

2011. 3.

문화기술(CT) 심층리포트

12호 : BCI(Brain Computer Interface)
기술 동향

k o c c a



한국콘텐츠진흥원

목차(Table of Content)

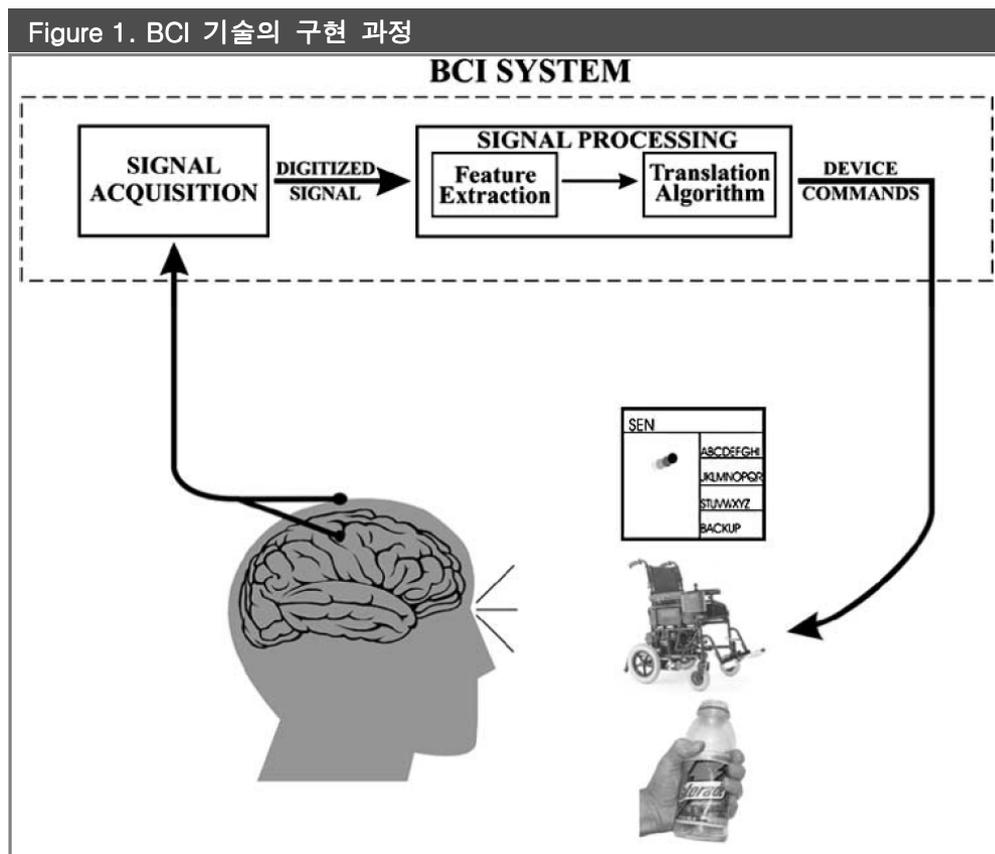
1. Introduction	3
1.1 BCI 기술 개요	3
1.2 BCI 기술의 등장배경	4
2. BCI 기술 요소 분석	6
2.1 BCI 기술 방식	6
2.2 BCI에 이용되는 뇌파 분석	7
(1) 뇌파의 특징과 구분	7
(2) BCI에 사용되는 뇌파 분석	8
2.3 BCI 시스템 구성요소	10
(1) 신호측정(Signal Acquisition)	11
(2) 전처리(Preprocessing) 및 형태 추출(Feature Extraction)	11
(3) 전환 알고리즘(Transition Algorithm)	11
(4) 응용단계(Application)	12
3. BCI 기술 연구 동향	13
3.1 기존의 선행 연구 사례	13
3.2 최근 연구 동향	15
(1) 주의 집중 감시 연구(Attention Monitoring)	15
(2) 이미지 파악 분류 연구(Classifying Image)	15
(3) 가상현실에서의 조작 연구(Motion Control for Virtual World)	16
(4) 뉴로 피드백 연구(Neurofeedback)	17
4. BCI 기술 적용 사례	18
4.1 헤드셋 형 BCI 상용 기기	18
4.2 BCI 게임	19
(1) MindBalance	20
(2) Smart Brain Games	21
(3) Mindball	22
(4) NeuroSky의 헤드셋 대응 게임들	23
(5) 차세대융합기술원의 뉴로원더(Neuro Wander)	24
4.3 BCI를 활용한 모바일 애플리케이션	25
4.4 BCI 적용 장난감 완구	26

(1) Mattel의 Mindflex.....	26
(2) Uncle Milton의 Star Wars Force Trainer	27
4.5 BCI 적용 인터랙티브 영상 콘텐츠	28
5. 향후 전망 및 이슈.....	30
5.1 BCI 기술 활성화를 위한 이슈	30
5.2 BCI 기술의 향후 전망	30
Reference	33

1. Introduction

1.1 BCI 기술 개요

- BCI는 Brain Computer Interface의 약자로 인간의 두뇌와 컴퓨터를 직접 연결해 뇌파를 통해 컴퓨터를 제어하는 인터페이스 기술을 말함
- ✓ BCI 기술은 넓게는 HCI(Human Computer Interface) 기술에 속함
- ✓ 뇌파를 통해 휠체어나 로봇과 같은 기계를 조작할 수도 있기 때문에, BCI 기술은 BMI(Brain Machine Interface)라고 불리기도 함
- ✓ BCI 기술의 구현은 뇌파 자극을 인식(Acquisition)하는 장치를 통해 뇌파를 받아들인 후, 신호화 과정(Signal Processing)을 거쳐 뇌파를 분석해 입출력 장치에 명령을 내리는 단계를 거치게 됨



자료: Gerwin Schalk, 2004

- BCI 기술은 다수의 연구 기관에 의해 유망기술로 선정된 바 있음
 - ✓ MIT Technology Review는 BCI를 10대 차세대 기술로 선정했으며, New York Times는 21세기 8대 신기술로 선정한 바 있음
 - ✓ 국내에서는 2009년 한국과학기술기획평가원(KISTEP)이 향후 10년간 우리 생활을 크게 바꿀 10대 유망기술의 하나로 선정

1.2 BCI 기술의 등장배경

- 인간의 두피에서 측정 가능한 자발적 전기 활동인 뇌파는 두뇌 활동의 변화를 시간적, 공간적으로 파악할 수 있는 수단임
 - ✓ 뇌파는 1929년 Hans Berger에 의해 최초로 기록된 후 임상과 뇌기능 연구에 폭 넓게 사용되어 왔음
- 컴퓨터의 인터페이스 수단으로서 뇌파는 장단점을 모두 지니고 있음
 - ✓ 장점으로는 fMRI와 같은 대형 장치에 비해 측정 비용이 저렴하고, 센서를 직접 두피에 시술하지 않는 비침습형(Non-Invasive) 방식에서는 인체에 무해하며, 뇌내의 정보 반응에 대한 실시간 분석이 가능하다는 점이 있음
 - ✓ 단점으로는 비침습형의 경우 잡파의 혼입이 불가피하고 정보의 손실이 있어 분석하는 데 어려움이 있고, 침습형(Invasive) 방식의 경우 시술에 대한 부담이 매우 크다는 점이 있음

Table 1. 뇌파의 장점과 단점

장점	단점
- 자발적인 생체신호임으로 측정 비용이 저렴함	- 비침습형 방식의 경우 뇌 외부에서 측정하므로 잡파의 혼입이 불가피함
- 비침습형 방식의 경우 인체에 무해함	- 침습형 방식의 경우 외과적 시술과 부작용이 있을 수 있어 사용자 부담이 매우 큼
- 실시간으로 뇌파 정보를 제공	- 전달된 뇌파 정보에 손실이 있으며 분석이 어려움
- 일체의 동작을 필요로 하지 않아, 가장 직관적인 인터페이스로 적합함	

