

部分的으로 페라이트 材質을 갖는 接地面上에서 모노폴안테나의 FDTD 解析

林 桂 在

관동대학교 IT학부 정보통신전공

FDTD Analysis of a Monopole Antenna on the Ground Plane with Ferrite Material Locally

Gye Jae Lim

Dept. of Information & Communication Engineering in Kwandong Univ. Yangyang-Gun, Kwanwon-Do 215-802, Korea

요 약

휴대폰 안테나로부터의 전자파 인체영향을 저감시키기 위해, 접지면으로 작용하는 휴대폰 본체표면에 부분적으로 페라이트 재질을 추가하여 인체두부 방향으로의 복사 전기장세기를 저감시켰다. 페라이트의 재질특성(유전율, 투자율, 도전율)이 주어졌을 때, 구조(두께, 부가부위)의 변화에 따른 영향을 모노폴안테나 모형에 적용함으로써 1.7 GHz 대역 PCS 휴대폰 설계시 인체영향을 최소화할 수 있는 방향을 제시할 수 있었다. 해석방법으로는 물질의 유전율 및 도전율, 투자율 특성을 고려한 FDTD 수치해석 방법을 사용하였다.

주제어 : 모노폴안테나, 페라이트 전파흡수체, FDTD 수치해석

Abstract

For the reduction of electromagnetic biological effects from cellular phones, the electrical field radiation from cellular phone antenna is reduced by using partial ferrite material added on the phone case as ground plane. On the given properties(permittivity, permeability and conductivity) of ferrite material, the characteristics of monopole antenna is analysed depending on the variation of ferrite added configuration(thickness and shape). According to this analysis, the design method and direction to minimize the biological effects to human head is proposed in 1.7 Ghz band PCS phones. For the exact analysis involving the permittivity, permeability and conductivity of ferrite material, FDTD numerical method is used.

Key words: monopole antenna, ferrite absorber material, FDTD numerical method

1. 서 론

휴대폰의 사용이 대중화되면서 이로부터 복사되는 전자파의 인체위해성 문제에 대한 사회적인 관심이 고조되고 있다. 휴대폰 전자파 복사의 크기는 기지국이나 레이다 등의 고출력에 비해 매우 낮은 것은 사실이나 인체두부에 근접하여 상시 사용하는 장치로, 이에 의한 전자파 노출량은 무시할 수 없을 것이다.

이 때문에 일부 국가 및 국제기구에서는 인체에의 전자파흡수율(SAR: Specific Absorption Rate)로 노출기

준을 정하고 있으며, 미국 FCC(연방통신위원회)에서는 1997년부터 이를 법적으로 규제하고 있고 국내에서도 휴대폰에 대한 SAR 기준 및 인체 전자파 노출기준을 정하여 시행하고 있는 실정이다.¹⁾

이에 따라 휴대폰과 인체사이의 전자파결합에 대한 상호관련성에 대한 연구가 그 기초연구로 다음과 같은 분야별로 수행되어 왔다.

- 휴대폰 안테나의 종류에 따라^{2,3)}
- 인체두부에 접근사용하는 휴대폰 각도에 따라^{4,5)}
- 휴대폰 소지방법에 따른 인체전선 영향
- 인체부착 보형물(안경, 심장박동기, 보청기)존재에 따라⁶⁾
- 인체두부 크기(연령별)에 따라⁵⁾

* 2003년 9월 25일 접수, 2003년 11월 27일 수리

* E-mail: gjlim@kd.ac.kr

또한 휴대폰의 양호한 통신품질을 확보하면서 인체영향을 최소화할 수 있는 기술적 대책연구도 다음과 같은 분야별로 활발하게 진행되고 있다.

- 휴대폰 안테나의 위치조정(외장형 및 내장형 등)
- 휴대폰 본체의 형태변경(스틱형 및 폴더형, 플립형, 슬라이드형 등)
- 안테나자체에 전자파 흡수재료의 부착
- 본체 케이스에 전자파 흡수재료 부착

본 연구에서는 전자파 흡수재료로 이용되는 페라이트 재료를 안테나의 접지면으로 동작하는 휴대폰 본체에 부가함으로써, 인체 방향으로의 전자파 복사를 저감시키는 방법을 제안하고, 이 방법에 대한 이론적 배경을 확립하기 위해 가장 간단한 구조인 유한평면 접지면상에 존재하는 모노폴안테나에서 국부적으로 페라이트 재질이 부착된 접지면 구조와 페라이트의 전기적 특성에 따른 복사 전기장의 변동을 해석하였다.

