

대수 주기 칸토어 다이폴 안테나의 복사 특성

Radiation Characteristics of Log-Periodic Cantor Dipole Antennas

엄 선 용 · 최 학 근

Sun-Yong Uhm · Hak-Keun Choi

요 약

본 논문에서는 기존 다이폴 소자 대신에 칸토어(Cantor) 다이폴 소자로 구성된 새로운 타입의 대수 주기 칸토어 다이폴 안테나(LPCDA: Log-Periodic Cantor Dipole Antenna)를 제안하였다. 제안된 안테나는 칸토어 다이폴 소자를 사용함으로써 안테나의 소형화를 실현하였다. 제안된 안테나 타당성을 확인하기 위하여 1~4 GHz의 주파수에서 동작하는 LPCDA를 설계하여 기존의 LPDA(Log-Periodic Dipole Antenna) 특성과 비교하였다. 그 결과, LPCDA는 LPDA보다 소자의 길이가 13.3 % 짧으면서도 상한 주파수 부근에서 이득은 약 2 dB 증가하고, VSWR은 2 이하로 나타났다.

Abstract

In this paper, a novel log-periodic cantor dipole antenna(LPCDA), which is composed of the cantor-dipole elements instead of the existing dipole elements, is proposed. The proposed antenna makes possible the antenna miniaturization by using the cantor-dipole elements. To investigate the reliability of the proposed antenna, LPCDA is designed and analyzed at 1~4 GHz band and compared with LPDA(Log-Periodic Dipole Antenna) characteristics. It is shown that although the elements of LPCDA are 13.3 % shorter than LPDA, the gain increases about 2 dB and VSWR is less than 2 in at the upper band.

Key words : LPDA, LPCDA, Cantor, Fractal

I. 서 론

대수 주기 다이폴 안테나(LPDA: Log-Periodic Dipole Antenna)는 임피던스와 복사 특성이 주파수의 대수 주기적으로 반복되는 특성을 갖는 안테나로서 광대역 안테나로 가장 널리 사용되고 있다. 대수 주기 다이폴 안테나는 1961년 처음 Carrel에 의하여 처음 해석되었으며^{[1],[2]}, 이 후 안테나의 복사 특성 개선을 위한 연구가 꾸준히 이루어지고 있다^{[3]-[9]}.

대수 주기 다이폴 안테나는 설계 파라미터인 대수 주기비(scaling factor) τ 와 간격 정수(spacing constant) α , 그리고 대역폭에 따라 그 크기가 결정되며^{[1],[2]}, 양호한 정재파 특성과 비교적 높은 이득을 갖

기 위해서는 안테나의 크기가 커져야 한다. 이런 문제점을 해결하기 위해서 LPDA의 기본 소자인 다이폴 대신 여러 가지 변형된 구조의 소자를 사용한 대수 주기 안테나가 연구되어져 왔다^{[3]-[9]}. 이와 관련된 연구로는 X형 다이폴 소자를 이용한 대수 주기 X 다이폴 안테나(LPXA: Log-Periodic X Dipole Antenna)^[3], V형 다이폴 소자를 사용한 대수 주기 V 다이폴 안테나(LPVA: Log-Periodic V Dipole Antenna)^[4], 벤트 다이폴 소자를 이용한 대수 주기 벤트 다이폴 안테나(LPBDA: Log-Periodic Bent Dipole Antenna)^[5], 루프 소자를 이용한 대수 주기 루프 안테나(LPLA: Log-Periodic Loop Antenna)^[6], 그 외에 여러 가지 프랙털(fractal) 형태를 이용한 프랙털 대수

단국대학교 전자공학과(Dept. of Electronics Engineering, Dankook Univ.)

· 논문 번호 : 20071108-125

· 수정완료일자 : 2008년 2월 12일

주기 다이폴 안테나(Fractal Log-Periodic Dipole Antenna)^{(7),(8)}, 코흐 다이폴 구조를 이용한 대수 주기 코흐 다이폴 안테나(LPKDA: Log-Periodic Koch-Dipole Antenna)⁽⁹⁾ 등이 있다.

