

브랜치 소자를 갖는 십자형 모노폴 안테나의 설계

Design of Cross Monopole Antennas with Branch Element

김 병 훈 · 최 학 근 · 박 재 현

Byung-Hoon Kim · Hak-Keun Choi · Jae-Hyun Park

요 약

본 논문에서는 브랜치 소자를 갖는 십자형 모노폴 안테나를 제안하고 복사 특성을 확인하였다. 제안된 안테나의 광대역 특성을 확인하기 위하여 PCS, WCDMA, WiBro, S-DMB 대역(1.750~2.655 GHz)에서 안테나를 설계 제작하고 복사 특성을 측정하였다. 제안된 안테나는 수직면 내 지향성, 수평면 내 무지향성 특성을 가지며, VSWR은 주파수 1.72~2.82 GHz에서 1.5 이하, 안테나 이득은 1.9 dBi 이상으로 나타났다. 측정 결과로부터 제안된 안테나는 PCS, WCDMA, WiBro, S-DMB 대역에서 사용될 수 있는 광대역 특성을 갖는 안테나로 확인되었다.

Abstract

In this paper, the cross monopole antenna with branch element is presented and its radiation characteristics are investigated. To confirm the broadband characteristics of the proposed antenna, the experimental antenna is designed, fabricated, and its radiation characteristics are measured in PCS, WCDMA, WiBro and S-DMB band(1.750~2.655 GHz). It is shown that the designed antenna has the non-directional pattern in the horizontal plane, the directional pattern in the vertical plane, VSWR less than 1.5 and gain over 1.9 dBi in 1.72~2.82 GHz. From these results, the presented antenna is conformed as a broadband antenna which can be used for PCS, WCDMA, WiBro and S-DMB band.

Key words : Broadband, Cross Monopole Antenna, Branch Element

I. 서 론

모노폴 안테나는 사용 주파수의 공진 파장인 $\lambda/4$ 높이로 간단히 제작할 수 있고 정합이 쉬우며 무지향성의 복사 패턴으로 인해 이동 통신 시스템에서 널리 사용되고 있다. 그러나 모노폴 안테나의 단점인 좁은 대역폭은 다양한 주파수 밴드를 만족시켜야 하는 광대역 통신 시스템에서는 적합하지 않다^[1]. 따라서 다양한 주파수 밴드를 만족시키는 모노폴 안테나의 개발이 필요하고, 그 연구 또한 폭넓게 이루어지고 있다^[2].

모노폴 안테나의 광대역화를 위한 방법 중 하나인 평면형 모노폴 안테나는 정합이 쉽고 효율이 높

은 장점이 있지만, 주파수가 증가하면 수평면 내 무지향성 복사 패턴에 널(null)이 발생하고, 복사면 위치에 따라 전류 분포의 차이가 발생하는 단점이 있다^{[3],[4]}. 이러한 단점을 해결하기 위한 방법으로 평면형 소자 2개를 90도로 교차시킨 십자형 모노폴 안테나에 대한 연구가 이루어졌으며^[4], 대역폭을 개선하기 위하여 동판의 복사 소자를 경사지게 잘라내거나 계단형으로 잘라내어 십자형으로 구성하는 방법 등이 연구되었다^{[5],[6]}. 하지만 이런 방법들은 제작할 때 동판을 잘라내어야 하는 번거로움이 발생하기 때문에 보다 용이하게 제작할 수 있는 새로운 형태가 필요하다.

따라서 본 논문에서는 제작과 상용화가 용이하도록

「이 연구는 2008학년도 단국대학교 대학연구비 지원으로 연구되었음.
 단국대학교 전자공학과(Dept. of Electronic Engineering, Dankook University)
 · 논문 번호 : 20090806-081
 · 수정완료일자 : 2009년 10월 12일

록 FR-4 유전체 기판을 사용하고, PCS, WCDMA, WiBro, S-DMB 대역(1.750~2.655 GHz)에서 사용될 수 있는 새로운 형태의 복사 소자를 갖는 십자형 모노폴 안테나를 제안하였다. 안테나의 구조는 원형 접지판 위에 세워진 유전체 기판에 브랜치(branch) 복사 소자가 결합된 사각 고리(square annular) 형태^[7]의 복사 소자를 십자형으로 구성하였다. 안테나의 급전은 접지판 뒷면에 위치한 커넥터로부터 급전된다. 안테나의 광대역 특성을 확인하기 위하여 CST사의 MWS(V.2006b)를 사용하며, 마지막으로 제안된 안테나를 제작하여 계산 결과와 비교함으로써 그 사용 가능성을 보인다.

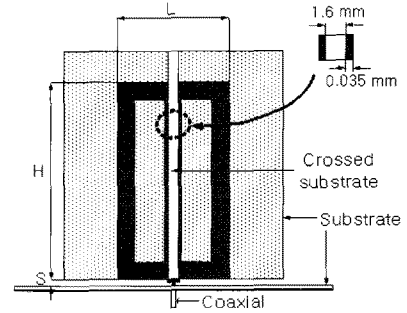
II. 모노폴 안테나의 설계

2-1 십자형 모노폴 안테나의 복사 특성

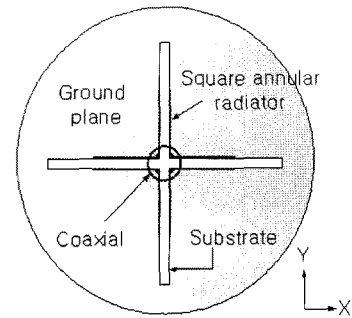
그림 1은 사각 고리 형태의 복사 소자로 구성된 십자형 모노폴 안테나의 구조이다. 안테나의 기본 구조는 직경 $D=80$ mm의 원형 접지판 위에 사각 고리 복사 소자가 십자형으로 이루어져 있다. 복사 소자의 높이 H 는 일반적인 모노폴 안테나의 공진 파장인 $\lambda/4$ 에 해당하는 45 mm(1.7 GHz 기준)으로 고정하였고, 접지판과 복사 소자의 간격 S 는 3 mm이다. 소자의 급전은 원형 접지판의 후면에 만들어진 슬롯을 통하여 동축 케이블로부터 급전되고, 8개의 복사면에 동일한 급전을 위해서 동축 케이블의 중심도체 끝부분에 원판을 부착하였다. 여기서 사용된 기판은 FR-4 기판($\epsilon_r=4.4$, 두께: 1.6 mm, $\tan \delta=0.02$)이다.

