

사각형 패치가 종단에 장하된 소형 직렬 급전 다이폴 쌍 안테나 설계

여준호¹ · 이종익^{2*} · 박진택³

Design of Compact Series-fed Dipole Pair Antenna with End-loaded Rectangular Patches

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 사각형 패치가 종단에 장하된 소형 직렬 급전 다이폴 쌍(series-fed dipole pair; SDP) 안테나를 제안하였다. SDP 안테나의 폭을 줄이기 위해 두 다이폴 소자의 두 팔의 종단과 접지면의 양끝에 사각형 패치가 추가되었다. 사각형 패치의 길이와 폭에 따른 입력 반사계수와 같은 안테나 성능의 변화를 분석하였다. 1.7-2.7 GHz 대역에서 동작하는 최적화된 소형 SDP 안테나를 설계하여 FR4 기판 상에 제작하였다. 제작된 안테나의 폭은 기존의 SDP 안테나와 비교하여 14.3% 줄었다. 제작된 SDP 안테나를 측정된 결과, VSWR이 2 이하인 임피던스 대역폭은 48.7% (1.68-2.76 GHz), 이득은 5.6-6.0 dBi으로 기존 SDP 안테나와 유사하며 전후방비는 0.7-7.4 dB 향상되었다.

ABSTRACT

In this paper, a design of a compact series-fed dipole pair(SDP) antenna with end-loaded rectangular patches is presented. In order to reduce the lateral size of a conventional SDP antenna, rectangular patches are end-loaded to the two dipole elements of the SDP antenna and a grooved ground plane is used by adding a patch at both ends of the ground plane. The effects of varying the length and width of the rectangular patches on the antenna performance such as input reflection coefficient are investigated. An optimized compact SDP antenna covering a frequency band ranging from 1.7 GHz to 2.7 GHz is designed and fabricated on an FR4 substrate. The total width of the fabricated prototype of the proposed antenna is reduced by approximately 14.3% compared to the conventional SDP antenna. Experimental results show that the antenna presents a 48.7% bandwidth in the range of 1.68-2.76 GHz and a stable gain of 5.6-6.0 dBi with minimal degradation. Moreover, a front-to-back ratio is improved by about 0.7 to 7.4 dB.

키워드 : 직렬급전 다이폴 쌍 안테나, 소형, 종단 장하, 사각형 패치

Key word : series-fed dipole pair antenna, compact, end-loaded, rectangular patch

접수일자 : 2013. 05. 28 심사완료일자 : 2013. 06. 24 게재확정일자 : 2013. 07. 10

* **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.2013.17.10.2245>

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, 현재 제공되고 있는 다양한 무선 통신 서비스와 앞으로 가시화되고 있는 방송통신 융합서비스를 하나의 이동통신 단말기로 수용하기 위해서는 여러 주파수 대역의 신호를 하나의 안테나로 송수신하고 음성 및 멀티미디어 응용의 대용량 고속 데이터 처리를 위하여 광대역 안테나 기술이 요구되고 있다[1].

최근에는 가볍고 저가이며 인쇄기판을 이용하여 제작이 용이한 광대역 인쇄형 안테나에 대한 요구가 증가하고 있다[2]. 광대역 인쇄형 안테나 중에서 직렬 급전 다이폴 쌍(series-fed dipole pair; SDP) 안테나는 넓은 대역, 안정된 이득과 간단한 구조로 인해 기지국 안테나와 광대역 위상 배열 안테나 등과 같은 여러 이동통신 응용분야에 많이 사용되어 왔다[3, 4]. 기지국 안테나는 일반적으로 부채꼴 형태로 분할 된 3개의 무선 영역에 다이폴 배열로 이루어진 3개의 안테나가 각각 위치한 형태로 이루어져 있다[5]. 수평 빔폭을 줄이기 위해 일반적으로 사용되는 도체 판의 문제점을 해결하기 위해 인공 자기 도체를 이용한 연구가 되었으나 구조가 복잡하고 설계가 힘든 단점이 있다[6]. 또한, 대부분 특정 주파수 대역에서만 동작하도록 설계되어 광대역 배열 소자가 요구된다.

