

# CDMA 휴대전화 전자파에 의한 생리학적 변화

## Effects of RF Exposure on Human Physiology by CDMA Cellular Phones

남기창 · 김성우\* · 김수찬\*\* · 김덕원

Ki-Chang Nam · Sung-Woo Kim\* · Soo-Chan Kim\*\* · Deok-Won Kim

### 요 약

최근 성장기에 있는 청소년들의 장시간 휴대폰 사용이 건강에 유해한 영향을 미칠 수 있다는 사회적인 문제가 제기되면서 휴대폰 사용이 인체에 미치는 영향에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 국외에서는 주로 GSM 방식의 휴대폰 사용에 의한 성인의 혈압과 맥박수 변화에 대한 자원자 연구는 수행되었으나, CDMA 방식의 휴대폰 사용에 의한 청소년의 인체 영향에 관련한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 국내의 경우에도 자원자를 대상으로 한 CDMA 방식의 휴대폰 사용이 인체에 미치는 영향에 관한 연구는 거의 없어 국내 실정에 맞는 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 청소년 21명, 성인 21명의 자원자를 대상으로 30분간 300 mW의 CDMA 휴대폰 전자파에 노출 시 맥박, 혈압 및 교감신경의 흥분을 나타내는 호흡수, 피부 저항의 변화를 정량적으로 측정하였다. 그 결과, 청소년 집단의 피부 저항에서만 변화가 있었고 그 외 모든 측정치에서는 변화가 없었다. 청소년 집단에서의 피부 저항은 휴대폰의 실제 노출 하에서 통계적으로 유의하게 감소하였고, 노출 중지 후에는 가역적 반응을 보였다.

### Abstract

Many cellular phone volunteer studies have been conducted since such a social issue is raised that the long time usage of cellular phone by teenagers may increase health risk. While there were various adult volunteer studies using GSM cellular phone on heart rate and blood pressure, very few teenager studies using CDMA phone were conducted. In this study, two volunteer groups of 21 teenagers and 21 adults were exposed to 300 mW CDMA wave for half an hour, and the physiological parameters such as blood pressure, heart rate, respiration rate, and skin impedance were investigated. All the parameters for both groups were unaffected during exposure except the skin impedance of teenager group.

Key words : CDMA Cellular Phone, Teenagers, Heart Rate, Blood Pressure, Skin Resistance, Respiration

### I. 서 론

청소년들이 장시간 휴대폰을 사용함으로써 여러 사회적 문제가 제기되고 있다. 이미 스웨덴과 노르웨이를 중심으로 유럽에서 사용되는 휴대폰에 의한

자각 증상들이 보고되었으며, 아날로그 방식인 NMT 휴대폰 사용자들이 GSM 휴대폰 사용자보다 더 큰 영향을 받는다고 발표하였다<sup>[1]</sup>. 2002년에는 영국 및 호주 정부에서 휴대폰 사용이 특히 성장기에 있는 청소년들의 건강에 유해한 영향을 미칠 수 있으므로

「본 연구는 2004년도 정보통신부 전자파 생체영향 공동연구사업에 의한 한국전자통신연구원의 지원 및 보건복지부 보건의료기술진흥사업 휴대형 진단치료기기 개발센터의 지원에 의해 이루어진 것임(0405-ER01-0304-0001).」

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

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

\*\*한양대학교 생물정보통신전문대학원(Graduate School of Bio & Information Technology, Hankyong National University)

· 논 문 번 호 : 20050303-029

· 수정완료일자 : 2005년 5월 12일

휴대폰 사용 자제를 권고하였다<sup>[2]</sup>. 외국의 경우, 주로 GSM 방식을 이용하고 있으므로 GSM 방식의 휴대폰 사용에 의한 자각 증상<sup>[1],[3],[4]</sup>, 혈압 및 맥박수 등의 생리학적 변화<sup>[5],[6]</sup>, 신경생리학적 변화<sup>[7]</sup> 및 인지 기능<sup>[8],[9]</sup>에 대한 연구 등이 수행되었다. 2003년 국제보건기구(WHO)에서 발표한 라디오 주파수 영역에 대한 연구 의제에서 시급하게 다루어야 할 과제로 수면에 대한 영향, 두통, 청소년의 기억에 관한 연구라 밝힌 바 있다<sup>[10]</sup>. 그러나 CDMA 방식의 휴대폰 사용에 대한 연구뿐만 아니라 청소년 집단에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.

