

뇌파기반 뇌-컴퓨터 인터페이스 기술

대전대학교 음태완 · 김응수*

1. 서론

사람의 뇌에 관한 연구는 고대 그리스 시대에서부터 제기 되어왔으며, 사람을 해부하여 인간의 뇌가 수많은 뉴런으로 이루어 졌다는 것을 밝혀내었다. 이 뉴런들의 활동에 의하여 전기적 신호가 발생한다는 것을 알았고, 인간의 모든 행동, 학습, 사고, 기억활동을 제어하는 뇌의 기능을 이해하기 위한 연구가 계속되었다. 그 동안 뇌파는 뇌의 정보 처리 과정에서 부수적으로 발생하는 잡음이며, 따라서 통계적인 방법으로 기술해야 한다고 여겨져 왔다. 하지만 최근 비선형 동역학적 연구에 의해 뇌파가 단순한 무작위 신호가 아닌 뇌의 정보처리 과정에 대한 정보를 담고 있는 의미 있는 신호라는 사실이 보고되면서 많은 관심을 가지게 되었다. 만약 뇌파가 결정론적인 신호라면, 우리는 뇌의 상태나 정보처리 과정을 뇌파의 역학적인 성질에 대한 분석을 통해서 이해할 수 있다. 특히 의사를 표현하는 동작과 관련된 뇌파의 특성이 밝혀지고 있는데, 어떤 동작을 실행하려고 의도하거나 상상하는 것 만으로도 뇌파의 특정 성분에 일관된 변화가 나타난다. 이러한 상상만으로 어떠한 임의의 기계를 움직인다는 것은 오래 전부터 인간이 꿈꿔오던 기술이다. 하지만 이제 꿈이 현실이 되어가고 있다. 뇌의 정보처리 메커니즘을 밝혀내면 생각하는 즉시 전자장치와 통신하거나, 정보기기를 움직이는 것이 가능해진다. 이를 위해서 과학자들은 생물의 신경계와 컴퓨터를 연결해서 쌍방향 통신을 가능하게 하는 연구나 뇌파를 실시간으로 분석해서 사람의 생각이나 감정을 파악하는 연구를 활발하게 수행하고 있다. 이러한 연구를 '뇌-컴퓨터 인터페이스(Brain Computer Interface)' 기술이라고 한다. 다시 말하면 뇌의 활동과정에서 나오는 뇌파를 실시간으로 분석하여 어떤 임의의 장치를 제어하는 기술을 말한다. 이 기술은 대표적인 컴퓨터 입력장치인 키보드나 마우스를 대신할 수 있으며, 워드프로세서, 가

전기기, 로봇 팔, 휠체어의 제어 등 다양한 분야에 활용될 수 있다.

2. BCI의 기존 연구

BCI에 대한 연구는 국내외로 활발하게 진행 중이며 현재까지 뇌파를 기반으로 하는 BCI의 연구는 다양하게 이루어지고 있다. 본 장에서는 각 나라 및 연구기관에서의 BCI 연구 동향에 대해 나타내었다.

- 호주의 Univ. of Tech, Sydney에서는 신체장애 극복과 미래 주택 환경에의 이용을 목적으로 mind switch(전기기구의 on/off)에 대한 연구를 하였으며, 이것은 정상인의 경우에 눈을 감으면 안정한 상태에서 알파파가 출현하는데 이때 눈을 뜨면 알파파가 감소한다. Mind switch는 이러한 차이를 이용한 것으로, 스위치를 켜고 끄려는 의도와 눈을 감는 것과는 별개의 것이라는 데 근본적인 한계가 있어서 기술확장이 어려우며 최근에는 신뢰성의 확보에 관한 연구를 하고 있다.
- 일본의 히메지 기술연구소에서는 가정의 자동화를 목적으로 TV 채널의 이동과 가전제품의 작동에 적용하는 연구를 하고 있다. 이는 정신을 집중하면 뇌파가 증폭되는데 이 점을 이용하였다. 일본의 뇌기능 연구소에서는 감성 인터페이스를 목적으로 긍정/부정 의사 분별에 대한 연구를 하였다. 이는 특정 뇌파 유도형으로서 '예'일 경우에는 왼쪽 귀에, '아니오'일 경우에는 오른쪽 귀에 의식을 집중함으로써 긍정/부정 의사 분별을 시도하였다.
- 미국의 IBVA 에서는 Image/MIDI control VR에 응용을 목적으로 Interactive Biofeedback Control 에 대한 연구를 하였다. 이는 뇌파를 컴퓨터 게임에 이용하자는 시도로, 레이싱 게임에서 자동차의 속도를 뇌파로 조종하게 되어있다.
- 독일의 튀빙겐 대학교와 미국의 일리노이 대학교에서는 장애인용 워드프로세서를 목적으로 spelling device에 대한 연구를 하였다. 튀빙겐 대학에서는

* 종신회원

SCP(slow cortical potential)를 이용한 워드프로세서를 개발하였으며, 화면에 나타나는 문자 중 하나를 선택해 감으로써 최종적으로 한 문자를 선택하는 방식을 취했는데, 분당 2문자를 선택할 수 있다. 이 작업은 전신마비 환자에 대해 행해짐으로써 장애인용 워드프로세서의 새로운 의미를 갖고 있다.

오스트리아의 Univ. of Tech, Graz에서는 장애인의 보조 기구 조작을 목적으로 커서 제어, 문자/단어 선택에 대한 연구를 하였다. 이는 어떤 동작을 머리에 떠올리면 두뇌의 운동 영역에서 특정한 형태를 갖는 뮤리듬이 발생하는데, 이러한 파형을 신경회로망을 사용해 사용자 의도를 파악하여 장치를 동작시킨다. 이 연구는 미국과 공동연구로 수행되었고, Pfurtscheller 교수 그룹에서 계속 진행하고 있다. 현재 왼손/오른손 동작을 상상할 때의 뇌파를 바탕으로 로봇 팔의 동작을 제어하는 기술을 개발한 상태이다.

미국 뉴욕 주립대에서는 장애인용 인터페이스, 통신을 목적으로 모니터 상의 커서 제어를 연구하였다. 주립대의 Wolpaw 교수팀은 동작을 행하거나 상상을 할 때 감소하는 뮤파를 이용하여 모니터 상의 커서를 상하로 움직일 수 있었다. 하지만 피험자가 사용하기 위해서는 오랫동안 훈련을 해야 하는 단점이 있다.

Alberta 대학의 Alexandar Kostov와 Mark Polak는 다발성 경화증 환자들의 정신 상태에 따라 커서를 제어하는 실험을 하였다. 피험자는 집에서 송강기를 위, 아래로 이동시키는 상상을 하였다.

헬싱키 대학에서는 정신 상태에 따른 뇌파의 특성이 개인별로 약간의 차이가 있으므로 각 개인의 특성을 반영하는 적응성의 뇌 인터페이스(Adaptive Brain Interface ABI) 시스템을 연구하고 가상 키보드와 정신 상태에 따라 스크린 상의 색깔 버튼을 선택하는 시스템에 적용하였다.

보스톤 대학의 Tecce는 이글아이즈 시스템을 개발했다. 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, 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 만들었다.

- Degermann은 비디오 카메라를 모니터에 부착하고 눈의 움직임으로부터 정보를 추출하여 사용자와 컴퓨터 사이에 실시간으로 정보를 주고 받을 수 있는 'Eyegaze'란

시스템을 만들었다.

이처럼 BCI에 대한 연구는 순수 뇌파를 이용한 방법, EOG를 이용한 방법 등 다양하게 이루어지고 있으며 이미 미국, 호주, 일본 등에서는 시제품이 제작, 상용화돼 관심을 끌고 있기도 하다. 그러나 현재의 BCI 기술 수준은 현재 입출력 도구를 대체할 정도의 정확성을 결여하고 있다는 점에서 보다 활발한 연구가 필요하다.

3. 뇌의 구조와 기능

우리의 뇌는 수십억 개의 신경세포(neuron)로 구성되어 있으며, 사람의 모든 행동과 학습, 기억 및 사고는 뇌에서 조절된다. 사람 뇌의 무게는 1250g 내지 1600g이며 남자의 뇌가 여자의 뇌보다 조금 무겁다. 뇌는 다음과 같이 대뇌피질, 소뇌, 간뇌, 시상하부와 시상의 네 개 구조로 나눌 수 있다. BCI와 관련해 가장 적절한 것은 대뇌피질이다. 뇌의 가장 많은 부분을 차지하고 사람에게서 가장 발달된 부분인 대뇌피질은 두 개의 반구로 분할 될 수 있으며, 각각의 반구는 네 개의 엽으로 나눌 수 있다. 이를 전두엽, 두정엽, 후두엽, 측두엽이라고 부른다. 대뇌피질은 기능적으로 운동영역, 감각영역, 통합영역의 세 부분으로 나뉘어진다. 첫째 운동영역은 자발적인 운동과 특정형태의 비자발적인 운동을 조절한다. 둘째 감각영역은 눈, 귀, 접촉, 압력 수용기와 다른 감각 기관에서 전달되는 감각정보를 받으며, 감각 통합영역이 감각정보를 번역한다. 셋째 통합영역은 생각, 학습, 언어, 판단, 개성에 관여하며 기억을 저장하고 감각영역과 운동영역을 연결시킨다. 이러한 각각의 영역은 패턴인식에 기반한 BCI에 사용되어 왔으며, 정신상태는 대뇌피질의 각각 다른 부분을 활성화하는 방법으로 선택된다. 뇌파의 발생을 알아보기 전에 우선 뇌의 해부학적 구조와 각각의 영역별 기능에 대하여 설명하고자 한다.

3.1 대뇌(Cerebrum)

대뇌반구는 뇌의 가장 많은 부분을 차지하고 사람에게서 가장 발달된 부분으로 세로의 열구가 대뇌를 좌반구와 우반구로 나뉘며 각각은 측뇌실을 가지며 6개의 엽(전두엽, 두정엽, 후두엽, 측두엽, 대뇌변연엽, 도엽)으로 나뉘며 지능, 기억, 언어, 의식의 중추이고 모든기관에서 감각정보를 받아서 번역하며 운동기능을 조절한다.

