

# 전투원 신체 주변 통신기기의 인체 노출량 분석

## Analysis of Human Exposure for Wireless Devices Near War-Fighter

서민경 · 최증원\* · 고중환\* · 이현성\* · 박주만\* · 백정기

Min-Gyeong Seo · Jeung-won Choi\* · Jong Hwan Ko\* · Hyunsung Lee\* · Juman Park\* · Jeong-Ki Pack

### 요 약

본 논문에서는 전투원이 착용할 수 있는 무선기기에 의한 인체영향 분석을 위해 인체의 다양한 위치에 송신 안테나를 위치시키고, 각 위치별로 송신기에 의한 인체영향을 분석하였다. 다양한 송신 안테나의 위치에 대해 분석하였다. 송신 안테나의 위치에 대한 시나리오는 전장에서 전투원이 통신기기를 착용할 수 있는 위치를 고려하여 국방과학연구소와 협의 하에 도출하였으며, 인체 전신 모델은 한국전자통신연구원(ETRI: Electronics and Telecommunications Research Institute)의 한국인 성인 남성 표준 모델을 사용하여 송신 안테나의 위치에 따른 전자파 흡수율(SAR: Specific Absorption Rate)을 국내 및 국제비전리복사방호위원회(ICNIRP: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)의 인체 보호 기준과 비교하였다. 또한, 전장에서 전투원이 취할 수 있는 자세를 고려하여, 2가지 전형적인 자세에 대해서도 인체 노출량을 분석하였다.

### Abstract

In this paper, human exposure of wireless devices was analyzed for various positions of the transmitter. The scenario for the position of the transmitting antenna was decided after discussion with ADD(Agency for Defense Development), and Korean male phantom model developed by ETRI were used to conduct simulations. The SAR values were analyzed by changing the position of the transmitter, and compared with Korean EMF regulations and ICNIRP guidelines. Additionally, human exposure was also investigated for two typical postures which can be posed by war-fighter.

Key words : Human Exposure, SAR, Numerical Human Model, Numerical Analysis

### I. 서 론

정보통신의 급격한 발전은 군뿐만 아니라 민간 분야의 통신 환경에 변화를 초래하였다. 군 분야에서는 많은 시스템이 무선 위주의 통신 방식으로 변화함에 따라 전술 환경이 네트워크 중심으로 변화하였고, 민간 분야에서는 WBAN(Wireless Body Area

Network), MICS(Medical Implant Communication Service), 인체 통신 등 인체 주변에서 이루어지거나 인체를 매질로 하는 통신 시스템이 발달하게 되었다<sup>[1]~[4]</sup>. 이로 인해 미래 전장에서의 전투원은 적을 타격하는 임무뿐만 아니라, 통신 노드로서의 역할도 수행하게 된다. 전투원의 주변 또는 신체 표면에 위치하는 통신 장비의 전자파에 전투원이 노출되는 상

「이 논문은 국방과학연구소 선행핵심기술과제 내 위탁연구 <전투원 신체-전파 상호 영향분석을 위한 모델 개발(UD120001ED)>의 지원을 받아 수행된 것임.」

충남대학교 전파공학과(Department of Radio Science and Engineering, Chungnam National University)

\*국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· Manuscript received November 21, 2012 ; Revised December 17, 2012 ; Accepted January 2, 2013. (ID No. 20121121-131)

· Corresponding Author : Jeong-Ki Pack (e-mail : jkpack@cnu.ac.kr)

황은 불가피하며, 이로 인한 인체영향 분석은 필수적이다.

따라서 본 논문에서는 전투원이 통신기기를 착용할 수 있는 10가지 시나리오에 대해 한국인 성인 남성 표준 모델을 활용하여 시뮬레이션을 수행하고, 1 g SAR, 10 g SAR를 분석하였다. 1 g SAR가 최대값을 갖는 시나리오를 최악의 경우로 구분하였으며, 각 송신 안테나의 시나리오별 국내·외 인체 보호 기준 하에서의 최대 허용 전력을 분석하였다.