자료: 한국전자통신연구원

- BCI 기술은 개발 초기 ADHD 아동이나 중증 신체 장애인의 컨트롤

등 주로 의료적인 목적으로 많이 활용되었으며, 측정 기기의 무게가 무겁고 센서가 많이 달려 있어 착용이 번거롭다는 단점이 있었음

- ✓ 그러나 최근에는 Neurosky, Emotive, OCZ 등의 회사에서 헤드셋 형태의 가볍고 착용이 간편한 기기를 저렴한 가격에 발매함으로써 게임, 집중력 향상 연습 등 다양한 용도로 활용되고 있음
- BCI 연구와 기술발달이 가속화된다면, 미래에는 터치스크린, 증강현실 등을 잇는 차세대 인터페이스로 활용될 것으로 기대됨
 - ✓ 컴퓨터, 스마트폰의 입력 인터페이스로 사용된 컴퓨터, 마우스, 키패드 등의 고전적인 방식은 최근 터치패드, 모션 인식 등으로 진화하고 있으며, BCI 기술 발달이 가속화된다면 차세대 인터페이스로 활용 가능성도 높음
 - ✓ 특히 BCI는 손이나 기타 신체를 이용하지 않고도 자연스럽게 명령을 내릴 수 있어, 가상현실, 영상이나 사진 인식 등의 분야에 적합할 것으로 판단됨

2. BCI 기술 요소 분석

2.1 BCI 기술 방식

- BCI 기술 방식은 뇌파를 측정하는 부위에 따라 침습형과 비침습형으로, 활용되는 뇌파의 특징에 따라 뇌파유도형과 뇌파인식형으로 구분됨

Table 2. BCI 기술 방식 구분

분류 기준	방식	특징	사례
뇌파 측정 부위	침습형 방식 (Invasive)	- 마이크로 칩을 두피에 시술해 뇌파 측정 - 정확한 측정이 가능하지만 시술이 필요하고, 외과적 부작용이 있을 수 있음	- 원숭이의 뇌에 뇌파 측정 마이크로 칩을 시술, 뇌내에서 검출된 신경신호를 이용해 기계 팔을 움직인 실험(듀크대)
	비침습형 방식 (Non-Invasive)	- 헬멧이나 헤드셋 형태의 장비로 뇌파 측정 - 간편하지만 잡신호가 섞이는 것이 필연적 - 정확한 측정이 힘들	- 대학, 연구기관의 실험실이나 상용 제품에서 사용하는 방식 - NeuroSky사의 헤드셋 형 뇌파 측정 기계
활용 뇌파 특징	뇌파유도 방식	- 특정한 뇌파의 출현을 유도해 응용하는 방법 - 사용자의 실제 의도와 뇌파의 출현이 일치하지 않기 때문에 특정 뇌파를 만들어내기 위해서는 훈련이 필요함	- 뇌파를 이용한 전기 기구 On/Off 실험 - 긍정, 부정 의사 분별
	뇌파인식 방식	- 뇌파를 분석해 간단한 의사/동작을 인식 - 사용자의 의도를 그대로 컴퓨터나 기계에 전달	- 뇌파를 분석해 사용자의 각성 수준 분별 - 장애인을 위한 커서 제어, 문자 단어 선택 컨트롤

자료: 한국전자통신연구원, 스트라베이스 재구성

- 침습형 방식은 비교적 정확한 뇌파 측정이 가능하지만 외과적 시술과 부작용 등 사용자에게 드는 부담이 매우 커서, 일반적인 활용은 불가능할 것으로 예상됨

- ✓ 비침습형은 인체에 무해하고 간편하다는 장점이 있지만 필연적으로 잡신호가 섞일 수밖에 없고, 정확한 뇌파 분석이 힘들다는 단점이 있음
- ✓ 그럼에도 침습형의 큰 부담 때문에 향후 상용 BCI 장치는 비침습형만이 사용될 것으로 전망
- 뇌파유도 방식은 특정 뇌파를 만들어내는 훈련이 없어도 사용할 수 있어 보다 자연적인 방법으로 여겨짐
- 특정 뇌파 유도 방식을 모르스 부호를 사용하는 '전신'에 비교한다면 뇌파 인식 방식은 실제 대화를 하는 '전화'에 비교할 수 있을 정도
- ✓ 그러나 뇌파 유도 방식은 두뇌에서의 복잡한 인지 과정 때문에 뇌파 분석이 어려워 현재는 기술개발 초기 단계임
- ✓ 기술 발달 초기에는 뇌파 유도 방식이 이용될 것이지만, 장기적인 발전 과정에서는 뇌파 인식 방식을 활용, 보다 직관적이고 신속, 정확한 인터페이스 개발로 연결될 전망

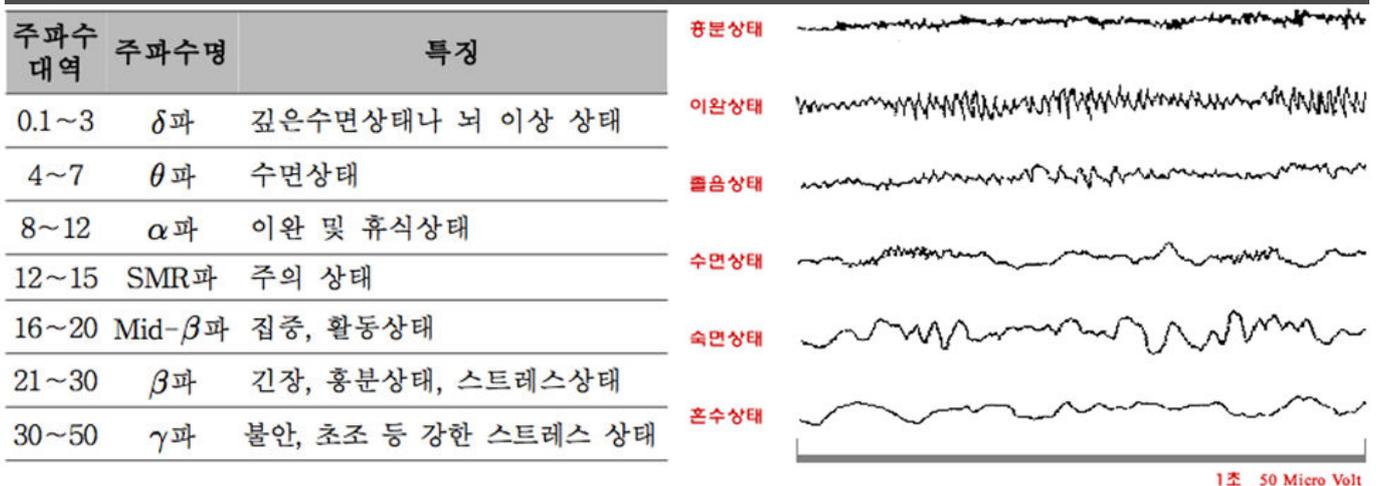
2.2 BCI에 이용되는 뇌파 분석

(1) 뇌파의 특징과 구분

- 뇌파(EEG, Electroencephalography)란 뇌에서 발생한 신호를 전극으로 측정하는 것을 말함
 - ✓ 뇌파는 뇌의 수많은 신경에서 발생한 전기적인 신호가 합성되어 나타나는 미세한 뇌 표면의 신호를 측정함으로써 얻어짐
 - ✓ 뇌파신호는 뇌의 활동, 측정시의 상태 및 뇌기능에 따라 시공간적으로 변화함
 - ✓ 이에 따라 뇌파신호는 주파수에 따른 대역별 특성, 시간영역에서의 특성, 그리고 뇌 기능과 관련된 공간적 특성을 갖고 있음
 - ✓ 뇌파는 1~50Hz의 주파수와 약 10~200uV의 진폭을 보임
- 뇌파는 주파와 전압의 범위에 따라 델타, 세타, 알파, 베타, 감마파 등으로 나뉨

