

EMI 도료 패턴과 폴딩 각도에 따른 휴대폰의 SAR 변화에 관한 연구

A Study on SAR Variation by EMI Paint Distribution and Folding Angle for Mobile Handsets

양운근·이원규·손지명

Woon Geun Yang · Won Kew Lee · Ji Myoung Son

요약

본 논문에서는 휴대폰 front case의 EMI(Electromagnetic Interference) 도료 패턴과 폴딩 각도 변화에 따른 SAR(Specific Absorption Rate) 값의 변화를 전산 모의 실험을 통하여 살펴본다. 휴대폰 개발 초기 단계에서 SAR를 고려할 수 있도록 하였다. 첫 번째, front case에 칠해진 EMI 도료의 여러 가지 패턴을 모델링한 휴대폰에 적용하여 전산 모의 실험을 한 결과 EMI 도료 패턴에 따라 다른 SAR 값을 보였다. EMI 도료 패턴에 따른 SAR 값에 대한 전산 모의 실험 중 EMI 도료가 있을 경우를 기준으로 하였을 때, 헤어핀 패턴이 가장 좋은 8.04%의 감소 효율을 보였고, EMI 도료가 없는 경우 5.94%의 감소 효율을 보였다. 이때 폴딩 각도는 150°로 하였다. 두 번째, 폴딩 각도를 140°, 150°, 160°로 변화하면서 SAR 값에 대한 전산 모의 실험을 하였다. 전산 모의 실험에 사용된 모델의 경우 폴딩 각도를 늘릴수록 SAR 값이 감소함을 보였다. 폴딩 각도가 160°이고 기준 패턴을 적용하였을 때 SAR 값은 1.61 W/kg이 되었으며, 제안한 헤어핀 패턴을 폴딩 각도가 160°일 때 적용한 결과 가장 낮은 SAR 값인 1.45 W/kg의 값을 얻었다.

Abstract

In this paper, in order to consider SAR(Specific Absorption Rate) problem at the beginning stage of a handset development, we investigated the SAR value change by using simulation method according to various EMI(Electromagnetic Interference) paint patterns on front case of a handset and folding angles. First, we made some experiments with EMI paint pattern on front case of a handset, and obtained results showed that different patterns of EMI paint had different SAR values. Among the simulation results on SAR value according to EMI paint patterns, the hairpin pattern showed the best performance, i.e. the decrease efficiency of 8.04% and completely removed pattern showed the decrease efficiency of 5.94%. Original pattern was set as the reference and the folding angle was 150°. Second, simulation was carried out with changing folding angle from 150° to 140° and 160°. Simulation results for the modeled handset showed that SAR value was decreased with increasing the folding angle. When the folding angle was 160° and with original pattern, we got the SAR value of about 1.61 W/kg. When we applied hairpin pattern with the folding angle of 160°, we got the lowest SAR value of about 1.45 W/kg.

Key words : SAR(Specific Absorption Rate), EMI(Electromagnetic Interference)

I. 서론

정보화의 눈부신 발달로 무선통신에 대한 수요 증가와 함께 전파의 사용이 날로 증가하고 있고, 전자

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

· 논문 번호 : 20050520-058

· 수정완료일자 : 2005년 9월 9일

과의 응용 분야도 점차 다양하게 확산되고 있다. 이와 더불어 생활 주변의 전력선, 전기·전자기기, 정보·통신기기로부터 방출되는 전자파의 인체 영향에 대한 일반인의 우려도 점점 높아지고 있어, 이와 관련하여 건강 영향에 대한 위험 가능성 연구가 국제적으로 활발히 진행되고 있다. 특히 전자기장 복사를 목적으로 하는 무선 주파수(RF: Radio Frequency)를 사용하는 시스템인 방송국 송신소, 이동 통신 기지국 및 이동 통신 단말기(휴대전화) 등의 전자파 위험성에 대한 국민적 관심과 우려가 날로 증가하고 있다.

