

뉴로피드백의 기술과 동향

목 차

1. 서 론
2. 뉴로피드백의 구성
3. 뉴로피드백의 국내외 동향
4. 뉴로피드백의 응용
5. 결 론

조동헌 · 진경수 · 박태건 · 양애슬
(충남대학교 · 충북과학대학교 · 호서대학교)

1. 서 론

생체신호 처리에 의한 인터페이스 기술은 웨어러블 컴퓨팅(wearable computing) 환경이나 모바일 컴퓨팅 환경에서 인간 친화적으로 활용되어, 문자·음성, 제스처, 표정인식 이후의 미래지향 원천 기술이다. 이 기술은 근전도(electromyogram, EMG), 안전도(electrooculogram, EOG) 및 뇌파(electroencephalogram, EEG)와 같은 인위적으로 발생 가능한 생체 신호를 이용하여, 노약자나 장애인이 컴퓨터를 이용하는 데 있어서 인터페이스(HCI, Human-Computer Interface)로 사용하거나 휠체어 등의 재활기기 구동 제어를 위한 명령어 생성하기 위해서 활용되기도 한다. 특히, 생체신호의 획득을 위한 하드웨어 및 소프트웨어 기술의 개발이 완료되면, 생체처리 전용 보드나 one-chip 형태로 만들어져 컴퓨터나 재활기기에 부가될 수 있는 장비로 활용될 수 있다. 이렇게 사용자의 인터페이스로 활용이 주종을 이루고 있지만, 사용자의 인터페이스 이외에 생체신호를 이용한 모니터링 기술로도 개발될 가능성이 높다. 이는 각종 재활 분

야, 건강검진 분야 등으로도 응용되어 향후 세계적인 고령화 사회의 추세에 따라 무한한 잠재력을 바탕으로, 해당 기술 개발에 대한 중요성이 점점 대두되고 있다[2].

인터페이스 기술 중에서 바이오피드백(biofeedback)은 인체로부터 수집한 뇌파, 근전도, 심전도, 체온, 피부 전기저항, 혈압, 심박동수, 호흡상태 등 다양한 생체신호를 기초로 해서 인체의 생리적 활동 상태를 실시간으로 제공해 준다. 제공된 정보는 인체가 목적하는 방향과 목표량 차이를 보상 처리함으로써 사용자 스스로 자기-조절을 학습해가도록 하는 기법이다. 즉, 바이오피드백의 목적은 인체에서 일어나는 생리적 현상을 관찰하고 제어하는 것이다. 반복된 제어에 관한 기법은 연습을 통해 달성되고, 연습하는 과정에서 몸속의 생리적 현상들에 대한 반응을 자유롭게 조정할 수 있다. 이러한 바이오피드백 제어 기법은 교통사고 등으로 인한 근육 손상, 뇌졸중 환자의 재활 요실금 및 변실금 환자의 골반근육강화운동에 활용된다. 그리고 일반적인 근 손상 환자들의 근육강화 운동, 심혈관 계통의 질환들이나 불면증, 신경성 두통 등의 심인성 질

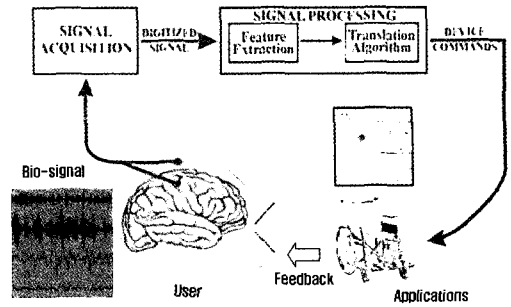
환에 적용되고 있으며, 가정용 전자제품과 같은 외부 장치 제어 등으로 그 적용 범위가 점점 확산되고 있는 추세에 있다.

한편, 뉴로피드백(neurofeedback)은 일반 바이오피드백과 다르게 뇌파 바이오피드백(EEG biofeedback)으로 사용자의 생리적 활동으로 뇌파만을 사용하는 것이다. 뉴로피드백은 사용자에게 자신의 현재 뇌파 상태를 알려줌으로써 스스로 목표하는 뇌파상태에 이르도록 조절하는 방법을 익히도록 한다. 사용자가 자신의 뇌파 상태를 표시하는 모니터 화면을 바라보거나, 목표로 하는 상태에 이르렀음을 알리는 음악을 들음으로써 피드백을 받는다. 그 외에 사용자의 뇌파에 따라 빛과 소리자극을 변화시켜 주기도 한다. 뉴로피드백은 인간의 생각이 뇌의 활동에서 비롯된다는 점에서 뇌의 활동을 파악하여 인간의 의지를 추정하고, 이 신호를 컴퓨터에 연결하여 동작시키려는 뉴로피드백 인터페이스 기술은 장애인뿐만 아니라 미래형 인터페이스로서 많은 사람들의 관심이 집중되고 있다[6]-[17].

따라서 본 연구는 인터페이스 기술 중에서 바이오피드백의 발전이 매우 빠르게 진행되는 가운데 새롭게 부각되고 있는 뉴로피드백의 기술 소개를 목적으로 한다. 첫째, 뉴로피드백의 구성 요소를 파악하고, 둘째, 뉴로피드백 기술의 국내·외 동향을 조사한 후, 셋째, 뉴로피드백의 연구 개발에 대한 응용을 기술하고자한다.

2. 뉴로피드백의 구성

(그림 1)은 뇌-컴퓨터 인터페이스 시스템의 구조를 나타낸 것이다. 이는 뉴로피드백의 한 예로 뉴로피드백을 이용한 것이다. 뇌파기를 통해 특정 상태의 뇌파 신호를 측정하여 특이점이나 특징을 추출하고 이를 분류한 후 일반적인 제어 신호로 변환하여 컴퓨터나 기기 등을 제어하여 그 결과를 피험자에게 피드백해 줌으로써 피험자의 상태를 바람직한 어떤 상태로 유도하는 것이다.



