

U-형 접지면 상에 배치된 평판형 역 F 안테나 구조를 이용한 휴대폰 단말기의 무선 성능 개선

Improvement of Radiation Performance of Mobile Phone Antenna Using PIFA on U-Shaped Ground Plane

이 정 호 · 송 재 관* · 육 종 관

Jeong-Ho Lee · Jae-Kwan Song* · Jong-Gwan Yook

요 약

본 논문에서는 GSM, DCS, PCS, WCDMA 대역을 지원하는 휴대폰 단말기의 무선 성능을 개선시키기 위한 PIFA(Planar Inverted-F Antenna) 구조와 접지면의 형태에 대해 연구하였다. 다중 공진을 유도하기 위해 안테나 방사체를 다수의 전류 경로를 가진 가지 구조로 설계한 후에 특정 방사체 아래쪽에 방사체와 유사한 모양의 접지면을 배치함으로써 안테나의 공진 특성과 방사 효율을 개선시켜 휴대폰 단말기의 무선 성능을 개선할 수 있는 설계 방법에 대해 제안한다. 실제 휴대폰 단말기를 통해 제안된 안테나와 접지면 구조에 대한 무선 성능을 측정 한 결과, 적용 이전에 비해 GSM 대역의 TRP(Total Radiated Power)는 2.0 dB, TIS(Total Isotropic Sensitivity)는 3.7 dB 향상되었으며, DCS 대역 TRP와 TIS는 각각 2.2 dB, 2.0 dB가 향상되는 결과를 얻었다. 또한 PCS 대역 TRP, TIS는 0.8 dB, 1.5 dB 향상되었으며, WCDMA 대역 TRP, TIS는 1.3 dB, 0.7 dB 향상되었다.

Abstract

In this paper, we propose antenna topology and ground plane shape to improve the performance of PIFA (Planar Inverted F Antenna) which is built-in mobile phone. First, we designed the PIFA antenna consists of multiple radiators to provide multi-current paths. Then we designed U-shaped ground plane on the PCB under the antenna. The proposed antenna structure shows TRP/TIS improvement of 2.0 dB/3.7 dB for GSM and 2.2 dB/ 2.0 dB for DCS and 0.8 dB/1.5 dB for PCS and 1.3 dB/0.7 dB for WCDMA at the free space.

Key words : PIFA, Ground Plane, Mobile Phone Handset, TRP, TIS

I. 서 론

최근 휴대폰 단말기들이 다기능화, 소형화 되면서 단말기 내부에 안테나가 차지하는 공간이 더욱 협소해지게 되었으며, 안테나 역시 소형화 설계가 끊임 없이 요구되고 있다. 또한 단말기 하나로 세계 여러 나라의 서비스를 이용할 수 있도록 다중 대역 설계

가 보편화되고 있는 추세이다. 하지만 안테나가 소형화되면서 낮은 방사 저항과 협대역 특성을 갖게 되어 안테나 이득이 저하되고 방사 효율이 낮아지게 되는데, 이로 인해 휴대폰 단말기의 무선 성능을 확보하는 일이 더욱 어려워지고 있다^{[1][2]}.

휴대폰 단말기에 사용되는 내장형 안테나의 종류로는 FMA(Folded Monopole Antenna), PIFA(Planar

연세대학교 전기전자공학과(Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Yonsei University)

*LG전자 MC사업본부 MC연구소(Mobile Handset R&D Center, Mobile Communications Company, LG Electronics Inc.)

· 논문 번호 : 20091130-141

· 교신저자 : 이정호(e-mail : jlee0@yonsei.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2009년 12월 31일

Inverted F Antenna), IFA(Inverted F Antenna), Chip 안테나 등이 있다. 가장 먼저 연구되기 시작한 IFA는 협대역 특성이 강하고 이득이 낮아 이를 개선하기 위해 방사체의 면적을 크게 하여 이득과 대역폭을 향상시킨 PIFA가 개발되었으며, 현재까지 가장 널리 사용되고 있다^{[3][4]}. 하지만 최근 휴대폰 단말기가 더욱 소형화되면서 안테나 공간도 급격히 줄어들게 되어 변형된 구조의 IFA 사용이 다시 늘어나고 있다^[5].

PIFA가 IFA에 비해 안테나 특성이 향상된 방식이긴 하지만 여전히 낮은 방사 효율과 협대역 특성을 가진다. 따라서 이러한 소형 안테나의 단점을 보완하기 위해 안테나 주변에 기생 소자를 배치하거나^[6], 안테나의 높이를 증가시키는 방법, 또는 다중 공진을 유도하는 방법 등이 사용되고 있으며, 휴대폰 단말기에서와 같이 안테나 주변의 접지면을 일정 부분 제거함으로써 방사 효율을 개선시키고 대역폭이 확장되는 효과를 얻기도 한다.

