광대역 십자형 모노폴 안테나의 설계

Design of Broadband Cross Monopole Antennas

최 학 근 · 서 승 업

Hak-Keun Choi · Seung-Up Seo

요 약

본 논문에서는 십자형 구조를 갖는 광대역 모노폴 안테나를 제시하고 모노폴 소자의 폭과 높이에 따른 복사 특성을 고찰하였다. 제시된 모노폴 안테나는 십자형 구조의 복사 소자와 접지판과 소자 사이에 삽입한 임피던스 정합부에 의해 광대역 특성이 실현되었다. 제시된 안테나의 광대역 특성을 확인하기 위하여 주파수 1.75~2.655 GHz에서 안테나를 설계 · 제작하고 복사 특성을 측정하였다. 제시된 안테나는 수평면내 무지향성, 수직면내 지향성 특성을 가지며, VSWR은 사용 주파수 전대역에서 1.5 이하, 안테나 이득은 2.5~3.78 dBi로 나타났다. 측정 결과로부터 제시된 안테나는 PCS, WCDMA, Wibro, 위성 DMB 밴드의 공용 실내 안테나로 사용될 수 있는 광대역 특성을 갖는 안테나로 확인되었다.

Abstract

In this paper, the broadband cross monopole antenna is presented and the radiation characteristics is investigated for various width and height of the radiated element. In the presented antenna, the broadband characteristics is realized by the cross monopole element and the impedance matching section between the element and the ground. To conform the broadband characteristics of the presented antenna, the experimental antenna is designed, fabricated, and its radiation characteristics are measured in 1.75~2.655 GHz. It is shown that the designed antenna has the nondirectional pattern in the horizontal plane, the directional pattern in the vertical plane, VSWR less than 1.5, and gain in 2.5~3.78 dBi. From these results, the presented antenna is conformed as a broadband indoor antenna which can be used for PCS, WCDMA, Wibro, and satellite DMB band.

Key words : Broadband Antenna, Monopole Antenna, Cross Monopole Antenna

I. 서 론

최근 무선 이동통신의 발달로 다양한 무선 통신 서비스가 개발 보급되고 있다. 현재의 이동 통신은 과거의 음성 위주 서비스에서 음성, 데이터, 동영상을 주고 받을 수 있는 멀티미디어 서비스로 바뀌었다. 또한 휴대 단말기와 노트북의 보편화로 무선 인터넷이 가능해지고 언제, 어디서나 시간과 장소에 관계없이 다양한 서비스를 제공받을 수 있게 되었다. 이러한 무선 이동 통신의 발달로 인해 새로운 서비스와 다양한 주파수 밴드를 만족시키는 시스템이 필요하게 되었다. 이에 따라 안테나도 다양한 주파수 대역을 커버하는 광대역 특성의 안테나가 요구되고 있으며, 그 연구 또한 폭 넓게 이루어지고 있다[1]~[4]. 일반적으로 광대역 특성을 갖는 안테나를 사용할 경우 한 개의 안테나로 서로 다른 주파수에서 사용되는 여러 개의 안테나의 역할을 대신할 수 있으므로 환경 및 시스템 구성에서 큰 이점이 있다. 이

「이 연구는 2003학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음.」

단국대학교 전자공학과(Dept. of Electronics Eng., Dankook University)

· 논 문 번 호 : 20050616-071

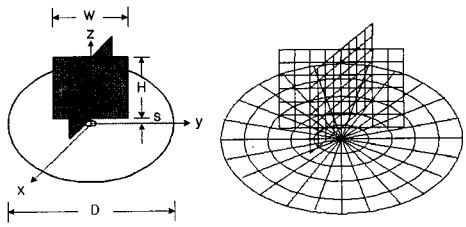
· 수정완료일자 : 2005년 7월 11일

런 장점 때문에 최근에는 이동 통신 분야에서 모노폴 안테나(monopole antenna)의 소형화와 광대역화에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다[1]~[4]. 모노폴 안테나는 구조가 간단하고 제작이 용이하여 여러 분야에서 사용되고 있으나 주파수 대역이 좁은 것이 단점으로 지적되고 있다. 이러한 모노폴 안테나의 단점을 개선시키기 위한 방법으로 복사 소자의 두께를 증가시키거나, 복사 소자의 끝에 디스크 형태의 부하를 장하하는 방법[6]~[10]이 있으며, 최근에는 복사 소자를 평면으로 하는 평면 모노폴 안테나(planar monopole antenna)에 대한 연구가 폭 넓게 이루어지고 있다[3],[4],[12]. 평면 모노폴 안테나의 복사 소자는 마름모, 사각형, 원형 등의 여러 형태가 있으며 기존의 가는 도선을 사용하는 모노폴 안테나에 비하여 대역폭이 넓은 것이 확인되었다.