- ✓ 델타(δ)파는 0.1~3Hz의 주파수와 20~200 μ V의 진폭을 보이며, 정상인의 깊은 수면 상태나 신생아들로부터 주로 나타남
- ✓ 세타(θ)파는 4~7Hz의 주파수와 20~100 μ V의 진폭을 보이며, 정서적으로 안정된 상태나 수면상태에서 나타남
- ✓ 알파(α)파는 8~12Hz의 주파수와 20~60 μ V의 진폭을 보이며, 긴장이 이완된 편안한 상태에서 나타나며 안정된 상태일수록 진폭이 증가함
- ✓ 베타(β)파는 12~30Hz의 주파수와 2~20 μ V의 진폭을 보이며, 깨어 있거나 의식적인 활동을 할 때 나타남
- ✓ 감마(γ)파는 30~50Hz의 주파수와 2~20 μ V의 진폭을 보이며, 강한 흥분 상태에서 나타남

Figure 2. 뇌파의 주파수 대역과 신체 상태에 따른 파장



자료: 이창조, 한국게임학회 논문지, 2009

(2) BCI에 사용되는 뇌파 분석

■ 베타(β)파와 세타(θ)파

- 베타(β)파와 세타(θ)파는 집중력과 각성 정도를 판단할 수 있는 도구로 활용됨
- ✓ 중베타(Mid- β)파가 높아지면 집중력이 높아진 상태이며, 반대로 세타(θ)파가 높아지면 집중력이 감소한 상태로 볼 수 있음

- ✓ 이를 집중력 향상이나 이완 훈련을 필요로 하는 기능성 게임, ADHD 아동의 집중력 치료에 활용 가능함

■ ERP와 P300

- 사건관련전위(ERP)는 특정한 정보에 대한 자극에 반응해 일정 시간 동안 일어나는 뇌의 전기적 활동을 의미함
 - ✓ ERP의 한 부분인 유발전위(EP, Evoked Potential)는 특정한 시각, 청각, 촉각 자극에 반응해 발생
 - ✓ EP의 대표적인 예로 시각유발전위(VEP, Visual Evoked Potential)를 들 수 있는데, 이는 시각 자극을 주어 시각피질 위의 두피에서 기록된 뇌파를 말함
- ERP 구성 성분 중에서 많은 관심을 갖고 이론적, 경험적, 임상적으로 광범위하게 연구가 이루어지는 것은 P300임
 - ✓ P300은 300~600msec 사이에서 발생하는 매우 크고 뚜렷한 파형의 양 전위 성분을 말함
 - ✓ P300은 여러 연구를 통해 의사결정, 신호의 확률, 주의, 변별, 불확실성의 해상도, 자극의 관련성, 정보의 전달 등 여러 다양한 인지적 활동과 관련 있다는 결과들이 보고되고 있음
 - ✓ P300을 이용한 실험에서는 자극의 제시 빈도를 조작해 정보전달량을 변화시키거나 불확실감 해소, 선택적 주의력, 자극 탐지, 기억 스캐닝 등의 여러 인지 기능을 반영

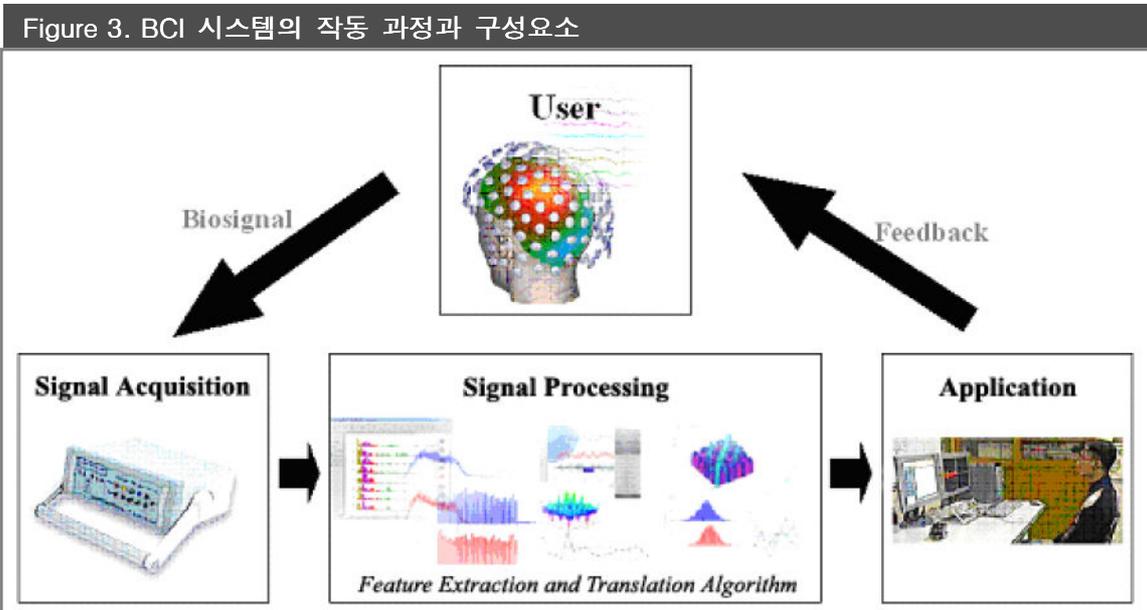
■ Motor Imagery

- Motor Imagery는 외적인 행동 없이, 움직이겠다는 생각만으로 나타나는 움직임의 의식적인 처리를 지칭
 - ✓ 이는 움직임을 준비하고 있을 때 일어나는 뇌 영역에서의 심리적인 상상력을 나타냄
 - ✓ Motor Imagery는 일차 운동영역을 활성화시킬 수 있으며, 왼손이나 오른손의 움직임을 상상하는 동안 ERD와 ERS를 발견할 수 있음

- ✓ 예를 들어, 오른손을 움직일 경우 왼쪽 반구의 뇌파 활동은 억제되는 반면 오른쪽 반구의 활동은 활성화되며, 왼손을 움직이면 반대 현상이 일어남

2.3 BCI 시스템 구성요소

- BCI 시스템은 뇌파 측정 기기를 통해 특정 상태의 뇌파 신호를 측정해 특이점이나 특징을 추출하고, 이를 분류해 일반적인 제어 신호로 변환해 컴퓨터나 기기 등을 제어하는 역할을 함
- ✓ 먼저 사용자의 머리 부분에 전극을 부착한 후 뇌파 데이터를 측정 기기를 이용해 측정
- ✓ 측정된 뇌파 데이터는 AD 컨버터를 거쳐 디지털 신호로 전환되어 컴퓨터로 입력
- ✓ 입력된 뇌파데이터를 각종 알고리즘을 이용해 적당히 신호 처리를 한 후 이를 인식, 분류해 제어신호로 일반화시킴
- ✓ 최종 출력 신호는 컴퓨터, 게임기, 의료기기 등 각종 단말 기기에 응용되어 사용됨



자료: 음태완, 정보과학회지, 2004

(1) 신호측정(Signal Acquisition)

- 신호측정 단계에서는 머리에 부착된 전극을 통해 뇌파를 측정
 - ✓ 사전에 장비의 샘플링 주파수, 이득(Gain), 측정 채널 등의 설정이 필요함
 - ✓ 뇌파 측정 기기에서 아날로그 신호가 바로 나온다면 아날로그 신호를 디지털로 바꿔 주는 AD컨버터를 뇌파 측정기와 컴퓨터 사이에 연결해 주어야 함
 - ✓ 실험 참가자에게 실험에 대한 내용을 설명해, 뇌파측정 도중에 돌발적인 행동이 발생하는 것을 방지