또한, 전장에서의 전투원은 다양한 자세를 취하는데 반해, 현재 ETRI에서 개발한 한국인 인체 모델은 직립형 자세로, 다양한 자세에 대한 분석에 어려움이 있다. 실제 전장에서 전투원이 취할 수 있는 자세를 고려하여, 서서 팔을 구부린 자세, 앉아서 팔을 구부린 자세 등 임의의 자세로 한국인 인체 팬텀의 자세를 변환할 수 있는 S/W를 개발하였다. 자세가 변환된 팬텀을 활용하여 인체영향 분석을 위한 시뮬레이션을 수행하였으며, 위와 마찬가지로 SAR 값을 분석하고, 최대 허용 전력을 분석하였다.

## II. 전투원 착용 기기의 인체영향 분석

### 2-1 송신 안테나 모델링

본 논문에서 전투원이 착용하는 통신기기는 현재 개발 중에 있으며, 동작 주파수가 2.45 GHz이며, 칩 안테나를 사용한다. 칩 안테나는 현재 시판되고 있는 안테나로서, 실제 안테나와 동일한 특성을 갖도록 모델링하였다. 모델링된 칩 안테나의 구조를 그림 1에 나타내었으며, 동작 주파수에서 반사 손실은 -19 dB, 이득은 2.13 dB이다. 칩 안테나에서 금속을 제외하고 사용된 매질은 ceramic과 FR-4이며, cera-

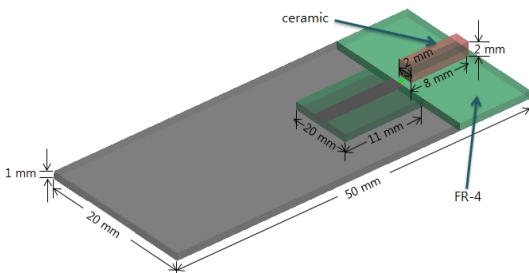


그림 1. 송신 안테나의 구조  
Fig. 1. Structure of the transmitter.

표 1. 송신 안테나 위치에 대한 시나리오  
Table 1. Scenarios for the position of the transmitter.

시나리오	안테나 위치	이격 거리
1	이마(헬멧 앞)	1 mm
2	어깨	
3	옆구리	
4	등	
5	팔 위쪽	
6	허벅지	
7	심장	
8	정수리	
9	귀	
10	손목	

mic의 상대유전율과 loss tangent는 90, 0.0002이고, RF-4의 상대유전율과 loss tangent는 4.3, 0.02이다.

### 2-2 송신 안테나 위치에 대한 시나리오 도출

전장에서의 전투원은 신체의 다양한 부분에 통신기기를 착용할 수 있기 때문에, 전장 상황을 고려하여 송신 안테나의 위치에 대한 시나리오를 국방과학연구소와의 협의 하에 도출하였다. 도출된 시나리오는 표 1에 정리하였다. 송신 안테나와 인체 간의 간격을 1 mm로 고정된 것은 최악의 경우를 고려하기 위해 인체와 최대한 가깝도록 설정한 것이다.

### 2-3 국내·외 인체 보호 기준

국내 인체 보호 기준은 전세계적으로 매우 엄격한 기준으로서, 본 논문에서 논의해야 할 국부 노출에 대한 SAR 기준은 IEEE C95.1 기준을 따르고 있다. 최근 SAR에 대한 인체 보호 기준을 개정하여 2013년부터 시행될 예정이며, 개정안의 주요 사항은 SAR의 기준을 머리·몸통, 사지, 전신으로 구분하였고, 직업인과 일반인을 구분하여 인체 보호 기준을 적용하는 것이다. 개정된 SAR 기준은 표 2와 같다<sup>[5]</sup>.

또한 대표적인 국제 인체 보호 기준으로 ICNIRP 기준이 있다. ICNIRP의 전자기장 기준은 전 세계적으로 가장 엄격하며, 우리나라의 전자기장 기준도 개정 전의 ICNIRP 기준과 동일하다<sup>[6]</sup>. ICNIRP의 SAR 기준을 표 3에 나타내었다. 본 논문에서는 1 g SAR 값을 분석하여 국내 인체 보호 기준과 비교하고, 10

표 2. 국내 SAR 기준

Table 2. Korean SAR limits.