본 논문에서는 기존의 모노폴 안테나의 단점인 대역폭을 개선하여 광대역화 한다. 이를 위해 모노폴 안테나의 복사 소자를 십자형으로 하는 십자형 모노폴 안테나(cross monopole antenna)를 제시하고 복사 특성을 도출하여 광대역 특성을 확인한다. 일반적으로 광대역 특성을 갖는 평면형 모노폴 안테나에서는 광대역 특성을 위해 모노폴 소자를 평면으로 하면서 급전점에서부터 서서히 변해가는 구조를 하고 있다. 그러나 여기서는 모노폴 소자로서 십자형 모노폴 소자를 사용하고, 급전점과 모노폴 소자 사이에 계단형의 정합부를 삽입하여 광대역 특성을 실현한다. 그리고 PCS, WCDMA, Wibro, 위성 DMB의 주파수 대역(1750~2655 MHz)을 모두 만족하는 십자형 모노폴 안테나를 설계·제작하고 복사 특성을 측정하여 제시된 안테나의 사용 가능성을 확인한다.

Ⅱ. 십자형 모노폴 안테나의 복사 특성

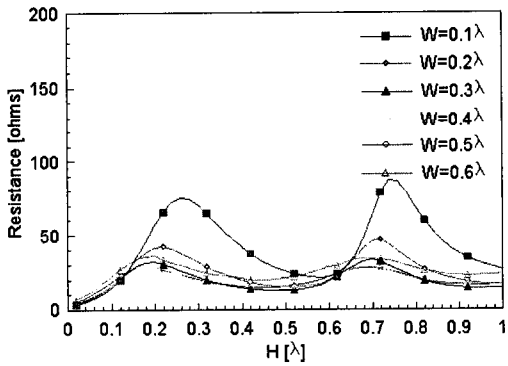
그림 1은 본 논문에서 제시한 십자형 복사 소자를 갖는 광대역 십자형 모노폴 안테나의 구조이다. 그림 1(a)에서 W는 십자형 복사 소자의 폭, H는 높이, D는 접지판의 직경, S는 접지판과 복사 소자의 간격, t는 복사 소자를 구성하고 있는 평판의 두께이다. 여기서는 모멘트법(moment method)[13]을 이용하여 안테나의 복사 특성을 도출하여 광대역 특성을 가질 수 있는지를 확인한다. 그림 1(b)는 (a)의 십자형 모노폴 안테나를 모멘트법으로 해석하기 위하여 나타낸 wire-grid 모델이다[13].



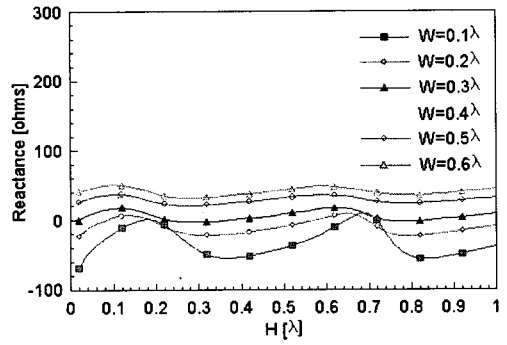
(a) 구조 (b) Wire-grid 모델
(a) Structure (b) Wire-grid model

그림 1. 십자형 모노폴 안테나
Fig. 1. Cross monopole antenna.

그림 2는 십자형 모노폴 안테나에서 접지판의 직경을 D=1 λ, 평판의 두께를 t=0.005 λ, 접지판과 복



(a) 입력 저항
(a) Input resistance



(b) 입력 리액턴스
(b) Input reactance

그림 2. 모노폴의 폭과 반경에 따른 입력 임피던스
Fig. 2. Input impedance as functions of monopole width and height.

사 소자의 간격을 S=0.02 λ로 하고 복사 소자의 폭 W를 0.1 λ에서 0.6 λ까지 변화시키면서 복사 소자의 높이 H에 따른 입력 임피던스를 계산하여 나타낸 것이다. 그림 2에서 (a)는 입력 저항이고, (b)는 입력 리액턴스이다. 그림에서 W가 0.1 λ일 때 H가 작아지면 일반적인 가는 도선을 복사 소자로 하는 모노폴 안테나의 경우처럼 입력 저항이 작아지고 용량성 리액턴스가 증가함을 보이고 있다. 그러나 W가 0.2 λ 이상이고 H가 0.1 λ이상에서는 높이 H에 따른 입력 임피던스의 변화가 크게 일어나지 않음을 알 수 있다. 따라서 십자형 모노폴 안테나에서 W와 H를 적절히 선정하고 복사 소자와 접지판 사이의 간격을 조정하거나 또는 복사 소자와 급전부 사이에 정합 부분을 삽입하다면 광대역 특성이 얻어질 수 있을 것으로 생각된다.

