

## 32채널 뇌파 및 뇌유발전위 Mapping 시스템 개발

안창범<sup>1</sup>, 윤기병<sup>1</sup>, 박대준<sup>1</sup>, 유선국<sup>2</sup>, 이성훈<sup>3</sup>, 함윤정<sup>4</sup>, 강명준<sup>4</sup>, 김덕중<sup>5</sup>

<sup>1</sup>광운대학교 전기공학과, <sup>2</sup>연세대학교 의공학교실, <sup>3</sup>연정뇌기능수면연구소 <sup>4</sup>미래엔지니어링,

<sup>5</sup>통일의로기

### Development of a 32 Channel EEG and Evoked Potential Mapping System

C.B. Ahn<sup>1</sup>, G.B. Yoon<sup>1</sup>, D.J. Park<sup>1</sup>, S.K. Yoo<sup>2</sup>, S.H. Lee<sup>3</sup>, Y.J. Ham<sup>4</sup>, M.J. Kang<sup>4</sup>, D.J. Kim<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Dept. Electrical Engineering, Kwangwoon University, <sup>2</sup>Dept. Medical Engineering, Yonsei University, <sup>3</sup>Yonjung Brain Function and Sleep Research Institute <sup>4</sup>Meerae Engineering Co.,

<sup>5</sup>Tong-Il Medical Co.

#### Abstract

A clinically oriented 32 channel Electroencephalogram (EEG) and evoked potential (EP) mapping system has been developed. The EEG and EP signals acquired from 32-channel electrodes are amplified by the pre-amplifier located near patient and are then further amplified by main amplifier. An automatic artifact rejection scheme is employed using a neural network by which examination time is reduced substantially. Auditory and visual stimuli are used for the evoked potential mapping. A user-friendly graphical interface based on the Microsoft Window 3.1 is developed for the operation of the system. Statistical databases for the group and individual comparisons are also included to support statistically based diagnosis.

#### 1. 서론

뇌파 및 뇌유발전위는 뇌의 수많은 신경에서 발생한 전기적인 신호가 합성되어 나타나는 미세한 뇌표면의 전위이다 [1]. 뇌파 신호는 뇌의 활동 및 상태, 뇌기능에 따라 시공간적으로 변화하는데 뇌파의 측정은 뇌기능과 장애를 진단하기 위한 필수적인 과정이다. 일반적으로 뇌파신호는 주파수에 따른 대역별 특성과 시간영역에서의 특성, 그리고 뇌기능과 관련된 공간적 특성을 함께 가지고 있는데, 컴퓨터 및 신호처리 기술을 이용하여 이차원 공간상에서 뇌기능 (시간 및 주파수변화) 을 영상화한 것이 뇌파 및 뇌유발전위 진단시스템이다 [2-3]. 뇌파 및 뇌유발전위 진단 시스템은 기존의 X-ray 단층촬영 (CT) 시스템과 같은 뇌구조 영상보다 한단계 더 진보한 뇌기능 영상시스템으로 비슷한 목적의 PET (Positron Emission Tomography) 나 MEG (Magnetoencephalography)에 비하여 시스템이 간단하여 상대적으로 쉽게 구현할 수 있는 장점이 있다.

#### 2. 뇌파 및 뇌유발전위 측정 시스템

환자의 머리에 부착된 전극으로부터 수신된 뇌파 및 뇌유발전위

는 증폭기 및 A/D (Analog to Digital) 변환기를 통해 디지털 신호로 변환되어 컴퓨터에 저장된다. 머리에 부착하는 전극의 배치는 국제 뇌파 및 임상 뇌대사 학회 연맹 (International Federation of Societies for Electroencephalography and Clinical Neurophysiology) 에서 추천하는 10-20 시스템을 따랐다 [4].

뇌파신호는 임상적으로 사용되는 유효한 주파수 성분이 100 Hz 미만이기 때문에 뇌파신호의 sampling 은 Nyquist Sampling 보다 약간 높은 채널 당 256 Hz 로 하였다. 이것은 또한 FFT를 통한 분석을 용이하게 한다 (epoch 가 1초인 경우). 시각 자극에 따른 뇌 유발 전위는 채널 당 796 Hz 로 Sampling 하였으며, 청각 자극에 따른 뇌 유발 전위의 경우 256 Hz 로 Sampling 하였다. Resolution 은 12 bit/sample 로 하였으며, 이것은 양자화 잡음이 그 외의 시스템 잡음 (시스템 또는 뇌파에 내재해 있는 잡음) 보다 낮도록 하였다. 입력 채널의 갯수는 32 개이며, 각 전극의 전위는 하나의 접지점(보통 귀의 전위)에 대한 전위이다. 뇌파신호는 연속적이므로 연속적인 측정이 가능하여야 하고 뇌유발전위 측정의 경우, 시각 또는 청각 자극을 가하고 이 자극에 동기를 시켜 측정이 가능하여야 한다.