그림 2는 사각 고리 복사 소자의 너비 L 를 22.6 mm에서 32.6 mm까지 변화시키면서 계산한 VSWR을 나타낸 것이다. 그림에서 L 이 증가할수록 대역폭이 넓어지고 공진 주파수가 상승하다가 L 이 30.6 mm부터는 대역폭이 감소하기 시작한다. 그림 1 구조의 안테나에서 L 이 28.6 mm일 때 공진 주파수 1.75 GHz로 대역폭이 가장 넓게 나타남을 확인할 수 있으며, VSWR 1.5:1 이하인 주파수 대역은 1.58~1.98 GHz(중심 주파수 기준 22.47%)으로 나타난다.

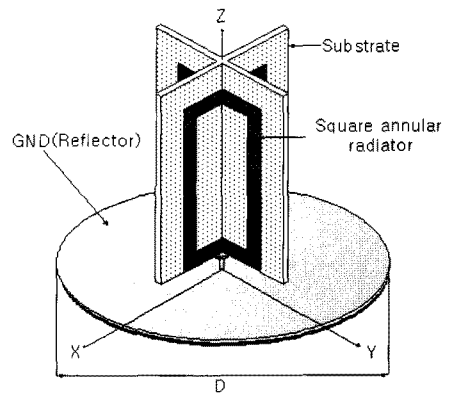
그림 3은 $H=45$ mm, $L=28.6$ mm, $S=3$ mm일 때, 안테나의 복사 패턴을 나타낸 것이다. 계산된 안테나 이득은 중심 주파수(1.78 GHz)에서 1.6 dBi 이상을



(a) 정면도
(a) Front view



(b) 상측도
(b) Top view



(c) 십자형 모노폴 안테나
(c) Cross monopole antenna

그림 1. 십자형 모노폴 안테나의 구조
Fig. 1. Structure of cross monopole antenna.

가지며, 일반적인 모노폴 안테나의 복사 패턴인 수직면 내 지향성, 수평면 내 무지향성을 나타낸다.

그러나 VSWR 1.5:1 이하에서 PCS 대역(1.75~1.87 GHz)과 WCDMA 대역(1.92~2.17 GHz)의 하한 주파수만 만족하기 때문에 광대역 모노폴 안테나로서는 적합하지 않다. 따라서 이들 주파수 대역보다

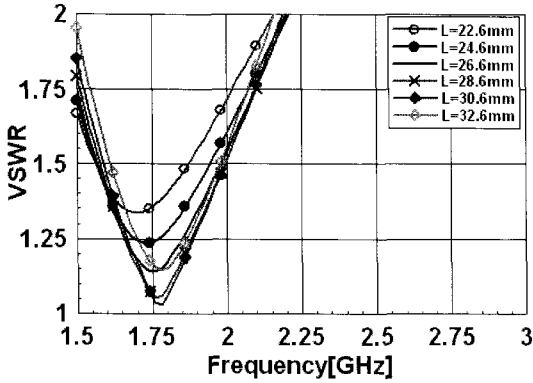


그림 2. 십자형 모노폴 안테나의 VSWR
Fig. 2. VSWR of cross monopole antenna.

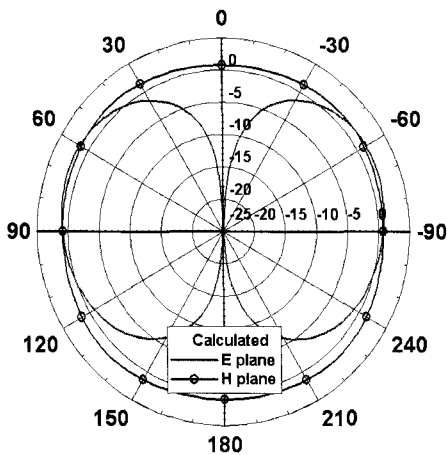


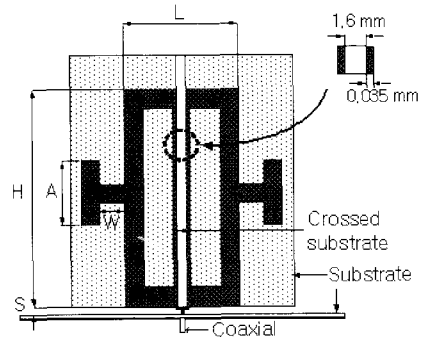
그림 3. 십자형 모노폴 안테나의 복사 패턴
Fig. 3. Radiation pattern of cross monopole antenna.

높은 주파수에서 추가적으로 동작하도록 브랜치 복사 소자를 삽입하여 대역폭을 개선하였다.