그림 3은 그림 2의 입력 임피던스 계산시 사용한 십자형 모노폴 안테나의 구조에서 W와 H의 변화에 따른 전력 이득을 계산하여 나타낸 것이다. 안테나의 계산된 이득은 W보다 H에 따른 변화가 더 크며 약 3.5 dBi에서 약 6 dBi 사이에서 나타나고 있다.

그림 4는 W가 0.1 λ, 0.3 λ, 0.6 λ일 때 복사 소자 높이 H를 0.25 λ, 0.5 λ, 0.75 λ로 변화시키면서 계산한 복사 패턴을 나타낸다. 그림에서 H와 W의 크기에 관계없이 안테나 축 방향으로 널(null)이 형성됨을 보이고 있다. 이는 기존의 수직 모노폴 안테나의 복사 패턴과 동일한 특성이다. 또한 주어진 W에 대하여 H가 증가하면 수평 방향 쪽으로 전계가 약해져 널이 형성되어 가는 것을 알 수 있다.

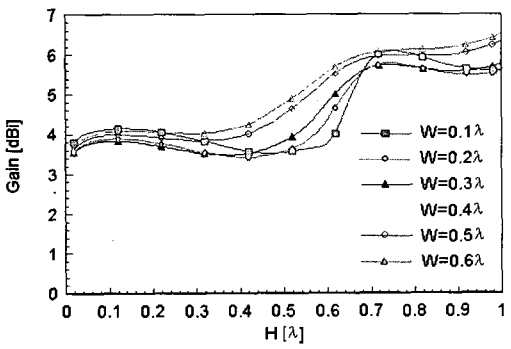


그림 3. 모노폴의 폭과 높이에 따른 전력 이득
Fig. 3. Power gain as functions of monopole width and height.

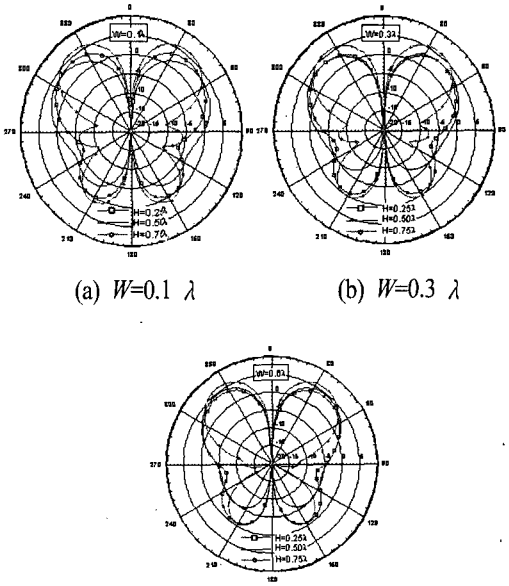


그림 4. 모노폴의 폭과 높이에 따른 복사 패턴
Fig. 4. Radiation pattern as functions of monopole width and height.

그림 5는 모노폴 안테나의 소자가 십자형, 평면형, 원통형인 경우에 대하여 수평 패턴을 계산하여 나타낸 것이다. 계산에 사용된 안테나는 접지판의 직경이 1 λ, 소자의 높이 H가 0.25 λ이고, 소자의 직경(폭)은 원통형 소자인 경우는 0.01 λ, 십자형 및 평면형 경우는 W가 0.6 λ이다. 그림 5에서 수직 소자

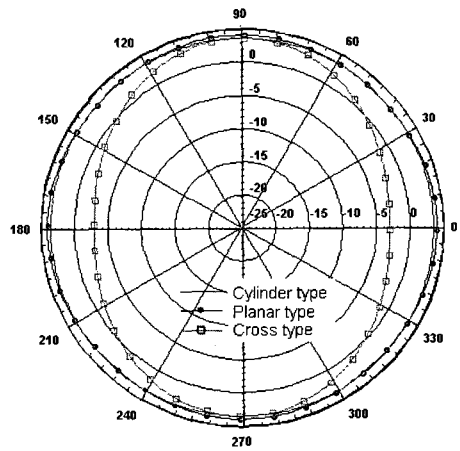


그림 5. 수평 패턴의 비교
Fig. 5. Comparison of horizontal pattern.

