

## 뇌파신호 및 응용 기술 동향

Trends in Brain Wave Signal and Application Technology

김도영 (D.Y. Kim) 씨앗기술연구소 책임연구원  
 이재호 (J.H. Lee) 씨앗기술연구소 책임연구원  
 박문호 (M.H. Park) 씨앗기술연구소 책임연구원  
 최윤호 (Y.H. Choi) 씨앗기술연구소 선임연구원  
 박윤옥 (Y.O. Park) 씨앗기술연구소 책임연구원

\* 본고는 2017년도 ETRI내부사업의 연구비 지원으로 수행되었음[4차 산업혁명을 대비한 가치 창출형 ICT 기술발굴 및 기획 연구].

뇌파신호는 사람의 생각이나 감정을 가장 현실적인 방법으로 취득하여 해석하고 분석할 수 있는 유용한 정보원이다. 뇌파는 음성인식 이후에 사람과 사람, 사람과 사물, 사람과 컴퓨터 간에 편리하고 가장 자연스러운 초연결(Hyper-Connection) 접속과 통신을 가능하게 하는 유력하고 궁극적인 수단이다. 하지만 뇌파를 두뇌 활동 시 발생하는 신경세포와 신경세포 사이에 형성된 시냅스들의 화학적 활성화에 의한 전자기적 신호 평균의 총합으로만 해석하는 한, 뇌과학에서 이룩한 복잡한 사람의 생각과 감정 패턴과의 연결 해석이 불가능한 한계가 발생한다. 본고에서는 이를 극복하여 뇌파를 미래의 초연결 접속과 통신 수단으로 활용 가능하도록 하기 위한 기술적 가치와 가능성을 재발견하기 위하여 뇌과학에서 밝혀지고 있는 생각과 감정 회로와 연동·해석하기 위한 뇌파신호의 처리, 해석 및 응용 기술 동향에 대해 기술한다.

### 미래전략기술 특집

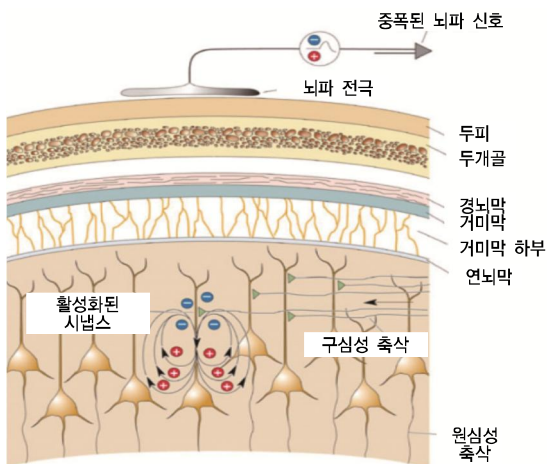
- I. 머리말
- II. 뇌파신호 처리 기술
- III. 뇌파 해석 및 응용 기술
- IV. 맺음말

## I. 머리말

뇌파(EEG: Electro Encephalo Graphy)는 (그림 1)[1]에서 나타낸 바와 같이 두뇌를 구성하는 신경세포들의 전기적 활동을 두피에서 전극을 통해 간접적으로 측정할 수 있는 전기신호이다. 즉, 뇌파는 두뇌 내부에서 발생하는 전기적 활성정보를 전기장(Electric field)을 통해 간접적으로 포착한다. 1875년 영국의 생리학자인 케이튼이 토끼와 원숭이의 뇌에서 검출한 파형을 검류계에 기록한 것이 최초의 뇌파이다. 사람의 경우는 오스트리아의 한스 베르거가 1929년 두개골이 손상된 환자의 두피 아래에 백금전극 2개를 삽입하여 얻은 전위차를 기록한 것이 최초로, 사람의 두피에 전극(Electrode)을 부착하여 비침습적(Non-invasive)인 방법으로도 얻을 수 있음을 알게 되었고 이를 뇌전도(EEG)라고 명명하였다.

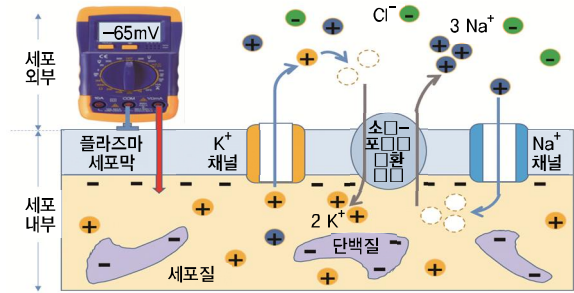
(그림 1)에서 도시한 바와 같이 두개골 안쪽에는 뇌가 있고, 뇌는 3층의 막으로 싸여 있으며, 가장 바깥쪽이 경뇌막, 중간에 있는 막이 거미막, 안쪽에 연뇌막이 위치[1]한다.