#### 3. 뇌파 및 뇌유발전위 증폭 시스템

뇌파 및 뇌유발전위 진단시스템에서 가장 기본적이며 중요한 문제중의 하나는 100  $\mu$ V 미만의 작은 뇌파신호를 컴퓨터가 인지할 수 있는 신호로 증폭할 수 있는 시스템의 구성이다. 본 뇌파 및 뇌유발전위 진단시스템에서는 전단 증폭기와 주증폭기를 분리시켜 전단증폭기를 환자 가까이에 위치시킴으로써 전극과 증폭기 사이에서의 신호의 감쇄를 최소화하였다. 전단 증폭기에서는 약 1000배의 증폭을 하게 되며, 전극의 영향을 줄이기 위한 임피던스 변환기, 차동 증폭기, 기저선 변동 및 온도에 의한 변동을 제거하기 위한 직류 제거 필터, 누설전류에 의한 환자의 안전과 주 증폭기와의 잡음을 분리하기 위한 분리 증폭기, 60 Hz에 의한 공통신 잡음을 제거하기 위한 인체구동회로로 구성되어 있다. 전단 증폭기의 모든 전원은 안전을 위하여 DC-to-DC 변환

기를 사용하여 주전원과 분리 시켰다. 분리되어 입력되는 뇌파 신호는 주증폭기를 거쳐 버퍼를 경유하여 컴퓨터에 입력된다. 주 증폭기에 입력된 신호는 전력선에 의한 잡음, 직류의 변동, 앰프에 의한 잡음, 근전도 신호에 의한 잡음을 제거 하기 위하여 60 Hz 대역 제거 필터, 저역통과 필터(Anti-aliasing filter 역할도 동시 수행), 고역통과 필터를 거친 후에 뇌파의 신호 크기에 따라 이득을 가변하는 가변 이득 조정부를 거쳐 최종 증폭된다. 개발된 측정 시스템 및 증폭 시스템으로 얻은 32 채널 뇌파신호를 그림 1 에 보였다.

4. 뇌파 및 뇌유발전위 신호 처리

연속 EEG 는 어떤 자극도 가하지 않은 상태에서 자연스럽게 나타나는 뇌파이고, 시각유발전위와 청각유발전위는 각각 시각적 자극과 청각적 자극을 가한 후 측정된 뇌파신호이다. EEG와 유발전위의 신호 처리 방법은 공통된 전처리과정을 거쳐 뇌파의 경우 주로 주파수 영역에서, 유발전위의 경우 주로 시간 영역에서 이차원 Topography (Map) 를 만들어 디스플레이 한다.

1) 전처리 과정

컴퓨터에 입력된 뇌파신호는 여러가지 electronics 의 offset 과 환자의 움직임 등에 의해 신호 파형이 점차 증가하거나, 감소하는 Artifact를 제거하기 위하여 Linear Detrend 를 거친다. 이것은 EEG 전극값과 임의의 직선과의 제곱 오차를 최소화 하는 기울기와 절편을 구한 후 제거하는 과정이다. 또한 뇌파와 유발전위는 digital 저역필터와 60 Hz Notch 필터를 거치게 된다. 저역 필터와 Notch Filter 는 뇌파증폭기에서도 hardware 로 구현되어 있으나 digital filter를 다시 한번 거침으로써 더욱 성능 개선을 얻을 수 있다.

