

# 오감자극을 활용한 효율적인 뇌파 DB구축 시스템

## Effective brain-wave DB building system using the five senses stimulation

신정훈\*, 진상현\*

Jeong-Hoon Shin\*, Sang-Hyeon Jin\*

### 요약

유비쿼터스 시대의 도래에 따른 서비스의 고급화는 다양한 형태의 사용자 단말기의 개발을 유도 하였으며, 이러한 사용자 단말기의 변화는 다양한 형태의 인간친화형 사용자 인터페이스의 개발로 이어지게 되었다. 이러한 다양한 형태의 인간친화형 사용자 인터페이스 중, 인간의 뇌를 활용한 사용자 인터페이스, 즉, BCI에 관한 연구가 최근 산발적으로 다양하게 진행되고 있다. 현재 진행되어지고 있는 다양한 형태의 BCI 관련 연구들은, 연구 초기 수준을 극복하지 못하는 실정이며, 이러한 연구개발의 지체 이유는 체계적인 연구가 진행되어지지 않고 있다는 점을 들 수 있다. 대부분의 HCI 또는 BCI 관련 연구들은 생체신호를 수집하여 신호처리 과정을 거치게 되며, 이때 중요한 연구요소중의 하나로 DB구축 분야를 들 수 있다. 하지만 현재 진행되고 있는 대부분의 BCI 관련 연구의 경우 DB구축부터 시작한 체계적인 연구가 이루어지고 있지 않는 실정이다. 뇌파를 제외한 다른 생체신호, 즉 오감자극을 활용한 HCI 연구와는 달리, 뇌파 DB의 경우 피험자를 제외한 다른 연구 관련자들은 현재 피험자로부터 수집되어지고 있는 DB가 실험에 필요한 적절한 신호인지 구분하기 힘든 실정이다. 또한, 뇌파 신호의 수집 시 연구관련 자들은 피험자에게 정확한 지침을 제시하지 못하고 있는 실정이며 어떠한 방법으로 피험자가 실험에 집중 하여야 확인한 패턴을 보이는 차별화된 뇌파 신호의 생성이 가능한지 명확하게 알려지지 않은 실정이다. 따라서 본 논문에서는 뇌파를 활용한 BCI구현과 사용자 의지에 따른 활용 시 보다 정확하고 높은 인식을 구현을 하기 위한 기초 연구 방안으로 정확하고 효율적인 뇌파 DB구축 시스템을 제안한다. 또한 현재까지 명확하게 알려지지 않은 효과적인 뇌파 생성 방안을 동시에 연구하기 위하여 오감자극을 활용한 뇌파 DB 수집이 가능한 구축 시스템을 구현하며 각 방법에 따라 구축되어진 뇌파의 패턴 분석을 통한 효율적인 뇌파 DB구축 방안을 제안한다.

### Abstract

Ubiquitous systems have grown explosively over the few years. Nowadays users' needs for high quality service lead a various type of user terminals. One of various type of user interface, various types of effective human computer interface methods have been developed. In many researches, researchers have focused on using brain-wave interface, that is to say, BCI. Nowadays, researches which are related to BCI are under way to find out effective methods. But, most researches which are related to BCI are not centralized and not systematic. These problems brought about ineffective results of researches. In most researches related in HCI, that is to say - pattern recognition, the most important foundation of the research is to build correct and sufficient DB. But there is no effective and reliable standard research conditions when researchers are gathering brain-wave in BCI. Subjects as well as researchers do not know effective methods for gathering DB. Researchers do not know how to instruct subjects and subjects also do not know how to follow researchers' instruction. To solve these kinds of problems, we propose effective brain-wave DB building system using the five senses stimulation. Researcher instructs the subject to use the five senses. Subjects imagine the instructed senses. It is also possible for researchers to distinguish whether brain-wave is right or not. In real time, researches verify gathered brain-wave data using spectrogram. To verify effectiveness of our proposed system, we analyze the spectrogram of gathered brain-wave DB and pattern. On the basis of spectrogram and pattern analysis, we propose an effective brain-wave DB building method using the five senses stimulation.

**Keywords** : BCI(Brain Computer Interaction), EEG, Data Base, five senses, artifact

### I. 서론

최근 유비쿼터스 환경에 따른 임베디드 시스템(Embedded system)의 사용이 증가함으로써 각종 정보 단말기의 이동성, 착용성,

사용성이 중요한 요소로 부각되고 있다. 이중 사용자가 단말기를 쉽게 조작하는 수단인 제공이 점차 중요한 요소로 부각되고 있으며, 이러한 요구에 따라 단말기의 변화는 점점 더 복잡해지고 소형화되어 인간친화형 사용자 인터페이스(Human Computer

\*대구가톨릭대학교 컴퓨터 정보통신공학부

논문 번호 : 2007-2-3                      접수 일자 : 2007. 4. 17

심사 완료 : 2007. 9. 14

\*본 연구는 2006학년도 대구가톨릭대학교 신입교원연구비 지원에 의한것임.

Interaction)의 개발로 이어지게 되었다. 즉, 인간친화형 사용자 인터페이스는 문자·음성, 제스처, 표정인식 이후의 차세대 사용자 인터페이스를 위한 미래지향 원천 기술에 해당 될 것이다.

다양한 형태의 인간친화형 사용자 인터페이스 중 하나인 인간의 뇌를 활용한 뇌-컴퓨터 인터페이스(Brain Computer Interaction) 시스템에 관한 연구가 최근 산발적으로 다양하게 진행되고 있으며, 이러한 연구는 컴퓨터와 인간의 상호작용을 효과적으로 수행하기 위한 수단으로써 인간의 생체신호인 뇌파를 매개로 하는 가장 자연스럽게 직관적인 인터페이스가 될 것이다. 그러나 뇌파는 예측이 어려운 시계열 데이터로써 시간적 의존성이 존재하고 시간에 따라 통계적 특성이 변할 수 있는 비정칙성(non-stationary) 신호이므로 분석이 어렵다. 또한 각 채널별로 서로 완전히 독립적인 것이 아니라 상호작용을 일으키기 때문에 상호작용을 하는 유효 채널과 상호 작용의 정도까지 알고 있어야 정확한 분석이 가능하다.

