

# 뇌-컴퓨터 인터페이스(BCI, Brain-Computer Interface)의 현재와 미래

김도현\*

\*정보통신기획평가원

\*dohune17@iitp.kr

## The present and future of brain-computer interface (BCI)

Kim Do Hyun\*

\*IITP

### 요약

본 논문에서는 뇌-컴퓨터 인터페이스(BCI, Brain-Computer Interface)에 대해 상세히 분석하고 향후 미래를 전망하였다. 먼저 서론에서는 뇌-컴퓨터 인터페이스의 기본적인 개념과 원리에 대해 설명 했으며, 본문에서는 뇌 신호 획득 및 신호처리, 애플리케이션, 국내외 연구동향을 통해 BCI 기술의 현재에 대해 조망했다. 또한, BCI를 넘어 뇌와 인공지능이 연결되는 ‘뇌-인공지능(Brain-AI) 인터페이스’의 시대가 도래할 수 있는 BCI의 미래를 전망하면서, 향후 BCI가 바꿀 미래 방향성에 대해 제시하였다.

### I. 서론

뇌-컴퓨터 인터페이스(BCI, Brain-Computer Interface)는 인간의 뇌와 컴퓨터를 직접 연결, 뇌에서 발생하는 신호를 감지하고 해석하여 컴퓨터 혹은 외부 장치와 상호작용하는 인터페이스 기술로 정의된다. 이외에도 뇌-기계 인터페이스, 직접 신경 인터페이스, 신경제어 인터페이스 등 다양한 용어가 있지만 최근에는 뇌-컴퓨터 인터페이스 용어로 통일되는 추세다. BCI는 인간의 뇌를 다루는 기술인 만큼 컴퓨터 공학, 전자공학, 로봇학, 신경과학, 의학 등 다양한 분야가 융합된 학문으로 미래 유망 기술 중 하나로 손꼽힐 만큼 유망한 산업이다. BCI라는 용어는 '1973년 UCLA 교수 Jacques Vidal에 의해 처음 만들어졌으며, 컴퓨터 화면의 커서 움직임과 같은 외부 개체를 제어하는 뇌 신호의 잠재력을 강조하면서 BCI의 기본을 확립했다. 이후 뇌 신호를 활용한 기계의 컨트롤, 특정 뇌 질환 치료 등 의료목적 활용 가능성이 확인됨에 따라 다양한 BCI 연구가 진행되었다. 특히, 중증 신체 장애인의 뇌 신호를 활용한 기구 컨트롤, 정상적인 의사소통이 불가능한 환자(루게릭병 등)의 뇌 신호를 활용한 의도 인식 기술, 뇌에 직접적인 전기 자극을 가해 뇌 질환(파킨슨병, 간질 등) 치료 등 의료목적의 BCI 기술이 개발되었다. 최근에는 의료용 목적 외에도 엔터테인먼트, 게임, 통신 등 여러 분야에서도 폭넓게 연구되고 있으나, 기술적 한계로 인해 일상생활에서 일반인을 대상으로 하는 BCI 기술이 상용화되기 위해서는 상당한 시간이 소요될 것으로 예측된다. 본 고에서는 BCI 기술의 기본적 원리와 애플리케이션, 기술적 한계, 국내외 연구 동향과 더불어, 결론에서 미래 BCI 기술에 대해 전망하고자 한다.[1]

### II. 본론

#### 1. 뇌 신호 획득 및 신호처리

뇌에서 전달하는 신호를 측정하는 방식은 뇌의 뉴런에서 이온 전류로 인한 전압변동인 ‘EEG(electroencephalogram)’을 측정하는 것이 일반적이며, 측정 방식에 따라 비침습형과 침습형으로 분류된다. 비침습형 방식은 두피의 여러 부위에 부착한 전극을 통해 전기적 활동을 측정하거나, 외부 에너지원(자기공명, 근적외선 등)을 이용하여 뇌의 특정 영역의 활성화 여부를 간접적으로 측정하는 방식이다. 침습형 방식은 외과적 수술을 통해 두개골을 개방하여 전극이나 마이크로 칩을 이용하여 뇌 신호를 측정하는 방식으로, 뇌 신호 측정 외에도 전기 자극과 같은 뇌 질환 치료에 활용되는 방식이다. 연구 목적에 따라 외부 에너지를 이용한 비침습형 방식을 활용하는 경우가 있지만, 본 고에서는 뇌에 직접 전극을 부착하는 방식을 중점적으로 서술하고자 한다.

