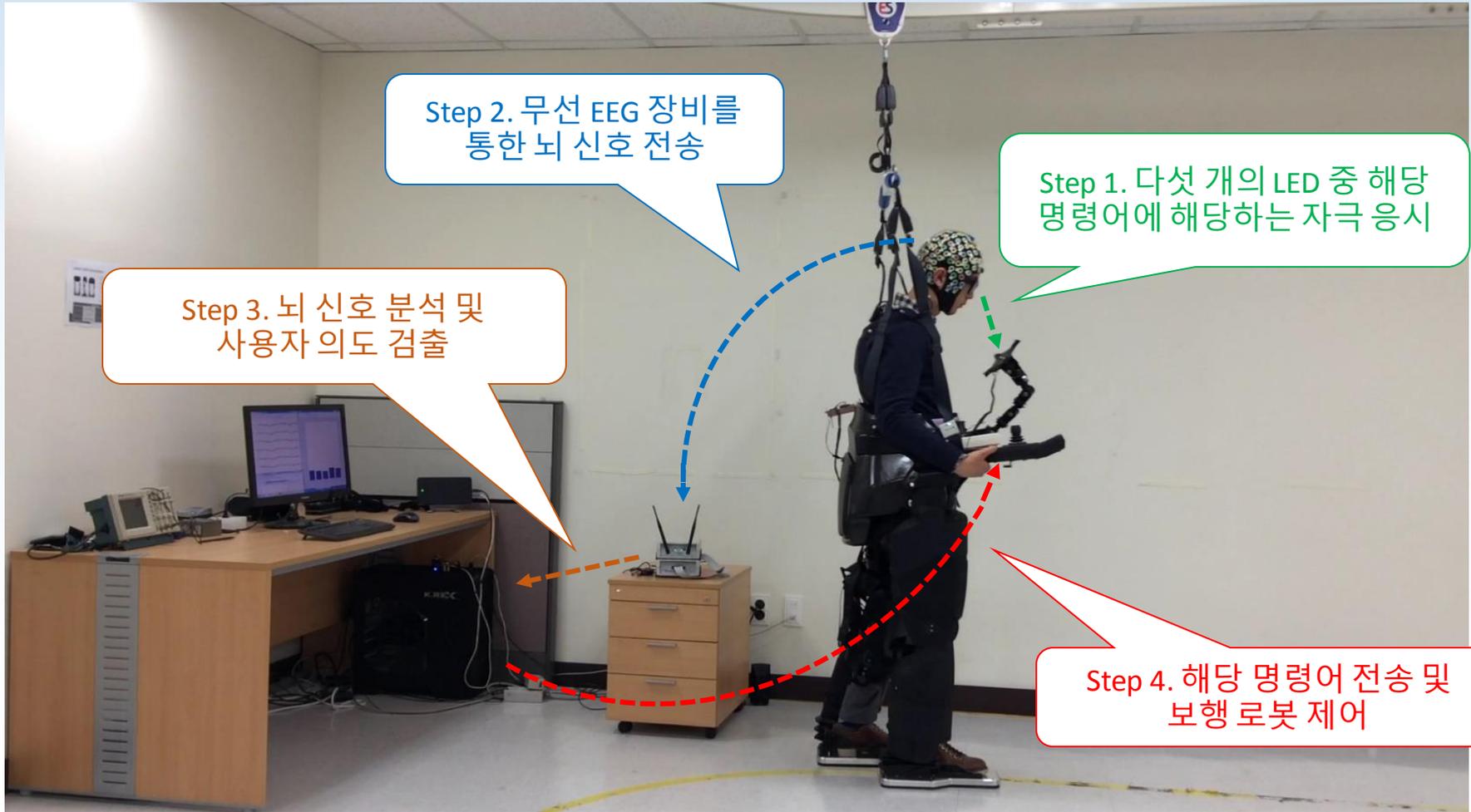


KU Neuro-Leg 시스템 흐름도

¹SSVEP(Steady-State Visual Evoked Potential)

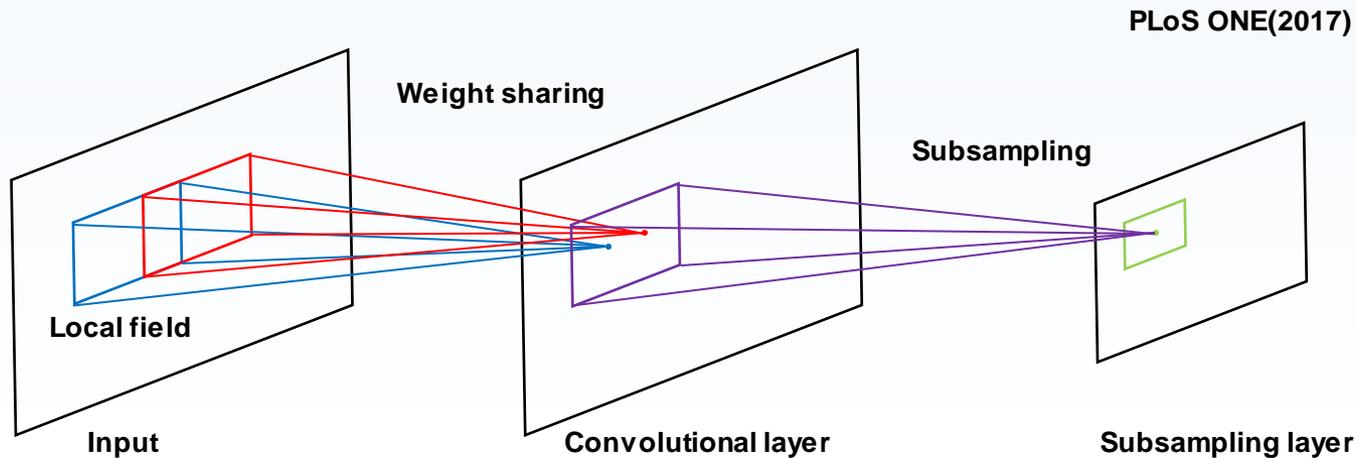
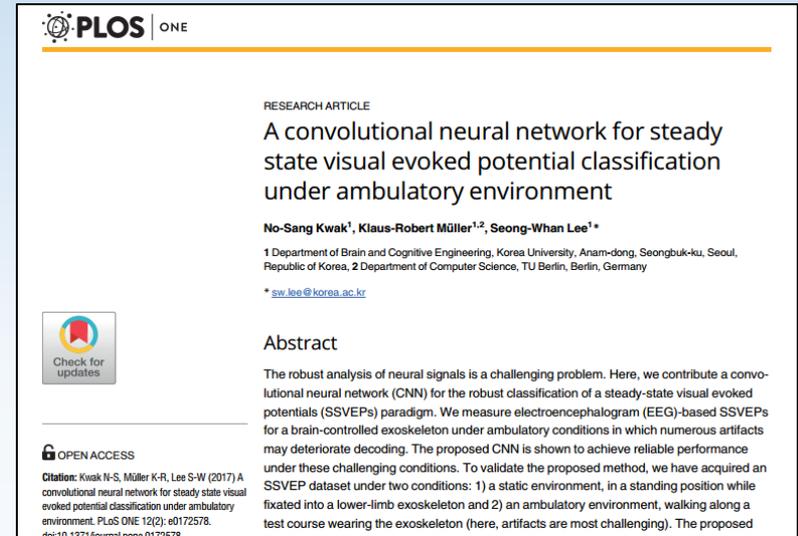
²CCA(Canonical Correlation Analysis)

보행 로봇 제어 진행 단계



딥러닝 기반 보행 로봇 제어

- 높은 사용자 보행 의도 인식 정확도를 갖는 보행 로봇 제어를 위한 딥러닝 기반 뇌 신호 분류 기술 연구
- 이동 환경에 의한 뇌 신호 잡음 발생에도 강한 SSVEP 분류를 위해 Convolutional Neural Network(CNN) 기반 딥러닝 구조 개발
- 고차원 뇌 신호로부터 딥러닝의 최대 장점인 Self-taught Learning을 통한 정확한 분류 기술 개발



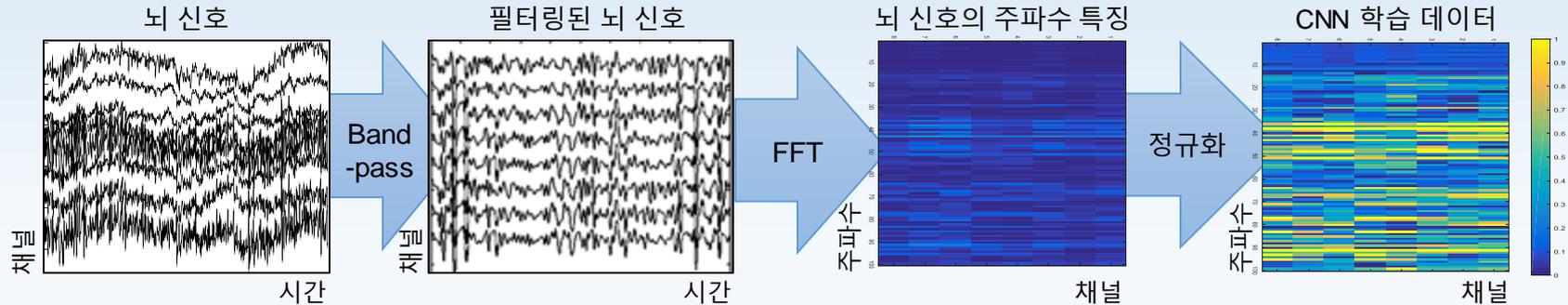
PLoS ONE(2017)

