

<자료>

윈도우즈 환경에서의 실시간 데이터 수집 시스템 구축: 공포조건화를 중심으로

지 상 은 김 은 주 이 강 희 박 은 혜 김 현 택

고려대학교 심리학과

본 연구에서는 고가의 실시간 시스템용 장비를 사용하지 않고, 고속 디지털 입/출력(high speed digital input output, DIO) 카드와 다기능 입/출력(multi-function input output, MIO) 카드를 동기화시키는 기법을 이용하여 공포조건화 중에 신경활동을 측정할 수 있는 실시간 측정 시스템을 개발하였다. 하드웨어들의 동기화를 위하여 윈도우즈(Microsoft Inc.) 환경에서 측정, 제어 등에 사용되고 있는 그래픽 언어인 LabVIEW(National Instruments Inc.)가 사용되었다. 본 연구에 사용된 방법은 상대적으로 적은 비용 하에서, 논리적 정확성을 보장하고, 시간적인 지연을 최소화하는 실시간 측정 시스템 구축을 가능하게 한다.

주제어: LabVIEW, 실시간 공포조건화

위 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 뇌기능 활용 및 뇌질환 치료기술개발 연구사업단의 연구비 지원(M103KV010018 03K2201 01840)에 의해 수행되었습니다

교신저자: 김 현 택, (136-701) 서울 성북구 안암동 5가 1번지, 고려대학교 심리학과

E-mail: neurolab@korea.ac.kr

동물 행동연구에 있어 연구자의 측정 편파 및 실험 기기의 한계로부터 오는 편파는 실험 자료를 오염시키는 대표적인 문제점이라 할 수 있다. 최근 들어 측정 및 제어 기술이 발달하면서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 다양한 자동화 기법 및 기기들이 개발되고 있다.

본 연구는 동물의 공포 조건화(fear conditioning) 과정 중에 실시간으로 생체신호를 기록하는 것을 목표로 하였다. 동물에게 특정 주파수 소리와 같은 무해한 조건 자극(CS; conditioned stimulus)이 전기 쇼크와 같은 유해한 무조건 자극(US; unconditioned stimulus)과 짝지어져 제시되면, 수차례의 시행 이후에는 무해한 조건 자극만으로도 동물은 동결 반응(freezing)과 같은 공포 반응을 보이게 된다. 기존의 공포 조건화 연구에서는 동결 반응(정봉교·윤병수·박순권, 1998; 윤영화, 1999)이나, 동물의 전반적 활동성(general activity)의 변화를 억압비(Annau & Kamin, 1961)로 변환시켜 조건공포의 지표로 삼았다(김문수·김병훈, 1997; 김문수·정지운·홍옥란·임형문, 2001; 김문수·김정희, 2002). 최근에는 이러한 행동 데이터와 더불어 전기생리학적인 신경 활동을 기록하여 공포 조건화 과정에서 내측 전전두피질, 편도체, 해마 등의 역할 및 관련성을 밝히는 것이 연구 경향 중 하나이다(Quirk, Likhtik, Pelletier & Pare, 2003; Tang, Wagner, Schachner, Dityatev & Wortjak, 2003). 이러한 신경세포기록(neuronal recording) 실험을 수행하기 위해서는 여러 실험 장비들을 동기화(synchronization)시켜서 사용해야 하며, 뇌세포의 발화율(firing rate)이 자극들의 제시시각과 정확하게 동기화되는 실시간 시스템(realtime system)이 필요하다.

실시간 시스템은 연산 속도를 증진시키는 것과 더불어, 어떤 주어진 시간 제약 범위 안에서 논리적인 정확성을 가지고 수행되는 시스템을

말한다(김희수·윤창섭, 1999). 컴퓨터 하드웨어의 발달로 말미암아 실시간 처리가 가능한 시스템을 구현하는 것이 용이해졌으나, 컴퓨터 하드웨어의 자원이 실험 목적으로 사용되는 측정 프로그램이 아닌 다른 프로그램에 할당되는 경우에는 자원의 분산으로 인하여 뛰어난 하드웨어 사양을 가지고 있다 하더라도 실시간 측정이 이루어짐을 보장할 수 없게 된다.

일반적으로 실험실에서 사용되는 IBM 호환 컴퓨터는 윈도우즈(Microsoft Inc.)를 운영체제로 사용하고 있으나, 이 운영체제는 실시간 측정, 제어에는 문제점을 포함하고 있다. 윈도우즈 시스템은 인터럽트 요구 우선순위(IRQ level; Interrupt Request level)를 사용자가 임의로 변경할 수 있도록 허용하지 않기 때문에, 이더넷(ethernet) 카드, 마우스, 키보드 등으로부터의 인터럽트가 발생할 때, 이러한 요구들을 중앙처리장치(CPU)가 처리하는 동안 데이터 수집 및 제어에서 지연이 일어나거나, 이벤트가 정확한 시간에 일어나지 않고 편차(variation)가 발생하는 지터링(jittering) 현상이 일어날 수 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 데이터 수집 및 제어만을 별도로 전담하는 중앙처리장치를 가진 실시간 시스템용 장비 및 운영체제를 사용할 수도 있으며, 윈도우즈 환경이 아닌 도스 환경이나, 리눅스 환경으로 전환할 수도 있을 것이다. 그러나 소요되는 비용이나, 프로그램의 호환성 등을 고려할 때 한계점이 존재한다.