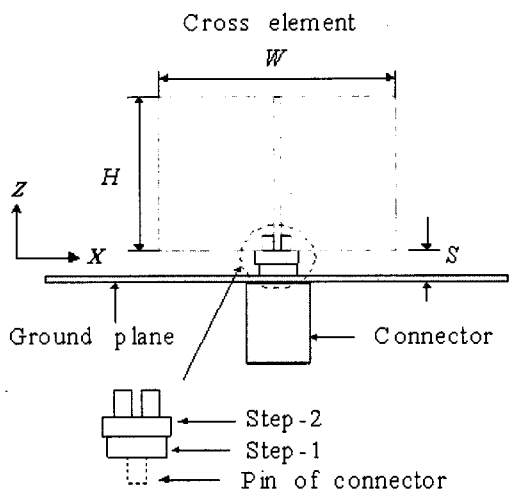
가 원통형인 경우는 일반적으로 잘 알려져 있는 것처럼 무지향성 패턴을 보이고 있고, 평면형 소자인 경우는 평면의 수직 방향으로 복사가 크게 일어나 타원 형태의 수평 패턴을 보이고 있다. 그러나 십자형 소자의 경우는 원통형 소자 경우와 같은 완전 무지향성 패턴은 아니더라도 거의 무지향성 패턴으로 볼 수 있을 정도의 수평 패턴을 보이고 있다.

이상으로 본 논문에서 제시한 십자형 모노폴 안테나는 십자형 복사 소자의 폭이 큰 경우 복사 소자의 높이에 따른 입력 임피던스의 변화가 적게 일어나고 복사 패턴의 변화도 크지 않은 것으로 보아 안테나 입력 단에 50 Ω에 정합할 수 있다면 광대역 특성을 가질 수 있을 것으로 생각된다.

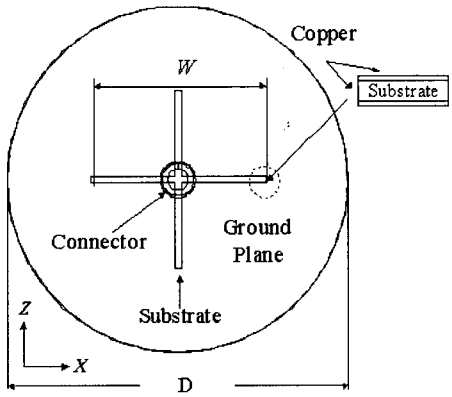
Ⅲ. 안테나 설계

여기서는 앞에서 제시한 십자형 모노폴 안테나의 광대역성을 확인하기 위하여 PCS, WCDMA, Wibro, 위성 DMB를 커버하는 주파수 범위 1.75~2.655 GHz에서 동작하는 안테나를 설계한다. 안테나 설계 시 십자형 모노폴 안테나의 입력 임피던스를 50 Ω에 정합하기 위하여 급전부에 정합부를 둔다. 또한 안테나의 제작을 용이하게 하기 위하여 십자형 모노폴은 두께 1.6 mm, 유전율이 4.4인 유전체 기판을 사용한다. 접지판은 두께 1.5 mm 알루미늄 판으로 하며 직경은 주파수 2 GHz에서 0.65 λ인 97.5 mm로 한다. 그림 6은 설계될 안테나의 구조이다. 안테나는 그림 6에서와 같이 십자형 복사 소자, 접지판, 커넥터로 구성되어 있다. 또한 그림에서와 같이 급전부분에 계단형 구조를 삽입하여 주파수에 따른 입력 임피던스의 변화를 개선시킴으로써 광대역 특성을 구현한다.

여기서는 그림 6의 계단형의 정합부를 포함하여 안테나 복사 특성을 도출하기 위하여 Microwave Studio사의 CST를 사용한다. 그림 7(a)는 복사 소자의 크기가 H=38 mm, W=53 mm일 때 접지판과 복사 소지의 간격 S를 1 mm에서 5 mm까지 변화시키면서 계산한 반사 손실이다. S가 증가할수록 반사 손실 특성이 개선되고 공진 주파수가 이동됨을 보이고 있다. 그림 7(b)는 접지판과 복사 소자의 간격이 S=5 mm이고 W=53 mm일 때 H를 변화시키면서 계산한 반사 손실이다. 그림 7에서 보는 것과 같이 복사 소자의



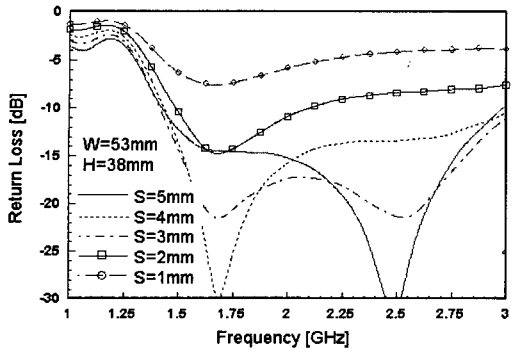
(a) 측면도
(a) Side view



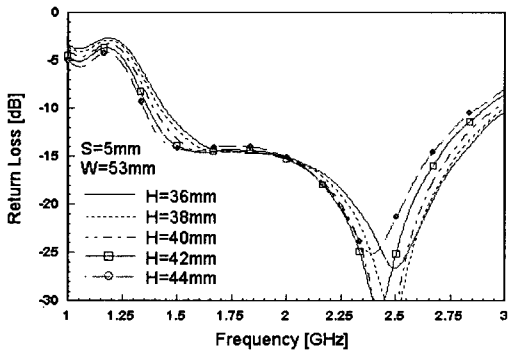
(b) 상측도
(b) Top view

그림 6. 십자형 모노폴 안테나의 구조
Fig. 6. Cross monopole antenna structure.

