

재난안전 통신망 서비스를 위한 대수 주기 다이폴 배열 안테나의 소형화

Miniaturization of Log-Periodic Dipole Array Antenna for PS-LTE Service

전 후 동 · 허 수 영* · 고 지 환

Hoo-Dong Jeon · Soo-Young Heo* · Ji-Hwan Ko

요 약

본 논문에서는 재난안전 통신망(Public Safety LTE: 698~806 MHz) 서비스를 위하여 대수 주기 다이폴 배열(Log-Periodic Dipole Array) 안테나의 소형화 구조를 제안하였다. LPDA 안테나를 소형화하기 위하여 배열 다이폴에 반복성 프랙털 나무(fractal tree) 소자를 새롭게 추가하여 배열 다이폴의 길이를 단축하였다. 그 결과, 전형적인 LPDA 안테나와 비교하여 약 25 % 정도 소형화 되었다. 제안한 LPDA 안테나 설계 규격을 검증하기 위하여 두께가 1.5 mm인 알루미늄을 사용하여 실제 제작 및 성능을 측정하였으며, 계산 결과와 비교적 양호한 결과를 얻었다.

Abstract

In this paper, we proposed the miniaturized structure of the Log-Periodic Dipole Array(LPDA) antenna for PS-LTE(Public Safety-Long Term Evolution) service. The length of array dipole was shortened by adding a fractal tree element with iteration to the array dipole to miniaturize the LPDA antenna. As the result, the proposed LPDA antenna was reduced up to 25 %, compared a typical LPDA antenna. To validation of the proposed LPDA antenna specification, the proposed LPDA antenna is fabricated using aluminum with 1.5 mm thickness and performances are measured. Comparison between simulation result and experiment shows good agreement.

Key words: PS-LTE, Miniaturization, Iteration

I. 서 론

현재 재난안전 통신망은 한국, 영국, 미국 등에서 PS-LTE(Public Safety-LTE) 기술을 기반으로 재난안전 통신 수요에 대응하고 있다. 우리나라는 현재 구축계획 중인 철도망(LTE-R), 연근해 통신망(LTE-M)과 통합 운영할 예

정이며, 2017년에 전국망 구축을 목표로 하고 있다^[1]. 재난안전통신망은 경찰, 소방 또는 의료 등의 공공안전 업무를 위한 통신서비스를 제공하는 네트워크이며, 사용 주파수는 698~806 MHz 대역의 20 MHz(상향 718~728 MHz, 하향 773~783 MHz)이다. 본 논문에서는 700 MHz 대역에 서비스를 위한 사업자가 요구하는 제한된 안테나

「이 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 지원된 논문임.」

금오공과대학교 전자공학부(School of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology)

*(주)하이게인 안테나(High Gain Antenna Co., Ltd.)

· Manuscript received January 16, 2017 ; Revised March 13, 2017 ; Accepted March 13, 2017. (ID No. 20170116-002)

· Corresponding Author: Ji-Hwan Ko (e-mail: kojh@kumoh.ac.kr)

의 크기에 맞추기 위한 대수 주기 다이폴 배열(Log-Periodic Dipole Array) 안테나를 소형화하여 제안하였다.

LPDA 안테나는 주기적으로 다이폴을 배열한 안테나로 광대역 및 지향성 방사특성을 갖고 있다. 1957년 G. H. DuHammel과 D. E. Isabell이 제안하였고, 1961년 Carrel에 의해 해석되었다^[2]. LPDA 안테나는 주로 방송 수신 안테나, 이동통신 중계기 안테나 등 광대역으로 동작하고, 지향성을 갖는 방사특성이 요구되는 곳에 다양하게 사용되고 있다^[3]. 안테나의 소형화를 위한 방법으로는 여러 가지가 연구되어져 왔다. 예로서 벤트 다이폴, 코흐 다이폴, 칸토어 코흐 다이폴 등이 있다^{[4]~[6]}. 기존의 소형화 방법으로 설계된 LPDA 안테나에서 벤트 다이폴의 경우 약 20%의 소형화율을 보였고, 반복성을 이용한 코흐 다이폴, 칸토어 코흐 다이폴은 각각 13.3%, 18.3%의 소형화율을 가진다.

