

# 신경 인터페이스와 신경건축

Neural Interface and Neuroarchitecture



임 창 환 Im, Chang-Hwan

한양대 생체공학과 부교수

Associate Professor, Hanyang University

ich@hanyang.ac.kr

## 머리말

타인의 감정을 추론하는 것은 인간이 가진 고유한 능력 중 하나다. 우리는 타인의 표정, 몸짓, 시선, 목소리 등을 통해 타인의 불안감, 만족도, 선호도, 이해도와 같은 다양한 감정을 추론하며 이는 원만한 인간관계를 유지하는데 있어 필수적인 능력이다. 최근 들어 인간의 지능을 기계와 컴퓨터에 이식하려는 노력과 함께 인간의 감정을 인식하는 컴퓨터를 구현하려는 시도 또한 다양한 방식으로 이루어지고 있다. 대표적인 사례들은 카메라가 얼굴 표정, 제스처, 시선 등을 인식하는 방식이나 마이크를 통해 전달되는 목소리를 분석하는 방식, 신체에서 발생하는 다양한 생리적 변화를 감지하는 방식 등이 있다.

많은 공학자들은 기계가 인간의 감정을 인식하는 기술이 완성되면 다양한 응용 분야에 적용이 가능할 것으로 기대한다. 인간과 감정을 교류할 수 있는 컴퓨터나 로봇은 자폐증을 가진 아동이나 커뮤니케이션 불안장애를 가진 성인의 재택 치료에 활용될 수 있다. 또한, 가정용 로봇이 주인의 감정을 인식하여 기분 전환용 음악을 연주하거나 조명과 실내 온도를 조절해 줄 수도 있다. 이러한 응용 분야들은 대부분 연구 초기 단계인 경우가 많기 때문에 많은 학자들은 감정 인식 기술이 적용될 수 있는 가장 가시적인 응용 분야로 “뉴로마케팅(Neuromarketing)”이라는 분야를 꼽는다.

위키피디아에 따르면 뉴로마케팅은 “마케팅 관련 자극에 대한 소비자들의 감각운동, 인지, 감정 반응을 연구하는

새로운 분야”로 정의된다. 뉴로마케팅은 소비자의 구매 의사결정 과정을 모델링하고 궁극적으로 소비자의 구매를 예측하는 것을 목표로 한다. 2010년 자료에 따르면 전 세계 뉴로마케팅 회사의 수는 150개를 상회하고 있으며 연간 20% 이상의 가파른 성장세를 나타내고 있다. 뉴로마케팅 분야의 선두 주자인 미국의 뉴로포커스社는 2010년 뉴로마케팅 기반의 기업 대상 컨설팅만으로 3400만 달러의 매출을 기록했다.

이미 하나의 서비스 산업으로 자리매김한 뉴로마케팅을 본고에서 언급하는 이유는 뉴로마케팅이 신경건축학(Neuroarchitecture)과 많은 부분에서 유사성을 지니기 때문이다. 신경건축학은 인간이 생활하는 건축물이나 조형물이 인간 신경계와 뇌에 미치는 영향을 규명하거나 주변 환경에 대한 신경 반응을 평가하는 것을 목적으로 한다. 뉴로마케팅이 마케팅 관련 자극(상품 디자인, 로고, 상품명, 광고 등)에 대한 소비자의 인지, 감정, 행동 반응을 조사하는 것과 유사하게 신경건축학은 환경 자극(건축물, 조형물, 실내 디자인 등)에 대한 잠재적 소비자의 인지, 감정, 행동 반응을 조사한다. 즉, 자극의 종류만이 달라질 뿐 관찰하고자 하는 반응은 동일하다. 신경건축학 연구의 결과물도 결과적으로 소비자의 구매 의사와 밀접한 관련을 가진다는 점에서 신경건축학은 뉴로마케팅의 한 분야로 분류될 수도 있을 것이다.

