

논문 2008-45SC-3-7

# 휴대전화 전자파에 의한 자각증상 및 생리학적 변화

( Subjective Symptoms and Physiological Changes of RF Exposure by a Cellular Phone )

홍 현 기\*, 지 호 철\*, 김 수 찬\*\*, 김 덕 원\*\*\*

( Hyun Ki Hong, Hyo Chul Ji, Soo Chan Kim, and Deok Won Kim )

## 요 약

최근 휴대폰 보급률이 증가하면서 휴대폰 전자파로 인해 두통, 불면증, 단기간의 기억력 소실 등의 정신 신경 생리학적 증상을 호소하는 휴대폰 전자파 과민증(EHS, Electromagnetic Hypersensitivity) 환자들이 나타나고 있다. 그러나 휴대폰 전자파 과민반응의 원인이 막연한 불안감 때문인지 혹은 전자파 노출로 인한 증상 인지 여부에 대하여 확실한 원인규명이 되지 않고 있다. GSM 방식의 휴대폰의 경우 전자파 노출 시 EHS 군을 대상으로 혈압, 맥박수 변화 및 자각 증상 등의 과민 반응에 대한 연구들이 수행되었으나 일반인과 EHS 군의 실험-대조군 연구로 생체신호, 자각증상 및 전자파 인지 여부에 대한 복합적인 연구와 CDMA 휴대폰 EHS 연구는 거의 없는 실정이다. 본 연구에서는 일반인 19명과 EHS 17명을 대상으로 30분간 300 mW의 CDMA 휴대폰 전자파에 노출 시 교감신경의 흥분을 나타내는 맥박, 호흡수, HRV(heart rate variability)의 변화를 측정하고, 전자파 노출 시 전자파 인지여부와 두통, 피로 등의 자각증상을 조사하였다. 그 결과, 일반인과 EHS 군 모두 전자파 노출여부에 따라 맥박, 호흡수, HRV의 변화가 없었고, 자각증상의 차이도 없었다. 전자파 인지 조사 결과 EHS 군이 일반인 군에 비하여 전자파를 더 잘 인지한다고 볼 수 없었다.

## Abstract

Due to the fast increase in cellular phone users, public interest on health effect of electromagnetic fields(EMFs) by cellular phones is gradually increasing. Some EHS(electromagnetic hypersensitivity) patients complain of psycho-neurophysiological symptoms such as headaches, insomnia, memory loss resulting from RF radiation by CDMA cellular phones. However, EHS is difficult to diagnose and depends on the individual's subjective judgement. And we don't know clearly if the cause of EHS is uneasiness or real exposure. There have been various EHS volunteer studies on heart rate, blood pressure and subjective symptoms using GSM phones. But there are few studies on experimental case-control study investigating physiological parameters, subjective symptoms, and perception of EMFs. In this study, two volunteer groups of 17 self-declared EHS and 19 controls were exposed to both sham and real RF exposure by CDMA cellular phones for half an hour each. We investigated not only the physiological parameters such as heart rates, respiration rates and HRVs(hear rate variability), but also the perception of EMFs and subjective symptoms. As the results, EMF exposure did not have any effects on the subjective symptoms or physiological parameters for both groups. For the EMF perception, there was no evidence that EHS group perceived the EMFs correctly than the control group.

**Keywords :** Electromagnetic hypersensitivity, CDMA cellular phone, Heart rate variability, Heart rate, Respiration rate

\* 정회원, 연세대학교 생체공학협동과정

(Graduate Program in Biomedical Engineering, Yonsei University)

\*\* 평생회원, 한경대학교 생물·정보통신전문대학원

(Graduate school of Bio & Information Technology, Hankyung National University), 전자기술종합연구소

\*\*\* 평생회원, 연세대학교 의과대학 의학공학교실

(Dept. of Medical Engineering, College of Medicine, Yonsei University)

※ 이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임

(No. R01-2007-000-20819-0).

※ 이 논문은 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임

(KRF-2007-331-D00596).

접수일자: 2008년1월7일, 수정완료일: 2008년4월29일

## I. 서 론

2006년 현재 국내 휴대폰 가입자 수는 4천만명을 넘어섰다. 보급률은 83.2%로 이러한 결과는 1인 1 이동전화 시대라 해도 과언이 아님을 시사한다<sup>[1]</sup>. 이로 인해 휴대폰 전자파의 인체 영향에 관한 사회적 관심이 증가하고 있고, 휴대폰 전자파로 인해 두통, 불면증, 단기간의 기억력 소실, 뇌파 변화 등의 정신 신경 생리학적 증상을 호소하는 휴대폰 전자파 과민증(EHS, electromagnetic hypersensitivity) 환자들도 나타나고 있다<sup>[2]</sup>. 스웨덴과 미국 캘리포니아주의 역학조사 결과에 따르면 전자파 과민반응을 호소하는 인구가 각각 1.5%, 3.2%에 이른다고 하였다<sup>[3~4]</sup>. 이러한 전자파 과민반응을 보이는 사람들로 인하여 사회적 비용이 증가할 수 있으며, 또한 이들의 삶의 질을 떨어뜨릴 수 있다. 그러나 이러한 증상들은 현재까지 의학적 진단이 불명확하며, 개인의 주관적인 판단에 의존한다. 그리고 휴대폰 전자파 과민반응의 원인이 막연한 불안감 때문인지 혹은 전자파 노출로 인한 증상인지에 대하여 현재까지 확실한 원인규명이 되지 않고 있다<sup>[5]</sup>.

외국의 경우, GSM 방식의 휴대폰 전자파 노출 시의 혈압, 맥박수 변화와 자각 증상 등의 과민 반응에 대한 연구들이 수행되었다<sup>[6~9]</sup>. Koivisto 등은 900 MHz GSM 휴대폰 노출에 대하여 사용자들이 호소하는 자각 증상이 실제 노출 여부와 관계가 없음을 밝혔고<sup>[6]</sup>, Hietanen 등은 휴대폰 전자파 과민반응을 호소하는 성인을 대상으로 휴대폰 노출에 대한 혈압, 맥박수 변화 및 자각 증상을 연구한 결과 휴대폰 전자파와 인체반응 및 자각증상이 관련이 없음을 보고하였다<sup>[7]</sup>. Raczek 등은 EHS 임을 주장하는 17명을 대상으로 GSM 휴대폰 전자파 노출 시의 인지 정확도를 평가한 결과 EHS 군이 전자파 노출 여부를 구분할 수 없다고 하였다<sup>[8]</sup>.