2) 신경망을 이용한 뇌파와 Artifact 자동 처리

기존의 대부분 뇌파 및 뇌유발전위 시스템들은 수신된 뇌파를

전문가(의사)가 직접 눈으로 확인하면서 Artifact를 판정해 왔는데 이때 많은 시간이 소요되고 또한 이과정에서 전체 시스템의 자동화에 큰 제약이 되어 왔다. 개발된 시스템에서는 전문가의 Artifact를 판정하는 지식을 이용하여 전문가 수준의 지식을 갖는 신경망을 구성하였다 [5]. 개발된 신경망은 multilayer perceptron 구조로 입력층, 은닉층, 출력층의 3층으로 구성되어 있다. 본 시스템에서는 한 epoch 를 단위로 전처리 과정을 거친 뇌파신호를 입력신호로 사용하였고 신경망의 학습은 역전파 알고리즘을 이용하였다. 학습을 마친 신경망의 일반화정도를 시험해본 결과 좋은 뇌파를 검출할 확률이 89% 로, 그리고 artifact 를 좋은 뇌파로 잘못 인식할 확률이 1.6% 로 나타났다. 이것은 한 전문가가 동일한 데이터를 약 2주 간격으로 두 번 분류하였을 때 나타나는 차이 정도이며 서로 다른 전문가들 간의 차이보다는 오히려 적은 것이다.

3) 뇌파신호처리

측정된 뇌파 신호는 주파수대역에 따라 delta(1 - 4 Hz), theta(4-8 Hz), alpha(8-13 Hz), beta(13-22 Hz)로 구분되는데 각 대역에서의 뇌파 스펙트럼은 뇌 기능과 공간적위치에 따라 특정한 패턴과 크기를 보인다. EEG 신호의 경우 1 초 단위로 끊어서 (Epoch) FFT 를 한 후, 절대값을 취하여 Ensemble 평균을 함으로써 스펙트럼을 얻는다. 분리된 각각의 주파수 대역에 대한 뇌파의 크기는 이차원 topography (map) 형태로 디스플레이되어 진단에 사용된다. 실제 측정된 공간상의 위치는 32 곳으로 한정되어 있기 때문에 진단에 보다 효율적인 이차원 Map 을 구성하기 위하여 보간법이 사용된다. 선형보간은 보간하고자 하는 곳에서 가장 가까운 4곳의 전극값에 보간하고자 하는 곳과 각 전극간의 거리에 반비례하는 가중치를 곱한 후 합하여 얻는다. 이러한 신호처리를 거쳐 얻어진 뇌파의 스펙트럼 Map을 그림 2 에 보였다.

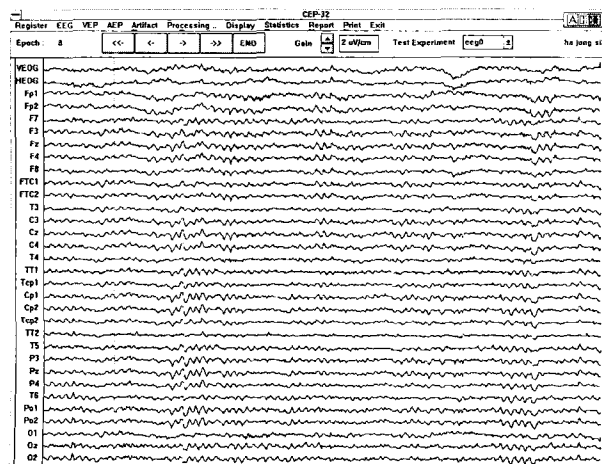


그림 1 측정된 뇌파신호

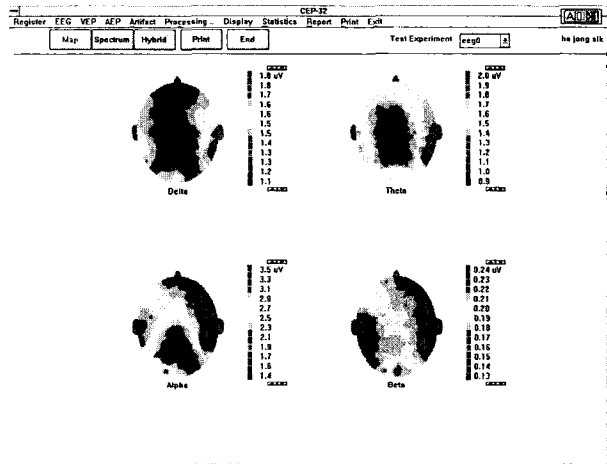


그림 2 뇌파 스펙트럼 Map

4) 뇌유발전위 신호처리

뇌유발전위는 시각 및 청각자극을 가하고 난 후 자극에 등기를 맞추어 신호를 측정한다. 보통 뇌유발전위에는 자발적인 EEG가 더해져서 나타나기 때문에 random 한 EEG를 제거하기 위하여 시간 영역에서 자극이 가해진 시점을 기준으로 Ensemble 평균을 한다. 뇌유발전위 map은 시간의 함수로 주어지는 유발전위의 특정한 시간(latency time)에 대하여 얻어진다. 그림 3은 시각자극에 따른 시각 유발전위와 4곳의 latency time에서 얻어진 map을 보여주고 있다.

