

루프 형태의 접지판을 이용한 휴대폰의 SAR 감쇄에 관한 연구

A Study on SAR Attenuation by Using Loop-type Ground for Mobile Handsets

이원규 · 손지명 · 한준희 · 양운근

Won Kew Lee · Ji Myoung Son · Jun Hee Han · Woon Geun Yang

요 약

본 논문에서는 시험용 휴대폰의 내부에 위치한 루프 형태 접지판의 위치와 크기 변화에 따른 SAR(Specific Absorption Rate) 값의 변화를 검토하였다. 휴대폰의 rear case 안에 있는 루프 형태 접지판에 따른 SAR 값에 대한 전산 모의 실험을 수행하였으며 그 결과 루프 형태 접지판의 위치와 크기에 따라 SAR 값이 달라짐을 보였다. 검토된 루프 형태 접지판의 위치와 크기들 중 small size case-C의 경우가 8.70 %의 감소 효율을 보여 가장 좋은 성능을 보였다. 그리고 이 경우에 루프 형태 접지판에 가장 높은 유도 전계 분포를 보였다. 전산 모의 실험시 폴딩 각도는 160°로 하였다.

Abstract

In this paper, we investigated SAR(Specific Absorption Rate) value variation by the position and size of the loop-type ground located in a test mobile handset. We carried out simulations on SAR value with loop-type grounds in rear case of a mobile handset, and obtained results showed that different positions and sizes of loop-type grounds had different SAR values. Among investigated positions and sizes of loop-type grounds, the small size case-C showed the best performance; i.e., it showed a decrease efficiency of 8.70 %. And in this case, it showed the highest induced electric-field distribution in the loop-type ground. In the simulation, the folding angle was set to 160°.

Key words : SAR(Specific Absorption Rate), Electric-field, Loop-type Ground, Test Mobile Handset

I. 서 론

휴대폰의 사용 인구가 증가하면서, 통신 장비에서 방출되는 전자파에 대해 무방비 상태인 인체에 관한 관심이 증대하고 있다. 특히, 휴대폰은 사용자의 두 부에 밀착하여 사용하므로 그에 따른 영향이 주요 관심 대상으로 부각되고 있다. 휴대폰은 몸에 가장 근접시켜 사용하므로 인체에 흡수되는 RF(Radio Frequency) 에너지에 대한 영향을 무시할 수 없다^[1].

전자파의 인체 영향은 자극 작용과 열적 작용 및 장기 노출에 의한 비열적 작용으로 나눌 수 있다. 저

주파의 경우, 체내에 형성되는 유도 전류에 의한 자극 작용이 인체 영향의 주요 인자가 되는 것으로 알려져 있으며, 유도 전류의 인체 영향 임계치도 설정되어 있다. 고주파의 경우, 체온 상승을 유발하는 열적 효과가 지배적이기 때문에 이와 같은 열적 효과를 정량적으로 평가하기 위하여 “전자파 비 흡수율(SAR: Specific Absorption Rate)” 즉, “단위 시간당 인체의 단위 질량 조직에 흡수되는 에너지”를 정의하며 그 기준도 설정되어 있다^[2].

국내에서도 2000년 12월 정보통신부 고시 제2000-1호에 의거 국부 노출에 대한 전자파 흡수율 기준이

인천대학교 전자공학과(Department of Electronics Engineering, University of Incheon)

· 논문 번호 : 20060602-058

· 수정완료일자 : 2006년 8월 8일

1.6 W/kg을 초과하지 않을 것으로 제시되어 있고^[3], 2002년 4월 이후 국내 시장에서 판매되는 휴대폰에 대해 형식등록시 인체 안전성 평가시험을 합격해야만 판매가 가능하도록 하였다. 그러므로, 전자파 문제는 인체에 유해 여부뿐만 아니라 이동 통신 관련 제품의 국내 시장 진입이나 수출을 제한하는 중요한 요소가 되어 그 해결 방안을 모색하는 일이 시급하다.

휴대폰의 전자파 흡수율을 감소시키기 위해서, 안테나의 장착 위치를 변형하여 사용자의 머리 방향으로 복사하는 전자파를 차폐시키는 방법^[4], 사용자의 머리 방향으로 널(null)이 생기는 복사 패턴을 갖는 새로운 안테나 형태를 적용하는 방법^[5], 안테나 또는 본체에 전파 흡수체를 부착하여 머리 방향으로 복사하는 전자파를 흡수하는 방법^{[6],[7]}, 그리고 본체의 구조를 변형하거나^[8] 본체에 EMI 방지 도료를 칠하는 방법^[9] 등에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔다.