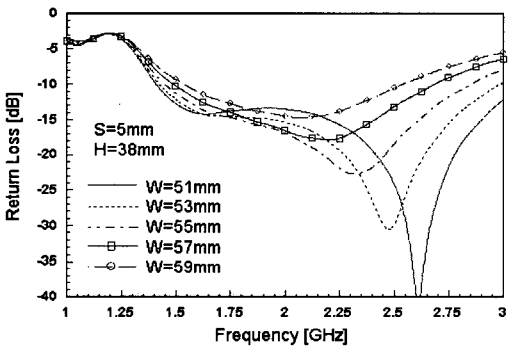
높이 H가 높아질수록 공진 주파수가 조금씩 하향 이동하는 것을 알 수 있으며, 안테나 높이 H의 변화에 따른 대역 폭은 큰 변화가 없다. 그림 7(c)는 S=5 mm, H=38 mm일 때 안테나의 복사 소자의 폭 W를 변화시키면서 계산한 반사 손실이다. 복사 소자의 폭이 넓어질수록 공진 주파수의 변화가 복사 소자의 높이 H에 의한 변화보다 좀더 크게 하향 이동됨을 보이고 있다. 그림 7의 계산시 복사 소자와 급전부의 결합시 급격한 임피던스 변화를 줄이고 광대역 특성을 얻기 위하여 복사 소자의 밑에 2단으로 된 원반 스텝을 사용하였다. Step 1은 두께 3 mm, 직경



(a) S에 따른 반사 손실
(a) Return loss for various S



(b) H에 따른 반사 손실
(b) Return loss for various H



(c) W에 따른 반사 손실
(c) Return loss for various W

그림 7. 반사손실
Fig. 7. Return loss.

8 mm, step 2는 두께 3 mm, 직경 9 mm이다.

그림 8은 십자형 모노폴 안테나와 십자형 모노폴 소자의 교차된 두 평판 중 하나를 사용하여 구성한 평면형 모노폴 안테나의 반사 손실을 비교한 것이다.

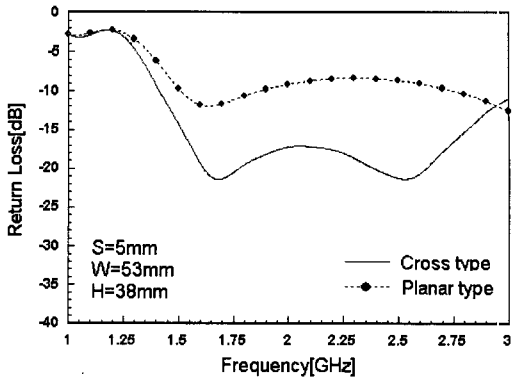


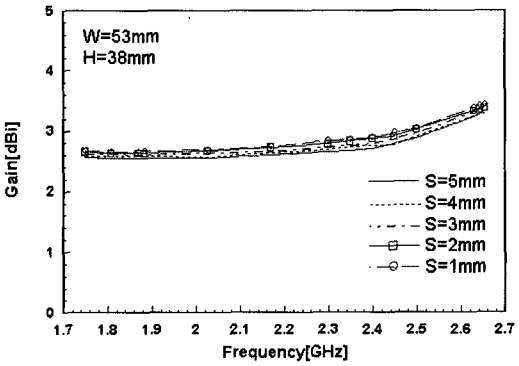
그림 8. 반사 손실 비교
Fig. 8. Comparison of return loss.

접지판의 크기는 그림 7의 계산시 사용된 안테나와 동일하며 S=5 mm, W=53 mm, H=38 mm이다. 그림에서 십자형 모노폴 안테나가 사용 주파수 범위 1.75~2.655 GHz에서 평면형 모노폴 안테나보다 약 10 dB 정도 낮은 반사손실을 가지고 있음을 확인할 수 있다.