본 연구에서는 고가의 실시간 시스템용 장비를 사용하지 않고, 윈도우즈 환경에서 측정, 제어의 분야에서 널리 사용되고 있는 그래픽 언어인 LabVIEW(National Instruments Inc.)를 사용하여 고속 디지털 입/출력 카드(high speed digital input output card, 고속 DIO 카드와 다기능 입/출력 카드(multi-function input output card, MIO 카드)를

동기화시킴으로써, 논리적 정확성을 보장하고 시간적인 지연을 최소화하는 실시간 시스템을 구축하였다.

방 법

하드웨어의 구성 본 연구에서는 공포조건화의 한 종류인 지연공포조건화(delay fear conditioning)를 시키는 동안 뇌세포의 활동을 전기적으로 기록하기 위하여 그림 1과 같은 하드웨어 시스템을 구성하였다. 고속 DIO 카드(National Instruments Inc., PCI-6534 high speed digital input output card)에서 버저(buzzer)에 30초 동안 TTL(transistor transistor logic)의 디지털 출력 신호를 보낸다. 이 신호는 버저에 전원을 공급하여 작동시키는 역할을 하며, 버저에서 발생한 소리가 조건 자극으로 사용된다. 버저의 소리 자극 크기와 주파수는 실험 목적에 맞게 조절되어야 한다. 고속 DIO 카드가 버저에 보내는 TTL 신호는 동시에 MIO 카드에 조건 자극 제시를 알리기 위한 격발(trigger) 신호로 사용된다. MIO 카드는 격발 시점을 기준으로 버퍼에 보관 중이던 격발 이전 2초

분량의 신경활동 자료와 조건 자극 제시 이후 29.5초 동안의 자료를 하드디스크에 기록한다.

피험동물에게 무조건 자극으로 제시되는 발바닥 전기쇼크는 동물로부터 신경활동기록이 끝남과 동시에 0.5초 동안 제시되며, 조건 자극과 함께 종료된다. 본 시스템에서는 고속 DIO 카드로부터 TTL의 디지털 출력 신호를 0.5초 동안 전기 쇼크 발생기(Coulbourn, Precision Regulated Animal Shocker)에 보냄으로써 무조건 자극을 발생하도록 하였다. 시스템 개발 기간 동안에는 정상적으로 신호가 기록되는지를 확인하기 위하여 피험동물을 대신해 함수 발생기(Goldstar, AO-3001C)에서 사인파를 발생시켜 신호를 기록하였다. 조건 자극과 무조건 자극 신호의 발생은 오실로스코프(HAMEG, HM507K)에 연결하여 확인하였다

본 연구에 사용된 데이터 입출력 카드들의 특성은 다음과 같다. PCI-6040E MIO 카드(National Instruments Inc.)는 16채널 single-ended 입력 또는 8채널 차동(differential) 입력을 사용할 수 있으며, 해상도는 12bit이다. 아날로그 입력의 최대 샘플링률(sampling rate)은 한 채널만을 사용할 경우 500kS/s, 다중 채널을 사용할 경우 250kS/s이다.

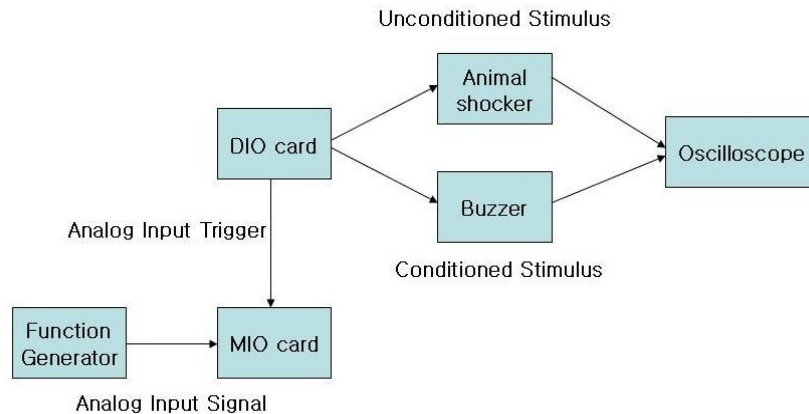


그림 1. 본 연구에서 사용한 공포 조건화 실험 장비 구성

한 채널만을 사용할 경우 1초에 500,000번 스캔을 할 수 있으므로, 최대 샘플링률은 500,000Hz에 해당한다. PCI-6534 고속 DIO 카드(National Instruments Inc.)는 5V의 TTL 혹은 CMOS 신호를 사용하며, 32개의 채널을 가지고, 최대전송률은 20MHz이며, 64MByte의 자체 메모리를 가진다. 이 카드는 자체 내에 메모리와 시계를 가지고 있어서, 컴퓨터의 중앙처리장치나 버스(BUS)에 상관없이 정해진 속도를 보장하는 특징을 가진다. 만일, 자체 메모리가 없으면 컴퓨터 사양에 따라 DIO 카드의 속도가 좌우되며, 마우스, 키보드 등 인터럽트가 발생하여 중앙처리장치의 부담이 증가될 경우에는 안정된 제어나 측정을 보장할 수 없게 된다. PCI-6534 카드는 32개의 디지털 라인으로 최대 20MHz로 데이터를 전송할 수 있기 때문에, 1초 당 최대 전송량은 $32 \text{ lines} \times 20,000,000 \text{ bit} = 80\text{Mbytes}$ 이다. 본 연구에서는 조건 자극과 무조건 자극의 단지 2개의 디지털 라인만을 사용하였고, 조건 자극이 제시되는 시간은 30초였으며, 0.5초 단위로 실험 장비들을 제어하는 것으로 충분하였기 때문에, 실제 전송되는 데이터의 양은 $2 \text{ line} \times 30 \text{ sec} \times 2 \text{ Hz} =$

