

# 비-포스터 회로가 결합된 UHF 대역 CRLH 전송선 안테나 설계

## Design of UHF Band Antenna Using Composite Right/Left Handed Transmission Lines and Non-Foster Circuits

이종협<sup>1</sup> · 이용혁<sup>\*2</sup> · 최성로<sup>3</sup> · 정재영<sup>\*4</sup> · 박용배<sup>5</sup>

Jonghyup Lee<sup>1</sup> · Yong-Hyeok Lee<sup>\*2</sup> · Seongro Choi<sup>3</sup> · Jae-Young Chung<sup>\*4</sup> · Yong Bae Park<sup>5</sup>

### 요 약

본 논문에서는 비-포스터 회로가 결합된 CRLH 전송선 기반 UHF 대역 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 CRLH 전송선의 0차 공진 특성을 이용하여 안테나를 소형화 하였으며, 비-포스터 회로의 음의 커패시턴스를 사용하여 안테나의 입력 임피던스의 허수부를 상쇄시켜 안테나 대역폭을 향상시켰다. CRLH 전송선 기반 안테나의 크기는  $20.9 \times 13.2 \times 1.6 \text{ mm}^3$ , 비-포스터 회로의 크기는  $20 \times 14.4 \times 1.6 \text{ mm}^3$ 의 소형화된 크기를 가지며, 수신전력 측정 결과 250~500 MHz 대역에서 평균 19.96 dB의 수신전력 개선을 보였다.

### Abstract

In this paper, we propose an ultra high frequency(UHF) band military antenna using composite right/left handed(CRLH) transmission lines and non-Foster circuits. The antenna uses the zeroth-order characteristic of the CRLH transmission line in order to miniaturize the antenna. The non-Foster circuit's negative capacitance can offset the input reactance of the antenna to improve bandwidth. The size of the CRLH transmission line antenna is  $20.9 \times 13.2 \times 1.6 \text{ mm}^3$  and the size of the non-Foster circuit is  $20 \times 14.4 \times 1.6 \text{ mm}^3$ . The measured received power of the antenna is improved by an average of 19.96 dB at 250~500 MHz.

Key words: Composite Right/Left-Handed Transmission Lines, Non-Foster Circuit, Military Antenna, UHF Band Antenna

### I. 서 론

기존 군용 안테나 중 Ultra High Frequency(UHF) 대역 (225~400 MHz)은 KAN/GRC-512-K 등 주로 차량용 무전기의 운용 주파수로 사용된다. 기존의 군용 UHF 대역 안테나는 주로 다이폴 혹은 모노폴 안테나가 사용되는데,

기존 안테나의 경우 장비 외부에 안테나가 노출되며, 크기가 파장에 비례하는 특성이 있어 운용 주파수가 낮을수록 물리적 크기가 커지게 된다. 이 경우, 산악 지대가 많은 한국의 지형 특성상 나뭇가지에 걸리는 등 기동성에 제약을 받게 된다. 이를 극복하기 위해서 안테나의 소형화가 필수적이다. 안테나 소형화의 방법으로 메타물질

「본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 미래전투체계 네트워크기술 특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다(UD160007BD).」  
아주대학교 전자공학과(Department of Electrical and Computer Engineering, Ajou University)

\*서울과학기술대학교 전기정보공학과(Department of Electrical and Information Engineering, Seoul National University of Science and Technology)

1: 석사과정(<https://orcid.org/0000-0002-8411-2397>), 2: 석사과정(<https://orcid.org/0000-0002-0253-2751>), 3: 석사과정(<https://orcid.org/0000-0002-3635-5482>),

4: 부교수(<https://orcid.org/0000-0002-0982-6066>), 5: 교수(<https://orcid.org/0000-0002-7095-4614>)

· Manuscript received June 5, 2019 ; Revised June 26, 2019 ; Accepted July 5, 2019. (ID No. 20190605-056)

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

인 Composite Right/Left-Handed(CRLH) 전송선을 이용하는 방법이 있다.

CLRH 전송선은 0차 공진 특성으로 인해 파장에 무관한 공진주파수를 가져 안테나 소형화가 가능해진다<sup>[1],[2]</sup>. 그러나 CRLH 전송선 기반 안테나의 경우, 안테나의 소형화에 유리하지만, 소형화에 대한 상충관계로 대역폭이 좁아지게 된다. 안테나 대역폭을 증가시키는 방법으로는 비-포스터 회로가 있다. 비-포스터 회로는 능동 소자를 사용하기 때문에 잡음을 생성하고 비-포스터 회로에서 생성되는 잡음으로 인해 수신 SNR 특성이 열화될 수 있지만, 비-포스터를 이용하여 음의 커패시턴스 혹은 음의 인덕턴스를 발생시켜 안테나 임피던스의 허수부를 상쇄시킴으로써 안테나 대역폭을 향상시킬 수 있어 국내외 활발한 연구가 진행 중이다<sup>[3]~[5]</sup>.