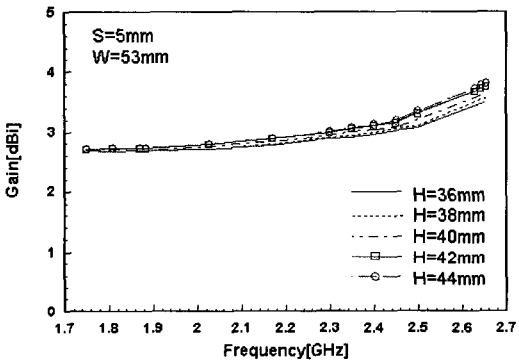
그림 9는 안테나 구조에 따른 전력 이득을 나타내고 있다. 이득 계산에 사용된 안테나의 구조는 그림 6의 경우와 동일하다. 그림 9(a)는 W=53 mm, H=38 mm일 때 접지판과 복사 소자와의 간격 S를 1 mm에서 5 mm까지 변화시키면서 주파수 1.75~2.655 GHz 사이에서 계산한 안테나 이득이다. 그림에서 보듯이 S 변화에 대한 이득의 변화는 거의 없으며 주파수에 따른 이득은 약 2.5 dBi에서 약 3.5 dBi 사이로 나타나고 있다. 그림 9(b)는 S=5 mm, W=53 mm일 때 H를 36 mm에서 44 mm까지 변화시키면서 계산한 이득이다. 그림에서 주파수가 낮은 경우에는 H변화에 따른 이득 변화가 거의 없으나 주파수가 2.3 GHz 이상이 되면 약간의 변화를 보인다. 그림 9(c)는 S=5 mm, H=38 mm일 때 W 변화에 따른 이득을 보이고 있다. 이것도 그림 (b)의 경우와 마찬가지로 주파수가 낮은 경우에는 W의 변화에 따른 이득 변화가 거의 없으나 주파수가 2.3 GHz 이상이 되면 약간의 변화를 보인다. 그림 7과 9로부터 설계 안테나의 복사 소자는 W=53 mm, S=5 mm, H=38 mm로 한다.

Ⅳ. 제작 및 성능

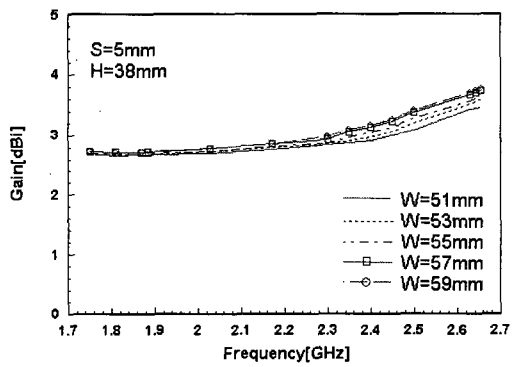
여기서는 십자형 모노폴 안테나를 제작하고 복사



(a) S에 따른 전력 이득
(a) Power gain for various S



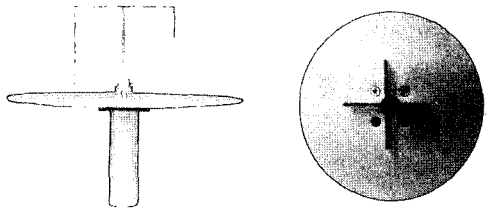
(b) H에 따른 전력 이득
(b) Power gain for various H



(c) W에 따른 전력 이득
(c) Power gain for various W

그림 9. 전력 이득
Fig. 9. Power gain.

특성을 측정하여 광대역성을 확인한다. 그림 10은 주파수 1.75~2.655 GHz(PCS, WCDMA, Wibro, 위성 DMB)에서 VSWR 1.5 이하의 특성을 갖는 안테나



(a) 측면도
(a) Side view

(b) 상측도
(b) Top view

그림 10. 제작된 안테나
Fig. 10. Fabricated antenna.

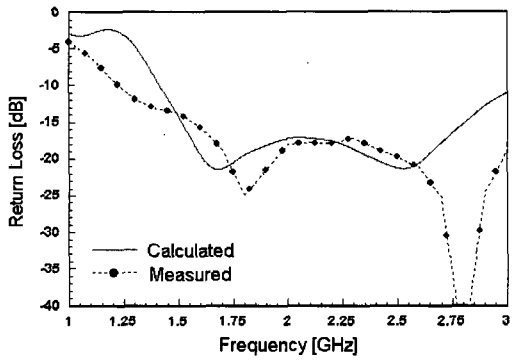


그림 11. 반사 손실 계산치와 측정치 비교
Fig. 11. Comparison of calculated and measured return loss.

로서 설계·제작된 안테나이며 안테나 제원은 다음과 같다. 모노폴 소자로서 사용된 유전체 기판은 그림 7과 9의 계산에 사용한 동일한 기판으로 두께 t =1.6 mm, 비유전율 ε_r=4.4의 양면 기판으로 H=38 mm, W=53 mm의 크기이며 접지판으로부터의 높이는 S=5 mm이다. 접지판은 직경 D=97.5 mm, 두께 1.5 mm이다.