120 bits에 불과하다. 만약 8개의 디지털 라인을 사용하여, 30분의 지연 시간이 필요하며, 0.1ms 단위로 정확한 제어가 필요한 상황이라 하더라도 전송되는 데이터의 양은 $8 \text{ lines} \times 1,800 \text{ sec} \times 10,000 \text{ Hz} = 18\text{Mbytes}$ 에 불과하다. 이 카드는 보드 자체에 64Mbytes의 메모리를 가지고 있기 때문에 이러한 극도로 엄격한 상황에서도 컴퓨터 버스를 사용할 때 발생하는 지연 없이 출력 신호를 제어할 수 있다(National Instruments Inc., 2004).

동물의 뇌에 삽입된 전극으로부터 받는 신호는 기저선(baseline) 측정을 위해 격발 시점보다 사전에 측정이 시작되어야 한다. 본 연구에서는 기저선 측정기간을 2초로 설정하였고, 격발을 기준으로 2초 전의 자극부터 기록을 시작해야 하기 때문에, MIO 카드(National Instruments Inc., PCI-6040E)의 사전-격발(pre-trigger) 기능을 사용하여 비퍼에 미리 데이터를 저장하고 있어야 하며, 격발 이후로 29.5초간 MIO 카드가 데이터를 수집한다. 여기서 중요한 것은 그림 2에 보는 바와 같이 조건 자극인 소리 자극이 시작되는 시점과 아날로그 입력이 시작되는 시점과의 동기화이다.

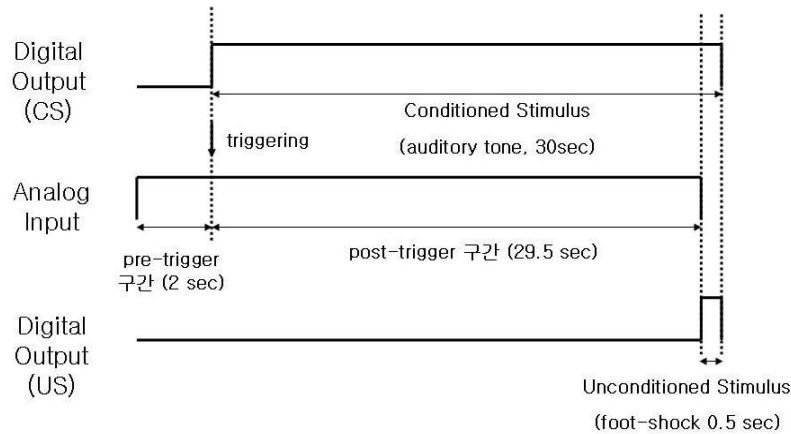


그림 2. 디지털 출력을 이용한 아날로그 입력의 격발(triggering)

소프트웨어의 구성 그림 2의 실험 절차를 실제 구현하기 위해서는 적절하고 정확한 순서로 고속 DIO 카드와 MIO 카드가 연동하도록 하는 기술적인 기법과 소프트웨어가 필요하며, 본 연구에서는 그래픽 언어인 LabVIEW 6.1(National Instruments Inc.)을 기반으로 Beyon(2001) 및 Travis(2002)에 의해 제시된 예제들을 참조하여 그림 3과 같은 프로그램을 작성하였다.

그림 3의 LabVIEW 프로그램을 세부적으로 설명하면 다음과 같다. 먼저 그림 4와 같이 조건 자극 및 무조건 자극으로 사용될 신호들의 배열을 발생시킨다. 1초당 2개의 디지털 라인에서 각

각 2개(2Hz)의 신호를 디지털 출력으로 보내도록 되어 있으므로 2초간의 기저선 기간을 위해서 4개의 "0"을 발생시켰으며, 29.5초 동안의 조건 자극 버저 신호를 위해서 59개의 "1" 신호를 발생시켰다. 마지막 0.5초 동안에는 조건 자극과 무조건 자극이 겹치기 때문에 2개의 디지털 라인이 동시에 활성화되어야 하므로 이진수 "11"에 해당하는 "3"을 발생시켰다. 그리고 시행간의 시간은 55초에서 65초 사이에서 무작위로 변화해야 하므로 이에 해당하는 숫자의 무작위의 "0"을 발생시켜 합친 것이 디지털 데이터 배열이다.