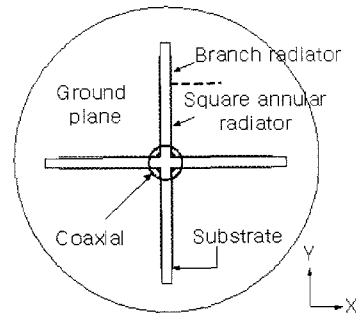
2-2 브랜치 복사 소자를 갖는 십자형 모노폴 안테나의 설계

여기서는 앞에서 설계한 십자형 모노폴 안테나의 복사체에 브랜치 복사 소자를 추가적으로 삽입하여 대역폭을 개선하였다^{[8],[9]}. 또한 제안된 안테나의 광대역 특성을 확인하기 위하여 브랜치 복사 소자가 없는 경우와 비교 분석하였다.

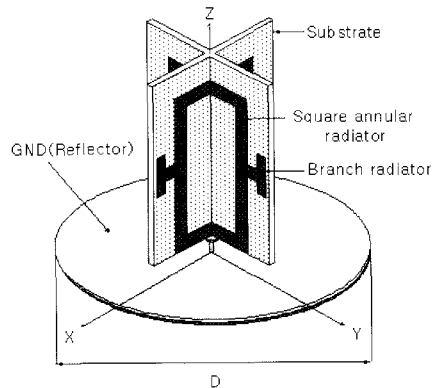
그림 4는 그림 1의 구조에서 브랜치 복사 소자가 삽입된 안테나의 구조를 나타낸다. 그림 4(a)에서 안테나의 기본 구조 파라미터는 사각 고리 복사 소자의 너비 L , 브랜치 복사 소자의 길이 A , 사각 고리 복



(a) 정면도
(a) Front view



(b) 상측도
(b) Top view



(c) 브랜치 소자를 갖는 십자형 모노폴 안테나
(c) Cross monopole antenna with branch element

그림 4. 브랜치 소자를 갖는 십자형 모노폴 안테나의 구조

Fig. 4. Structure of cross monopole antenna with branch element.

사 소자와 브랜치 복사 소자의 간격 W 이며, 접지판과 소자와의 간격은 S 이다. 여기서 첫 번째 공진 주파수를 형성하는 사각 고리 복사 소자의 높이 H 는 45 mm(1.7 GHz 기준)로 고정하고, 브랜치 복사 소자

의 길이 A 는 높이 H 의 1/3 정도가 되도록 하였다^[10]. 급전은 원형 접지판의 후면에 만들어진 슬롯을 통하여 동축 케이블로부터 급전되고, 8개의 복사면에 동일한 급전을 위해서 동축 케이블의 중심 도체 끝부분에 원판을 부착하였다.

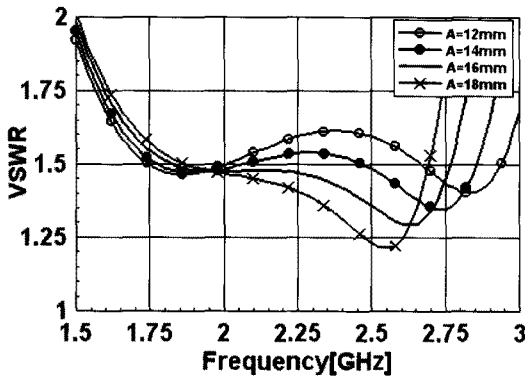
그림 5(a)는 그림 4의 구조에서 사각 고리 복사 소자의 너비 $L=22.6$ mm, 사각 고리 복사 소자와 브랜치 복사 소자의 간격 $W=5.5$ mm, 접지판과 소자의 간격 $S=3$ mm일 때, 브랜치 복사 소자의 길이 A 를 12 mm에서 18 mm까지 변화시키면서 계산한 VSWR이다. A 가 16 mm일 때 VSWR 1.5:1 이하의 대역은 1.84 ~ 2.76 GHz(중심 주파수 기준 40 %)이다.

그림 5(b)는 그림 4의 구조에서 사각 고리 복사 소자의 너비 $L=24.6$ mm, 사각 고리 복사 소자와 브랜치 복사 소자의 간격 $W=5.5$ mm, 접지판과 소자의 간격 $S=3$ mm일 때, 브랜치 복사 소자의 길이 A 를 12 mm에서 18 mm까지 변화시키면서 계산한 VSWR이

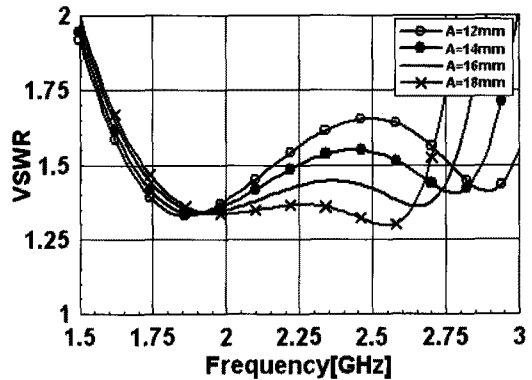
다. A 가 16 mm일 때 VSWR 1.5:1 이하의 대역은 1.7 ~ 2.76 GHz(중심 주파수 기준 47.53 %)이다.

그림 5(c)는 그림 4의 구조에서 사각 고리 복사 소자의 너비 $L=26.6$ mm, 사각 고리 복사 소자와 브랜치 복사 소자의 간격 $W=5.5$ mm, 접지판과 소자의 간격 $S=3$ mm일 때, 브랜치 복사 소자의 길이 A 를 12 mm에서 18 mm까지 변화시키면서 계산한 VSWR이다. A 가 18 mm일 때 VSWR 1.5:1 이하의 대역은 1.68 ~ 2.68 GHz(중심 주파수 기준 45.87 %)이다.