지금까지의 휴대폰 EHS 연구는 GSM 휴대폰을 사용하여 EHS 군만을 대상으로 한 연구들은 있으나 일반인과 EHS 군의 실험-대조군연구로 생체신호, 자각증상 및 전자파 인지 여부에 대한 복합적인 연구와 CDMA 휴대폰 EHS 연구는 전무한 실정이다. 국내의 경우, 일반 성인과 청소년을 대상으로 CDMA 휴대폰의 인체 영향 연구<sup>[10]</sup>와 신경망을 이용한 휴대폰 전자파 노출량 평가 연구<sup>[11]</sup> 등은 있었다. 그러나 체계적인 국내 휴대폰 전자파 EHS 연구는 거의 없으며, 우리나라는 미국이나 유럽에서 사용하는 GSM 방식과 달리 출력이 상대적으로 약하고 통신방식이 다른 CDMA 방식을 사용하기

때문에 이에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 휴대폰 전자파 과민반응 군과 일반인 군을 대상으로 CDMA 휴대폰 사용 중 휴대폰과 접촉되는 얼굴 피부 온도와 자율신경의 변화를 나타내는 맥박수, 호흡수 및 심박 변이도(HRV : Heart Rate Variability)를 피검자에게 불편이나 고통을 주지 않는, 비침습적인 방법으로 동시에 측정하였다. 그리고 전자파에 대한 인지여부와 전자파 노출로 인한 두통, 피로도, 어지러움 등의 자각증상을 설문을 통하여 조사하였다. Braune 등은 GSM 휴대폰 노출에 의한 혈압, 맥박수, 모세혈관 혈류를 측정하였으며<sup>[20]</sup>, Parazzini 등은 HRV를 측정하였다<sup>[14]</sup>. Nam 등의 연구 결과 CDMA 휴대폰 실험에서 청소년의 피부저항이 유의하게 감소함을 발견하였다<sup>[10]</sup>. 위의 결과들을 바탕으로 국내 휴대폰 전자파 과민반응 연구의 토대를 마련하고, CDMA 휴대폰 전자파 과민증상의 유무를 확인하고자 한다.

## II. 본 론

### 1. 생리학적 변수 측정

휴대폰 전자파 실제 노출(real exposure) 시 휴대폰 발열로 인하여 휴대폰과 접촉 되는 얼굴 피부온도가 가상 노출(sham exposure) 시 보다 유의하게 증가하면 피검자가 휴대폰의 노출 상태를 인지할 수 있다. 따라서 온도 상승을 최소화하기 위하여 얼굴에 닿는 부위를 단열 처리하고 배터리 부위를 개방하였다. 이 단열 처리효과를 검증하고 전자파 노출로 인한 피부 얼굴 온도변화를 측정하기 위하여 피부온도 센서(TSD202B, Biopac, USA)를 휴대폰 키패드 앞, 볼에 부착하고 SKT100C(Biopac, USA)를 사용하여 피부온도 변화를 측정하였다(그림1(a)).

CDMA 휴대폰 사용 중 전자파 과민 반응을 평가하기 위하여 맥박수, 호흡수 및 HRV를 다음과 같이 측정하였다. 심전도 측정을 위하여 PolyG-I(Laxtha, Korea) 시스템을 사용하였다. 오른 팔, 왼 팔, 오른 다리에 Ag-AgCl 전극(3M, USA)을 부착하여 측정된 심전도로 부터 맥박수를 검출하였다.

호흡 변화는 상복부에 호흡벨트(Laxtha, Korea)를 감아 호흡에 의해 변화하는 복부 단면적으로부터 인덕턴스의 변화를 감지하는 방법(RIP : Respiratory Inductance Plethysmography)을 이용하여 측정하였다(그림1(b)).

HRV의 전력스펙트럼은 자율신경계의 교감신경과 부

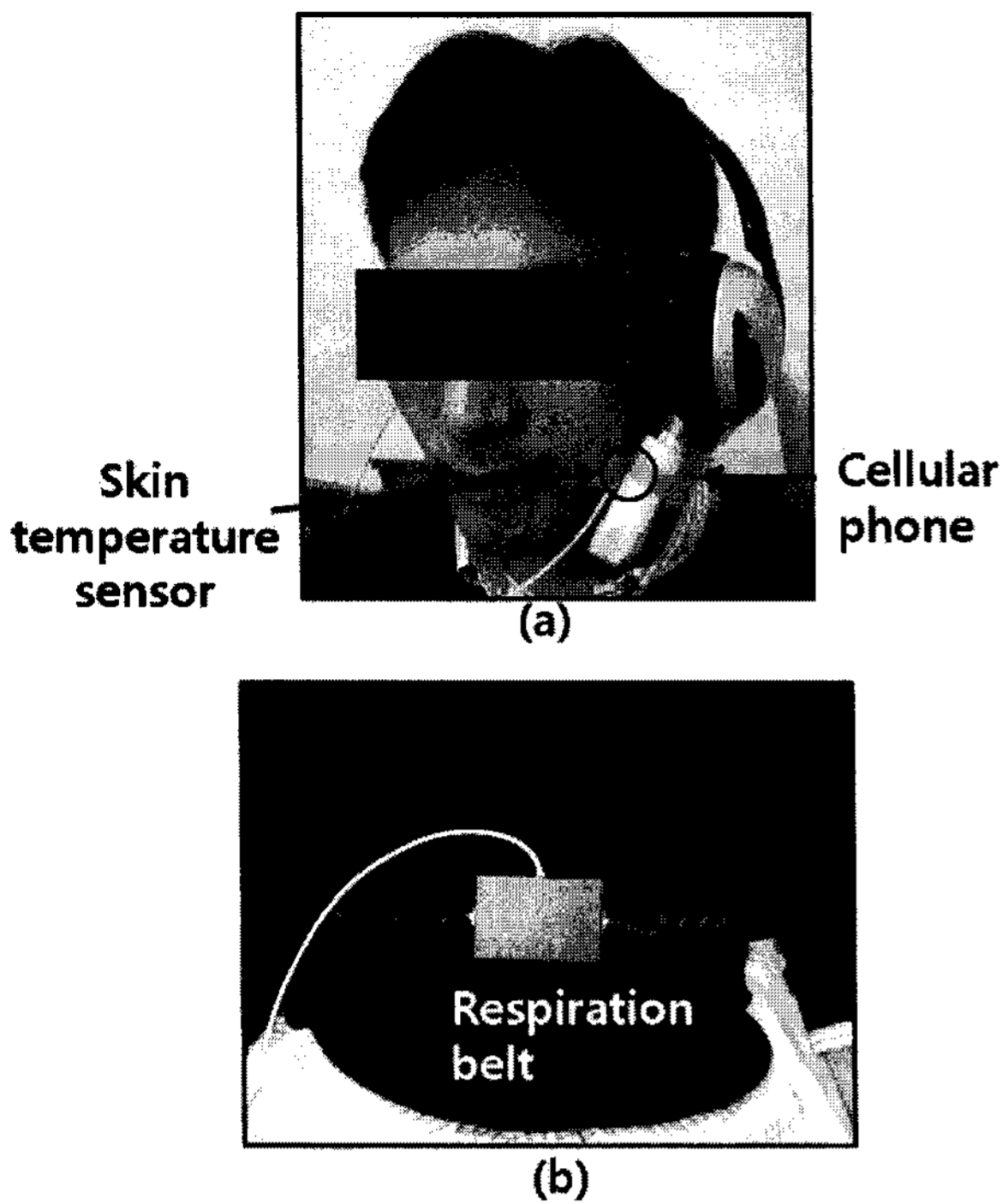


그림 1. 각종 센서의 부착위치: (a) 헤드셋에 휴대폰 및 온도센서를 장착한 사진, (b) 호흡벨트의 부착 모습  
 Fig. 1. Photo of the sensors: (a) the headset attached to a cellular phone and skin temperature sensor, (b) the respiration belt.

