

# Z자형 패치를 갖는 광대역 평판형 모노폴 안테나 설계 및 SAR 해석

## The Design and SAR Analysis of the Broadband Printed Monopole Antenna with Z-patch

이 호 민 · 이 승 우 · 김 남\*

Homin Lee · Seungwoo Lee · Nam Kim\*

### 요 약

본 논문에서는 PCS/IMT-2000/WLAN 단말기용 광대역 평판형 모노폴 안테나를 설계하였다. 다양한 설계 파라미터들을 이용하여 주파수 특성을 최적화하였으며, 일반적인 평판형 모노폴 구조의 협대역 특성을 개선하기 위해 두 개의 Z자형 패치를 사용하여 광대역 특성을 얻었다. 제작된 안테나는 -10 dB 이하에서 1.590~2.614 GHz(48.43 %)로 PCS/IMT-2000/WLAN 대역을 모두 만족하는 광대역 특성을 얻었다. 전자파 흡수율을 알아보기 위해 실제로 폴더형 구조를 가지는 휴대폰에 제안된 안테나를 탑재하여 1 g 및 10 g 평균 침투 SAR를 측정하고 값과 시뮬레이션 결과를 비교하였다. 측정된 SAR 값은 1.8 GHz에서 1 g 최대 평균치 0.744 W/kg, 10 g 최대 평균치 0.368 W/kg으로 1 g 및 10 g 평균 SAR 제한치인 1.6 W/kg, 2 W/kg보다 낮은 값을 확인할 수 있었다.

### Abstract

This paper proposed a novel broadband printed monopole antenna for PCS/IMT-2000/WLAN terminals. Frequency characteristics are optimized with various design parameters. Two Z-shaped patches were utilized in order to improve the characteristics of a printed monopole antenna which usually has a narrow bandwidth. The bandwidth of the realized antenna is 1.590~2.614 GHz(48.43 %) below the return loss of -10 dB which contain the required bandwidth of PCS/IMT-2000/WLAN band. The simulated and measured values of 1 g and 10 g averaged peak SAR on human head caused by the proposed antenna on folder-type phone were analyzed and discussed. As a result, the measured 1 g peak SAR value is 0.744 W/kg and 10 g peak SAR value is 0.368 W/kg at 1.8 GHz. The results are smaller than the reference SAR limit values that are respectively 1.6 W/kg and 2 W/kg on 1 g and 10 g averaged SAR values.

Key words : Monopole Antenna, Broadband, SAR

### I. 서 론

이동 통신 기술의 급속한 발전으로 WCDMA, DMB, 블루투스 등 다양한 휴대 전화 서비스가 활성화 되었고, 이에 따라 이중 대역 혹은 다중 대역에서

동작할 수 있는 안테나의 개발이 요구되고 있다.

최근에는 휴대가 용이하고 외장형 안테나 단말기보다 견고한 형태의 내장형 안테나 단말기의 수요가 증가함에 따라 내장형 안테나의 연구가 활발히 진행되고 있는데, 이러한 내장형 안테나는 소형 및 경량

\*이 논문은 2007년 교육인적자원부의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(지방연구중심대학 육성사업/충북 BIT연구중심대학 육성사업단)

충북대학교 바이오전자과(Division of Bioelectronics, Chungbuk National University)

\*충북대학교 정보통신공학과(Division of Information and Communication Engineering, Chungbuk National University)

· 논문 번호 : 20071012-114

· 수정완료일자 : 2007년 11월 21일

이라는 장점을 가지고 있는 반면, 안테나의 크기가 소형이고 단말기 내부에 탑재되어 있기 때문에 안테나의 이득이 감소할 수 있다. 게다가 내장형 카메라, LCD, 배터리 등 다른 장치에 의하여 안테나의 특성이 바뀔 수도 있다. 반면, 휴대폰 케이스에 의해 외장형 안테나보다 SAR의 영향을 감소시킬 수 있다는 이점을 가지고 있어서 내장형 안테나 설계시 이런 조건들을 고려한다면 좋은 특성을 갖는 안테나를 설계할 수 있을 것이다.

이동 통신 단말기 내장형 안테나에 적합한 형태로는 칩 안테나, PIFA 안테나, 평판형 모노폴 안테나 등이 있다. 칩 안테나는 소형화의 장점이 있지만, 충격에 약하고 제작 비용이 높으며 협대역 특성을 갖는 단점이 있다. PIFA 안테나는 소형·경량이면서 제작이 쉽고, 안테나 특성이 우수하나, 안테나의 높이가 낮아질수록 커패시턴스의 성분이 감소해 대역폭이 좁아지는 특성이 있기 때문에, 안테나의 높이를 줄일 경우 협대역 특성을 갖는 단점이 있다. 광대역 또는 이중 대역에서 동작하는 평판형 모노폴 안테나는 제작이 용이하고, 인쇄 회로 기술에 의한 대량 생산이 가능하므로 위성 통신 및 이동 통신 단말기용 안테나로 적합한 안테나이다. 그러나 전체적으로 안테나의 크기가 큰 단점이 있기 때문에 안테나의 크기를 줄이기 위해 유전율이 높은 기판을 사용하는 방법, 적층하는 방법, 구조를 변형시키는 방법 등이 연구되고 있다<sup>[1]</sup>.

본 논문에서 제안한 안테나는 두 개의 Z자형 패치를 이용하여 PCS 주파수 대역(1.750~1.870 GHz)과 IMT-2000(1.920~2.170 GHz), WLAN(2.400~2.480 GHz) 대역에서 사용이 가능한 광대역 평판형 모노폴 안테나를 설계 제작하였다.

## II. 안테나 구조 및 특성

### 2-1 평판형 모노폴 안테나

일반적인 평판형 모노폴 안테나는 그림 1과 같이 굽전 선로와 방사 패치가 유전체의 동일한 평면 위에 존재하며, 유전체의 반대쪽에 유한한 그라운드 평면이 존재하는 구조이다. 일반적으로 평판형 모노폴 안테나의 특성은 안테나의 전체 길이가 공진 주

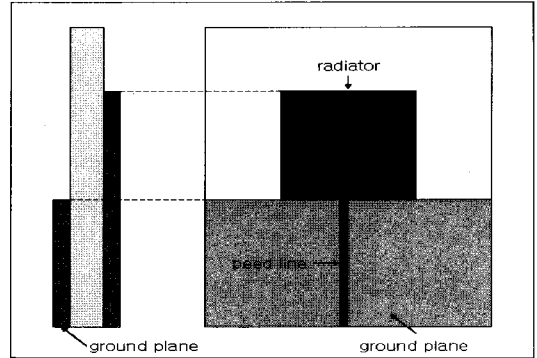


그림 1. 일반적인 평판형 모노폴 안테나의 구조  
Fig. 1. Structure of a generally printed monopole antenna.