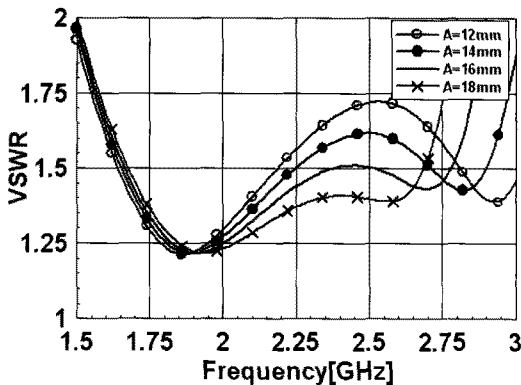
그림 5(d)는 그림 4의 구조에서 사각 고리 복사 소자의 너비 $L=28.6$ mm, 사각 고리 복사 소자와 브랜치 복사 소자의 간격 $W=5.5$ mm, 접지판과 소자의 간격 $S=3$ mm일 때, 브랜치 복사 소자의 길이 A 를 12 mm에서 18 mm까지 변화시키면서 계산한 VSWR이다. A 가 18 mm일 때 VSWR 1.5:1 이하의 대역은 1.68 ~ 2.68 GHz(중심 주파수 기준 45.87 %)이다. 그림 5에서 사각 고리 복사 소자의 너비 L 이 증가할수



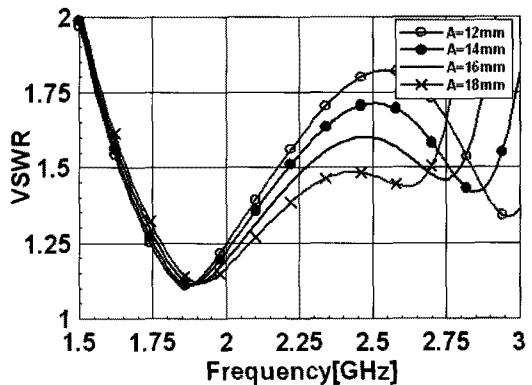
(a) $L=22.6$ mm, $W=5.5$ mm, $S=3$ mm



(b) $L=24.6$ mm, $W=5.5$ mm, $S=3$ mm



(c) $L=26.6$ mm, $W=5.5$ mm, $S=3$ mm



(d) $L=28.6$ mm, $W=5.5$ mm, $S=3$ mm

그림 5. L 과 A 의 변화에 따른 VSWR

Fig. 5. VSWR as functions of L and A .

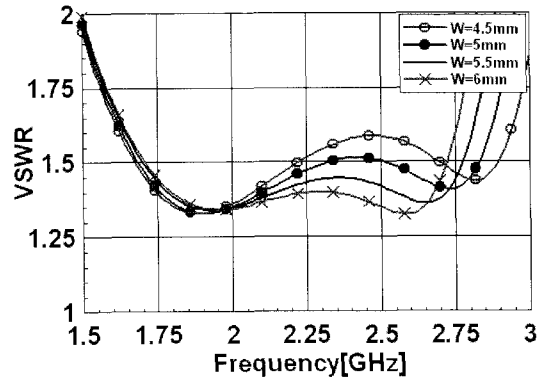
록 낮은 주파수 대역에서의 VSWR 특성이 좋아지지만, 그 이상의 대역에서는 VSWR 특성이 나빠지는 것을 확인할 수 있다. 하지만 높은 주파수 대역의 공진은 2.75 GHz 이상에서 거의 변화가 없다. 또한 브랜치 복사 소자의 길이 A 가 증가할수록 높은 주파수 대역의 공진이 하향 이동하면서 VSWR 특성이 좋아지는 것을 확인할 수 있다. 그러나 L, A 가 변화하더라도 낮은 주파수의 공진은 거의 변화가 없다. 이로부터 브랜치 복사 소자의 길이 A 는 높은 주파수의 공진을 결정하며 L 과 A 가 증가하면서 사용주파수 전체의 VSWR 특성이 좋아짐을 알 수 있다.

그림 6(a)는 그림 4의 구조에서 사각 고리 복사 소자의 너비 $L=24.6$ mm, 브랜치 복사 소자의 길이 $A=16$ mm, 접지판과 소자의 간격 $S=3$ mm일 때 사각 고리 복사 소자와 브랜치 복사 소자의 간격 W 를 4.5 mm에서 6 mm까지 변화시키면서 계산한 VSWR이다. W 가 5.5 mm일 때 VSWR 1.5:1 이하의 대역은 1.7 ~ 2.76 GHz(중심 주파수 기준 47.53 %)이다.

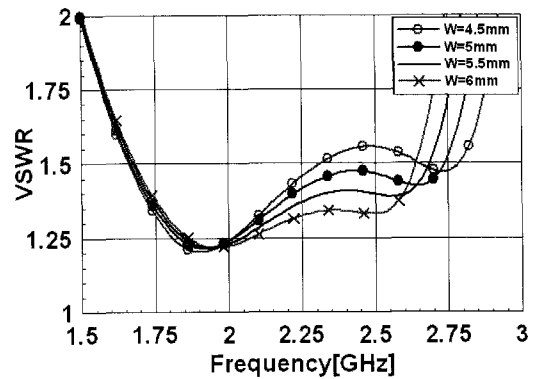
그림 6(b)는 그림 4의 구조에서 사각 고리 복사 소자의 너비 $L=26.6$ mm, 브랜치 복사 소자의 길이 $A=18$ mm, 접지판과 소자의 간격 $S=3$ mm일 때 사각 고리 복사 소자와 브랜치 복사 소자의 간격 W 를 4.5 mm에서 6 mm까지 변화시키면서 계산한 VSWR이다. W 가 5 mm일 때 VSWR 1.5:1 이하의 대역은 1.68 ~ 2.72 GHz(중심 주파수 기준 47.27 %)이다.

