

기생소자에 의한 소형 평면 맴돌이형 모노폴 안테나

Small-sized Planar Spiral Monopole Antennas by Using Parasitic Elements

이현규 · 이택경 · 장원호* · 강연덕**

Hyun-Kyu Lee · Taek-Kyung Lee · Won-Ho Jang* · Yeon-Duk Kang**

요 약

본 논문에서는 기생소자를 사용하여 소형화된 평면형 맴돌이형 모노폴 안테나를 제안한다. 이 기생소자는 십자형태의 스트립과 L자 형태로 구부러진 스트립으로 구성되며 방사체가 있는 기관의 반대면에 인쇄된다. 이 기생소자를 적용시 맴돌이형 모노폴 안테나는 기생소자가 없는 모노폴 안테나에 비해 32%의 안테나 크기 축소 효과를 가진다. 또한 이 안테나의 수평 단면 복사 패턴은 일반적인 모노폴 안테나에서 요구되는 등방향성을 유지한다. 제안된 안테나는 TV 채널 12번을 사용하는 지상파 digital multimedia broadcasting(DMB) 수신기용으로 설계되었다.

Abstract

In this paper, a small-sized planar square-spiral monopole antenna is proposed by using parasitic elements. The parasitic element is composed of a crossed strip and additional right-angle folded(L-type) strips. And these parasitic elements are printed on a substrate which is the opposite side of a radiation element. When the parasitic elements are used, the size of the square-spiral monopole antenna is reduced by 32% for the same operating frequency compared to the antenna without parasitic elements. The radiation pattern of the proposed antenna is nearly omni-directional in azimuth. The designed antenna can be used in the application of channel 12 digital multimedia broadcasting(DMB) handset.

Key words : Spiral Monopole Antenna, Parasitic Element, DMB Antenna

I. 서 론

디지털 멀티미디어 방송(DMB)은 음성방송의 디지털화가 됨에 따라 종전의 AM, FM 라디오 형태를 넘어 고품질 CD 수준의 음질, 다양한 데이터 서비스, 양 방향성, 우수한 이동 수신 품질, 동영상 정보 등을 제공하는 차세대 미디어 방송이다. 전송 수단인 매체의 성격에 따라 지상파와 위성을 통해 DMB 서비스를 한다. 지상파 DMB 수신기의 경우 TV 채널 12번(204~210 MHz)을 통해 서비스되므로 상대

적으로 동작 주파수가 높은 위성 DMB(2.63~2.655 GHz) 수신 단말기에 비해 안테나 크기를 소형화하기 불리하며, VHF, UHF 대역 안테나에서의 소형화에 많은 연구가 진행되고 있다^{[1]~[5]}.

디지털 멀티미디어 방송 주파수 204~210 MHz에서 동작하는 이상적인 모노폴 형태의 안테나의 경우 37 cm의 크기를 가지며 현재 차량용의 경우 27 cm 크기의 변형된 모노폴 안테나가 출시되어 있다.

본 논문에서는 비유전율 4.7인 FR4 기관에 인쇄된 구형 맴돌이형 모노폴 안테나의 유전체 반대면에

한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부(School of Electronics, Telecom., and Computer Engineering, Hankuk Aviation University)

*(주)에이스테크놀로지(ACE Technology Co., Ltd.)

***(주)넥스원퓨처(NEXI Future Co., Ltd.)

· 논문 번호 : 20050117-004

· 수정완료일자 : 2005년 5월 23일

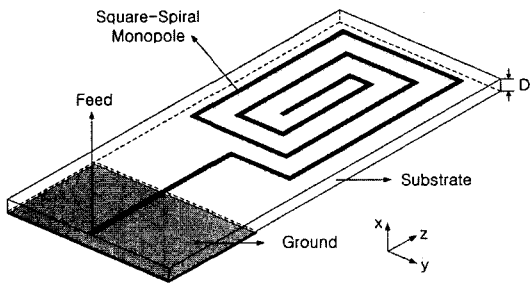
기생소자를 이용함으로써 안테나 크기를 줄일 수 있는 구조를 제안한다. 기생소자는 구형 맴돌이형 모노폴 안테나의 중심을 지나는 두개의 서로 수직인 도체 선로와 네 모서리에 L자 모양으로 꺾인 선로가 추가된 형태이다. 이러한 십자 형태와 L자 형태의 기생소자를 동시에 이용했을 경우, 사용하지 않은 경우의 맴돌이형 모노폴 안테나에 비해 주파수가 100 MHz 정도 낮아진다.