국내의 경우, 자원자를 대상으로 한 휴대폰의 인체 영향 연구가 매우 적으며 우리나라는 미국이나 유럽에서 사용하는 GSM 방식과 달리 출력이 상대적으로 약하고 통신 방식이 다른 CDMA 방식을 사용하기 때문에 이에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 자원자를 대상으로 CDMA 휴대폰 사용 중의 맥박, 혈압 외에 교감신경의 흥분을 나타내는 호흡수 및 피부 저항의 변화를 피검자에게 불편이나 고통을 주지 않는 비 침습적으로 동시에 측정하였다. 또한 측정된 결과의 통계적 분석을 통하여 청소년과 성인 집단간, 그리고 각 집단 내에서 휴대폰 노출시간에 따른 맥박수, 호흡수 및 피부 저항의 유의차를 관찰하였다.

## II. 본 론

### 2-1 생리학적 변수 측정

CDMA 휴대폰 사용 중 인체의 생리학적 변화를 측정하기 위해서 맥박수, 호흡수, 피부 저항 및 혈압을 다음과 같이 측정하였다. 맥박수 측정을 위하여 본 연구진에 의해 개발된 광 혈류 측정기(PPG: Photo-Plethysmography)의 수지(手指) 클립 센서(DS-100, NELLCOR, USA)를 왼손 검지(頭指)에 부착하여 혈류 파형을 측정하였다. 적외선광 파장에 의해 PPG 센서에서 얻어진 혈류 파형의 맥동 성분으로부터 맥박수를 검출하였다(그림 1).

교감신경이 흥분하면 맘이 분비되는데 이로 인해 피부 저항이 감소한다. 피부 저항의 변화를 측정하기 위해 왼손 중지와 약지에 그물망 전극(3 M, USA)을 부착하여 두 수지 사이의 임피던스 변화를 측정

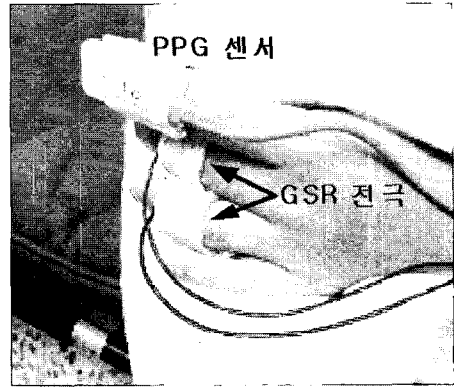


그림 1. PPG 센서(검지)와 GSR 전극(중지, 약지)의 착용 모습

Fig. 1. Photo of a PPG sensor on the 2nd finger and GSR electrodes on the 3rd and 4th fingers.

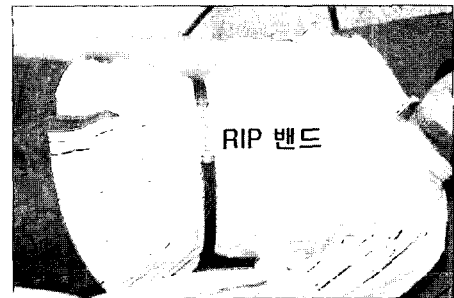


그림 2. 호흡수를 측정하기 위해 RIP 인덕턴스 밴드를 복부에 착용한 모습

Fig. 2. Photo of attached RIP inductance band for measuring respiration rates.

하였다(그림 1).