CNN 모델 특징

제안하는 CNN 구조

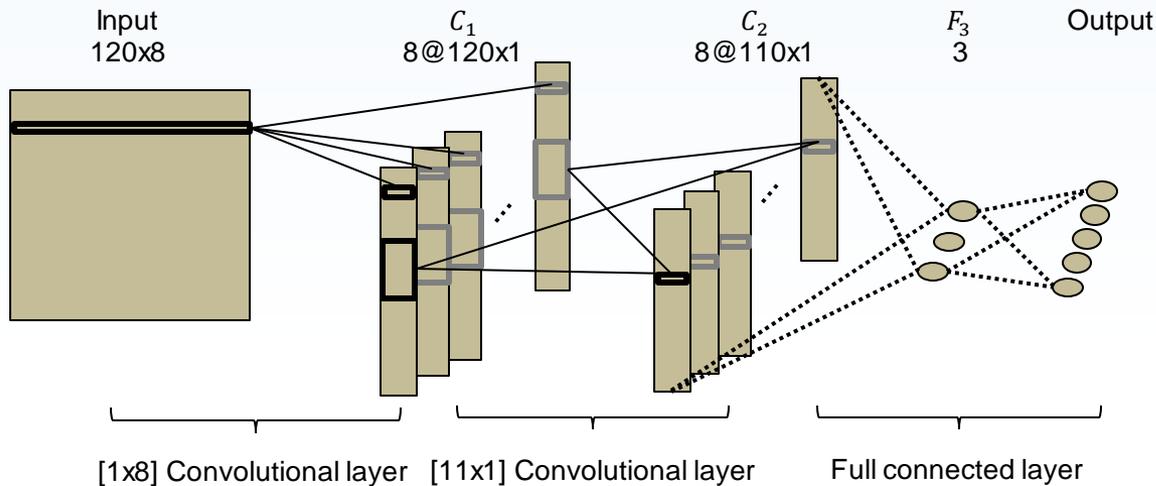
■ CNN의 효율적인 학습을 위한 뇌 신호 전처리

- 부분 영역의 분석을 통해 전체를 판별하는 CNN 방식에 적합한 뇌 신호의 주파수 패턴을 이용



■ 뇌 신호 처리를 위한 CNN 구조

- Convolutional layer와 Fully connected layer로 구성



딥러닝 기반 보행 로봇 제어 결과

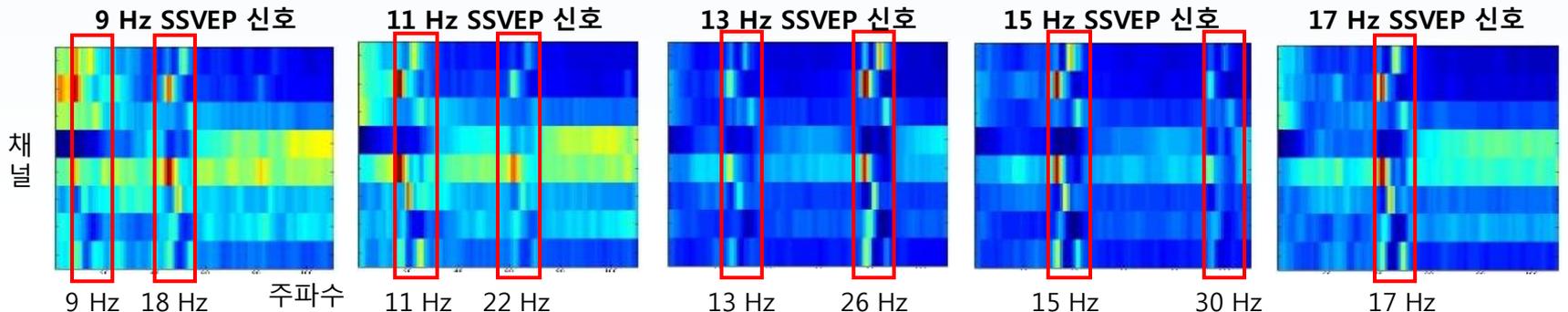
- 고정 및 이동 환경에서 기존 방법과 CNN 기반의 사용자 의도 검출 정확도 비교

Data	고정 환경 SSVEP				이동 환경 SSVEP			
	CCA	MSI	CCA-KNN	CNN	CCA	MSI	CCA-KNN	CNN
S1	91.27	91.54	100	99.86	92.43	94.02	97.69	97.67
S2	93.78	95.71	99.80	99.70	90.40	92.35	97.53	98.81
S3	76.14	75.74	93.91	98.86	73.10	78.31	82.77	91.40
S4	92.86	94.67	98.97	99.16	65.46	69.22	77.27	87.51
S5	67.85	70.61	99.13	99.47	43.99	43.67	68.25	91.98
S6	78.22	79.34	93.26	98.61	69.90	71.00	85.43	93.38
S7	82.56	83.43	98.86	99.33	75.05	77.80	83.58	96.90
Average	83.24	84.86	97.70	99.28	72.90	75.19	84.65	94.03

CNN 기반의 사용자 의도 추출 방법이 기존의 방법보다 우수한 성능을 보임

- Feature representation을 통해 제안하는 CNN 모델의 학습 원리 분석

▶ 자극 주파수(및 하모닉 주파수) 성분 검출



Feature representation
23

KU Neuro-Leg Demo

(Patent: Method and Apparatus for Control of Wearable Gait
Robot based on EEG, #10-2014-0190972)



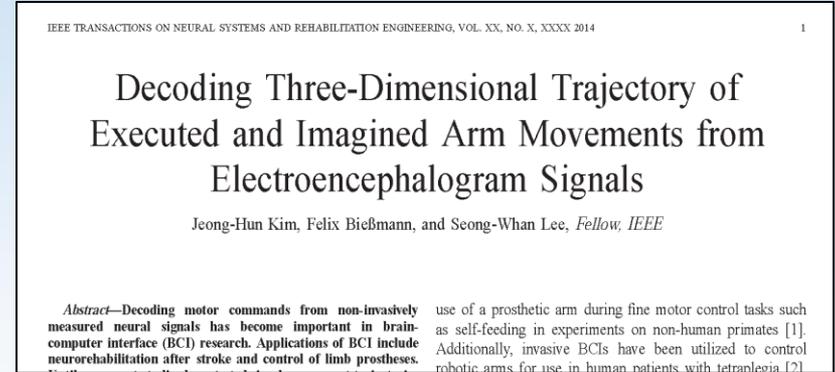
Pattern Recognition Laboratory

Department of Brain and Cognitive Engineering

Korea University

KU Neuro-Arm

- 팔 움직임을 상상할 때 생성되는 뇌 신호를 분석하여 로봇 팔을 제어하는 시스템**
 - 실제로 팔을 움직일 때의 뇌 신호와 팔 궤적 사이의 관계를 분석하여, 상상할 때의 뇌 신호만을 이용하여 로봇 팔 제어가 가능한 시스템 개발
 - 움직임이 시작하는 시점을 감지하여 로봇 팔이 움직이는 구간과 움직이지 않는 구간을 분류함으로써 로봇 팔 제어 시스템의 온라인 성능 향상 목표

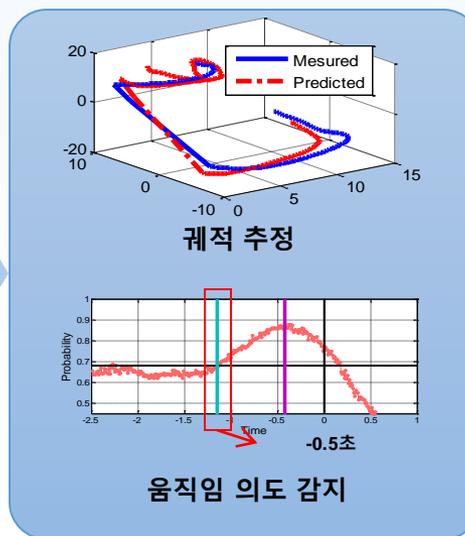


IEEE Trans. on Neural Systems and Rehabilitation Engineering(2015)

실제 팔을 움직일 때와 상상할 때 생성되는 뇌 신호 측정



기계학습 기법을 이용한 궤적 추정 및 움직임 의도 감지

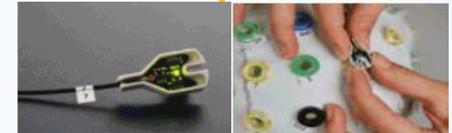
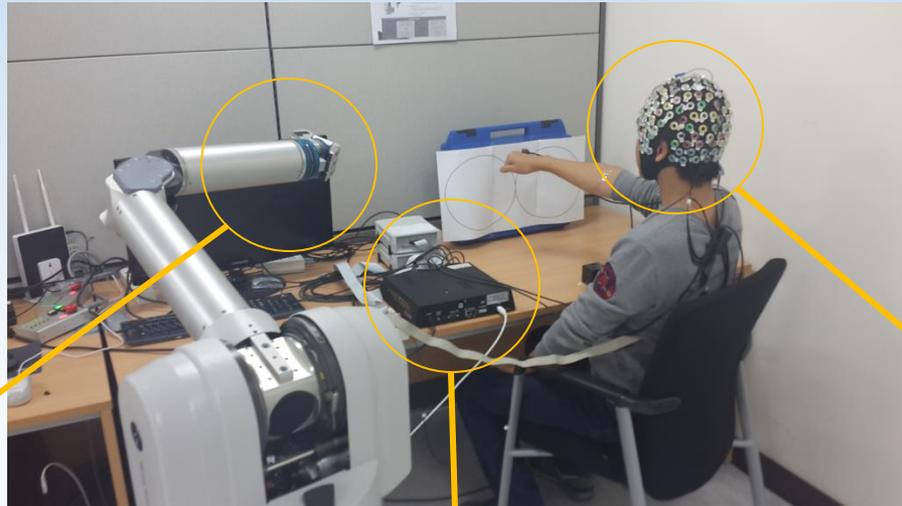
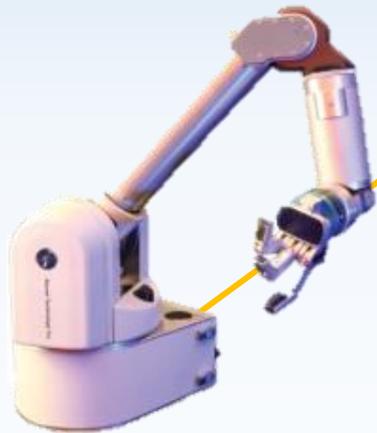


추정된 결과를 이용한 로봇 팔 제어



KU Neuro-Arm 흐름도

실험 환경



Robot Arm System

- Model : WAM Arm
- Company : Barrett Technology
- Degree-of-Freedom : 7-DOF
- Maximum speed : 3 m/s
- Reach : 1000 mm

Motion Tracker

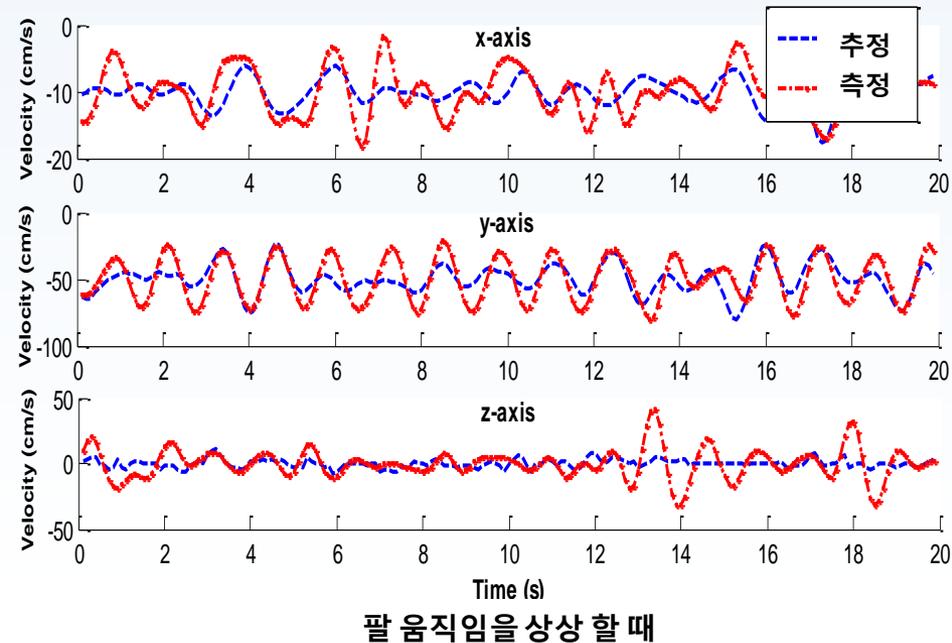
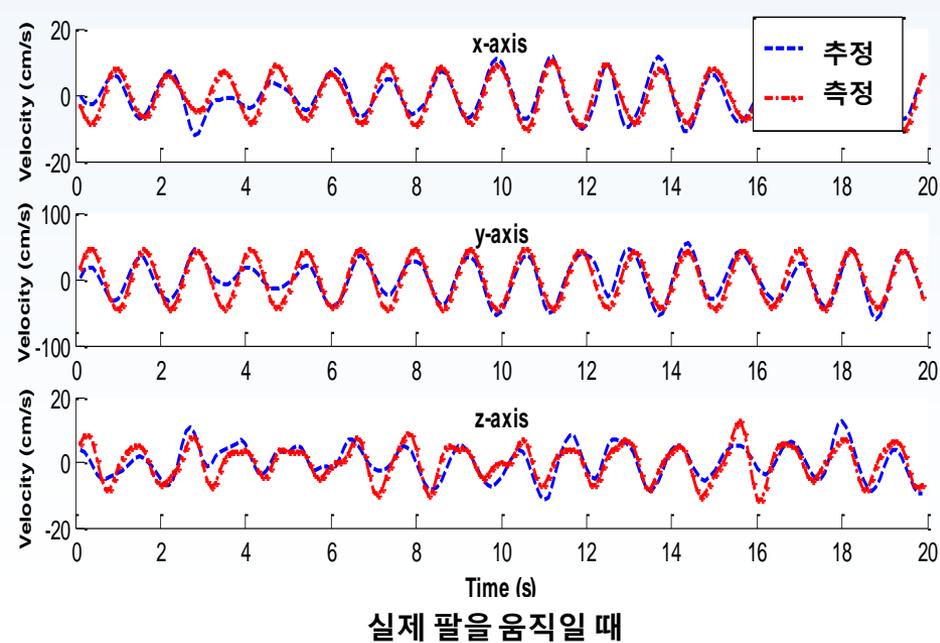
- Model : Polhemus Motion Tracker FASTRAK
- Company : Polhemus
- Degree-of-Freedom : 6-DOF
- Maximum distance : 4.6 m
- Sampling rate : 120 Hz