무선 통신에서 주로 이용되는 대역의 전자파가 인체에 도달하여 흡수될 경우, 그 에너지의 많은 부분이 열로 변환되어 체온 증가의 원인이 될 수 있다. 사람의 몸은 일정한 체온을 유지해야 하며 외부의 요인에 의하여 체온이 증가하면 자동적으로 원래 체온을 유지하려고 하는 열 조절 메커니즘이 작동한다. 그러나 인체가 감당할 수 있는 범위를 넘어서는 열의 유입이 있을 경우에는 체온이 증가할 수밖에 없고 이러한 체온 증가는 곧 민감한 인체 장기 또는 세포 단위에 좋지 않은 영향을 미칠 수가 있다. 이에 따라 세계 여러 나라에서는 전자파의 인체 노출에 대한 인체 안전 기준을 제정하여 규제하고 있는 추세이다^[1].

인체에 흡수되는 전력을 표현하는 지수로 전자파 비흡수율(SAR: Specific Absorption Rate)이 사용되는데 이는 “인체 세포의 단위 질량당 흡수되는 전력 [W/kg]”을 말한다. 이는 무선 통신 기기로부터 발생하는 전자파에 의한 인체 영향을 평가하기 위한 물리량으로서 “열적 효과”와 직접적인 관계를 가지고 있다. 현재까지 알려진 바에 따르면 전자파가 인체에 미치는 영향은 열적 작용, 비열적 작용, 자극 작용 등으로 나눌 수 있는데 전자파의 주파수에 따라서 각기 다른 효과를 발생한다.

전자파의 인체 영향에 대한 연구는 1950년대부터 시작하여 현재까지 많은 연구 결과들이 발표되었으며, 세계의 주요국들은 그간의 축적된 연구 결과를 토대로 1970년대 후반에서 1980년대에 전자파에 대한 인체 보호 기준을 마련하였고, 가까운 일본에서는 1993년 전자파보호지침을 제정하였다. 그리고 미국의 FCC(Federal Communications Commission: 연방통신위원회)는 1996년 8월 전자파의 인체 영향에 관련

된 기준을 제정하고 1997년 1월부터 전자파 방출 기기에 대한 강제 규정으로 적용시키기에 이르렀다^[2].

국내에서도 2000년 12월 정보통신부 고시 제 2000-1호에 의거 국부 노출에 대한 전자파 흡수율 기준이 1.6 W/kg을 초과하지 않을 것으로 제시되어 있고^[3], 2002년 4월 이후 국내 시장에서 판매되는 휴대폰에 대해 형식등록 시 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.

따라서, 본 논문에서는 휴대폰 개발시 초기 단계에서부터 SAR를 고려할 수 있는 방안으로 폴딩 각도의 변화와 휴대폰 케이스에 도포되어 전자파 차폐 역할을 하는 EMI(Electromagnetic Interference) 도료의 패턴을 변화시켜 SAR 값을 저감할 수 있는 방안에 관하여 검토한다.

2장에서 SAR의 정의와 SAR의 영향 분석을 위한 휴대폰 모델링에 대하여 기술하고, 3장에서는 휴대폰 front case의 EMI 도료 패턴과 폴딩 각도 변화에 따른 전산 모의 실험을 실행하고, SAR 값의 변화를 검토한다. 그리고 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

II. 전자파 비흡수율

이동 통신 단말기에 대한 SAR 적합성 평가는 1997년 8월부터 FCC에서 처음 적용하고 있고, CE-NELEC과 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/kg로 규제하는 차이가 있다^[4].

2-1 SAR의 정의

1950년대 물리학 분야에서 근거리장의 마이크로파 방사로 인해 노출된 에너지 정도를 측정하기 위해 선량학적 측정(Dosimetry Measurement) 방법이 사용되었다. 1960년대 SAR이라는 개념으로 발전하여 현재 휴대폰의 전자파 인체 영향을 규제할 수 있

는 정량화된 측정량으로 사용되고 있다.

