Journal of Biomedical Engineering Research 33: 59-64 (2012)

학 술 논 문

WCDMA 휴대전화 전자파에 의한 심호흡계 영향

권민경[1,2] · 최재림[1,3] · 최준열[1,2] · 장경환[1,3] · 김성권[1,3] · 김덕원[1,2,3]

[1]연세대학교 의과대학 의학공학교실, [2]연세대학교 의과대학 의과학과, [3]연세대학교 생체공학협동과정

Cardio-Pulmonary Effects of RF Fields Emitted from WCDMA Mobile Phones

M. K. Kwon[1,2], J. L. Choi[1,3], J. Y. Choi[1,2], K. H. Jang[1,3], S. K. Kim[1,3] and D. W. Kim[1,2,3]

[1]Department of Medical Engineering, Yonsei University College of Medicine
[2]Brain Korea 21 Project for Medical Science, Yonsei University
[3]Graduate Program in Biomedical Engineering, Yonsei University, Seoul, Korea
(Received January 25, 2012. Accepted April 13, 2012)

Abstract: With rapid increasing usage of smart phones, social concerns have arisen about the possible effects of electromagnetic fields emitted from wideband code division multiple access(WCDMA) mobile phones on human health. The number of people with self-reported electromagnetic hypersensitivity(EHS) who complain of various subjective symptoms such as headache, insomnia etc. has also recently increased. However, it is unclear whether EHS results from physiological or other origins. In this double-blinded study, we investigated physiological changes such as heart rate, respiration rate, and heart rate variability with real and sham exposures for 15 EHS and 17 non-EHS persons using a module inside a dummy phone. Experiment was conducted using a WCDMA module with average power of 24 dBm at 1950 MHz with the specific absorption rate of 1.57 W/kg using a headphone for 32 min. As a conclusion, WCDMA RF exposure did not have any effects on the physiological variables in either group.

Key words: Smart phones, EHS, WCDMA, Physiological effects, Double-blinded

I. 서 론

방송통신위원회에 따르면 2011년 3월 23일을 기준으로 스마트폰 가입자가 천만 명을 넘어섰으며, 최근 2천만 명을 돌파했다고 한다. 또한 스마트폰 가입자 중 20-30대 가입자 비율이 60% 이상을 차지하고 있다고 한다[1]. 이처럼 스마트폰 사용이 급증하면서 WCDMA(wideband code division multiple access) 휴대폰 전자파의 인체영향에 관한 관심 또한 고조되고 있다. 이와 더불어 두통, 피로, 불면증 등 심리적, 신경 생리학적 증상을 호소하는 전자파 과민 증후군(EHS: electromagnetic hypersensitivity)이 증가하고 있다[2]. 국외의 경우 인구 대비 전자파 과민 증후군은 스웨덴 1.5%, 미국 캘리포니아주는 3.2%로 보고되었다[3-4]. 그러나 현재까지는 의학적으로 확실한 원인 규명이 되지 않고 있어 치료하는데 어려움이 있다.

2011년 5월 31일 세계보건기구(WHO: World Health Organization) 산하 국제암연구소는 휴대전화와 암 발생 관계를 다룬 10건의 연구 결과를 종합 분석한 결과, 휴대전화 전자파가 암을 유발할 가능성이 있는(possible) '2B 등급'으로 휴대 전화 전자파를 분류하였다[5].

국내의 경우, CDMA(code division multiple access) 방식 휴대폰에 대한 연구가 수행되었으며, Nam 등은 휴대폰 전자파가 청소년의 교감신경에 영향을 미칠 수 있음을 보고하였고[6], 또한 2009년 Nam 등은 일반인과 전자파 과민 증후군을 대상으로 휴대폰 전자파에 의한 인체 영향에 연구를 한 바 있다[7]. 이처럼 CDMA 휴대폰 전자파에 대한 국내 자원자 연구는 진행되었으나, WCDMA 방식 전자파의 인

Corresponding Author : 김덕원
서울특별시 서대문구 연세로 50 연세대학교 의과대학 의학공학교실
E-mail: kdw@yuhs.ac
본 연구는 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2010-0022374).

체 영향에 대한 자원자 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서 WCDMA 전자파 인체 영향에 대한 객관적인 자원자 연구를 통하여 전자파 노출 시 생리학적 변수에 미치는 영향에 대해 알아보고자 한다.