제안된 안테나는 휴대용 디지털 멀티미디어 방송(DMB) 수신기용으로써 204 MHz 주파수에서 동작하도록 설계하였다. 맴돌이 구조 크기는 50 mm×30 mm×1 mm이며 전체 안테나 기판 길이는 85 mm로 파장 대비 수직 크기는 0.058 λ이다. 기생소자의 형태와 크기 등에 대한 안테나 크기 축소 효과를 분석하였다.

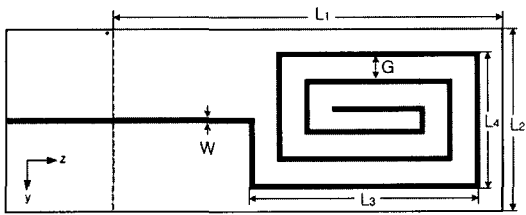
II. 본 론

2-1 기생소자에 의한 소형화

이상적인 수직 모노폴 안테나 크기는 204 MHz에



(a) 입체도
(a) 3D view



(b) 윗면
(b) Top view

그림 1. 구형 맴돌이형 모노폴 안테나
Fig. 1. Square-spiral monopole antenna.

서 37 cm(0.25 λ)로서 보다 소형화하기 위한 방사체 구조로 맴돌이형 구조를 채택하였으며, 일반 와이어 안테나보다 기판 유전체의 비유전율에 의한 소형화에 유리하고 제작이 용이한 printed planar 안테나 형태를 사용하였다. 방사체상의 전류의 방향이 서로 반대가 되면 방사 전력에서 손실이 생기고 근거리에서의 전력은 증가하게 된다. 특히 전류 분포의 방향을 고려해 볼 때 meander line 형태의 방사체는 선로에 흐르는 전류에 의한 방사 전력과 인접한 선로에서 반대 방향으로 흐르는 전류에 의한 방사가 서로 상쇄되어 방사 효율이 현저히 떨어진다^[6]. 따라서 상대적으로 같은 전류 분포의 방향으로서 방사 전력의 손실을 줄일 수 있는 맴돌이형 구조가 유리하다. 그림 1은 구형 맴돌이형 모노폴 안테나의 전체적인 구조를 나타내고 있다. 안테나를 DMB 수신기에 외장 가능하도록 하기 위해서는 초소형의 안테나 크기를 구현하여야 하며, 방사체의 구조만으로 크기를 줄이는 데는 한계가 있다.

그림 2는 안테나를 좀 더 소형화하는 방법으로 제안된 방사체와 분리된 기생소자를 이용하는 구조이다. 그림 1의 구조에서 구형 맴돌이형 모노폴 안테나가 인쇄된 기판의 반대쪽 면에 기생소자를 인쇄하였다. 이 기생소자는 방사체의 중심을 지나는 십자 모양의 도선과 네 모서리에 L자 모양으로 꺾인 도선이 추가되어 있는 형태이다. 이러한 형태의 기생소자는 안테나 선로의 진행 방향에 대하여 리액턴스 성분을 추가함으로써 파동의 진행 속도를 느리게 하여 전기적인 길이를 크게 한다.

기생소자 형태에 따른 안테나의 반사 손실 특성을 비교하기 위해 CST사의 MW studio를 사용하여 시뮬레이션한 결과를 그림 3에 나타내었다. 기판은 비유전율 4.7, 유전체 두께 1 mm, 도체 두께는 36 mil이고, 그림 1과 2의 각각의 치수를 $L_1=85$ mm, $L_2=40$ mm, $L_3=50$ mm, $L_4=30$ mm, $W=1$ mm, $P=1$ mm, $G=5$ mm로 정한 후 기생소자가 있는 경우와 없는 경우의 구형 맴돌이형 모노폴 안테나 S_{11} 특성을 비교하였다.