호흡 변화는 복부에 코일 밴드를 감아 호흡에 의해 변화하는 복부 단면적으로부터 인덕턴스의 변화를 감지하는 방법(RIP: Respiratory Inductance Plethysmography)을 이용하여 측정하였다. 측정하기 전 RIP 밴드는 호흡 시 변화하는 피검자 복부의 단면적에 맞도록 조정 작업(calibration)이 필요하다. 그림 2는 호흡수를 측정하기 위해 피검자의 복부에 RIP 인덕턴스 밴드를 착용한 모습이다.

혈압은 비관혈적 혈압 측정기(non-invasive blood pressure monitor, OMRON T4, Japan)를 지면으로부터 심장 높이와 비슷한 위치에 있는 오른쪽 상완에 커프(cuff)를 착용하여 이완기 및 수축기 혈압을 3회 반복 측정하여 평균을 취했다.

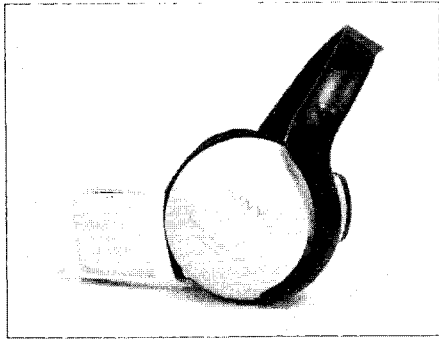


그림 3. 헤드셋 및 휴대폰의 단열처리  
Fig. 3. Photo of headset and insulated cellular phone.

실험에 사용된 CDMA 휴대폰(SCH-V300S, SAM-SUNG electronics, KOREA)의 전송(transmit, TX) 주파수 대역은 824.64~848.37 MHz이고, 실험에 사용한 반송 주파수(carrier frequency)는 전송 주파수 범위의 중간 주파수인 835 MHz 이었다. 그리고 그 휴대폰 model의 표방 SAR치는 1.22 W/kg이다. 휴대폰이 작동되는 동안 휴대폰의 송신은 복사 출력이 최대인 모드로 하여 평균 300 mW가 되도록 조정하였다.

휴대폰은 그림 3과 같이 헤드셋의 좌측 귀에 고정하여 피검자의 머리에 착용할 수 있도록 하였다. 얼굴이 닿는 부위는 플라스틱 단열재로 처리하고, 얼굴에 닿지 않는 휴대폰 배터리 부위는 방열이 잘 되게 개방하여 피검자가 온도 상승을 느끼지 못하도록 하였다.

그림 4는 실험이 진행되는 전체 측정 장면으로 검사자는 실험이 진행되는 동안 피검자가 볼 수 없는 위치에서 피검자의 맥박수, 호흡수, 그리고 피부 저항의 변화를 측정하고 실험을 수행하였다. 개발된 3채널 측정 시스템으로부터 측정된 데이터는 DAQ-pad 6020E(National Instrument, USA)를 이용해 노트북 PC(SV20, Samsung Electronics, Korea)에 저장되었다. 데이터의 저장 및 분석 프로그램은 LabVIEW 6.1(National Instrument, USA)로 개발되었다.

## 2-2 실험 방법

### 2-2-1 실험대상

실험에 자원한 자원자는 청소년 21명(연령 15.9 ±2.3세), 성인 21명(연령 25.9±5.6세)으로 총 42명의



그림 4. 전체 측정 장면  
Fig. 4. Photo of experimental setup.

동의를 얻어 휴대폰 전자파 노출에 의한 인체실험을 시행하였다.