본 논문에서는 프랙털 구조를 이용한 다이폴 소자의 소형화에 주목하여 기존의 대수 주기 다이폴 안테나에서 다이폴 소자를 프랙털 칸토어(Fractal Cantor) 구조로 바꾼 대수 주기 칸토어 다이폴 안테나(이하 LPCDA: Log-Periodic Cantor Dipole Antenna 라 함)를 새롭게 제안한다. 제안한 안테나의 사용 가능성을 확인하기 위하여 주파수 1~4 GHz에서 동작하는 LPCDA를 설계하고, 기존의 LPDA와 복사 특성을 비교한다.

II. LPCDA 구성

2-1 LPDA 기본 구조

그림 1은 대수 주기 다이폴 안테나의 구조를 나타낸다. 그림에서 다이폴 소자의 길이를 결정하는 대수 주기비 τ 와 간격을 결정하는 간격 정수인 σ 는 각각 다음과 같이 주어진다⁽¹⁾.

$$\tau = \frac{L_{k+1}}{L_k} = \frac{a_{k+1}}{a_k} = \frac{R_{k+1}}{R_k} = \frac{d_{k+1}}{d_k} \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{d_k}{2L_k} = \frac{(1-\tau)\cot\alpha}{4} \quad (2)$$

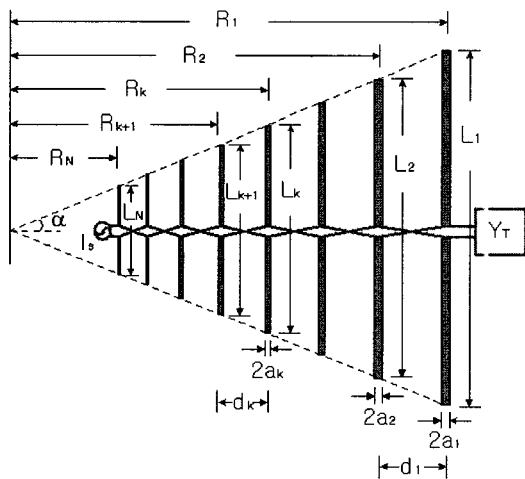


그림 1. 대수 주기 다이폴 안테나의 기하학적 구조
Fig. 1. Geometry of log-periodic dipole antenna.



그림 2. 칸토어 구조
Fig. 2. Geometry of Cantor-set.

여기서 R_k 는 LPDA의 정점으로부터 k 번째 소자까지의 거리, L_k 는 k 번째 소자의 길이, a_k 는 k 번째 소자의 반경, d_k 는 소자와 소자 사이의 간격으로 $d_k = R_k - R_{k+1}$, Y_T 는 종단 어드미턴스이고, α 는 반 개구각(half-flare angle)이다.

2-2 칸토어 구조

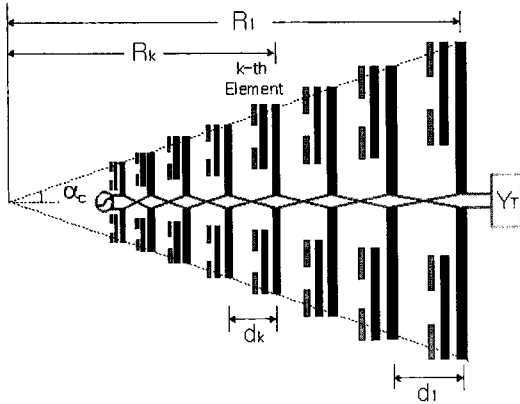
여기서는 그림 1의 LPDA에서 다이폴 소자를 칸토어 구조로 바꾸기 위해 프랙털 칸토어 구조를 고찰한다. 프랙털 구조란 기하학적 도형의 구조로서 완벽한 자기 닮음성과 무한히 확대를 해도 도형의 세부적인 특징이 없어지지 않는 구조이다. 그림 2는 칸토어 구조를 나타낸다. 맨 처음 구조를 3 등분한 뒤 가운데 구간을 제거하고 남은 한쪽 구간에 해당하는 부분을 다시 3 등분하여 확대하면 원래의 칸토어 집합의 모양이 나오며, 이 모양이 반복되는 구조이다. 이것을 등비수열로 표현하면 다음과 같이 된다⁽¹⁰⁾.