따라서, 본 논문에서는 SAR의 저감을 고려할 수 있는 방안으로 본체에 전파 흡수체를 부착하여 머리 방향으로 복사하는 전자파를 흡수하는 방법에 착안하여, 전자파를 유도시킬 수 있는 방법 중 루프 형태의 접지판을 휴대폰 케이스 안에 장착하여 머리 방향으로 복사하는 전자파의 변화에 관하여 검토한다.

2장에서 SAR의 정의 및 안전 기준과 루프 형태의 접지판에 대하여 기술하고, 3장에서는 SAR의 영향 분석을 위한 휴대폰 모델링에 대하여 기술하며, 휴대폰 rear case에 루프 형태의 접지판을 장착하여 위치와 크기 변화에 따른 전산 모의 실험을 실행하여 SAR 변화를 검토한다. 더불어 SAR 변화에 따른 각각의 모델별 휴대폰 안테나의 방사 패턴 및 S_{11} 을 비교 분석한다. 그리고 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

II. 전자파 비 흡수율

2-1 SAR의 정의 및 안전 기준

SAR는 인체 시스템과 에너지의 상호 작용의 정량화에 중요한 역할을 하는 양으로, 현재 휴대 전화에서 복사되는 전자파에 의한 인체 영향을 규제할 수 있는 측정량으로 널리 사용되고 있다. SAR는 RF의 노출량 측정, 즉 단위 시간에 단위 질량 당 흡수되는 전력(W/kg)으로 표시되는 양으로서, 유전체의

밀도와 전기 전도도 그리고 기기에서 복사되는 전자장 등의 물리량에 의해 정의된다^[10].

$$SAR = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{CAT}{\Delta t} = \frac{\sigma |\overline{E}|^2}{\rho} [W/kg] \quad (1)$$

여기서, C 는 생체 조직의 열용량[J/kg°C], ΔT [°C]는 Δt [sec] 동안의 온도 변화이다. 그리고, $|\overline{E}|$ 는 측정된 체내 전기장 세기[V/m]이고, σ 는 전기 전도도[S/m], ρ 는 질량 밀도[kg/cm³]이다.

이러한 SAR 기준은 일반적으로 전신 평균값과 국부 최대 평균값으로 구분되며 국부 SAR 값은 노출 부위에 따라 머리 및 몸통 그리고 사지의 값으로 구분된다. 휴대폰은 머리에 밀착시켜 사용하기 때문에 머리 이외의 다른 신체 부위에서는 전자파 흡수량이 매우 적다. 따라서 전신에 대해 평균할 경우 SAR 값이 상당히 낮아진다. 그러나 전신 평균 SAR 값이 낮아도 에너지가 집중되는 부위는 손상을 입을 수 있으므로, 휴대폰의 인체 안전도를 평가할 중요한 지표는 전신 평균값이 아니라 신체 내의 제한된 영역 내에서 단위 질량에 흡수되는 전력을 의미하는 국부 최대 평균값이다.

휴대폰에 대한 SAR 적합성 평가는 1997년 8월부터 FCC에서 처음 적용하고 있고, CENELEC과 일본에서도 적합성 시험 기준을 수립하였다. 국제 표준화 활동은 IEEE SCC34-SC2 등에서 진행하였다. 평가 기준을 살펴보면, FCC와 IEEE에서는 인체 조직 1 g에 대한 국부 SAR 값을 1.6 W/kg 이내로 규제하는 반면, 일본 등에서는 조직 10 g에 대해 2 W/kg으로 규제하는 차이가 있다^[11].

2-2 루프 형태 접지판

그림 1은 휴대폰 접지판에 부착한 루프 형태의 접지판의 구조를 나타내고 있다. 모델링된 휴대폰 접지판에 루프 형태 접지판의 위치와 크기를 변화시켜 휴대폰에서 머리 방향으로 복사하는 전자파를 상쇄 및 유도하도록 하고자 하였다. 이러한 루프 형태 접지판의 한 쪽 끝을 접지판에 접지하며 위치와 크기를 변화시켜 가면서 SAR의 변화를 확인하기 위해 전산 모의 실험에 적용하였다.

