

# 나선구조 Zeroth-order Resonance 안테나

박 재현, \*류 영호, 김 동진, 추 호성, 이 정해  
 홍익대학교 전자전기공학부  
 \*경북대학교 전자컴퓨터공학과

## Spiral Zeroth-order Resonance Antenna

Jae-Hyun Park, \*Young-Ho Ryu, Dong-Jin Kim, Hosung Choo, Jeong-Hae Lee  
 Department of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University  
 \*School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University  
 E-mail: jeonglee@hongik.ac.kr

### Abstract

The spiral zeroth-order resonance (ZOR) antenna is proposed in this paper. The zeroth-order resonant characteristics of spiral ZOR antenna are described by dispersion relation of periodic structure. The size of 2 by 2 spiral ZOR antenna is  $0.155\lambda_0 \times 0.155\lambda_0$ . The size of this antenna is reduced by ~65% , compared with that of mushroom ZOR antenna. The radiation pattern of this antenna have omnidirectional pattern which is similar to that of mushroom ZOR antenna. The proposed antenna could be applied to reader antenna of location positioning system.

### I. 서론

평면타입의 메타전송선로는 전송선로의 유전율과 투자율이 일반적이지 않은 값을 갖는 새로운 개념의 전송선로를 뜻한다. 그 중에서도 composite right- and left-handed (CRLH) 전송선로는 유전율과 투자율이 주파수에 따라 음수, 영, 양수의 값을 갖는다. 따라서 CRLH 전송선로는 비정상적인 유전율과 투자율의 값에 따라 음, 영, 양의 전파상수를 지원한다 [1-2]. 특히, 전송선로의 전파상수가 영이 된다는 것은 무한과장을 갖는다는 것과 같은 뜻이므로 이러한 특성을 이용하면 zeroth-order resonator (ZOR)와 같은 길이에 무관한 공진기의 설계가 가능하다 [3-4]. 이를 이용한 안테나로 버섯 구조의 ZOR 안테나는 공진주파수에서 무한 과장특성을 갖기 때문에 patch에서 접지면으로 모든 전계가 수직으로 형성된다. 따라서 버섯 구조의 ZOR 안테나는 수평 자계 루프 전류를 형성하게 되어 전방향성 방사패턴을 갖는 장점이 있다 [4]. 또한, 이론적으로 ZOR 안테나는 길이에 무관하게 공진이 발생한다는 장점이 있지만 버섯구조의 ZOR 안테나는 zeroth-order 공진 주파수를 결정하는 via의 인덕턴스와 patch와 접

지면 사이의 커패시턴스 값을 크게 하는데 제한을 갖고 있어 안테나 소형화에 한계가 있다.

본 논문에서는 버섯구조 ZOR 안테나 [4]의 전방향성 방사패턴을 유지하면서도 공진주파수의 실제적인 한계점을 낮추기 위해 나선구조의 패치 형태를 제안한다. 나선구조의 패치를 도입하면 병렬 인덕턴스 값이 증가하게 되며 결국 ZOR 주파수를 낮출 수 있게 만든다. 이것을 확인하기 위해 CRLH 등가회로의 각 파라미터 값을 추출하고 모의 실험과 측정 결과로 이를 확인하였다. 또한, 위치추적 시스템에 적합한 안테나는 전방향성 방사패턴을 요구하므로 제안된 나선구조 ZOR 안테나를 위치추적용 리더 안테나에 적합하도록 설계하였다.

