

인체 착용형 휴대 단말기에 대한 노출량 해석 연구

Dosimetric Analysis for Human Exposure to Body-Mounted Wireless Devices

박민영 · 고재옥 · 김정란 · 백정기

Min-Young Park · Chae-Ok Ko · Jeong-Ran Kim · Jeong-Ki Pack

요 약

현재 다양한 종류의 무선 단말기가 상용화 되어 있다. 그러나 연구의 대부분이 휴대폰에 의한 생체 영향에만 국한되어 있는 실정이다. 본 논문에서는 두부 착용형과 손목 착용형 같은 인체 착용형 단말기에 대한 인체 영향을 분석하였다. 외국인 성인 모델과 한국인 성인 모델 그리고 외국인 청소년 모델을 대상으로 FDTD 기법을 적용하여 SAR을 계산하였다. 또한 시뮬레이션 결과를 검증하기 위해 간단한 구조의 head-mounted display 장치에 대한 노출량을 SAM 팬텀을 이용하여 측정하였다. 노출량 평가 결과 인체 착용형 단말기 노출에 대해 어린이가 더 취약한 것으로 나타났으며 이러한 기기가 휴대폰에 비해 출력이 상대적으로 낮음에도 불구하고 인체에 영향을 미칠 수도 있는 것으로 평가되었다.

Abstract

A variety of wireless devices are commercially available now. Most of studies, however, have been directed to the biological effects of mobile-phone EMF. In this paper, dosimetric analysis for wireless devices of head-mounted display type and a wristwatch type were made to investigate possible biological effects of these devices. SAR(Specific Absorption Rate) distributions were calculated using FDTD(Finite Difference Time Domain) method, for adult human models such as standard Korean human model and VHP(Visible Human Project) model, as well as scaled child models. Measurements were also performed for SAM phantom wearing a simplified prototype for a wireless device for validation of the simulation results. It has been found that children are more vulnerable to such exposure, and these devices could cause some biological effects even for relatively lower power compared to conventional mobile phones.

Key words : SAR, Head-Mounted Display, Wristwatch-Type Phone, Biological Effects, Dosimetry

I. 서 론

유비쿼터스 시대에는 인간 중심 공간에서 인체에 착용된 장치 및 주변의 장치 간 새로운 무선 통신 기술의 정립에 의해 인간 중심의 정보 전달 체계가 구축될 전망이다. 이러한 새로운 형태의 무선 통신 기기에 의한 전자파 흡수율을 분석하기 위해서 현재 개발되어 판매되고 있는 인체 착용형 단말기의 전형

적인 prototype system을 분석 대상으로 선정하여 모델링한 후 시뮬레이션을 수행하였다. 본 논문에서는 SAR 해석 프로그램인 SEMCAD와 XFDTD를 이용해서 VHP(Visible Human Project) 성인 모델과 VHP 모델을 scaling 한 어린이 모델, 그리고 한국인 성인 모델에 대해서 SAR을 해석하였다. 또한 측정을 통해 시뮬레이션 결과에 대한 타당성을 입증하였다. 현재 전세계적으로 인체 착용형 휴대 단말기에 대한 연구

「본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(EMERC).」
 충남대학교 전파공학과(Dept. of Radio Science and Engineering, Chungnam National University)

· 논문 번호 : 20051105-19S

· 수정완료일자 : 2006년 1월 4일

가 활발히 이루어지고 있으며, 여러 종류의 시스템이 상용화되어 판매되고 있으나 대표적으로 두부 착용형 기기로서 MicroOptical사의 DV-1 wireless digital viewer, 손목 착용형 단말기로서 SAMSUNG의 GPRS wristwatch phone을 본 논문의 분석 대상으로 선정하였다.

II. 노출량 해석

2.1 두부 착용형 단말기에 대한 SAR 해석

앞의 두부 착용형 단말기의 실례에서 제시한 MicroOptical사의 DV-1 wireless digital viewer의 display를 그림 1과 같이 모델링 하였다. 모델링한 display는 2.4 GHz 대역의 다이폴 안테나가 display의 옆 프레임 쪽에 장착된 head-mounted display 구조이다^[1]. 시뮬레이션 시 사용된 비유전율과 도전율을 표 1에 나타내었다.

