초광대역 인쇄형 반원모양 다이폴 안테나 설계

여준호¹ · 이종익^{2*} · 박진택³

Design of Extremely Wideband Printed Semi-circular-shaped Dipole Antenna

Junho Yeo¹ · Jong-Ig Lee^{2*} · Jin-Taek Park³

¹ School of Computer and Communication Engineering, Daegu University, Gyeongsan 712-714, Korea

² Department of Electronics Engineering, Dongseo University, Busan 617-716, Korea

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

요 약

본 논문에서는 1-15GHz 주파수 대역에서 동작하는 초광대역 인쇄형 반원모양 다이폴 안테나에 대한 설계 방법을 연구하였다. 반원모양 다이폴의 두 팔 사이의 간격과 반원의 반지름 변화에 따른 입력 반사계수와 이득 특성을 분석하여 최적의 설계 변수를 도출하였다. 최적화된 인쇄형 반원모양 다이폴 안테나를 FR4 기판 상에 제작하고 특성을 실험한 결과 전압 정재파비(VSWR; voltage standing wave) < 2인 대역이 1-15 GHz (175%)으로 초광대역 특성을 갖는 것을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, a design method for a ultra-wideband printed semi-circular-shaped dipole antenna operating in the band of 1-15 GHz is studied. The effects of the gap between the two arms of the semi-circular-shaped dipole and the radius of the semi-circle on the input reflection coefficient and gain characteristics are examined to obtain the optimal design parameters. The optimized printed semi-circular-shaped dipole antenna is fabricated on an FR4 substrate and the experimental results show that the antenna has a desired extremely wideband characteristic with a frequency band of 1-15 GHz (175%) for a VSWR < 2.

키워드 : 초광대역, 인쇄형 안테나, 반원모양, 다이폴 안테나

Key word : extremely wideband, printed antenna, semi-circular-shaped, dipole antenna

접수일자 : 2013. 05. 14 심사완료일자 : 2013. 06. 11 게재확정일자 : 2013. 06. 25

* **Corresponding Author** Jong-Ig Lee(E-mail:leeji@gdsu.dongseo.ac.kr, Tel:+82-51-320-1761)

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

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.9.2003>

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

최근 무선 통신의 발달로 다양한 무선 통신 서비스가 보급되고 있으며 점차 고품질 및 고속의 멀티미디어 서비스를 제공하는 방향으로 발전하고 있다. 현재 운영되고 있는 통신 서비스 중에서 1 GHz 이상의 주파수를 가지는 서비스에는 GPS(1.563~1.587 GHz), DCS/GSM1800(1.71~1.88GHz), PCS/GSM1900(1.85~1.99 GHz), WCDMA/UMTS/IMT2000(1.92~2.17 GHz), WiBro(2.3~2.4 GHz), WLAN(2.4~2.484 GHz, 5.15~5.825 GHz), WiMax(2.5~2.69 GHz, 3.4~3.6 GHz), UWB(3.1~10.6 GHz) 등이 있다. 이들 통신 서비스를 지원하기 위해서 안테나도 넓은 주파수 대역에서 동작하기 위해 광대역 특성을 가져야 한다[1].

광대역 안테나 구조로는 쌍원추(biconical) 안테나, 디스크(disccone) 안테나, 디스크 모노폴(disc monopole) 안테나, 혼(horn) 안테나, 대수 주기(log-periodic) 안테나, 스파이럴(spiral) 안테나 등이 있다[2]. 이들 안테나는 광대역 특성을 가지나 복잡한 구조와 제작 방법이 필요하다.

최근에는 평면상에 프린트 기법으로 제작하여 저가격, 경량화, 집적화가 가능한 인쇄형 안테나가 다양한 분야에서 응용되고 있다. 인쇄형 모노폴과 다이폴 안테나의 경우, 광대역 특성을 얻기 위하여 복사소자의 모양을 변형시켜 입력 임피던스를 개선시키거나 급전방식을 변형시키는 방법 등이 연구되었다[3]. 복사소자의 모양으로는 사각형, 원, 타원, 삼각형, 육각형 등의 간단한 모양이나 이들을 변형한 복잡한 모양에 대해 연구되어졌으며, 대부분 UWB 통신 주파수 대역(3.1~10.6 GHz)이나 특정 주파수 대역에서 사용하는 안테나에 대한 것이다[4-5]. 특히, 반원모양 안테나의 경우 속이 빈 3차원 반구(hemisphere) 모양의 안테나가 Kraus에 의해 소개되었고[6], Ihara 등은 금속판으로 평면형 반원모양 다이폴 두 개를 제작하고 이를 서로 직교하게 배치하여 반구 모양 안테나의 특성을 가지도록 설계하였다[7]. 이들 안테나는 3차원적인 모양을 가져 복사패턴은 우수하나 정밀한 가공이 필요해 제작이 힘든 단점이 있다.