SAR는 인체가 전자파에 노출됨에 따라 인체에 흡수되는 전력의 시간평균에 대한 물리량으로서 다음 식 (1)로 정의된다.

$$SAR = c \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{\sigma |E|^2}{\rho} [W/kg] \quad (1)$$

여기서, c 는 생체 조직의 열용량[J/g°C], ΔT [°C]는 Δt [sec] 동안의 온도 변화이다. 그리고, E 는 전기장 세기[V/m]이고, σ 는 전기 전도도[S/m], ρ 는 질량밀도[g/cm³]이다.

식 (1)을 직각좌표 성분으로 분해하여 다음과 같이 나타낼 수 있다⁵⁾.

$$SAR = \frac{\sigma_x}{\rho_x} |E_x|^2 + \frac{\sigma_y}{\rho_y} |E_y|^2 + \frac{\sigma_z}{\rho_z} |E_z|^2 \quad (2)$$

2-2 SAR의 영향 분석을 위한 휴대폰 모델링

전기 및 전자장비로부터 방사 또는 전도되는 유해 전자파는 다른 기기에 영향을 미침으로써 오작동, 통신 장애, 잠음 등의 현상을 일으키게 되는데, 이를 전자파 방해(electromagnetic interference)라 한다. 즉, 컴퓨터나 사무용 기기, 통신 장비 등은 미약한 전기적 신호로 동작되기 때문에 외부의 전자파에 의한 오작동이 일어나기 쉬우며, 최근 이들 전자 장비들이 경량화, 원가 절감, 소형화 및 디자인이 다양화됨에 따라 하우징 소재가 금속에서 플라스틱으로 대체되고 있다⁶⁾.

휴대폰에서는 이러한 영향을 최소화하기 EMI 도료를 케이스의 내부에 칠하는 방법을 사용하는데, 은, 주석, 니켈, 구리 등의 도전성 금속 물질을 배합하여 만들며, 주로 대전 방지 및 정전기 방지를 목적으로 하고 있다. 일반적으로 휴대폰 케이스 내부의 EMI 도료는 SAR 값을 증가시키는 역할을 한다고 알려져 있다. 휴대폰의 동작 시 금속성 재질로 이루어져 있는 EMI 도료에도 전류가 흐르게 되어 EMI 도료가 휴대폰의 방사와 전기장의 형성에 영향을 미치게 된다. EMI 도료 패턴의 변화를 통하여 EMI 도료에 의해 형성되는 전기장을 상쇄 또는 변화시킴으로써 SAR 값을 낮추는 역할을 할 수도 있다. 따라서,

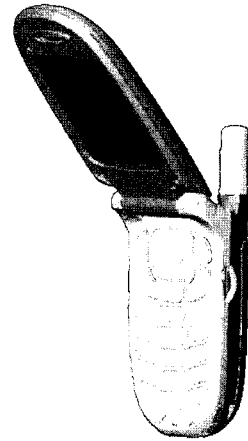


그림 1. 휴대폰 모델링
Fig. 1. Modeling of a handset.

표 1. 모델링된 휴대폰 매질의 전기적 특성
Table 1. Electrical characteristic of main dielectric parts of modeled handset.

	재질	상대 유전율(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}

본 논문에서는 EMI 도료를 부분적으로 제거하거나 패턴을 변화시켜가면서 SAR의 영향을 분석하였다.

본 논문의 전산 모의 실험에서 사용된 휴대폰은 그림 1에서 보인 바와 같이 PCS(Personal Communication System) 대역에서 동작하는 폴더 타입의 형태를 모델링 하였다. 또한, 표 1에 모델링한 휴대폰 매질의 상대 유전율과 전기 전도도를 나타내었다.

Ⅲ. 전산 모의 실험

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) 수치 해석 기반의 프로그램인

SEMCAD(Simulation Platform for Electromagnetic Compatibility Antenna Design and Dosimetry)를 이용하여 결과를 도출하는데 사용하였다. 인체 두부의 SAR 값을 계산하기 위해 SAM 패턴을 이용하였다.

