

디지털 TV 실내 수신을 위한 포물선 엣지 형태의 평면 모노폴 안테나

A Parabolic Edge Planar Monopole Antenna for Indoor Digital TV Reception

임 종 예 · 허 정

Jong-Ye Leem · Jung Hur

요 약

본 논문은 디지털 TV 실내 수신을 위한 포물선 엣지 형태의 평면 모노폴 안테나를 제안한다. 평면 모노폴과 그라운드엣지의 엣지를 포물선 구조로 하여 광대역 특성을 갖도록 한다. 모노폴과 그라운드 엣지의 곡률을 변화시키면서 자기 상보(self-complementary) 구조에 가깝도록 설계한다. 안테나는 모노폴과 그라운드가 동일 평면상에 존재하며, coplanar waveguide 급전을 사용한다. 유전 상수가 4.4인 FR4 유전체 기판을 사용하였고, 크기는 200 mm×40 mm×1.6 mm이다. 470~806 MHz의 디지털 TV 수신 전 대역에서 10 dB 이상의 반사 손실을 얻을 수 있었다. E 평면의 최대 이득은 600 MHz일 때 1.86 dBi, H평면의 최대 이득은 600 MHz일 때 3.86 dBi였다.

Abstract

In this paper, a parabolic edge planar monopole antenna for indoor DTV reception is presented. The antenna has broadband property with the planar monopole and ground of parabolic edges. It is designed close to self-complementary structure as changing curvature of edges of monopole and ground. Monopole and ground conductors of the antenna are on the same plane, and excited through CPW feeding. It is fabricated on an FR4 dielectric substrate of $\epsilon_r=4.4$, and the dimension is 40 mm×200 mm×1.6 mm. Return loss is larger than 10 dB in 470~806 MHz. Maximum gain is 1.86 dBi on E-plane at 810 MHz and 3.86 dBi on H-plane at 600 MHz.

Key words : DTV Reception Antenna, Indoor Antenna, Parabolic Edge, Monopole Antenna

I. 서 론

디지털 TV가 보편화되어감에 따라 수신감도를 향상시키는 방법에 관심이 높아지고 있다. 실내의 수신율을 높이기 위한 방법으로 대수 주기 안테나 또는 보우-타이 슬롯 안테나 등이 이용되었다. 이들은 크기가 크고 공간을 차지한다는 단점이 있다. 이런 점을 보완하기 위한 방법으로 평면형 안테나를 제안한다. 평면형 모노폴 안테나를 이용하여 포터블 미디어 플레이어 위한 내장형 안테나^[1] 또는 랩탑

에 사용하기 위한 슬롯 안테나^[2]들이 제안된 바 있으나, 과도한 크기의 그라운드를 갖추어야 하는 등의 문제가 있었다.

본 논문은 포물선 모양의 가장자리를 갖는 평면 모노폴 안테나^[3]를 디지털 TV 실내 수신용으로 제안한다. 이 때, 그라운드를 구성하고 있는 도체의 가장자리와 모노폴 도체의 가장자리를 포물선으로 구성한다. 안테나의 크기는 200 mm(L)×40 mm(W)로서, 폭이 대단히 좁다. 안테나의 특성 변화 요소는 두 도체에 적용된 두 개의 포물선 곡률, 두 도체 사이의

건국대학교 전자정보통신공학과(Department of Electronics, Information & Communication Engineering, Konkuk University)

· 논문 번호 : 20090915-108

· 수정완료일자 : 2009년 11월 5일

간격, 급전선의 길이 등이다. 이런 요소들의 최적값은 컴퓨터 시뮬레이션 소프트웨어인 HFSS를 사용하여 구하였다.

II. 안테나 구조 및 설계

안테나의 기본 구조는 평면형 모노폴이다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 그라운드 도체와 모노폴 도체가 동일면에 존재하면서, 그라운드 도체와 모노폴 도체 사이에 빈 공간이 형성된다. 여기에서 안테나를 구성하는 도체와 도체 사이 빈 공간 부분이 동일한 형태를 갖게 되었을 때 자기 상보 구조로 광대역 동작 특성을 갖는다. 그런데, 그림 1의 구조는 도체 부분과 빈 공간 부분이 상당히 유사하게 형성된 구조라 할 수 있어 광대역 속성을 가질 것으로 기대된다. 두 포물선의 간격 변화는 주파수 대역폭에 큰 영향을 미친다^[1].