그 아래 대뇌피질에서 신경세포 사이에 시냅스가 형성되어, 시냅스전신경원 말단에서 신경전달물질을 분비하고, 분비된 신경전달물질은 시냅스 후막의 이온채널



(그림 1) 뇌파신호의 생성 과정

[출처] Mark Bear et al, "Neuroscience," 2007[1]



(그림 2) 신경세포 내외부의 전기 흐름과 뇌파신호

에 부착되어 이온채널이 열리게 된다[2]. 이온채널이 열리면 (그림 2)에서 도시한 바와 같이 나트륨(Na+)이온이 Na+채널을 통해 세포 안으로 유입되고, 칼륨(K+)이온은 세포 밖으로 유출되어 세포막의 양단간 전위에 변화가 일어나 전위차, 즉 전압이 생겨 전류가 흐르고, 이 전류가 전기장을 형성하게 된다[2]. 이러한 전기장의 변화는 자기장을 생성하고 다시 자기장의 변화는 전기장을 생성하게 되어 두피에 전극을 설치하면 10~50uV의 뇌파신호를 측정할 수 있다. 뇌파신호는 대뇌피질의 면적 중 최소 6cm<sup>2</sup>이상 규모로 동기화가 되어야 검출되는 것으로 알려져 있다[3].

본고에서는 현재까지 알려진 뇌파신호의 처리 기술 및 해석과 응용에 대한 주요 기술을 살펴보고, 최근 뇌과학에서 밝혀지고 있는 사람의 생각과 감정 회로를 이와 연결할 수 있는 가능성과 접근에 대해 고찰한다.

## II. 뇌파신호 처리 기술

### 1. 뇌파신호의 주파수별 분류 및 특징

두피에서 측정한 가공하지 않은 원본의 뇌파신호는 해석하기가 어렵고 뇌파의 파형을 시각적으로 분석하는 것은 대부분 유용하지 않으므로 뇌파의 분류방법으로 신호의 진동수(주파수)에 따라 분류하는 파워 스펙트럼 분류를 가장 많이 사용한다. 파워 스펙트럼은 측정되는 뇌파신호를 특정한 주파수별 단순 신호들의 선형적 합

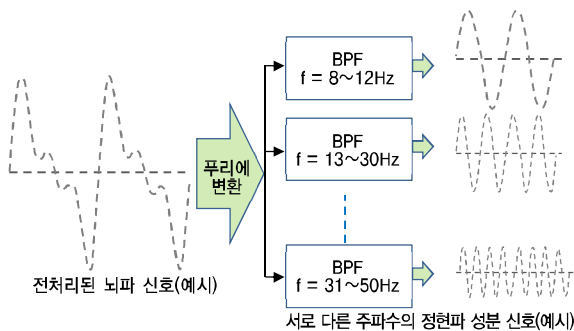
〈표 1〉 뇌파신호의 주파수 별 분류와 신호 특징

뇌파신호 분류	주파수(Hz)	신호의 형태[2]	신호의 특징	설명
델타(Delta)파	~3.5		가장 진폭이 크다(20~200uV) 내면 심리 반영	- 깊은 수면 또는 혼수 상태. - 각성이 떨어질수록 증가함.
세타(Theta)파	3.5~7		진폭이 크다 내면 심리 반영	- 기억을 회상하거나 명상등 조용한 집중 상태에서 관찰됨. - 동조하여 발화하는 많은 뉴런이 관련됨.
알파(Alpha)파	8~12		진폭이 중간 심리 반영 중간	- 휴식 상태의 후두엽에서 주로 발생. 수면 상태에서는 약해짐. - 대규모의 뉴런들이 동조적으로 발화함.
베타(Beta)파	13~30		진폭이 작다 표면 심리 반영	- 각성 상태 및 집중적 뇌 활동과 연관되며, 병리적 현상 및 약물효과와 관련이 있음. - 양반구에서 대칭적으로 분포함.
감마(Gamma)파	31~50		가장 진폭이 작다 표면 심리 반영	- 피질과 피질하 영역들간의 정보 교환 - 의식적 각성 상태와 REM 수면시 꿈에서 나타남. - 베타파와 중복되어 나타나기도 함.

산으로 보고, 이 신호를 각각의 주파수 성분별로 분해하여 그 크기(전력치)를 표시한 것이다.

〈표 1〉에 뇌파신호를 주파수별로 일반적으로 분류하는 신호의 형태와 특징에 대해 정리하고 요약[2]하였다. 주파수 별 뇌파신호는 잡음을 제거하기 위한 전처리(Pre-processing)와 주파수 영역으로의 변환을 위한 푸리에 변환(Fourier Transformation) 및 대역필터(BPF)를 통해 얻을 수 있다. 이를 (그림 3)에 예시하였으며, (그림 4)에서는 4초 동안 측정된 뇌파신호를 주파수 영역(Frequency domain)으로 변환하여 주파수별 뇌파신호로 변환한 경우를 예시하였다.

특히 알파(Alpha)파는 명상을 하고 있는 등의 매우 편안한 상태에서 강하게 나타나며 스트레스의 해소와 집중력 증강에 도움을 주는[4] 것으로 알려져 있다. 건

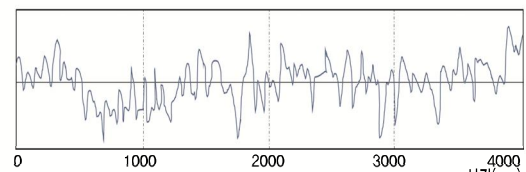


(그림 3) 주파수별 뇌파신호의 취득 예시

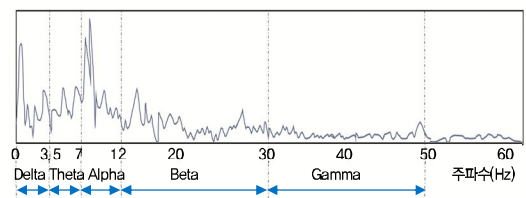
강하고 스트레스 없는 사람들의 뇌파에서는 알파파가 많이 생성되는 경향이 있으며, 이를 이용한 학습보조용 장비가 개발되기도 하였다. 사람이 7일간 잠을 자지 않은 상태에서는 알파파가 사라지는 현상이 보고[1]되기도 하였다.

