한국감성과학회지, Vol. 6, No. 4, pp. 15-23. December 2003

시청각자극 후의 피험자의 자의적 반응시간의 자동계측과 유발뇌파분석을 위한 동기신호의 생성

Automatic measurement of voluntary reaction time after audio-visual stimulation and generation of synchronization signals for the analysis of evoked EEG

김철승* · 엄광문* · 손진훈**

Chul-Seung Kim*, Gwang-Moon Eom*, Jin-Hun Sohn**

Abstract : Recently, there have been many attempts to develop BCI (brain computer interface) based on EEG (electroencephalogram). Measurement and analysis of EEG evoked by particular stimulation is important for the design of brain wave pattern and interface of BCI. The purpose of this study is to develop a general-purpose system that measures subject's reaction time after audio-visual stimulation which can work together with any other biosignal measurement systems. The entire system is divided into four modules, which are stimulation signal generation, reaction time measurement, evoked potential measurement and synchronization. Stimulation signal generation module was implemented by means of Flash. Measurement of the reaction time (the period between the answer request and the subject reaction) was achieved by self-made microcontroller system. EEG measurement was performed using the ready-made hardware and software without any modification. Synchronization of all modules was achieved by, first, the black-and-white signals on the stimulation screen synchronized with the problem presentation and the answer request, second, the photodetectors sensing the signals. The proposed method offers easy design of purpose-specific system only by adding simple modules (reaction time measurement, synchronization) to the ready-made stimulation and EEG system, and therefore, it is expected to accelerate the researches requiring the measurement of evoked response and reaction time.

Key words : Reaction time, evoked potential, synchronization signal, brain computer interface

요약 : 근래에 들어 질병으로 인하여 의사표현이 곤란한 환자에게 뇌파에 기초한 BCI(Brain Computer Interface)와 같은 새로운 인터페이스를 제공하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 특정 자극에 대해 유발되는 뇌파의 측정과 분석은 BCI를 위한 뇌파의 패턴과 인터페이스의 설계에 중요한 역할을 한다. 이 연구의 목적은 시청각 자극 인가 후 피험자의 반응시간을 측정하는 시스템을 EEG와 같은 생체 신호 계측 시스템과 연동이 가능한 형태로 개발하는 것이다. 제안된 시스템은 기능적으로 자극신호 발생부, 반응시간 측정부, 유발뇌파 측정부, 동기신호 발생부로 나뉘어진다. 자극신호 발생부는 실험에 이용되는 자극신호를 제작하는 부분으로서 Flash를 사용하여 구현하였다. 반응시간 측정부는 문제에 대한 답 선택 요청시각으로부터 피험자의 반응까지의 시간을 측정하는 부분으로서 마이크로컴퓨터를 이용하여 구현하였다. 유발뇌파 측정부는 시판용 하드웨어와 소프트웨어를 그대로 사용하였다. 동기신호 발생부는 전체 시스템의 동기를 맞추기 위한 신호를 발생하는 부분으로서 문제제시, 답요구와 동기한 화면상의 명암신호와 이를 검출하는 광센서로 구성하였다. 본 논문에서 제시한 방법에서는, 기존의 유발전위 측정 및 자극시스템에 특정 모듈(반응시간 측정 장치, 동기신호 발생장치)만을 추가하여 실험자의 의도에 맞는 시스템을 설계할 수 있어 유발응답 및 반응시간의 측정을 필요로 하는 연구를 가속화 할 것이 기대된다.

주요어 : 반응시간, 유발뇌파, 동기신호, brain computer interface

* 건국대학교 의과대학 의학공학부, School of biomedical engineering, Konkuk University

** 충남대학교 심리학과, Department of Psychology, Chungnam National University

1. 서론

임상에서는 뇌파가 치매나 간질 등의 질환을 진단하고 바이오피드백을 통한 치유 등과 같이 폭넓게 사용되어 왔으며 현대에 이르러서는 정서 측정 및 인지과정을 측정하기 위한 도구로서 확대 사용되기 시작했다[1-10]. 인지과정 중 가장 간단한 의사표시는 양분법적 판단으로서 여기에는 둘 중의 하나를 선택하는 긍/부정이나 일치/불일치(match/mismatch)의 판단 등이 있다. 근래에 들어 양분법적 판단 및 상하좌우의 판단을 이용하여 BCI(Brain-Computer Interface)를 구현하고자 하는 연구가 진행되고 있다 [11-18]. Brain/spinal cord injury, amyotrophic lateral sclerosis, brainstem stroke, cerabral palsy 등 수많은 질병으로 인하여 자립적인 컴퓨터 엑세스가 불가능했던 많은 환자들은 BCI를 사용하여 자신의 의사표시를 할 수 있을 것이 기대된다.