Head-mounted display의 경우, 안테나가 측면에 위치한 경우와 정면에 위치한 두 가지 경우에 대하여 시뮬레이션 하였다. 얼굴 부분 중에 안구 부위는 열에 더 민감한 반응을 나타내므로 안테나가 정면에 위치한 경우는 측면에 위치했을 경우보다 더 최악의 경우를 나타낸다. 그리고 인종의 차이를 알아보기 위해 외국인 전신모델(VHP 모델)과 한국인 전신모델에 대하여 시뮬레이션을 하였다. 또한 요즘 휴대

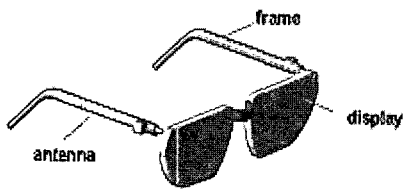


그림 1. Head-mounted display 구조
Fig. 1. Structure of head-mounted display.

표 1. Head-mounted display 모델링에 사용된 물질의 전기 상수

Table 1. Electrical properties of the material used for modeling the head-mounted display.

	도전율	비유전율
Display	0.01	4.5
Frame	0.02	3.5

표 2. VHP 모델과 13세 남자 어린이의 한국 표준 인체 치수

Table 2. Size of VHP adult model and standard 13 year-old Korean boy. [단위: mm]

	VHP model	13 year-old Korean model	Scale factor
Chest thickness	313.6	178.7	0.56
Chest width	549	260.9	0.48
Height	1,870	1,582.4	0.85
Head thickness	240	178.3	0.74
Head width	165	154.7	0.94
Head length	250	227	0.91

폰의 영향에 대해 많은 연구와 논란이 집중되고 있는 동일한 노출원에 대한 어린이와 성인의 인체 영향 차이를 알아보기 위해 어린이를 근사적으로 나타낼 수 있는 scaled VHP 전신 모델에 대해서도 시뮬레이션 하였다.

어른 모델을 단순히 스케일링하여 크기만 작게 한다고 하여 실제 어린이의 체형과 같다고 볼 수는 없지만 노출량에 대한 경향성을 살펴보기 위해 13세에 해당되는 남자 어린이의 인체 치수 표준 데이터 (<http://sizekorea.ats.go.kr/>)를 참고하여 scale factor를 결정하였다^{[2],[3]}. 본 논문에서는 머리 두께를 기준으로 하여 VHP 전신 모델을 0.74로 스케일링하여 13세 어린이 모델을 생성하였다. 스케일링 된 청소년 모델의 신장은 약 138 cm 정도이다.

VHP 전신 모델의 voxel size는 1×1×1 mm이고, 110개의 인체 조직으로 분류되어 있다. 110개의 인체 조직 중 FCC 조직 분류에 포함된 43개 조직에 대해서는 FCC의 전기 상수 데이터를 사용하였고, 그 밖의 조직은 조직적으로 가장 유사한 조직을 찾아 대응시켰다. 한국인 전신 모델의 voxel size는 3×3×3 mm이고, 모델의 조직 분류는 미국 FCC 모델을 참조하여 29개 조직으로 분류되어 있다.

그림 2는 VHP 전신 모델에 안테나가 옆쪽에 위치한 head-mounted display를 부착시킨 경우에 대한 주요 부분의 대한 SAR 분포도를 나타낸다. 그림 3은 VHP 전신 모델에 안테나가 앞쪽에 위치한 경우의 SAR 분포도이다. 그림 4와 5는 안테나가 옆쪽에 위치한 경위의 청소년과 한국인 전신 모델에 대한 SAR 분포도이다.

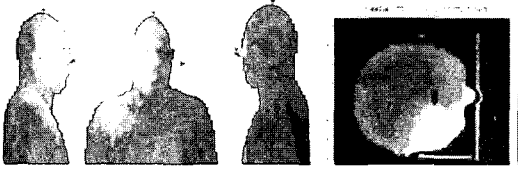


그림 2. 안테나가 옆쪽에 위치한 경우의 VHP 모델의 SAR 분포
 Fig. 2. SAR distribution in the VHP adult model when the antenna is located in the side frame.

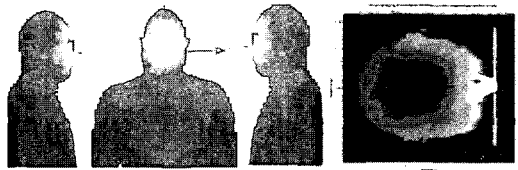


그림 3. 안테나가 앞쪽에 위치한 경우의 VHP 모델의 SAR 분포
 Fig. 3. SAR distribution in the VHP adult model when the antenna is located in the front frame.

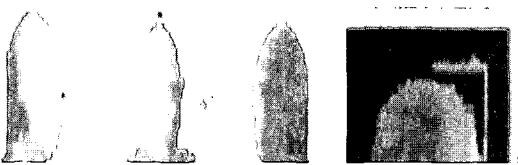


그림 4. 안테나가 옆쪽에 위치한 경우의 scaled VHP 모델의 SAR 분포
 Fig. 4. SAR distribution in the down-scaled VHP model when the antenna is located in the side frame.

