

# 폴디드 단락 스테르브를 갖는 십자형 모노폴 안테나의 복사 특성

## Radiation Characteristics of Cross Monopole Antennas with Folded Short Stub

임성빈 · 성원모 · 박용욱\* · 최학근

Seong-Bin Lim · Won-Mo Seong · Yong-Uk Park\* · Hak-Keun Choi

### 요 약

본 논문에서는 광대역 십자형 모노폴 안테나를 제시하고 복사 특성을 고찰하였다. 제시된 모노폴 안테나는 십자형 구조의 복사 소자와 폴디드 단락 스테르브로 구성되어 있으며, 기존의 십자형 모노폴 안테나보다 우수한 대역 특성을 갖는다. 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 사용주파수 전대역에서 1.5 이하, 안테나 이득은 2.17~4.87 dBi로 나타났다. 이 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 are investigated. The presented broadband cross monopole antenna is composed of the cross monopole element and the folded short stub, which has an excellent band characteristics more than the existing cross monopole antenna. 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 2.17~4.87 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, Monopole Antenna, Cross Monopole Antenna, Folded Short Stub

### I. 서 론

최근 무선 이동 통신의 발달로 다양한 무선 통신 서비스인 Cellular, PCS, WCDMA, Wibro, 위성 DMB 가 개발 보급되고 있다. 이러한 무선 이동 통신의 서비스 보급으로 인해 다양한 주파수 밴드를 만족시키는 시스템이 필요하게 되었다. 이에 따라 안테나도 다양한 주파수 대역을 커버하는 광대역 특성의 안테

나가 요구되고 있으며, 그 연구 또한 폭 넓게 이루어지고 있다<sup>[1]~[6]</sup>. 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 때문에 최근에는 이동 통신 분야에서 모노폴 안테나(monopole antenna)의 광대역화에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다<sup>[1]~[6]</sup>. 모노폴 안테나는

단국대학교 전자공학과(Dept. of Electronic Eng., Dankook Univ.)

\* (주) E.M.W. 안테나(E.M.W. Antenna Co., Ltd.)

· 논문 번호 : 20060626-065

· 수정완료일자 : 2007년 3월 9일

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 증가시킨 모노폴 안테나, 복사 소자의 끝에 디스크를 장착한 디스크 장하 모노폴 안테나(disk loaded monopole antenna)<sup>[7]~[10]</sup>, CPW(Coplanar Waveguide) 급전 구조를 갖는 모노폴 안테나<sup>[11]~[13]</sup>, 십자형 모노폴 안테나(CMA: Cross Monopole Antenna)<sup>[14]</sup> 등의 연구가 이루어졌다.

본 논문에서는 기존의 십자형 모노폴 안테나의 대역폭 특성을 개선하여 광대역화 시키고자 한다. 이를 위해 폴디드 단락 스텐브(folded short stub)를 삽입한 십자형 모노폴 안테나를 제시하고 복사 특성을 도출하여 광대역 특성을 확인한다. 그리고 PCS, W-CDMA, Wibro, 위성 DMB의 주파수 대역(1,750~2,655 MHz)에서 공통으로 사용할 수 있는 십자형 모노폴 안테나를 설계·제작하고 복사 특성을 측정하여 제시된 안테나의 사용 가능성을 확인한다.

## II. 안테나 구조 및 복사 특성

### 2.1 폴디드 단락 스텐브에 따른 복사 특성

그림 1은 본 논문에서 제시한 폴디드 단락 스텐브를 갖는 십자형 모노폴 안테나의 구조이다. 안테나

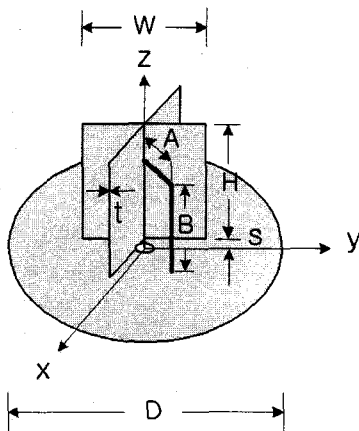


그림 1. 폴디드 단락 스텐브를 갖는 십자형 모노폴 안테나의 구조

Fig. 1. Structure of cross monopole antenna with folded short stub.