BCI에 대한 기초 연구로서 특정 자극에 대해 유발되는 뇌파를 측정하는 것은 매우 중요하며, 이를 통해 BCI를 위한 뇌파의 패턴과 인터페이스를 설계할 수 있을 것이다. 이를 위해서는, 뇌파의 분석과정에서 특정 자극에 대한 뇌파의 범위의 구분이 매우 객관적이고 정확하게 이루어져야 한다. 이는 시간 영역에서 가산평균을 시행하기 위해서 필수적일 뿐 아니라, 주파수 영역에서의 분석을 위해서도 불가결하다. 예를 들어, 뇌파의 분석시에 주파수 영역의 특성을 이용하는 것이 긍정과 부정과 같은 상이한 결과를 분석하는 데 효과적인데[19-20], 주파수 분석을 위해서는 변환 영역을 시간적으로 정확하게 구분하는 작업이 필요하다. 만약, 답선택 요구시각과 피험자의 반응시각에 대한 동기신호를 얻을 수 있다면 영역별 구분이 매우 용이하게 된다. 또한 피험자의 반응시간(답선택 요구로부터 응답까지의)을 측정할 수 있다면 문항별 반응시간의 추이를 분석함으로써, 각 문항에 따른 뇌에서의 신호처리 과정을 유추할 수도 있을 것이다. 따라서 유발뇌파의 해석에 있어서 반응시간의 측정 및 동기는 매우 중요하며, 우리는 유발뇌파의 측정, 자극제시 시각 및 피험자반응 시각에 대한 동기신호의 발생 및 반응시간의 측정을 통합하는 시스템의 개발을 목적으로 한다.

동기신호와 자극신호를 발생하고 생체신호 및 반응시간을 계측하는 모든 작업을 하나의 프로그램에서 처리하면 모든 작업이 일원화 되어서 사용하기 편하고 시스템이 간단해 진다는 장점이 있다. 그러나 일원화된 시스템은 개발시간이 길고 프로그래밍 전문가가 필요하다. 또한 실험자의 의도대로 프로그램으로 구현하기 위해서는 프로그래머와 실험자의 빈번한 의견교환이 필요하다. 즉, 자극을 수정 또는 추가할 경우 프로그래머에게 요청해야 하고 수정한 프로그램을 확인하기 위하여 실험자가 예비 실험을 해야 한다. 또한 하나의 PC에서 작업을 수행하므로 이에 따르는 여러 가지 단점이 있다. 즉, 여러 가지 작업을 동시에 처리해야 하므로 처리 속도가 매우 빠른 컴퓨터가 필요하고, 순차적 작업 처리로 인하여 시간지연 문제가 발생할 수가 있으며, 실험공간으로부터 모든 데이터를 측정 장소로 전달하기 위하여 배선이 복잡해진다.

위의 문제들을 해결하기 위해서 우리는 자극 프로그램의 작성 및 수정이 용이하고, 실험설계와 구현기간을 단축시킬 수 있으며, 간단한 장치의 추가만으로 기존의 유발 뇌파 측정 장치에 동기신호를 전송하며 반응시간의 계측도 달성할 수 있는 시스템을 구현하고자 한다. 구체적으로는 자극 신호발생, 반응시간 계측, 유발전위 계측을 각각 독립적인 장치에서 수행하도록 하고, 각 모듈 간의 동기화를 위한 동기신호 발생 모듈을 추가하였다. 이 방법에서는, 각각의 작업을 분리하여 저사양 PC를 이용하여도 원하는 작업이 가능하다.

독립적으로 작동하는 세 가지 장치를 동기화 하는 것은 반응시간을 측정하고 데이터를 분석하기 위해 중요하다. 동기를 위하여 각 자극과 동일한 시각에 명암 신호를 동일 화면에 제시하고 이를 광센서가 감지하여 반응시간 측정장치 및 유발전위 계측장치가 인지하도록 하였다. 반응시간 계측이 독립적으로 이루어지므로, 자극신호 발생용 프로그램, 유발전위 계측은 상용제품을 사용하여 실험준비 및 결과분석의 기간을 단축시켰다.