II. 본 론

1. 실험 장치

실험실 주변 환경에서 ELF(extremely low frequency) 대역의 3축 전자기장 측정기 EHP50C(Narda-STS, Italy)를 사용하여 측정한 주변 전기장 및 자기장 세기는 각각 1.8 ± 0.0 V/m와 0.02 ± 0.01 uT이었다. 또한 전자파 측정기 SRM3000(Narda GmbH, Germany)로 마이크로웨이브(MW: Microwave) 대역인 1920-1980 MHz를 측정한 결과 0.06 V/m의 전기장이 측정되어 주변 전자파 세기가 미약함을 확인하였다. EHP50C의 해상도는 전기장 및 자기장에서 각각 0.1 V/m, 0.01 uT이며, SRM3000은 0.01 mV/m이다.

시판되고 있는 스마트 폰 대신, MW를 방출하는 Qualcomm chip(baseband: MSM6290, RF: RTR6285, Power Management: PM6658)이 내장된 WCDMA 모듈을 사용하였다. 송신 주파수는 1950 MHz이며, E5515C Wireless Communications Test set(Agilent, Santa Clara, USA)을 이용하여 평균 출력 세기를 측정한 결과 24 dBm이 일정하게 출력되었다.

휴대폰 모사 방법으로는 시중에 판매되고 있는 스마트 폰 안의 메탈 부분 및 부품을 모두 제거하여 그림 1과 같이 dummy 폰을 만들었다. 모듈을 dummy 폰에 삽입 후[8],

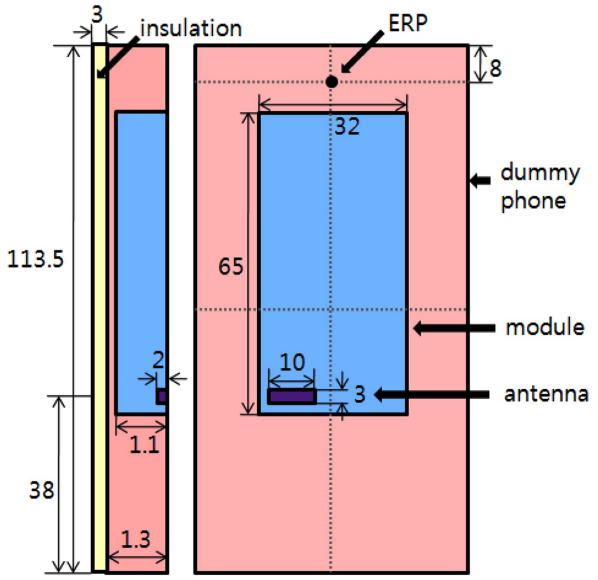

그림 1. Dummy 폰의 옆면과 앞면(단위: mm)
Fig. 1. The side and front sides of the dummy phone(unit: mm)

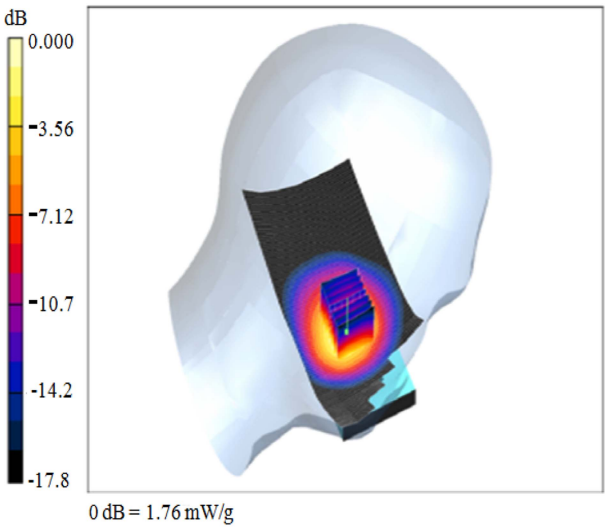

그림 2. WCDMA 모듈의 왼쪽 부위의 SAR 분포도
Fig. 2. SAR distribution of the WCDMA module in the left side

DASY4 measurement system(SPEAG, Switzerland)을 이용하여 SAR_{1g}(specific absorption rate)을 측정하였다. 모의 인체 팬텀은 Twin SAM(specific anthropomorphic mannequin)을 사용하였으며, 1950 MHz에서 인체 조직과 유사하게 밀도는 1000 kg/m^3, 도전율은 1.41 S/m, 비유전율은 39.7이었다[9].