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{2^n}{3^{n+1}} = \frac{1}{3} \left(\frac{1}{1 - \frac{2}{3}} \right) = 1 \quad (3)$$

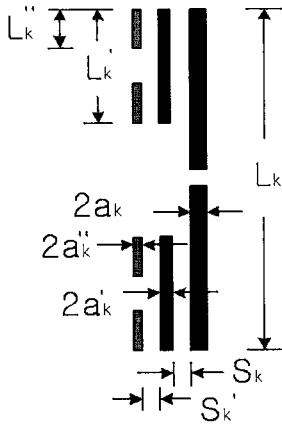
2-3 LPCDA 구조

여기서는 LPCDA의 구조를 설명한다. 그림 3은 그림 1의 LPDA의 다이폴 소자 대신 그림 2의 칸토어 구조를 사용하여 구성한 LPCDA를 나타낸다. 칸토어 구조는 이론적으로 무한히 확장되어지는 구조이지만, 이를 LPDA의 소자와 소자 사이의 공간에 적용시키기 위하여 2단의 구조로 한다. 그림 3에서 R_k , a_k , d_k , L_k 는 그림 1의 LPDA의 R_k , a_k , d_k , L_k 와 같다. LPCDA의 대수 주기비 τ 와 간격 정수 σ 도 그림 1의 LPDA 경우와 같다.

그림 3에서 L_k , L_k' 는 칸토어 집합에 의하여 각



(a) LPCDA 구조
(a) Geometry of LPCDA



(b) k번째 소자
(b) k-th element

그림 3. 대수 주기 칸토어 다이폴 안테나
Fig. 3. Log-periodic Cantor dipole antenna.

소자마다 형성되는 기생 소자들의 길이, a_k'' , a_k' 는 반경이며, S_k , S_k' 는 각각 k 번째 소자와 그 기생 소자와의 간격 및 기생 소자 간의 간격을 나타낸다.

III. LPCDA 복사 특성

3-1 VSWR 특성

여기서는 새롭게 제안한 LPCDA의 복사 특성을 고찰한다. 이를 위하여 LPDA와 LPCDA를 FR-4 기판($\epsilon_r = 4.4$, 기판 두께 1.6 mm)에 구성하고, 구조 파라미터를 변화시키면서 특성을 비교한다. 특성 도출을 위하여 CST Microwave Studio를 사용한다.

표 1. 안테나 파라미터
Table 1. Antenna parameter.

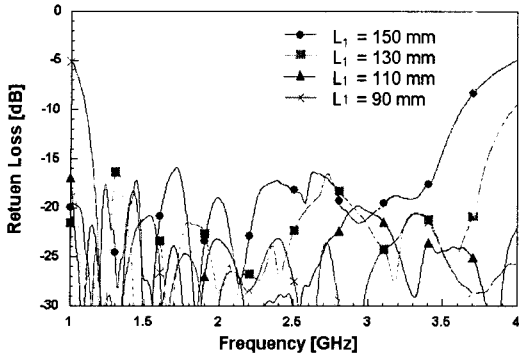
구분	LPDA	LPCDA				
f_L (GHz)	1	1				
f_U (GHz)	4	4				
Scaling factor(τ)	0.85	0.85				
Spacing factor(σ)	0.15	0.15	0.173	0.205	0.25	
L_1 (mm)	150	150	130	110	90	
Y_T	0	0				
$2a_1$ (mm)	6	6				
$2a_1' = 2a_1''$ (mm)		4, 6, 8				
$S_k = S_k'$ (mm)		0.8, 0.9, 1				

표 1은 복사 특성 비교를 위한 LPDA와 LPCDA의 구조 파라미터이다. 사용 주파수 범위는 1~4 GHz이고, LPDA의 대수 주기비는 0.85, 간격 정수는 0.15이다. 이때 안테나 소자의 개수 및 소자의 길이는 Carrel의 LPDA 구조 설계식^[2]을 사용하여 구하였다. 설계된 안테나의 소자 수는 14개이며, 가장 긴 소자의 길이는 150 mm이다.