(2) 전처리(Preprocessing) 및 형태 추출(Feature Extraction)

- 전처리 과정에서는 잡파를 제거하고 분석에 필요한 신호를 분리함
 - ✓ 비침습형 방식으로 측정된 뇌파에는 여러 가지 잡음이 섞이는 것이 필연적임
 - ✓ 이 때문에 필터를 이용해 주변의 잡음을 걸러주고 미약한 뇌파 신호를 증폭하는 과정을 거침
- 형태추출 과정에서는 신호를 분류할 때 인식률을 높이기 위해 EEG 측정 장치로부터 들어온 뇌파데이터의 정보를 변환
 - ✓ 데이터의 성분들 중에서 중요하거나 혹은 중요하지 않은 부분 사이를 명확하게 구분해 주는 단계
 - ✓ 구별이 뚜렷하다고 생각되는 특징들은 전처리 되어 디지털화 된 뇌파 신호로부터 추출됨

(3) 전환 알고리즘(Transition Algorithm)

- 전환 알고리즘은 각각의 뇌파 데이터가 어떤 집단에 속하는지를 분류
 - ✓ 알고리즘을 통해 여러 뇌파 모델을 비교해 클래스를 구분함
 - ✓ 보통 BCI 시스템에서는 두 개에서 다섯 개의 클래스를 학습시키는데 하나하나의 뇌파 데이터를 분류기를 통해 각각의 클래스로 분류함

- ✓ 분류 방법으로는 비교적 간단한 선형 판별 분석법에서부터 복잡한 비선형 뉴럴 네트워크 등을 사용

(4) 응용단계(Application)

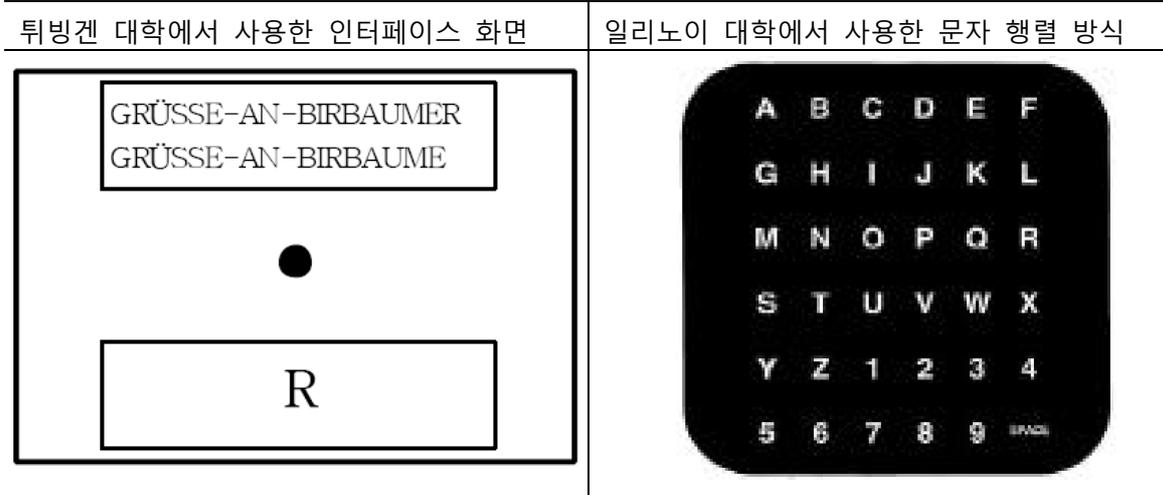
- 분류기를 거쳐 최종적으로 나온 출력은 컴퓨터, 스마트폰, 헬스케어 기기 등의 단말 제어를 위한 명령어로 바뀌어 사용됨
- ✓ 분류 결과로 나온 신호는 여러 장치에 응용될 수 있음
- ✓ 예를 들어, 컴퓨터 화면의 커서를 움직이거나 가전 기기의 On/Off 기능을 선택하거나, 게임기 조작 등에 활용 가능

3. BCI 기술 연구 동향

3.1 기존의 선행 연구 사례

- 호주 시드니의 University of Tech에서는 신체장애 극복과 미래 주택 이용을 목적으로 Mind Switch 연구를 진행
 - ✓ 정상인이 눈을 감고 안정된 상태를 유지하면 알파파가 출현하고 눈을 뜨면 알파파가 감소하는 원리를 이용, 전기 기구의 스위치를 끄고 켜는 실험을 진행
- 일본의 뇌기능 연구소에서는 감성 인터페이스의 개발 목적으로 긍정/부정 의사 구별에 대한 연구를 진행
 - ✓ 뇌파 유도 방식으로 '예'일 경우에는 왼쪽 귀에, '아니오'일 경우에는 오른쪽 귀에 의식을 집중해 긍정/부정 의사를 구별
- 미국의 벤처 기업인 IBVA에서는 가상현실에 대한 응용을 목적으로 바이오피드백(Biofeedback)에 대한 연구를 진행
 - ✓ 뇌파를 컴퓨터 게임에 응용, 자동차 경주게임에서 방향은 조이스틱으로, 속도를 뇌파로 조정
- 1999년 독일의 튀빙겐 대학에서는 SCP(Slow Cortical Potential)를 이용한 장애인용 워드프로세서를 개발
 - ✓ 화면에 나타나는 상하 2개의 문자 중 하나를 계속 선택함으로써 최종적으로 한 문자를 선택하는 방식
 - ✓ 분당 두 문자의 타이핑 속도를 보임
- 미국 일리노이 대학의 Donchin 교수 팀에서는 ERP를 활용한 장애인용 워드 입력 인터페이스를 연구
 - ✓ 특정 자극에 대한 반복적인 연습을 통해 평균값을 추출하게 되면 ERP를 통한 BCI 컨트롤이 가능해짐
 - ✓ Figure 4의 오른쪽과 같은 문자행렬이 주어지고 피험자는 ERP 활성화를 통해 수직, 수평 방향으로 한 줄 씩 문자를 선택해 특정 문자를 입력하는 방식임

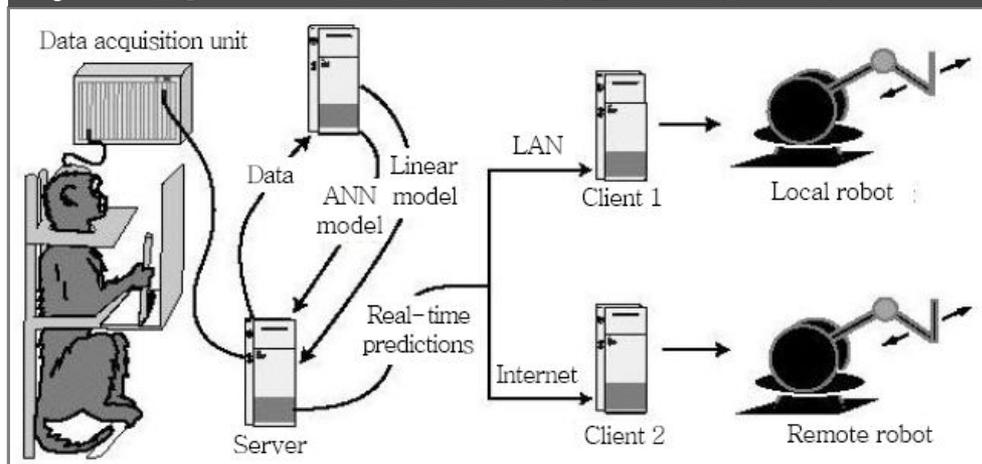
Figure 4. 튀빙겐 대학과 일리노이 대학에서 사용한 문자 입력 방식



