

# 휴대폰 전자파가 인체의 시각 자극 반응에 미치는 영향

## The Effects of Electromagnetic Field Emitted by Cellular Phone on Cognitive Function in Human

김재성<sup>\*\*\*\*\*</sup> · 유창용<sup>\*\*</sup> · 김수찬<sup>\*\*\*\*\*</sup> · 오학태<sup>\*\*\*</sup> · 육재림<sup>\*\*\*</sup> · 김덕원<sup>\*\*\*\*</sup>

Jae-Sung Kim<sup>\*\*\*\*\*</sup> · Chang-Young Ryu<sup>\*\*</sup> · Soo-Chan Kim<sup>\*\*\*\*\*</sup> · Hak-Tae Oh<sup>\*\*\*</sup> ·  
Jae-Rim Yuk<sup>\*\*\*</sup> · Deok-Won Kim<sup>\*\*\*\*</sup>

### 요 약

본 연구에서는 일상생활에서 사용하는 휴대폰에서 방출되는 전자파가 인체의 시각 자극 반응에 미치는 영향을 연구하였다. 기존의 국외연구에서는 현재 국내에서 사용되고 있지 않는 아날로그 방식 또는 GSM 방식의 휴대폰을 사용한 연구였으나 본 연구에서는 현재 국내에서 사용되고 있는 CDMA 방식의 휴대폰을 사용하여 시각 자극 반응에 미치는 영향을 평가하였다. 실험은 청소년 집단(10명, 연령:14.3±1.1세)과 성인 집단(10명, 연령:24.5±3.4세)으로 구성된 20명의 지원자를 대상으로 실시하였다. 전자파 노출은 실제 휴대폰을 사용하여 이루어졌고, 실제 노출과 허위 노출의 순서에 따른 영향을 없애기 위해 blind test로 노출 순서를 교번시켜서 대등하게 하였다. 실험 결과 CDMA 휴대폰에서 방출되는 전자파에 노출되었을 경우 기존의 연구(아날로그 및 GSM 방식)에서 제시하는 바와 같이 청소년의 경우에는 자극 반응 속도가 노출군에서 유의하게 빨라짐을 관찰하였다.

### Abstract

This study examined the effects of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phone on human cognitive function. Total volunteers were twenty and volunteers were separated in two groups. One is teenager group, and the other is adult group. Test was performed in the counterbalanced order(sham-real, real-sham). Subject remained blind to mobile phone status during the exam. The result showed that the exposure to the electromagnetic field significantly speeded up response time for teenager group. This results suggest that exposure to the electromagnetic field emitted by cellular phones may have a mild facilitating effect on cognitive function in teenager group.

Key words : Electromagnetic Field, Cellular Phone, Human Cognitive Function

### I. 서 론

최근에 휴대폰을 사용하지 않는 사람이 드물 정도로 휴대폰의 사용은 매우 일반적이게 되었다. 그러나 휴대폰을 사용함으로써 반드시 겪게 되는 휴

대폰에서 방출되는 전자파 노출에 의한 건강에 대한 우려는 점점 커지고 휴대폰 전자파의 유해성에 대해서는 여전히 논란의 대상이 되고 있다. 휴대폰에 의한 인체의 영향을 단시간에 평가하고자 할 경우 생체 신호의 변화를 측정하거나 특정 자

「이 논문은 전파연구소 연구개발사업의 지원에 의하여 연구되었음.」

\*연세대학교 생체공학 협동과정(Graduate Program in Biomedical Engineering, Yonsei University)

\*\*한국전자통신연구원(Electronics and Telecommunications Research Institute)

\*\*\*전파연구소(Radio Research Laboratory)

\*\*\*\*연세대학교 의과대학 의학공학교실(Department of Medical Engineering, Yonsei University College of Medicine)

· 논문 번호 : 20030122-016

· 수정완료일자 : 2003년 3월 28일

극에 대한 반응을 조사한다. 예를 들어 독일의 S. Braune 등은 mobile phone을 우측 두부에 35분간 노출 후, 교감신경의 활동(sympathetic efferent activity) 증가와 더불어 뇌 혈압의 증가가 초래되었다고 발표하였다<sup>[1]</sup>. Reto Huber 등은 900 MHz의 전자파를 30분간 두부에 노출시킨 결과, 9.75~13.25 Hz 대역의 EEG(Electroencephalogram) 파형의 spectral power가 증가하고 패턴의 변화가 발생하였다고 발표하였다<sup>[2]</sup>. Christina M. Krause 등은 902 MHz의 GSM 휴대폰 전자파를 30분간 오른쪽 후측 측두엽에 노출시킨 결과, 8~12 Hz 대역의 EEG 파형의 power가 증가하였다고 발표하였다<sup>[3]</sup>.

또한 휴대폰에서 방출되는 전자파에 노출되었을 경우 인지능력에 미치는 영향에 대해 관심이 높아지고 있다. Preece 등은 915 MHz의 휴대폰 전자파에 노출이 되었을 경우 선택 반응시간이 빨라졌다고 하였다<sup>[4]</sup>. Koivisto 등은 GSM 방식의 휴대폰에서 방출되는 전자파에 노출이 되었을 경우 단순 자극 반응시간과 각성정도, 그리고 인지반응 시간이 단축이 되었다고 하였다<sup>[5]</sup>. Edelstyn 등도 900 MHz의 휴대폰을 이용해서 집중력 측정실험과 인지력 측정실험을 한 결과 집중력과 정보처리 능력이 향상되었다고 보고하였다<sup>[6],[7]</sup>.