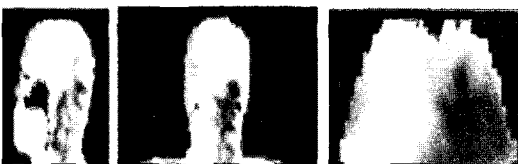


그림 5. 안테나가 옆쪽에 위치한 경우의 한국인 모델의 SAR 분포
 Fig. 5. SAR distribution in the Korean adult model when the antenna is located in the side frame.

2-2 손목 착용형 단말기에 대한 SAR 해석

앞의 손목 착용형 단말기의 실례에서 제시한 SAM-

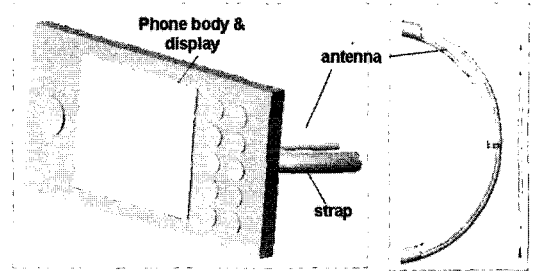


그림 6. Wristwatch type phone의 구조
 Fig. 6. Structure of wristwatch type phone.

표 3. Wristwatch phone의 모델링에 사용된 물질의 전기 상수

Table 3. Electrical properties of material used for modeling the wristwatch phone.

	도전율	비유전율
Phone body	0.04	4.0
Strap	0.0007	2.25
Display	0.01	4.5

SUNG의 GPRS wristwatch phone을 그림 6과 같이 모델링 하였다. 모델링한 wristwatch type phone의 안테나는 손목 부분에 감길 strap의 곡률과 같은 곡률을 이루고 있으며 2.4 GHz에서 공진하도록 안테나를 설계하여 모델링 하였다^[4]. 시뮬레이션 시 사용된 각 부분의 비유전율과 도전율은 표 3에 나타내었다.

Wristwatch type phone의 경우, 실제 사용 위치뿐만 아니라 최악의 경우를 고려하여 얼굴 정면의 입부위, 심장, 허리, 허벅지 부근에 위치시켜 시뮬레이션을 하였다. Head-mounted display에서와 마찬가지로 인종간의 노출량 차이, 연령간의 노출량 차이를 알아보기 위해 외국인 VHP 전신 모델, 한국인 전신 모델, scaled VHP 전신 모델에 대하여 시뮬레이션하고 그 결과를 비교하였다. 대표적으로 VHP 전신 모델에 시계 면이 얼굴 방향으로 위치하도록 하여 시뮬레이션 한 SAR 분포도를 그림 7에 나타내었고, 그림 8은 허리 부위에 위치시켰을 때의 SAR 분포도를 보인 것이다. 다양한 위치에 대한 해석 결과는 다음 절의 표 4에 정리하였다.

2-3 인체 착용형 단말기의 위치, 인종 및 연령에 따른 1 g SAR 값 비교

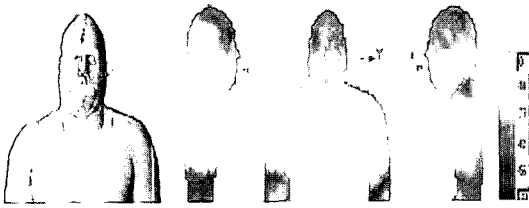


그림 7. Wristwatch-type phone이 입 앞쪽에 위치한 경우의 VHP 모델의 SAR 분포

Fig. 7. SAR distribution in the VHP adult model when the wristwatch-type phone is located in front of the mouth.

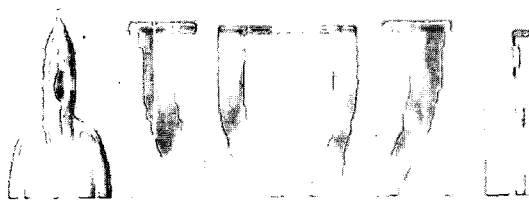


그림 8. Wristwatch-type phone이 허리에 위치한 경우의 VHP 모델의 SAR 분포

Fig. 8. SAR distribution in the down-scaled VHP model when the wristwatch-type phone is located in waist.