그림 1은 제안된 포물선 형태의 그라운드와 모노폴 구조를 나타낸다. 그라운드의 형태는 포물선 Y_A 로 정하고 식 (1)과 같이 변화도록 설계하였고, 마찬가지로 모노폴 형태는 포물선 Y_B 로 표현하고, 식 (2)의 포물선의 표현식을 통해 설계하였다.

$$Y_A = a_A X^2 + l \tag{1}$$

$$Y_B = a_B X^2 + l + g \tag{2}$$

여기서, 이차항 계수인 a_A 와 a_B 는 포물선의 곡률을 변화시키는 파라미터로서 안테나의 전기적 특성을 변화시킬 수 있다. W 는 안테나의 폭, L 은 안테나의 길이이다. 그라운드 면에서의 포물선 Y_A 의 꼭지점과 그라운드 밑면의 거리 l 은 CPW 급전선의 길이 변화이고, 식 (2)에 있는 g 는 그라운드 엣지와 모노폴 엣지 사이의 간격(gap)을 의미한다. 안테나의 폭은 40 mm, 길이는 200 mm로 고정시켰다. 기판은 유전 상수가 4.4인 FR4를 사용하였고 두께는 1.6 mm이다. 급전은 CPW로 하였다. 이때의 특성 임피던스는 50 오옴이 되도록 급전선의 넓이 w_1 은 1 mm, 급전선과 그라운드 사이의 간격 s_1 이 0.5 mm이다.

III. 파라미터 변화에 대한 안테나의 특성 변화

최적화 안테나의 기본 목표는 반사 손실 값이 10

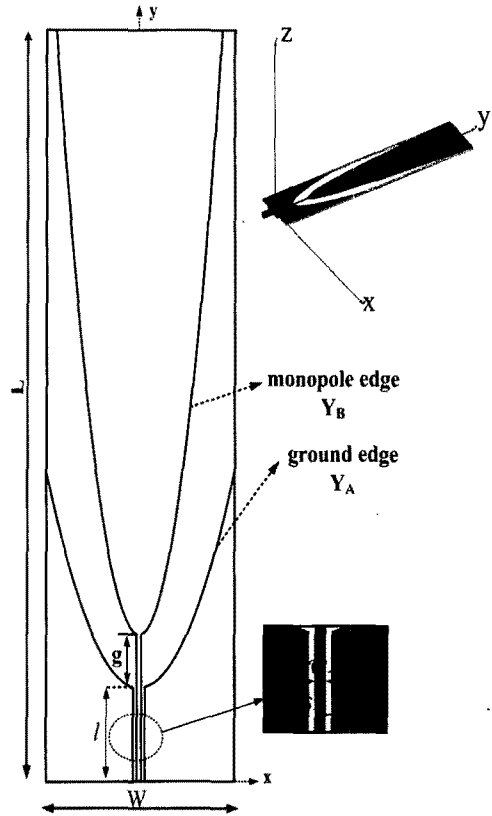


그림 1. 제안한 안테나 구조
Fig. 1. Geometry of the proposed antenna.

dB 이상, 대역폭이 디지털 TV 수신 주파수 전 대역 (470~806 MHz)을 만족하도록 한다. 안테나의 최적화를 위해 사용되는 초기 설계 파라미터의 결정은 안테나의 성능에 가장 많은 영향을 미치는 요소를 고려한다. 먼저 네 가지 파라미터에 대하여 취할 수 있는 모든 경우에 대해 일정한 간격을 두고 선택한다. 그리고 포물선 표현식의 이차항 계수가 작은 부분은 좁은 간격으로 파라미터 값을 선택하고, 이차항 계수가 큰 부분은 넓은 간격으로 파라미터 값을 선택하여 안테나 구조의 변화에 민감하게 특성을 살펴 볼 수 있도록 한다. a_A 는 그라운드 엣지 포물선 표현식의 이차항 계수로서 0.05에서 0.2까지 곡률을 변화시킨다. a_B 는 모노폴 엣지 포물선 표현식의 이차항 계수로서 0.5에서 2.0까지 곡률을 변화시킨다. 급전선의 길이 l 은 5 mm에서 30 mm까지 변화시키고 모노폴 엣지와 그라운드 엣지 사이의 간격 g 는 1 mm에서 16 mm까지 변화시키면서 안테나의 특성

표 1. 안테나 파라미터
Table 1. Parameter of the antenna.

변수	내용	크기
a_A	그라운드 엣지의 포물선 표현식의 계수	0.05 ~ 0.20 (step: 0.05)
a_B	모노폴 엣지의 포물선 표현식의 계수	0.5 ~ 2.0 (step: 0.5)
g	모노폴 엣지에서 그라운드 엣지까지의 간격 변화	1 mm, 5 mm, 10 mm, 15 mm
l	CPW 급전선의 길이 변화	5 mm ~ 30 mm (step: 5 mm)

변화를 관찰한다. 표 1은 파라미터의 초기 설계 값을 나타낸 것이다. a_A 는 0.05에서 0.2까지 4개, a_B 는 0.5에서 2.0까지 4개, g 는 1mm부터 15mm까지 4개, l 은 5 mm에서 30 mm까지 6개, 4가지 파라미터로 구성할 수 있다. 즉, $4 \times 4 \times 4 \times 6 = 384$ 개 경우에 대해 시뮬레이션을 한다.