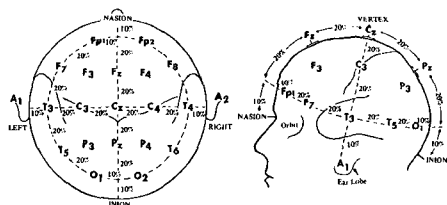
(그림 1) 뇌-컴퓨터 인터페이스 시스템의 구조

2.1 신호측정(signal acquisition)

뇌파 신호의 파형은 머리의 부위, 피험자의 생각 또는 정신 상태에 따라 크게 달라진다. 일반적으로 뇌파는 주파수 대역에 따라 크게 베타(β), 알파(α), 세타(θ) 및 델타(δ) 리듬의 네 가지 파형으로 분류할 수 있다. 베타 리듬(13-40Hz)은 일반적으로 눈을 뜨고 정신을 집중하거나 뇌 활동이 증가되는 상태, 경계 상태에 있을 때 두정부 및 측두부에서 잘 관찰된다. 알파 리듬(8-12Hz)은 눈을 감은 상태에서 보다 이완되어 있으며, 경계가 늦추어지고 안정된 정신 상태에서 발생되고, 특히 후두부 및 두정부에서 잘 관찰된다. 세타 리듬(4-8Hz)은 보다 느린 뇌파 활동으로 특징지어지는 백일몽을 꾸는 것과 같은 상태에서 주로 발생하며, 학습장애를 지닌 청소년에게서 종종 발견된다. 이 파형은 어린이의 두정부와 측두부에서 관찰되고, 성인에게서는 수면 시나 깊은 실망 등의 스트레스가 있을 때 혹은 뇌질환이 있을 때 나타난다. 그리고 델타 리듬(0.5-4Hz)은 유아에게서도 관찰되고, 성인에게서는 정상 깊은 수면상태나 심한 뇌질환시에 나타난다.

뇌파를 측정하기 위해서 두피의 임의의 위치에 전극을 부착할 수 있으나, 뉴로피드백 기반 기술이 범용성을 갖기 위해서는 전극 부착 위치에 대한 사용자의 편의성이 요구된다. 또한 인간

의 두피 전반에 걸쳐 많은 전극을 부착하는 것은 사용자 인터페이스 측면에서는 활용성을 크게 떨어뜨리므로, 보통 국제뇌파학회의 권고에 의한 국제 10-20 전극 배치법(international twenty electrode system)에 따른다. 비근점(nasion)과 후두결절(inion)을 머리 앞뒤의 기준점으로 하고, 이개전점(pre-auricular points)을 머리 좌우의 기준점으로 한다. 그리고 두개정점(vertex)을 지나는 각 기준점 사이의 거리를 100%로 하고, 각 전극을 10%와 20%의 간격으로 배치한다. 국소적인 간질형 파형을 측정하거나 국소적 이상을 정확하게 알아내기 위해 각 전극들 사이에 전극을 추가하여 배치할 수 있다. 국제 10-20 전극 배치법의 장점은 부위의 도출 방식이 계통적이고, 재현성이 풍부하다는 점이다. 그리고 전극 수나 전극의 간격이 임상 검사용으로 적합하며, 전극에 대응하는 뇌의 해부학적 부위가 확인된다는 점이다.



(그림 2) 국제 10-20 전극배치 시스템

(그림 2)는 국제 10-20 전극 배치법을 나타낸다. 전극 위치의 명칭은 대뇌피질의 4가지 부분, 즉 전두부(frontal lobe), 두정부(parietal lobe), 측두부(temporal lobe), 후두부(occipital lobe)에 해당하는 각 문자 F, P, T, O로 표시된다. 문자 C는 중심부(central lobe), Fp는 전두극(Frontal pole)을 의미한다. 뇌파 신호를 측정하기 위해서는 먼저 사용하는 뇌파기를 기본 소프트웨어나 하드웨어에서 장비의 샘플링 주파수, 이득, 측정 채널 등을 설정한다. 그리고 뇌파기와 컴퓨터의

통신모듈을 점검하여 이상 유무를 확인한다. 뇌파기에서 아날로그 신호가 바로 나온다면 아날로그 신호를 디지털 신호로 바꾸어주는 아날로그-디지털 변환기를 뇌파기와 컴퓨터 사이에 연결해 주어야 한다. 이러한 기본적인 설정이 완료 되면 피험자의 두피 위의 원하는 부위에 비침습적이나 침습적인 방법으로 국제 10-20 전극배치법에 따라서 전극을 부착한다.

2.2 전처리(preprocessing)

헤드셋에 부착된 다중의 활성 전극들을 통해 표준 뇌 위치로부터 수십 마이크로 볼트 단위의 미세한 뇌 신호를 측정한다. 측정 신호는 밀리볼트 단위로 증폭되어 대역통과필터나 노치필터를 사용한 아날로그 필터링을 거친 후, 디지털로 변환하여 실시간 처리 및 분석을 위한 전처리 과정을 거치게 된다.

성능이 우수한 뉴로피드백 시스템을 구현하기 위해서는 뇌로부터 발생하는 뇌파를 정확하게 획득하는 기술과 뇌파를 분석하여 해독하는 기술이 중요한 요소가 된다. 뇌파 획득 기술과 관련해서는 최근에 많은 뇌파 측정 장비들이 개발되고 있고, 신호의 안정성이나 감도 측면에서는 많은 발전이 이루어져 왔으나 뇌파의 측정 시에는 잡음을 발생 시키는 주위 환경 요소에 대한 고찰이 무엇보다 중요하다. 뇌파 측정 장비 자체가 주위 환경에 영향을 받을 뿐 아니라, 사람도 주위의 소음 등에 영향을 쉽게 받을 수 있기 때문에 정확한 뇌파를 얻기 위해서는 잡음을 제거하기 위한 장치들에 대한 고찰이 필요하다. 전극의 부착 불량, 불량전극, 전극유도선의 흔들림으로 인한 잡음도 발생 할 수 있으며, 접지 전극과 활동 전극 사이의 impedance의 차이, 전극간 거리 차이에 의한 amplitude asymmetry 등이 잡음을 발생시킬 수 있다. 뇌파 측정의 정확성과 정밀성을 높이기 위해 잡음 발생요인을 제거해야 한다. 잡음 제거 방법은 독립성분분석, 주