5. 사용자 Interface

사용자 Interface는 사용자의 편리함과 개발 소프트웨어의 손쉬운 유지 보수를 위하여 마이크로 소프트사의 윈도우(Window Software Development Kit : SDK)를 기초로 C언어로 작성되었다. 32 채널 Computerized EEG and EP System (CEP-32)을 처음 수행하게 되면 그림 4의 메뉴가 나타난다. 메뉴는 왼쪽에서부터 등록메뉴, EEG 측정 및 측정된 데이터 검사 메뉴, 시각 유발전위 (VEP) 측정 및 검사 메뉴, 청각유발전위 (AEP) 측정 및 검사 메뉴, Artifact 판정 메뉴, 신호처리 메뉴, 디스플레이 메뉴, 통계적 비교 진단 메뉴, 검사보고서 작성 메뉴, 프린트 메뉴, 그리고 본 프로그램에서 빠져나가는 종료 메뉴로 구성되어 있다. 메뉴 디자인은 기본적으로 뇌파 측정 및 진단 sequence에 기초를 두어 왼쪽에서 오른쪽으로 순차적으로 선택이 되면 검사와 진단이 연속적으로 진행되도록 설계되어 운영이 용이하도록 하였다. 메뉴아래의 그림은 메뉴의 절차를 보다 알기쉽게 tool box 형식으로 나타내고 있으며 tool box 간에는 화살표를 사용하여 진행과정을 표시하였다. 메뉴의 선택은 상단의 conventional 메뉴를 선택하여도 되고 또한 아래그림의 tool box를 선택하여도 수행이 되도록 하였다. 주요 메뉴에 대한 간단한 설명은 아래와 같다.

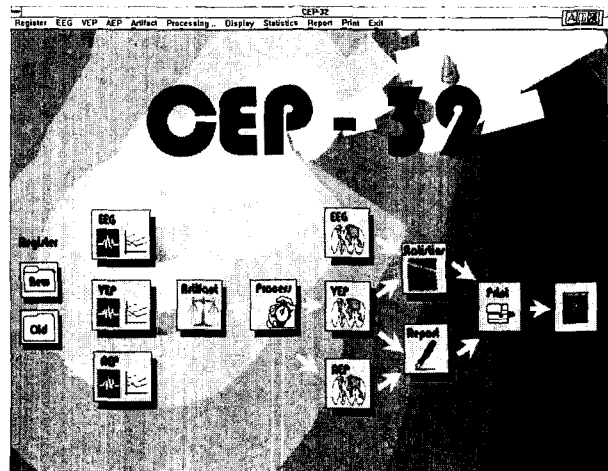


그림 4 개발된 시스템의 전체 메뉴

1) 뇌파 및 유발전위 측정 및 검사 메뉴

뇌파측정을 위한 메뉴로써 측정되는 EEG 파형은 화면에 계속 디스플레이되고 (8 epoch), 파형의 크기를 조절할 수 있는 gain box가 있다. 시각자극에 따른 뇌유발전위(Visual Evoked Potential : VEP)를 측정할 경우에는 화면에 1.5 x 2.0 cm의 흰색과 검은색의 격자무늬가 Display되며 500ms 간격으로 격자무늬의 색깔이 반전된다. 청각자극에 따른 뇌유발전위(Auditory Evoked Potential : AEP)를 측정할 경우 1000 Hz와 2000 Hz의 음이 4:1의 비율로 불규칙하게 1.5 초 간격을 두고 발생된다. 측정된 뇌파 및 유발전위 파형을 검사하기 위한 Menu가 선택되면 처음 8 epoch의 파형이 디스플레이되며 상단의 <-, ->, <<-, ->> button들을 사용하여 전후로 이동할 수 있다 (그림 1 참조).