조건 자극과 무조건 자극 신호는 고속 DIO 카

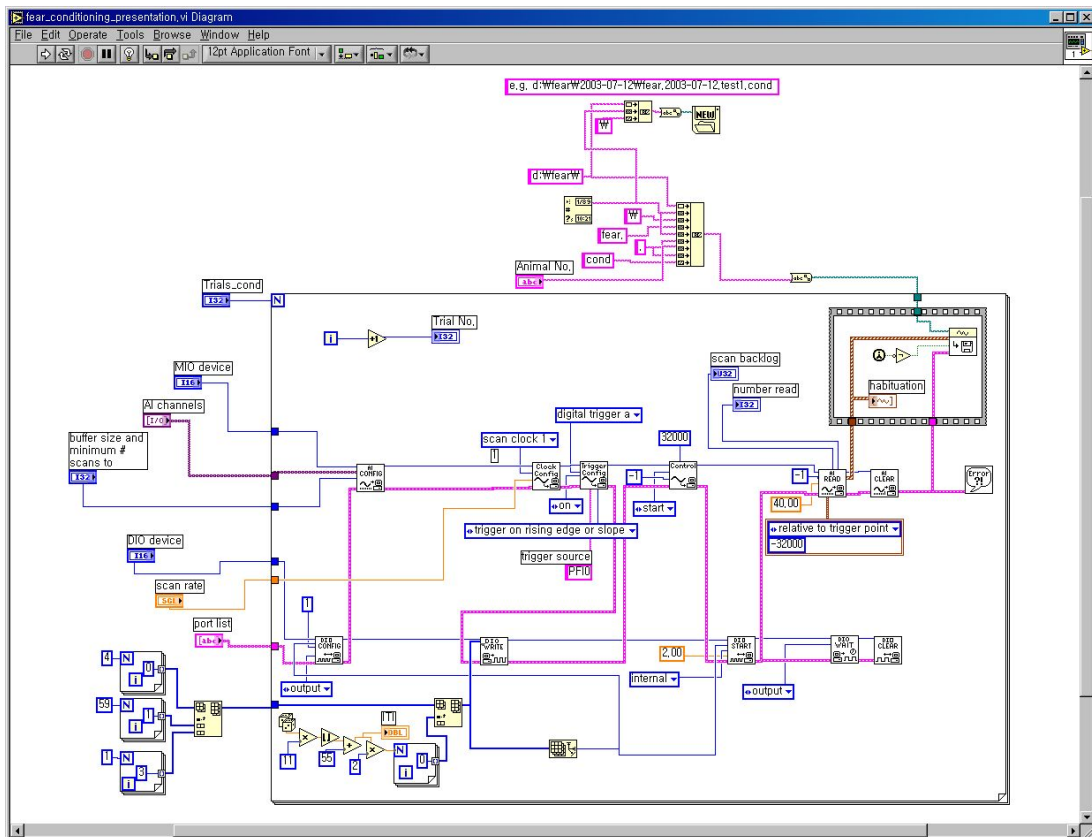


그림 3. 공포조건화 실험 수행을 위한 LabVIEW 프로그램

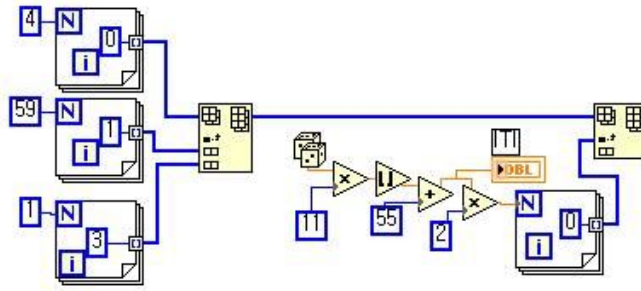


그림 4. 조건 자극 및 무조건 자극으로 사용되는 배열의 생성

드의 디지털 출력을 사용한다. LabVIEW에서는 그림 5와 같은 다이어그램을 통해서 디지털 출력을 발생시킬 수 있다. LabVIEW로 작성된 프로그램은 VI(virtual instrument)라 불리어지는데, 먼저 DIO config라는 VI를 사용하여 어떤 DIO 장치를 사용할 것인지를 정한 후, DIO write VI를 사용하여 DIO 장치에 디지털 데이터를 보내고 DIO start VI를 사용하여 디지털 입력 혹은 출력을 개시한다. 본 연구에서는 출력이 0.5초 단위로 업데이트되기 때문에 시계의 주파수 (clock frequency)는 2.00로 설정되어 있다. 마지막으로 DIO wait VI를 사용하여 출력이 종료될 때까지 기다린 후, DIO clear VI로 장치를 반환하고 종료하게 된다.

고속 DIO 카드로부터 나온 디지털 출력 신호,

즉 조건 자극은 MIO 카드의 아날로그 입력을 격발시킴으로써 데이터 수집을 시작하도록 하여야 한다. 그림 6은 아날로그 입력 부분을 보여주고 있다. 격발용으로 사용되는 MIO 카드의 PF10 line에 고속 DIO 카드로부터 조건 자극에 해당하는 상승하는 기울기(rising slope)의 격발 신호가 들어오게 되면, 초당 16,000개의 데이터를 2초 동안의 사전-격발 기간을 포함해서 총 31.5초 동안 받게 된다. 따라서 한 회기에 최종적으로 기록되는 데이터 개수는 $16,000 \times 31.5 = 504,000$ 이다 세부적으로 살펴보면, 먼저 AI config VI를 사용하여 사용할 MIO 장치를 정하고, Clock config와 Trigger config VI를 사용하여 어떤 방식으로 격발을 받을 것인지를 결정한다. Control VI는 격발 신호와 더불어 데이터 수집이 시작되도록 하는