3-1 EMI 도료 패턴에 따른 SAR 변화

휴대폰에서 EMI 도료가 칠해져 있는 부분은 front case와 rear case, upper case, lower case로서 휴대폰의 외부 케이스이다. 본 논문에서는 패턴과 거리상 가까이 위치하고 상대적으로 변화를 적용하기가 용이한 front case의 EMI 도료의 패턴을 변화시켜가면서 SAR 값의 변화를 중점적으로 살펴 보았다.

그림 2에 전산 모의 실험을 위해 모델링한 front case와 EMI 도료를 나타내었다. 그림 2에서처럼 front case의 모든 부분에 도료가 칠해져 있는 상태에서 부분적으로 제거해가면서 전산 모의 실험을 하였다. 전산 모의 실험시 중심 주파수는 1,880 MHz, 폴딩 각도를 150°로 하고, 휴대폰 출력 전력은 23.8 dBm(약 240 mW)로 설정하였으며 패턴은 1,800 MHz에서의 전기적 특성을 적용하였다. 휴대폰 출력을 다르게 설정할 경우 이에 따라 SAR 값도 변화된다.

그림 3은 각각의 경우의 EMI 도료 분포 패턴을 나타내었다. 먼저, EMI 도료에 따른 SAR의 영향을 알아보기 위하여 그림 3(a), (b)에서처럼 front case에 도료가 있을 경우와 없을 경우를 비교하였다. 그리고 그림 3(c), (d)에서처럼 hot spot이 형성되는 영역 부분의 EMI 도료를 제거하고 지그재그 패턴으로 도

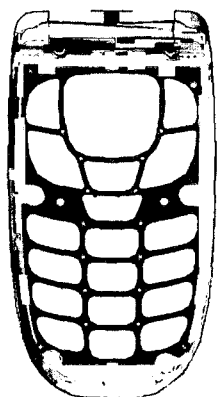
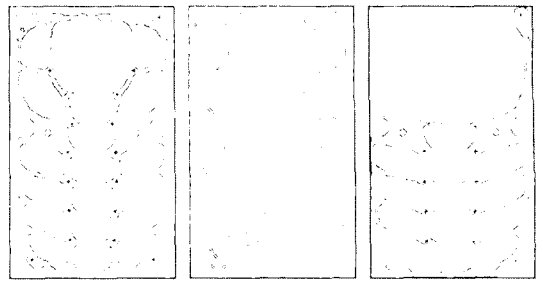
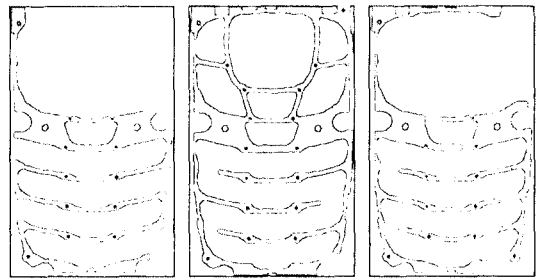


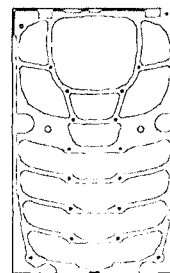
그림 2. 모델링한 front case와 EMI 도료
Fig. 2. Modeling of the front case with EMI paint.



(a) 기준 패턴 (b) 도료를 전부 제거 (c) 수평 방향 지그재그 패턴
(a) Original pattern (b) Completely removed (c) Horizontal direction zigzag pattern



(d) 수평 방향 역 지그재그 패턴 (e) 헤어핀 패턴 (f) 급전 부분 아래를 제거한 헤어핀 패턴
(d) Inverse horizontal direction zigzag pattern (e) Hairpin pattern (f) Hairpin pattern + removal of lower part of feeding point



(g) 수직 방향 제거 패턴
(g) Vertical direction removal

그림 3. Front case의 EMI 도료 패턴
Fig. 3. EMI paint patterns on the front case.