그림 2에서 그림 5는 다른 3개의 파라미터를 고정시켰을 때 각 파라미터마다 특성 변화가 뚜렷한 것을 선택한 그래프이다.

그림 2는 세 개의 파라미터가 $a_B=1, g=5 \text{ mm}, l=30 \text{ mm}$ 인 경우에 대한 그라운드 곡률 변화에 대한 관찰이다. 그라운드 도체 엣지의 곡률이 커짐에 따라 이중 공진 특성을 보이며, 가장 커진 경우에는 단일 공진 특성이 나타난다. 그라운드 도체 엣지의 곡률 a_A

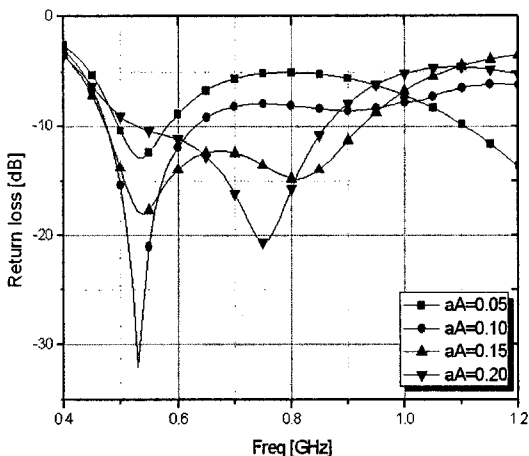


그림 2. 그라운드 도체 엣지의 곡률 변화에 따른 반사 손실
Fig. 2. Return loss for various a_A .

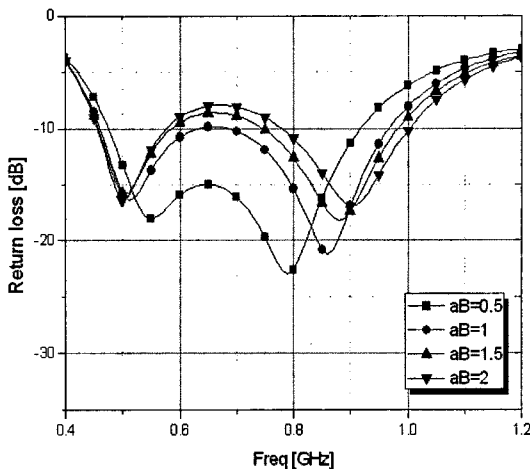


그림 3. 모노폴 도체 엣지의 곡률 변화에 따른 반사 손실
Fig. 3. Return loss for various a_B .

는 0.15일 때 530 MHz와 800 MHz 부근에서 이중 공진이 나타나며, 10 dB 대역폭이 넓어짐을 확인할 수 있다. 0.2일 때는 대역폭이 오히려 좁아지고 낮은 주파수는 약 20 MHz 상향되는 것을, 높은 주파수에서는 약 50 MHz 하향하는 것을 알 수 있다.

그림 3은 $a_A=0.15, g=10 \text{ mm}, l=30 \text{ mm}$ 인 경우에 대한 모노폴 도체 엣지의 곡률 변화에 대한 관찰이다. 모노폴 도체 엣지의 곡률이 커짐에 따라 대역폭이 넓어지는 것을 확인할 수 있다. 또한 반사 손실 특성도 좋아진다. 모노폴 엣지의 곡률 a_B 가 0.5일 때 470~920 MHz 주파수 범위에서 좋은 반사 손실 특성을 보이고 있으나 곡률을 1로 한 경우에는 이중 공진 특성을 나타내며 전체적인 대역폭이 약 60 MHz 정도 넓어진다. 낮은 주파수는 약 10 MHz 정도 하향되고 높은 주파수에서는 약 50 MHz 정도 상향되는 것을 알 수 있다. 곡률이 더 넓어지면 중간 부분의 반사 손실 값이 작아지는 것을 알 수 있다.