본 연구는 휴대폰 단말기에 내장되는 안테나 패턴과 접지면 구조를 이용하여 단말기의 무선 성능을 향상시키는 방법에 관한 연구이다. GSM, DCS, PCS, WCDMA 4개 대역 특성을 갖는 PIFA 방사체 패턴과 접지면 역할을 하는 PCB(Printed Circuit Board)의 접지면 구조를 설계하였고, 실제 휴대폰을 이용하여 그 특성을 확인하였다.

II. 안테나 및 접지면 구조 설계

본 연구에는 슬라이드 형태의 휴대폰 단말기를 이용하였으며, 내장된 안테나는 PIFA로서 단말기의 하단에 위치한다. 안테나 패턴과 접지면 구조의 설계와 특성 검토는 Ansoft사의 HFSS v11을 이용하여 시뮬레이션 하였다.

초기 설계된 접지면의 구조는 그림 1과 같이 일반적인 휴대폰의 접지면 구조로서 안테나의 방사 효율을 높이고 대역폭 확장 효과를 얻기 위해 안테나 배치 공간인 45×16 mm 크기만큼 하단 PCB의 접지층을 모두 제거한 구조로 설계되었다. 안테나 패턴은 다중 공진을 유도하기 위해 다수의 전류 경로를 가진 가지 구조로 설계되어 있으며, 크기는 32×11.7×4.4 mm이다. GSM 대역에서 공진하는 패턴 소자가 유전체의 측면을 따라 배열되어 있으며, 유전체 상단에

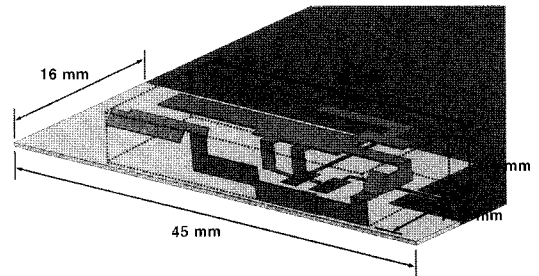


그림 1. 초기 안테나와 접지면 구조
Fig. 1. Original antenna & ground plane structure.

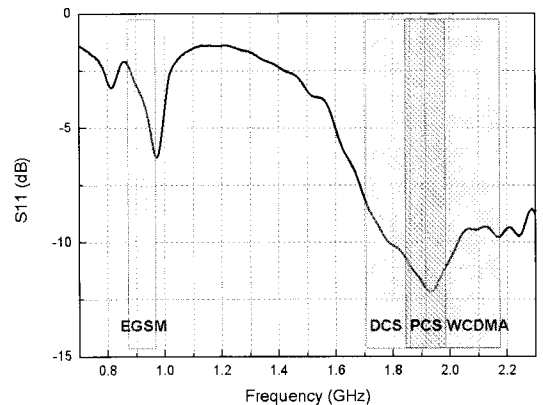


그림 2. 초기 구조의 시뮬레이션 S_{11} 특성
Fig. 2. Simulated S_{11} of the original structure.

DCS 대역에서 공진하는 패턴 소자가 GSM 패턴 소자와 나란히 배열되어 있다. 또한 DCS 패턴 소자 옆으로 PCS 대역과 WCDMA 대역에서 공진하는 짧은 길이의 패턴 소자가 배열된 구조를 가지고 있다.

그림 2는 초기 설계된 안테나와 접지면 구조에 대해 시뮬레이션 된 휴대폰 단말기의 S_{11} 특성을 나타낸다. DCS, PCS, WCDMA에 걸친 고주파 대역의 경우 비교적 광대역 특성을 나타내고 있으나, $VSWR < 2$ 인 구간이 1.79~2.02 GHz로서 230 MHz의 대역폭을 가지며, 방사 효율은 최대 29%를 나타내고 있다. 또한 GSM 대역의 경우 전반적으로 낮은 방사 손실 특성을 나타내며, 방사 효율도 최대 16%로 무선 성능이 크게 떨어지는 것으로 나타나고 있다.

초기 설계된 안테나와 접지면 구조의 공진 특성 및 무선 성능을 향상시키기 위해 안테나 패턴과 하단 접지면 구조를 변화시켜 특성을 검토하였으며, 제안된 안테나와 접지면 구조 및 900 MHz 대역에서의 전류 분포가 그림 3에 나타나 있다. 파장이 긴 GSM

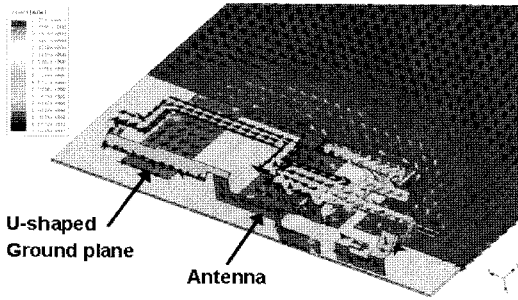


그림 3. 900 MHz 대역에서의 전류 분포
Fig. 3. Current distribution at 900 MHz.