모의 인체 팬텀에 대한 휴대폰의 시험위치로는 접촉(cheek)과 경사(tilt) 위치로 규정하고 있다[10]. Twin SAM의 왼쪽과 오른쪽의 접촉 위치에서 SAR_{1g}을 측정한 결과 왼쪽에서의 SAR_{1g} 수치가 높았고, 분포도는 그림 2와 같았다. 안테나의 위치가 ERP(ear reference point) 지점으로부터 67.5 mm 떨어진 지점에서 SAR_{1g}값이 1.57 W/kg으로 측정되었으며, 이는 전자파 인체 보호기준인 1.6 W/kg에 근접하였다[9-10]. ERP 지점에서의 전기장 값은 6.9 V/m이었으며, power drift는 –0.001 dB로 측정되었다. 따라서 피험자 왼쪽 뺨의 접촉위치에서 실험을 진행하였다.

모듈은 5 m USB 케이블을 통해서 노트북(X-Note R500, LG electronics, Korea)에 연결되어 작동하고, 케이블과 노트북 사이에 USB 타입의 전류계를 연결하였다(그림 3). 노트북을 통해 모듈을 제어하고 전류 값을 확인함으로서 작동상태를 체크하였다. 모듈과 연결된 노트북을 외부에서 원격

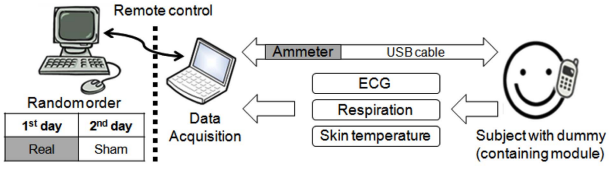

그림 3. 실험 시스템 및 블록 다이어그램
Fig. 3. Exposure system and block diagram

제어 함으로서, 피험자와 피검자 모두 모듈의 작동 상태를 알 수 없는 이중 맹검법을 만족시켜 실험의 bias를 최소화 하였다.

2. 생리학적 변수 측정

WCDMA 전자파 인체 영향을 평가하기 위해서 심호흡계 변수인 심전도, 호흡을 측정하였으며, 전자파 노출 시 모듈의 발열로 인한 노출 인지여부를 확인하기 위하여 모듈과 접촉된 얼굴 피부 온도를 측정하였다. 심전도와 호흡은 PolyG-I(Laxtha, Korea)를 사용하여 512 Hz 샘플링 주파수로 측정하였으며, 소프트웨어인 Telescan 0.9(Laxtha)와 Complexity(Laxtha)를 사용하여 데이터 저장 및 분석을 하였다. 얼굴 피부 온도 변화는 MP100(Biopac, USA)을 이용하여 1 Hz 샘플링 주파수로 측정하였고, AcqKnowledge 3.73(Biopac)을 이용하여 데이터 저장 및 분석 하였다.

심전도의 경우 오른팔, 왼팔, 오른다리에 Ag-AgCl 전극(3M, USA)을 부착하여 측정하였으며 측정된 심전도에서 심박수와 심박 변이도(HRV: heart rate variability)를 획득하였다. 자율신경계의 기능을 평가하기 위해서 심박 변이도의 전력 스펙트럼을 이용한 주파수영역 분석방법을 이용하였다. 심박 변이도의 전력 스펙트럼은 0.04 Hz 이하의 VLF (very low frequency) 성분, 0.04~0.15 Hz 대역의 LF (low frequency) 성분, 0.15~0.4 Hz 대역의 HF(high frequency)성분으로 구성되어 있다. 일반적으로 자율신경 활동의 균형을 나타내는 지표로서 LF/HF가 사용되고 있어 본 연구에서도 이를 이용했으며, LF/HF 증가 시 교감신경의 활성증가를 의미한다[11].

호흡 변화는 상복부에 호흡벨트(Laxtha)를 부착하여 호흡에 의해 변화하는 복부 단면적으로부터 인덕턴스의 변화를 감지하는 방법(RIP: respiratory inductance plethysmography)을 이용하였다. 모듈 동작 시 모듈과 접촉되는 얼굴 피부 온도가 비동작 시 보다 유의하게 증가하여, 피험자가 모듈의 동작 상태를 인지하는 경우 맹검법에 위반된다. 따라서 얼굴에 닿는 dummy 폰 표면에 3 mm 두께 목재 재질의 합판을 부착하여 단열처리 하였다. 단열 처리를 검증하기 위해 모듈 액정과 볼 사이에 피부 온도 센서(TSD202B, Biopac)를 부착하고, 온도측정 모듈(SKT100C, Biopac)을 사용하여 피부 온도를 측정하였다.

