

인체 착용형 무선 단말기에 대한 노출량 해석

°박민영, 고채옥, 백정기

충남대학교 공과대학 전파공학과

mypark@cnu.ac.kr, cheaok@lycos.co.kr, jkpack@cnu.ac.kr

Analysis of SAR for body-mounted mobile phones

Min-Young- Park, Chea-Ok Ko, Jeong-Ki Pack

Dept. of Radio Science & Engineering, Chungnam Nat'l University

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 study, 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 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 for relatively lower power compared to conventional mobile phones.

key words : SAR, Head-mounted display, Wristwatch-type phone, Biological effects, Dosimetric

I. 서론

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. 전자파흡수율을 분석하기 위해서 현재 개발되고 있는 인체 착용형 단말기의 전형적인 prototype system을 분석대상으로 선정하여 모델링한 후 시뮬레이션을 수행하였다. 본 논문에서는 SAR 해석 프로그램인 SEMCAD와 XFDTD를 이용해서 VHP(Visible Human Project) 모델과 VHP 모델을 scaling 한 청소년 모델과 한국인 전신모델에 대해서 SAR 해석하였다. 또한 측정을 통해 시뮬레이션 결과에 대한 타당성을 보였다. 현재 세계적으로 인체 착용형 휴대 단말기에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 여러 종류의 시스템이 상용화되어 판매되고 있으나 대표적으로 두부 착용형으로 Xybernaut 사의 Poma와 MicroOptical 사의 DV-1 wireless digital viewer, 손목 착용형 단말기인

SAMSUNG의 GPRS wristwatch phone을 본 논문의 분석대상으로 선정하였다.

II. 노출량 해석

2.1 두부 착용형 단말기에 대한 SAR 해석

앞의 두부 착용형 단말기의 실례에서 제시한 MicroOptical 사의 DV-1 wireless digital viewer와 같은 display를 그림 1과 같이 모델링 하였다. 모델링한 display는 2.4 GHz 대역의 다이폴 안테나가 display의 옆 프레임 쪽에 장착된 head-mounted display 구조이다. 시뮬레이션 시 사용된 비유전율과 도전율은 표 1에 나타내었다.



그림 1. Head-mounted display

표. 1 매질의 전기 상수

	도전율	비유전율
Display	0.01	4.5
Frame	0.02	3.5

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 하였고, 요즘 휴대폰의 영향에 대해 많은 연구와 논란이 집중되고 있는 동일한 노출원에 대한 청소년과 성인의 인체영향 차이를 알아보기 위해 청소년을 근사적으로 나타낼 수 있는 scaled VHP 전신모델에 대해서도 시뮬레이션 하였다.

어른 모델을 단순히 스케일링하여 크기만 작게 한다고 하여 실제 청소년의 인체 형태와 같다고 볼 수는 없지만 경향성을 살펴보기 13세에 해당되는 남자 청소년의 인체치수 조사자료 (<http://sizekorea.ats.go.kr/>)를 참고하여 scale factor를 결정하였다. 본 논문에서는 머리두께를 기준으로 하여 VHP 전신모델을 0.74로 스케일링하여 13세 청소년 모델을 생성하였다. 스케일링 된 청소년 모델의 신장은 약 138 cm 정도이다.

표. 2 VHP 모델과 13세 남자어린이의 인체치수
[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	1870	1582.4	0.85
Head thickness	240	178.3	<u>0.74</u>
Head width	165	154.7	0.94
Head length	250	227	0.91

VHP 전신모델의 voxel size는 1 mm x 1 mm x 1 mm 이고, 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 매질을 찾아 대응시켰다. 한국인 전신모델의 voxel

size는 3 mm x 3 mm x 3 mm 이고, 모델의 조직 분류는 미국 FCC 모델을 참조하여 29개 조직으로 분류되어 있다.

그림 2는 VHP 전신모델에 안테나가 옆쪽에 위치한 head-mounted display를 부착시킨 모습과 주요 부분에 대한 SAR 분포도를 나타낸다. 그림 3은 VHP 전신모델에 안테나가 앞쪽에 위치한 경우의 SAR 분포도이다. 그림 4와 5는 청소년과 한국인 전신모델에 대한 SAR 분포도이다.

