

Inverted-L 형태의 다이폴 소자를 이용한 소형 LPDA 안테나 설계

중신회원 여준호*, 정회원 이종익**

Design of a Compact LPDA Antenna using Inverted-L Shaped Dipole Elements

Junho Yeo* *Lifelong Member*, Jong-Ig Lee**° *Regular Member*

요약

본 논문에서는 1~6GHz 대역에서 동작하는 소형 대수 주기 다이폴 배열 (LPDA: Log-periodic Dipole Array) 안테나에 관해 연구하였다. LPDA 안테나의 폭을 소형화하기 위해 역(inverted)-L 형태의 다이폴 소자를 사용하였고, 전체 길이를 줄이기 위해 각 다이폴 소자 간의 간격을 줄였다. 역-L 형태의 다이폴 소자의 top-loading 길이를 증가시킬수록 LPDA 안테나의 폭을 더 줄일 수 있으나, 대역폭과 이득은 상대적으로 감소함을 알 수 있었다. 최종 제작된 소형 LPDA 안테나는 FR4(비유전율 4.4, 두께 1.6 mm) 기판 상에 제작되었고, 표준 LPDA 안테나와 비교하여 폭이 32%, 길이가 49% 줄어들었다. 측정된 이득은 1~6GHz 대역에서 1~3.1 dBi 범위에 있다.

Key Words : Log periodic dipole array (LPDA) antenna, Compact antenna, Inverted-L shaped dipole elements

ABSTRACT

In this paper, a compact log periodic dipole array (LPDA) antenna operating from 1 to 6 GHz is studied. Inverted-L shaped dipole elements are used to miniaturize the lateral size of an LPDA antenna and the spacing factor is also decreased to reduce the total length of the LPDA antenna. As the top-loading length of the inverted-L shaped dipole elements is increased, the width of the LPDA antenna is decreased but the bandwidth and the gain of the antenna are decreased. The fabricated compact LPDA antenna is printed on FR4 substrate with a dielectric constant of 4.4 and a thickness of 1.6 mm, and its size is reduced to 32% in width and 49% in length compared to a standard LPDA antenna.

1. 서론

무선 통신 기술과 서비스가 발전함에 따라, 현재 제공되고 있는 다양한 무선 통신 서비스와 앞으로 가지 화되고 있는 방송통신 융합서비스를 하나의 이동통신 단말기로 수용하기 위해서는 여러 주파수 대역의 신호를 하나의 안테나로 송수신할 수 있는 다중 대역 (multi-band) 안테나 기술이나 음성 및 멀티미디어 용

용의 대용량 고속 데이터 처리를 위하여 광대역 (wideband) 안테나 기술이 요구되고 있다^[1].

광대역 안테나는 그 용도에 따라 UWB (Ultra-wideband) 통신, 지반탐사레이더 (GPR: Ground Penetrating Radar), EMI/EMC 측정용, 다중 대역, 방향 탐지 등에 이용되고 있다. 광대역 안테나의 종류는 모노폴 (monopole), 다이폴 (dipole), 원뿔형 안테나, 보우타이 (bow-tie) 안테나, 루프 (loop) 안테나 등과 같은

* 대구대학교 정보통신공학부(jyeo@daegu.ac.kr), ** 동서대학교 전자공학과 (leeji@dongseo.ac.kr), (° : 교신저자)
 논문번호 : KICS2011-03-149, 접수일자 : 2011년 3월 15일, 최종논문접수일자 : 2011년 7월 5일

요소 안테나 (element antenna), 진행파 (traveling-wave) TEM 안테나, 대수 주기 (log-periodic) 안테나, 스파이럴 (spiral) 안테나 등과 같은 주파수 독립 (frequency-independent) 안테나 등으로 나눌 수 있다. 요소 안테나는 UWB 통신 등에 필요한 소형 안테나로서 많이 사용되며, 진행파 안테나는 EMI/EMC 측정용으로 주로 사용된다. 주파수 독립 안테나는 EMI/EMC 측정용과 방향 탐지용으로 다양하게 사용되고 있다²⁾.