기생소자가 없는 경우의 안테나 공진 주파수는 303 MHz이고, 십자형 기생소자 소자를 사용하였을 때 공진 주파수는 240 MHz로 공진 주파수가 60 MHz 정도 낮아진다. 파장 대비 안테나 수직 크기로 보면 기생소자가 없는 경우 안테나 크기는 0.085 λ(λ

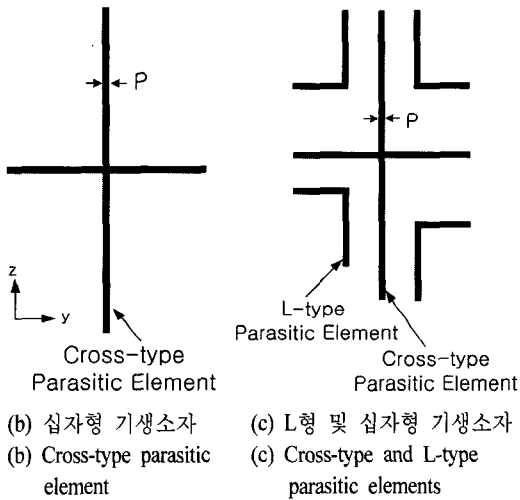
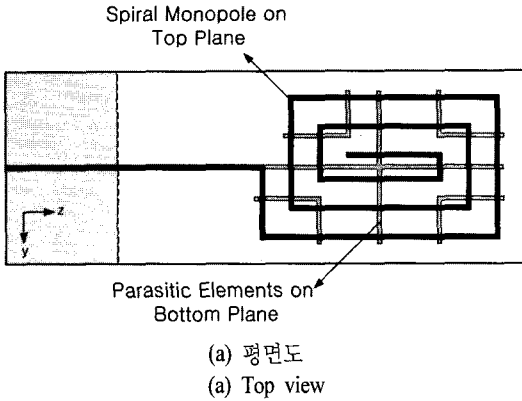


그림 2. 아랫면에 기생소자가 장착된 모노폴 안테나
Fig. 2. Square-spiral monopole antenna with parasitic elements printed at bottom plane.

/11.7), 십자형 기생소자를 사용한 경우 안테나 크기는 0.068λ ($\lambda/14.7$)로 안테나 크기가 상대적으로 21% 정도 축소되는 효과가 있음을 알 수 있다. 또한 L형 기생소자를 추가로 사용하였을 때 공진 주파수는 204 MHz로 공진 주파수가 100 MHz 정도 낮아지며 파장 대비 안테나 수직 크기는 0.058λ ($\lambda/17.3$)로 안테나 크기가 상대적으로 32% 정도 축소되는 효과가 있다.

L형과 십자형 기생소자를 동시에 사용하였을 경우 모든 설계 수치를 고정된 상태에서 기생소자의 너비를 나타내는 파라미터 P의 변화에 따른 반사 손실 특성을 시뮬레이션한 결과를 그림 4에 나타내었다. 기생소자의 너비(P)가 1 mm일 때의 공진 주파수 204 MHz에 비해 너비가 2 mm일 때 191 MHz로 약

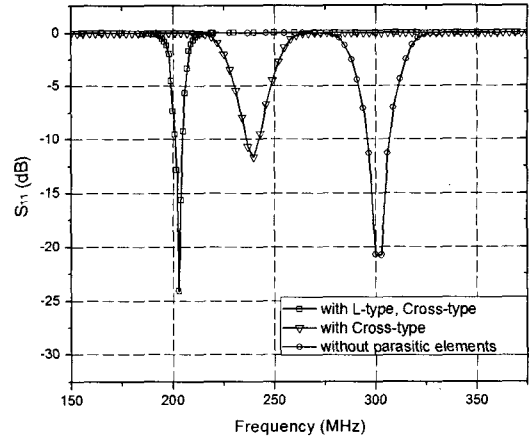


그림 3. 기생소자에 따른 반사 손실 비교
Fig. 3. Return loss for different parasitic elements ($\epsilon_r = 4.7$, 유전체 두께 1 mm, 도체 두께 36 mil, $L_1=85$ mm, $L_2=40$ mm, $L_3=50$ mm, $L_4=30$ mm, $W=1$ mm, $P=1$ mm, $G=5$ mm).

