종단 정렬된 스트립 쌍 도파기를 가지는 직렬 급전 다이폴 쌍 안테나의 특성 연구

여준호¹ · 이종익^{2*} · 박진택³

A Study on Characteristics of Series-Fed Dipole Pair Antenna with End-Aligned Strip Pair Director

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

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

^{2*}Department of Electronics Engineering, Dongseo University, Busan 617-716, Korea

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

요 약

본 논문에서는 종단 정렬된 스트립 쌍 도파기를 가지는 직렬 급전 다이폴 쌍 (series-fed dipole pair; SDP) 안테나의 특성에 관하여 연구하였다. 제안된 SDP 안테나는 두 개의 서로 다른 길이의 스트립 다이폴 안테나와 접지 반사기가 코플래너 스트립 (coplanar strip; CPS) 선로로 연결되어 있다. 두 번째 다이폴 위쪽에 추가된 스트립 쌍 도파기는 두 개의 직사각형 모양의 스트립이며 두 번째 다이폴의 양팔의 종단에 정렬되어 있다. 종단 정렬된 스트립 쌍 도파기의 길이와 폭에 따른 안테나의 특성 변화를 분석하여 대역폭 향상을 위한 최적의 설계 변수를 얻었다. 최적화된 SDP 안테나를 FR4 기판 상에 제작하고 특성을 실험한 결과 전압 정재파비(voltage standing wave ratio; VSWR)가 2 이하인 대역은 1.65-2.93GHz이고, 대역폭이 기존 SDP 안테나에 비해 증가함을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, the characteristics of a series-fed dipole pair antenna with an end-aligned strip pair director are studied. In the proposed SDP antenna, two strip dipole antennas with different lengths and a ground reflector are connected through a coplanar stripline. The strip pair director placed above the second dipole element are two rectangular-shaped strips and is aligned at the ends of the two arms of the second dipole. The variations on the antenna performance for different lengths and widths of the director are analyzed, and optimal design parameters for the enhancement of the bandwidth are obtained. The optimized SDP antenna is fabricated on an FR4 substrate, and the experimental results show that the antenna has a frequency band of 1.65-2.95 GHz for a VSWR < 2, which shows enhanced bandwidth compared to the conventional SDP antenna.

키워드 : 직렬 급전 다이폴 쌍 안테나, 스트립 쌍 도파기, 종단 정렬, 광대역 안테나, 이동 통신

Key word : series-fed dipole pair antenna; strip pair director, end-aligned, broadband antenna, mobile communication

접수일자 : 2014. 01. 15 심사완료일자 : 2014. 02. 05 게재확정일자 : 2014. 02. 18

* 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.2014.18.4.805>

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

무선 통신 기술과 서비스가 발전함에 따라 대용량 고속 데이터 처리가 필요하며 이를 위하여 안정된 이득과 적은 후방 방사를 가지는 광대역 지향성 안테나 설계 기술이 요구되고 있다[1].

대주수기 (log-periodic) 안테나, 혼 (horn) 안테나, 스파이럴 (spiral) 안테나 등과 같은 기존의 광대역 지향성 안테나는 UWB (Ultra- wideband) 통신, 지반탐사레이더, EMI/EMC 측정용, 방향 탐지, 전파 측정 등의 분야에 널리 사용되고 있으나 크기가 크고 제작하기 힘들다 [2]. 이러한 문제점을 해결하기 위해 가볍고 저가이며 인쇄회로판을 이용하여 제작이 용이한 광대역 평면 안테나가 개발되고 있다[3].

단방향성 방사 패턴을 얻기 위해 대역 향상 기술이 적용된 다양한 마이크로스트립 (microstrip; MS) 패치 (patch) 안테나가 연구되었다. 36%의 대역폭과 7 dBi의 평균 이득을 얻기 위해 L-모양의 프로브 급전이 마이크로스트립 안테나에 사용되었다[4]. 자기-전기 다이폴 개념을 이용하여 60%의 대역폭을 가지는 단락된 보우타이 패치 안테나와 전기 다이폴 안테나로 구성된 광대역 지향성 안테나가 소개되었다[5].

한편, 인쇄형 다이폴 안테나를 변형한 설계 방법을 이용하여 평면 준-야기 (quasi-Yagi) 안테나와 SDP 안테나 등도 연구되었다. 평면 준-야기 안테나는 접지면 가장자리를 반사기(reflector)로 사용하고 다이폴 투사기 (driver)를 CPS 선로로 급전하며, 적절한 거리에 도파기 (director)를 뒀으로써 지향성을 얻을 수 있고 대역폭이 48%이다[6]. SDP 안테나는 두 개의 길이가 다른 다이폴 안테나와 접지 반사기가 전송선로로 직렬 연결되며 대역폭이 40%이다[7].