3. 자원자 실험

실험에 앞서 EHS 군을 객관적으로 선별하는 것은 Schröttner 등의 연구에서도 언급되었듯이 매우 중요하다[12]. 이에 본 연구는 Eltiti 등이 개발한 설문지를 활용하였다[2,3,6,7,13]. 설문지는 총 80문항으로 크게 기본정보(9문항), 전자파 노출 시 느끼는 증상(57문항: 식은 땀, 집중하기 어려움, 편두통, 피로감 등), 증상 유발요인(9문항: 컴퓨터, 휴대전화, 텔레비전 등), 전자파 민감 여부 등 주관식 질문(3문항), 과거 질병 여부 및 건강관련 질문(2문항)으로 구성되어 있다. EHS 군은 설문지를 바탕으로 전자파 민감 여부, 증상, 증상 유발 요인, 과거 질환 보유 여부 등 4가지 선별 조건을 가지며, 이를 모두 만족하였을 때 EHS 군으로 판별하게 된다(표 1). 전자파 노출 시 겪는 57가지의 증상에 대해 5점 척도(0: 전혀 없다 ~ 4: 아주 많이 있다)로 평가하여 최대 228점 중 26점 이상이 되면 EHS 군의 증상 선별 조건을 만족하게 된다.

선별 조건을 만족한 EHS 자원자는 16명, 일반인은 19명이었으나, 각 그룹 당 1명씩 실험 도중 움직임 및 졸음으로 인하여 피험자에서 제외되었다. 또한 일반인 자원자 중 심박변이도 데이터 범위가 표준편차의 2배를 벗어난 outlier 피험자 1명을 제외시켰다. 따라서 EHS 군(30.5 ± 8.0세) 15명, 건강한 일반인 군(28.0 ± 5.3세) 17명을 대상으로 실험하였다. 설문지 증상의 합계 점수는 EHS 군이 59.1 ± 39.9점, 일반인 군이 9.7 ± 8.1점이었다.

EHS 군과 일반인 군은 표 2와 같이 남녀 비율, 나이, 신장, 몸무게, 체질량지수(BMI: body mass index), 흡연율, 컴

표 1. EHS와 일반인 선별 조건
Table 1. Determination of EHS and non-EHS

	EHS	일반인
A. 전자파 민감 여부	O	X
B. 증상	26 점 이상	26 점 미만
C. 증상 유발 요인	스마트 폰	X
D. 과거 질환 보유 여부	X	X
A, B, C, D 모두 만족 시 EHS 및 일반인으로 판별		

표 2. 각 그룹의 기본 정보(평균 ± 표준편차)
Table 2. Demographics of each group(mean ± standard deviation).

	EHS	일반인	p-value
피험자 수	15	17	-
남 : 여	7:8	7:10	0.476
나이	30.5 ± 8.0	28.0 ± 5.3	0.694
신장 (cm)	167.5 ± 7.3	168.5 ± 8.1	0.613
몸무게 (kg)	62.5 ± 10.6	61.8 ± 10.7	0.925
BMI(kg/m^2)	22.2 ± 2.7	21.6 ± 2.3	0.808
비흡연 : 흡연	13:2	15:2	0.376
컴퓨터 사용시간 (hr/day)	4.4 ± 3.1	5.4 ± 3.5	0.193
TV 시청 시간 (hr/day)	1.5 ± 1.3	1.7 ± 1.3	0.985
휴대폰 사용기간 (year)	10.7 ± 3.5	10.3 ± 2.6	0.779

퓨터 사용시간, TV시청 시간, 휴대폰 사용기간 등 기본 정보의 차이가 없었다(P > 0.05). 남녀 비율과 흡연율은 Fisher's exact test를 사용하였으며, 나머지 기본 정보의 경우 Mann-whitney U test를 사용하였다.

