

인공자기도체를 이용한 소형 대수 주기 다이폴 배열 안테나

권오현*, 황금철°

Miniaturized Log-periodic Dipole Array Antenna with Artificial Magnetic Conductor

Ohheon Kwon*, Keum Cheol Hwang°

요약

본 논문에서는 인공자기도체를 이용한 소형 대수 주기 다이폴 배열 안테나를 제안한다. 설계된 대수 주기 다이폴 배열 안테나는 평면 다이폴 소자로 구성되어 있으며, -10 dB 반사계수 대역폭 비는 1.95:1 (0.99 - 1.94 GHz)이다. 제안된 대수 주기 다이폴 배열 안테나에 적용된 인공자기도체는 사각형 패치의 단위 구조로 구성되어있으며, $\pm 90^\circ$ 반사위상 대역폭 비는 2.88:1 (0.71 - 2.05 GHz)이다. 인공자기도체가 적용된 대수 주기 다이폴 배열 안테나를 제작하여 성능을 검증해본 결과 -10 dB 반사계수 대역폭 비는 2.13:1 (0.86 - 1.84 GHz)이며, 동작 주파수 내 $\theta = -45^\circ$ 방향에서 이득은 8.3 - 10.1 dBi로 분포하였다.

Key Words : LPDA antenna, AMC, Metamaterial, Miniaturized antenna, Wideband antenna

ABSTRACT

In this paper, a miniaturized log-periodic dipole array antenna with artificial magnetic conductor is proposed. The designed log-periodic dipole array antenna consists of planar dipole elements and operating bandwidth is 1.95:1 (0.99 - 1.94 GHz).

The unit cell of the artificial magnetic conductor is square and $\pm 90^\circ$ reflection phase bandwidth is 2.88:1 (0.71 - 2.05 GHz). The designed antenna and artificial magnetic conductor are fabricated and measured to verify performance of the proposed antenna. The measured operating bandwidth of the proposed antenna is 2.13:1 (0.86 - 1.84 GHz). The measured gain at $\theta = -45^\circ$ in operating frequency is 8.3 - 10.1 dBi.

I. 서론

최근 무선 통신 기술이 발달함에 따라 하나의 기기로 많은 통신 서비스를 이용하기 위해서 광대역 특성을 갖는 안테나에 대한 요구가 증가하고 있다. 이러한 광대역 특성을 갖고, 비교적 높은 이득을 제공하는 안테나로 대수 주기 다이폴 배열 안테나가 있다. 대수 주기 다이폴 배열 안테나는 일정한 주기를 갖는 다이폴 소자가 확장 계수(scale factor)에 따라서 순차적으로 배열된 구조이다. 대수 주기 다이폴 배열 안테나를 구성하는 단일 다이폴 소자의 최대 길이는 안테나의 최저 동작 주파수의 반파장 만큼의 길이를 만족해야 한다^[1]. 대수 주기 다이폴 안테나를 소형화하기 위해서 다이폴 소자에 tree-dipole 구조를 적용하는 방법^[2], top-loading을 추가하는 방법^[3], 다이폴 구조를 inverted-L 구조로 변경하는 방법^[4] 등이 제안되었다. 하지만 이러한 방법을 이용하여 안테나를 소형화할 경우 안테나의 이득이 낮아진다는 단점이 있다. 안테나의 이득을 감소시키지 않으면서 안테나를 소형화하는 방법으로 인공자기도체(AMC : artificial magnetic conductor)를 이용하는 방법이 있다^[5].

본 논문에서는 인공자기도체를 이용한 소형 대수 주기 다이폴 배열 안테나를 제안한다. 안테나를 소형화하기 위해서 사각형 단위구조를 갖는 인공자기도체를 설계하여 적용하였다. II장에서는 제안하는 안테나의 구조에 대해서 설명하였고, III장에서는 제안하는 안테나의 시뮬레이션 및 측정 결과를 비교하였다. 마지막으로 IV장에서는 결론을 서술하였다.

* 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 미래전투체계 네트워크기술 특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다. (UD160070BD)

• First Author : (ORCID:0000-0003-2688-6623) School of Electrical and Electronic Engineering, Sungkyunkwan University, actto389@gmail.com, 학생회원

° Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-8074-1137) School of Electrical and Electronic Engineering, Sungkyunkwan University, khwang@skku.edu, 정회원

논문번호 : KICS2017-11-349, Received November 15, 2017; Revised January 17, 2018; Accepted February 23, 2018

II. 안테나 설계

그림 1은 제안된 대수 주기 다이폴 배열 안테나에 적용된 인공자기도체(AMC : artificial magnetic conductor)의 단위구조 형상이다. 단위구조는 $h_a = 40$ mm 만큼의 간격을 두고 위치한 한 변의 길이 $W = 30$ mm인 정사각형 기판 2개로 구성되어있다. 위쪽 기판에는 한 변의 길이 $a = 18$ mm인 정사각형 도체 패치가 윗면에 위치하고 있으며, 아래쪽 기판의 아랫면에는 접지면이 위치하고 있다. 기판은 두께가 1.52 mm이며, 유전율 $\epsilon = 3.5$, 손실 탄젠트 $\tan\delta = 0.02$ 인 RF-35를 사용하였다.