본 논문에서는 좀 더 소형화를 위해 전형적인 LPDA 안테나에서 반복성을 이용한 프랙털 나무(fractal tree) 형태에 새롭게 추가한 소자를 "L"자 모양으로 변형하여 새로운 소형화 방법을 제안하였다. 이를 확인하기 위해 먼저 안테나의 설계 목표 값을 설정하고, 상용 시뮬레이터인 CST^[7]를 사용하여 전형적인 LPDA 안테나와 제안한 LPDA 안테나를 설계하였고, 성능을 비교하였다. 그리고 설계를 검증하기 위해 안테나를 제작하였고, 성능을 측정하고 고찰하였다.

II. LPDA 안테나 설계

2-1 안테나 설계 목표

본 논문에서 제안하고자 하는 LPDA 안테나는 재난안전 통신망 중계기용 안테나로서 사업자가 요구하는 안테나 규격으로 목표 값을 세웠으며, 설계 목표 규격을 표 1에 나타내었다. 설계 이득은 7 dBi이고, 주파수 범위가 698~806 MHz인 것에 비해 안테나 크기는 400 mm×180 mm×50 mm 이하로 소형으로 설계해야 하는 어려운 점이 있다. 요구 설계 목표 값인 제한된 크기에 만족하도록 프랙털 나무(Fractal tree) 구조를 변형하여 안테나를 소형화하였다.

2-2 전형적인 LPDA 안테나 설계

표 1. 안테나 설계 요구 규격

Table 1. Required design specification of antenna.

항목	규격	
주파수[MHz]	698~806 MHz	
정재파비(SWR)	1.5:1 이하	
이득(dBi)	7.0 dBi 이상	
빔폭	H-면(°)	100°±20°
	E-면(°)	60°±20°
전후방비(dB)	≥10 dB(@180°±30°)	
크기(W×H×D mm)	400 mm×180 mm×50 mm 이하	

전형적인 LPDA 안테나의 구조는 그림 1에 보였다.

그림 1에서 보는 것처럼 안테나는 배열 다이폴과 마운트로 구성되어 있고, 반사판 역할을 하는 안테나의 마운트는 가장 긴 다이폴 소자에서 $\lambda/4$ 만큼 떨어진 위치에 두었다. 여기서 L_n 은 n 번째 다이폴 소자의 길이, S_n 은 다이폴 소자간의 간격이며, W 는 중심에 있는 스트립 선로의 폭이다. 설계 주파수인 698 MHz~806 MHz에서 7.0 dBi 이상의 이득을 얻기 위해서 대수 주기비(τ)와 간격정수(σ)는 Carrel's 표^[8]를 이용하여 각각 0.88, 0.10으로 설정하였고, 다이폴 배열 수는 6단으로 결정하였다.

그림 1에서 다이폴 소자의 길이와 간격은 다음의 식을 이용하여 구할 수 있다^[9]. 여기서 λ_{min} 은 하한 주파수의 파장이다.

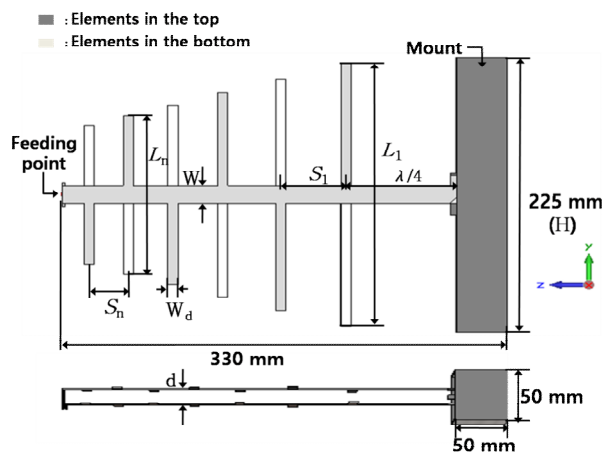


그림 1. 전형적인 LPDA 안테나 구조

Fig. 1. Structure of typical LPDA antenna.