표 1은 크기에 따른 루프 형태 접지판의 파라미터를 나타내었다.

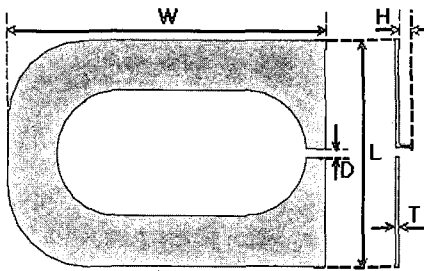


그림 1. 루프 형태 접지판의 구조

Fig. 1. Structure of the loop-type ground.

표 1. 루프 형태 접지판의 크기

Table 1. Design parameters of the loop-type grounds.

Parameters Size	W(mm)	L(mm)	D(mm)	H(mm)	T(mm)
Large	46.8	32.2	1.0	0.5	0.2
Middle	32.0	22.0	0.7	0.5	0.2
Small	16.0	11.0	0.3	0.5	0.2

III. 휴대폰 모델링 및 전산 모의 실험

3-1 SAR의 영향 분석을 위한 휴대폰 모델링

지금까지 휴대폰의 방사 패턴, 안테나 정합 등 전기적 특성을 계산하기 위해 휴대폰을 모델링 할 경우, 주로 직육면체 형태의 도체 박스와 모노폴 또는 헤리컬 안테나 형태로 극히 단순화하여 모델링 하였다. 그러나 본 논문에서는 빠른 모델링과 정확한 계산, 그리고 실제 휴대폰 측정 환경과 유사한 조건을 만족시키기 위하여 상용 3D(Dimensional) CAD(Computer Aided Design) 프로그램인 'Pro-engineer'를 이용하여 1 mm 이하의 해상도로 설계하고 FDTD(Finite Difference Time Domain) 수치해석 기반의 프로그램인 SEMCAD(Simulation Platform for Electro-magnetic Compatibility Antenna Design and Dosimetry)를 이용하여 결과를 도출하는데 사용하였다. 인체 두부의 SAR 값을 계산하기 위해 SAM 팬텀을 이용하였다^[12].

전산 모의 실험에서 사용된 휴대폰은 그림 2에서와 같이 PCS(Personal Communication System) 대역에서 동작하는 폴더 타입의 형태를 모델링 하였다. 또한, 표 2에 모델링 한 휴대폰 매질의 상대 유전율과

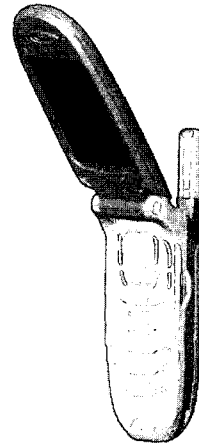


그림 2. 휴대폰 모델링

Fig. 2. Modeling of a handset.

표 2. 모델링 된 휴대폰 매질의 전기적 특성

Table 2. Electrical characteristics of the modeled handset's dielectric parts.

	재질	상대유전율 (ϵ_r)	전기전도도 (σ) [S/m]
안테나 커버	폴리카보네이트	2.5	3×10^{-3}
PCB 유전체	에폭시	4.5	7×10^{-2}
화면창	유리	4.5	1×10^{-2}
케이스	폴리 ABS	3.5	2×10^{-2}
키 패드	폴리 ABS	3.5	2×10^{-2}

전기 전도도를 나타내었다.

휴대폰의 동작 시 금속성 재질로 이루어져 있는 루프 형태의 접지판에도 전류가 흐르게 되어 휴대폰의 방사와 전기장의 형성에 영향을 미치게 된다. 이러한 점을 착안하여 본 논문에서는 모델링 한 휴대폰의 접지판에 루프 형태 접지판의 위치와 크기 변화를 통하여 휴대폰에 의해 형성되는 전기장을 상쇄 또는 유도시킴으로써 머리 방향으로 복사하는 전자파의 변화를 도모하였다.