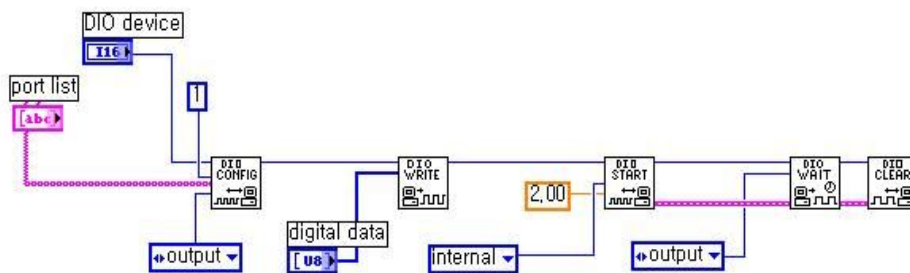


그림 5. 조건 자극과 무조건 자극 발생을 위한 디지털 출력 다이어그램

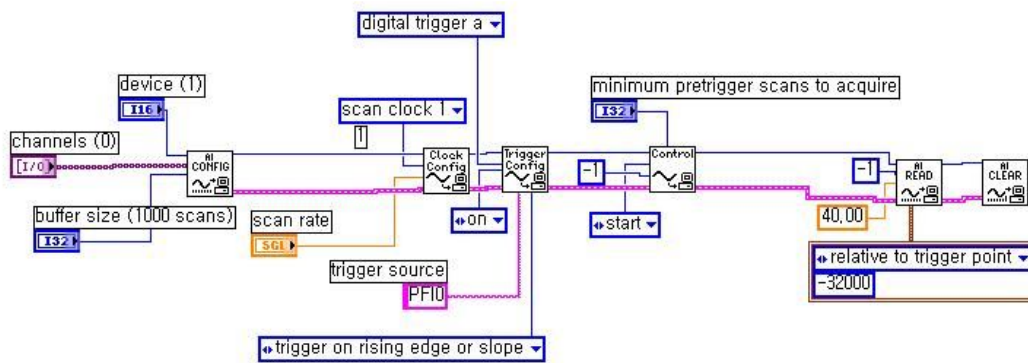


그림 6. 아날로그 입력 다이어그램

역할을 하며, AI read VI는 격발 시점으로부터 이전에 있는 32,000의 데이터를 포함하여 총 504,000개의 데이터를 받은 후, AI clear VI에 의해서 장치를 반환하고 종료하게 된다.

실험동물에서 다단위 신경 활동의 기록 실험 동물에서의 신경기록에 앞서, 연구자가 함수발생기를 조작하며 본 소프트웨어가 정상적으로 신호를 기록하는가를 확인하였다. 이후 피험동물의 신경 활동 데이터 수집 과정 중에서 본 연구에 사용된 프로그램이 정상적으로 데이터를 수집하여 저장하는지를 확인하고자 하였다. 이를 위해 Sprague-Dawley 종 흰쥐 수컷의 편도체에 전극을 삽입하고, 조건 자극 및 무조건 자극 신호와 피험동물의 다단위 신경활동(multi-unit activity: MUA)을 본 프로그램을 사용하여 측정, 기록하였다.

실험에 사용한 동물의 체중은 230g이었고, 본 실험실의 동물사육실에서 1주간 적응시킨 후 실험을 실시하였다. 외측 편도체에 전극을 삽입하기 위하여 시술 전에 동물의 체중을 측정하여 50mg/kg의 pentobarbital sodium을 복강주사하여 마취시켰다. 마취시킨 동물을 뇌입체수술장치

(stereotaxic instrument)에 고정시켜 동물의 두피를 절개하고 고정 스크류와 전극을 삽입하기 위해 치과용 드릴로 두개골을 천공하였다. 외측 편도체에서 다단위 활동을 측정하기 위해 Paxinos와 Watson(1982)의 뇌해부도를 참고하여 목표부위(브레그마 후방: 2.8mm, 우측: 5.3mm, 복측: 8.0mm)에 기록용 전극을 삽입하였다. 기록용 전극은 에폭시로 절연된 텅스텐 전극(A-M systems Inc., Washington, USA)이었다.

결과 및 논의

LabVIEW 프로그램을 실행시킨 후 인터페이스 역할을 하는 패널 창을 통하여 데이터 수집이 정상적으로 이루어지는지를 확인하였다(그림 7). 사전-격발 기간 동안은 함수 발생기로부터의 사인파 신호의 진폭을 최소한으로 줄여 놓았고, 조건 자극(소리자극)이 제시된 후부터 진폭을 실험자가 임의로 변화시켰다. 그림 7에서 나타난 바와 같이 진폭을 최소화한 약 2초간의 사전-격발 기간을 포함하여 데이터가 정상적으로 수집되는 것을 확인하였다.