그러나 앞선 연구들은 현재 국내에서 사용되고 있지 않은 아날로그 방식 또는 GSM 방식의 휴대폰에서 방출되는 전자파에 의한 영향을 관찰한 것이다. GSM(Global System for Mobile communications) 방식은 범 유럽의 이동전화 시스템으로 동일 주파수 대역을 일정한 시간 간격으로 나누어 다수의 사용자가 채널을 동시에 사용하는 TDMA(Time Division Multiple Access) 서비스이다. 반면 CDMA-(Code Division Multiple Access) 방식은 다수의 사용자에게 서로 다른 코드를 부여함으로써 동시에 동일한 주파수를 사용하는 접속 방식이다. 또한 GSM 방식은 수신주파수 대역이 825~849 MHz, 송신주파수 대역이 869~894 MHz이며 평균 송신출력이 800 mW이나 CDMA 방식은 수신주파수 대역이 825~849 MHz, 송신주파수 대역이 869~894 MHz이며 평균 송신출력이 300 mW로 시스템측면에서 차이가 있다<sup>[20]</sup>.

본 연구에서는 국내에서 많이 사용되고 있는

CDMA 방식의 휴대폰을 사용할 때 방출되는 전자파가 인체의 시각 자극에 미치는 영향을 4가지 시각 자극 패턴과 자극 반응 시간을 측정할 수 있는 시스템을 제작하여 청소년과 성인그룹으로 나누어 관찰하였다.

## II. 본 론

### 2-1 자극 패턴 설계

휴대폰의 전자파에 노출 시 인지능력과 각성 정도를 평가하기 위해서 특정 자극에 대한 자극 반응 시간, 반응의 정확도, 집중력, 단기 기억력 등을 측정한다. 기존의 국외 연구에 의하면 자극에 대한 반응 속도와 정확도, 인지도, 그리고 각성 정도를 평가하기 위하여 CDR 검사기(Cognitive Drug Research microcomputerised assessment system; CDR사, 영국)를 사용하여 여러 종류에 대한 자극 반응 시간 등을 측정하였다<sup>[4],[11]</sup>.

자극 반응과 관련된 실험에서 사용되는 자극은 매우 다양하나, 본 연구에서는 외부 자극에 대한 반응 시간과 기억과 판단의 정확도, 인지도, 각성 정도를 측정하고 평가를 하기 위해 단순 반응시간(simple reaction time), 각성 반응시간(vigilance reaction time), 수리 기억 반응시간(numeric working memory reaction time), 수리 기억 자극 감응도(numeric working memory sensitivity index), 각성 정확도(vigilance accuracy) 실험들의 자극 프로토콜들을 이용하여 측정하였다<sup>[8],[9]</sup>.

그러나 Preece 등의 실험들에서와 같이 측정 인자별로 실험하는 것은 많은 시간이 소요되며 실험별로 따로 측정하기 때문에 결과 데이터를 얻기까지 다단계의 실험을 해야 한다. 따라서 Wesnes의 자극 프로토콜들을 바탕으로 해서 그것들을 재구성을 해 다음의 4가지의 자극 반응 패턴을 실험에 사용하였다<sup>[9]</sup>: simple reaction time(SRT), numeric working memory sensitivity and reaction time1(NSRT1), vigilance accuracy and reaction time(VART), numeric working memory sensitivity and reaction time2(NSRT2). 이 자극 패턴의 특징은 각 실험을 하는 동안 동시에 시각 자극반응의 정확도와 반응 시간, 인지 각성 정도 등의 측정인자를 측정할 수가 있으며

측정인자들 간의 관계를 쉽게 비교, 평가를 할 수 있는 장점이 있다.

### 2-1-1 Simple Reaction Time (SRT)

본 실험은 단순 시각 자극에 대한 자극 반응 시간을 측정하는 시각 자극 반응 실험이다. 테스트가 시작이 되면 피검자는 자극 반응기의 자극 반응용 버튼을 누른다. 자극 반응 테스트 프로그램에서 자극이 나올 것을 예고하는 큐(cue)가 있을 후에 컴퓨터 화면의 짙은 초록색 창이 밝은 초록색으로 바뀌는 시각 자극이 나온다. 초록색은 안전색채로 일반적으로 다른 물체의 색과 쉽게 식별될 뿐 아니라, 색각 이상자에게도 오인이나 혼동될 염려가 적은 색이며, 눈에 피로도가 적기 때문에 선택하였다<sup>[10]</sup>. 피검자는 색이 바뀌는 단순 시각 자극에 반응을 해 버튼을 누르는 자극 반응을 하게 된다. 그림 1과 같이 화면이 밝은 초록색으로 바뀌는 시각 자극이 나타난 후부터 버튼을 누르는 시간까지를 자극 반응시간으로 하고 이 반응 시간이 측정된다. 이 실험에서 버튼을 누르는 반응을 하는 이유는 자극 반응은 자극의 인식과 운동 반응으로 나타나는데, 개인의 운동 반응의 영향을 최소화하고 자극 반응만을 측정하기 위함이다. 시각 자극으로 색이 짙은 초록색에서 밝은 초록색으로 바뀔 때까지의 시간은 3000 ms에서 6000 ms 사이의 임의의 시간이 지난 후에 바뀌도록 하여 반복에 의한 학습효과를 감소시키도록 하였다<sup>[5]</sup>. 10회의 반복 수행을 하여 자극 반응 시간을 측정하고 실험 중 시각 자극이 화면에 나타나기 전에 반응을 하여 잘못 반응을 하는 경우에는 에러로 처리하여 분석에서 제외시켰다.