대역은 접지면의 길이를 확장시켜 공진 특성을 향상시킬 수 있으나, 한정된 크기의 단말기에서 접지면을 확장시키는 것은 구조적인 어려움이 따르며, 또한 안테나 하단 전체가 접지면으로 완전히 덮이는 경우, 안테나 패턴과 접지면 사이의 전류 상쇄로 인해 방사 효율이 떨어지고 대역폭은 좁아지게 된다. 반면, 파장이 짧은 고주파 대역의 경우, 접지면 크기에 대한 영향이 적으며, 설계 구조에 따라서 안테나 하단의 접지면이 지향성을 높이는 역할을 하여 방사 특성을 향상시킬 수 있다. 따라서 확장된 접지면을 U-형태로 설계하여 접지면의 전류 흐름을 변화시킴으로써 안테나 패턴과의 전류 상쇄를 최소화하였으며, GSM 대역 공진과 DCS 대역 공진이 함께 발생하는 GSM 패턴 소자를 U-형태 접지면과 유사한 형태로 설계함으로써 지향성과 방사 특성이 향상될 수 있도록 설계하였다. 또한 나란히 배열되어 있던 GSM 대역 소자와 DCS 대역 소자의 형태를 패턴 중단이 서로 마주보는 구조로 제안하였다.

그림 4는 제안된 안테나 패턴과 U-형태 접지면 구조의 시뮬레이션 된 S_{11} 특성을 나타낸다. 초기 설계 구조에 비해 GSM 대역의 반사 손실 특성이 향상된 것을 볼 수 있으며, 방사 효율은 최대 24%로 증가된 것으로 나타나고 있다. 또한 고주파 대역 역시 $VSWR < 2$ 인 구간이 1.8~2.2 GHz로 대역폭이 170 MHz 확장되었으며, 방사 효율도 최대 36%로 향상된 결과를 얻음으로써 제안된 U-형태 접지면 구조와 안테나 패턴의 적용으로 인해 휴대폰 단말기의 성능이 향상된 것을 확인할 수 있다.

III. 제작 및 측정

시뮬레이션 된 특성 검토 결과와 실제 단말기 상

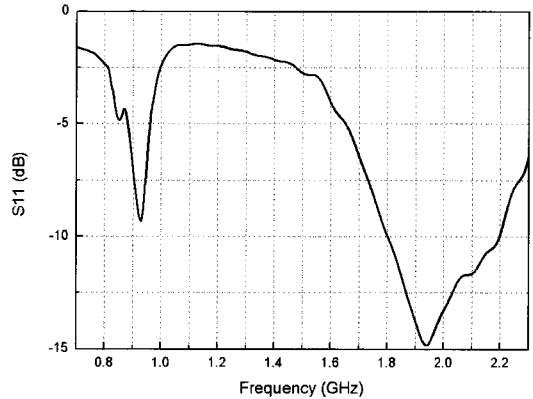


그림 4. 제안된 구조의 시뮬레이션 S_{11} 특성
Fig. 4. Simulated S_{11} of the proposed structure.

에서의 특성이 정확히 일치하기는 어렵기 때문에 시뮬레이션 결과를 바탕으로 초기 설계된 안테나 패턴과 PCB, 그리고 제안된 안테나 패턴과 U-형태 접지면 구조의 PCB를 실제로 제작하여 특성을 검토하였다. 안테나 패턴의 두께는 0.15 mm로서 SUS 재질로 제작되었으며, 안테나가 고정되는 유전체는 $\epsilon_r = 2.9$ 의 폴리카보네이트를 사용하였다. 또한 U-형태 접지면은 $\epsilon_r = 4.6$ 의 FR4 기판의 1층면에 제작하였다.

그림 5는 실제 제작한 초기 설계 안테나와 PCB를 휴대폰 단말기에 장착하여 S_{11} 을 측정된 결과이다. GSM 대역의 경우 시뮬레이션 결과보다 다소 우수한 특성을 보여주고 있으나 $VSWR < 3$ 정도의 낮은 반사 손실 특성을 나타내고 있다. 또한, 고주파 대역의 경우에는 DCS 대역과 PCS 대역의 반사 손실 특성이 좋지 못한 것으로 나타나고 있다. 표 1은 실제 제작한 초기 안테나 패턴과 PCB를 장착한 휴대폰 단말기를 이용하여 전자파 무반향실에서 TRP(Total Radiated Power)와 TIS(Total Isotropic Sensitivity)를 측정된 값이다. TRP는 휴대폰 단말기에서 송신되는 신호의 총 전력 값을 나타내며, TIS는 단말기로 수신되는 신호에 대한 수신감도를 나타낸다. TRP와 TIS는 휴대폰 단말기의 무선성능을 나타내는 대표적인 지표로 사용되는데, 휴대폰 단말기가 상용 제품으로 사용되기 위해서는 무선 성능에 관한 설계 기준의 하나인 TRP, TIS 기준을 만족시켜야 한다. 또한 TRP와 TIS는 자유 공간(free space) 상에서의 측정값과 사람의 손 모양으로 제작된 핸드 팬텀(hand phantom)에 장착한 상태의 측정값을 통해 확인할 수 있다.