는 접지판, 십자형 모노폴 소자와 폴디드 단락 도선으로 구성되어 있다. 이 안테나는 입력 임피던스를 쉽게 변화시킬 수 있어 널리 사용되고 있는 폴디드 모노폴 안테나(folded monopole antenna)에서 한 쪽 소자를 그림 1과 같이 십자형 소자로 바꾼 것이다. 일반적으로 폴디드 모노폴 안테나 또는 폴디드 다이폴 안테나(folded dipole antenna)에서는 소자의 간격과 소자의 굵기를 변화시켜 광대역 입력 임피던스 특성을 얻을 수가 있다<sup>[15]</sup>. 따라서 십자형 모노폴 소자를 사용하는 그림 1의 안테나도 광대역 특성을 가질 수 있다. 그림 1에서  $W$ 는 모노폴 소자의 폭,  $H$ 는 높이,  $t$ 는 두께,  $S$ 는 모노폴 소자와 접지판의 간격,  $D$ 는 접지판의 직경,  $A$ 는 폴디드 단락 스텐브의 폭,  $B$ 는 길이이다.

그림 2는 그림 1의 십자형 모노폴 안테나의 동작 모드를 나타낸다. 그림에서 (a)는 단락 스텐브를 갖는 십자형 모노폴 안테나를 나타내고, (b)는 안테나 모드(antenna mode), (c)는 전송 선로 모드(transmission mode)를 나타낸다. (a)의 안테나는 그림 (b)와 (c)의 모드로 동작하는 두 안테나의 중첩으로 생각할 수 있다. 즉, 안테나의 입력 전류  $I$ 와 전압  $V$ 는 그림 2의 (b)와 (c)의 경우 전압, 전류를 중첩함으로써 얻어진다.

그림 3은 십자형 모노폴 안테나의 광대역 특성을 확인하기 위하여 폴디드 단락 스텐브의 폭과 길이  $A$ 와  $B$ 를 변화시키면서 계산한 반사 손실(return loss)을 나타내고 있다. 계산에 사용된 안테나는 비유전

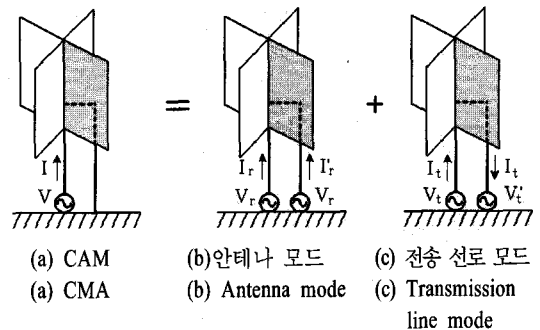


그림 2. 폴디드 단락 스텐브를 갖는 십자형 모노폴 안테나의 동작 모드

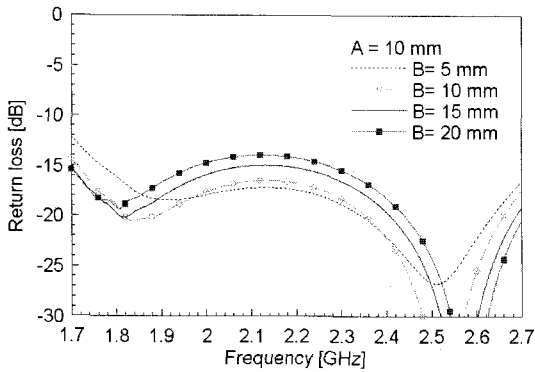
Fig. 2. Operating mode of cross monopole antenna with folded short stub.

을  $\epsilon_r=4.4$ , 두께  $t=1.6$  mm인 FR-4 기판을 사용한 모노폴 소자와 두께 1.5 mm의 동판으로 만든 직경  $D=97.5$  mm 접지판으로 구성된다. 모노폴 소자의 높이  $H=50$  mm, 폭  $W=62$  mm, 접지판과의 간격  $s=6$  mm이다. 계산은 Microwave Studio사의 CST를 사용하였으며 주파수는 1,700~2,700 MHz이다. 그림 3(a)는  $A=10$  mm로 하고  $B=5\sim 20$  mm까지 5 mm씩 변화시키면서 계산한 반사 손실이다. 그림에서 주파수 1.7~2.7 GHz 범위에서 정재파비 1.5 이하(반사 손실 13.98 dB)를 만족하는 폴디드 소자 높이는  $B=10$  mm, 15 mm로 나타나고 있다. 그림 3(b)는  $A=20$  mm로 하고  $B=5\sim 20$  mm까지 5 mm씩 변화시키면서 계산한 반사 손실이다. 그림에서 주파수 1.7~2.7 GHz 범위에서 정재파비 1.5 이하를 만족하는 폴디드 소자 높이는  $B=10$  mm로 나타나고 있다. 이로부터 폴디드 십자형 모노폴 안테나의 정재파 특성은 폴디드소자의 크기를 변화시켜 개선시킬 수 있음을 알 수