### 2-2-2 실험조건

- ① Double blind test: 피검자와 검사자 모두 휴대폰의 작동 상태를 알 수 없게 가상과 실제 노출의 double blind test를 하여 실험의 bias를 최소화하였다.
- ② 실험 전 30분 동안 피검자는 편하게 앉아서 충분한 안정을 취한 후, 지면으로부터 상체를 15° 정도 일으켜 실험 침대에 편하게 누워서 실험을 시작하였다.
- ③ 휴대폰 통화 시 통화내용이 피검자의 정신 및 생리작용에 영향을 줄 수 있으므로 무통화로 실험하였다.
- ④ 무통화의 경우 휴대폰 출력이 급격히 떨어지므로, 실험에 사용된 휴대폰을 테스트 모드에서 출력이 300 mW가 되도록 고정하였다.

### 2-2-3 실험과정

- ① 실험은 가상(假想) 노출(sham exposure)과 실제 노출(real exposure) 두 부분으로 나뉘고 각 실

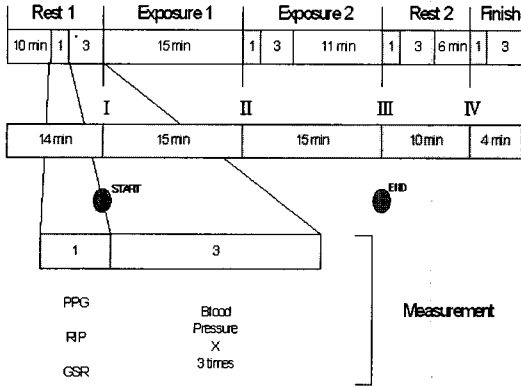


그림 5. 실험 과정(I: 휴식 10분 후 측정, II: 휴대폰 전자파 노출 15분 후 측정, III: 휴대폰 전자파 노출 30분 후 측정, IV: 휴대폰 전자파 노출 중지 10분 후 측정)

Fig. 5. Experimental procedure (I: after 10 minutes rest, II: after exposure to RF field for 10 minutes, III: after exposure to RF field for 30 minutes, IV: 10 minutes rest after exposure stop).

험마다 1시간씩 소요되었다(그림 5).

- ② 그림 4와 같이 각 실험마다 헤드셋을 착용한 상태에서 그림 5와 같이 휴식 10분 후, 휴대폰 전자파 노출 15분 후, 휴대폰 전자파 노출 30분 후, 그리고 노출 중지 10분 후의 시점에서 생체 신호를 획득하였다.
- ③ 각 생체 신호는 맥박, 호흡, 그리고 피부 저항을 1분간 먼저 측정하고, 혈압은 약 1분 간격으로 3회 측정하여 평균값을 취하였다.
- ④ 가상 노출과 실제 노출 실험 중간에 10분간 휴식하였다.
- ⑤ 실험 종료 후, 두통 등의 자각증상을 질의하여 기록하였다.
- ⑥ 실험 조건, 온도와 습도의 영향에 따라 결과가 달라질 수 있으므로, 매 실험마다 측정 시간과 측정 장소의 온도 및 습도를 기록하였다.

### 2-3 분석 방법

그림 6의 PPG 파형(①)에서 각 펄스가 맥박을 나타내므로, 수집한 데이터에서 가장 안정된 구간 30초구간의 데이터를 선택하여 맥박 수(횟수)를 선택구간의 시간으로 나눈 뒤 60을 곱하여 분당 맥박수로 환산하였다. RIP 파형(②)에서 파형의 증가는 흡

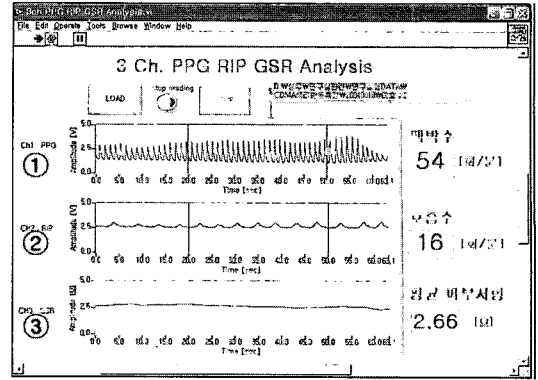


그림 6. 맥박수, 호흡수, 피부 저항 측정의 예  
Fig. 6. Sample of the measured PPG, RIP and GSR data.