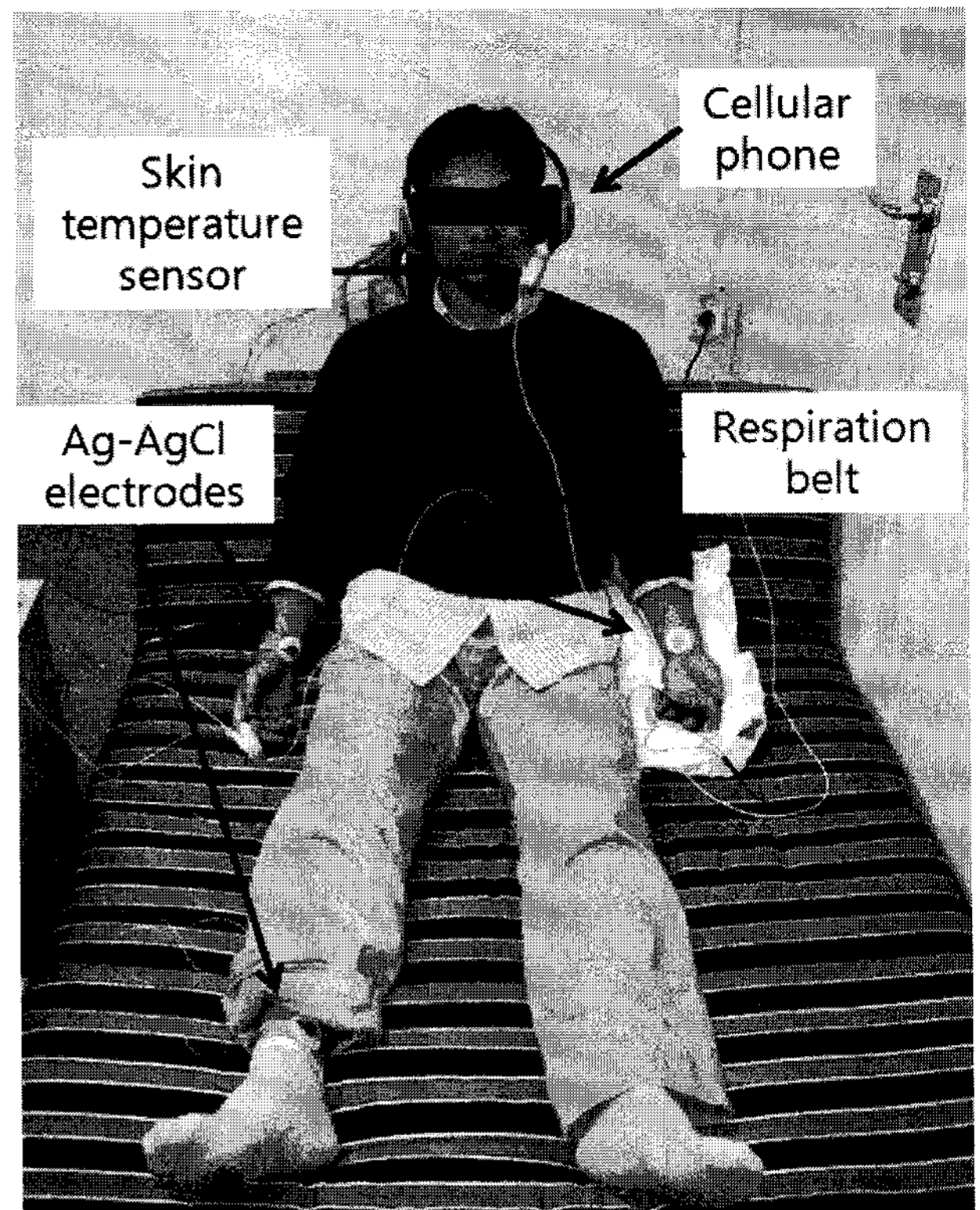


그림 2. 생체 신호 계측 센서를 부착하고 측정 중인 피험자  
 Fig. 2. Subject attached to biomedical instrumentation sensors during experiment.

교감 신경의 작용을 정량적으로 평가할 수 있는 효과적인 방법으로 알려져 있다<sup>[12~16]</sup>. 따라서 본 연구에서는 전자파 노출에 따른 자율신경계 변화를 정량적으로 평가하기 위하여 심전도 신호로부터 HRV를 획득하여 HRV의 전력 스펙트럼을 구하였다. HRV의 전력 스펙트럼에는 세 개의 피크가 나타난다. 첫째는 0.04~0.15 Hz의 LFP(low frequency power), 둘째는 0.15~0.4 Hz의 HFP(high frequency power), 마지막으로 0.04 Hz 이하의 VLFP(very low frequency power)이다<sup>[16]</sup>. HFP는 호흡성 동성 부정맥(RSA, Respiratory Sinus Arrhythmia)에 의한 부교감신경의 영향을 반영한다. 반면에 LFP는 교감과 부교감 신경의 영향을 반영한다. 따라서 자율신경 활동의 균형을 나타내는 지표로서 LFP/HFP가 사용된다. VLFP는 여러 생리학적인 해석들이 주장되고 있으나, 명확하게 결론이 나지 않아 자율신경의 평가를 위한 연구에서는 대부분의 경우 제외되고 있다<sup>[12, 15]</sup>.

실험에 사용된 CDMA 휴대폰 (SCH-V300S, Samsung Electronics, Korea)의 전송(Transmit, TX) 주파수 대역은 824.64 ~ 848.37 MHz이고, 실험에 사용

한 반송주파수(carrier frequency)는 전송주파수 범위의 중간주파수인 835 MHz 이었다. 휴대폰이 실제노출 되는 동안 휴대폰의 송신 출력은 테스트 모드로 하여 평균 300 mW가 되도록 조정하였다<sup>[17]</sup>.

그림 2는 실험이 진행되는 전체 측정 장면으로 검사자는 실험이 진행 되는 동안 피검자가 볼 수 없는 위치에서 피검자의 맥박수, 호흡수, HRV의 변화를 측정하였다. PolyG-I와 BIOPAC을 이용하여 측정된 데이터는 Telescan 0.9(Laxtha, Korea)와 AcqKnowledge 3.73(Biopac, USA)을 이용해 노트북 PC(SV20, Samsung Electronics, Korea)에 저장, 분석되었다.

## 2. 자각 증상과 전자파 인지여부 조사

전자파 과민반응을 호소하는 사람들은 두통, 불면증, 피로 등의 증상을 호소하는데 이러한 증상들은 맥박, 호흡, HRV 등의 생리적 변화만으로는 평가하기 어렵다. 따라서 생리적 변수 측정 외에 두통, 홍조, 피로, 어지러움, 가슴 두근거림 등의 자각증상을 조사할 필요성이 있다. 2001년 Koivisto 등은 휴대폰 전자파에 의한 사람들의 주관적 증상을 평가하기 위하여 두통, 홍조, 피로, 어지러움, 가슴 두근거림 등의 자각증상에 대하여

4점 스케일(1: no sensation, 2: sensation, 3: strong sensation, 4: very strong sensation)로 60분간의 전자파 노출에 대하여 가상 및 실제 노출로 나누어 평가하였다<sup>[6]</sup>. 그 결과 전자파 노출과 자원자의 주관적 증상과는 아무런 관련이 없었다. 본 연구에서도 주관적인 자각증상을 평가하기 위하여 홍조, 가려움, 육신거림, 뜨거운 느낌, 피로, 두통, 어지러움, 메스꺼움, 가슴 두근거림, 소화불량의 주관적인 증상을 없다(1), 약간 있다(2), 있다(3), 많이 있다(4)의 4점 스케일로 심전도, PPG 등의 생체신호를 측정 후 구두로 조사하였다. 또한 주관적인 자각증상 외 추가로 전자파 노출의 인지여부를 조사하였다. “전자파가 느껴지십니까?”라는 질문에 대하여 “예” 또는 “아니오”의 대답으로 전자파 인지여부를 조사하였다.