3.1.1 대뇌피질(Cerebral cortex)

대뇌피질은 많은 주름이 잡혀있는 회백질(gray matter)로 튀어나온 부분을 회(gyrus), 들어간 부분을 구(sulcus) 혹은 열(fissure)이라고 부른다. 깊은 구 혹은 열을 경계로 대뇌의 엽(lob)을 구분하는데 정중대뇌중열(median longitudinal fissure)은 정중면에 있으며 좌우의 대뇌반구를 나누고, 중심구(central sulcus)는 전두엽(frontal lob)과 두정엽(parietal lobe)의 경계가 된다. 또한, 외측열(lateral fissure)은 측두엽

(temporal lobe)을 전두엽 및 두정엽과 분리하고 있다. 후두엽(occipital lobe)의 경계는 비교적 뚜렷하지 않다. 외측열 속에는 주변이 피질로 덮여 있어 감추어진 부분이 있는데 이곳을 도엽(insula)이라 한다.

대뇌피질에는 각 부분마다 특징적인 기능을 수행하는 곳이 정해져 있다. 중심구의 앞뒤로 중심전회(pre-central gyrus)와 중심후회(postcentral gyrus)가 있는데 전자는 운동신경섬유가 시작하는 운동중추(motor area)이고 후자는 각종 체성감각을 인식하는 지각중추(somesthetic area)이다. 후두엽의 끝에는 시각중추(visual area)가 있고 측두엽의 상부에는 청각중추(suditory area)가 자리하고 있다. 후각중추는(olfactory area)는 측두엽의 앞쪽에 존재한다.

대뇌피질은 기능적으로 운동영역, 감각영역, 통합영역의 세부분으로 나뉘어진다. 첫째 운동영역은 자발적인 운동과 특정형태의 비자발적인 운동을 조절한다. 둘째 감각영역은 눈, 귀, 접촉, 압력 수용기와 다른 감각기관에서 전달되는 감각정보를 받으며, 감각 통합영역이 감각정보를 번역한다. 셋째 통합영역은 생각, 학습, 언어, 판단, 개성에 관여하며 기억을 저장하고 감각영역과 운동영역을 연결시킨다.

3.1.2 대뇌수질(Cerebral substantia medullaris)

뇌의 각부분을 이어주는 신경섬유들은 대뇌피질 속의 섬유속을 형성하고 있는데 편의상 세가지로 구분한다. 투사섬유(projection fibers)는 대뇌피질과 뇌간 혹은 척수에 있는 하급중추 사이를 이어주는 섬유로 내낭(internal capsule)을 예로 들 수 있다. 교련섬유(commisural fibers)는 반대측의 대뇌반구를 서로 이어주는 섬유로 뇌량(corpus callosum)이 대표적인 예이다. 연합섬유(association fibers)는 같은쪽 대뇌반구 내의 피질을 서로 이어주는 섬유로 인접한 회 사이를 연결하는 단연합섬유와 엽간을 이어주는 장연합섬유가 있다.

3.1.3 기저핵

대뇌의 회백질 중 대뇌반구 속에 파묻혀 있는 신경핵이 있는데 이를 기저핵이라 부르고 여기에는 미상핵(caudate nucleus), 담창구(globus pallidus), 피각(putamen) 등이 포함된다. 옛 학자들은 피각과 담창구를 합쳐 렌즈형핵(lentiform nucleus)이라 부르기도 하였다.

3.1.4 후뇌

대뇌반구 중 가장 오래된 구조물은 주로 대뇌의 바닥에 존재하며 후각에 관계된 구조물인데 이를 후뇌라고 한다. 이들은 후각과 관계할 뿐만 아니라 일부 시상(thalamus), 시상하부(hypothalamus), 대뇌피질과 함께

공포감, 걱정감, 동기 등 감정반응에 중요한 기능을 수행하며 기능상 변연계(limbic system)로 분류된다.

3.2 간뇌(Diencephalon)

전뇌에 속하는 구조로 대뇌반구에 둘러싸여 뇌의 중앙에 위치하고 있어서 잘 보이지 않는다. 제 3뇌실의 양측에 위치하며 시상(thalamus), 시상하부(hypothalamus)와 뇌하수체(pituitary gland)로 구성되어 있다. 시상은 달걀 모양의 구조물로 거의 전부가 회백질로 되어 있으며 감각의 연결중추로 후각을 제외한 모든 감각을 종합, 대뇌피질로 전달하는 역할을 수행한다. 시상하부는 시상의 아래에 있으며 체온조절, 체액 및 전해질 균형의 조절, 음식물 섭취의 조절(식욕)등 신체의 항상성(homeostasis) 유지에 관여한다. 또한 뇌하수체는 신경하수체(neurohypophysis)와 내분비선인 선하수체(adenohypophysis)로 구성되어 있으며 누두(infundibulum)에 의해 시상하부에 붙어있다.

3.2.1 시상(Thalamus)

제 3뇌실의 양쪽에 위치하며 백질로 부분적으로 덮힌 회백질 두 덩어리로 구성되어 있으며 많은 중요한 핵을 가지고 있다. 시상의 기능으로는 척수와 대뇌사이에서 정보를 전달시키는 주요중계 중추이며, 들어오는 메시지를 정렬하고 시상핵 내에서 부분적으로 번역하는 기능을 한다.

3.2.2 시상하부(Hypothalamus)

뇌실의 복면바닥을 형성하고 있으며 많은 핵을 포함하고, 시신경 교차는 시각신경의 교차를 나타낸다. 뇌하수체간은 뇌하수체를 시상하부에 연결시키며 체온조절, 식욕, 액평형에 대한 중추를 포함하며 뇌하수체를 조절하는 방출 호르몬을 분비하고, 자율기능 조절에 도움을 준다. 감정이나 성적반응에 관여를 한다.

3.3 소뇌(Cerebellum)

소뇌는 뇌에서 두 번째로 큰 부분이며 두 개의 측소뇌반구로 구성되었다. 제 4뇌실에 의해 뇌간과 분리되어 있으며 뇌간과는 상·중·하 소뇌각(superior, middle and inferior cerebellar peduncles)에 의해 각각 뇌간의 중외, 교, 연수와 이어져 있다. 소뇌는 2개의 소뇌반구(cerebellar hemispheres)와 가운데의 충부(vermis)로 구성되며 표면은 얇은 회백질로 덮여 있고 깊게 홈이 파져 있어 정중단면에서 보면 나뭇가지 모양을 하고 있다. 소뇌는 불수의적으로 작용하여 골격근의 운동이 조화로우 이루어지도록 하는 작용하며 부드럽고 통일된 움직임에 관여하며 자세와 근육의 톤을 유지하고 평행을 유지하는데 도움을 준다.

3.4 뇌간(Brainstem)

뇌간은 연수(medulla oblongata), 교(pons), 중뇌(midbrain)로 구성되어 있으며 그 뒤에는 소뇌(cerebellum)가 위치하고 있다.

중뇌는 간뇌와 교 사이에 위치하며 제 3, 4 뇌신경의 기시핵을 가지고 있다. 간뇌의 제 3뇌실은 중뇌수도로 좁아져 있고 중뇌수도의 뒤쪽에는 상구(superior colliculus)와 하구(inferior colliculus)라 하는 2쌍의 돌출구조를 가지고 있는 사구판(quadrigeminal plate)이 있다. 이는 각각 시각과 청각의 전도에 관여하는 구조물이다. 앞쪽에는 대뇌반구와 연결된 섬유들의 통로인 대뇌각(cerebral peduncle)이 한 쌍 있고 그 사이는 움푹하게 파여 있어 각간와(interpeduncular fossa)라 한다.

교는 중뇌와 연수의 사이에 위치하며 주로 대뇌와 연결된 섬유로 구성되어 있고 많은 섬유가 뒤의 소뇌와 이어지고 있어 운동의 조절에 관여한다. 이외에도 제 5, 6, 7 뇌신경의 기시핵이 위치하고 있으며 호흡중추와 골격근의 긴장(muscle tone)을 조절하는 중추가 위치한다.

연수는 척수와 뇌의 경계부위에 있어 양측을 연결하는 신경섬유의 통로가 된다. 전면에는 추체(pyramid)가 있어 대뇌피질에서 척수로 가는 운동신경섬유의 통로가 되며 연수의 하단에서 반대편으로 건너가는데 이를 추체교차(pyramidal decussation)라 한다. 속에는 많은 신경세포와 섬유가 복잡하게 얽혀 있는 곳이 있어 이

를 망상구조체(reticular formation)라 하고, 뇌간의 전체를 상행하여 간뇌까지 이어져 있다.

연수에는 심박동, 혈압, 호흡, 타액분비, 기침, 구토 등을 지배 조절하는 많은 중요한 중추가 있으며 제 7뇌신경으로부터 제 12뇌신경에 이르는 6개 뇌신경의 기시핵이 존재한다.

3.4.1 연수(medulla oblongata)

뇌간의 아랫부분에 있으며 척수와 연결되어 있다. 백질은 척수와 뇌의 여러부분 사이를 지나가는 신경다발로 구성되었으며 회백질은 핵으로 구성되어 있으며, 심장고동, 호흡, 혈압을 조절하는 부위를 가진다. 삼키기, 기침, 재채기, 구토 등을 조절하는 반사중추를 가지며, 메시지를 뇌의 다른 부분으로 전달한다.

3.4.2 교(pons)

연수와 뇌의 다른 부분 사이를 지나가는 신경다발로 구성되어 있고 뇌간 앞의 표면에 별지를 형성한다. 호흡중추를 가지며, 뇌의 여러부분을 연결시키고 통합시키는 연결부로 작용하며 호흡을 조절하는데 도움을 준다.

3.4.3 중뇌(midbrain)

교에 대해 상위에 위치하며 흥행을 가지고 있다. 강은 중뇌수도 후면은 상·하소반구로 구성되어있으며, 상방소구는 시각반사에 관여하며 하방소구는 청각 반사에 관여한다. 흥행이 근육의 톤과 자세에 대한 정보를 통합한다.