표 4. 인체 착용형 단말기의 위치, 인종 및 연령에 따른 1 g SAR 값 비교

Table 4. Summary of the maximum 1 g averaged SAR values. [단위: W/kg/W]

분류	두부 착용형		손목 착용형			
	안테나 측면 위치	안테나 정면 위치	입	심장	허리	허벅지
VHP Adult	13.15	23.82	5.23	2.33	6.38	2.49
Child (scaling factor: 0.74)	17.44	35.79	6.24	6.29	5.01	6.38
Korean Adult	15.00	31.60	7.97	4.24	5.03	4.18

앞에서 기술한 두부 착용형 단말기와 손목 착용형 단말기의 다양한 위치에 대해, 외국인 전신 모델, 한국인 전신 모델, 청소년 모델에 대한 net input power로 정규화 시킨 1 g SAR 값을 표 4에 정리하였다.

표 4에 정리된 결과를 살펴보면 인종 및 연령에 따른 1 g 평균 SAR 값은 허리 부위를 제외한 모든 경우 외국인 성인 모델에 비해 한국인 성인 모델의

노출량이 크고, 청소년 모델의 노출량이 가장 높게 나타났다. 이것은 신체 크기가 적은 경우 흡수되는 전체 전력은 관련된 신체 부위의 단면 크기에 비해 하므로 전체 흡수 전력 값은 적게 되지만, 각 조직의 상대적인 크기가 적어서 흡수된 전자기장이 더 localize 되므로 국부 SAR 값은 더 커지기 때문이다. 반면에 허리 부위의 경우에는 조직의 종류가 적고 크기가 작은 조직이 없어서 이러한 흡수 전자기장의 localize 현상이 없기 때문에 국부 SAR 값도 적게 나타나는 것으로 생각된다. 단, 입 부위의 경우 어린이 모델이 한국인 성인보다 다소 낮게 나타난 것은 이러한 크기에 따른 영향이 복합적으로 나타난 결과로 판단된다.

III. 노출량 측정

앞에서 기술한 시뮬레이션 결과의 타당성을 입증하기 위해 SAM 팬텀을 이용한 측정을 수행하였다. Head-mounted display는 렌즈가 없는 안경으로 대체하여 안경테의 옆에 반파장 다이폴 안테나가 부착되어 있는 구조이다. 주파수에 따른 영향을 알아보기 위해 1.8 GHz와 2.4 GHz의 두 대역에서 측정하였다. 그림 9는 SAR 측정 시스템과 SAM 팬텀에 head-mounted display를 부착한 모습이며, 표 5는 주파수에 따른 등가 두부 조직의 비유전율과 도전율이다^[5]. 플랫 팬텀을 이용한 시스템 검증에서 1 g SAR 값이 1.8 GHz와 2.4 GHz에서 각각 36.7 W/kg과 51.9 W/kg으로 목표 기준 SAR 값인 38.1 W/kg과 52.4 W/kg의 오차범위(±10%) 안에서 만족함을 확인하였다.

노출량 비교를 위해 동일한 SAM 팬텀에 대해 시뮬레이션을 수행하였고, 그림 10과 11은 1.8 GHz와 2.4 GHz에 대한 SAR 분포도이다. 표 6은 최대 1 g

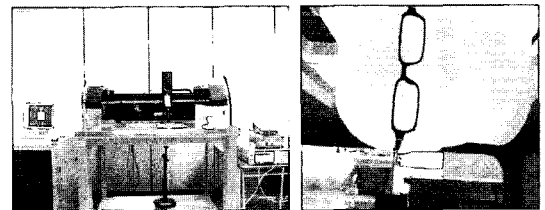


그림 9. SAR 측정 시스템과 간단한 구조의 head-mounted display를 부착시킨 SAM 팬텀

Fig. 9. SAR measurement system and SAM phantom mounted with the DUT.

표 5. 조직 등가 액체의 전기 상수
Table 5. Electrical properties of liquid phantom.

	1.8 GHz		2.4 GHz	
	비유전율	도전율	비유전율	도전율
Target value	40.0	1.4	39.2	1.8
Measurement	38.7	1.4	40.32	1.87

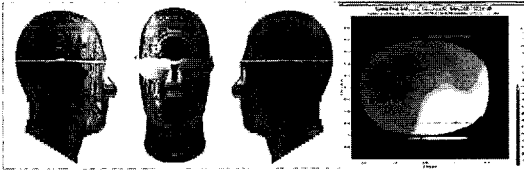


그림 10. 1.8 GHz에서 SAM 팬텀의 SAR 분포도
Fig. 10. SAR distribution in the SAM phantom for 1.8 GHz exposure.