본고에서는 신경건축학(또는 뉴로마케팅) 연구에 활용될 수 있는 다양한 감정 인식 방법들 중 신경신호를 이용하여 컴퓨터와 접속하는 기술인 신경 인터페이스(Neural

Interface)를 소개하고 이 기술의 신경건축학에의 적용 가능성을 논하고자 한다.

### 신경건축학의 연구 방법

공간과 환경에 대한 신경계의 반응을 연구하기 위한 가장 유용한 도구 중 하나는 기능적 자기공명영상(functional magnetic resonance imaging: fMRI)이다. fMRI는 감각과 인지 기능을 담당하는 신피질(두피에 가까운 뇌영역)의 활동만을 관찰할 수 있는 뇌파나 뇌자도와 달리 인간의 다양한 감정이나 기억과 같이 보다 원초적인 기능을 담당하는 뇌 심부의 변연계 활동까지도 높은 해상도로 관찰이 가능하기 때문에 신경건축학 연구에서 공간과 건축이 인간의 감정과 사고와 미치는 영향을 신경과학적으로 규명하기 위한 강력한 도구로 활용될 수 있다.

하지만 fMRI는 높은 공간적 해상도와 달리 시간적 해상도가 낮아 빠르게 변화하는 뇌 활동을 관찰하기에는 적합하지 않다. 무엇보다 fMRI는 누워 있는 상태에서 측정하기 때문에 스크린이나 안경형 모니터의 일종인 HMD(Head Mounted Display, 머리에 쓰는 가상현실 기기)를 통해 보이는 2차원 가상 환경 내에서의 뇌 변화만을 관찰할 수 있다는 제약을 가진다. 한편 대뇌 피질의 신경세포가 생성하는 신경 전류의 흐름을 머리 표면에서 측정하는 뇌파(Electroencephalogram: EEG)는 낮은 공간 해상도와 측정 부위의 제약(신피질 활동만 측정)이라는 단점이 있지만 1밀리초 내외의 빠른 신경세포 활동을 연속적으로 모니터링할 수 있다는 점에서 실용적 뉴로마케팅 서비스를 위한 핵심 도구로 활용되고 있다. 실제로 뉴로마케팅 컨설팅 서비스를 제공하는 대부분의 회사들은 시선추적기, 뇌파, 비신경 생리 신호(맥파, 체온, 피부전도도 변화 등)를 활용하고 있다. 인간의 감정 변화는 다양한 형태로 뇌파에 반영되는데, 심신이 안정된 상태에서는 전두엽 뇌파의 알파파(8-12 Hz)나 세타파(4-7 Hz) 비율이 증가하고, 스트레스를 받는 환경에서는 베타파(12-30 Hz)의 비율이 증가하는 현상 등은 매우 잘 알려져 있다. 그 밖에도 부정적인 감정을 가질 때에는 좌-우

전두엽 알파파의 비대칭성이 증가하는 현상이나 시각적 자극에 대한 선호도가 증가하면 후두엽과 측두엽 알파파가 증가하는 현상도 보고되고 있다. 보다 복잡하게는 특정 대상에 대한 선호도가 전두엽과 두정엽 사이의 기능적 연결성에 반영된다는 보고도 있으며 고차적원적인 인지 과정 중에는 전역 뇌파의 동기화 정도가 상승하는 현상도 보고된 바 있다. 뇌파는 fMRI에 비해 특정한 뇌 부위의 활성도를 관찰하기는 어려운 대신에 뇌의 상태를 반영하는 다양한 지표들을 연속적으로 제공할 수 있다는 점에서 실용적인 신경건축학 연구에 매우 유용한 도구로 활용될 수 있다.

하지만, 실험실 환경에서 뇌파를 측정하는 연구에서는 fMRI를 이용한 연구에서와 마찬가지로 실제 환경이 아닌 컴퓨터 모니터나 HMD를 통해 보여지는 가상 환경을 활용할 수밖에 없다. 신경건축학의 주요 연구 목표 중 하나가 공간과 건축이 인간에게 미치는 영향을 관찰하는 것이라면 가장 이상적인 신경건축학 연구 방법은 실험 대상이 실제 공간이나 환경에 들어가서 공간을 돌아다니며 구조물을 만진다거나 공간 내에서 실제로 생활할 때 발생하는 뇌의 반응을 기록하고 분석하는 것이라 하겠다.

