

휴대폰 전자파에 노출된 頭部내 SAR 저감을 위한 전자파 흡수체 적용 방법 연구

An Applicable Method of an Electromagnetic Wave Absorber for SAR Reduction in the Human Head Exposed to Electromagnetic Fields Radiated by a Cellular Phone

이윤경 · 백락준* · 홍진옥** · 육재림*** · 윤현보

Yun-Kyung Lee · Rack-Jun Baek* · Jin-Ok Hong** · Jai-Lim Yuk*** · Hyun-Bo Yoon

요 약

본 논문은 휴대폰 전자파에 노출된 頭部에서 SAR 값을 저감하기 위하여 전자파 흡수체를 단말기 표면에 부착하여 해석 및 측정하였다. 개발된 전자파 흡수체는 Mn-Zn계로 구성되었으며, 유전율은 7.30-j0.05이고, 투자율은 2.20-j1.55이다. 전자파 흡수체 부착에 의한 SAR 값은 비선형 FDTD 알고리즘을 적용하여 계산하였으며, 동작주파수 835 MHz에서 phantom 모델을 제작하여 SAR 값을 측정하였다. 그 결과, 전자파 흡수체 부착에 의한 SAR 값은 약 18 % 감소하였고, 안테나의 정재파비 및 패턴은 기존의 것과 거의 일치하였으며, 이득은 약 0.3 dB 감소하였다. 그러나 휴대폰의 수신감도는 전반적으로 약 1 dB 향상되었다.

Abstract

In order to reduce the specific absorption rate(SAR) in a human head exposed to electromagnetic fields radiated by a cellular phone, we have analyzed an electromagnetic wave absorber attached to the handset. A manufactured electromagnetic wave absorber was composed of Mn-Zn, which had complex relative permittivity of 7.30-j0.05 and permeability of 2.20-j1.55. The SAR value from the electromagnetic wave absorber attachment was calculated by using the nonuniform finite difference time domain(FDTD) algorithm and measured by phantom model at 835 MHz. The SAR reduction due to the electromagnetic wave absorber are about 18 % at 835 MHz. The V.S.W.R and radiation pattern of antenna are good agreement with the normal antenna. The gain reduction due to the electromagnetic wave absorber are only 0.3 dB at 835 MHz. But the sensitivity of cellular phone generally improves about 1 dB.

Key words : SAR(Specific Absorption Rate) Reduction, Electromagnetic Wave Absorber

I. 서 론

최근 들어 정보통신기술의 급속한 발전과 더불어 다양한 무선통신서비스의 사용이 증가하고 있고, 전

기·전자 산업의 눈부신 발전으로 우리는 일상생활에서 편리함과 풍요로움을 누리게 된 반면 전자파에 의한 통신 장애와 가정·산업용 전기·전자 기기의 오동작 등 문제점이 발생하고 있다.

동국대학교 전자공학과(Dept. of Electronics Engineering, Dongguk University)

*㈜Voxaura Technology(Voxaura Technology Inc.)

**㈜삼우테크놀로지(Samwoo Technology Inc.)

***전파연구소(Radio Research Laboratory)

· 논문 번호 : 20030418-061

· 수정완료일자 : 2003년 6월 16일

특히, 휴대폰 이용이 증대하면서 이로부터 방사되는 전자파에 노출된 인체 危害에 대한 사회적 관심이 고조되고 있으며, 또한 국내·외 전자파에 의한 인체 보호 기준의 강화로 인한 SAR 저감 기술 개발에 대한 연구가 필요하다.

SAR 값을 줄이기 위하여 안테나의 구조 및 급전점 위치, 안테나와 두부 사이의 거리 및 기울어진 각도, 전자파 흡수체 부착, 단말기 차폐 등에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^{[1]-[4]}. 특히 전자파 흡수체를 안테나 내부에 비드 형태로 끼우거나 안테나에 바르는 경우 SAR 값이 줄어드나 안테나의 성능이 떨어지는 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 전자파 흡수체를 안테나가 아닌 단말기에 부착함으로써 휴대폰 전자파에 노출된 頭部내 SAR 저감효과를 해석하고 측정하였으며, 또한 안테나 및 휴대폰의 성능 또한 측정하였다.