측정 방식	뇌 신호	측정 방식	특징		BCI 활용성
			시간 해상도	공간 해상도	
비 침습형	EEG	• 두피 표면에서 뇌세포의 전기적 신호를 직접적으로 측정	~ 0.05s	~ 10mm	• 고밀도 전극으로 시공간 해상도가 뛰어난 • 두피에 직접 전극을 부착하는 형태로 편의성이 뛰어나 BCI 연구에 가장 많이 활용
	fMRI	• 자기공명 방식으로 혈류의 산소 소모를 유추하여 간접적으로 측정	~ 1s	~ 1mm	• 시간 해상도 성능이 낮아 실시간으로 뇌 신호를 감지하기엔 부적절함
	fNIRS	• 근적외선을 이용해 뇌의 활성화 영역을 간접적으로 측정	~ 1s	~ 5mm	• 신호 측정을 위한 장비가 거대하고 가격이 높아 BCI에선 주로 보조수단으로 사용
침습형	ECoG	• 대뇌피질 표면에 전극이나 칩을 부착하여 뇌의 전기적 신호를 측정	~ 0.003s	~ 1mm	• 대뇌피질에 직접적으로 전극을 부착하여 시공간 해상도가 월등하게 뛰어나
	Intracortical Recording	• 대뇌피질 내부에 직접 전극을 삽입하여 뇌의 전기적 신호를 측정	~ 0.003s	~ 0.5mm	• 중증 환자가 아닌 일반인에게 사용하기엔 부담감이 높음

그림 2 측정 방식에 따른 뇌 신호의 종류와 특징[2]

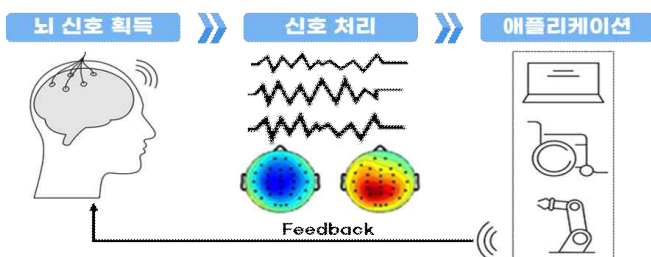


그림 1 Brain-Computer Interface(BCI) 개념도

뇌파의 전기적 신호는 uV 단위로 매우 미약하며, 이를 기록하는 시스템인 ‘뇌파계’가 필요하다. 뇌파계는 뇌파 신호를 검출하기 위한 전극(Electrode)과 미약한 신호를 증폭하는 증폭기(Amplifier), 측정된 신호를 디지털로 변환하는 아날로그 디지털 변환기(ADC)로 구성된다. 또한, 뇌파의 측정은 ①전극을 통하여 두피 표면의 전위차를 검출하고 ②측정된 전기적 신호를 증폭한 후 ③아날로그 신호를 샘플링하여 디지털 신호로 변환하는 과정으로 이루어진다. 뇌파계를 통해 대량으로 측정된 데이터는

전처리(Pre-processing) 과정을 통해 불필요한 데이터를 제거하고, 주파수 대역폭에 따라 파형 특징(Feature)을 구분한다. 뇌파에서 관찰되는 신호의 대부분은 1~100Hz의 범위에 있으며, 파형은 임상 실습에 사용되는 대역폭 구분에 따라 델타, 세타, 알파, 베타, 감마 등으로 구분된다. 여기서 뇌전도의 특징을 연구·활용 목적에 맞게 추출한 이후 특정 데이터 분류기에 입력하여 모델을 생성, 향후 들어오는 데이터와 비교하며 정확도를 평가하는 과정을 거치게 된다. 과거에는 전통적인 머신러닝 기법들이 주로 사용되었으나, 최근에는 CNN(Convolutional Neural Network), RNN(Recurrent Neural Network), Autoencoder, GAN(Generative Adversarial Networks) 등 딥러닝 기법이 주로 활용된다.