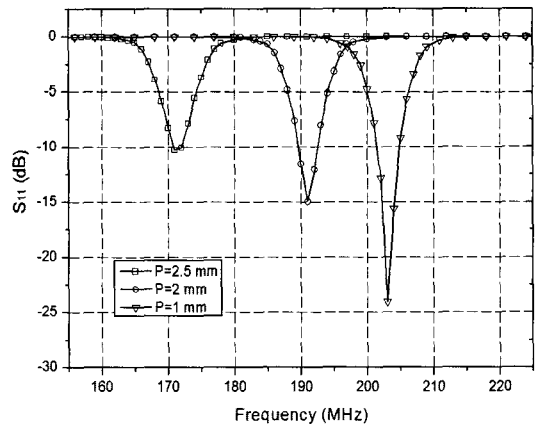
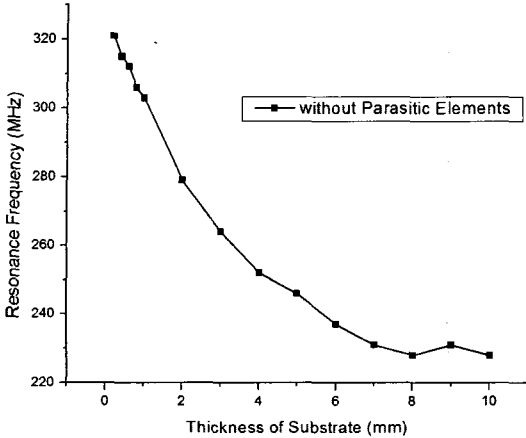
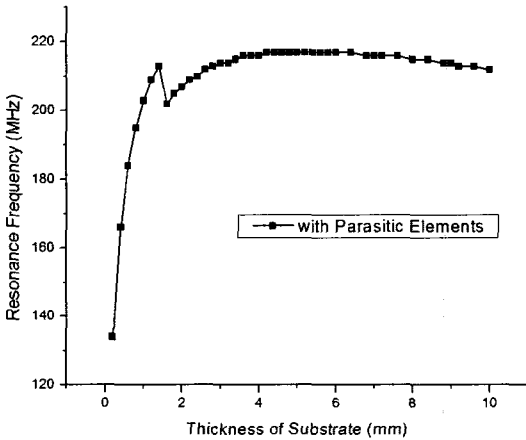


그림 4. 기생소자 너비(P)의 변화에 따른 반사 손실 비교
Fig. 4. Return loss for different P.

7%, 너비가 2.5 mm일 때 171 MHz로 약 16%의 안테나 방사체의 크기 감소 효과를 얻을 수 있다. 이는 기생소자의 너비가 늘어남에 따라 기생소자와 안테나 방사체 사이에서 일어나는 상호 간섭에 따른 리액턴스 값의 변화로 실제 방사체의 크기에 비해 더 낮은 주파수에서 공진함을 나타낸다. 이와 같이 추가된 기생소자는 형태에 따라 안테나 방사체에 표면 전류의 전기적인 경로(current path)를 증가시켜 고정된 구형 맵돌이형 모노폴의 길이를 기준으로 효과적으로 주파수를 낮추게 된다.



(a) 기생소자가 없을 경우
(a) Without parasitic elements



(b) 기생소자가 있을 경우
(b) With parasitic elements

그림 5. 유전체 두께(D) 변화에 따른 공진 주파수 비교

Fig. 5. Resonance frequency for different D.

그림 5(a)는 L형과 십자형 기생소자를 사용하지 않았을 경우 모노폴 안테나의 기관 유전체 두께(D)의 변화에 따른 주파수 특성으로 유전체의 두께가 증가함에 따라 공진 주파수가 감소하게 되는 일반적인 특성을 그대로 보여준다.

반면 L형과 십자형 기생소자를 사용하였을 경우는 안테나의 유전체 두께(D)가 증가하면 공진 주파수는 높아진다. 그림 (b)에서 확인할 수 있듯이 기생소자를 추가한 경우는 유전체 두께(D)가 두꺼워지더라도 주파수가 감소하지 않고 오히려 증가한다. 즉 모노폴 방사체와 기생소자의 거리가 증가함에 따라 방

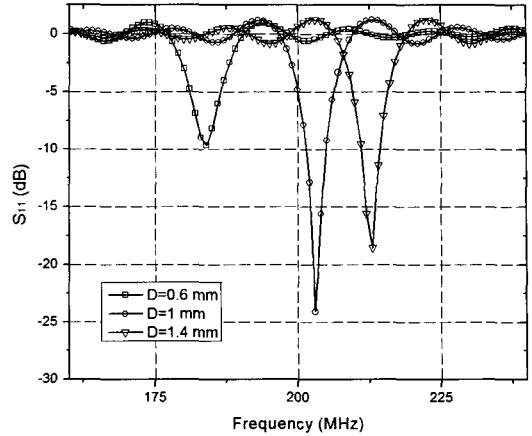


그림 6. 유전체 두께 변화에 따른 반사 손실 비교
Fig. 6. Return loss for different D.