최근 전자통신 분야의 최대 화두 중 하나는 “웨어러블”이다. 언론에서는 “구글 글래스”, “소니 스마트워치”, “나이키 퓨얼밴드” 등으로 대표되는 “착용하는 컴퓨터”가 스마트폰의 뒤를 이어 또 한 번 우리 생활을 변화시킬 것이라는 장밋빛 전망이 쏟아져 나오고 있다. 이러한 메가트렌드는 뇌파 측정 분야에서도 예외가 아니다. 반도체 기술의 발전으로 고성능의 뇌파 측정 전용 칩(ADS1299 등)이 개발되면서 웨어러블 뇌파 측정기기가 등장하고 있다. 재미있는 것은 웨어러블 뇌파 측정기를 이용한 인간 감정 추론에 대한 아이디어는 이미 100여 년 전부터 있어왔다는 사실이다. 1924년 독일의 정신과학자인 한스 베르거(Hans Berger)가 최초의 인간 뇌파를 측정하기 5년 전인 1919년 6월 미국의 지역 일간지인 시라큐스 헤럴드(The Syracuse Herald)에는 “이 기계는 당신의 모든 생각을 기록한다!”라는 제목의 기사가 게재되었다(그림 1). 그런데 놀랍게도 이 기사에 게시된 상상도에는 한

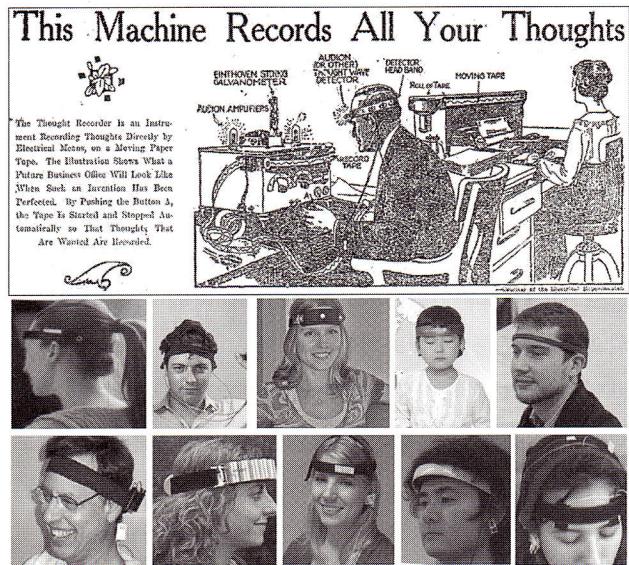


그림 1. (상) 1919년 미국 시라큐스 헤럴드 기사(출처:paleofuture.gizmodo.com)  
(하) 다양한 형태의 헤드밴드 형태 뇌파 측정기(출처:Google 이미지 검색 및 회사 홈페이지)

남자가 헤드밴드 형태의 뇌파 측정기를 머리에 착용하고 있는 모습이 그려져 있다. 100여년이 지난 현재, 정보통신 기술의 눈부신 발전에 힘입어 이 아이디어는 현실이 됐다. 그림 1 하단에 보인 것처럼 전 세계에서 이미 30여 종 이상의 헤드밴드형 휴대용 뇌파측정 시스템이 판매되고 있다.

이와 같은 웨어러블 무선 뇌파 측정기기를 다양한 스마트 기기와 연동하거나 무선 시선추적기와 결합함으로써 실험실이 아닌 실제 공간에서 이동하면서 뇌 활동을 측정하는 것이 가능해졌다. 하지만 이러한 “신경 인터페이스” 시스템을 신경건축 분야에 보다 잘 활용하기 위해서 선결해야 할 몇 가지 문제점들이 있다. 다음 장에서는 웨어러블 신경 인터페이스 시스템의 이슈들과 이와 관련된 연구 동향을 소개하도록 한다.