개발된 페라이트 전자파 흡수체는 Mn-Zn, Co- γ -Fe₂O₃ 및 BaO_nSy O_{1-n}6Fe₂O₃로 구성되었으며, 공선로(air line)와 Network Analyzer를 이용한 전송선로 방법으로 측정된 유전율 및 투자율 값은 각각 7.30 -j0.05, 2.20 -j1.55이며, 페라이트 sheet의 두께는 1 mm이다.

전자파 흡수체는 頭部를 향한 단말기 전체 면에 부착하였으며, 휴대폰 안테나로부터 방사되는 전자파가 頭部에 흡수되는 SAR 값은 비균일 단위격자를 이용한 비선형 FDTD 알고리즘을 적용하여 계산하였고, 동작주파수 835 MHz에서 phantom 모델을 제작하여 전파연구소에서 SAR 값을 측정하여 비교하였다. 또한 안테나의 정재파비, 방사패턴 및 이득을 측정하였으며, 휴대폰의 수신감도도 측정하여 전자파 흡수체에 의한 SAR 저감효과와 안테나의 제특성은 그대로 유지함을 확인하였다.

II. 비선형 FDTD 알고리즘에 의한 SAR값 계산

2-1 휴대폰 및 頭部 모델링

頭部에 흡수되는 SAR 값을 FDTD로 계산하기 위하여 그림 1과 같은 구조로 계산 영역을 모델링하였다^[5].

휴대폰은 $\lambda/4$ 모노폴 안테나가 도체 박스 위에

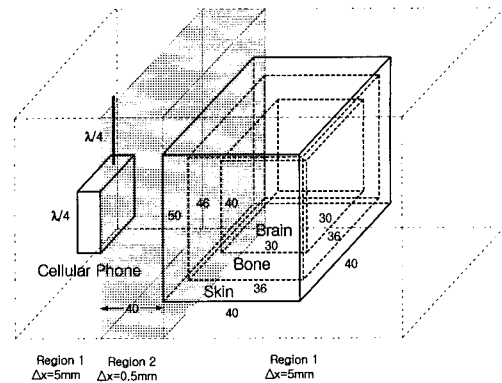


그림 1. 頭部 모형과 휴대폰의 계산 영역
Fig. 1. Computational region of head model and cellular phone.

부착된 구조를 사용하였으며, 모노폴 안테나는 전체 FDTD 셀의 감소를 위하여 가는 도선 근사법을 사용하여 모델링하였다. 또한 휴대폰에 부착되는 페라이트가 매우 얇은 것을 고려하여 전체 계산 영역을 그림 1과 같이 두 부분으로 나누어서, 휴대폰 및 頭部가 존재하는 영역 1의 단위 격자는 $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 5$ mm, 페라이트가 존재하는 영역 2는 $\Delta x = 0.5$ mm, $\Delta y = \Delta z = 5$ mm로 하는 비균일 단위격자의 크기를 갖는 비선형 FDTD 알고리즘을 적용하였다^[6].

안테나의 여기신호는 Gaussian 펄스 대신에 연속 정현신호를 사용하였으며, 신호 모델링은 주파수영역 해석 방법인 모멘트법(MOM) 등에서 도선의 여기신호로 이용하는 magnetic frill source 방법을 사용하였다. 안테나의 동작주파수는 835 MHz이고, 입력전력은 0.25 W이다.

頭部는 20×20×25 cm의 장방형의 구조로 하였으며, 구성 성분을 피부, 뼈, 그리고 두뇌로 간소화하여 모델링하였다. 각 조직의 비유전율 및 전도도는 표 1에 나타내었다.

표 1. 인체 두부 모델의 각 조직에 대한 전기적 특성
Table 1. Electrical characteristics of human head organization.