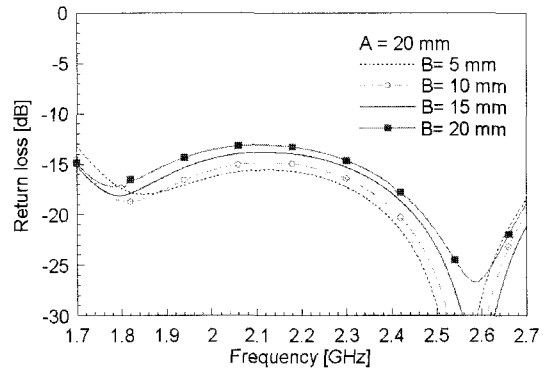
있다. 그림 3(c)와 그림 3(d)는 각각  $B=10$  mm, 20 mm로 놓고  $A=5\sim 20$  mm까지 5 mm씩 변화시키면서 계산한 반사 손실이다. 그림에서  $A$ 가 작아질수록 정재파 특성이 개선됨을 보이고 있다.

그림 4는 그림 3의 반사 손실 계산 시 사용한 폴디드 단락 스테르브를 갖는 십자형 모노폴 안테나의 구조에서  $A$ 와  $B$ 의 변화에 따른 전력이득을 계산하여 나타낸 것이다. 그림으로부터 폴디드 단락 스테르브의 폭과 길이  $A$ 와  $B$ 에 따른 전력 이득의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 계산된 안테나의 전력 이득은 주파수 1.7~2.7 GHz 범위에서 약 3.2 dBi에서 약 4.1 dBi 사이에서 나타나고 있다.

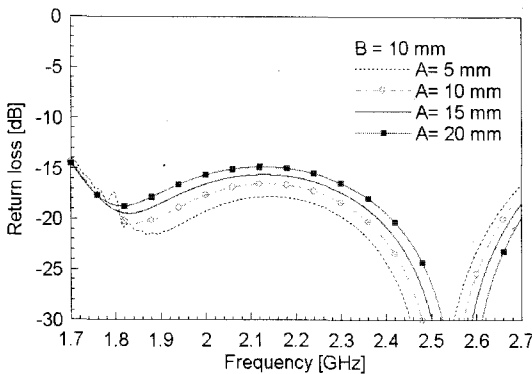
그림 5는 폴디드 단락 스테르브의 폭과 길이  $A$ 와  $B$ 에 따른 복사 패턴을 주파수 1,700~2,700 MHz의 중심 주파수 2,300 MHz에서 계산하여 나타낸 것이다. 계산에 사용한 안테나는 그림 3, 4에서 사용한 구조와 동일하다. 그림 5에서 (a)는  $A$ 를 10 mm로, (b)는



