

# CDMA 휴대폰 전자파 과민반응 연구

연세대학교 대학원

생체공학협동과정

전기·전자공학전공

홍 현 기

# CDMA 휴대폰 전자파 과민반응 연구

지도 김 덕 원 교수

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2008년 1월 일

연세대학교 대학원

생체공학협동과정

전기·전자공학전공

홍 현 기

# 홍현기의 석사 학위논문을 인준함

심사위원 김 덕 원 인

심사위원 남 택 상 인

심사위원 김 수 찬 인

연세대학교 대학원

2008년 1월 일

## 감사의 글

먼저 3년의 연구실 생활과 본 논문이 완성되기까지 세심한 지도와 아낌없는 배려를 해주신 김 덕원 교수님께 먼저 진심으로 감사드립니다. 그리고 본 논문이 완성되기 까지 많은 충고와 격려를 해주신 남택상 교수님과 김수찬 교수님께도 감사드립니다. 지난 대학원 생활에서 여러 가지 도움을 주시며, 가르쳐주신 남 기창 박사님 감사합니다. 그리고 의공학교실에서 밝은 면학분위기를 만들어 주시는 김 남현 교수님, 서 활 교수님, 유 선국 교수님, 박 종철 선생님 감사드립니다. 또한 제가 의공학이란 학문의 길에 들어섰을 때 저를 지도해 주셨던 의용전자공학과 교수님들께도 감사드립니다.

연구실에 처음 들어와 같이 고생하고, 즐거워하며, 지금은 다들 각자의 분야에서 활약하고 있는 승훈 형, 원혁 형과 정훈, 중훈이에게 감사의 마음을 전합니다. 군대 전역 후에 대학생활 2년, 대학원 2년 저에게 가장 의미 있는 4년의 시간을 같이 보내며, 조언을 해준 진태에게도 감사의 마음을 전합니다. 학부 후배이지만 대학원 선배로서 많은 조언을 해준 성우에게도 고마움을 전합니다. 비록 같이 연구실을 오진 않았지만 군 전역 후 2년 동안의 많은 조언과 연구실에 들어 올수 있게 도와준 준희에게도 감사의 마음을 전합니다. 그리고 이 논문이 나올 수 있게 많은 도움을 준 효철 형과 주형이에게 감사의 마음을 전합니다. 이제 막 연구실에 들어와서 열심히 하는 탁형, 영우, 형욱이에게도 고맙다는 말을 해주고 싶습니다. 그리고 연구실에서 석사과정을 파트타임으로 하느라 고생하시는 종정이형도 고맙습니다. 그리고 우리 의공학교실의 살림을 책임지고 계신 정숙이 누님 고맙습니다.

대학교 1학년 때부터 같이 우정을 쌓아오고 힘들 때 마다 힘이 되어준 원이, 재광, 광열, 동욱, 태호, 허근, 성현 그리고 지선이를 비롯한 동기들과 동기 만큼이나 힘이 되어준 효만이형, 예택이형, 형원이형 그리고 후배 정현이 비록 다른 연구실이었지만 격려와 충고를 아끼지 않았던 봉문형 건호에게도 감사의 마음을 전합니다. 공부의 열정을 함께 불태웠던 의용전자공학과 선·후배 여러분의 격려와 지지에 감사의 마음을 전합니다. 자주 만나지는 못하지만 기쁘거나 힘들어도 한결 같이 좋은 친구로 서로에게 힘이 되어주는 경민, 철민, 상규, 길중, 원진이의 우정과 사랑을 잊지 않겠습니다.

마지막으로 오늘의 제가 있기까지 끊임없는 사랑과 격려를 보내주신 저의 소중한

한 가족과 친지들에게 머리 숙여 감사드리며 이 작은 결실을 바칩니다.  
아버지, 어머니 감사합니다.

2008년 1월  
홍 현기 드림

# 차 례

그림 차례 .....	iii
표 차례 .....	iv
약기호표 .....	v
국문 요약 .....	vi
제 1 장 서 론 .....	1
제 2 장 연구 방법 .....	5
2.1 측정 장비 및 생리학적 변수 측정 .....	5
2.1.1 측정장비 .....	5
2.1.2 얼굴 피부온도 측정 .....	6
2.1.3 맥박수 측정 .....	7
2.1.4 호흡수 측정 .....	8
2.1.5 피부저항 측정 .....	8
2.1.6 심박변이도(HRV, Heart rate variability) 측정 .....	8
2.2 자각증상 및 전자파 노출 인지여부 조사 .....	9
2.3 실험방법 .....	14
2.3.1 연구대상 .....	14
2.3.2 실험실 배경 전자파와 온도 및 습도 .....	15
2.3.3 전자파 노출방법 .....	17
2.3.4 실험과정 .....	18
2.3.5 분석방법 및 통계처리 .....	20
제 3 장 결과 및 고찰 .....	21
3.1 피부온도 .....	21

3.2 피부저항 .....	23
3.3 맥박수 .....	24
3.4 호흡 .....	26
3.5 HRV .....	27
3.5.1 LFP .....	27
3.5.2 HFP .....	30
3.5.3 LFP/HFP .....	32
3.6 자각증상 .....	35
3.7 전자파 노출 인지 여부 .....	39
제 4 장 결 론 .....	41
참 고 문 헌 .....	43
ABSTRACT .....	49

## 그림 차례

그림 1. PolyG-I 장비 및 측정화면 .....	5
그림 2. BIOPAC MP100 장비 및 측정 화면 .....	6
그림 3. 헤드셋에 휴대폰 및 얼굴 피부 온도센서를 장착한 사진 .....	6
그림 4. ECG 전극 및 PPG, 피부저항 센서 부착 모습 .....	7
그림 5. 호흡벨트 착용 모습 .....	7
그림 6. 피부저항 전극 부착 모습 .....	9
그림 7. ECG와 HRV 그래프 .....	10
그림 8. 휴대폰 을 헤드폰에 고정시킨 장면 .....	16
그림 9. 전체 측정 장면 .....	18
그림 10. 전체 실험 과정 .....	18
그림 11. 전자파 가상 및 실제 노출 시 피부온도 측정 결과 .....	20
그림 12. 자각증상 및 전자파 인지 조사로 인한 피부저항 변화 .....	22
그림 13. 전자파 가상 및 실제 노출 시 맥박수 변화 .....	23
그림 14. 전자파 가상 및 실제 노출 시 분당 호흡수 변화 .....	25
그림 15. EHS 군의 전자파 가상 및 실제 노출 시 HRV의 LFP 변화 .....	26
그림 16. 일반인 군의 전자파 가상 및 실제 노출 시 HRV의 LFP 변화 .....	27
그림 17. EHS 군의 전자파 가상 및 실제 노출 시 HRV의 HFP 변화 .....	29
그림 18. 일반인 군의 전자파 가상 및 실제 노출 시 HRV의 HFP 변화 .....	30
그림 19. EHS 군의 전자파 가상 및 실제 노출 시 HRV의 LFP/HFP 변화 .....	31
그림 20. 일반인 군의 전자파 가상 및 실제 노출 시 HRV의 LFP/HFP 변화 .....	32

## 표 차례

표 1. EHS 및 일반인 자원자 정보 및 통계분석 결과 .....	14
표 2. ELF 전자기장 세기 .....	15
표 3. 이동통신 3사 주파수 대역별 전자기장 세기 .....	15
표 4. 실험실 온도 및 습도 .....	16
표 5. 피부온도 통계분석 결과 .....	21
표 6. 맥박수 통계분석 결과 .....	23
표 7. 호흡수 통계분석 결과 .....	25
표 8. LFP 통계분석 결과 .....	27
표 9. LFP paired t-test 검정결과 .....	28
표 10. HFP 통계분석 결과 .....	31
표 11. LFP/HFP 통계분석 결과 .....	31
표 12. LFP/HFP paired t-test 검정결과 .....	32
표 13. EHS 군 전자파 노출로 인한 자각증상 분석결과 .....	34
표 14. 일반인 군 전자파 노출로 인한 자각증상 분석결과 .....	36
표 15. 전자파에 대한 EHS군과 일반인 군의 전자파 노출 및 비노출 시 인지 정 확도 .....	38
표 16. EHS군과 일반인의 전자파 인지 정확도 예 .....	39

## 약기호표

EHS: Electromagnetic hypersensitivity

ECG: electrocardiography

PPG: photoplethysmography

GSR: galvanic skin response

HRV: heart rate variability

RRI: R-R interval

LF: Low Frequency

HF: High Frequency

RSA: Respiratory Sinus Arrhythmia

BMI: Body Mass Index

ELF: Extremely Low Frequency

RF: Radio Frequency

SAR: Specific Absorption Rate

## 국 문 요 약

### CDMA 휴대폰 전자파 과민반응(EHS) 연구

2006년 현재 국내 휴대폰 가입자 수는 4천만명을 넘어섰다. 보급률은 83.2%로 이러한 결과는 1인 1 이동전화 시대라 해도 과언이 아님을 시사한다. 이로 인해 휴대폰 전자파의 인체 영향에 관한 사회적 관심이 증가하고 있고, 휴대폰 전자파에 두통, 불면증, 단기간의 기억력 소실, 뇌파 변화 등의 정신적, 신경 생리학적 증세를 호소하는 휴대폰 전자파 과민증(EHS, Electromagnetic hypersensitivity) 환자들도 나타나고 있다. 스웨덴과 캘리포니아의 역학조사 결과에 따르면 전자파 과민반응을 호소하는 인구가 각각 1.5%, 3.2%에 이른다고 하였다. 이러한 전자파 과민반응을 보이는 사람들로 인하여 사회적 비용이 증가할 가능성이 있으며, 또한 이들의 삶의 질을 떨어뜨릴 수 있다. 하지만 이러한 증상들은 현재까지 의학적으로 진단이 불명확하며 또한 개인의 주관적인 판단에 의존하므로 휴대폰 전자파 과민반응의 원인이 막연한 불안감 때문인지 전자파 노출로 인한 신체적 증상인지에 대하여 현재까지 확실한 원인규명이 되지 않고 있다. 따라서 CDMA 휴대폰 노출에 대하여 과학적이고 객관적인 자원자 연구를 통하여 휴대폰 전자파 과민반응의 원인이 전자파인지 아니면 막연한 불안감 때문인지에 대한 논란을 해소할 필요성이 있다. 지금까지의 휴대폰 EHS 연구는 GSM 휴대폰을 사용하여 EHS 그룹만을 대상으로 한 연구들은 있으나 일반인과 EHS 그룹의 실험-대조군연구로 생체신호, 자각증상 및 전자파 인지여부에 대한 복합적인 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 일반인 19명과 EHS임 주장하는 18명을 연구대상으로 자율신경계의 변화를 나타내는 피부저항, 맥박수, 호흡수, HRV와 주관적 자각증상, 전자파 인지를 측정 및 조사 하였다. 실험은 가상 및 실제 전자파 노출 두 부분으로 나누어 하루의 간격을 두고 진행되었으며 실험순서는 무작위로 하였다. 실험은 resting, 전자파 노출 15분 후, 전자파 노출 30분

후, 전자파 노출 종료 10분 후에 생체신호 측정 및 자각증상 조사가 이루어졌고 50분간의 가상 및 실제 노출 실험에서 5분 간격으로 9번의 전자파 인지여부 조사가 이루어졌다.

연구결과 전자파 노출여부 및 노출 시간에 따라 맥박수 및 호흡수의 변화가 없었다. HRV의 경우 노출시간에 따라서 유의하게 증가하였으나 노출여부에 따라서는 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 자각증상 분석결과 전자파 노출여부에 따라 모든 자각증상에서 차이가 없었다. 전자파 인지 분석결과 EHS 군이 전자파 노출 시 인지 정확도( $48.6 \pm 35.0\%$ )가 일반인 군( $3.0 \pm 9.8\%$ )보다 유의하게 높게 나왔으나 전자파 비노출 시 인지 정확도는 각각  $69.8 \pm 29.6\%$ ,  $95.4 \pm 10.4\%$ 로 일반인에서 더 높게 나왔다. 본 연구결과 전자파 과민반응 군과 일반인 군 모두 전자파 노출여부에 따라서 생리학적 변화 및 자각증상의 변화를 볼 수 없었고, EHS 군이 일반인 그룹보다 전자파 노출 여부를 더 잘 구분한다고 볼 수 없었다. 따라서 전자파 과민반응의 원인이 전자파 노출이 아닌 심리적 요인 것으로 사료된다.