## 2. 뇌파신호 측정점

10-20 시스템은 뇌파신호의 측정을 위해 국제적으로 인정되고 있는 두피 위치와 측정점[5]으로 전극의 위치와 대뇌피질 영역의 관계에 기반하여 결정[6]되었다. (그림 5)에 나타난 바와 같이 각 측정점 F, T, C, P, O에

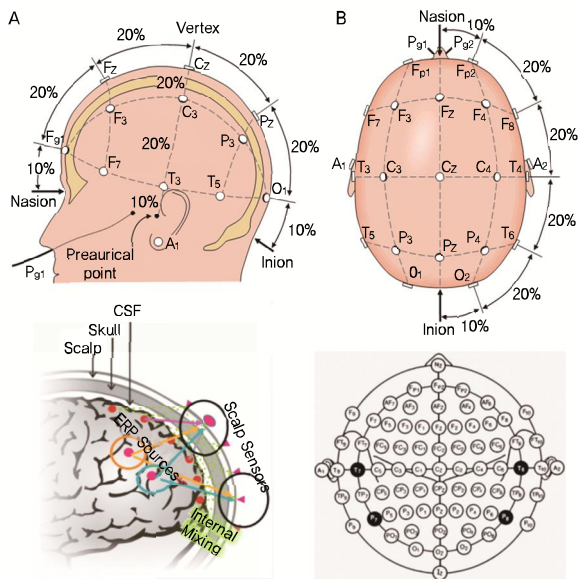


(a) 시간 영역에서의 측정 신호



(b) 주파수 영역에서의 스펙트럼

(그림 4) 시간 대 주파수 영역간 뇌파신호 변환 예



(그림 5) 뇌파신호의 표준 측정점

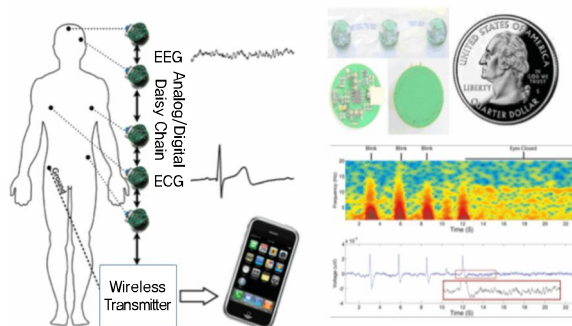
[출처] S.F. et al., "American Electroencephalographic Society Guidelines for Standard Electrode Position Nomenclature," 1991. [7] 등 재구성

번호를 붙여 위치를 나타내는데 각각 Frontal, Temporal, Central, Parietal, Occipital의 약자이다. 짝수(2,4,6,8)는 우반구에서의 전극 위치를, 홀수(1,3,5,7)는 좌반구에서의 전극 위치를 의미한다. 소문자 z는(Cz, Fz, Pz) 코뿌리점(Nasion)과 뒤통수점(Inion)을 연결하는 중간선에 위치한 전극 위치를 나타낸다. A, Pg, Fp는 각각 귓불(Earlobes), 코인두(Nasopharyngeal), 전방(Frontal)의 극선(Polar sites) 위치를 나타낸다. 여기서 코뿌리점은 양쪽 눈의 중간과 코의 중심선 위쪽이며, 뒤통수점은 머리 뒤의 중심에서 만져지는 두개골의 가장 낮은 점으로 정의한다. 각 측정점은 코뿌리점과 뒤통수점까지의 실제 거리를 100으로 하였을 때, 10%, 20%, 20%, 20%, 20%, 10% 비율로 위치를 구분하여 10-20 시스템으로 명명되었다. 한편 256 채널과 같은 고해상도 뇌파를 측정하기 위한 뇌파 측정 시스템의 경우, 10%와 5% 분할률을 사용하여 세분하였기 때문에 이와 대비하여 10-5 시스템으로 부르기도 한다.

### 3. 뇌파신호의 취득

뇌파신호를 두피에서 얻기 위한 전극은 신호의 프리앰프(pre-amplifier) 사용 여부에 따라 수동전극(passive electrode)과 능동전극(active electrode)으로 구분하며 소재에 따라 금속과 비금속 센서, 두피와의 접촉 방식에 따라 직접과 간접 접촉 방식으로 구분할 수 있다. 수십  $\mu\text{V}$  크기의 미약한 뇌파신호를 잡음 없이 취득하여 뇌파신호 처리장치와 연결하는 것은 매우 기본적인 중요 기술이다. 사용자와의 연결형태는 실험실에서 주로 사용하는 유선 연결형, 헤어밴드형, 이어폰형 [7], 무선 비접촉형[8]으로 진화하고 있다. (그림 6)에서 나타난 캘리포니아대학의 게르트 카우벤베르그스 교수팀이 개발한 무선 모니터링 방식의 뇌파 모니터링 시스템은 머리카락 위에서도 착용할 수 있는 64 채널 무선 방식을 특징[8]으로 한다.