EEG Acquisition System

- Model : BP-01110 BrainAmp DC 64-channel
- Company : Brain Products
- Input noise : ≤ 1 μ Vpp
- Sampling rate : 5 kHz

팔 움직임 궤적 추정 실험 결과

- 측정된 실제 팔 움직임 궤적과 뇌 신호로부터 추정된 궤적 비교
 - 실제 팔을 움직일 때 궤적 추정
 - ✓ 움직임 추적 장비로부터 손 움직임을 측정한 속도와 EEG로부터 추정한 손 움직임 속도를 비교
 - 팔 움직임을 상상할 때 궤적 추정
 - ✓ 로봇 팔 움직임 속도와 EEG로부터 추정한 팔 움직임 속도를 비교
 - 실제 팔을 움직일 때 추정한 팔 움직임 궤적은 높은 정확도를 보임



KU Neuro-Arm Demo



Pattern Recognition Laboratory

Department of Brain and Cognitive Engineering

Korea University

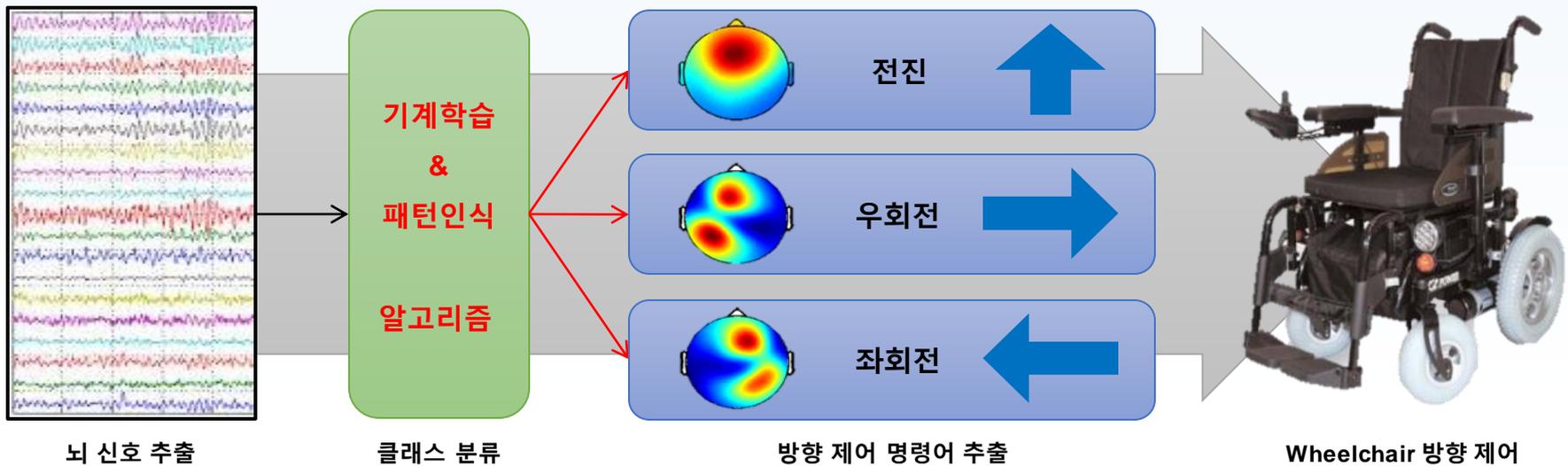
KU Neuro-Wheelchair

- 감각이 살아있는 전신 마비 환자를 위해 진동 자극에 대한 집중으로 발생하는 뇌 신호의 특정한 패턴(SSSEP*)을 이용하여 휠체어를 제어하는 시스템

- 서로 다른 주파수로 진동하는 자극을 양 손과 발에 부착
- 발에서 진동하는 자극에 집중 함으로써 휠체어의 전진 제어
- 양 손에서 진동하는 자극에 집중 함으로써 휠체어의 좌회전, 우회전 제어
- ✓ 왼손: 좌회전, 오른손: 우회전



IEEE Trans. on Neural Systems and Rehabilitation Engineering(2016)



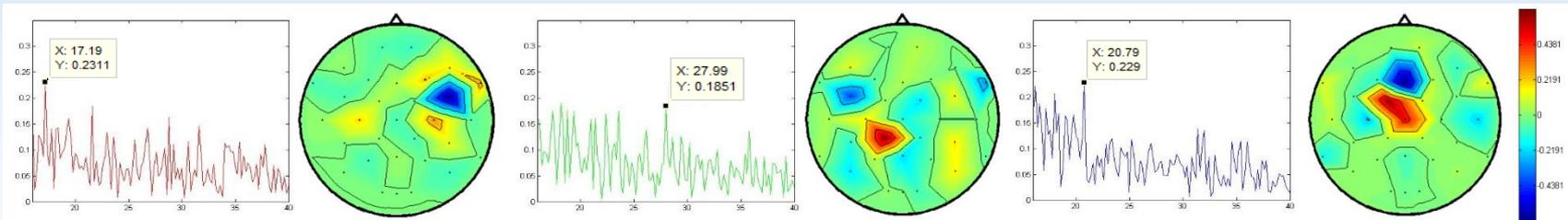
KU Neuro-Wheelchair 흐름도

*SSSEP(Steady-State Somatosensory Evoked Potential)

휠체어 제어 실험 결과

■ 사용자 의도 인식을 위한 공간-주파수 특징 추출

- Fast Fourier Transform을 통한 주파수 특징 추출
- 공통공간패턴(CSP, Common Spatial Pattern) 필터링을 통한 공간 특징 추출



왼손 자극(17Hz)에 집중

오른손 자극(27Hz)에 집중

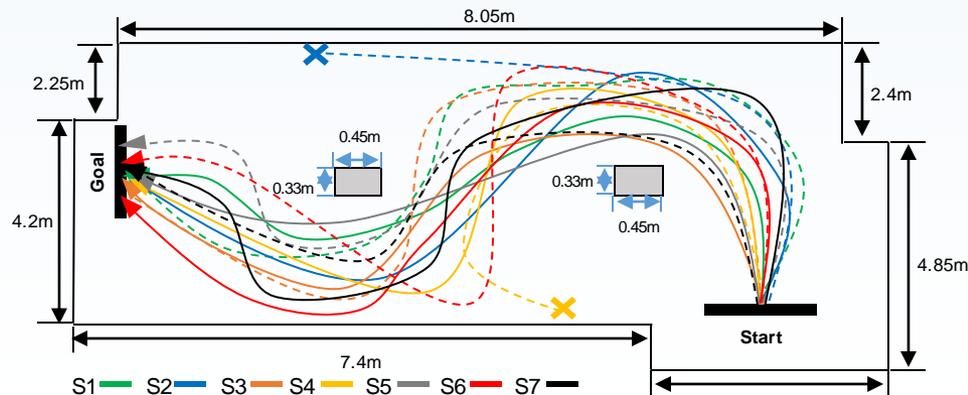
발 자극(20Hz)에 집중

주파수 특징과 공간 특징을 모두 사용함으로써 사용자의 의도 인식 성능 향상

■ 기존 동작 상상(MI) 기반의 휠체어 시스템과 SSSEP 기반 휠체어 시스템 성능 비교

장애물 피하기 실험에서의 휠체어 제어 시간 (초)

피험자	MI 기반 제어	SSSEP 기반 제어	조이스틱 제어
S1	94	81.5	35
S2	Fail	131	42
S3	106.4	111.3	36
S4	Fail	103	35
S5	83.6	63.6	52
S6	72.9	65.9	48
S7	85.6	112	47

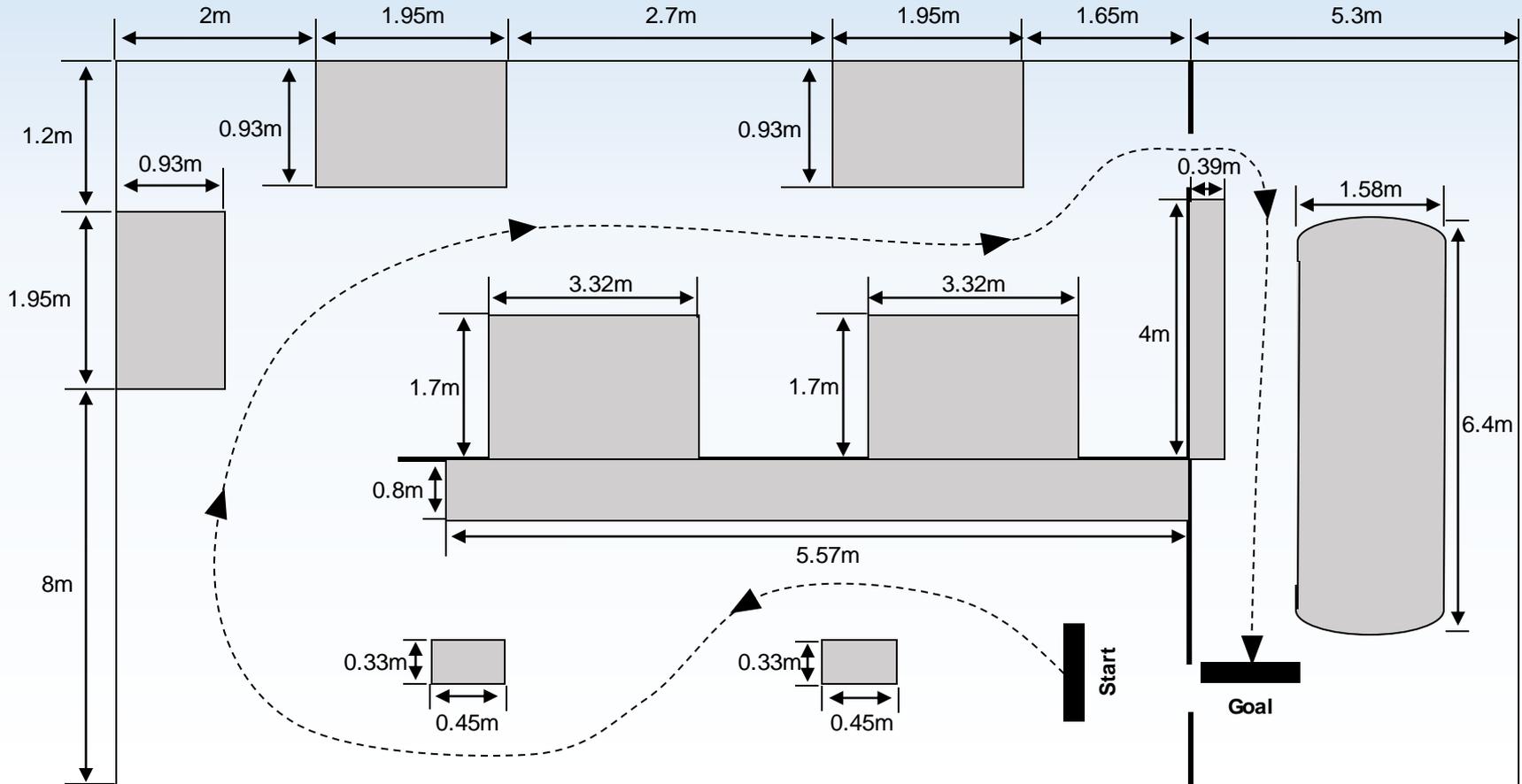


MI(-----)와 SSSEP(—) 기반 휠체어 제어 시 움직임 궤적

MI 기반의 휠체어 시스템과의 비교를 통해 SSSEP 기반 휠체어 시스템의 효율성 검증

휠체어 제어 실험 결과(계속)