구분	전신 [W/kg]	머리·몸통 [W/kg]	사지 [W/kg]
일반인	0.08	1.6	4
직업인	0.4	8	20

\* 주파수: 100 kHz~10 GHz

\* 조직 질량(국부): 1 g

표 3. ICNIRP SAR 기준

Table 3. ICNIRP SAR limits.

구분	전신 [W/kg]	머리·몸통 [W/kg]	사지 [W/kg]
일반인	0.08	2	4
직업인	0.4	10	20

\* 주파수: 10 MHz~10 GHz

\* 조직 질량(국부): 10 g

g SAR 값을 분석하여 ICNIRP 기준과 비교할 것이다.

### 2-4 직립 자세에 대한 인체영향 분석

인체영향을 분석하기 위한 시뮬레이션은 FDTD (Finite Difference Time Domain method) 기반의 상용 소프트웨어 XFdtd(REMCOM 社) 6.6을 이용하여 수행하였다. 시뮬레이션 수행 시 사용된 수치 팬텀 모델은 그림 2에 나타난 ETRI에서 개발한 한국인 남성 표준 인체 모델<sup>[7]</sup>이며, 그림 2의 ID는 인체 조직 번

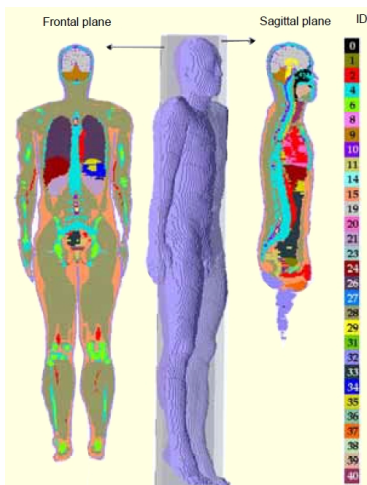


그림 2. 한국인 성인 남성 표준 모델  
Fig. 2. Korean standard male model.

표 4. 조직 종류 및 조직 번호

Table 4. Tissue types and tissue ID's.

ID	조직 구분	ID	조직 구분
1	Bladder	2	Blood
4	Bone cortical	6	Bone marrow
8	Cartilage	9	Cerebellum
10	Cerebrospinal fluid	11	Colon(large intestine)
14	Eye	15	Fat
19	Grey matter	20	Heart
21	Kidney	23	Lens
24	Liver	26	Lung
28	Muscle(transverse fiber)	29	Nerve(spinal cord)
32	Skin(wet)	33	Small intestine
34	Spleen	35	Stomach, esophagus, duodenum
36	Tendon	37	Testis, prostate
39	Tongue	40	Trachea

호를 의미한다. 조직의 전신 모델의 경우 근육, 지방 등 총 26개의 조직으로 구성되어 있으며, 이를 표 4에 나타내었다. 모델링된 칩 안테나의 위치를 표 1의 시나리오에 따라 변경하며 각 위치에 따른 인체 노출량을 분석하였다.

1 g SAR와 10 g SAR를 각각 분석하였으며, 국내 인체 보호 기준 및 ICNIRP 기준과 비교하였다. 그림 3은 한국인 남성 표준 인체 모델에 송신 안테나를 위치시킨 시뮬레이션 환경을 나타낸 것이다.

개발 중인 전투원 착용 통신 기기의 최대 입력 전력이 50 mW임을 고려하여, 1 g SAR, 10 g SAR를 각 경우에 대해 입력 전력을 50 mW로 설정한 후 분석하여 그림 4에 나타내었다. 국내 인체 보호 기준과 비교하기 위해 1 g SAR를 기준으로 했을 때, 최악의 경우는 송신 안테나가 귀에 위치한 경우이며, 정수리, 심장 등의 경우에도 SAR 값이 높게 나타났다. 10 가지 시나리오 중 손목에 송신 안테나가 위치한 경우도 SAR 값이 다소 큰 편이지만, 손목의 경우, 사지에 속하므로 머리에 속하는 귀보다 상대적으로 위험도는 더 낮을 것으로 판단할 수 있다.