그림 11은 제작된 안테나의 radome을 포함한 반사 손실로 계산치와 측정치를 비교한 것이다. 반사 손실은 Agilent사의 8714ET 네트워크 분석기를 이용하여 측정되었다. 그림 11에서 제작된 안테나의 반사손실 측정치는 사용 주파수 대역(1.75~2.655 GHz) 내에서 계산치와 유사하게 나타나고 있으며 설계 목표치인 VSWR 1.5 이하(반사손실 13.98 dB)를 충분히 만족하는 것으로 나타나고 있다.

그림 12는 제작된 안테나의 전력 이득으로 측정치와 계산치를 비교하여 나타낸 것이다. 전력 이득 측

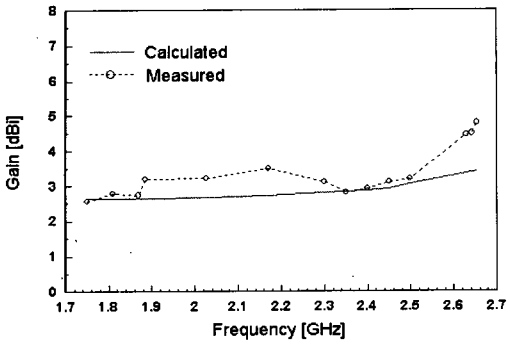


그림 12. 안테나 이득
Fig. 12. Antenna gain.

정은 무반사실에서 이루어졌으며 측정 프로그램은 Orbit사에서 나온 FR-959를 사용하였다. 그림 12에서 보는 것과 같이 전력 이득의 측정치는 계산치보다 약간 높게 나타나고 있다. 측정된 이득은 2.5~3.78 dBi이고 계산치는 2.6~3.4 dBi로 나타나고 있다. 그림 10과 11에서 계산치와 측정치 사이에 약간의 차이를 보이고 있다. 이는 레이돔을 포함한 안테나 제작시 나타날 수 있는 오차와 측정시 포함될 수 있는 측정 환경 및 측정 오차 등에 의한 것으로 생각된다.

그림 13은 제작된 안테나의 복사 패턴 측정치로서 계산치와 비교하여 나타낸 것이다. 측정 주파수는 사용 주파수인 1.75~2.655 GHz 대역 내에서 PCS, WCDMA, Wibro, DMB 4개의 주파수 대역으로 하였다. 제안한 안테나의 복사 패턴은 수평면에서 모노폴 안테나와 같은 전방향의 복사 특성을 갖고 수직면에서는 8자 형태의 복사 특성을 갖는다. 안테나의 수직 빔 폭은 1.75~2.655 GHz 범위에서 측정치 59° ~61°(계산치: 63° ~68°) 사이로 측정되었다. 그림 13으로부터 복사 패턴 측정치와 계산치가 거의 유사함을 확인할 수 있다. 또 접지판 후방으로의 복사는 접지판의 크기를 증가시키면 줄일 수 있다.

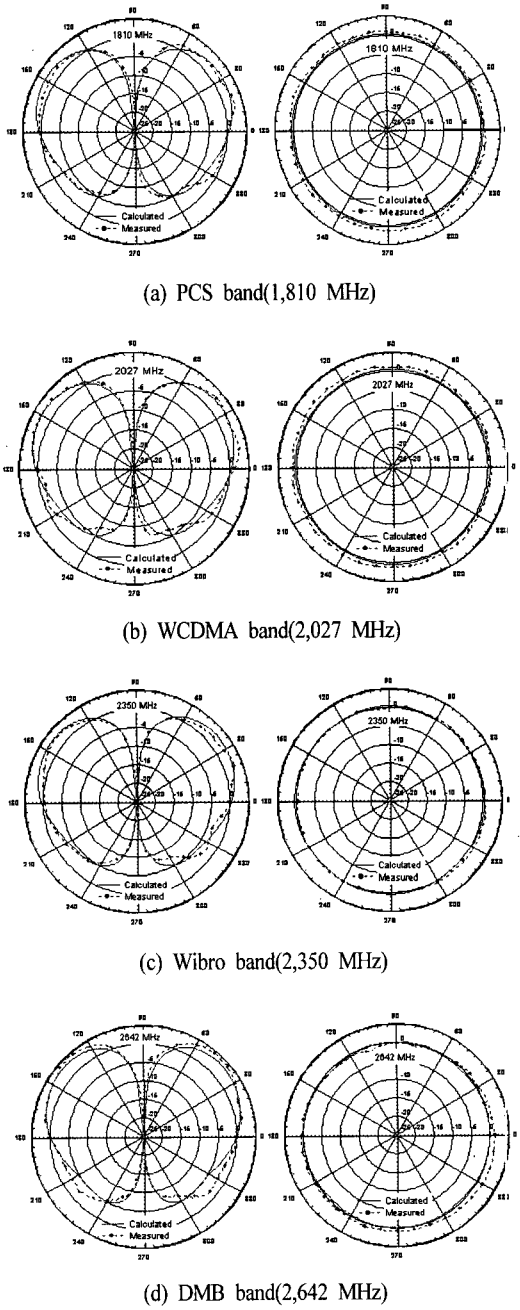


그림 13. 복사 패턴
Fig. 13. Radiation pattern.