현재 진행되고 있는 대부분의 BCI관련연구의 경우 뇌파의 특성에 적합한 특징추출을 하기위해 자기회귀계수(autoregressive coefficient), 파워 스펙트럼(power spectrum), 독립성분분석(independent component analysis) 등의 특징 추출 알고리즘과 은닉 마르코프 모델(hidden Markov model), 선형 동적 시스템(linear dynamical system), 다층 신경회로망(multi-layer perceptron model) 등의 패턴인식 알고리즘의 조합을 통한 연구가 진행 중에 있으며, 뇌파 DB구축 관련 연구는 전무한 실정이다.[4][5][6] 효과적인 뇌파 패턴 분석을 하기 위해서는 특징추출 알고리즘과 패턴인식의 성능을 높이기 위해 앞서 효율적이고 정확한 DB구축부터 시작한 체계적인 연구가 진행되어야 할 것이다. 즉, 동일한 피험자에게 구체적인 지침을 제시하지 않은 상황에서 뇌파 DB의 수집이 이루어지게 된다면 피험자는 자신의 심리적 상태에 따라 뇌파 DB 수집 당시 다른 상상을 지속하게 되며, 이는 동일한 피험자가 동일한 지침에 대해서 DB를 생성하더라도 그 결과는 달라질 것이다. 또한 여러 피험자를 상대로 DB구축이 필요할 시에는 더욱더 편차가 심하게 발생할 것이다. 따라서 이러한 편차를 줄이기 위해서는 피험자가 자신의 생각을 집중할 수 있게 최대한 상세한 지침을 제시해 주어야 하며, 피험자가 활용하고 있는 오감기능을 이용하여 지침을 제시할 시에는 피험자가 더욱더 쉽게 지침을 수행할 수 있게 될 것이다.[1][3][7][8]

일례로, '(주)이머시스'에서 보고한 "뇌파 기반의 차세대 휴먼 인터페이스 개발에 관한 연구" 결과를 보면 기존에 나온 여러 선도 그룹의 연구 결과들을 바탕으로 전극 위치를 결정하여 뇌파를 측정하고 전처리를 수행한 후, 동일한 인식기를 구현하여 재 실험 하였으나, 논문 등에 발표된 것과 같은 결과를 얻을 수 없었다. 또한, 뇌 기능과 뇌파와의 관계 등에 대한 연구를 통해 이해를 바탕으로 전극의 위치를 결정하고 뇌파를 측정할 후 새로운 패턴 인식 알고리즘을 적용한 인식기를 구현한 결과들에서도 높은 인식률을 갖는 시스템을 구현하는 것이 쉽지 않았다. 이러한 결과는, 상상만으로 컴퓨터에게 방향 명령을 주기위해 피험자가 어떤 상상을 어떻게 해야 하는지에 대한 표준적인 자료가 없고 동일한 상상에 대해서도 피험자에 따른 뇌파 특성이 상당히 다르게 나오며, 피험자 마다 전극의 위치에 따라 뇌파의 특성이 다르게 나오는 등 뇌파 특성의 난해함이 원인으로 분석되었다.[2] 이상에서

서술한 바와 같이 뇌-컴퓨터 인터페이스 시스템의 성능은 사람의 뇌로부터 얼마나 특성이 좋은 뇌파를 측정할 수 있느냐가 상당히 중요하다. 뇌파 DB는 문자·음성 인식과는 다르게 실험 시 피험자 외에 수집되어지고 있는 DB가 실험에 필요한 적절한 신호인지 구분하기 힘든 실정이다. 또한 뇌파는 실험당시 피험자의 심리 상태, 눈 깜박임, 눈동자의 움직임, 그리고 근육의 움직임과 같은 artifact에 쉽게 영향을 받는 미약한 신호이기 때문에 뇌-컴퓨터 인터페이스 시스템을 위한 적절한 신호의 DB를 구축하기에는 많은 문제점이 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 본 논문에서는 뇌파 수집 시 오감자극을 활용한 지침을 제시하여 피험자의 주관적인 해석에 따른 오류가능성을 사전에 제거하였으며, 또한 spectrogram기법을 활용하여 artifact의 혼입 및 수집중인 DB가 실험에 필요한 적절한 신호인지 구분 가능하게 하였다.

본 논문의 구성은, 2장에서 BCI관련연구 동향을 소개 하였으며, 3장에서는 본 논문에서 제안한 시스템의 개발환경 및 특징(시스템 흐름도, 이벤트 리스트)등에 대하여 서술 하였으며, 4장에서 본 논문에서 구현한 시스템의 실험 및 결과, 성능분석을 하였으며 이를 근거로 향후 연구방향을 제시 하였다.

## II. 관련 연구 동향

뇌파를 활용한 BCI관련 연구가 여러 분야에서 다양한 주제로 이루어지고 있으나 뇌파 DB구축 관련 연구는 전무한 실정이다. 본 장에서는 뇌파 DB구축 관련 연구의 필요성을 인지하기 위하여 최근 연구되고 있는 BCI관련 연구를 뇌파측정 및 DB구축의 관점에서 분석하며 각 연구의 문제점을 분석하여 뇌파 DB관련 연구의 필요성을 확인한다.

### 2.1 뇌-컴퓨터-인터페이스를 위한 EEG 기반의 피험자 반응시간 감지 연구[4]

본 연구는 인지적 긍정/부정 선택 과제 수행 시 뇌파를 이용하여 피험자의 반응시간(RT, response time)을 예측하는 방법에 관하여 기술한다. 실험 task에서 피험자는 시각적 자극에 대한 반응, 문제의 해석, 손 움직임의 조절, 손동작 등과 관련된 뇌 활동을 유발 한다. 이와 같은 피험자의 정신상태의 변화를 CT(cut time), ST(selection time), RP(repeated period) 등을 정의하여 모델링하고, 선택시간 ST를 감지하여 피험자의 반응시간 RT를 예측한다. ST를 감지하기 위하여 측정된 뇌파로부터  $\alpha$ 파,  $\beta$ 파,  $\gamma$ 파를 분리하고, 공간적인 관계를 고려하여 설정한 4쌍의 전극들로부터 3가지의 특징들을 추출한다. 추출한 특징들을 분석하여 각 피험자별로 나타나는 상세 규칙(specific rule)과 공통적인 특징들로 구성된 일반 규칙(meta rule)들을 설정한다. 본 연구는 기존의 인지적인 정신상태 판별을 위한 방법들이나 왼손/오른손 동작구분 방법들과 결합하여 사용할 경우 BCI를 위한 기반 기술로 활용하기 위한 연구를 진행할 것이다.