게르트 카우벤베르그스 교수팀의 연구원이었던 유



(그림 6) UCSD의 무선 비접촉형 뇌파 모니터링 시스템

[출처] <http://www.isn.ucsd.edu>, 2016.



(그림 7) Cognionics사의 건조형, 모바일 EEG 측정센서

[출처] <http://www.cognionics.com>

마이크 치는 이 기술을 소형 웨어러블 헤드셋 형태로 개발하여 스타트업인 Cognionics사를 설립하여 (그림 7) 과 같은 고품질의 실용적인 뇌파신호의 취득이 가능한 건식형(dry type) 모바일 뇌파신호 측정 기술개발을 진행하고 있다.

#### 4. 뇌파신호의 전처리(Pre-processing)

뇌파신호의 전처리 과정은 1~50uV 수준의 미약한 뇌파신호에 혼합된 전원 잡음, 눈동자의 움직임에 따른 안전도 신호(EOG: ElectroOculoGraphy), 근육의 수축과 이완에 의한 근전도(EMG) 신호, 심장 박동에 의한 심전도(ECG: ElectroCardioGram) 신호 등 뇌파신호처리 목적에 부합하지 않는 신호를 제거 또는 처리하는 기술이다.

뇌파신호는 통상 125~1000Hz로 샘플링하며, 측정 목적에 따라 약간씩 다르지만 <표 1>에서 예시한 최대 주파수의 2배 수준인 200Hz나 500Hz를 사용한다. 전처리 필터는 0.01~200Hz 대역을 사용하고 FIR(Finite Impulse Response) 필터를 사용한다. 사건유발전위의 측정 시에는 (0.01~1)Hz~(15~30)Hz, 뇌파 해석 시에는 (0.01~1)Hz~100Hz를 사용하며 사용전원(50 또는 60Hz) 잡음제거를 위해서는 노치필터(Notch Filter)를 사용한다. 안전도 신호를 제거하기 위한 전처리는 linear square regression, adaptive filter를, 주파수 변환을 위해서는 푸리에 변환, 연속 웨이블릿 변환, Complex wavelet 변환, 뇌파신호 간의 전력 차이와 위상차이를 얻기 위해서는 힐버트 변환을 주로 사용한다. 스펙트럼 영역에서의 신호 해석에서는 자기상관 모델 (AR: AutoRegressive), 전력 스펙트럼 밀도함수(power spectral density function)를 사용할 수 있다. 비선형적 해석 기법으로는 시간에 따라 변하는 뇌파 데이터의 위상 공간상의 변화를 3차원 위상 공간으로 확장·변환하여 공간 안정성과 복잡성을 파악하는데 유효한 라푸노프 지수(라푸노프 특성 지수라고도 함)[9], permutation

entropy, sample entropy 등을 사용한다.

#### 5. 사건유발전위

사건유발전위(ERP: Event-Related Potential)는 특정 정보(영상, 음성, 소리, 수행명령 등)로 구성된 자극을 가한 후에 이 자극이 유발한 뇌의 전기적 활성정보가 포함된 신호를 말하며 뇌파신호의 주파수 스펙트럼 해석과 함께 뇌파 응용에 가장 많이 사용되고 있는 기법이다. 사건유발전위는 자극이 제시된 시간을 기준으로 측정된 뇌파들을 평균화함으로써 자극과 무관한 뇌의 신호 부분은 제거하고 자극처리에 관여한 활동만을 추려낸 신호이다. 사건유발전위는 N100, N200, P300, N400, P600, P800 등으로 명명한 여러 개의 피크로 구성되며 각 신호의 피크(peak)마다 개별적인 정의와 의미를 지니고 있다[10]. 특히 자극의 제시 후 300ms 전후 시점에서 측정되는 양(Positive)의 피크를 의미하는 P300 사건유발전위 신호는 뇌의 정보처리 회로와 관련하여 세계적으로 가장 많이 연구됐으며, 자극에 대한 주의력, 자극 인지, 기억 탐색, 불확실감 해소를 반영한다고 알려져 있다[10]. P300 사건유발전위는 뇌-컴퓨터 인터페이스에 널리 응용[11]되고 있으며, 장애자용 인터페이스 응용에도 매우 유용하게 응용[12]되고 있다.

### III. 뇌파 해석 및 응용 기술

본 장에서는 II장에서 살펴본 뇌파신호의 취득 및 처리 기술에 후속하여 뇌파의 해석 기술과 주요 응용 기술 동향에 대해 기술하며, 특히 동적 신경영상 기술의 Inverse problem 해결과 뇌과학에서 진행되고 있는 사람의 생각과 감정 처리 구조와 뇌파신호를 이와 연결하기 위한 기술적 가능성에 대해 고찰한다.

#### 1. 보건 및 의료

현재 뇌파신호 처리기술을 가장 널리 응용하고 있는

〈표 2〉 뇌파신호를 활용한 상용제품 사례

제작사	제품명	기능	제품 형상	특징	출처
뉴로스카이 Neurosky	Mindwave	집중력 향상 이완력 향상 학습능력 향상		건설능동 뇌파센서	Neurosky.kr
와이브레인 YBrain	YBand	우울증 및 경도인지장애 완화		복합소재 바이오센서	Ybrain.com
옵니씨엔에스 Omni C&S	Omnifit Mindcare RingVR	스트레스 진단 우울증 여부 치매 위험성		오culus 기반 VR	Omnics.com
락샤 Laxtha	Nero Tuning	두뇌 바이오 피드백		훈련자, 자가 조절 훈련	Laxtha.com
마텔 Mattel	Mindflex	게임		뇌파로 송풍기 제어	ebay.com
인터랙티브 Interactive	Mindball	게임		머리피 형태의 센서	Mindball.se

분야는 보건 및 의료분야이다.