SDP 안테나는 두 개의 길이가 다른 다이폴과 절단된 접지면으로 구성되며, 이들 소자들이 전송선로를 통해 직렬로 연결되어 있다[4]. 일반적으로, 두 다이폴의 길이는 동작 주파수 대역 내에서 각각 낮은 공진 주파수와 높은 공진 주파수를 제어할 수 있으며, 두 다이폴 사이의 간격과 첫 번째 다이폴과 접지면 사이의 간격은 두 공진주파수 사이의 입력 임피던스를 조절하여 반사계수 레벨을 제어할 수 있다.

한편, 무선통신이나 이동통신에 사용되는 안테나는 전체 시스템 크기의 일부분을 차지하고 크기를 제한하는 중요한 요소이기 때문에 소형화 기술이 요구되고 있다. 휴대용 광대역 소형 지향성 안테나로 많이 사용되고 있는 대수 주기 다이폴 배열(log periodic dipole array; LPDA) 안테나의 소형화를 위해서 Fractal tree, Koch, meander-line 등과 같은 프랙탈 구조를 다이폴에 적용하는 방법 등이 연구되었다[7-9].

본 논문에서는 사각형 패치가 종단에 장하된 소형

SDP 안테나를 제안하였다. SDP 안테나의 폭을 줄이기 위해 두 다이폴 소자의 두 팔의 종단과 접지면의 양끝에 사각형 패치가 추가되었다. 사각형 패치의 길이와 폭에 따른 안테나 성능의 변화를 분석하였다. 상용 툴인 CST사의 Microwave Studio (MWS)를 이용하여 안테나의 특성을 시뮬레이션하고 설계 변수를 최적화하였다. 최적화된 소형 SDP 안테나를 FR4 기판(비유전율 4.4, 두께 1.6mm) 상에 제작하여 SDP 안테나와 특성을 비교하였다.

II. 소형 직렬 급전 다이폴 쌍 안테나의 구조 및 설계

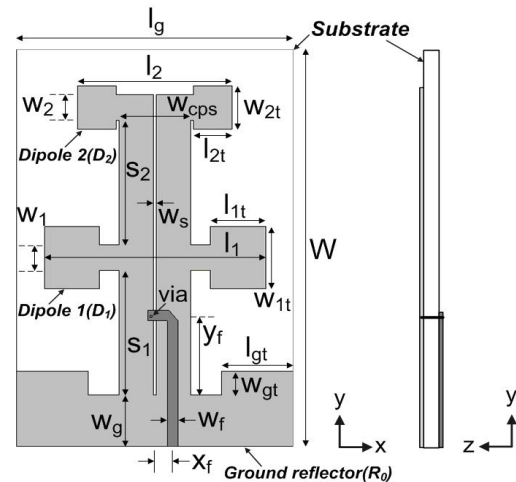


그림 1. 제안된 안테나 구조

Fig. 1 Geometry of proposed antenna

제안된 사각형 패치가 종단에 장하된 소형 SDP 안테나의 구조는 그림 1에 나타나 있다. 안테나가 인쇄된 기판의 전면에는 두 개의 길이가 다른 다이폴 안테나(D1 및 D2), 반사기 역할을 하는 접지면(R0), 그리고 이들을 연결하는 코플래너 스트립(coplanar strip; CPS) 선로로 구성된다. 뒷면에는 마이크로스트립(microstrip; MS) 선로가 있으며 끝부분을 단락시키기 위해 비아(via)를 이용해 전면의 CPS의 한쪽과 연결된다. 슬롯 선로의 중심으로부터 MS 선로의 중심까지의 거리는 x_f 이고 반사기로부터 급전점까지 MS 선로의 길이는 y_f 이다. MS 선로의 길이 즉 급전점의 위치 y_f 를 조정하여 특성 임피던스 50옴(Ω)인

MS 선로와 안테나를 광대역 정합을 시킬 수 있다. 이 때, 단락이 중단된 MS 선로와 슬롯 선로는 내장형 밸런을 구성한다.

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 s_1 과 s_2 이다. 접지면인 반사기의 길이와 폭은 l_g 과 w_g 이다. 첫 번째 및 두 번째 다이폴의 중단에 추가된 사각형 패치의 길이와 폭은 각각 $l_{1t}, w_{1t}, l_{2t}, w_{2t}$ 이고, 접지면의 양끝에 추가된 사각형 패치의 길이와 폭은 각각 l_{gt}, w_{gt} 이다.