2) Artifact 판정 메뉴

Artifact 메뉴를 선택하면 그림 5와 같은 화면이 나타나며, 신경망에 의하여 판정된 점수가 오른쪽 상단의 Artifact level 이상이 되어야 양질의 뇌파로 간주된다. 이때 전체 측정된 뇌파의 epoch 수와 양질의 뇌파수가 artifact level 아래에 디스플레이된다. artifact level은 검사하는 전문가에 따라 설정할 수 있게 하였다. 오른쪽 화면에 디스플레이되는 파형은 신경망에 의하여 통과된 양질의 뇌파들로서 <-, ->, <<-, ->> button들을 사용하여 전후로 이동할 수 있다. 따라서 신경망을 이용하면 전문가가 검사해야할 뇌파의 수는 측정된 전체 epoch에서 양질의 뇌파수로 줄어들게 된다 (임상응용에서 양질의 뇌파 수는 전체 측정된 데이터의 약 20% 정도이다). 만약 신경망에 의하여 양질의 뇌파라고 판정된 것을 artifact로 바꾸고자 할 경우 artifact button을 누르면 점수가 artifact level 아래로 떨어져 artifact로 바뀌게 된다. 디스플레이 모드는 주요 10채널을 크게 디스플레이할 수도 있고, 전체 32채널을 선택할 수도 있다. Review button은 앞의 review mode

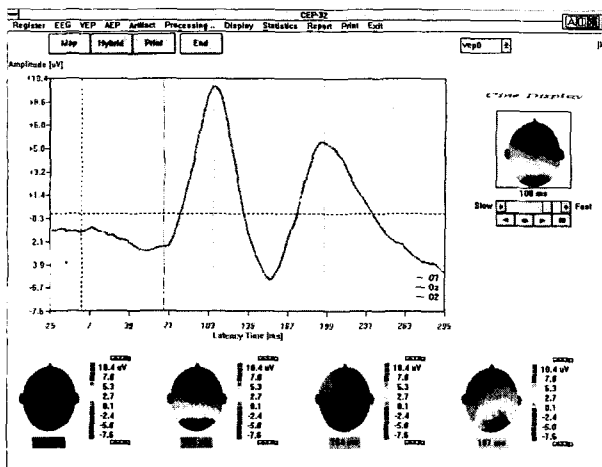


그림 3 시각 유발전위 파형 및 Amplitude Map

## 32채널 뇌파 및 뇌유발전위 Mapping시스템 개발

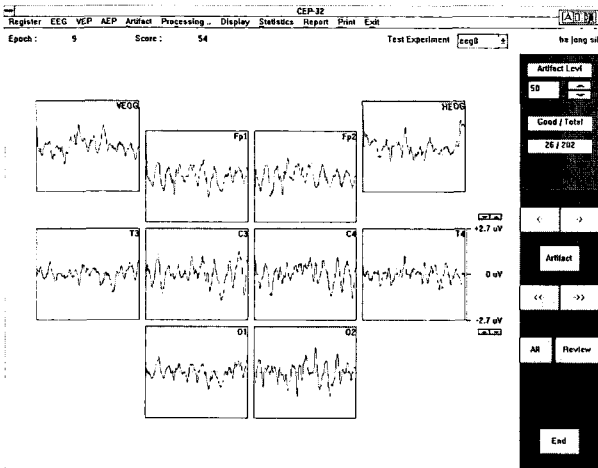


그림 5 신경망을 이용한 Artifact 판정 화면

와 비슷한 디스플레이 방식으로 한 epoch 단위가 아닌 전체적인 뇌파 파형을 보면서 artifact를 판정할 수 있는 잇점이 있다. 이 경우 상단에 epoch 수와 신경망에 의하여 판정된 점수가 디스플레이된다. 여기에서 디스플레이된 box가 붉은색이면 artifact이고 푸른색이면 양질의 뇌파를 뜻한다. 신경망에 의한 판정을 바꾸고 싶을때에는 디스플레이 box내를 cursor로 누르면 바뀌게 된다.

### 3) 디스플레이 메뉴

EEG Map을 선택할 경우 뇌파의 스펙트럼 Map (그림 2 참조)이 디스플레이되며, Spectrum을 선택할 경우 각 electrode에서의 뇌파 spectrum이 몽타주 위에 graphical하게 디스플레이된다. 각각의 spectrum은 원하는 대역으로 확장 및 축소가 가능하다. spectrum은 delta, theta, alpha, beta 대역에 따라 서로 다른 색깔을 사용하고 있다. Hybrid를 선택할 경우 대표적 채널의 spectrum과 1-12 Hz까지의 주파수에 해당하는 map이 함께 디스플레이된다.