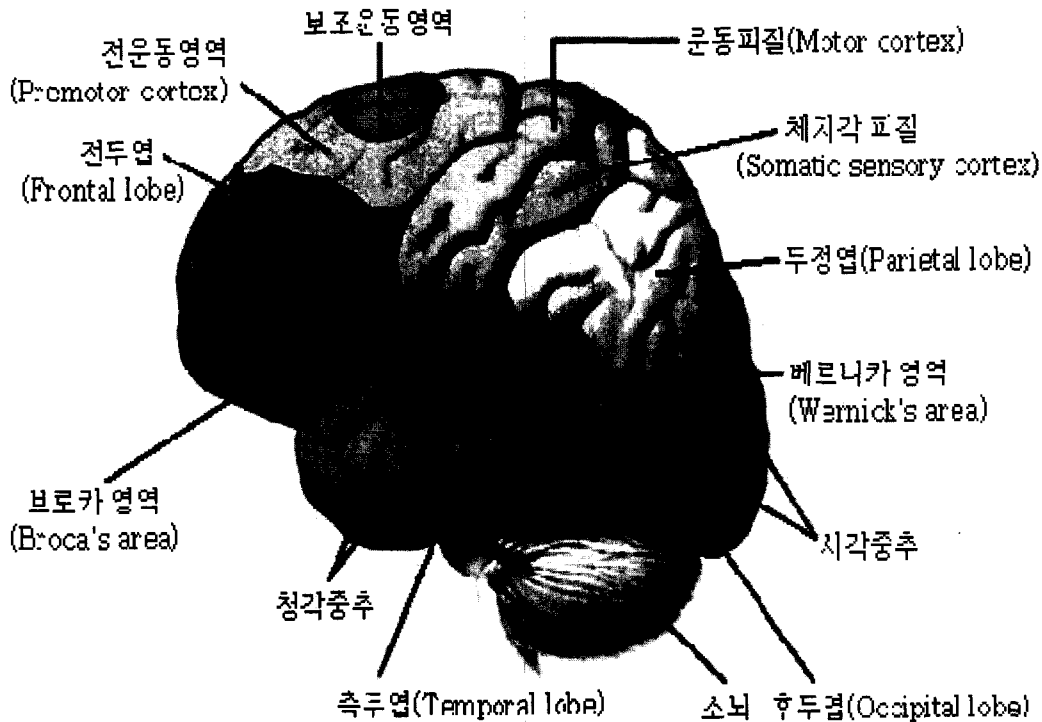


그림 1 뇌의 구조

4. 뇌파(EEG)의 발생과 종류

EEG란 뇌의 수많은 신경에서 발생한 전기적인 신호가 합성되어 나타나는 미세한 뇌 표면의 신호를 전극을 이용하여 측정된 전위를 의미한다. 뇌파신호는 뇌의 활동, 측정시의 상태 및 뇌기능에 따라 시공간적으로 변화하는데 뇌파의 측정은 뇌 기능과 장애를 진단하기 위한 필수적인 과정이다. 일반적으로 뇌파신호는 주파수에 따른 대역별 특성, 시간영역에서의 특성, 그리고 뇌 기능과 관련된 공간적 특성을 함께 가지고 있다. 뇌파는 1~50Hz의 주파수와 약 10~200 μ V의 진폭을 가지며 독일의 신경생리학자 Hans Berger에 의해 처음 시도되었다.

4.1 뇌파의 발생

뇌파는 피질막 신경세포의 전기적 방전의 변화에 의해서 하며, 다른 신경세포처럼 이들 뉴런은 세포안과 세포밖 사이의 전기적 전위가 다른 안정막 전위를 갖고 있다. 이 안정막 전위는 다른 뉴런으로부터 세포체에 위치한 시냅스 또는 접촉점으로 들어온 자극으로부터 변화한다. 이러한 자극은 세포체나 수상돌기의 막을 따라 흐르는 전기량을 일으키는 국소적 시냅스 후전위를 유지시켜 준다. 이러한 변화는 짧은 동안의 활성전위를 만들어 축삭돌기를 따라 전파시키면서 막이 완전히 방전을 잃어버리는 수준으로 막전위를 감소시킬 수 있다. 표면 뇌파에서의 변동은 주로 비교적 느린 시냅스 전위에 의한 측두엽 부위의 전기적 흐름에 의해 일어난다.

4.1.1 뉴런의 구조

뉴런(neuron)은 신경계의 구조적·기능적 단위이며 세포체와 많은 세포질 돌기인 수상돌기 그리고 단일의 긴 세포질 돌기인 축삭으로 구성되었다.

가. 세포체 세포체(cell body)는 핵과 세포질 및 많은 다른 세포소 기관을 갖고 있는데 주로 대사유지 및 뉴런의 성장에 관여한다.

나. 수상돌기 수상돌기(dendrite)는 세포체로부터 돌출된 세포질 돌기가 고도로 분지한 것으로 수상돌기와 세포체 표면은 특수화 되어서 자극을 받을 수가 있다. 이들의 표면은 수천개의 작은 수상돌기 가시가 덮여 있는데 이들은 다른 뉴런과의 특수화된 연결부위가 되고 있다.

다. 축삭 축삭(axon)은 세포체의 비후된 부위인 축삭 기시구에서 생겨나오는데, 이는 신경충격을 세포체에서 다른 뉴런으로 보낸다.

4.2 신경충격의 전도

수용기가 일단 흥분을 하게 되면 정보는 뉴런들을 통해서 전도되어야 한다. 신경충격이 뉴런의 길이를 따라

내려가는 전도는 일종의 전기화학적 과정인데, 이는 이온분포의 변화에 의해서 이루어진다.

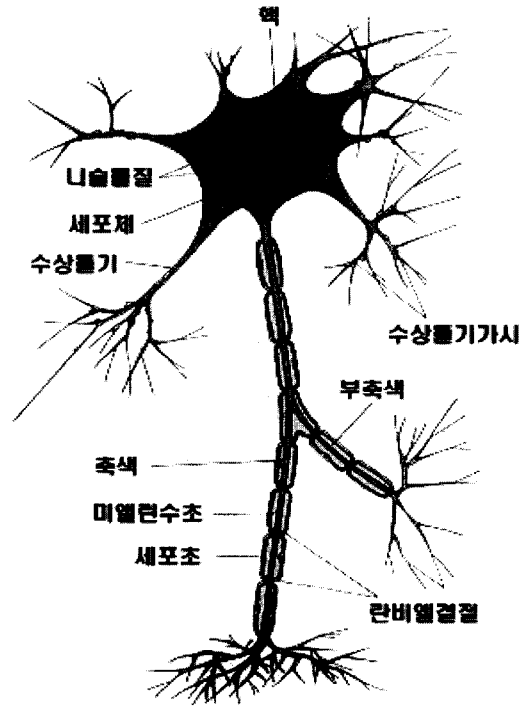


그림 2 뉴런의 구조

4.2.1 휴지 막전위

신경세포막의 안쪽에는 K⁺ 이온이 있으며, 세포막의 바깥쪽에는 Na⁺ 이온을 가지고 있다. Na⁺ 이온이 K⁺ 이온보다 더 많이 존재하여 세포막의 안쪽은 음전하를, 세포막의 바깥쪽은 양전하를 띤다. 이때의 휴지 막전위는 약 70mV가 된다.

4.2.2 활동전위

신경에 자극이 주어질 경우 세포막의 나트륨 이온에 대한 투과성을 증가시키거나 뉴런을 세포간질액에 대해서 더욱 음전하를 띄게 함으로써 휴지 막전위를 바꾼다. 신경세포막은 능동적으로 Na⁺ 이온을 세포 밖으로, 그리고 K⁺ 이온을 세포 내로 보낸다. 따라서 탈분극이 되면서 활동전위가 발생한다.

4.2.3 시냅스 후전위

활동전위로 인하여 인접 부위에서도 연속적으로 탈분극이 일어나며, 탈분극 되었던 부분들은 다시 휴지 막전위로 재분극 된다. 이러한 현상이 연속적으로 일어나는 것을 전도라고 하며, 신경의 충격이 시냅스 소두(synaptic knob)에 도달되면 아세틸콜린이나 노르에피네프린 등의 화학물질이 방출되어서 인접한 수상돌기에 전위 변화가 발생하는데 이것을 시냅스 후전위라고 한다.

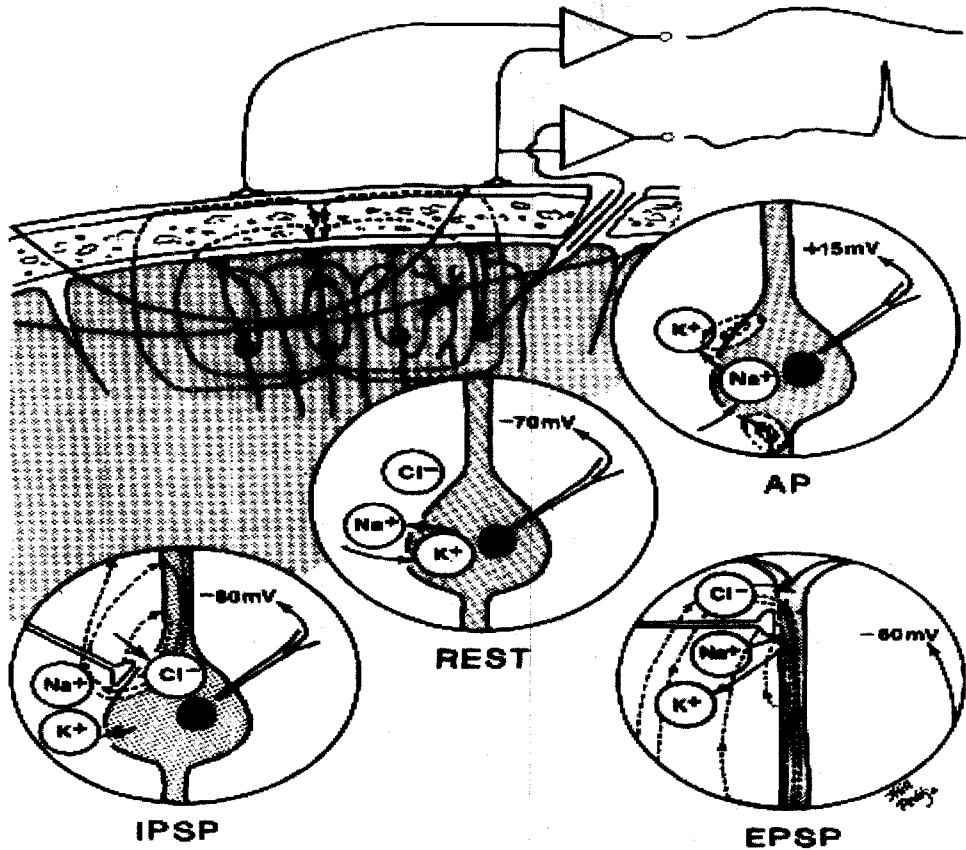


그림 3 대뇌피질에서의 뇌파의 발생

4.3 뇌파의 종류

측정된 뇌파는 1~50Hz의 주파수와 약 10~200 μ V의 진폭을 갖는다. 아무런 자극이 없을 때 주파수와 전압의 범위에 따라서 델타파, 쉼타파, 알파파, 베타파, 감마파로 구분하며, 주파수가 높아짐에 따라서 진폭이 작아짐을 알 수 있다.