---

핵심 되는 말 : CDMA 휴대폰, 전자파 과민반응, 맥박, 호흡, 심박변이도,  
피부저항

# 제 1 장 서 론

2006년 현재 국내 휴대폰 가입자 수는 4천만명을 넘어섰다. 보급률은 83.23%로 이러한 결과는 1인 1 이동전화 시대라 해도 과언이 아님을 시사한다[2]. 이로 인해 휴대폰 전자파의 인체 영향에 관한 사회적 관심이 증가하고 있고, 휴대폰 전자파에 두통, 불면증, 단기간의 기억력 소실, 뇌파 변화 등의 정신 신경 생리학적 증세를 호소하는 휴대폰 전자파 과민증 (EHS, electromagnetic hypersensitivity) 환자들도 나타나고 있으며, 이러한 휴대폰 전자파 인체영향 및 과민반응은 강한 세기의 전자파가 아닌 각 국의 법률 규제치 이하의 약한 전자파 세기에서 나타나고 있다[7]. 또한 최근 들어 휴대폰 전자파뿐 아니라 TV, 컴퓨터 모니터 등 다양한 전자제품과 60Hz 전원 등의 전자파 과민증 현상에 대한 관심이 유럽 국가들을 중심으로 커져가고 있다[9].

외국의 경우, 주로 GSM 방식을 이용하고 있으므로 GSM 방식의 휴대폰 사용에 의한 자각증상[34], 혈압 및 맥박수 등의 생리학적 변화[10][15][41] 및 인지기능[13][37] 등의 인체영향에 대한 연구가 수행되었고 그 중의 일부는 다음과 같다.

1. 1998년 Hocking 및 Frey는 휴대폰 사용자의 두통과 나른함, 피부의 뜨거운 느낌 등의 호소를 보고하였다[16][21].
2. 1997년 Lin 등은 전자파가 스트레스를 증가시킬 수 있음을 보고하였다[29].
3. Braune 등은 성인에 대하여 900 MHz GSM 휴대폰 노출에 의한 혈압, 맥박수, 모세혈관 혈류를 측정한 결과, 실제 노출에서 맥박수와 혈압의 변화, 혈관 수축 등을 관찰하여 900 MHz GSM 휴대폰 전자파 노출이 교감신경에 영향을 줄 수 있다고 주장하였다[10].
4. Tahvanainen 등은 900 MHz와 1,800 MHz GSM 휴대폰을 이용하여 성인 대상으로 35분간 노출시켰을 때 혈압이나 맥박수에 변함이 없다고 보고하였다[41].

이와 같이 이러한 연구들은 일관된 결과를 보여주지 못하고 있으며 GSM 휴대폰 사용에 대한 연구였기 때문에 연구결과를 국내 CDMA 휴대폰 전자파 과민반응에 적용하기는 어렵다. 국내의 경우 CDMA 휴대폰 사용 시 혈압, 맥박수, 피부저항, 시각자극 반응 연구[1][33] 등이 있었으나 외국의 연구와 비교하여 많이 부족한 실정이다. 국내 휴대폰 전자파 인체영향 연구는 다음과 같다.

1. 2003년도 김재성은 “휴대폰 전자파가 인체의 시각자극 반응에 미치는 영향” 연구 결과 CDMA 휴대폰에서 방출되는 전자파에 노출되었을 경우 청소년의 경우에는 자극 반응 속도가 노출군에서 유의하게 빨라짐을 관찰하였다[1].
2. 2006년도에 남기창 등의 연구 결과 청소년 군에서 CDMA 휴대폰 전자파 실제노출에서 가상노출에 비하여 피부저항이 유의하게 감소하여 휴대폰 사용이 인체의 교감신경에 영향을 미칠 수 있음을 발견하였다[33].
3. 2006년도에 김수찬 등은 신경망을 이용하여 휴대전화에 의한 RF 노출 평가 모델을 개발하였다[22].

외국의 전자파 과민 반응 군에 대한 연구 또한 GSM 방식의 휴대폰에 대해서 수행되었고, 연구결과는 다음과 같다.

1. Koivisto 등은 900 MHz GSM 휴대폰 노출에 대하여 사용자들이 호소하는 자각증상이 실제 노출 여부와 관계가 없음을 밝혔다[23].
2. Hietanen 등은 휴대폰 전자파 과민반응을 호소하는 성인을 대상으로 900 MHz NMT, 900 MHz GSM, 1800 MHz GSM 휴대폰 노출에 대한 혈압, 맥박수 변화 및 자각 증상을 연구한 결과 휴대폰 전자파와 인체반응 및 자각증상이 관련이 없음을 보고하였다[18].
3. Raczek 등은 EHS 임을 주장하는 17명을 대상으로 GSM 휴대폰 전자파 노출시의 인지 정확도를 평가한 결과 EHS 군이 전자파 노출 여부를 구분할 수 없다고 하였다[38].
4. Roosli 등은 EHS 394명을 대상으로 설문조사 결과 EHS 군이 느끼는 주요

증상이 수면장애(58%), 두통(41%), 신경쇠약(19%), 피로(18%), 집중장애(16%) 등이었고, EHS 군이 주장하는 원인은 휴대폰 기지국(74%), 휴대폰(36%), 무선전화기(29%), 전력선(27%) 등이었다[39].

국내의 경우, 휴대폰 전자파 과민 반응 군을 대상으로 한 연구가 없으며 우리나라는 미국이나 유럽에서 사용하는 GSM 방식과 달리 출력이 상대적으로 약하고 통신 방식이 다른 CDMA 방식을 사용하기 때문에 이에 대한 연구가 필요하다.

스웨덴과 캘리포니아의 역학조사[19][28] 결과에 따르면 전자파 과민반응을 호소하는 인구가 각각 1.5%, 3.2%에 이른다고 하였다. 이러한 전자파 과민반응을 보이는 사람들로 인하여 사회적 비용이 증가할 수 있으며, 또한 이들의 삶의 질을 떨어뜨릴 수 있다. 하지만 이러한 증상들은 현재까지 의학 진단이 불명확하며, EHS를 평가할 수 있는 평가기준 또한 마련되어 있지 않다[14]. EHS의 평가는 개인의 주관적인 판단에 의존하고 있고[14], 휴대폰 전자파 과민반응의 원인이 막연한 불안감 때문인지 전자파 노출로 인한 증상인지에 대하여 현재까지 확실한 원인규명이 되지 않고 있다[26]. 그리고 EHS에 대한 적당한 관리 및 치료가 필요하지만 EHS의 원인이 명확하지 않기 때문에 이들을 치료하는데 어려움이 따르고 있다[40]. 따라서 GSM 휴대폰과 전송 방식이 다른 CDMA 휴대폰 노출에 대하여 과학적이고 객관적인 자원자 연구를 통하여 휴대폰 전자파 과민반응의 원인이 전자파인지 아니면 막연한 불안감 때문인지에 대한 논란을 해소할 필요성이 있다.

본 연구에서는 휴대폰 전자파 과민반응 군과 일반인 군을 대상으로 CDMA 휴대폰 사용 중의 맥박수, 호흡수 외에 자율신경의 변화를 나타내는 피부저항 및 심박변이도(HRV, heart rate variability)를 피험자에게 불편이나 고통을 주지 않는 비 침습적인 방법으로 동시에 측정하였다. 그리고 전자파에 대한 인지여부와 전자파 노출로 인한 두통, 피로도, 어지러움 등의 자각증상을 설문을 통하여 측정하였다. 측정된 결과의 통계분석을 통하여 각 군 내에서 휴대폰 노출시간에 따른 맥박수, 호흡수, 피부 저항 및 심박변이도의 유의차와 두통, 피로도, 어지러움 등의 자각증상의 유의차를 관찰하였다. 마지막으로 전자파 과민반응 군과 일반인 군

의 전자파 인지의 차이를 분석하였다. 위의 결과들을 바탕으로 국내 휴대폰 전자파 과민반응연구의 토대를 마련하고 CDMA 휴대폰 전자파 과민반응의 원인이 심리적인 요인이지 휴대폰 전자파인지를 밝히고자 한다.

## 제 2 장 연구 방법

### 2.1 측정 장비 및 생리학적 변수 측정

#### 2.1.1 측정 장비

ECG, PPG, 호흡, 피부온도, 피부저항을 측정하기 위하여 상용화된 제품인 PolyG-I(Laxtha, 한국)와 MP100(BIOPAC, USA)을 사용하여 측정 하였다. PolyG-I는 EEG(뇌파) 8채널, ECG(심전도) 1채널, EMG(근전도) 2채널, PPG(맥파) 1채널, GSR(피부전기전도) 1채널, RESP(호흡) 1채널, 보조입력 2채널을 갖고 있으며 이중 ECG, PPG, 호흡 3채널을 512Hz 샘플링 주파수로 측정하였다. BIOPAC MP100은 모듈형 생체신호 계측기로서 SKT100C, GSR100C(BIOPAC, USA) 두 모듈을 사용하여 피부온도와 피부저항을 10Hz의 샘플링 주파수로 측정하였다. 두 장비 모두 컴퓨터에 연결하여 사용하며 Telescan0.9(Laxtha, 한국)과 AcqKnowledge3.73(BIOPAC, USA) 등의 자체 저장 및 분석 소프트웨어를 사용하여 데이터를 저장하고 분석한다. 그림 1과 2는 각각 PolyG-I와 MP100 장비 및 측정 화면이다.

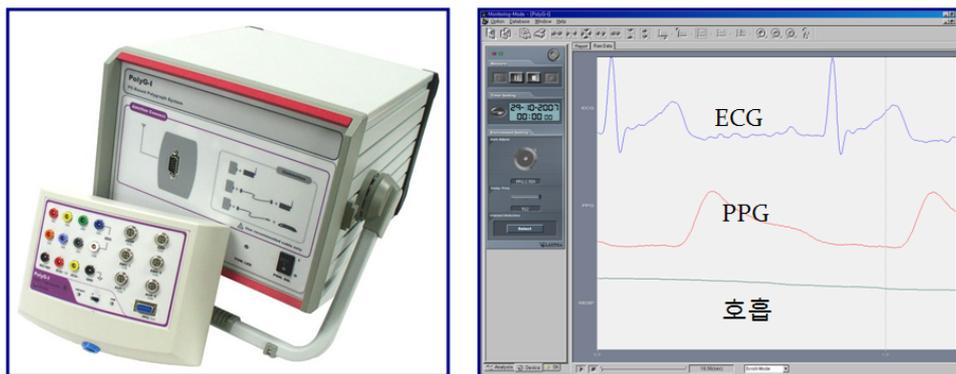


그림 1 PolyG-I 장비 및 측정화면

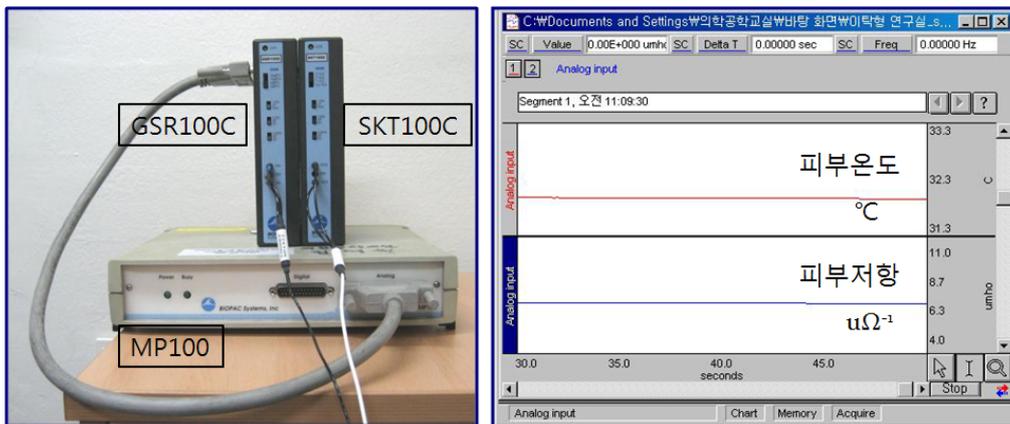


그림 2 BIOPAC MP100 장비 및 측정 화면

### 2.1.2 얼굴 피부 온도 측정

휴대폰 전자파 실제 노출 시 휴대폰 발열로 인하여 휴대폰과 접촉되는 얼굴 피부온도가 가상 노출 시 보다 유의하게 증가하면 피험자가 휴대폰의 노출 상태를 인지할 수 있다. 따라서 온도 상승을 최소화하기 위하여 얼굴에 닿는 부위를 단열처리하고 배터리 부위를 개방하였다. 이 단열처리를 검증하고 전자파 노출로 인한 피부 온도변화를 측정하기 위하여 피부온도 센서(BIOPAC, TSD202B)를 휴대폰 키패드 앞, 볼에 부착하고 BIOPAC SKT100C 모듈을 사용하여 얼굴 피부온도 변화를 측정하였다.