실험 패러다임에 따라 조건 자극과 무조건 자

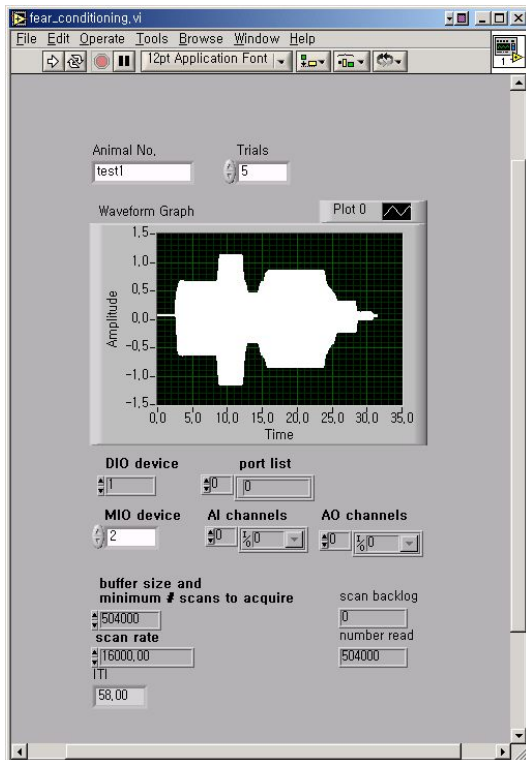


그림 7. 함수 발생기로부터의 데이터 수집

극은 동시에 끝나게 되어 있으므로, 이들을 격발시키는 디지털 신호들을 오실로스코프에 연결하여 확인하였다(그림 8). 조건 자극과 무조건 자극을 격발하는 신호는 오실로스코프의 각각 다른 채널에 입력으로 연결하였으며, 오실로스코프 화면에서 하나의 디비전은 y축 5V, x축 1초로 설정하였다. 화살표로 표시된 부위가 조건 자극과 무조건 자극이 동시에 끝나게 되는 시점으로서, 오실로스코프의 위 채널의 조건 자극을 격발시키는 신호가 종료됨과 동시에 아래 채널의 0.5 초의 무조건 자극을 격발시키는 신호도 동시에 종료됨을 확인할 수 있다. 그림 8에 제시된 그래프는 자극의 종료 시점을 보여주기 위한 것으로서, 본 연구에 사용된 오실로스코프가 한 화면에 30

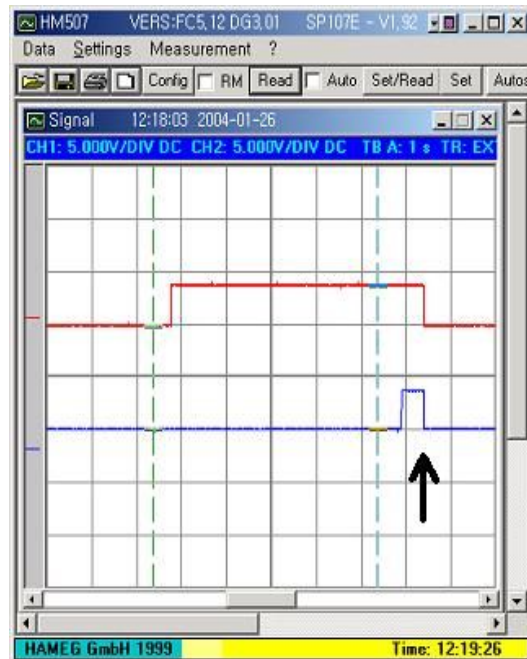


그림 8. 오실로스코프 상에서 확인한 조건 자극 위 과 무조건 자극(아래)의 격발 신호. 화살표는 종료되는 시점을 나타냄. 조건 자극은 실제로는 3초가 제시되지만, 위의 그래프에서는 일부분만이 나타났다.

초를 동시에 제시할 수 없음으로 인하여 이미 제시된 조건 자극의 신호들을 조건 자극이 종료된 후의 신호가 지워버린 상태이므로, 조건 자극의 제시기간의 일부분만 보이고 있다.

피험동물의 신경 활동 데이터 수집 과정에서 본 프로그램이 정상적으로 동작하는지를 확인하기 위하여 흰쥐의 편도체에서의 다단위 신경활동을 기록한 결과, 그림 9의 C 및 D에서와 같이 2초의 사전-격발 기간을 포함하여 흰쥐의 편도체로부터의 다단위활동이 정상적으로 기록됨을 확인하였다. 그림 7에서 함수 발생기를 사용하여 나타낸 결과가 보여주듯이, 미리 설정된 사전 격발 기간 2초를 포함하여 데이터를 수집하였다는 것은 조건 자극신호가 정상적으로 다

단위활동 신호 수집을 격발하여 동기화된 결과이다. 만약 격발이 실패했을 때에는 데이터가 전혀 수집되지 않을 것이다. 조건 자극 및 무조건 자극이 제시되는 시간과 동일한 시간에 다단위 활동 데이터가 수집되었다는 것은 이러한 동기화가 정상적으로 이루어졌다는 것을 증명한다. 그림 9에 제시된 데이터는 프로그램의 정상적 동작 여부를 확인하기 위하여 마취된 동물의 편도체로부터 기록한 것으로서, 깨어 있는 동물의 공포조건화 과정 중에 측정된 것은 아니다.