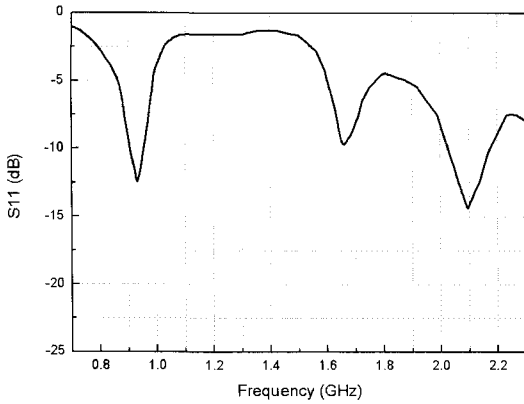


그림 5. 초기 구조의 S_{11} 특성
Fig. 5. Measured S_{11} of the original structure.

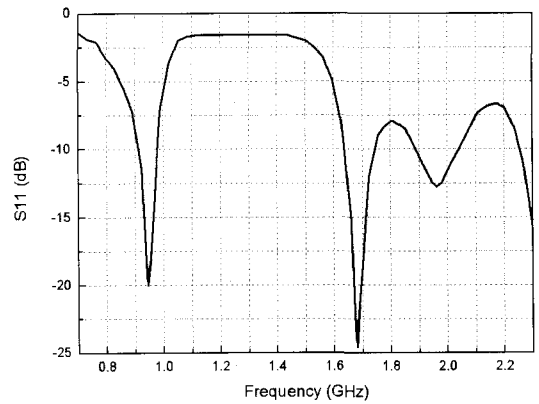


그림 6. 제안된 구조의 S_{11} 특성
Fig. 6. Measured S_{11} of the proposed structure.

표 1. 초기 구조의 TRP 및 TIS 특성
Table 1. TRP and TIS of the original structure.

Band	Free space		Hand phantom	
	TRP(dBm)	TIS(dBm)	TRP(dBm)	TIS(dBm)
EGSM	27.1	-101.4	23.0	-98.2
DCS	25.2	-104.2	20.7	-100.8
PCS	26.6	-104.9	24.1	-101.8
WCDMA	20.6	-108.1	17.5	-104.2

제작된 안테나와 PCB는 대체로 양호한 무선 성능을 나타내고 있으나, 일부 대역의 TRP, TIS 성능이 다른 대역에 비해 다소 떨어지는 것을 볼 수 있다. 일반적으로 자유 공간 상태에서 GSM 대역의 무선 성능은 DCS, PCS 대역에 비해 2~3 dB 높은 성능을 나타내는데 반해, 제작된 안테나의 GSM 대역 성능은 PCS 대역 TRP보다 0.4 dB 높으며, TIS는 -3.5 dB 낮은 성능을 나타내고 있다. 또한 DCS 대역의 경우는 PCS 대역과 TIS는 유사하나 TRP 성능이 -1.4 dB 떨어지는 것을 볼 수 있다. 반면, 손 모양 팬텀 상태에서의 무선 성능은 손 모양 팬텀 장착으로 인한 주파수 대역별 성능 손실을 고려할 경우 DCS 대역의 TRP 성능만이 다소 떨어지는 것으로 확인되고 있다.

그림 6은 실제 제작한 제안된 안테나 패턴과 U-형태 접지면 구조의 PCB를 장착한 휴대폰 단말기에 대한 S_{11} 측정값이다. GSM 대역의 경우, 협대역 특성을 가지고 있으나, 시뮬레이션 결과보다 향상된 공진 특성을 보이고 있으며, 최대 -20 dB 정도의 양호한

반사 손실 특성을 나타내고 있다. 고주파 대역의 경우 시뮬레이션 결과와 달리 1.7 GHz 근처에서 매우 우수한 반사 손실 특성을 보이고 있으며, 전체적으로 시뮬레이션 결과와 마찬가지로 광대역 특성을 나타내고 있다. 특히 DCS 대역과 PCS 대역의 반사 손실 특성이 크게 향상되고 대역폭도 확장된 것을 확인할 수 있다. 또한 앞서 제작한 초기 설계 안테나와 PCB에 대한 S_{11} 측정 결과와 비교하여서도 모든 대역에 걸쳐 향상된 반사 손실 특성을 보여주고 있다.