자료: 전자통신연구원, 2001

- 미국의 Salk 연구소와 Naval Health Research Center는 공동으로 뇌파를 통해 각성수준을 측정해 어느 수준 이하로 떨어지면 적절한 경고를 내보내는 휴대형 실시간 각성 모니터링 시스템을 연구 중
 - ✓ 이 기술은 트럭 운전수, 항공기 조종사 등의 각성 수준을 모니터링 해 졸음운전이나 긴급상황에 대처하는 시스템으로 활용 가능
- 미국 듀크대의 니콜렐리스 박사 팀은 원숭이의 뇌에 전극을 삽입해 팔의 움직임과 관련된 신호를 포착, 로봇 팔을 움직이는 데 성공했음
 - ✓ 이 실험 결과는 학술지 네이처에 발표됨

Figure 5. 원숭이의 뇌내 신호를 활용한 로봇 팔 동작 실험의 개념도



자료: 전자통신연구원, 2001

- 뉴욕 주립대의 Wolpaw 교수 연구 그룹은 뇌파를 이용한 모니터 상의 커서 제어를 연구
 - ✓ 동작을 행하거나 상상할 때 감소하는 뮤파를 이용해 모니터 상의 커서를 좌우로 움직이는 실험
 - ✓ 이 방식은 피험자의 오랜 훈련이 필요하다는 단점이 있음

3.2 최근 연구 동향

- 과거의 선행 연구들이 주로 장애인용 인터페이스 개발이나 뇌파의 기본적인 처리 및 인터페이스 활용에 중점이 맞춰졌다면 최근에는 보다 실용적이고 상업적인 용도의 연구들이 진행 중임

(1) 주의 집중 감시 연구(Attention Monitoring)

- 주의 집중 감시 연구는 장시간 주의 집중이 필요한 직종의 종사자들에게 활용될 수 있음
 - ✓ 공군 조종사, 트럭 운전자, 공항의 보안 모니터링 요원과 같은 직종에게는 장시간 각성 상태를 유지하는 일이 필요
 - ✓ BCI를 통해 이들의 각성 정도를 파악해 휴식을 권고하거나 경고하는 장치를 트럭, 비행기, 공항시설 등에 설치해 활용 가능함
 - ✓ Mercedes Benz에서는 Mind-Lab 프로젝트를 통해 운전자의 상태를 모니터링, 졸음운전을 할 경우 이를 감지해 알려주는 시스템에 대한 연구를 진행한 바 있음

(2) 이미지 파악 분류 연구(Classifying Image)

- 이미지의 의미를 파악하고 이에 따라 분류하는 일에 BCI를 활용하는 연구도 진행되고 있음
 - ✓ 인터넷에 돌아다니는 방대한 이미지나 사용자들이 보관하고 있는 수많은 이미지들은 정확하게 분류되어 있지 않기 때문에 활용성이 떨어짐
 - ✓ 이러한 이미지들을 카테고리에 따라 자동적으로 분류는 소프트웨어가 사용되고 있지만 부정확하다는 단점이 있음

- ✓ 인간의 두뇌는 이미지 분류를 매우 빠르고 정확하게 할 수 있기 때문에 이러한 작업에 BCI 기술을 활용 가능

(3) 가상현실에서의 조작 연구(Motion Control for Virtual World)

- 가상현실 환경에서 아바타의 움직임을 BCI로 컨트롤하는 연구도 진행되고 있음
 - ✓ 이 연구는 인간의 몸 동작을 상상할 때 발생하는 Motor Imagery 뇌파 반응을 이용해 아바타의 움직임을 컨트롤하는 데 활용
 - ✓ 오스트리아의 Graz University of Technology와 영국의 University College London이 공동으로 수행한 연구에 따르면 사지가 마비된 환자가 가상현실 공간에서 전동휠체어의 움직임을 컨트롤하는 데 성공한 것으로 나타남
 - ✓ 사지마비 환자가 실제 공간에서 동일한 연구를 수행할 때의 위험성 때문에 가상공간에서의 연구가 바람직함
 - ✓ 환자는 Graz-BCI라는 이름의 장비를 착용, 가상 현실 공간에 구현된 거리에서 아바타들의 움직임을 피해 목적지를 통과
 - ✓ BCI 장비는 환자가 다리의 움직임을 상상할 때 나타난 Motor Imagery 뇌파를 가상현실 속 휠체어의 컨트롤에 활용



자료: IEEE Computer Society, 2008

(4) 뉴로피드백 연구(Neurofeedback)

- 뇌파를 활용해 상업적으로 성과를 거둔 분야로 '뉴로피드백(Neurofeedback)'을 활용한 의료 및 교육을 꼽을 수 있음
 - ✓ 뉴로피드백 치료는 뇌파 훈련을 통해 뇌파를 조정하거나 개선해 나가는 치료법
 - ✓ 치료 대상자는 뇌파를 스스로 조절하는 연습을 통해 뇌의 부위별 기능을 강화하고 습관 및 의식 개선을 기대할 수 있음
 - ✓ 청소년의 경우 ADHD(주의력결핍 과잉행동장애), 자폐증, 식이장애, 비만, 행동 장애 등 다양한 정신 장애 치료를 포함하며 성인의 경우 집중력 약화, 불면증, 화병 치료 등에 활용 가능함
- 뉴로피드백 치료는 뇌 관련 의료기관에 활발히 보급되고 있음
 - ✓ 치료과정은 환자의 두피에 전극을 부착하여 뇌파 검사를 수행한 후 전문의의 진단에 따라 뇌파 교정 훈련을 주기적, 반복적으로 수행해 치료 효과를 얻는 것으로 이루어 짐
- 뉴로피드백 치료는 특히 아동의 ADHD 치료에 적극적으로 활용되고 있음
 - ✓ 게임을 통해 세타파를 줄이고 베타파를 늘리는 집중 훈련을 보통 주 2회, 최소 40회 정도를 반복
 - ✓ 활쏘기 게임의 경우 뇌파 측정 센서를 부착한 환자가 집중을 하면 할수록 화살이 과녁 중앙에 맞는 형태임

4. BCI 기술 적용 사례

4.1 헤드셋 형 BCI 상용 기기

- 기존 실험에 이용되었던 BCI 측정 장비나 뉴로피드백 관련 장비는 비교적 정교하고 정확한 측정이 가능하다는 장점이 있지만, 가격이 비싸고 부피가 너무 커서 개인용 장비로 실용화하기에는 한계가 있었음
- 최근에는 미국의 NeuroSky, OCZ Technology, 호주의 Emotiv 社에서 헤드셋 형태의 BCI 측정 장치를 비교적 저렴한 가격으로 출시

Table 3. 기업들의 BCI 헤드셋 기기 출시 현황

기업/제품명	제품 모습	가격 및 특징
NeuroSky /MindWave		- 가격 99.95달러 - 블루투스 무선 접속 지원 - 가벼운 무게와 8시간의 배터리 지속 시간 - 10개의 응용 애플리케이션이 포함된 동봉 CD 증정
Emotiv /EPOC		- 가격 299.00달러 - 무선 연결과 12시간 지속되는 리튬이온 배터리, 2축 자이로 센서 탑재 - 16개의 센서가 부착되어 긴장, 편안함, 흥분 등 30여 개의 의도 및 감정을 인식 - 시선, 주름, 인상, 미소 등 표정 변화 감지
OCZ /NIA		- 가격 138.99 달러 - 헤드 밴드 형태로 뇌파 뿐만 아니라 얼굴 근육, 눈 움직임을 함께 측정해 사용함 - 프로필 설정을 통해 기존의 PC게임들에 적용해 사용 가능함