본 논문에서는 CRLH 전송선을 이용하여 소형화하면서도 비-포스터 회로를 사용하여 대역폭을 증가시킨 UHF 대역 안테나를 설계하였으며, 측정 결과 250~500 MHz의 대역에서 안테나 수신 전력을 평균 19.96 dB 향상시켰다.

## II. CRLH 전송선 안테나 설계

CRLH 전송선은 전송선에 직렬 커패시터와 병렬 인덕터를 인위적으로 구현한 유닛셀을 배열하여 설계한다. 그림 1은 CRLH 전송선의 유닛셀 구조이다. 본 논문에서는 직렬 커패시터를 인터디지털 커패시터(interdigital capacitor)로 구현하였으며, 병렬 인덕터를 비아를 통해 그라운드와 연결된 스파이럴 인덕터로 구현하였다. CRLH 전송선은 0차 공진 특성에 따라 공진주파수가 병렬 인덕턴스와 병렬 커패시턴스의 제곱근에 반비례한다. 따라서 본 논문에서는 스파이럴 인덕터와 인터디지털 커패시터의 파라미터를 조정하여 비-포스터 회로로 매칭 가능한 입력 임피던스를 갖도록 공진 주파수를 조정하였다. 그림 2는 제안된 안테나의 구조를 나타낸다. 제안된 안테나는 3개의 유닛셀로 이루어져 있다. 본 논문의 CRLH 안테나는 비-포스터 회로 매칭을 위하여 목표 주파수 대역에서 안테나 입력 임피던스의 실수부를 50 Ω에 가깝게 설계해야 하며, 입력 임피던스의 허수부의 기울기, 즉 커패시턴스 값을 일정하게 유지해야 한다. 본 논문에서는 안테나 임피던스

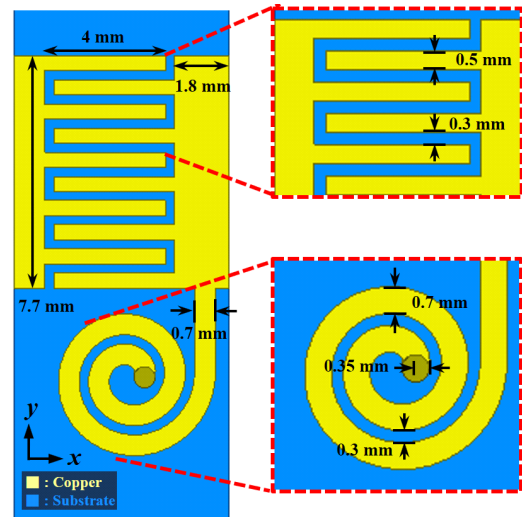


그림 1. CRLH 전송선 안테나 유닛셀 구조  
Fig. 1. Unit cell structure of the CRLH TL antenna.

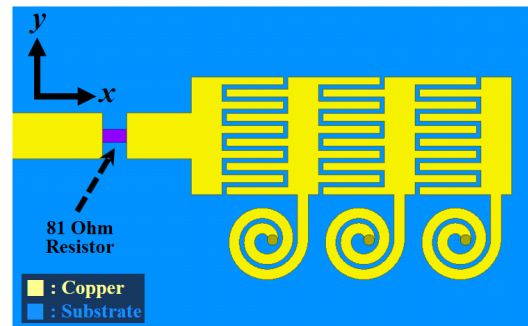


그림 2. CRLH 전송선 안테나 구조  
Fig. 2. CRLH TL antenna structure.

를 최적화하기 위해 Ansys사의 HFSS를 사용하여 시뮬레이션하였다.

안테나의 크기는 20.9 mm×13.2 mm×1.6 mm이며, 상대 유전율  $\epsilon_r=4.4$ , 두께 1.6 mm의 FR-4 기판을 사용하였다. 안테나의 입력 임피던스를 50 Ω으로 유지하기 위해 급전부에 81 Ω 칩 저항을 삽입하였다. 그림 3은 81 Ω 칩 저항 적용 전후의 안테나 입력 임피던스이다. 칩 저항으로 인해 입력 임피던스가 UHF 대역에서 50 Ω으로 유지되며, 일정한 커패시턴스를 가지는 것을 확인하였다. W/O 50Ω은 안테나 입력단에 50Ω 칩 저항을 삽입하지 않은 상태의 안테나 입력 임피던스, W/ 50Ω은 안테나 입력단에 50Ω

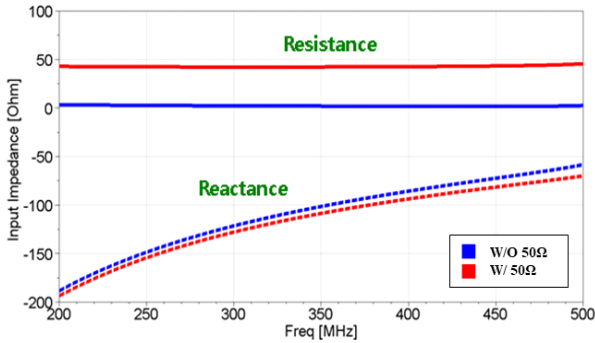


그림 3. 안테나 입력 임피던스  
Fig. 3. Input impedance of the antenna.