기존의 SDP 안테나에 사각형 패치가 중단에 장하된 소형 안테나를 설계하는 절차가 그림 2에 나타나 있다. 그림 3에는 설계 절차별 안테나의 입력 반사계수와 이득 특성이 나타나 있다. 첫 번째 단계에서는, 그림 2(a)에 나타나 있는 SDP 안테나를 1.7–2.7 GHz 대역에서 5 dBi 이상의 안정된 이득을 가지도록 설계하여 기준 안테나로 사용한다. 임피던스 대역폭을 최대화하고 안정된 이득을 얻기 위해 시뮬레이션을 통해 최적화된 설계 변수는 다음과 같다[4]. $l_g = 90$ mm, $w_g = 15$ 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, $s_1 = s_2 = 36$ mm, $w_s = 0.7$ mm, $W = 115$ mm. 시뮬레이션 결과, 전압 정재파비(voltage standing wave ratio; VSWR)가 2 이하인 대역폭은 47.3% (1.68–2.72 GHz)이다.

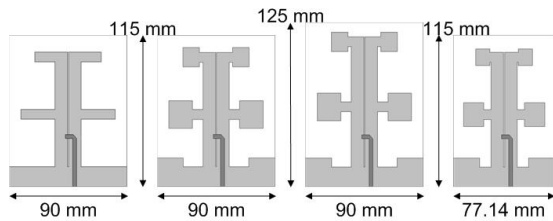


그림 2. 제안된 소형 안테나의 설계 절차
Fig. 2 Design procedure of proposed compact antenna

다음 단계에서는, 그림 2(b)에서 보는 바와 같이 기준 SDP 안테나에 사각형 패치가 중단에 장하되었다. 이 때 두 다이폴과 접지면에 추가된 사각형 패치의 길이와 폭은 $l_{1t} = 18$ mm, $w_{1t} = 21$ mm, $l_{2t} = 12.6$ mm, $w_{2t} = 14.7$ mm, $l_{gt} = 20$ mm, $w_{gt} = 6.75$ mm이고 다른 설계 변수들은 기준 안테나와 동일하다. 그림 3에서 볼 수 있듯이, 사각형 패치를 다이폴과 접지면에 추가할 경우 안테나의 가장 낮은 동

작 주파수가 저주파 대역으로 이동하지만 저주파 대역에서의 임피던스 정합이 나빠짐을 알 수 있다. 이러한 현상은 주파수 대역이 저주파 대역으로 이동함으로써 다이폴 소자 및 접지면 사이의 간격이 상대적으로 줄어들어서 발생한다.

세 번째 단계에서는, 임피던스 정합을 향상시키기 위하여 소자 간의 간격인 s_1 과 s_2 를 42 mm로 증가시키며 그림 2(c)에 나타나 있다. 그 결과 그림 3에서 볼 수 있듯이 임피던스 정합이 향상된다. VSWR < 2인 대역폭은 53.3% (1.39–2.40 GHz)이다.

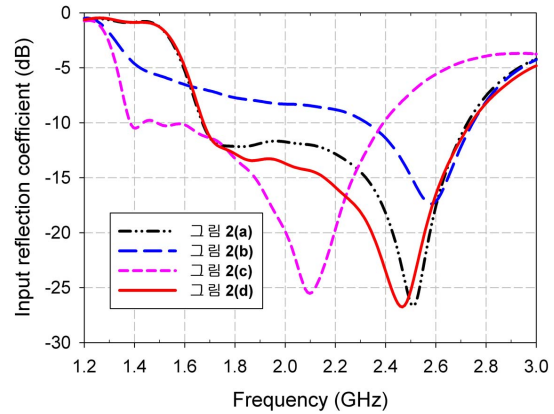


그림 3. 그림 2의 안테나들의 입력 반사계수 및 이득 특성
Fig. 3 Input reflection coefficient and gain characteristics of antennas in Fig. 2