요성분분석(Principal Component Analysis, PCA), 적응필터링 기술 등이 있다. 또한 뇌파는 예측이 어려운 시계열 데이터로써 시간적인 의존성이 존재하고 시간에 따라 통계적 특성이 변할 수 있는 nonstationary 신호이다. 그리고 두피를 통해 여러 채널로 측정된 뇌파는 서로 완전히 독립적인 것이 아니라 상호작용을 일으키기 때문에 상호작용을 하는 유효 채널과 상호작용의 정도까지 알고 있어야 정확한 분석이 가능하다.

2.3 특징 추출(feature extraction)

특징추출은 신호를 분류할 때 인식률을 높이기 위해 EEG 측정 장치로부터 들어온 뇌파 데이터의 정보를 변환하는 것이다. 즉, 데이터의 성분들 중에서 중요하거나 혹은 중요하지 않은 부분 사이를 명확하게 구분해 주기 위한 단계이다. 이 단계에서 구별이 뚜렷하다고 생각되는 특징들은 전처리되고 디지털화된 뇌파 신호로부터 추출된다.

뉴로피드백의 형태에 따라서 EEG 특징들은 주파수와 시간 영역 모두에서 추출된다. EEG 신호분석에서 파워스펙트럼이 오랫동안 중요하게 사용되어 왔다. 파워스펙트럼은 시간영역에서 신호의 해석이 어려울 때 신호를 주파수 성분으로 바꾸어 준다. 이렇게 바뀐 신호에서 일반적인 특징들은 파워스펙트럼의 특정 주파수 대역에서 나타난다. 특징을 추출하는데 사용되는 방법은 신호의 주파수 분석을 위한 고속푸리에 변환(Fast Fourier Transform, FFT), 특정한 주파수에서 대역 전력 값, AR(Autoregressive) 계수, 웨이브릿(Wavelet) 계수, 바이스펙트럴(Bispectral) 평가 등이 있다. 오늘날 대중적으로 많이 사용되는 것은 웨이브릿 변환으로, 이것은 시간과 주파수의 두 가지 특성을 반영하기 때문이다.

어떠한 방법을 이용하든지 이 분석법들의 목표는 신호의 구별을 위하여 특징의 상태를 뚜렷하게 구성하는 것이다. 만약 특징 상태가 서로

다른 특징과 많이 겹쳐지게 나타나면, 좋은 분류기를 사용하더라도 이 신호들을 분류하는 것은 매우 어렵다. 다시 말해서, 특징들이 충분히 다른 신호들과 뚜렷이 구별된다면, 어떤 분류기를 사용하더라도 쉽게 특징을 분류할 수 있다.

2.4 변환 알고리즘(translation algorithm)

분류 알고리즘은 각각의 뇌파 데이터가 어떤 집단에 속하는지를 분류하는 것이다. 형태추출 단계에서 추출된 특징들은 분류기(classifier)의 입력으로 이용된다. 여기서 분류 알고리즘은 측정된 여러 뇌파 모델을 사용하여 클래스를 구별할 수 있도록 학습되어진다. 이때 특징추출이 잘 되었다면, 인식률 역시 높게 나온다.

분류기는 비교적 간단한 선형 모델인 선형판별 분석법에서부터 복잡한 비선형 뉴럴 네트워크 등 어떤 것을 사용하든 상관없다. 단, 입력으로 사용되는 뇌파 모델에 따라 알고리즘을 적용시켜서 최적의 성능을 발휘하는 알고리즘의 조합을 판단하여 적용해야 한다. 현재 사용 중인 자동화된 기술은 HMM(Hidden Markov Models), ICA, LVQ(Linear Vector Quantization), ANN(Artificial Neural Networks) 등이다. ANN은 현재 가장 일반적으로 폭넓게 사용하고 있다. 은닉 마코프 모델(HMM)은 각 클래스의 입력을 통해 확률적인 계산을 하는 것으로, 가장 높은 확률을 갖는 클래스를 선택한다. 그러나 만일 분류 확률이 정의된 수준을 초과하지 못한다면 아무런 클래스도 선택하지 않는다.

3. 뉴로피드백의 국내외 동향

3.1 국내 동향

국내에서는 뇌파기반 인터페이스 기술에 관한 많은 연구들이 이루어지고 있다. 그러나 생체신호 기반 인터페이스 관련 기술이 오랜 기간의 기초기술을 토대로 이루어져야 하기 때문에 아직

까지는 세계적인 수준에는 많이 미흡하며, 상업적으로 이용할 만한 실용적인 기술은 선보이지 못하고 있다. 뉴로피드백 분야에 대한 특허출원이 1987년(출원 국가: 오스트레일리아) 처음 시작되었고, 1995년 2건(출원 국가: 일본)에 이어 2001년 12건으로 급격히 증가한 것으로 보아 국내의 뉴로피드백 관련 연구 분야에 대한 연구와 투자 그리고 응용이 활발히 진행되고 있다는 것을 알 수 있다 [5]. 한국전자통신연구원 [5], 표준과학연구소를 비롯하여 (주)림스테크널리지, (주)락싸 등의 중소기업, 연세대학교, 한양대학교, 포항공과대학교, 서울대학교, 충남대학교, 성균관대학교, 충북과학대학 [1] 등에서 뇌파의 신호처리 및 데이터분석에 널리 쓰이고 있는 독립 성분분석(Independent Component Analysis, ICA)에 관한 연구를 진행하고 있다. 신호 측정 시 유입되는 불필요한 신호인 잡파의 제거 연구, 뇌파 특징추출에 관한 연구, 뇌파의 비선형 분석에 의한 간질발작 예측 연구, 작업 피로도도에 따른 뇌파의 변화와 뇌파를 가상현실 게임에 적용하기 위한 연구, 뇌자도의 원리 및 응용에 대한 연구, 간질발작에 따른 뇌파의 분석 및 발작 예측을 위한 연구, 뉴로피드백을 이용한 뇌-컴퓨터 인터페이스 등을 진행하고 있다.