### 2.2.1 뇌파 측정 방법

실험은 피험자에 따라 mental task에 따른 뇌파의 측정을 위해 Fp1, Fp2, C3, C4나 Fp1, Fp2, Cz, T4의 위치에 4개의 전극쌍을 사용하였다. 두피에 부착한 전극을 통하여 전달되는 뇌파 전위는 128Hz로 샘플링 하였고, 실험 공간은 암실이나 특수한 방음처리가 된 제약된 환경에서 실험을 하지 않고 피험자와 실험을 모니터링하는 사람 사이에 간단한 칸막이 정도만을 설치하여 일반 연구실 환경에서 수행하였다. 움직임에 의해 발생하는 EMG 신호를 최소화하기 위하여 operator에 의해 컴퓨터를 조작하여 피험자는 상상만을 하게 하였다. 한편, 측정 시간 조절을 통하여 눈 깜박임에 의한 EOG 신호와 같은 noise를 최소화하는 등 안정된 상황에서 측정을 실시하였다. 측정 시간은 1회 테스트마다 그림 4에서 도시되어진 바와 같이 전, 후 6초간의 mental task 사이에 2초간의 준비 시간을 두고 측정을 하였다. 또한 컴퓨터와 피험자의 상호 훈련을 통하여 mental task 시의 측정 시간을 줄여 나가는 실험을 반복적으로 수행 하였다. 연속적인 반복 실험을 위해서는 피험자에게 실험에 대한 명령을 주는 방법 또한 실험의 결과에 큰 영향을 주는 요소로 작용한다. 본 연구에서는 뇌파에 미치는 영향이 최소화 되는 명령자극 종류와 제시방법을 결정하기 위하여 시각 자극을 활용한 다양한 명령제시방법에 대한 실험을 수행하였다. 피험자의 상상에 의해 발생하는 뇌파에 미치는 명령자극 영향이 최소가 되는 명령 자극 종류와 제시 방법을 결정하였다.

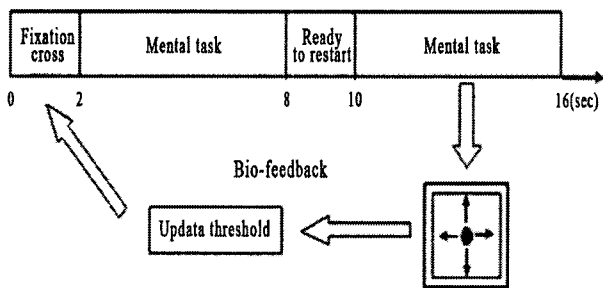
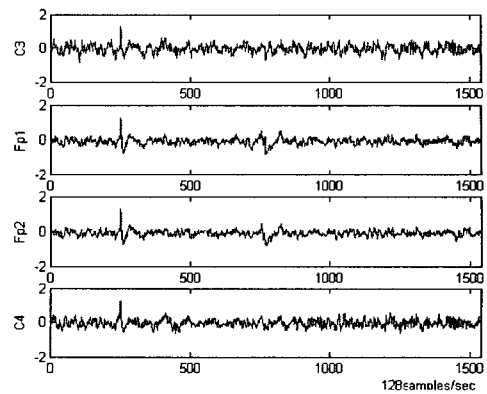


그림 4. 1회 테스트간의 측정 시간.  
Fig. 4. Test period per 1 cycle.

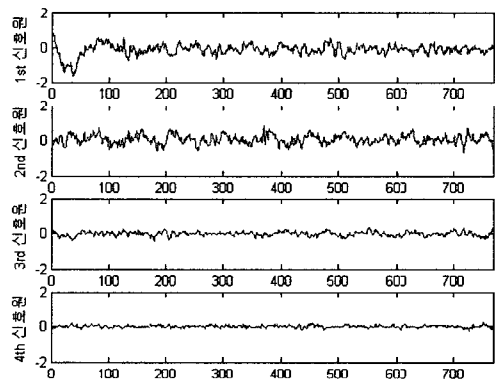
### 2.2.2 문제점

본 연구는 총 3명의 피험자에 대하여 혀, 발, 좌·우 손의 움직임에 대한 자극을 제시하고 반복 실험을 수행하였으며, 실험결과 총 3명중 2명의 경우는 오른손의 움직임에 의한 상상, 나머지 1명의 경우는 발의 움직임을 상상할 때 특정 주파수 대역에서의 파워값이 비집중시 파워값과 명확한 차이를 보였다. 이런 특징을 바탕으로 피험자가 상상시 파워값의 명확한 차이를 보인 두명은 오른손의 움직임을 상상, 나머지 한 명은 발의 움직임을 상상하게 하였고 비집중시는 아무 상상을 하지 않도록 하여 뇌파를 측정 하였다.

측정된 뇌파의 원 신호 중 순수 EEG 신호를 얻기 위하여 ICA기법을 사용하였고 그림 5는 C3, C4, Fp1, Fp2에서 측정된 EEG 신호의 한 예를 보이고 있다. 그림 5의 (A)에서 도시되어진 바와 같이 측정된 4개의 신호는 모두 유사해 보이며, 눈의 움직임과 같은 noise성분이 포함되어 있음을 알 수 있다.



(A)



(B)

그림 5. (A)ICA 수행 전 채널별 뇌파신호.  
(B)ICA 수행 후 채널별 뇌파신호.

Fig. 5. (A)4 Channel EEG signal without ICA.  
(B)4 Channel EEG signal with ICA.

noise성분으로부터 뇌파 신호를 추출하기 위해 ICA기법을 사용한 후 얻은 4개의 신호를 그림 5의 (B)에 나타내었다. 그림 5의 (B)에 도시된 바와 같이 ICA기법을 통해 분리된 4개의 신호에도 순수뇌파 이외에 심박동, 호흡, 미세한 근육의 움직임, 장비자체의 신호 간섭 등의 noise영향으로, 시간영역에서 저주파이며, 고주파 신호의 특성을 나타내는 순수 뇌파의 분리가 완벽하게 이루어지지 않음을 알 수 있다.