그림 3은 피부온도 센서의 부착모습으로서 이때 실험용 휴대폰이 볼과 피부온도 센서에 압력을 가하지 못하도록 부착하였다. 1분간 측정된 얼굴온도의 평균값을 구하여 사용하였다.



그림 3 헤드셋에 휴대폰 및 얼굴 피부 온도센서를 장착한 사진

### 2.1.3 맥박수 측정

PolyG-I 시스템을 이용하여 표준사지유도법 중 Lead1 유도법을 사용하여 오른 팔, 왼 팔, 오른 다리에 Ag-AgCl 전극(3M, USA)을 부착하여 측정하였다. 동잡음 등으로 인하여 맥박수 검출이 어려울 수 있으므로 추가로 PolyG-I 시스템의 광 혈류측정기(PPG : photo-plethysmography)를 이용하며, 검지에 클립 센서를 부착하여 측정하였다. 1분간 수집된 데이터에서 맥박수를 측정하였다. 그림 4는 ECG 전극과 PPG 클립 센서 부착 모습이다.

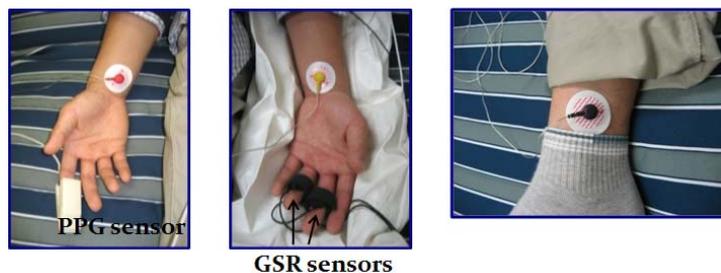


그림 4 ECG 전극 및 PPG, 피부저항 센서 부착 모습

#### 2.1.4 호흡수 측정

그림 5와 같이 상복부에 호흡벨트(PolyG-I, respiration sensor)를 착용하여 측정하였다. 맥박수와 1분간 수집한 데이터에서 분당 호흡수를 측정하였다.



그림 5 호흡벨트 착용 모습

#### 2.1.5 피부저항 측정

전자파 노출로 인한 교감신경의 흥분을 판단하기 위하여 손가락의 피부저항의 변화를 측정하였다. 교감신경이 흥분되면 땀이 분비되어 손가락 피부저항이 감소하게 된다[17]. 피부저항 변화는 크게 Skin resistance level (SRL)과 Skin resistance response (SRR) 두 가지로 분류 된다. SRL은 변화하는 피부저항의 평균값으로 표현되고, SRR은 외부 자극으로 인한 피부저항 변화곡선의 위상을 분석하는 것이다. 외부 자극에 의한 피부저항 변화는 일반적으로 1.3~2.5초의 잠복기 이후에 발생한다. 이때 자극에 의한 잠복기와 크기의 변화를 분석한다. 피부저항은 일반적으로 교감신경계의 조절을 받는 땀샘(eccrine sweat gland)이 가장 많이 분포하는 손바닥 또는 발바닥에서 측정한다. 땀샘은 호흡, 온도, 습도, 나이, 성별, 측정시간, 그리고 각성 및 감정상태에 영향을 받는다[5].

2006년 남기창 등의 연구 결과 청소년 군에서 CDMA 휴대폰 전자파 실체노출에서 가상노출에 비하여 피부저항이 유의하게 감소하여 휴대폰 사용이 인체의 교

감신경에 영향을 미칠 수 있음을 발견하였다[33]. 따라서 본 연구에서도 손가락의 피부저항(SRL)을 측정 하여 교감신경의 흥분을 확인하고자 하였다.

PolyG-I와 BIOPAC GSR100C 모두 피부저항 측정이 가능하다. PolyG-I의 경우 주파수 범위가 0.2~6Hz로 DC의 측정이 불가능하지만[25] GSR100C의 경우 주파수 범위가 DC~10Hz로 DC 측정이 가능하다. 본 연구에서는 피부저항 평균값의 변화를 관찰하므로 BIOPAC GSR100C를 사용하였다. 손가락 피부저항의 변화를 측정하기 위해서는 Kopp의 연구[12]와 같이 왼손 중지와 약지에 피부저항 센서(BIOPAC, TSD203)를 부착하여 피부저항의 변화를 측정하였다. 이때 GSR100C는 피부의 저항이 아닌 피부 전도도를 측정하기 때문에 피부저항을 구하기 위하여 측정된 피부전도도의 역수를 취하여 피부저항을 계산하였다. 계산된 피부저항은 피부온도와 마찬가지로 1분간의 데이터의 평균을 구하여 사용되었다.

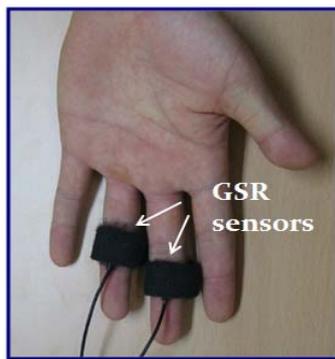


그림 6 피부저항 센서 부착 모습

### 2.1.6 심박변이도 측정

자율신경계의 활성정도를 정량적으로 평가하기 위해 심박변이도(HRV, heart rate variability)를 측정하였다. HRV는 분당 맥박수의 변화가 아닌 심장박동으로부터 다음 심장박동 사이의 간격(RRI, R-R interval)을 측정하고 그 변이를 관찰하는 것이다. 그림7은 ECG와 HRV 그래프를 나타낸다.

순간 맥박수는 자율신경계에 의해 지속적으로 감지되고 면밀하게 조절된다. 안

정상상태의 사람의 맥박수는 맥박수를 느리게 하는 부교감신경과 맥박수를 빠르게 하는 교감신경의 상호작용에 의해 결정된다. 부교감(미주)신경은 동방결절, 방실전도경로 심방근육을 자극하여 맥박수를 제어하고[31], 부교감신경 한번의 자극 후에 최대 응답은 400ms 이내에 발생된다고 보고되고 있다[27]. 교감신경은 동방결절, 방실전도경로, 그리고 심방 및 심실의 근육을 포함하는 전체 심장의 신경을 자극하여 활성화시킨다. 교감신경 활성이 증가되면 맥박수와 심장의 수축정도를 증가시키고 심장의 수축시간을 단축시킨다. 자극과 거의 동시에 응답하는 부교감신경과는 대조적으로 교감신경은 자극 후 맥박수가 증가할 때까지 5초 정도의 잠복기를 갖는다[31].

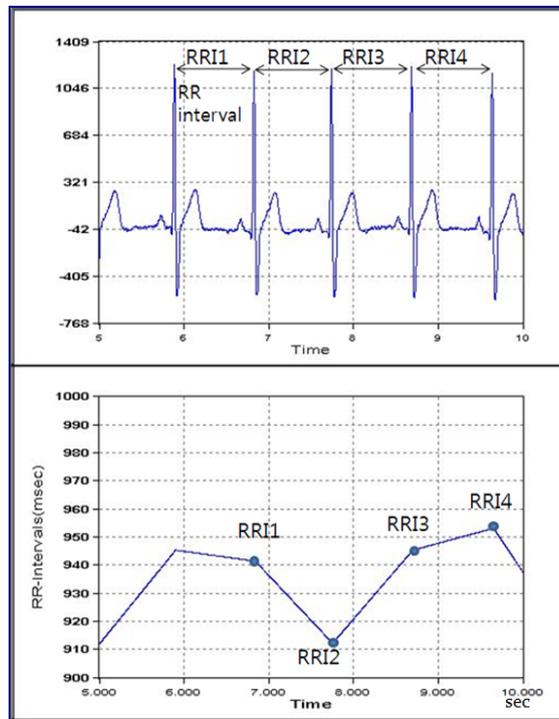


그림 7 ECG와 HRV 그래프

HRV를 이용한 자율신경계 기능 분석 방법에는 측정된 구간의 RRI의 평균(맥박수), 표준편차 등의 시간영역 분석방법과 전력 스펙트럼을 이용한 주파수영역

분석이 있다. HRV의 전력 스펙트럼에는 세가지의 피크가 나타난다. 첫째는 0.04~0.15Hz의 LF(low frequency)성분, 둘째는 0.15~0.4Hz의 HF(high frequency)성분, 마지막으로 0.04Hz이하의 VLF(very low frequency)성분이다 [34]. HF 성분은 호흡성 동성 부정맥(RSA, Respiratory Sinus Arrhythmia)에 의한 부교감신경의 영향을 반영한다[11,34]. 반면에 LF 성분은 연구자에 따라 교감과 부교감신경 모두의 영향을 반영한다는 의견[35]과 교감신경의 영향만을 반영한다는 의견[11]의 서로 다른 주장이 제기 되고있어, 자율신경 활동의 균형을 나타내는 지표로서 LF/HF가 사용된다[35]. 그리고 LF/HF의 증가는 교감신경의 활성증가를 나타내고 감소는 교감신경의 활성의 감소를 나타낸다[35]. VLF 성분은 여러 생리학적인 해석들이 주장되고 있으나, 명확하게 결론이 나지 않아 자율신경의 평가를 위한 연구에서는 대부분의 경우 제외되고 있다[6] [36].

현재 성별, 연령, BMI 등 다양한 조건에서 HRV를 분석하고 전자파, 스트레스, 소리, 운동 등 다양한 자극 하에서의 인체반응을 평가하는 연구들이 진행 되고 있다. 그 중의 일부는 다음과 같다.

1. 2000년 Beranrdi 등은 피험자가 말을 하는 동안에 HRV의 변화를 관찰하였는데 그 원인이 말을 하는 동안 발생한 호흡변화에 있다고 하였다[8].
2. 2001년 Kuch 등은 남녀차, 흡연유무, 비만에 따른 HRV의 차이를 분석하였다. 그 결과 남자가 여자에 비하여 LF가 크고 HF가 작았으며 여자는 흡연시 HF가 더 크게 측정되었다. 남녀 모두 비만인 사람들이 심박변이도가 더 크게 측정되었다[24].
3. 2001년 Migliaro 등은 나이가 심박변이도에 미치는 영향을 평가하여 나이에 따라 HRV가 변함을 확인하였다[32].
4. 2004년 Hjortskov 등은 12명의 여성 피험자를 대상으로 연구한 결과, 정신적 스트레스가 HF를 감소시키고, LF/HF를 증가시킴을 확인하였다[20].
5. 2007년 Parazzini 등은 26명의 젊은 자원자를 대상으로 900MHz GSM 휴대폰 사용시의 HRV를 측정한 결과 전자파 노출은 인체 자율신경계에 영향을 미칠수 있음을 보였다[35].

본 연구에서는 5분간 ECG를 측정하여 HRV를 구하였다. 그 후 HRV의 전력스펙트럼을 계산하고 LF 대역의 전력 LFP(low frequency power)와 HF 대역의 전력 HFP(high frequency power) 그리고 LFP/HFP를 사용하여 전자파 노출로 인한 자율신경계 영향을 평가하였다.

## 2.2 자각 증상 및 전자파 노출 인지여부 조사

전자파 과민반응을 호소하는 사람들은 두통, 불면증, 피로 등의 증상을 호소하는데 이러한 증상들은 맥박, 호흡, 피부저항, 심박변이도 등의 생리적 변화만으로는 평가하기 어렵다. 따라서 생리적 변수 측정 외에 두통, 홍조, 피로, 어지러움, 가슴두근거림 등의 자각증상을 연구할 필요성이 있다. 2001년 Koivisto는 전자파에 의한 사람들의 주관적 증상을 평가하기 위하여 두통, 홍조, 피로, 어지러움, 가슴두근거림 등의 자각증상에 대하여 4점 스케일(1:없다, 4:매우 심하다)로 60분간의 전자파 노출에 대하여 가상 및 실제 노출로 나누어 평가하였다[23]. 그 결과 전자파 노출과 자원자의 주관적 증상과 아무런 관련이 없었다. 본 연구에서도 주관적인 자각증상을 평가하기 위하여 홍조, 가려움, 육신거림, 뜨거운 느낌, 피로, 두통, 어지러움, 메스꺼움, 가슴 두근거림, 소화불량의 주관적인 증상을 1. 없다 2. 약간 있다 3. 있다 4. 많이 있다 의 4점 스케일로 심전도, PPG 등의 생체신호를 측정한 후 구두로 조사하였다.