V. 결 론

본 논문에서는 십자형 구조를 갖는 모노폴 안테나를 제시하였다 제시된 안테나를 주파수 1.75~2.655 GHz 범위(PCS, WCDMA, Wibro, 위성 DMB 밴드)에서 설계 · 제작하고 복사 특성을 측정하여 광대역 특성을 확인하였다. 제시된 안테나는 십자형 구조의 복사 소자와 접지면과 복사 소자 사이에 삽입된 계단형 구조의 정합부에 의해 광대역 특성이 실현되었다. 설계 · 제작된 안테나는 1.750~2.655 GHz에서 정재파 비가 1.5 이하를 만족하며, 안테나의 복사 패턴은 수평면에서는 기존 모노폴 안테나와 같은

전 방향성 복사 특성을 갖고 수직면에서는 8자 형태의 복사 특성을 갖는다. 이득은 측정치 2.5~3.78 dBi(계산치: 2.6~3.4 dBi)이고, 수직 빔 폭은 측정치 59° ~61° (계산치: 63° ~68°)로 나타났다. 이로서 본 논문에서 제시된 안테나는 4개의 주파수 밴드(PCS, WCDMA, Wibro, 위성 DMB 밴드)를 동시에 만족하는 광대역 모노폴 안테나임이 확인되었으며, 향후 무선 이동 통신용 실내 안테나로서 널리 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

[1] N. P. Agrawall, G. Kumar, and K. P. Ray, "New wide-band monopole antennas", *Antennas & Propagation Society, IEEE International Symposium, Digest*, vol. 1, pp. 248-251, 1997.

[2] N. Hescovici, C. Christodouloc, "Wide-band monopole antenna for multi-band wireless systems", *IEEE Antenna and Propagation Magazine*, vol. 45, no. 2, Apr. 2003.

[3] K. P. Ray, P. V. Anob, R. Kapur, and G. Kumar, "Broadband planar rectangular monopole antennas", *Microwave Optical Tech. Letters*, vol. 28, no. 1, pp. 55-59, 2001.

[4] N. P. Agarwall, G. Kumar, and K. P. Ray, "Wide band planar monopole antennas", *IEEE Trans. Antennas Propagation*, vol. 46, no. 2, pp. 294-295, 1998.

[5] T. L. Simpson, "The theory of top-loaded antenna: integral equations for the current", *IEEE Trans. Antennas Propagation*, AP-19, pp. 186-190, 1971.

[6] S. Honda, M. Ito, H. Seki, and Y. Jingo, "A disc monopole antenna with 1:8 impedance bandwidth and omnidirectional radiation pattern", *Proc. ISAP*, Sapporo, Japan, pp. 1145-1148, 1992.

[7] J. D. Kraus, *Antennas*, ch. 21, McGraw-Hill, 1988.

[8] R. C. Johnson, *Antenna Engineering Handbook*, McGraw-Hill, ch. 4, 1993.

[9] IECE Japan, *Antenna Engineering Handbook*, Tokyo Japan, Ohm-sha co., pp. 319-328, 1980.

[10] Poey, P. Hammoud, F. Colomel, "Matching the input impedance of a broadband disc monopole", *Electronics Letters*, vol. 29, pp. 406-407, Feb. 1993.

[11] M. J. Ammann, "Square planner monopole antenna", *Antenna & Propagation, IEE National Conference*, pp. 37-40, 1999.

[12] Z. N. Chen, M. Y. W. China, "Impedance characteristic of trapezoidal planner monopole antenna", *Microwave Opt. Tech. Lett.*, vol. 36, no. 13, pp. 120-122, 2000.

[13] W. L. Stutzman, G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, John Wiley & Sons, ch. 10, 1998.

최 학 근

1979년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)
1981년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)
1988년 8월: 고려대학교 전자공학과 (공학박사)
1991년 3월~현재: 단국대학교 전자공학과 교수
1989년 3월~현재: (주)하이게인 안테나 기술고문
[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 마이크로파회로

서 승 업

2003년 2월: 한국산업기술대학교 전자공학과 (공학사)
2003년 3월~현재: 단국대학교 전자공학과 석사과정
1998년 2월~현재: (주)하이게인 안테나 주임 연구원
[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 마이크로파 회로