- 실생활 환경에서의 시스템 활용 가능성 검증을 위한 보다 복잡한 실험 환경 구축



Subjects can control the wheelchair successfully without any collisions

KU Neuro-Wheelchair Demo

(Patent: Method for Control of Machine Interface, #10-1549325)



Pattern Recognition Laboratory

Department of Brain and Cognitive Engineering

Korea University



도심 속에서 가장 일반적인 운전 중 위험 상황

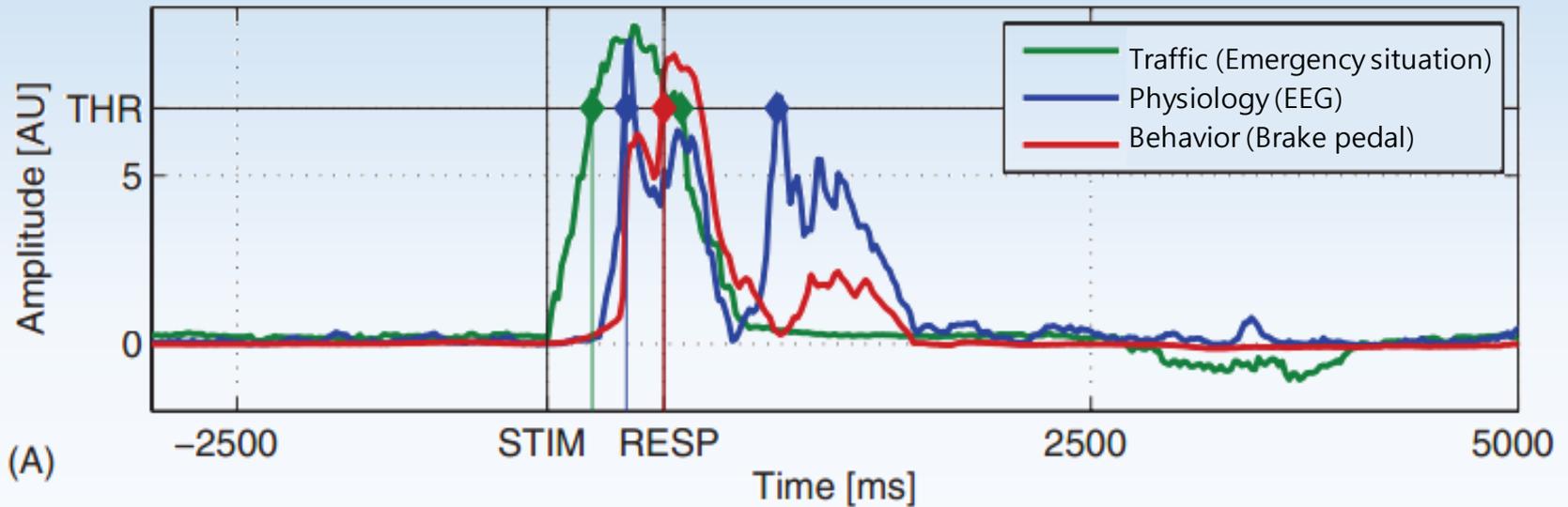


갑작스런 보행자의 출현



선행 차량의 급 정지

Neurophysiological Response vs. Behavioral Response



[Haufe, *Journal of Neural Engineering* 2011]

신경생리학적 실험에 따르면, 외부 돌발 상황에 따른 브레이크 작동 반응 속도에서 뇌 신호 분석 기반 반응이 행동학적 반응보다 빠름 (시속 100km에서 3.66m의 차이)

Neuro-Driving: 뇌 신호 분석을 통해 운전 상황을 인식하고 운전자의 의도를 파악하여 차량을 제어하는 기술

KU Neuro-Driving

- EEG 신호를 이용한 위험 상황의 빠른 검출
 - 신경생리학적 반응이 행동학적 반응(브레이크 페달 밟음)보다 빠름을 이용한 자동차 제동 시스템
 - 실제 행동보다 빠른 신경생리학적 반응을 통한 치명적인 교통사고 예방 가능
 - 기존 연구의 경우 오직 한 종류의 위험상황에 대한 신경생리학적 반응만을 분석하여 실용성이 떨어지는 한계가 존재

OPEN ACCESS
IOP Publishing
Journal of Neural Engineering
J. Neural Eng. 12 (2015) 016001 (12pp)
doi:10.1088/1741-2560/12/1/016001

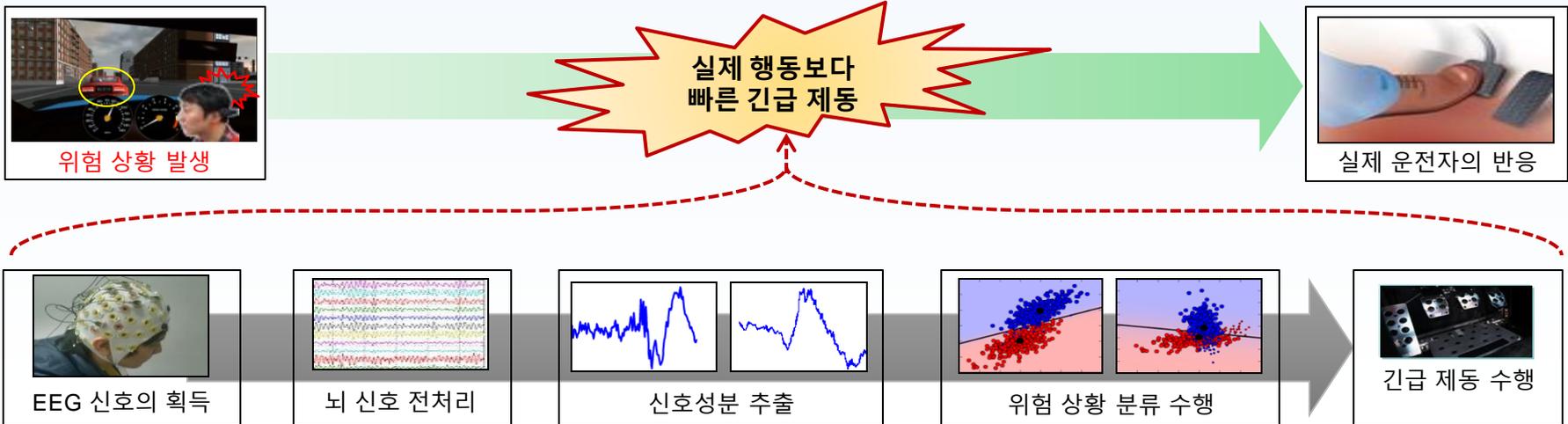
Detection of braking intention in diverse situations during simulated driving based on EEG feature combination

Il-Hwa Kim^{1,5}, Jeong-Woo Kim^{1,5}, Stefan Haufe^{2,3,4} and Seong-Whan Lee^{1,6}

¹Department of Brain and Cognitive Engineering, Korea University, Anam-dong, Seongbuk-ku, Seoul 136-713, Korea
²Neural Engineering Group, Department of Biomedical Engineering, The City College of New York, 140 Street and Convent Avenue, New York, NY 10031, USA
³Machine Learning Group, Department of Computer Science, Berlin Institute of Technology, Marchstr 23, D-10587 Berlin, Germany
⁴Bernstein Focus Neurotechnology, Berlin, Germany

E-mail: ih_kim@korea.ac.kr, jw_kim@korea.ac.kr, shaufe@ccny.cuny.edu and sw.lee@korea.ac.kr

Journal of Neural Engineering(2015)



Neuro-Driving 기술을 위한 처리 흐름도

실험 자극 설계

- 앞차의 갑작스런 정지
 - 앞차의 브레이크 등에 불이 켜지는 시점을 자극제시 시점으로 기록
- 옆 차선 차량의 갑작스런 끼어들
 - 옆 차선 차량이 피험자의 차량 앞으로 움직이는 시점을 자극제시 시점으로 기록
- 예상하지 못한 보행자의 출현
 - 보행자가 화면에 나타나는 시점을 자극제시 시점으로 기록



앞차의 갑작스런 정지



옆 차선 차량의 갑작스런 끼어들



예상하지 못한 보행자의 출현

KU Neuro-Driving Demo

**(Patent: Method and Apparatus for Neuro-Driving Training
using P300, #10-2012-0064265)**



Pattern Recognition Laboratory

Department of Brain and Cognitive Engineering

Korea University



실제 주행 환경에서의 차량 제동 시스템

- 뇌 신호 기반의 위험 상황 검출을 통한 실제 주행 환경에서의 차량 제동 시스템 개발
- 실제 주행 환경에서의 안정적 적용을 위한 기계학습 기반의 실시간/고성능 위험 상황 검출 기술 개발
- 주행 중 발생하는 다양한 뇌 신호 잡음 제거 기술 개발



실제 주행 환경에서의 위험 상황 검출 실험

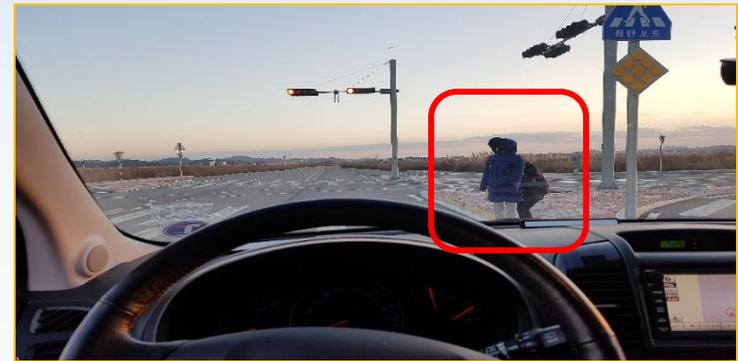
실험 패러다임

실제 주행 환경에서 자주 발생하는 돌발 상황 시나리오

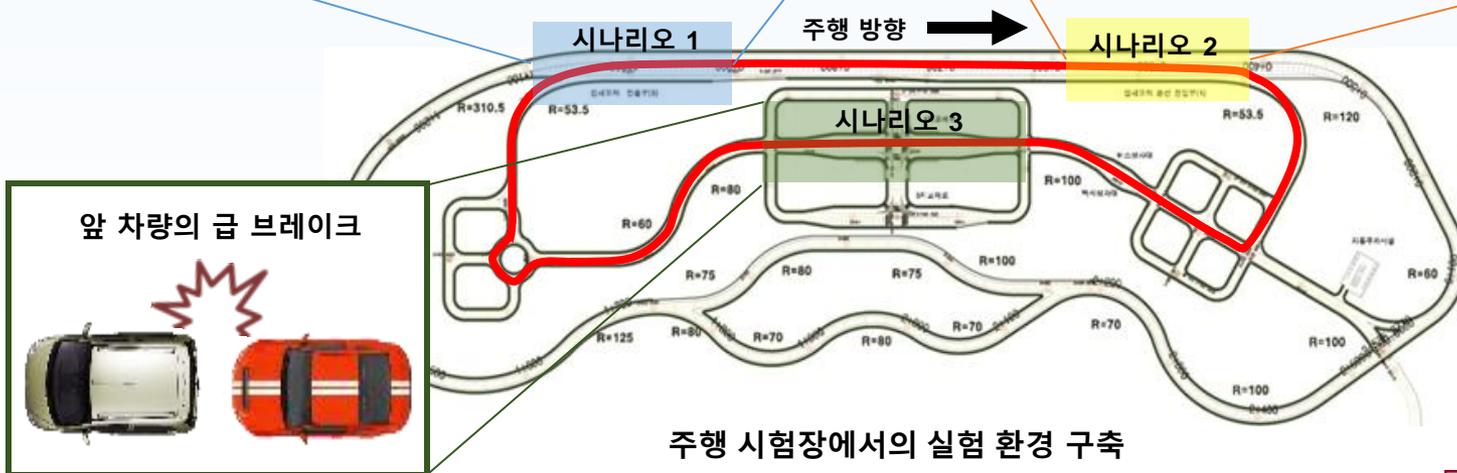
- 시나리오 1: 차도에 갑자기 뛰어드는 보행자(마네킹)
- 시나리오 2: 무단 횡단하는 보행자(마네킹)
- 시나리오 3: 앞 차량의 급 브레이크