그림 4는 세 개의 파라미터가 $l=30 \text{ mm}, a_A=0.15, a_B=0.5$ 인 경우에 대한 모노폴 도체 엣지의 곡률과 그라운드 도체 엣지의 곡률 사이 간격 변화에 대한 관찰이다. 간격이 넓어질수록 이중 공진의 형태를 나타내며, 10 dB 대역폭도 넓어진다. 간격 변화가 1mm인 경우에는 단일 공진 특성을 나타낸다. 5mm인 경우에서부터 이중 공진을 보이며, 전체적인 대역폭도 넓어진다. 15mm인 경우 460~920 MHz의 주파

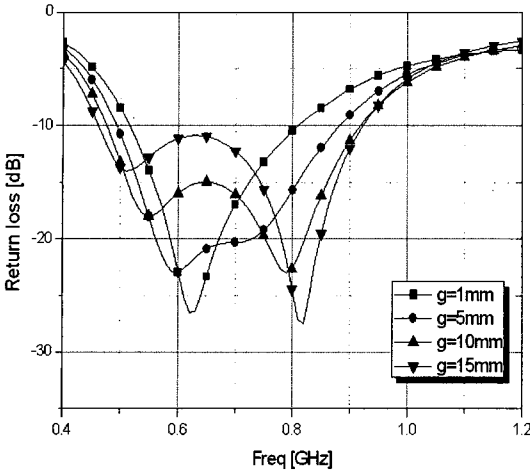


그림 4. 두 도체간의 간격 변화에 따른 반사 손실
Fig. 4. Return loss for various gap.

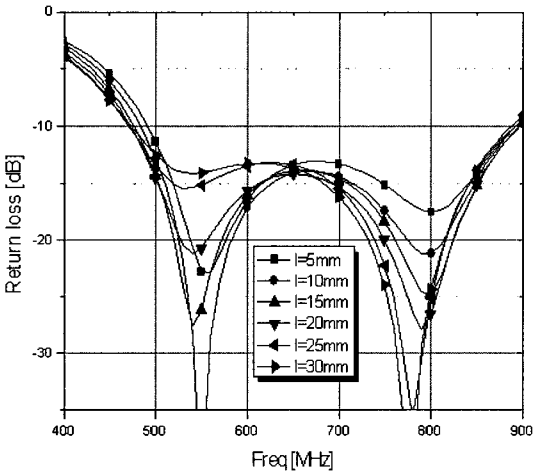


그림 5. 급전선의 길이 변화에 따른 반사 손실
Fig. 5. Return loss for various l .

수 범위에서 10 dB 대역폭을 만족한다.

그림 5는 세 개의 파라미터가 $g=10\text{ mm}$, $a_A=0.15$, $a_B=0.5$ 인 경우에 대한 급전선의 길이 변화에 대한 관찰이다. 길이가 길어질수록 주파수가 하향하는 것을 확인할 수 있다. 또한 주파수가 550 MHz 부분과 800 MHz 부분에서 이중 공진을 보이고 있다. 길이가 5 mm인 경우에는 앞부분에서 주공진이 이루어지지만 길이가 길어질수록 뒷부분으로 공진지점이 이동한다. 급전선의 길이가 25 mm 이상이 되면 5 mm에 비해 약 30 MHz 정도 하향되는 것을 확인할 수 있다. 전체적인 주파수 대역폭도 넓어지는 것을 알 수 있

다. 표 1에서 보여준 안테나 파라미터를 토대로 하여 각 파라미터에 대한 최적화 범위를 다시 선정한다. a_A 는 0.12~0.16(4개), a_B 는 0.4~0.6(5개), g 는 9~14 mm(6개), l 는 22~28mm(7개), 4가지 파라미터에 대한 시뮬레이션을 다시 한 번 수행한다.

3-1 그라운드 엣지의 곡률 변화

모든 경우의 수에 대한 시뮬레이션 결과에서 $a_B=0.4$, $g=11\text{ mm}$, $l=25\text{ mm}$ 일 때 반사 손실 특성이 최적화되었다. 이 때 모노폴 엣지의 곡률 변수인 a_A 를 0.12~0.16로 변화하며, 분석한 결과 전체적으로 전반부와 후반부에서 이중 공진을 확인할 수 있다. a_A 가 증가하는 경우에 전반부의 공진 지점은 저주파로 이동하는 경향을 보였고, 후반부의 공진 지점에서는 반사 손실이 감소하는 경향을 보이고 있으나 전반적으로 10 dB 대역폭을 만족하고 있다. a_A 가 0.16일 때, 10 dB 대역폭은 확보가 되었지만 미미하게나마 하한 주파수가 상향하는 경향을 보이고 있다. a_A 가 0.12일 때, 전체적인 대역폭이 가장 넓게 나타나고, a_A 가 0.16인 경우에는 하한 주파수는 약 10 MHz 정도 상향하고 전체적인 대역폭은 좁아진다. 그라운드 엣지의 곡률 변화에서는 하한 주파수보다는 상한 주파수의 변화가 나타난다. 표 2는 각 그라운드 곡률 변화에 대한 10 dB 대역폭의 변화를 나타낸다.