마지막 단계에서는 저주파수 쪽으로 이동한 주파수 대역을 원래 설계하고자 했던 동작 영역인 1.7–2.7 GHz 대역으로 이동시키기 위해서 그림 2(d)와 같이 전체 안테나의 크기를 줄여준다. 두 다이폴 소자와 사각형 패치의 길이와 폭 및 소자 간의 간격을 14.3% 줄여서 $l_1 = 61.71$ mm, $l_2 = 43.19$ mm, $l_g = 77.14$ mm, $s_1 = s_2 = 36$ mm, $l_{1t} = 15.43$ mm, $w_{1t} = 18$ mm, $l_{2t} = 10.8$ mm, $w_{2t} = 12.6$ mm이고 다른 설계 변수들은 기준 안테나와 동일하다. 그림 3에서 보는 바와 같이 그림 2(d)의 구조가 그림 2(a)의 구조에 비해 폭이 14.3% 축소된 것임에도 불구하고 임피던스 대역폭이 48.0% (1.68–2.74 GHz) 대등한 특성을 보이는 우수한 성능을 갖는다.

그림 4는 그림 2(d)의 구조에서 첫 번째 다이폴에 추가된 사각형 패치의 폭 w_{1t} 의 영향을 보여준다. 이 때 두 번째 다이폴에 추가된 사각형 패치의 폭 w_{2t} 는 첫 번째

다이폴과 두 번째 다이폴의 길이 비인 0.7에 비례하여 줄어들며, 사각형 패치의 길이는 $l_{1t} = 15.43 \text{ mm}$ 와 $l_{2t} = 10.8 \text{ mm}$ 로 고정되었다. 사각형 패치의 폭 w_{1t} 가 증가할수록 대역폭은 증가하나 임피던스 정합 특성은 나빠짐을 알 수 있다.

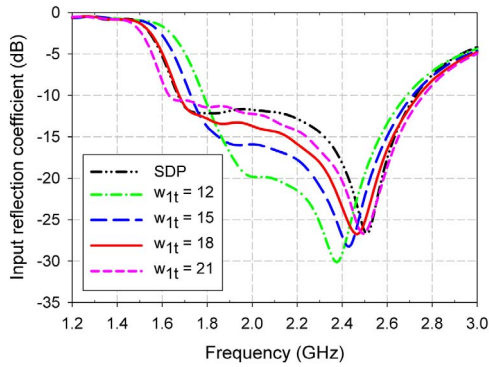


그림 4. 사각형 패치의 폭 w_{1t} 의 변화에 따른 입력 반사계수 및 이득 특성

Fig. 4 Variation of input reflection coefficient and gain characteristics for varying rectangular patch width w_{1t}

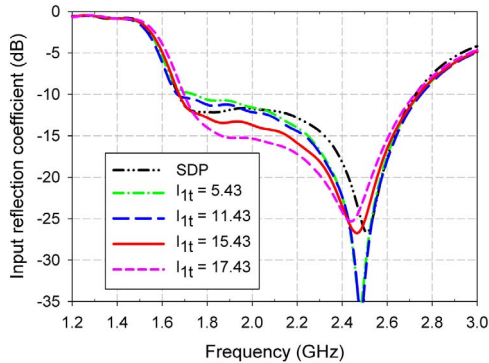


그림 5. 사각형 패치의 길이 l_{1t} 의 변화에 따른 입력 반사계수 및 이득 특성

Fig. 5 Variation of input reflection coefficient and gain characteristics for varying rectangular patch length l_{1t}

그림 5는 그림 2(d)의 구조에서 첫 번째 다이폴에 추가된 사각형 패치의 길이 l_{1t} 의 영향을 보여준다. 이 때 두 번째 다이폴에 추가된 사각형 패치의 길이 l_{2t} 는 첫 번째 다이폴과 두 번째 다이폴의 길이 비인 0.7에 비례하여 줄어들며, 사각형 패치의 길이는 $w_{1t} = 18 \text{ mm}$ 와 $w_{2t} = 12.6 \text{ mm}$ 로 고정되었다. 사각형 패치의 길 l_{1t} 가 증가

할수록 임피던스 정합 특성이 향상되나 대역폭은 줄어들을 수 있다.

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 그림 2(d)의 소형 SDP 안테나를 제작하였다. 그림 6의 제작된 소형 SDP 안테나의 크기는 $77.14 \text{ mm} \times 115 \text{ mm}$ 이다. 참고로 기존 SDP 안테나의 크기는 $90 \text{ mm} \times 115 \text{ mm}$ 이며, 제안된 안테나의 폭은 14.3% 감소하였다. 표 1에는 제작된 소형 SDP 안테나의 설계 변수가 나타나 있다.