### 2-1-2 Numeric Working Memory Sensitivity and Reaction Time(NSRT1)

자극 반응 테스트 프로그램의 화면에 500 ms 동

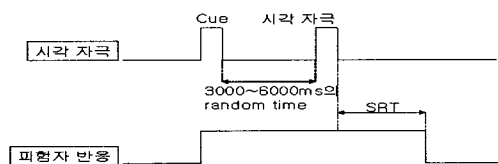


그림 1. STR 테스트의 자극 반응 타이밍도  
Fig. 1. The response time diagram of STR test.

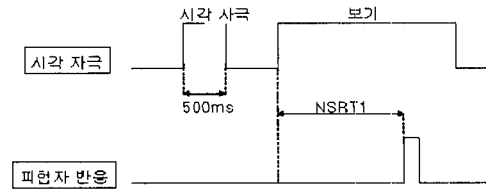


그림 2. NSRT1 테스트의 자극 반응 타이밍도  
Fig. 2. The response time diagram of NSRT1 test.

안 보였다가 사라지는 숫자를 기억을 하고 그 후에 제시되는 보기 중에서 기억한 숫자를 찾아 해당 버튼을 누르는 실험으로 기억의 정확도와 반응 시간을 측정하는 실험이다. 그림 2와 같이 반응 시간은 숫자가 사라지고 난 후 보기에 숫자가 나타난 직후부터 보기의 숫자를 선택할 때까지의 시간을 반응 시간이라 하고 그 시간을 측정하게 된다.

테스트가 시작이 되면 피검자는 컴퓨터 모니터에 500 ms 동안 보였다가 사라지는 세 자리 숫자를 기억해야 한다. 그 후 화면에 제시되는 4가지의 보기 중에서 일치하는 숫자를 찾아내어 해당되는 보기의 번호를 선택하는 테스트이다. 이 테스트에서는 기억의 정확도와 선택하는데 걸리는 반응 시간을 측정하게 된다<sup>[5]</sup>. 10회 반복 수행을 하여 정확한 답을 기억해 내었는가의 여부와 자극 반응 시간이 함께 측정된다.

### 2-1-3 Vigilance Accuracy and Reaction Time (VART)

각성 정도와 판단의 정확도 그리고 자극 반응 시간을 측정하는 실험으로 화면에 제시되는 두 도형이 같은 모양의 것인지를 판단하고 동시에 반응 시간을 측정하는 실험이다.

테스트가 시작이 되면 화면에 두 가지의 도형이 나타난다. 이 두 도형들의 모양이 서로 같으면 'O' 버튼을 같지 않다면 'X' 버튼을 선택하는 것이다. 그림

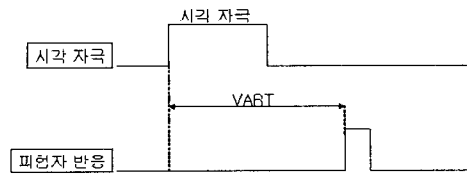


그림 3. VART 테스트의 자극 반응 타이밍도  
Fig. 3. The response time diagram of VART test.

3과 같이 테스트에서 도형의 모양이 일치하는지 그렇지 않은지를 올바르게 판단을 하였는가와 반응하여 선택하는 데까지의 시간을 측정한다.

### 2-1-4 Numeric Working Memory Sensitivity and Reaction Time2(NSRT2)

NSRT1 테스트의 변형된 실험 방법으로서 NSRT1 테스트가 한번에 4개의 보기 중에서 선택을 해야 하는 바이어스가 작용할 수 있기 때문에 NSRT1 테스트에서처럼 500 ms 동안 화면에 보였다가 사라진 숫자와 일치하는 숫자를 한번에 제시되는 4개의 보기 중에서 선택하여서 반응하는 방법이 아니라 그림 4와 같이 4개의 보기가 매번 하나씩 순차적으로 제시되면서 프로그램의 화면에 보였다가 사라진 숫자와 기억하고 있는 숫자와 같을 경우에는 'O' 버튼을 다른 경우에는 'X' 버튼을 누름으로써 자극 반응 시간과 기억의 정확도를 측정하고 평가를 할 수 있게 된다. 반응시간은 보기로 매번 제시되는 숫자가 화면에 나타난 이후부터 버튼을 선택할 때까지의 시간이다. 제시되는 보기와 보기사이의 시간간격은 자극에 대해 충분히 반응을 할 수 있도록 1800 ms의 시간 간격을 두었다.

시각 자극 반응시간과 반응의 정확도를 측정하기 위해 본 연구에 사용한 자극 패턴과 실험 방법들을 정리하면 표 1과 같다.

### 2-2 자극 반응 테스트 프로그램

자극반응 테스트 프로그램은 LabVIEW 6i(National Instruments, 미국)를 이용해서 구현을 하였고, 피험자가 처음 접하는 실험에 대한 부담감이나 거부감 또는 어려움을 느끼지 않도록 쉬운 사용자 인터페이스를 구현하여 자극 반응 테스트를 쉽게 수행할 수 있도록 하였다. 자극 반응 테스트 프로그램

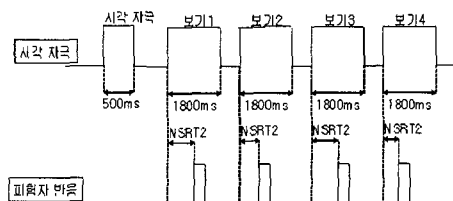


그림 4. NSRT2 테스트의 자극 반응 타이밍도  
Fig. 4. The response time diagram of NSRT2 test.