파수 파장의  $\lambda/4$ 이고, 임피던스 대역폭이 협대역이라는 점이다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 다양한 형태의 방사 패치가 소개되었다. 두 개의 T자형 스트립으로 구성된 방사체<sup>[2]</sup>, 하나의 모노폴과 기생 패치로 구성된 방사체<sup>[3]</sup>, 삼각형<sup>[4]</sup> 혹은 원형<sup>[5]</sup>으로 테이프링한 특정한 모양의 방사가 이중 대역 또는 광대역 안테나로 소개되었다.

유한한 그라운드 평면을 가지는 안테나의 경우, 그라운드 평면의 크기를 변화시키면 입력 임피던스, 이득 혹은 방사 패턴 등과 같은 안테나의 성능이 변하지만 그 정도가 크지 않다. 한 예로 PIFA의 경우, 그라운드의 크기가  $0.8 \lambda$ 보다 크면 그라운드 평면의 크기에 따른 공진 주파수가 크게 달라지지 않는다<sup>[6]</sup>. 하지만 평판형 모노폴 안테나는 그라운드 평면의 크기에 따라 안테나의 동작 주파수와 대역폭이 크게 달라지는 것이 보고된다<sup>[1],[2]</sup>. 따라서 평판형 모노폴 안테나 설계시 방사체의 모양에 따른 특성 연구에만 초점을 둘 것이 아니라, 그라운드 평면의 크기 또한 같이 고려해야 한다<sup>[7]</sup>.

### 2-2 안테나 구조

본 논문에서는 내장형 안테나를 만들기 위하여 서로 크기가 다른 2개의 Z자 모양 방사체를 가지는 평판형 모노폴 안테나를 제안하고, 각종 파라미터의 비교 분석을 통하여 광대역 특성을 얻었으며, 그라운드 크기를 조절하여 안테나의 특성을 최적화 하였다.

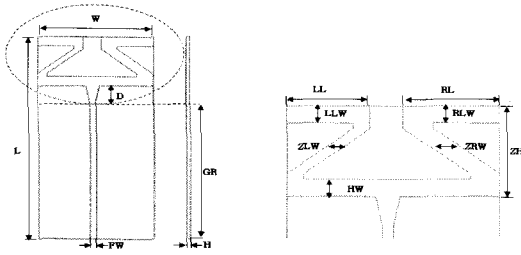


그림 2. 제안된 평판형 모노폴 안테나의 구조  
Fig. 2. Structure of the proposed printed monopole antenna.

전체적인 크기는  $32 \times 66 \times 1 \text{ mm}^3$ 로 설계하였다. 기판은 유전율 4.62이고, 손실 탄젠트는 0.002인 FR-4 기판을 사용하였으며, 한 쪽 면에  $32 \times 45 \text{ mm}^2$ 의 접지면 패치, 반대쪽 면에  $32 \times 16 \text{ mm}^2$ 의 안테나 패치가 인쇄된 형태이다. 안테나 입력 임피던스 매칭에 영향을 미치는 파라미터로 기판의 두께와 유전율, 박막 두께를 우선적으로 고려한 후 FR-4 기판 위에 프린트하였다. 이는 마이크로스트립 라인의 폭을 조절함으로써 안테나의 입력 임피던스와 마이크로스트립 라인과의 사이에 좋은 매칭을 얻을 수 있기 때문이다.

모노폴 안테나  $\lambda/4$ 의 길이를 만족하는 구조에서 PCS/IMT-2000/WLAN의 주파수 대역을 만족하기 위한 안테나의 전기적 길이는 약 40 mm로 제안된 안테나에서는 두 개의 Z자형 방사체를 사용하여 공진 주파수 대역을 맞출 수 있었다. 또한, 안테나 구조에 있어 왼쪽 Z자형 방사체와 오른쪽 Z자형 방사체의 크기와 라인 두께에 따라 안테나 공진 특성에 영향을 줄 것이라 예상하고, 이들을 가변 설계 파라미터로 정하여 그 변화를 살펴보았다.

### 2-3 안테나 설계

제안한 안테나의 설계 및 해석을 위하여 상용 EM 시뮬레이터인 CST사의 MWS를 사용하였다. 먼저 그림 3에서 2.1 GHz에서 방사체와 그라운드 평면에 흐르는 표면 전류를 나타내었다. 방사체와 그라운드 평면은 다른 층에 존재하지만 방사체에 여기된 전자 기적 필드는 방사체와 그라운드 평면에 유도 작용(interaction)을 일으켜 급전이 급전 선로를 따라 중앙에서 일어나게 된다. 그림 3에서 중앙의 급전 선로를 따라 가운데 부분에 전류가 많이 흐르는 것을 확

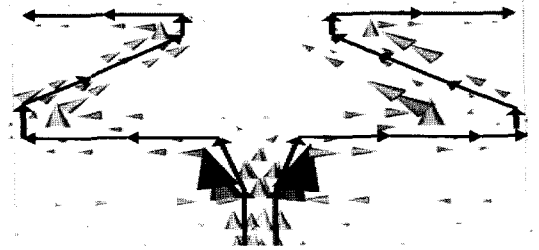


그림 3. 방사체와 그라운드 평면에서의 표면 전류  
Fig. 3. Surface currents on the radiator and ground plane.