본 연구는 세브란스 병원 임상연구심의위원회의 승인(승인번호: 1-2010-0030)을 받아 진행하였다. 자원자 모집을 통해 선정된 피험자에게 실험 전 실험 내용에 대해 설명을 하였으며 피험자의 동의를 얻었다. 피험자에게 실험 당일 24시간 전부터 카페인 섭취, 흡연, 음주, 운동 등을 자제하도록 주지시켰으며, 잠을 충분히 자도록 하는 등 실험 전 주의사항을 사전에 통보하여 실험 외적인 혼란 요인을 최소화하였다. 24시간 주기의 생체리듬 변화와 잔류효과 등을 고려하여 이틀간 동일시간대에 가상과 실제노출 중 하루에 한 조건만 진행하였다.

실험 중 피험자는 앉은 자세로 실험에 임하였으며, 혼란 요인의 영향을 최소화하기 위해 구두 설문 중에만 말을 할 수 있도록 하였다. 실험실 온도 및 습도 등이 피험자에게 미치는 영향을 최소화하였으며, 매 실험마다 온도(24.3 ± 0.9℃)와 습도(41.2 ± 2.4%)를 측정하여 쾌적한 상태로 유지시켰다.

4. 실험 과정

실험 과정은 그림 4와 같으며, 총 64분간 진행되었다. 생체신호는 64분간 연속 측정하였으나 각 5분으로 이루어진 4개 구간(Stage 1: 노출 전, Stage 2: 노출 후 11분, Stgae 3: 노출 후 27분, Stage 4: 노출 종료 후 11분)의 데이터만 분석에 사용되었다. 노출조건은 Matlab R2008a(Mathworks, Natick, USA)를 이용하여 가상노출과 실제노출을 무작위로 배정하였고, 1:1 비율로 프로그램화 하였다. 노출 제어는 실험시작 후 16분부터 48분 사이 32분간 외부에서 원격제어로 진행되었으며, 이틀에 걸쳐 첫날에 실제 노출, 둘째 날에는 가상 노출로 또는 이와 반대로 진행되었다.

5. 분석 방법 및 통계 처리

심박수와 호흡수, 피부 온도는 5분으로 구성된 4개 측정 구간의 분당 평균을 구하였다. 심박 변이도의 경우 최소 측정 시간이 5분이므로 5분 동안의 데이터를 사용하였다[2,7]. 또한 개인별 편차가 크기 때문에 Stage 1을 100%로 하여 상대 비율로 환산하여 Stage 2, 3, 4를 분석하였다.

생체 신호의 경우, EHS와 일반인 각 군에서 2-way Repeated Measures ANOVA를 사용하여 전자파 노출 여부(가상 및 실제 노출)와 시간(stage)에 따른 심박수, 호흡수, 심박 변이도, 피부 온도의 변화를 살펴보았다. 유의한 차이가 있는 경우, Bonferroni 방법을 이용하여 사후 분석 하였다. 분석 소프트웨어는 SPSS 18.0(SPSS Inc, USA)을 사용하였으며, p = 0.05 유의 수준으로 검정하였다. 또한 노출에 따른 차이를 살펴보기 위해서 2-way Repeated Measures ANOVA를 사용하여 그룹(일반인과 EHS)과 시간(stage)에 따른 심박수, 호흡수, 심박 변이도를 살펴보았다.

III. 결 과

모든 생리학적 변수에서 전자파 노출여부와 시간과의 교호작용(p > 0.05)은 없었다. EHS 군의 경우 심박수(p = 0.992, p = 0.880), 호흡수(p = 0.992, p = 0.880), 심박변이도(p = 0.112, p = 0.186) 모두 노출 여부와 시간에 따른 유의한 차이가 없었다. 일반인 군의 경우에도 심박수(p = 0.091, p = 0.344), 호흡수(p = 0.091, p = 0.344)는 유의한 차이가 없었다. 심박 변이도는 노출 여부에 따른 유의한 차이는 없었으나(p = 0.508), 노출 시간에 따라 유의한 차이(p = 0.000)를 보였다(그림 5).