3-2 모노폴 엣지의 곡률 변화

모노폴 엣지의 곡률 변화에 대한 반사 손실 특성을 관찰한다. 그라운드 엣지의 곡률 a_A 가 0.14, $g=11\text{ mm}$, $l=25\text{ mm}$ 일 때 최적화되었다. 이 때 모노폴 엣지의 곡률 a_B 를 0.4, 0.45, 0.5, 0.55, 0.6으로 증가시키며 반사 손실 특성을 관찰한다. 전반적으로 디지털 TV 대역 내에서 2개의 공진이 나타나고 있으며, 곡

표 2. 그라운드 엣지의 곡률 변화에 대한 대역폭
Table 2. 10 dB bandwidth for various a_A .

Ground edge	Low~high freq.[MHz]	BW[MHz]
0.12	480~960	480
0.13	480~930	450
0.14	490~900	410
0.15	490~880	390
0.16	490~850	360

표 3. 모노폴 엣지의 곡률 변화에 대한 대역폭
Table 3. 10 dB bandwidth for various a_B .

Monopole	Low~high freq.[MHz]	BW[MHz]
0.40	470~910	440
0.45	470~910	440
0.50	470~920	450
0.55	470~920	450
0.60	470~920	450

률이 변화됨에 따라 반사 손실 변화 특성이 잘 나타나고 있다. 각 변화를 살펴보면 a_B 가 0.6으로 증가함에 따라 후반부의 공진 주파수는 상승하고 상반부의 공진 주파수는 낮아지며, 중반부의 반사 손실은 약 15 dB에서 11 dB로 감소하는 것을 확인할 수 있다. 모노폴 엣지의 곡률 변화에 있어서 반사 손실과 최저 주파수 확보의 선택에 있어서 기준을 반사 손실에 두었으며, 15 dB의 반사 손실을 확보하는 것을 기준으로 한다. 그라운드 도체 엣지와 모노폴 도체 엣지의 곡률을 변화시키며 관찰해 본 결과, 전체적으로 이중 공진의 구조를 나타내고, 상반부의 주파수 이동에 있어서는 두 곡률 모두 영향을 주고 있으며, 하반부의 공진 지점에서는 그라운드의 곡률 변화에 의해 반사 손실의 특성이 변화한다. 표 3은 각 모노폴 곡률에 대한 10 dB 대역폭의 변화를 나타낸다.

3-3 두 도체 사이의 간격 변화

모노폴 도체 엣지의 곡률 $a_A=0.14$, 그라운드 도체 엣지의 곡률 $a_B=0.4$, CPW 급전선의 길이 $l=25$ mm인 경우에 대해 두 도체 간의 간격 g 를 9~14 mm까지 1 mm씩 증가시키면서 관찰한다. 이번에도 역시 전체적으로 이중 공진의 형태가 나타나며, 크게 세 부분으로 나누어서 그 변화를 살펴보았을 때 하반부의 공진 지점은 g 가 길어질수록 주파수가 하향하는 것을 확인할 수 있었고, 상반부의 공진 지점은 상향하는 것을 확인할 수 있다. 이것은 g 의 증가에 따라 대역폭이 넓어진다. 길이가 길어질 경우가 하한 주파수도 낮아지는 것을 알 수 있다. 10 MHz 정도 주파수 대역폭이 하한 주파수로 이동한다. 표 4는 두 도체 간격에 대한 10 dB 대역폭의 변화를 나타낸다.

표 4. Gap의 변화에 따른 10 dB 대역폭
Table 4. 10 dB bandwidth for various gap.

Gap[mm]	Low~high freq.[MHz]	BW[MHz]
9	490~900	410
10	490~910	420
11	480~900	420
12	480~910	430
13	470~930	460
14	480~920	440

3-4 CPW 급전선의 길이의 변화

그림 9는 커넥터에서부터 그라운드 엣지까지의 길이를 변화시키며 반사 손실 특성을 관찰한 결과이다. l 은 CPW 급전선의 길이를 의미한다. 그라운드 엣지의 곡률 a_A 는 0.14, 모노폴 엣지의 곡률 a_B 가 0.4, g 가 14 mm일 때 l 에 대한 변화를 살펴본 것이다. l 의 변화는 22~28 mm까지 1 mm씩 증가시키며 관찰하였다. l 의 변화에 따라서 주파수 대역폭과 반사 손실에는 큰 차이를 보이지 않았다. 길이가 길어지면 약 10 MHz 정도 상향되는 것을 알 수 있다. 표 5는 급전선에 10 dB 대역폭의 변화를 나타낸다.