표 1. 실험의 종류와 목적 및 방법

Table 1. Types, purpose and methods of tests.

실험 종류	목적	방법
1. Simple Reaction Time (SRT)	단순시각 자극에 대한 자극 반응시간 측정	화면의 짙은 초록색 창이 밝은 초록색으로 색깔이 바뀔 때 버튼을 떼어내는 시간 측정
2. Numeric working memory sensitivity and reaction time (NSRT)	숫자를 이용하여 기억의 정확도와 반응시간을 측정	잠시 보였다 사라지는 숫자를 기억하게 한 후, 제시되는 보기 중 기억한 숫자를 찾아내는 실험
3. Vigilance accuracy and reaction time (VART)	도형을 이용하여 판단의 정확도 그리고 자극 반응 시간 측정	화면의 두 도형이 같은 모양의 것인지를 판단하여 버튼으로 반응
4. Numeric working memory sensitivity and reaction time 2 (NSRT2)	숫자를 이용하여 기억의 정확도와 반응 시간 측정	NSRT 테스트의 변형된 실험으로 사전에 기억된 숫자와 매번 제시되는 보기와 동일 여부를 판단하여 반응

의 구성은 그림 5와 같다. 프로그램을 실행시키면 순차적으로 4가지 자극 반응 패턴이 연속적으로 테스트를 할 수 있게 구성이 되어 있다. 자극 반응 테스트의 반복 횟수는 조절이 가능하게 되어 있다.

SRT 테스트부터 시작하게 되며, 테스트 수행을 위한 버튼을 누르라는 지시에 따라 버튼을 누르고 있다가 시각자극에 반응하여 버튼을 떼는 실험이기 때문에, 버튼을 누르지 않고 테스트에 임하지 않을 경우에는 에러로 처리하고 실험을 종료시킨 후 다

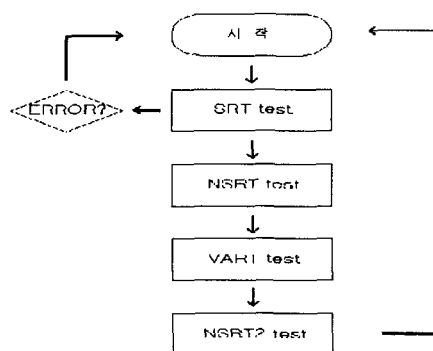


그림 5. 자극 반응 테스트 프로그램의 블록 다이어그램

Fig. 5. The block diagram of the response test program.

시 테스트를 시작하게 하였다. 나머지 테스트의 경우에는 버튼을 누르지 않고 반응을 하지 않거나 오답을 선택한 경우에 저장된 결과 데이터에서 오답인 것을 확인할 수가 있도록 하였다. SRT 테스트를 마친 후 순차적으로 NSRT1, VART, NSRT2 테스트를 수행하였다. 각 테스트는 10회 반복을 기본으로 하도록 하였으며 반복 횟수의 변경이 가능하다. 그리고 각 테스트마다 자극이 나올 것이라는 것을 암시하는 문자형식의 큐가 포함이 되어 있다.

각 테스트로 넘어 갈 때마다 테스트에 관한 짧은 설명과 실험간에는 시간 간격이 주어져 있다.

### 2-3 자극 반응기

그림 6의 자극 반응기는 마이크로컨트롤러(PIC-16C84, Microchip Technology, 미국)를 사용하여 자극 반응용 버튼들의 입, 출력 제어와 자극 반응 시간과 정, 오답과 같은 결과 데이터 전송 등의 처리를 하도록 구현하였으며 마이크로컨트롤러의 제어는 어셈블리 언어로 구현을 하였다. 자극 반응 시간의 측정은 마이크로컨트롤러에 내장된 타이머를 사용하여 측정을 하였고 타이머의 시간 해상도는 100  $\mu$ s이다<sup>[5]</sup>.

시스템의 설치는 desktop computer나 notebook computer 등 모든 형태의 컴퓨터에 가능하지만 상대적으로 전자파의 영향이 적은 notebook computer를 이용하여 시스템을 구현하였다. notebook computer는 desktop computer보다 display 장치에 의한 전자파의 영향이 적기 때문에 휴대폰 이외의 전자파의 영향을 적게 받으면서 평가를 할 수 있도록 하였다. 또한 실험을 하는 동안 기타 주변의 전자기기의 전원을 끄고 전원 플러그도 뽑도록 하여서 주변

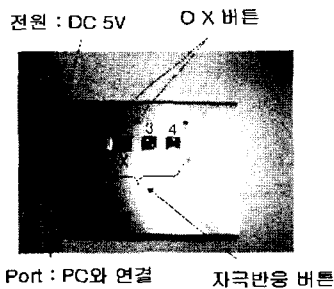


그림 6. 자극 반응기  
Fig. 6. The device of response.

의 전자기기에 의한 전자파의 영향을 최소화하였다. 자극 반응기의 선택 버튼을 4개로 확장 하여서 기존의 두 버튼으로만 측정할 때보다 필요시에는 더 많은 선택을 할 수 있도록 하여 반응에 보다 변별력 있고 정확하게 평가를 할 수 있게 구성을 하였다.