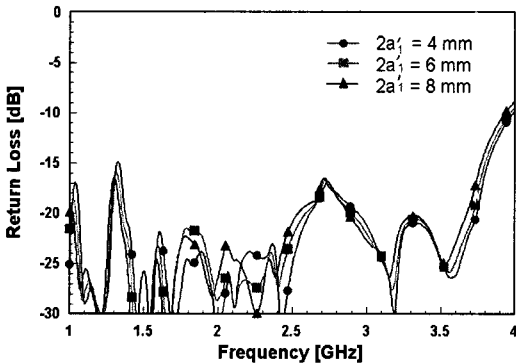
그림 4(a)는 표 1에서 LPCDA의 가장 긴 소자의 길이 L_1 을 LPDA의 $L_1 = 150$ mm 대비 150($\sigma = 0.15$), 130($\sigma = 0.173$), 110($\sigma = 0.205$), 90($\sigma = 0.25$) mm로 변화시키면서 계산한 반사 손실을 나타낸다. $2a_1$ 은 6 mm, $2a_1'$, $2a_1''$ 는 모두 4 mm, 소자와 기생 소자의 간격 S_k , S_k' 는 모두 1 mm이다. L_1 이 150 mm일 때 저주파에서 반사 손실이 낮게 나타나지만 높은 주파수에서 높게 나타난다. 반대로 90 mm일 때는 낮은 주파수에서 반사 손실이 높게 나타나고, 높은 주파수에서 낮게 나타난다. 이로부터 가장 긴 소자의 길이 L_1 을 적절히 선택하면 정재파 특성을 개선할 수 있을 것으로 생각된다.

그림 4(b)는 L_1 을 130 mm, 가장 긴 소자의 $2a_1$ 은 6 mm로 하고, 칸토어 소자인 기생 소자의 폭 $2a_1'$ 와 $2a_1''$ 모두 똑같이 4, 6, 8 mm로 변화시키면서 계산한 반사 손실을 나타내었다. 그림에서 $2a_1'$ 와 $2a_1''$ 의 변화에 따른 반사 손실의 변화가 거의 없음을 알 수 있다.

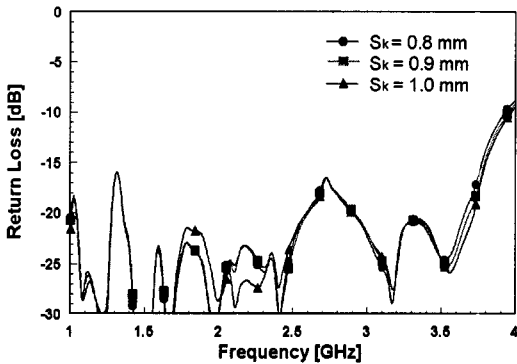
그림 4(c)는 L_1 을 130 mm, $2a_1$ 은 6 mm, $2a_1'$ 와 $2a_1''$ 모두 4 mm 하고 기생 소자 사이의 간격 S_k



(a) 다이폴 소자의 길이
(a) Length of dipole element



(b) 기생 소자의 폭
(b) Width of parasitic element



(c) 다이폴과 기생 소자와 간격
(c) Gap between dipole and parasitic element

그림 4. LPCDA의 계산된 반사 손실
Fig. 4. Calculated return loss of LPCDA.

와 S_k 를 0.8, 0.9, 1 mm로 변화시키면서 계산한 반사 손실이다. 기생 소자의 간격에 따른 반사 손실 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 그림 4로부터

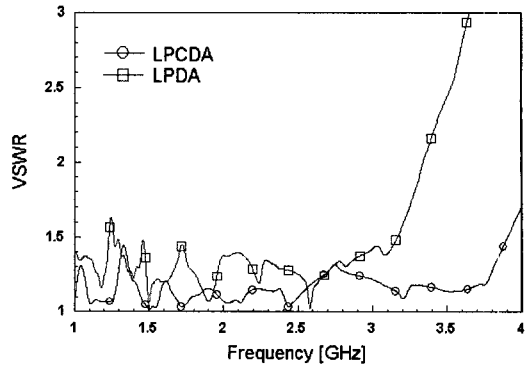


그림 5. 계산된 VSWR
Fig. 5. Calculated VSWR.