	비유전율	전도도
피부	23.0	0.63
뼈	5.4	0.04
두뇌	51.0	1.46

2-2 페라이트 종류에 의한 SAR 값 계산

개발 및 제조된 페라이트는 페 자기테이프로부터 분리 추출한 γ - Fe_2O_3 , C - γ - Fe_2O_3 및 액상의 화학 소재를 사용한 초미립의 산화물페라이트이다. 표 2 는 제조된 여러 종류의 페라이트의 유전율 및 투자 율 값을 측정하였으며, 페라이트는 頭部를 향한 단 말기 전체 면에 부착한 경우에 대해서 SAR 값을 계산하였다. 이 때 페라이트의 가로, 세로의 크기는 40 × 70 mm이며, 두께는 1 mm이고 휴대폰으로부터 2 cm 떨어진 거리에서 頭部에 흡수되는 1 g 평균 국 부 침투 SAR 값을 계산하였다.

그 결과 ㉔타입이 SAR 저감효과가 가장 컸으며, cellular 주파수 대역에서 적절한 두께의 페라이트 표면으로부터의 반사계수가 작아야 SAR 저감효과 가 크며, 계산결과로부터 유전율과 투자율이 크면서 특히 투자율 값이 클수록 SAR 값이 감소함을 알 수 있었다.

2-3 페라이트 모양에 의한 SAR 값 계산

페라이트 모양이 SAR 값에 미치는 영향을 살펴 보기 위해서, 그림 2와 같은 여러 가지 모양의 페라 이트를 휴대폰에 부착하여 SAR 값을 계산하였다. 그림 2는 頭部에서 본 휴대폰 도체박스의 모양을 나 타내는 것이다. 계산에 사용된 페라이트는 표 2에서

표 2. 페라이트 종류별 SAR 값 계산
Table 2. SAR calculation results for ferrite type.

종류	성분	유전율	투자율	SAR 저감(%)
㉔	Ni(Cu)+ $BaO_n SrO_{1-n} 6Fe_2O_3$	6.59 - j0.07	2.01 - j0.92	13.6
㉕	Mgt(Fe_3O_4)+Ep	18.3 - j1.73	1.21 - j1.30	15.0
㉖	Co-r- Fe_2O_3 +Hp	11.3 - j0.22	0.96 - j0.97	10.4
㉗	Hr+Mgt(Fe_3O_4)	14.28 - j0.91	1.10 - j1.22	12.4
㉘	Ni+Mg+2H ₂	6.57 - j0.07	2.50 - j1.05	15.5
㉙	MnZn	4.74 - j0.05	2.10 - j1.17	13.4
㉚	VHP 4:3:1	10.02 - j0.04	1.24 - j0.95	10.8
㉛	Ni+BaO	7.06 - j0.23	1.93 - j1.21	14.04
㉜	MnZn, Co- γ - Fe_2O_3 $BaO_n SrO_{1-n} 6Fe_2O_3$	7.30 - j0.05	2.20 - j1.55	16.60

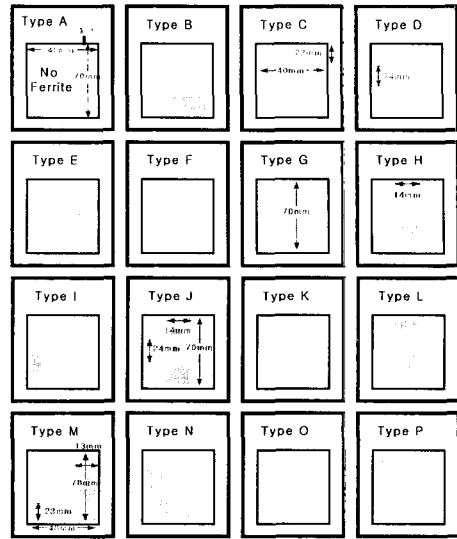


그림 2. SAR 계산에 적용된 페라이트 모양
Fig. 2. Ferrite shapes for SAR calculation.

㉔ 타입으로 유전율 및 투자율은 각각 7.30 - j0.05, 2.20 - j1.55이다.