3-2 전산 모의 실험

휴대폰에서 금속 구조물의 장착이 용이한 부분은 front case와 rear case, upper case, lower case의 내부이다. 본 논문에서는 접지판과 접지가 가능하고 장착

이 용이한 rear case의 내부에 루프 형태 접지판의 위치와 크기를 변화시켜가면서 SAR 변화를 중점적으로 살펴보았다. 전산 모의 실험 시 중심 주파수는 USPCS의 송신 주파수 대역인 1,850~1,910 MHz의 중심 주파수인 1,880 MHz로 설정하였고, 참고문헌 [12]에서 검토된 결과를 참조하여 폴딩 각도를 160°로 하여 전산 모의 실험을 하였다. 출력 전력은 실제 휴대폰의 출력 전력이 통상 24 dBm 내외인 것을 고려하여 23.8 dBm(약 240 mW)이 되도록 정규화하여 실험하였으며, 팬텀은 1,800 MHz에서의 전기적 특성을 적용하였다.

그림 3은 본 논문에서 제안하는 루프 형태 접지판의 크기 및 위치를 나타내고 있다. 그림 3(a)는 루프 형태 접지판이 없을 경우이고 이를 기준으로 한다. 그림 3(b)는 루프 형태 접지판의 크기가 가장 큰 경우, 그림 3(c)~(e)는 중간 크기에서 위치를 PCB의 아래, 중간, 위에 위치시킨 경우이며, 그림 3(f)~(h)는 순서대로 작은 크기를 3(e)와 같은 위치, 안테나 급전부분의 아래, PCB의 가장 위쪽에 위치시킨 경우이다.

그림 3의 전산 모의 실험 결과를 비교하기 위해 감소 효율을 식 (2)와 같이 정의하고, 감소 효율(D)을 계산하였다.

$$D(\%) = \frac{R-E}{R} \times 100(\%) \quad (2)$$

여기서, R 은 기준 SAR, E 는 각각 경우의 SAR를 나타낸다. 표 3은 그림 3의 각각의 전산 모의 실험 결

표 3. 그림 3의 각 경우에 대한 SAR값 비교

Table 3. Comparison of SAR values for each case of Fig. 3.

	1g 평균 SAR [W/kg]	감소 효율(%)
Fig. 3(a)	1.61	기준
Fig. 3(b)	1.69	-4.97
Fig. 3(c)	1.64	-1.86
Fig. 3(d)	1.67	-3.73
Fig. 3(e)	1.60	0.62
Fig. 3(f)	1.59	1.24
Fig. 3(g)	1.60	0.62
Fig. 3(h)	1.47	8.70