특히 최근에는 무선통신의 수요가 급증함에 따라 회소 자원인 전파의 효율적 사용과 신규 무선 통신 서비스 도입을 촉진하기 위해 다양한 전파측정 시스템이 구축되고 있다. 이러한 전파측정 시스템은 전파원 위치를 추적하기 위한 방향 탐지 시스템으로서 일반적으로 광대역 배열 안테나를 사용하며, 사람이 휴대하기 위해서는 소형 지향성 안테나를 사용하고 있다. 휴대용 소형 지향성 안테나로는 광대역 안테나 중에서 넓은 주파수 대역에서 비교적 높은 이득을 제공하는 대수 주기 다이폴 배열 (LPDA: Log-periodic Dipole Array) 안테나가 많이 사용되고 있다. LPDA 안테나의 소형화를 위해서는 다이폴의 끝에 top-loading 을 하는 방법³⁾과 Fractal tree, Koch, meander-line 등과 같은 프랙탈 구조를 다이폴에 적용하는 방법⁴⁻⁷⁾ 등이 있으나 top-loading의 길이에 따른 LPDA 안테나의 입력 임피던스와 이득의 변화에 대한 분석이 되어 있지 않다.

본 논문에서는 LPDA 안테나를 소형화하기 위해 역-L(inverted-L) 형태의 다이폴 소자를 이용하는 방법을 제안하였고, 역-L 형태의 다이폴 소자의 top-loading 길이에 따른 LPDA 안테나 크기, 대역폭과 이득을 표준 LPDA 안테나와 비교하였다.

II. LPDA 안테나 설계 및 소형화

2.1 일반적인 LPDA 안테나 설계

대표적인 광대역 안테나의 하나인 LPDA 안테나는 임피던스와 복사 특성이 주파수의 대수 주기적으로 반복되는 특성을 가지며, 1961년 Carrel에 의해 처음 해석되었다⁸⁾. LPDA 안테나는 설계 파라미터인 확장 계수(scale factor) τ , 간격계수(spacing factor) σ , 그리고 안테나의 동작 주파수 대역폭에 의해 그 크기가 결정되며, 급전선과의 좋은 임피던스정합특성과 비교적 높은 이득을 갖기 위해서는 안테나의 크기가 커져야 한다.

LPDA 안테나는 배열 축 상에 선형 다이폴들을 평

행하게 순차적으로 배열한 형태로서, Yagi-Uda 안테나와 비슷한 지향성을 가지나 훨씬 더 넓은 대역폭을 얻을 수 있다. LPDA 안테나에서는 동작주파수별로 반 파장 길이의 다이폴에 인접한 수 개의 다이폴들이 Yagi-Uda 안테나의 반사기(reflector), 여진기(driver), 도파기(director)처럼 동작한다. 그러므로 방사는 배열 축 방향으로 이루어지며, 동작주파수의 한계는 가장 짧은 다이폴과 가장 긴 다이폴의 길이에 의해 결정된다⁹⁻¹⁰⁾.

일반적인 LPDA 안테나의 구조는 그림 1에 나타나 있으며, 확장계수 τ 와 간격계수 σ 는 다음 식과 같이 주어진다⁸⁾.

$$\tau = \frac{l_{n-1}}{l_n} = \frac{w_{n-1}}{w_n} = \frac{d_{n-1}}{d_n} \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{d_{n-1}}{2l_n} = \frac{1-\tau}{4\tan(\alpha)} \quad (2)$$

여기에서 l_n 은 n번째 다이폴 소자의 길이, w_n 은 n번째 다이폴 소자의 폭, d_{n-1} 은 n번째 다이폴 소자와 n-1번째 다이폴 소자 간의 간격, α 는 LPDA의 중심선과 다이폴 소자들의 끝이 이루는 각이다.