뇌파를 이용하여 노화, 만성피로, 치매와 같은 분야를 예측할 수 있는데 이는 뇌기능 저하가 발생하면 〈표 1〉에서 설명한 알파파 신호의 피크가 퍼지면서 주파수가 낮은 쪽으로 이동하는 신호 특성을 활용[13]한 것이다. 일반적으로 고차 인지, 주의력, 기억력, 지능지수 등과 같은 외부 정신 측정법(Psychological Test) 점수가 높을수록 알파파의 피크 주파수가 높은 경향이 있으며 노화, 치매가 진행되거나 심해질수록 알파파 고유리듬의 피크주파수가 느려지며 후두엽에서 측정하는 알파파의 표준패턴[13]이 무너지는 것으로 알려져 있다. 이처럼 뇌파, 특히 뇌파신호별 특성을 활용한 의료 및 건강 분야 제품들은 우울증, 뇌진탕, 치매 등의 진단 등에서 응용되고 있으며, 〈표 2〉에 현재 상용제품 또는 이에 근접한 사례들을 정리하였다.

## 2. 뉴로피드백

뉴로피드백(Neurofeedback)은 의식의 힘을 극대화하

〈표 3〉 뉴로피드백과 임상질환 응용 사례[13]

구분	적용 사례
안정 뉴로피드백	- 만성 통증(Chronic pain) 외상 후 스트레스 장애(PTSD), 뇌졸중(Stroke), 만성피로(CFS), 고혈압(Hypertension), 정서장애(Mood Disorder) 섭식장애(Eating Disorder)
집중 뉴로피드백	- 주의력결핍과잉행동장애(ADHD), 학습장애(Learning Disability), 각성장애(Arousal Disorder)
비대칭 뉴로피드백	- 전두엽 부위의 좌우불균형 패턴을 보이는 우울증(Depression)

는 행동 인지요법의 일종으로 사람이 원하는 변화에 관한 정보를 얻으면 변화를 일으키는 행동이 강화되어 변화가 일어나기 쉬워진다는 작동이론에 근거한 것[13]이다.

〈표 3〉에 알파리듬을 이용하여 뇌의 휴식상태를 유도함으로써 신경전달물질을 보충하여 재충전 및 뇌신경세포의 피로를 예방하고 감정회로의 정확로 정서적 안정을 도모하는 안정 뉴로피드백(Relaxation protocol), 외부 대상에 대해 집중상태를 유도하는 집중 뉴로피드백(Attention protocol), 비대칭 뉴로피드백(Asymmetry protocol)과 그 임상질환 응용사례를 예시하였다.

## 3. 감성 ICT

감성 ICT 기술은 인간의 감성을 외부에서 자동으로 인지하여 사용자의 환경에 맞게 감성정보를 처리하여 맞춤형 제품이나 서비스를 제공하는 기술[14]로서 정보통신기기뿐 아니라 의류, 자동차, 항공, 건설 및 디자인 등 매우 다양한 산업과 융합하는 분야이다.

감성 ICT에서는 뇌파(EEG)뿐 아니라, 안전도(EOG), 심전도(ECG), 근전도(EMG), 피부전도도(GSR), 피부온도, 맥파 등 다양한 생체신호를 활용하여 사람의 자율신경계통의 상태를 모니터링하는 생체기반 감성인지 기술과 외부에서 영상이나 음성신호를 해석하여 사람의 감성 상태를 인지하는 기술로 대별[14]할 수 있다.

특히 뇌파를 이용한 감성인지 기술은 기계학습에 의한 감성인지 알고리즘인 서포트벡터머신(SVM: Support

Vector Machine)을 이용[15]하거나 Multiclass SVM을 이용[16]한 연구가 있다.

#### 4. 뉴로마케팅(Neuro-Marketing)

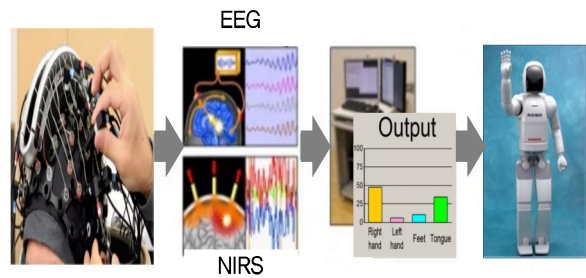
뉴로마케팅은 뇌에서 측정된 정보의 분석을 통해 소비자의 마음을 읽는 것으로, 뇌파신호의 특성을 해석하여 제품의 가격, 디자인 등에 대해 소비 태도, 선호도나 패턴을 파악해 판매현장에 적용하는 기술로서 매우 유망한 뇌파응용 분야로 알려져 있으며, 뉴로마케팅 전문가는 가장 유망한 미래 직업 중 하나로 알려져 있다.