2. 방법

2.1 전체 시스템의 구성

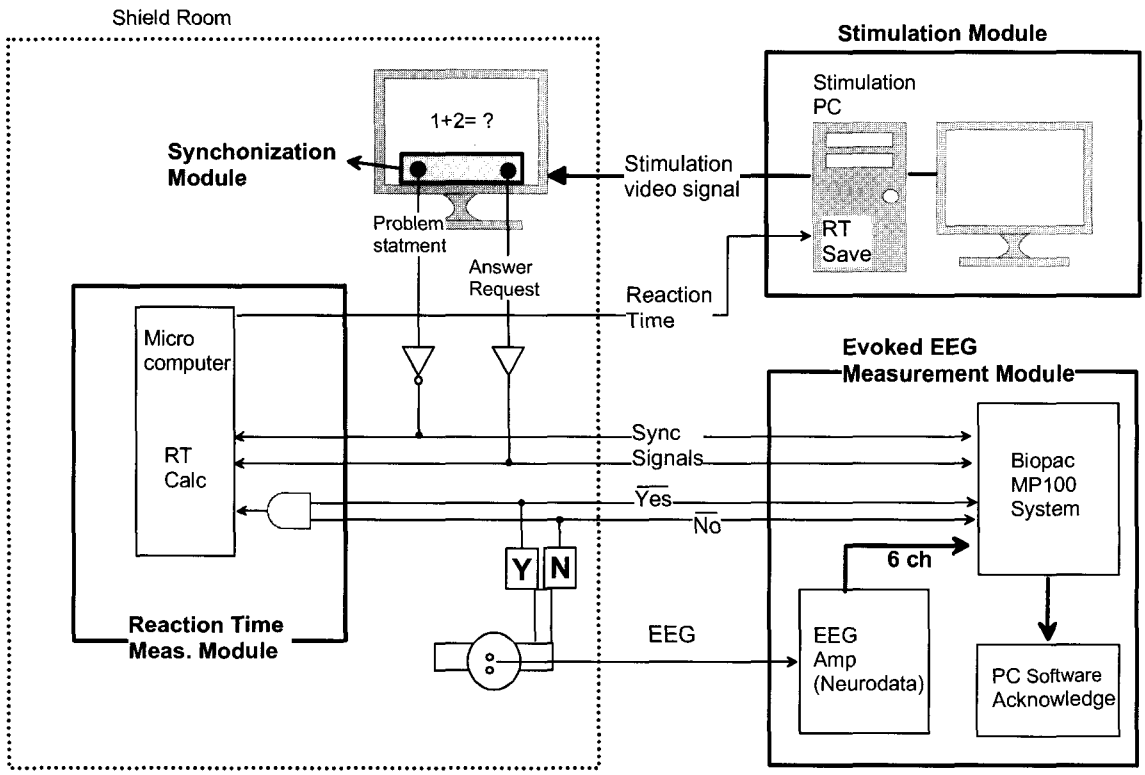


그림 1. 전체 시스템 개요

전체 시스템은 그림 1과 같이 기능적으로 자극신호 발생부, 반응시간 측정부, 유발뇌파 측정부, 동기신호 발생부로 나눌 수 있다. 자극신호 발생부는 시청각 자극신호를 피험자에게 제시하는 부분으로서 Flash를 사용하여 구현하였다. 반응시간 측정부는 답선택 요구 시각으로부터 피험자의 반응까지의 경과시간을 측정하는 부분으로서 마이크로컴퓨터를 이용하여 구현하였다. 유발뇌파 측정부는 시판되는 제품을 사용하였다. 동기신호 발생 부분은 전체 시스템을 동기화하기 위한 동기신호를 발생하는 부분이다.

반응시간 측정 장치에서 자극의 트리거신호를 자극신호 발생장치에 인가하여 자극이 시작되도록 할 수도 있으나, 이러한 방식에서는 자극신호 발생장치의 독립성이 저하되고 자극용 상용프로그램의 사용이 어렵다. 이와는 반대로, 자극용 프로그램을 자체 제작하여 동기신호를 반응시간 측정 장치에 전송할 경우에는, 시작신호의 전송 및 처리에 따른 시간지연으로 인해 정확한 반응시간을 측정하는 것이 불가능하다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 동기신호 발생부(즉, 자극 화면상의 명암신호와 이를 검출하는 광센서)를 사용하여 화면에 문제가 실제로 나타나는 시각을 측정하여 동기신호를 발생하였다. 이 동기신호를 이용하여 반응시간 측정 장치가 반응시간을 측정하고, 또한 이 동기신호를 동시에 유발전위 측정 시스템에도 전송하여 유발전위 데이터의 영역구분을 용이하게 하였다.

피험자의 반응신호는 반응시간 측정장치와 유발전위 측정장치에 동시에 인가하였다. 반응시간 측정

장치에서는 반응신호의 종류(Yes/No)가 중요한 요소가 아니기 때문에 OR 게이트를 사용하여 신호의 유무만을 인가하였다. 그러나 유발전위 측정장치에는 반응신호의 Yes/No의 정보도 인가하여 정/오답에 따른 해석을 가능하게 하였다.