송신 안테나가 귀에 위치한 경우, 1 g SAR, 10 g SAR를 국내 인체 보호 기준과 ICNIRP 기준에 적용하여 인체 보호 기준을 만족시키는 최대 허용 전력을 계

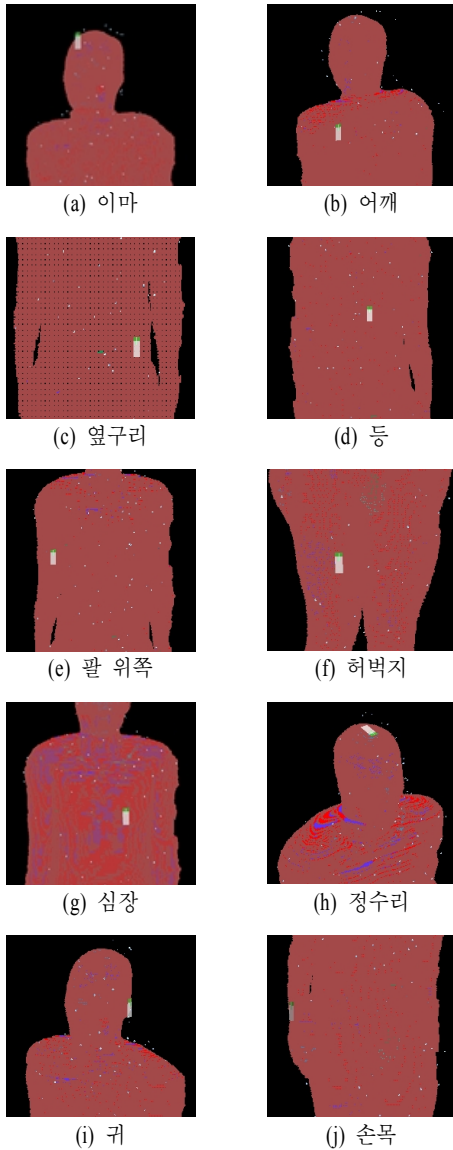


그림 3. 송신 안테나 위치  
Fig. 3. Position of transmitter.

산해 표 5에 나타내었다. 최대 허용 전력의 경우, 일반인을 기준으로 하였을 때 14 mW이지만, 전투원은

표 5. 최대 허용 전력(송신 안테나 위치: 귀)  
Table 5. Maximum input power below guideline(position of transmitter: ear).

구분	일반인 기준 [mW]	직업인 기준 [mW]
1 g SAR	14	71
10 g SAR	53	267

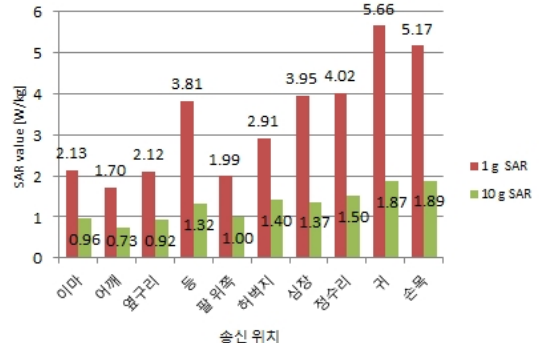


그림 4. 시나리오 별 SAR 특성  
Fig. 4. SAR characteristics for each scenarios.

직업인으로 분류할 수 있으므로 최대 71 mW까지 사용 가능함을 확인할 수 있다.