뉴로마케팅의 주요 응용 기술사례 중 하나로서 얼굴 선호도(Facial preference)에 대한 연구[17]는 뇌파를 이용하여 매우 정확하게 사람의 선호도를 파악할 수 있음을 보고하고 있다. 32명에게 24종의 얼굴 사진을 수동적으로 바라보는 경우와 2개의 얼굴 사진을 차례로 나열하고 어느 얼굴을 더 선호하는지를 조사한 결과, 사람의 선호도는 알파리듬(8~13Hz)과 강한 선형관계가 있는 것[17]이 보고되었다. 즉, 선호도가 클수록 알파파의 전력치가 감소하였으며, 이 때 뇌파신호는 연속 웨이블릿 변환을 사용하여 스펙트럼 분석을 하였다. 이를 통해 뇌파를 이용하여 실시간으로 사람의 선호도를 매우 정확하게 알 수 있는 사실이 확인 되었고, 뉴로마케팅 역시 뇌파 응용의 주요 분야라고 할 수 있다.

#### 5. BCI

뇌-컴퓨터 인터페이스(BCI: Brain-Computer Interface)는 협의로서 사람의 생각으로 컴퓨터를 제어할 수 있는 기술을 의미하며, 광의로서 사람의 생각과 감정을 다른 사람이나 사물에게 가장 효과적으로 전달하고 상호 교환할 수 있는 기술을 의미한다.

뇌-컴퓨터 인터페이스는 사람의 뇌와 컴퓨터 및 기기를 연결하여 이들 간에 정보 교환이 가능하게 하는 기술을 총칭하며, 크게 두 가지 방향으로 연구되고 있다. 첫



(그림 8) 뇌파를 이용한 혼다의 로봇 팔 제어시연[19]

[출처] <http://newatlas.com>, 2009. 재편집.

째는 인간의 생각을 반영하는 뇌신경 활성화 신호를 실시간으로 해석해 이를 사용자, 특히 사지가 마비된 사람들이 생각만으로 휠체어나 인조 팔(Arm) 등의 외부기기를 제어할 수 있도록 하는 연구이다. 둘째는 외부 정보를 인간의 뇌에 입력시키고 이를 변조함으로써 인간의 인지능력을 증진시키려는 연구이다[18].

이 보고서[18]에서는 선진국과 비교한 한국의 뇌-컴퓨터 인터페이스 기술수준을 48%로 판단한다. R&D 투자는 미국의 1% 수준, 국내 뇌과학 논문 수는 미국의 1/30 수준, 뇌과학 특허건수는 1/180 수준, 그리고 미국보다 20년 늦게 뇌 연구센터가 설립되었다는 점을 감안할 때, 다른 선진국과 비교하여 국내 뇌-컴퓨터 인터페이스 기술 역량에 더 많은 연구개발 투자가 이루어져야 할 것을 주장[18]하였다.

한편 일본 혼다에서는 아시모 로봇을 뇌파만으로 명령을 주고 제어하는 기술을 개발하였으며, (그림 8)에서와 같이 헬멧형 뇌파 측정장치와 뇌파 해석 기술을 이용하여 로봇의 왼팔과 오른팔을 드는 시연을 실시한 바 있다[19].

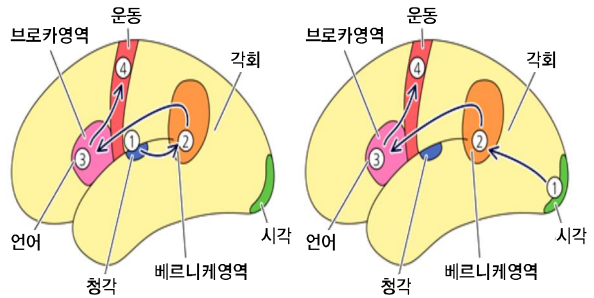
뇌-컴퓨터 인터페이스(BCI)에서는 다양한 뇌신호의 특징을 해석하고 분류하는 기술을 사용하고 있는데, 대부분의 BCI(75%)가 신경회로망 기법을 사용하고 있으며 이 중 27%가 MLP(Multi-Layer Perceptions) 신경회로망 기반을 사용하고 기타 LVQ(Learning-Vector-Quantization) 알고리즘, Linear discriminant, SVM을 사용하는 것으로 보고[20]되었다.

## 6. 뇌파 응용 대뇌피질의 활성화 원천 추적

뇌파신호의 해석과 응용기술은 동적 신경영상 기술 등과 같이 두피에서 비침습적으로 측정된 뇌파 정보를 이용하여 뇌 내부에 있는 대뇌피질의 전류원을 추정하는 연구로 발전[21]되었으며, Yao[21]는 뇌를 균일한 구(Sphere)로 가정한 수학적 모델을 이용하여 신경영상 방식을 제안하였다. 이외에도 보다 추정의 정확도를 향상시키기 위해 뇌를 4개 층으로 구성된 구 형태의 모델링과 정합한 기법, 뇌를 3~4개 층의 서로 다른 전기전도도를 갖는 영역으로 분류하고 각 영역은 균일하고 Isotropic한 전기전도도를 갖는 것으로 가정한 경계요소 모델, 그리고 유한요소 방식과 유한차분 방식이 연구[4]되었다. 아울러 동일 자극에 대해 fMRI(functional Magnetic Resonance Imaging)와 뇌파를 동시에 측정할 수 있어짐에 따라 ECD(Equivalent Current Dipole; 등가전류 쌍극자) 모델과 DSM(Distributed Source Model; 분산 전류원 모델)[4]의 성능향상이 이루어지고 있다.