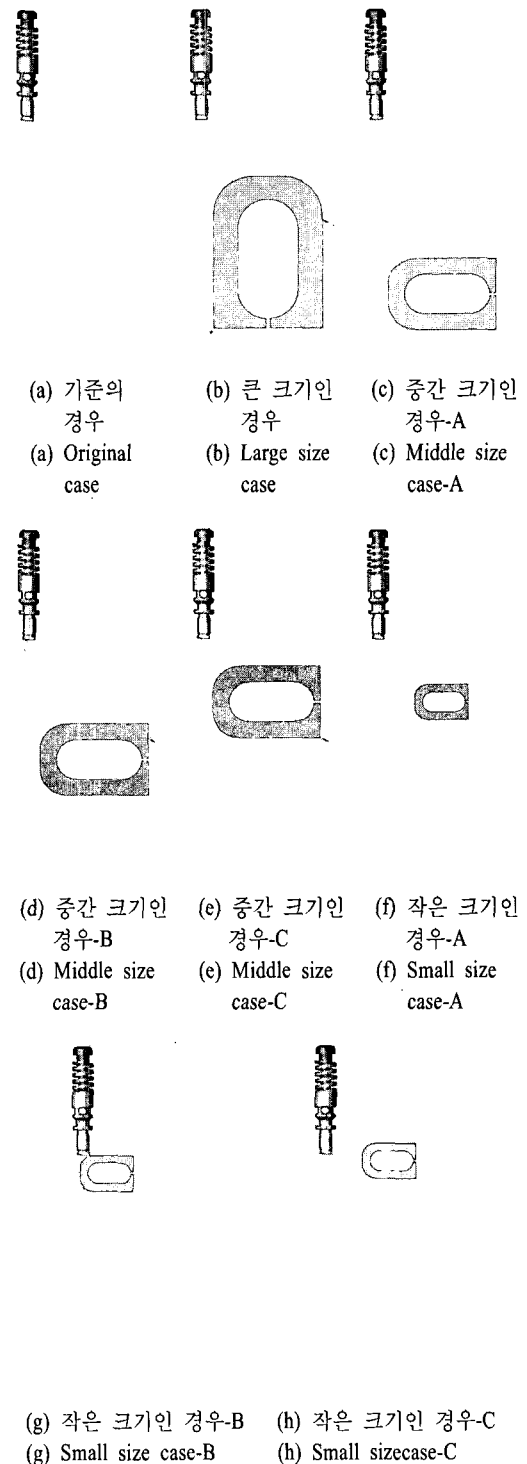


그림 3. 전산 모의 실험에 적용된 루프 형태 접지판의 크기 및 위치
Fig. 3. Size and location of the loop-type ground applied in the simulation.

과와 식 (2)에 의해 계산된 감소 효율을 나타내었다.

표 3의 결과로 볼 때, original case인 루프 형태의 접지판을 부착하지 않은 휴대폰에서 1 g 평균 SAR 값은 1.61 [W/kg]이고, PCB의 가장 위쪽에 작은 루프 형태의 접지판을 위치시킨 small size case-C의 경우 평균 SAR 값은 1.47 [W/kg]으로 약 8.70 %의 가장 높은 SAR 감소 효율을 보였다.

그림 4는 루프 형태의 접지판을 부착하지 않은 original case와 PCB의 가장 위쪽에 작은 루프 형태의 접지판을 위치시킨 small size case-C의 E-field 분포를 비교하여 나타내었다. Small size case-C의 경우 루프에 E-field가 강하게 분포하면서 상대적으로 머리 방향의 E-field가 감소하는 것을 확인할 수 있었으며, 식 (1)에서 알 수 있듯이 SAR 값은 $|E|^2$ 에 비

례하게 되므로 SAR이 감쇄된 것으로 생각된다.

루프 형태 접지판의 변화에 따른 전기장의 변화를 알아보기 위하여 그림 5와 같이 각각의 경우에 대하여 E-field 분포를 비교하였다. 루프 형태 접지판이 없을 경우의 E-field 분포를 기준으로 비교하였을 때, 대부분의 경우 E-field의 분포에 많은 영향을 미치지 못하였다. 그러나 small size case-C의 경우, E-field의 분포를 보면 루프 형태 접지판에 전계가 강하게 유도되고 있음을 뚜렷이 볼 수 있었다.

그림 5에서 보인 E-field 변화에 따른 SAR 변화를 알아보기 위하여 루프 형태 접지판의 위치와 크기를 변화하면서 각각의 경우에 대한 SAR 값을 도출하였다.

3-3 휴대폰 안테나의 성능 분석

루프 형태 접지판의 변화에 따른 휴대폰 안테나에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 루프 형태 접지판을 부착하지 않은 original case의 경우와 SAR 감쇄 효율이 가장 높은 small size case-C의 경우를 비교하였다.

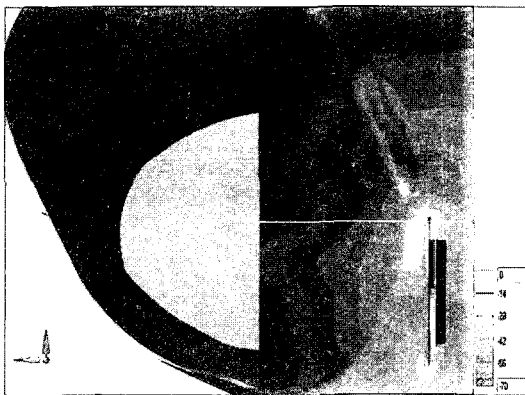
그림 6에 original case와 small size case-C의 방사 패턴을 각각 x-y평면, y-z평면과 x-z평면으로 나누어 비교하여 나타내었다. 그림 6의 방사 패턴에서 루프 형태 접지판을 부착하지 않은 original case와 SAR 감쇄 효율이 가장 높은 small size case-C의 경우를 비교할 때 루프 형태 접지판의 부착에 의한 패턴의 변화가 거의 없음을 볼 수 있었다.