본 논문에서는 반원모양의 복사소자를 이용하여 1-15 GHz 주파수 대역에서 동작하는 초광대역 인쇄형 다이폴 안테나에 대한 설계 방법을 연구하였다. 최적의 설계 변수를 도출하기 위하여, 반원모양 다이폴의 두

팔 사이의 간격과 반원의 반지름 변화에 따른 입력 반사계수와 이득 특성을 분석하였다. 상용 툴인 CST사의 Microwave Studio (MWS)를 이용하여 안테나의 특성을 시뮬레이션하고 설계 변수를 최적화하였다. 최적화된 인쇄형 반원모양 다이폴안테나를 FR4 기판(비유전율 4.4, 두께 0.8mm) 상에 제작하여 특성을 확인하였다.

II. 인쇄형 반원모양 다이폴 안테나의 구조 및 설계

제안된 초광대역 인쇄형 반원모양 다이폴 안테나의 구조는 그림 1에 나타나 있다. 기판의 한 면에 반원모양 다이폴이 인쇄되어 있다. 반원모양 다이폴의 반지름은 r 이고, 다이폴의 두 팔 사이의 간격은 g_f 이다. 기판의 폭과 길이는 각각 L 과 W 이다. 기판의 두께는 h 이고 기판의 끝과 다이폴 소자 사이에는 5 mm의 간격을 두었다.

그림 1. 제안된 안테나 구조

Fig. 1 Geometry of proposed antenna

제안된 반원모양 다이폴 안테나의 중요한 설계 변수로는 반원모양 다이폴의 반지름 r 과 다이폴의 두 팔 사이의 간격 g_f 가 있다. 각각의 설계 변수가 입력 반사계수와 이득과 같은 안테나 성능에 미치는 영향을 알아보기 위해 이들 설계 변수에 따른 특성 변화를 분석하였다.

그림 2는 다이폴의 두 팔 사이의 간격 g_f 에 따른 입력 임피던스, VSWR 및 이득의 변화를 나타내고 있다. 반원모양 다이폴의 반지름 r 은 45 mm이다. 간격 g_f 가 증가함에 따라 입력 저항은 50옴 근처에서 100옴 이상으로 증가하고 입력 리액턴스도 0옴 근처로부터 증

가하여 임피던스 정합이 나빠짐을 알 수 있다. 이에 따라 입력 VSWR 특성도 나빠지고 이득도 감소함을 알 수 있다.

그림 2. 다이폴의 두 팔 사이의 간격 g_f 에 따른 입력 임피던스, 반수계수 및 이득의 변화: (a) 입력 임피던스, (b) 입력 VSWR 및 이득

Fig. 2 Input impedance, VSWR, and gain variation as function of gap g_f between two dipole arms: (a) input impedance and (b) input VSWR and gain

반원 다이폴의 반지름 r 에 따른 입력 임피던스, VSWR 및 이득의 변화가 그림 3에 나타나 있다. 다이폴의 두 팔 사이의 간격 g_f 는 0.5 mm이다. 반지름 r 이 증가함에 따라 안테나의 가장 낮은 동작 주파수가 저주파 대역으로 이동하여 주파수 대역이 낮은 주파수로 이동함을 알 수 있다.

그림 2와 3의 시뮬레이션 결과로부터 1-15 GHz 주파수 대역에서 동작하는 최적화된 안테나의 설계 변수는

$g_f = 0.5$ mm, $r = 45$ mm이다. VSWR < 2인 주파수 대역은 1-15 GHz(대역폭 14 GHz; 중심 주파수 8 GHz 대비 약 175%)이다.