시각 자극 반응 실험을 할 때 휴대폰을 실제 통화할 때와 유사하게 하기 위하여 피험자의 귀 부분에 휴대폰을 부착할 수 있도록 오디오 청취용 헤드폰을 개조하여 휴대폰 고정 헤드셋을 제작하였다. 필요시에는 다른 종류의 휴대폰을 넣어서 사용할 수 있도록 그림 7과 같이 핸드폰 홀더부분을 클립형으로 제작해 휴대폰크기에 상관없이 휴대폰을 끼워서 사용할 수 있게 만들었다. 실험에서는 이 헤드셋을 이용해서 CDMA 휴대폰을 오른쪽 귀 부분에 위치시켜서 실험하였다.

그림 8은 시각 자극 반응기와 자극 반응 테스트 프로그램을 노트북 컴퓨터에 설치하고 휴대폰을 작동시킨 상태에서 시각 자극 반응을 측정을 하고 있는 모습이다. 테스트를 수행하면서 화면에 나오는 지시에 따라 자극 반응 시간과 정확도 등을 측정한다.



그림 7. 휴대폰 고정을 위한 헤드셋  
Fig. 7. Headset for fixing the cellular phone.



그림 8. 실험 모습  
Fig. 8. Picture of the test.

### III. 실험 방법

실험에 참가한 대상은 청소년 그룹(14.3±1.1세)과 성인 그룹(24.5±3.4세)으로 나누어서 각각 Simple Reaction Time(SRT), Numeric working memory sensitivity and reaction time1(NSRT1), Vigilance accuracy and reaction time(VART), Numeric working memory sensitivity and reaction time2(NSRT2)를 실제 휴대폰을 사용해서 전자파에 노출을 시켰을 때 실제 노출(real exposure)의 경우와 휴대폰을 끄고 전자파에 노출을 시키지 않는 허위 노출(sham exposure)의 두 경우에 대하여 노출 전, 노출 15분 경과, 노출 30분 경과, 노출 종료 후 10분으로 시간차를 두고 실험을 실행하였다. 실험에서 실제 노출과 허위 노출의 순서로 인한 영향을 없애기 위해 청소년과 성인 그룹을 균등하게 5명은 허위 노출을 먼저 실시한 후 실제 노출을 실시하였고 나머지 5명은 실제 노출을 먼저 실시한 후 허위 노출을 실시하도록 하였다. 또한 실제 및 허위 노출의 경우 통화에 의한 영향을 배제하기 위해 통화를 하지 않는 상태를 유지하였다. 실제 노출과 허위 노출간에 피험자의 심리적인 차이가 발생하지 않기 위하여 휴대폰의 동작 상태를 알지 못하도록 blind test로 수행을 하였다. 실험에 사용된 휴대폰은 CDMA방식의 플립형으로 824~849 MHz의 주파수를 사용하고 송신출력이 300 mW인 상용 전화를 일반 통신모드로 하여 실험하였다. 실험방법은 그림 9와 같이 구성이 되어 있다.

CDMA 시그널 제너레이터나 휴대폰 시뮬레이터처럼 항상 일정한 출력의 전자파가 방출되는 것이 아니라 주변의 전파환경이나 시간에 따라 기지국과 단말기 사이에 통신출력의 차이가 발생한다. 기지국과 단말기간의 통신출력의 변화에 따른 영향을 비교적 감소시키기 위하여 실험의 전파환경을 동일한 조건으로 조성하기 위해 동일한 장소와 시간대에 같은 휴대폰을 사용하여 실험을 실시하였다. 각 자극 패턴마다 10회 반복 측정을 했으며 시간변화에 따른 출력의 변화의 영향을 감소시키기 위해 평균값을 이용하여 평가를 하였다.

### IV. 결과 및 고찰

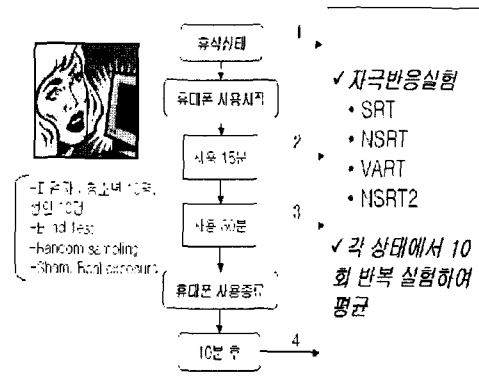


그림 9. 실험 방법  
Fig. 9. The the method.

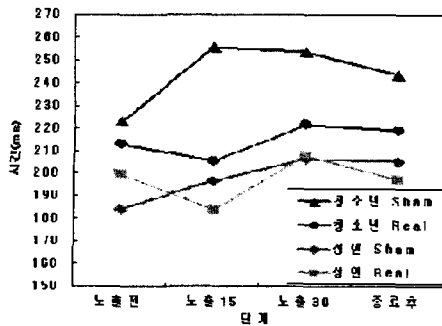
#### 4-1 자극 종류에 따른 자극 반응 시간

4가지 시각 자극 패턴에 대하여 청소년과 성인 집단의 휴대폰 전자파의 실제 노출과 허위 노출에 대한 자극 반응 시간의 결과는 그림 10과 같다.