사체에 미치는 기생소자의 영향이 줄어들음을 의미한다. 유전체 두께 2 mm 이상에서는 상호 간섭에 의한 리액턴스 값의 변화가 적으며, 두께에 따른 주파수의 변화가 적다. 유전체 두께 1 mm 이하로 기생소자가 방사체에 가까워지면 기생소자의 영향은 급격히 커지며 D=0.2일 경우 134 MHz의 낮은 주파수에서 공진이 일어난다.

제안된 구조에서 기생소자의 너비(P)와 기관 유전체 두께(D)는 안테나의 특성뿐 아니라 안테나의 정합 특성에도 영향을 미친다. 그림 6과 같이 유전체 두께에 따라 특성과 정합 조건이 함께 바뀌게 되므로 안테나의 정합을 고려하여 설계 변수들을 정해야 한다. 또한 안테나 방사체의 전기적 길이가 길어지면 공진 주파수가 낮은 쪽으로 천이되면서 안테나 이득 또한 저하되므로 안테나 설계시 정합 특성과 방사 이득 및 패턴간의 절충(trade off)을 통하여 최적의 조건을 갖는 설계 변수를 구해야 한다.

L형과 십자형 기생소자를 모두 사용한 맴돌이형 모노폴 안테나의 경우 그림 5(b)에서 알 수 있듯이 기관 유전체 두께(D)가 0.2 mm~1.4 mm에서 기생소자가 공진 주파수에 많은 영향을 준다. 이 범위에서 기생소자의 너비(P)의 변화에 따른 공진 주파수를 그림 7에 나타내었다. 유전체 두께(D)와 기생소자 너비(P)의 변화에 따른 주파수의 이동 추이를 비교함으로써 설계시 원하는 사용 주파수에 적합한 설계 변수를 지정할 수 있다. 기생소자의 너비(P)가 증가하면 안테나 주파수가 낮은 쪽으로 천이됨을 알 수

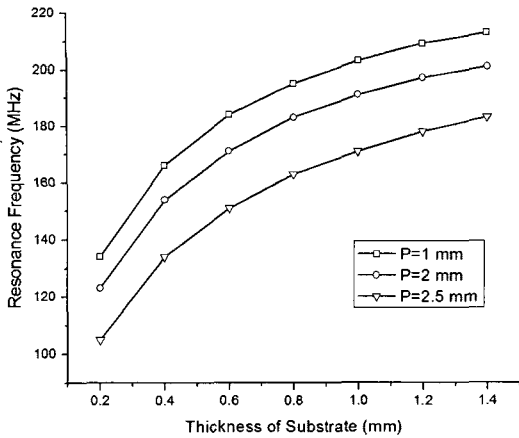


그림 7. 기판 두께에 따른 주파수의 변화
Fig. 7. Resonance frequencies vs. thickness of the substrate for different P.

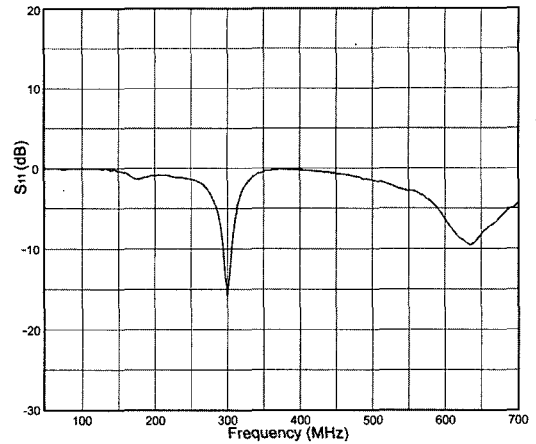
있다. 또한 안테나 유전체의 두께(D)가 증가하면 주파수가 높은 쪽으로 이동한다. 즉, 구형 맴돌이형 모노폴 안테나의 방사체에 기생소자가 가까워질수록, 폭이 넓을수록 안테나의 전기적 길이가 증가하여 똑 같은 크기의 안테나를 상대적으로 소형화 할 수 있게 된다.