LPCDA의 반사 손실 특성은 가장 긴 소자의 길이 L_1 이 LPDA의 가장 긴 소자 길이 L_1 에 대하여, 얼마만큼 작은가에 관계함을 알 수 있다.

그림 5는 표 1의 LPDA와 $L_1=130$ mm, $2a_{1'}=6$ mm, $2a'_{1'}=2a''_{1'}=4$ mm, $S_k=S'_k=1$ mm인 LPCDA의 계산된 VSWR를 나타낸 것이다. LPCDA가 LPDA보다 우수한 특성을 보이고 있다.

3-2 복사 패턴

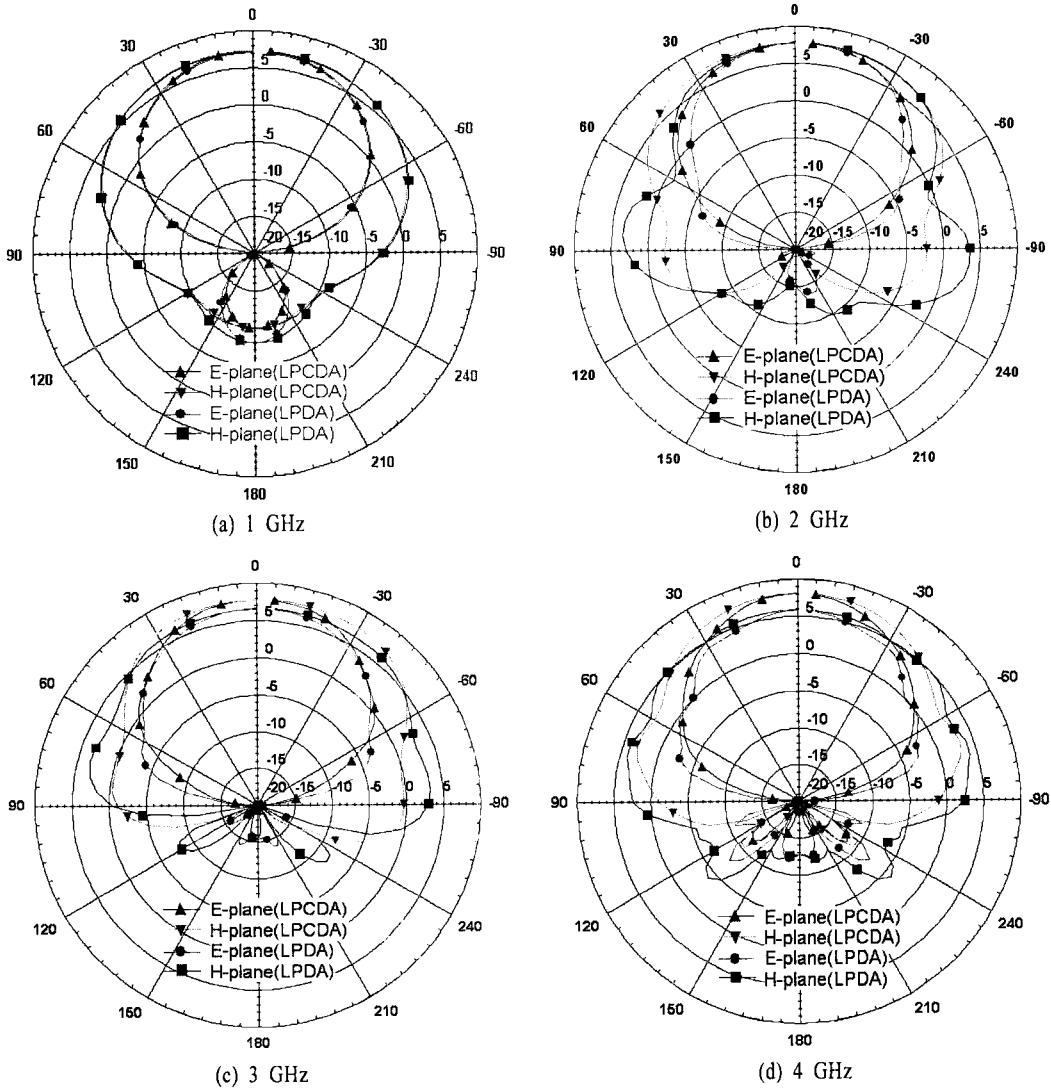
그림 6은 LPCDA의 계산된 복사 패턴으로 LPDA의 복사 패턴과 비교하여 나타내었다. 복사 패턴 계산에 사용된 구조는 그림 5의 VSWR 계산 시 사용된 구조와 동일하다. LPDA의 복사 패턴과 비교할 때 복사 패턴 형상에 있어 거의 차이가 없음을 알 수 있다.