이와 같이 뇌파를 응용하여 보건과 의료 분야뿐 아니

라 사람과 사람, 사람과 사물, 사람과 컴퓨터 간에 편리하고 가장 자연스러운 초연결(Hyper-Connection) 접속과 통신이 가능하기 위해서는 뇌파신호의 처리와 해석이 뇌과학적 인지 및 감정 회로와 긴밀하게 결합되어야 한다. 뇌과학의 클라이스 E지도(Kleist map)로 뇌의 영역별 주요 기능은 (그림 9)와 같이 알려져 있으며, 브레인 디코딩 연구의 주요한 실마리가 된다. 뇌과학 연구[2]에서는 사람이 어떤 단어를 듣거나 읽어서 발음할 때의 신경회로를 (그림 9)에서 예시한 뇌 기능지도를 참조하여 (그림 10)에서 도시한 바와 같이 신경처리 과정을



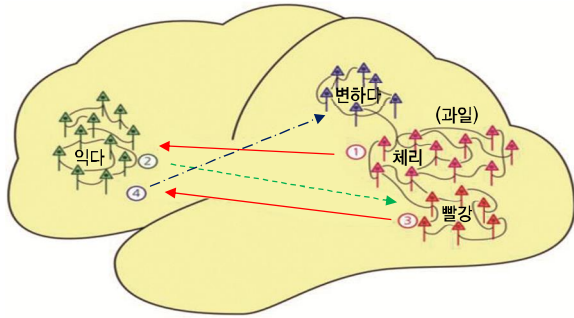
(그림 10) 대뇌피질에서의 신경처리 과정 예시[2]

[출처] 박문호, “그림으로 읽는 뇌과학의 모든 것,” 2013.



(그림 9) 대뇌반구 외측피질의 영역별 기능[2]





(그림 11) 문장 구성 시 뇌회로의 가상성 연결[2]

[출처] 박문호, “그림으로 읽는 뇌과학의 모든 것,” 2013.

명확히 알려주고 있다. 즉, 들은 단어를 말할 때는 귀를 통해 입력된 음성 정보가 1차 청각피질 ①을 거쳐 각회 ②를 거쳐 브로카 영역③에서 단어가 형성되며, 말을 하기 위해 성대와 입술을 움직이기 위해 1차 운동피질 ④의 순서로 신경처리가 이루어 진다. 읽은 단어를 말하는 경우에는 1차 시각피질<sup>1)</sup>①을 거쳐 각회②를 거쳐 브로카 영역③에서 단어가 형성되며, 말을 하기 위해서는 똑같이 1차 운동피질④의 순서로 신경처리가 이루어 진다. 여기서 브로카 영역은 단어를 발음할 수 있게 만드는 운동언어 영역이다. 아울러 사람이 문장을 구성할 때에는 대뇌피질에서 뇌회로에 가상성 연결이 이루어지는[2] 것으로 알려져 있으며, ‘체리가 익어갈수록 빨갱게 변한다’라는 문장 구성시 뇌 회로상의 가상성 연결 위치와 순서를 (그림 11)에 도시하였다. 즉, 오류없는 뇌파 정보를 정확한 시간에 취득하고 이에 따라 대뇌피질의 활성화 원천을 추적할 수 있다면 사람의 생각이나 의도를 해석하고 분석하는 것이 가능할 것으로 예상된다.

이와 같이 뇌파신호를 응용하여 사람의 의도를 파악하기 위한 다수의 연구가 국내외에서 진행되고 있는데, 널리 알려진 유럽의 휴먼 브레인 프로젝트(Human Brain Project)와 미국의 브레인 이니셔티브(Brain Initiative) 프로젝트에 따라 미국과 유럽에서의 연구는

1)(그림 9) 우측 끝에 있는 위치로 시야의 강도, 색상, 형태, 움직임을 감지하는 17번 영역

매우 활발하다. 특히 핀란드의 Helsingin Yliopisto가 주도하고 영국의 Media research사 등이 참여하는 Mindsee 과제는 2013년 10월부터 3백만유로(한화 약 39억원)를 투입하여 뇌파신호를 주 정보원으로 사용해서 사용자의 인지, 지각 및 감정을 측정하는 연구를 진행[18]하고 있다.

#### IV. 맺음말

뇌파신호를 사람의 의도와 감정을 정확히 반영하는 대뇌피질의 뇌공학적 신경회로 기술과 정확히 연결할 수 있다면, 미래의 초연결, 초지능, 초실감 사회에서 사람과 사람, 사람과 사물, 사람과 컴퓨터 간에 가장 편리하고 가장 자연스러운 초연결(Hyper-Connection) 접속과 통신을 가능하게 하는 유력하고 궁극적인 수단이 될 것이다. 뇌파는 fMRI, fNIR(Functional Near-Infrared Spectroscopy) 방식과 비교하여 매우 실용적인 가격으로 높은 시간 해상도를 얻을 수 있으며, 무엇보다 비침습적인 방식을 사용한다는 점에서 유리하다.