2-2 제작 및 측정

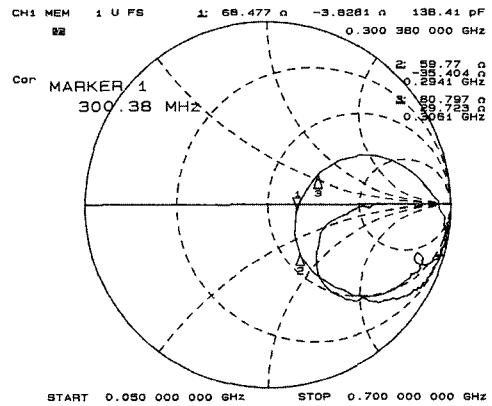
시뮬레이션 결과를 토대로 비유전율 4.7, 유전체 두께 1 mm, FR4 기판을 사용하여 안테나를 제작하였다. 그림 8은 기생소자 없이 제작한 구형 맴돌이형 모노폴 안테나의 반사 손실 특성을 측정한 결과이다. 주파수는 약 300 MHz로 시뮬레이션과 거의 동일한 결과를 얻었다. S_{11} 값은 -16 dB 정도이며 $VSWR \leq 2$ 기준으로 약 14 MHz의 대역폭을 갖는다.

그림 10은 본 논문에서 제안한 L형과 십자형 기생소자를 모두 추가한 구형 맴돌이형 모노폴 안테나를 제작하여 반사 손실 측정한 결과이다. 주파수는 206 MHz로 역시 시뮬레이션에서의 주파수 204 MHz와 거의 동일한 결과를 얻었다. S_{11} 값은 -24 dB 이하로 스미스차트로도 임피던스 궤적이 50 Ω 근처로 정합 조건이 좋음을 확인할 수 있다. $VSWR \leq 2$ 기준에서의 대역폭은 약 11 MHz로 기생소자에 사용하여 안테나를 소형화할 때 대역폭이 다소 줄어들음을 알 수 있다.

그림 11은 접지 조건을 지상파 디지털 멀티 미터

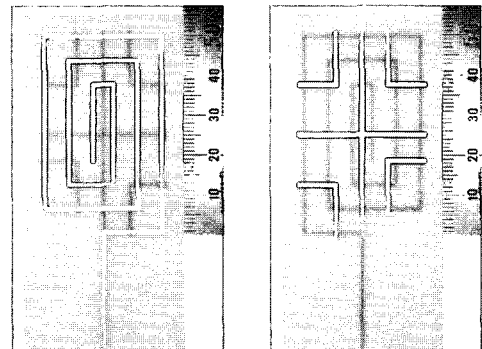


(a) 구형 맴돌이형 모노폴 안테나의 반사 손실
(a) Return loss of square-spiral monopole antenna



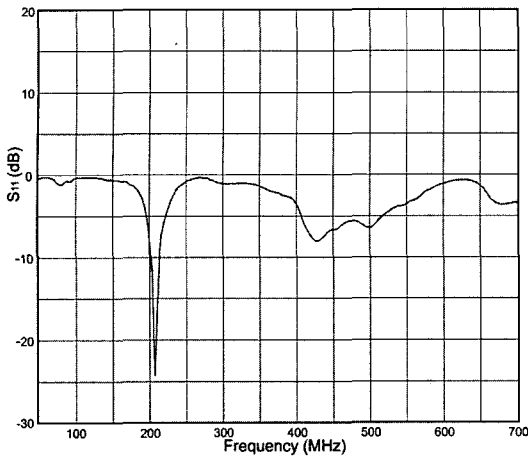
(b) S_{11} 궤적
(b) S_{11} locus

그림 8. 구형 맴돌이형 모노폴 안테나 측정 결과
Fig. 8. Measured results of fabricated antenna.