그림 6(c)는 그림 4의 구조에서 사각 고리 복사 소자의 너비 $L=28.6$ mm, 브랜치 복사 소자의 길이 $A=18$ mm, 접지판과 소자의 간격 $S=3$ mm일 때 사각 고리 복사 소자와 브랜치 복사 소자의 간격 W 를 4.5 mm에서 6 mm까지 변화시키면서 계산한 VSWR이다. W 가 5.5 mm일 때 VSWR 1.5:1 이하의 대역은 1.68 ~ 2.68 GHz(중심 주파수 기준 45.87 %)이다. 그림 6에서 사각 고리 복사 소자와 브랜치 복사 소자의 간격 W 가 증가할수록 높은 주파수의 공진이 하향 이동하고 VSWR 특성이 좋아짐을 확인할 수 있다. 또한 그림 5와 같이 낮은 주파수의 공진은 거의 변화가 없다. 이로부터 브랜치 복사 소자는 높은 주파수의 공진을 형성하고 VSWR 특성에 영향을 주기 때문에 브랜치 복사 소자가 없는 경우보다 대역폭이 개선될 수 있음을 알 수 있다.

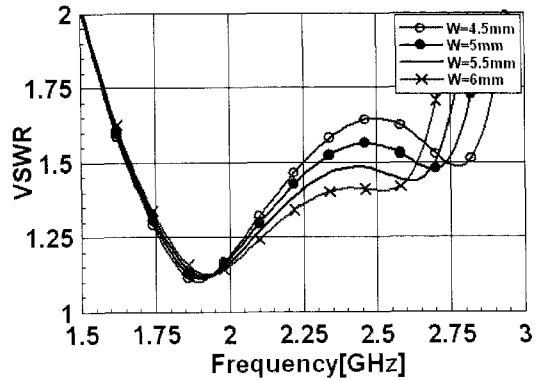
그림 7은 그림 4의 구조에서 사각 고리 복사 소자



(a) $L=24.6$ mm, $A=16$ mm, $S=3$ mm



(b) $L=26.6$ mm, $A=18$ mm, $S=3$ mm



(c) $L=28.6$ mm, $A=18$ mm, $S=3$ mm

그림 6. L, W, A 변화에 따른 VSWR

Fig. 6. VSWR as functions of L, W and A .

의 너비 $L=24.6$ mm, 브랜치 복사 소자의 길이 $A=16$ mm, 사각 고리 복사 소자와 브랜치 복사 소자의 간격 $W=5.5$ mm일 때, 접지판과 소자의 간격 S 를 2.6 mm에서 3.2 mm까지 변화시키면서 계산한 VSWR이다. S 가 3 mm일 때 VSWR 1.5:1 이하의 대역은 1.7 ~ 2.76 GHz(중심 주파수 기준 47.53 %)이다. 그림

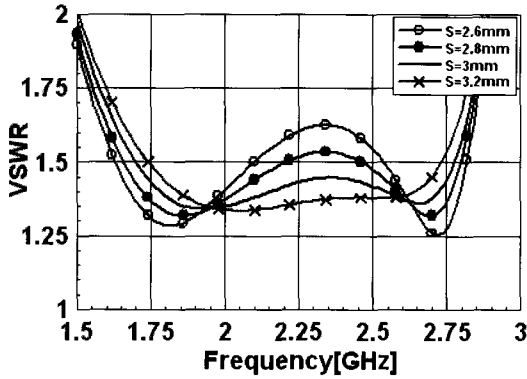


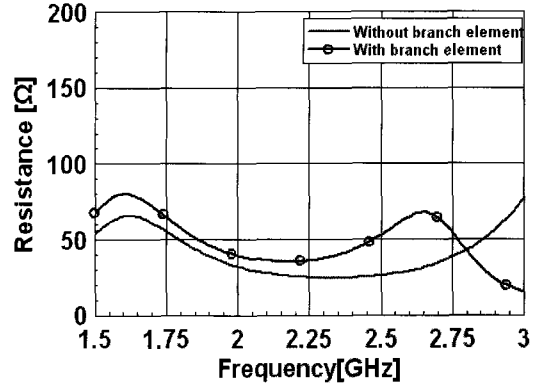
그림 7. S 변화에 따른 VSWR
Fig. 7. VSWR as a function of S .

에서 접지판과 소자의 간격 S 가 증가함에 따라 낮은 주파수와 높은 주파수의 공진은 크게 변하지 않으면서 전체적인 VSWR 특성이 좋아짐을 확인할 수 있다. 그러나 VSWR 1.5:1 이하의 대역은 S 가 증가함에 따라 좁아진다.

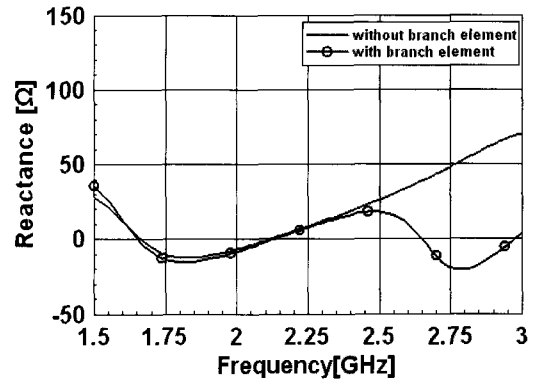
그림 5~7로부터 설계된 안테나는 사각 고리 복사 소자의 높이 $H=45$ mm, 사각 고리 복사 소자의 너비 $L=24.6$ mm, 사각 고리 복사 소자와 브랜치 복사 소자의 간격 $W=5.5$ mm, 브랜치 복사 소자의 길이 $A=16$ mm, 접지판과 소자의 간격 $S=3$ mm이다.