표 4는 그림 3의 각 경우에 대한 휴대폰 안테나의

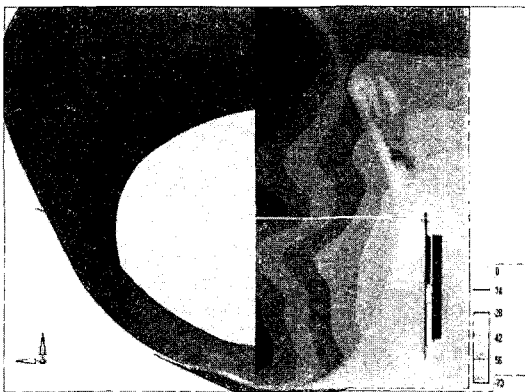
표 4. 그림 3의 각 경우에 대한 휴대폰 안테나의 S_{11} 비교

Table 4. S_{11} comparison of mobile handset for each case of Fig. 3.

	$S_{11}(\text{dB})$
(a) Original case	-5.22
(b) Large size case	-5.43
(c) Middle size case-A	-5.18
(d) Middle size case-B	-4.84
(e) Middle size case-C	-5.42
(f) Small size case-A	-5.21
(g) Small size case-B	-5.36
(h) Small size case-C	-5.29



(a) 기준의 경우
(a) Original case



(b) 작은 크기인 경우-C
(b) Small size case-C

그림 4. E-field 분포 비교

Fig. 4. Comparison of E-field distribution.

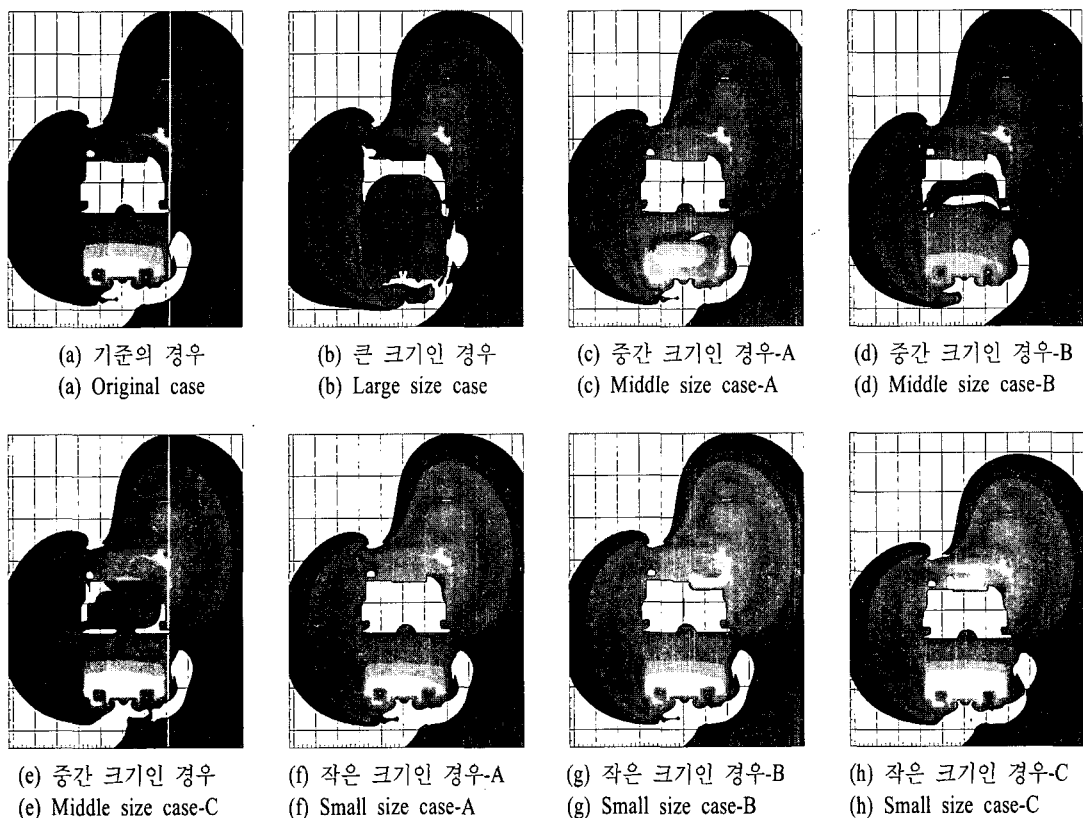


그림 5. 루프 형태 접지판의 크기와 위치 변화에 따른 E-field 분포
Fig. 5. E-field distribution according to the size and location of the loop-type ground.