2.2 자극신호 발생장치

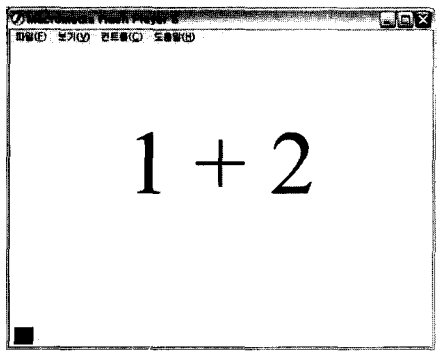
이 실험에서 사용되어진 자극의 종류는 시각, 청각, 시청각 자극이 있다. 자극 문항의 추가와 수정을 쉽게 하고 자극신호 포맷의 다양성을 고려하여 Macromedia 사의 Flash[21]를 사용하여 자극문항을 제작하였다. Flash를 사용하면 프로그램에 능통하지 못한 실험자도 자극신호를 직접 작성하고 실험 현장에서 필요에 따라서 수정할 수 있다. 즉, Flash로는 멀티미디어 파일을 작은 사이즈로 제작할 수 있고, 정지 화상뿐만 아니라 동영상도 제작할 수 있으며, 대화식 환경을 구축할 수가 있어 실험자의 실험 제어가 쉽다. 또한 Flash를 이용하여 제작한 파일은 프레임(frame) 형태로 되어 있어서 시간제어 또한 편리하다. Flash 애니메이션의 프레임 재생속도는 120 frame/minute로 고정하고 문항을 제작하였다.

과제의 종류로는, 긍정이나 부정을 유도하는 과제로서 덧셈과제와 도형과제를, 위치 연상과제로서 상하/좌우 이동 문제를 설정하였다. 덧셈 과제는 덧셈식을 제시한 후 이에 해당하는 답을 제시하였을 때 옳고 그름을 판단하는 문제이다. 도형과제는 주어진 도형이 이전에 주어진 도형과 일치하는지를 판단하는 문제이다. 위치 연상과제는 커서가 상하/좌우로 이동하는 화면을 피험자에게 제시하고 이때 유발되는 뇌파를 측정하는 과제이다. 실험자는 모니터 분배기를 이용하여 피험자의 자극화면과 동일한 화면을 시청하고 제어할 수 있도록 하였다.

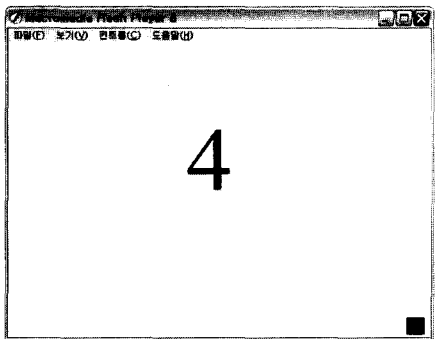
2.3 동기신호 발생장치

그림 2(a), (b)에서는 동기신호를 삽입한 긍부정 문항의 일례로서 덧셈과제를 보인다. (a)는 문항 제시 화면으로서, 문제의 시작과 동시에 왼쪽 하단에 0.5초간 검은 네모가 생성되고 이 신호를 포토트랜지스터(photo-transistor)가 감지하여 동기신호를 생성한다. (b)는 답 선택 요구화면으로서, 이 화면의 출현과 동시에 오른쪽 하단에 0.5초간 검은 네모가 생성되고 이를 포토트랜지스터가 감지하여 동기신호를 발생한다. 이 두 가지 동기신호는 반응시간 계측부와 유발뇌파 측정부에 동시에 전달된다.

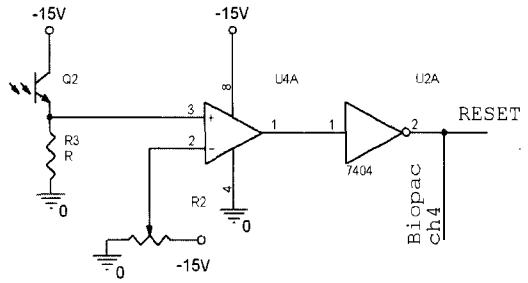
위의 두 가지 동기신호를 명확히 구분하기 위하여 그림2 (c)(d)와 같은 회로를 구성하였다. 양쪽 모두, 포토트랜지스터와 저항으로 구성되는 광검출회로는, 평상시에 화면의 빛이 인가될 때 5V를 출력하고, 검은색의 동기신호가 0.5초간 인가될 때 0V를 출력한다. 문항제시를 검출하는 광검출회로에는 비교기와 인버터를 연결하여, 최종출력은 평상시에는 0V이고 문항제시와 동시에 5V의 출력이 0.5초간 발생하도록 하였다. 답선택요구를 검출하는 광검출회로에는 비교기와 버퍼(인버터*2개)를 연결하여, 최종 출력은 평상시에는 5V이고 답 선택 요구와 동시에 0V의 출력이 0.5초간 발생하도록 하였다.