가. 델타파(δ wave) 0.2~4Hz의 주파수와 20~200 μ V의 진폭을 가지며, 정상인의 수면상태나 신생아에서 주로 나타난다.

나. 쉼타파(θ wave) 4~8Hz의 주파수와 20~100 μ V의 진폭을 가지며, 정서적으로 안정된 상태나 수면에 빠지기 전에 나타난다.

다. 알파파(α wave) 8~13Hz의 주파수와 20~60 μ V의 진폭을 가지며, 긴장이 이완된 편안한 상태에서 나타나며 안정된 상태 일수록 진폭이 증가한다.

라. 베타파(β wave) 13~30Hz의 주파수와 2~20 μ V의 진폭을 가지며, 깨어 있거나 의식적인 활동을 할 때 나타난다.

마. 감마파(γ wave) 30~50Hz의 주파수와 2~20 μ V의 진폭을 가지며, 흥분했을 때 나타난다.

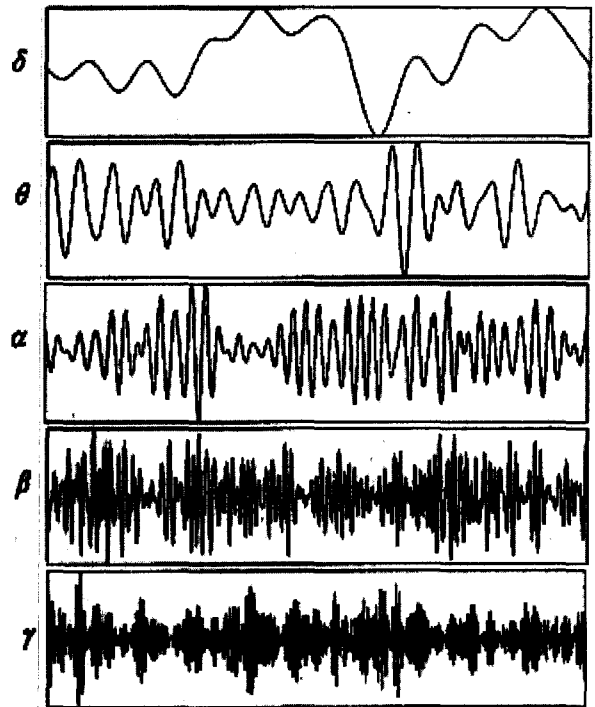


그림 4 주파수 대역별 뇌파

5. 전극(Electrodes)의 위치

일반적으로 뇌파라 하면 두피 전극에서 포착된 두피 뇌파 (scalp EEG)를 말한다. 그러나 두피 뇌파 외에도 사용하는 전극이나 설치 방법에 따라서 뇌피질 뇌파 (ECoG, Electrocorticogram), 접형 전극 뇌파(sphenoidal electrode EEG), 난원공 전극 뇌파 (foramen ovale electrode EEG), 심부전극뇌파 (depth electrode EEG) 등등 여러 가지 기록 방법이 있다. 물론 이러한 전극의 종류에 따라 주로 보고자 하는 부위나 뇌파 기록 목적이 다양하다. 임상적인 진료 목적에 따라 전극을 선택해 사용하여야 하는 것은 물론이고 기초 의학 연구 목적으로 뇌파를 기록할 때도 목적에 따라 부착 부위와 전극의 종류를 잘 선택해 사용하여야 한다. 만약 잘못 선택된 부위나 기록 방법에서 얻어진 뇌파를 자료로 분석하게 되면 출발부터 잘못되어 엉뚱한 결과에 도달할 가능성도 있다. 일반적으로 두피 뇌파 기록에 사용되는 두피 전극 부착은 international 10-20 system 을 따른다. 좀 더 정확한 위치 판별이 가능하도록 International 10-20 system의 전극들 사이에 하나씩의 전극들을 더 부착하여 Modified Combinatorial Nomenclature 명명법이라고 하였다.

5.1 국제 10-20 전극 배치법

International 10-20 system은 가장 널리 사용되는 뇌파 전극 부착 방법으로서 각 전극별로 해당되는 뇌 부위가 그림 5와 같다. 영문자는 각각 Frontal, Central, Parietal, Temporal, Occipital을 의미하며 Fp

는 Frontopolar를 의미한다. 이 그림은 머리를 위에서 본 그림으로서 각 전극간 비율이 두정부(Cz)에서 앞으로는 nasion, 뒤로는 inion, 옆으로는 양쪽 컷바퀴의 윗부분까지를 각각 50으로 했을 때 20, 20, 10의 비율로 각 전극을 잡은 것이다. 이러한 설명을 옆면에서 그림으로 보이면 오른쪽 그림같이 보이게 된다. 이러한 전극 부착 방법은 오랜 기간 동안 널리 이용되어 왔고 지금도 잘 쓰이고 있다.

5.2 Modified Combinatorial Nomenclature 전극 배치법

International 10-20 system의 전극들 사이에 하나씩의 전극들을 더 부착하게 되면 조금 더 정확한 위치 판별이 가능해질 것이다. 이러한 근거에서 추가적인 전극을 더 부착하게 되었는데 문제는 전극의 명칭에 있다. 초기에는 D, E 등의 기존에 사용되지 않던 영어 문자들을 이용하기도 하였으나 평면상에 가로, 세로로 전극의 수가 두 배가 되니 전체적인 전극 수는 4배로 늘게 되었다. 따라서 좀 더 체계적인 방법으로 전극 명칭을 붙이고자 하는 시도가 있었고 생각해 낸 방법이 기존 10-20 system 전극의 문자와 숫자를 이용하는 방법이었다. 즉, F와 C 사이는 FC, C와 P 사이는 CP의 방식으로 이름 붙이면 앞에서 뒤로의 10% 위치는 이름을 붙일 수 있고 nasion과 inion을 잇는 중앙에서 양측 방향으로 10% 위치는 10-20 system에서 사용하지 않았던 1,2,5,6,9,10 등의 숫자를 사용하게 되면 명명이 가능해진다. 이러한 명명법을 Combinatorial nomenclature 라 한다. 그런데 이렇게 할 경우 C3, T3, P3, T5 (그

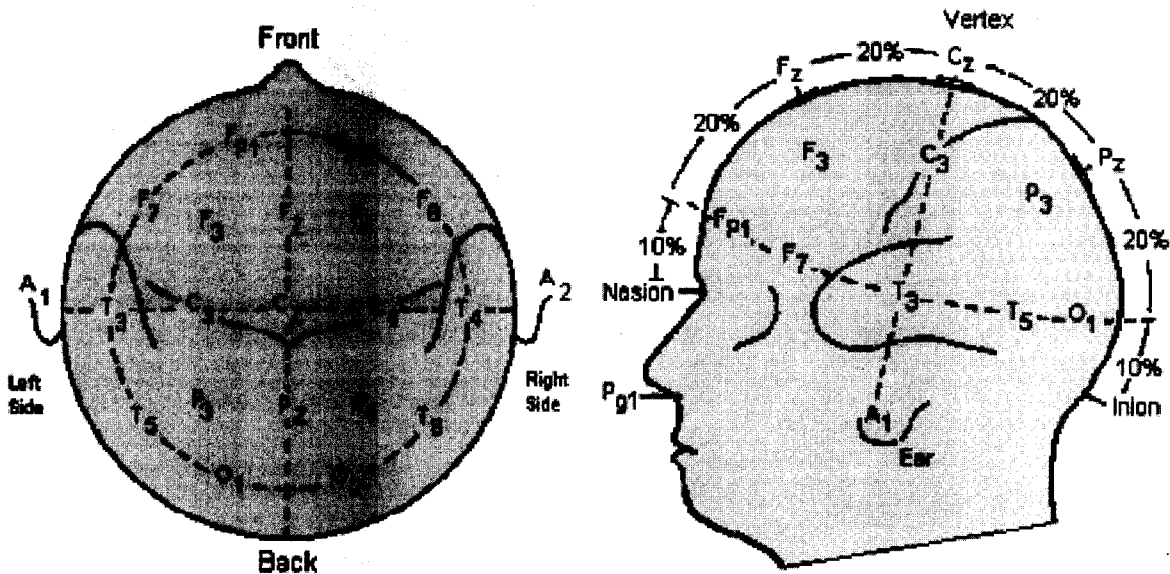


그림 5 국제10-20 전극 배치법

리고 C4, T4, P4, T4) 부분에 문제가 생기게 된다. 즉, combination을 할 수 없는 상황이 생긴다. 애초에 이 부분은 해부학적인 위치와 영문자가 어긋나는 관계로 측두엽(temporal lobe)에 해당하는 부위를 T로 이름 붙이고자 하여 10-20 system의 명명법을 선택하게 되었던 것이다. 그러나 10-20 체제에서도 문제가 있는 것이 중앙선에서 20%, 20%마다 숫자를 3, 7 (우측은 4, 8)로 붙인다는 규칙을 측두엽에서는 어긋게 된다는 점이다. combination에 혼란이 오는 이유로 하여 이러한

혼란을 해소하고 규칙성을 되찾기 위해서는 T3를 T7, T5를 P7, T4를 T8, T6을 P8로 고치게 되면 해부학적 위치와 영문자가 다소 어긋나지만 늘어난 전극들을 일목요연하게 명명할 수 있는 체계를 갖출 수 있게 된다. 이 명명법이 Modified Combinatorial Nomenclature이다. 다음의 그림 6이 Modified Combinatorial Nomenclature 명명법을 적용한 전극 명칭이며 진하게 표시한 부분이 international 10-20 system과 다르게 명명되는 전극이다.