### 2.3 EEG 잡파 특성 분석 연구[6]

뇌파(Electroencephalogram, EEG)는 뇌 신경세포가 정보를 처리하는 과정에서 발생하는 전기적인 신호를 두피 표

면에서 측정된 것이다. 이러한 뇌파는 비침습적인 방법으로 전기적인 신호를 측정하며 측정시 여러 가지 형태의 artifact가 유입되어진다. 특히 근육의 움직임에 의한 EMG, 심장의 박동에 의한 ECG, 안구의 움직임에 의한 EOG등이 지속적으로 측정되는 뇌파에 영향을 주고 있으며, 선형 및 비선형 분석에 있어서 오차를 증가시키는 원인이 되고 있다. 이러한 artifact는 뇌의 정보처리과정에 대한 유용한 정보를 담고 있는 분석 시 오류발생의 원인이 되며, 이를 제거하기 위한 노력이 지속적으로 연구되어져 왔다. artifact를 분리, 제거하기 위한 방법으로는 측정 장비의 발달에 따라 측정값의 정확도를 높이거나, 측정시 피험자에게 최대한 편안한 자세를 취하게 하는 등 다양한 방법을 이용되고 있으며, 최근에는 주성분분석(principal component analysis)과 독립성분분석 등을 이용하여 artifact를 제거하는 연구가 계속되고 있으나 측정된 뇌파의 원 신호 중 순수 EEG 신호를 얻기에는 한계가 있다. 본 연구에서는 보다 적극적으로 artifact를 활용하기 위해 artifact가 섞인 뇌파의 특성을 분석하여 이를 통해 제어 시스템 등과 같은 시스템에 적용할 수 있는 가능성을 알아보았다. 대표적인 artifact인 eye\_blinking, eye\_rolling, muscle 등이 각각 포함된 뇌파에 대해서 선형 및 비선형 분석을 실시함으로써 유의미한 특성 차이를 나타내었다.

### 2.3.1 뇌파 측정 방법

본 연구에서는 뇌 질환을 가지고 있지 않은 정상 성인 20명을 대상으로 국제 표준 전극배치법인 10-20system을 이용하여 Fp1, Fp2, F7, F8에 해당하는 부위를 측정하였다. 뇌파를 측정하기 전에 4가지 자극(눈 깜박임, 눈 굴림, 근육의 움직임, ‘아’·‘으’ 발음)에 대해 피험자에게 인지시키고 편안히 누운 상태에서 4가지 자극을 지시하고 명령을 수행하는 1분 동안 뇌파를 기록하였다. 두피에 부착한 전극을 통하여 전달되는 뇌파 전위는 256Hz로 샘플링 하였고, 민감도(sensitivity)는 7 $\mu$ V/mm, 고주파 여파(High frequency filter) 60Hz, 저주파 여파(Low frequency filter) 1Hz로 설정하였다.

### 2.3.2 문제점

본 연구에서 측정 되어진 뇌파는 뉴런들의 활동 정도만이 아니라 눈 깜박임이나 안구의 운동, 신체의 각 부분, 예를 들어 손이나 발의 움직임, 심장의 박동, 호흡 등과 주위 환경이나 측정 장비 등의 영향으로 다양한 형태의 artifact를 포함하고 있다. 본 실험에서는 artifact 중에서 비교적 쉽게 발생시킬 수 있으며 측정 시 높은 값을 갖는 안구 운동과 근육 운동에 대하여 뇌파를 측정하여 분석 하였다. 뇌파에 유입되는 artifact 중에서 눈의 움직임이나 근육의 움직임은 시각적으로도 쉽게 판별 가능하나 전극의 부착 불량, 불량전극, 전극유도선의 흔들림 등 측정 장비로 인한

noise는 확인하기 어려운 실정이다. 본 연구에서 수행한 실험의 문제점으로는 뇌파에 유입되는 artifact 신호 중 안 전도 및 근육 움직임 신호의 경우, 발생한 안 전도 신호가 의도한 신호인지 의도하지 않은 신호인지 구분 불가능하며, 상기 제시되어진 측정 장비 및 실험 환경에 따른 artifact 신호를 제거하지 않고 실험을 진행 하였다. 본 논문에서는 기존 연구의 문제점을 해결하기 위하여 spectrogram기법을 활용하였으며, 실험자는 spectrogram을 통하여 측정되는 신호가 실험에 필요한 적절한 신호인지 구분할 수 있게 하였다.

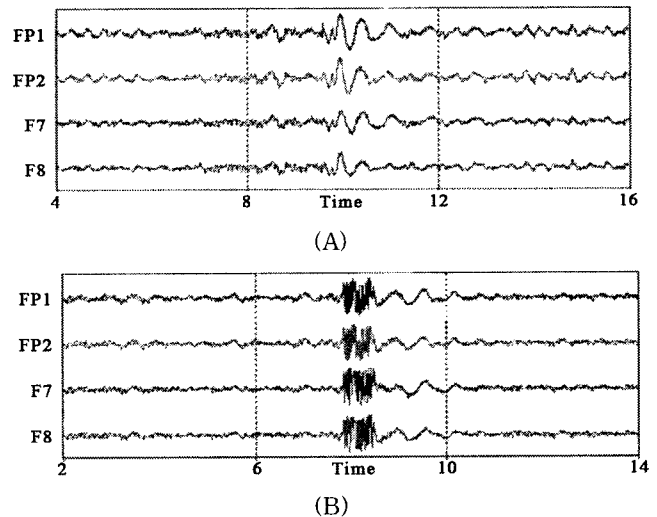


그림 6. (A) 눈 깜박임 상태의 뇌파.  
(B)근육의 움직임(‘으’ 발음)상태의 뇌파.  
Fig. 6. (A) EEG signal with EOG.  
(B) EEG signal with EMG(‘eu’- speech).