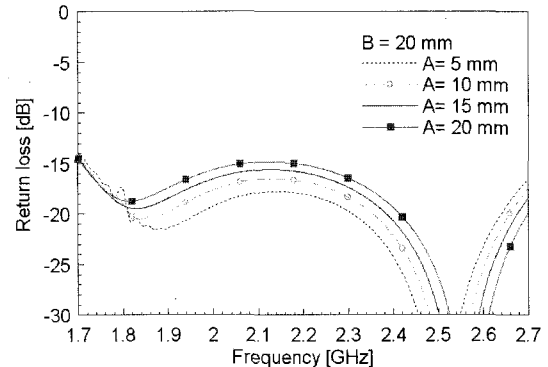
(a)  $A=10$  mm



(b)  $A=20$  mm

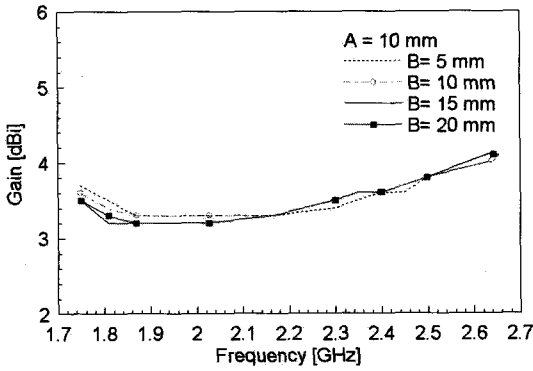


(c)  $B=10$  mm

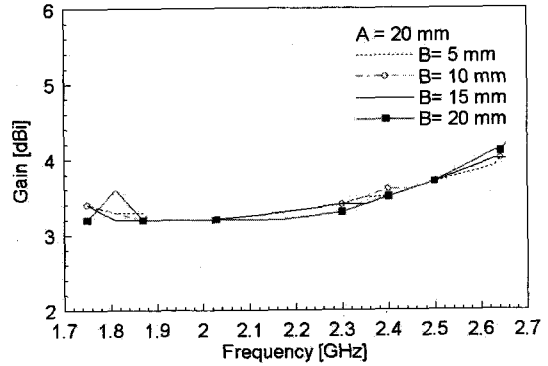


(d)  $B=20$  mm

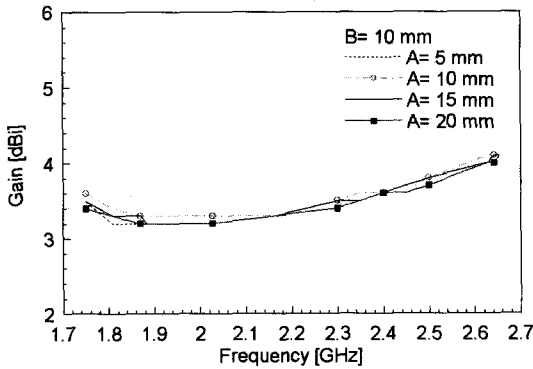
그림 3. A, B에 따른 반사 손실  
Fig. 3. Return loss as functions of A and B.



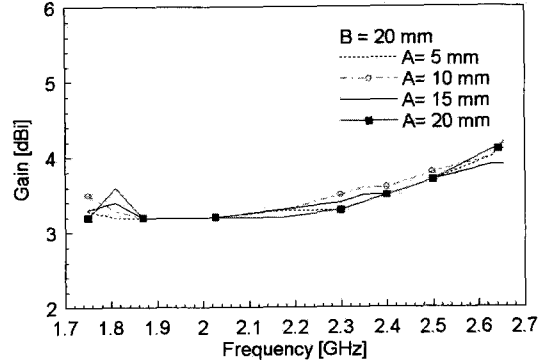
(a) A=10 mm



(b) A=20 mm



(c) B=10 mm



(d) B=20 mm

그림 4. A, B에 따른 전력 이득

Fig. 4. Power gain as functions of A and B.

A를 20 mm로 고정시키고 B를 변화시키면서 계산한 복사 패턴이다. 또 (c)는 B를 10 mm, (d)는 B를 20 mm로 고정시키고 A를 변화시키면서 계산한 복사 패턴이다. 그림에서 폴디드 단락 스테르브의 폭과 길이 A와 B의 변화에 따른 복사 패턴의 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 그림에서 제시된 십자형 모노폴 안테나는 일반적인 모노폴 안테나처럼 수직 패턴은 지향성을 가지며 수평 패턴은 거의 무지향성의 복사 패턴을 가지고 있다. 그림에서 폴디드 단락 스테르브가 놓여 있는 수평 방향의 45° 방향에서 복사 전계의 세기가 약간 작게 나타나고 있다. 이는 수평 방향의 45° 방향에 설치된 폴디드 단락 스테르브의 영향으로 생각된다.

### 2-2 복사 특성 비교

여기서는 폴디드 단락 스테르브를 갖는 십자형 모노폴 안테나와 스테르브가 없는 십자형 모노폴 안테나의

복사 특성을 비교함으로써 폴디드 단락 스테르브가 광대역 특성에 기여함을 보인다. 그림 6은 폴디드 단락 스테르브를 갖는 십자형 모노폴 안테나와 십자형 모노폴 안테나의 반사 손실을 주파수 1,700~2,700 MHz에서 계산한 결과이다. 계산에 사용된 안테나 제원은 다음과 같다. 복사 소자는 비유전율이  $\epsilon_r = 4.4$ , 두께  $t=1.6$  mm인 FR-4 양면 기판을 이용하였고, 높이는  $H=42$  mm, 폭  $W=55$  mm, 접지판의 직경  $D=97$  mm, 두께 1.5 mm 모노폴 소자와 반사판 사이의 간격  $s=6$  mm이다. 폴디드 단락 스테르브의 A와 B는 각각 15 mm와 5 mm이다. 그림에서 CMA는 십자형 모노폴 안테나(CMA: Cross Monopole Antenna), CMA\_FS는 폴디드 단락 스테르브를 갖는 십자형 모노폴 안테나(CMA\_FS: Cross Monopole Antenna with Folded Short Stub)를 의미한다. 그림에서 VSWR 1.3 : 1(반사 손실 17.9 dB) 이하를 만족하는 십자형 모노