주관적인 자각증상 외 추가로 전자파 노출의 인지여부를 조사하였다. 2003년 Leitgeb와 Schrottner는 전자파를 인지할 수 있는 electrosensibility와 전자파 노출로 인하여 여러 증상을 호소하지만 그 원인이 밝혀지지 않은 EHS를 구분하여야 한다고 하였다[26]. 하지만 전자파 과민증을 호소하는 사람들은 전자파를 증상의 원인으로 믿고 있기 때문에 전자파 인지여부는 EHS와 일반인의 차이를 평가할 수 있는 중요한 요소이다. 실험과정에서 “전자파가 느껴지십니까?” 라는 질문을 하여 전자파 인지여부를 조사하였다.

## 2.3 실험방법

### 2.3.1 연구대상

심혈관계 및 신경계 질환이 없는 일반인 19명과 EHS를 호소하는 자원자 17명을 대상으로 진행되었다. EHS 군은 연세대학교 홈페이지 게시판과 세브란스병원의 각 게시판의 공고문을 통해 자원자를 모집하였다. 공고문을 통해 모집된 자원자는 다음의 질문을 통하여 휴대폰이 아닌 다른 전자제품(frequency)에 민감한 자원자는 제외하였다.

- 1) 하루에 휴대폰을 몇 시간? 혹은 몇 분 정도 사용하는지요?
- 2) 평소에 TV 나 PC 를 사용할 때, 두통이나 어지러움 등을 느끼는지요?
- 3) 휴대폰을 사용할 때, 두통이나 어지러움 등을 느끼는지요?
- 4) 자신이 전자파에 민감하다고 느끼는 이유는?

일반인 군의 평균 연령은  $25.0 \pm 2.3$ 세 이고, 성비는 남자가 10명, 여자가 9명으로 구성되었다. 평균 BMI(body mass index)는  $21.8 \pm 3.4 \text{kg/m}^2$ 이고 흡연자는 남자 3명이었다. EHS 군의 평균 연령은  $26.4 \pm 3.2$ 세 이고, 성비는 남자가 8명, 여자가 9명으로 구성되었다. 평균 BMI는  $21.3 \pm 2.3 \text{kg/m}^2$ 이고 흡연자는 남자 3명이었다. 2006년 남기창 등은 CDMA 휴대폰 전자파 노출이 일반인 청소년의 자율신경에 영향을 미침을 확인하였다. 본 연구는 휴대폰 전자파 인체영향이 아닌 EHS의 원인을 밝히는 것이 주목적이므로 휴대폰 전자파로 인하여 자율신경계 영향을 받는 청소년은 실험에서 제외하고 20~30대의 성인을 대상으로 하였다.

성별, 연령, 비만 등이 HRV에 영향을 미치므로 성비, 나이, BMI, 흡연자 비율, 하루 평균 사용시간 (minutes/day), 총 사용기간 (years) 을 각 군 간 통계적으로 유의한 차이가 없도록 구성하였다. 표 1은 각 군 자원자 정보와 통계검정 결과

이다. 통계 분석은 독립검정 t-test와 범주형 자료 분석 방법인 chi-square test를 사용하였다. 실험 24시간 전부터 알코올, 약, 흡연, 카페인, 장시간 휴대폰통화(30분 이상)를 금하였다. 본 연구는 임상연구로 세브란스병원 임상연구심의위원회의 승인(과제번호:4-2006-0301)을 받았으며, 자원자들에게 서면동의서를 받아 연구를 진행하였다.

표 1 EHS 및 일반인 자원자 정보 및 통계분석 결과

	EHS	일반인	p-value
N	18	19	
남 : 여	8:10	10:9	0.746
나이(years)	26.1±3.2	25.0±2.3	0.272
신장(cm)	168.4±7.1	169.1±8.3	0.797
체중(kg)	60.3±10.4	62.8±13.3	0.529
BMI	21.1±2.3	21.8±3.4	0.491
우세손(좌:우)	2:16	0:19	0.216
비흡연:흡연	16:2	16:3	1.000
평균사용시간 (minutes/day)	37.4±34.1	47.9±33.5	0.351
총 사용기간(years)	7.0±1.9	6.6±2.0	0.731

### 2.3.2 실험실 배경 전자파와 온도 및 습도

실험실의 배경 전자파를 최소화하기 위하여 실험용 노트북과 휴대폰, 측정장비만을 실험실에 위치시켰다. 60Hz를 포함한 ELF(extremely low frequency)전기장은 Holady사의 Hi-3604를 이용하여 측정하였고, ELF 대역의 자기장 세기는 Enertech사의 Emdex LITE를 이용하여 측정하였다. 그리고Narda사의 SRM3000을 이용하여 SKT, KTF, LGT 각 이동 통신사별 주파수 대역에서 전

기장을 측정하였다. 측정위치는 실제 실험 시 휴대폰과 두부중심의 위치를 고려하여 전자파 측정프로브 중심으로부터 10cm 떨어진 위치에 휴대폰을 위치시키고 측정하였다. 표 3과 4는 각각 실험실의 background ELF 전자기장 세기와 RF (radio frequency) 전기장 세기의 측정 결과이다. 측정 결과는 3회 측정 후 평균을 취한 값이다.

표 2 ELF 전자기장 세기

ELF 전자기장 (EMDEX-Lite, HI-3604)	
자기장	0.0±0.1 mG
전기장	2.3±0.1 V/m

표 3 이동통신 3사 주파수 대역별 전기장 세기

RF 전기장(NARDA SRM 3000)			
통신사	Test mode/OFF	전기장(V/m)	주파수영역(MHz)
SKT (실험용 휴대폰)	Test mode	9.1±0.2	824 ~ 849
	Off	0.7±0.0	
KTF	Off	0.8±0.1	1750 ~ 1770
LG	Off	0.5±0.0	1770 ~ 1780

실험실의 온도 및 습도가 피험자의 피부저항에 영향을 줄 수 있으므로 실험실의 온도와 습도를 쾌적한 상태로 유지하였다. 표 2는 실제와 가상노출시의 실험실의 평균 온도와 습도이며 paired t-test를 이용하여 검정한 결과 차이가 없었다.

표 4 실험실 온도 및 습도

	Aveage	Real session	Sham session	p-value
온도(℃)	22.5±1.1	22.6±1.1	22.4±1.1	0.336
습도(%)	56.1±4.4	55.7±4.8	56.4±4.0	0.329

### 2.3.3 전자파 노출 방법

CDMA 휴대폰 (SCH-V300S, Samsung electronics, Korea)을 사용하여 휴대폰 전자파를 피험자에게 노출하였다. 사용된 휴대폰의 주파수 대역은 824.64 - 848.37 MHz이고 휴대폰 model의 표방 SAR치는 1.22 W/kg이다. 휴대폰이 작동되는 동안 휴대폰의 송신 출력은 최대인 모드로 하여 300 mW가 되도록 조정하였다[3]. 휴대폰 사용 시와 같은 위치에 휴대폰을 위치시키기 위하여 그림8과 같이 헤드셋을 이용하여 휴대폰 고정장치를 제작하였다. 휴대폰 동작시 온도상승 감지를 방지하기 위해 휴대폰이 얼굴에 닿는 부위는 플라스틱 단열재로 단열처리하고 휴대폰 배터리 부위는 개방하여 발열과 온도상승 감지를 최소화하였다. 휴대폰 통화는 통화로 인한 생리적 변화를 차단하기 위해 무통화로 실시하였다.



그림 8 휴대폰 을 헤드폰에 고정시킨 장면

### 2.3.4 실험과정

피험자를 지면으로부터 상체를 75° 정도 일으켜 편하게 앉은 자세에서 실험 전 20분 동안 충분한 안정을 취한 후 실험을 시작하였다. 그림 9는 전체 센서들을 부착한 상태의 측정 모습이다. 피험자가 볼 수 없는 위치에서 ECG, PPG, 호흡수, 피부온도, 피부저항의 변화를 측정하였다.

실험의 전체 과정을 그림 10에 나타내었다. 실험은 가상과 실제노출 두 부분으로 나누어 하루에 한 부분씩 이틀에 걸쳐 진행이 되고, 24시간 주기의 생체리듬 변화를 고려하여 각 피험자에서 두 부분 모두 하루 중 같은 시간에 이루어졌다. 휴대폰의 동작 상태를 알 수 없도록 가상과 실제 노출의 single blind test로 하고 각 부분의 순서는 각 피 실험자 마다 무작위 배정하여 실험의 bias를 최소화하였다.

하나의 실험은 25분간의 resting, 30분간의 전자파 노출, 노출 종료후 15분간의 resting 총 1시간 10분으로 이루어진다. 전자파 노출 5분 30초전 5분간의 생체신호 측정과 30초간의 자각증상 조사가 수행되고 전자파 노출 15분후, 노출 30분후, 종료 10분후에 생체 신호 측정 및 자각증상 조사가 수행된다.

전자파 노출 및 비노출 시 인지여부는 전자파 노출 5분 전부터 노출 종료 10분 후까지 5분 간격으로 이루어 졌다. 실제 노출 실험에서는 노출 시 5회, 비노출 시 4회의 질문을 하였으며, 가상 노출 실험에서는 비노출 시 9회의 질문을 하였다.

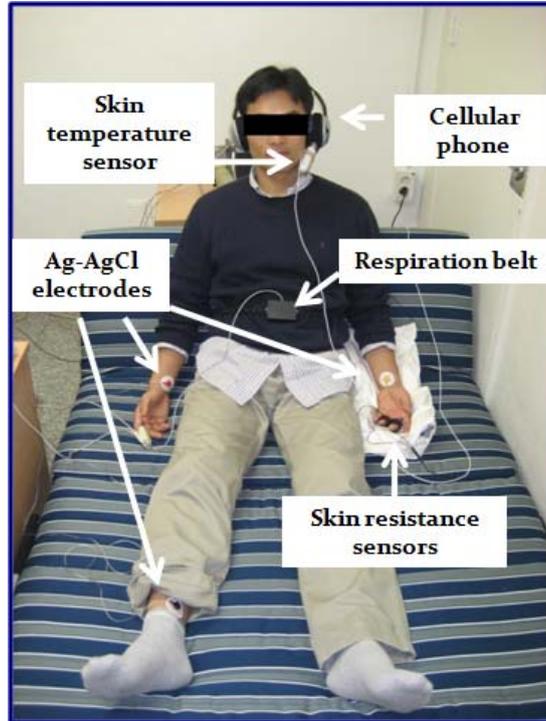


그림 9 전체 측정 장면

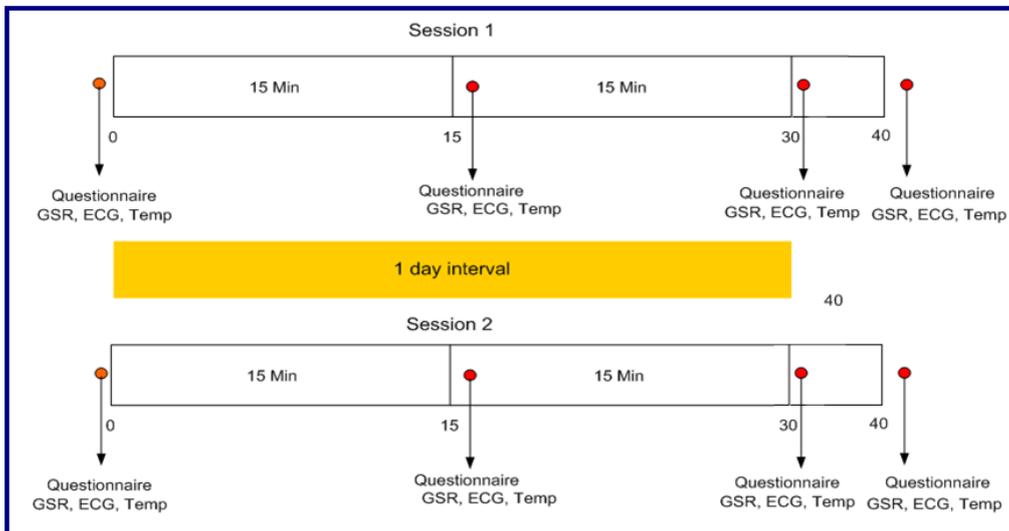


그림 10 전체 실험 과정

### 2.3.5 분석 방법 및 통계처리

피부 저항 및 심박변이도는 다른 신호들에 비하여 개인 간 편차가 큰 신호이다. 따라서 데이터를 정규화하여 상대적인 변화도 분석하였다. 각 개인의 가상 노출과 실제 노출 단계에서 최초 휴식 후 측정값을 100%로 하여 이후 측정값을 상대적인 비율로 환산하여 분석하였다.