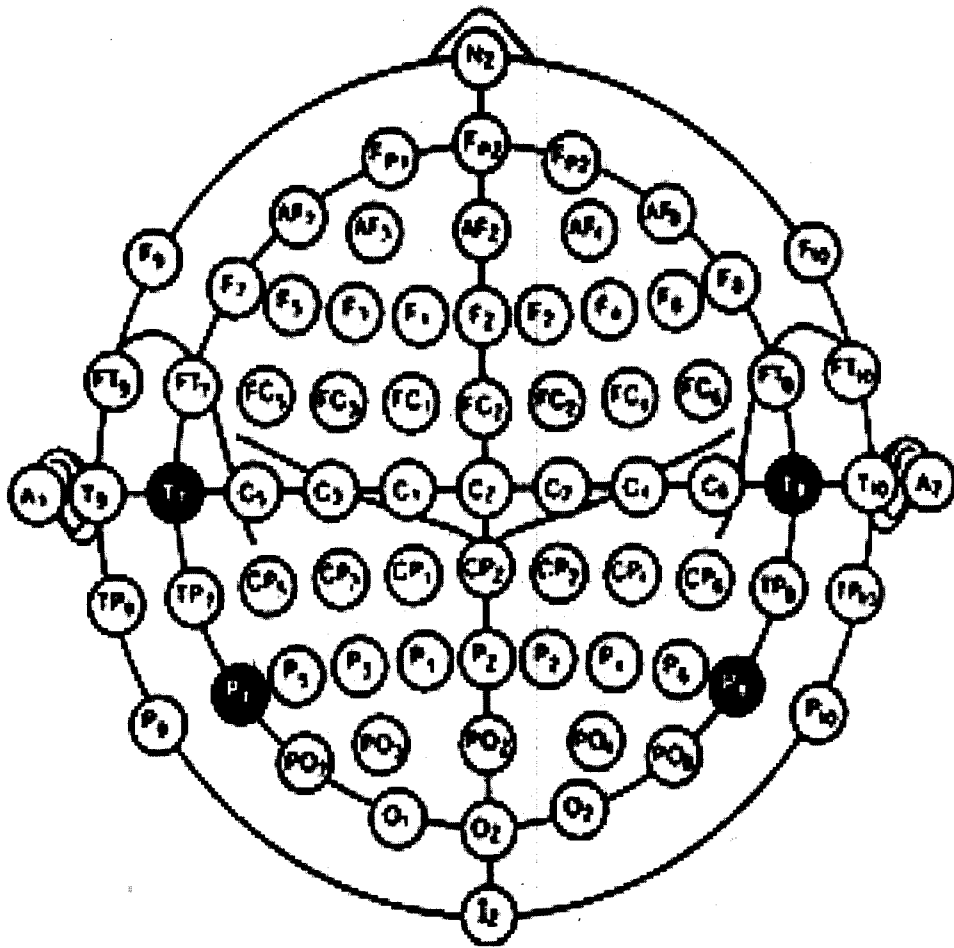


그림 6 Modified Combinatorial Nomenclature(MCN) 전극 배치법

6. BCI 시스템 구성

뇌-컴퓨터 인터페이스(Brain-Computer Interface)는 인간과 컴퓨터 상호작용을 연구하는 HCI(Human Computer Interaction)의 한 분야로써, 뇌파기를 통해 특정 상태의 뇌파 신호를 측정하여 특이점이나 특징을 추출하고 이를 분류한 후 일반적인 제어 신호로 변환하여 컴퓨터나 기기 등을 제어하는 시스템 관련 기술이다. 뇌-컴퓨터 인터페이스 시스템의 구조는 그림 7과 같

다. 먼저 국제 10-20 전극 배치법에 따라서 전극을 부착한 후 사용자의 특정 정신 상태에 따른 뇌파 데이터를 뇌파기를 통해 측정한다. 측정된 뇌파 데이터는 AD 컨버터를 거쳐 디지털 신호로 전환되어 컴퓨터로 입력된다. 입력된 뇌파데이터를 우선 각종 알고리즘을 이용하여 적당한 신호 처리를 한 후 이를 인식, 분류하여 제어 신호로써 일반화시킨다. 이러한 과정을 거친 최종 출력 신호는 각종 기기에 응용되며, 이러한 적용 시스템은 사용자에게 피드백 되어 컴퓨터와 통신할 수 있게 된다.

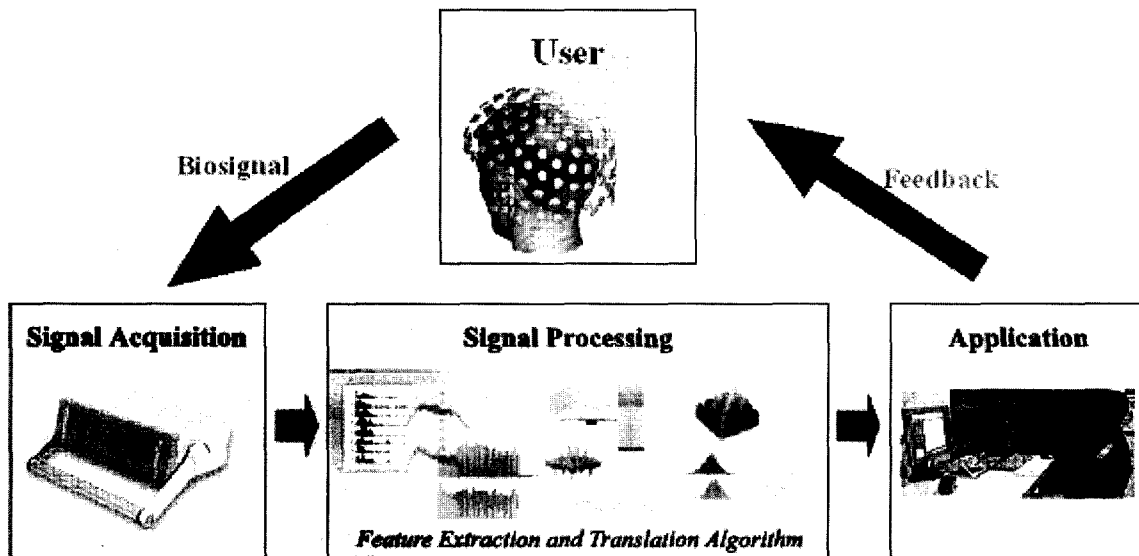


그림 7 BCI의 구조

6.1 신호측정(Signal acquisition)

가장 먼저 사용하는 뇌파기를 기본 S/W나 하드웨어에서 장비의 샘플링 주파수, 이득(gain), 측정 채널 등을 설정한다. 또한 뇌파기와 컴퓨터의 통신모듈을 점검하여 이상이 없는지를 확인한다. 만약 뇌파기에서 아날로그 신호가 바로 나온다면 아날로그 신호를 디지털 신호로 바꾸어 주는 AD 컨버터를 뇌파기와 컴퓨터 사이에 연결해 주어야만 한다. 이러한 기본적인 셋팅이 완료되면 피험자의 두피 위의 원하는 부위에 비침습적이나 침습적인 방법으로 국제10-20 전극배치법에 따라서 전극

을 부착한다. 실험에 참가한 피험자가 BCI 시스템에 대한 기본 지식이 있는 사람이라면 상관없겠지만, 만일 피험자가 BCI에 대한 기본지식이 없다면 측정하기 전에 피험자에게 실험에 대한 자세한 내용을 설명하여 측정 방법에 대한 기본적인 내용을 숙지하게 하여야 한다. 이는 뇌파측정 도중에 원하지 않은 돌발적인 행동을 없애기 위해서이다. 피험자는 모니터에서 나오는 지시에 따라서 그에 해당하는 뇌파를 발생하면 된다. 이를 반복하여 다수의 뇌파 데이터를 컴퓨터의 저장매체에 저장하며, 이렇게 저장된 뇌파 데이터는 특징을 추출하고 분류 알고리즘을 학습시키는데 사용된다.

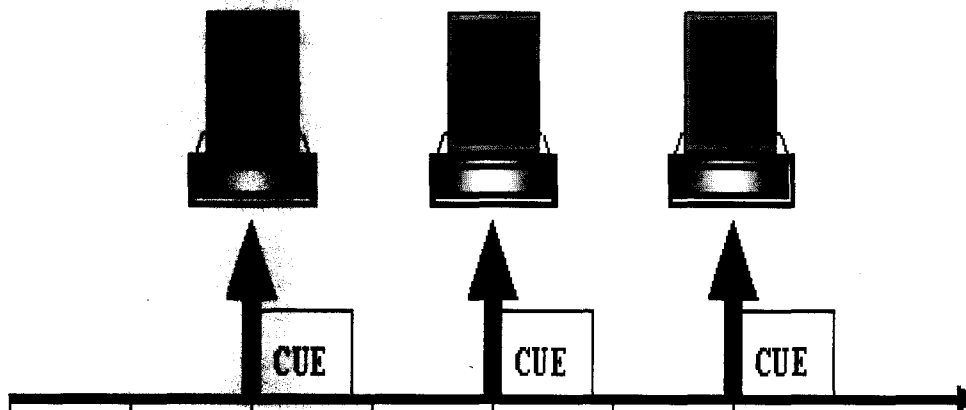


그림 8 뇌파 측정 과정의 예

6.2 전처리(Preprocessing)

측정되는 뇌파 데이터에는 여러 가지 잡음이 섞여 측정되기 쉬우므로 측정시 피험자의 주의가 필요하다. 피험자의 주의에도 불구하고 눈동자 움직임에 의한 잡파는 무의식 중에도 발생하기 쉽기 때문에 이러한 잡파를 제거하기 위한 전처리 과정을 거쳐야 한다. 전처리에서는

미약한 뇌파 신호를 증폭하여 원하는 진폭의 데이터를 만들거나 측정될 때 섞여있는 주변의 잡음을 걸러주기 위해 Bandpass 필터나 notch 필터를 사용하여 잡음을 걸러주어 가능한 한 잡파를 제거한다. 하지만 뇌파는 두 개골을 통해서 나오기 때문에 뇌의 여기저기 신호가 섞여서 나온다. 이는 독립성분 분석법(ICA : Independ-

ent Component Analysis)을 사용하여 섞여진 신호에서 각각의 성분을 분리하여 원하는 신호만을 얻을 수 있다. 아무리 알고리즘이 좋아도 잡음이 섞이면 인식율은 나빠지기 때문에 전처리 부분 역시 중요하다고 할 수 있다.