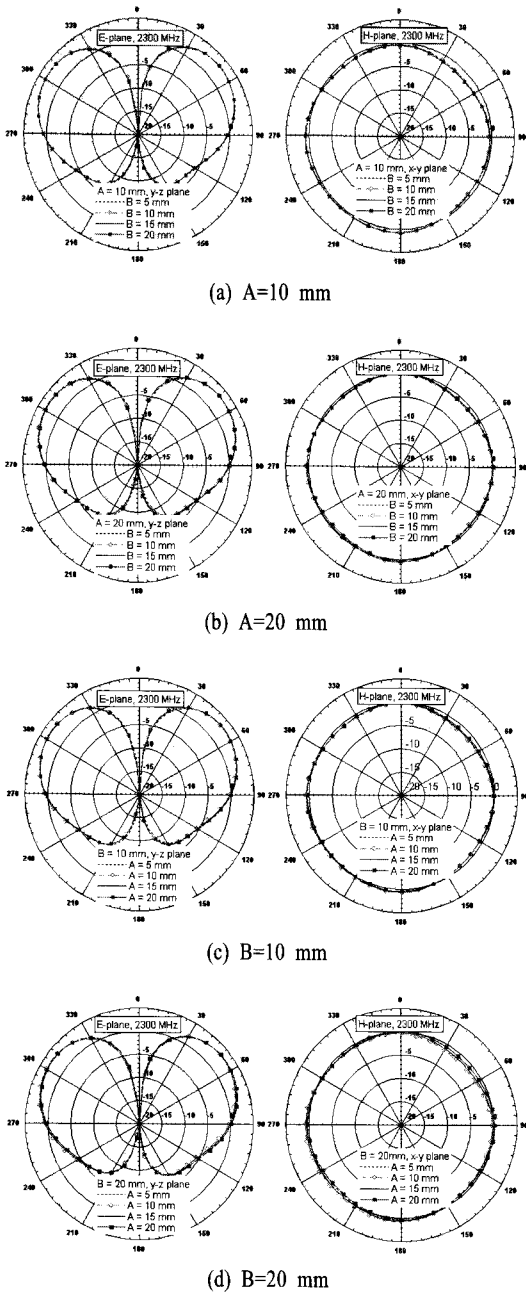


그림 5. A, B에 따른 복사 패턴  
Fig. 5. Radiation pattern as functions of A and B.

폴 안테나의 대역폭은 1,818~2,300 MHz까지 약 500 MHz의 대역폭을 만족하고 폴리드 단락 스테르브를 갖는 십자형 모노폴 안테나는 1,818~2,700 MHz까지 약 900 MHz의 대역폭을 만족하고 있음을 보이고 있다. 폴리드 단락 스테르브에 의해 공진 주파수가 이동

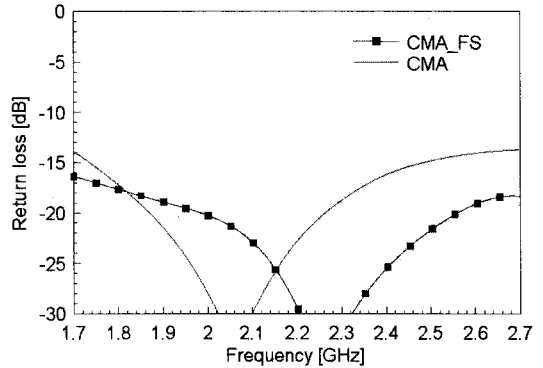


그림 6. 반사 손실 비교  
Fig. 6. Comparison of return loss.

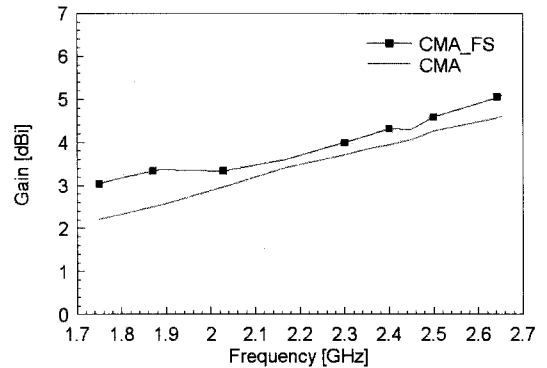


그림 7. 전력 이득 비교  
Fig. 7. Comparison of power gain.

하였고 400 MHz의 대역폭이 개선됨을 확인할 수 있다.