본 논문에서는 종단 정렬된 스트립 쌍 도파기를 가지는 직렬 급전 다이폴 쌍 안테나의 특성에 관하여 연구하였다. 제안된 SDP 안테나는 두 개의 서로 다른 길이의 스트립 다이폴 안테나와 접지 반사기가 CPS 선로로 연결되어 있으며, 급전부를 최소화하기 위해 단락이 중단된 MS 선로와 슬롯 (slot) 선로로 구성된 집적형 밸런 (integrated balun)을 사용하였다. SDP 안테나의 대역폭을 증가시키기 위해, 두 개의 직사각형 모양의 스트립 도파기를 두 번째 다이폴과 가까운 거리에 배치하였다. 기존의 평면 준-야기 안테나의 경우 투사기와 도

파기 사이의 간격이 파장의 0.15~0.3배 정도이고 하나의 스트립 도파기가 중앙에 위치해 있다 [6]. 제안된 스트립 쌍 도파기는 투사기와와 간격이 파장의 0.05배로 가까우며 두 번째 다이폴의 양팔의 종단에 정렬되어 있다. 또한, 도파기의 폭도 기존의 도파기에 비해서 넓다. 스트립 쌍 도파기의 길이와 폭에 따른 안테나의 특성 변화를 분석하였다. 상용 툴인 CST사의 Microwave Studio (MWS)를 이용하여 안테나의 특성을 시뮬레이션하고 설계 변수를 최적화하였다.

II. 안테나 구조 및 설계

그림 1은 제안된 SDP 안테나의 구조이다. 안테나가 인쇄된 기판의 전면에는 스트립 쌍 도파기 (D_f), 두 개의 길이가 다른 다이폴 안테나 (D_1 및 D_2), 반사기 역할을 하는 접지면 (R_0), 그리고 이들을 연결하는 CPS 선로로 구성된다. 뒷면에는 MS선로가 있으며 끝부분을 단락시키기 위해 단락 핀 (via)을 이용해 전면의 CPS의 한쪽과 연결된다. MS의 길이 즉 급전점의 위치를 조정하여 특성임피던스 50옴(Ω)인 MS와 광대역 정합을 시킬 수 있다. 이 때 단락이 중단된 MS선로와 슬롯선로는 내장형 밸런을 구성한다. 스트립 쌍 도파기는 두 번째 다이폴(D_2)의 양팔의 종단에 정렬되어 있다.

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

그림 1에서 첫 번째 및 두 번째 다이폴의 길이와 폭은 각각 l_1, w_1, l_2, w_2 이고, 첫 번째 다이폴과 반사기 사이의 간격과 두 다이폴 사이의 간격은 각각 s_1 과 s_2 이다. 스트립 쌍 도파기의 길이와 폭은 각각 l_d, w_d 이고, 기생 도파기와 두 번째 다이폴 사이의 거리는 d_p 이다. 접지면인 반사기의 길이와 폭은 각각 l_g 와 w_g 이다. 슬롯선로의 중심으로부터 MS선로의 중심까지의 거리는 x_f 이고 반사기로부터 급전점까지 MS선로의 길이는 y_f 이다.

제안된 안테나와 특성을 비교하기 위한 기준 안테나로 기생 도파기가 없는 SDP 안테나를 설계하였다. 1.7-2.7 GHz 대역에서 대역폭을 최대화하면서 이득 변화를 최소화시키기 위해 최적화된 설계 변수는 다음과 같다[8]. $l_g = 90$ mm, $w_g = 15$ mm, $s_1 = s_2 = 36$ mm, $x_f = 5$ mm, $y_f = 23$ mm, $l_1 = 72$ mm, $l_2 = 50.4$ mm, $w_1 = w_2 = 7.5$ mm, $w_{CPS} = 20$ mm, $w_s = 0.7$ mm, $W = 115$ mm. 시뮬레이션 결과, $VSWR < 2$ 인 대역폭은 49.1% (1.66–2.74 GHz)이고 이득은 대역 내에서 4.6–6.1 dBi이다.

제안된 종단 정렬된 스트립 쌍 도파기를 가지는 SDP 안테나의 대역폭은 스트립 쌍 도파기의 길이 l_d , 폭 w_d 및 기생 도파기와 두 번째 다이폴 사이의 거리 d_p 에 의해 결정된다. 따라서, 이들 세 설계 변수의 변화에 대한 제안된 SDP 안테나 특성의 영향을 조사하였다. 제안된 SDP 안테나는 기존 SDP 안테나와 비교할 때 전체 기판의 폭 W 는 스트립 쌍 도파기를 수용하기 위해 135 mm로 증가하였다.