3. 실험 방법

가. 실험대상

자원자는 EHS 17명(연령 26.4±3.2), 일반인 19명(연령 25.0±2.3)으로 총 36명의 자원자로부터 서면 동의서를 얻고 세브란스병원 임상연구심의위원회의 승인(과제번호:4-2006-0301)을 받아 휴대폰 전자파 노출에 의한 임상실험을 시행하였다.

나. 실험조건

① 단일 맹검 시험(single blind test) : 피검자가 휴대폰의 작동 상태를 알 수 없게 가상과 실제노출의 단일

맹검 시험을 하여 실험의 bias를 최소화하였다.

- ② 실험 전 30분 동안 피검자는 편하게 앉아서 충분한 안정을 취한 후, 지면으로부터 상체를 75° 정도 일으켜 실험 침대에 편하게 앉아서 실험을 하였다(그림2).
- ③ 휴대폰 통화 시 통화내용이 피검자의 정신 및 생리 작용에 영향을 줄 수 있으므로 무통화로 실험하였다.
- ④ 무통화의 경우 휴대폰 출력이 급격히 떨어지므로, 실제노출에 사용된 휴대폰을 테스트 모드에서 출력이 300 mW가 되도록 고정하였다.

다. 실험과정

- ① 실험은 가상 노출(sham exposure)과 실제 노출(real exposure) 두 부분으로 나뉘고 각 실험마다 50분씩 소요되었다(그림 3).
- ② 생체 신호와 전자파 노출로 인한 자각증상을 그림 3과 같이 각 실험 마다 헤드셋을 착용한 상태에서 휴대폰 전자파 노출 전, 휴대폰 전자파 노출 15분 후, 휴대폰 전자파 노출 30분 후, 그리고 노출 중지 10분 후의 시점에서 획득하였다.
- ③ 각 생체 신호는 심전도, 호흡 그리고 얼굴 피부 온도를 5분간 측정하였다.
- ④ 전자파 인지여부는 전자파 노출 5분 전부터 노출 종료 10분 후까지 5분 간격으로 이루어졌다. 실제 노출 실험에서는 노출 시 5회와 비노출 시 4회, 가상 노출 실험에서는 비노출 시 9회 “전자파가 느껴지십니까”라고 질문을 하였다.

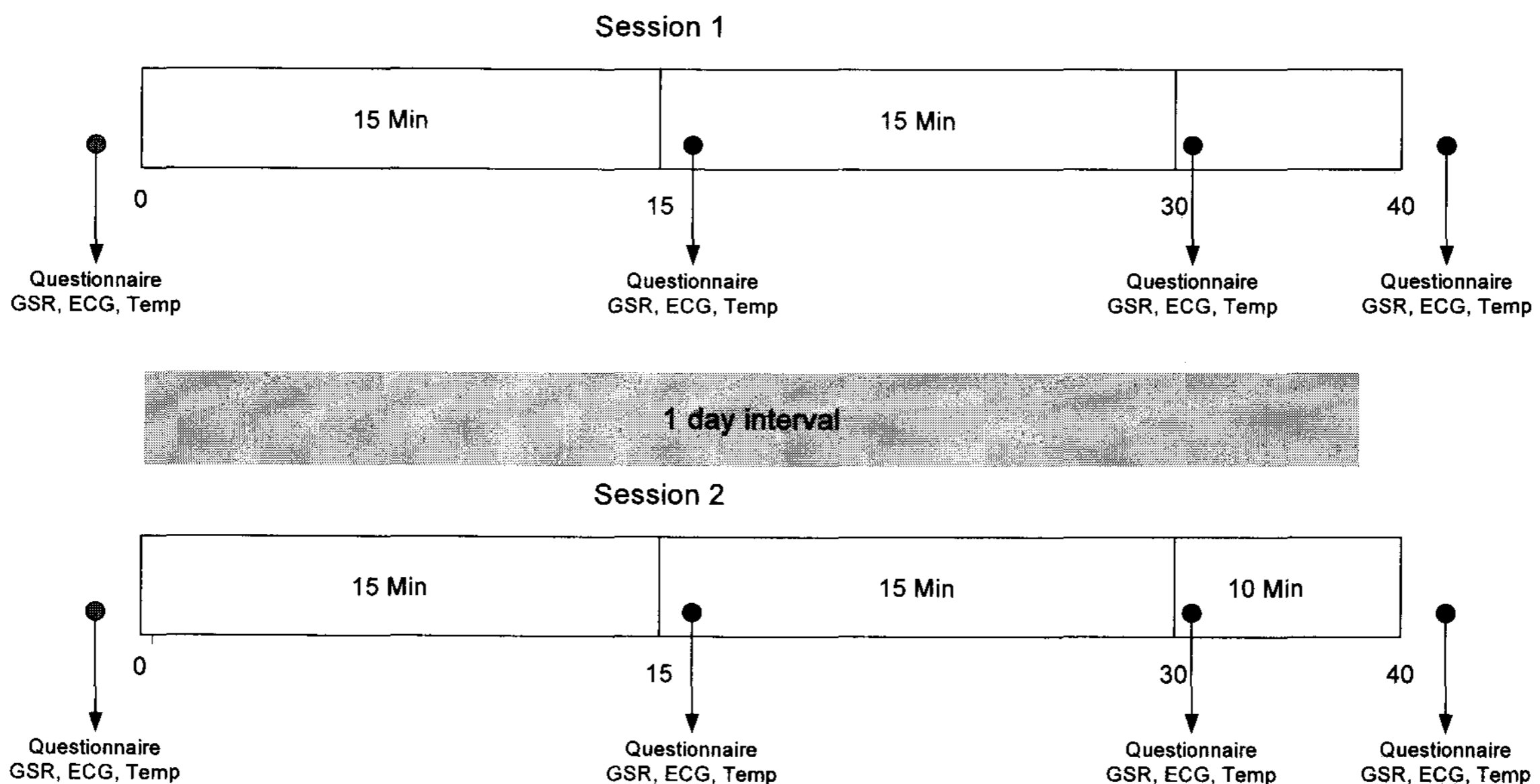


그림 3. 실험 과정

Fig. 3. Experimental procedure.

- ⑤ 하루에 한 실험씩 이틀에 걸쳐 진행되었고, 24 시간 주기의 생체 리듬 변화를 고려하여 각 피험자마다 가상과 실제 노출 실험이 하루 중 같은 시간에 이루어졌다.
- ⑥ 가상과 실제 노출의 순서는 각 피 실험자 마다 무작위로 배정하여 실험의 bias를 최소화하였다.
- ⑦ 실험 조건, 온도와 습도의 영향에 따라 결과가 달라질 수 있으므로, 매 실험마다 측정 시간과 측정 장소의 온도( $22.5 \pm 1.1^\circ\text{C}$ ) 및 습도( $56.4 \pm 4.4\%$ )를 일정하게 유지시켰다.