### 웨어러블 신경 인터페이스의 이슈와 연구 동향

#### 하드웨어 기술

반도체 기술의 발전에 힘입어 작고 가벼우면서 무선으로 뇌파를 측정할 수 있는 기기는 개발되었지만 이 기술을 신경건축학 분야에 적용하기 위해서는 몇 가지 기술적인 문제들을 해결해야 한다. 그림 1에 보인 다양한 형

태의 헤드밴드 뇌파 측정기들은 공통적으로 이마 부위에서 발생하는 뇌파 신호만을 측정한다. 그 이유는 간단한데 머리카락은 기본적으로 전류를 흘릴 수 없는 부도체이기 때문이다. 머리카락 위에서 뇌파를 측정하기 위해서는 전도성을 가진 액상 젤(gel)을 이용해서 전극과 두피를 전기적으로 연결해 주어야 한다. 통칭 습식 방식이라고 불리는 이 같은 전극 부착 방법은 개인이 스스로 착용하는 것이 매우 어려울 뿐만 아니라 준비 시간이 오래 소요되고 측정 이후 머리를 감아야 하는 불편함이 있기 때문에 웨어러블 방식의 뇌파 측정에서는 선호되지 않는다. 물론 이마 부위에서 측정한 뇌파를 이용하여 집중도, 감정, 심신안정도 등의 정보를 얻을 수 있지만 보다 정확한 뇌 상태와 더욱 다양한 정보를 획득하기 위해서는 머리카락 위에서의 뇌파 측정이 필요하다. 또한, 이마 부위에서 측정한 뇌파는 다양한 외부 잡음에 취약한데 특히 눈을 움직이거나 감을 때 발생하는 안구전도(Electrooculogram: EOG)와 얼굴 근육의 움직임에 의해 발생하는 근전도(Electromyogram: EMG)는 뇌파 신호를 심각하게 왜곡시켜 정확한 뇌 활동 상태 파악을 어렵게 한다. 가장 이상적인 접근법은 전도성 젤을 사용하지 않고 머리카락 위에서 뇌파를 측정하는 것인데 이러한 방식을 건식 측정 방식이라고 한다. 보통은 다수의 돌기를 가진 전극을 이용해서 전극이 머리카락 사이를 비집고 두피와 직접 접촉하게 하는데 전통적인 건식 전극의 형태를 그림 2(왼쪽)에 나타냈다. 이러한 전통적 건식 전극의 문제점은 장시간 착용 시 상당한 불편함을 느끼게 된다는 점인데, 최근에는 이 문제를 해결하기 위해 그림 2(가운데)에서와 같이 각 돌기에 소형 스프링을 부착하거나 그림 2(오른쪽)와 같은 브러시 형태의 전극을 사용하려는 시도가 있다. 건식 전극의 경우 습식전극에 비

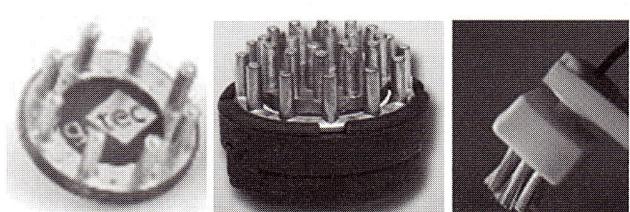


그림 2. 건식 전극의 다양한 형태: (왼쪽) 전통적인 건식 전극 (g.tec, 오스트리아), (가운데) 스프링 구조의 건식 전극 (Quasar, 미국), (오른쪽) 브러시 형태의 건식 전극 (Philips, 미국)