료를 분포시킨 경우와 지그재그 패턴과 반대로 도료를 분포시킨 경우를 비교하였다. 또한 그림 3(e), (f)에서처럼 키패드의 숫자 부분의 EMI 도료를 헤어핀 구조로 분포시킨 경우와 급전점 부분의 EMI 도료를 제거하고 헤어핀 구조로 분포시킨 경우를 비교하였

표 2. 그림 3의 각 경우에 대한 SAR 값 비교
Table 2. Comparison of SAR values for each cases of Fig. 3.

	1 g 평균 SAR [W/kg]	감소 효율 (%)
Fig. 3(a)	2.34307	기준패턴
Fig. 3(b)	2.20389	5.94
Fig. 3(c)	2.23549	4.59
Fig. 3(d)	2.33948	0.15
Fig. 3(e)	2.15479	8.04
Fig. 3(f)	2.24041	4.38
Fig. 3(g)	2.33345	0.41

으며, 마지막으로 그림 3(g)에서처럼 키패드 부분의 세로 EMI 도료만 제거한 경우를 전산 모의 실험을 통해서 살펴보았다.

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

$$D(\%) = \frac{R-E}{R} \times 100(\%) \quad (3)$$

여기서, R은 기준 SAR, E는 각각 경우의 SAR를 나타낸다. 표 2는 그림 3의 각각의 전산 모의 실험 결과와 식 (3)에 의해 계산된 감소 효율을 나타내었다.

3-2 폴딩 각도에 따른 SAR 변화

3-1절에서 전산 모의 실험한 EMI 패턴 중에서 EMI 도료가 전체 칠해진 형태의 front case의 폴딩 각도를 150°에서 140°와 160°로 변화하면서 전산 모의 실험을 하였다.

그림 4는 폴딩 각도에 따른 팬텀과의 접촉 위치를

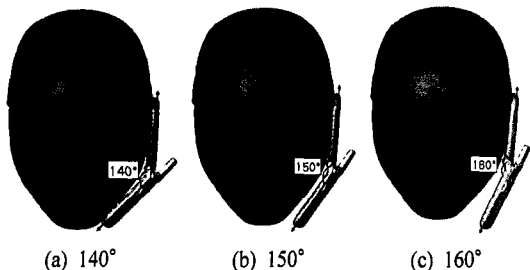


그림 4. 폴딩 각도 변화에 따른 접촉 위치
Fig. 4. Touch point with various folding angles.

표 3. 그림 4의 각 경우의 SAR 값 비교
Table 3. Comparison of SAR values for each cases of Fig. 4.

	1 g 평균 SAR [W/kg]
Fig. 4(a)	3.92839
Fig. 4(b)	2.34307
Fig. 4(c)	1.61248

나타내고 있는데, 각도가 증가함에 따라 front case와 팬텀과의 최단거리가 증가하는 것을 볼 수 있다. 폴딩 각도를 조절하여 front case와 팬텀과의 위치를 멀게 하면 팬텀에 흡수되는 전자파의 양이 줄어들어 폴딩 각도가 클수록 SAR 값이 줄어들 것으로 예상할 수 있다.

표 3은 그림 4에서의 폴딩 각도 변화에 따른 SAR 값의 변화를 보여주고 있다. 폴딩 각도가 160°일 경우 SAR의 큰 감소 효과를 보였는데, EMI 도료의 변화를 적용하여 가장 큰 감소 효과를 보인 헤어핀 패턴을 폴딩 각도가 160°인 경우를 적용하여 전산 모의 실험을 해본 결과 1.44508 W/kg의 값을 나타내었다. 이 값은 SAR 기준치인 1.6 W/kg보다 낮은 값이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 이동 통신 단말기 분야의 주요 관심중 하나인 SAR에 대해서 알아보고, FDTD 방식의 프로그램인 SEMCAD를 이용하여 휴대폰 개발 초기 단계에서 SAR를 고려할 수 있는 방법으로 전산 모의 실험을 통하여 EMI 도료 패턴과 폴딩 각도의 변화를 통한 SAR 저감 방법에 대해 검토하였다.