먼저 위의 LPDA 안테나 설계 공식을 이용하여 1~6 GHz 대역에서 8 dBi의 지향성을 가지는 표준 LPDA를 설계한다. 이를 위해 확장계수 $\tau=0.85$, 간격계수 $\sigma=0.15$ 로 정하였다. 1~6 GHz 대역에서 동작하기 위해 필요한 다이폴 안테나 소자의 수는 Carrel의 설계 식으로부터 16개이다⁸⁾. LPDA 안테나는 제작을 위해 비유전율 $\epsilon_r=4.4$ 이고 두께 1.6 mm인 FR4 기판상에 설계되었고, 가장 긴 다이폴 소자의 길이는 가장 낮은 동작주파수인 1 GHz의 반파장 길이보다 조금 작은 130mm로 정하였다. 다른 LPDA

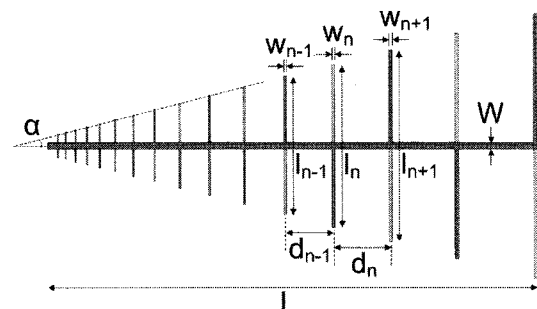


그림 1. 일반적인 LPDA 안테나 구조
Fig. 1. Geometry of a general LPDA antenna.

안테나의 설계 변수들은 위의 설계 공식을 이용하여 계산되었고 전체 LPDA 안테나의 길이는 244 mm이다.

2.2 LPDA 안테나 소형화

그림 2에는 역-L 형태의 다이폴 소자로 구성된 소형 LPDA 안테나의 구조가 나타나 있다. 그림 1의 일반적인 LPDA 안테나 구조와 비교했을 때 다이폴 소자의 끝에 가장 작은 다이폴 소자 방향으로 90도 꺾인 top-loading 소자가 추가되어 전체적인 모양이 역-L 형태로 바뀌었다. 추가된 top-loading 소자의 길이는 t_n 이다.

Top-loading 소자의 길이 t_n 에 따른 LPDA 안테나의 입력 반사계수와 입력 임피던스가 그림 3과 그림 4에 나타나 있다. Top-loading 소자의 길이는 각 다이폴 소자의 길이에 비례하며, $t_n = 0$ 일 때는 일반적인

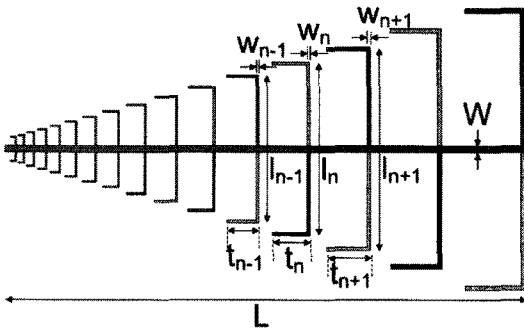


그림 2 역-L 형태의 다이폴 소자로 구성된 LPDA 안테나 구조
Fig. 2. Geometry of an LPDA antenna with inverted-L shaped dipole elements.