차도에 갑자기 뛰어드는 보행자



무단 횡단하는 보행자



Cyathlon and BCI-Race

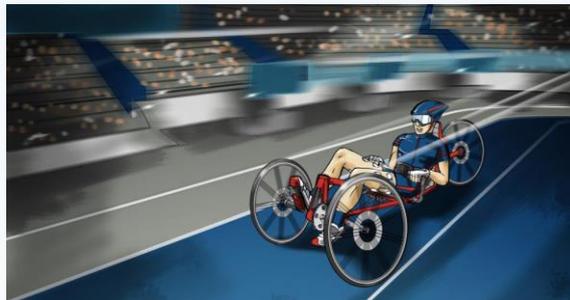
- **Cyathlon?**

- 운동 기능에 제약이 있는 사람들이 보조구를 활용하여 진행되는 올림픽 대회
- 스위스 취리히 연방 공과대학교(ETH Zürich) 주최(<http://www.cyathlon.ethz.ch/>)
- 2016년 10월 8일 제 1회 개최(취리히), 2년 마다 개최 예정

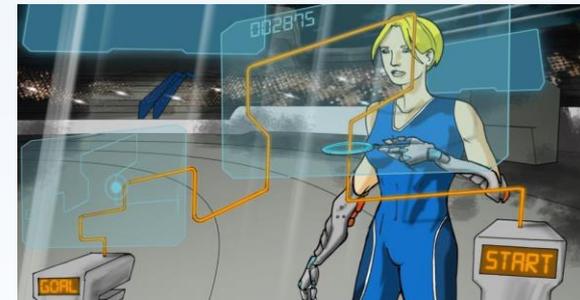
- **경기 종목**



Brain-Computer Interface Race



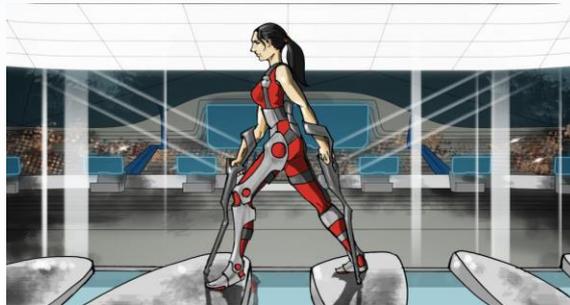
Functional Electrical Stimulation Bike Race



Powered Arm Prosthesis Race



Powered Leg Prosthesis Race



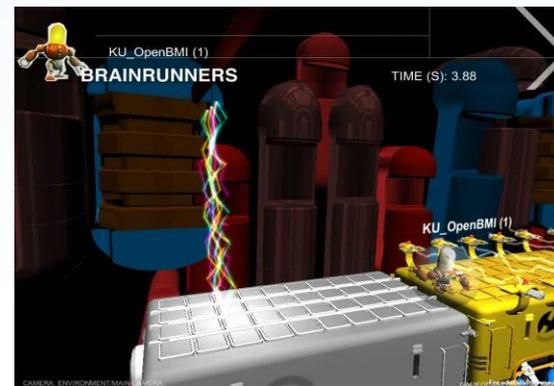
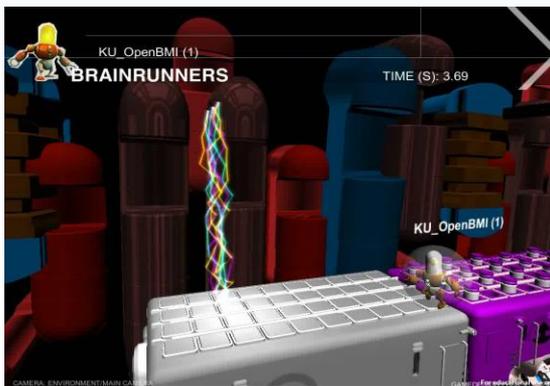
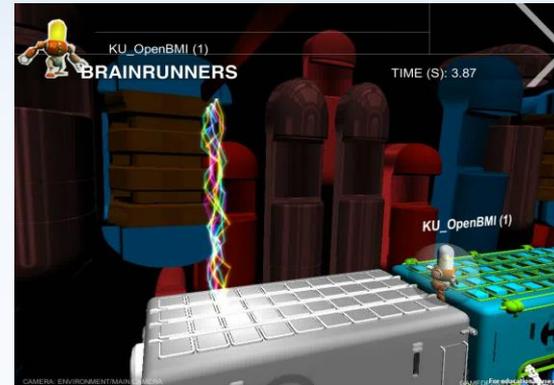
Powered Exoskeleton Race



Powered Wheelchair Race

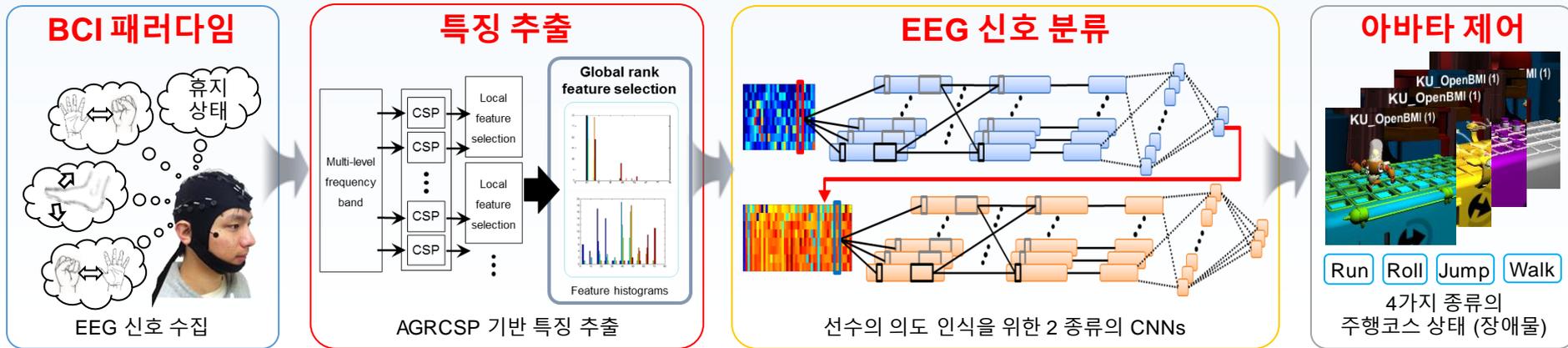
BCI-Race 경기 목표

- BCI 기반의 사용자 의도 인식을 통해 아바타를 제어하고 주행 코스(약 340 m)를 빠르게 통과
 - 특정 신체 부위의 움직임을 상상하여 아바타의 4가지 제어 명령어 (걷기, 가속, 점프, 구르기) 생성



BCI-Racing 시스템

- EEG 신호 수집을 위한 BCI 패러다임
 - 휴지 상태를 포함한 4가지 종류의 동작상상
- 동작상상 관련 뇌 신호 분류를 위한 특징 추출
 - 8단계의 다른 주파수 범위에서 추출된 특징들로 구성된 AGRCSP*
- EEG 신호 분류
 - 선수의 의도 인식을 위한 2가지 종류의 Convolutional Neural Networks(CNN) 사용
- 실시간 아바타 제어
 - 아바타를 실시간으로 제어하기 위해 뇌 신호로부터 200ms 마다 제어 명령어 생성



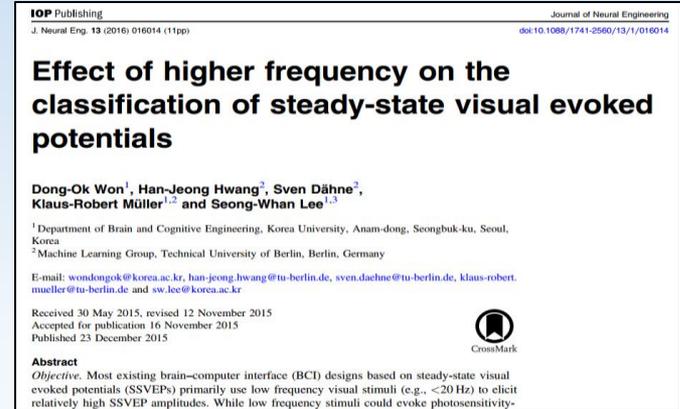
*AGRCSP: Augmented Global Rank Common Spatial Pattern

KU BCI-Race Demo

1st Cybathlon(BCI-Race), Zurich, 2016

KU Neuro-Speller

- 정상-상태 시각 유발 전위(SSVEP¹⁾) 기반 최적의 시각 자극 주파수 선택을 통해 보다 안정적인 철자 입력 시스템 개발
 - 입력하고자 하는 철자의 시각 자극에 집중할 때 발현되는 뇌 신호의 특정한 패턴(SSVEP)을 이용하여 사용자 의도 인식
 - 실시간으로 30개 자극에 대한 주파수 검출이 가능한 CCA²⁾ 기반 기계학습 알고리즘 개발
 - 저주파(6Hz-15Hz) 보다 눈부심이 적은 고주파(26Hz-35Hz) 시각 자극을 이용하여 시각 피로도 문제 해결



Journal of Neural Engineering(2015)



LED



디스플레이를 이용한
목표 제시 및 피드백

음성을 이용한
피드백

시각 자극

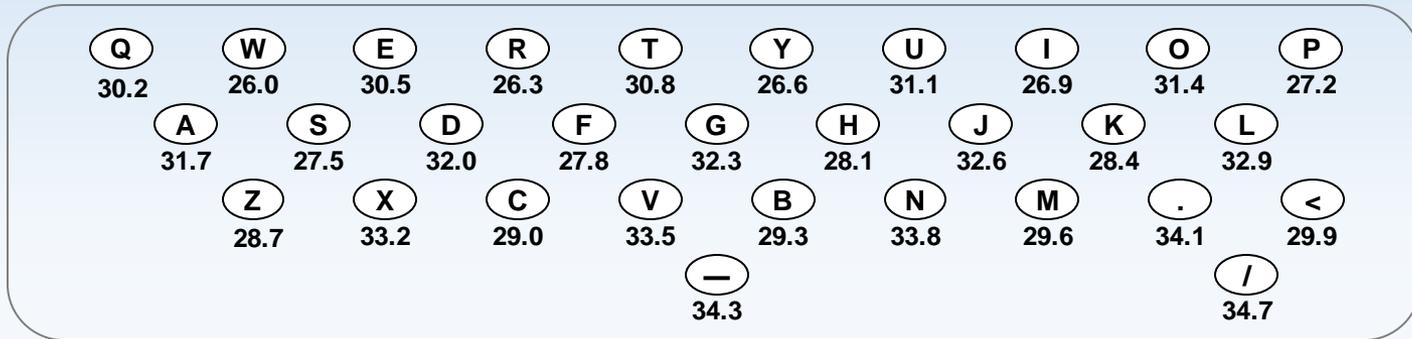
KU Neuro-Speller 시스템 구조

¹⁾SSVEP(Steady-State Visual Evoked Potential)