그림 2. 도파기 길이 l_d 변화에 대한 입력 반사계수 특성
Fig. 2 Input reflection coefficient characteristic for varying director length l_d

그림 2는 스트립 쌍 도파기의 길이 l_d 의 변화에 따른 입력 반사계수의 변화를 나타내고 있다. 이 때, 기생 도파기의 폭 $w_d = 22.5$ mm 이고, 스트립 쌍 도파기와 두

번째 다이폴 사이의 거리 $d_p = 6$ mm이다. $l_d = 20$ mm까지는 주파수 대역의 상한 주파수와 대역폭이 증가한다. 그러나 $l_d = 24$ mm로 더 증가하면 2.3–2.7 GHz 대역에서 임피던스 정합이 나빠지고 대역폭도 줄어든다.

그림 3. 도파기 폭 w_d 변화에 대한 입력 반사계수 특성
Fig. 3 Input reflection coefficient characteristic for varying director width w_d

그림 4. 도파기와 두 번째 다이폴 사이의 거리 d_p 변화에 대한 특성: (a) 입력 반사계수, (b) 이득
Fig. 4 Characteristics for varying distance d_p between director and 2nd dipole: (a) Input reflection coefficient and (b) gain

스트립 쌍 도파기의 폭 w_d 의 변화에 따른 입력 반사계수의 변화가 그림 3에 나타나 있다. 이 때, 스트립 쌍 도파기의 길이 $l_d = 20$ mm 이고, 스트립 쌍 도파기와 두 번째 다이폴 사이의 거리 $d_p = 6$ mm이다. w_d 가 2.5 mm부터 22.5 mm까지 증가함에 따라 주파수 대역의 상한 주파수가 증가하고 대역폭이 증가한다. 그러나 $w_d = 27.5$ mm로 더 증가하면 22.5 mm일 때 보다 상한 주파수가 감소하고 대역폭도 줄어든다.

그림 4는 스트립 쌍 도파기와 두 번째 다이폴 사이의 거리 d_p 의 변화에 따른 입력 반사계수의 변화를 나타내고 있다. 이 때, 스트립 쌍 도파기의 길이 $l_d = 20$ mm 이고, 폭 $w_d = 22.5$ mm 이다. $d_p = 2$ mm 일 때 대역폭이 가장 넓으나 높은 주파수에서 이득이 떨어지고 대역 내에서 이득의 변화 폭이 매우 크다. d_p 가 증가함에 따라 주파수 대역의 상한 주파수는 감소하지만 높은 주파수 대역에서 이득은 향상된다. 대역폭과 안정된 이득을 고려하여 $d_p = 6$ mm를 선택하였다.

스트립 쌍 도파기와 관련된 세 변수의 변화에 따른 안테나의 대역폭에 대한 분석을 통해 선택된 최적의 설계 변수는 $l_d = 20$ mm, $w_d = 22.5$ mm, $d_p = 6$ mm이다. 표 1에는 최적화된 스트립 쌍 도파기를 가지는 SDP 안테나의 설계 변수가 나타나 있다.

표 1. 최적화된 스트립 쌍 도파기를 가지는 SDP 안테나의 설계 변수

Table. 1 Design parameters of optimized SDP antenna with strip pair director

Parameter	Value(mm)	Parameter	Value(mm)
l_g	90	w_f	3
W	135	w_g	15
l_1	72	w_s	0.7
w_1	7.5	x_f	5
s_1	36	y_f	23
l_2	50.4	l_d	20
w_2	7.5	w_d	22.5
s_2	36	d_p	6
w_{cps}	20	h	1.6

그림 5에는 표 1에 나타나 있는 설계 변수로 최적화된 안테나의 1.8 GHz, 2.3 GHz 및 2.8 GHz에서의 복사 패턴이 나타나 있다. 모든 주파수에서 +y 방향으로 지향성이 유지됨을 알 수 있다.

그림 5. 최적화된 안테나의 복사패턴: (a) 1.8 GHz, (b) 2.3 GHz, (c) 2.8 GHz

Fig. 5 Simulated radiation patterns of optimized antenna: (a) 1.8 GHz, (b) 2.3 GHz, and (c) 2.8 GHz

III. 안테나 제작 및 실험 결과

제안된 설계 방법을 검증하기 위하여 FR4 기판 ($\epsilon_r = 4.4$, 두께 = 1.6 mm, loss tangent = 0.025)을 이용하여 종단 정렬된 스트립 쌍 도파기를 가지는 SDP 안테나를 제작하였다. 그림 6의 제작된 안테나의 크기는 90 mm × 135 mm이다.