그림 2는 시뮬레이션된 주파수에 따른 인공자기도체 단위구조의 반사위상 특성이다. $\pm 90^\circ$ 반사위상 대역폭 비는 2.88:1 (0.71 - 2.05 GHz)이다. 이를 통해 제안하는 안테나에 적용된 AMC 단위구조는 기존에 발표된 논문의 AMC 단위구조보다 넓은 $\pm 90^\circ$ 반사위상 대역폭 비를 갖는 것을 확인할 수 있다⁶⁾.

그림 3(a), (b)는 제안된 인공자기도체와 결합된 대수 주기 다이폴 배열 안테나의 정면도, 측면도이다. 대수 주기 다이폴 배열 안테나는 2:1 (1 - 2 GHz)의

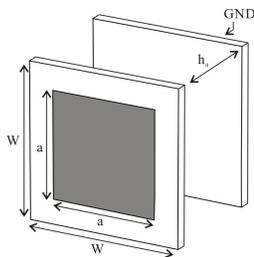


그림 1. 제안하는 인공자기도체의 단위 구조
Fig. 1. Configuration of unit cell of artificial magnetic conductor

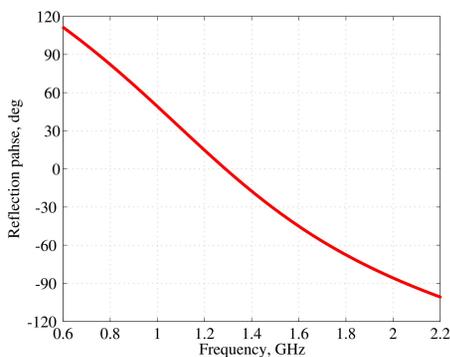


그림 2. 시뮬레이션된 인공자기도체 반사위상
Fig. 2. Simulated reflection phase of the artificial magnetic conductor

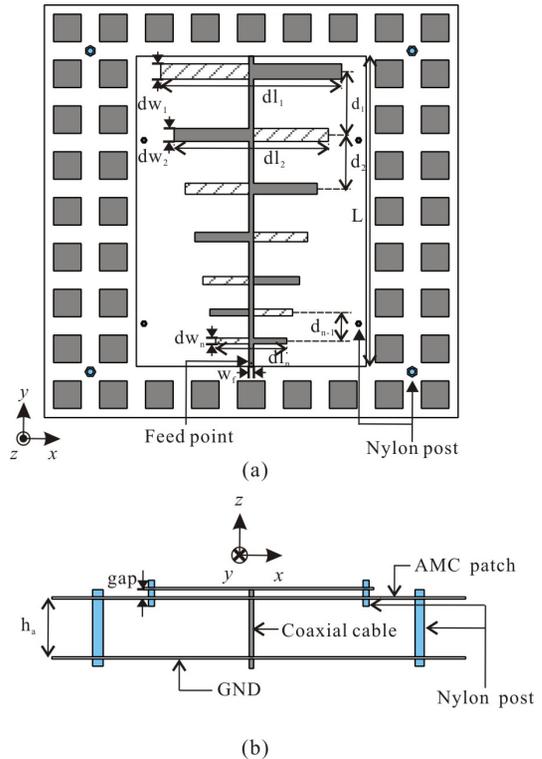


그림 3. 인공자기도체와 결합된 대수 주기 다이폴 배열 안테나의 구조: (a) 정면도, (b) 측면도
Fig. 3. Configuration of the log-periodic dipole array antenna with artificial magnetic conductor: (a) front view, (b) side view