표 2. 전형적인 LPDA 안테나 설계 파라미터
Table 2. Design parameters of typical LPDA antenna.

항목	값(mm)
소자 길이(L_n)	$L_1: 223.5, L_2: 196.7, L_3: 173.1,$ $L_4: 152.3, L_5: 134.0, L_6: 118$
소자간 사이 간격(S_n)	$S_1: 44.7, S_2: 39.34, S_3: 34.62,$ $S_4: 30.46, S_5: 26.81$
스트립 선로 폭(W)	15.0
스트립 선로의 간격(d)	5.0
다이폴 소자의 폭(W_d)	7.0

$$\tau = \frac{L_{n+1}}{L_n} = \frac{S_{n+1}}{S_n} \quad n=1, \dots, 5. \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{S_n}{2L_n} \quad (2)$$

$$L_n = 0.50\lambda_{min} \quad (3)$$

안테나 구현을 위한 설계는 두께가 1.5 mm인 알루미늄판을 사용하며, 급전은 50 Ω 동축 케이블을 마운트 부분에서 중앙에 있는 스트립 선로를 통하여 안테나 끝부분에 급전하였다. 안테나 정합은 그림 1의 스트립선로의 폭(W)과 간격(d)의 조절에 의해 맞출 수 있다. 본 설계에서는 스트립 선로의 간격(d)를 5 mm로 고정하고, 입력 임피던스가 50 Ω에 정합되도록 스트립 선로의 폭(W)을 조절하여 15 mm로 결정하였다. 식 (1)~(3)으로부터 다이폴 소자의 길이 및 간격을 계산하여 표 2에 안테나 설계 파라미터를 나타내었다.

표 2에서 마운트의 위치는 가장 긴 소자로부터 상한 주파수의 $\lambda/4$ 에 해당되는 93 mm만큼 떨어진 지점에 두었다. 그리고 마운트의 길이(H)는 길이가 길어짐에 따라 지향성 및 전후방비의 특성이 크게 변하지 않는 최소 폭인 225 mm로 두었다. 따라서 설계된 LPDA 안테나의 크기를 보면 그림 1에서 표시된 바와 같이 330 mm×225 mm이며, 표 1의 요구 규격과 비교하여 보면 가로 길이는 만족하지만, 세로 길이는 요구 길이 180 mm에 비해 45 mm 초과되는 문제가 생긴다. 요구 규격을 만족하게 다이폴 길이의 단축 방법을 고안해야 하며, 다음 절에서 이를 제안할 것

이다.

2-3 제안한 LPDA 안테나 설계

앞 절에서 언급한 바와 같이, 다이폴 길이를 단축하기 위해 전형적인 안테나의 구조에 기반을 둔 변형된 프랙털 나무 LPDA 안테나를 제안하고자 한다.

먼저 그림 2에 전형적인 소자와 프랙털 나무 소자 및 변형된 프랙털 나무 소자를 나타내었다.

그림 2에서 보는 바와 같이, 폭이 좁고 긴 폴 소자에서 양 옆으로 새로운 프랙털 나무 소자를 추가하므로 소자의 길이가 단축될 수 있다. 설계 과정은 그림 2(b)처럼 소자 길이(L')를 3등분하고, 3등분된 위치마다 3등분된 길이만큼 새로운 소자를 추가하게 된다. 이렇게 두 개의 나무 소자를 추가하면 약 17%의 단축 효과를 얻을 수 있지만, 소자 배열시 인접 다이폴과 가깝게 배치되어 전반적인 특성에 영향을 주게 된다. 이를 해결하고 단축 효과를

