

직육면체 구조를 이용한 VHF 대역 CRLH CPW 안테나

CRLH CPW Antenna Using Cuboid Structure for VHF Application

이 소 영^{1*} · 박 용 배^{2*,**}Soyeong Lee^{1*} · Yong Bae Park^{2*,**}

요 약

본 논문에서는 VHF 대역에서 동작하는 CRLH(composite right/left-handed) Cuboid 구조의 안테나를 제안한다. 제안된 안테나는 소형화를 위해 CRLH 전송선 구조를 사용하였으며, LH(left-handed) 성분은 인터디지털 커패시터와 미앤더 라인을 이용하여 구현하였다. 병렬 인덕턴스 값을 키우기 위해 미앤더 라인을 Cuboid 구조의 옆면에 적용하여 3차원 구조의 CRLH 안테나를 설계하였다. 제안된 안테나는 252.5 MHz에서 동작하며, $0.12 \lambda \times 0.06 \lambda \times 0.02 \lambda$ 의 크기를 가진다. 안테나의 VSWR 3.5:1 대역폭은 2.26 %, 최대 이득은 -11.5 dBi이다.

Abstract

In this study, we propose a composite right/left-handed (CRLH) cuboid antenna operating in the very-high-frequency band. The proposed antenna uses a CRLH transmission-line structure for antenna miniaturization, and the left-handed component is implemented using interdigital capacitors and meander lines. A three-dimensional CRLH antenna was designed to increase the parallel inductance by applying a meander line to the side of the cuboid structure. The proposed antenna operates at 252.5 MHz and has dimensions of $0.12 \lambda \times 0.06 \lambda \times 0.02 \lambda$. The antenna has a voltage standing wave ratio of 3.5:1, bandwidth of 2.26 %, and maximum gain of -11.5 dBi.

Key words: Composite Right/Left-Handed Transmission Lines, Military Antenna, VHF Band Antenna, Cuboid Antenna

I. 서 론

군용 무전기는 주로 VHF, UHF 대역의 다이폴, 모노폴, whip 안테나 등이 사용된다. 안테나의 물리적 크기는 파장에 비례하기 때문에, 안테나의 동작 주파수가 낮아질수록 안테나의 물리적인 크기는 커지게 된다. 이러한 단점을 해결하기 위해 군용 주파수 대역의 안테나 소형화 연구

는 필수적이다. 안테나 소형화 기법과 관련된 연구는 활발히 진행되고 있으며, 그중 대표적으로 메타물질이 있다^{[1],[2]}. 메타물질 구조 중 하나인 CRLH(composite right/left-handed) 전송선 구조는 0차 공진을 이용하여 안테나를 소형화할 수 있다^[2].

CRLH 전송선 모델은 직렬 인덕턴스와 병렬 커패시턴스로 이루어진 RH(right-handed) 성분과 병렬 인덕턴스와

「본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 미래전투체계 네트워크기술 특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다(UD190033ED).」

*아주대학교 AI 융합네트워크학과(Department of AI Convergence Network, Ajou University)

**아주대학교 전자공학과(Department of Electrical and Computer Engineering, Ajou University)

1: 석 · 박사통합과정(<https://orcid.org/0000-0002-4850-6268>), 2: 교수(<https://orcid.org/0000-0002-7095-4614>)

· Manuscript received May 23, 2022 ; Revised June 8, 2022 ; Accepted June 20, 2022. (ID No. 20220523-049)

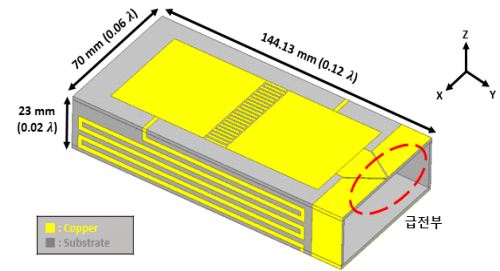
· Corresponding Author: Yong Bae Park (e-mail: yong@ajou.ac.kr)