지금까지의 시뮬레이션한 데이터를 토대로 하여 각 요소들의 최적값은 표 6에 나타낸다.

표 5. CPW 급전선의 길이 변화
Table 5. 10 dB bandwidth for various l .

CPW length[mm]	Low~high freq.[MHz]	BW[MHz]
22	470~910	440
23	470~910	440
24	470~920	450
25	470~920	450
26	470~920	450
27	470~920	450

표 6. 최적화된 안테나 파라미터
Table 6. Optimized parameter of the antenna.

Parameter	값
a_A	0.14
a_B	0.4
g	14 mm
l	25 mm

IV. 안테나 제작 및 측정

그림 6은 최적화된 조건에 맞게 제작한 안테나의 실제 사진이다.

그림 7은 제작한 안테나의 측정 결과와 시뮬레이션 결과를 비교한 그래프이다. 제작한 안테나의 반사 손실 특성은 HP8753D 네트워크 분석기를 이용하여 측정하였다. 두 결과를 비교하면 디지털 TV 수신 주파수 전 대역에서 10 dB를 만족하는 특성을 보이고 있다. 시뮬레이션 결과는 주파수 범위가 470~900 MHz 이상으로 68 % 이상의 10 dB 대역폭을 얻었고, 측정 결과에서는 470~890 MHz에서 66.7 %의 10 dB 대역폭을 얻었다. 하지만 시뮬레이션 값과 측정 값이 640 MHz 부근에서 S_{11} 값의 차이가 큰 것은 측정 상에서 생긴 원인이라고 볼 수 있다. 이는 측정 장비와 안테나 간에 불균형한 결합으로 인해서 안테나 종단과 네트워크 분석기 사이에서 반사파가 생기게 되고, 이로 인해 S_{11} 특성에서 원치 않는 신호의 왜곡이 생기는 것으로 보인다. 앞으로 발룬을 안테나와 네트워크 분석기 사이에 결합하게 되면 이 문

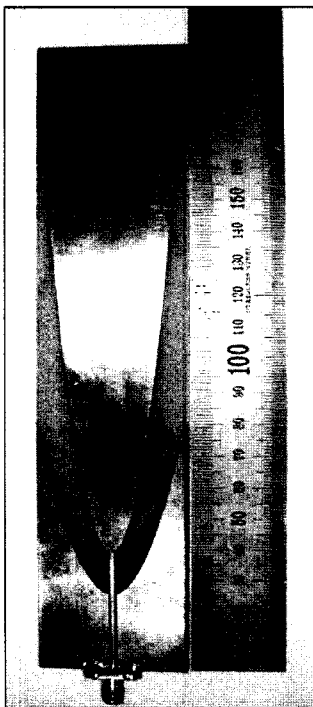


그림 6. 제작한 안테나의 실제 사진
Fig. 6. Photograph of fabricated antenna.

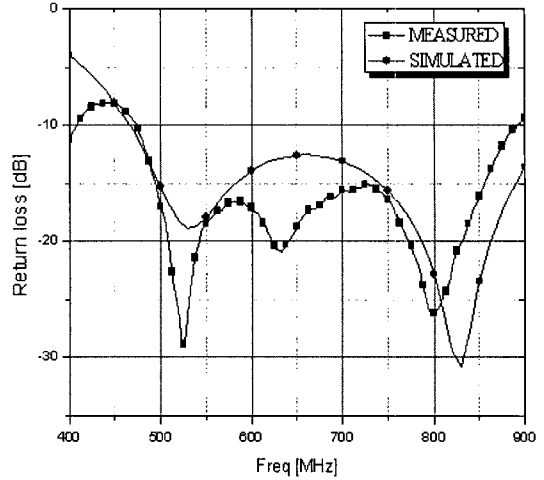


그림 7. 시뮬레이션과 측정 결과를 비교한 반사 손실
Fig. 7. Return loss compared simulated result with measured result.

표 7. 각 주파수별 복사 이득
Table 7. Radiation gain for each frequency.