동작 대역폭 비와 8 dBi 이득을 만족하도록 Carrel의 공식¹¹⁾을 이용하여 설계되었다. 설계된 안테나의 동작 주파수 대역은 인공자기도체의 반사위상 대역에 포함 되도록 설계되었다. 확장계수 $\tau = 0.85$, 간격계수 $\sigma = 0.15$ 로 정하였으며, 다이폴 안테나 소자의 수는 7개이다. 대수 주기 다이폴 배열 안테나는 두께가 1.52 mm인 RF-35 기판에 제작되었다. 기판의 유전율을 고려하여 가장 긴 다이폴 안테나 소자의 길이(dl_1)는 1 GHz의 반파장 길이보다 짧은 118 mm, 다이폴 소자의 폭(dw_1)은 8 mm으로 정하였다. 대수 주기 다이폴 배열 안테나를 구성하는 다이폴 안테나 소자간의 간격(d_n)은 최적화를 통하여 결정하였으며, 급전선 폭 $W_f = 3$ mm, 안테나의 길이 $L = 203$ mm이다. 대수 주기 다이폴 배열 안테나에 적용된 인공자기도체의 단위구조 개수는 13×13 개이며 대수 주기 다이폴 배열 안테나와 인공자기도체 사이의 거리 $gap = 5$ mm이다.

III. 측정 결과

그림 4는 제작된 인공자기도체와 결합된 안테나의 형상이다. 안테나와 인공자기도체 사이와 인공자기도체의 윗면과 아랫면 사이 공간은 유전율 $\epsilon_r = 3.2$ 인 Nylon post를 이용하여 구현하였다.

그림 5는 인공자기도체의 유무에 따른 대수 주기 다이폴 배열 안테나의 반사계수 특성이다. 인공자기도체가 없을 경우 -10 dB 반사계수 대역폭 비는 1.95:1 (0.99 - 1.94 GHz)이고, 인공자기도체가 있는 경우 대수 주기 다이폴 배열 안테나의 -10 dB 반사계수 대역폭 비는 2.13:1 (0.86 - 1.84 GHz)이다.

그림 6은 인공자기도체 유무에 따른 대수 주기 다이폴 배열 안테나의 이득 특성이다. 인공자기도체가 적용되지 않은 대수 주기 다이폴 배열 안테나의 이득은 주 방사방향인 $\theta = -90^\circ$ 에서 측정된 이득이며, 안테나 동작 대역폭 내에서 4.4 - 8.2 dBi로 분포한다. 인공자기도체가 적용된 대수 주기 다이폴 배열 안테나의 이득은 주 방사방향인 $\theta = -45^\circ$ 에서 측정된 이득이며, 안테나 동작 대역폭 내에서 이득은 8.3 - 10.1 dBi로 분포한다.

그림 7은 인공자기도체 유무에 따른 대수 주기 다이폴 배열 안테나의 1 GHz, 1.3 GHz, 1.8 GHz 에서

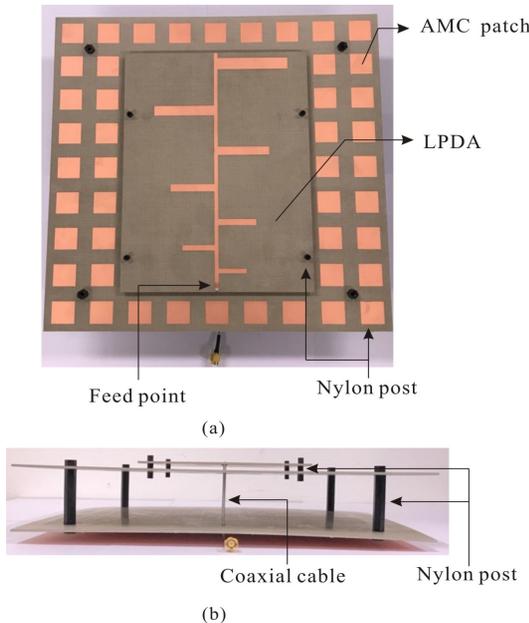


그림 4. 제작된 인공자기도체와 결합된 안테나의 형상: (a) 정면도, (b) 측면도
Fig. 4. Photograph of the fabricated antenna with AMC: (a) front view, (b) side view

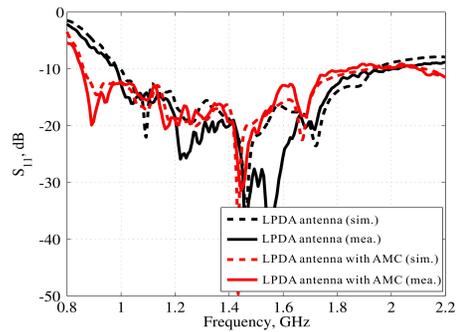


그림 5. 시뮬레이션 및 측정된 인공자기도체 유무에 따른 대수 주기 다이폴 배열 안테나의 반사계수
Fig. 5. Simulated and measured reflection coefficients of the proposed antenna