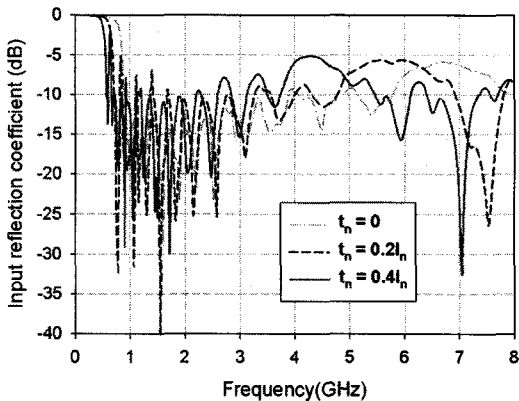
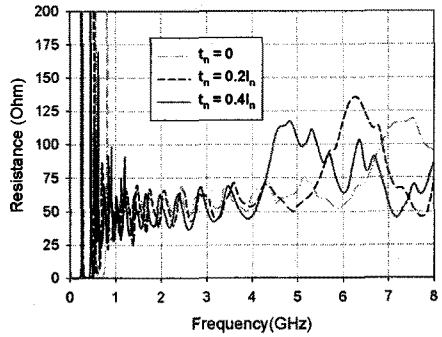
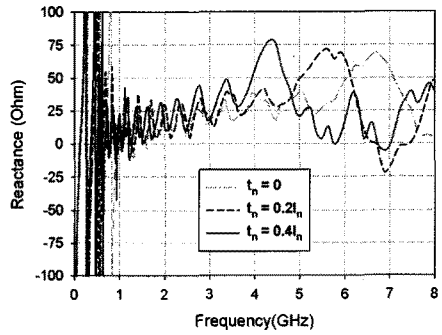


그림 3. Top-loading 소자의 길이에 따른 LPDA 안테나의 입력 반사계수 특성
Fig. 3. Input reflection coefficient characteristics of the LPDA antenna as a function of top-loading element length.



(a)



(b)

그림 4. top-loading 소자의 길이에 따른 LPDA 안테나의 입력 임피던스 특성: (a) real part, (b) imaginary part
Fig. 4. Input impedance characteristics of the LPDA antenna vs. top-loading element length: (a) real part and (b) imaginary part.

LPDA 안테나이다. 모든 시뮬레이션 결과는 CST Microwave Studio (MWS)를 이용하여 계산하였다. t_n 이 증가할수록 LPDA 안테나의 가장 낮은 동작 주파수가 저주파수 대역으로 이동하지만, 임피던스 정합 특성이 나빠지고 대역폭이 줄어들음을 알 수 있다.

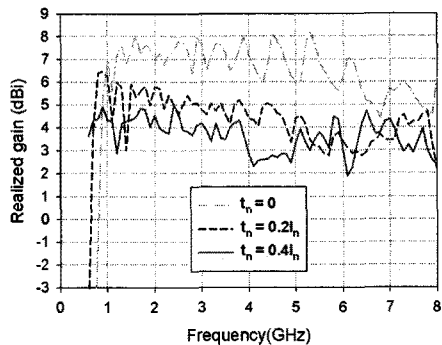


그림 5. Top-loading 소자의 길이에 따른 LPDA 안테나의 이득 특성
Fig. 5. Realized gain characteristics of the LPDA antenna as a function of top-loading element length.

그림 5에는 top-loading 소자의 길이 t_n 에 따른 LPDA 안테나의 이득 특성이 나타나 있다. 마찬가지로 t_n 이 증가할수록 동작 주파수는 저주파수 대역으로 이동하나, 이득이 줄어들음을 알 수 있다.

III. 소형 LPDA 안테나 제작 및 측정결과

그림 6은 FR4 기판($\epsilon_r = 4.4$, 두께 = 1.6 mm, loss tangent = 0.025)에 제작된 역-L 형태의 다이폴 소자로 구성된 소형 LPDA 안테나를 나타내고 있으며, 동축선로로 급전되었다. top-loading 소자의 길이 $t_n = 0.4l_n$ 이고, LPDA 안테나의 전체 길이를 줄이기 위해 간격계수 σ 를 0.106으로 줄였다. 이것은 원래 간격계수 0.15를 $\sqrt{2}$ 로 나눈 값이다. 제작된 소형 LPDA 안테나의 폭은 88mm이고 길이는 125 mm이며, 일반적인 LPDA 안테나의 크기(130mm×244mm)와 비교할 때 폭은 49%, 길이는 32% 줄어들었다.