²⁾CCA(Canonical Correlation Analysis)

실험 패러다임

▪ QWERTY 스타일 인터페이스 설계

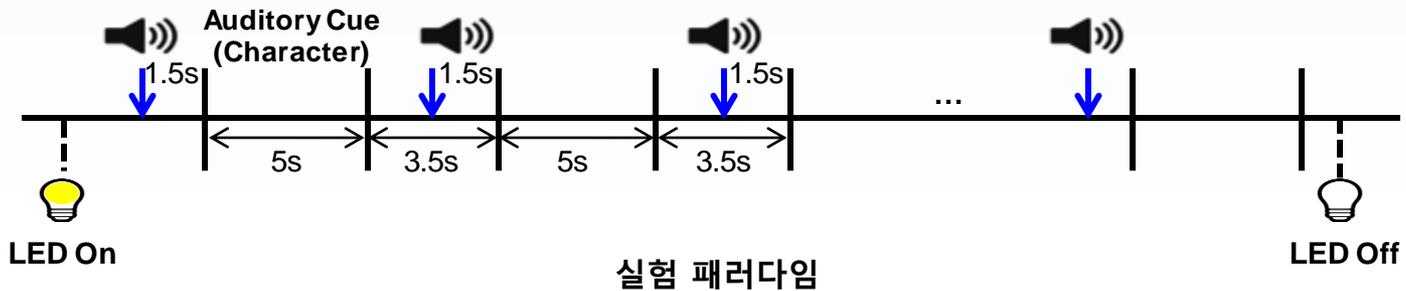


Qwerty 스타일 인터페이스와 고주파를 갖는 시각 자극

▪ 데이터 분석을 위한 실험 방법

➢ 한 글자당 30번의 데이터 수집(총 30개의 글자)

✓ 예) AFDSGHJKLZXCVBNMQPWOEIRUTY./<_



고주파 SSVEP 기반의 뇌-컴퓨터 인터페이스

기존 SSVEP의 장/단점

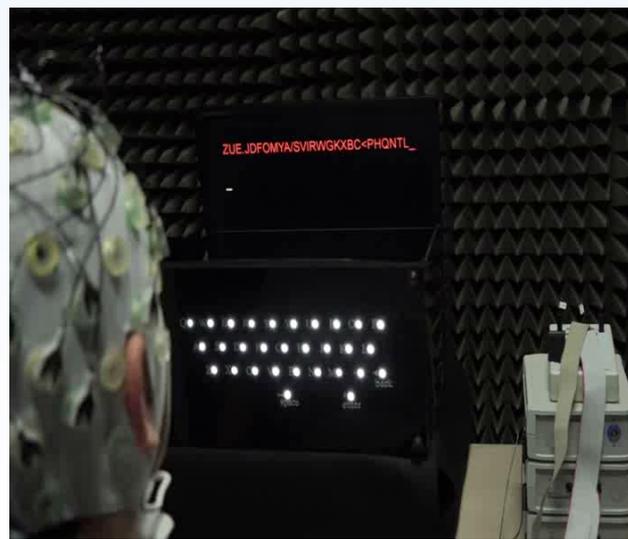
- 학습 시간이 짧고 목표 철자가 많아도 높은 성능을 보임
- 극심한 시각 피로도로 인한 장시간 사용에 한계성을 보임

제안하는 고주파 SSVEP의 장점

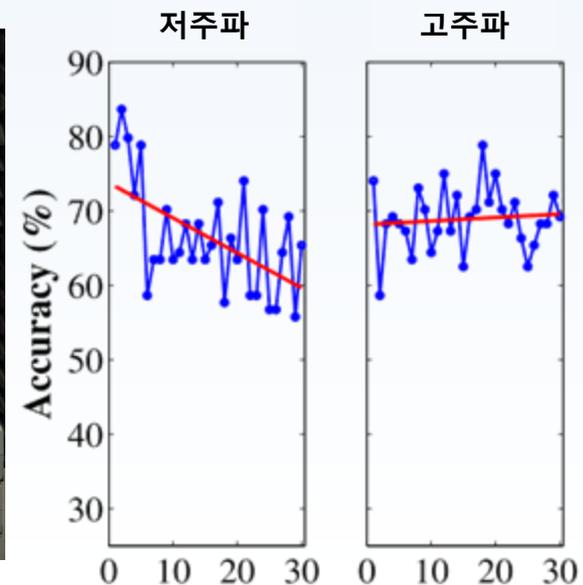
- 기존 저주파 SSVEP의 문제점인 시각 피로도 문제 개선
- 고주파 기반 시스템 사용시 안정적인 SSVEP 신호 추출 가능
- 시스템 사용 시간이 지남에도 높은 성능 및 안정성 유지



시각 피로도를 유발하는
저주파 SSVEP 기반 철자 입력 시스템



시각 피로도 문제를 해결하는
고주파 SSVEP 시스템



사용 시간(분)에 따른 성능 차이

KU Neuro-Speller Demo

**(Patent: Method and Apparatus for Object Control using
Steady-State Visually Evoked Potential, #10-2013-0048614)**



**Pattern Recognition Laboratory
Department of Brain and Cognitive Engineering
Korea University**

시선 고정형 철자 입력 시스템

- 눈동자 조차 움직이지 못하는 환자(예: 루게릭 병)를 위한 시선 고정형 철자 입력 시스템 개발
- 36개의 철자에 대해서 입력하고자 하는 철자에 집중하면 발현되는 뇌 신호의 특정한 패턴(ERP*)을 이용한 철자 입력 시스템
- 철자의 미세한 움직임($<2^\circ$)을 통해 철자 입력 시스템의 인식 정확도 향상 및 안정적 성능 유지

IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL SYSTEMS AND REHABILITATION ENGINEERING, VOL. X, NO. X, 2016

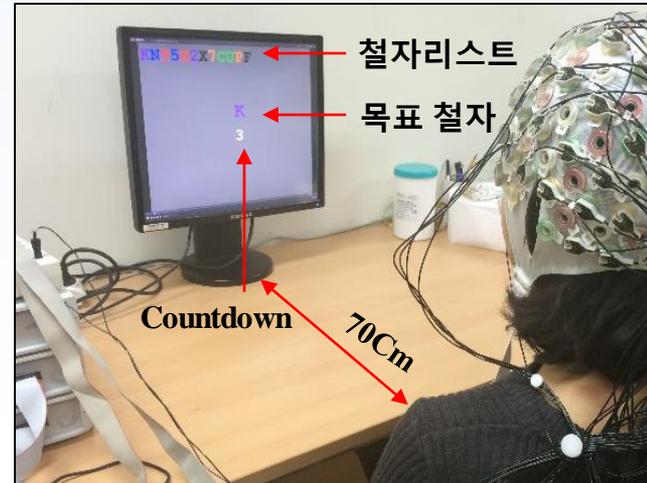
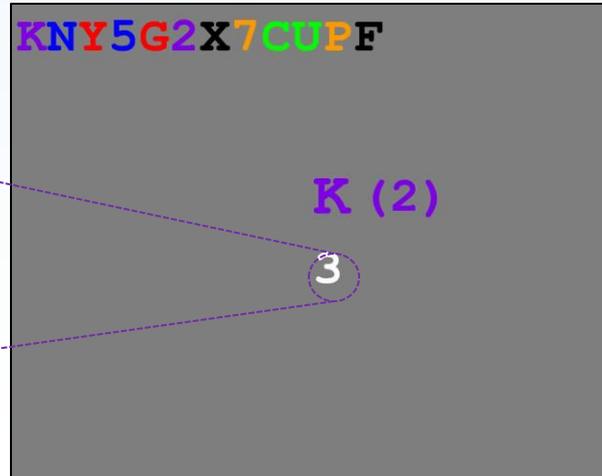
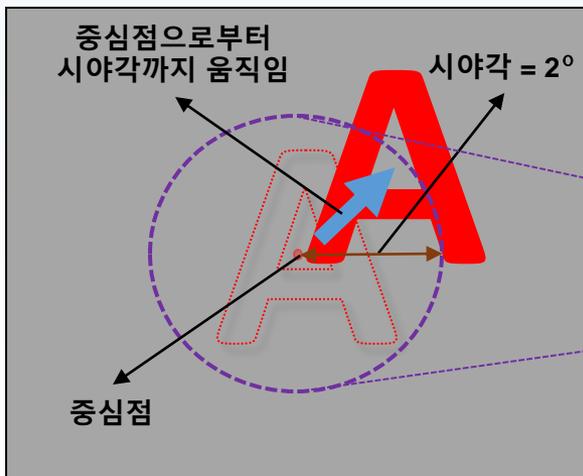
Motion-based Rapid Serial Visual Presentation for Gaze-Independent Brain-Computer Interfaces

Dong-Ok Won, Han-Jeong Hwang, Dong-Min Kim, Klaus-Robert Müller, and Seong-Whan Lee, *Fellow, IEEE*

Abstract—Most event-related potential (ERP)-based brain-computer interface (BCI) spellers primarily use matrix layouts. The practical value of these spellers is limited for paralyzed patients with severe oculomotor impairments. The fundamental objective of this study is enhancement of the perceptibility of target characters by introducing motion stimuli that are presented in the central vision, thereby enhancing the performance of a gaze-independent BCI speller. We developed three ERP-based BCI spellers by using rapid serial visual presentation (RSVP) with fixed-direction motion, random-direction motion, and non-motion stimulation (the conventional stimulation). In these paradigms, every

such as an exoskeleton, a robotic arm, or a wheelchair [1]–[5]. Electroencephalography (EEG) has been widely used for BCI research [6]–[10] owing to the following advantages: good temporal resolution enabling real-time BCI control, non-invasiveness, and reasonable price. EEG-based BCIs have been categorized according to the type of brain activity used for the development of a BCI system, e.g., event-related potential (ERP) [11], steady-state visual evoked potential [12]–[14], event-related (de)synchronization [15], and slow cortical po-

IEEE Trans. on Neural Systems and Rehabilitation Engineering(2017)