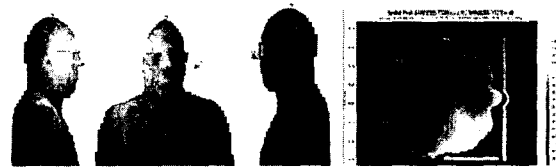


그림 2. 안테나가 옆쪽에 위치한 경우의 VHP 모델의 SAR 분포

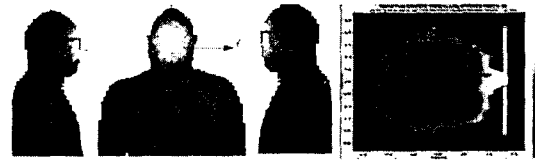


그림 3. 안테나가 앞쪽에 위치한 경우의 VHP 모델의 SAR 분포



그림 4. 안테나가 옆쪽에 위치한 경우의 scaled VHP 모델의 SAR 분포



그림 5. 안테나가 옆쪽에 위치한 경우의 한국인 모델의 SAR 분포

2.2 손목 착용형 단말기에 대한 SAR 해석

앞의 손목 착용형 단말기의 실례에서 제시한 SAMSUNG의 GPRS wristwatch phone을 그림 6과 같이 모델링 하였다. 모델링한 wristwatch type

phone은 손목부분에 감길 strap의 곡률과 같은 곡률을 이루고 있으며 2.4 GHz에서 공진하는 안테나를 설계하여 모델링 하였다. 시뮬레이션 시 사용된 비유전율과 도전율은 표 3에 나타내었다.

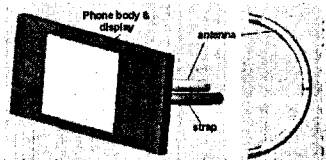


그림 6. wristwatch type phone

표. 3 매질의 전기 상수

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

Wristwatch type phone의 경우 실제 사용위치 및 최악의 경우를 고려하여 얼굴 정면의 입 부위, 심장, 허리, 허벅지 부근에 위치시켜 시뮬레이션을 하였다. Head-mounted display에서와 마찬가지로 인종간의 노출량 차이, 연령간의 노출량 차이 등을 알아보기 위해 외국인 VHP 전신모델, 한국인 전신모델, scaled VHP 전신모델에 대하여 시뮬레이션하고 그 결과를 비교하였다. 대표적으로 VHP 전신모델에 시계 면이 얼굴 방향으로 위치하도록 하여 시뮬레이션 한 SAR 분포도를 그림 7에 나타냈고, 그림 8은 허리 부위에 위치시켰을 때의 SAR 분포도이다. 나머지 결과는 표 4에 정리하였다.

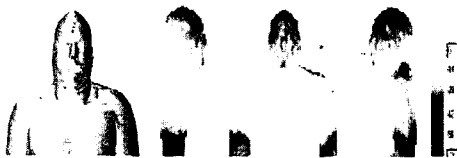


그림 7. VHP 모델에 Wristwatch-type phone이 입 앞쪽에 위치한 경우의 SAR 분포

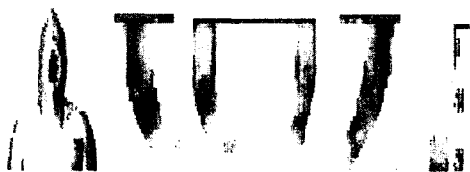


그림 8. VHP 모델에 Wristwatch-type phone이 허리에 위치한 경우의 SAR 분포

2.3 인체 착용형 단말기의 위치, 인종 및 연령에 따른 1 g SAR 값 비교

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

표. 4 인체 착용형 단말기의 위치, 인종 및 연령에 따른 1 g SAR 값 비교 [단위 : W/kg/W]

분류	두부 착용형		손목 착용형			
	안테나 측면 위치	안테나 정면 위치	입	심장	허리	허벅지
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	15.00	31.60	7.97	4.24	5.03	4.18

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 신체부위의 단면크기에 비례하므로 전체 흡수전력 값은 적게 되지만, 각 조직의 상대크기가 적어서 흡수된 전자기장이 더 localize 되므로 국부 SAR 값은 더 커지기 때문이다. 반면에 허리부위의 조직의 종류가 적고 크기가 작은 조직이 없어서 이러한 흡수전자기장의 localize 현상이 없기 때문에 국부 SAR 값도 적게 나타나는 것으로 생각된다.