과기부는 1998년 5월 “뇌연구촉진법”을 계기로 10년간 추진되는 인공 두뇌분야의 연구프로젝트, 이른바 “Braintech 21”을 확정 시행해오고 있고, 올해 2007년까지 민간 부담 1천7백90억원을 포함하여 총 9천2백60억원을 뇌 연구에 투자해서 인공지능 컴퓨터 개발, 치매치료 등에 필요한 연구를 체계적으로 수행해 왔다. 특히 뇌 연구의 효율적 수행을 위해 뇌 연구는 한국과학기술원의 ‘뇌 연구센터’와 국립 보건원의 ‘뇌 의학연구센터’에서 연구개발을 진행하고 있다. <표 1>은 국내 뉴로피드백 기술 동향을 나타낸 것이다.

<표 1> 국내 뉴로피드백 기술 동향

연구기관	연구내용
KAIST 뇌 과학 센터	뇌정보 처리에 기반으로 한 인공 시청각 시스템 및 하드웨어 구현 연구
포항공대 뇌 과학 연구 센터	순환신경망을 이용한 시청각 데이터처리 알고리즘 개발 및 뇌파의 비선형 분석
충북대학교 물리학과	ICA를 이용한 정상인과 환자의 구별, 특정 상형의 판별, EEG의 기전 위치
충북과학대학 바이오일렉트로닉스학과	색 자극에 따른 뇌파 분석 알고리즘 개발과 ABI 기반 뉴로피드백 적용

(그림 3)은 (주)림스테크널리지와 충북과학대학 바이오일렉트로닉스학과[7]가 공동으로 개발한 것으로 뇌파를 이용한 농구 게임과 사격게임 장면이다. 집중력 게임(농구)도 이마의 전두엽 부위에서 실시간으로 뇌파를 얻고 α 밴드와 β 밴드에서의 파워 값을 계산하여 설정된 단계별 파워 값과 비교하여 농구공의 색깔을 변하게 하고 있다. 집중력 상태가 최고도에 도달하였을 때, 농구공이 밝게 빛나고, 반대로 집중력이 낮아질수록 농구공이 어두운 색깔로 변한다. 각 상태에 따라 슛을 하게 되면 이에 대응하여 점수를 얻는다. 일정 수준의 집중도에 도달한 후에 슛을 하여야 골인이 되도록 하여 점수를 얻는다. 이 게임은 3D 애니메이션의 화면 구성을 통하여 흥미를 돋고, 단순한 게임이라기보다는 게임을 통하여 집중력을 향상하며, 이 결과를 바로 게임 수행자가 확인할 수 있는 뉴로피드백(neurofeedback) 개념을 도입한 것이 특징이다. 또한, 집중도 향상을 위한 사격게임도 개발하였다.



(그림 3) 뇌파를 이용한 농구 게임과 사격게임

3.2 국외 동향

일본은 1988년에 처음 뇌과학분야에 대한 특허를 출원하여 2000년 이후 NEC, HITACHI, SHIMAZU, NATUS, TECHNOS, JAPAN SCIENCE & amp와 같은 6개의 기업을 중심으로 특허출원이 급격히 증가하고 있다. 특히 과학기술청(STA) 주도 하에 향후 20년간(1997~2016년) 2조엔을 투입하는 뇌 과학 프로젝트(Brain Science Project)를 시작했으며, 연간 50~80억엔의 연구비를 투자해 뇌 관련 연구를 추진 중에 있다. 또한, 일본의 최대연구소인 이화학연구소(RIKEN) 산하에 연구원 2천명 규모의 뇌 과학종합연구소(Brain Science Institute)를 1997년에 설립해 2016년까지 사고와 기억 등 뇌의 다양한 기능과 노화방지, 인공 지능 등에 관한 연구를 시작하였다. 1997년 당시 예산이 200억엔에 이르렀으며 2005년부터는 연간 1000억엔의 예산이 투입되고 있다. 이 분야에 대한 특허 출원이 우리나라는 1996년도, 일본은 1988년도에 들어서야 시작된 것과는 달리 미국은 1976년도부터 이 분야에 대한 출원이 시작되었으며, 뇌과학의 유·무선 측정 및 분석, 뉴로피드백에 이르는 다양한 분야의 특허 출원이 꾸준히 증가하고 있다 [4]. 특히, 미국 상·하원 101차 합동회의에서 1990년대를 “뇌의 10년(Decade of Brain)”으로 정하고 관계 법안을 통과시킨 후 국가적 차원에서 연구부문에 연간 10조원을 지원함으로써, 이미 뇌의 기능에 대한 상당 부분의 연구가 이루어졌으며 현재도 여러 관련분야에서 활발한 연구 활동이 진행 중이다. 또한 “과학, 공학 및 기술을 위한 연방조정위원회(Federal Coordinating Council for Science, Engineering and Technology)”에 대한 보고서가 작성되어 사회적으로 많은 반향을 일으켰다. 또한, 이탈리아, 네덜란드 등 국가별로 1991년부터 “EC Decade of Brain”을 발족, 뇌 연구를 시작하였으며, 유럽

