

## RFID 리더용 2 단 스파이럴 안테나 설계

이주용\*, 추호성\*, 박익모\*\*, 한원근\*\*\*

\*홍익대학교 전자전기공학부, 서울시 마포구 상수동 72-1

\*\*아주대학교 전자공학부, 경기도 수원시 영통구 원천동 산 5

\*\*\*홍익대학교 물리학과, 서울시 마포구 상수동 72-1

## Design of a two-layered spiral RFID reader antenna

Chuyong Lee\*, Hosung Choo\*, Ikmo Park\*\*, Wonekeun Han\*\*\*

\*School of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University, Seoul, Korea

\*\* Department of Electrical and Computer Engineering, Ajou University, Suwon, Korea

\*\*\* Department of Physics, Hongik University, Seoul, Korea

E-mail: hschoo@hongik.ac.kr

### Abstract

In this paper, we design a novel circularly polarized (CP) two-layered spiral antenna (TLSA) with a simple structure consisting of two main spiral radiators printed on thin substrate, a ground plate, and shorting walls. The proposed antenna exhibits a broad BW and CPBW characteristics in spite of a 37% reduced antenna size compared to a one-layered spiral antenna. The built TLSA shows the axial ratio of less than 3 dB, the return loss of less than -10 dB from 860 MHz to 960 MHz, and the gain of about 6.7 dBi in that operating frequency range.

### I. 서론

UHF 대역 RFID 시스템은 태그와 리더로 구성되며 복사관 방식을 통하여 정보를 송수신한다. 현재 사용하고 있는 태그 안테나의 대부분은 선형 편파 (linear polarization) 특성을 갖는 다이폴 구조이므로, 태그 안에 있는 정보를 리더가 원활히 수신하기 위해서는 리더 안테나가 태그 안테나의 편파 특성에 관계 없이 전파를 수신 할 수 있는 원형 편파 (circularly polarization) 특성

을 가져야 한다. 또한 지역에 따른 사용 주파수 규격에 관계없이 태그를 인식하기 위해서는 리더 안테나의 반사 손실 대역폭(BW)과 원형 편파 대역폭(CPBW)이 전 세계 UHF RFID 주파수 대역폭(860 ~ 960 MHz)을 만족시키며 동작해야 한다. 이러한 UHF 대역 RFID 시스템이 다양한 분야에서 사용되기 위해서는 특히 리더 안테나의 크기가 이동과 설치가 용이하도록 소형화되어야 한다.

현재 RFID 리더 안테나로 제안되는 구조의 대부분은 마이크로스트립 패치 형태로서 원형 편파 특성을 가지기 위해 패치의 모서리 부분을 절제하거나 패치를 원형으로 제작하거나, 또는 위상 변환 급전회로의 위상차를 이용하는 등 다양한 방법들을 사용한다[1]-[3]. 그러나 이러한 마이크로스트립 패치 형태의 안테나는 원형 편파를 복사하지만 대역폭이 협소하여 전 세계 UHF RFID 주파수 대역폭을 만족시키기 어렵다. 마이크로스트립 패치 안테나의 협소한 반사 손실 대역폭과 원형 편파 대역폭을 개선하기 위해 최근 다각 다단 구조의 헬릭스 안테나(MPHA)가 제안되었으나 구조가 양산에 용이하지 않은 단점을 가진다[4]. 또한 제작이 용이하면서 광대역 원형 편파 대역폭을 가지도록 평면 구조의

스파이럴 안테나가 제안되었으나 겹지면을 포함한 안테나의 크기가 증가되어 다양한 분야에 적용하는 것이 어렵다[5].

본 논문에서는 기존의 1단 스파이럴 안테나보다 크기가 소형화된 2단 구조의 광대역 스파이럴 안테나(two-layered spiral antenna; TLSA)를 제안한다. 제안된 안테나는 반사 손실 대역폭( $S_{11} < -10$  dB)과 원형 편파 대역폭( $AR < 3$  dB)이 전 세계 UHF RFID 주파수 대역폭을 만족하며, 동작 주파수 대역에서 고른 이득을 보여 RFID 리더 안테나로 적합함을 확인하였다.