### II. 나선구조 CRLH 전송선로

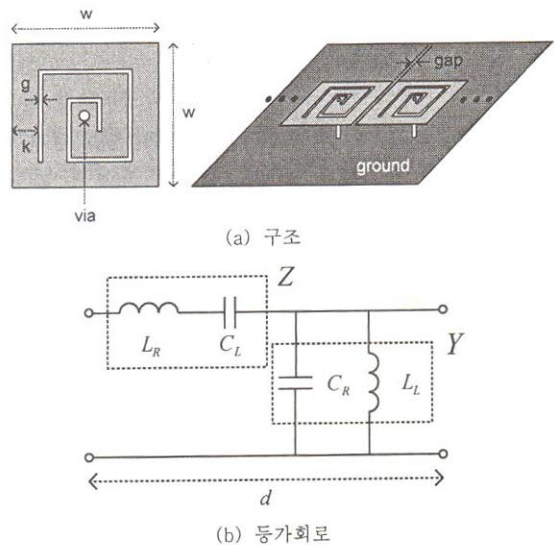


그림 1. 제안된 나선구조 CRLH 전송선로

그림 1(a)에서 나선구조 CRLH 전송선로의 구조를 확인할 수 있다. 제한된 CRLH 전송선로는 나선구조의 patch와 via로 구성되어 있다. 즉, 일반적인 right-handed (RH) 전송선로의 등가회로를 구성하는 직렬 인덕턴스( $L_R$ )와 병렬 커패시턴스( $C_R$ ) 이외에도 patch와 patch 사이의 gap에 의한 직렬 커패시턴스( $C_L$ ), via에 의한 병렬 인덕턴스( $L_L$ )가 추가로 발생한다. 따라서 나선구조 CRLH 전송선로는  $C_L$ 와  $L_L$ 에 의해 left-handed (LH) 특성을 갖게 된다. 이때 patch의 나선구조와 via는 버섯구조의 via보다 신호선과 접지면 사이의 물리적 길이를 증가시키므로 나선구조 CRLH 전송선로에서 발생하는 병렬 인덕턴스는 버섯구조보다 증가하게 된다. 그림 1(b)는 손실이 없는 버섯구조와 나선구조 CRLH 전송선로의 등가회로를 나타낸다. 단위 셀의 등가회로에 주기구조이론을 적용하면 전송선로의 전파상수를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\beta d = \cos^{-1} \left\{ 1 - \frac{1}{2} \left[ \frac{\omega_L^2}{\omega^2} + \frac{\omega^2}{\omega_R^2} - \left( \frac{\omega_E^2}{\omega_R^2} + \frac{\omega_M^2}{\omega_R^2} \right) \right] \right\} \quad (1)$$

$$\omega_R = 1/\sqrt{L_R C_R}, \quad \omega_L = 1/\sqrt{L_L C_L},$$

$$\omega_M = 1/\sqrt{L_R C_L}, \quad \omega_E = 1/\sqrt{L_L C_R}$$

$\beta$ : phase constant,  $d$ : length of the unit cell

따라서 CRLH 전송선로를 이용한 공진기의 각 모드 ( $n$ ) 들은 식 (2)에 의해 계산될 수 있다.

$$\beta_n d = \frac{n\pi d}{l} = \frac{n\pi}{N} \quad (2)$$

( $n=0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm(N-1)$ )

여기서  $N(=l/d)$ 과  $l$ 은 각각 단위 셀의 수와 공진기의 전체 길이를 나타내며 공진기는 단위 셀의 수에 따라 위와 같은 공진 모드를 갖는다. Zeroth-order ( $n=0$ ) 공진 특성을 분석하기 위하여, open-ended 경계 조건 상에서 공진기의 입력 임피던스를 유도해보면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$Z_{in} = -jZ_0 \cot \beta l \Big|_{\beta=0} = -jZ_0 \frac{1}{\beta l} \quad (3)$$

$$= -j\sqrt{\frac{Z'}{Y'}} \left( \frac{1}{-j\sqrt{Z'Y'}} \right) \frac{1}{l} = \frac{1}{Y'} \frac{1}{Nd} = \frac{1}{NY}$$

이때  $Y = j\omega C_R + 1/j\omega L_L$  이고  $N$ 은 단위 셀의 수 이

므로 공진주파수를 결정하는 파라미터는 CRLH 전송선로의 병렬 커패시턴스와 인덕턴스이다. 즉, ZOR 주파수는 다음 식에 의해 결정된다.

$$\omega_{ZOR} = \omega_E = 1/\sqrt{L_L C_R} \quad (4)$$

또한, 단위 셀 개수의 증가에 따라 공진기의 임피던스 값이 반비례하는 특성을 가지므로 셀의 개수를 조절함으로써 안테나의 정합 문제를 해결할 수 있다.