인할 수 있다. 그림 4는 그라운드 길이(GR)를 40~48 mm까지 변화시켰을 때 따른 반사 손실의 변화를 보여준다. 그라운드 평면의 길이가 늘어나는 것은 일반적인 다이폴의 굵기가 두꺼워지는 것과 동일한 효과가 나타난다. 다이폴의 굵기가 두꺼워지면 다이폴 안테나의 대역폭이 증가하게 되는데, 평판형 모노폴 안테나에서는 등가적으로 다이폴의 두께에 해당하는 그라운드의 길이가 늘어나면 안테나의 대역폭이 증가하는 현상이 관찰됨을 예측할 수 있다.<sup>[7]</sup> 그림 4를 통해 제안한 안테나에서도 그라운드의 길이가 40~46 mm까지 늘어나다가 48 mm에서 약간 줄어든 것을 확인할 수 있었는데, 이는 방사체와 그라운드 사이의 간격이 너무 근접하여 대역폭이 줄어든 것으로 사료된다. 또한, 그라운드 길이가 증가할

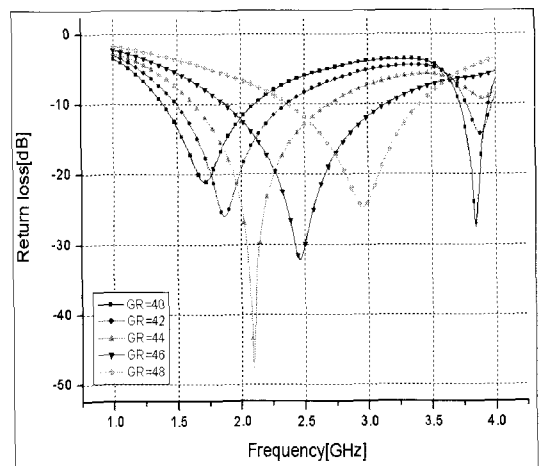


그림 4. 그라운드 길이 변화에 따른 반사 손실 변화  
Fig. 4. Return loss by varying the length of the ground.

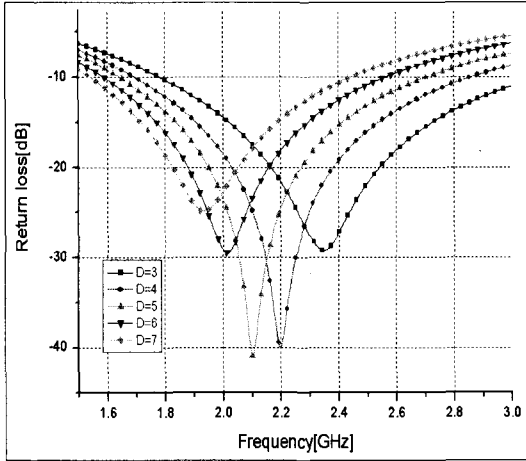


그림 5. 그라운드와 패치 사이의 거리에 따른 반사 손실 변화

Fig. 5. Return loss by varying the distance from ground to patch.

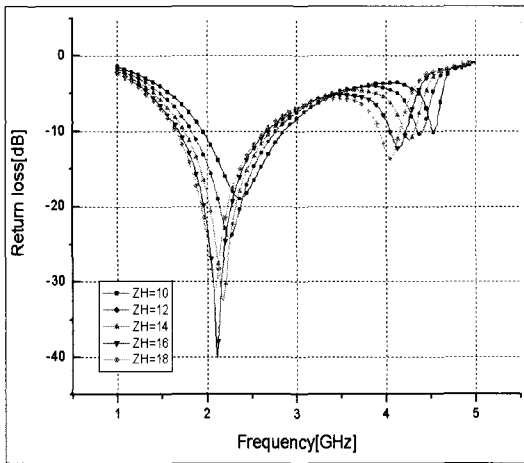


그림 6. Z자형 방사체의 수직 길이에 따른 반사 손실 변화

Fig. 6. Return loss by varying the vertical length of Z-patch.

수록 패치와 그라운드 사이에 흐르는 전류의 길이가 짧아짐에 따라 공진 주파수가 높아지는 것을 확인할 수 있었다.

급전 선로와 방사체의 50 Ω 임피던스 매칭을 위해 방사체와 피드라인 사이에 테이프링을 하였다. 그림에는 나타내지 않았지만 테이프링을 하지 않은 경우, 임피던스 매칭이 이루어지지 않아 안테나의 반사 손실이 매우 큰 것을 확인할 수 있었다. 그림

5는 그라운드와 패치 사이의 거리(D)의 변화에 따른 최적화 결과를 보여준다. D가 3 mm일 때 공진 주파수가 가장 높았고, D값이 커짐에 따라 공진 주파수가 낮아짐을 확인할 수 있었다. 이것은 그라운드 평면의 위쪽 끝단부터 방사체까지 흐르는 전류의 길이가 길어졌기 때문이다. 이를 통해 그라운드와 방사체의 거리를 통해 공진 주파수를 조절할 수 있음을 알 수 있다. 또한, D값이 5 mm일 때의 반사 손실 값이 가장 작게 나타났는데, 이는 테이프링을 한 부분의 길이가 5 mm일 때 피드라인과 방사체의 임피던스 매칭이 가장 잘 이루어졌기 때문인 것으로 사료된다.

그림 6은 Z자형 방사체 기울어진 라인의 수직 길이(ZH)의 변화에 따른 최적화 결과를 보여준다. 수직 길이가 길어짐에 따라 전류의 길이가 길어져 공진 주파수가 낮아질 것이라 예측 가능한 결과를 보이고 있다. 수직 길이가 짧을수록 안테나의 크기는 줄어들겠지만 여기서 주의해야 할 점은 수직 길이가 변화함에 따라 반사 손실 값 또한 크게 변화한다는 것이다. 이것은 수직 길이가 짧을수록 수평한 라인과 기울어진 라인이 이루는 각이 작아지는데, 이에 따라 전류의 흐름이 급격하게 변화하게 되어 반사 손실 값이 커지게 되기 때문이다. 그러므로 방사체의 수직 길이는 반사 손실과 방사체의 크기를 모두 고려하여 결정하여야 한다.