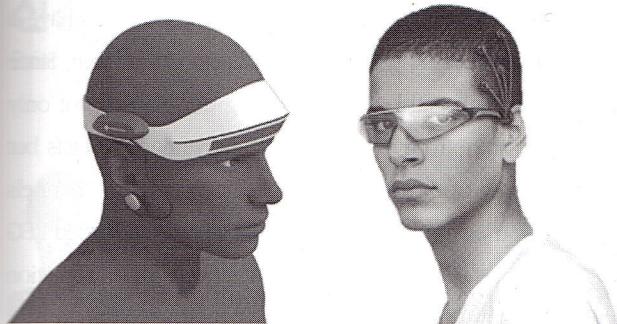


그림 3. 필자의 연구실에서 개발 중인 웨어러블 뇌파 측정 기기의 컨셉 디자인:  
(좌) 헤드밴드 타입, (우) 시선추적기와 결합된 8채널 시스템

해 전극과 두피 사이의 임피던스(저항과 유사한 개념)가 높기 때문에 최근에는 개별 전극에 사전 증폭 및 임피던스 저감 기능을 가진 회로를 부착한 능동 전극(active electrode)이 개발되고 있다.

그림 3은 필자의 연구팀이 국내 기업 및 연구 기관들과 공동으로 개발 중인 웨어러블 뇌파 측정기기의 콘셉트 디자인을 보여준다. 그림 3의 좌측 디자인은 전통적인 헤드밴드 형태이나 귓볼에서 맥파를 측정하고 밴드의 중간 부위에서 체온 변화를 측정할 수 있는 기기이며 그림 3의 우측 디자인은 시선추적기 및 전방 카메라와 결합된 8채널 건식 능동전극 뇌파 측정기기이다. 각각 2015년과 2017년 상품화를 목표로 개발이 진행 중이다.

### 소프트웨어 기술

웨어러블 신경 인터페이스 기술의 대중화를 가로막는 가장 큰 걸림돌은 뇌파 신호가 개인별로 매우 큰 편차를 보인다는 점이다. 뇌파 지표 중 가장 널리 활용되는 지표 중 하나인 전두엽 알파 비대칭성의 경우, 측정 대상이 부정적인 감정을 가질 때는 좌반구 알파 활동이 증가하는 것으로 알려져 있지만 실제로는 실험 대상의 약 80%에서만 이러한 경향이 관찰된다. 이와 같은 큰 개인차는 뇌파 측정을 통한 개인 별 뇌 상태 추론의 신뢰도를 저하시키는 중요한 요인이다.

측정된 뇌파 신호의 개인차를 극복하는 가장 이상적인 방법은 개인차가 없거나 최소화된 새로운 뇌파 지표를 개발하는 것으로서 이러한 접근법을 보편적 분류법

(universal classification)이라고 한다. 많은 연구자들이 다양한 환경 하에서 측정한 뇌파 신호 데이터베이스를 이용해서 보다 많은 사용자에게 적용 가능한 새로운 뇌파 지표를 찾는 연구에 매진하고 있다. 또 다른 방법은, 개인 맞춤형 뇌파 지표를 찾는 방식으로서 착용한 뇌파 측정 기기가 자동적으로 개개인에게 가장 적합한 뇌파 지표를 찾아 주는 방법이다. 이러한 접근 방법을 “세션을 통한 학습(learning over sessions)” 방법이라고 한다. 개개인에게 적합한 맞춤형 뇌파 지표를 적용하기 위해서는 필연적으로 개인별 학습(training) 과정이 동반돼야 하는데, 뇌파 기기를 사용하기 위해서 장시간의 학습을 거치는 것은 사용자에게 상당한 불편을 야기할 수 있으므로 학습 과정에 소요되는 시간을 최소화하기 위한 다양한 연구들이 수행되고 있다.

한편, 뇌파를 이용한 감정 추론의 신뢰도를 향상시키기 위해 뇌파 이외의 다양한 생체신호를 함께 활용하려는 시도도 있다. 특히, 그림 3에 보인 콘셉트 디자인에서와 같이 웨어러블 형태의 신경 인터페이스 기기들은 뇌파뿐만 아니라 얼굴 주위에서 발생하는 다양한 생체신호(예, 맥파, 체온, 피부전도도 변화 등)를 효과적으로 측정할 수 있다. 이러한 신호들은 뇌파를 이용해서 정확한 추론이 어려운 흥분이나 각성 정도를 비교적 정확하게 반영하기 때문에 뇌파와 동시에 활용할 경우 보다 신뢰도 높은 감정 추론이 가능하다.