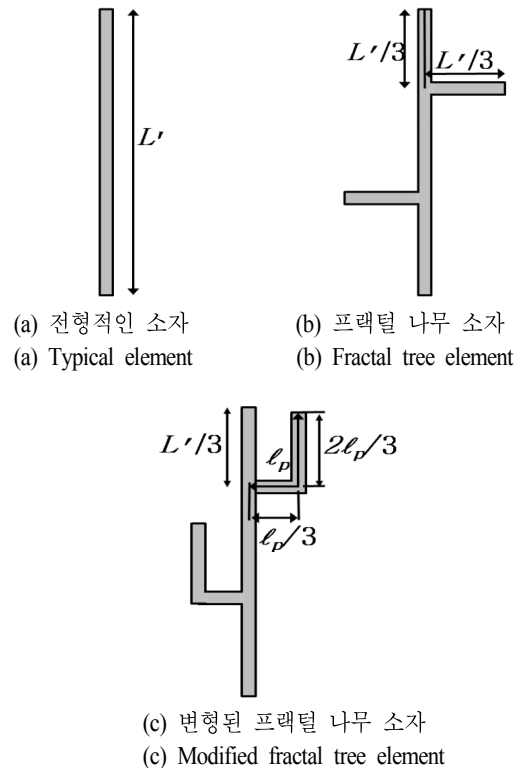


그림 2. 소자 구조
Fig. 2. Structure of element.

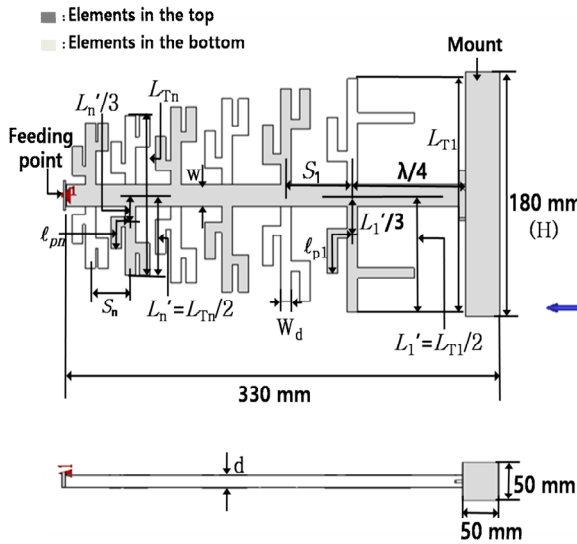


그림 3. 제안한 LPDA 안테나 구조
Fig. 3. Geometry of proposed LPDA antenna.

향상시키기 위해 그림 2(c)에서 보는 바와 같이, 수평 소자 형태를 L 형태로 변형하였다. L 형태 소자의 전체 길이 (l_p)를 조절하면 약 25 %까지 단축 효과를 얻을 수 있다.

이러한 다이폴 소자의 단축 기법을 그림 1의 전형적인 LPDA 안테나에 적용하여 다이폴의 길이를 단축하고자 한다. 적용된 LPDA 안테나의 구조는 그림 3에 볼 수 있으며, 그림 3의 첫 번째 다이폴 길이 L_{T1} 을 줄이면서 또한 L 형태 나무 소자 길이(l_{p1})를 늘려 조절하였다. 이에 대하여 요구 설계 규격이 만족되게 가장 긴 소자의 길이 L_{T1} 는 165 mm로 조절하고, l_{p1} 길이는 두 번째부터의 배열 소자 높이와 프랙털 나무 소자 높이가 동등할 때까지 늘려 $l_{p1}=41.25$ mm로 조절하였으며, 그림 4에 반사손실의 변화되는 모습을 보여주었다.