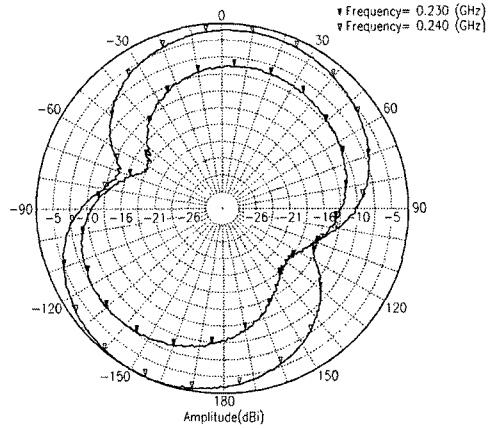


(a) 안테나 앞면
(a) Front view
(b) 안테나 뒷면
(b) Bottom view

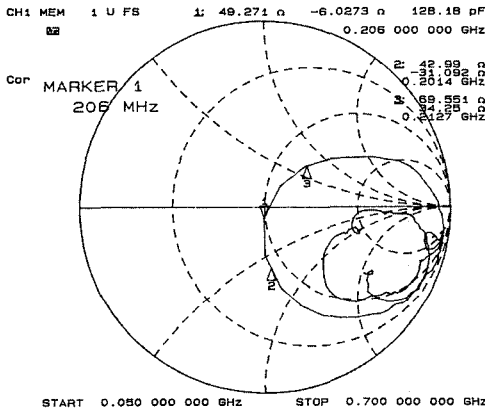
그림 9. 기생소자가 추가된 안테나 사진
Fig. 9. Proposed antenna.



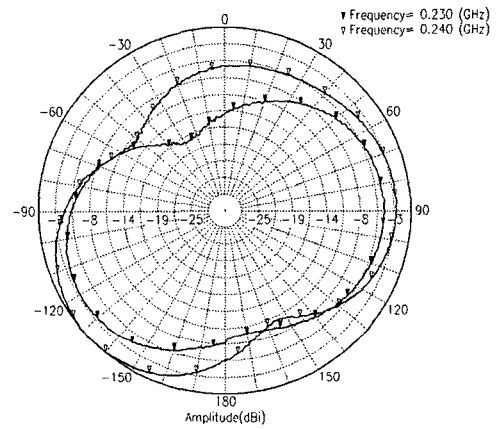
(a) 반사 손실
(a) Return loss



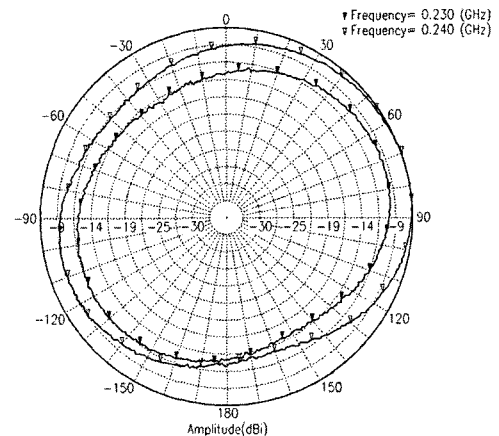
(a) E_{θ} (y-z 평면) 패턴
(a) Pattern of E-plane(x-y plane)



(b) S_{11} 궤적
(b) S_{11} locus



(b) E_{θ} (x-z 평면) 패턴
(b) Pattern of E-plane(y-z plane)



(c) H-평면(x-y 평면) 패턴
(c) Pattern of H-plane(x-z plane)

그림 10. 기생소자가 추가된 안테나 측정 결과
Fig. 10. Measured results of proposed antenna.

어 방송수신기의 크기 정도로 예상되는 가상 수신기에 장착하여 무반사실에서 측정한 안테나 패턴이다. 가상 수신기의 기관 접지 크기는 90 mm×75 mm로 하였다. 안테나 단품에서 측정한 특성과는 달리 접지 조건의 변화와 가상 수신기의 외부에 해당하는 도체판의 영향에 의한 임피던스 정합 조건 및 방사 특성의 변화로 공진 주파수가 240 MHz로 천이되었다. 안테나 패턴은 공진 주파수인 240 MHz에 대하여 측정하고, 아울러 10 MHz 떨어진 230 MHz에 대해서도 측정하여 패턴을 비교하였다.

그림 11(a)는 yz 평면 E-plane, (b)는 xz 평면 E-plane, (c)는 xy 평면 H-plane을 측정한 결과이다. 전

그림 11. 제작된 안테나 패턴 측정 결과
Fig. 11. Measured radiation patterns of fabricated antenna.