칩 저항을 삽입하였을 때 안테나 입력 임피던스를 각각 나타낸다.

### Ⅲ. 비-포스터 회로 설계

그림 4는 제안된 안테나의 임피던스 정합에 쓰인 비-포스터 회로의 구조를 나타낸다. 비-포스터 회로는 음의 커패시턴스 혹은 음의 인덕턴스를 발생시키는 회로이며 비-포스터 회로는 주로 Op-Amp를 사용하거나 트랜지스터를 사용하는 방법으로 구현된다<sup>[3]</sup>. 본 논문에서는 두 개의 트랜지스터를 교차 쌍 결합하여 설계하였다. 비-포스터 회로의 음의 커패시턴스 특성을 구현하면서도 회로의 안정도를 확보하기 위해서는 바이어스 회로와 소스의 인덕터가 매우 큰 값을 가져야 한다. 그러나 값이 큰 인덕터를 사용할 경우, 자기공진 주파수(Self Resonant Frequency)가 낮아지게 되어 광대역 매칭이 어렵게 된다. 이를 해결하기 위하여 바이어스 회로와 소스에 낮은 값을 가지는 인덕터를 사용하면서 저항을 추가하였다. 본 논문에서는 바이어스 회로와 소스에 1  $\mu$ H 인덕터를 사용하였으며, 바이어스에 1 k $\Omega$ , 소스에 600  $\Omega$  저항을 사용하였다. 저항의 추가로 인해 바이어스 전압이 증가하는 반면, 광대역에 걸쳐 비-포스터 특성을 얻으면서 안정도를 확보할 수 있다.

### Ⅳ. 시뮬레이션 및 측정 결과

그림 5는 설계된 비-포스터 회로가 결합된 CRLH 전송선 기반 안테나를 실제로 제작한 사진이다. CRLH 전송선

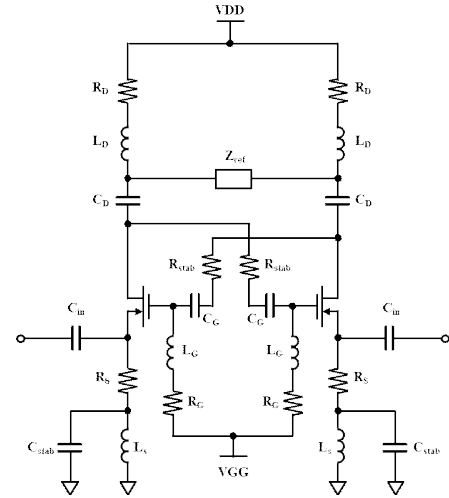


그림 4. 설계된 비-포스터 회로  
Fig. 4. Designed non-Foster circuit.

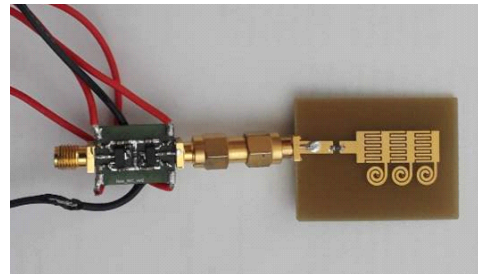


그림 5. 비-포스터를 결합한 CRLH 전송선 안테나  
Fig. 5. CRLH transmission antenna with non-Foster circuit.

안테나와 비-포스터 회로는 SMA 커넥터를 이용하여 결합하였다. 그림 6은 제작된 안테나의 반사손실 측정 결과를 나타낸다.

측정 결과, -10 dB 기준으로 대역폭 246~750 MHz 이상으로(101 % 이상) 광대역 특성을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 이는 군용 UHF 무전기 대역을 포함하는 대역폭으로 군용 UHF 무전기에 응용될 가능성이 있음을 나타낸다.

제작된 안테나의 수신 전력을 측정하기 위하여 그림 7과 같이 측정 환경을 구성하였다. 모노폴 안테나를 송신 안테나로 설정하여 신호를 송신하고, 제작된 안테나를 수신 안테나로 설정하여 네트워크 애널리저에 연결한 후 10 m 거리에 배치하여 측정하였다.