직렬 커패시터로 이루어진 LH(left-handed) 성분이 결합된 구조이다. CRLH 구조는 0차 공진점을 가지며, 이론적으로 0차 공진을 이용하면 파장과 무관하게 안테나를 설계할 수 있다. 기본적인 CRLH 전송선 기반 안테나 구조는 패치 사이의 간격 또는 인터디지털 커패시터(IDC, interdigital capacitor)의 손가락 사이의 간격 및 두께를 조절하여 직렬 커패시터를 구현한다. 병렬 인덕턴스의 경우, 패치와 그라운드 사이에 비아를 이용하여 설계할 수 있다. 안테나의 동작 주파수는 인덕턴스와 커패시턴스값으로 조절할 수 있으며, 낮은 주파수에서 동작하기 위해서는 병렬 인덕턴스를 비아로 설계하는 데 한계가 있다. 병렬 인덕턴스를 구현하기 위한 다른 구조로는 스파이럴 인덕터(spiral inductor), 미앤더 라인(meander line) 등이 있다^{[3]~[7]}. 병렬 인덕턴스값을 키우기 위해서는 스파이럴 인덕터, 미앤더 라인의 크기를 키워야 하는데, 이는 안테나의 물리적인 크기가 커지는 단점이 있다. 이로 인해 대부분의 CRLH 전송선 기반 안테나 연구는 UHF 대역에서 활발히 진행되고 있으며^{[3]~[6]}, VHF 대역에서의 연구는 부족한 실정이다^[7]. 그러므로 VHF 대역에서 사용되는 CRLH 전송선 안테나의 새로운 구조에 대한 연구가 필요하다.

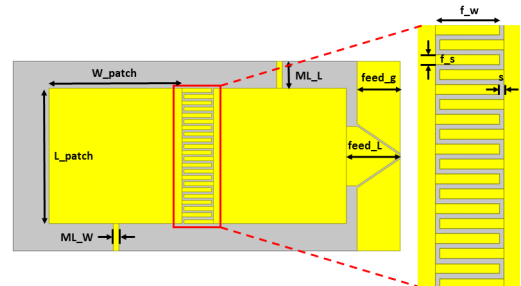
본 논문에서는 VHF 대역에서 동작하는 CRLH 전송선 기반 안테나를 설계하기 위해 cuboid 구조를 이용하였다. 기존의 평면형 CRLH 전송선 기반의 안테나는 낮은 주파수에서 동작하기 위해 미앤더 라인과 IDC 구조를 사용하였으며, cuboid 구조를 사용하여 미앤더 라인과 그라운드를 각각 옆면과 밑면에 설계하였다. 제안된 안테나는 상용 시뮬레이션 툴(Ansys HFSS)을 사용하여 설계되었으며, 측정을 통해 성능을 검증하였다.

II. 안테나 설계

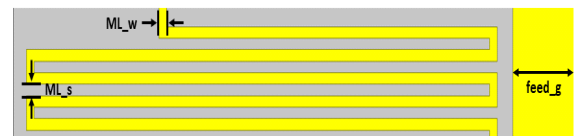
그림 1은 제안된 안테나의 구조를 나타낸다. 제안된 안테나는 인터디지털 커패시터와 미앤더 라인이 결합된 구조를 가진다. 그림 1(b)와 같이 패치 사이의 인터디지털 커패시터를 이용하여 LH 성분에 해당하는 직렬 커패시터를 구현하였다. 병렬 인덕턴스는 그림 1(c)와 같이 cuboid 안테나의 옆면에 미앤더 라인으로 설계하였다.



(a) 입체도
(a) 3-D view



(b) 상면도
(b) Top view



(c) 측면도
(c) Side view

그림 1. 제안된 안테나 구조
Fig. 1. Configuration of the proposed antenna.

VHF 대역에서 동작하는 안테나를 설계하기 위해서는 높은 병렬 인덕턴스값이 필요하므로, 미앤더 라인을 사용하였다. 안테나는 CPW 급전으로 설계되었으며, 미앤더 라인은 하단의 그라운드와 연결되어 병렬 인덕턴스로 동작하도록 설계되었다. 안테나의 설계 파라미터값은 표 1에 정리되어 있으며, 제안된 안테나는 동작 주파수 기준 $0.12 \lambda \times 0.06 \lambda \times 0.02 \lambda$ 의 크기를 가진다.

그림 2는 제안된 안테나의 분산 그래프를 나타낸다. CRLH 전송선의 단위 셀의 양쪽에 wave port를 설정하여 포트 간의 반사계수를 통해 분산 그래프를 확인하였다^{[8],[9]}. 제안된 안테나는 257 MHz 근방에서 $\beta p = 0$ 이므로 0차 공진을 확인하였다. 이때, $p(\ll \lambda_g/4)$ 는 단위 셀의 크

표 1. 제안된 안테나의 설계 파라미터

Table 1. Design parameters of the proposed antenna.