그림 7은 폴리드 단락 스테르브를 갖는 십자형 모노폴 안테나와 십자형 모노폴 안테나의 전력 이득을 나타낸 것이다. 계산시 안테나의 구조는 그림 6의 경우와 동일하다. 그림에서 십자형 모노폴 안테나의 이득은 2.21~4.59 dBi의 변화를 보이고 있고, 폴리드 단락 스테르브를 갖는 십자형 모노폴 안테나의 이득은 3.03~5.09 dBi의 변화를 보이고 있다. 폴리드 단락 스테르브를 갖는 십자형 모노폴 안테나의 이득이 십자형 모노폴 안테나보다 약간 높게 나타나고 있다.

그림 8은 십자형 모노폴 안테나와 폴리드 단락 스테르브를 갖는 십자형 모노폴 안테나의 복사 패턴을 비교한 것이다. 그림에서 두 안테나 모두 수직 패턴은 지향성, 수평 패턴은 무지향성의 복사 패턴을 가지고 있다. 폴리드 단락 스테르브에 의한 복사 패턴의

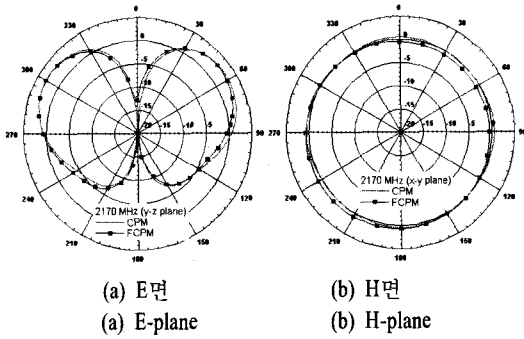


그림 8. 복사 패턴 비교  
Fig. 8. Comparison of radiation pattern.

변화는 거의 없는 것으로 나타나고 있다. 이상으로 제시한 폴디드 단락 스텐브를 갖는 십자형 모노폴 안테나는 십자형 모노폴 안테나에 비하여 복사 패턴의 변화가 거의 없이 반사 손실 특성이 개선됨을 확인할 수 있다.

### III. 안테나 제작 및 측정결과

여기서는 앞에서 도출한 폴디드 단락 스텐브를 갖는 십자형 모노폴 안테나의 복사 특성을 참고하여 PCS(1,750~1,870 MHz), WCDMA(1,885~2,170 MHz), WiBro(2,300~2,390 MHz), 위성 DMB(2,630~2,655 MHz)에 공통으로 사용 가능한 안테나를 설계·제작하고 복사 특성을 측정한다. 안테나의 설계에 사용된 안테나의 복사 소자는 그림 3과 그림 4에서 사용한 비유전율이  $\epsilon_r=4.4$ , 두께  $t=1.6$  mm인 FR-4 양면 기판을 이용하였고, 높이는  $H=42$  mm, 폭  $W=57$  mm, 반사판 직경  $D=98$  mm, 모노폴 소자와 반사판 사이의 간격  $s=6$  mm,  $A=15$  mm,  $B=5$  mm이다.

그림 9는 제작된 안테나의 외관이다. 그림 10은 HP사의 8510C 네트워크 분석기를 이용하여 측정된 제작된 안테나의 반사 손실이다. 그림에서 측정치는 계산치와 거의 유사하게 나타나고 있으며, 사용 주파수 1,750~2,655 MHz에서 VSWR 1.5 이하를 만족하고 있다.

그림 11은 제작된 안테나의 전력 이득으로 측정치와 계산치를 비교한 것이다. 계산된 이득은 2.57 dBi부터 4.16 dBi까지 변화를 보이며, 주파수에 따라 일정하게 증가하고 있다. 측정치의 이득은 2.17 dBi부터 4.87 dBi까지 변화하였으며, 계산치와 측정치의 사

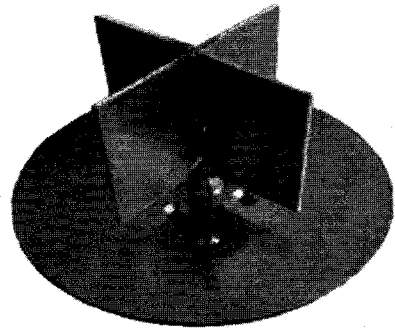


그림 9. 제작된 안테나  
Fig. 9. Fabricated antenna.