EMI 도료 패턴에 따른 SAR 값의 변화를 전산 모의 실험한 결과 모든 패턴 변화에서 기준값보다 SAR 값이 감소함을 보였으나, 몇 가지의 경우는 감소하였다고 볼 수 없을 정도의 작은 감소를 보였다. 헤어핀 패턴의 두 경우는 많은 감소 효율을 보였으며 EMI 도료를 키패드 부분만 헤어핀 패턴으로 분포시킴으로써 가장 큰 감소 효과를 얻을 수 있었다. 그리고 같은 형식의 패턴인 그림 3의 (c)와 (d), (e)와 (f)의 결과 값을 살펴보면 안테나 급전 부분에 도료가 있는 (c)와 (e)가 도료가 없는 (d)와 (f)보다 감소 효율이 좋은 것을 알 수 있다.

또한, 폴딩 각도를 140°, 150°, 160°로 변화시키면서 SAR 값의 변화를 살펴본 결과 폴딩 각도가 160°일 경우 front case와 팬텀과의 위치가 가장 멀게 위치하여 각 폴딩 각도 중 가장 작은 SAR 값을 얻을 수 있었다. EMI 도료 패턴 변화로 가장 큰 감소 효과를 보인 헤어핀 패턴을 폴딩 각도가 160°인 경우에 적용하여 본 결과, 감소 효율은 10.38 %로 폴딩 각도가 150°일 경우보다 높은 감소 효율을 보였으며 약 1.45 W/kg이라는 가장 낮은 SAR 값을 얻을 수 있었다. 이 값은 휴대폰에서 SAR 기준치인 1.6 W/kg보다 낮은 값을 알 수 있다. 본 논문의 수치들은 특정한 출력 전력과 전산 모의 실험에서 사용한 특정한 구조상에서의 값들이며 이 값들은 모델의 재질, 크기 등이 변화하거나 출력 전력 등이 변화하면 값들은 달라진다.

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.

양 운 근



1983년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
 1985년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
 1994년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학박사)
 1988년 3월~현재: 인천대학교 전자공학과 교수

1997년 3월~2001년 12월, 2004년 2월~2005년 1월: (주)LG전자 (구 (주)LG정보통신 포함) 자문교수
 2000년: 한국통신학회 산하 부호 및 정보이론 연구회 위원장
 2001년 5월~2002년 2월: 한국전자통신연구원 무선방송연구소 초빙 연구원
 2002년 3월~2005년 현재: (주)JT 기술자문교수
 2003년, 2004년, 2005년: 세계인명사전 마르퀴즈 "Who's Who in the World" 등재
 2005-2006년: 세계인명사전 마르퀴즈 "Who's Who in Science and Engineering" 등재
 [주 관심분야] 이동통신 단말기, 안테나, 전자파 비흡수율

참 고 문 헌

- [1] 최성호, 이재향, 김남, 오학태, 장영호, "RF 전자파의 생체 영향 매커니즘 분석", 한국전자파학회지 전자파기술, 14(2), pp. 92-99, 2003년 4월.
- [2] 전자파뉴스, 2004년 9월호.
- [3] 전자파 인체 보호기준(안), 정보통신부, 2002년 12월.
- [4] 이규호, 양운근, 이형표, "이동통신 단말기에 의한 모의 인체두부 내의 SAR 분포와 EMI 도료 조건에 따른 SAR 저감방법에 관한 연구", 인천대학교 공학기술연구논문집, 17(1), pp. 25-32, 2002년 9월.
- [5] 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 2004*, pp. 339-342, Aug. 2004.
- [6] 유재성, "전자파와 EMI Shielding 관련 기술 동향", (주)팜텍 기술자료.

이 원 규



2000년 8월: 인천대학교 전자공학과 (공학사)
 2003년 2월: 인천대학교 전자공학과 (공학석사)
 2003년 3월~현재: 인천대학교 전자공학과 박사과정
 [주 관심분야] 이동통신, 패치안테나, SAR 저감방법, 초구조파 회로설계 등

손 지 명



2004년 2월: 인천대학교 전자공학과 (공학사)
 2004년 3월~현재: 인천대학교 전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] 단말기 안테나, 전자파 비흡수율