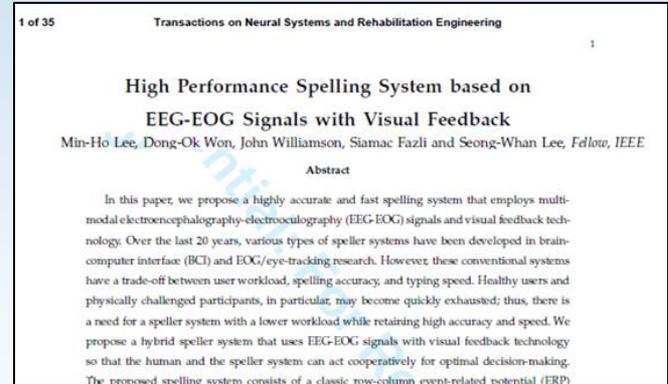
시선 고정형 철자 입력 시스템의 시각 자극

실험 환경

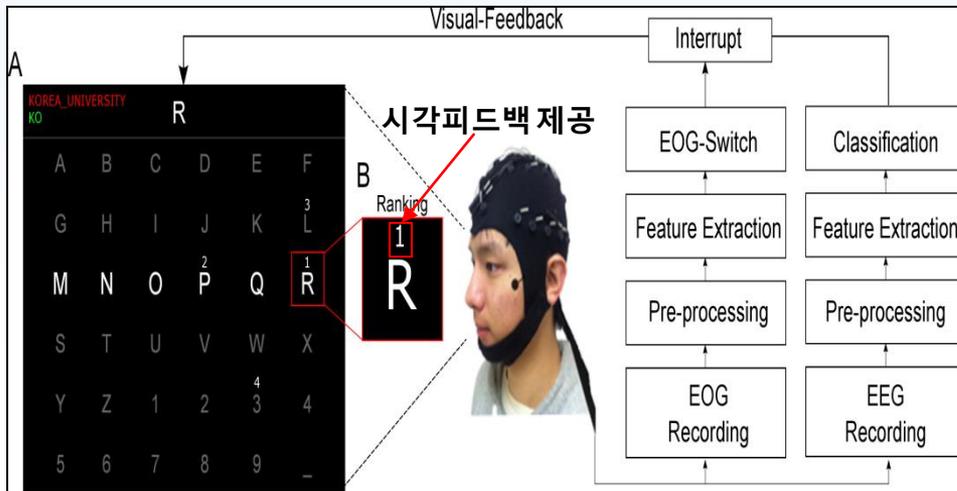
*ERP: Event-Related Potential

시각피드백 기반 철자 입력 시스템

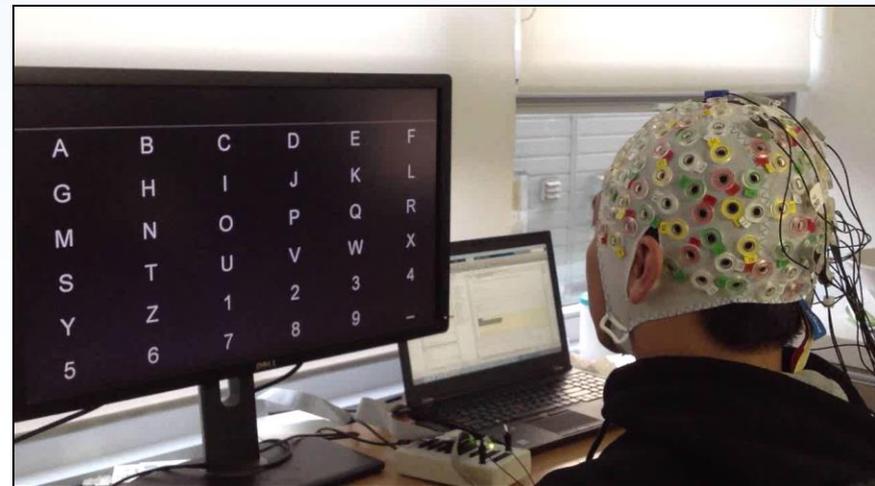
- EEG와 EOG(안구전도) 신호를 함께 사용하여 높은 인식 정확도와 빠른 검출 속도를 갖는 철자 입력 시스템 개발
- 실시간 뇌 신호 분석에 의한 분류 결과를 시각 피드백으로 제공함으로써 시스템-사용자간 상호보완적 의사 결정이 가능
- 20명의 피험자로부터 높은 인식 정확도(97%)와 정보 전송률(39.6 bpm)을 보임



IEEE Trans. on Neural Systems and Rehabilitation Engineering(2017)



제안하는 철자 입력 시스템 흐름도



시각피드백 기반 철자 입력 시스템

EEG 기반 뇌-컴퓨터 인터페이스 기술의 문제점 : 편의성 및 심미성 측면

다수의 전극이 부착된 EEG-Cap을 착용해야만 하며, 전도율 향상을 위하여 두피와 전극 사이에 젤을 넣는 과정이 필수적이기 때문에, 기술의 **편의성 및 심미성이 크게 떨어짐**



EEG-Cap 착용 모습



머리에 젤이 묻은 모습

귀 착용형 뇌-컴퓨터 인터페이스

기존 인터페이스



- 사용 편의성과 심미성이 떨어짐
- 30분 정도의 착용 시간 소요
- 임상/연구용으로 사용

헤드셋형 인터페이스



- 사용 편의성은 개선되나 심미성은 여전히 떨어짐
- 연구용으로 사용

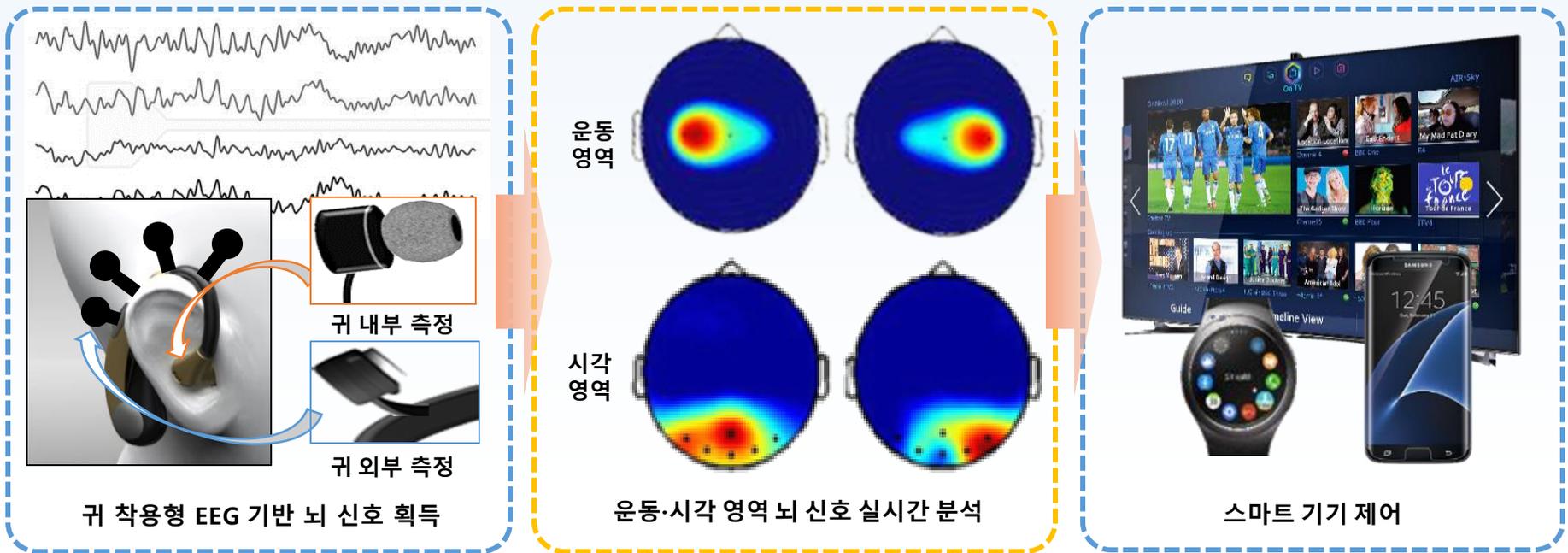
귀 착용형 인터페이스



- **사용 편의성과 심미성이 뛰어남**
- 착용 시간이 빠르고 간편함
- 일상 생활에서 사용 가능

실용적인 뇌-컴퓨터 인터페이스를 위한 연구 목표

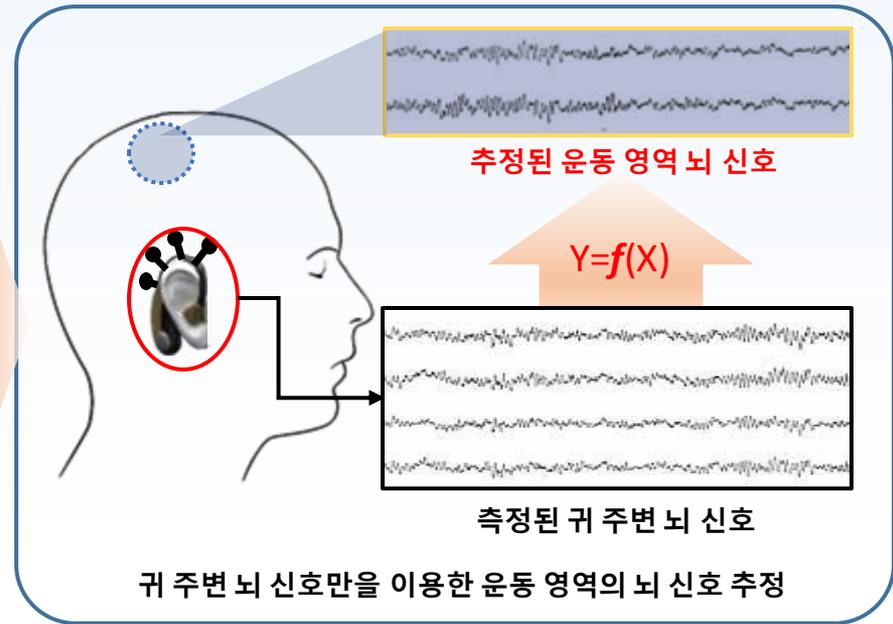
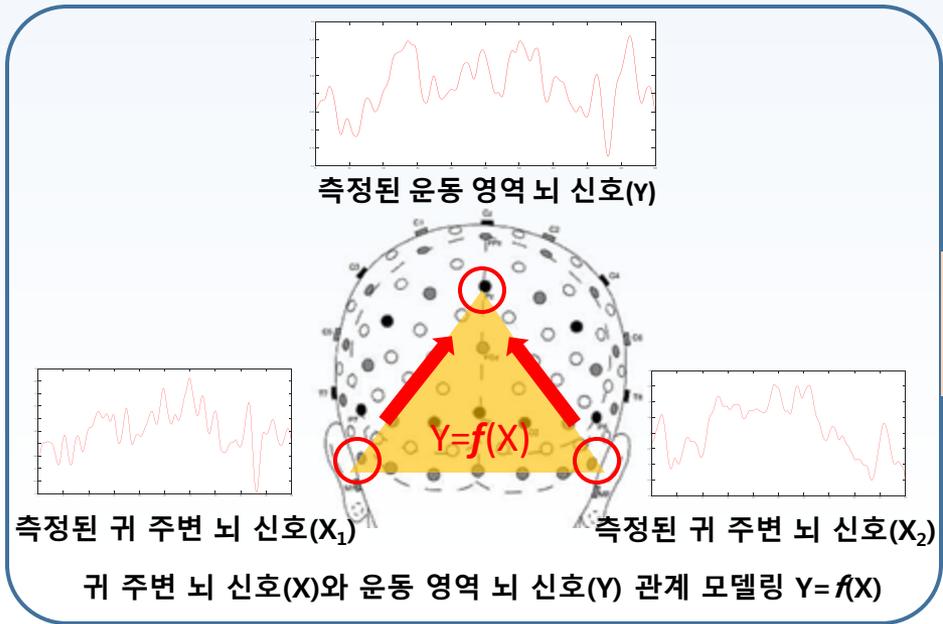
- 운동·시각 영역의 뇌 신호 분석이 가능한 귀 착용형 스마트 뇌-컴퓨터 인터페이스 원천 기술 개발
 - 운동·시각 영역의 뇌 신호 추정 기술 개발
 - 외부 잡음에 강인한 사용자 의도 인식 기술 개발
 - 고품질 뇌 신호 센싱 인터페이스 개발