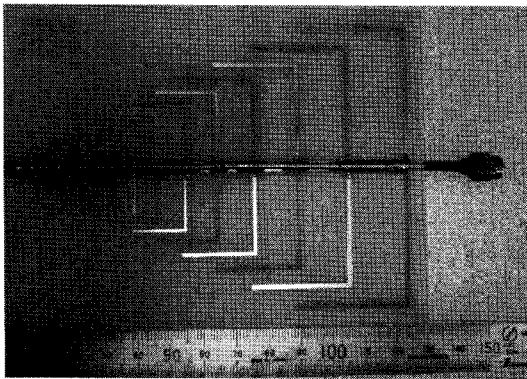


그림 6. 제작된 소형 LPDA 안테나 사진
Fig. 6. Photograph of a fabricated compact LPDA antenna.

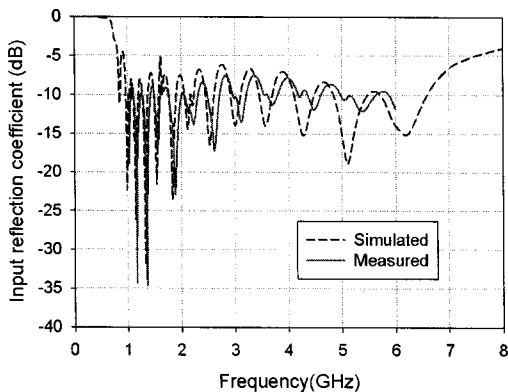


그림 7. 제작된 소형 LPDA 안테나의 입력 반사계수 특성
Fig. 7. Input reflection coefficient characteristics of the fabricated compact LPDA antenna.

제작된 소형 LPDA 안테나의 입력 반사계수 특성을 시뮬레이션 결과와 비교한 그래프가 그림 7에 나타나 있으며 유사한 경향을 나타내고 있다. 그림 8에는 안테나의 이득 특성을 비교하고 있다. 시뮬레이션한 이득은 1.1~4.8 dBi 범위에 있으며, 측정된 이득은 1~3.1 dBi 범위에 있다.

그림 9는 2 GHz와 4 GHz에서 소형 LPDA 안테나의 E-면과 H-면 복사 패턴을 비교하고 있다. 측정된

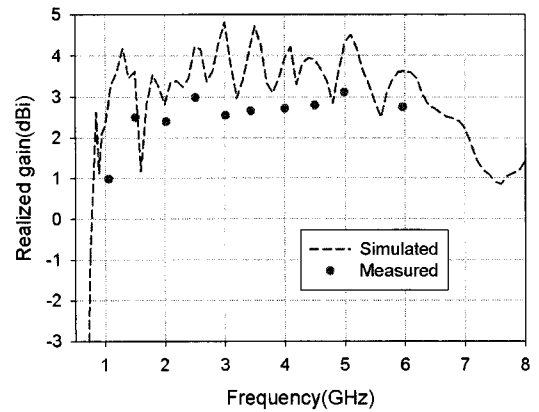


그림 8. 제작된 소형 LPDA 안테나의 이득 특성
Fig. 8. Realized gain characteristics of the fabricated compact LPDA antenna.

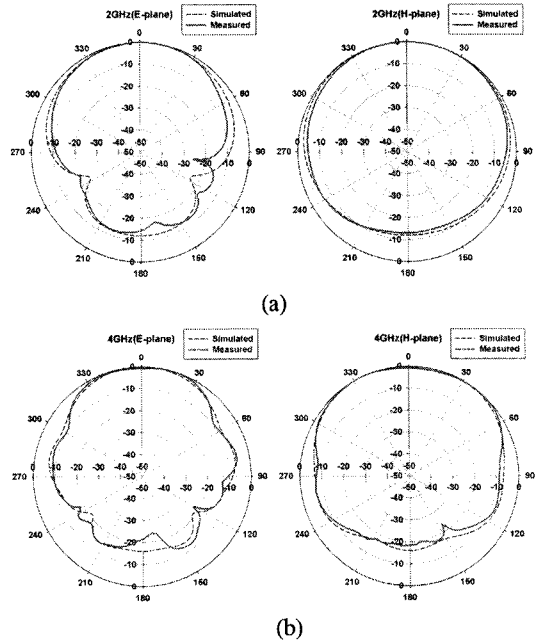


그림 9. 제작된 소형 LPDA 안테나의 복사패턴: (a) 2 GHz, (b) 4 GHz
Fig. 9. Radiation patterns of the fabricated compact LPDA antenna: (a) 2 GHz and (b) 4 GHz.