## III. 오감자극을 활용한 뇌파 DB구축 시스템

최근 연구동향을 분석해 보면, BCI관련 연구는 다양하게 진행되고 있는 실정이나 체계적이지 못하고 산발적인 연구가 진행되고 있다. BCI관련 연구가 궁극적인 목표인 HCI 방안으로 활용되기 위해서는 DB구축부터 시작한 체계적인 연구가 이루어져야 한다. 본 논문에서는 인간의 뇌파를 활용하여 BCI구현을 하기 위한 기초연구 방안으로 정확하고 효율적인 뇌파 DB구축 시스템을 구현하였다. 뇌파 DB구축 시스템은 피험자에게 좀 더 정확한 지침을 제시하기 위해 오감자극을 이용하였으며, 실험 전 활용할 감각의 수, 각 감각별 지침의 수, 각 감각별 상상 수의 입력을 통해 자동적으로 DB구축이 이루어지도록 구현 하였다. 또한, 실험 시 피험자의 뇌파 데이터가 올바른 데이터인지 아닌지 실험자에 의해 판단할 수 있도록 하여 좀 더 정확하고 효율적인 뇌파 DB구축 시스템을 구현하였다. 또한 뇌파 데이터 수집시 피험자의 뇌파 데이터가 오류를 포함한 데이터인지 아닌지 실험자에 의해 사전판단 될 수 있도록 설계하여 좀 더 효율적인 뇌파 DB구축 시스템을 설계하였다.

### 3.1 개발환경

본 논문에서 구현한 오감자극을 활용한 뇌파 DB구축 시스템은 Workstation (CPU:콘로 E6600, Memory:4GB)과 4채널 전산화 뇌파측정기인 QEEG-4(LXE3204, LAXTHA Inc.)로 구성되어 있다. QEEG-4은 4개의 채널로 구성되어 있으며, Mono-Polar(Uni-Polar)방식으로 뇌파를 측정한다. 측정된 신호는 12-bit의 AD변환 과정을 거친 후 USB통신을 사용하여 Workstation에 데이터를 전송한다.

운영체제는 WindowsXP Professional을 사용하였으며, 뇌파 측정기로부터 Raw Data를 얻기 위해 LAXTHA에서 제공하는 인터페이스 관련 라이브러리를 사용하였다.

### 3.2 구현 시스템 특징

#### 3.2.1 시스템 흐름도

본 논문에서 구현한 뇌파 DB구축 시스템 흐름도는 그림 7과 같다. 그림 7에서 보여지는 바와 같이 실험자는 초기 활용 하고자 하는 감각의 수를 입력하며 이후 각 감각별 지침 수, 각 감각별 상상 수를 설계되어진 실험에 따라 입력하게 된다. 각 감각별 지침 수, 상상 횟수는 실험 설계당시 고려한 감각의 수만큼 입력 하여야 하며, 입력 조건 만족 시 데이터 수집을 시작하게 된다. 또한 데이터 수집과 동시에 실험자는 화면의 spectrogram을 통해 피험자의 뇌파를 사전검사 할 수 있으며 이를 통하여 뇌파 수집 시 측정 오류 및 계측장비의 오류 등으로 인한 오류가 포함된 뇌파 DB를 검출할 수 있으며 이로 인하여 정확한 DB의 구축이 가능할 수 있도록 구현하였다.

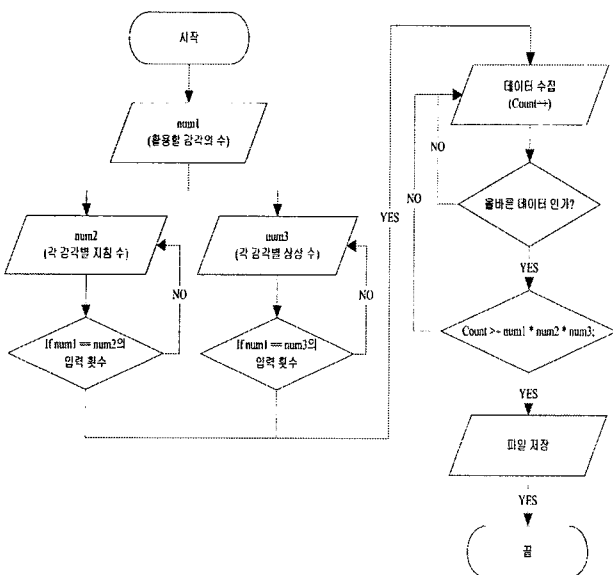


그림 7. 시스템 흐름도.  
Fig. 7. System flow chart.

Power spectrum분석은 시간에 따라 변하는 시계열 신호를 주파수 영역으로 변환하여 주파수가 변하는 정도에 따른 신호의 양상을 판단할 때 사용되는 분석으로서 이를 이용하여 시계열 데이터의 주파수 성분들을 분류하며, 분류된 주파수의 성분들의 밀도와 분포를 한 눈에 볼 수 있도록 한다. Power spectrum은 EEG신호의 Raw Data를 이용하여 1차 푸리에 변환(Fourier transform)한 것으로 아래 식(1)으로 정의 되며, spectrum의 Power값은 값의 크기에 따라 다른 색으로 표현된다.

$$X_N(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j2\pi kn/N}, 0 \leq k \leq N-1 \quad (1)$$

본 논문에서는 이러한 Power spectrum을 연속적인 시간에 대하여 분석을 수행하였으며 이를 보다 편리하게 도시하기 위하여 그림 8과 같이 spectrogram기법을 사용하였다. 그림 8에 도시되어진 spectrum은 가로축에는 시간을 세로축에는 주파수를 표현하며 실험자는 본 화면을 통하여 수집되고 있는 뇌파 신호가 실험에 적합한 오류 없는 신호인지 구분가능 하게 된다.

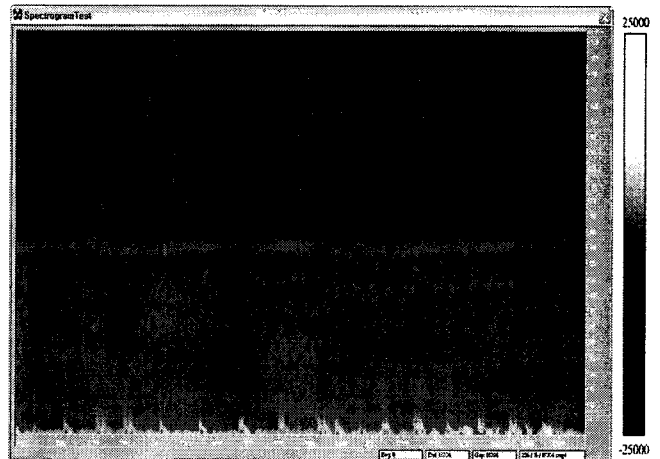


그림 8. 구축 시스템을 활용하여 수집된 뇌파 신호의 스펙트로그램.

Fig. 8. Spectrogram of gathered EEG data using implemented DB building system.