#### 4. 분석 방법 및 통계처리

5분간 수집한 심전도 데이터에서 맨 처음 60초 구간의 데이터를 선택한 후 분당 맥박수를 측정하였다. 호흡수 역시 처음 60초 구간의 데이터를 선택하여 분당 호흡수를 측정하였다. 피부 저항과 피부온도는 5분의 데이터 중 처음 60초 구간의 데이터를 평균하여 피부 저항과 피부온도의 변화를 분석하였다.

HRV는 측정된 5분간의 심전도 데이터로부터 그림 3과 같이 심장박동의 간격을 획득한 후 전력스펙트럼을 구하였다. HRV의 short term 분석은 5분 동안의 맥박 신호로부터 분석한다<sup>[18]</sup>. HRV의 전력스펙트럼에서 LFP/HFP를 구하여 자율신경계 변화를 분석하였다. 그리고 HRV의 상대적인 변화를 분석하기 위해 각 개인의 가상 노출과 실제 노출 단계에서 최초 휴식 후 측정값을 100으로 하여 이후 측정값을 상대적인 비율로 환산하였다.

측정 결과는 EHS 군과 일반인 군에 있어서 CDMA 휴대폰 전자파 노출 여부(가상과 실제 노출) 및 노출 시간에 따른 맥박수, 호흡수, 얼굴에서의 피부 온도와 HRV의 변화를 repeated measure two-way ANOVA test를 이용하여 분석하였고, 노출에 따른 자각증상은 순위형 자료이므로 비모수 통계분석 방법인 Wilcoxon signed-rank test를 사용하여 분석하였다. 전자파 인지 여부는 각 군의 전자파 노출 시와 비노출 시의 인지 정확도를 t-test를 이용하여 분석하였다. 통계 분석은 SPSS 10(SPSS Inc, USA)을 사용하였으며,  $p=0.05$  (p-value) 유의수준으로 검정하였다

### III. 결 과

얼굴 피부 온도의 변화는 일반인과 EHS 군 모두 전자파 노출여부와 노출시간에 따라 통계적으로 유의하지

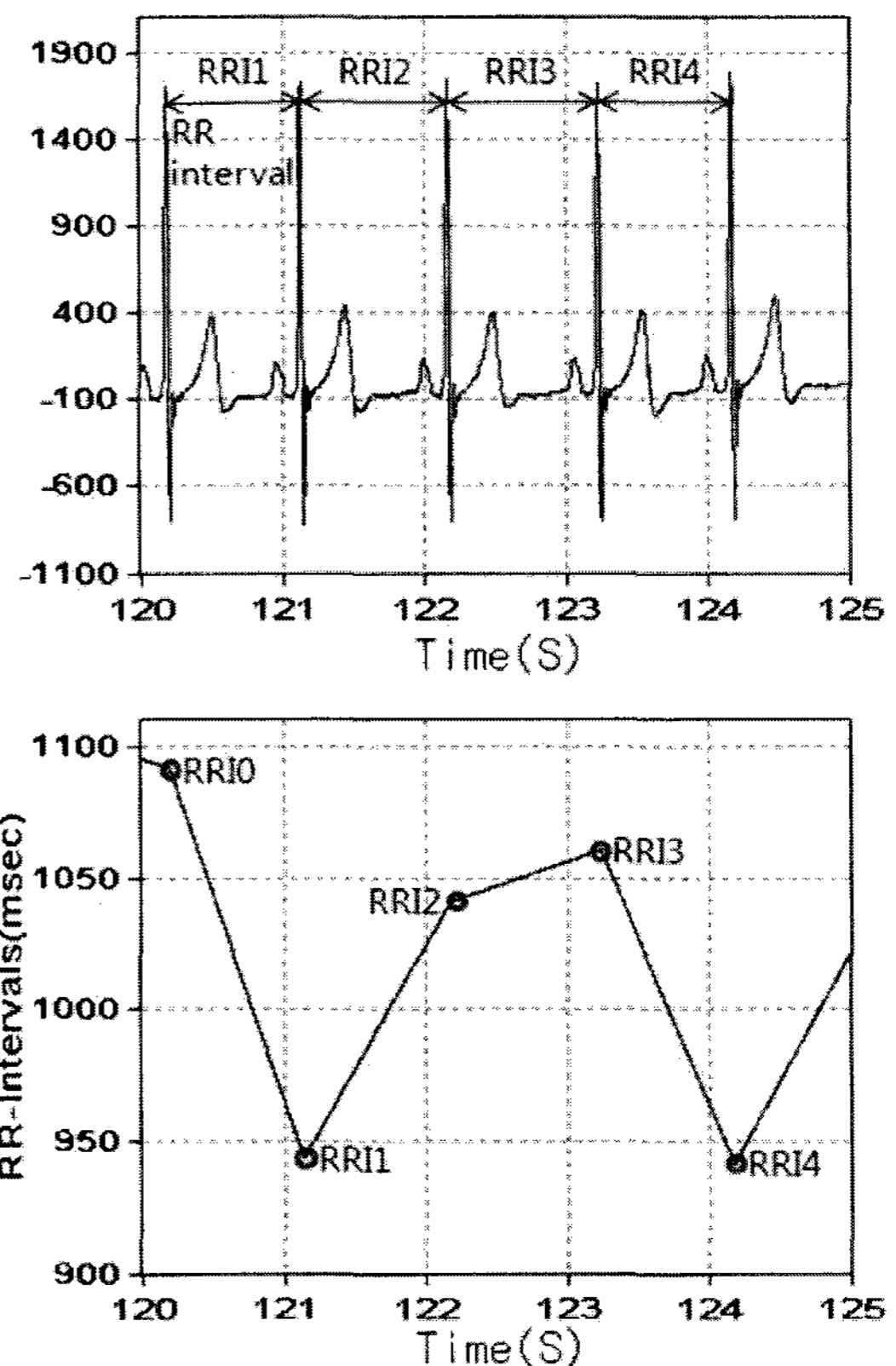
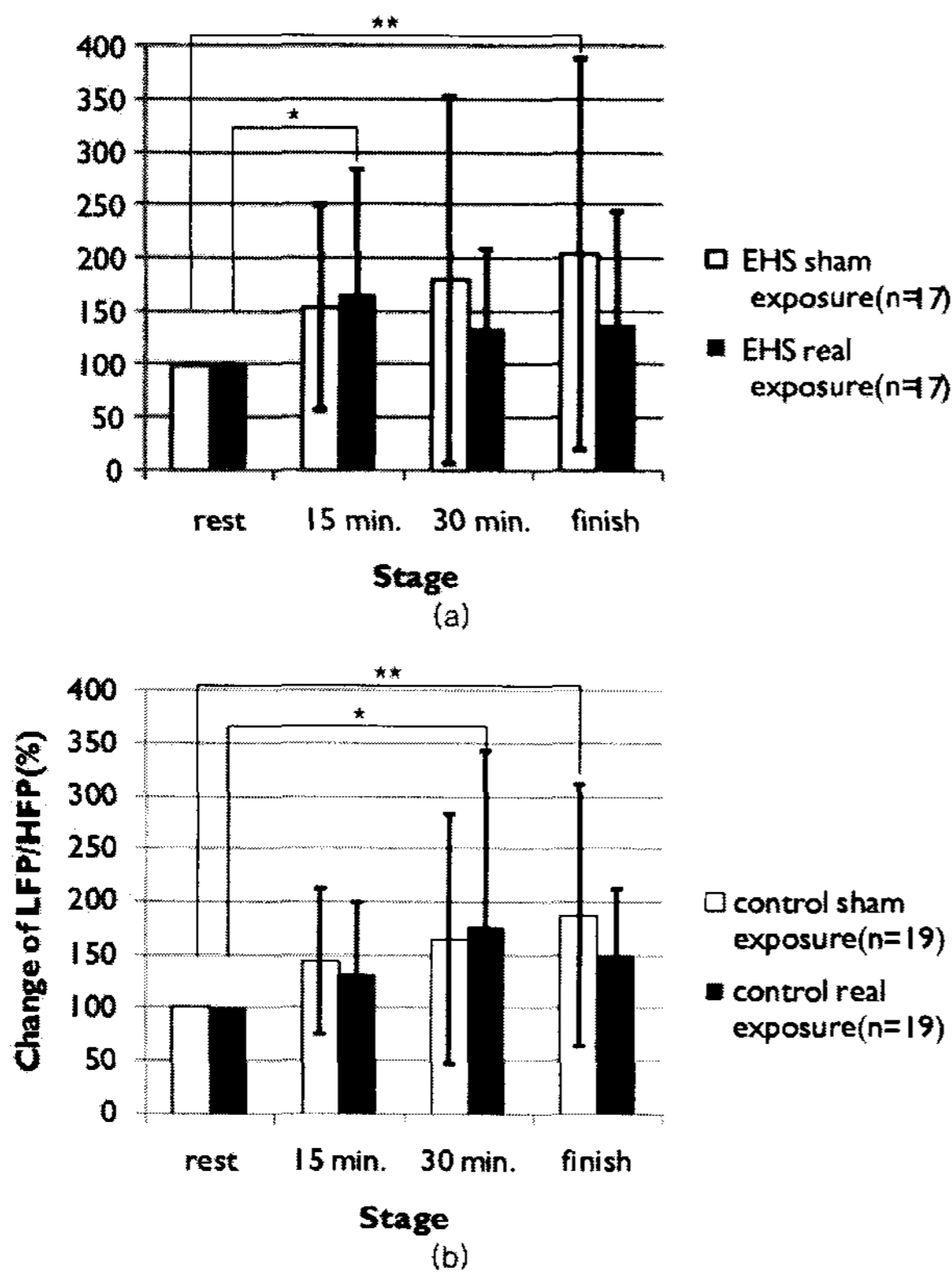