### III. Zeroth-order resonance 안테나

나선구조 CRLH 전송선로의 등가회로를 구성하는 각 파라미터 값은 단위 구조의 모의 실험을 통해 얻어지는 ABCD matrix와 등가회로의 비교로부터 얻어낼 수 있으며, 단위 구조의 치수가 각각  $w=3\text{mm}$ ,  $g=0.1\text{mm}$ ,  $k=0.52\text{mm}$ ,  $\text{gap}=0.2\text{mm}$ , via의 지름 $=0.3\text{mm}$  일때, 등가회로의 파라미터 값은  $C_R=0.217\text{pF}$ ,  $L_R=1.082\text{nH}$ ,  $C_L=0.076\text{pF}$ ,  $L_L=1.638\text{nH}$ 로 추출되었다. 이 값은 같은 크기의 버섯구조 CRLH 전송선로의 파라미터 값인  $C_R=0.210\text{pF}$ ,  $L_R=0.946\text{nH}$ ,  $C_L=0.076\text{pF}$ ,  $L_L=0.569\text{nH}$ 와 비교했을 때 다른 파라미터 값보다 병렬 인덕턴스 ( $L_L$ ) 값이 크게 증가했음을 보여준다. 각 파라미터 값들을 식 (1)에 대입하면 버섯구조와 나선구조를 이용한 CRLH 전송선로의 분산특성을 계산할 수 있으며 이는 그림 2과 같이 얻어진다. 또한, 식 (4)에 의해 ZOR 주파수( $\omega_E$ )를 계산할 수 있고 버섯구조와 나선구조에서 각각 14.56GHz와 8.44GHz로 계산되었다. 각각의 ZOR 주파수는 그림 2에 표시되었다. 그림 3은 나선구조 CRLH 전송선로를 이용한 ZOR 안테나의 모습이다. 구조는  $2 \times 2$  단위 셀로 구성되어 있으며 안테

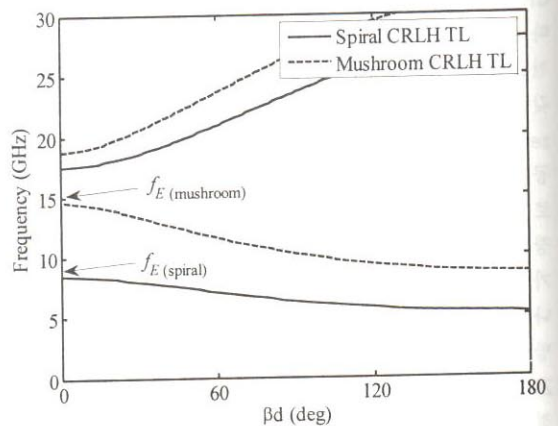


그림 2. 나선구조 CRLH 전송선로의 분산특성

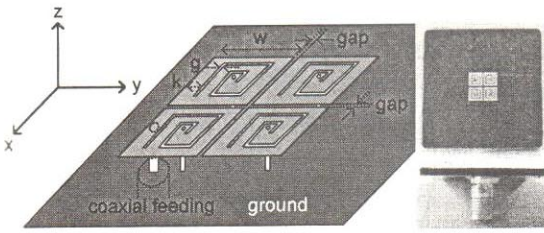


그림 3. 나선구조 CRLH 전송선로를 이용한 2x2 ZOR 안테나 (Rogers duroid5880:  $\epsilon_r = 2.2$ , height = 1.57mm)

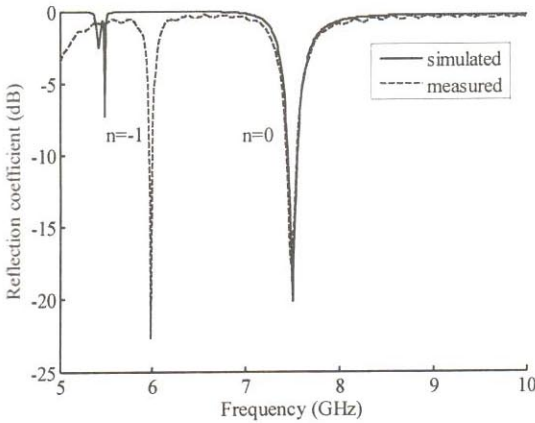
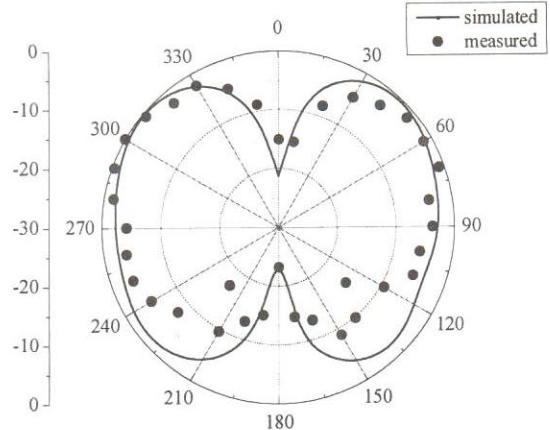
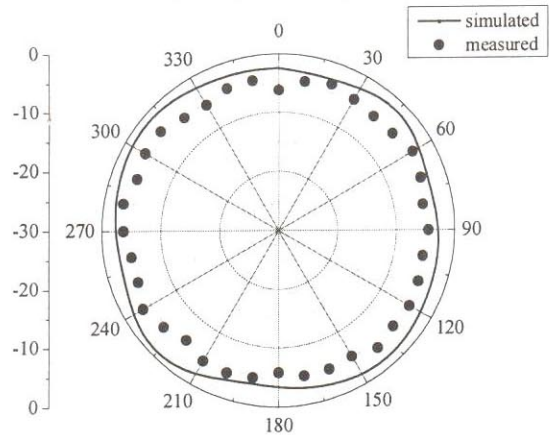