## 2. 애플리케이션

유럽위원회의 BCI 연구계획인 ‘BNCI(Brain/Neural Computer Interaction) Horizon 2020’ 프로젝트에 따르면 BCI 활용 분야는 크게 5가지(대체, 회복, 개선, 강화, 연구 도구)로 분류된다. 대체(Replace)는 선천적·후천적 지병, 부상 등으로 인해 신체의 일부 기능이 소실되었을 때, BCI 기반의 의사소통, 휠체어 제어, 인공신체 컨트롤 등 신체의 기능을 대체하는 용도, 회복(Restore)은 신경 자극 및 제어 훈련을 통해 손실되었던 신경, 근육, 청각 등을 회복하는 용도이다. 또한, 개선(Improve)은 간질 등 뇌 질환을 BCI 기반으로 사전에 감지, 사용자에게 경고 신호를 제공하는 동시에 질환을 멈추기 위한 특정 전기 자극을 주는 등 사용자 삶의 질 개선을 위한 용도, 강화(Enhance)는 환자가 아닌 일반인에게 주로 활용이 가능한 용도로, 스트레스 수준 감지, 집중력 레벨 측정, 집중도 강화 등 BCI 기반으로 뇌의 능력을 강화할 수 있는 용도이다. 마지막으로 연구 도구(Research tool)는 인지 신경과학 등 다양한 연구에 뇌 기능을 연구하는 연구 도구로 활용하는 용도이다.

## 3. 기술적 한계점

BCI의 기술적 한계점은 대표적으로 ‘BCI 문맹(BCI illiteracy)’이 있다. BCI 문맹은 컴퓨터를 다루지 못하는 사람을 컴맹이라고 하듯 BCI 시스템을 제어하지 못하는 사람을 뜻하며, 일반적으로 BCI 연구 시 약 20% 정도의 비율로 나타난다. 최근에는 BCI 문맹을 해결하기 위해 Hybrid 형태로 두 가지 이상의 시스템을 사용하는 방식과 사용자의 뇌를 훈련 시키는 프로토콜을 도입하는 등 다양한 방식이 활용되고 있다. 또한 뇌파를 측정할 때 사용자의 상태 변화(자세 변화, 동공·눈 등의 움직임)에 따라 데이터에 잡음으로 나타나 뇌파 데이터가 일정하게 측정되지 않는 ‘뇌파의 비정상성(Non-stationarity)’이 한계점으로 나타난다. 또한, BCI 기술의 신뢰성에 문제가 있다. 뇌의 다양한 영역에서 뇌의 활성화 정도를 정확하게 구분하는 ‘공간 해상도’ 그리고 뇌의 활동을 시간 지연 없이 신속하게 반응하는지 나타내는 ‘시간 해상도’ 측면에서 현재의 전극 또는 감지 센서 기술 수준에선 정확한 측정이 불가능한 물리적 한계점들이 발생하고 있다.

## 4. 국내외 연구 동향

BCI에 대한 글로벌 BCI 연구·개발 경쟁이 가속화되고 있으며, 이에 따른 시장 규모도 나날이 확대되고 있다. 해외에 대표적인 BCI 기업으로는 일론머스크가 설립한 ‘뉴럴링크’를 꼽을 수 있겠다. 뉴럴링크는 뇌와 컴퓨터가 소통하는 방법을 개발하여 생각만으로 의사소통을 실행하고 다양한 신경 질환을 치료하며, 궁극적으로는 인간의 지능을 증강시키는 것을 목표로 한다. 뉴럴링크는 뇌와 정보를 주고받는 정밀도를 높이고자 두개골에 구멍을 내고 대뇌피질을 감싸는 외부 보호막인 경막에 25센트짜리 동전 크기의 초소형 칩을 삽입하여 신호를 측정하는 방식 사용한다. 최근에는 새로운 컴퓨터 칩인 ‘텔레파시’를 사지마비 환자에게 이식, 환자가 커서를