본고에서는 현재 진행되고 있는 뇌파신호의 처리기술, 해석 및 응용 기술 동향을 살펴보고, 이를 뇌과학의 뇌지도와 생각의 신경처리 회로 기술과 연계를 시도함으로써 향후 사람과 사람, 사람과 사물, 사람과 컴퓨터 간의 주요한 초연결 접속과 통신 수단으로 활용 가능하도록 하기 위한 가능성을 모색하였다.

앞으로 10년 이내에 영화 아바타(Avatar)에서와 같이, 뇌파를 이용하여 많은 사람들이 멀리 떨어져 있는 자신의 흥미진진한 아바타 라이프를 즐길 수 있기를 기대해 본다.

#### 용어해설

**Brain Decoding** 뇌(Brain)에서 발생하는 뇌파 등의 생체정보를 취득, 분석하여 사람의 생각 또는 감정을 분석하고 해석하는 기술

**Neuro-Marketing** 뇌(Brain)의 특성정보를 이용하여 사용자의 소비 태도, 선호도나 패턴을 파악해 판매현장에 적용하는 기술

## 약어 정리

AR	AuroRegressive
BCI	Brain-Computer Interface
ECG	ElectroCardioGraphy
ECoG	ElectroCorticoGraphy
EEG	ElectroEncephaloGraphy
EMG	ElectroMyoGraphy
EOG	ElectroOculoGraphy
ERP	Event-Related Potential
FIR	Finite Impulse Response
fMRI	functional Magnetic Resonance Imaging
fNIR	Functional Near-Infrared Spectroscopy
GSR	Galvanic Skin Response
LVQ	Learning Vector Quantization
MEG	Magnetoencephalography
MLP	Multi-Layer Perceptions
PSD	Power Spectral Density
SVM	Support Vector Machine

## 참고문헌

- [1] M.F. Bear, B.W. Commors and M.A. Paradiso, "NeuroScience: Exploring the Brain," Lippincott Williams and Wilkins, Feb. 7, 2006.
- [2] 박문호, "그림으로 읽는 뇌과학의 모든 것" Humanist, 2013. 4.
- [3] 홍승봉, 정기영, "뇌파의 전기생리학," 대한신경과학회지, 제21권 제3호, 2003. 6, pp. 225-227.
- [4] 연세대학교 의료공학연구소, "단기교육강좌: 뇌파 측정과 동적 신경영상 이론 및 응용," 2007.
- [5] [https://en.wikipedia.org/wiki/10-20\\_system\\_\(EEG\)](https://en.wikipedia.org/wiki/10-20_system_(EEG))
- [6] F. Sharbrough et al, "American Electroencephalographic Society Guidelines for Standard Electrode Position Nomenclature," *J. Clin Neurophysiol*, Apr. vol. 8, no. 2, 1991.
- [7] Brain IP, "뇌파 측정이 가능한 블루투스 이어폰 소개," 2012. 3.
- [8] UC San Diego, <http://www.isn.ucsd.edu>
- [9] X. Zeng, R. Eykholt and R.A. Pielke, "Estimating the Lyapunov-Exponent Spectrum from Short Time Series of

- Low Precision," *Phys. Rev. Lett.* vol. 66, no. 25, 1991, pp. 3229-3232.
- [10] Laxtha, <http://www.laxtha.com>
- [11] H. Cecotti and A. Graser, "Convolutional Neural Networks for P300 Detection with Application to Brain-Computer Interfaces," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 33, no. 3, Mar. 2011, pp. 433-445.
- [12] U. Hoffmann et al, "An Efficient P300-Based Brain-Computer Interface for Disabled Subjects," *Journal of Neuroscience Methods*, vol. 167, no. 1, Mar. 4th, 2008, pp. 115-125.
- [13] 최정미, "생체신호처리 기술 및 산업동향" 웨어러블 기기를 이용한 생체인식 기술 워크숍, 대한전자공학회, 2017. 3, pp.113-152.
- [14] 신현순 외, "감성 ICT 기술 및 산업동향" 전자통신동향분석, 제29권 제5호, 2014. 10. pp. 30-39.
- [15] A.T. Sohaib et al, "Evaluating Classifiers for Emotion Recognition using EEG," *Foundations of Augmented Cognition Lecture Notes Computer Science*, vol. 8027, 2013, pp. 492-501.
- [16] İ. Güler and E.D. Übeyli, "Multiclass Support Vector Machines for EEG-Signals Classification," *IEEE Trans. on Info. Tech. Biomed.*, vol. 11, no. 2, Apr. 2007, pp. 117-126.
- [17] J.-H. Kang et al, "Modulation of Alpha Oscillations in the Human EEG with Facial Preference," *PLoS ONE*, vol. 10, no.9, Sept. 22nd, 2015.
- [18] C.S. Nam et al, "뇌-컴퓨터 인터페이스 (Brain-Computer Interfaces) 기술에 대한 국내외 연구개발 동향 조사," Korean-American Scientists and Engineers Association (KSEA), Dec. 2015.
- [19] <http://newatlas.com/honda-asimo-brain-machine-interface-mind-control/11379>.
- [20] A. Bashashati et al, "A New Design of the Asynchronous Brain Computer Interface using the Knowledge of the Path of Features," *Conference Proc. of 2nd International IEEE EMBS*, March 2005, pp. 101-104.
- [21] D. Yao et al, "A Study of Equivalent Source Techniques for High-Resolution EEG Imaging," *Physics in Medicine and Biology*, vol. 46, no. 8, July 2001.