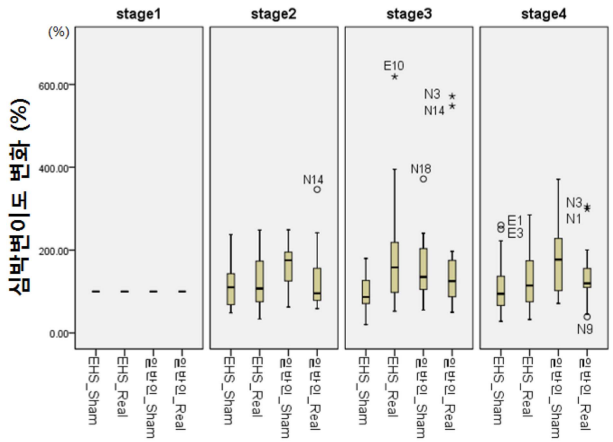

그림 5. EHS 군과 일반인 군에서의 노출 여부와 stage에 따른 심박변이도(HRV) 변화
Fig. 5. HRV changes of the real and sham exposures and stages for the EHS and non-EHS groups

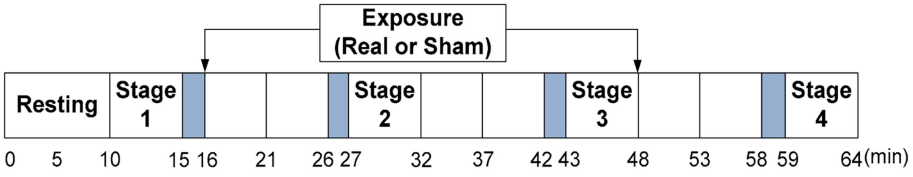

그림 4. 실험 과정
Fig. 4. Experimental procedure

표 3. 일반인 군 심박 변이도의 Bonferroni 사후 분석 결과
Table 3. Bonferroni post hoc test of the HRV in the non-EHS group

일반인					
Session	Stage	p-value	Session	Stage	p-value
가상 노출 (Sham)	1-2	0.006	실제 노출 (Real)	1-2	1.000
	1-3	0.025		1-3	0.046
	1-4	0.000		1-4	0.965
	2-3	1.000		2-3	0.645
	2-4	1.000		2-4	1.000
	3-4	0.767		3-4	1.000

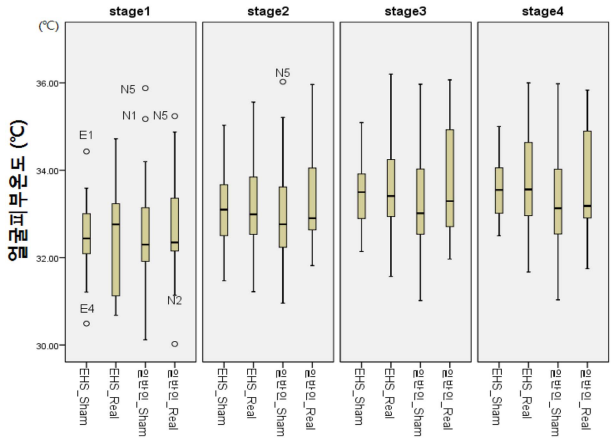

그림 6. EHS 군과 일반인 군에서의 노출 여부와 stage에 따른 얼굴 피부 온도
Fig. 6. Facial skin temperature of the real and sham exposures and stages for the EHS and non-EHS groups

일반인군에서 노출 시간에 따른 심박변이도의 차이를 검정하기 위해서 Bonferroni 사후분석을 실시한 결과는 표 3과 같다. 가상 노출의 Stage 1-2, 1-3, 1-4 구간에서 유의한 차이($p < 0.05$)가 있었으며, 실제 노출 구간에서는 Stage 1-3 구간에서만 유의한 차이($p = 0.046$)가 있었으나, 가상 노출 구간 1-3에서도 유의한 차이를 보였으므로 이는 노출에 의한 것이 아니라 시간에 따른 원인으로 사료된다.

실제 및 가상 노출 시 얼굴 피부 온도 측정결과는 그림 6과 같다. EHS 군과 일반인 군 모두 전자파 노출여부($p = 0.730$, $p = 0.313$)에 따른 유의한 차이는 없었으나, 노출 시간($p = 0.000$, $p = 0.002$)에 따라 유의한 차이가 있었다. 얼굴 피부 온도 변화를 시간에 따라 사후 분석한 결과는 표 4와 같다.

얼굴 피부 온도는 노출 시간에 따라 점진적으로 증가하였으며, EHS군 실제 노출의 stage 1-2에서 최대 0.049°C/min로 증가하였다. 그러나 실험에 참여한 피험자 모두 가상 및 실제 노출 구간에서 뜨거운 느낌을 호소하지 않았으며, WCDMA 모듈의 과열로 인한 동작여부를 인지하지 못했다.

