디지털 TV 수신용 소형 광대역 모노폴 안테나

이종익¹ · 여준호^{2*} · 박진택³

Compact Broadband Monopole Antenna for Digital TV Reception

Jong-Ig Lee¹ · Junho Yeo^{2*} · Jin-Taek Park³

¹ Department of Electronics Engineering, Dongseo University, Busan 617-716, Korea

² School of Computer and Communication Engineering, Daegu University, Gyeongsan 712-714, Korea

³ Department of Mobile Communication Engineering, Changshin University, Changwon 630-764, Korea

요 약

본 논문에서는 코플래너 도파관으로 급전되는 소형 광대역 평면 모노폴 안테나의 설계방법에 대해 연구하였다. 제안된 구조의 광대역 모노폴을 지상파 디지털방송 수신용으로 최적화 설계하였다. 모노폴과 접지면을 광대역 특성을 갖도록 완만한 테이퍼 구조로 하였다. 모노폴과 접지면에 슬릿을 장하하여 안테나를 소형화하였다. 광대역 모노폴은 특성 임피던스 75Ω의 코플래너 도파관으로 급전되고 100 mm × 200 mm 크기의 FR4 기판에 설계하였다. 디지털 방송 주파수 대역인 470–806 MHz 대역에서 동작하도록 설계된 안테나를 FR4 기판 상에 제작 후 실험을 통하여 연구결과의 타당성을 검증하였다.

ABSTRACT

In this paper, a design method for a compact broadband planar monopole antenna fed by a coplanar waveguide (CPW) is studied. The proposed broadband monopole is optimized for terrestrial digital television (DTV) reception. In order to achieve broadband characteristics, the monopole and ground conductor are gradually tapered. By loading slit pairs on both monopole and ground plane, the proposed antenna is miniaturized. The monopole is fed by a CPW with 75-ohm characteristic impedance on an FR4 substrate and its size is 100 mm × 200 mm. The optimized monopole antenna for DTV band (470–806 MHz) is fabricated on an FR4 substrate and tested experimentally to verify the results of this study.

키워드 : 평면 모노폴 안테나, 광대역 안테나, CPW급전 안테나, 디지털 TV 안테나

Key word : planar monopole antenna, broadband antenna, CPW-fed antenna, digital TV antenna

접수일자 : 2013. 05. 20 심사완료일자 : 2013. 06. 09 게재확정일자 : 2013. 06. 20

* **Corresponding Author** Junho Yeo(E-mail:jyeo@daegu.ac.kr, Tel:+82-53-850-6642)

School of Computer and Communication Engineering, Daegu University, Gyeongsan 712-714, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.9.1996>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

지상파 디지털 TV(DTV)는 기존 아날로그 TV에 비해 뛰어난 품질의 선명한 화면을 제공하고 다양한 응용 서비스가 가능하므로 최근 10여 년간 급속히 보급되었고, 2013년 현재 대한민국의 전역에서 아날로그 TV 방송은 종료된 상태이다. DTV 방송용으로 할당된 UHF 주파수 대역은 470-806 MHz로서 주파수 범위가 매우 넓어서, 수신용 안테나는 광대역 특성을 갖도록 설계하여야 한다.

DTV용 안테나에 대한 연구는 휴대폰, 랩탑 컴퓨터, PMP 등 이동이 가능한 소형기기에 대한 것들이 대부분이었다[1-3]. 휴대기기용 안테나는 형상이 기구에 적합하고 소형이어야 하며 무지향성 특성이 요구된다. 그러나 소형화에 따른 단점인 안테나 성능(정합특성, 대역폭, 이득, 효율 등)의 열화는 감수하여야 한다. 휴대기기용 DTV 안테나에 대한 연구가 매우 활발했던 것과는 대조적으로 가정용 DTV 안테나에 대한 연구는 그리 많지 않았다. 휴대기기용 안테나에 대한 연구에서 급전선의 특성 임피던스를 50옴으로 가정하는 반면 가정용 실내 TV의 포트 임피던스는 75옴으로 차이가 있음에 유의하여야 한다. 광대역이면서 적절한 지향성을 갖는 안테나는 대수주기 안테나(LPA; Log periodic antenna)가 대표적이며, 소형이면서 적절한 대역폭을 갖는 안테나로는 다이폴과 모노폴 안테나가 있지만 DTV용으로 바로 사용하기에는 대역폭이 충분하지 못하다[4].

최근 발전된 PCB 제작 기법을 이용하여 용이하게 제작할 수 있는 평면 안테나는 소형화 및 대량 생산에 유리, 저비용, 경량, 초고주파 회로와 접합용이 등 다양한 장점[5]을 갖고 있어서 그에 대한 연구가 매우 활발히 진행되고 있다. 평면 다이폴은 불평형 급전선로와 정합을 위한 밸런(balun)이 필요하나 평면 모노폴은 별도의 밸런 없이도 다양한 변형이 가능하고 (초)광대역, 다중대역, 대역저지 특성 등을 구현하는 것이 용이하여 가장 많이 연구되고 있는 구조이다[5-9].