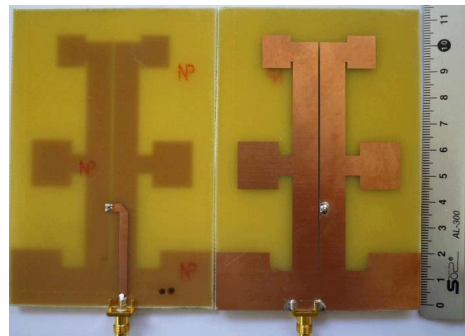


그림 6. 제작된 안테나 사진

Fig. 6 Photograph of fabricated antenna

표 1. 제작된 소형 SDP 안테나의 설계 변수

Table. 1 Design parameters of fabricated compact SDP antenna

Parameter	Value	Parameter	Value
l_{gr}	77.14	w_g	15
W	115	w_s	0.7
l_{lr}	61.71	x_f	5
w_l	7.5	y_f	23
s_1	36	l_{1t}	15.43
l_{2r}	43.2	w_{1t}	18
w_2	7.5	l_{2t}	10.8
s_2	36	w_{2t}	12.6
w_{cps}	20	l_{gt}	20
w_f	3	w_{gt}	21.75

그림 7은 제작된 안테나의 입력 반사계수와 이득 특성을 기준 SDP 안테나와 비교하고 있다. 제작된 안테나의 입력 반사계수는 회로망분석기(Agilent사 N5230A)를 이용하여 측정하였다. $VSWR < 2$ 인 임피던스 대역폭은 시뮬레이션 결과 기준 안테나와 제안된 안테나에 대해서 각각 47.3% (1.68–2.72 GHz)와 48.0% (1.68–2.74 GHz)이고, 측정결과는 각각 47.8% (1.72–2.80 GHz)와 48.7% (1.68–2.76 GHz)이다. 시뮬레이션 결과와 측정 결과가 잘 일치함을 알 수 있다. 이득은 전파무반향실에서 측정되었으며, 측정 이득은 1.7–2.6 GHz 대역에서 각각 5.5–6.2 dBi와 5.6–6.0 dBi로 비슷함을 알 수 있다.

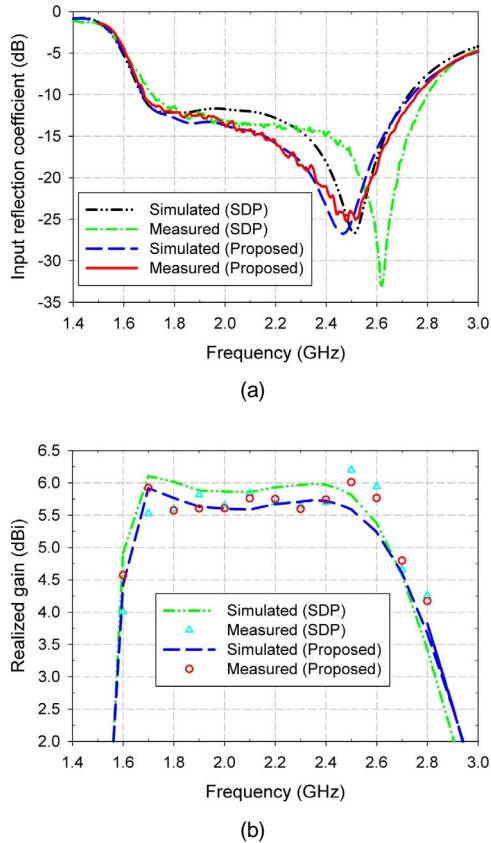


그림 7. 제작된 안테나의 입력 반사계수 및 이득 특성: (a) 입력 반사계수, (b) 이득
 Fig. 7 Input reflection coefficient and gain characteristics of fabricated antenna: (a) input reflection coefficient and (b) gain

2 GHz와 2.45 GHz에서 제안된 소형 안테나와 기준 SDP 안테나의 E-면과 H-면 복사 패턴에 대한 복사패턴을 경북대학교 전파무반향실에 측정하였고 그림 8에서 측정 결과를 비교하였다. 반전력 빔폭의 경우 2 GHz와 2.45 GHz에서 유사함을 알 수 있다. 전후방비(front-back ratio)는 E-면과 H-면에 대해서 1.7-2.7 GHz 대역 내에서 13.2-19.8 dB를 유지하며 SDP 안테나에 비해 0.7-7.4 dB 증가하였음을 알 수 있다.