측정 결과는 EHS 군과 일반인 군에 있어서 CDMA 휴대폰 전자파 노출 여부(가상과 실제 노출) 및 노출 시간에 따른 맥박수, 호흡수, 피부 저항, HRV의 변화를 2-way repeated measure ANOVA test를 이용하여 분석하였고, 각 노출 단계에서 노출여부에 따른 차이를 분석하기 위해 paired t-test를 사용하였다. 노출에 따른 자각증상은 순위형 자료이므로 비모수 통계분석 방법인 Wilcoxon signed-rank test를 사용하여 분석하였다. 전자파 인지여부는 각 군의 전자파 노출 시와 비노출 시의 인지 정확도를 t-test를 이용하여 분석하였다. 통계 분석은 SPSS 10(SPSS Inc, USA)을 사용하였으며,  $p=0.05$ (pvalue) 유의수준으로 검정하였다.

## 제 3 장 결과 및 고찰

### 3.1 피부온도

가상 및 실제 전자파 노출 시 얼굴 피부온도 측정결과는 그림 11과 같다. rest는 resting 후 노출 직전을 나타내고 15 min은 노출 15분 후 30 min은 노출 30분 후, finish는 노출 종료 10분후를 나타낸다. 각 군에서 노출 시작 후 증가 피부온도가 증가 하였으나 통계적으로 유의하지 않았다 (표 5). 그리고 피부온도 측정 센서의 정확도(0.2℃)를 고려할 때 휴대폰 고정장치의 단열재가 휴대폰 동작 시 발열을 충분히 차단한 것으로 볼 수 있다. 따라서 휴대폰 발열로 인한 동작여부인지의 가능성을 배제하고 생리학적 측정 변수와 자각증상 전자파 노출 인지여부를 분석할 수 있다.

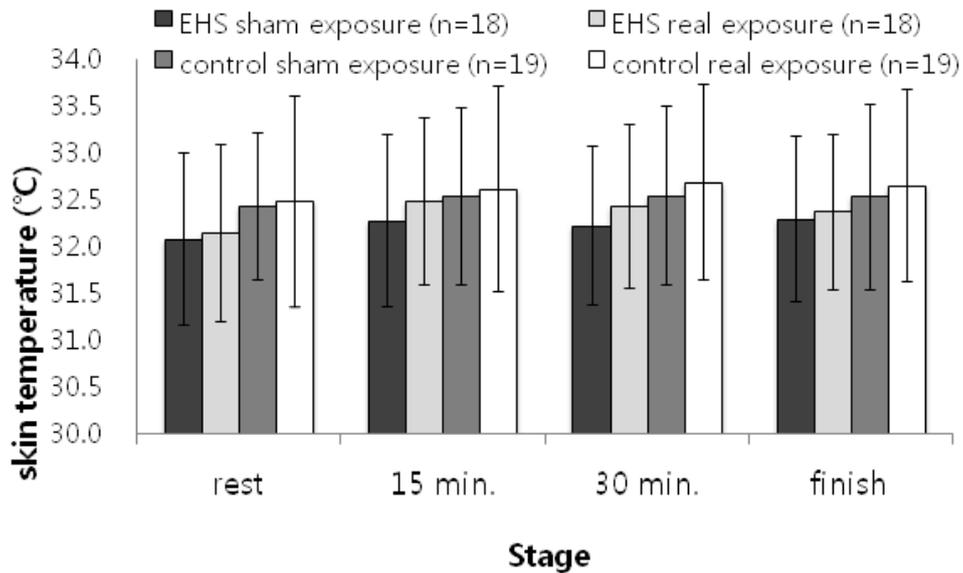


그림 11 전자파 가상 및 실제 노출 시 피부온도 측정 결과

표 5 피부온도 통계분석 결과

Group	검정변수	p-value
EHS	노출여부	0.304
	노출시간	0.055
	노출시간*노출여부	0.475
Control	노출여부	0.587
	노출시간	0.085
	노출시간*노출여부	0.698

### 3.2 피부저항

자각증상 및 전자파 인지에 대한 질문이 있을 때와 없을 때 피부저항의 변화는 차이를 보인다. 그림 12는 총 20분간의 피부저항 및 피부전도도 그래프이다. 충분한 안정을 취하면 피부저항은 0~10분까지의 안정적인 변화양상을 보여 땀 분비로 인한 교감신경의 변화를 관찰할 수 있다. 하지만 자각증상 조사를 위하여 대화시 대화를 시작하는 시간에 동기 되어 피부저항이 급격하게 감소하고 천천히 증가하였다. 이는 대화가 외부자극으로 작용하여 순간적으로 분비된 땀이 증발하는 과정으로 생각되어진다.

따라서 자각증상 및 전자파 인지에 대한 구두 조사가 있는 본 연구의 실험방법에서는 피부저항 평균값의 변화를 이용하여 교감신경의 변화를 볼 수 없어 본 연구에서는 피부저항을 제외하고 분석하였다.

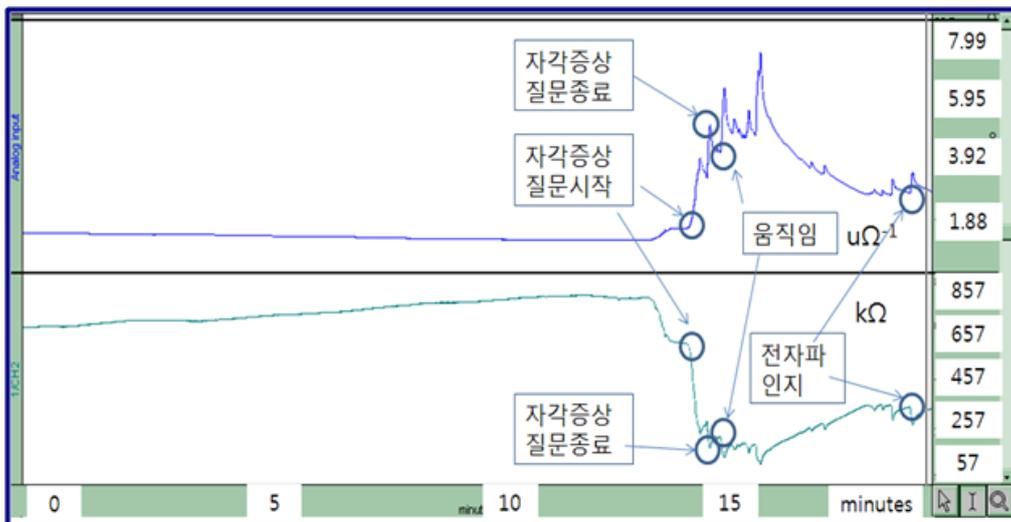


그림 12 자각증상 및 전자파 인지 조사로 인한 피부저항 변화

### 3.3 맥박수

그림 13에 전자파 노출여부와 노출시간에 따른 맥박수 측정 결과를 나타내었다. 통계분석 결과 EHS와 일반인 군 모두 전자파 노출여부와 노출시간 모두 통계적으로 유의하지 않았다 (표 6).

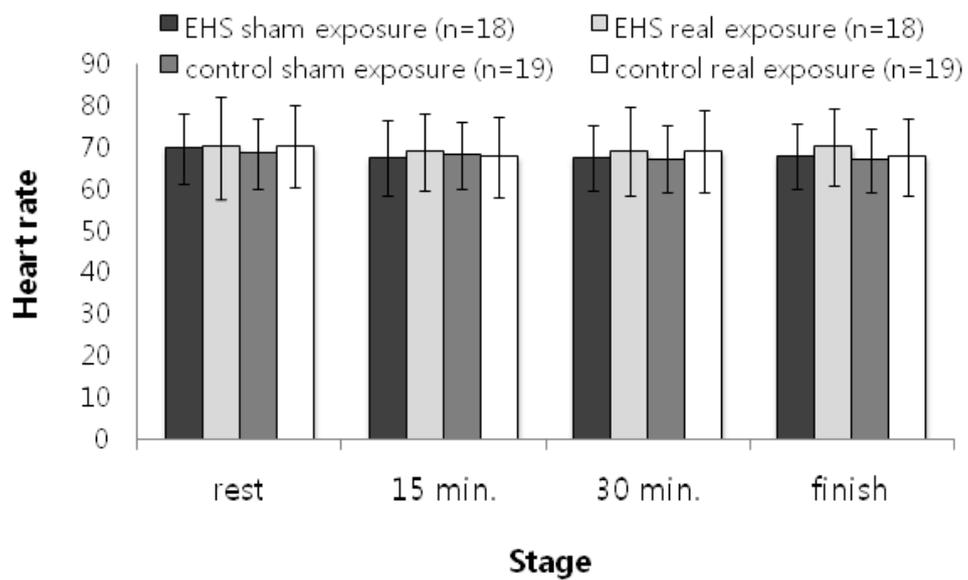


그림 13 전자파 가상 및 실제 노출 시 맥박수 변화

표 6 맥박수 통계분석 결과

Group	검정변수	p-value
EHS	노출여부	0.418
	노출시간	0.668
	노출시간*노출여부	0.573
Control	노출여부	0.395
	노출시간	0.101
	노출시간*노출여부	0.229

Braune 등은 성인에 대하여 900 MHz GSM 휴대폰 노출에 의한 혈압, 맥박수, 모세혈관 혈류를 측정된 결과, 실제 노출에 의한 맥박수 변화, 혈관 수축, 혈압 변화 등을 관찰하여 교감신경에 영향을 준다는 사실을 보고하였다[10]. 그러나 Braune 등은 40명의 젊은 여성과 남성을 대상으로 싱글블라인드 테스트로 이틀간에 걸쳐 가상과 실제 전자파 노출한 결과 혈압, 맥박, 말초 혈류량, 혈액내 노르에피네프린, 에피네프린 등 측정된 모든 변수가 전자파와 독립적이었다[9]. 또한, Tahvanainen 등도 900 MHz와 1,800 MHz GSM 휴대폰을 이용하여 성인 대상으로 35분간 노출시켰을 때 혈압이나 맥박수에 변함이 없다고 보고하였다[33]. Hietanen 등은 휴대폰 전자파 과민반응을 호소하는 성인을 대상으로 900 MHz NMT, 900 MHz GSM, 1800 MHz GSM 휴대폰 노출에 대한 혈압, 맥박수 변화를 연구한 결과 휴대폰 전자파와 인체반응이 관련이 없음을 보고하였다[41]. 하지만 이와 같은 국외 연구들은 GSM 휴대폰을 사용한 연구이고 본 연구는 CDMA 휴대폰을 이용한 연구이므로 연구 결과를 직접적으로 비교하기는 어렵다. 2006년 남기창 등은 CDMA 휴대폰을 이용하여 성인과 청소년을 대상으로 연구한 결과 본 연구와 같이 성인과 청소년 군 모두에서 맥박수에 변화가 없었다[33].

### 3.4 호흡

분당 호흡수 역시 분당 맥박수와 마찬가지로 일반인 군과 EHS 군 모두에서 전자파 노출여부 및 노출시간의 영향을 받지 않았다. 2006년 남기창 등은 CDMA 휴대폰을 이용하여 성인과 청소년을 대상으로 연구한 결과 본 연구와 같이 성인 군에서 호흡수에 변화가 없었다[33]. EHS 군과 일반인 군의 노출여부 및 시간에 따른 분당 호흡수 측정결과와 통계분석결과를 각 그림 14와 표 7에 나타내었다.