Parameter	L_patch	W_patch	ML_w	ML_L
Value (mm)	50	49.5	2	10
Parameter	ML_s	f_w	f_s	feed_L
Value (mm)	2	10	1.5	20
Parameter	feed_g	s	h	
Value (mm)	16	0.8	1.52	

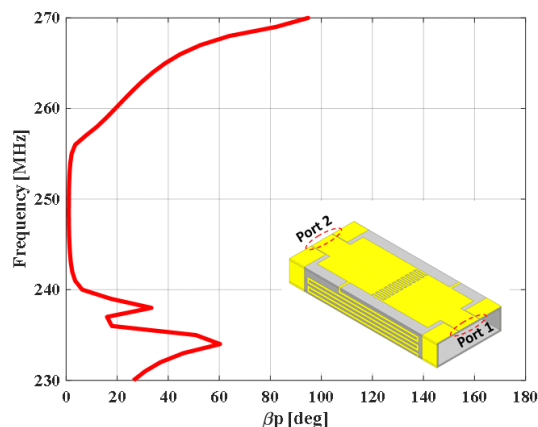


그림 2. 제안된 안테나의 분산 그래프

Fig. 2. Dispersion diagram of the proposed antenna.

기로 110.8 mm이다. 0차 공진 주파수는 $f_c = 1/(2\pi\sqrt{L_L C_R})$ 과 같이 나타낼 수 있으며, 병렬 커패시턴스와 인덕턴스의 값은 각각 $C_R = 9.6 \text{ pF}$, $L_L = 40.2 \text{ nH}$ 이다.

III. 안테나 제작 및 측정 결과

그림 3은 제안된 안테나의 제작 사진과 반사계수 측정 결과를 나타낸다. 제안된 안테나는 1.6 mm 두께의 RF-10 기판을 사용하였으며, 4개의 면을 각각 제작한 다음 접착제와 구리 테이프를 이용하여 cuboid 구조로 구성하였다. 제안된 안테나의 시뮬레이션 및 측정 반사계수 대역폭은 VSWR 3.5:1 기준으로 각각 2.25 % (255.4 MHz~261.18 MHz), 2.26 % (251.2 MHz~256.9 MHz)이다. 실제 안테나 동작 주파수 측정값은 시뮬레이션값에 비해 약 4 MHz 정도 이동하였다. 이는 제작된 4개의 면을 하나의 안테나로 접합하는 과정에서 모서리 부분에 사용된 접착제와 구리 테이프로 인해 오차가 발생한 것으로 보인다.

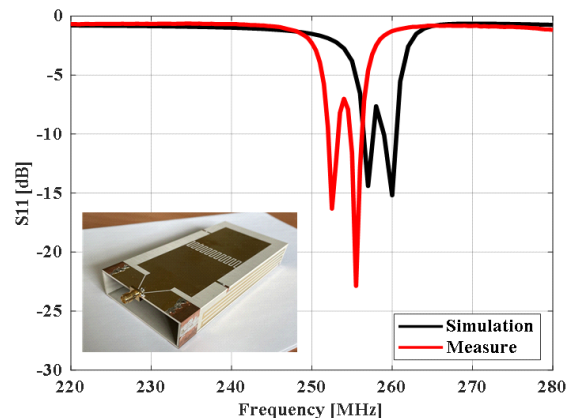


그림 3. 제안된 안테나의 반사계수 시뮬레이션 및 측정 결과
Fig. 3. Simulation and measured S -parameter of the proposed antenna.

그림 4는 제작된 안테나의 수신 전력 측정 환경을 보여준다. 송신 안테나는 Alaris 사의 OMNI-A0245 안테나를 사용하였으며, 송신 안테나와 수신 안테나 사이의 거리는 11 m이다. 제안된 안테나의 복사패턴은 그림 5에 나와있으며, 최대 이득 방향인 $\theta = 90^\circ$, $\phi = -45^\circ$ 로 안테나를 고정하여 수신 전력을 측정하였다. Friis 전송 공식을 통해 측정된 수신 전력을 그림 5와 같이 제안된 안테나의 이득으로 계산할 수 있다. 제안된 안테나는 시뮬레이션상 257 MHz에서 -13 dBi의 이득을 가지며, 실제 측정 시 252.5 MHz에서 -11.5 dBi의 이득을 가진다. 기존 연구와의 비교는 표 2와 같다.

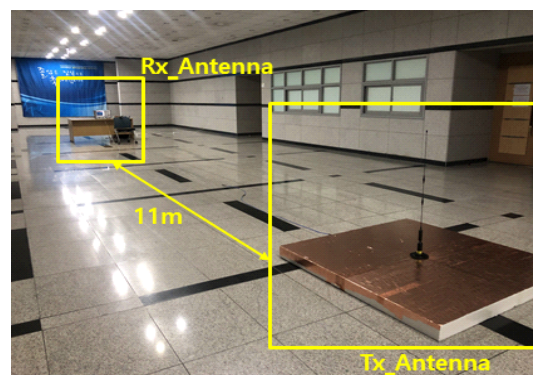


그림 4. 제안된 안테나의 수신 전력 측정 환경
Fig. 4. Received power measurement environment of the proposed antenna.