기(吸氣), 감소는 호기(呼氣)를 나타내며 흡기와 호기 주기의 빈도를 분당 호흡수로 환산하였다. 데이터는 PPG분석 구간과 같은 30초 구간의 데이터를 선택하였다. GSR 파형(③)에서 시간에 따른 피부 저항 값의 변화를 전압으로 출력하였다. 1분간 수집한 전체 구간의 데이터를 평균하여 피부 저항의 변화를 분석하였다.

측정 결과는 청소년 집단과 성인 집단에 있어서 CDMA 휴대폰 노출 여부(가상 노출과 실제 노출) 및 노출 시간에 따른 맥박수, 호흡수, 피부 저항, 혈압의 변화를 two-way ANOVA를 통하여 분석하였다. 통계 분석은 SPSS 10(SPSS Inc, USA)을 사용하였으며,  $p=0.05$ (pvalue) 유의수준으로 검증하였다.

### III. 결 과

CDMA 휴대폰의 노출 여부(가상 노출과 실제 노출) 및 노출시간에 따라 측정된 생리학적 변화에 대한 two-way ANOVA 검증 결과 성인 집단의 맥박수( $p=0.413$ ), 호흡수( $p=0.598$ ), 피부 저항( $p=0.418$ ), 이완기( $p=0.057$ ) 및 수축기 혈압( $p=0.575$ )은 노출 여부에 따라 유의한 변화가 나타나지 않았다. 성인 집단에서 노출 시간에 따른 맥박수( $p=0.966$ ), 호흡수( $p=0.530$ ), 피부 저항( $p=0.438$ ), 이완기( $p=0.661$ ) 및 수축기( $p=0.988$ ) 혈압 변화 또한 유의한 차이가 없었다.

청소년 집단은 피부 저항 변화( $p=0.000$ )를 제외한 맥박수( $p=0.641$ ), 호흡수( $p=0.672$ ), 이완기( $p=0.168$ ) 및 수축기 혈압( $p=0.852$ )이 가상 노출과 실제 노출에 따

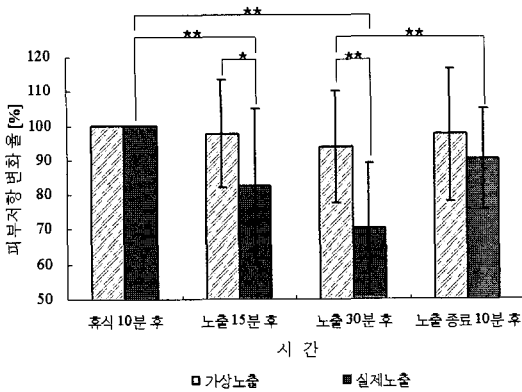


그림 7. 휴대폰 전자파 노출에 의한 청소년의 피부저항 변화(\*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ )  
 Fig. 7. Skin resistance change of teenagers by real exposure(\*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ ).

라 유의차가 없었다. 또한 청소년 집단에서 노출 시간에 따른 변화도 피부 저항 변화( $p=0.000$ )를 제외한 맥박수( $p=0.641$ ), 호흡수( $p=0.672$ ), 이완기( $p=0.712$ ) 및 수축기 혈압( $p=0.994$ )이 가상 노출과 실제 노출에 따라 유의차가 없었다. 그러나 청소년 집단의 피부 저항 검증 결과 노출 여부와 노출시간 간의 교호 작용이 존재하여 가상 노출과 실제 노출을 분리하여 one-way ANOVA의 Tukey 사후 검정 결과, 가상 노출에서는 노출 시간에 따라 유의한 차이가 없었으며 ( $p=0.608$ ), 실제 노출에서만 유의한 차이가 나타났다 ( $p=0.000$ ).