그림 8의 spectrogram을 관찰하며 수집 중인 데이터가 올바른 데이터가 아닐 경우 실험자는 실험을 중지하고 새로운 실험환경을 구축하게 되며 오류가 포함된 DB의 수집을 중단하고 실험의 효율성을 높일 수 있도록 하였다. 이러한 데이터 수집은 활용할 감각 종류에 따른 각 감각별 지침, 상상에 대한 모든 이벤트를 수행할 때까지 지속되어 진다.

#### 3.2.2 이벤트 리스트

기존 BCI관련 연구는 이벤트 리스트의 구성이 대부분 단일 자극 및 단어나 문장위주의 문제로서 피험자의 주관적인 문제 해석에 따른 오류가능성을 내포하고 있다. 본 논문에서는 오감자극

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Event	Ready	Speech [i]	Imagine	Speech [i]	Imagine	Speech [sam]	Imagine	Speech [sa]	Imagine	Letter 1	Imagine	Letter 2	Imagine	Letter 3	Imagine	Letter 4	
start	0	512	1024	1536	2048	2560	3072	3584	4096	4608	5120	5632	6144	6656	7168	7680	
end	3968	4480	5008	5520	6032	6544	7056	7568	8080	8592	9104	9616	10128	10640	11152	11664	
Event	Imagine	Speech [i] Letter 1	Imagine	Speech [i] Letter 2	Imagine	Speech [sam] Letter 3	Imagine	Speech [sa] Letter 4	Imagine	↑	Imagine	↓	Imagine	◀	Imagine	▶	
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33

그림 9. 뇌파측정 실험 이벤트 리스트.

Fig. 9. Event list for EEG signal DB building system.

을 활용한 이벤트 리스트를 구성하여 피험자의 주관적인 해석에 따른 오류가능성을 줄였다. 그림 9는 본 논문에서 구현한 시스템의 이벤트 리스트를 나타내고 있다. 뇌파측정 실험을 하기 전 입력된 '사용할 감각의 수', '각 감각별 지침 수', '각 감각별 상상 수'에 따라 자동적으로 DB가 생성된다. 이러한 시스템은 앞선 몇 가지 입력만으로도 다양한 형태의 실험이 가능하며 실험 목적에 따라 다양한 형태의 DB를 구축할 수 있게 된다. 실험은 그림 9에서와 같이 2초간의 준비시간(1Frame)으로 시작된다. 이벤트는 피험자가 사용할 감각에 따른 지침이 이루어지고 난후 사용할 감각에 따른 상상이 수행되며, 전체 프레임의 수는 (준비단계) + (각 감각별 지침 수) + (각 감각별 상상 수)로 구성된다. 본 논문에서 사용한 이벤트리스트는 그림 9에 도시되어진 바와 같이 준비시간(1Frame), 각 감각별 지침 수 4가지, 각 감각별 상상 수 4가지를 활용하였다.

### 3.3 오감자극을 활용한 뇌파 DB구축 시스템 구현

본 논문에서 구현한 DB구축 시스템은 앞서 서술한 바와 같이 그림 7의 시스템 흐름도에 따라 3가지의 감각을 활용하였으며, 안 전도를 이용한 패턴 구분을 확인하기 위해 눈의 움직임에 대한 이벤트도 추가하였다. 각 감각별 지침 수, 각 감각별 상상의 수는 4가지이며, 본 시스템에서 구현한 뇌파 DB는 총 33개의 Frame으로 청각(2~9Frame), 시각(10~17Frame), 청각+시각(18~25Frame), 눈의 움직임(26~33Frame)구간으로 구성되어 있다. 본 논문에서 구현한 사용자 입력기반 뇌파 DB구축 시스템은 다양한 형태의 실험이 조합 가능하며, 자동화된 DB저장 기능을 제공한다. 즉, 전문적인 지식이 없는 실험자에 의해서도 DB 형태의 변경이 쉽게 가능하다. 각 이벤트에 대한 시간은 소프트웨어적으로 변경 가능하며, 현재 11, 13, 15, 17프레임(3초)을 제외한 모든 프레임은 2초 구간으로 설정 하였다. 이벤트리스트 중 지침관련 프레임은 피험자가 자신의 생각을 쉽게 집중할 수 있게 오감자극을 활용한 상세한 지침을 제시하였다. 본 논문에서 구현한 "오감자극을 활용한 뇌파 DB구축 시스템"에 실행화면을 그림 10에 나타내었다.

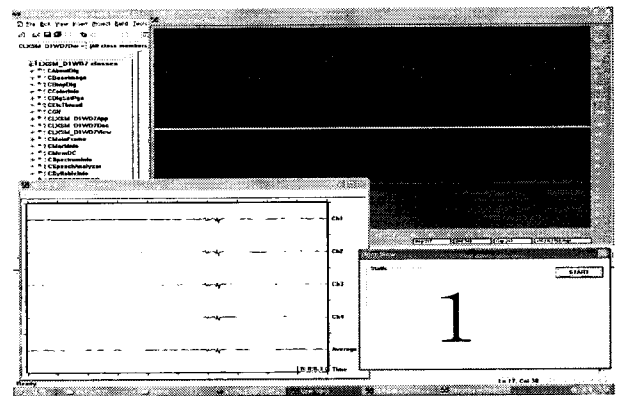


그림 10. 오감자극을 활용한 뇌파 DB구축 사용자 화면.

Fig. 10. User's screen shot of DB building system using the five senses stimulation.

그림 10에서 보여지는 바와 같이 피험자로부터 수집되어진 뇌파 신호는 이벤트리스트에서 지정되어진 frame마다 별도 저장하며 실험자는 이를 활용하여 보다 편리하게 DB구축이 가능하게 된다.