그림 7은 제안된 구조에 대하여 최적 성능 구현을 위해 추가적으로 실험된 설계 변수를 나타내고 있다. 먼저 안테나 패턴과 U-형태 접지면 사이의 간격 (D)에 따른 특성 변화에 대하여 실험하였으며, 그림 8은 S_{11} 을 측정된 결과이다. 안테나와 접지면 사이의 간격을 변화시키는 경우 PCS 대역과 WCDMA 대역의 공진 특성이 변화하는 것을 볼 수 있으며, 간격을 2~5 mm까지 변화시켜 실험한 결과, 안테나 패턴과

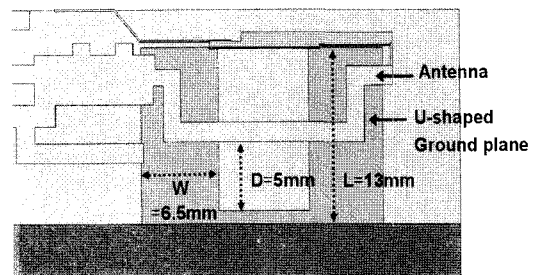


그림 7. 제안된 안테나와 U-형태 접지면 구조
Fig. 7. Proposed antenna & U-shaped ground plane structure.

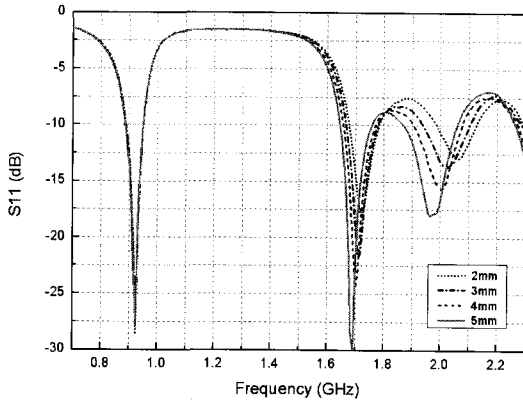


그림 8. 안테나 방사체와 U-형태 접지면 사이의 거리(D) 변화에 따른 S_{11} 특성

Fig. 8. Variation of S_{11} with respect to the space between antenna radiator & ground plane.

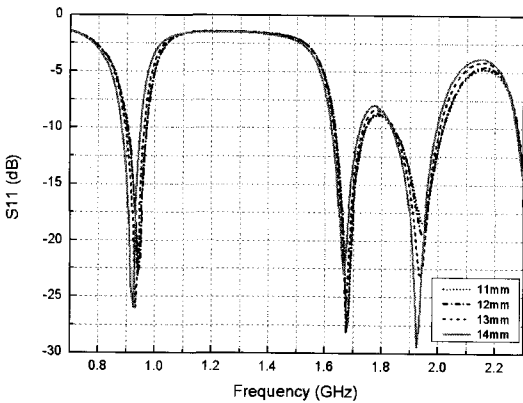


그림 9. 안테나 패턴과 U-형태 접지면 길이(L) 변화에 따른 S_{11} 특성

Fig. 9. Variation of S_{11} with respect to the length of U-shaped ground plane length(L).

접지면 간격이 5 mm인 경우에 반사 손실 특성이 가장 우수한 것을 확인할 수 있다.

또한 그림 9는 안테나 패턴 하단에 나란하게 위치한 U-형태 접지면의 길이(L)에 따른 S_{11} 특성 변화를 보여주고 있다. 안테나 패턴 하단에 부분 배치된 접지층으로 인해 고주파 대역의 반사 손실 특성이 향상되고, 접지면의 길이가 확장되는 효과로 인해 GSM 대역의 공진 특성이 다소 향상되는 것을 확인할 수 있다. 접지면의 폭(W)은 6.5 mm로 설계하였으며, 길이(L)를 11~14 mm까지 변화시켜 특성을 검토한 결과 13 mm에서 가장 양호한 공진 특성을 나타내었다. 14 mm의 경우는 PCS 대역과 WCDMA 대역

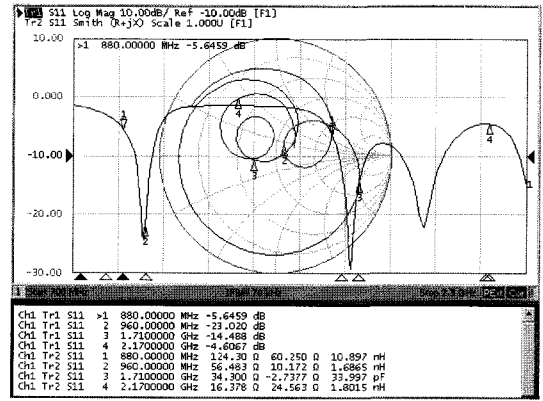


그림 10. 확정된 구조의 S_{11} 특성

Fig. 10. Measured S_{11} of the final proposed structure.