귀 주변에서 운동·시각 영역의 뇌 신호 추정

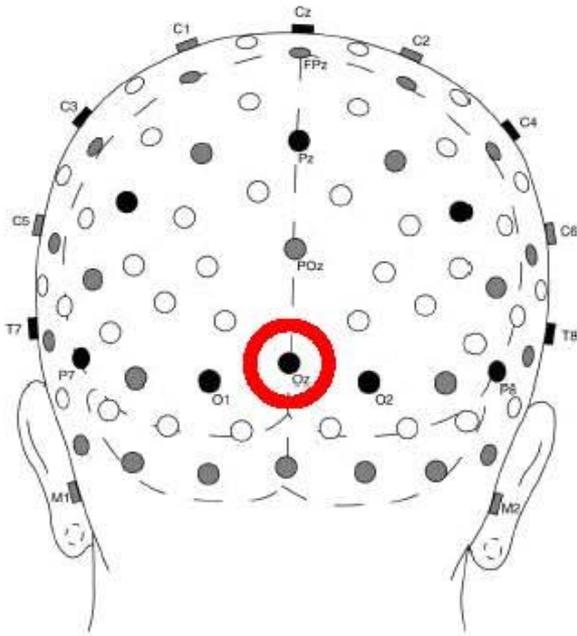
귀 착용형 EEG 환경에서 운동·시각 영역의 뇌 신호 분석을 위해
 뇌 신호 사이의 관계 모델링을 통한 뇌 신호 추정 기술 개발

- 귀 주변과 운동·시각 영역에서 각각 측정된 뇌 신호에 대한 회귀 분석을 통해 관계 모델링
- 분석된 관계 모델을 통해 귀 착용형 EEG 신호만을 이용한 운동·시각 영역의 뇌 신호 추정 및 분석
- 외부 환경에 의해 발생하는 잡음에 강인하고, 뇌 신호의 비선형 특징을 고려할 수 있는 KRR(Kernel Ridge Regression) 회귀 분석 기법 사용

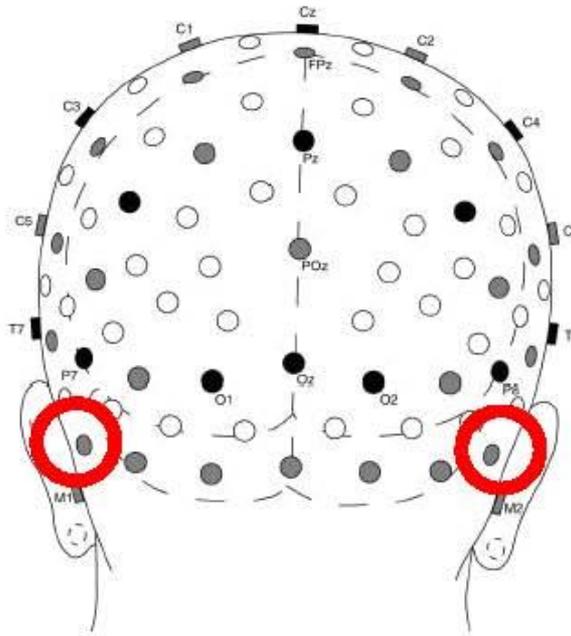


전극 위치에 따른 철자 인식을 비교 실험

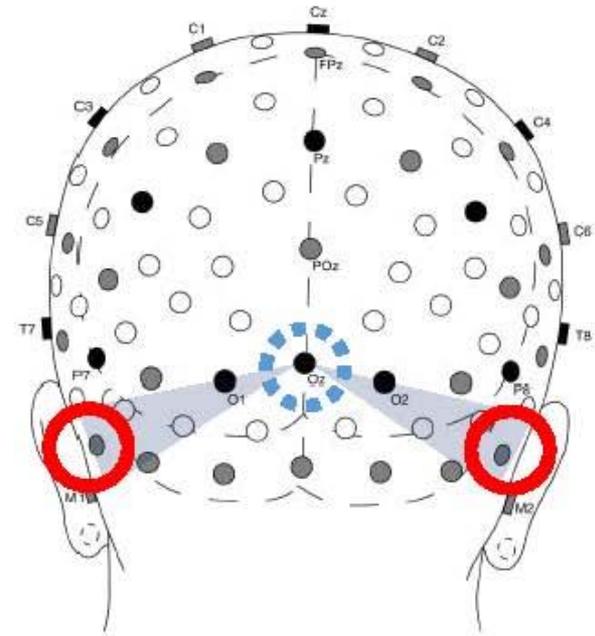
시각 영역 vs. 귀 주변 vs. 귀 주변+KRR추정



시각 영역(Oz)



귀 주변(TTP9,10)



귀 주변(TTP9,10)+KRR추정

KU OpenBMI

이동 환경에 강인한 사용자 독립적 뇌-컴퓨터 인터페이스를 위한
지능형 뇌 신호 패턴인식 SW 개발

뇌 신호 처리 및 특징 추출

베이지안 프레임워크 기반 필터 최적화 기술
진폭-변조 기반 뇌 신호 분리 기술

원천 기술 개발

뇌 신호 패턴 분류

점진적 학습 기반 적응적 분류 기술
이상치 제거 기반 최적 분류 기술

원천 기술 개발

성능평가 및 공개SW화

성능평가
공개SW화

개발 기술 검증

OpenBMI
지능형 뇌 신호 패턴인식 SW

사용자 독립적 뇌 신호 패턴인식 SW
이동 환경에 강인한 뇌 신호 패턴인식 SW

응용 분야



KU OpenBMI(계속)

- **GitHub 기반 OpenBMI SW 개발**
 - 140만명 이상의 SW 개발자가 활동하고 있는 세계 최대 규모의 GitHub 기반 오픈 소스 저장소
 - 개발자간의 체계적인 역할 분담을 통한 효율적인 공개 SW 개발
- **글로벌 커뮤니티 구축 및 OpenBMI 홈페이지 연계**
 - 전세계 BCI 연구 개발자들의 참여 유도를 통한 아이디어 공유 및 SW 개선
 - GitHub와의 효율적인 연계를 통한 해외 연구 기관과의 협력

Development of an Open Source Platform for Brain-Machine Interface: OpenBMI

Min-Ho Lee, Siamac Fazli, Keun-Tae Kim and Seong-Wan Lee
 Department of Brain and Cognitive Engineering, Korea University, Seoul, Korea
 {mh_lee, fazli, kt_kim, sw_lee}@korea.ac.kr

Abstract—Recently, there has been an increased demand for Brain-Machine Interface (BMI) toolboxes for neuroscience research. A BMI system provides a communication tool for people with severe motor disabilities and can be used to control external devices. Here, we introduce an open-source BMI platform, named ‘OpenBMI’. OpenBMI offers various BMI paradigms, signal processing tools, data analysis techniques as well as real-time feedback modules. The OpenBMI toolbox covers the entire processing chain for offline and online analysis of common BMI paradigms, such as motor-imagery (MI), event-related potentials (ERPs) and steady-state visual evoked potentials (SSVEP). In this article, the OpenBMI framework, its features as well as its future development plan is introduced.

Keywords—Brain-Machine Interface; Open-Source Software; OpenBMI; Psychophysics Toolbox; Real-time analysis

I. INTRODUCTION

Brain-Machine Interface (BMI) technology allows users to control external devices by analyzing their brain signals [1]. BMI technology can offer a life-changing opportunity for patients by enabling them to increase their communication capabilities with the outside world. These include patients with severe motor disabilities, such as quadriplegics, patients who suffer from locked-in syndrome due to amyotrophic lateral sclerosis (ALS), among others. During the last ten years

II. TOOLBOX ARCHITECTURE

A. OpenBMI-Framework

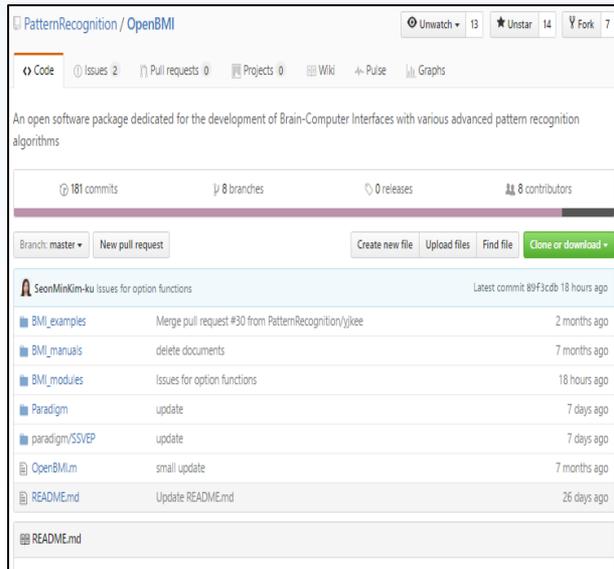
OpenBMI is a free and open-source platform for BMI experimental design, data analysis, and applications. OpenBMI supports three most widely used BMI paradigms, namely as motor-imagery (MI), event-related potentials (ERPs) and steady-state visual evoked potentials (SSVEP).

The platform consists of a set of software modules that can be easily employed, modified as well as extended to facilitate BMI research. The major modules of the OpenBMI toolbox can be divided into three parts: experimental paradigms, signal analysis techniques and real-time feedback technology

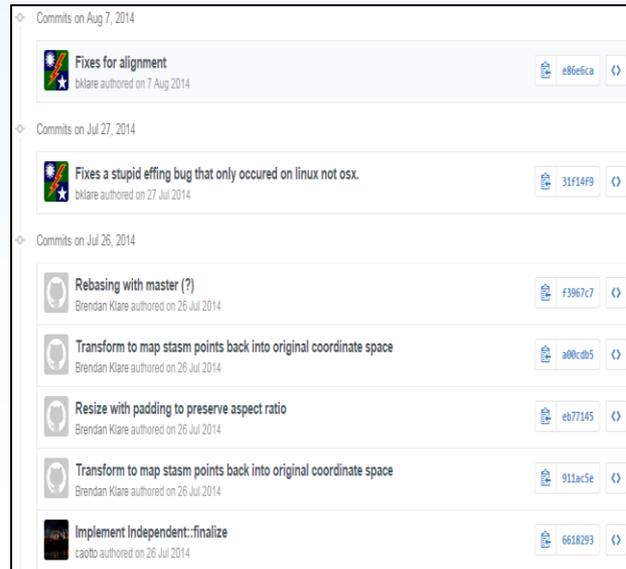
B. OpenBMI-Paradigms

MI, ERP and SSVEP are the typical experimental paradigms in BMI research. OpenBMI provides the architecture for the offline and online analysis of a number of experimental paradigms. The Psychophysics Toolbox [6] is open-source software and a popular choice for implementing experimental paradigms in the behavioral sciences. The Psychophysics Toolbox is programmed in Matlab and available via GitHub. The available paradigms in OpenBMI have been

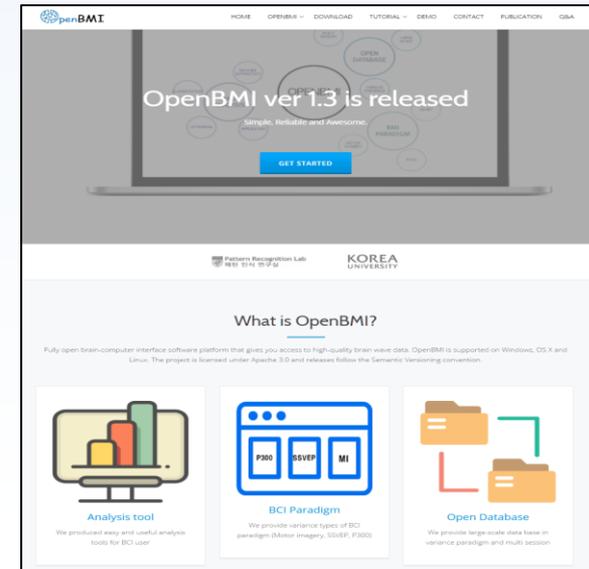
IEEE BCI2016 Conference(2016)



GitHub 기반 공개 SW 개발



개발자들의 다양한 의견 교류 및 반영



개발자 홈페이지

향후 연구 방향 : BCI 기반의 뇌인지컴퓨팅

딥러닝을 이용한 **비침습 BCI 기반의 뇌인지컴퓨팅 기술 개발**



감사합니다.