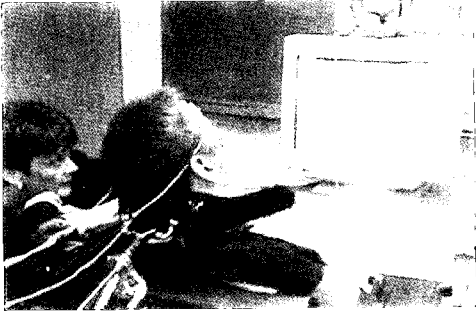
공동체(EU)에서도 ANNIE와 관련한 다수의 과제를 수행하고 있다. 한편, 이스라엘은 주요 국가 사업으로 Weizmann Institute of Science 등에서 뇌 연구를 활발히 추진 중에 있다. 또한, G7 국가 등의 HFSP에서도 뇌 연구는 중요한 부분을 차지하고 있으며 관련 연구가 활발히 진행 중이다. 그중 오스트리아의 Univ of Technology, Graz에서는 각종 장애자를 대상으로 한 뇌과학 기반의 보철 인터페이스를 개발하는 등 뇌-컴퓨터 인터페이스(Brain Computer Interface, BCI) 분야에서 수준 높은 연구를 진행 중이다. 또한 창업 기업인 G.Tec에서는 BCI 시스템을 패키지화하여 상용화하였으며, 운동영역에서 발생하는 뇌과학의 특징을 찾아내기 위해 다양한 신호처리 알고리즘을 적용하고 있다. EC의 ESPRIT 프로젝트에서는 적응 뇌-인터페이스(Adaptive Brain Interface, ABI)를 중점적으로 연구하고 있으며 이의 결과로 이동 로봇의 제어, 비디오게임, 장애인용 가상 키보드 등을 선보이고 있다 [2]. <표 2>는 국외 뉴로피드백 분야의 기술 동향을 나타낸 것이다.

<표 2> 국외 뉴로피드백 기술 동향

연구기관	연구내용
호주 시드니 공과대학	전기기구의 ON/OFF
일본 테크노스 저팬, 히메지 기술연구소	TV 채널 이동, 가전제품 작동
미국 IBVA	뇌파를 이용한 자동차 경주 게임 개발
독일 뒤빙겐 대학, 미국 일리노이 대학	장애인용 워드프로세서 개발
오스트리아 그리즈 공대	모니터상의 커서 제어 및 문자/단어 선택을 이용한 보철 제어
미국 보스턴대학	Egloeyes를 이용한 타이프라이트

(그림 4)는 보스턴 대학의 Tecce이 개발한 이클 아이즈 시스템을 나타낸 것이다. 이 시스템은 전극을 사용자 얼굴 여러 지점에 붙여서 작동하며, 전극을 컴퓨터에 연결하면 눈이 움직일 때 전압 차이를 측정하고 읽은 값을 컴퓨터 스크린 위의 커서 위치로 해독하는 시스템으로, 사용자

가 눈을 움직일 때 커서도 따라서 움직인다. 눈의 움직임으로 마우스의 움직임을 대신함으로써 사용자들은 컴퓨터에 명령을 보내고 소프트웨어를 구동할 수 있으며, 1분에 2자에서 3자 정도를 쓸 수 있는 간단한 워드프로세서를 만들었다.



(그림 4) Egleeyes를 이용한 타이프라이트

사람의 뇌파신호를 추출하여 처리한 후 그 결과를 분석하고 그에 상응하는 피드백 신호를 사용자에게 전달하여 피험자의 특정한 뇌파 특성을 향상시키려는 노력이 꾸준히 진행되고 있다. 그에 따라 여러 형태의 뉴로피드백 장치들이 발표되고 있는데 대부분이 컴퓨터를 사용하여 뇌파를 측정하고 그에 따른 여러 피드백 수단을 제공하고 있다.

<표 3>은 현재까지 개발된 대표적인 뉴로피드백 시스템을 제조사별로 분류하여 정리한 것이다.

<표 3> 대표적인 뉴로피드백 시스템의 종류

제조사	제품명	생체신호
Thought Technology	FlexComp InfinitiTM	Multi-modality
	ProComp InfinitiTM	Multi-modality
	ProComp2TM	Multi-modality
BrainMaster Technologies	BrainMaster AT-1-2.5 Basic	2-ch EEG
	BrainMaster AT-1-2.5C Clinical Pro	2-ch EEG
	BrainMaster AT-1 v2.5 Wideband	0.5~64Hz, 2-ch EEG
Neurobit Systems	Neurobit LiteTM	2-ch EEG
Minder Labs	Pocket Neurobics (Pocket A3)	2-ch EEG/HEG
Brainquiry	PET-EEG(Personal Efficiency Trainer Electroencephalograph)	1 or 2-ch EEG
Mind Peak	WaveRider 2cx Jr.	Multi-modality
	WaveRider Pro	Multi-modality

	WaveRider CEO	EEG
J & J Engineering	I-330-C2+ (6/12-ch)	Multi-modality
	I-330-C2 Plus Clinical System	Multi-modality
Autogenics' Advanced Technology	A620-3 Neurofeedback System v6.0	EEG
	AT62 EEG Alpha-Theta Trainer	EEG
Mind Media	NeXus-10	Multi-modality

Thought Technology사의 ProComp2TM 엔코더는 BioGraphi Infiniti S/W와 같은 바이오피드백 S/W Application과 함께 사용하기 위한 2-채널, Multi-modality 생리신호 모니터링 장비이다. BrainMaster Technologies사의 BrainMaster AT-1-2.5 Basic은 저가이면서 유연성이 있는 범용 뇌파 모니터로서, 연구, 교육, 레크레이션, 취미, 자기 각성(self-awareness), 뇌파-제어 시스템 등의 응용으로 매우 유용하다. BrainMaster는 S/W와 인터페이스가 가능하여 여러 외부 프로그램을 사용하여 제어될 수 있으며, 사용자-개발 응용 프로그램을 이용하여 뇌파 데이터와 상호 작용 및 제어가 가능하다. Neurobit Systems사의 Neurobit LiteTM는 뉴로피드백 수단에 의해서 최고 성능 훈련을 위한 휴대용 고집적 장비로서, 개인용으로 설계되었다. Minder Labs사의 Pocket A3은 EEG 바이오피드백과 HEG 바이오피드백의 조합으로 구성된다. Brainquiry사의 PET-EEG는 능동 전극을 사용하여 뇌 활동을 측정하고, 그 데이터를 블루투스를 이용하여 원격으로 PC, PDA 등으로 보낸다. Mind Peak사의 WaveRider는 뇌파와 다른 생물학적 신호를 모으는 윈도우 기반 생리적 신호 모니터이다. 음악 피드백과 시각 디스플레이는 신호의 변화에 응답하여 변한다. J&J Engineering사의 I-330-C2 Plus는 신호의 모니터링을 동시에 지원하는 6/12 채널 용량을 갖고 있다. Autogenics' Advanced Technology사의 A620-3 EEG는 EEG 뉴로피드백 장치로, 바이오피드백이나 컴퓨터 초보자조차도 매우 쉽게 작동할 수 있다.