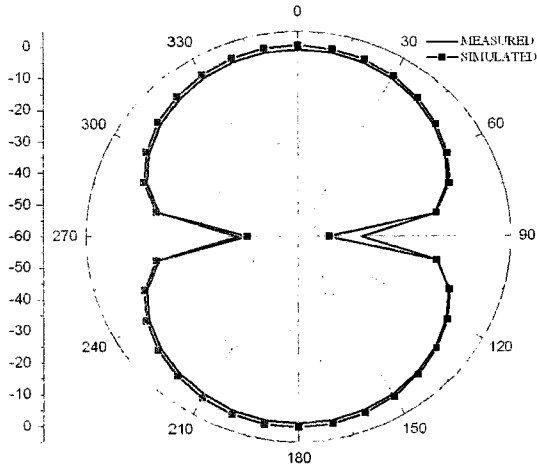
E-plane		
Freq.[MHz]	Simulated	Measured
470	-0.81 dB	-1.18 dBi
600	0.33 dB	1.86 dBi
810	1.70 dB	1.73 dBi

H-plane		
Freq.[MHz]	Simulated	Measured
470	-2.03 dB	0.46 dBi
600	0.33 dB	3.86 dBi
810	1.71 dB	2.28 dBi

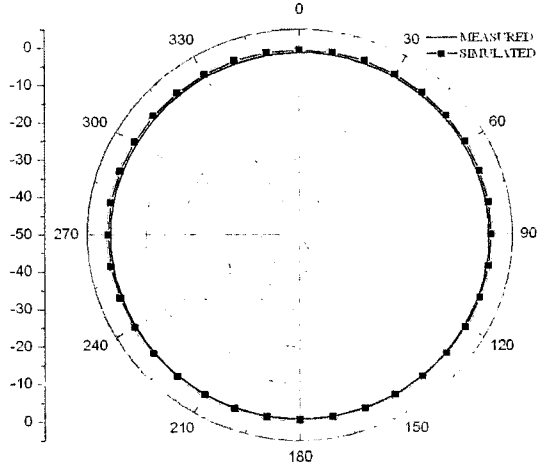
제는 해결될 것으로 사료된다.

그림 8, 9는 제작한 안테나의 E 평면과 H 평면에 대한 복사 패턴을 나타낸다. 이는 각 주파수 470 MHz, 600 MHz, 810 MHz에 대한 시뮬레이션 값과 측정 값이다. 두 데이터를 비교하여 표 7에 나타낸다.

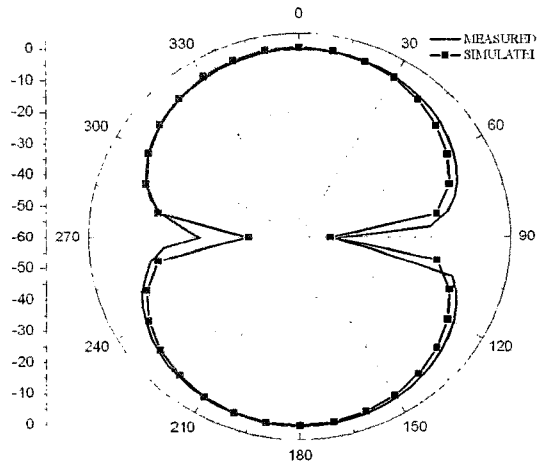
또한, 측정된 결과로서, E 평면에서의 평균 이득은 약 0.7 dBi, H 평면에서의 평균 이득은 약 2.2 dBi이다. 두 데이터가 다소 차이가 있지만, E 평면 복사 패턴은 90도와 270에서 null이 생기고, H 평면의 경우는 전 방향에서 균일한 무지향성 복사 패턴을 보이고 있다.