피부 저항은 상대적인 변화를 분석하기 위해 각 개인의 가상 노출과 실제 노출 단계에서 최초 휴식 후 측정값을 100으로 하여 이후 측정값을 상대적인 비율로 환산하였다. 그림 7에서와 같이 청소년의 피부 저항은 초기 안정상태보다 실제 노출 15분 후 ( $p=0.004$ )와 30분 후( $p=0.000$ ) 각각 현저히 감소하였으나, 노출 종료 후 안정상태인 원상태로 회복되었다( $p=0.574$ ). T-test로 가상 노출과 실제 노출 시의 차이를 비교한 결과, 청소년의 피부 저항은 실제 노출 15분 후( $p=0.015$ ), 노출 30분 후( $p=0.000$ )에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다.

#### IV. 고찰 및 결론

청소년 집단에서 CDMA 휴대폰 노출에 의해 인체 반응 중 맥박수, 호흡수, 혈압은 노출 여부 및 노

출 시간에 따라 유의한 차이를 보이지 않았으나, 실제 노출에서 피부 저항은 유의하게 감소하였다. 청소년의 피부 저항은 노출 종료 후 원상태로 돌아오는 기억적인 결과를 보였으나 청소년의 자율신경을 흥분시켜 땀 분비를 촉진할 수 있다는 사실을 확인하였다. 그러나 성인 집단에서 CDMA 휴대폰 노출에 의한 맥박수, 호흡수, 피부 저항 및 혈압은 노출 여부 및 노출 시간에 따라 유의한 차이를 보이지 않았다.

Hietanen 등은 성인을 대상으로 900 MHz NMT, 900 MHz GSM, 1800 MHz GSM 휴대폰 노출에 대한 혈압, 심박수 변화를 보고하였다<sup>[4]</sup>. 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<sup>[5]</sup>. 그러나 Tahvanainen 등은 900 MHz와 1,800 MHz GSM 휴대폰을 이용하여 성인 대상으로 35분간 노출시켰을 때 혈압이나 심박수에 변함이 없다고 보고하였다<sup>[6]</sup>. 또한 Koivisto 등은 900 MHz GSM 휴대폰 노출에 대하여 사용자들이 호소하는 자각증상이 실제 노출 여부와 관계가 없음을 밝혔다<sup>[7]</sup>. 기존의 GSM 휴대폰에 의한 인체 영향 연구에서는 실험 방법과 조건에 따라 그 결과가 다양하다. 뿐만 아니라 기타 국외 연구 결과는 GSM 휴대폰 사용에 대한 연구이며 성인을 대상으로 한 결과였기 때문에 CDMA 휴대폰에 대한 본 연구 결과를 직접적으로 비교하기는 어렵다. 그러나 GSM과 전송 방식이 다른 CDMA 휴대폰 노출에 대하여 성인 집단은 거의 영향을 받지 않았다는 점과 그에 비해 청소년 집단에서 피부저항 변화가 나타났음은 청소년이 전자파 노출 환경에 민감하다는 가능성을 뒷받침할 수 있다. 향후 휴대폰 전자파에 의한 인체 영향에 대한 명확한 규명을 위해서는 본 연구에서 실험한 방법보다 좀 더 장시간 노출 및 다양한 조건에 대하여 생리학적 변화를 비롯한 인지 및 기억, 두통 및 피로, 과민 반응, 호르몬 변화, 수면장애, 체온(머리 부위) 변화 등의 연구가 필요하다.