해석방법으로는 맥스웰 편미분방정식을 시간과 공간에 따라 이산화(discretization)하여 유한 중심차분법으로 그 해를 구하는 시간영역 유한차분법(Finite Difference Time Domain: FDTD)을 이용하였다.⁹⁾ FDTD 방법에서는 등방성 및 이방성매질, 균질 및 비균질매질, 복잡한 경계조건을 갖는 매질들에서 물질의 유전을 및 투자율, 도전율을 고려한 3차원 전자파해석이 가능하기 때문에 최근의 각종 전자파로 인한 인체 영향문제의 수치해석 도구로 광범위하게 이용되고 있다.

본 논문의 연구 전개과정은 먼저 1.7 GHz PCS 대역에서 동작하는 유한한 원형 접지면을 갖는 기본 모노폴안테나에서의 복사 전기장세기를 기준으로 하여, 접지면상에 부분적으로 페라이트 재료를 부가하였을 때의 복사 전기장세기의 변화를 해석하여 그 결과를 비교 분석하였다.

연구 결과, 페라이트의 두께가 얇고 면적이 넓을수록 인체 두부방향으로의 복사가 최소화될 수 있었으며, 이때의 복사패턴 반전력빔폭(HPBW: Half Power Beamwidth)은 약 49-52도, 주복사빔의 방향은 38-41도로 이동통신 단말기로서 양호한 통신이 가능한 성능을 보이고 있으며, 인체두부 방향빔과 그 반대 방향빔에서의 전기장세기 차이는 약 3.6-4.5 dB 차이를 나타내어 인체 전자파영향의 감소에 효과가 있음을 보인다.

2. 기본 모노폴안테나의 복사 전기장세기

현재 사용되고 있는 휴대폰 안테나는 그 구조가 본체

를 접지면으로 하는 1/4 파장의 모노폴안테나로 기본 구조는 Fig. 1과 같이 유한한 원형 접지면 상에 사용주 파수 파장의 1/4 길이 도체를 수직으로 배치시킨 구조로 전방향에 대해 수직편파를 복사하기 때문에 이동통신용에 적합한 안테나이다.

Fig. 1과 같은 원형 접지면을 갖는 기본구조 모노폴안테나의 복사 전기장세기 는 다음 식(1)과 같이 해석적으로 구해질 수 있다.

$$E_{\theta} = \frac{jI(0)\eta \exp(-jkr)}{4\pi r \sin(\theta) \sin(kh)} [\exp(jkh \cos(\theta)) - \cos(kh) - j\cos(\theta)\sin(kh)] \quad (1)$$

여기서, I(0)는 안테나 급전부에 인가되는 첨두전류 진폭이며,

η 는 자유공간의 파동임피던스,

k는 파수(wave number),

r은 안테나로부터 관측점까지의 거리이다.

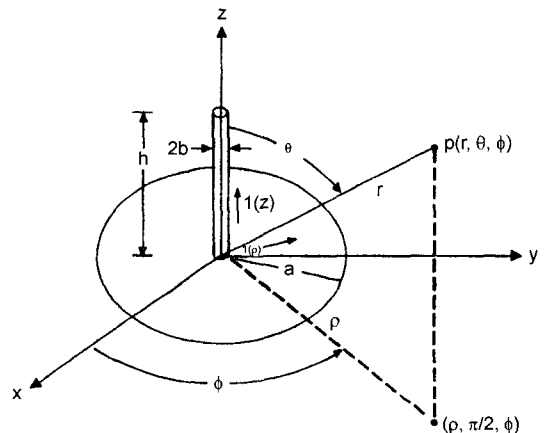


Fig. 1. Configuration of a basic monopole antenna.

3. 페라이트 접지면을 갖는 모노폴안테나의 FDTD 해석

기본 모노폴안테나의 원형 접지면상에 페라이트 재료를 부분적으로 부가함으로써 복사 전기장의 변화를 예측하고 인체에의 위해성을 최소화할 수 있는 페라이트 부가방법을 제시하기 위해 이에 대한 해석을 수행한다.

먼저, 페라이트 재료로는 현재 휴대폰안테나 자체에 bead 형태로 삽입하거나 본체 내부의 EMI 대책용 케이스 도포용으로 사용되고 있는 페라이트 비드의 재질을 이용하였으며 그 전기적 특성은 다음 Table 1과 같다.