### 맺음말

본고에서는 신경건축학 연구에 활용될 수 있는 웨어러블 신경 인터페이스 기술에 대한 개략적인 개념과 연구 동향에 대해 살펴보았다. 뇌파 등의 신경 신호를 이용하여 개개인의 감정이나 뇌 상태를 추론하는 기술은 감정 뇌-컴퓨터 인터페이스(affective BCI)로도 불리며 많은 연구자들의 관심을 끌고 있다. 현재의 기술 발전 속도와 많은 연구자들의 노력을 고려할 때, 가까운 시일 내에 본고에서 소개한 기술들이 신경건축학 연구에 활발히 사용될 수 있을 것으로 기대한다. □

**Abstract**

Neural interface, sometimes referred to as brain-computer interface (BCI) or brain-machine interface (BMI), is an emerging interdisciplinary technology to decode various human intentions and emotions from neural signals. Traditionally, the neural interface technology has been developed with the aim to provide paralyzed people with new channels of communication. Recently, thanks to the rapid development of portable neural signal recording devices, the neural interface technology is extending its application fields into consumer electronics, entertainment (neuroentertainment), and marketing (neuromarketing).

Neuroarchitecture can be regarded as a branch of neuromarketing, defined as a new field of marketing research that studies consumer's sensorimotor, cognitive, and affective response to marketing stimuli (a definition from Wikipedia), if buildings and structures are assumed to be sorts of products. Electroencephalogram (EEG), a type of biosignals generated by the neural electrical activity, has been one of the major tools to study neuromarketing as it has much higher temporal resolution than functional magnetic resonance imaging (fMRI). EEG can also be used as a powerful tool to study neuroarchitecture, especially when wearable and portable EEG devices are used. Although more than 30 wearable type EEG devices are currently available in market, further studies still need to be performed for the wearable neural interface devices to be more reliably used for the neuroarchitecture studies.

Most of the currently available portable EEG devices have a few electrodes covering only prefrontal area of the brain. Since these types of portable EEG recording devices are not only inherently prone to eye blink or eye movement artifacts but also generally does not have an electrooculogram channels that can be used as a useful artifact indicator, the recorded EEG signals can be severely distorted. Moreover, the information attainable from these devices is generally restricted due to their small numbers of channels. To circumvent this issue, new EEG devices with multiple dry type active electrodes that can cover whole scalp surface without a need for using electrode gel have been being developed.

The other issue that also needs to be addressed in future studies is the large inter-individual variability of EEG features (e.g., spectral power of a specific frequency band, frontal alpha asymmetry) having been frequently used for the identification of individual subject's cognitive or affective states. Due to such large individual variability, it is generally difficult to develop a "universal classifier" that can be applied to "all the users" without any customization or individualization process. Many research groups including us are trying to develop new algorithms and approaches to circumvent this issue. Combined use of multiple physiological data such as photoplethysmogram (PPG), Galvanic skin response (GSR), and body temperature change might also shed light on this issue.

## 제10회 아시아건축교류국제심포지엄 개최

The 10<sup>th</sup> International Symposium on Architectural Interchanges in Asia

우리 학회와 일본건축학회, 중국건축학회가 공동으로 개최하는 아시아건축교류국제심포지엄이 다음과 같이 개최되오니 많은 참여바랍니다.

개최일시 : 2014년 10월 14일(화)~17일(금)

개최장소 : 중국 항저우 Zhijiang 호텔

일정안내 : 10/14(화) 참가등록 / 10/15(수) 개회식, 특별강연, 환영만찬

10/16(목) 논문발표 / 10/17(금) 항저우 관광 혹은 건축투어

참가비용 : 300\$(일반), 150\$(학생)

※ 행사관련 사항은 홈페이지([isaia2014.chinaasc.org](http://isaia2014.chinaasc.org)) 혹은 준비사무국(+86-10-88082237)으로 문의하시기 바랍니다.