의 반사 손실 특성이 향상되었으나, DCS 대역의 공진 특성이 다소 저하되고 고주파 대역의 대역폭이 감소하며, GSM 대역의 공진 주파수 이동이 발생하여 효과적이지 못한 것으로 나타나고 있다.

그림 10은 확정된 안테나 패턴과 U-형태 접지면 구조를 장착한 휴대폰 단말기의 S_{11} 특성을 나타낸다. GSM 대역은 인체 효과를 고려하여 수신 주파수 쪽에 공진 주파수가 형성되어 있으며, 다소 협대역 특성을 가지고 있으나 대체로 우수한 반사 손실 특성을 나타내고 있다. 또한 고주파 대역의 경우 광대역 특성을 가지며 전반적으로 우수한 반사 손실 특성을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

그림 11과 그림 12는 전자파 무반향실에서 측정 한 H면과 E면에 대한 복사 패턴을 나타내며, 모든 대역에서 전 방향 특성을 갖는 것을 확인할 수 있다. 또한 주파수 대역별 최대 방사 효율은 GSM 대역에서 38 %, DCS 대역에서 50 %, PCS 대역에서 53 %, WCDMA 대역에서 50 %를 나타내고 있다.

일반적인 휴대폰 단말기 내장 안테나의 방사 효율이 GSM 대역에서 30~40 %, 고주파 대역에서 40~50 %를 나타내는 점을 고려하면 제안된 안테나와 접지면 구조를 적용한 단말기 성능은 전 대역에 걸쳐 상당히 양호한 방사 특성을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

다음으로 최종 제작된 휴대폰 단말기에 대한 TRP와 TIS 성능을 측정하였으며, 그 결과는 표 2에 정리되어 있다. 자유 공간 상태에서의 무선 성능은 1차