그림 7은 LPCDA와 LPDA의 이득을 계산하여 비교한 것이다. 이득 계산에 사용된 구조는 그림 5의 VSWR 계산 시 사용된 구조와 동일하다. LPCDA가 소자의 길이가 줄어들었음에도 불구하고 오히려 높은 주파수에서는 이득이 크게 나타나고 있다.

이로부터 L_1 을 적절히 선택하면 LPCDA가 LPDA보다 우수한 특성을 가질 수 있을 것으로 생각된다. 또한, LPCDA의 이득 측정치는 계산치와 유사한 것으로 나타났다.

IV. 제작 및 측정

그림 8은 본 논문에서 설계 제작된 LPCDA를 나



(a) 1 GHz

(b) 2 GHz

(c) 3 GHz

(d) 4 GHz

그림 6. 계산된 복사 패턴

Fig. 6. Calculated radiation pattern.

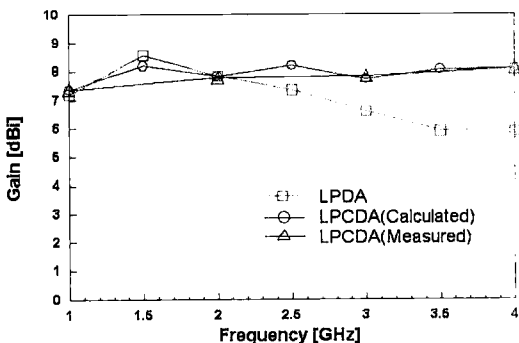


그림 7. 이득 비교

Fig. 7. Comparison of gain.

타낸다. 안테나는 FR-4 기판에 구성되어 있다. 표 2는 제작된 안테나의 파라미터이다.

그림 9는 제작된 LPCDA의 측정된 VSWR을 나타낸다. 사용 주파수 전 대역에서 VSWR 2 이하를 보이고 있으나, 그림 5의 계산된 VSWR과 비교할 때 약간 높게 나타나고 있다. 이는 안테나의 입력단과 동축 케이블 접속 및 안테나를 가로지르는 동축 케이블의 영향으로 생각된다.

그림 10은 LPCDA의 계산된 복사 패턴(co-pol. pattern)과 측정된 복사 패턴(co-pol. pattern)을 비교하여 나타낸 것이다. 전대역에서 계산치와 측정치가