Table 1. Electrical properties of ferrite material.

material components	zinc oxide, iron oxide, manganese oxide etc.
vapor absorption rate	0.08%
permittivity	7.0-j 0.6
permeability	2.8-j 3.3

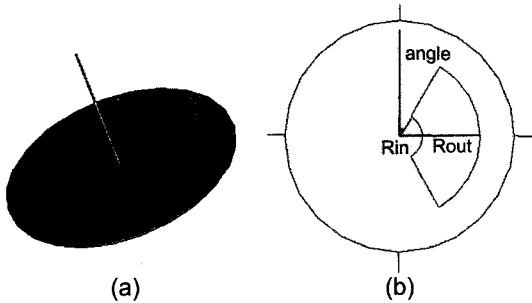


Fig. 2. The configuration of a monopole antenna on the ground plane with ferrite material locally.

Table 2. The numbering of analysis cases.

R _{in} [cm]	R _{out} [cm]	t[cm]	α[degree]	Numbering
1	5	0.1	0, 30, 60	A-1A,B,C
		0.5	"	A-2A,B,C
		1.0	"	A-3A,B,C
	10	0.1	0, 30, 60	B-1A,B,C
		0.5	"	B-2A,B,C
		1.0	"	B-3A,B,C
4	5	0.1	0, 30, 60	C-1A,B,C
		0.5	"	C-2A,B,C
		1.0	"	C-3A,B,C
5	10	0.1	0, 30, 60	D-1A,B,C
		0.5	"	D-2A,B,C
		1.0	"	D-3A,B,C

원형 접지면상에 부분적으로 부가되는 페라이트 구조는 효과적인 해석을 위해, Fig. 2와 같이 페라이트의 내경 R_{in}, 외경 R_{out} 및 두께 t에 따라 호의 각도 α를 0도, 30도, 60도로 변화시켜가며 해석하였다. 또한 조절 변수에 따른 경우들을 다음 Table 2와 같이 배열하여 번호를 붙였다.

페라이트가 부가된 경우의 모노폴안테나 해석은 복잡한 경계조건 때문에 시간과 공간에 대한 Maxwell 편미분방정식의 해를 직접 구하는 것이 해석적으로는 불가

능하다. 따라서 Maxwell 방정식의 수치적 해를 구할 수 있는 FDTD 방법을 적용하는 것이 보편적이며, FDTD 법은 벡터 편미분 방정식인 Maxwell 방정식을 중심유한차분법을 이용하여 시간과 공간 영역에 근사적으로 이산화시켜 전자기 문제를 분석하는 수치해석 방법이다.

시간적 변화를 갖는 맥스웰의 전기장 및 자기장 방정식은 다음과 같다.

$$\nabla \times \vec{E} = \mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} - \sigma^* \vec{H} \quad (2a)$$

$$\nabla \times \vec{E} = \epsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} - \sigma \vec{H} \quad (2b)$$

여기서 \vec{E} 는 \vec{H} 각각 전기장, 자기장을 나타내고 ϵ , μ , σ^* , σ 는 각각 유전율, 투자율, 자기장 및 전기장의 도전율을 나타낸다.

식(2a)와 식(2b)를 직각 좌표계에서 다음의 6개의 스칼라 방정식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial H_x}{\partial t} = \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial E_y}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial y} - \sigma^* H_x \right) \quad (3a)$$

$$\frac{\partial H_y}{\partial t} = \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial E_z}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial z} - \sigma^* H_y \right) \quad (3b)$$

$$\frac{\partial H_z}{\partial t} = \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial E_x}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial x} - \sigma^* H_z \right) \quad (3c)$$

$$\frac{\partial H_x}{\partial t} = \frac{1}{\epsilon} \left(\frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} - \sigma H_x \right) \quad (4a)$$

$$\frac{\partial H_y}{\partial t} = \frac{1}{\epsilon} \left(\frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x} - \sigma H_y \right) \quad (4b)$$

$$\frac{\partial H_z}{\partial t} = \frac{1}{\epsilon} \left(\frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} - \sigma H_z \right) \quad (4c)$$