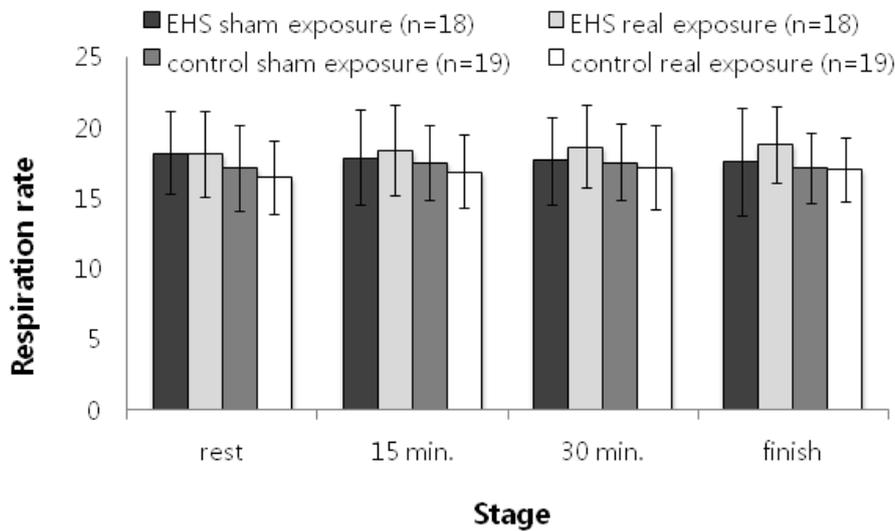


그림 14 전자파 가상 및 실제 노출 시 분당 호흡수 변화

표 7 호흡수 통계분석 결과

Group	검정변수	p-value
EHS	노출여부	0.111
	노출시간	0.984
	노출시간*노출여부	0.371
Control	노출여부	0.210
	노출시간	0.332
	노출시간*노출여부	0.765

## 3.5 HRV

### 3.5.1 LFP

그림15에 EHS 군의 전자파 노출여부에 따른 상대적인 LFP의 변화율을 나타내었다. 통계 분석 결과 시간에 따라서는 통계적으로 유의하게 변화하였으나 전자파 노출여부에 따라서는 차이가 없었으며 또한 전자파 노출여부와 시간의 교호작용 또한 없었다(표 8). 따라서 전자파 노출이 LFP에 영향을 주지 않는다고 볼 수 있다. 일반인 군 또한 노출시간에 의해서만 통계적으로 유의한 변화를 볼 수 있었다. (그림 16, 표 8). 그리고 각 노출 단계에서 노출여부에 따른 차이를 분석한 결과 두 군 모두 노출여부에 따른 유의미한 변화를 볼 수 없었다(표 9).

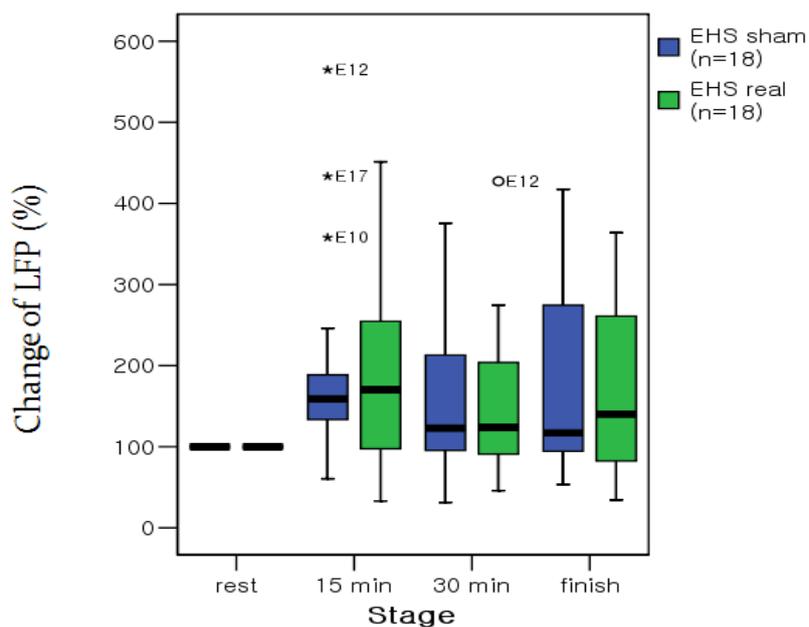


그림 15 EHS 군의 전자파 가상 및 실제 노출 시 HRV의 LFP 변화

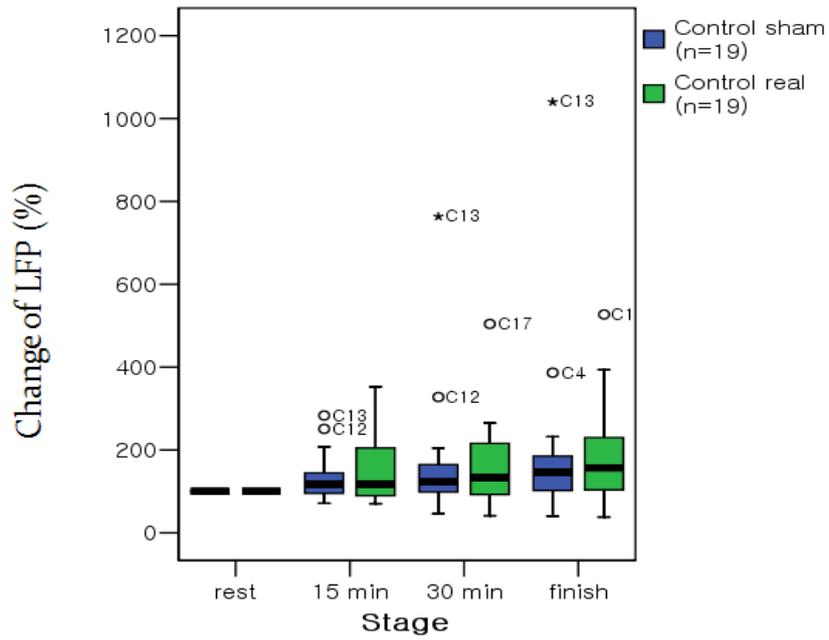


그림 16 일반인 군의 전자파 가상 및 실제 노출 시 HRV의 LFP 변화

표 8 LFP 통계분석 결과

Group	검정변수	p-value
EHS	노출여부	0.719
	노출시간	<0.001
	노출시간*노출여부	0.951
Control	노출여부	0.991
	노출시간	0.027
	노출시간*노출여부	0.629

표 9 LFP paired t-test 검정결과

Group	stage	노출여부		p-value
		sham (평균±표준편차, %)	real (평균±표준편차, %)	
EHS	rest	100	100	.
	15 min	197.7±135.2	195.0±130.4	0.849
	30 min	161.3±109.8	159.1±98.8	0.959
	finish	180.3±117.8	166.6±108.4	0.593
Contol	rest	100	100	.
	15 min	131.0±58.4	150.1±77.0	0.334
	30 min	167.5±156.3	161.7±106.4	0.878
	finish	195.7±217.8	183.5±121.7	0.830

### 3.5.2 HFP

EHS 군과 일반인 군 모두 전자파 노출 여부와 노출시간에 따른 통계적으로 유의미한 HFP의 변화를 볼 수 없었다(표 10).

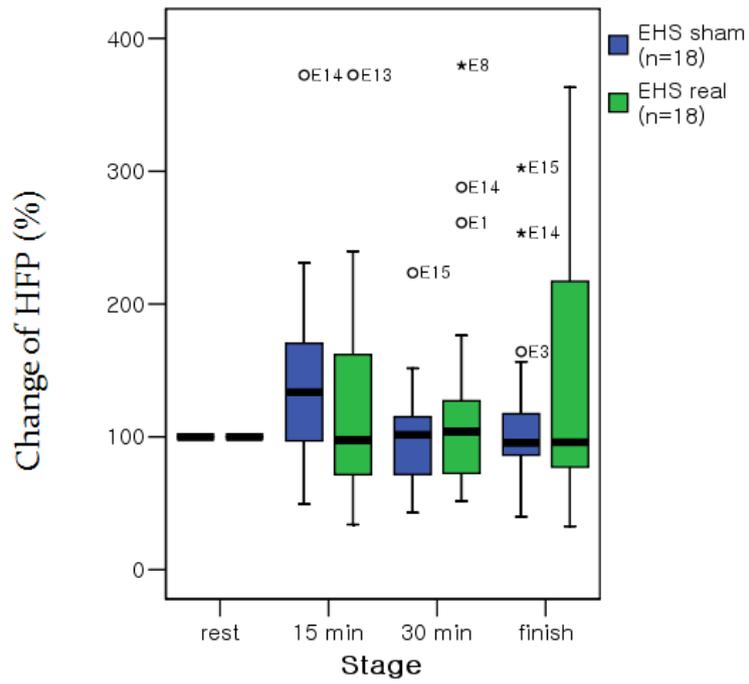


그림 17 EHS 군의 전자파 가상 및 실제 노출 시 HRV의 HFP 변화

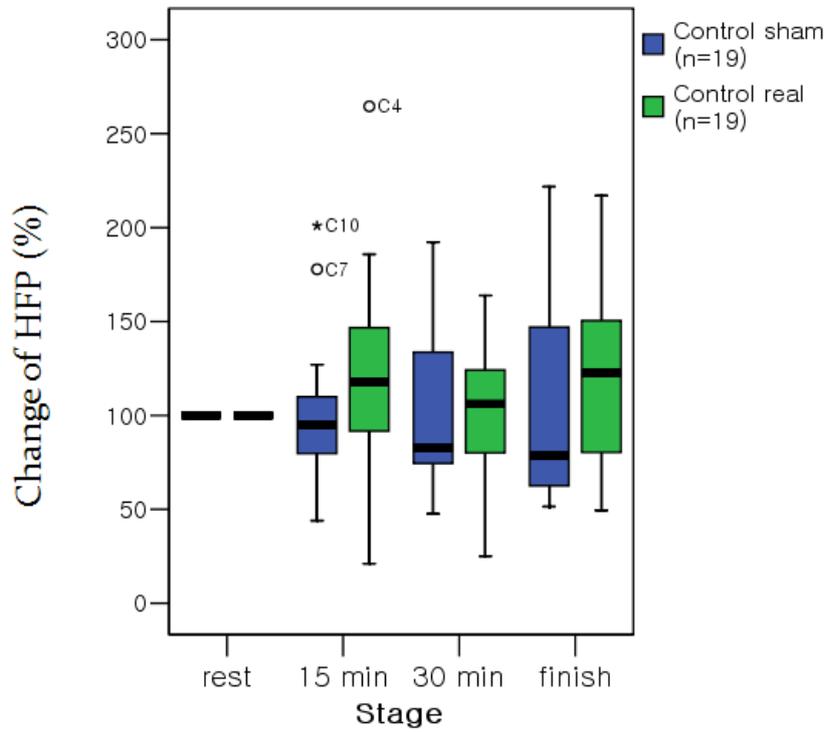


그림 18 일반인 군의 전자파 가상 및 실제 노출 시 HRV의 HFP 변화

표 10 HFP 통계분석 결과

Group	검정변수	p-value
EHS	노출여부	0.409
	노출시간	0.075
	노출시간*노출여부	0.194
Control	노출여부	0.249
	노출시간	0.259
	노출시간*노출여부	0.077

### 3.5.3 LFP/HFP

EHS 군의 LFP/HFP도 LFP와 마찬가지로 시간에 따라서는 통계적으로 유의하게 변화하였으나 전자파 노출여부에 따라서는 차이가 없었으며 또한 전자파 노출여부와 시간의 교호작용 또한 없었다(표 11). 일반인 군 또한 시간에 따라서는 통계적으로 유의하게 변화하였으나 전자파 노출여부에 따라서는 차이가 없었고, 전자파 노출여부와 시간의 교호작용 또한 없었다. 그리고 각 노출 단계에서 노출여부에 따른 차이를 분석한 결과 두 군 모두 노출여부에 따른 유의미한 변화를 볼 수 없었다(표 12).