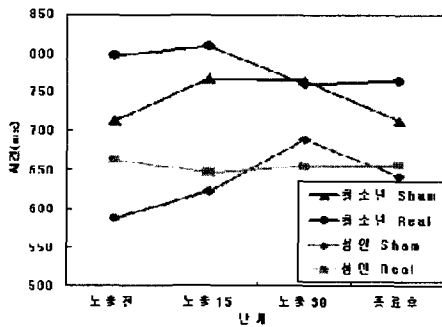
그림 10 (a) SRT의 통계적 검증 결과 허위 노출 시 15분 경과 단계에서 청소년과 성인의 자극 반응 시간이 유사하게 증가하는 추세가 나타났고, 청소년의 경우에 휴대폰 전자파 노출 15분 경과 단계의 자극 반응 속도가 허위 노출의 반응시간보다 유의하게 빨라졌다(p=0.04). 이것은 Lee 등의 연구결과에서와 같이 실제 노출시 인지능력이 향상되었기 때문이다<sup>[7]</sup>. 실제 노출의 경우 허위 노출시 보다 빠르게 반응을 하는 결과는 Koivisto 등의 실험 결과에서도 동일하게 나타났다<sup>[4]~[7],[18]</sup>. SRT 테스트가 휴대폰 전자파 노출에 의한 영향이 가장 명확하게 나타났으며 VART 테스트에서도 SRT 테스트와 같이 실제 노출의 경우가 허위 노출의 경우보다 평균적으로 조금씩 빨라졌으나 통계적으로 유의하지는 않았다. 성인의 경우 반응속도 실험에서 실제 노출과 허위 노출 간에 유의한 차를 나타내지 않았다. 전반적으로 그림 10에서 보는 바와 같이 청소년과 성인의 전자파 노출 15분과 노출 30분 단계에서 자극 반응 속도가 평균적으로 조금씩 빨라지는 경향을 보였다.

#### 4-2 자극 반응의 정확도

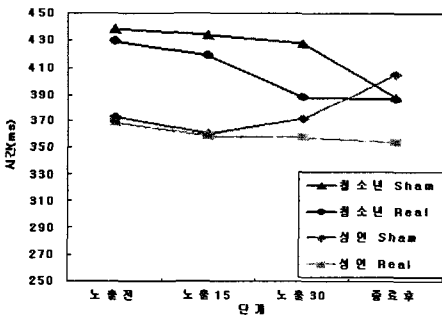
4가지 시각 자극 패턴에 대하여 청소년과 성인 집단의 실제 노출과 허위 노출에 대한 판단의 정확도에 대한 결과는 그림 11과 같다. 자극 반응의 정



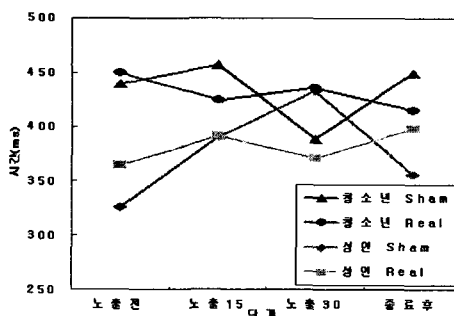
(a) SRT 결과



(b) NSRT1 결과

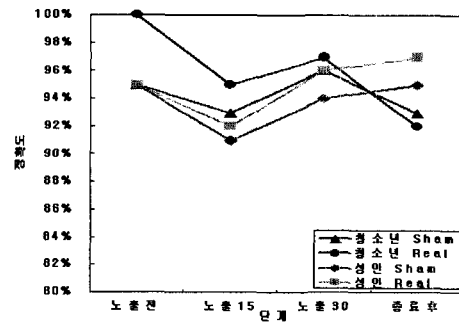


(c) VART 결과

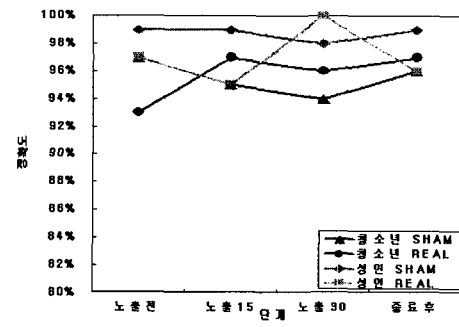


(d) NSRT2 결과

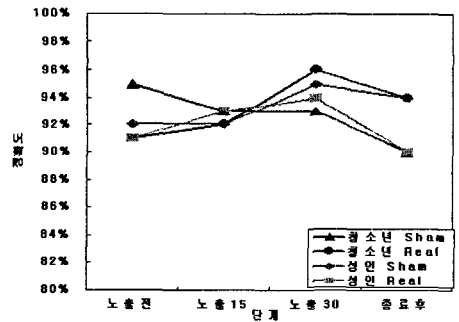
그림 10. CDMA 휴대폰의 전자파 노출시 각 시각 자극에 따른 자극 반응 속도  
 Fig. 10. Response time to visual stimulation for the subjects exposed to EMF by CDMA cellular phone.



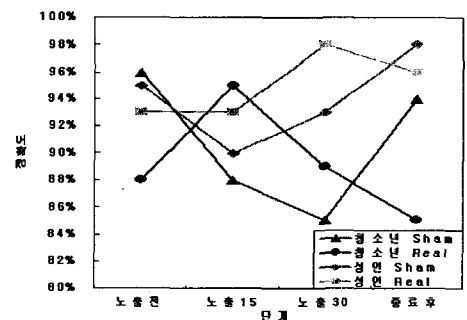
(a) SRT 결과



(b) NSRT1 결과



(c) VART 결과



(d) NSRT2 결과

그림 11. CDMA 휴대폰의 전자파 노출시 각 시각 자극에 따른 자극 반응의 정확도  
 Fig. 11. Response accuracy to visual stimulation for the subjects exposed to CDMA cellular phone.