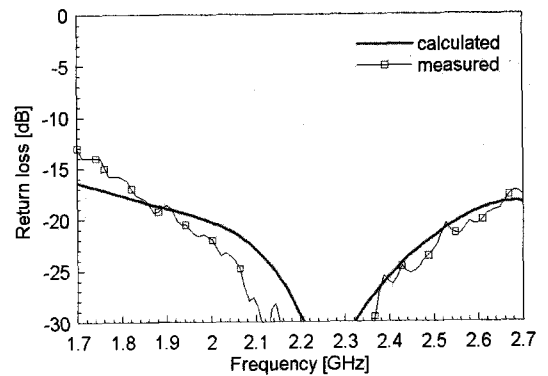


그림 10. 반사 손실 계산치와 측정치 비교  
Fig. 10. Comparison of calculated and measured return loss.

이에 약간의 차이를 보이고 있다. 이는 안테나 제작 시 나타날 수 있는 오차와 측정 시 포함될 수 있는 측정 환경 및 측정 오차 등에 의한 것으로 생각된다.

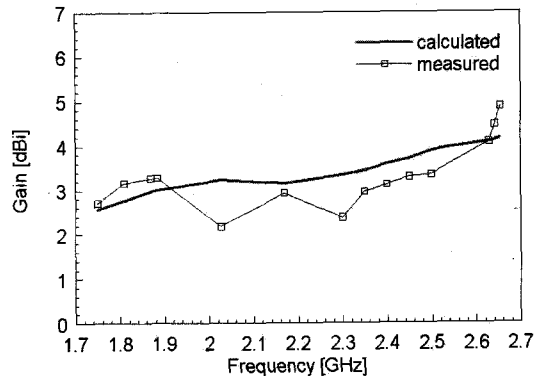


그림 11. 안테나 이득  
Fig. 11. Antenna gain.

그림 12는 제작된 안테나의 복사 패턴 측정치로서 계산치와 비교하여 나타낸 것이다. 측정치는 계산치와 유사하게 나타나고 있다. 그림에서 측정 주파수는 사용 주파수인 1.75~2.65 GHz 대역 내에서 PCS, WCDMA, Wibro, DMB 4개의 주파수 대역 내의 주파

수로 하였다. 제안한 안테나의 복사 패턴은 수평면에서 모노폴 안테나와 같은 전방향의 복사 특성을 갖고 수직면에서는 8자 형태의 복사 특성을 갖는다. 안테나의 수직 빔 폭은 측정치  $58^{\circ}\sim 65^{\circ}$  사이로 측정되었다. 그림으로부터 복사 패턴 측정치와 계산치가 거의 유사함을 확인할 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 모노폴 안테나의 구조적 변형을 통한 광대역화를 위하여 기존의 십자형 모노폴 안테나에 폴리드 단락 스테르를 결합한 십자형 모노폴 안테나를 제시하였다. 제시된 안테나를 주파수 1.75~2.655 GHz 범위(PCS, WCDMA, Wibro, 위성 DMB band)에서 설계·제작하고 복사 특성을 측정하여 광대역 특성을 확인하였다. 제시된 안테나는 사용 주파수 대역에서 VSWR 1.5 이하를 만족하고 있으며, 이득은 측정치 2.17~4.87 dBi(계산치: 2.57~4.16 dBi)로, 수직 빔 폭은 측정치  $58^{\circ}\sim 65^{\circ}$ 로 나타났다. 복사 패턴은 기존 모노폴 안테나와 같은 전방향성 복사 특성을 갖고 수직면에서는 8자 형태의 복사 특성을 갖는다. 이로서 본 논문에서 제시된 안테나는 4개의 주파수 밴드(PCS, WCDMA, Wibro, 위성 DMB)를 동시에 만족하는 광대역 모노폴 안테나로 사용될 수 있는 안테나로 확인되었다.

#### 참 고 문 헌

- [1] N. P. Agrawal, G. Kumar, and K. P. Ray, "New wide-band monopole antennas", *Antennas & Propagation Society, IEEE International Symposium, 1997 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. An-*