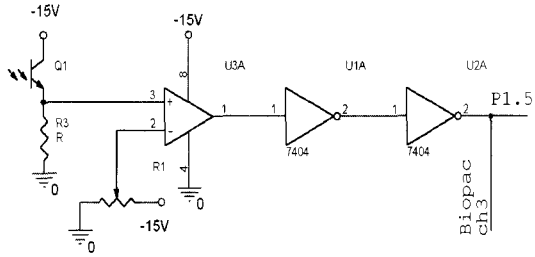
(a) 문항제시 화면



(b) 답 선택 요구 화면



(c) 문항제시 화면 동기신호 발생회로



(d) 답 선택 요구 화면 동기신호 발생회로

그림 2. Flash로 작성한 긍부정 문항(덧셈과제)와 동기신호 발생회로

이와 같은 구성으로 인해, 시각, 청각, 시청각 중 어떠한 종류의 자극을 사용하더라도 화면에 실지로 나타나는 문항제시의 시각 및 답 선택 요구의 시각과 동기한 신호를 얻는 것이 보장된다. 또한, 문항을 Flash로 제작하였기 때문에, 신호의 생성 시간 및 생성위치는 실험자의 요구에 맞게 조절할 수 있다.

2.4 반응시간 측정 장치

반응 시간은 8bit 마이크로컨트롤러(80C31)를 이용한 마이크로컴퓨터 시스템[22-23]을 제작하여 측정하였다. PC용 마우스를 개조한 버튼을 이용하여 피험자의 반응신호를 측정하였는데, 마우스의 왼쪽 버튼 클릭을 YES, 오른쪽 버튼 클릭을 No에 각각 배정하였다. 이 두 가지 반응신호는 반응시간 측정부 내의 마이크로컴퓨터와 유발뇌파 측정부 내의 Biopac System에 동시에 전달된다. 또한, 반응시간, 즉 답 선택 요구 화면이 시작된 후부터 피험자가 반응 할 때까지의 시간을 측정하기 위하여 다음과 같은 프로토콜을 설계하였다.

마이크로컴퓨터는 동기신호 발생장치로부터 문항제시 신호가 인가되면 초기화되며, 이와 동시에 반응시간 저장용 PC프로그램에게 '0'을 전송하여 문항의 시작을 알리도록 하였다. 마이크로컴퓨터의 입력포트에 동기신호 발생장치로부터 답 선택 요구의 동기신호가 입력되는 순간 0.1msec 단위로 시간 계산을 시작한다. 피험자가 응답용 Y/N 버튼을 누르면 이 신호가 마이크로컴퓨터의 인터럽트로 인가되어 시간계산이 중지되고, 계산된 반응시간이 반응시간 저장용 PC 프로그램에 전달된다. 만약 피험자가 답을 선택하지 않았다면, 문항제시를 알리는 '0'이 전송된 이후에 반응시간의 전송이 없이 다음 문항의 시작을 알리는 '0'이 전송되게 된다.

그림 3과 같이 반응시간 저장용 프로그램을 Visual Basic을 사용하여 제작하였다. 이 프로그램은 마이크로컴퓨터로부터 시리얼 통신을 통해 데이터를 수신하고, 이를 PC에 저장하는 기능을 가진다. 이 프로그램을 탑재할 수 있는 PC로서는 그림 1에서의 자극신호 발생용 PC와 유발전위 계측용 PC의 두 가지가 있는데, 유발전위 계측용 PC에 비해 자극신호 발생용 PC의 부하가 상대적으로 적으므로, 이 프로그램은 편의상 자극용 PC에 설치하였다. 실험이 종료되면 각 자극에 대한 반응시간이 text 파일 포맷으로 저장된다. 실험자는 이 데이터를 바탕으로 반응시간을 확인할 수 있고 피험자가 반응을 하지 않은 문제도 확인할 수 있다.