본 연구에서는 DTV 수신용 광대역 평면 모노폴 안테나를 설계하고자 한다. DTV용 주파수 대역(470-806 MHz)에서 피크 이득이 최소 1 dBi 이상으로 동작할 수 있도록 100 mm × 200 mm 크기의 FR4 기판(비유전율 4.4, 두께 1.6 mm, 손실탄젠트 0.025) 상에 코플래너 도파관(CPW; coplanar waveguide)으로 급전되도록 설계

한다. 제안된 구조는 모노폴과 접지면에 완전한 테이퍼링을 가하여 광대역 특성을 갖게 하고 각각에 대칭적인 슬릿 쌍을 장하하여 임피던스 정합과 소형화할 수 있게 하였다. 시뮬레이션을 통해 여러 가지 파라미터들이 안테나 특성에 미치는 영향을 점검하고 UHF 대역 DTV 수신용으로 적합하도록 설계하였다. DTV 안테나를 직접 제작한 후 안테나의 입력 임피던스를 VNA(vector network analyzer)로 측정하고 대역 내 수신 성능(복사패턴, 이득)을 측정한 후 DTV에 직접 연결하여 방송 수신 상태를 확인한다. 제안된 구조에 대한 시뮬레이션은 상용 전자기 문제 해석 툴인 CST사의 Microwave Studio (MWS)를 이용하였다.

II. 안테나의 구조 및 설계

그림 1은 제안된 안테나 구조로서, 유전체 기판의 한 면에 CPW로 급전되는 모노폴이 도체 패턴으로 인쇄된다. 모노폴의 모양은 상단과 하단의 반원(반지름 R_3)과 중간에 슬릿쌍이 있는 사각형(폭 d_3)이 결합된 구조이다. 접지면의 모양은 평면에 반지름 R_1 인 반원이 추가되었다. 안테나의 전체 사이즈는 기판의 크기($W_t \times L_t = 100 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$)로 제한되고, 하한 차단 주파수(470 MHz)에서 볼 때 약 0.16 파장 × 0.31 파장으로서 전형적인 다이폴 및 모노폴에 비해 소형화된 안테나이다.

CPW 선로는 DTV의 포트 임피던스인 75옴과 정합되도록 특성 임피던스가 75옴이 되도록 한다. 모노폴 내부의 직사각형(폭 W_s , 길이 L_s) 슬릿 쌍은 도체 패치 내부의 전류 경로를 연장시켜서 안테나의 유효 사이즈를 증가시키는 효과가 있다. 접지면의 슬릿 쌍은 안테나와 급전선 사이에 직렬로 유도성 스테브를 장하하여 안테나를 소형화하고 정합특성을 개선하게 된다.

시뮬레이션을 통해 UHF 대역 DTV 수신용으로 최적화된 안테나의 파라미터 값들은 표 1에 제시된 바와 같다. 그림 2는 정재파비(VSWR; voltage standing wave ratio)와 이득 특성이다. VSWR < 2를 만족하는 주파수 대역은 466-1,082 MHz로서 원하는 대역(470-806 MHz)을 포함하며, 대역내 이득은 1.0 dBi 이상으로 유지되는 것을 알 수 있다.

그림 1. 제안된 안테나 구조
Fig. 1 Geometry of proposed antenna

표 1. 디지털 TV 수신용으로 최적화된 안테나의 파라미터 값들
Table. 1 Parameters of antenna optimized for digital TV reception

parameter	value[mm]	parameter	value[mm]
W_t	100	W_f	1.5
L_t	200	S_f	0.86
R_1	32	W_s	20
R_2	60	L_s	20
R_3	50	W_0	3
d_3	32	L_0	10
A	23	B	27

그림 2. 최적화된 안테나의 정재파비와 이득 [시뮬레이션]
Fig. 2 VSWR and gain of optimized antenna [simulation]

그림 3은 중간 사각형의 폭 d_3 에 의한 영향을 보여 주며 d_3 증가에 따라 모노폴의 길이가 증가되어 차단 주파수가 감소되는 것을 확인할 수 있다.

그림 4는 모노폴 내부의 슬릿의 길이 L_s 의 영향을 나타내며 슬릿의 길이가 증가되면 모노폴의 유효 길이가 증가되어 차단 주파수는 감소되나 정합특성이 열화됨을 관찰할 수 있다.