6.3 형태추출(Feature extraction)

형태추출을 하는 이유는 신호를 분류할 때 인식율을 높이기 위하여 EEG 측정 장치로부터 들어온 뇌파데이터의 정보를 변환하는 것이다. 다시 말하면 데이터의 성분들 중에서 중요하거나 혹은 중요하지 않은 부분을 명확하게 구분해 주기 위한 단계이다. 이 단계에서 구별이 뚜렷하다고 생각되는 특징들은 전처리 되고 디지털화 된 뇌파 신호로부터 추출된다. EEG 신호 분석에서 파워스펙트럼은 오랜시간 동안 중요하게 사용되어 왔다. 파워스펙트럼은 시간영역에서 신호의 해석이 어려울 때 신호를 주파수 성분으로 바꾸어 준다. 이렇게 바뀌어진 신호에서 일반적인 특징들은 파워스펙트럼의 특정 주파수 대역에서 나타난다. 대부분 사용되는 스펙트럼 분석법은 푸리에 변환이다. 푸리에 스펙트럼의 형태는 두 가지 다른 방법으로 추출된다. 첫번째는 Welch 방법 그리고, 두 번째는 Blackman-Tukey 방법, 다른 접근은 AR 모델의 전달함수를 사용하는 것이다. 웨이블릿 변환은 오늘날 대중적인 많은 부분을 차지하고 있다. 이는 시간과 주파수의 두 가지 특성을 반영해 준다. 하역튼 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 이용하더라도 이 신호들을 분류하는 것은 매우 어렵다. 다시 말해서, 특징들이 충분히 다른 신호들과 뚜렷이 구별된다면, 어떤 분류기를 사용하더라도 쉽게 특징을 분류할 수 있다.

6.4 전환 알고리즘(The transition algorithm)

분류 알고리즘은 각각의 뇌파 데이터가 어떤 집단에 속하는지를 분류하는 알고리즘이다. 형태추출 단계에서 추출된 특징들은 분류기(Classifier)의 입력으로 이용된다. 여기서 분류 알고리즘은 측정된 여러 뇌파모델을 사용하여 클래스를 구별할 수 있도록 학습 되어진다. 이때 특징추출이 잘 되었다면 인식율 역시 높게 나온다. 보통 BCI 시스템에서는 두 개에서 다섯 개의 클래스를 학습시키는데 하나하나의 뇌파 데이터는 분류기를 통하여 각각의 클래스로 분류될 수 있다. 분류기는 비교적 간단한 선형 모델인 선형판별 분석법에서부터 복잡한 비선형 뉴럴 네트워크 등 어떤 것을 사용하든 상관없다. 다만 입력으로 사용되는 뇌파모델에 따라 알고리즘을 적

용시켜서 최적의 성능을 발휘하는 알고리즘의 조합을 알아내어 적용해야 한다. 분류기에는 각 클래스의 입력을 통해 확률적인 계산을 하는 것도 있다. 예를 들어 은닉 마코프 모델(Hidden Markov Model)을 들 수 있는데 이는 가장 높은 확률을 가지는 클래스를 선택한다. 그러나 단일 분류 확률이 정의된 수준을 초과하지 못한다면, 아무런 클래스도 선택하지 않을지도 모른다.

6.5 응용(Application)

분류기를 거쳐 최종적으로 나오는 출력은 임의의 기기 제어를 위한 명령어로 바뀌어 사용된다. 임의의 기기는 분류 결과로 나오는 신호에 따라서 미리 사용자에게 의해 정해진 지시대로 수행을 한다. 분류 결과로 나온 신호는 여러 가지 장치에 응용될 수 있다. 일반적으로 BCI에서의 응용 기기는 입력 장치이다. 예를 들어, 컴퓨터 화면의 커서를 상하로 움직이거나 가전기기의 On/Off 또는 워드프로세서에서 문자를 선택 한다든지 혹은 로봇 팔이나 휠체어를 제어하는 일에 응용될 수 있다.

7. BCI에서 사용되는 뇌파

7.1 뮤파(Mu-rhythm)와 베타파(β -rhythm)

대부분의 BCI 연구는 팔의 움직임에 대한 상상이나 발의 움직임을 사용한다. 이는 움직이거나 움직이려고 할 때 사라지는 것으로 볼 때 운동피질(motor cortex)과 관련이 있다. 그리고 주기가 초당 9에서 11번 움직여서 뇌파 학습기에 많이 응용되는 알파파와 유사하나, 주로 자발적인 동작과 관련성이 깊다.

Mu 파를 처음 발견한 연구는 Gastaut et al. (1952)이다. 인간의 신체 움직임과 직접적인 관련이 있는 mu 파의 특징은 sensorimotor cortex에서 발견되는 8~12Hz의 자발적인 뇌파 활동이다. 또한 시각 자극에 영향을 거의 받지 않고, 인간의 손 움직임과 움직임의 준비과정에 직접적인 영향을 받는다. 이런 특성은 같은 주파수 대역의 후두엽 alpha 파와 확연히 구분되는 특징이다. 또한 손을 움직일 때 움직인 손의 반대쪽 반구에서 mu 파가 쇠약해지거나 차단되며 몇 개월에 걸친 지속적인 연습을 통해 mu 파의 amplitude를 증가시킬 수 있으며, 대부분의 성인에게서 발견된다.

신체 움직임을 구분할 수 있는 EEG로는 mu 파 외에 베타파가 많이 활용된다. 베타파는 알파파와 같이 자발적으로 나타나며 1 초에 13 회에서 40 회 정도 움직인다. 신체 움직임과 관련된 베타파는 주로 운동 관련 기능이 집중되어 있는 중두엽 부근에서 측정된다. 신체 움직임에 의한 베타파의 변화를 처음으로 연구한 사람은 Jasper

와 Ptenfield (1949)이다. 중두엽 베타파의 특징을 살펴보면 우선 직접적인 움직임보다는 움직이려는 의지나 준비과정에 의해 영향을 받는다. 또한 30Hz 보다 낮은 대역의 베타파는 신체 움직임 뿐만 아니라 시각 자극의 처리나 머리 속의 상상에 의해서도 영향을 받으며 mu 파와 마찬가지로 움직이는 신체 부위와 반대쪽 반구에서 반응하여 약화되고 mu 파보다 빠르게 회복된다.

7.2 사건관련전위(ERP : Event-Related Potential)

사건관련전위는 특정한 정보를 내포하고 있는 자극을 제시한 다음 이 자극 제시와 관련하여 일정 시간 동안 일어나는 뇌의 전기적 활동을 의미한다. 다시 말하면 제시된 자극에 대한 반응으로서 나타나는 뇌의 전기적 활동을 말하며, 자극을 제시함과 동시에 자극의 처리 과정을 직접적으로 관찰할 수 있다는 장점을 갖고 있다.

ERP의 한 부분인 유발전위(EP : Evoked potential)는 특정한 시각, 청각, 체성감각 자극에 응답하여 발생한다. 이러한 EP의 대표적인 예로 시각유발전위 (VEP : Visual Evoked Potential)를 들 수 있다. 이러한 VEP는 시각 자극을 주어 시각피질 (visual cortex) 위의 두 피에서 기록된 뇌파를 말한다. 이것은 검출하기 쉬우며 패턴인식을 쉽게 만든다. 그러나 향상된 제어를 하기 위하여 피험자가 훈련하는 시간을 가져야만 한다.

ERP 구성 성분 중에서 많은 관심을 가지고 이론적으로, 경험적으로, 임상적으로 광범위하게 연구들이 이루어지고 있는 것이 P300이다(Donchin & Coles, 1988; Donchin, Karis, Bashore, Coles, & Gratton, 1986; Polich, 1993). P300은 300~600msec 사이에서 발생하는 매우 크고 뚜렷한 파형의 양 전위 성분을 말한다(Pritchard, 1981). P300은 여러 연구를 통해서 의사결정, 신호의 확률, 주의, 변별, 불확실성의 해상도, 자극의 관련성, 정보의 전달 등의 여러 다양한 인지적 활동과 관련이 있다는 결과들이 보고되고 있다(Donchin et al., 1988; Katayama & Polich, 1996; Picton, 1992; Polich, 1998). Sutton 등이 P300을 처음으로 보고한 이후 많은 추후 연구들이 다양한 실험 방안을 사용하여 P300을 측정하였는데, 가장 대표적인 실험 방안이 'oddball 방안'이다. 자극의 제시 빈도를 조작하여 자극의 정보전달 양을 변화시키는 실험 방안을 'oddball 방안'이라고 한다. 이러한 P300은 심리적 과정의 신경생리적 지표로 활용될 수 있으며, 불확실감의 해소, 선택적 주의력, 자극 탐지, 기억 스캐닝 등의 여러 인지 기능을 반영한다. P300의 진폭은 자극의 확실한 처리 및 확신을 반영하며, 과제의 난이도에 반비례하여 나타난다(Hillyard, Squires, Bauer, & Lindsay,

1971; Ruchkin & Sutton, 1978; Squires, Hillyard, & Lindsay, 1973). 즉, P300의 진폭이 크게 나타나는 것은 자극이 명확하고, 판단에 대한 확신이 높고, 전달된 정보의 양이 많다는 것을 반영한 결과라는 것이다. 한편, Fitzgerald와 Picton(1983)은 동일 조건 내에서 어려운 변별자극과 쉬운 변별자극을 번갈아 가며 같이 제시한 실험에서 변별을 어렵게 할수록 P300의 잠재기가 늦어지고 동시에 진폭이 줄어든다는 결과를 보고하였다. P300의 잠재기는 자극의 분류 속도에 대한 지표로 간주된다(Kutas, McCarthy, & Donchin, 1977; Polich, 1986). P300의 잠재기는 주의할당과 즉각적인 기억의 처리에 근원이 되는 신경의 활동을 나타내는 시간적 지표로서, P300의 잠재기가 짧을수록 자극을 빠른 시간 내에 처리했다는 것을 의미한다. ERP는 반응선택 과정과는 상관이 없기 때문에, 행동적 측면에 영향을 받지 않고 순수하게 인지적 정보처리 과정만을 평가할 수 있는 유용한 수단이다(McCarthy & Donchin, 1981; Pfefferbaum, Christensen, Ford, & Kopell, 1986).