자료: 각 사 홈페이지, 스트라베이스 재구성

- 미국의 뉴로 감지기 전문 기업인 NeuroSky에서 출시한 Mindwave는 뇌파 감지 센서의 개수를 세 개로 축소해 경량화함
 - ✓ 알파파와 베타파를 측정해 집중, 편안함, 졸림, 흥분 등의 감정 상태를 측정할 수 있음
 - ✓ 99달러의 가격으로 해당 기기들 중에서는 가장 저렴한 축에 속함
 - ✓ 블루투스 접속을 지원하지만 음성 헤드셋 기능을 사용하기 위해서는 USB 연결을 해야 하는 것으로 알려짐
 - ✓ 감지 센서가 단일 채널만을 측정해 정확한 뇌파 측정이 힘들고 결과 값의 신뢰도가 낮다는 단점이 있음
- 호주의 Emotiv에서 출시한 EPOC은 16개의 센서가 부착되어 있어 뇌파 감지를 통해 긴장, 편안함, 흥분, 혼란스러움 등의 상태를 파악함
 - ✓ 또한 눈 깜빡임이나 윈크, 시선, 눈썹 움직임, 주름, 인상, 미소 등 표정의 변화도 감지 가능함
 - ✓ 기기 내에 2축의 자이로(Gyro) 센서가 내장되어 있어 머리의 움직임이나 방향 인식도 가능
 - ✓ 인간이 행동할 때 발생하는 뇌파 전압의 변화를 감지해 밀기, 당기기, 들어올리기 등에 대한 감지도 가능
 - ✓ 가격이 300달러로 고가라는 단점이 있음
- 미국의 OCZ Technology에서 개발한 NIA는 헤드밴드 형태를 띠고 있으며, 뇌파를 통해 얼굴 근육 움직임을 통한 표정 변화와 안구 움직임을 통한 좌우 시선 변화를 감지

4.2 BCI 게임

- 최근 BCI를 게임 인터페이스로 활용하려는 연구와 상용화 시도가 활발히 진행되고 있음
 - ✓ 게임의 초기 인터페이스는 조이스틱, 조이패드 형태였다가 Nintendo의 콘솔게임기 Wii가 모션 컨트롤러를 차용하면서 게임 인터페이스의 본격적인 진화가 시작됨

- ✓ 이후 현재는 PlayStation 3의 Move와 Xbox 360의 Kinect에 이르기까지 인간의 움직임을 인식해 게임 조작에 사용하는 모션 컨트롤러의 대중화 시대가 열림
- ✓ BCI는 현재 기술적으로 초기 단계에 있으며, 어린이의 집중력 강화 및 노인을 위한 치매 예방, 정신 이완 훈련과 같은 기능성 게임에 적극적으로 활용될 것으로 기대됨
- ✓ 이와 같은 기능성 게임으로서 BCI 기술의 의의는 최근 불거지고 있는 게임의 유해성 논란을 극복할 수 있는 사례로, 게임 산업에 긍정적인 기여를 할 수 있을 것으로 보임

(1) MindBalance

- 마인드밸런스(MindBalance)는 University College Dublin과 MediaLabEurope의 연구자들이 공동으로 제작한 BCI를 이용한 비디오 게임
 - ✓ 이 게임에서는 가상 현실 게임 속의 3D 아바타 캐릭터의 움직임을 BCI로 제어하게 됨
 - ✓ Figure 7의 화면에서 보이는 바와 같이 고릴라 모양의 아바타가 외줄을 타며 균형을 잡는 형태의 게임
- 이 게임은 SSVEP를 이용해 고릴라의 움직임을 컨트롤하는 방식임
 - ✓ SSVEP는 특정한 주파수에서 시각적 자극에 자연적으로 반응해 발생하는 신호들로 시각적 자극의 주파수가 다르면 그 때 뇌에서 발생하는 신호들도 실시간으로 다르다는 점을 활용
 - ✓ 고릴라 아바타의 양 쪽에는 패턴이 다른 형태의 체크무늬가 있는데, 오른쪽 체크무늬를 보면 고릴라가 오른쪽으로 균형을 잡고 왼쪽 체크무늬를 보면 왼쪽으로 균형을 잡는 식의 컨트롤
- 6명의 실험자가 게임을 진행해 본 결과, 48번의 게임 플레이 중에서 41번을 성공시킬 정도로 정확한 결과를 보임
 - ✓ 또한 실험자들이 보인 실시간 컨트롤의 정확도는 89퍼센트에 이르는 것으로 나타나, BCI가 실시간 게임 컨트롤로 활용될 수 있는 가능성을 증명함



자료: IEEE Computer, 2008

(2) Smart Brain Games

- 스마트 브레인 게임은 미국의 Cyber Learning Technology사에서 개발한 BCI 컨트롤 시스템
 - ✓ 사용자는 세 개의 센서가 달린 헬멧을 착용해 게임을 플레이하며, 게임 콘솔과 연결되어 있는 스마트 박스라는 장치를 통해 사용자의 뇌파를 수집, 분석한 후 이를 이용해 게임을 제어
 - ✓ 이 시스템은 기존에 출시된 게임들을 지원하며, 컨트롤러 중에서도 전후좌우 방향키가 아닌 특정 버튼의 입력을 BCI로 대체하는 수준이라는 점에 한계가 있음
- PlayStation One, PlayStation 2, Xbox 콘솔 게임기(Xbox 360이 아닌 구형 Xbox)를 지원하며, 635달러(Xbox)에서 620달러(PS2)의 판매가를 보이고 있음

Figure 8. Smart Brain Games 시스템 구성도



자료: Cyber Learning Technology

(3) Mindball

- 마인드볼(Mindball)은 스웨덴의 Interactive Productline사에서 개발한 BCI 게임으로, 두 명의 유저가 작은 공이 들어 있는 투명관이 놓인 테이블의 양 끝에 앉아 게임을 플레이
 - ✓ 이 게임의 경기 규칙은 공을 자신에게서 멀리 밀어내 상대방 쪽으로 보내면 승리하는 방식임
 - ✓ 플레이어는 뇌파를 감지할 수 있는 전극이 부착된 헤드밴드를 착용, 경기 중에 신체적 정신적으로 안정적인 상태를 유지할수록 공이 상대방 쪽으로 이동하게 됨
 - ✓ 이 게임은 보통의 일반적인 게임들이 보다 더 흥분한 상태에서 경쟁해야만 이길 수 있다는 기존의 규칙을 깨고, 더 안정적으로 이완된 상태를 만들어야 승리한다는 역발상을 취함
 - ✓ 개발사는 이 게임을 통해 플레이어가 신체적 정신적으로 안정적인 상태를 취하거나 이완시키는 방법을 훈련할 수 있고, 이는 플레이어의 정신적, 신체적 건강을 향상시키는 데 도움이 된다고 홍보하고 있음

Figure 9. Mindball 게임의 플레이 장면



자료: Google Image

(4) NeuroSky의 헤드셋 대응 게임들

- BCI 헤드셋을 시판하고 있는 NeuroSky사에서는 서드파티를 통해 자사 기기에 대응하는 게임들을 선보이고 있음
- ✓ 해당 게임들은 PC용 클라이언트 인스톨 게임이나 플래시 게임으로 제공되고 있으며 뇌파를 상대방과의 집중력 경쟁이나 게임 내 컨트롤 요소로 활용하고 있음

Table 4. NeuroSky 헤드셋 대응 게임들

게임명	스크린샷	게임 특징 및 진행 방식
Brooding' Bash		- 플래시 게임으로 2명의 플레이어가 집중, 이완에서 나타나는 뇌파를 통해 상대방과 겨루는 방식 - 가격: 10달러
Protect Mission		- 캐주얼 게임으로 적 탱크의 공격을 피해 아군 트럭을 목적지까지 통과시키는 방식 - 트럭의 움직임은 키보드의 방향키로 조정하며 뇌파를 통해 적 탱크가 쏘는 포탄의 속도를 조절