그림 2의 각각의 페라이트 모양에 대해 頭部の SAR 값을 계산하여 표 3에 나타내었다. SAR 값의 감소율은 페라이트가 없는 경우인 1.38 mW/g에 대 비하여 계산되었으며, 도체 박스 전체에 페라이트를 부착한 B 타입의 SAR 값은 1.15 mW/g이고 이것을 제외하고는 안테나 쪽인 우측 부분과 도체 박스 하 단에 페라이트를 부착한 M 타입이 가장 많은 SAR 감소를 나타내었다.

전체 FDTD 계산영역을 단위격자 크기가 $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0.5$ mm인 균일한 경우로 해석하는 경우와 비교

표 3. 페라이트 모양에 따른 SAR 값
Table 3. SAR calculation results for ferrite shape.

페라이트 모양	SAR 저감율 (%)	페라이트 모양	SAR 저감율 (%)
Type A	0.00	Type I	5.19
Type B	16.10	Type J	7.62
Type C	1.95	Type K	11.69
Type D	2.27	Type L	7.46
Type E	2.67	Type M	12.69
Type F	4.07	Type N	11.01
Type G	7.34	Type O	7.46
Type H	5.63	Type P	8.46

하여 비선형 FDTD 알고리즘은 전체 계산 영역은 약 96 % 줄일 수 있으며, 계산 시간은 약 90 % 단축되었고, 결과 값은 ± 1 % 이내의 오차를 가졌다.

III. 실험 및 결과고찰

위의 여러 가지 페라이트의 종류 및 모양 중에서 ㉔ 타입 페라이트를 단말기 전체에 부착한 경우에 대해서 SAR 값을 측정하였으며, 안테나 및 휴대폰의 성능을 실험하였다.

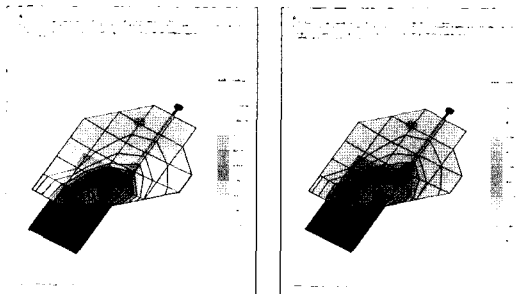
3-1 SAR 측정

전자파흡수율(SAR) 측정을 위해 인체 頭部 조직과 유사한 전기정수를 가지는 simulated liquid를 제작하였으며, 전기전도도(σ)는 0.91 mho/m이고, 상대유전율(ϵ_r)은 41.7이다. 측정에 사용한 휴대폰은 800 MHz 대역의 CDMA이며, 최대 연속 출력은 24 dBm으로 설정하여 측정하였다.

그림 3은 페라이트를 부착하지 않은 휴대폰과 페라이트를 단말기 전체에 부착한 경우에 대한 SAR 측정값이다.

SAR 측정결과, 페라이트를 부착하지 않은 휴대폰에서 1g 평균 국부 침투 SAR 값은 1.27 mW/g 이고, 페라이트를 단말기에 부착한 경우 SAR 값은 1.04 mW/g으로 약 18.11 % SAR 감소 효과를 얻었다.

SAR 저감 원인은 페라이트가 단말기 표면에 흐르는 전류를 억제함으로써 頭部로 방사되는 전자계 세기를 줄이고, 따라서 흡수되는 전자파가 감소함에 따른 SAR 감소효과를 가져왔다.



(a) 페라이트가 없는 경우 (a) without ferrite sheet
(b) 페라이트를 부착한 경우 (b) with ferrite sheet

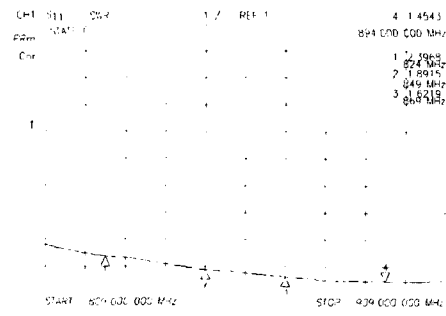
그림 3. 휴대폰에서 SAR 측정 결과
Fig. 3. The measured SAR value of cellular phone.