표 11 LFP/HFP 통계분석 결과

Group	검정변수	p-value
EHS	노출여부	0.383
	노출시간	0.001
	노출시간*노출여부	0.246
Control	노출여부	0.658
	노출시간	0.019
	노출시간*노출여부	0.389

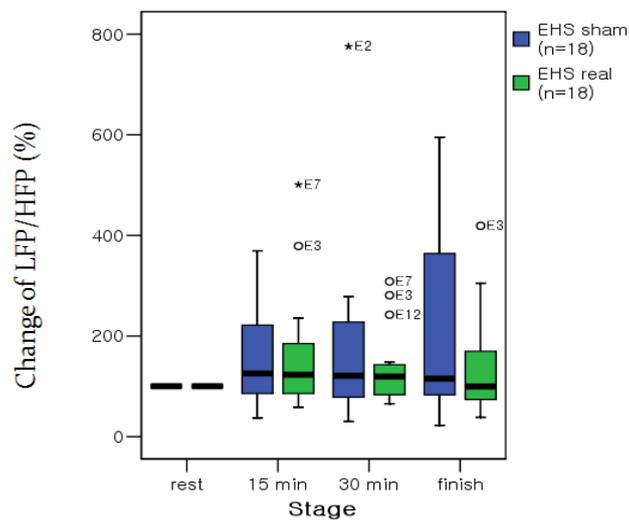


그림 19 EHS 군의 전자파 가상 및 실제 노출 시 HRV의 LFP/HFP 변화

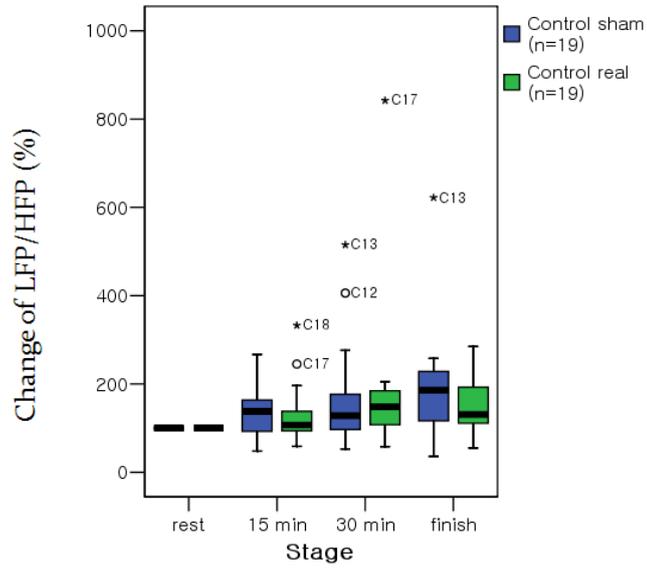


그림 20 일반인 군의 전자파 노출여부에 따른 HRV의 LFP/HFP 변화

표 12 LFP/HFP paired t-test 검정결과

Group	stage	노출여부		p-value
		sham (평균±표준편차, %)	real (평균±표준편차, %)	
EHS	rest	100	100	.
	15 min	154.0±96.7	165.0±118.3	0.842
	30 min	180.0±173.1	134.5±73.7	0.432
	finish	204.4±184.0	138.3±105.3	0.187
Contol	rest	100	100	.
	15 min	143.4±68.8	131.4±67.1	0.582
	30 min	165.1±117.4	176.6±167.3	0.808
	finish	187.7±123.7	148.5±64.1	0.267

Parazzini 등은 HRV를 이용하여 26명의 젊은 자원자들을 대상으로 900MHz(2W)GSM 휴대폰 전자파 노출이 미약하지만 자율신경계 변화를 가져올 수 있다고 하였다[35]. 그러나 2006년 남기창 등은 CDMA 휴대폰을 이용하여 성인과 청소년을 대상으로 연구한 결과 청소년 군에서는 전자파 노출이 땀 분비 증가를 일으켰으나 성인은 영향을 받지 않았다. 본 연구 결과도 2006년 남기창 등의 연구 결과와 같이 성인 EHS와 일반인 군 모두 전자파 노출의 영향을 받지 않았다[33].

EHS와 일반인 군에서 시간에 따른 LFP/HFP의 변화는 실험과정 수면 방해나 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[20]. 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 제한받게 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[43].

### 3.6 자각증상

표 13에 EHS 군의 전자파 노출로 인한 자각증상 결과를 나타내었다. 전자파 노출여부에 따라 각 증상을 분석한 결과 어떠한 자각증상도 통계적으로 유의하지 않았다. 일반인 군 또한 전자파 노출여부에 따라 자각증상의 차이가 없었다(표 14). Koivisto 등은 900 MHz GSM 휴대폰 노출에 대하여 사용자들이 호소하는 자각증상이 본 연구와 같이 실제 노출 여부와 관계가 없음을 밝혔다[23]. 그리고 Hietanen 등은 휴대폰 전자파 과민반응을 호소하는 성인을 대상으로 900 MHz NMT, 900 MHz GSM, 1800 MHz GSM 휴대폰 노출로 인한 자각 증상을 연구한 결과 휴대폰 전자파와 인체반응 및 자각증상이 관련이 없음을 보고하였다 [18].

표 13 EHS 군 전자파 노출로 인한 자각증상 분석결과

자각증상	노출시간	가상노출	실제노출	P-value
홍조	resting	1(0)	1(0)	1.000
	15	1(0)	1(0)	0.317
	30	1(0)	1(0)	0.317
	종료 10	1(0)	1(0)	0.317
가려움	resting	1(0)	1(0)	1.000
	15	1(0)	1(0)	0.317
	30	1(0)	1(0)	0.564
	종료 10	1(0)	1(1)	0.059
발열감	resting	1(0)	1(0)	0.083
	15	1(1)	1(1)	0.083
	30	1(0)	1(0)	0.655
	종료 10	1(1)	1(0)	1.000
피로	resting	2(1)	1(1)	0.132
	15	2(0)	2(1)	0.273
	30	2(1)	2(1)	0.763
	종료 10	2(1)	1(1)	0.218

자각증상	노출시간	가상노출	실제노출	P-value
두통	resting	1 (0)	1 (0)	0.157
	15	1 (1)	1 (1)	1.000
	30	1 (1)	1 (1)	0.366
	종료 10	1 (1)	1 (0)	0.180
어지러움	resting	1 (0)	1 (0)	0.564
	15	1 (1)	1 (0)	0.180
	30	1 (0)	1 (0)	0.739
	종료 10	1 (1)	1 (0)	0.206
메스꺼움	resting	1 (0)	1 (0)	0.157
	15	1 (0)	1 (0)	0.317
	30	1 (0)	1 (0)	0.564
	종료 10	1 (0)	1 (0)	0.564
가슴두근거림	resting	1 (0)	1 (0)	0.157
	15	1 (0)	1 (0)	0.739
	30	1 (0)	1 (0)	0.589
	종료 10	1 (0)	1 (0)	1.000
소화불량	resting	1 (0)	1 (0)	0.317
	15	1 (0)	1 (0)	0.564
	30	1 (0)	1 (0)	0.317
	종료 10	1 (0)	1 (0)	0.157

median(quartile)

표 14 일반인 군 전자파 노출로 인한 자각증상 분석결과

자각증상	노출시간	가상노출	실제노출	P-value
홍조	resting	1 (0)	1 (0)	0.317
	15	1 (0)	1 (0)	0.317
	30	1 (0)	1 (0)	0.317
	종료 10	1 (0)	1 (0)	0.317
가려움	resting	1 (0)	1 (0)	0.317
	15	1 (0)	1 (0)	0.317
	30	1 (0)	1 (0)	0.317
	종료 10	1 (0)	1 (0)	0.157
발열감	resting	1 (0)	1 (0)	1.000
	15	1 (0)	1 (1)	1.000
	30	1 (0)	1 (1)	0.056
	종료 10	1 (0)	1 (0)	0.157
피로	resting	1 (1)	1 (0)	0.317
	15	1 (1)	2 (1)	0.100
	30	1 (1)	2 (1)	0.257
	종료 10	1 (1)	1 (1)	0.705
두통	resting	1 (0)	1 (0)	1.000
	15	1 (0)	1 (0)	1.000
	30	1 (0)	1 (0)	0.317
	종료 10	1 (0)	1 (0)	0.317
어지러움	resting	1 (0)	1 (0)	0.317
	15	1 (0)	1 (0)	0.317
	30	1 (0)	1 (0)	0.564
	종료 10	1 (0)	1 (0)	1.000
메스꺼움	resting	1 (0)	1 (0)	1.000
	15	1 (0)	1 (0)	0.317
	30	1 (0)	1 (0)	0.317
	종료 10	1 (0)	1 (0)	1.000
가슴두근거림	resting	1 (0)	1 (0)	0.317
	15	1 (0)	1 (0)	0.317
	30	1 (0)	1 (0)	0.317
	종료 10	1 (0)	1 (0)	1.000

자각증상	노출시간	가상노출	실제노출	P-value
소화불량	resting	1 (0)	1 (0)	0.317
	15	1 (0)	1 (0)	0.317
	30	1 (0)	1 (0)	0.317
	종료 10	1 (0)	1 (0)	1.000

median (quartile)

### 3.7 전자파 노출 인지 여부

“전자파가 느껴지십니까?” 라는 질문에 대하여 전자파 노출과 비노출 시의 전자파 인지 정확도를 구하였다. 전자파가 노출 시 5회의 질문과 전자파 비노출 시 13회의 질문에 대한 전자파 인지 정확도를 분석하였다. EHS 군의 전자파 노출 시 인지 정확도와 비노출 시 인지 정확도는 각각  $48.6 \pm 35.0\%$ ,  $69.8 \pm 29.6\%$ 로 나타났다. 일반인 군의 전자파 노출 시 인지 정확도와 비노출 시 인지 정확도는 각각  $3.0 \pm 9.8\%$ ,  $95.4 \pm 10.4\%$ 로 나타났다. 통계분석결과 노출과 비노출의 정답률 모두 통계적으로 유의하였다(표 15).

표 15 전자파에 대한 EHS군과 일반인 군의 전자파 노출 및 비노출 시 인지 정확도

	real exposure(%, 5)	sham exposure(%, 13)
EHS(18)	$44.7 \pm 35.0^{**}$	$72.4 \pm 24.2^{**}$
일반인(19)	$4.8 \pm 12.1$	$91.6 \pm 18.9$

\*\*p<0.01

EHS 군이 일반인 군보다 전자파를 더 잘 인지한다고 말하기 위해서는 전자파 노출 시 인지 정확도와 비노출 시 인지 정확도 모두 높아야 한다. EHS의 전자파 노출시 인지정확도는 일반인에 비해 45.6% 높지만 비노출 정답률은 25.6% 낮다. 이러한 원인은 일반인의 경우 전자파를 느끼지 못한다고 생각하기 때문에 거의 대부분의 “전자파를 느끼십니까” 라는 질문에 “아니요” 라고 대답한 결과이다. 이에 비하여 EHS 군의 경우 일반인과는 다르게 자신이 전자파를 느낀다고 생각하기 때문에 전자파 노출 시 높은 인지 정확도를 보인 것으로 보인다. 하지만 전자파 비노출 시 인지 정확도는 일반인 군에 비하여 25.6% 낮기 때문에 EHS 군이 일반인에 비해 전자파를 더 잘 인지한다고 볼 수는 없다. Leitgeb 등은 성인

708명을 대상으로 한 전자파 인지연구[26]에서 EHS 군이 일반인 보다 전자파를 더 잘 인지 한다고 볼 수 없다고 하였고, 본 연구에서도 EHS 군이 전자파를 인지 한다고 볼 수 없었다.

표16에 각 실험군의 전자파 노출 시 및 비노출 시 인지 정확도 예를 나타내었다. EHS 1, 14 피험자의 경우 EHS의 대표적인 경우로 자신이 전자파를 인지한다고 생각하여 전자파 노출 시 인지 정확도가 높게 나왔지만 상대적으로 낮은 비노출 시 인지 정확도를 볼 수 있다. EHS 2 피험자는 일반인의 대표적인 경우와 갖게 나와 EHS 군에서도 전자파를 느끼지 못한다고 생각하는 피험자가 있음을 확인할 수 있다. EHS 3, 16 피험자는 전자파에 대한 노출 및 비노출 시 인지 정확도가 모두 높게 나와 전자파를 인지할 가능성을 보여줬다. 하지만 일회의 실험으로 전자파 인지여부를 결정하기는 어려울 것으로 사료되며 추후 반복적인 실험을 통하여 전자파 인지여부를 결정하여야 할 것이다.