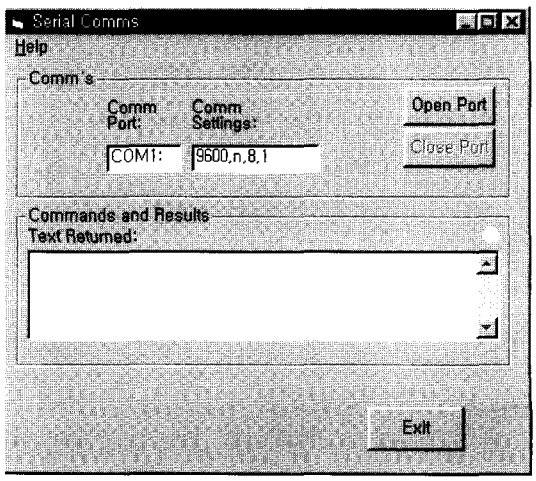


그림 3. 반응시간 저장용 PC 프로그램

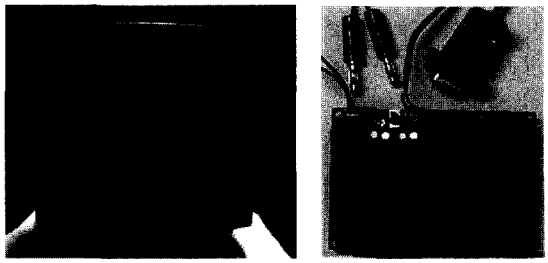
2.5 유발뇌파 측정장치

뇌파의 측정 및 분석에는 하드웨어로서 Grass 사의 Neurodata Acquisition System(model 12)과 Biopac 사의 MP100을 사용하였고, 소프트웨어로서 Biopac 사의 AcqKnowledge 3.2를 사용하였다. 전극 부착위치는 Jasper(1958)에 의해 발표된 International 10/20 electrode system에 의해 귓불(A1, A2)을 기준으로 하여 F3, F4, O1, O2, PF1, PF2 부위이고 단극유도법으로 뇌파를 측정하였다[24]. 그리고 우측 눈 아래에 EOG 측정을 위한 전극을 부착하였다.

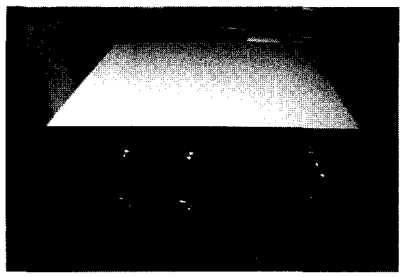
3. 결과

그림 4는 본 논문에서 제안된 설계기법에서 가장 중요한 구성요소인 동기신호 발생장치와 응답시간 계측모듈을 나타낸다. 동기신호 발생장치에서 화면하단에 검은색 사각형이 나타날 때는 주변의 빛이 포토트랜지스터의 출력에 노이즈로서 작용하므로, 그림 (a)와 같이 아크릴 판에 포토트랜지스터를 끼워서 실리콘으로 고정하였고, 아크릴판이 모니터와 닿는 면은 검은색을 칠하고 화면에 밀착시켜서 주변의 빛이 들어오지 않도록 하였다. 실험 중 피험자의 주의를 차단하기 위하여 아크릴 부위를 천을 사용하여 가렸다. 반응시간 계측부의 주요 구성요소인 마이크로 컴퓨터는 그림 (b)와 같이 PCB 기판에 작성하여 소형화하였다. 문항제시와 답 선택 요구의 동기신호 및 피험자의 반응신호(답 선택 신호)는 각각 그림 (c)의 반응시간 계측모듈의 전면을 통하여 반응시간 계측모듈 내 마이크로프로세서의 리셋, 입력포트, 인터럽트로서 입력되며, 이를 바탕으로 계산된 반응시간은 시리얼 통신용 칩(MAX232)을 경유하여 그림 (d)의 후면을 통해 반응시간 저장용 프로그램으로 전송되었다. 또한 Biopac으로 보낼 신호를 이 모듈이 일괄하여 그림 (d)와 같은 커넥터를 통하여 Biopac과 접속하도록 구성하였다.

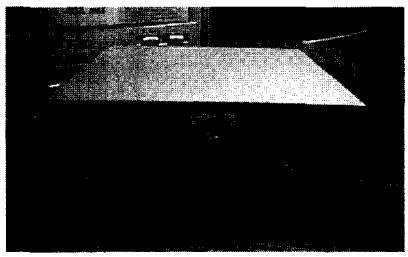
본 논문에서는 자극방식으로서, 덧셈과제 및 도형과제로 구성되는 긍부정 문항과 커서의 움직임에 따른 연상자극을 사용하였다. 이 중에서 긍부정 문항



(a) 동기신호 발생장치 (b) 마이크로 컴퓨터



(c) 반응시간 계측모듈의 전면



(d) 반응시간 계측모듈의 후면

그림 4. 구현된 동기신호 발생장치와 반응시간 계측장치

은 반응시간을 측정할 수 있는 것이고, 연상자극은 피험자의 자발적인 응답이 없으므로 반응시간의 측정이 무의미하다. 따라서 반응시간의 측정과 동기신호의 생성/전송/저장을 모두 확인할 수 있는 예로서, 긍부정문항이 적절하고, 이 중 덧셈과제에 대한 측정예를 그림 5와 그림 6에 보인다.

그림 5는 본 논문에서 제안한 시스템을 이용하여 유발전위를 계측한 예로서, Biopac system 사의 AcqKnowledge 소프트웨어 화면을 나타낸다. 위로부터 6채널(F3, F4, O1, O2, PF1, PF2)의 EEG data와 1채널의 EOG(Electrooculogram), 2채널의 동기신호 및 2채널의 피험자 반응신호(위로부터 각각 Yes, No)가 계측되고 있다. 2채널의 동기신호에는, 문항의 시작과 동시에 0.5초간의 active high 펄스가, 답

선택 요구와 동시에 0.5초간의 active low 펄스가 입력된다. 위의 두 가지 동기신호 외에 피험자가 답을 선택한 시각과 Y/N 중 어떤 것을 선택하였는지의 정보도 유발 뇌파의 분석에 매우 중요한 요소이다. 실제로 유발뇌파를 분석할 때는 답 선택 요구시각으로부터 피험자의 반응시각까지의 뇌파를 분석하였다[4]. 이 반응신호, 즉 Y/N 눌림 신호는 모두 active low로 구성하였으며 그림 5의 예에서는 답 선택 요구로부터 약 0.75초가 경과한 후에 Y의 버튼이 눌려진 것을 알 수 있다.