<p>Mind Hunter</p>		<ul style="list-style-type: none"> - 플레이어가 헤드셋을 착용 후 집중하면 게임 화면 하단에 보이는 게이지가 상승하게 되고, 이 게이지가 가득 차면 총을 발사해 동물들을 사냥하는 게임 - 가격 : 10달러
<p>Fission Balls</p>		<ul style="list-style-type: none"> - 방향키로 우주선의 움직임을 조정하고 플레이어가 집중할수록 우주선이 발사하는 총알의 파워와 스피드가 빨라짐 - 가격 : 10달러

자료: NeuroSky

(5) 차세대융합기술원의 뉴로원더(NeuroWander)

- 서울대학교 차세대융합기술원에서는 뇌파 기능성 게임 '뉴로원더(NeuroWander)'를 개발
 - ✓ 해당 게임은 2010 경기 기능성 게임 페스티벌에 출품되어 시연됨
 - ✓ 헨젤과 그레텔을 모티브로 삼아 캐릭터를 디자인하고 그로테스크한 분위기의 세계관을 연출
 - ✓ 플레이어는 '뉴로원더'에서 뉴로스카이(NeuroSky)사에서 개발한 뇌파 측정 헤드셋인 MindSet을 착용해 게임을 진행하며, 뇌파의 집중도를 증가시켜 조약돌을 투척하거나 마녀를 화덕에 처 넣는 등의 액션을 취할 수 있음

Figure 10. 뉴로원더의 시연장면과 게임 화면



자료: 차세대융합기술원

4.3 BCI를 활용한 모바일 애플리케이션

- 모바일 솔루션 개발사인 PLX Devices에서는 NeuroSky의 MindWave 헤드셋 기기와 ThinkGear 솔루션을 활용, 모바일 BCI 솔루션인 Xwave를 출시함

Table 5. Xwave의 사양과 제품 사진

	지원기기	iPhone, iPod Touch, iPad
	배터리	AAA배터리 1개
	사용 기술	NeuroSky eSense Dry Sensor
	사용가능 연령	모든 연령대

자료: PLX Devices

- Xwave는 아이폰, 아이팟 터치, 아이패드와 연결이 가능하며, 앱스토어를 통해 애플리케이션과 게임들을 제공하고 있음

Table 6. Xwave용 앱스토어 애플리케이션		
App명	스크린샷	특징 및 진행 방식
Xwave Visualizer		<ul style="list-style-type: none"> - Xwave 시판사인 PLX Devices에서 제작한 일종의 번들 애플리케이션으로 사용자의 뇌파를 비주얼로 표현 - 가격: 무료 - 제작사: PLX Devices - 카테고리: 엔터테인먼트
Tug of Mind		<ul style="list-style-type: none"> - 자신이 싫어하는 사람과 닮은 얼굴을 설정하면 화면에 그 얼굴이 나타나고, 자신의 화를 억누르고 마음을 이완시키면 상대방에 승리하는 게임 - 가격: 4.99 달러 - 제작사: MindGames - 카테고리 : 헬스케어
W.I.L.D		<ul style="list-style-type: none"> - 플레이어는 꿈 속으로 들어가 화면에 나타나는 집중(Concentration)과 이완(Relaxation) 임무를 수행 - 가격: 4.99 달러 - 제작사: MindGames - 카테고리 : 게임

자료: PLX Devices

4.4 BCI 적용 장난감 완구

- BCI 헤드셋 장비의 가격이 저렴해지면서 이를 응용한 BCI 장난감 완구도 시판되고 있음

(1) Mattel의 Mindflex

- 세계 최대의 장난감 업체인 Mattel 社는 바람을 뿜어내는 보드판 위에 가벼운 플라스틱 공을 띄워 뇌파를 통해 그 움직임을 컨트롤하는 Mindflex라는 이름의 장난감을 출시

- ✓ 이 장난감은 NeuroSky의 Mindset 헤드셋 기기를 응용해 Mattel사에서 개발
- ✓ 헤드셋을 쓴 상태에서 집중하면 공기에 의해 공이 떠오르고 이완하면 공이 내려가며, 제품 전면에 부착된 원형 모양의 컨트롤러로 공의 전후 좌우 움직임을 조정해 목표지점으로 넣는 게임 방식을 채택
- ✓ 이 제품은 89.99달러의 정가에 판매되고 있음

Figure 11. Mindflex 제품 사진과 플레이 모습



자료: Mattel

(2) Uncle Milton의 Star Wars Force Trainer

- 미국의 과학용 교구 전문 회사인 Uncle Milton 社는 NeuroSky의 헤드셋을 활용해 집중과 이완을 통해 원통 안에 든 공을 움직일 수 있는 장난감을 출시
- ✓ 해당 장난감은 정신력으로 물체를 움직이는 영화 Star Wars의 Force 개념을 장난감에 응용해 디자인
- ✓ 단순한 공 놀이 장난감이 아닌 영화 속 상상력을 구현하는 기구로 마케팅 포인트를 잡아 인기를 얻음
- ✓ 현재 129.99달러의 정가에 판매되고 있음

Figure 12. Star Wars Force Trainer의 모습



자료: Uncle Milton

4.5 BCI 적용 인터랙티브 영상 콘텐츠

- 2010년 하반기 영국의 영화 스튜디오인 Treite Labs는 MyndPlay라는 이름의 BCI 기술을 이용한 인터랙티브 영상 소프트웨어를 개발함
 - ✓ MyndPlay는 BCI 측정 기기로 NeuroSky의 MindWave를 사용하며, 헤드셋을 끼고 영화를 감상하는 시청자의 뇌파를 분석해 그 반응에 따라 스토리 진행을 변화시키는 기술을 구현
 - ✓ 두 개의 분기로 스토리가 나뉘는 짧은 영화를 제작, 영화를 시청하는 사용자의 뇌파에 따라 스토리가 바뀌는 형태
 - ✓ Treite는 앞으로 이와 같은 형태의 짧은 영화를 몇 편 더 제작해 다운로드 형태로 제공할 계획임
- NeuroSky의 CEO인 Stanley Yang은 “영화 아바타를 보던 자신의 부인과 딸이 극중에서 죽는 시고니 위버가 죽지 않고 살기를 바랐다”면서 NeuroSky의 기술을 응용한 영화라면 관객의 바람에 따라 스토리를 변화시키는 일도 가능할 것이라고 밝힘
 - ✓ Yang의 전망에 따르면 기술이 발전하면 향후 이러한 시스템을

극장에서도 채택할 수 있고, 관객들의 마음을 읽어 내 영화의 스토리 진행에 반영하는 시스템도 구상할 수 있다고 언급함

- ✓ 그러나 NeuroSky의 부사장인 David Westendorf는 이러한 기술이 극장에 현실적으로 적용되기에는 최소 2년 이상의 시간이 필요할 것이라고 전망