그림 7은 수평 라인(HW)의 변화에 따른 최적화 결과를 보여준다. HW는 방사체의 수평 라인에 따른 반사 손실의 변화를 보기 위해 설정한 파라미터이다. HW의 값이 작을수록 공진 주파수가 낮아지고 반사 손실이 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 반면 대역폭은 HW의 값이 커질수록 개선되는 것을 확인할 수 있었다. 그림 8은 오른쪽 방사체 라인(ZRW)의 폭에 따른 최적화 결과를 보여준다. ZRW는 오른쪽 Z자형 방사체의 기울어진 라인 폭에 따른 반사 손실의 변화를 보기 위해 설정한 파라미터이다. ZRW의 값이 작을수록 공진 주파수는 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 최소 반사 손실을 보면 ZRW가 6 mm일 때까지 작아지다가 그 이상부터는 다시 커짐을 알 수 있다. 최소 반사 손실은 6 mm일 때 가장 작았지만 반사 손실과 대역폭을 고려하였을 때 5 mm일 때가 가장 적합함을 알 수 있었다. 그림 9는 ZRW의 값을 5 mm로 고정한 채 왼쪽 Z자형 방사체의 기울어진

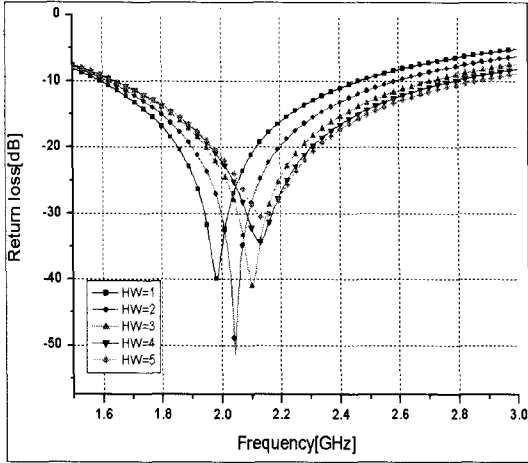


그림 7. 수평 라인(HW)의 폭에 따른 반사 손실 변화  
Fig. 7. Return loss by varying the width of the horizontal line(HW).

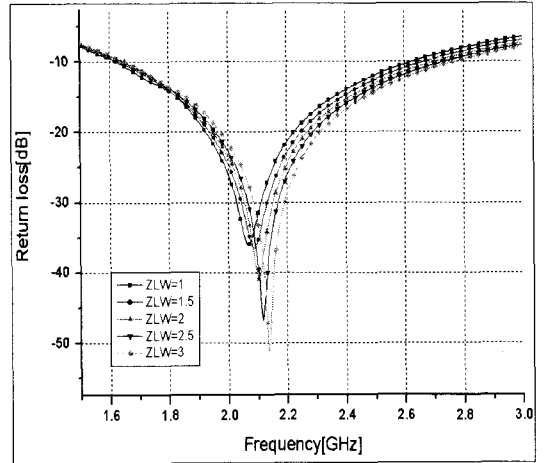


그림 9. 왼쪽 Z자형 방사체 라인(ZLW)의 폭에 따른 반사 손실 변화  
Fig. 9. Return loss by varying the width of the left Z-patch tilt line(ZLW).

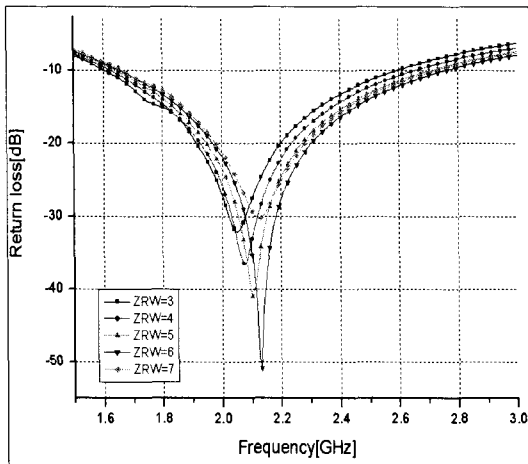


그림 8. 오른쪽 Z자형 방사체 라인(ZRW)의 폭에 따른 반사 손실 변화  
Fig. 8. Return loss by varying the width of the right Z-patch tilt line(ZRW).

라인 폭(ZLW)의 변화에 따른 최적화 결과를 보여준다. ZRW와 마찬가지로 ZLW의 값이 작을수록 공진 주파수가 낮아지는 것을 확인할 수 있었고, 2 mm일 때 가장 적합한 반사 손실과 대역폭을 보였다. ZRW와 ZLW의 값이 클수록 대역폭이 개선되는 것을 확인할 수 있었고, 공진 주파수에도 약간의 변화가 있었는데, 이것은 기울어진 라인의 폭이 클수록 방사체에 흐르는 전류의 길이가 짧아졌기 때문인 것으로

사료된다. 그림에는 나타나지 않았지만 왼쪽 Z자형 패치의 수평 라인 폭(LLW)과 오른쪽 Z자형 패치의 수평 라인 폭(RLW)의 변화에 따른 최적화 결과도 변화량은 작았지만 앞에서 언급한 세 경우와 비슷한 결과를 보였다. 각각의 라인 폭을 조절함으로써 공진 주파수와 반사 손실 값을 최적화할 수 있었다.

그림 10은 Z자형 패치 각각 하나씩만 존재하였을 때의 결과를 보여준다. 왼쪽 Z자형 패치만 남았을

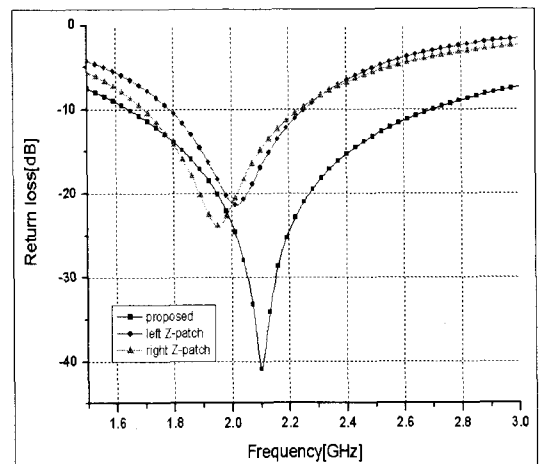


그림 10. Z자형 방사체의 유무에 따른 반사 손실 변화  
Fig. 10. Return loss by varying the existence of left or right Z-patch.

표 1. 제안된 안테나의 설계 파라미터

Table 1. Design parameters for the proposed antenna.