Autogenics' Advanced Technology사의 AT62 EEG Alpha-Theta Trainer는 간단하고, 자기-통제, 사무실이나 가정에서 사용하기 편리한 휴대형 EEG이다. Mind Media사의 NeXus-10은 10-채널 생리 신호 모니터링과 데이터 포획 시스템으로 휴대가 용이하다.

4. 뉴로피드백의 응용

분류기를 거쳐 최종적으로 나오는 출력은 제어 신호로 변환하여 컴퓨터나 기기 등을 제어하기 위한 신호로 사용된다. 컴퓨터나 기기는 분류 결과로 나오는 신호에 따라서 미리 사용자에게 정해진 지시대로 수행을 하고, 그 결과를 피험자에게 피드백 해 줌으로써 피험자의 상태를 바람직한 어떤 상태로 유도하도록 한다. 뉴로피드백을 주의력 집중, 긴장완화, 고통경감, 건강증진, 생체치료를 비롯하여 가정용 전자제품과 같은 외부 장치 등에 이용하려는 연구가 국내외로 활발하게 진행 중이며, 뉴로피드백 적용 분야의 연구동향은 다음과 같다.

4.1 집중력 게임

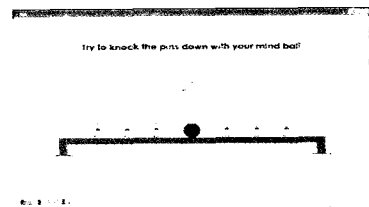
집중력 게임 시스템은 뇌파의 특성을 이용하여 집중력을 향상시키기 위한 것이다. (그림 5)는 집중력 게임을 나타낸 것이다. (a)는 스웨덴의 Interactive Institute에서 개발한 것으로 마인드 볼 시스템의 운용 장면이다. 두 사람이 앉아서 서로 집중력을 겨룸으로써 탁자 위에 있는 볼을 굴리는 게임 모습과 이 때 두 사람의 뇌파를 분석하고 있는 모습을 나타내고 있다.

(b)는 전자통신연구원에서 개발한 것으로 볼링 게임 장면이다. 뇌파의 응용 시스템으로 사용자의 α 파와 β 파를 분석하여 집중력을 계산함으로써 운용할 수 있는 집중력 게임을 개발하였다. 게임 방식은 두 명의 사용자가 뇌파를 얻는 센서를 전두엽에 부착하고 모니터 화면에 나타나는 볼링공을 집중하면 서로의 집중력의 크기에 의

해서 상대편 쪽으로 볼링공을 굴려 볼링 핀을 넘어뜨리게 함으로써 게임이 진행된다. 전자통신연구원에서 개발한 집중력 게임(볼링)은 이마의 전두엽 부위에서 실시간으로 뇌파를 얻고 α 밴드와 β 밴드에서의 파워 값을 계산하고 이를 비교하여 운용하는 방식으로 진행된다. 이는 손과 발을 사용하지 않고 오로지 뇌파 분석에 의해서 운용되기 때문에 일반인뿐만 아니라 정보통신 서비스를 접하기 어려운 장애인에게 흥미를 유발하여 유용하게 사용될 것으로 기대된다.



(a) 마인드 볼



(b) 볼링 게임

(그림 5) 집중력 게임

4.2 뇌질환 치료

뇌파 중에서 알파파 전력 스펙트럼의 크기는 심리적 안정과 집중력을 나타내는 주요 지표가 되고, 심리적 긴장이 해소될수록 진폭이 커지는 특성을 가진다. 이러한 사실에 착안하여 뇌파를 조정하여 알파파 출현비를 높이려는 연구가 진행되고 있다. 뇌파자극(Electroencephalography stimulation)은 빛과 소리를 이용하여 알파파를 유도함으로써, 사용자의 뇌파를 조정하는 방법이다. 이 방법은 두 귀에 입력되는 소리의 비트 주파수 또는 빛의 깜박임의 주파수에 해당하는

뇌파가 발생하는 원리를 이용한 것이다. 이를 사용자의 수준에 적합한 명상음악, 멘트, 영상화면을 피드백함으로써 지루하지 않게 계속 집중을 유지할 수 있도록 한다. 일반적인 뉴로피드백 치료에서 치료사가 피험자의 상태에 따라 알맞은 멘트와 조절을 하여 주는 것과 같이, 실시간 뇌파 분석을 통해 뇌파상태를 판별하고 사용자에게 알맞은 피드백을 제공함으로써 실제로 전문가에 의해 두뇌개발프로그램이 진행되는 것과 같은 효과를 얻는다. 또한 컴퓨터의 커서 또는 마우스 이동 방향을 조작하고 간단한 문서 작성 작업, 장애인용 휠체어 등 복잡한 기계 조작을 실현할 수 있다. 이러한 개념의 뉴로피드백은 뇌-컴퓨터 인터페이스를 위해서 눈의 깜빡임을 이용하거나 안면 근육의 움직임 등을 이용하는 등의 연구도 이루어지고 있다. 인간은 모든 정신 작용이 뇌에서 이루어지기 때문에 뇌-컴퓨터 인터페이스 시스템은 뇌파 그 자체를 이용한다는 측면에서 중요성을 갖는다. 호주의 시드니 기술대학에서는 신체장애 극복과 미래 주택 환경에의 이용을 목적으로 마인드 스위치(전기기구의 On/Off)에 대한 연구를 하였다.