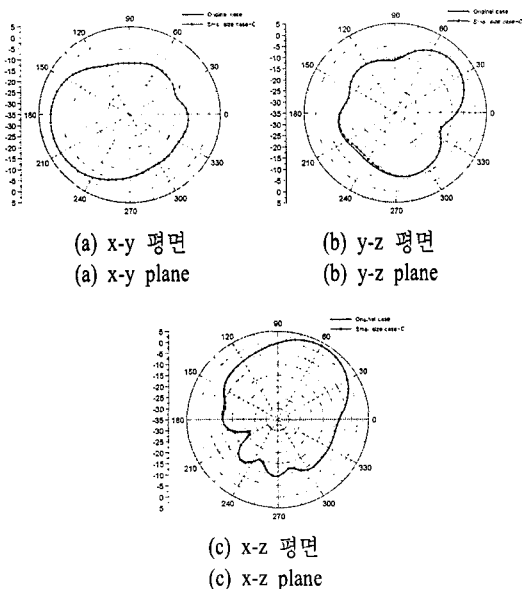


그림 6. 휴대폰 안테나의 방사 패턴 비교
Fig. 6. Comparison of radiation patterns of mobile handset antenna.

S_{11} 을 나타내었다. 각 경우의 S_{11} 의 결과를 볼 때 루프 형태 접지판으로 인한 휴대폰 안테나의 성능 변화는 거의 없음을 볼 수 있었다.

본 논문에서 제시한 루프 형태의 접지판을 이용한 휴대폰의 SAR 감쇄의 결과와 기존의 페라이트 비드를 부착한 경우인 참고문헌 [7]과 비교하면, 두 경우 모두 안테나가 아닌 단말기에 적용함으로써 SAR 저감을 도모하였다는 유사성을 가지고 있으며, 높은 감쇄 효율 및 단말기의 성능에 영향을 미치지 않는 등의 장점을 가지고 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 이동 통신 휴대폰 분야의 주요 관심 중 하나인 SAR 저감 방안에 대하여 연구하고, FDTD 방식의 프로그램인 SEMCAD를 이용하여 루프 형태 접지판의 위치와 크기 변화를 통한 SAR 변화에 대해 검토하였다.

모델링 된 휴대폰 접지판에 루프 형태 접지판을 위치와 크기를 변화시켜 SAR 변화를 전산 모의 실험을 통하여 살펴보았다. 루프 형태 접지판이 없는 경우를 기준으로 세 종류의 크기 변화와 middle size, small size의 경우 각각 세 가지의 위치 변화를 통하여 E-field와 SAR 값을 도출한 결과 PCB의 가장 위쪽의 중앙에 small size의 루프 형태 접지판을 위치한 경우(small size case-C), 가장 큰 SAR 감소 효율인 8.70 %를 보였으며, E-field의 분포가 다른 경우에 비해 루프 형태 접지판에 더 강하게 유도되고 있음을 뚜렷이 볼 수 있었다. 또한, 방사 패턴과 S_{11} 을 루프 형태 접지판을 부착하지 않은 original case와 SAR 감쇄 효율이 가장 높은 small size case-C의 경우를 비교하였을 때 루프 형태 접지판의 부착에 의한 패턴과 S_{11} 의 변화가 거의 없음을 확인할 수 있었다.

SAR에 영향을 미치는 요소가 안테나 배치, 안테나 급전점의 위치, 안테나의 종류, 인체와의 거리, 각도, 흡수체의 부착 위치 등 여러 가지가 있으므로 본 논문에서 제시한 결과와 같이 적용한다면 SAR 값을 저감시키는데 크게 기여할 것으로 기대된다. 앞으로 좀 더 감소의 폭이 큰 방안에 대한 심도 있는 연구가 지속적으로 이루어져야할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