이와 같은 설계 결과로 첫 번째 다이폴의 길이는 약 25 %의 단축 효과를 얻었다. 두 번째부터 여섯 번째까지의 소자 길이는 식 (1)에 의해 계산하였고, 추가된 프랙털 나무 소자의 길이(l_{pn})는 식 (1)의 대수 주기비(τ)에 의해 두 번째부터 여섯 번째까지의 길이를 계산하였다. 그 외 설계 파라미터인 W , W_d , d , S_n 은 그림 1의 설계 값과 동일하고 표 3에 설계된 안테나 파라미터를 나타내었다. 그리고 마운트 길이(H)는 지향성 및 전후방비 특성이 좀 더

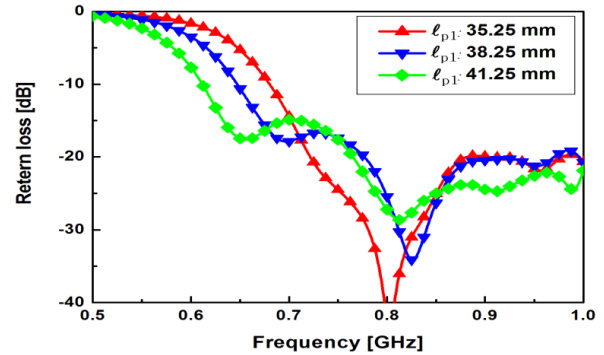


그림 4. l_{p1} 길이의 변화에 따른 반사 손실
Fig. 4. Return loss according to l_{p1} length variation.

표 3. 제안한 LPDA 안테나 설계 파라미터
Table 3. Design parameters of proposed LPDA antenna.

항목	값(mm)
소자 길이(L_{Tn})	L_{T1} : 165.0, L_{T2} :145.2, L_{T3} : 127.8, L_{T4} : 112.4, L_{T5} : 98.9, L_{T6} : 87.1
소자간 사이 간격(S_n)	S_1 : 44.7, S_2 : 39.34, S_3 : 34.62, S_4 : 30.46, S_5 : 26.81
스트립 선로 폭(W)	15.0
스트립 선로의 간격(d)	5.0
다이폴 소자의 폭(W_d)	7.0

양호한 값을 갖도록 설계 목표의 최대 크기인 180 mm로 두었다. 따라서 그림 3의 제안한 안테나의 크기는 330 mm×180 mm로 표 1의 요구 규격을 만족하였다.

2-4 LPDA 안테나 성능 비교

앞 절에서 설계한 그림 1의 전형적인 LPDA 안테나와 그림 3의 제안한 LPDA 안테나의 반사 손실 특성을 비교하여 그림 5에 나타내었다. 그림을 보면 두 LPDA 안테나 모두 요구 규격을 만족하였다. 제안한 안테나는 다이폴 소자의 길이가 전형적인 LPDA 안테나보다 약 25 %의 소형화가 되었음에도 불구하고, 오히려 대역폭은 확대되었고, 특히 낮은 주파수대는 더욱 낮추는 효과를 얻었다.

그림 6은 설계 규격의 하한 주파수 698 MHz와 상한 주파수 806 MHz에 대해 전형적인 LPDA 안테나와 제안한 LPDA 안테나의 방사패턴을 비교하여 나타내었다. 그림

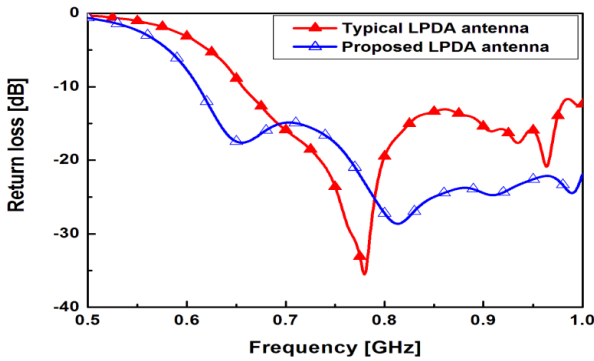


그림 5. 반사 손실 비교
Fig. 5. Comparison of return loss.