본 연구를 통하여 최근 논란이 되고 있는 청소년 및 성인의 맥박수, 호흡수, 피부 저항, 그리고 혈압 변화에 대한 객관적인 자원자 연구의 토대를 마련하였는데 의의를 찾을 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] G. Oftedal, J. Wilen, M. Sandstrom, and K. H. Mild, "Symptoms experienced in connection with mobile phone use", *Occupational Medicine*, vol. 4, pp. 237-245, 2000.
- [2] D. Maisch, "Children and mobile phone... is there a health risk? the case for extra precautions", *Journal of Australasian College of Nutritional & Environmental Medicine*, vol. 22, no. 2, pp. 3-8, Aug. 2003.
- [3] M. Koivisto, C. Haarala, C. M. Krause, A. Revonsuo, M. Laine, and H. Hmlinen, "GSM phone signal does not produce subjective symptoms", *Bioelectromagnetics*, vol. 22, no. 2, pp. 212-215, 2001.
- [4] M. Hietanen, A. M. Hämäläinen, and T. Husman, "Hypersensitivity symptoms associated with exposure to cellular telephones: No causal link", *Bioelectromagnetics*, vol. 23, no. 4, pp. 264-270, 2002.
- [5] S. Braune, C. Wrocklage, J. Raczek, T. Gailus, and C. H. Lcking, "Resting blood pressure increase during exposure to a radio-frequency electromagnetic field", *The Lancet*, vol. 351, no. 20, pp. 1857-1858, Jun. 1998.
- [6] K. Tahvanainen, J. Nino, P. Halonen, T. Kuusela, T. Laitinen, E. Lansimies, J. Hartikainen, M. Hietanen, and 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.
- [7] G. Freude, P. Ullsperger, S. Eggert, and I. Ruppe, "Effects of microwaves emitted by cellular phones on human slow brain potentials", *Bioelectromagnetics*, vol. 19, pp. 384-387, 1998.
- [8] N. Edelstyn, A. Oldershaw, "The accute effects of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention", *Neuroreport*, vol. 13, no. 1, pp. 119-121, 2001.
- [9] A. W. Preece, G. Iwi, A. Davies-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, 1999.
- [10] World Health Organization, *2003 WHO Research Agenda for Radio Frequency Fields*, <http://www.who.int>.

남 기 창

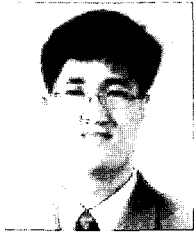


1997년 2월: 연세대학교 의용전자공학과 (공학사)  
 1999년 2월: 연세대학교 대학원 생체공학협동과정 (공학석사)  
 2004년 2월: 연세대학교 대학원 생체공학협동과정 (공학박사)  
 2004년 3월~2005년 4월: 연세대학교 의과대학 의학공학교실 연구강사  
 2005년 5월~현재: (주)씨멘스 메디칼 초음파 사업부 연구기획팀 선임연구원  
 [주 관심분야] 생체신호계측, 음성신호처리 등

김 성 우

2004년 2월: 연세대학교 의용전자공학과 (공학사)  
 2004년 8월~현재: 연세대학교 대학원 생체공학협동과정 석사과정  
 [주 관심분야] 생체신호계측 등

김 수 찬



1994년 2월: 인제대학교 의용공학과 (공학사)

1998년 2월: 연세대학교 대학원 생체공학협동과정 (공학석사)

2003년 2월: 연세대학교 대학원 생체공학협동과정 (공학박사)

2003년 12월~2004년 9월: Rensselaer Polytechnic Institute (Post Doc.)

2004년 9월~현재: 한경대학교 생물정보통신대학원 전임강사

[주 관심분야] 생체신호계측, 안구운동측정, 실시간 신호처리 등

김 덕 원



1976년: 서울대학교 공과대학 (공학사)

1980년: 미국 Northwestern University 전자공학과 (공학석사)

1986년: 미국 Univ. of Texas at Austin 의공학과정 (Ph. D.)

1987년~현재: 연세대학교 의과대학 의학공학교실 교수

1999년~2005년: 연세대학교 의과대학 의학공학교실 주임교수

2005년~현재: 대한전자공학회 제어 및 시스템 소사이어티 부회장

[주 관심분야] 비관렬적 생체신호계측, 의료기기, 전자파유해성 등