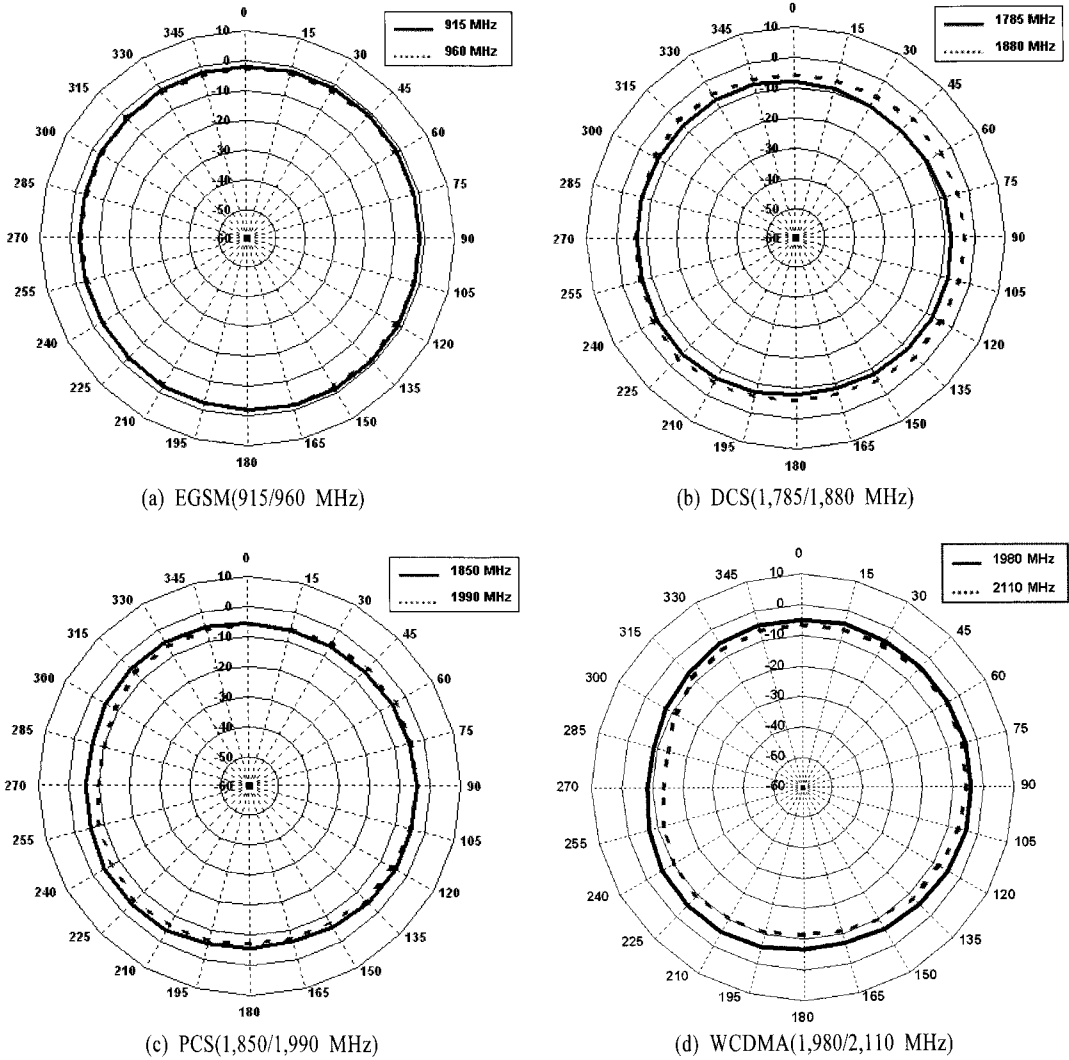


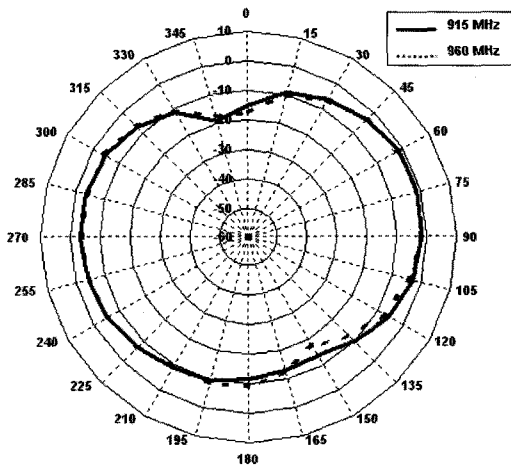
그림 11. H 평면에서의 복사 패턴
Fig. 11. Radiation pattern in H-plane.

표 2. 확정된 구조의 자유 공간 상태에서의 TRP 및 TIS 특성

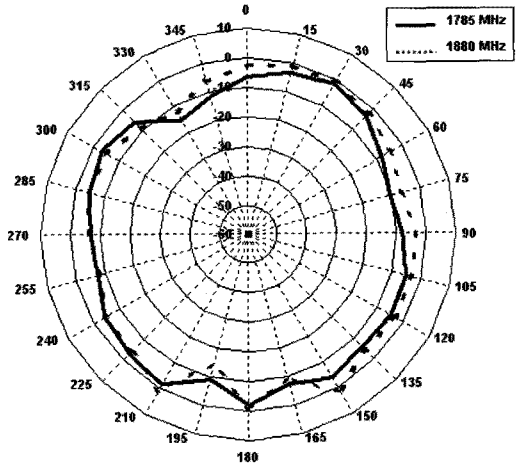
Table 2. TRP and TIS of the final proposed structure in the free space.

Band	개선 전 (dBm)		개선 후 (dBm)		개선량 (Δ)	
	TRP	TIS	TRP	TIS	TRP	TIS
EGSM	27.1	-101.4	29.1	-105.1	+2.0	+3.7
DCS	25.2	-104.2	27.4	-106.2	+2.2	+2.0
PCS	26.6	-104.9	27.4	-106.4	+0.8	+1.5
WCDMA	20.6	-108.1	21.9	-108.8	+1.3	+0.7

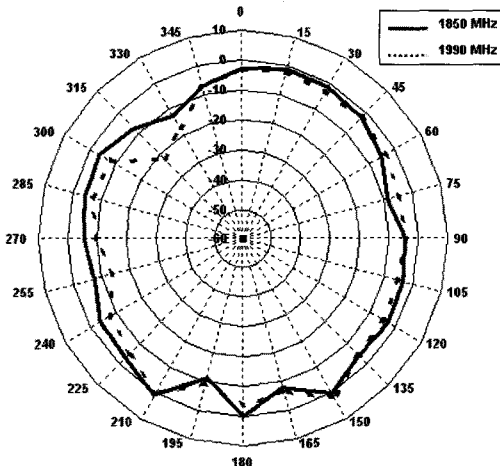
설계된 안테나와 접지면 구조에 비해 전 대역에 걸쳐 크게 향상된 것을 볼 수 있는데, GSM 대역의 TRP는 2 dB, TIS는 3.7 dB 개선되었으며, DCS 대역의 TRP는 2.2 dB, TIS는 2 dB가 개선된 것을 볼 수 있다. PCS 대역 TRP는 0.8 dB, TIS는 1.5 dB 개선되었으며, WCDMA 대역의 TRP와 TIS는 각각 1.3 dB, 0.7 dB 개선된 것으로 나타나고 있다. 또한 핸드 셋에 장착한 상태에서의 무선 성능은 표 3에 정리되어 있으며, 전 대역에 걸쳐 TRP와 TIS 모두 1~2 dB 정도 무선 성능이 개선된 것을 확인할 수 있다.