### 2-5 변환된 자세에 대한 인체영향 분석

현재 인체영향 분석에 사용되는 ETRI에서 개발한 한국인 남성 표준 인체 모델은 자세가 직립형으로 고정되어 있어서 다양한 자세에 대해 시뮬레이션이 불가능한 구조이다. 하지만 실제 상황에서 전자파에 인체가 노출되었을 때 인체가 취할 수 있는 자세는 매우 다양하며, 정확한 인체영향 분석을 위해서는 직립형의 기존의 인체 팬텀을 활용한 분석과 더불어 다양한 자세에 대해서도 분석해 보아야 한다. 따라서 본 연구팀에서는 자세 변환이 가능한 S/W를 개발하여 인체영향 분석을 수행하였다.

본 논문에서는 전투원 신체 주변의 통신기기에 의한 인체영향을 분석하므로, 변환하고자 하는 자세는 전장에서 전투원이 취할 수 있는 자세를 고려하여 결정하였다. 실제 전투원의 자세는 매우 다양하겠지만, SAR 값에 영향을 미칠 수 있는 대표적인 2 가지 자세를 선택하여 자세 변환과 분석을 수행하였다. 첫 번째 자세는 총기를 들고 서서 경계하는 것과 같이 다리를 약간 벌리고 서서 팔을 구부린 자세이고, 두 번째 자세는 앉아서 총기를 들고 총을 쏘는 것과 같이 두 다리를 구부리고 앉아서 팔을 약간 구부린 자세이다. 변환된 자세는 그림 5, 6에 나타내었다. 앞서 직립형의 인체 팬텀은 10 가지 시나리오에 대해 인체영향을 분석하였지만, 변환된 인체 팬텀에 대해서는 옆구리, 허벅지, 심장, 손목에 대해서 시뮬레이션을 수행하여 송신 안테나의 위치에 따른 인체

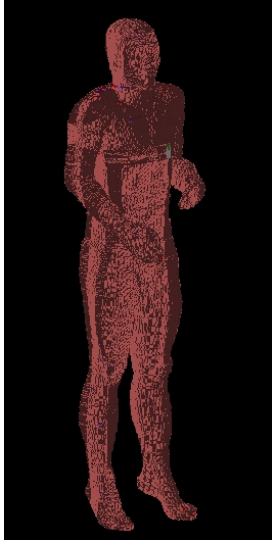


그림 5. 변환된 자세 1  
Fig. 5. Posture 1.

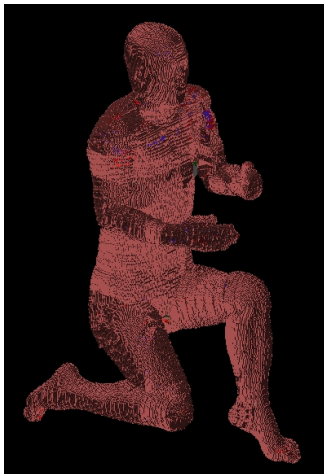


그림 6. 변환된 자세 2  
Fig. 6. Posture 2.

영향을 분석하였다. 4가지 위치를 선택한 근거는 기존의 직립형의 인체 팬텀과 비교했을 때, 자세 변화로 인해 위치가 변동되어 차이가 발생할 것으로 추정되기 때문이며, 귀에 대한 노출은 변환된 자세에 대해서도 동일하기 때문에 분석 대상에서 제외하였다.

동일한 송신 위치에 대해 자세에 변화에 따른 SAR의 변화를 50 mW 입력에 대한 1 g SAR, 10 g SAR를 각각 비교하여 그림 7, 8에 나타내었다.

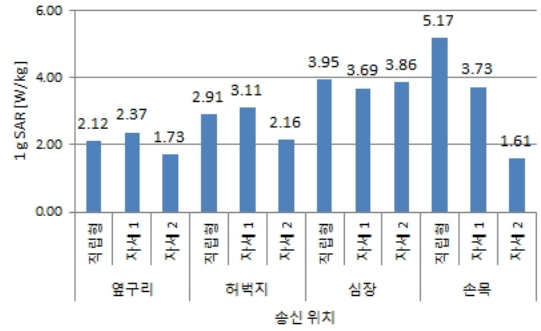


그림 7. 자세에 따른 1 g SAR 변화  
Fig. 7. Variation of 1 g SAR according to the posture.