3-2 안테나의 성능 측정

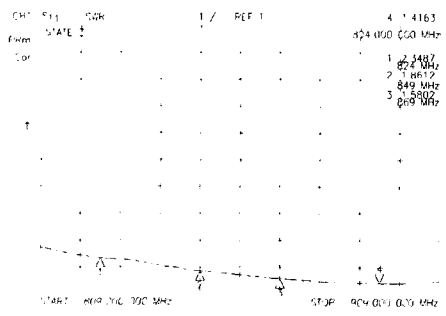
페라이트 부착에 의한 SAR 저감이 휴대폰 안테나에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 기존 휴대폰 안테나와 페라이트를 부착한 경우의 안테나에서 정재파비는 HP8722A Vector Network Analyzer로 측정하여 그 결과를 그림 4에서 비교하였으며 복사패턴은 무반사실(anechoic chamber)에서 E, H 패턴을 측정하여 그림 5에 나타내었다.

그림 4(a)는 페라이트를 부착하지 않은 Extended 모노폴 안테나의 정재파비로 동작주파수대역(824 MHz~894 MHz)에서 1.45~2.39이고, 그림 4(b)에서 페라이트를 부착한 경우, 정재파비는 1.42~2.35로 거의 일치하였다.

그림 5의 복사패턴에서도 페라이트 부착으로 인한 패턴 모양의 변화가 발생하지 않음을 보여주고 있으나 다만 수직패턴의 경우 0.33 dB, 수평패턴의 경우 0.36 dB의 이득이 감소되었다.

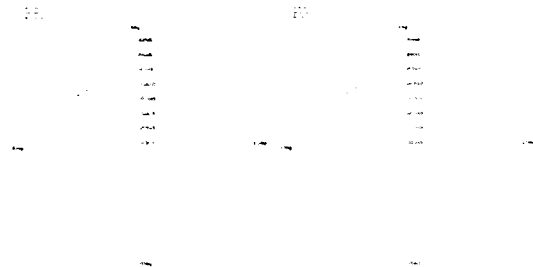


(a) 페라이트가 없는 경우
(a) without ferrite sheet



(b) 페라이트를 부착한 경우
(b) with ferrite sheet

그림 4. 휴대폰 안테나의 정재파비 측정
Fig. 4. The measured V.S.W.R. of cellular phone antenna.



(a) 페라이트가 없는 경우 (b) 페라이트를 부착한 경우
(a) without ferrite sheet(E1) (b) with ferrite sheet(E1)



(c) 페라이트가 없는 경우 (d) 페라이트를 부착한 경우
(c) without ferrite sheet(E2) (d) with ferrite sheet(E2)

(e) 페라이트가 없는 경우 (f) 페라이트를 부착한 경우
(e) without ferrite sheet (H-pattern) (f) with ferrite sheet (H-pattern)

그림 5. 휴대폰 안테나의 방사패턴 측정
Fig. 5. The measured radiation patterns of cellular phone antenna.

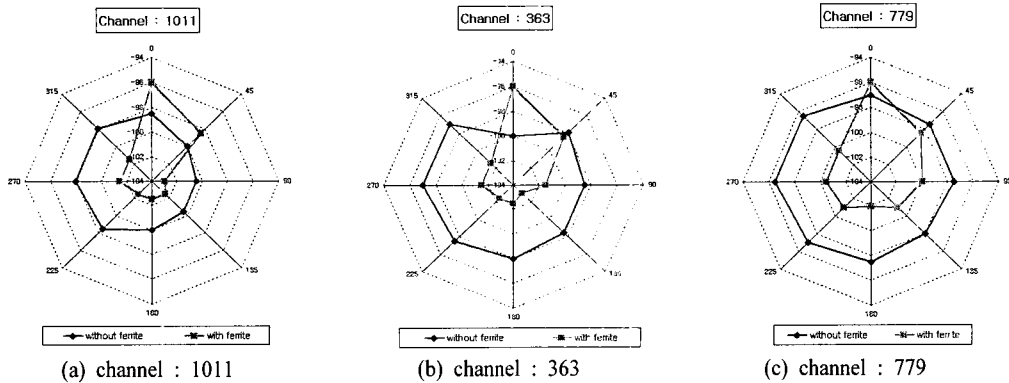


그림 7. 수신감도 측정값
Fig. 7. The measured sensitivity of cellular phone.