체적으로 양호한 방사 패턴을 보이고 있으며, 측정 오차로 인하여 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 정도 기울어진 형태로 나타난다. 제안된 안테나의 수평 방향을 단면으로 보았을 경우의 복사 패턴이 일반적으로 모노폴 안테나에서 요구되는 등방형성을 알 수 있다. 최대 안테나 이득은 -0.29 dBi로 측정되었으며, 소형화된 비율을 고려해 볼 때 아주 양호한 방사 이득을 가진다.

III. 결 론

본 논문에서는 기생소자를 이용한 구형 맴돌이형 모노폴 안테나를 설계, 제작하고 그 특성을 측정하여 기생소자의 영향을 비교해 보았다. 제안된 구조를 통하여 TV 채널 12 휴대용 디지털 멀티 미디어 방송 수신기 안테나의 소형화 가능성을 제시하였다. 제안된 십자형 기생소자를 이용하면 같은 크기의 구형 맴돌이형 모노폴 안테나에 비교했을 때 약 21 % 크기 축소 효과가 있으며 추가적으로 L형과 십자형 기생소자를 동시에 사용하면 약 32 % 크기 축소 효과가 있음을 확인하였다. 또한 축소된 비율과 안테나의 주파수 파장 대비 크기를 고려해 볼 때 방사 이득이 최대 -0.29 dBi로 상당히 우수한 특성을 갖는다.

다른 형태의 평면형 모노폴 안테나에 대해서도 본 논문에서 제시한 방법을 적용하여 기생소자를 사용하면 소형 안테나의 설계가 가능하다. 이를 바탕으로 VHF 대역의 단말기에 사용할 수 있는 소형 안

테나의 설계에 응용할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Kamal Sarabandi, "Design of an efficient miniaturized UHF planar antenna", *IEEE Antennas and Propagation*, vol. 51, no. 6, pp. 1270-1276, Jun. 2003.
- [2] Steven R. Best, "A comparison of the resonant properties of small space-filling fractal antennas", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 2, pp. 197-200, 2003.
- [3] Steven R. Best, "On the resonant properties of the koch fractal and other wire monopole antennas", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 1, pp. 74-76, 2002.
- [4] R. Breden, R. J. Langley, "Printed fractal antennas", *IEE National Conference on Antennas and Propagation*, pp. 1-4, Aug. 1999.
- [5] S. D. Eason, R. Libonati, "UHF fractal antennas", *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol. 3, Jul. 2001.
- [6] Reza. Azadegan, Kamal Sarabandi, "A novel approach for miniaturization of slot antennas", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 51, no. 3, Mar. 2003.

이 현 규



소자

2003년 2월: 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학사)
 2005년 2월: 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학석사)
 2005년 2월~현재: LG전자 단말연구소 연구원
 [주 관심분야] 안테나 설계, RF 수동

장 원 호



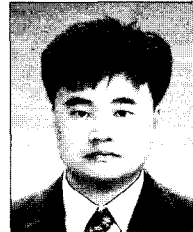
1986년 2월: 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학사)
 1988년 2월: 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학석사)
 1995년 9월~2003년 8월: 한국항공대학교 정보통신공학과 (공학박사)
 1991년 6월~1992년 9월: (주)에이스안테나 연구원
 1992년 10월~2001년 2월: 한국통신공사 전임연구원
 2001년 3월~2001년 8월: (주)엠에스엔트 대표이사
 2001년 9월~현재: (주)에이스테크놀로지 부장
 [주 관심분야] 이동통신시스템, 마이크로파, 안테나 등

이 택 경



1983년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)
 1985년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 1990년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
 1990년 3월~1991년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 연구원
 1990년 5월~1991년 4월: Univ. of Texas at Austin, Post-Doctoral Fellow
 1991년 9월~1992년 2월: 한국과학기술원 정보전자 연구소 연구원
 2001년 7월~2002년 7월: Univ. of Illinois, Urbana-Champaign, 방문교수
 1992년 3월~현재: 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부 교수
 [주 관심분야] 마이크로파, 안테나, 전자파 해석, 레이더 등

강 연 덕



1993년 2월: 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학사)
 1996년 2월: 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학석사)
 2000년 8월: 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학박사)
 2000년 9월~2004년 6월: LG 이노텍 전문화그룹 선임연구원
 2004년 7월~현재: (주)넥스원퓨처 전문화그룹 책임연구원
 [주 관심분야] 레이더 시스템, 초고주파 소자, 전자파 해석, 안테나 등