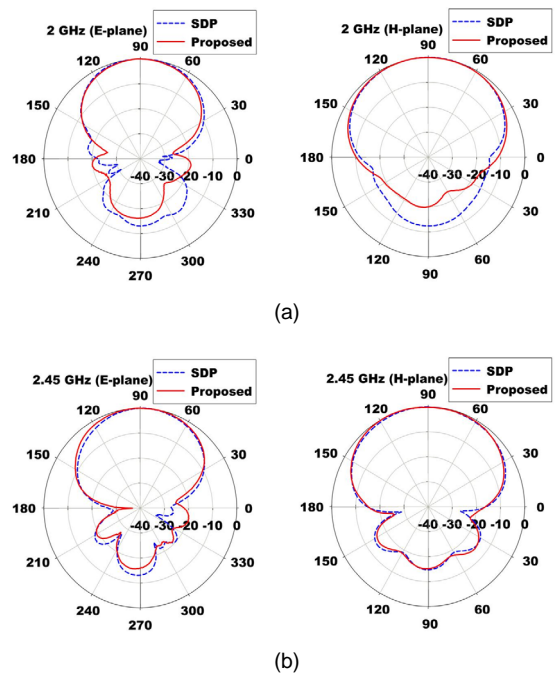


그림 8. 제작된 안테나의 복사패턴: (a) 2 GHz, (b) 2.45 GHz
 Fig. 8 Radiation patterns of fabricated antenna: (a) 2 GHz and (b) 2.45 GHz

IV. 결론

본 논문에서는 사각형 패치가 중단에 장하된 소형 SDP 안테나를 제안하였다. SDP 안테나의 폭을 줄이기 위해 두 다이폴 소자의 두 팔의 중단과 접지면의 양끝에 사각형 패치가 추가되었다. 사각형 패치의 길이와 폭에 따른 입력 VSWR과 이득과 같은 안테나 성능의 변화를 분석하였다.

1.7-2.7 GHz 대역에서 동작하는 최적화된 소형 SDP 안테나를 설계하여 FR4 기판 상에 제작하였고, 기존의 SDP 안테나와 비교하여 폭이 14.3% 줄어들었다. 제작된 SDP 안테나를 측정된 결과, VSWR이 2 이하인 임피던스 대역폭은 48.7% (1.68-2.76 GHz), 이득은 5.6-6.0 dBi로 기존 SDP 안테나와 유사하며 전후방비는 0.7-7.4 dB 향상되었다.

제안된 안테나는 PCS, IMT2000, LTE 등의 다양한 이동통신을 지원하는 기지국 안테나 혹은 소출력 중계 기용 안테나로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] R. Waterhouse, *Printed antennas for wireless communications*. Chichester, U.K.: Wiley, 2007.
- [2] K.-L. Wong, *Planar antennas for wireless communications*. Hoboken, NJ: Wiley, 2003.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Ebine Y. "Design of Base Station Antennas for Next Generation Cellular Mobile Radios (IMT-2000)," *Technical Report of IEICE Japan*, AP2000-4, Apr. 2000.
- [6] C. Son, J. Ahn, K. Chang, J. H. Yoon, Y. J. Yoon, "The radiation characteristics improvement and thickness reduction of base station antenna with artificial magnetic conductor," *Journal of the Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 20, no. 12, pp. 1233-1242, Dec. 2009.
- [7] W. Baixiao, C. Aixin, and S. Donglin, "An improved fractal tree log periodic dipole antenna," in *Proc. 19th APEMC*, pp. 831-834, May 2008.
- [8] D. E. Anagnostou, J. Papapolymerou, M. M. Tentzeris, and C. G. Christodoulou, "A printed log-periodic Koch-dipole array (LPKDA)," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 7, pp. 456-460, 2008.
- [9] A. A. Gheethan and D. E. Anagnostou, "Reduced size planar log-periodic dipole arrays (LPDAs) using rectangular meander line elements," in *Proc. Antennas Propag. Soc. Int. Symp.*, Jul. 2008, pp. 1-4.



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