## II. 안테나 구조 및 특성

그림 1은 제안된 TLSA의 사시도와 본체 구조 및 측면도를 나타낸 것이다. 그림 1(a)와 같이 본체는 2단의 다각 스파이럴 구조를 가지며 아랫단(1<sup>st</sup> layer)은 내부에서 외부로 감겨 나가고, 윗단(2<sup>nd</sup> layer)은 외부에서 내부로 다시 감겨 들어가는 형태이다. 아랫단과 윗단은 각 단의 끝부분이 연결선로(connection line)를 통하여 서로 전기적으로 연결된 구조를 가진다. 또한 안테나의 접지면(GND)은 광대역의 반사 손실 대역폭과 원형 편파 대역폭을 유지하면서도 전체 안테나 크기를 소형화시키기 위해 접지면의 가장 자리를 접어 올린 구조를 사용하였다. 그림 1(b)는 본체의 기본 구조로서 각도( $\theta_n = 45^\circ \times n$ )가 일정하게 증가할 때마다 원점으로부터의 거리( $r_n$ )가 임의로 변하면서 안에서 밖으로 감겨 나가는 구조를 보인다. 일정한 각도에 따라 스파이럴의 길이( $r_n$ )를 변화시키는 방법으로 선로에 유기되는 전류를 진행파(traveling wave)와 유사하도록 유도하며, 이를 통해 광대역에서 원형 편파 특성이 개선되는 장점을 가지게 된다. 그림 1(c)의 연결 선로와 본체의 스파이럴 스트립 라인은 FR-4 기판( $\epsilon_r = 4.25$ ,  $\tan\delta = 0.02$ , thickness = 1.6 mm) 위에 대량생산이 용이하도록 인쇄된 형태이며 2 mm의 두께를 가진다. 급전부와 아랫단 본체 사이의 연결선로는  $z$ -축과 일정 기울기를 가지면서 약  $1/4 \lambda$ 의 길이가 되도록 하여 광대역 임피던스 정합기의 역할을 하도록 설계하였다.

제안된 안테나의 여러 설계변수들( $r_{mn}$ ,  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$ ,  $w$ , 스파이럴의 감기는 횟수)의 최적 값을 도출하기 위해 FEKO EM 시뮬레이터와 Pareto 유전자 알고리즘을

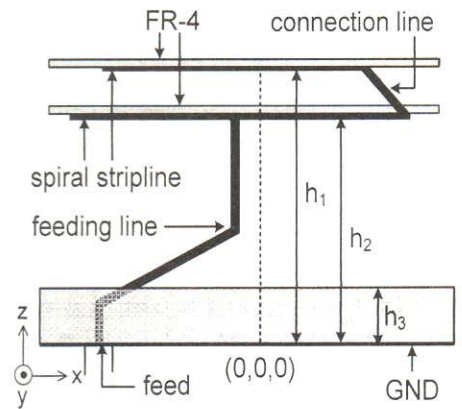
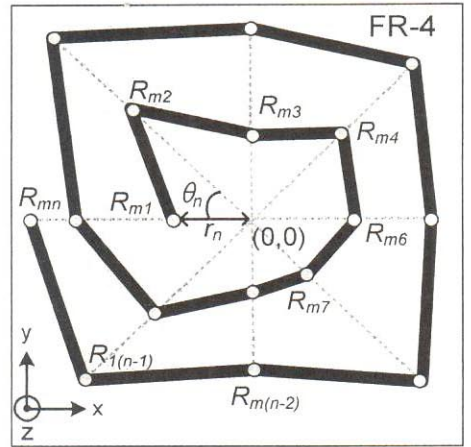
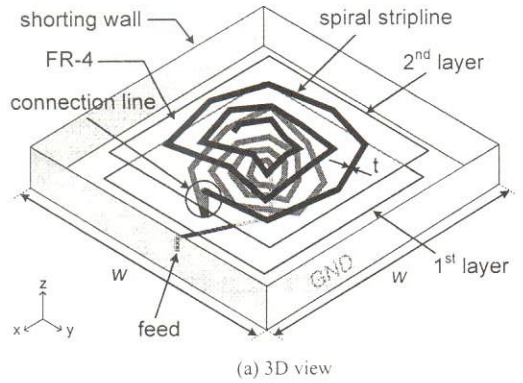


그림 1. TLSA 구조

사용하였다[6]-[7].

최적화된 스파이럴 구조의 아랫단과 윗단의 감기는 주수는 각 3.5 회와 3 회이며, 높이는 각각 4.2 cm와 8.2 cm로 연결선로를 포함한 선로의 총 길이는 약  $5.2 \lambda$  ( $f_c = 912$  MHz)이다. Shorting wall의 높이는 2 cm이며 안테나의 체적은  $1,607.2 \text{ cm}^3$ 로 1단 다각 스파이럴 안테나 ( $4,356 \text{ cm}^3$ )보다 체적이 약 37% 소형화되었다.