파라미터	파라미터 정의	값 [mm]
<i>W</i>	기판의 가로 길이	32
<i>L</i>	기판의 세로 길이	66
<i>H</i>	기판의 두께	1
<i>GR</i>	그라운드와 패치의 세로 길이	44
<i>FW</i>	급전선 폭	1.7
<i>D</i>	그라운드와 패치 사이의 거리	6
<i>HW</i>	수평 라인의 폭	3
<i>ZRW</i>	오른쪽 Z자형 패치의 기울어진 라인 폭	5
<i>ZLW</i>	왼쪽 Z자형 패치의 기울어진 라인 폭	2
<i>RL</i>	오른쪽 Z자형 패치의 수평 길이	15
<i>LL</i>	왼쪽 Z자형 패치의 수평 길이	12
<i>RLW</i>	오른쪽 Z자형 패치의 수평 라인 폭	3
<i>LLW</i>	왼쪽 Z자형 패치의 수평 라인 폭	3
<i>ZH</i>	Z자형 방사체의 수직 길이	16

때의 공진 주파수가 오른쪽 Z자형 패치만 남았을 때의 공진 주파수보다 약간 높은 것을 확인할 수 있다. 이것은 오른쪽 Z자형 패치가 왼쪽 Z자형 패치보다 크기 때문에 흐르는 전류의 길이가 길기 때문이다. 제안한 안테나의 경우, 공진 주파수가 높아진 것을 확인할 수 있는데, 이는 하나의 패치로만 흐르던 전류가 양쪽으로 나뉘어져 각각의 패치에 흐르는 전류의 길이가 짧아졌기 때문으로 예상되어진다.

이렇게 최적화 과정을 통해 실제 안테나에 적용된 파라미터를 표 1에 나타내었다. 최적화 과정을 통한 계산 결과, 공진 주파수 대역은 1.650~2.704 GHz(48.4 %) 대역으로 PCS/IMT-2000/WLAN 대역을 포함하는 결과를 확인할 수 있었다.

### III. 안테나 제작 및 측정

안테나 제작은 설계 조건과 같은 기판인 유전율 4.62이고, 손실 탄젠트는 0.002+0.02 %인 FR-4 기판을 사용하였다. 그림 11은 제작된 안테나의 실제 모습이며, 그림 12는 최적화된 안테나의 계산치와 측정치를 비교한 그래프이다. 계산 결과, 공진 주파수 대역은 1.650~2.704 GHz(48.4 %) 대역이었으며, 측

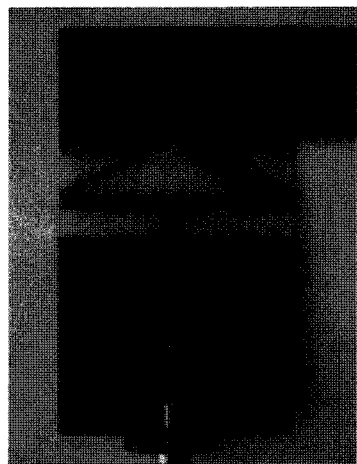
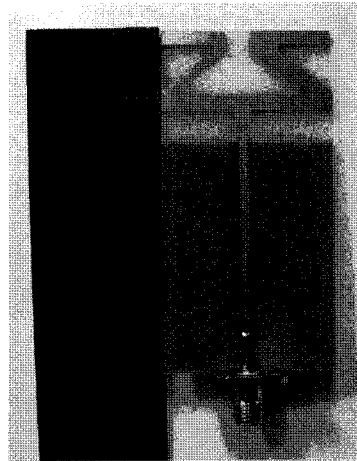


그림 11. 제작된 안테나의 사진

Fig. 11. Photograph of the fabricated antenna.

정 결과, 공진 주파수 대역은 1.590~2.614 GHz(48.4 %)으로 두 결과 모두 PCS(1.750~1.870 GHz), IMT-2000(1.920~2.170 GHz), WLAN(2.400~2.480 GHz) 대역을 모두 만족하는 결과를 얻을 수 있었다. 측정된 결과에서 공진 주파수는 계산된 결과와 약간의 차이는 있었지만 대체로 유사함을 알 수 있다.

그림 13은 PCS, IMT-2000, WLAN의 중심 주파수인 1.8 GHz, 2.1 GHz, 2.4 GHz의 측정 방사 패턴을 나타낸 그림이다. 일반적인 모노폴 안테나의 경우, H-plane 특성이 전방향성이어야 한다. 본 논문에서 설계 제작한 모노폴 안테나의 H-plane 특성은 대체로 전 방향성 패턴을 보여 어느 위치에서라도 송수신이 가능하다는 것을 알 수 있다. 또한, 각각의 주

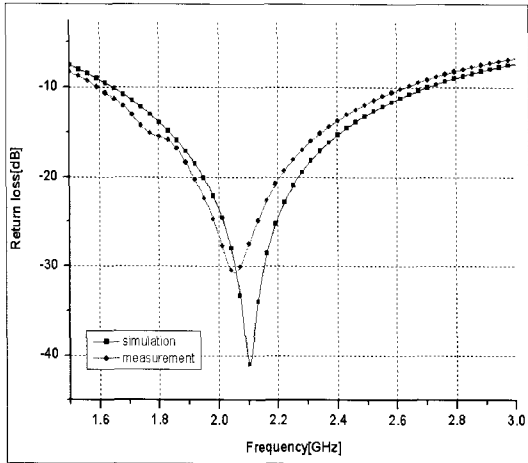


그림 12. 최적화 된 안테나의 계산치와 측정치의 반사 손실 비교

Fig. 12. Comparison of the simulated and measured return loss.

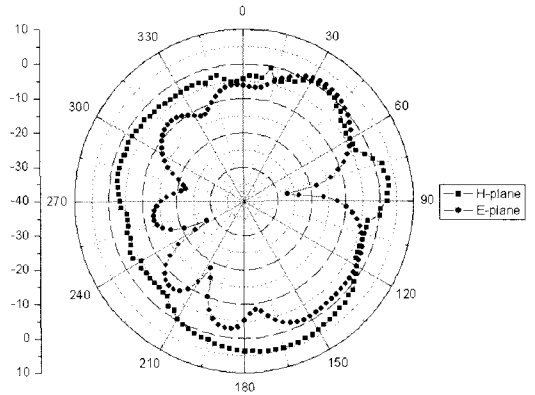
파수 대역에 있어 대체로 일정한 패턴을 보였다. 측정 결과의 최대 이득은 PCS 대역에서 4.37 dB, IMT-2000 대역에서 1.85 dB, WLAN 대역에서 1.58 dB로 확인되었다.