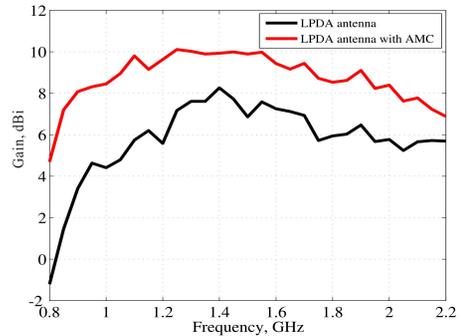


그림 6. 측정된 인공자기도체 유무에 따른 대수 주기 다이폴 배열 안테나의 이득 특성
Fig. 6. Measured gain of the proposed antenna

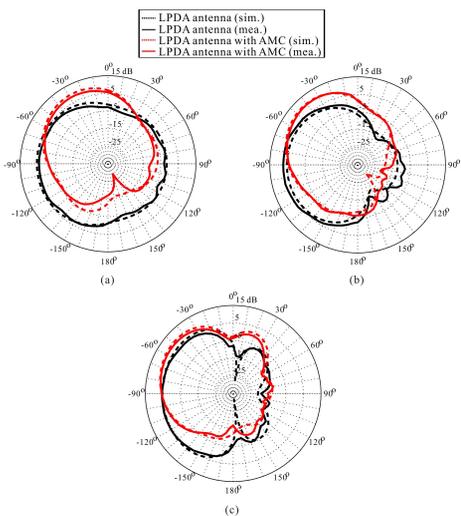


그림 7. yz-평면에서 시뮬레이션 및 측정된 안테나의 복사 패턴: (a) 1 GHz, (b) 1.3 GHz, (c) 1.8GHz
Fig. 7. Radiation patterns at yz-plane: (a) 1 GHz, (b) 1.3 GHz, and (c) 1.8 GHz

의 yz -평면 복사패턴이다. 대수 주기 다이폴 배열 안테나의 주 방사방향은 모든 동작 주파수 대역에서 급전선이 위치한 $\theta = -90^\circ$ 방향으로 형성된다. 하지만 인공자기도체와 결합될 경우 주 방사방향이 $\theta = -45^\circ$ 방향으로 기울어져서 형성된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 인공자기도체를 이용하여 소형화된 대수 주기 다이폴 배열 안테나를 설계 및 제작하였다. 제안된 안테나의 -10 dB 반사계수 대역폭 비는 인공자기도체를 적용할 경우 1.95:1 (0.99 – 1.94 GHz)에서 2.13:1 (0.86 – 1.84 GHz)로 하향화되었다. 단일 구조를 갖는 인공자기도체를 적용함에 따라 인공자기도체를 적용하지 않았을 때보다 최저 동작 주파수 대비 안테나의 크기가 약 10% 소형화되었다. 또한, 동작 주파수 내 안테나의 주 방사방향에서의 이득은 4.4 – 8.2 dBi에서 8.3 – 10.1 dBi로 향상되었다. 따라서 인공자기도체를 적용함으로써 저자세 특성을 구현 하면서 이득 특성을 향상시켰다. 제안된 안테나는 크기가 작으며 높은 이득 특성을 요구하는 다양한 분야에서 활용가능하다.

Reference

- [1] W. M. Cheong and R. W. P. King, "Log-periodic dipole antenna," *Radio Sci.*, vol. 2, pp. 1303-1314, Nov. 1967.
- [2] S. Lin, S. Luan, Y. D. Wang, X. Luo, X. Han, X. Q. Zhang, Y. Tian, and X. Y. Zhang, "A printed log-periodic tree-dipole antenna (PLPTDA)," *Prog. Electromagn. Res. M*, vol. 21, pp. 19-32, 2011.
- [3] M. Pirai and H. R. Hassani, "Size reduction of microstrip LPDA antenna with top loading," *IEICE Electronics Express*, vol. 6, no. 21, pp. 1528-1534, Oct. 2009.
- [4] J. Yeo and J.-I. Lee, "Design of a compact LPDA antenna using inverted-L shaped dipole elements," *J. KICS*, vol. 36, no. 7, pp. 678-682, Jul. 2011.
- [5] F. Rahamadani and A. Munir, "Microstrip patch antenna miniaturization using artificial magnetic conductor," in *Proc. 2011 6th Int. Conf. Telecommu. Syst., Serv., and Appl. (TSSA)*, pp. 219-223, Bali, Indonesia, Oct. 2011.
- [6] A. T. Almutawa and G. Mumcu, "Small artificial magnetic conductor backed log-periodic microstrip patch antenna," *IET Microw. Antennas Propag.*, vol. 7, no. 14, Nov. 2013.