## IV. 실험 및 결과

본 논문에서 구현한 시스템은 전산화 뇌파측정기인 QEEG-4 (모델명:LXE3204, LAXTHA Inc.)장비를 이용하여 뇌파를 측정하였으며, 피험자의 뇌파는 256Hz샘플링, 12-bit AD변환에 의해 컴퓨터로 저장되었다. 머리표면 총 4부위에서 Mono-Polar 방식으로 뇌파를 측정하였으며, 그림 11에 도시되어진 바와 같이 10-20국제전극배치법에 의해 F3, F4, T3, T4의 위치에 측정전극을 부착하였다. 기준전극은 왼쪽 귀밑, 접지전극은 오른쪽 귀밑에 부착하였다. 사용된 전극은 금으로 도포된 접시형태의 디스크 전극이며, 피부와의 접촉저항을 최소화하기위해 먼저 알코올 솜을 이용하여 머리표면의 이물질 제거 후 접시전극에 뇌파전용 전극풀을 묻혀 부착하였다. 또한 부착된 접시전극위에 거즈를 살짝 덮어줌으로써 전극풀이 빨리 굳지 않고 머리표면에 잘 고정되도록 하였다.





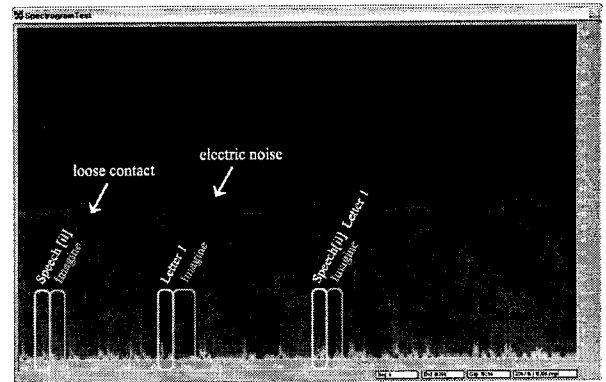
표 1은 실험 참가자 10명에 대해 각 구간별 뇌파의 사전검사 불합격률이며, 불합격률은 각 구간별 총 실험횟수에 대한 실험 중단 비율을 나타낸다. 뇌파측정은 피험자 모두 각 구간별 80회 실시하였고 실험 중단은 실험자가 뇌파의 사전검사를 통해 피험자의 눈 깜박임, 심한 몸 움직임, 장비 오류 등을 검출하여 중단하였다. 구간 중 최대 불합격률은 31.7%로 나타났으며, 이와 같은 비율의 오류DB를 포함 시 정확한 뇌파 패턴 분석이 어려울 것으로 판단되어진다.

표 1. 뇌파측정 사전검사 불합격률(실험 중단 횟수/총 실험 횟수).

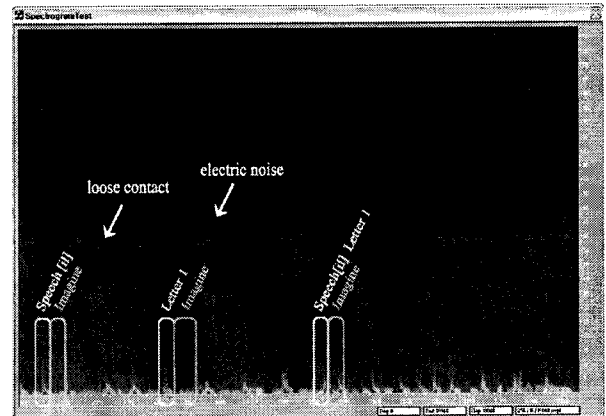
Table 1. Error rate during EEG pre-test(Rejected Number/Total Number)

피험자 구간 \	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Speech Event	5.2	0	0	4.4	2.7	8.3	0	7.6	2.8	0
Speech Imagine	31.7	4.7	13.7	25.1	0	14.9	0	0	18.6	6
Letter Event	14.5	10.4	6.6	0	16.3	4.1	6.5	0	0	9.2
Letter Imagine	0	0	0	0	3.8	0	4.2	3.3	8.3	11.5
Speech + Letter Event	0	0	6.8	0	0	6.2	0	24.1	3.5	0
Speech + Letter Imagine	9.8	0	4	22.3	0	8.6	9.9	0	0	0
눈 움직임 Event	3.2	16.7	0	4.8	5.2	0	8.3	18	7.5	8.2
눈 움직임 Imagine	11.9	20.5	0	17.8	11.7	5.7	7.2	0	0	9.5

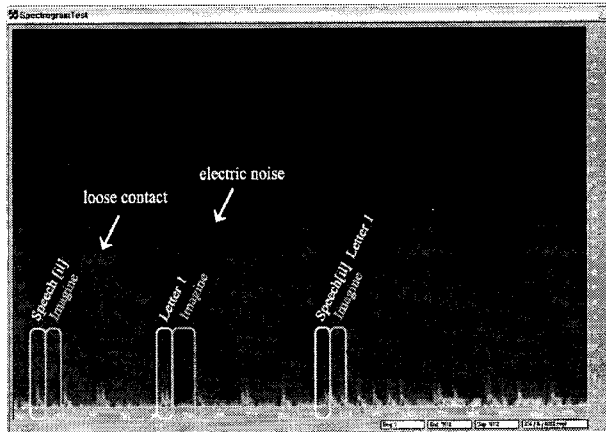
대부분의 뇌파 측정 실험은 뇌파 패턴 분석을 위해 피험자에게 사진을 통한 이미지 상상, 모니터를 통하여 질문에 대한 답을 하는 자극을 이용하였다. 이러한 자극은 피험자마다 실험자가 내린 지침에 대한 이해가 다를 수 있어 정확한 지침이 되지 못한다. 또한 피험자의 심리적 상태, 환경에 따라 인식률의 많은 편차가 있으며 개개인의 인식률 편차는 더욱더 심하여 BCI기술로 활용하기는 부적절하다. 본 논문에서 제시한 오감자극을 활용한 실험은 그림 14에 나타난 바와 같이 피험자에게 보다 정확한 지침을 제시함으로써 동일한 지침에 대해 비슷한 형태의 패턴을 확인할 수 있었다. 특히 Speech [il]의 피험자 지침 구간 및 지침에 따른 피험자 상상 구간에서는 보다 다른 구간에 비해 좀 더 명확한 패턴구분의 차이를 나타내고 있다.



(A)



(B)



(C)

그림 14. 정확한 지침에 의한 동일한 반응.

Fig. 14. Similar spectrogram pattern with accurate guide.

그림 15는 본 논문에서 구현한 “오감자극을 활용한 뇌파 DB 구축 시스템”을 사용하여 피험자 10명에 대하여 20회씩 실험을 반복한, 각 채널별 Spectrogram을 나타낸다. 이러한 사용자 입력기반 뇌파 DB구축 시스템은 자동화된 DB저장 기능으로 다양한 형태의 실험을 구성하기 용이하다.