#### IV. SAR 계산 및 측정

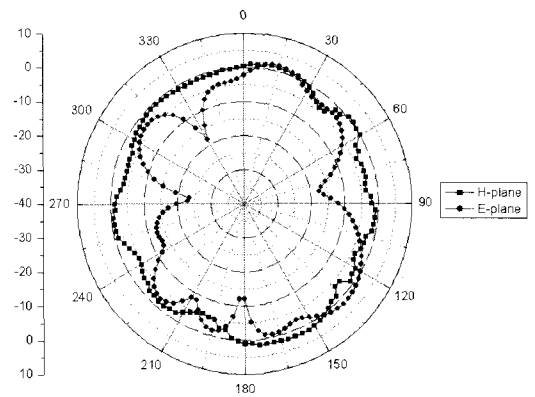
전자파가 인체에 미치는 영향에 대한 사전 예방적인 입장에서 국제기구 및 각 국가별로 현재 활발히 연구가 진행되고 있다. 특히 휴대 전화의 보급률이 높아짐에 따라 휴대 전화에서 나오는 전자파의 인체 유해성에 대한 대중들의 관심이 매우 높다. 이에 전 세계적으로 휴대 전화 전자파에 의한 인체 영향에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있으며, 각 나라에 맞는 전자파 인체 유해 기준을 제정하고 있다. 우리나라에서도 2002년 4월부터는 휴대폰 형식 등록 시 전자파 흡수율 적합성 심사 조항을 추가하여 기준치(1.6 W/kg)를 초과하는 경우에는 시장 판매를 금하였다<sup>[8]</sup>. 본 논문에서는 설계한 안테나를 SAR 해석 툴인 SEMCAD를 이용하여 SAR 계산을 하고, 실제 단말기에 안테나를 탑재하여 측정된 SAR 값과 비교하였다.

##### 4-1 SAR 계산

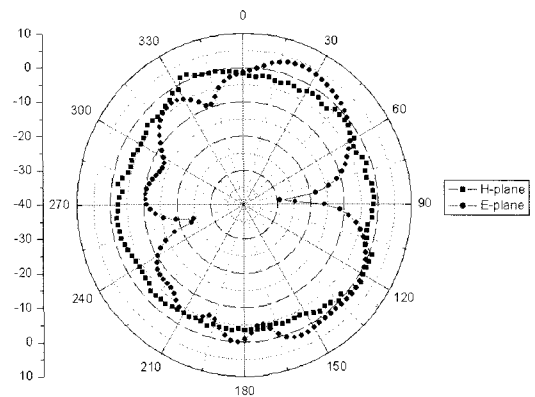
SAR는 전자파에 의해 인체에 흡수되는 전력의



(a)  $f=1.8$  GHz



(b)  $f=2.1$  GHz



(c)  $f=2.4$  GHz

그림 13. 측정된 방사 패턴

Fig. 13. Measured radiation patterns.

평균에 대한 물리량으로서 다음 식 (1)과 같이 정의된다.

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

표 2. SAM 팬텀의 재료 특성

Table 2. Characteristics of the SAM phantom.

조직 타입	1.8 GHz		밀도 [kg/m <sup>3</sup> ]
	상대 유전율 [ $\epsilon_r$ ]	전도도 [S/m]	
액체	40.0	1.40	1,000
모의 팬텀의 표피	3.5	0	

여기서  $\sigma$ 는 인체 조직의 전기전도도[S/m],  $\rho$ 는 인체 조직의 밀도[kg/m<sup>3</sup>],  $E$ 는 전계 강도의 실효치[V/m]를 말한다. 인체에 흡수되는 전계 분포를 계산하기 위해 시간 영역-유한 차분(Finite Difference Time Domain: FDTD) 수치 해석 방식을 사용하였다<sup>9)</sup>. 완전 정합 층을 갖는 흡수 경계 조건에서 휴대폰을 모델링 하였고, 모의 인체 두부 모델의 매질은 FCC에서 제공하는 인체 조직의 매질 특성을 균일화한 모델을 이용하였다.

단말기를 디자인할 때 실제 휴대폰과 유사하도록 몇 가지를 고려하였다. 단말기 제조 회사의 경우에는 기본적으로 들어가는 LCD 모니터, 키 버튼, 스피커, 배터리, PCB 기판, 단말기 케이스, 카메라 등을 모두 고려하여 설계하고 측정하지만, 본 논문에서는 구현하기 어려운 부분을 제외하고 디자인하였다. 1.8 GHz 대역의 유전체에 대한 유전율 및 도전율을 고려하여 팬텀 및 휴대폰의 유전율에 대한 관련 데이터를 사용하였다. 동작 주파수 대역이 PCS, IMT-2000, WLAN 대역이지만 실제 측정하려는 시험원의 측정 조건이 1.8 GHz 대역까지 환경이 구축되어 있기 때문에, 비교를 위해 시뮬레이션 입력 주파수를 1.8 GHz로 설정하였다.

#### 4-2 SAR 계산 값과 측정치의 비교 분석

SAR는 단말기의 위치, 손의 위치, 팬텀과의 거리, 단말기의 방사 출력 등 여러 가지 요인에 의해 상이한 값을 갖게 된다. 그 중에서도 단말기의 방사 출력은 SAR에 직접적인 영향을 주는 요인이라 할 수 있다. 단말기의 conducted power가 증가하면 SAR의 기본 식에서도 예측할 수 있는 것처럼 SAR 값도 그에 비례하여 증가한다. 단말기의 방사 출력이 SAR 값에 큰 영향을 주기 때문에 SAR 측정에 사용되는 휴대

표 3. 모델링 된 단말기의 주된 재료 파라미터

Table 3. The corresponding material parameters of the designed handset.