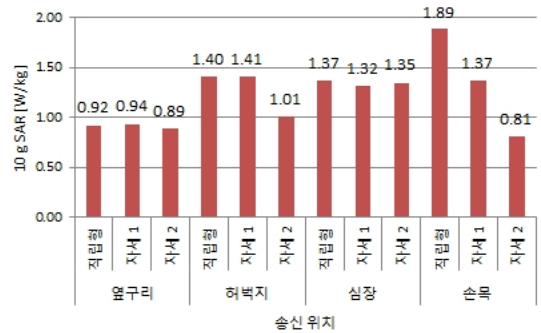


그림 8. 자세에 따른 10 g SAR 변화  
Fig. 8. Variation of 10 g SAR according to the posture.

위의 2개의 그래프를 살펴보면, 1 g SAR와 10 g SAR 모두 자세나 송신 안테나의 위치에 따른 SAR의 크기 변화가 비슷한 경향을 보임을 확인할 수 있다. 위의 4 가지 송신 안테나 위치 중 옆구리나 심장의 경우, 자세가 변경되었다고 하더라도 안테나로부터 인체 해당 부위까지의 거리가 거의 같기 때문에 노출량 값이 거의 유사하지만, 자세 1의 경우 옆구리와 허벅지의 노출량이 다소 증가하였다. 자세 1의 허벅지와 자세 1, 2의 손목의 경우, 자세가 변하면서 직립형에 비해 안테나와 인체 해당 부위의 거리가 멀어지기 때문에 SAR 값이 감소하였다.

결론적으로 본 논문에서 분석한 직립 자세 및 변환 자세에 대한 모든 시나리오 중에서 귀 부분이 송신 안테나에 노출되었을 때 인체에 흡수된 SAR 값이 가장 큰 것으로 나타났으며, 50 mW 입력 전력에 대한 1 g 및 10 g SAR 값이 각각 5.66 W/kg, 1.87 W/kg이다. 전투원 착용 통신기기에 대해서는 선행 연구가 없기 때문에 가까이 대고 통화하는 휴대폰의



측정치와 본 논문의 결과를 비교해 보았다. 출시되는 folder형 기기의 24 mW 입력에 대한 1 g SAR 값은 기기별로 차이가 있으나, 최대 약 1.2 W/kg 정도로서<sup>[8]</sup> 본 논문의 결과에 비해서 다소 낮다. 그 이유는 본 논문의 안테나는 귀에 밀착되어 있으나, folder형 휴대폰의 경우 안테나의 위치가 다르고, 송신 안테나도 귀에 밀착되지 않으며, 또한 측정에 사용되는 머리 팬텀과 본 논문에 사용된 수치 팬텀의 모양도 다소 차이가 있기 때문인 것으로 판단된다.

### III. 결 론

본 논문에서는 전투원 신체 주변 통신기기의 인체영향을 분석하기 위해 ETRI에서 개발한 한국인 남성 표준 인체 모델과 본 연구팀에서 개발한 자세제어가 가능한 S/W를 사용하여 2 가지로 변환된 자세의 인체 팬텀에 대해 시뮬레이션을 수행하고 인체영향을 분석하였다. 분석한 모든 시나리오 중에서 최악의 경우는 귀 부위가 노출되는 경우로서, 이는 귀 부분의 구조 차이도 있지만, 귀 조직은 피부와 연결로 구성되어 있으나, 다른 부분은 피부 밑에 유전율과 도전율이 피부에 비해 상당히 적은 지방층이 있기 때문인 것으로 판단된다. 직업인에 해당되는 전투원의 경우 1 g SAR를 기준으로 했을 때 최대 허용 전력은 약 70 mW, 10 g SAR를 기준으로 했을 때 최대 허용 전력은 약 265 mW로서, 분석 대상 기기의 예상 입력 전력이 50 mW이기 때문에 국내 인체 보호 기준을 적용하더라도 기준을 초과하지 않음을 확인하였다. 현재 인체 주변 통신 시스템 개발 및 활용이 활발히 진행되고 있기 때문에, 시스템 개발 과정에 병행하여 인체영향을 정밀 분석할 필요가 있으