휴대폰 전자파가 인체의 시각 자극 반응에 미치는 영향

표 2. 노출 전 단계의 자극 반응 시간의 동질성 평가  
Table 2. Assessment of reaction time at before exposure.

실험 종류	p value
청소년 SRT	0.61
청소년 NSRT1	0.18
청소년 VART	0.77
청소년 NSRT2	0.78
성인 SRT	0.38
성인 NSRT1	0.06
성인 VART	0.80
성인 NSRT2	0.14

확도에 대한 결과를 통계적으로 평가를 한 결과 실제와 허위 노출 간에 차이가 통계적으로 유의하게 나타나지는 않았으나 청소년과 성인에게서 전자파 노출 15분 또는 노출 30분 단계에서 평균적으로 정확도가 높아지는 경향이 나타났다.

#### 4-3 노출 전 단계에서 자극반응시간의 동질성

각 실험에서 전자파 노출 전 단계에서 실제 노출과 허위 노출간의 자극 반응 시간의 동질성을 검증하기 위하여 95%의 신뢰도 수준으로 독립 표본 T 검정 결과, 전체 실험에서 표 2에서와 같이 유의 수준인 0.05보다 크게 나와 유의한 차를 나타내지 않았다. 이 결과는 전자파 노출전의 자극 반응 시간의 동질함을 나타낸다<sup>19)</sup>.

## V. 결 론

CDMA 휴대폰에서 방출되는 전자파에 노출이 되었을 경우 기존의 연구(아날로그 및 GSM)에서 제시하는 바와 같이 청소년의 경우에는 자극 반응의 속도가 노출군에서 유의하게 빨라졌다. 자극 반응의 정확도는 전자파 노출 15분 또는 노출 30분 단계에서 평균적으로 정확도가 조금씩 높아지는 경향이 나타났으나 통계적으로 유의하지는 않았다.

실험 결과를 통해서 기존의 연구에 사용된 아날로그 방식이나 GSM 방식의 휴대폰과 비교했을 때 CDMA 방식의 휴대폰이 전자파의 세기가 상대적으로 약했으나 청소년의 경우에는 시각 자극 반응속도가 빨라졌으며, 이것은 기존의 연구와 일치하는 결과이다. 기존의 연구는 청소년과 성인의 비교 분

석이 없었으나 본 연구에서는 청소년과 성인 그룹으로 구분하여 비교 분석을 하였다. 그 결과 성인보다 청소년에서 휴대폰 전자파에 의한 영향이 유의하게 나타났다.

휴대폰 전자파에 노출이 되었을 경우 자극 반응속도가 빨라지는 이유로는 전자파에 의한 국소적인 혈관 확장이나 열적 효과 등에 의해서 뇌의 혈류량이 증가하였거나 시냅스에서의 화학전달 물질의 전달에 변화가 생겼기 때문이라는 가설은 있으나 명확하게 실험적으로 증명된 바는 없다. 앞으로 이런 생리학적 기전에 대하여 지속적인 연구가 요구되며 또한 장기적인 노출에 의한 인지능력에 영향과 건강에 미치는 영향에 대하여 장기적인 연구가 필요하다.

## 참 고 문 헌

- [1] S. Braune, C. Wrocklage, J. Raczek, T. Gailus and C. H. Lücking, "Resting blood pressure increase during exposure to a radio-frequency electromagnetic field", *Lancet*, vol. 351, pp. 1857, Jun. 1998.
- [2] R. Huber, T. Graf, K. A. Cote, L. Wittmann, E. Gallmann, D. Matter, J. Schuderer, N. Kuster, A. A. Borbely and P. Achermann, "Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG", *Neuroreport*, vol. 11, no. 15, pp. 3321-3325, Oct. 2000.
- [3] C. M. Krause, L. Sillanmäki, M. Koivisto, A. Häggqvist, C. Saarela, A. Revonsuo, M. Laine and H. Hämäläinen, "Effect of electromagnetic field emitted by cellular phones on the EEG during a memory task", *Neuroreport*, vol. 11, no. 4, pp. 761-764, Mar. 2000.
- [4] A. W. Preece, G. Iwi, A. D. Smith, K. Wesnes, S. Butler, E. Lim and A. Varey, "Effect of a 915-MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man", *INT. J. RADIAT. BIOL.*, vol. 75, no. 4, pp. 447-456, Jan. 1999.
- [5] M. Koivisto, A. Revonsuo, C. Krause, C. Haara, L. Sillanmäki, M. Laine and H. Hämäläinen, "Effect of 902 MHz electromagnetic field