그림 4. 나선구조 ZOR 안테나의 모의 실험과 측정된 반사계수

나와의 정합을 위해 gap이 있는 동축 급전을 사용했다. 나선구조 2x2 ZOR 안테나의 HFSS 시뮬레이션과 측정된 반사계수는 그림 4에서 확인할 수 있으며 측정된 zeroth-order 공진 주파수는 7.5GHz로서 이론 (8.66GHz)과 시뮬레이션(7.5GHz)을 통해 얻어낸 결과와 근사한 값을 확인하였다. Zeroth-order 공진 주파수에서 각각의 공진기는 무한파장을 지원하기 때문에 전체 구조에 균일한 수직전계를 형성한다. 따라서 ZOR안테나는 그림 5(b)와 같이 전방사형 방사패턴을 갖게 된다. 그림 5는 ZOR 주파수에서의 모의 실험과 측정을 통한 E-plane과 H-plane의 방사패턴이다. 접지면을 2x2 나선구조의 패치보다 크게 설계하였으므로 완전한 전방향성 방사특성과 차이가 있음을 확인할 수 있다. 모의 실험을 통한 2x2 ZOR 안테나의 최대이득은 2.3dBi이며 이득변화는 3.6dB 임이 확인되었다. 2x2 나선구조 ZOR 안테나의 크기는  $0.155 \lambda_0 \times 0.155 \lambda_0$ 이며 이는 버섯구조의 ZOR 안테나 ( $0.26 \lambda_0 \times 0.26 \lambda_0$ )와 비교했을 때 약 65%의 면적 감소 효과를 얻을 수 있었다.



(a) E-plane (x-z plane)



(b) H-plane (x-y plane)

그림 5. 나선구조 ZOR 안테나의 방사 패턴

#### IV. 위치추적용 리더 ZOR 안테나 설계

본 절에서는 제안된 안테나를 전방향성의 방사특성을 요구하는 위치 추적 시스템 리더 안테나에 적용하였다. 이에 ZOR 안테나가 갖는 방사특성은 RFID 리더용 안테나로 사용하기 타당하다. 따라서 버섯구조의 ZOR 안테나보다 소형화 되고 방사특성도 동일한 나선구조 ZOR 안테나를 UHF RFID 사용 주파수 대역 (908.5~914MHz)에 맞도록 설계하였다. 2x2 나선 구조 ZOR 안테나의 소형화와 완벽한 전방향성 방사패턴을 얻기 위해 앞서 설계한 2x2 나선구조 안테나와는 달리 접지면을 안테나의 크기와 동일하게 설계하였다.  $\epsilon_r$ 은 1, 10mm 높이를 갖는 기판을 사용하였을 때, 설계 치수는 각각  $w=28\text{mm}$ ,  $g=3.1\text{mm}$ ,  $k=3.1\text{mm}$ ,  $\text{gap}=2\text{mm}$ , via의 지름=0.3mm 이고 CRLH 전송선로 등가회로의 파라미터 값은  $C_R=0.96\text{pF}$ ,  $L_L=48.68\text{nH}$  으로 확인되었다. 여기서 식(4)를 이용하면 ZOR 주파수