VEP 및 AEP Map을 선택할 경우 화면의 윗 부분에 주요 유발전위 파형이 디스플레이되고 아래 부분에 time amplitude Map이 만들어진다 (그림 3 참조). EP 파형 디스플레이에서는 자극이 가해진 위치를 점선으로 나타내었고 이 위치가 latency time의 원점이 된다. 유발전위 파형이 Display된 부분에서 원하는 위치를 마우스를 눌러 선택하면 그위치에서의 Map이 만들어지며 Map의 아래에 Latency Time이 Display된다. Map의 최대 갯수는 4개 이고 디스플레이되는 map의 위치는 latency time 순서대로 나타내게 하였으며, 필요시에는 자동으로 rearrange 되게끔하였다. Cine Display는 EP Map이 시간에 따라 동적으로 변하는 Map을 연속적으로 디스플레이하며, EP Hybrid는 왼쪽에 디스플레이된 유발전위 파형중 선택된 구간 (색상이 반전되어 나타남)을 12 간격으로 균등하게 나누어 각각의 시점에서 EP map을 구성하여 오른쪽에 latency time과 함께 디스플레이한다.

### 4) 통계적 진단 메뉴

비교 button이 눌러지면 개인의 map (첫번째 column)과 통계적 data base에서 구한 그룹의 평균값으로 구성된 map (두번째 column)과 이것의 차이를 그룹의 표준편차로 나눈 z map (세번째 column)을 디스플레이한다. 개인과 그룹 간에 차이가 큰 부위가 z map에서 크게 나타나며 이를 기초로 개인과 특정 그룹 간의 비교 및 진단을 한다. z-map에서는 개인과 그룹 간의 차이를 그룹의 표준편차로 나누었기 때문에 단순한 차이 (difference)를 보는 것보다 신뢰도가 더 크다.

## 6. 결론

임상목적의 32 채널 뇌파 및 뇌유발전위 시스템을 개발하였다. 32개의 전극으로부터 수신된 뇌파는 전단증폭기를 거쳐 주증폭기에서 증폭이 된 후 채널당 약 1 kHz로 sampling되어 컴퓨터에 저장된다. 시각자극 유발전위나 청각자극 유발전위의 경우 증폭된 신호는 자극에 동기가 되어 측정된다. 증폭과정에서 전단증폭기와 주증폭기를 분리하여 부피가 작은 전단증폭기를 환자 가까이에 위치시켜 신호를 증폭함으로써 전극과 증폭기 사이에서의 신호의 감쇄를 최소화하였다. 디지털 형태로 저장된 신호는 linear detrend 및 filtering 등을 거쳐 뇌파와 artifact 분류를 거치게 된다. 개발된 시스템에서는 multilayer perceptron 구조의 신경망을 이용하여 측정된 뇌파에서 순수 뇌파신호와 EOG, EMG 등의 다른 생체신호가 내재한 artifact를 자동으로 분류하였다. 시스템의 interface는 Microsoft Window 3.1에 기반을 둔 Graphical User Interface로 사용자가 운영하기 편리하게 하였고, 메뉴 디자인은 뇌파 측정 및 진단 sequence에 기초를 두어 순차적으로 검사 및 진단이 이루어지도록 하였다. 또한 통계적 database들을 포함하여 개인과 특정 집단간의 z 값을 2차원 map 형태로 볼 수 있도록 하여 통계적 진단이 가능하도록 하였다.

## 참고 문헌

- [1] E. Niedermeyer and F.L. Da Silva, *Electroencephalography : Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields*, 3rd ed., Williams & Wilkins, Baltimore, 1993.
- [2] P.K.H. Wong, *Introduction to brain topography*, Plenum, New York, 1991.
- [3] 안창범, 이성훈, 유선국, 강명준, 김덕중, 함윤정 외 10인, "EEG 및 유발전위를 이용한 진단시스템 개발," 공업기반기술 개발사업 최종보고서, 통상산업부, 1995.
- [4] R. Cooper, J.W. Osselton, J.C. Shaw, *EEG Technology*, 3rd ed. Butterworths, Boston, 1980.
- [5] 안창범, 이택용, 이성훈, "신경망을 사용한 뇌파 및 Artifact 자동 분류," 의공학회지 제 16권, pp.157-166, 1995.