	상대 유전율 [ $\epsilon_r$ ]	전도도 [S/m]
단말기 케이스	3.5	$2e^{-2}$
키버튼	3.5	$2e^{-2}$
LCD 모니터	3	$1e^{-2}$

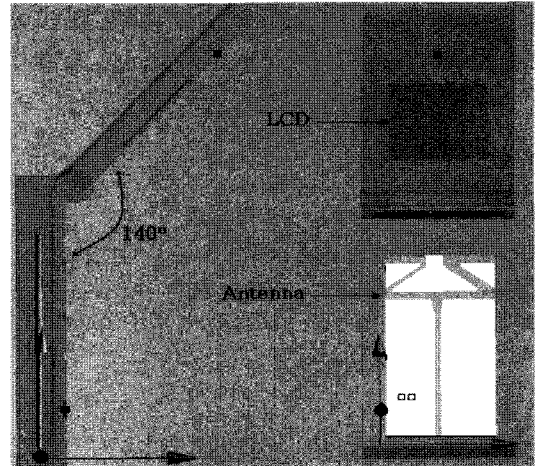


그림 14. 휴대 전화 단말기 모델

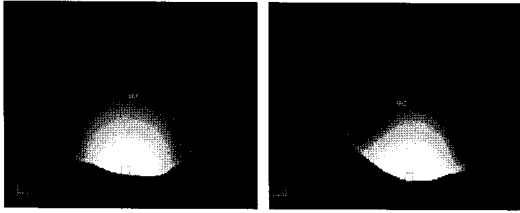
Fig. 14. Design of the handset.

전화 단말기는 연속적으로 최대 출력을 방사하는 상황에서 팬텀과 밀착하여 측정하며, 휴대 전화의 배터리는 완전히 충전된 상황에서 측정하게 된다. 이외에도 팬텀간의 거리, 안테나의 탑재 위치에 따라서도 SAR 값에 영향을 주게 된다.<sup>10)</sup> 본 논문에서는 이와 같은 점을 고려하여 시뮬레이션 하였다.

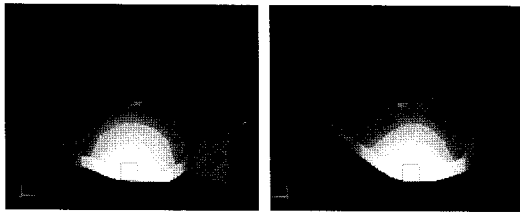
SAR 값을 계산하기 위해 이용된 모의 인체 머리 조직 전기정수는 국내 전자파 인체 보호 기준을 참조하였고, 인체 두부 표피가 포함된 균질 모델을 사용하였다. 이는 표 2에 나타내었다<sup>11)</sup>. 모델링 된 휴대 전화 단말기는 전자파 흡수율 측정 기준의 일반적인 폴더형 휴대단말기를 기준으로 그림 14와 같으며, 단말기 모델링 시 고려된 부분들의 재료 파라미터는 표 3과 같다<sup>12)</sup>.

PCS 대역에 대한 SAR 값을 구하기 위하여 1.8 GHz의 주파수에 입력 전력은 250 mW로 하여 1 g과 10 g 평균 SAR 값에 대한 결과를 도출하였다. 그림 14는 안테나를 폴더형 단말기의 하단부에 탑재하여





[xz plane] [yz plane]  
 (a) 1 g 평균 SAR(0.794 [W/kg])  
 (a) 1 g averaged SAR(0.794 [W/kg])



[xz plane] [yz plane]  
 (b) 10 g 평균 SAR(0.415 [W/kg])  
 (b) 10 g averaged SAR(0.415 [W/kg])

그림 15. 250 mW 입력 전력일 때의 1 g 및 10 g 평균 SAR

Fig. 15. 1 g and 10 g averaged SARs having the input power of 250 mW.

계산한 결과이다. 안테나를 폴더형 단말기의 하단부에 위치시키고 접촉 위치에서의 SAR 계산을 실시할 경우, 단말기의 하단부와 모의 인체 상의 한 점(뺨)에 접촉하게 되므로 SAR의 최대값은 뺨 쪽 부분의 피부 표면에서 1 g 및 10 g 최대 평균 SAR 값이 각각 0.794 W/kg, 0.415 W/kg이었다. 안테나가 단말기 아랫 부분의 상단에 위치하기 때문에 가장 가까운 뺨 쪽에서 최대 SAR 값이 검출된 것을 예상할 수 있다.

본 논문의 SAR 측정에는 EMF Safety사의 ESSAY-3 장비를 사용하였으며, 표 4는 SAR 측정 환경과 규격을 나타낸다. SAR 값을 계산할 때와 마찬가지로 입력 전력은 250 mW를 인가하여 측정을 실시하였고, 그림 16은 측정 결과를 나타내고 있다. 측정 결과, 입

표 4. SAR 측정 규격

Table 4. Specification of the SAR measurement.

항목	규격
측정 장비	ESSAY-3
모의 인체 액체 타입	Head
유전율	40
도전율 [S/m]	1.4
모의 인체 모델	Right SAM
온도 [°C]	23

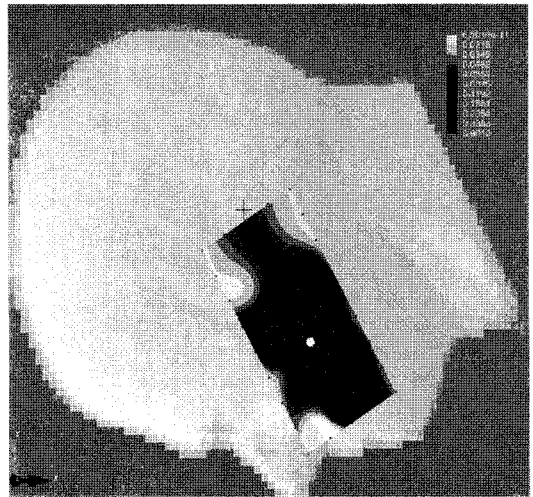


그림 16. SAR 측정 결과

Fig. 16. SAR measurement result.

력 전력이 1 g 평균 SAR 값은 0.744 W/kg, 10 g 평균 SAR 값은 0.368 W/kg이었다. 계산된 SAR 값과 측정된 SAR 값이 유사한 것을 확인할 수 있었고, 두 값 모두 우리나라의 SAR 1 g 평균 제한치인 1.6 W/kg과 10 g 평균 제한치인 2 W/kg을 모두 만족하는 결과임을 확인할 수 있었다.

## V. 결 론

표 5. SAR 계산치와 측정치 비교

Table 5. Comparison of the simulated and measured SAR results.