그림 3. 반원 다이폴의 반지름 r 에 따른 입력 임피던스, 반수계수 및 이득의 변화: (a) 입력 임피던스, (b) 입력 VSWR 및 이득

Fig. 3 Input impedance, VSWR, and gain variation as function of radius r of semi-circular shaped dipole: (a) input impedance and (b) input VSWR and gain

그림 4에는 최적화된 안테나의 1 GHz, 3 GHz, 4 GHz 및 8 GHz에서의 방사패턴과 전류분포가 나타나 있다. 가장 낮은 동작주파수인 1 GHz에서는 반원모양 다이폴의 두 팔의 바깥쪽에 모두 전류가 분포하며 전형적인 반파장 다이폴 안테나의 전방향성 (omni-directional) 방사패턴을 가진다. 주파수가 3 GHz까지 증가하면 다이폴의 길이가 파장에 비해 길어 $\pm z$ 축 방향으로 지향성을 가지게 된다. 주파수가 4 GHz이상으로 높아지면 다이폴의 길이가 파장의 2배 이상으로 길어져 $\pm x$ 축 방향으로 지향성을 가지게 된다.

그림 4. 최적화된 안테나의 복사패턴 및 전류분포: (a) 1 GHz, (b) 3 GHz, (c) 4 GHz, (d) 8 GHz

Fig. 4 Simulated radiation patterns and current distributions of optimized antenna: (a) 1 GHz, (b) 3 GHz, (c) 4 GHz, and (d) 8 GHz

III. 안테나 제작 및 실험 결과

최적화된 시뮬레이션 결과를 검증하기 위하여 FR4 기판($\epsilon_r = 4.4$, 두께 = 0.8 mm, loss tangent = 0.025)을 이용하여 그림 5와 같이 제안된 안테나를 제작하였다. 제작된 안테나의 크기는 100 mm (L) $\times$ 100 mm (W)이며, 동축선로로 급전되었다.

제작된 안테나의 입력 반사계수는 회로망분석기 (Agilent사 N5230A)를 이용하여 측정하였으며, 측정 결과는 그림 6에서 보는 바와 같이 시뮬레이션 결과와 잘 일치하고 대역은 1-15 GHz(대역폭 14 GHz)이다.

그림 5. 제작된 안테나 사진

Fig. 5 Photograph of fabricated antenna

그림 6. 제작된 안테나의 입력 VSWR

Fig. 6 Input VSWR of fabricated antenna

또한 그림 6에 나타나듯이 비록 시뮬레이션과 측정을 15 GHz까지 하였지만 이보다 높은 주파수에서도 동작할 수 있음을 알 수 있다.

그림 7은 1 GHz, 4 GHz 및 8 GHz에서 제작된 안테나의 E-면(yz-면)과 H-면(zx-면) 복사 패턴에 대한 측정 결과이며, 시뮬레이션 결과와 유사함을 알 수 있다.

그림 7. 제작된 안테나의 복사패턴: (a) 1 GHz, (b) 4 GHz, (c) 8 GHz

Fig. 7 Radiation patterns of fabricated antenna: (a) 1 GHz, (b) 4 GHz, and (c) 8 GHz

IV. 결 론

본 논문에서는 1-15 GHz 주파수 대역에서 동작하는 초광대역 인쇄형 반원모양 다이폴 안테나에 대한 설계 방법을 연구하였다. 최적의 안테나 설계 변수를 얻기 위하여, 반원모양 다이폴의 두 팔 사이의 간격과 반원의 반지름 변화에 따른 입력 반사계수와 이득 특성을 분석하였다.

최적화된 인쇄형 반원모양 다이폴 안테나를 FR4 기판 상에 제작하고 특성을 실험한 결과 VSWR < 2인 대역이 1-15 GHz (175%)으로 초광대역 특성을 갖고 방사 패턴도 시뮬레이션 결과와 잘 일치함을 확인하였다.

제안된 안테나는 PCS, IMT2000, WiMax, WLAN, UWB 등의 다양한 무선통신을 지원하는 광대역 안테나와 방향 탐지용 광대역 배열 안테나의 소자로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] R. Waterhouse, *Printed antennas for wireless communications*, Chichester, U.K.: Wiley, 2007.
- [2] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, *Antenna theory and design*, 2nd ed., Wiley, 1998.
- [3] K.-L. Wong, *Planar antennas for wireless communications*, Wiley, 2003.
- [4] H. Schantz, *The art and science of ultrawideband antennas*, Artech House, 2005.
- [5] M. Ojaroudi, Sh. Yazdanifard, N. Ojaroudi, and M. Naser-Moghaddasi, "Small square monopole antenna with enhanced bandwidth by using inverted T-shaped slot and conductor-backed plane," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 59, no. 2, pp. 670-674, Feb. 2011.
- [6] J. Kraus, *Antennas*, 2nd ed., New York, NY: McGraw-Hill, 1988.
- [7] T. Ihara et al, *Broadband antenna using a semicircular radiator*, US Patent 5,872,546, Feb 16, 1999.

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

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

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