공간과 시간의 변화에 대한 미분을 중심유한차분 근사를 이용하여 나타내면

$$\frac{\partial u^n(i, j, k)}{\partial x} \approx \frac{u_{i,1/2+1,k}^n - u_{i-1/2,k}^n}{\Delta x} \quad (5a)$$

$$\frac{\partial u^n(i, j, k)}{\partial y} \approx \frac{u_{i,1/2+j,k}^n - u_{i,1/2-j,k}^n}{\Delta y} \quad (5b)$$

$$\frac{\partial u^n(i, j, k)}{\partial z} \approx \frac{u_{i,j,k+1/2}^n - u_{i,j,k-1/2}^n}{\Delta z} \quad (5c)$$

$$\frac{\partial u^n(i, j, k)}{\partial t} \approx \frac{u_{i,j,k}^{n+1/2} - u_{i,j,k}^{n-1/2}}{\Delta t} \quad (5d)$$

이 되며, 여기서 i, j, k는 Fig. 3에서 보인바와 같이

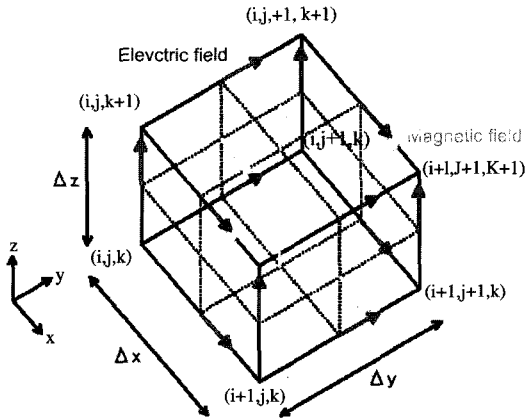


Fig. 3. Figure of Yee's unit cell and electric and magnetic field components.

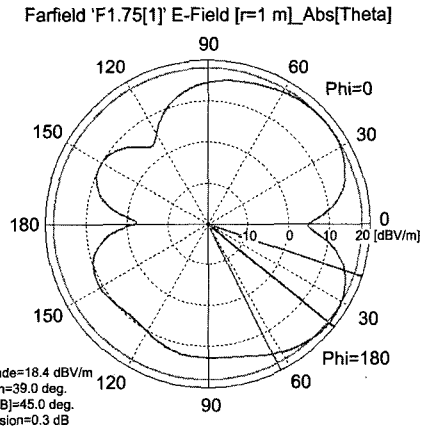


Fig. 5. Radiation pattern of the Case D-3B antenna.

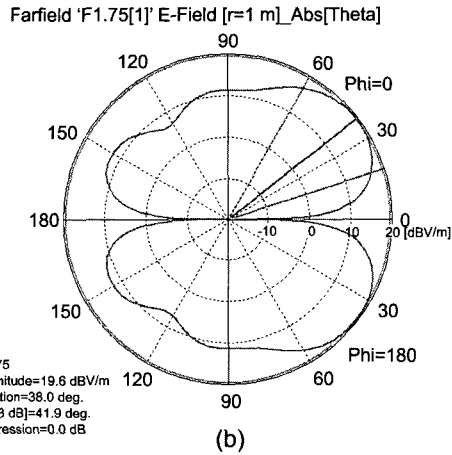
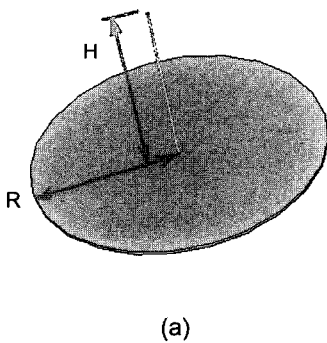


Fig. 4. Configuration and Radiation pattern of a basic monopole antenna.

Yee 셀 내의 위치, Δx , Δy , Δz 는 각각 Yee 셀의 방향의 셀 간격, Δt 는 시간 간격이고 n 은 $n\Delta t$ 의 시간을 나타낸다.¹²⁾

Δx , Δy , Δz 은 일반적으로 파장의 1/10보다 적어야 하며 Δt 는 다음과 같은 안정 조건을 만족해야 한다.

$$\Delta t \leq \frac{1}{c \sqrt{\frac{1}{(\Delta x)^2} + \frac{1}{(\Delta y)^2} + \frac{1}{(\Delta z)^2}}} \quad (6)$$

여기서, c 는 자유공간에서 빛의 속도이다.