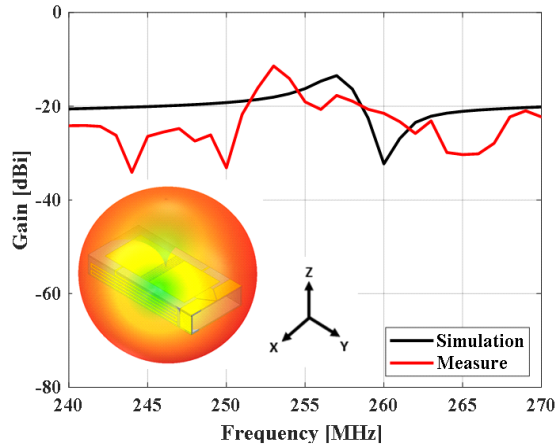


그림 5. 제안된 안테나의 이득 측정 결과

Fig. 5. Gain measurement result of the proposed antenna.

표 2. 기존 안테나와의 성능 비교

Table 2. Comparison of the antenna performance with the previous work.

Reference	Resonant frequency (GHz)	Antenna size	BW (%) (VSWR 3.5:1)	Gain (dBi)
This work	0.25	$0.12 \lambda \times 0.06 \lambda \times 0.02 \lambda$	2.26	-11.5
Ref. [3]	1.95	$0.14 \lambda \times 0.16 \lambda \times 0.01 \lambda$	2.8	-6.9
Ref. [4]	2.3	$0.14 \lambda \times 0.23 \lambda \times 0.01 \lambda$	3.04	-0.28
Ref. [7]	0.16	$0.089 \lambda \times 0.025 \lambda$	5.26	-26.5

IV. 결 론

본 논문에서는 cuboid 구조를 이용한 VHF 대역 CRLH 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 인터디지털 커패시터와 미앤더 라인으로 구성되어 있으며, cuboid 구조의 옆면에 미앤더 라인을 설계하였다. 안테나의 크기는 $0.12 \lambda \times 0.06 \lambda \times 0.02 \lambda$ 이며, 252.5 MHz에서 동작한다. 제안된 안테나는 동작 대역에서 -11.5 dBi의 이득을 가지므로 향후 VHF 대역의 군용 무전기 안테나의 소형화에 적용할 수 있을 것으로 예상된다.

References

- [1] C. Caloz, T. Itoh, *Electromagnetic Metamaterials: Transmission Line Theory and Microwave Applications*, Hoboken, NJ, John Wiley & Sons, pp. 261-313, 2005.
- [2] A. Lai, T. Itoh, and C. Caloz, "Composite right/left-handed transmission line metamaterials," *IEEE Microwave Magazine*, vol. 5, no. 3, pp. 34-50, Sep. 2004.
- [3] C. Zhou, G. Wang, Y. Wang, B. Zong, and J. Ma, "CPW-fed dual-band linearly and circularly polarized antenna employing novel composite right/left-handed transmission-line," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 12, pp. 1073-1076, Aug. 2013.
- [4] S. Baek, S. Lim, "Miniaturised zeroth-order antenna on spiral slotted ground plane," *Electronics Letters*, vol. 45, no. 20, pp. 1012-1014, Sep. 2009.
- [5] P. L. Chi, Y. S. Shih, "Compact and bandwidth-enhanced zeroth-order resonant antenna," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 14, pp. 285-288, Oct. 2014.
- [6] M. A. Abdalla, M. A. Fouad, "CPW dual-band antenna based on asymmetric generalized metamaterial π NRI transmission line for ultra compact applications," *Progress in Electromagnetics Research C*, vol. 62, pp. 99-107, Feb. 2016.
- [7] H. J. Jun, J. Lee, S. Choi, and Y. B. Park, "Design and fabrication of VHF band small antenna using composite right/left-handed transmission lines," *Journal of Electrical Engineering & Technology*, vol. 14, no. 1, pp. 339-345, Jan. 2019.
- [8] N. Amani, A. Jafargholi, "Zeroth-order and TM_{10} modes in one-unit cell CRLH mushroom resonator," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 14, pp. 1396-1399, Mar. 2015.
- [9] H. Yang, L. He, and H. Zhang, "Asymmetric frequency reconfigurable compact antenna using CRLH-TL structure," *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, vol. 35, no. 3, pp. 336-347, Nov. 2020.