복사패턴은 시뮬레이션 결과와 잘 일치하며, 2 GHz 와 4 GHz에서 E-면 빔 폭은 각각 89도와 78도, H-면 빔 폭은 142도와 127도로 측정되었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 역-L 형태의 다이폴 소자를 사용하여 1~6GHz 대역에서 동작하는 소형 대수 주기 다이폴 배열 (LPDA) 안테나에 관해 연구하였다. 역-L 형태의 다이폴 소자의 top-loading 길이를 증가시킬수록 LPDA 안테나의 폭을 더 줄일 수 있으나, 대역폭과 이득은 상대적으로 감소함을 알 수 있었다. 제작된 소형 LPDA 안테나는 FR4 기판 상에 제작되었고, 표준 LPDA 안테나와 비교하여 폭이 32%, 길이가 49% 줄어 들었다.

제안된 소형 LPDA 안테나는 전파 스펙트럼 측정 을 위한 휴대용 방향탐지용 안테나로 사용될 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 최재훈, "특집 편집기 - 안테나 기술 동향", 한국 전자과학기술지 전자과학기술, 제20권, 제6호, pp. 1-2, 2009년 11월.
- [2] 김종규, 허유강, 조영기, "UWB 안테나 기술동향", 한국전자과학기술지 전자과학기술, 제13권 제3호, pp.24-32, 2002년 7월.
- [3] M. Pirai and H. R. Hassani, "Size reduction of microstrip LPDA antenna with top loading," *IEICE Electronics Express*, vol. 6, no. 21, 1528-1534, 2009.
- [4] Q. Jinghui, L. Shu, Y. Caitian, and Y. Qidi, "A novel printed fractal log-periodic dipole antenna," *5th International Conference on Microwave Electronics: Measurements, Identification, Applications (MEMIA'05)*, pp.50-53, 2005.
- [5] B. Wang, A. Chen, and D. Su, "An improved fractal tree log-periodic dipole antenna," *Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility 2008 (APEMC 2008) and 19th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility*, pp.831-834, 2008.
- [6] D. E. Anagnostou, J. Papapolymerou, M. M. Tentzeris, and C. G. Christodoulou, "A printed log-periodic Koch-dipole array (LPKDA),"

IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol.7, pp.456-460, 2008.

- [7] A. A. Gheethan and D. E. Anagnostou, "Reduced size planar log-periodic dipole arrays (LPDAs) using rectangular meander line elements," *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, pp.1-4, 2008.
- [8] R. L. Carrel, "The design of log periodic dipole antenna," *Proc. IRE Int. Convention Rec.*, 1961, pp.61-75, pt. 1.
- [9] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, *Antenna theory and design*, 2nd ed., Wiley, 1998.
- [10] C. A. Balanis, *Antenna theory - Analysis and design*, 3rd ed., Wiley-Interscience, 2005.

여 준 호 (Junho Yeo)

종신회원



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 박사후과정
 2004년 8월~2007년 2월 한국전자통신연구원 RFID 시스템연구팀 선임연구원
 2007년 3월~현재 대구대학교 정보통신공학부 조교수 <관심분야> AMC, EBG, FSS 설계 및 안테나 응용, RFID 및 광대역 안테나, 전자파 산란

이 증 익 (Jong-Ig Lee)

정회원



1992년 2월 경북대학교 전자공학과 (공학사)

1994년 2월 경북대학교 전자공학과 (공학석사)

1998년 8월 경북대학교 전자공학과 (공학박사)

1998년 3월~1998년 12월 금

오공과대학교 연구교수
 1999년 3월~현재 동서대학교 전자공학과 부교수 <관심분야> 전자파 산란, 평면안테나