표 16 EHS군과 일반인의 전자파 인지 정확도 예

피험자	전자파 노출 시(% , 5)	전자파 비노출 시(% , 13)
EHS 1	80.0	23.1
EHS 2	0.0	100.0
EHS 3	40.0	92.3
EHS 14	100.0	38.5
EHS 16	60.0	92.3
control 1	0.0	100.0
control 8	40.0	69.2

## 제 4 장 결 론

CDMA 휴대폰 노출에 의한 맥박수와 호흡수는 노출여부 및 노출 시간에 따라 유의한 차이를 보이지 않았다. EHS 및 일반인 군 모두에서 HRV의 경우 LF와 LF/HF에서 노출시간에 따라서는 유의한 증가를 보였으나 노출여부에 따라서는 유의한 결과를 보이지 않았다. 전자파 노출로 인한 자각증상 역시 가상노출과 실제노출 시를 비교한 결과 두통, 발열감, 어지러움 등을 포함하는 조사된 모든 자각증상에서 유의한 결과를 보이지 않았다. 전자파 인지에 대한 조사결과 EHS 군과 일반인 군을 비교할 때 EHS 군이 일반인 군보다 더 높은 전자파 인지도를 보여주지 못하였다.

기존의 GSM 휴대폰에 의한 인체 영향 및 EHS 연구는 실험 방법과 그 조건에 따라 그 결과가 다양하다. 뿐만 아니라 국외의 연구결과는 GSM 휴대폰을 사용하여 EHS 군만을 대상으로 하였기 때문에, CDMA 휴대폰을 이용하여 일반인과 EHS 군의 실험-대조군연구로 생체신호, 자각증상 및 전자파 인지여부를 조사한 본 연구와 직접적으로 비교하기는 어렵다. 그러나 남기창 등[33]의 연구결과와 같이 일반인 성인 군에서는 전자파 노출로 인한 자율신경계 변화가 발견되지 않아 CDMA 휴대폰의 전자파가 성인의 자율신경계에 영향을 미치지 않음을 확인할 수 있었다. 그리고 EHS 군 또한 전자파 노출로 인하여 자율신경계의 영향을 받지 않고 휴대폰 사용시의 두통, 어지러움 등의 자각증상의 원인이 전자파 노출이 아님을 확인할 수 있었다. 또한 EHS 임을 주장하는 사람들의 전자파 인지 정도도 일반인과 크게 다르지 않음을 확인할 수 있었다. 그 결과, 최근 논란이 되고 있는 CDMA 휴대폰 사용에 의한 EHS의 원인이 휴대폰 전자파 노출이 아닌 심리적인 요인에 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서는 HRV의 LF와 HF가 노출여부에 따라서는 차이가 없었으나 시간에 따라서 변화하는 결과를 보였다. 따라서 향후 연구에서는 HRV의 시간에 따른 변화를 효과적으로 통제할 수 있는 연구방법이 필요할 것이다. 또한 전자파 인지

여부에 대하여 반복적인 연구를 수행할 필요가 있으며, 30분 이상의 장시간의 노출 및 다양한 조건에서 기억 및 인지 호르몬 변화, 수면장애 등의 연구가 필요할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김재성, 유창용, 김수찬, 오학태, 육재림, 김덕원. 2003. 휴대폰 전자파가 인체의 시각자극반응에 미치는 영향. 전자파학회 논문지 14(6):606-615.
- [2] 박현주. 모바일 인터넷 시장 동향. 정보통신정책 19(7):22-25.
- [3] 삼성 애니콜 IMT 2000 SCH-V300/SCH-V300S 사용자 설명서
- [4] Achten J, Jeukendrup AE. 2003. Heart rate monitoring: applications and limitations. Sports Med 33(7):517-38.
- [5] Akay M. 2006. Wiley Encyclopedia of Biomedical Engineering. Dorda JR, Gonzalez JR, Gonzalez FM, Frutos AG (eds.). Hoboken, New jersey: John Wiley & Sons.
- [6] Akselrod S, Gordon D, Ubel FA, Shannon DC, Berger AC, Cohen RJ. 1981. Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. Science 213(4504):220-2.
- [7] Aringer L, Cunningham J, Gobba F, Leitgeb N, Miro L, Neubauer G, Ruppe I, Vecchia P, Wadman C. 1997. 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 Halsa 1997:19.
- [8] Bernardi L, Wdowczyk-Szulc J, Valenti C, Castoldi S, Passino C, Spadacini G, Sleight P. 2000. Effects of controlled breathing, mental activity and mental stress with or without verbalization on heart rate variability. J. Am. Coll. Cardiol. 35(6):1462-9.
- [9] Braune S, Riedel A, Schulte-Monting J, Raczek J. 2002. Influence of a radiofrequency electromagnetic field on cardiovascular and hormonal parameters of the autonomic nervous system in healthy individuals. Radiat. Res. 158(3):352-6.

- [10] Braune S, Wrocklage C, Raczek J, Gailus T, Lucking CH. 1998. Resting blood pressure increase during exposure to a radio-frequency electromagnetic field. *Lancet* 351(9119):1857-8.
- [11] Carvalho JLA, Rocha AFA, Junqueira LF, Neto JS, Santos I, Nascimento FAO. A Tool for Time-Frequency Analysis of Heart Rate Variability; 2003; Cancun, Mexico. p 17-21.
- [12] Kopp MS. 1984. Electrodermal characteristics in psychosomatic patient groups. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology* 2(2):73-85.
- [13] Edelstyn N, Oldershaw A. 2002. The acute effects of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention. *Neuroreport* 13(1):119-21.
- [14] Eltiti S, Wallace D, Zougkou K, Russo R, Joseph S, Rasor P, Fox E. 2007. Development and evaluation of the electromagnetic hypersensitivity questionnaire. *Bioelectromagnetics* 28(2):137-51.
- [15] Freude G, Ullsperger P, Eggert S, Ruppe I. 1998. Effects of microwaves emitted by cellular phones on human slow brain potentials. *Bioelectromagnetics* 19(6):384-7.
- [16] Frey AH. 1998. Headaches from cellular telephones: are they real and what are the implications? *Environ. Health Perspect.* 106(3):101-3.
- [17] Gutrecht JA. 1994. Sympathetic skin response. *Journal of clinical neurophysiology : official publication of the American Electroencephalographic Society* 11(5):519-24.
- [18] Hietanen M, Hamalainen AM, Husman T. 2002. Hypersensitivity symptoms associated with exposure to cellular telephones: no causal link. *Bioelectromagnetics* 23(4):264-70.

- [19] Hillert L, Berglind N, Arnetz BB, Bellander T. 2002. Prevalence of self-reported hypersensitivity to electric or magnetic fields in a population-based questionnaire survey. *Scandinavian journal of work, environment & health* 28(1):33-41.
- [20] 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.
- [21] Hocking B. 1998. Preliminary report: symptoms associated with mobile phone use. *Occupational medicine (Oxford, England)* 48(6):357-60.
- [22] Kim SC, Nam KC, Kim DW. 2006. Estimation of relative exposure levels for cellular phone users using a neural network. *Bioelectromagnetics* 27(6):440-4.
- [23] Koivisto M, Haarala C, Krause CM, Revonsuo A, Laine M, Hamalainen H. 2001. GSM phone signal does not produce subjective symptoms. *Bioelectromagnetics* 22(3):212-5.
- [24] Kuch B, Hense HW, Sinnreich R, Kark JD, von Eckardstein A, Sapoznikov D, Bolte HD. 2001. Determinants of short-period heart rate variability in the general population. *Cardiology* 95(3):131-8.
- [25] Laxtha PolyG System USER MANUAL.
- [26] Leitgeb N, Schrottner J. 2003. Electrosensitivity and electromagnetic hypersensitivity. *Bioelectromagnetics* 24(6):387-94.
- [27] Levy MN, Martin PJ, Iano T. 1970. Effects of single vagal stimuli on heart rate and atrioventricular conduction. *Am. J. Physiol.* 218:1256-62.
- [28] Levallois P, Neutra R, Lee G, Hristova L. 2002. Study of self-reported hypersensitivity to electromagnetic fields in

- California. *Environ. Health Perspect.* 110 Suppl 4:619–23.
- [29] Lin H, Opler M, Head M, Blank M, Goodman R. 1997. Electromagnetic field exposure induces rapid, transitory heat shock factor activation in human cells. *J. Cell. Biochem.* 66(4):482–8.
- [30] Lyskov E, Sandstrom M, Mild KH. 2001. Provocation study of persons with perceived electrical hypersensitivity and controls using magnetic field exposure and recording of electrophysiological characteristics. *Bioelectromagnetics* 22(7):457–62.
- [31] Malik M, Camm AJ. 1995. *Heart Rate Variability*. Armonk, NY: Futura Publishing company.
- [32] Migliaro ER, Contreras P, Bech S, Etxagibel A, Castro M, Ricca R, Vicente K. 2001. Relative influence of age, resting heart rate and sedentary life style in short-term analysis of heart rate variability. *Braz. J. Med. Biol. Res.* 34(4):493–500.
- [33] Nam KC, Kim SW, Kim SC, Kim DW. 2006. Effects of RF exposure of teenagers and adults by CDMA cellular phones. *Bioelectromagnetics* 27(7):509–14.
- [34] Oftedal G, Wilen J, Sandstrom M, Mild KH. 2000. Symptoms experienced in connection with mobile phone use. *Occupational medicine (Oxford, England)* 50(4):237–45.
- [35] Parazzini M, Ravazzani P, Tognola G, Thuroczy G, Molnar FB, Sacchettini A, Ardesi G, Mainardi LT. 2007. Electromagnetic fields produced by GSM cellular phones and heart rate variability. *Bioelectromagnetics* 28(2):122–9.
- [36] Pomeranz B, Macaulay RJ, Caudill MA, Kutz I, Adam D, Gordon D, Kilborn KM, Barger AC, Shannon DC, Cohen RJ and others. 1985. Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis. *Am. J. Physiol.* 248(1 Pt 2):H151–3.

- [37] Preece AW, Iwi G, Davies-Smith A, Wesnes K, Butler S, Lim E, Varey A. 1999. Effect of a 915-MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man. *Int. J. Radiat. Biol.* 75(4):447-56.
- [38] Raczek J, Runow K, Oetzel H, Gailus T, Herget I. 2000. Investigations of electrosensitivity to a GSM signal at 900MHz for a self-reported electrosensitive target group. *The Bioelectromagnetics Society 22nd Annual Meeting*:269-70.
- [39] Roosli M, Moser M, Baldinini Y, Meier M, Braun-Fahrlander C. 2004. Symptoms of ill health ascribed to electromagnetic field exposure--a questionnaire survey. *Int J Hyg Environ Health* 207(2):141-50.
- [40] Rubin GJ, Das Munshi J, Wessely S. 2005. Electromagnetic hypersensitivity: a systematic review of provocation studies. *Psychosom Med* 67(2):224-32.
- [41] Tahvanainen K, Nino J, Halonen P, Kuusela T, Laitinen T, Lansimies E, Hartikainen J, Hietanen M, Lindholm H. 2004. Cellular phone use does not acutely affect blood pressure or heart rate of humans. *Bioelectromagnetics* 25(2):73-83.
- [42] Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. 1996. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Eur. Heart J.* 17(3):354-81.
- [43] Zhong X, Hilton HJ, Gates GJ, Jelic S, Stern Y, Bartels MN, Demeersman RE, Basner RC. 2005. Increased sympathetic and decreased parasympathetic cardiovascular modulation in normal humans with acute sleep deprivation. *J Appl Physiol* 98(6):2024-32.
- [44] 박성빈. 2005. 선형 모델링에 의한 수면 무호흡 환자의 자율신경 제어 평

가에 관한 연구. 원주: 연세대학교. pp. 5-6.

## ABSTRACT

### Electromagnetic hypersensitivity to RF radiation by a cellular phone

Hong, Hyun Ki  
Graduate Program in  
Biomedical Engineering  
The Graduate School  
Yonsei University

Due to the fast increase in cellular phone users, public interest on health effect of electromagnetic fields (EMFs) by cell phones is gradually increasing. Some EHS (electromagnetic hypersensitivity) patients complain of psycho-neurophysiological symptoms such as headaches, insomnia, memory loss and EEG abnormalities resulting from RF radiation by CDMA cellular phones. However, EHS is difficult to diagnose and depends on the individual's subjective judgment. 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 about 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, The EMFs 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.

---

Key words : Electromagnetic hypersensitivity, CDMA cellular phone,  
Heart rate variability, Heart rate, Respiration rate