표 4. EHS 군과 일반인 군에서의 얼굴 피부 온도의 Bonferroni 사후분석 결과
Table 4. Bonferroni post hoc test of the facial skin temperature in each group

EHS					
Session	Stage	p-value	Session	Stage	p-value
가상 노출 (Sham)	1-2	0.000	실제 노출 (Real)	1-2	0.001
	1-3	0.000		1-3	0.000
	1-4	0.000		1-4	0.000
	2-3	0.516		2-3	0.332
	2-4	0.055		2-4	0.070
	3-4	1.000		3-4	1.000

일반인					
Session	Stage	p-value	Session	Stage	p-value
가상 노출 (Sham)	1-2	0.121	실제 노출 (Real)	1-2	0.002
	1-3	0.002		1-3	0.000
	1-4	0.000		1-4	0.000
	2-3	0.934		2-3	0.849
	2-4	0.247		2-4	1.000
	3-4	1.000		3-4	1.000

IV. 고찰 및 결론

EHS 군의 경우 WCDMA 전자파 노출에 의해 심박수, 호흡수, 심박 변이도 모두 노출 여부 및 노출 시간에 따라 유의한 차이를 보이지 않았다. 일반인 군의 경우에는 심박 변이도에서 노출시간에 따라 유의한 차이를 보였다. 그러나 실제 노출 뿐 아니라 가상 노출인 경우에도 유의한 차이를 보이고 있어, 노출여부에 상관없이 시간에 따라 교감신경이 활성화된 것으로 사료된다.

2009년, Nam 등은 CDMA 전자파 노출 시 일반인과 EHS 군의 인체 영향을 분석한 결과 심박수, 호흡수는 노출 여부 및 시간에 따라 유의한 차이가 없었으나, 심박 변이도의 경우에는 노출 시간에 따라 유의한 차이가 있다고 발표하여 본 연구와 일치된 결과를 보였다[7]. Hjortskov 등은 정신적 스트레스가 심박변이도를 증가시킨다고 보고하였다[14]. 실험 전 휴식 시간까지 포함하여 총 1시간 반에 가까운 시간 동안 피험자는 앉은 상태로 있게 되며, 동잡음을 최소화하기 위해 움직임을 제한 받게 되어 스트레스로 작용한 것으로 보인다. 또한 2011년, Kim 등은 60 Hz 전자기장 노출 시 일반인 군과 EHS 군을 대상으로 연구한 결과 심박수 및 호흡수 모두 유의한 변화가 없었으나, EHS 군의 경우 노출 여부와 상관없이 노출시간에 따라 유의한 차이를 보였다고 보고하였다[2]. 이처럼 낯선 실험 환경과 장시간의 실험 시간이 일반인군에게 스트레스로 작용하여 노출여부에 상관없이 시간에 따라 증가한 것으로 사료된다.

전자파 노출 시 모듈의 발열로 인하여 피험자가 동작 상태를 인지 할 수 있기 때문에 모듈과 접촉되는 얼굴 피부 온도 변화를 모니터링 하였다. 피부 온도의 경우 EHS, 일반인 군 모두 시간에 따라 유의한 차이를 보였고, 이는 Nam 등이 CDMA 휴대폰 전자파 노출 시 노출 여부와 시간에 따른 피부온도가 유의한 차이가 없었다는 보고와 상반된 결과이다[7]. 그러나 본 연구에서의 피부 온도 변화 구간은 30-36°C 이며, 최대 약 0.049°C/min로 변화하였다. Jones 등은 피부 온도가 neutral zone인 30-36°C 구간에서 약 0.5°C/min로 천천히 온도가 증감한다면 피험자는 피부 온도가 5-6°C 변화하더라도 인지하지 못한다고 하였다[15]. 이를 뒷받침하는 사실은 실험에 참여한 피험자 모두 가상 및 실제 노출 구간에서 뜨거운 느낌을 호소하지 않았으며, 피험자는 모듈의 동작 상태를 인지하지 못했다. 따라서 단열이 잘 되었던 것으로 사료되며, 피험자들은 모듈의 발열로 인한 전자파 노출 여부를 인지하지 못하였을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 WCDMA 전자파 과민 증후군 및 일반인을 대상으로 전자파 노출에 따른 생리학적 변화를 살펴보았다. 원격제어를 통해 이중 맹검법 으로 행해졌으며, 설문지를 활용하여 객관적인 EHS 군 선별이 이루어졌다. 실험 결과 WCDMA 전자파 노출로 인한 생리학적 변화에 유의한 차이는 없었으며, 심박변이도의 경우에는 시간에 따른 유의한 차이가 있었으나 전자파 노출이 아닌 시간에 따른 정신적 스트레스가 원인으로 보인다. 추후 생리학적 변화와 함께 동시에 자각증상 및 인지여부 등의 다원적 연구를 실시하여 더욱더 객관적인 연구를 수행할 계획이다.