- emitted by cellular telephones on response times in human", *Neuroreport*, vol. 11, no. 2, pp. 413-415, Feb. 2000.
- [6] N. Edelstyn, A. Oldershaw, "The acute effect of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention", *Neuroreport*, vol. 13, no. 1 pp. 119-121, Jan. 2002.
- [7] T. M. C. Lee, S. M. Y. Ho, L. Y. H. Tsang, S. Y. C. Yang, L. S. W. Li and C. C. H. Chan, "Effect on human attention of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones", *Neuroreport*, vol. 12, no. 4, pp. 729-731, Mar. 2001.
- [8] P. M. Simpson, D. J. Surmon, K. A. Wesnes and G. K. Wilcock, "The cognitive drug research computerized assessment system for demented patients: A validation study", *International Journal of Geriatric Psychiatry*, vol. 6, no. 2, pp. 95-102, 1991.
- [9] K. A. Wesnes, R. A. Faleni, N. R. Hefting, G. Hoogsteen, J. J. G. Houben, E. Jenkins, J. H. G. Jonkman, J. Leonard, O. Petrini and J. J. V. Lier, "The cognitive, subjective, and physical effects of a ginkgo biloba/panax volunteers with neurasthenic complaints", *Psychopharmacology Bulletin*, vol. 33, no. 4, pp. 677-683, 1997.
- [10] 두산세계대백과 엔싸이버, <http://www.encyber.com>.
- [11] A. W. Preece, K. A. Wesnes and G. R. Iwi, "The effect of a 50 Hz magnetic field on cognitive function in humans", *INT. J. RADIAT. BIOL.*, vol. 74, no. 4, pp. 463-470, Jun. 1998.
- [12] C. M. Cook, A. W. Thomas and F. S. prato, "Human electrophysiological and cognitive effect of exposure to ELF magnetic and ELF modulated RF and microwave field: A review of recent studies", *Bioelectromagnetics*, vol. 23, pp. 144-157, 2002.
- [13] 장남석, 김영식, 박영우, 이한기, 정순희, 인체 생리학, 3차 개정증보, 수문사, pp. 93-146, 1998년.
- [14] 최명애, 황애란, 홍해숙, 김희승, 최스미, 서화숙, 인체 구조와 기능, 계축문화사, pp. 363397, 1999년.
- [15] PIC16F84 data sheet, Microchip Technology INC., 1998.
- [16] 김수찬, 남기창, 김덕원, 류철형, 이명식, "파킨슨병 환자의 운동기능 평가를 위한 자극 반응기 설계", 대한의용생체공학회 춘계학술대회, 22(1), pp. 237-238, 2000년.
- [17] M. Koivisto, C. M. Krause, A. Revonsuo, M Laine and H. Hämäläinen, "The effect of electromagnetic emitted by GSM phones on working memory", *Neuroreport*, vol. 11, no. 8, Jun. 2000.
- [18] H. A. Sadafi, A. W. Wood and R. B. Silberstein, "Does daily exposure to 50 Hz EMF affect human brain function", *The Inaugural Conference of the Victorian Chapter of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Biomedical Research in the 3rd Millenium*, Monash Univ., Victoria, Australia, pp. 142-146, 1999.
- [19] 안재억, 유영근, 이중환, 의학 · 보건학 통계분석, 고려정보산업, pp. 261-324, 1999년.
- [20] 대한전자공학회, 이동통신, 청문각, pp. 101-218, 1998년.

김 제 성



1977년 2월 14일생  
2002년 2월: 건국대학교 의학공학과 (공학사)  
2002년 3월~현재: 연세대학교 생체공학 협동과정 석사과정  
2002년 3월~현재: 연세대 의대 의학공학교실 연구조교

[주 관심분야] 생체신호 계측

유 창 용



1995년 2월: 연세대학교 의용전자공학과 (공학사)  
1997년 2월: 연세대학교 의용전자공학과 (공학석사)  
2002년 8월: 연세대학교 생체공학 협동과정 전자공학전공 (공학박사)  
2002년 10월~현재: 한국전자통신

연구원 인체정보연구부 선임연구원

[주 관심분야] 생체신호측정 시스템 및 생체신호처리

김 수 찬



1971년: 7월 4일생  
1994년: 인제대학교 의용공학과 (공학사)  
1998년: 연세대학교 생체공학 협동과정 (공학석사)  
1998년~2003년: 동 대학원 (공학박사)

1994년~현재: 연세의대 의학공학교실 연구조교

1998~현재: IEEE student member

2003년~현재: 연세대 의대 의학공학교실 연구강사

[주 관심분야] 임피던스를 이용한 생체 신호 계측, 안구운동 측정, 실시간신호처리

오 학 태



1964년 3월 26일생  
1986년 2월: 국립 부산대학교 물리학과 (이학사)  
1989년 2월: 국립 부산대학교 (이학석사)  
1993년 2월 국립 부산대학교 (이학박사)

1989년 3월 1990년 8월: 국립 부산공업대학 광학 및 일반물리학 시간 강사

1991년 3월~1993년 12월: 국립 부산대학교 물리학과 시간강사

1994년 1월~1996년 1월: 日本 國立 大阪大學 理學部 物理學科客員研究員

1995년 6월~1996년 11월: 중소기업청 국립기술품질원

1996년 11월~현재: 정보통신부 전파연구소 전파환경연구과

[주 관심분야] 전자파 인체영향, 전파환경, EMI/EMC

육 재 립



1952년: 3월 2일생  
1985년 2월: 숭실대학교 전자공학과 (공학사)  
1987년 8월: 연세대학교 공학대학원 전자전공 (공학석사)  
2000년 12월: 국방대학교 안정보장대학원 정책과정 수료

2001년 4월~현재: 정보통신부 전파연구소

[주 관심분야] 태양지구간물리, EW&-SIGINT, 위성통신과 추적관제, 안테나, 전파전파

김 덕 원



1976년 2월: 서울대 공대 전기공학과 (공학사)  
1980년 5월: Northwestern 대 (MS; 전기공학)  
1986년 12월: Texas 대(Austin) (PhD; 의공학)

1987년 3월~현재: 연세대 의대 의학공학교실 조교수, 부교수, 교수

1999년 3월~현재: 연세대 의대 의학공학교실 주임교수

1999년 4월~현재: 국회환경포럼 정책자문위원

[주 관심분야] 비관혈적 생체계측, 의료기기, 전자파 유해성