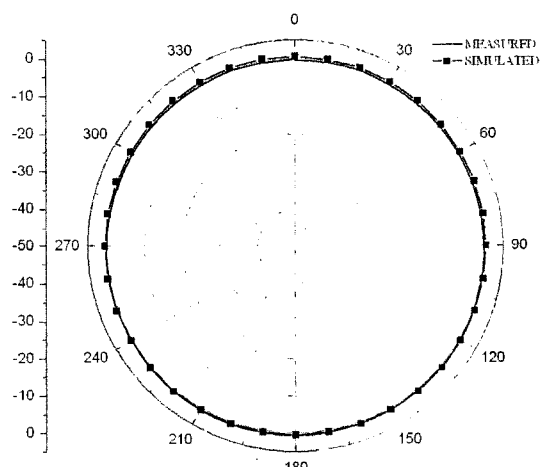
(a) 470 MHz



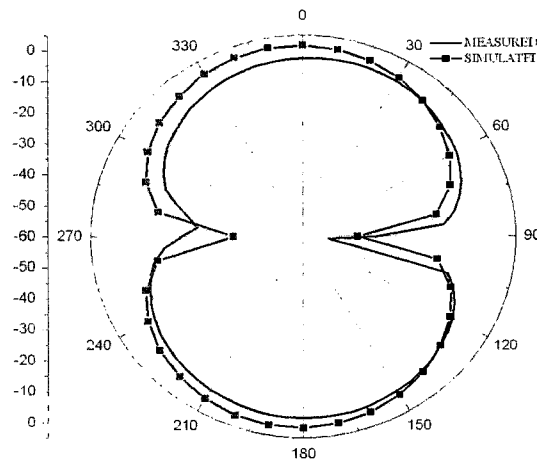
(a) 470 MHz



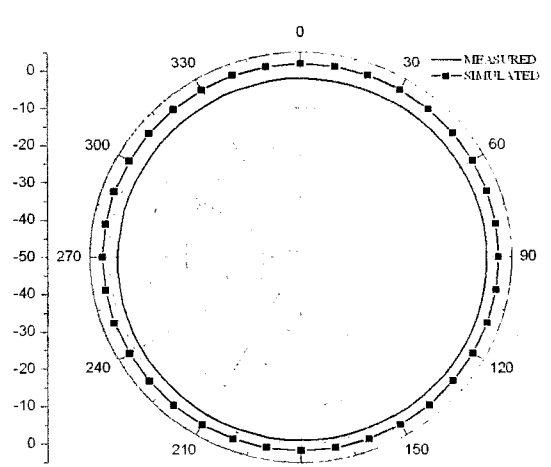
(b) 600 MHz



(b) 600 MHz



(c) 810 MHz



(c) 810 MHz

그림 8. 각 주파수별 복사 패턴(E평면)

Fig. 8. Radiation pattern for each frequency(x-y plane).

그림 9. 각 주파수별 복사 패턴(H평면)

Fig. 9. Radiation pattern for each frequency(y-z plane).

V. 결 론

본 논문에서는 디지털 TV 수신을 위한 포물선 엣지 형태의 평면 모노폴 안테나를 제안하고 최적 구조를 설계하였다. 모노폴 도체와 그라운드 도체가 동일면에 존재하면서, 각 도체의 가장자리를 포물선 구조로 하였다. 그라운드 도체와 모노폴 도체의 포물선 엣지 곡률의 변화에 따라 두 도체 간의 두 곡률이 공진 주파수와 대역폭을 결정하는 중요한 요소가 된다. 또한 두 도체 사이의 간격 변화도 대역폭에 주요한 요소로 작용하는 것을 확인하였다. 그리고 CPW 급전선의 길이는 전체 안테나의 길이와 연관성이 있고, 길이가 짧아지면 안테나의 전체 길이가 줄어들어 주파수가 상향되는 것을 확인할 수 있었다. 200 mm×40 mm의 크기에 두께 1.6 mm인 FR4 기판에 대하여 최적 설계한 안테나는 460~900 MHz의 임피던스 대역폭을 갖고, omnidirectional한 H평면 복사 패턴을 가지며, 이득은 470 MHz, 600 MHz, 810 MHz에서 각각 0.46 dBi, 3.86 dBi 및 2.28 dBi였다. 이러한 구조는 다른 용도에 안테나에도 적용이 가능하며 안테나에 중요하게 작용되는 파라미터의 스윙을 통해 최적화가 가능하다. 앞으로 크기를 좀 더 줄이는 작업도 가능할 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

[1] W. Y. Li, K. L. Wong, and J. S. Row, "Broadband planar shorted monopole antenna for DTV signal reception in a portable media player", *Microwave and Optical Technology Lett.*, vol. 49, pp. 558-561, 2007.

[2] Kin-Lu Wong, Chun-I Lin, Tzuenn-Yih Wu, and Jeng-Wen Lai, "A planar DTV receiving antenna for laptop applications", *Microwave and Optical Technology Lett.*, vol. 42, pp. 483-486, 2004.

[3] Tae-Soon Chang, Jung Hur, "Parabolic edge planar monopole antenna", *Microwave and Optical Technology Lett.*, vol. 51, pp. 675-681, 2009.

[4] Horng-Dean Chen, "Compact broadband microstrip-line-fed sleeve monopole antenna for DTV application and ground plane effect", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 7, pp. 497-500, 2008.

[5] Y. S. Yu, S. G. Jeon, H. Park, D. H. Seo, and J. H. Choi, "Internal low-profile metal-plate monopole antenna for DTV portable multimedia player applications", *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 49, pp. 593-595, 2007.

임 중 예



1992년 2월: 호서대학교 정보통신 공학과 (공학사)
 1996년 2월: 호서대학교 정보통신 공학과 (공학석사)
 2000년 8월~현재: 건국대학교 전자정보통신공학과 박사과정
 [주 관심분야] 안테나 및 전파전파

허 정



1981년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
 1983년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
 1991년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학박사)
 현재: 건국대학교 전자정보통신공학과 교수

[주 관심분야] 안테나 및 전파전파