FDTD 방법을 1.75 GHz에서 공진하는 기본 모노폴안테나에 적용하여 해석한 결과를 Fig. 4에, 부분적으로 페라이트 재질을 갖는 원형 접지면상의 모노폴안테나

(경우 D-3B)에 적용하여 해석한 대표적인 결과를 Fig. 5에 보였다.

Fig. 5의 복사패턴에서 페라이트가 부가된 반대방향 ($\phi=180$)으로 0.3 dB 높은 전기장세기가 복사됨을 알 수 있고, 기본 모노폴안테나에 비해서는 주 빔 크기가 1.4 dB 낮고, 주 빔의 방향은 38도에서 39도로 1도 상향으로 편이되었으며, 주 빔의 반전력 빔폭은 41.9도에서 45도로 넓어짐을 알 수 있다.

4. 해석결과의 분석

기본 모노폴안테나의 특성을 Table 3에 나타내었으며, Table 2에서 보인 각각의 경우에 대한 특성을 Table 4에 나타내었다.

Table 3. Properties of basic monopole antenna.

Case	main lobe Mag [dBV/m]	main lobe direction [degree]	HPBW [degree]	level variation [dBV/m]
fundamental monopole antenna	19.6	38.0	41.9	0.0

Table 4a. Properties of ferrite added monopole antenna.

Cases	main lobe Mag [dBV/m]	main lobe direction [degree]	HPBW [degree]	level variation [dBV/m]
A-1A	20.9	34.0	42.0	1.4
A-1B	20.7	35.0	41.8	0.9
A-1C	20.2	37.0	41.7	0.2
A-2A	17.6	41.0	51.7	4.6
A-2B	18.6	38.0	49.5	3.6
A-2C	19.6	37.0	44.9	1.5
A-3A	16.3	43.0	50.0	1.6
A-3B	17.4	38.0	47.8	3.0
A-3C	18.7	36.0	46.5	2.0
B-1A	20.8	34.0	48.9	1.6
B-1B	20.7	35.0	47.6	0.8
B-1C	20.3	36.0	44.9	0.0
B-2A	16.5	44.0	55.9	3.2
B-2B	17.8	40.0	52.4	3.2
B-2C	18.8	38.0	46.2	1.2
B-3A	15.5	46.0	57.9	1.7
B-3B	16.6	43.0	56.7	1.5
B-3C	18.0	37.0	47.1	2.3

Table 4b. Properties of ferrite added monopole antenna.

Cases	main lobe Mag [dBV/m]	main lobe direction [degree]	HPBW [degree]	level variation [dBV/m]
C-1A	20.2	36.0	42.2	0.3
C-1B	20.1	37.0	41.7	0.2
C-1C	20.1	37.0	41.9	0.1
C-2A	19.3	38.0	46.6	0.9
C-2B	19.6	38.0	44.5	0.6
C-2C	19.9	37.0	43.5	0.3
C-3A	18.5	38.0	48.5	0.2
C-3B	19.0	38.0	44.8	0.1
C-3C	19.4	38.0	44.2	0.1
D-1A	20.6	37.0	47.2	1.0
D-1B	20.3	37.0	46.7	0.4
D-1C	20.0	40.0	40.6	0.0
D-2A	18.0	43.0	60.1	0.2
D-2B	18.0	41.0	46.8	0.0
D-2C	18.7	44.0	50.7	0.1
D-3A	17.9	41.0	72.0	0.2
D-3B	18.4	39.0	45.0	0.3
D-3C	18.9	38.0	44.8	0.2

분석 결과는 다음과 같다:

(1) X-1의 경우들이 X-2나 X-3의 경우들에 비해 주 빔(인체두부의 반대방향으로 나타나는 빔) 이득이 높으며, 또한 기본 모노폴의 경우보다도 높게 나타낸다. (여기서 X는 A, B, C, D를 대표함) 즉, 페라이트 두께가 얇을수록 주빔 이득이 높아진다.

(2) X-3의 경우들이 X-1이나 X-2의 경우들에 비해 주 빔방향(인체두부와 반대방향) 지향각도가 크며, 또한 기본 모노폴의 경우보다도 높게 나타낸다. 즉, 페라이트 두께가 두꺼울수록 주빔방향이 높아지게 된다.

(3) HPBW는 X-2, X-3, X-1 순서로 넓게 나타나며, 또한 기본 모노폴의 경우보다도 모두 넓게 나타낸다. HPBW가 넓어지면 이동통신용 안테나로서 효과적이며

로 이를 위해서는 적절한 두께의 페라이트 재료 선정이 중요하다.