그림 6은 반응시간 저장 프로그램이 저장한 데이터 파일을 나타낸다. 2.4절에서 서술한 바와 같이 '0'을 사용하여 문제를 구분하였으므로, ③과 같이 '0'이 두 번 반복된 것은 피험자가 반응을 하지 않은 것이다. 반응시간의 측정단위가 0.1msec이므로, ①에서는 반응시간이 0.7556sec, ②에서는 0.9024sec라는 것을 알 수 있다. 이 시스템을 사용하여 측정한 반응시간과 뇌파반응에는 모두 연령별로 유의한 차가 있었다[4]. 반응시간을 20대와 60대에 대해 비교한 결과 60대의 경우가 유의하게 20대보다 반응시간이 길었다.

그림 5에서 보인 바와 같은 동기신호를 사용하여, 답 선택 요구시각으로부터 피험자의 반응시각까지의 뇌파를 분석한 결과, 각 주파수대의 뇌파의 출현은 연령별로 유의한 차가 있었다[4]. theta파의 출현은 20대가 60대에 비해 우세하였고, 이와 반대로 slow beta 및 fast beta파의 출현은 60대가 20대에 비해 우세하였다. 이러한 결과는, 뇌파의 특성에 관한 연구 수행시 연령별 차이를 고려해야 함을 시사한다.