본 연구를 통해서 고속 DIO 카드와 MIO 카드

를 동기화시킴으로써, 고가의 실시간 시스템 없이도 공포조건화에 따른 뇌활동기록 실험에서 응용 가능한 실시간 기능을 구현할 수 있음을 확인하였다. 아날로그 입력이 먼저 시작되고 나서 일정 기간의 지연 시간이 경과한 후 조건 자극인 소리 자극을 제시하려고 할 때, 윈도우즈 시스템의 구조적 한계성 때문에 정확하게 조건 자극이 원하는 시점에 제시된다는 것을 보장할 수가 없다. 그러나 본 연구에서 사용된 것과 같이 고속 DIO 카드를 사용하여 조건 자극을 제시 하면서 이 신호로 아날로그 입력을 격발시킬 때

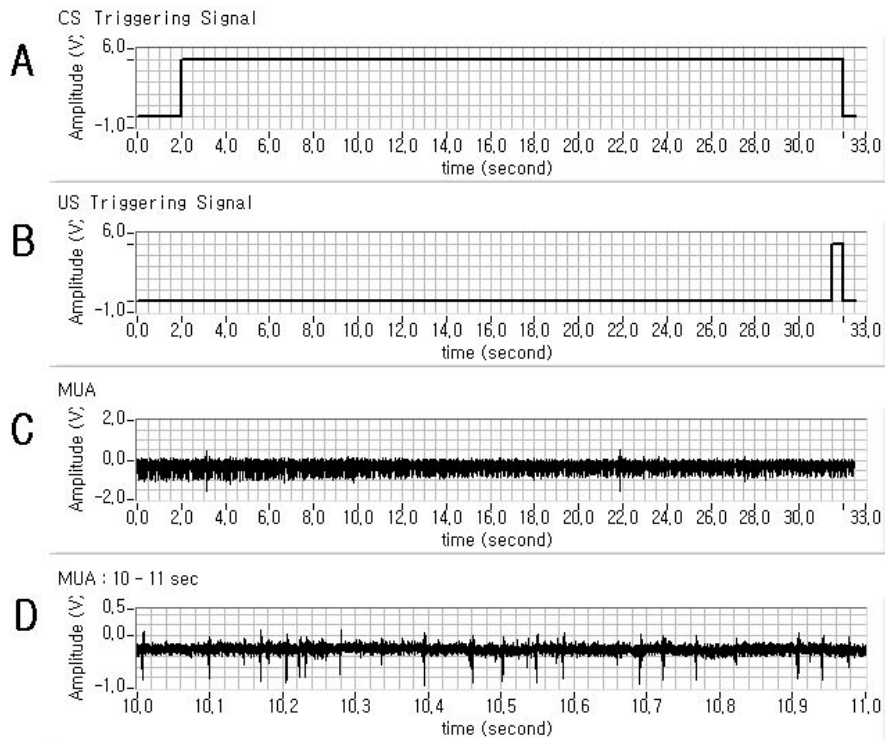


그림 9. 조건 자극 (CS), 무조건 자극 (US)의 격발 신호와 더불어 기록된 흰쥐 편도체에서의 다단위 활동(MUA). A: 조건 자극 격발 신호 B: 무조건 자극 격발 신호 C: 다단위활동 D: 다단위활동 10-11 초 사이 구간만을 제시함). 조건 자극과 무조건 자극은 실제로는 동물에게 제시되지 않았으며 실험 패러다임상 무조건 자극이 제시되기 직전에 다단위 활동 기록은 종료되도록 되어 있으나 조건 자극과 무조건 자극의 동기화를 확인하기 위하여, 32.5초 동안의 데이터를 수집하여 제시하였다.

는 격발된 시점을 기준으로 데이터 수집이 시작될 수밖에 없으므로 그러한 문제점을 원천적으로 방지할 수 있다.

실제 실험에 있어서 본 연구에서 사용된 고속 DIO 카드의 성능을 최대한 사용하여야 하는 경우는 거의 없을 것으로 사료된다. 그러나 보드 자체 내의 시계 및 메모리가 없는 다른 종류의 DIO 카드나 MIO 카드의 디지털 출력 기능은 그 속도가 고속 DIO 카드에 비해서는 현저히 느릴 뿐 아니라, 전체 시스템의 사양 및 운영체제에 따라서 속도가 좌우될 수 있기 때문에 고속 DIO 카드를 대체하기는 어려울 것이다.

공포조건화보다 복잡한 실험 패러다임에서는 두 개의 카드를 연동시키는 동시에 아날로그 입력과 출력 혹은 디지털 입력과 출력을 동시에 구현하여야 하는 경우가 발생할 수도 있으며, 나아가 사람을 대상으로 한 심리생리학적 연구에서는 동영상 등의 자극을 컴퓨터로 제시하여야 할 경우도 있다. 이러한 경우에는 카드에 따라 가지는 DMA(direct memory access) 채널의 수나 컴퓨터의 사양에 따라 결과가 달라질 수 있기 때문에 본 실험에서 사용된 방법만으로는 한계가 있을 수도 있다.