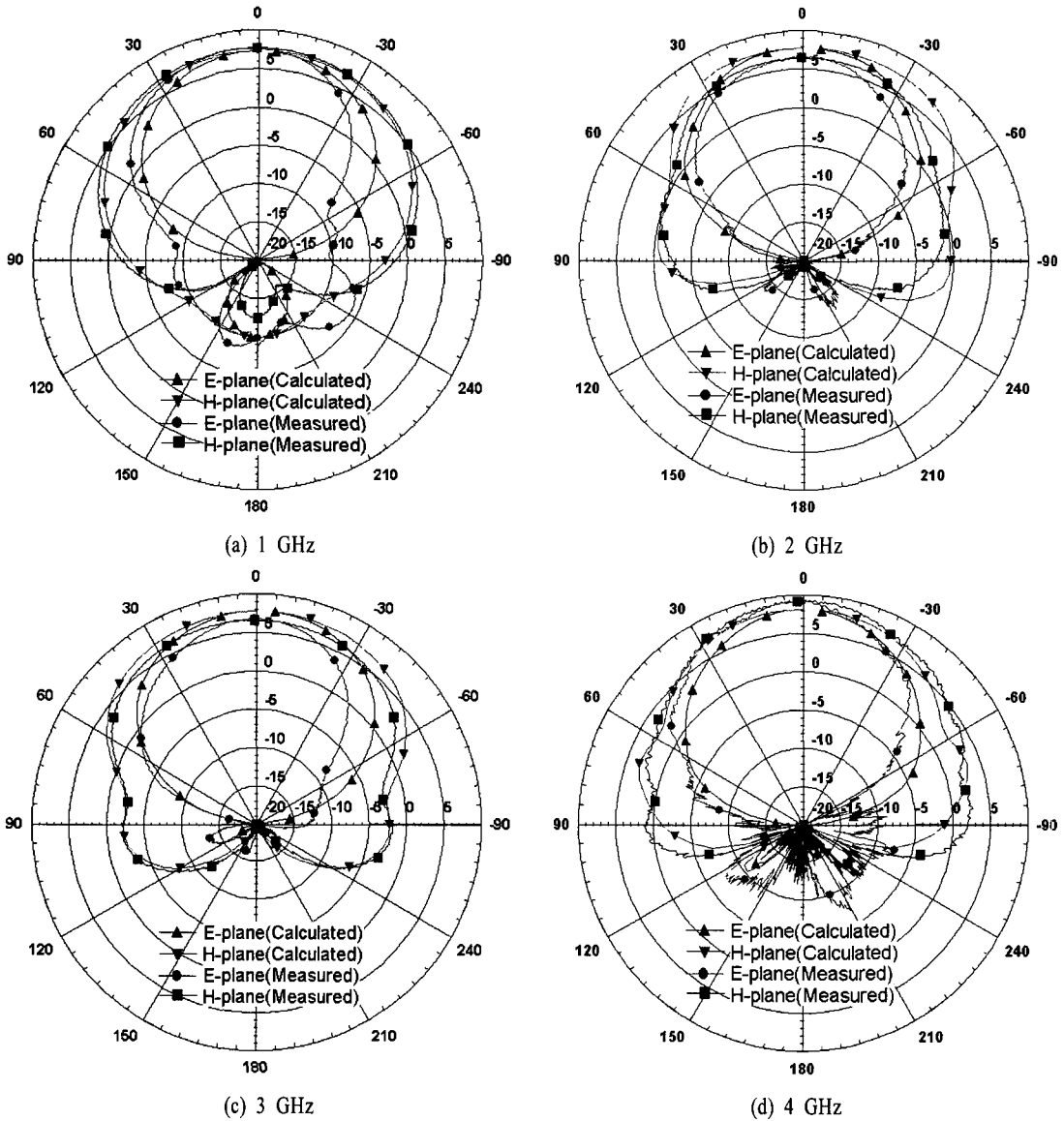


그림 10. LPCDA의 복사 패턴
Fig. 10. Radiation pattern of LPCDA.

서로 유사하게 나타나고 있다. 1~4 GHz 범위에서 E 면 빔 폭은 $55.3^{\circ} \sim 64.8^{\circ}$ (계산치: $58.5^{\circ} \sim 68.1^{\circ}$), H 면 빔 폭은 $77.4^{\circ} \sim 112.6^{\circ}$ (계산치: $83.6^{\circ} \sim 108.9^{\circ}$)로 측정되었다. 그림에서 안테나 이득도 측정치와 계산치가 거의 비슷하게 나타나고 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 대수 주기 다이폴 안테나의 소형

화에 주목하여 기존의 대수 주기 다이폴 안테나에 프렉털 구조 중의 하나인 칸토어 구조를 이용하여, 각각의 다이폴 소자에 기생 소자를 배열함으로써 안테나의 보다 간단한 소형화를 제안하였다. 제안한 안테나의 사용 가능성을 확인하기 위하여 1~4 GHz 주파수 대역에서 동작하는 안테나를 설계 제작하여 복사 특성을 확인하였다. 그 결과, 제안된 LPCDA는 기존의 LPDA에 비하여 기생 소자를 이용하여 소자 길이를 13.3%의 소형화를 한 상태에서 상한 주파수

표 2. 제작 안테나 파라미터

Table 2. Fabricated antenna parameter.