그림 6. 제작된 안테나 사진
Fig. 6 Photograph of fabricated antenna

그림 7. 제작된 안테나의 특성: (a) 입력 반수계수, (b) 이득
Fig. 7 Characteristics of fabricated antenna: (a) Input reflection coefficient and (b) gain

그림 7은 제작된 스트립 쌍 도파기를 가진 SDP 안테나의 입력 반사계수와 이득 특성을 기존의 도파기가 없는 SDP 안테나와 비교하고 있다. 제작된 안테나의 입력 반사계수는 회로망분석기(Agilent사 N5230A)를 이용하여 측정하였다. $VSWR < 2$ 인 임피던스 대역폭은 시뮬레이션 결과 기존의 SDP 안테나와 제안된 SDP 안테나에 대해서 각각 49.1% (1.66–2.74 GHz)와 56.1% (1.64–2.92 GHz)이고, 측정결과와는 각각 48.9% (1.70–2.80

GHz)와 55.9% (1.65–2.93GHz)이다. 시뮬레이션 결과와 측정 결과가 잘 일치함을 알 수 있으며, 측정결과를 기준으로 제안된 근접 기생 도파기를 가진 SDP 안테나의 대역폭이 기존 SDP 안테나에 비해 증가하였음을 알 수 있다. 대역내의 이득은 기존의 SDP 안테나는 4.6–6.1 dBi이고, 제안된 안테나는 5.3–6.4 dBi로 대역 내의 평균 이득과 대역폭이 향상되었음을 알 수 있다.

그림 8은 1.8 GHz와 2.3 GHz에서 제안된 안테나와 기존의 SDP 안테나의 E-면과 H-면 복사 패턴에 대한 측정결과를 비교하였다. 제안된 SDP 안테나의 반전력 빔폭과 전후방비가 모두 향상됨을 알 수 있다.

그림 8. 제작된 안테나의 복사패턴: (a) 1.8 GHz, (b) 2.3 GHz
Fig. 8 Radiation patterns of fabricated antenna: (a) 1.8GHz and (b) 2.3 GHz

IV. 결 론

본 논문에서는 중단 정렬된 스트립 쌍 도파기를 가지는 직렬 급전 다이폴 쌍 안테나의 특성에 관하여 연구하였다. SDP 안테나의 대역폭을 증가시키기 위해, 두 개의 직사각형 모양의 스트립 도파기를 두 번째 다이폴과 가까운 거리에 배치하였다. 스트립 쌍 도파기는 두

번째 다이폴의 양팔의 종단에 정렬되어 있다. 도파기를 추가할 경우 안테나의 크기는 조금 증가하나 주파수 대역폭과 이득을 증가시킬 수 있는 장점이 있다. 스트립 쌍 도파기의 길이와 폭에 따른 안테나의 특성 변화를 분석하였다. 최적화된 스트립 쌍 도파기를 가지는 SDP 안테나를 FR4 기판 상에 제작하고 특성을 실험한 결과 VSWR이 2 이하인 대역은 1.65~2.93GHz (55.9%)이고, 대역 내에서 5.3~6.4 dBi의 이득을 갖는 것을 확인하였다. 도파기가 없는 SDP 안테나와 비교할 때 임피던스 대역폭과 평균 이득이 모두 증가하였다.

제안된 안테나는 PCS, IMT2000, LTE 등의 다양한 이동통신을 지원하는 기지국 안테나 혹은 소출력 중계기용 안테나에 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] R. Waterhouse, *Printed Antennas for Wireless Communications*. Chichester, U.K.: Wiley, 2007.
- [2] C. A. Balanis, *Antenna theory - Analysis and design*. 3rd ed., Hoboken, N.J.: Wiley, 2005.
- [3] K. L. Wong, *Planar antennas for wireless communications*. Hoboken, N.J.: Wiley, 2003.
- [4] C.-L. Mak, K.-M. Luk, K.-F. Lee, and Y.-L. Chow, "Experimental study of a microstrip patch antenna with an L-shaped probe," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 48, no. 5, pp. 777-783, May 2000.
- [5] H. Wong, K.-M. Mak, and K.-M. Luk, "Wideband shorted bowtie patch antenna with electric dipole," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 56, no. 7, pp. 2098-2101, Jul. 2008.
- [6] N. Kaneda, W. R. Deal, Y. Qian, R. Waterhouse, and T. Itoh, "A broad-band planar quasi-Yagi antenna," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 50, no. 8, pp. 1158-1160, Aug. 2002.
- [7] F. Tefiku and C. A. Grimes, "Design of broad-band and dual-band antennas comprised of series-fed printed-strip dipole pairs," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 48, no. 6, pp. 895-900, Jun. 2000.
- [8] J. Yeo and J.-I. Lee, "Broadband series-fed two dipole array antenna with an integrated balun for mobile communication applications," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 54, no. 9, pp. 2166-2168, Sep. 2012.

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