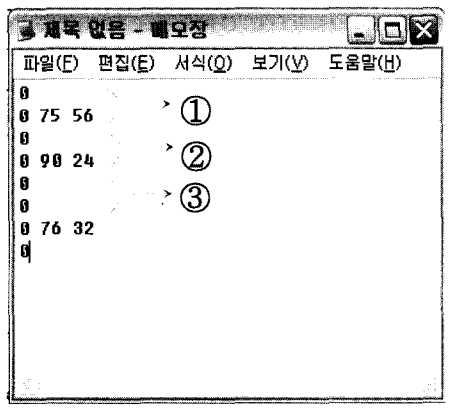


그림 6. 반응시간 측정 data

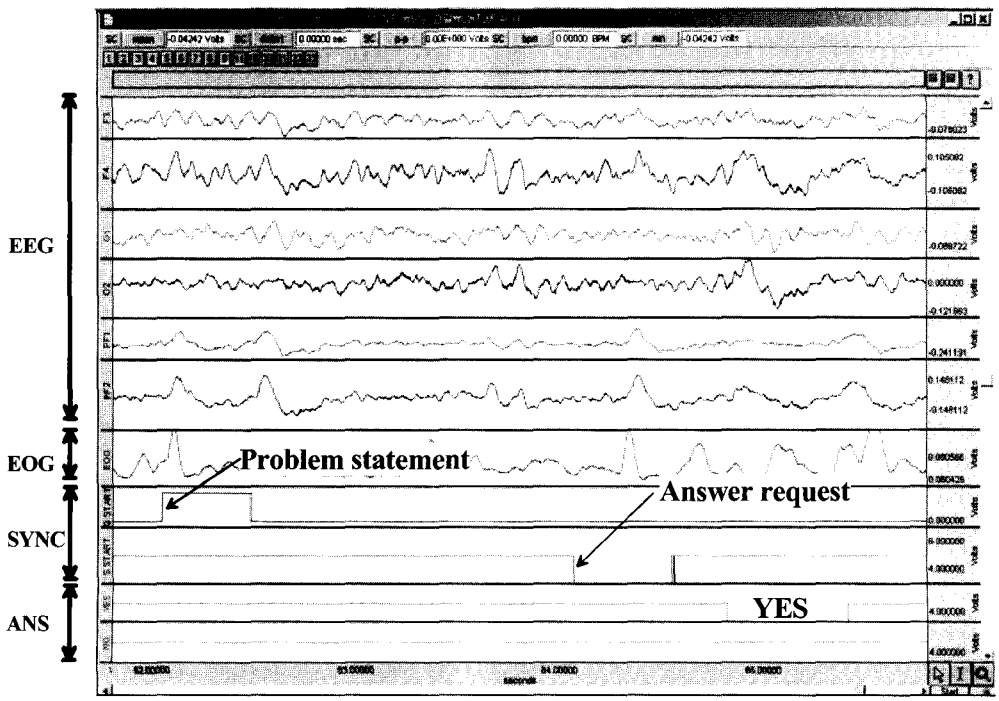


그림 5. 유발전위 및 동기신호, 반응신호 계측의 예 : 긍부정 문항

4. 고찰 및 결론

본 논문에서는, 생체전위 측정시스템에 특정 모듈(반응시간 측정 장치, 동기신호 발생장치)만을 첨가하여 실험자의 의도에 맞는 시스템을 설계하는 데 목적을 두었다. 이러한 설계기법에 의해 기존의 실험장비와 환경을 그대로 사용하면서 저비용으로 원하는 기능을 구현할 수 있었다. 이 시스템에서는, 실험자 자신이 사용해왔던 환경에서 그대로 실험을 할 수 있으며, 간단한 수정에 의해 향후 다른 실험에도 응용할 수 있는 장점이 있다. 이와 같이 실험조건을 실험자가 임의로 변경할 수 있다면 더욱 다양한 실험을 계획할 수 있으므로, 관련 연구의 가속화를 꾀할 수 있을 것이 기대된다.

참고문헌

[1] 지상은 등(2003). 성격과 EEG의 상관에 관한 연구, 한국감성과학회 논문지, 6(1), 47-54

[2] 윤일배 등(2003). EEG를 통한 감성교류기법 개발(온라인게임에의 적용사례 연구), 한국감성과학회 추계학술대회 논문집

[3] 강인형 등(2003). 정신집중시 고교생의 EEG 반응, 한국감성과학회 춘계학술대회 논문집, 107-110

[4] 최지연 등(2001). 연령별 긍/부정 판단 과제시의 뇌파특성, 한국감성과학회 추계학술대회 논문집, 255-259

[5] 김민준 등(2001). 긍/부정 선택순간의 뇌파 변화 연구 : 두 위치에서 측정된 뇌파의 상호관계 분석, 한국감성과학회 춘계학술대회 논문집, 26-29

[6] Streit, M., et al. (2003). EEG brain mapping in schizophrenic patients and healthy subjects during facial emotion recognition, Schizophr Res., 61(1), 121-122

[7] Clarke, A.R., et al. (2003). EEG activity in girls with attention-deficit/hyperactivity disorder, Clin. Neurophysiol., 114(2), 319-328

[8] Keil, A., et al. (2003). Early modulation of visual perception by emotional arousal : evidence from steady-state visual evoked brain potentials. Cogn. Affect. Behav. Neurosci., 3(3), 195-206

[9] Vuckovic, A., et al. (2002). Automatic recognition of alertness and drowsiness from EEG by an artificial neural network, Med. Eng. Phys., 24(5), 349-360

[10] Robinson, D. L. (1999). The technical neurological and psychological significance of 'alpha', 'delta' and 'theta' waves confounded in EEG evoked potentials : a study of peak latencies, Clin. Neurophysiol., 110(8), 1427-1434

[11] Neumann, N., et al. (2003). Conscious perception of brain states : mental strategies for braincomputer communication, Neuropsychologia, 41, 1028-1036

[12] Neuper, C., et al. (2003). Clinical application of an EEG-based brain-computer interface : a case study in a patient with severe motor impairment, Clin. Neurophysiol., 114(3), 399-409

[13] Millan, J. R., et al. (2002). Adaptive brain interfaces ABI : simple features, simple neural network, complex brain-actuated devices, proc. IEEE DSP, 297-300

[14] Kostov, A. and Polak, M. (2000). Parallel man-machine training in development of EEG-based cursor control, IEEE Trans. Rehabil. Eng., 8(2), 203-205

[15] Guger, C., et al. (1999). Design of an EEG-based brain-computer interface (BCI) from standard components running in real-time under windows, Biomedizinische Technik, 44, 12-16

[16] Ming, C. and Shangkai, G. (1999). An EEG-based cursor control system, Proc. 1st BMES/EMBS conf., 669

[17] Birbaumer, N. et al. (1999). A spelling device for the paralysed, Nature, 398, 297-298

[18] Shibata, T. et al. (1999). The time course of interhemispheric EEG coherence during a GO/NO-GO task in humans, Neurosciences Letters, 233, 117-120

[19] Aftanas L.I., et al. (2002). Time-dependent cortical asymmetries induced by emotional arousal : EEG analysis of event-related synchronization and desynchronization in individually defined frequency bands, Int. J. Psychophysiol., 44(1), 67-68

[20] Muthuswamy, J. and Thankor, N. V. (1998). Spectral analysis methods for neurological signals, Neuronscience Nethods, 83, 1-14

[21] 이동규(1999), Flash 3, 영진출판사

[22] 신대섭, 정상봉(1999). 8051+C언어를 이용한 초보자가 만드는 로보트, 도서출판 세화

[23] 정기철(2001). 8051 마이크로프로세서, 복두출판사

[24] Carr, J. J. and Brown, J. M. (2000). Introduction to Biomedical Equipment Technology (4th Edition), Prentice Hall