III. 노출량 측정

앞에서 기술한 시뮬레이션 결과를 증명하기 위해 SAM 팬텀을 이용하여 측정을 하였다. 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 GHz 대역에서 측정 하였다. 그림 9는 SAR 측정 시스템

과 SAM 팬텀에 head-mounted display를 부착한 모습이다. 플랫폼 팬텀을 이용한 시스템 검증에서 1 g SAR값이 1.8 GHz와 2.4 GHz에서 각각 36.7 W/kg과 51.9 W/kg으로 목표 기준 SAR값인 38.1 W/kg과 52.4 W/kg의 오차범위(±10%) 안에서 만족함을 확인하였다. 표 5는 주파수에 따른 등가 두부 조직의 비유전율과 도전율이다.



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

표. 5 조직 등가 액체의 전기 상수

	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

비교를 위해 SAM 팬텀을 이용하여 시뮬레이션을 하였고, 그림 11과 12는 1.8 GHz와 2.4 GHz에 대한 SAR 분포도이다. 표 6에 최대 1 g 평균 SAR의 시뮬레이션과 측정값을 비교하였다. 시뮬레이션 결과 SAR값이 측정치와 매우 잘 일치함을 확인하였다.

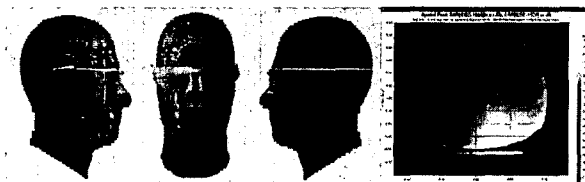


그림 11. 1.8 GHz에서 SAM 팬텀의 SAR 분포도

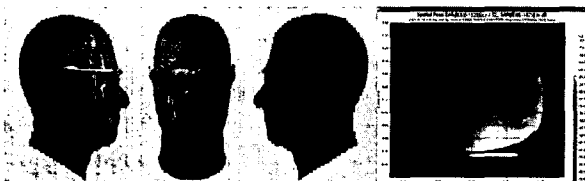


그림 12. 2.4 GHz에서 SAM 팬텀의 SAR 분포도

표. 6 최대 1 g 평균 SAR 값 비교

[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

IV. 결론

본 논문에서는 두부 착용형 단말기와 손목 착용형 단말기에 대해 전자파 노출량을 해석하였다. 인종, 연령간의 차이를 알아보기 위해 3종류의 다른 인체모델을 사용하여 시뮬레이션을 하였다. 또한 측정을 통해 시뮬레이션 결과와 비교해보았다. 인체 착용형 단말기 노출에 의한 국부 SAR 값은 입력전력이 100 mW 인 경우에는 두부착용형 단말기의 경우 국내 인체보호기준치를 초과하지만, 입력전력이 10 mW 일 때는 모든 경우 국내 인체 보호기준의 22 % 이하임을 확인하였다. 그러나 인체 착용형 단말기 또는 인체착용형 컴퓨터는 기존의 휴대폰에 비해 항상 켜 둔 상태로 장시간 노출된다는 점, 주된 노출 부위일 가능성이 큰 눈이나 생식기 부위는 전자파 노출에 상대적으로 취약하다는 점을 고려하면 인체 착용형 단말기나 인체 착용형 컴퓨터에 의한 노출량을 정밀분석하고 이를 관련 제품의 설계 및 개발에 반영할 필요가 있다.

참고문헌

- [1] 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, June 11-16, 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] "Eyeglass interface system", United States Patent 6,091,546, 2000.
- [4] Rekimoto J, "GestureWrist and GesturePad : Unobtrusive Wearable Interaction Devices", the Fifth International Symposium on Wearable Computers, 2001.
- [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.