(그림 6)은 Les Kirkup가 슬롯 자동차를 제어하여 마인드 스위치를 시연하는 장면이다. 마인드 스위치는 정상인의 경우에 눈을 감으면 안정한 상태에서 알파파가 출현하고, 눈을 뜨면 알파파가 감소하는 것을 이용한 것이다. 그러나 스위치를 켜고 끄려는 의도와 눈을 감는 것과는 별개의 것이라는 데 근본적인 한계가 있어서 기술 확장이 어려우며 최근에는 신뢰성 확보에 관한 연구를 하고 있다.



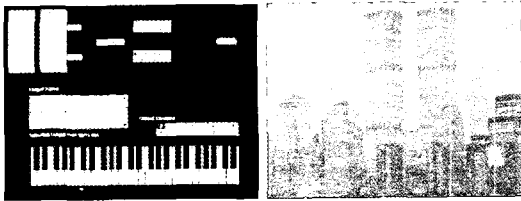
(그림 6) 마인드 스위치를 시연하는 장면

4.3 뇌파를 이용한 자동 제어

가정의 자동화를 목적으로 뇌파를 이용한 TV 채널의 이동과 가전제품의 작동에 적용하는 연구를 하고 있다. 이는 정신을 집중하면 뇌파가 증폭되는 점을 이용하여 감성 인터페이스를 목적으로 긍정/부정 의사 분별에 대한 연구가 시도되고 있다. 이는 특정 뇌파 유도형으로서 ‘예’일 경우에는 왼쪽 귀에, ‘아니오’일 경우에는 오른쪽 귀에 의식을 집중함으로써 긍정/부정 의사 분별을 시도하였다. 독일의 튀빙게 대학과 미국의 일리노이 대학에서는 장애인용 워드프로세서를 목적으로 스펠링 장치(spelling device)에 대한 연구도 있었다. 튀빙게 대학에서는 SCP(slow cortical potential)를 이용한 워드프로세서를 개발하였으며, 화면에 나타나는 문자 중 하나를 선택해 감으로써 최종적으로 한 문자를 선택하는 방식으로 분당 2 문자를 선택할 수 있다. 이 작업은 전신마비 환자에 대해 행해짐으로써 장애인용 워드프로세서의 새로운 의미를 갖고 있다. 미국의 IBVA 테크놀로지사에서는 Image/ MIDI Control VR에 응용을 목적으로 상호작용 바이오 피드백 제어(Interactive Biofeedback Control)에 대한 연구를 하였다.

(그림 7)은 뇌파를 활용한 기기변환을 나타낸 것이다. (a)는 뇌파를 MIDI로 변환과 (b)는 마음으로 쌍둥이 빌딩 점등을 나타낸 것이다. 이는 뇌파를 컴퓨터 게임에 이용하자는 시도로, 레이싱 게임에서 자동차의 속도를 뇌파로 조정하였다. 현재 뇌파 기반 Mind O/S를 이용해 CD플레이어의 기능을 제어할 수 있는 Infra-Red Expansion Pak을 600불에 판매하고 있으며, 이 기술을 기반으로 VR, 게임 및 의료분야, 가전 기기 및 컴퓨터기기 등을 제어할 수 있는 신기술을 개발하고 있다. 또한 전극을 사용자 얼굴 여러 지점에 붙여서 작동하며, 전극을 컴퓨터에 연결하면 눈이 움직일 때 전압 차이를 측정하고 읽은

값을 컴퓨터 스크린 위의 커서 위치로 해독하는 시스템으로, 사용자가 눈을 움직일 때 커서도 따라서 움직인다. 눈의 움직임으로 마우스의 움직임을 대신함으로써 사용자들은 컴퓨터에 명령을 보내고 소프트웨어를 구동할 수 있으며, 1분에 2자에서 3자 정도를 쓸 수 있는 간단한 워드프로세서를 만들 수 있도록 활용될 수 있다.



(a)뇌파를 MIDI로 변환 (b)마음으로 쌍둥이 빌딩 점등
(그림 7) 뇌파를 활용한 기기 변환

5. 결론

앞에서 살펴본 바와 같이 생체신호, 촉각, 감성 등 신체에 내재된 신호와 감각을 매개로 컴퓨터와 효과적으로 인터페이스 하는 기술에 대한 연구가 매우 중요한 분야로 자리 잡을 것으로 예상된다. 이러한 관점에서 컴퓨터와 인간의 상호작용을 효과적으로 수행하기 위한 수단으로 생체신호를 매개로 하고, 가장 자연스럽게 직관적인 인터페이스 개발에 대한 연구의 필요성이 그 어느 때보다 중요하다 할 수 있다. 특히, 뇌파를 이용한 뉴로피드백 인터페이스는 두뇌의 정보처리 결과인 의사 결정을 언어나 신체의 동작을 거치지 않고 직접 시스템에 전달하므로 편리성을 증대시킬 수 있다. 나아가 정신작용에 직접적으로 반응하는 신 개념의 휴먼 인터페이스로서 정상인에게는 차별성이 강조된 고품질의 인터페이스를 제공하며, 지체 장애인들에게는 상황에 따라 원활한 의사표시를 가능하게 하는 통신채널로 활용될 수 있다는 점에 주목받고 있다.

뉴로피드백은 주의력 집중, 긴장완화, 고통경감, 건강증진, 생체치료를 비롯하여 가정용 전자제품과 같은 외부 장치 등에 이용하려는 연구가 국내외로 활발하게 진행 중에 있다. 현재 국내외 기술과 특허동향을 고려할 때, 일본 미국 등 선진국의 세계적인 기술 수준에 비해 우리나라의 뇌파 응용 기술 개발은 전반적으로 기술 경쟁력이 매우 취약한 실정이다. 그럼에도 불구하고 이 분야는 다른 분야에 비해서 선진국과의 기술격차가 상대적으로 작은 분야에 해당된다. 따라서 우리나라가 이 분야에서 대외적인 경쟁력을 확보하기 위한 전략적인 접근과 철저한 준비가 요구된다.