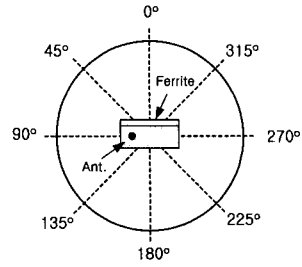


그림 6. 수신감도 측정을 위한 단말기 위치
Fig. 6. The position of handset for sensitivity measurement.

3-3 휴대폰의 성능 시험

휴대폰의 수신감도는 무반사실(anechoic chamber)에서 3개의 채널(표 4)에 대해 전방향을 45° 간격으로 HP8960과 표준 혼안테나를 이용하여 측정하였다. 측정결과는 그림 7에 나타내었으며, 페라이트를 부착한 0° 방향을 제외하고는 나머지 방향에서 전반적으로 수신감도가 향상됨을 확인할 수 있었다. 이는 휴대폰 자체 방사에 따른 보완 효과임을 알 수 있었다.

표 4. 채널 할당표
Table 4. Channel allocation.

이동국 송신(기지국 수신)			기지국 송신(이동국 수신)		
FA 번호	채널 번호	중심주파수 (MHz)	FA 번호	채널 번호	중심주파수 (MHz)
1	1011	824.64	1	1011	869.64
10	363	835.89	10	363	880.89
20	779	848.37	20	779	893.37

3-4 결과 고찰

기존 휴대폰과 페라이트를 부착한 휴대폰에서 SAR 값을 계산하고 측정하였으며, 페라이트 부착에 의한 안테나 및 휴대폰의 성능에 미치는 영향을 알아보았다.

그 결과, 측정된 SAR(1g)값은 1.04 mW/g으로 기존 휴대폰에 비하여 18.11 % 감소하였으나 안테나의 정재파비, 방사패턴은 기존의 것과 거의 일치하였으며, 다만 이득이 수직패턴에서 0.33 dB, 수평패턴에서 0.36 dB 감소하였다. 그러나 휴대폰의 수신감도는 전면에 페라이트를 부착한 0° 방향을 제외한 나머지 방향에서 3개의 채널에 대해 전반적으로 약 1 dB 정도 향상되었다.

단말기에 페라이트를 부착함으로써 단말기 표면에 흐르는 전류를 억제시킴으로써 SAR 값을 줄일 수 있었으며, 안테나가 아닌 단말기에 적용함으로써 안테나의 성능은 그대로 유지시켰다. 또한 휴대폰 자체방사에 대한 보완효과에 의한 수신감도도 향상됨을 확인하였다.

IV. 결 론

휴대폰 전자파에 노출된 頭部내 흡수되는 SAR 값을 저감하기 위하여 페라이트 전자파 흡수체를 개발하였으며, 안테나가 아닌 단말기에 적용함으로써 그 효과를 확인하였다.

페라이트 모양에 따른 SAR 값 계산은 비균일 단위격자를 갖는 비선형 FDTD 알고리즘을 적용하여 계산하였으며, phantom 모델을 제작하여 SAR 값을 측정하였다.

SAR 계산값은 페라이트가 없는 경우 1.38 mW/g이고, 페라이트를 단말기 전체 부착한 경우 1.15 mw/g로, 약 16.6 % 감소하였으며, 측정값과의 오차는 두부 및 휴대폰 모델링의 간소화에 따른 것으로 사료된다.

SAR 측정 결과는 페라이트가 없는 경우 1.27 mW/g, 페라이트를 부착한 경우, 1.04 mW/g으로 약

18.11 % 감소하였으며, 이는 계산 결과와 잘 일치하였으며, 안테나의 정재파비, 복사패턴도 기존의 것과 거의 일치하였으며, 휴대폰의 수신감도는 0°를 제외한 나머지 방향에서 전 채널에 대해 약 1 dB 향상됨을 확인할 수 있었다.