(4) 주 빔(인체두부의 반대 방향)과 인체두부 방향의 빔 사이 레벨 차이는 대부분의 경우 1 dB 이하의 차이 밖에 없었으나, A-2A와 A-2-B, A-3-B 및 B-2A, B-2B에서 3 dB 이상의 현저한 차이가 관찰되었다. 즉, 페라이트의 면적이 크고 두께가 얇을수록 전자파의 흡수능력이 향상되어 반대방향 전기장세기가 상대적으로 크게 나타난다.

5. 결 론

휴대폰 전자파의 인체영향을 감소시키기 위해 페라이트

트 재료를 휴대폰 본체에 부가할 때, 이로 인한 영향을 기본 모노폴안테나의 경우와 비교하였으며, 페라이트의 모양에 따라 최적의 전자파 흡수능력을 FDTD 방법에 의해 해석하고 분석하였다. 분석 결과, 페라이트의 면적이 넓고 두께가 얇을수록 주빔(인체두부 반대방향)에서의 전기장세기가 커지고 양각이 낮아져 이동통신에 유리하며, 주 빔과 인체두부방향의 빔사이 전기장세기 레벨차가 커져 인체영향을 감소시킬 수 있음을 알 수 있었다. 본 연구에서 얻어진 결과는 휴대폰의 인체영향을 고려한 설계에 있어서 휴대폰 본체에 페라이트 자성재료를 부가하는 경우, 재료의 선정 및 부가위치의 설정 방법에 대한 기준으로 이용 가능할 것이다.

참고문헌

1. FCC OET 65. 1997: Evaluating Compliance with FCC-Specified Guideline for Human Exposure to Radiofrequency radiation, OET Bulletin 65.
2. Jensen, M.A., and Rahmat-Samii, Y., 1995: *EM interaction of handset antennas and a human in personal communications*, Proc. of the IEEE, **83**(1), pp. 7-17.
3. Gandhi, O.P., and Chen, J., 1995: *Electromagnetic absorption in the human head from experimental 6-GHz handheld transceivers*, IEEE Trans. on EMC, **37**(4), pp. 547-558.
4. Balzano, Q., Garay, O., and Manning, T.J., 1995: *Electromagnetic energy exposure of simulated users of portable cellular telephones*, IEEE Trans. on VT, **44**(3), pp. 390-402.
5. Gandhi, O.P., Lazzi, G., Furse, C.M., 1996: *Electromagnetic absorption in the human head and neck for mobile telephones at 835 and 1900 MHz*, IEEE Trans. on MTT, **44**(10), pp. 1884-1897.
6. Takeshi OHSHIMA, Eri TAKAHASHI, Jianqing WANG, and Osamu FUJIWARA. 2002: *Verification of Electromagnetic Interference Testing of Cardiac Pacing by Portable Terminals with an MRI-Based Anatomical Human Model*, 電子情報通信學會論文紙, 2002/12 **J85-B**(12), pp. 2419-2421.
7. Yang, W.G., Lee, K.H., and Kong, S.S., 2002: *Simulation and measurement of SAR with folder angle variation and SAR reduction with EMI paint for mobile handset*, Proc. of North-east Asia Symp. 2002, pp. 569-572.
8. Kim, K.H., Hong, S.W., and Oh, H.T., 2001: *SAR variations by EMI condition of cellular phone case*, Proc. of WHO meeting on EMF Biological effect & Standard Harmonization in Asia and Oceania, pp. 115.
9. Kunz, K.S., Luebbers, R.J., 1993: *The Finite Difference Time Domain method for Electromagnetics*, CRC Press, pp. 11-49.
10. Melvin, M., and Weiner. 2003: *Monopole Antennas*, Marcel Dekker Inc. New York, pp. 21-24.
11. Jianqing wang, and Osamu fujiwara. 1999: *Effects of Ferrite Sheet Attachment to Portable Telephone in Reduction Electromagnetic Absorption in Human Head*, IEEE ISEC, **2**, pp. 822-825.
12. Yee, K.S., 1966: *Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media*, IEEE Trans. on AP, **14**, pp. 302-307.



林 桂 在

- 동국대학교 전자공학과 학사
- 동국대학교 대학원 전자공학과 공학석사
- 동국대학교 대학원 전자공학과 공학박사
- 현재 관동대학교 IT학부 정보통신공학 전공 교수