그림 5에서는 접지면의 R_1 에 따라 모노폴과 접지면 사이의 간격이 변화되고, 이에 따라 차단 주파수와 정합 특성이 변화되므로 적절한 값을 선택하여야 하는 것을 알 수 있다. 그림 6은 접지면 내부의 유도성 슬릿의 길이 L_0 가 증가되면 안테나의 입력 임피던스에서 저항 성분에는 큰 변화가 없이 리액턴스 성분이 증가되므로 직렬 스티브로 동작되는 것을 알 수 있다.

그림 3. d_3 의 영향 [시뮬레이션]
Fig. 3 Effect of d_3 [simulation]

그림 4. L_s 의 영향 [시뮬레이션]
Fig. 4 Effect of L_s [simulation]

그림 5. R_1 의 영향 [시뮬레이션]
Fig. 5 Effect of R_1 [simulation]

그림 6. L_0 의 영향 [시뮬레이션] : (a) 정재파비 (b) 입력 임피던스
Fig. 6 Effect of L_0 [simulation] : (a) VSWR (b) input impedance

이와 같이 접지면 내부의 슬릿은 접지면의 유효길이를 증가시키게 되므로 소형화에 기여하게 된다.

그림 7은 최적화된 안테나의 전류분포를 계산한 것이다. 저주파(500 MHz)에서는 모노폴 도체면의 가장자

리와 내부에서 비교적 고른 전류분포이고 급전부로부터 모노폴 종단에 이르기까지 전류의 위상반전이 없이 방향이 동일하다. 또한 아래 부분인 접지면에서도 모노폴에 상응하는 전류가 흐르는 것을 볼 때 전형적인 모노폴의 전류분포 형태이다.

그림 7. 전류분포 [시뮬레이션] : (a) f=500 MHz (b) f=800 MHz
Fig. 7 Current distribution [simulation] : (a) f=500 MHz (b) f=800 MHz

그림 8. 복사패턴 [시뮬레이션] : (a) f=500 MHz (b) f=800 MHz
Fig. 8 Radiation pattern [simulation] : (a) f=500 MHz (b) f=800 MHz

이와는 대조적으로 고주파(800 MHz)에서는 모노폴 가장자리의 전류가 우세하고 모노폴의 전류 경로 상에서 위상반전이 일어나며, 접지면에 비해 모노폴의 전류가 큰 비대칭적인 분포를 보인다.

그림 8은 최적화된 안테나의 복사패턴을 계산한 것으로 대역내 저주파(500 MHz)에서는 모노폴 축(y축 방향)에 수직인 z-x 면 방향으로 무지향성에 가까운 복사패턴이 관찰되고, 주파수가 증가됨에 따라 수평면(z-x 면)내에서 안테나면(x-y 면)에 수직인 z방향으로의 지향성이 개선된다.

III. 안테나 제작 및 실험 결과

그림 9는 시뮬레이션을 통해 최적화된 파라미터값들을 이용하여 FR4 기판 상에 제작된 안테나의 사진이다. 안테나의 사이즈는 100 mm × 200 mm이다.

그림 10은 회로망 분석기(N5230A, Agilent)를 이용하여 측정된 안테나의 정재파비를 시뮬레이션과 비교한 것이다. 주파수에 따른 정재파비의 변화는 시뮬레이션 결과와 비교적 잘 일치하고 $VSWR < 2$ 인 주파수 대역은 468-1,002 MHz이다. 그림 10의 정재파비의 측정치는 제작된 안테나의 임피던스를 50 옴을 기준 임피던스로 하는 회로망 분석기를 이용하여 측정한 후 75 옴을 기준 임피던스로 하는 $VSWR$ 값으로 변환시킨 것이다.

그림 9. 제작된 안테나
Fig. 9 Fabricated antenna

그림 10. 측정된 정재파비
Fig. 10 Measured VSWR

그림 11. 측정된 복사패턴 : (a) 500 MHz (b) 800 MHz
Fig. 11 Measured radiation pattern : (a) 500 MHz (b) 800 MHz

그림 11은 경북대학교 EMI/EMC 측정실에서 측정된 안테나의 복사패턴으로서 E-면에서 8자형 특성을 보이고, H-면에서는 무지향성에 근접하는 특성을 보인다. 주파수가 증가함에 따라 안테나면에 수직인 방향으로 지향성이 증가되는 전형적인 평면 모노폴의 특성을 갖

는 것을 볼 수 있다. 최종적으로 안테나 종단에 75Ω 케이블에 연결이 가능하도록 F-형 커넥터를 납땜하고 상용 디지털 TV에 직접 연결하여 방송 수신 성능을 테스트 한 결과 수신 상태가 양호한 것을 확인하였다. 그리고 제작된 안테나의 수평면(H-면) 상에서 이득은 디지털 TV 주파수 대역 내에서 1 dBi 이상을 유지하는 것으로 확인되었다.