그림 4. 맥박 간격 신호 획득  
Fig. 4. Aquisition of R-R intervals.

않은 결과를 보여, 휴대폰 고정 장치의 단열재가 휴대폰 동작 시 발열을 충분히 차단한 것으로 볼 수 있다. 따라서, 휴대폰 발열로 인한 동작 여부인지의 가능성을 배제하고 생리학적 측정 변수와 자각증상 전자파 노출 인지여부를 분석할 수 있었다.

CDMA 휴대폰의 노출여부 및 노출시간에 따른 생리학적 변화 및 자각 증상에 대한 검정 결과, EHS 군의 맥박수( $p=0.530$ ), 호흡수( $p=0.100$ )는 노출여부에 따라 유의한 변화가 나타나지 않았다. 노출 시간에 따른 맥박수( $p=0.137$ ), 호흡수( $p=0.997$ )의 변화 또한 유의한 차이가 없었다. 일반인 군도 노출 여부 및 시간에 따라 맥박수( $p=0.395$ ,  $p=0.101$ ), 호흡수( $p=0.210$ ,  $p=0.332$ )의 유의한 변화를 볼 수 없었다.

그림 5(a)는 EHS 군의 전자파 노출여부에 따른 LFP/HFP의 변화를 나타낸다. 노출시간에 따라서는 통계적으로 유의하게 변화하였으나( $p=0.002$ ), 전자파 노출여부에 따라서는 차이가 없었으며( $p=0.441$ ), 전자파 노출여부와 시간의 교호작용 또한 없었다( $p=0.328$ ). 일반인 군 또한 노출시간에 따라서는 유의하게 변화하였으나( $p=0.019$ ), 전자파 노출여부에 따라서는 차이가 없었으며( $p=0.658$ ), 교호작용도 없었다( $p=0.512$  (그림5(b))).



\*p<0.05, \*\*p<0.01

그림 5. LFP/HFP의 변화: (a) EHS 군, (b) 일반인 군  
Fig. 5. Change of LFP/HFP: (a) EHS group, (b) control group.

표 1. 전자파에 대한 EHS군과 일반인 군의 전자파 인지 정확도(%)

Table 1. Correct answer rate of EMF exposure of the EHS and control group(%)

	노출 시	비노출 시
EHS(n=17)	48.6±35.0**	69.8±29.6**
일반인(n=19)	3.0±9.8	95.4±10.4

\*\* p<0.01

EHS와 일반인 군 모두 전자파 노출로 인한 자각증상에서 전자파 노출여부에 따라 각 증상을 분석한 결과 홍조, 가려움, 발열감, 피로, 두통, 어지러움, 메스꺼움, 가슴 두근거림, 소화불량 모두 통계적으로 유의하지 않았다.

“전자파가 느껴지십니까?”라는 질문에 대하여 실제 노출과 가상노출 시의 인지 정확도를 구하였다. 실제 노출 실험에서는 노출 시 5회와 비노출 시 4회의 질문을 하였으며, 가상 노출 실험에서는 비노출 시 9회의 질문을 하였다. 실제 노출 중일 때 다섯 번의 질문의 정확도와 전자파 노출이 없을 때의 13번의 질문에 대한 정확도를 분석하였다. EHS 군의 전자파 노출 시 인지

정확도와 비노출 시 인지 정확도는 각각 48.6±35.0%, 69.8±29.6%로 나타났다. 일반인 군의 전자파 노출 시 인지 정확도와 비노출 시 인지 정확도는 각각 3.0±9.8%, 95.4±10.4%로 나타났다. 통계분석결과 노출과 비노출의 정확도 모두 통계적으로 유의하였다(표1).

#### IV. 고찰 및 결론

EHS와 일반인 군 모두 CDMA 휴대폰 노출에 의한 인체 반응 중 맥박수, 호흡수는 노출여부 및 노출시간에 따라 유의한 차이를 보이지 않았으며, 조사된 모든 자각 증상에서 전자파 노출여부에 따라 유의한 차이를 보이지 않았다. EHS 군에서 LFP/HFP는 노출시간에 따라 유의한 변화를 보였으나, 전자파 노출여부에 따라서는 차이가 없었으며 또한, 전자파 노출여부와 시간의 교호작용 또한 없어서 전자파 노출이 LFP/HFP에 영향을 주지 않는다고 볼 수 있다. 일반인 군도 노출시간에 따라 유의한 변화를 보였으나, 전자파 노출여부에 따라서는 차이가 없었으며 또한 전자파 노출여부와 시간의 교호작용 또한 없었다. EHS와 일반인 군에서 시간에 따른 LFP/HFP의 변화는 실험과정 수면방해나 실험 자세 등이 스트레스로 작용하여 변화한 것으로 사료된다. 2004년 Hjortskov 등은 12명의 여성 피험자를 대상으로 연구한 결과, 정신적 스트레스가 HF를 감소시키고, LF/HF를 증가시킨다고 하였다<sup>[19]</sup>. 따라서 LFP/HFP의 증가는 실험과정이 피험자에게 스트레스로 작용한 것으로 사료된다. 실험 전 휴식 시간까지 포함하여 총 1시간 반에 가까운 시간 동안 피험자는 앉은 상태로 있게 된다. 이때 잠이 올 수 있는데 실험과정으로 인하여 피험자는 졸리지만 잠을 청할 수 없는 상태에서 계속해서 실험에 참가하게 된다. 그리고 움직임으로 인한 동잡음을 최소화하기 위하여 움직임을 제한 받게 된다. 이러한 수면 박탈과 실험자세 등으로 인하여 LFP/HFP가 변화했을 것으로 보인다. 2005년 Zhong의 연구결과 정상인에서 수면박탈이 LF의 증가와 LF/HF의 증가를 가져올 수 있음을 확인하였다<sup>[20]</sup>.