P300 EVOKED POTENTIAL

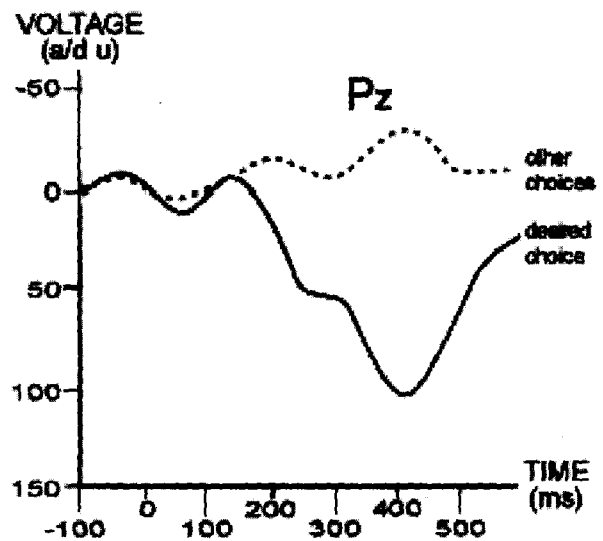


그림 9 P300 유발전위

ERP의 다른 예로는 Slow Cortical Potential(SCP)가 있다. 두개골에서 기록된 뇌파의 가장 낮은 주파수 형태는 대뇌피질에서 발생된 Slow voltage change이다. 이 전위는 0.5~1초에서 발생하고 Slow Cortical Potential(SCP)이라고 부르며, Negative SCP는 일반적으로 움직임과 대뇌피질 활동을 포함하고 있는 다른 역할과 연관된다. 반면에 Positive SCP는 보통 감소하는 대뇌피질 활동과 연관이 있다.

SLOW CORTICAL POTENTIALS

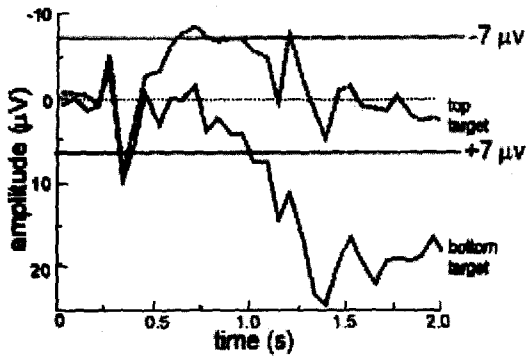


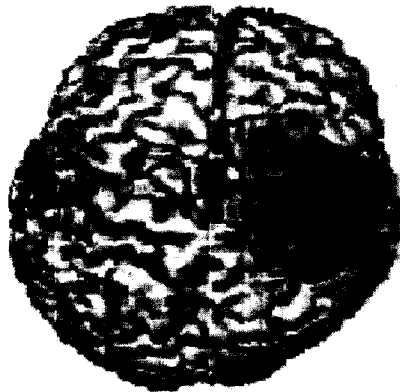
그림 10 SCP의 전개

7.3 Motor Imagery

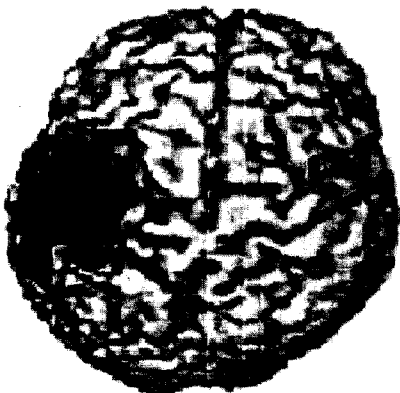
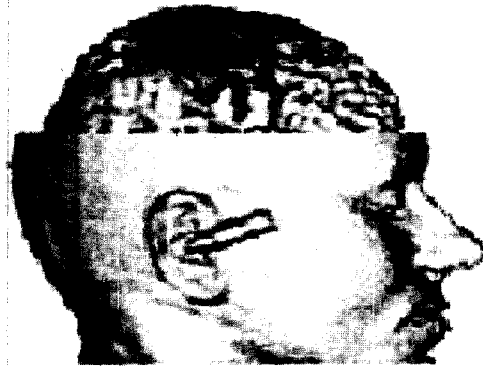
Motor imagery는 외적인 행동 없이 나타나는 움직임의 의식적인 처리로 정의될 수 있다. 이것은 움직임을 준비하고 있을 때 움직일 마음을 가지고 있는 유사한 뇌 영역을 포함하는 움직임의 심적인 상상을 나타낸다. 이러한 motor imagery는 일차 운동영역(Primary mo-

tor area)를 활성화 시킬 수 있으며, 왼손이나 오른손의 움직임을 상상하는 동안 ERD와 ERS를 발견할 수 있다.

신체의 움직임과 관련한 mu 파와 베타파는 모두 신체 움직임이나 움직임의 상상으로 인해 그 활동이 쇠약해지거나 차단되는 현상을 특징으로 한다. 이와 같이 피험자가 동작을 함으로써 뇌파가 억제되는 현상을 ERD (Event-related desynchronization)라고 하며, alpha와 beta 대역에서 짧은 시간에, 국소적으로 발생하는 뇌파 진폭의 감소를 말한다. ERD의 특징은 앞서도 언급한 바와 같이 움직인 손의 반대편 반구 Power 값이 줄어든다. 반면에 ERS (Event-related synchronization)는 참여자의 동작에 의해 뇌파의 amplitude가 증가하는 상반된 특징이 있다. 예를 들어, 오른손을 움직일 경우 왼쪽 반구의 뇌파 활동은 억제되는 반면, 오른쪽 반구의 활동은 활성화된다. 그리고 왼손을 움직이면 반대 현상이 일어난다. 이와 같은 현상을 통해 알 수 있는 것은 ERD는 동작을 수행하는 신체부위 관련 신경계 (neural network)가 활성화되었다는 것을 의미하며, ERS는 신경계가 휴지상태라는 것을 나타낸다.



Left motor imagery



Right motor imagery

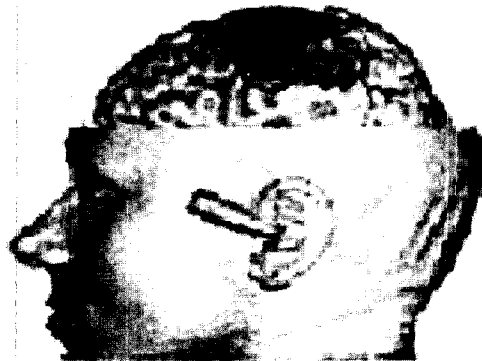


그림 11 motor imagery

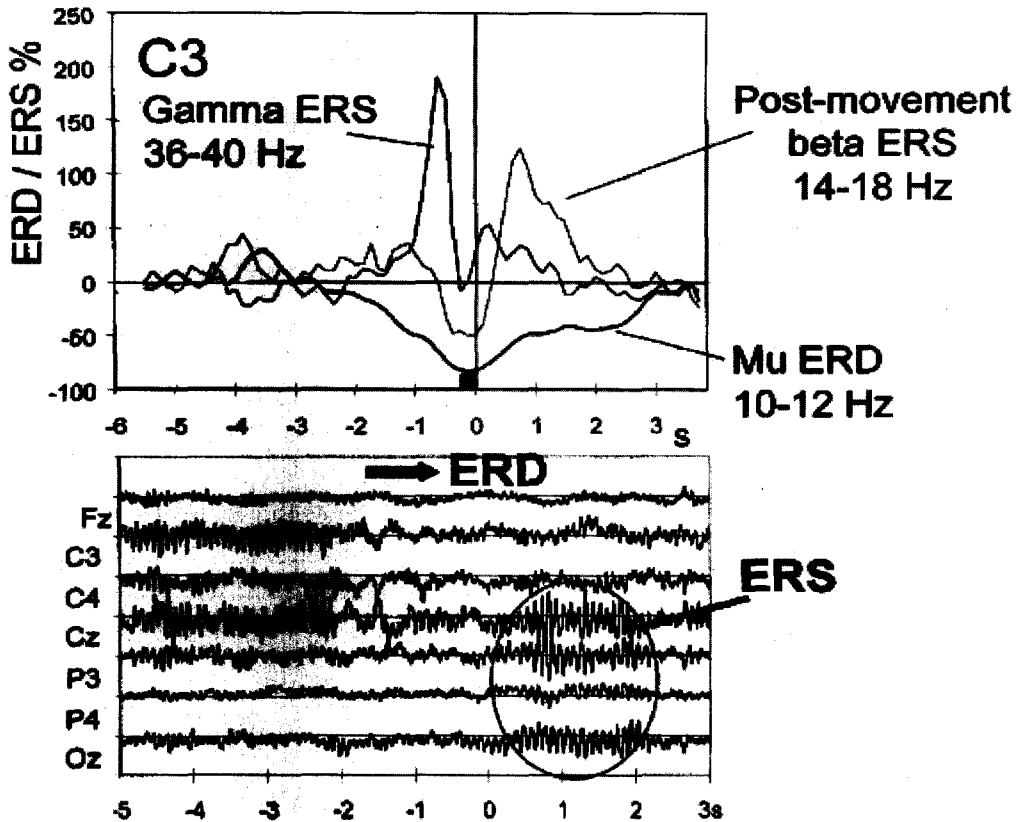


그림 12 세 가지 다른 주파수 밴드의 ERD와 ERS

8. 결론

뇌파는 수 많은 뉴런들의 활동에 의한 전위들을 대뇌 피질에서 측정하여 합한 값이다. 따라서 크기는 뉴런들의 활동 정도를 나타내는 좋은 예이다. 이러한 특성 때문에 뇌파는 뇌 활동에 대한 좋은 연구자료가 되고 있다.