이상의 결과들을 볼 때 제안된 안테나에 대한 시뮬레이션과 실험결과들이 상호 간 잘 일치하고 디지털 TV 방송 수신에 적합한 양호한 성능을 보이므로 제안된 안테나에 대한 본 연구의 결과들이 타당하다고 볼 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 지상파 DTV 방송 수신을 위한 광대역 모노폴 안테나를 설계하고 소형화 하는 방법을 소개하였다. 특성 임피던스 75 Ω의 CPW로 급전되는 모노폴의 내부에 슬롯 쌍을 장하하여 소형화하고, 접지면 내부에 유도성 슬롯 쌍을 직렬로 장하하여 임피던스 정합특성을 개선하였다. DTV 방송 수신용으로 최적화된 모노폴을 100 mm × 200 mm 크기의 FR4 기판 상에 제작하여 실험한 결과, VSWR < 2 인 임피던스 대역은 468–1,002 MHz 이었고, E-면에서 8자형이고 H-면에서 무지향성인 전형적인 모노폴의 복사패턴을 보였다. 위와 같은 특성들을 볼 때, 제안된 모노폴은 DTV용 안테나로 적합하며, 제안된 설계방법으로 다른 주파수 대역용으로 주파수 변환설계가 용이하다.

REFERENCES

- [1] J. Holopainen, O. Kivekäs, C. Icheln, and P. Vainikainen, Internal broadband antennas for digital television receiver in mobile terminals, *IEEE Trans Antennas Propagat*, vol. 58, no. 10, pp. 3363–3374, Oct. 2010.
- [2] K.-L. Wong, C.-I. Lin, T.-Y. Wu, and J.-W. Lai, A planar DTV receiving antenna for laptop applications, *Microwave Opt Technol Lett*, vol. 42, no. 6, 483–486, Sept. 2004.
- [3] J.-K. Wee, J.W. Park, I.S. Yeom, B.-G. Kim, and C.W. Jung, Compact DVB-H antenna with broad dual-band operation for PMP applications, *IEEE Antennas Wireless Propag Lett*, vol. 9, 580–583, 2010.
- [4] C. A. Balanis, *Antenna theory - Analysis and design*, 3rd ed., New York: Wiley, 2005.
- [5] R. Garg, P. Bhartia, A. Bahl, and A. Ittipibon, *Microstrip antenna design handbook*, Artech House, 2001.
- [6] K. L. Wong, *Planar antennas for wireless communications*, Hoboken, NJ: Wiley, 2003.
- [7] J.-H. Lu and C.-H. Yeh, “Planar broadband arc-shaped monopole antenna for UWB system,” *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 60, no. 7, pp. 3091–3095, Jul. 2012.
- [8] M. Mahdavi, Z. Atlasbaf, and K. Forooraghi, “A very compact CPW-fed ultra-wideband circular monopole antenna,” *Microw. & Opt. Technol. Lett.*, vol. 54, no. 7, pp. 1665-1668, Jul. 2012.
- [9] M. Mehranpour, J. Nourinia, Ch. Ghobadi, and M. Ojaroudi, “Dual band-notched square monopole antenna for ultrawideband applications,” *IEEE Antennas Wireless Propagat. Lett.*, vol. 11, pp. 172-175, 2012.

감사의 글

본 논문은 2013년도 동서대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 이루어진 연구결과입니다.

이종익(Jong-Ig Lee)

1992년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1994년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
1998년 8월 : 경북대학교 전자공학과 (공학박사)
1998년 3월 ~ 12월 : 금오공과대학교 연구교수
1999년 3월 ~ 현재: 동서대학교 전자공학과 교수
※관심분야 : 평면 안테나, 전자파 산란

여준호(Junho Yeo)

1992년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1994년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
2003년 8월 : 미국 Pennsylvania State University 전기공학과 (공학박사)
1994년 3월 ~ 1999년 6월 : 국방과학연구소 연구원
2003년 9월 ~ 2004년 6월 : 미국 Pennsylvania State University 박사 후 과정
2004년 8월 ~ 2007년 2월 : 한국전자통신연구원 RFID 시스템연구팀 선임연구원
2007년 3월 ~ 현재 : 대구대학교 정보통신공학부 부교수
※관심분야 : AMC, EBG, FSS 설계 및 안테나 응용, RFID 및 광대역 안테나, 전자파 산란

박진택(Jin-Taek Park)

1980년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1987년 8월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
1993년 8월 : 경북대학교 전자공학과 (공학박사)
1981년 2월 ~ 1991년 2월 : 미육군 정보체계사령부 국방통신 대구통제국 선임통제관
1991년 3월 ~ 현재: 창신대학교 모바일통신공학과 교수
※관심분야 : 안테나 설계, 전자파 산란