주파수 [GHz]	입력 전력 [W]	계산치 [W/kg]		측정치 [W/kg]	
		1 g 평균 SAR	10 g 평균 SAR	1 g 평균 SAR	10 g 평균 SAR
1.8	0.25	0.794	0.415	0.744	0.368

본 논문에서는 PCS/IMT-2000/WLAN 대역을 포함 하는 주파수에서 동작이 평판형 모노폴 안테나를 설계 및 제작하였다. 크기가 다른 두 개의 Z자형 패치를 이용하여 광대역 특성을 얻을 수 있었고, 실제 제작을 통하여 그 성능을 검증하였다. 측정 결과, 반사 손실  $-10$  dB 이하에서 대역폭은  $1.590\sim 2.614$  GHz (48.4 %)이었으며, 최대 이득은 PCS 대역에서  $4.37$  dB, IMT-2000 대역에서  $1.85$  dB, WLAN 대역에서  $1.58$  dB로 확인되었다.

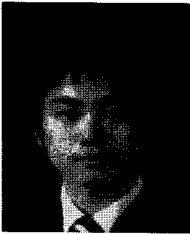
FDTD 해석기법을 사용한 상용 시뮬레이션 툴을 이용하여 SAR 값을 구하여 실제 측정값과 비교하였다. PCS 대역인  $1.8$  GHz에서의 SAR 값을 계산하였으며, 실제로 폴더형 휴대폰에 제안된 안테나를 탑재하여 측정한 결과, 두 값 모두  $1$  g 및  $10$  g 평균 제한치인  $1.6$  kg/W와  $2.0$  kg/W보다 낮게 나타났다.

본 연구 결과에 사용된 휴대폰의 매질 특성 및 측정 환경은 실제와 차이가 있을 수 있다. 따라서 보다 정확한 시뮬레이션 및 측정을 위해서 실제로 휴대폰 단말기를 구성하고 있는 여러 장치들에 대한 파라미터들을 고려한 분석이 필요할 것으로 보인다. 또한, SAR 값에 영향을 줄 수 있는 기타의 요인들로 휴대폰 전화기의 부차 위치, 손의 모양 또는 손의 위치 등을 고려한 연구와 방향성 안테나와 같이 안테나의 구조에 따른 방사 특성을 이용하는 것에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] 장병찬, 김채영, "반사 손실 합성법을 이용한 GSM900/DCS1800/PCS1900 내장형 안테나 설계", 한국전자파학회논문지, 18(5), pp. 503-510, 2007년 5월.
- [2] Yen-Liang Kuo, Kin\_Lu Wong, "Printed double-T monopole antenna for 2.4/5.2 GHz dual-band WLAN operations", *IEEE Trans. Antennas Propagation*, vol. 51, no. 9, Sep. 2003.
- [3] 이동현, 김후, 박위상, "WLAN 표준 규격의 전 주파수 대역(2.4/5.2/5.8 GHz)에서 동작하는 평면형 모노폴 안테나", 2004년 전자파기술 하계학술대회논문집, pp. 5-8, 2004년.
- [4] 황호순, 이동철, 임정섭, 장재삼, 이문수, "정삼각 마이크로 스트립 원형편파 안테나 설계", 전자공학회논문지, 43(8), pp. 984-990, 2006년 8월.
- [5] J. Liang, C. C. Chiau, X. Chen, and C. G. Parini, "Printed circular disc monopole antenna for ultra wideband applications", *Electronics Letters*, vol. 40, no. 20, Sep. 2004.
- [6] M. -C. Huynh, W. Stutzman, "Ground plane effects on planar inverted-F antenna(PIFA) performance", *IEEE Proc.-Microw. Antenna Propagation*, vol. 150, no. 4, Aug. 2003.
- [7] 이동현, 박위상, "표면 전류 분포를 이용한 T자형 UWB 평면형 모노폴 안테나 해석", 한국전자파학회논문지, 16(9), pp. 883-892, 2005년 9월.
- [8] IEEE standard for recommended practice for determining the peak spatial-average specific absorption rate(SAR) in the human body due to wireless communications devices, 1528-200X, Apr. 2002.
- [9] 홍수원, 김기희, 오학태, "한국인 인체두부모델을 이용한 SAR 계산", 제3회 전자장의 생체 영향에 관한 워크숍 발표집, 충남대학교 산학연교육연구관, pp. 86-98, 1999년 7월.
- [10] 신찬수, 신호섭, 김남, 최재익, 박주덕, "내장형 모노폴 안테나 설계 및 SAR 분석", 한국전자파학회논문지, 15(12), pp. 1190-1198, 2004년 12월.
- [11] 정보통신부고시 제2000-91호, "전자파인체보호 기준", 2000년.
- [12] 전파연구소고시 제2005-114호, "전자파흡수율 측정 기준", 2005년.
- [13] 최동근, 신호섭, 김남, 김용기, "다중대역을 가지는 SAR 저감용 광대역 PIFA 설계", 한국전자파학회논문지, 16(1), pp. 66-77, 2005년 1월.

이 호 민



2006년 2월: 충북대학교 전기전자  
컴퓨터공학부 (공학사)  
2006년 3월~현재: 충북대학교 바  
이오전자과 석사과정  
[주 관심분야] SAR 계산 및 측정,  
안테나 설계

김 남



1981년 2월: 연세대학교 전자공학  
과 (공학사)  
1983년 2월: 연세대학교 전자공학  
과 (공학석사)  
1988년 8월: 연세대학교 전자공학  
과 (공학박사)  
1992년 8월~1993년 8월: 미국 Stan-  
ford 대학교 방문교수  
2000년 3월~2001년 2월: 미국 California Technology In-  
stitute 방문교수  
1989년~현재: 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수  
1999년~현재: 컴퓨터 정보통신연구소 연구원  
[주 관심분야] 이동 통신 및 전파전파, 마이크로파 전송선  
로 해석, EMI/EMC 및 전자파 인체보호 규격

이 승 우



2003년 2월: 충북대학교 정보통신  
공학과 (공학사)  
2006년 2월: 충북대학교 정보통신  
공학과 (공학석사)  
2007년 3월~현재: 충북대학교 정보  
통신공학과 박사과정  
[주 관심분야] 안테나, 전자파 인체  
영향, EMI/EMC