참고문헌

[1] http://www.kcc.go.kr/user.do?mode=view&page=P05030000&dc=K05030000&boardId=1042&cp=5&boardSeq=30991

[2] D.W. Kim, J.L. Choi, K.C. Nam, D.I. Yang, and M.K. Kwon, “Origins of Electromagnetic Hypersensitivity to 60 Hz Magnetic Fields: A Provocation Study,” *Bioelectromagnetics,* 2011(accepted).

[3] L. Hillert, N. Berglind, B.B. Arnetz, and T. Bellander, “Prevalence of Self-Reported Hypersensitivity to Electric or Magnetic Fields in a Population-Based Questionnaire Survey,” *Scand. J. Work Environ. Health,* vol. 28, no. 1, pp. 33-41, 2002.

[4] P. Levallois, R. Neutra, G. Lee, and L. Hristova, “Study of self-reported hypersensitivity to electromagnetic fields in California,” *Environ. Health Perspect.,* vol. 110, no. 4, pp. 619-623, 2002.

[5] R. Baan, Y. Grosse, B. Lauby-Secretan, F.El. Ghissassi, V. Bouvard, L. Benbrahim-Tallaa, N. Guha, F. Islami, L. Galichet and K. Straif, “Carcinogenicity of radiogrequency electromagnetic fields,” *Lancet Oncol.,* vol 12, no. 7, pp. 624-626, 2011.

[6] 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, pp. 509-514, 2006.

[7] K.C. Nam, J.H. Lee, H.W. Noh, E.J. Cha, N.H. Kim, D.W. Kim, “Hypersensitivity to RF Fields Emitted From CDMA Cellular Phones: A Provocation Study,” *Bioelectromagnetics,* vol. 30, pp. 641-650, 2009.

[8] M. Unterlechner, C. Sauter, G. Schmid, J. Zeitlhofer, “No effect of an UMTS mobile phone like electromagnetic field of 1.97 GHz on human attention and reaction time,” *Bioelectromagnetics,* vol. 29, pp. 145-153, 2008.

[9] IEEE Recommended Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate(SAR) in the Human Head From Wireless Communications Devices: Measurement Techniques, IEEE Standard 1528-2003, 2003.

[10] CENELEC, EN 50361, “Basic standard for the measurement of Specific Absorption Rate related to human exposure to electromanetic fields from mobile phones(300 MHz-3 Hz),” 2001.

[11] B. Pomeranzm, R.J. Macaulay, M.A. Caudill, I. Kutz, D. Adam, D. Gordon, K.M. Kilborn, A.C. Narger, D.C. Shannon, R.J. Cohen, and H. Benson, “Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis,” *Am. J. Physiol.,* vol. 248, no. 1, pp. H151-H153, 1985.

[12] J. Schröttner, N. Leitgeb, and L. Hillert, “Investigation of electric current perception thresholds of different EHS groups,” *Bioelectromagnetics,* vol. 28, no. 3, pp. 208-213, 2007.

[13] S. Eltiti, D. Wallace, K. Zougkou, R. Russo, S. Joseph, P. Rasor, and E. Fox, “Development and evaluation of the electromagnetic hypersensitivity questionnaire,” *Bioelectromagnetics,* vol. 28, no. 2, pp. 137-151, 2007.

[14] N. Hjortskov, D. Rissen, A.K. Blangsted, N. Fallentin, U. Lundberg, and K. SØgaard, “The effect of mental stress on heart rate variability and blood pressure during computer work,” *Eur. J. Appl. Physiol.,* vol. 92, no. 1, pp. 84-89, 2004.

[15] L.A. Jones, and M. Berris, “The psychophysics of temperature perception and thermal-interface design,” *IEEE,* pp. 137-142, 2002.