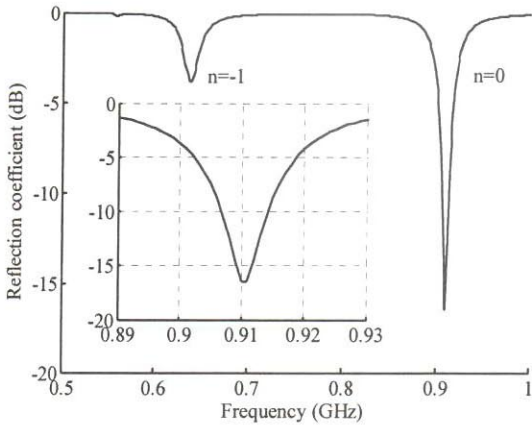


그림 6. 위치추적용 UHF RFID 리더 안테나의 모의 실험된 반사계수

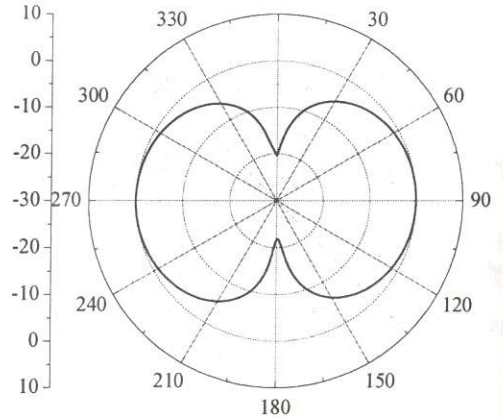
는 736MHz 으로 계산될 수 있다. 모의 실험된 반사계수(그림 6)로부터 ZOR 주파수는 910MHz로 확인되었다. 그림 6은 UHF 대역 RFID 리더 안테나의 사용 주파수 대역을 만족하는 결과(-10dB 대역폭: 907~914MHz)를 보여준다. ZOR 주파수에서의 모의 실험된 방사패턴은 그림 7과 같이 나타나며 이때, 최대 이득은 2.24dBi이며 이득변화는 0.3dB이다. 제안된 위치추적용 RFID 리더 안테나의 전체 크기는 58mm×58mm×10mm ( $0.176\lambda_0 \times 0.176\lambda_0 \times 0.03\lambda_0$ )이며 그림 7과 같이 전방향성 방사특성을 갖고면서도 구조적으로 안정한 형태이다. 또한, UHF RFID 사용 주파수 대역을 만족하므로 위치추적용 UHF RFID 리더 안테나에 적합하다.

### V. 결론

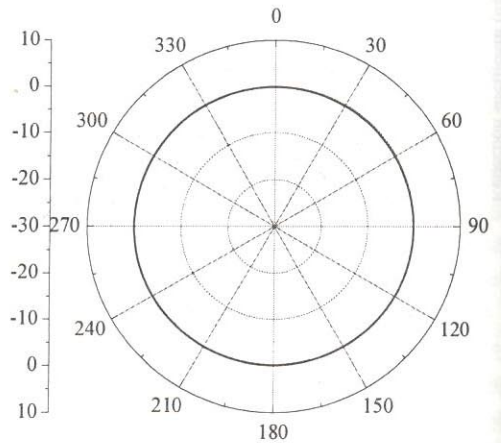
본 논문에서 나선구조 ZOR 안테나가 제안되었다. 제안된 ZOR 안테나의 공진주파수는 이론을 통해 분석되었고 모의 실험 결과와 측정 결과를 통해 그 타당성이 확인되었다. 2×2 나선구조 ZOR 안테나의 크기는  $0.155\lambda_0 \times 0.155\lambda_0$  이며 이는 버섯구조의 ZOR 안테나와 비교했을 때 약 65%의 크기 감소 효과를 얻을 수 있었다. 또한 위치추적용 UHF RFID 리더 안테나에 적합한 2×2 나선구조 ZOR 안테나를 제안하였고 그 결과 UHF RFID 사용 주파수대역을 만족하며 전방향성 방사패턴을 갖는 것을 확인하였다. 안테나의 크기는  $0.176\lambda_0 \times 0.176\lambda_0 \times 0.03\lambda_0$ 로서 소형화된 RFID 리더 안테나로 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

### 감사의 글

본 연구는 서울시 산학연 협력사업 지원으로 수행되었음.



(a) E-plane (x-z plane)



(b) H-plane (x-y plane)

그림 7. 위치추적용 UHF RFID 리더 안테나의 모의 실험된 방사패턴

### [참고 문헌]

- [1] G.V. Eleftheriades, A.K. Iyer, and P.C. Kremer, "Planar negative refractive index media using periodically L-C loaded transmission lines" *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol.50, no.12, pp.2702-2712, 2002.
- [2] A. Sanada, C. Caloz, and T. Itoh, "Planar distributed structures with negative refractive index" *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol.52, no.4, pp.1252-1263, 2004.
- [3] A. Sanada, C. Caloz, and T. Itoh, "Novel zeroth-order resonance in composite right/left-handed transmission line resonators," *Asia-Pacific Microwave Conference*, vol.3, pp.1588-1591, 2003.
- [4] J.G. Lee and J.H. Lee, "Zeroth order resonance loop antenna," *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, Vol. 55, No. 3, pp. 994-997, March, 2007