며, 특히 실제 시스템에서 다양한 자세에 대한 인체 노출량이 달라질 수 있기 때문에 자세의 영향도 분석할 필요가 있는 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

- [1] 황정섭, 백해현, "네트워크 중심전을 위한 군 저보 통신 장비 기술/발전 동향", 한국전자과학기술지 전자과학기술, 19(4), pp. 15-32, 2008년.
- [2] 남홍순, 이형수, 김재영, "WBAN 응용서비스 동향", 전자통신동향분석, 24(5), pp. 109-118, 2009년 10월.
- [3] 구재일, 안준오, "MICS 주파수 및 기술 기준", 주간기술동향, 1326, 2007년 12월.
- [4] 이병남, 박웅, 강성원, 황정환, 이상근, "인체통신 분야의 특허 동향 분석", 전자통신동향분석, 25(3), 2010년 6월.
- [5] 방송통신위원회고시, 제2012-2호 전자파인체 보호 기준, 2012년 1월.
- [6] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection(ICNIRP), "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields(up to 300 GHz)", *Health Physics Society, Health Physics Journal*, vol. 74, no. 4, pp. 494-522, 1998.
- [7] Ae-kyoung Lee, Woo Young Choi, Min Suk Chung, Hyung-do Choi, and Jae-ick Choi, "Development of Korean male body model for computational dosimetry", *ETRI Journal*, vol. 28, no. 1, pp. 107-110, Feb. 2006.
- [8] 국립전파연구원 자료 참조.

### 서 민 경



2011년 2월: 충남대학교 전자전파 정보통신 (공학사)  
 2011년 3월~현재: 충남대학교 전자공학과 석사과정  
 [주 관심분야] 전자파 인체영향, 전자파 전파

### 최 증 원



1989년 2월: 충남대학교 계산통계학과 (이학사)  
 1993년 8월: 충남대학교 계산통계학과 (이학석사)  
 1997년 8월: 충남대학교 전산학과 (이학박사)  
 1997년 7월~현재: 국방과학연구소 책임연구원

[주 관심분야] 전술통신, 위성통신, 바이오통신, 정보융합

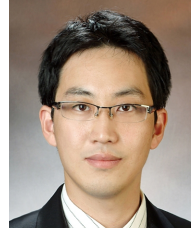
고 종 환



2004년 2월: 서울대학교 기계항공공학부 컴퓨터공학부 (공학사)  
2006년 2월: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (공학석사)  
2006년 3월~현재: 국방과학연구소 연구원  
[주 관심분야] 전송통신체계, VoIP,

WBAN

박 주 만



2009년 2월: 경남대학교 전자공학과 (공학사)  
2011년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)  
2011년 2월~2011년 10월: 경북대학교 의공학연구소 연구원  
2012년 4월~현재: 국방과학연구소 연구원  
[주 관심분야] 전송통신체계, VoIP, SoC

이 현 성



1993년 2월: 한밭대학교 전자공학과 (공학사)  
1997년 2월: 충북대학교 전자공학과 (공학석사)  
2010년 2월: 충북대학교 전자공학과 (공학박사)  
2011년 10월~현재: 국방과학연구소 연구원

소 연구원

[주 관심분야] RF system, Network

백 정 기



1978년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)  
1985년 9월: Virginia Tech. 전자파전파 (공학석사)  
1988년 9월: Virginia Tech. 전자파전파 (공학박사)  
1978년 3월~1983년 2월: 국방과학연구소  
1988년 10월~1989년 2월: 한국전자통신연구원  
1989년 3월~1995년 2월: 동아대학교 전자공학과 부교수  
2009년 1월~2009년 12월: 한국전자과학회 학회장  
1995년 2월~현재: 충남대학교 전자공학과 교수  
2002년 3월~현재: 충남대학교 전자파환경기술연구(EMERC) 센터장  
[주 관심분야] 전자파 전파, 전자파 산란, 전자파 인체영향