그림 8은 설계된 안테나에서 브랜치 복사 소자의 유무에 따른 입력 임피던스를 비교한 것이다. 여기서 복사 소자의 크기($H=45$ mm, $L=24.6$ mm)와 접지판과 소자의 간격($S=3$ mm)은 동일하다. 브랜치 복사 소자가 없는 경우 입력 저항은 1.8 GHz에서 50 Ω에 근접하고 주파수가 높아지면서 감소하는 것을 확인할 수 있다. 또한 입력 리액턴스는 1.67 GHz와 2.1 GHz에서 0의 값을 갖지만 2.1 GHz 이상의 대역에서는 계속 증가하는 것을 확인할 수 있다.

반면, 브랜치 복사 소자가 추가적으로 삽입된 경우 입력 저항은 1.86~2.5 GHz에서 비교적 변화가 작게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 또한, 입력 리액턴스는 브랜치 복사 소자가 없을 때와 유사한 형태를 갖지만 2.5 GHz 이상의 대역부터 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이로부터 브랜치 복사 소자를 추가적으로 삽입하게 되면 주파수에 따른 입력 저항의 변화가 작아지고 높은 주파수에서의 유도성 리액턴스 성분을 감소시키며, 안테나의 Q 값을 작게 만들어



(a) 입력 저항
(a) Input resistance



(b) 입력 리액턴스
(b) Input reactance

그림 8. 입력 임피던스 비교
Fig. 8. Comparison of input impedance.

대역폭이 개선되었다는 것을 예상할 수 있다.

그림 9는 설계된 안테나에서 브랜치 복사 소자의 유무에 따른 전류 분포를 나타낸 것이다. 브랜치 복사 소자가 없는 경우, 사각 고리 복사 소자의 전류는 급전부로부터 시작되어 전류 경로를 형성한다. 반면 브랜치 복사 소자가 추가적으로 삽입된 경우, 사각 고리 복사 소자의 전류는 브랜치 복사 소자로부터 흘러 들어온 전류에 의해서 강하게 흐르게 되고 전류 경로는 그림 9(a)보다 짧아지게 된다. 이로부터 브랜치 복사 소자는 사각 고리 복사 소자 공진을 형성하는 전류 경로(전기적 길이)를 짧게 하여 낮은 주파수의 공진 주파수를 상향 이동하게 할 것이라고 생각한다.

그림 10은 설계된 안테나에서 브랜치 복사 소자

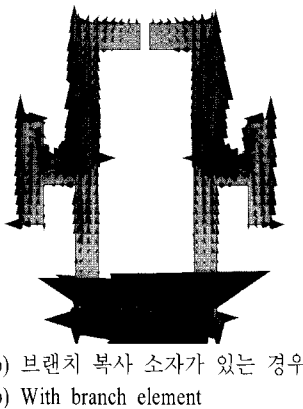
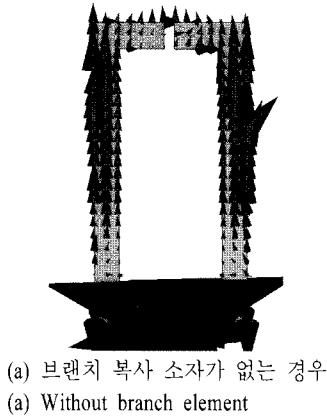


그림 9. 전류 분포 비교
Fig. 9. Comparison of current distribution.

의 유무에 따른 VSWR을 비교한 것이다. 브랜치 복사 소자가 없는 경우 VSWR 1.5:1 이하를 만족하는 주파수 범위는 1.58~1.94 GHz(중심 주파수 기준 20.45 %)이고, 브랜치 복사 소자가 추가적으로 삽입된 경우 VSWR 1.5:1 이하를 만족하는 주파수 범위는 1.7~2.76 GHz(중심 주파수 기준 47.53 %)이다. 따라서 브랜치 복사 소자에 의해서 대역폭이 개선된 것을 확인할 수 있다. 그리고 동일한 사각 고리 복사 소자의 크기($H=45$ mm, $L=24.6$ mm)를 가질 때 브랜치 복사 소자가 삽입되었을 경우, 첫 번째 공진 주파수가 브랜치 복사 소자가 없는 경우보다 상향 이동된 것을 확인할 수가 있는데, 이는 그림 9에서 확인했듯이 브랜치 복사 소자에 의한 영향이라고 생각한다.

III. 제작 및 측정 결과

여기서는 앞에서 제안된 브랜치 소자를 갖는 십

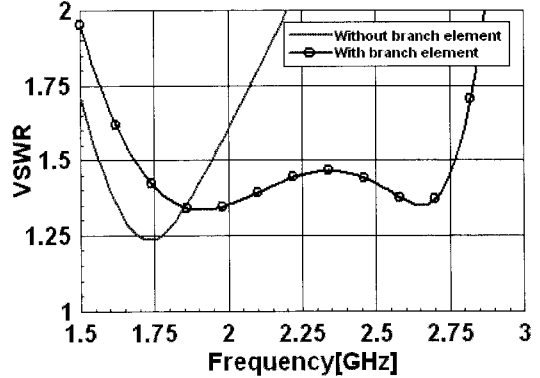


그림 10. VSWR 비교
Fig. 10. Comparison of VSWR.

자형 모노폴 안테나의 복사 특성을 확인하기 위하여 안테나를 제작하고 측정하여 계산 결과와 비교함으로써 안테나의 사용 가능성을 확인하였다.