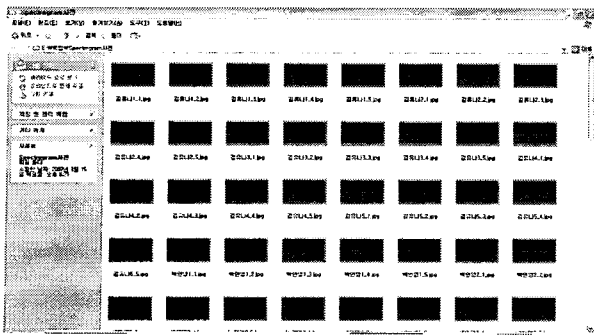


그림 15. 자동 DB구축.

Fig. 15. Gathered EEG data with implemented automatic DB building system.

본 논문에서 구현한 “오감자극을 활용한 뇌파 DB구축 시스템”은 BCI, 인지과학, 뇌과학 등 다양한 학문분야에 있어서 기초적이며 중요한 핵심 분야로서 BCI관련 연구 개발의 기반이 될 것이다. BCI관련 연구 개발은 사고로 전신이 마비된 사람들, 선천적인 지체 부자유자들을 위해 언어나 신체의 동작을 거치지 않고 뇌파를 활용한 직접적인 인터페이스 및 사지가 자유롭지 못한 특수 환경의 근무자들에게 유용한 인터페이스를 제공함으로써 중증 장애우의 삶과 특수근무자 환경의 제약을 획기적으로 변화시킬 수 있는 기술이다. 이와 더불어 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서의 다양한 서비스에 대한 실질적인 입력 수단으로 보다 편리한 인터페이스를 제공할 수 있다.

4.2 향후 연구방향

뇌파신호의 분석에 대한 연구는 다양한 목적을 위하여 의학, 신경과학, 심리학, 컴퓨터과학, 전자 공학 등 여러 학문 분야에서 많은 관심을 갖고 최근 들어 다양한 연구가 진행되고 있다. 본 논문은 이러한 뇌파신호 분석에 대한 관련연구 중 기반 연구로써 “오감자극을 활용한 뇌파 DB구축 시스템”을 구현 하였다. 뇌파 측정시 혼입되는 눈 깜박임이나, 침 삼키기 등에 대한 근전도(EMG), 심전도(ECG), 안 전도(EOG), 맥파, 호흡, 체동(body monement)등 인체 내에서 유래하는 noise 또는 전극의 부착 불량, 불량전극, 전극유도선의 흔들림으로 인한 noise를 검출하기 위해 실험자에 의한 사전검사를 실시하였다. 그러나 실험자는 오류DB를 검출하기 위해 실험 시 항상 모니터 화면을 보고 있어야 하며, 피험자는 오류DB 검출로 인한 연속되는 실험중단으로 실험의 지루함을 느끼는 문제점이 있었다. 향후 이러한 문제점을 보완하기 위해 뇌파 측정시 혼입되는 noise를 자동적으로 제거하여야 할 것이다. 뇌파 측정시 혼입되는 noise를 자동적으로 제거하기 위해서는 독립성분분석, 주요성분분석 등의 noise 분리 및 제거를 위한 다양한 알고리즘에 관한 연구가 진행되어야 할 것이다. 또한 측정되는 뇌파신호를 보다 정확하고 안정적인 뇌파 DB로 구축하기 위해서는 웹캠을 이용한 영상신호 처리와 마이크를 이용한 음성신호 처리의 기술을 함께 활용한 멀티모달 인터페이스(multimodal interface)시스템을 구현하여야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] 최승진, 이해경, 박성철, 김혜진, 통계처리를 이용한 뇌파 패턴 분석에 관한 연구, 한국전자통신연구원, 2002. 11.
- [2] 명현, 김풍민, 이동우, 신동선, 이명철, 배희연, 권혁준, 뇌파 기반의 차세대 휴먼 인터페이스 개발에 관한 연구, 정보통신부, 2003. 5.
- [3] 음태완, 김응수, “뇌파기반 뇌-컴퓨터 인터페이스 기술”, 정보과학회지, 제22권 제2호, pp. 5-19, 2004. 2.
- [4] 신승철, 류창수, 송윤선, 남승훈, “뇌-컴퓨터-인터페이스를 위한 EEG 기반의 피험자 반응시간 감지”, 정보과학회논문지, 제29권 제11호, pp. 837-850, 2002. 12.
- [5] 배일한, 반상우, 이민호, “바이오 피드백을 이용한 뇌-컴퓨터 인터페이스 시스템”, 정보과학회지, 제22권 제2호, pp. 45-51, 2004. 2.
- [6] 양은주, 신동선, 김응수, “EEG 잡파 특성 분석”, 한국 퍼지 및 지능시스템 학회, 제12권 제4호, pp.366-372, 2002. 5
- [7] BRUCE J. FISCH, Fisch and Spehlmann’s EEG Primer, ELSEVIER, 1999. 12.
- [8] I. C. Gökna, L. Sevgi, Complex Computing -Networks, Springer, 2006. 4.



신정훈(Jeong-Hoon Shin)

1992년 2월 성균관대 전자공학과(학사)  
 1994년 2월 성균관대 전자공학과(석사)  
 2004년 2월 성균관대 전기전자및컴퓨터공학과(박사)

1994년 SKC 중앙연구소 광기록 연구실  
 1995년 ~ 2002년 DACOM 종합연구소 가입자장치 개발팀  
 2002년 (주)시너텔 연구소 책임연구원  
 2003년 (주)아진비전 연구소 수석연구원  
 2003년 ~ 2004년 인덕대학 정보통신전공 겸임교수  
 2005년 ~ 현재 대구가톨릭대학교 컴퓨터정보통신공학부 교수  
 2005년 ~ 현재 DGIST 컨버전스미디어분과 위원장  
 2005년 ~ 현재 대구전략산업기획단 임베디드SW분과 위원장  
 관심분야 : HCI, BCI, 오감정보처리



진상현(Sang-Hyeon Jin)

2005년 3월 대구가톨릭대학교 컴퓨터정보통신공학부  
 2007년 9월-현재 대구가톨릭대학교 컴퓨터정보통신공학부 HCI 연구실(연구원)

관심분야 : BCI, EEG 신호처리