그림 2는 TLSA와 1단 스파이럴 안테나의 반사손실을 나타낸다. 반사 손실 대역폭( $S_{11} < -10$  dB)이 동작 주파수 912 MHz를 기준으로 모두 13% 이상으로 설계 주파수 대역폭(860 ~ 960 MHz)을 만족하며 동작한다. TLSA의 반사 손실에서 아랫단의 스파이럴은 고주파 대역(880 ~ 980 MHz)에서 동작을 하며, 윗단의 스파이럴은 저주파 대역(800 ~ 880 MHz)에서 동작하는 구조를 가진다.

그림 3은 제안된 안테나의 축비를 1단 다각 스파이럴 안테나와 비교하여 나타낸 것이다. 축비는 두 개의 안테나 모두  $AR < 3$  dB를 기준으로 17% (860 ~ 1050 MHz) 이상의 원형 편파 대역폭을 가진다. 이는 제안된 다각 스파이럴 구조가 안테나에 흐르는 전류 특성을 정재파(standing wave)가 아닌 진행파(traveling wave)와 유사하도록 하여 광대역 원형 편파 특성을 개선시켰기 때문이다. 따라서 TLSA의 반사 손실 대역폭과 원형 편파 대역폭이 기존의 1단 다각 스파이럴 안테나와 비슷한 성능을 가짐에도 불구하고, 그 크기는 체적 대비 약 37% 정도 소형화되어 이동 및 설치가 용이하여야 하는 RFID 리더 안테나로 적합함을 확인하였다.

그림 4는 제안된 TLSA의 복사패턴을 중심 주파수 대역(912 MHz)에서  $x-z$ ,  $y-z$  평면으로 시뮬레이션 한 결과이며 정면( $\theta = 0^\circ$ ) 방향에서 약 6.7 dBi의 이득을 보인다. 또한 HPBW가 약  $80^\circ$  정도의 넓은 범위를 가져 안정적인 태그의 인식이 가능하다.

그림 5는 안테나 본체의 단수를 1단에서 4단까지 증가시키면서 안테나를 최적화하였을 때의 성능 및 크기를 나타낸 것이다. 접지면의 크기는 25 cm, 윗단의 최대 높이는 20 cm 이하가 되도록 설정하였다. 최적화된 결과 반사 손실 대역폭은 단수에 영향을 거의 받지 않고 약 15%의 대역폭을 가지며, 원형 편파 대역폭은 단수가 증가하면서 다소 협소해지는 경향을 보이나 전 세계 UHF RFID 사용 주파수 대역을 만족시킨다. 안테나의 접지면 크기와 안테나 높이는 단수에 따라 각각