그림 11은 제작된 브랜치 소자를 갖는 십자형 모노폴 안테나의 외관이다. 제작된 안테나의 기본 구조 파라미터는 사각 고리 복사 소자의 높이 $H=45$ mm, 사각 고리 복사 소자의 너비 $L=24.6$ mm, 사각 고리 복사 소자와 브랜치 복사 소자의 간격 $W=5.5$ mm, 브랜치 복사 소자의 길이 $A=16$ mm, 접지판과 소자의 간격 $S=3$ mm이다. 접지판은 직경 $D=80$ mm의 원형 접지판을 사용하였으며, 접지판의 후면에 만들어진 슬롯을 통하여 동축 케이블로부터 급전된다.

그림 12는 제작된 안테나의 VSWR로 계산치와 측정치를 비교한 것이다. 그림 12에서 제작된 안테나의 VSWR 측정치는 사용 주파수 대역(1.75~2.655

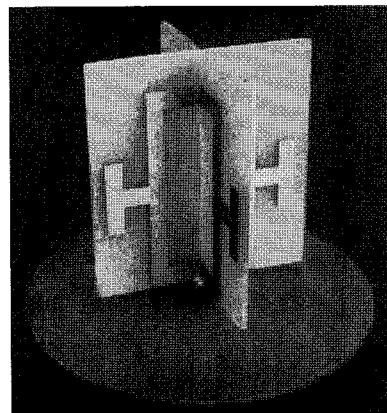


그림 11. 제작된 안테나
Fig. 11. Fabricated antenna.

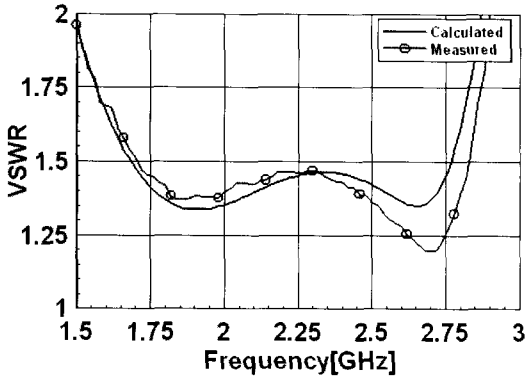


그림 12. VSWR 계산치와 측정치 비교
 Fig. 12. Comparison of calculated and measured VSWR.

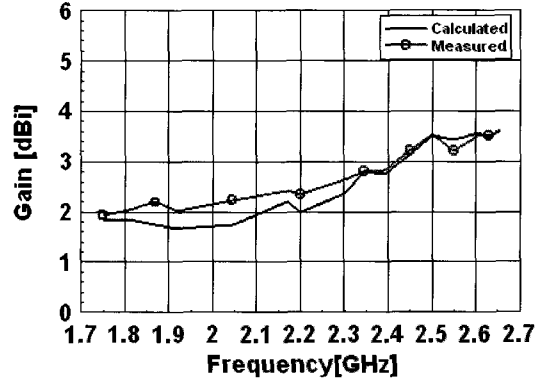


그림 13. 이득 계산치와 측정치 비교
 Fig. 13. Comparison of calculated and measured gain.

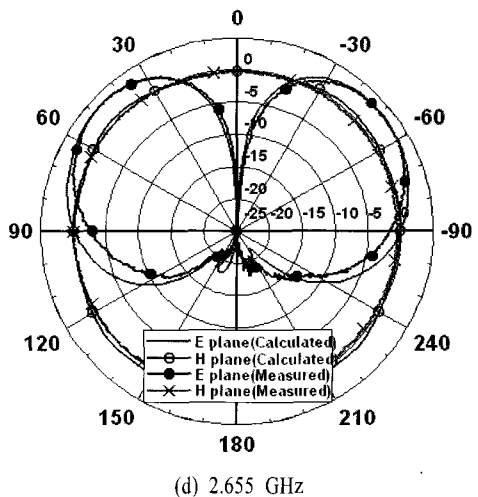
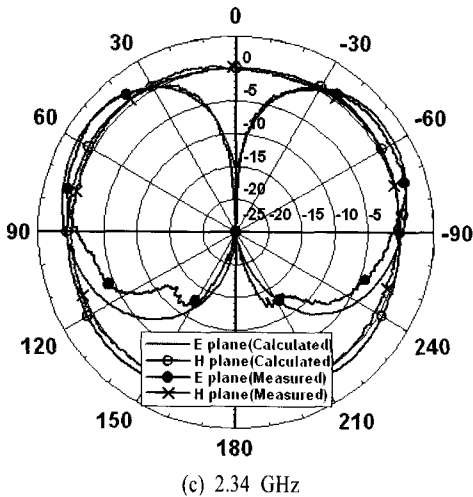
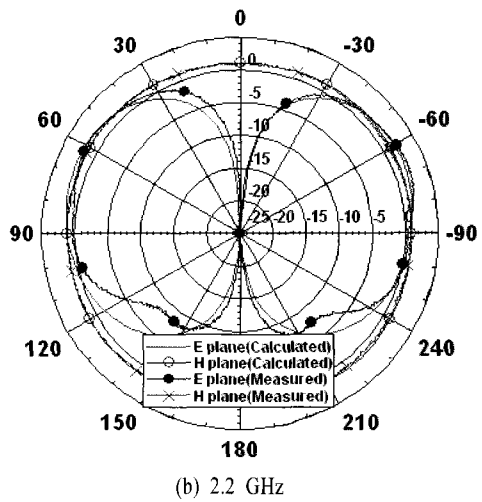
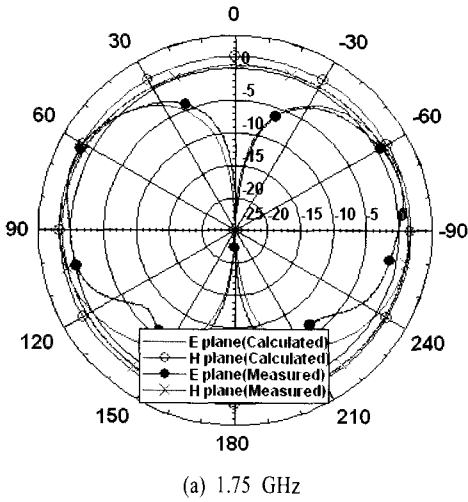


그림 14. 복사 패턴
 Fig. 14. Radiation pattern.