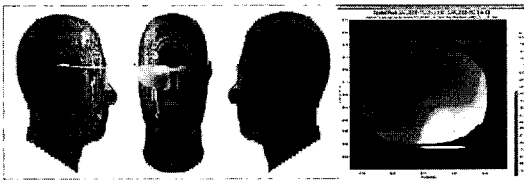


그림 11. 2.4 GHz에서 SAM 팬텀의 SAR 분포도
Fig. 11. SAR distribution in the SAM phantom for 2.4 GHz exposure.

표 6. 최대 1 g 평균 SAR 값 비교
Table 6. Comparison of the maximum 1 g averaged SAR values. [단위: W/kg/W]

Frequency	1.8 GHz	2.4 GHz
Measurement	22.89	29.24
Simulation	20.14	25.50
Diff[M-S] (%)	+13.65	-14.66

평균 SAR의 시뮬레이션과 측정값을 비교한 것으로 시뮬레이션 결과와 SAR 값이 측정치가 상당히 잘 일치함을 확인할 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 두부 착용형 단말기와 손목 착용형 단말기에 대한 전자파 노출량을 평가하였다. 인종, 연령간의 차이를 알아보기 위해 3 종류의 다른 인체모델을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 시뮬레이션 결과를 입증하기 위해 SAM 팬텀을 이용한 측정을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 외국인에 비해 한국인이, 그리고 성인에 비해 어린이가 이러한 인체 착용형 단말기 노출에 더 취약한 것으로 나타났다. 1 g 평균 SAR 값은 입력 전력이 100 mW 인 경우에는 두부 착용형 단말기의 경우 국내 인체 보호 기준치인 1.6 W/g을 초과할 수 있지만, 입력 전력이 10 mW일 때는 모든 경우 국내 인체 보호 기준의 22 % 이하임을 확인하였다. 그러나 인체 착용형 단말기 또는 인체 착용형 컴퓨터는 기존의 휴대폰에 비해 항상 켜 둔 상태로 장시간 노출된다는 점, 주된 노출 부위일 가능성이 큰 눈이나 생식기 부위는 전자파 노출에 상대적으로 취약하다는 점 등을 고려하면 인체 착용형 단말기나 인체 착용형 컴퓨터에 의한 노출량을 사전에 정밀 분석하고 이를 관련 제품의 설계 및 개발에 반영할 필요가 있다.

참 고 문 헌

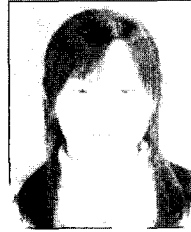
- [1] United States Patent No. US 6, 091, 546, 2000.
- [2] A. K. Lee, H. D. Choi, H. S. Lee, and J. K. Pack, "Human head size and SAR characteristics for handset exposure", *ETRI Jour.*, vol. 24, no. 2, pp. 176-179, Apr. 2002.
- [3] A. K. Lee, H. D. Choi, K. Y. Cho, W. Y. Choi, and M. S. Chung, "Effects of the outer shape of a head on SAR evaluation of a mobile phone", *BEMS 22th Annual Meeting Abstract Book*, pp. 130-131, Jun. 2000.
- [4] United States Patent No. US 6, 801, 476, 2004.
- [5] IEC/TC 106/84/FDIS, "Procedure to measure the specific absorption rate(SAR) in the frequency range of 300 MHz to 3 GHz - Part 1: hand-held mobile wireless communication devices", 2005.

박 민 영



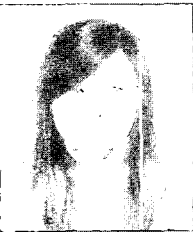
2004년 2월: 충남대학교 정보통신
공학부 (공학사)
2004년 3월~현재: 충남대학교 전
파공학과 석사과정
[주 관심분야] 생체 전자기학, 전파
공학

김 정 란



2006년 2월: 충남대학교 정보통신
공학부 (공학사)
[주 관심분야] 생체 전자기학, 전파
공학

고 채 욱



2004년 2월: 충남대학교 정보통신
공학부 (공학사)
2004년 3월~현재: 충남대학교 전
파공학과 석사과정
[주 관심분야] 생체 전자기학, 전파
공학

백 정 기



1978년 2월: 서울대학교 전자공학
과 (공학사)
1985년 9월: Virginia Tech. 전자파
전파 (공학석사)
1988년 9월: Virginia Tech. 전자파
전파 (공학박사)
1978년 3월~1983년 2월: 국방과학

연구소

1988년 10월~1989년 2월: 한국전자통신연구원
1989년 3월~1995년 2월: 동아대학교 전자공학과 부교수
1995년 2월~현재: 충남대학교 전파공학과 교수
[주 관심분야] 전자파 전파, 생체 전자기학