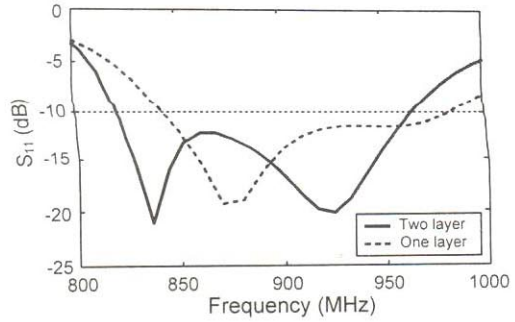


그림 2. 안테나 반사 손실 비교

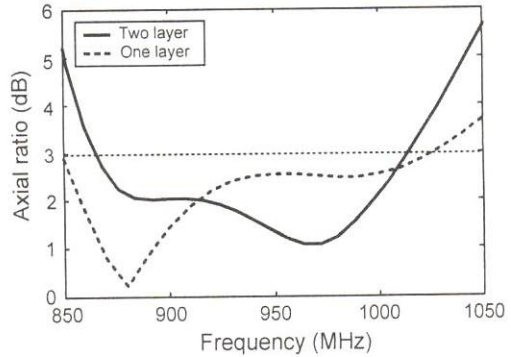


그림 3. 안테나의 축비 비교

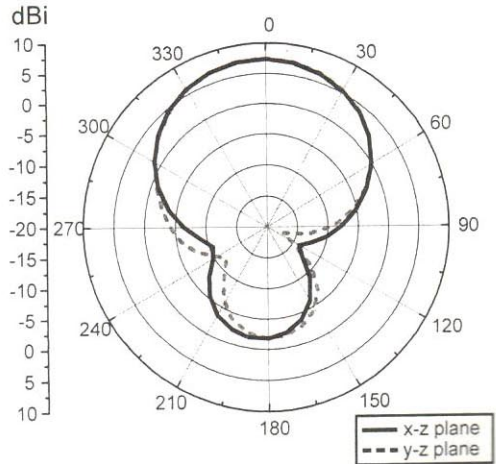


그림 4. 안테나의 복사 패턴

14 ~ 18 cm, 8 ~ 17 cm 정도로 변하며, 2단 일 때 접지면의 크기와 안테나의 높이가 가장 소형화 되는 것을 확인할 수 있다.

### III. 결론

본 논문에서는 광대역 임피던스 정합 및 원형 편파 성능이 우수함에도 크기가 기존의 1단 다각 스카이럴 안테나보다 소형화된 2단 다각 스카이럴 안테나를 제안하였다. 제작된 안테나는 반사 손실 대역폭과 원형 편파 대역폭이 각각 15.3%와 20.8%로 전 세계 UHF 주파수 대역폭(860 ~ 960 MHz)을 만족하고, 크기가 기존의 1단 다각 스카이럴 안테나보다 체적대비 약 37% 정도 소형화되었다. 또한 복사 패턴은  $x$ - $z$ ,  $y$ - $z$  평면에 영향을 거의 받지 않고 유사한 형태로 복사하며 주빔 방향( $z$  축상)에서 약 6.7 dBi, HPBW는 약 80°로 넓은 방향에서 안정적인 테그 인식이 가능하였다. 본체의 단수에 따른 성능을 최적화하여 비교한 결과 반사 손실 대역폭은 모두 15% 정도이며, 원형 편파 대역폭은 단수가 증가하면서 다소 협소해지는 경향을 보이나 동작 주파수 대역에서 모두 10% 이상을 만족하였다. 안테나의 크기와 높이를 비교해 본 결과 2단의 구조를 가지는 제안된 안테나가 성능대비 크기에서 가장 소형화되어 상용 RFID 리더 안테나로 적용 가능함을 확인하였다.

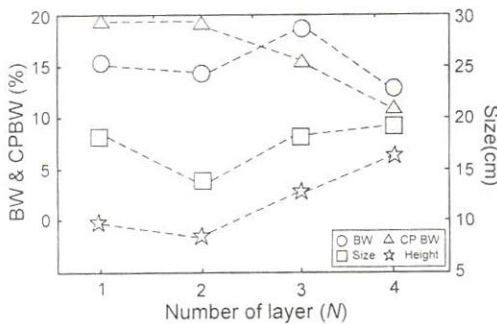


그림 5 단수에 따른 성능 및 크기 변화

### 감사의 글

본 논문은 서울시 산학연 협력사업의 지원 하에 이루어졌음.

### 참고문헌

- [1] S. A. Bokhari, J. F. Zurcher, J. R. Mosig, and F. E. Gardiol, "A small microstrip patch antenna with a convenient tuning option," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 44, no. 11, pp. 1521-1528, Nov. 1996.
- [2] S. A. Bokhari, J. F. Zurcher, J. R. Mosig, and F. E. Gardiol, "A small microstrip patch antenna with a convenient tuning option," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 44, no. 11, pp. 1521-1528, Nov. 1996.
- [3] N. Chang and J. Lin, "A novel circularly polarized patch antenna with a serial multi-slot type of loading," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 55, no. 11, pp. 3345-3348, Nov. 2007.
- [4] J. Choo, H. Choo, I. Park, and Y. Oh, "Design of multi-layered polygonal helix antennas for RFID applications," *Microwave and Opt. Technol. Lett.*, vol. 49, no. 8, pp. 1971-1974, Aug. 2007.
- [5] 이주용, 추호성, 박익모, 한원근, "UHF 대역 CP 스카이럴 RFID 리더 안테나 설계," *전자과학기술학회논문지*, 19(5), 2008년 5월. 등재예정.
- [6] Y. Rahmat-Samii and E. Michielssen, *Electromagnetic Optimization by Genetic Algorithms*, New York: John Wiley & Sons, 1999.
- [7] FEKO [Online]. Available: <http://www.feko.info>