EHS 군이 일반인 군보다 전자파 노출여부를 더 잘 인지한다고 말하기 위해서는 전자파 노출과 비노출 시의 인지 정확도가 모두 높아야 한다. EHS의 전자파 노출 시 인지 정확도는 일반인에 비해 45.6% 높지만 비노출 시 인지 정확도는 25.6% 낮다. 이러한 원인은 일반인의 경우 전자파를 느끼지 못한다고 생각하기 때문에 거의 대부분의 “전자파를 느끼십니까?”라는 질문에 “아

니요”라고 대답한 결과로 사료된다. 이에 비하여 EHS 군의 경우 일반인과는 다르게 자신이 전자파를 느낀다고 생각하기 때문에 전자파 노출 시 더 높은 인지 정확도를 보인다. 하지만 비노출 시 인지 정확도는 일반인에 비하여 25.6% 낮기 때문에 EHS 군이 일반인 군에 비해 전자파 노출여부를 더 잘 인지 한다고 볼 수는 없다. Leitgeb 등은 성인 708명을 대상으로 전자파 인지 연구 결과, EHS가 일반인에 비하여 전자파를 더 잘 인지 한다고 볼 수는 없다고 하였다<sup>[5]</sup>.

Braune 등은 성인을 대상으로 900 MHz GSM 휴대폰 노출에 의한 혈압, 맥박수, 모세혈관 혈류를 측정 한 결과, 교감신경에 영향을 준다는 사실을 보고하였고<sup>[21]</sup>, Parazzini 등도 HRV를 이용하여 26명의 젊은 자원자들을 대상으로 900MHz GSM 휴대폰(2W) 전자파 노출이 미약하지만 자율신경계 변화를 가져올 수 있다고 주장하였다<sup>[14]</sup>. 그러나 Braune 등이 40명의 젊은 여성과 남성을 대상으로 싱글 블라인드 테스트로 이틀 간에 걸쳐 가상과 실제 전자파 노출한 결과 혈압, 맥박, 말초 혈류량, 혈액 내 노르에피네프린, 에피네프린 등 측정된 모든 변수가 전자파와 관련이 없었다<sup>[22]</sup>. 또한, Tahvanainen 등도 900 MHz와 1,800 MHz GSM 휴대폰을 이용하여 성인 대상으로 35분 간 노출시켰을 때 혈압이나 맥박수에 변함이 없다고 보고하였다<sup>[23]</sup>. Koivisto 등은 900 MHz GSM 휴대폰 노출에 대하여 사용자들이 호소하는 자각증상이 실제 노출 여부와 관계가 없음을 밝혔다<sup>[6]</sup>. Hietanen 등은 휴대폰 전자파 과민반응을 호소하는 성인을 대상으로 900 MHz NMT, 900 MHz GSM, 1,800 MHz GSM 휴대폰 노출에 대한 혈압, 맥박수 변화 및 자각 증상을 연구한 결과 휴대폰 전자파와 인체반응 및 자각증상이 관련이 없음을 보고 하였다<sup>[7]</sup>. 2006년 Nam 등은 CDMA 휴대폰을 이용하여 성인과 청소년을 대상으로 연구한 결과 청소년 군에서는 전자파 노출이 땀 분비 증가를 일으켰으나 성인은 영향을 받지 않았다고 하였다<sup>[10]</sup>.

기존의 GSM 휴대폰에 의한 인체 영향 및 EHS 연구는 실험 방법과 그 조건에 따라 그 결과가 다양하다. 뿐만 아니라 국외의 연구결과는 GSM 휴대폰을 사용한 연구이고 EHS 군만을 대상으로 한 연구들은 있으나, 일반인과 EHS 군의 실험-대조군 연구로 생체신호, 자각증상 및 전자파 인지여부에 대한 복합적인 연구는 거의 없는 실정이다. 그렇기 때문에 본 연구 결과를 직접적으로 비교하기는 어렵다. 하지만, Nam<sup>[10]</sup> 등의 연구 결과와 같이 일반 성인 군에서는 전자파 노출로 인한

자율신경계 변화가 발견되지 않아 CDMA 휴대폰의 전자파가 일반 성인의 자율신경계에 영향을 미치지 않는다고 사료된다. 그리고 EHS 군 또한 CDMA 휴대폰의 전자파 노출로 인하여 자율신경계의 영향을 받지 않고 휴대폰 사용 시의 두통, 어지러움 등의 자각증상의 원인이 전자파 노출이 아닌 것으로 사료된다. 또한, EHS 임을 주장하는 사람들이 실제로 전자파를 구분할 수 없음을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 HRV의 LF와 HF가 노출여부에 따라서는 차이가 없었으나 시간에 따라서 증가하는 결과를 보였다. 따라서 향후 연구에서는 HRV의 시간에 따른 변화를 효과적으로 제어할 수 있는 연구방법이 필요할 것이다. 또한, 전자파 인지여부에 대하여 반복적인 연구를 수행할 필요가 있으며, 30분 이상의 장시간의 노출 및 다양한 조건에서 기억 및 인지 호르몬 변화, 수면장애 등의 연구도 필요할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] 박현주, “모바일 인터넷 시장 동향”, 정보통신정책, vol. 19, no. 7, pp. 22-25, 2007.
- [2] L. Aringer, J. Cunningham, F. Gobba, N. Leitgeb, L. Miro, G. Neubauer, I. Ruppe, P. Vecchia, C. Wadman, “Possible health implications of subjective symptoms and electromagnetic fields A report prepared by a European group of experts for the European Commission”, DG V. Arbetslivsinstitutet Arbete och Hälsa 1997:19.
- [3] L. Hillert, N. Berglind, B. B. Arnetz, T. Bellander, “Prevalence of self-reported hypersensitivity to electric or magnetic fields in a population-based questionnaire survey”, *Scandinavian journal of work, environment & health*, vol. 28, no. 1, pp. 33-41, 2002.
- [4] P. Levallois, R. Neutra, G. Lee, L. Hristova, “Study of self-reported hypersensitivity to electromagnetic fields in California”, *Environmental health perspectives*, vol. 110 Suppl 4, no. pp. 619-623, 2002.
- [5] N. Leitgeb, J. Schrottner, “Electrosensibility and electromagnetic hypersensitivity”, *Bioelectromagnetics*, vol. 24, no. 6, pp. 387-394, 2003.
- [6] M. Koivisto, C. Haarala, C. M. Krause, A. Revonsuo, M. Laine, H. Hamalainen, “GSM phone signal does not produce subjective symptoms”, *Bioelectromagnetics*, vol. 22, no. 3,