GHz) 내에서 계산치와 유사하게 나타나고 있으며, VSWR 1.5:1 이하를 충분히 만족하는 것으로 나타나고 있다.

그림 13은 제작된 안테나의 이득으로 계산치와 측정치를 비교하여 나타낸 것이다. 측정된 안테나의 이득은 사용 주파수 대역 1.75~2.655 GHz에서 1.9~3.58 dBi(계산치 1.6~3.6 dBi)를 보이고 있다.

그림 14는 제작된 안테나의 복사 패턴 계산치와 측정치를 비교하여 나타낸 것이다. 측정 주파수는 사용 주파수인 1.75~2.655 GHz에서 1.75, 2.2, 2.34, 2.655 GHz로 하였다. 측정된 안테나의 복사 패턴은 수직면 내 지향성, 수평면 내 무지향성을 나타낸다.

IV. 결 론

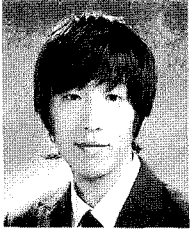
본 논문에서는 브랜치 소자를 갖는 십자형 모노폴 안테나를 제안하고 그 성능을 확인하기 위하여 안테나를 제작하여 복사 특성을 측정하였다. 제안된 안테나는 VSWR 1.5:1 이하를 만족하는 주파수 범위가 1.72~2.82 GHz로 나타나고 있으며, 이는 PCS, WCDMA, WiBro, S-DMB 대역을 충분히 만족하는 대역폭이다. 안테나의 복사 패턴은 수직면 내 지향성, 수평면 내 무지향성 나타내며, 이득은 사용 주파수 전 대역에서 1.9 dBi 이상을 갖는 것으로 측정되었다. 또한 설계된 안테나는 계산치와 측정치가 비교적 유사하게 나타났다.

이로부터 본 논문에서 제안한 모노폴 안테나는 PCS, WCDMA, WiBro, S-DMB 대역에서 충분히 활용 가능할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] John D. Kraus, *Antennas*, ch. 21, McGraw-Hill, 1988.
- [2] M. J. Ammann, Z. N. Chen, "Wideband monopole antennas for multi-band wireless systems", *IEEE Antenna and Propagation Magazine*, vol. 45, no. 2, pp. 146-150, Apr. 2003.
- [3] J. A. Evans, M. J. Ammann, "Planar monopole design considerations based on TLM estimation of current density", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 36, no. 1, pp. 40-42, Jan. 2003.
- [4] M. J. Ammann, R. Sierra Cordoba, M. Uzelac, J. A. Evans, and A. T. Schwarzbacher, "On pattern stability of the crossed planar monopole", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 40, no. 4, pp. 294-296, Feb. 2004.
- [5] M. A. Peyrot-Solis, G. M. Galvan-Tejada, and H. Jardon-Aguilar, "Orthogonal ultra-wideband planar monopole antenna for EMC studies", *Electromagnetic Compatibility and Electromagnetic Ecology 2007 7th International Symposium on*, pp. 141-144, Jun. 2007.
- [6] Kin-Lu Wong, Chih-Hsien Wu, and Fa-Shian Chang, "A compact wideband omnidirectional cross-plate monopole antenna", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 44, no. 6, pp. 492-494, Feb. 2005.
- [7] Zhi Ning, M. J. Ammann, and M. Y. W. Chia, "Broadband square annular planar monopoles", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 36, no. 6, pp. 449-454, Mar. 2003.
- [8] Liu. Duixian, J. Thomas, "A multi-branch monopole antenna for dual-band cellular applications", *Antennas & Propagation Society International Symposium, IEEE*, vol. 3, pp. 1578-1581, Jul. 1999.
- [9] Liu Duixian, J. Thomas, "Branch number and height effects on the multi-branch dual-band monopole antenna", *Antennas & Propagation Society International Symposium, IEEE*, vol. 3, pp. 1302-1305, Jul. 2000.
- [10] Warren L. Stutzman, Gary A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, Wiley, Second Edition, ch. 6, 1998.

김 병 훈



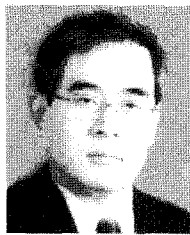
2009년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
2009년 3월~현재: 단국대학교 전자전기공학과 석사과정
[주 관심분야] 안테나 및 전파전파

박 재 현



1997년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
1999년 8월: 단국대학교 전자공학과 (공학석사)
2009년 9월~현재: 단국대학교 전자전기공학과 박사과정
[주 관심분야] 안테나 및 전파전파

최 학 근



1979년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)
1981년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)
1988년 8월: 고려대학교 전자공학과 (공학박사)
1991년 3월~현재: 단국대학교 전자공학과 교수

2006년 7월~현재: 단국대학교 공학교육혁신센터장
1989년 3월~현재: (주)하이게인 안테나 기술고문
[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 마이크로파회로