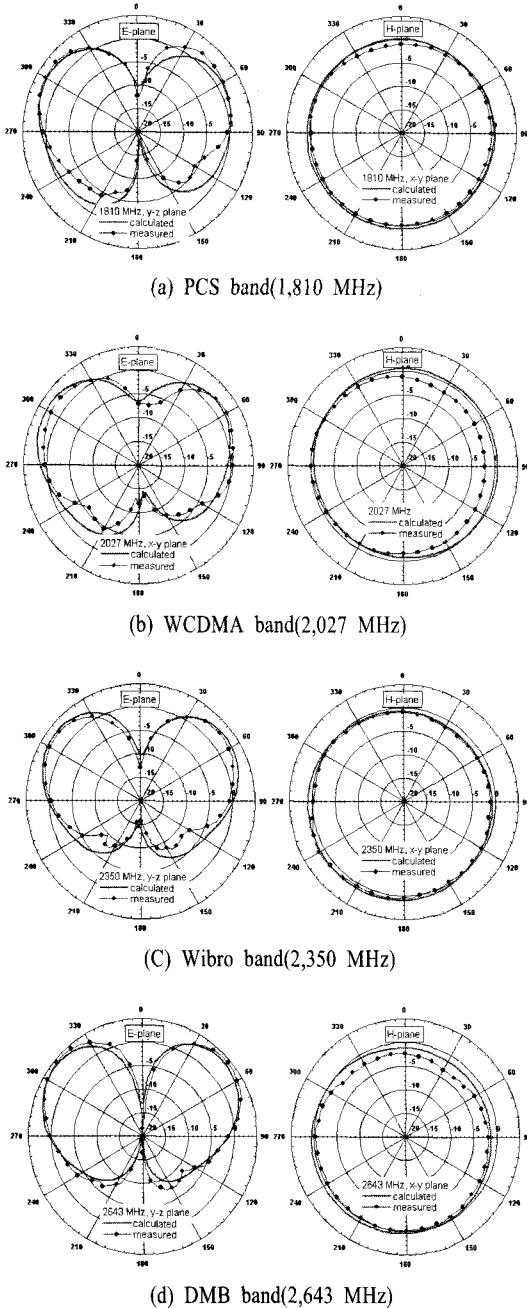
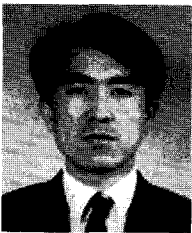


그림 12. 복사 패턴  
Fig. 12. Radiation pattern.

- tennas Propagation*, vol. 46, no. 2, pp. 294-295, 1998.
- [5] 서승업, 최학근, "프린트 슬리브 모노폴 안테나의 설계 및 복사 특성", 한국전자과학회논문지, 16(9), pp. 926-931, 2005년 9월.
- [6] M. J. Ammann, "Square planner monopole antenna", *Antenna & Propagation, IEE National Conference*, pp. 37-40, 1999.
- [7] 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.
- [8] R. C. Johnson, *Antenna Engineering Handbook*, ch. 4, McGraw-Hill, 1993.
- [9] IECE Japan, *Antenna Engineering Handbook*, Tokyo Japan, Ohm-sha Co., pp. 319-328, 1980.
- [10] Hammoud, P. Poey, and F. Colomel, "Matching the input impedance of a broadband disc monopole", *Electronics Letters*, vol. 29, pp. 406-407, Feb. 1993.
- [11] M. Miao, B. L. Ooi, and P. S. Kooi, "Broadband CPW-fed wide slot antenna", *Microwave Opt. Technology Lett.*, vol. 24, no. 3, May 2000.
- [12] Alpesh U. Bhohe, Christopher I. Hollywood, and Melinda Picket-May, "CPW-fed wide-band hybrid slot antenna", *IEEE int. Antennas Propagat. Symp. Dig.*, vol. 38, pp. 636-639, Jul. 2000.
- [13] Jen-Fen Huang, Chih-wen Kuo, "CPW-fed bow-tie slot antenna", *Microwave Opt. Technology Lett.*, vol. 19, no. 5, Dec. 1998.
- [14] 서승업, 최학근, "광대역 십자형 모노폴 안테나의 설계", 한국전자과학회논문지, 16(7), pp. 768-775, 2005년 7월.
- [15] Y. T. Lo, S. W. Lee, *Antenna Handbook*, ch. 7, Van Nostrand Reinhold, 1988.

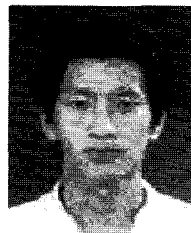
임 성 빈



1988년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)  
 1993년 8월: 단국대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2007년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학박사)  
 1994년 3월~현재: 한국항공우주연구원 선임연구원

[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 마이크로파 회로

박 용 옥



2004년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)  
 2006년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2006년 2월~현재: (주)EMW Antenna 연구원  
 [주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 마이크로파 회로

성 원 모



1995년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)  
 1997년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2007년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학박사)  
 1995년 8월~현재: (주)EMW Antenna 연구소장, 상무이사

[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 마이크로파 회로

최 학 근



1979년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)  
 1981년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1988년 8월: 고려대학교 전자공학과 (공학박사)  
 1989년 3월~현재: (주) 하이게인 안테나 기술고문

1991년 3월~현재: 단국대학교 전자공학과 교수  
 [주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 마이크로파회로