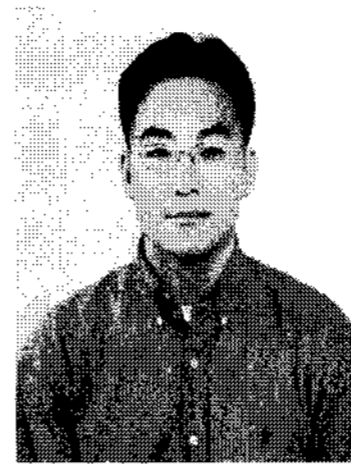
- pp. 212-215, 2001.
- [7] M. Hietanen, A. M. Hamalainen, T. Husman, "Hypersensitivity symptoms associated with exposure to cellular telephones: no causal link", *Bioelectromagnetics*, vol. 23, no. 4, pp. 264-270, 2002.
- [8] J. Raczek, K. Runow, H. Oetzel, T. Gailus, I. Herget, "Investigations of electrosensitivity to a GSM signal at 900MHz for a self-reported electrosensitive target group", *The Bioelectromagnetics Society 22nd Annual Meeting*, vol. no. pp. 269 - 270, 2000.
- [9] M. Roosli, M. Moser, Y. Baldinini, M. Meier, C. Braun-Fahrlander, "Symptoms of ill health ascribed to electromagnetic field exposure—a questionnaire survey", *International journal of hygiene and environmental health*, vol. 207, no. 2, pp. 141-150, 2004.
- [10] K. C. Nam, S. W. Kim, S. C. Kim, D. W. Kim, "Effects of RF exposure of teenagers and adults by CDMA cellular phones", *Bioelectromagnetics*, vol. 27, no. 7, pp. 509-514, 2006.
- [11] S. C. Kim, K. C. Nam, D. W. Kim, "Estimation of relative exposure levels for cellular phone users using a neural network", *Bioelectromagnetics*, vol. 27, no. 6, pp. 440-444, 2006.
- [12] S. Akselrod, D. Gordon, F. A. Ubel, D. C. Shannon, A. C. Berger, R. J. Cohen, "Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control", *Science*, vol. 213, no. 4504, pp. 220-222, 1981.
- [13] N. Hjortskov, D. Rissen, A. K. Blangsted, N. Fallentin, U. Lundberg, K. Sogaard, "The effect of mental stress on heart rate variability and blood pressure during computer work", *European journal of applied physiology*, vol. 92, no. 1-2, pp. 84-89, 2004.
- [14] M. Parazzini, P. Ravazzani, G. Tognola, G. Thuroczy, F. B. Molnar, A. Sacchetti, G. Ardesi, L. T. Mainardi, "Electromagnetic fields produced by GSM cellular phones and heart rate variability", *Bioelectromagnetics*, vol. 28, no. 2, pp. 122-129, 2007.
- [15] B. Pomeranz, R. J. Macaulay, M. A. Caudill, I. Kutz, D. Adam, D. Gordon, K. M. Kilborn, A. C. Barger, D. C. Shannon, R. J. Cohen, et al., "Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis", *The American journal of physiology*, vol. 248, no. 1 Pt 2, pp. H151-153, 1985.
- [16] G. Oftedal, J. Wilen, M. Sandstrom, K. H. Mild, "Symptoms experienced in connection with mobile phone use", *Occupational medicine* (Oxford, England), vol. 50, no. 4, pp. 237-245, 2000.
- [17] 삼성 애니콜 IMT 2000 SCH-V300/SCH-V300S 사용자 설명서
- [18] Marek Malik, J. Thomas Bigger, A. John Camm, Robert E. Kleiger, Alberto Malliani, Arthur J. Moss, and Peter J. Schwartz "Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use.", *European Heart Journal*, 1996, vol.17(3), p354-381
- [19] Hjortskov N, Rissen D, Blangsted AK, Fallentin N, Lundberg U, Sogaard K. 2004. The effect of mental stress on heart rate variability and blood pressure during computer work. *Eur. J. Appl. Physiol.* 92(1-2):84-9.
- [20] X. Zhong, H. J. Hilton, G. J. Gates, S. Jelic, Y. Stern, M. N. Bartels, R. E. Demeersman, R. C. Basner, "Increased sympathetic and decreased parasympathetic cardiovascular modulation in normal humans with acute sleep deprivation", *Journal of applied physiology*, vol. 98, no. 6, pp. 2024-2032, 2005.
- [21] S. Braune, C. Wrocklage, J. Raczek, T. Gailus, C. H. Lucking, "Resting blood pressure increase during exposure to a radio-frequency electromagnetic field", *Lancet*, vol. 351, no. 9119, pp. 1857-1858, 1998.
- [22] S. Braune, A. Riedel, J. Schulte-Monting, J. Raczek, "Influence of a radiofrequency electromagnetic field on cardiovascular and hormonal parameters of the autonomic nervous system in healthy individuals", *Radiation research*, vol. 158, no. 3, pp. 352-356, 2002.
- [23] K. Tahvanainen, J. Nino, P. Halonen, T. Kuusela, T. Laitinen, E. Lansimies, J. Hartikainen, M. Hietanen, H. Lindholm, "Cellular phone use does not acutely affect blood pressure or heart rate of humans", *Bioelectromagnetics*, vol. 25, no. 2, pp. 73-83, 2004.



저 자 소 개



홍 현 기(정회원)  
 2005년 연세대학교  
 의용전자공학과(공학사)  
 2008년 연세대학교 대학원  
 생체공학협동과정  
 (공학석사)  
 <주관심분야: 생체신호계측 등>



지 호 철(정회원)  
 2006년 연세대학교  
 의용전자공학과(공학사)  
 2007년~현재 연세대학교 대학원  
 생체공학협동과정  
 <주관심분야: 생체신호 계측 및  
 분석, 전자기장과 생체영향 등>



김 수 찬(평생회원)  
 1994년 인제대학교  
 의용공학과(공학사)  
 1998년 연세대학교 대학원  
 생체공학협동과정  
 (공학석사)  
 2003년 연세대학교 대학원  
 생체공학협동과정  
 (공학박사)  
 2003년~2004년 Rensselaer Polytechnic Institute  
 (Post Doc.)  
 2004년~현재 한경대학교 생물·정보통신전문  
 대학원 전임강사, 조교수  
 2008년~현재 KETI 위촉연구원  
 <주관심분야: 생체계측 및 분석, 안구운동측정,  
 HCI 등>



김 덕 원(평생회원)-교신저자  
 1976년 서울대학교 공과대학  
 (공학사)  
 1980년 미국 Northwestern  
 University 전자공학과  
 (M.S.)  
 1986년 미국 Univ. of Texas at  
 Austin 의공학 (Ph.D.)  
 1999년~2005년 연세의대 의학공학교실 주임교수  
 1987년~현재 연세대학교 의과대학 의학공학교실  
 조교수, 부교수, 교수  
 2008년~현재 대한전자공학회 부회장 및 제어 및  
 시스템 소사이어티 회장  
 <주관심분야: 비관혈적 생체계측, 의료기기, 전자  
 파 유해성 등>