5. 향후 전망 및 시사점

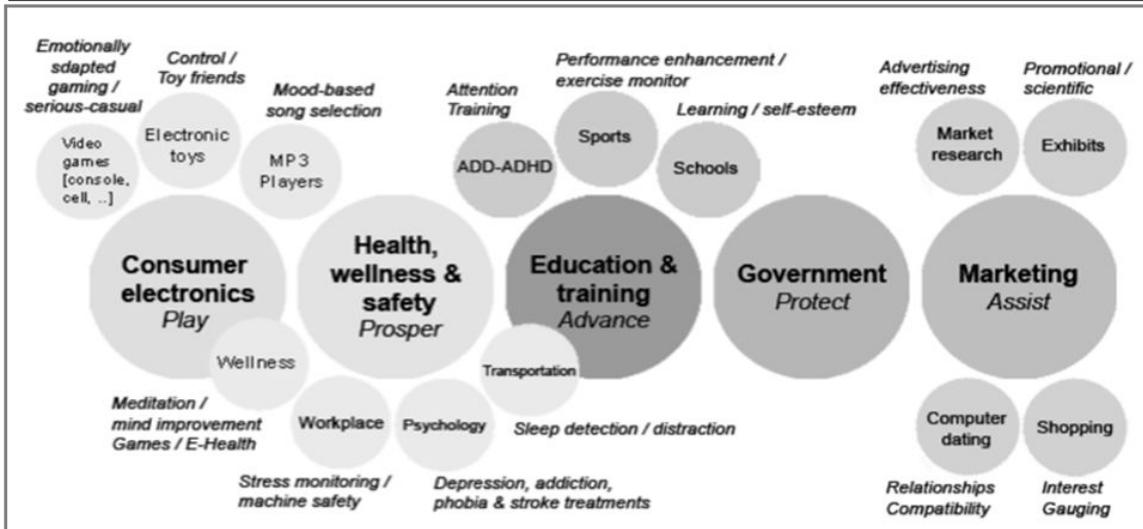
5.1 BCI 기술 활성화를 위한 이슈

- BCI 기술을 이용한 게임, 애플리케이션, 장치들이 활성화되기 위해서는 BCI 기기의 측정 뇌파 범위와 정확도를 더 확대할 필요가 있음
 - ✓ 현재 상용화된 BCI 헤드셋 기기는 대부분 알파파와 베타파만을 이용, 뇌의 집중 상태와 이완 상태만을 측정해 게임이나 장난감 등에 반영하는 수준에 그치고 있음
 - ✓ Motor Imagery와 같이 움직임을 상상해 컨트롤에 반영하거나 십자 컨트롤러의 전후 좌우 움직임을 뇌파 구분을 통해 컨트롤하는 보다 발전된 형태의 연구는 아직 초기 단계에 머물고 있음
- BCI를 활용한 게임에서 가장 큰 문제는 사람마다 뇌파의 평균 진폭, 평균 파장 등이 차이를 보이기 때문에 제어를 위한 임계점을 잡기 힘들다는 점임
 - ✓ 이에 따라 최근에는 뇌파의 정규 분포를 활용해 정규화함으로써 개개인의 뇌파 특성의 차이를 줄이는 연구가 진행되고 있음
- 뇌파 연구는 오랜 연구 기간과 예산이 필요하지만 당장 상용화되어 이익을 내기는 힘든 분야인 만큼, 국가나 정부 기관 차원에서 연구를 주도하고 투자하는 전략이 필요함
 - ✓ BCI 기술을 통해 노인, 아동 등 특수 계층의 치료 목적과 같이 공공의 이익을 위해 사용할 수 있다는 관점에서의 접근도 유효할 것으로 판단됨

5.2 BCI 기술의 향후 전망

- BCI 기술을 활용할 수 있는 분야는 기능성 게임, ADHD 등의 정신질환 치료 이외에도 마케팅, 헬스케어, 교육 등 다양하게 확장될 수 있음

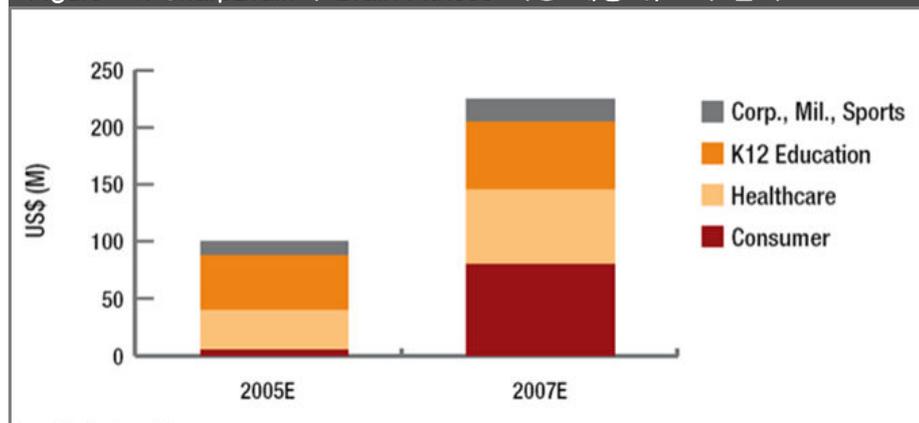
Figure 13. BCI 기술 응용분야



자료: NeuroSky

- 뇌 관련 시장조사업체인 미국의 SharpBrain이 분석한 자료에 따르면 뉴로피드백을 활용한 뇌 건강(Brain Fitness) 시장은 2005년 1억 달러에서 2007년 2억 2,500만 달러, 2008년 2억 6,500만 달러로 성장할 것으로 전망하고 있음
- ✓ SharpBrain에 따르면 뇌 건강 시장은 대중의 관심, 연구개발 진척도와 같은 시장 요인에 따라 크게 달라질 것이지만, 2015년에는 10억에서 50억 달러 사이의 규모를 형성할 것으로 전망되고 있음

Figure 14. SharpBrain의 Brain Fitness 시장 예상 규모와 분야



자료: SharpBrain

- BCI 기술은 향후 발전 과정에서 기능성 게임, 영화의 인터랙티브

스토리텔링, 뉴로 마케팅과 같이 여러 CT분야에 응용될 것으로 기대됨

- ✓ BCI 기술은 뇌 공학, 인지 과학, 의공학, 전기/전자 공학 등 제반 과학기술 분야와 관련이 있으므로, 분야를 아우르는 학제적 연구와 융합 기술 연구가 성공에 핵심적인 요소로 작용할 전망
- ✓ BCI 기술은 머리와 팔다리의 움직임을 포함하는 모션 센서, 심장박동 등을 활용한 생체 신호, 눈의 시각 움직임 등과 같은 여러 인터페이스 기술과 함께 혼합되어, 향후 오감을 활용하는 융합형 인터페이스로 발전할 것으로 예견되고 있음

Reference

1. BCI 기반 Entertainic 기술개발 동향, 신정훈, 서은미, 전자공학회지 제34권 제6호, 2007.6
2. BCI2000: A General-Purpose Brain-Computer Interface(BCI) System, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, VOL. 51, No.6, Gerwin Schalk, Dennis J. McFarland, Thilo Hinterberger, Niels Birbaumer, Jonathan R. Wolpaw, 2004.6
3. Brain-Computer Interfaces, Virtual Reality, and Videogames, IEEE Computer Society, Anatole Lecuyer and Fabien Lotte, Richard B. Reilly, Robert Leeb, Michitaka Hirose, Mel Slater, 2008.10
4. BrainGain: BCI for HCI and Games, Anton Nijholt, Jan B.F. Van Erp, Dirk Heylen, 2008.3
5. Games and Brain-Computer Interfaces: The State of the Art, Boris Reuderink, 2008.9.10
6. Human-Computer Interaction for BCI Games, 2010 International Conference on Cyberworlds, Danny Plass-Oude Bos, Boris Reuderink, Bram van de Laar, Hayrettin Gurkok, Christian Muhl, Mannes Poel, Dirk Heylen, Anton Nijholt, 2010.9
7. Why Use a BCI If you are healthy?, Brendan Allison, Bernhard Graitmann, Axel Graser, 2000.4
8. 뇌-컴퓨터 인터페이스 기술 동향, 주간기술동향 01-28, 한국전자통신연구원, 류창수, 송윤선, 김민준, 신승철, 2001
9. 뇌-컴퓨터 인터페이스를 활용하기 위한 뇌파 정규화 방법, 2010년 한국게임학회 추계학술대회 논문집, 성연식, 2010
10. 뇌파 기반 휴먼 인터페이스 기술에 관한 연구, 한국전자통신연구원, 2003.5
11. 뇌파 인터페이스 장치를 활용한 게임 개발 동향, 정보과학회지 제26권 제12호, 오규환, 2008. 12
12. 뇌파기반 뇌-컴퓨터 인터페이스 기술, 정보과학회지 제22권 제2호, 음태완, 김응수, 2004.2
13. 뇌파신호를 이용한 집중력 향상 게임 구현, 한국게임학회 논문지 제9권 제2호, 2009. 4