자유롭게 움직이며 생각만으로 비디오 게임 플레이하는 데 성공했다. 이외에도 호주의 BCI 기업 ‘싱크론’은 뉴럴링크와 달리 별도의 수술 없이 뇌 혈관을 통해 전극을 이식하는 BCI 시스템을 개발, 신경 장애(뇌졸중, 파킨슨병 등) 치료를 위한 기술개발에 주력하고 있다. 현재 루게릭병 환자에게 이식되어 테스트를 진행 중이며, 싱크론의 BCI 이식을 통해 환자는 눈의 움직임과 생각만으로 메세징 앱 및 인터넷 검색이 가능해졌다고 밝혔다. 국내 BCI 기업인 와이브레인’은 국내 최초로 경두개자극류자극을 접목한 채택치료용 우울증 치료 전자약 ‘마인드스팀’을 개발, 현재 상급종합병원 포함 전국 병원 총 105곳에서 도입하고 있다. 또한 ‘지브레인’은 뇌 피질에 삽입할 수 있는 전극 ‘핀스팀(Phin Stim)’을 개발하여 파킨슨병과 뇌전증 등을 치료하고 생각만으로 주변기기를 제어하는 BCI 시스템 구축하는 등 국내도 BCI 기술개발 경쟁에서 뒤처지지 않고 있는 모습을 보이고 있다.



그림 3 뉴럴링크 칩을 이식한 사지마비 환자의 게임 플레이 모습

## III. 결론

BCI 연구·개발이 가속화됨에 따라, 가까운 미래에는 BCI 기반 서비스 활성화와 함께 산업 구조의 혁신이 일어날 것으로 기대된다. 시장조사기관 ‘AMR’에 따르면 전 세계 BCI 시장은 ‘2020년 14억 8,000만 달러에서 연평균 13.9% 성장하여 ‘2030년에는 54억 6,300만 달러에 이를 것으로 전망된다. 현재 BCI 기술은 의료용으로 주로 활용되고 있지만, 향후 미래에는 게임, 모빌리티, 마케팅 등의 분야에서 웨어러블 기기 혹은 증강현실 장비의 형태로 일상에 널리 적용될 것으로 기대된다. 또한, BCI 관련 새로운 산업이 다수 생겨날 것으로 전망되며, 대표적으로 기억 삭제 서비스, 지능 증폭 서비스, 꿈 저장 서비스 등이 널리 상용화될 것으로 예측된다. 이외에도 뇌-컴퓨터 인터페이스를 넘어서 ‘뇌-인공지능(Brain-AI) 인터페이스’ 시대가 도래할 수도 있다는 전망이 있다. 미국 민간업체 글래드스톤 AI가 미 국무부 의뢰를 받아 발표한 보고서에 따르면, 고도로 발전한 AI 시스템이 최악의 경우 “인류 멸종 수준의 위협”이 될 수 있다고 경고한 바 있다. 이러한 시나리오에 대비해 인간의 뇌와 인공지능을 연결하는 ‘뇌-인공지능 인터페이스’를 통해 AI와 함께 공생하는 미래가 펼쳐질 수도 있다. 그렇게 되면 전자두뇌를 갖춘 ‘초지능(Hyper-Intelligence) 인간’이 등장하여 머릿속에서 검색이 데이터를 불러올 수 있고, 반대로 머릿속으로 떠올린 내용을 가상의 클라우드에 업로드하는 것이 가능해질 것으로 보인다. 그러나 BCI 기술의 고도화와 함께 수반되는 여러 부작용(사생활 침해, 윤리적 갈등 등)에 대한 대비도 필요해 보인다. 아직은 먼 미래일지도 모르겠으나, 하루가 다르게 바뀌는 AI 기술과 같이 BCI 기술도 혁신적으로 개발되어 우리 일상 속으로 스며드는 날이 오기를 기대해 본다.

## 참 고 문 헌

- [1] Jo, H. H., & Jeon, S. C. (2012). 뇌전도 기반 뇌-컴퓨터 인터페이스 기술. Information and Communications Magazine, 29(7), 47-55.
- [2] Saha, S., Mamun, K. A., Ahmed, K., Mostafa, R., Naik, G. R., Darvishi, S., ... & Baumert, M. (2021). Progress in brain computer interface: Challenges and opportunities. Frontiers in systems neuroscience, 15, 578875.