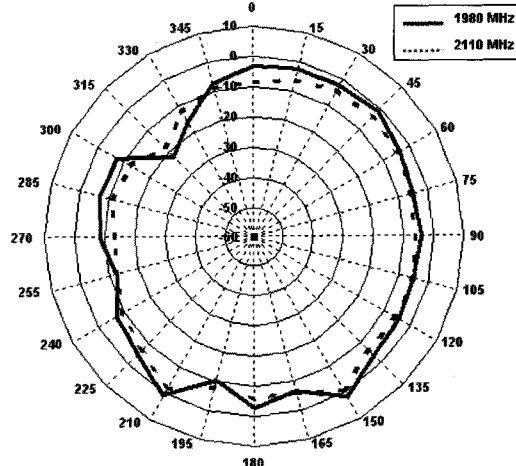
(a) EGSM(915/960 MHz)



(b) DCS(1,785/1,880 MHz)



(c) PCS(1,850/1,990 MHz)



(d) WCDMA(1,980/2,110 MHz)

그림 12. E 평면에서의 복사 패턴
Fig. 12. Radiation pattern in E-plane.

표 3. 확정된 구조의 손 모양 팬텀 상태에서의 TRP 및 TIS 특성

Table 3. TRP and TIS of the final proposed structure in the hand phantom.

Band	개선 전 (dBm)		개선 후 (dBm)		개선량 (Δ)	
	TRP	TIS	TRP	TIS	TRP	TIS
EGSM	23.0	-98.2	24.5	-99.9	+1.5	+1.7
DCS	20.7	-100.8	23.0	-102.0	+2.3	+1.2
PCS	24.1	-101.8	23.8	-103.1	-0.3	+1.3
WCDMA	17.5	-104.2	18.7	-105.3	+1.2	+1.1

IV. 결 론

본 연구에서는 휴대폰 단말기용 내장 안테나의 패턴 형상과 안테나 하단에 위치한 접지면 형상의 설계를 통해 무선성능을 향상시킬 수 있는 단말기 구조를 제안하였다. 일반적인 휴대폰의 안테나 패턴 및 접지면 구조와 다르게 안테나의 특정 패턴 하단에 선택적으로 접지층을 배치한 U-형태 접지면 구조를 설계하였으며, 안테나 패턴의 전류 경로를 U-형태 접지면 구조와 유사한 형태로 설계함으로써 휴대폰 단말기의 중요한 성능 지표인 TRP, TIS 특성 및 반사 손실

특성, 방사 효율이 크게 개선되는 결과를 얻음으로써 연구의 타당성을 입증하였다.

본 연구는 휴대폰 단말기에 내장되는 소형 안테나의 설계 기법과 단말기의 무선 성능 개선을 위한 연구에 도움을 줄 수 있을 것으로 생각한다.

참 고 문 헌

- [1] Kin-Lu Wong, *Planar Antennas for Wireless Communications*, John Wiley & Sons, 2003.
- [2] K. Fujimoto, A. Henderson, K. Hirasawa, and J. R. Janmes, *Small Antennas*, Research Studies Press Ltd., London and John Wiley & Sons Inc., New York, 1987.
- [3] P. K. Panayi, M. Al-Nuaimi, and L. P. Ivrisimtzis, "Tuning techniques for the planar inverted-F antenna", *National Conference on Antennas and Propagation*, Mar.-Apr. 1999.
- [4] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, John Wiley & Sons, 1997.
- [5] 손태호, "이득 향상을 위한 휴대폰용 IPI 급전 안테나", 2006 안테나기술 워크샵논문집, 한국전자과학회, pp. 219-238, 2006년 4월.
- [6] H. Nakano, R. Suzuki, and J. Yamauchi, "Low-profile inverted-F antenna with parasitic elements on an infinite ground plane", *IEE Proc.-Microw. Antennas Propag.*, vol. 145, no. 4, pp. 321-325, Aug. 1998.

이 정 호



1987년 2월: 동아대학교 전자공학과 (공학사)
 1989년 2월: 동아대학교 전자공학과 (공학석사)
 1995년 9월~현재: LG전자 MC연구소 수석연구원
 2000년 8월~현재: 연세대학교 전기

전자공학과 박사과정

[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, SAR, EMI/EMC

육 중 관



1998년: University of Michigan 전기 전자공학과 (공학박사)
 1999년 3월~2000년 2월: 광주과학기술원 조교수
 2000년 3월~현재: 연세대학교 전기 전자공학과 교수
 [주 관심분야] 마이크로파 시스템 해석

및 설계, Computational Electromagnetics, RF MEMS, Bio-radar and Sensors, EMI/EMC, 안테나 시스템

송 재 관



2006년 2월: 건국대학교 정보통신 공학과 (공학석사)
 2005년 9월~2008년 8월: (주)코마테크 선임연구원
 2008년 9월~현재: LG전자 MC연구소 선임연구원

[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석