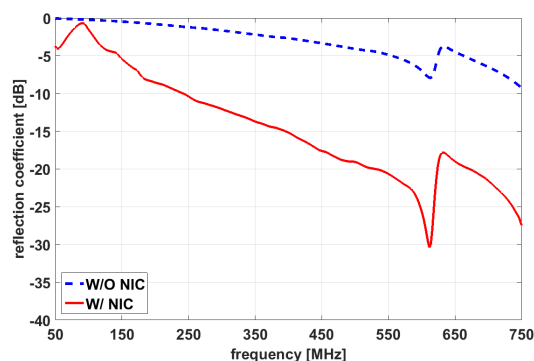


그림 6. 측정된 안테나 반사계수 특성

Fig. 6. Measured reflection coefficient of the antenna.

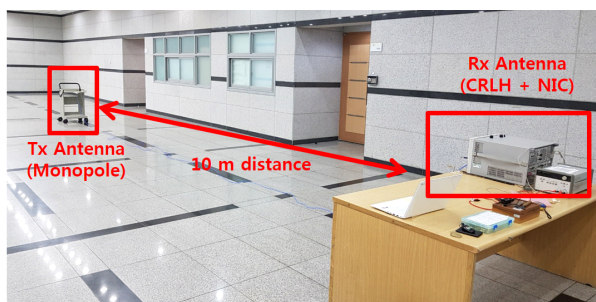


그림 7. 안테나 수신 전력 측정 환경

Fig. 7. Antenna received power measurement environment.

그림 8은 제작된 안테나의 비-포스터 회로 적용 전후의 수신전력 그래프이다. 그래프를 보면 250~500 MHz에 걸쳐 비-포스터 회로의 음의 커패시턴스 매칭으로 인해

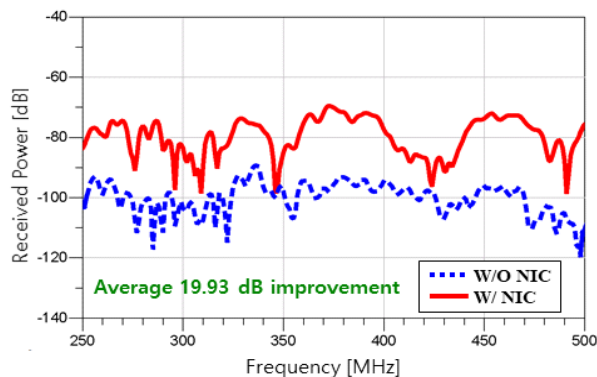


그림 8. 측정된 안테나 수신 전력

Fig. 8. Measured antenna received power.

수신 전력이 증가한 것을 확인할 수 있으며, 평균 19.93 dB 향상된 것을 확인할 수 있었다.

## V. 결 론

본 논문에서는 군용 UHF 무전기 밴드 (225~400 MHz)를 포함하는 대역을 갖는 비-포스터 회로가 결합된 CRLH 전송선 기반 안테나를 제안하였다. CRLH 전송선 특성을 이용하여 안테나를 소형화하였으며, 비-포스터 회로 특성을 이용하여 안테나 대역폭을 향상시켰다. 안테나는  $20.9 \times 13.2 \times 1.6 \text{ mm}^3 (0.017 \lambda \times 0.011 \lambda \times 0.001 \lambda)$ , 비-포스터는  $20 \times 14.4 \times 1.6 \text{ mm}^3 (0.016 \lambda \times 0.011 \lambda \times 0.001 \lambda)$ 의 소형화된 크기를 가지며, 246~750 MHz 이상의 대역폭을 가진다. 수신 전력 측정 결과, 250~500 MHz 대역에서 평균 19.93 dB 향상되었다. 제안된 안테나는 UHF 대역의 군용 주파수 대역 안테나에 응용될 수 있다.

## References

- [1] C. Caloz, T. Itoh, *Electromagnetic Metamaterials: Transmission Line Theory and Microwave Applications: The Engineering Approach*, Hoboken, NJ, John Wiley & Sons, 2005.
- [2] J. Ha, K. Kwon, and J. Choi, "Compact zeroth-order resonance antenna for implantable biomedical service application," *Electronics Letters*, vol. 47, no. 23, pp. 1267-1269, 2011.
- [3] J. G. Linvill, "Transistor negative-impedance converters," in *Proceedings of the IRE*, vol. 41, no. 6, pp. 725-729, Jun. 1953.
- [4] S. E. Sussman-Fort, M. R. Ronald "Non-Foster impedance matching of electrically-small antennas," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 57, no. 8, pp. 2230-2241, Aug. 2009.
- [5] J. G. Go, J. Y. Chung, "Non-Foster matching circuit design to improve VHF- and UHF-band small antenna impedance matching," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 29, no. 3, pp. 159-166, Mar. 2018.