참고문헌

- [1] 진경수, “뇌-컴퓨터 인터페이스에 관한 연구”, 충북과학대학 산업과학연구소 논문집 제5권, pp.115-128, 2002.
- [2] 진경수, 박태건, “뉴로피드백 연구개발 동향”, 충북과학대학 산업과학기술연구소 논문집 8권, pp.1-26, 2005.
- [3] 진경수, 바이오일렉트로닉스 입문, 충북과학대학 바이오일렉트로닉스교육사업단, 2005.
- [4] 최종원, 뇌-컴퓨터 인터페이스(BCI) 기술 동향, KIST, 2007.
- [5] 한국전자통신연구원, IT-BT 융합 기술개발 기획연구, 2002.
- [6] Alexander Ya, Jong-Gil Byeon, Jong-Jin Lim, Kyung-Soo Jin, Byoung-Woo Park. “Unconscious operant conditionnig in the paradigm of brain-computer interface based on color perception”, interm. j. neuroscience Vol 115. pp781-802, 2005
- [7] Patrick N. Friel, BS. “EEG biofeedback in the treatment of attention deficit/

- hyperactivity disorder", alternative medicine review Vol.12, No.2, 2007.
- [8] Hartmut Heinrich, Holger Gevensleben, Ute Strehl, "Annotation:neurofeedback -train your brain to train behaviour", journal of child psychology and psychiatry Vol.48, No.1, pp.3-16, 2007.
- [9] Efthymios Angelakis, Stamatina Stathopoulou, "EEG neurofeedback: a brief overview and an example of peak alpha frequency training for cognitive enhancement in the elderly" the clinical neuropsychologist, Vol.21, pp.110-129, 2007.
- [10] Lubar, J.F., "Neurofeedback for the management of attention-deficit disorders. in m. s. schwartz & f. and rasik(eds), biofeedback: a pratitiner's guide, pp409-437, 2003.
- [11] Egner, T., & Gruzelier, J.H. "EEG biofeedback of low beta band components : frequency-specific effects on variables of attention and event-related brain potentials." clinical neurophysiology, Vol. 115 pp.131-139, 2004.
- [12] Egner, T., Zech, T.F., & Gruzelier, J.H. "The effects of neurofeedback training on the spectral topography of the electroencephalogram." clinical neurophysiology, Vol.115 pp.2452-2460, 2004.
- [13] Egner, T., & Gruzelier, J.H. "Ecological validity of neurofeedback: modulation of slow wave EEG enhances musical performance." neuroreport, Vol 14, pp.1221-1224, 2003.
- [14] Strohmayer, A.,J. "SMR neurofeedback efficacy in the treatment of tourette syndrome." abstract, 12th annual conference, international society for neuronal regulation. 2004.
- [15] Raymond, J., Varney, C., Parkinson, L.A., & Gruzelier, J. H. "The effects of alpha/theta neurofeedback on personality and mood. cognitive brain research." Vol.23, pp287-292, 2005.
- [16] Ottowitz, W.E.Tondo, L., Dougherry, D.D., & Savage, C.R. "The neural network basis for abnormalities of attention and executive function in major depressive disorder", Implications for application of the medical disease model to psychiatric disorders, Harvard review of psychiatry, Vol.10, No.2, pp.86-99, 2002.
- [17] Stre HI, U., Kotchoubey, B., Trevorrow, T. & Birbaumer, N. "Preditoers of seizure reduction after self-regulation of sluw cortical potential as a tratment of drug-resistant epilepsy." epilepsy and behavior, Vol.6, pp156-166, 2005.

저자약력



조 동 언

1992년 충남대학교 전기공학교육학과(학사)
 1995년 충남대학교 전기공학과(석사)
 2002년 충남대학교 의공학협동과정 박사 수료
 2007년 호서대학교 컴퓨터응용기술학과 졸업(박사)
 1992년~현재 충남기계공업고등학교 교사
 2007년~현재 충남대학교 대덕R&D특구
 의과학인력양성사업단 교육연구팀장
 관심분야 : 의공학, 공학교육, 교육과정, 교육평가
 이 메 일 : jovision@hanmail.net



박 태 건

1992년 단국대학교 전기공학과(학사)
 1994년 단국대학교 전기공학과(석사)
 1999년 단국대학교 전기공학과(박사)
 2000년~현재 충북과학대학 바이오일렉트로닉스과 교수
 관심분야 : Adaptive Control, VSS Control, Robust
 Control, Fuzzy/Neural Network,
 이 메 일 : taegeon@ctech.ac.kr



진 경 수

1984년 충남대학교 전자공학교육과(학사)
 1995년 충북대학교 전기전산공학과(석사)
 2001년 충북대학교 전자공학과(박사)
 1998년~현재 충북과학대학 바이오일렉트로닉스과 교수
 관심분야 : 마이크로스트립 안테나 & 초고주파 회로,
 EMI/EMC, 생체진단기기 & 실버의료기기
 이 메 일 : iseo@honam.ac.kr



양 애 슬

1975년 홍익대학교 전기공학과(학사)
 1979년 성균관대학교 정보처리학과(석사)
 1991년 日本 大阪大學 소프트웨어공학(박사)
 1980년~1995년 강원대학교 전자계산학과 교수
 1995년~2002년 한국소프트웨어 품질연구소(INSQ) 소장
 1999년~현재 호서대학교 벤처전문대학원 교수
 관심분야 : 소프트웨어 공학, 소프트웨어 품질 관리 및
 시험·평가
 이 메 일 : hsyang@office.hoseo.ac.kr