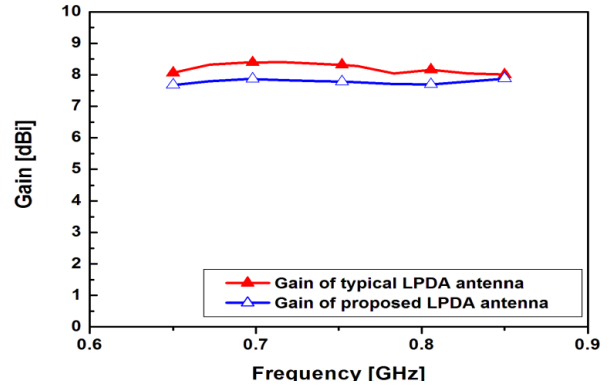
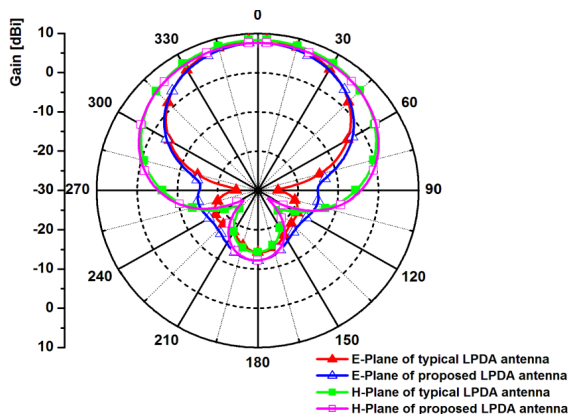
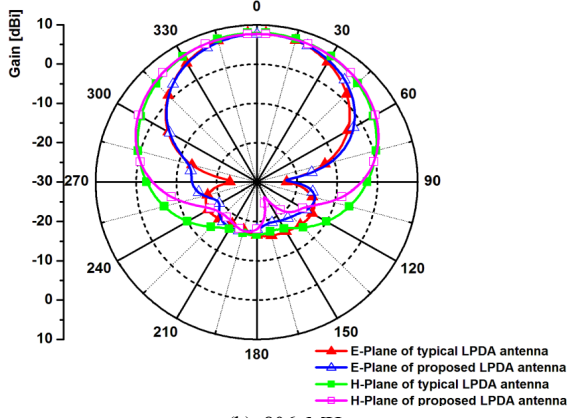


그림 7. 안테나의 이득 비교
Fig. 7. Comparison of antenna gain.



(a) 698 MHz



(b) 806 MHz

그림 6. 복사 패턴 비교
Fig. 6. Comparison of radiation pattern.

을 보면 방사패턴은 거의 비슷한 모습을 볼 수 있다. 그리고 주파수에 따른 이득을 계산하여 그림 7에 나타내었다.

제안한 LPDA 안테나가 다이폴 소자의 소형화로 인하여 안테나의 이득은 전형적인 LPDA 안테나보다 조금 낮아졌으나, 7.0 dBi 이상으로 목표 설계 규격은 만족하였다.

III. 안테나 제작 및 측정

앞 장에서 제안한 LPDA 안테나의 성능을 검증하기 위하여 실제 안테나를 제작하여 측정하였다. 안테나의 다이폴 제작은 두께가 1.5 mm인 알루미늄 판을 사용하여 표 3의 설계 값으로 제작하였다. 제작 완성된 사진은 그림 8에서 보여 주고 있다. 그림에서 보면 안테나 마운트 부분에 콘넥터가 고정되어 있는데, 이 콘넥터와 좌측 끝부분의 입력 단자간에는 동축 케이블로 직접 연결되어 있다. 안테나의 외피는 외부 환경의 노출 및 보호를 위하여 재질이 A.S.A(Acrylonitrile - Styrene - Acrylate)인 레이돔으로 덮인다.

제작한 안테나에 대해 반사 손실의 측정 결과와 계산한 결과를 그림 9에 비교 제시하였다. 그림을 보면 높은 주파수대에서는 오차가 있지만, 대체로 시뮬레이션 결과와 유사한 특성을 나타내었고, 요구 주파수 범위에서는 17 dB(SWR: 1.32) 이상으로 목표값을 만족하였다.