향후, 개발된 페라이트 물질의 두께와 유전을 및 투자율을 최적화하여 이동통신 단말기에 부위별 적용방법 연구가 앞으로 더 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Wang, Z. Chen, X., "A low SAR whip type mobile handset antenna", *Antennas and Propagation, 11th International Conference on (IEE Conf. Publ.)*, vol. 1, no. 480, pp. 352-355, 2001.
- [2] M. A. Mangoud, R. A. Abd-Alhameed, N. J. McEwan, "SAR reduction for Handset with Two-element Phased Array Antenna computed using Hybrid MOM/FDTD technique", *Electronic Letters*, vol. 35, no. 20, Sep. 1999.
- [3] Hsi-Tseng Chou, DaJen Wu, "Radiation of a handset monopole antenna in the presence of a finite shielding sheet for the purpose of sar reduction", *Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol. 1, pp. 452-455, 2002.
- [4] Jianqing Wang, O. Fujiwara and T. Takagi, "Effects of ferrite sheet attachment to portable telephone in reducing electromagnetic absorption in human head", *Electromagnetic Compatibility, International Symposium*, vol. 2, pp. 822-825, 1999.
- [5] 이윤경, 임현준, 우종우, 윤현보, "휴대폰 전자파에 노출된 頭部에 흡수되는 SAR의 FDTD에 의한 해석", *한국전자과학회논문지*, 9(1), pp. 1-7, 1998년 2월.
- [6] Wenhua Yu, Raj Mittra, "A technique for improving the accuracy of the nonuniform finite-difference time-domain algorithm", *IEEE trans. on Microwave Theory Tech.*, vol. 47, no. 3, Mar. 1999.

이 윤 경



1993년 2월: 서울산업대학교 매체 공학과 (공학사)
1995년 8월: 동국대학교 전자공학과 (공학석사)
2001년 2월: 동국대학교 전자공학과 박사과정 수료
[주 관심분야] 안테나, 전자파 수치

해석, 이동통신

백 락 준

1985년 2월: 동국대학교 전자공학과 (공학사)
1987년 2월: 동국대학교 전자공학과 (공학석사)
1999년 2월: 동국대학교 전자공학과 (공학박사)
1990년 2월~2001년 6월: (주)에이스테크놀로지 중앙연구소
2001년~현재: (주)Voxaura Technology 대표이사
[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, 이동통신

홍 진 옥



1968년 2월: 수원농과학교
1999년 8월: 숭실대학교 산업대학원 최고경영자 과정 수료
2002년 2월: 아주대학교 산업대학원 최고경영자 과정 수료
1978년 10월: 삼우정밀 설립
2003년 1월: SAR 저감 안테나로

벤처 기업 등록

1984년 3년~현재: 안테나 부품 개발 및 생산
2000년 9월~현재: (주)삼우테크놀로지 대표이사
[주 관심분야] SAR 저감 물질

육 재 림



1987년 8월: 연세대학교 산업대학원 (공학석사)
2000년 12월: 국방대학교 안전보장대학원 정책과정 수료
1972년 3월~1993년 8월: 전파연구소 전파과 (감시기술담당, 전파계장)

1993년 9월~1995년 8월: 체신부 전파관리국 방송과 (방송기술담당)
1995년 9월~1999년 4월: 정보통신부 전파방송관리국 통신위성과 (위성망담당)
1999년 5월~1999년 12월: 정보통신부 전파방송관리국 주파수와 (우주 담당)
2000년 1월~2001년 3월: 국방대학교 안전보장대학원 (안보정책과정)
2001년 4월~현재: 전파연구소 전파환경연구과장
[주 관심분야] EMI/EMC, 이동통신 전파환경

윤 현 보

1979년~현재: 동국대학교 전자공학과 교수
[주 관심분야] EMI/EMC, 안테나설계 및 해석, 이동통신