본 연구에서 작성된 실시간 제어 시스템 환경은 상용으로 판매되는 실시간 시스템 제품에 비해 약 20% 이하의 가격에 전문적인 하드웨어, 소프트웨어의 지식 없이도 쉽게 구성할 수 있다. 제한된 자원으로 수행하여야 하는 실험이나 연구를 위해서 천만 원 이하의 가격으로 본 시스템을 구성할 수 있다. 과거에는 엄밀한 제어, 측정을 위해서는 사용자 수준이 아닌 시스템 개발자 수준의 지식이 있어야만 하드웨어들의 특성을 직접 조절하고 제어하여 이러한 실험을 수행할 수 있었다. 그러나 본 연구에서 사용된 아이디어와 같이 실험의 엄밀성을 보장할 수 있는

수준의 높은 속도를 가지는 디지털 카드로 각종 장치들을 제어하고, 이 카드로부터의 신호를 격발 신호로 사용하여 아날로그 카드가 측정을 개시한다면, 컴퓨터의 인터럽트나 버스(bus)의 과부하 같은 복잡한 사항들에 대한 제약이 없다.

본 연구에서 사용된 핵심 아이디어는 단지 National Instruments(www.ni.com)의 고속 DIO 카드 MIO 카드와 LabVIEW의 조합에만 국한되는 것은 아니며, 윈도우즈 환경에서 정확한 타이밍이 필요한 경우에는 다른 종류의 하드웨어나 언어를 통해서도 제한성 없이 구현될 수 있다. 따라서 유사한 실험 패러다임에는 장비나 언어의 종류에 관계없이 융통성 있게 적용할 수 있을 것이다. 물론, 그러한 경우에는 장비나 언어의 특성에 따라 세부적인 수정이 필요할 수도 있다. 본 연구에서 소개된 LabVIEW 프로그램 역시 핵심적인 아이디어를 보여주기 위해 간략화된 버전이기 때문에, 실제 공포 조건화 실험에 사용하기 위해서는 각 실험실의 환경과 실험 패러다임에 맞는 프로그램의 간략한 수정이 필요할 것이다.

참고문헌

- 김화수·윤창섭 (1999). 실시간시스템입문. 서울: 집문당.
- 김문수·김병훈 (1997). 회피학습의 정도와 공포기억의 강도 사이의 관계: 과학습이 공포를 감소시키는가? 한국심리학회지: 생물 및 생리, 9(1), 35-44.
- 김문수·정지운·홍옥란·임형문 (2001). 회피학습의 정도와 공포기억의 강도 사이의 관계 II: 회피반응에 숙달되어도 CS에 대한 공포는 감소되지 않는다. 한국심리학회지: 생물 및 생리, 13(1), 45-56.
- 김문수·김정희 (2002). 회피학습의 정도와 공포기억의 강도 사이의 관계 III: 학습상황 대 검사상황의

- 맥락변별의 효과. 한국심리학회지: 생물 및 생리, 14(1), 1-14.
- 윤영화 (1999). 전대상피질의 손상은 조건공포의 소거를 촉진시킨다. 한국심리학회지: 생물 및 생리, 11(1), 31-44.
- 정봉교 · 윤병수 · 박순권 (1998). 알콜과 Diazepam 이 환쥐의 공포학습과 소거에 미치는 효과. 한국심리학회지: 생물 및 생리, 10(1), 1-18.
- Annau, Z., & Kamin, L. J. (1961). The conditioned emotional response as a function of intensity of the US. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 54, 428-432.
- Beyon, J. Y. (2001). *Hands-on exercise manual of LabVIEW programming, data acquisition and analysis*, Upper Saddle River: Prentice Hall PTR.
- National Instruments Inc. (2004). *The Measurement and Automation Catalog 2004*. Austin: National Instruments Inc.
- Tang, J., Wagner, S., Schachner, M., Dityatev, A., Wotjak, C. T. (2003). Potentiation of amygdaloid and hippocampal auditory-evoked potentials in a discriminatory fear-conditioning task in mice as a function of tone pattern and context. *European Journal of Neuroscience*, 18(3), 639-50.
- Travis, J. (2002). *LabVIEW for Everyone*(2nd ed.), Upper Saddle River: Prentice Hall PTR.
- Paxinos, G. & Watson, C. (1982). *The Rat Brain in Stereotaxic Coordinates*, Sydney: Academic Press.
- Quirk, G. J., Likhtik, E., Pelletier, J.G., Pare, D. (2003). Stimulation of medial prefrontal cortex decreases the responsiveness of central amygdala output neurons. *Journal of Neuroscience*, 23(25), 8800-8807.

1 차원고접수 : 2004. 3. 8
 2 차원고접수 : 2004. 4. 17
 최종게재결정 : 2004. 5. 19

The construction of a realtime data acquisition system on Windows environments: Focusing on fear conditioning paradigm

Sang Eun Chi Eun Joo Kim Kang-Hee Lee Eun Hye Park Hyun-Taek Kim

Department of Psychology, Korea University

The purpose of this study is to materialize a realtime data acquisition system for the fear conditioning paradigm on Microsoft Windows environment. A high speed digital input output card (National Instruments Inc., PCI-6534) and a multi-function input output card (National Instruments Inc., PCI-6040E) were used. To synchronize the cards, a LabVIEW-based program was developed. Theoretical and practical techniques used for the construction of realtime data acquisition system were described. The system revealed to be stable and reliable for the realtime data acquisition.

Keywords: LabVIEW, real-time data acquisition system, fear conditioning