그림 10은 하한 주파수인 698 MHz와 상한 주파수인 806 MHz에 대하여 실제 측정된 방사 패턴을 나타내었다.

패턴 그림을 보면 698 MHz에서 후방 로브가 시뮬레이션 값보다 측정값이 더 커진 모습을 볼 수 있으나, 목표 규격에 만족하였고, 다른 주파수에서는 시뮬레이션 결과와 유사한 특성을 나타내었다.

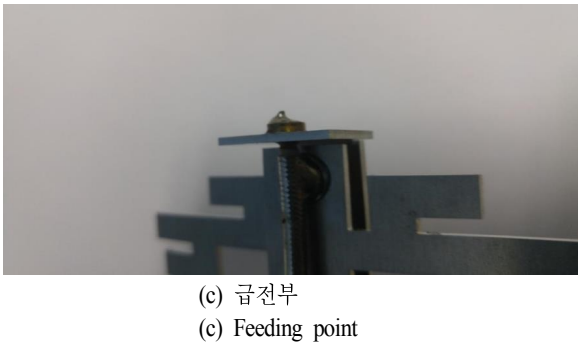
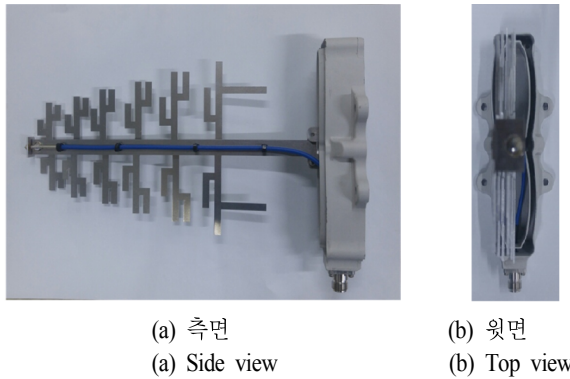


그림 8. 제작 안테나
Fig. 8. Fabricated antenna.

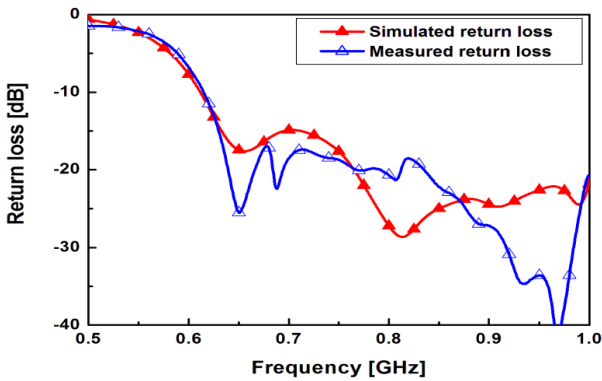
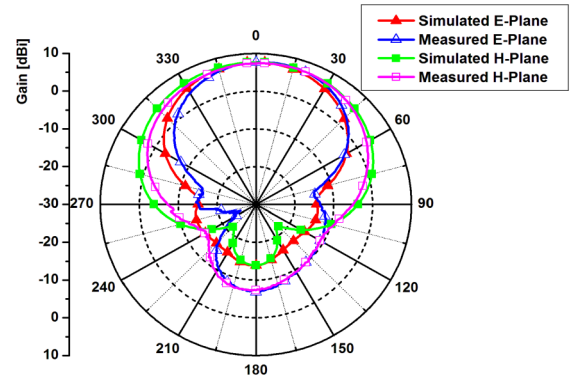
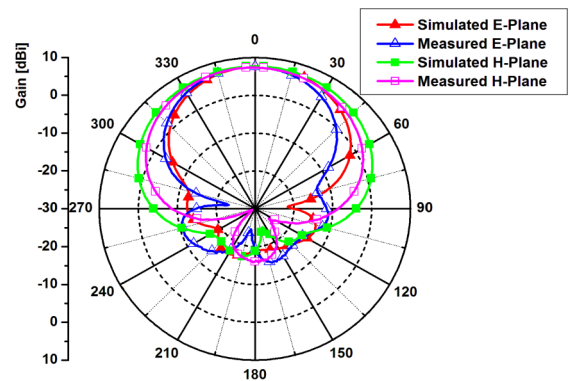


그림 9. 제작 안테나의 반사손실
Fig. 9. Return loss of fabricated antenna.