구분	LPCDA
f_L (GHz)	1
f_H (GHz)	4
Scaling factor(τ)	0.85
Spacing factor(σ)	0.173
L_1 (mm)	130
Y_T	0
$2a_1$ (mm)	6
$2a'_1 = 2a''_1$ (mm)	4
$S_k = S'_k$ (mm)	1

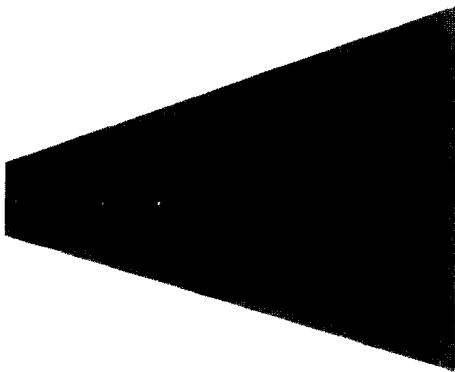


그림 8. 제작된 LPCDA
Fig. 8. Fabricated LPCDA.

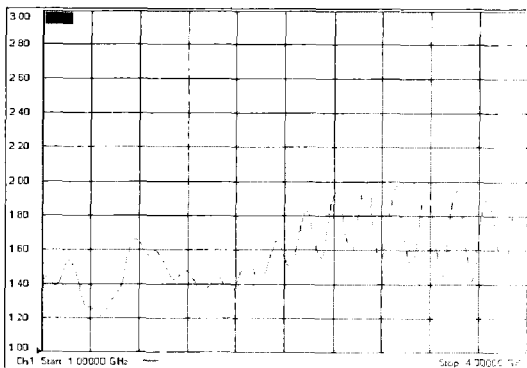


그림 9. LPCDA의 측정된 VSWR
Fig. 9. Measured VSWR of LPCDA.

부근에서 이득은 약 2 dB 증가하고, VSWR은 2 이하를 만족하였다.

참고 문헌

- [1] R. Carrel, "An analysis of the log-periodic dipole antenna", *10th Annual Symposium on the USAF Antenna R&D Program*, Oct. 1960.
- [2] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, ch. 10, Happer & Row, New York, 1982.
- [3] H. K. Choi, "Analysis and characteristic of log-periodic X dipole antenna", *JKEES*, vol. 10, no. 3, pp. 329-339, Jun. 1999.
- [4] K. K. Chen, P. Silvester, "Analysis of log-periodic V-dipole antenna", *IEEE Trans. on Antenna and Propagat*, vol. AP-23, pp. 397-401, May 1975.
- [5] 최학근, 김선표, 임성빈, "대수 주기 벤트 다이폴 안테나의 복사 특성", *한국전자파학회논문지*, 14 (11), pp. 1207-1215, 2003년 11월.
- [6] B. Rojarayanont, T. Sekiguchi, "A study on log-periodic loop antennas", *Trans, IECE Japan*, J60-B, pp. 583-589, 1977.
- [7] M. Sindou, G. Ablart, and C. Sourdois, "Multiband and wideband properties of printed fractal branched antennas", *IEE Electronics Letters*, 4th, vol. 35, no. 3, Feb. 1999.
- [8] Qiu Jinghui, Lin Shu, Yang Caitian, and You Qidi, "A novel printed fractal log-periodic dipole antenna", *IEEE, Russia Conference*, 5th MEMIA, 2005.
- [9] D. E. Anagnostou, J. Papapolymeros, C. G. Christodoulou and M. Tentzeris, "A small planar log-periodic koch-dipole antenna(LPKDA)", *IEEE Antennas and Propagation Society, International Symposium 2006*.
- [10] Richard Courant, Herbert Robbins, *What Is Mathematics*, 2nd Ed., Oxford University Press, pp. 499-500, 1996.

엄 선 용



2006년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)

2006년 3월~현재: 단국대학교 전자공학과 석사과정

2007년 12월~현재: (주)EMW안테나 연구원

[주 관심분야] 안테나 및 전파전파,

마이크로파 회로

최 학 근



1979년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)

1981년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)

1988년 8월: 고려대학교 전자공학과 (공학박사)

1991년 3월~현재: 단국대학교 전

자공학과 교수

1989년 3월~현재: (주)하이게인안테나 기술고문

2006년 7월~현재: 단국대학교 공학교육혁신센터장

[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 마이크로파회로