BCI(Brain-Computer Interface)는 뇌파를 측정하고 패턴 별로 분석하여 기기를 제어하는 기술이다. 얼핏 단순해 보이는 이 기술은 엄청난 양의 뇌파를 정확히 측정하고 이를 분석해 내는 알고리즘 개발이 그야말로 고도의 기술과 시간을 요하는 첨단 분야이다. 이러한 BCI의 연구는 향후 컴퓨터와 인간의 인터페이스를 혁신적인 형태로 바꾸어 놓을지도 모른다.

뇌파를 해석하는 일은 Brain-Computer Interface, 인지과학, 뇌 과학 등 다양한 학문 분야에 있어서 기초적이며 중요한 일로써, 선천적인 지체 부자유자들이나 불의의 사고로 전신이 마비가 된 환자들 조차도 단지 생각하는 것 만으로도 일반인들과 같은 생활을 할 수 있게 해줄 수 있다. 또한 동물이 지니고 있는 반사신경은 위험한 상황에서도 위험을 판단하고 대처하는 것 보다 더 빠르게 뇌파를 통하여 대비할 수 있게 할 것이다. 하지만 뇌파를 이용하는 것이 장점만 있는 것은 아니다.

뇌파는 주변의 잡음이나 심장박동, 무의식적인 눈의 깜박임, 눈동자의 움직임, 그리고 근육의 움직임과 같은 잡과(artifact)에 쉽게 영향을 받는 미약한 전기 신호이며, 예측이 어려운 시계열 데이터로써 시간적인 의존성이 존재하고 시간에 따라 통계적 특성이 변할 수 있다. 또한 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. 이러한 뇌파의 민감성 때문에 원하는 신호만을 얻기 위하여 각종 필터나 독립 성분 분석법을 사용한다. 하지만, 아직까지는 많은 시간 동안 피험자의 훈련이 필요하며, 제어신호로 사용할 정도의 높은 인식률을 얻지 못하고 있다.

이를 해결하기 위해서는 생물학적인 뇌의 연구와 보다 좋은 신호를 얻을 수 있는 뇌파 측정장비의 개발, 그리고 더 좋은 신호처리 알고리즘의 적용이 있어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] J.Perlmenter and N.Birbaumer. "A binary spelling in terface with random error."

- IEEE Transactions On Rehabilitation Engineering, 812) 227-232, 2000.
- [2] G. Pfurtscheller, J. Kalcher, Ch. Neuper, D. Flotzinger, M. Pregenzer, "On-line EEG classification during externally-paced hand movements using a neural network-based classifier," *Electroencephalography and clinical Neurophysiology* 99(1996) 416-425
- [3] C. Guger, H. Ramoser, and G. Pfurtscheller, "Real-Time EEG Analysis with Subject-Specific Spatial Patterns for a Brain-Computer Interface (BCI)" *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, Vol.8, No.4, Dec. 2000.
- [4] G. Pfurtscheller and Christa Neuper "Motor Imagery and Direct Brain-Computer Communication" *Proceeding of the IEEE*, Vol. 89, No.7, July 2001.
- [5] Pfurtscheller G, Woertz M, Krausz G, Neuper C. : "Distinction of different fingers by the frequency of stimulus induced beta oscillations in the human EEG," *Neurosci Lett*. Vol. 307, pp. 49-52, 2001.
- [6] Schlögl A., Neuper C. Pfurtscheller G. : "Estimating the mutual information of an EEG-based Brain-Computer-Interface," *Biomedizinische Technik* Vol. 47(1-2): pp. 3-8, 2002.
- [7] G. Pfurtscheller a, b, *, C. Guger, G. Müller, G. Krausz, C. Neuper, "Brain oscillations control hand orthosis in a tetraplegic", *Neuroscience Letters* 292 (2000) 211+214
- [8] J. R. Wolpaw, D.J. McFarland, and T.M. Vaughan "Brain-Computer Interface Research at the Wadsworth Center," *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, Vol.8, No.2, June 2000.
- [9] J.R. Wolpaw. "An eeg-based brain-computer interface for cursor control" *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1994
- [10] Davis Sheremata. Professor Kostov's mind-reading machine. Alberta Report. The weekly newsmagazine, Internet edition, 2 1998
- [11] Janne Lehtonen, "EEG-based Brain Computer Interface," 2002
- [12] J. J. Tecce, J. Gips, C. P. Olivieri, L. J. Pok, and M. R. Consiglio, "Eye movement control of computer functions," *International Journal of Psychophysiology*, Vol. 29, pp. 319-325, 1998.
- [13] T. Felzer and B. Freisleben, "HaWCoS : The "hands-free "wheelchair control system," In *ASSETS 2002 Proceeding ACM SIGGAPH Conference on Associative Technologies*, Edinburgh, Scotland, ACM Press, 2002.
- [14] T. Felzer and B. Freisleben, "BRAINLINK : A software tool up porting the development of and EEG-based brain-computer interface," submitted for publication, 2001.
- [15] T. Felzer and B. Frisleben, "An input device for human-computer interface based on muscle control," submitted for publication, 2001.
- [16] K. S. Park and K. T. Lee, "Eye-controlled human/computer interface using the line-of-sight and the intentional blink," *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 30, No. 3, pp. 463-473, 1996.
- [17] C. W. Anderson, S.V. devulapalli, and E.A. Stolz, "Determining mental state from EEG signals using neural networks," *Scientific Programming-Special Issue on Applications Analysis*, Vol. 4, No. 3. pp. 171-183, 1995.
- [18] C. W. Anderson and Z. Sijercic, "Classification of EEG signals from four subjects during five mental tasks," in *Solving Engineering Problems with neural networks: Proceedings of the Conference on Engineering Applications (EANN'96)*, A.B. Bulsari, S. Kallio, and D. Tsaptsions, Eds., Turku, Finland, Systems Engineering Association. pp. 407-414, 1996.
- [19] H. Jasper, "The ten twenty electrode system of the international federation," *Electroencephalographic Clinical Neurophysiology*, Vol. 10, pp. 371-375, 1998.
- [20] Riedmiller. M, and H. Braun. "A direct

adaptive method for faster backpropagation learning : The RPROP algorithm." Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks, 1993.

- [21] Cristoph Guger et al, "Rapid prototyping of an eeg-based brain-computerinterface (bci)."IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering, 9(1):49-58, 2001.
- [22] K. S. Park and K. T. Lee, "Eye-controlled human/computer interface using the line-of-sight and the intentional blink." Computers & Industrial Engineering, vol. 30, no. 3, pp. 463-473, 1996.
- [23] Ernst Haselsteiner and Gert Pfurtscheller, "Using Time-Dependent Neural Networks for EEG Classification" IEEE TRANSACTIONS ON REHABILITATION ENGINEERING, VOL. 8, NO. 4, DECEMBER 2000.
- [24] Herbert Ramoser, Johannes Müller-Gerking, and Gert Pfurtscheller, "Optimal Spatial Filtering of Single Trial EEG During Imagined Hand Movement" IEEE TRANSACTIONS ON REHABILITATION ENGINEERING, VOL. 8, NO. 4, DECEMBER 2000 441.

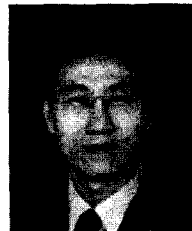
- [25] Alan Wolf et al, Jack B. Swift, Harry L. Swinney and John A. Vastano, "Determining Lyapunov Exponents From a Time series," Physica D. Vol.16, pp.285-317, 1985
- [26] J.P.Eckmann, S. O. kamphorst, D. Ruelle and S. Ciliberto(1986), "Lyapunov exponents from time series," Phys. Rev. A34, 4971-4979
- [27] Peter.Grassberger, Itamar.Procaccia, "Measuring the strangeness of strange attractors," Physica D Vol. 9, pp. 189-208, 1993.
- [28] Peter.Grassberger, Itamar.Procaccia, "Dimension and entropies of strange attractors from a fluctuating dynamic approach," Physica D. Vol.13, pp.34-54, 1984.
- [29] Naoto Burioka, Germaine, Franz Halberg, Daniel T. Kaplan, Relationship between correlation dimension and indices of linear analysis in both respiratory movement and electroencephalogram, Clinical Neurophysiology 112(2001)1147-1153
- [30] Tommi Nykopp, "Statistical Modelling Issues for The Adaptive Brain Interface," Teknillinen korkeakoulu, 2001.

음 태 완



2002. 8 대전대학교 공과대학 전자공학과 졸업
 2004~현재 대전대학교 전자공학과 석사과정
 관심분야 : Neural Network, Brain-Computer Interface, DSP, Robot Control
 E-mail : daysay@hanmail.net

김 응 수



부산대학교 공과대학 전자공학과 졸업
 부산대학교 전자공학과 졸업(석사)
 Tohoku University 전자공학과 졸업(박사)
 대전대학교 컴퓨터공학부 교수
 관심분야 : Neural network and Brain computing, Statistical physics of neural net, Chaos and Fractal theory in neural network, Bioinformatics, And mainly engaged in research on BCI and signal processing of the biomedical signals, EEG, ECG, fMRI.