제작한 안테나의 최소 이득이 7.48 dBi, 빔폭은 E-면, H-면 각각 63.47°, 96.33°로 측정되었으며, 최소 전후방비가 E-면, H-면 각각 14.72 dB, 14.62 dB의 결과를 얻어 목표 규격을 만족하였다. 따라서 제안한 LPDA 안테나의 측정 결과는 앞서 제시한 표 1과 비교하여 보면 요구 설계



(a) 698 MHz



(b) 806 MHz

그림 10. 제작 안테나의 복사 패턴
Fig. 10. Radiation pattern of fabricated antenna.

목표를 모두 만족하였다. 이로써 본 제안한 LPDA 안테나는 재난안전 통신망 중계기 안테나로 상용화가 가능할 것으로 사료된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 향후 재난 통신망 서비스를 하기 위한 중계기용 LPDA 안테나를 사업자의 요구사항에 충족하기 위해서 소형화 구조를 제안하였다. 소형화의 방법으로는 전형적인 LPDA 안테나에 변형된 L형태 프랙탈 나무 소자를 새로 추가 배열하였고, 그 결과 전형적인 LPDA 안테나에 비하여 약 25 % 정도 소형화하였다. 안테나의 크기는 330 mm×180 mm×50 mm로서 사업자가 요구하는 크기에 만족하였다. 안테나 성능은 제안한 LPDA 안테나와 전형적인 LPDA 안테나와 비교하여 비슷함을 확인하고

요구 규격에 만족하였으며, 재난안전 통신망 안테나로서 충분히 사용 가능할 것으로 사료된다.

References

- [1] 연합뉴스, "미래부, 재난안전 통신망 기술방식으로 LTE 선정", 2014년 7월.
- [2] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design 3rd Edition*, Wiley Interscience, pp. 619-637, 2005.
- [3] W. M. Cheng, R. W. P. King, "Log-periodic dipole antenna", *Radio Sci.*, vol. 2, pp. 1303-1314, Nov. 1967.
- [4] 최학근, 김선표, 임성빈, "대수 주기 벤트 다이폴 안테나의 복사 특성", *한국전자과학회논문지*, 14(11), pp. 1207-1215, 2003년 11월.
- [5] 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.
- [6] 박재성, 최학근, 박재현, "대수 주기 칸토어 코흐 다이폴 안테나의 복사 특성", *한국전자과학회논문지*, 21(9), 2010년 10월.
- [7] CST, *Microwave studio 2014*.
- [8] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design, ch. 10*, Happer & Row, New York, 1982.
- [9] W. L. Stutzman, G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, Wiley, pp. 316-330, 1998.

전 후 동



2003년 2월: 경일대학교 전자정보공학과 (공학사)
 2005년 2월: 금오공과대학교 전자공학부 (공학석사)
 2008년 8월: 금오공과대학교 전자공학부 박사수료
 2008년 11월~현재: (주)하이게인 안테나

선임 연구원

[주 관심분야] 마이크로파, 안테나 설계

고 지 환



1982년: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1985년: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
 1998년: 경북대학교 전자공학과 (공학박사)
 1985년~2000년: 한국전자통신연구원 연구원

2000년~현재: 금오공과대학교 전자공학부 교수

[주 관심분야] 안테나 설계, 초고주파 도파관 및 수동 부품 설계, 전자파 산란, 위성 통신

허 수 영



2016년 2월: 동양미래대학교 무선정보통신공학과 (공학사)
 2014년 1월~현재: (주)하이게인 안테나 연구원
 [주 관심분야] 마이크로파, 안테나 설계