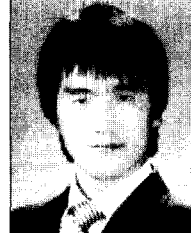
- [1] N. Kuster, Q. Balzano, "Energy absorption mechanism by biological bodies in the near field of dipole antennas above 300 MHz", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 41, no. 1, pp. 17-23, Feb. 1992.
- [2] 윤지훈, 손태호, "휴대폰 전자파의 혈액 조사를 위한 SAR별 TEM 셀의 입력 전력 산출", *한국전자과학기술논문지*, 16(8), pp. 810-814, 2005년 8월.
- [3] 전자파 인체 보호기준(안), 정보통신부, 2002년 12월.
- [4] Z. Wang, X. Chen, "A low SAR whip type mobile handset antenna", *IEEE 11th International Conference on Antennas and Propagation*, vol. 1, pp. 352-355, Apr. 2001.
- [5] M. A. Mangoud, R. A. Abd-Alhanmeed, N. J. McEwan, P. S. Excell, and E. A. Abdulmulla, "SAR reduction for handset with two-element phased array antenna computed using hybrid MoM/FDTD technique", *Electronics Letters*, vol. 35, no. 20, pp. 1693-1694, Sep. 1999.
- [6] H. T. Chou, D. J. Wu, "Radiation of a handset monopole antenna in the presence of a finite shielding sheet for the purpose of SAR reduction", *IEEE International Symposium on Antenna and Propagation*, vol. 1, pp. 452-455, Jun. 2002.
- [7] 이윤경, 백락준, 홍진옥, 육재림, 윤현보, "휴대폰 전자파에 노출된 頭部내 SAR 저감을 위한 전자파 흡수체 적용 방법 연구", *한국전자과학기술논문지*, 14(8), pp. 884-890, 2003년 8월.
- [8] 홍수원, 오학태, 박천석, "SAR 저감을 위한 휴대폰 설계", *한국전자과학기술논문지*, 12(3), pp. 352-359, 2001년 4월.
- [9] 이규호, 김창일, 양운근, "휴대폰의 폴딩 각도와 휴대폰 케이스의 EMI 방지 도료 분포패턴에 따른 SAR 변화에 관한 연구", *한국전자과학기술논문지*, 14(4), pp. 421-430, 2003년 4월.
- [10] 김정호, 김윤명, "Probe 고정형 SAR 측정 시스템의 구현", *한국전자과학기술논문지*, 17(2), pp. 221-227, 2006년 2월.
- [11] Won Kew Lee, Ji Myoung Son, and Woon Geun Yang, "SAR variation by EMI paint distribution on front case of mobile handsets", *Proc. of ICEIC*, pp. 339-342, Aug. 2004.
- [12] 양운근, 이원규, 손지명, "EMI 도료 패턴과 폴딩 각도에 따른 휴대폰의 SAR 변화에 관한 연구", *한국전자과학기술논문지*, 16(9), pp. 903-908, 2005년 9월.

이 원 규



2000년 8월: 인천대학교 전자공학과 (공학사)
 2003년 2월: 인천대학교 전자공학과 (공학석사)
 2003년 3월~2006년 2월: 인천대학교 전자공학과 박사과정 수료
 [주 관심분야] 이동통신, 패치안테나, SAR 저감 방법, 초고주파 회로설계 등

한 준 희



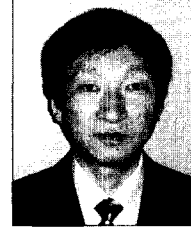
2006년 2월: 인천대학교 전자공학과 (공학사)
 2006년 3월~현재: 인천대학교 전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] 단말기 안테나, 전자파 비흡수율

손 지 명



2004년 2월: 인천대학교 전자공학과 (공학사)
 2004년 2월: 인천대학교 전자공학과 (공학석사)
 2006년 3월~현재: 인천대학교 전자공학과 박사과정
 2006년 3월~현재: (주)키스컴
 [주 관심분야] 단말기 안테나, 전자파 비흡수율, RFID

양 운 근



1983년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
 1985년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
 1994년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학박사)
 1988년 3월~현재: 인천대학교 전자공학과 전임강사, 조교수, 부교수, 교수
 1997년 3월~2001년 12월, 2004년 2월~2005년 1월: (주) LG전자 (구 (주)LG정보통신 포함) 자문교수
 2000년: 한국통신학회 산하 부호 및 정보이론연구회 위원장
 2001년 5월~2002년 2월: 한국전자통신연구원 무선방송연구소 초빙연구원
 2002년 3월~현재: (주)JT 기술자문교수
 2003, 2004, 2005년도: 세계인명사전 마르퀴즈 "Who's Who in the World" 등재
 2005년~2006년도: 세계인명사전 마르퀴즈 "Who's Who in Science and Engineering" 등재
 [주 관심분야] 이동통신 단말기, 안테나, 전자파 비흡수율