

원형편파 RFID 태그 안테나 설계

조치현*, 김동진*, 추호성*, 이정해*, 박익모**

*홍익대학교 전자전기공학부, 서울시 마포구 상수동 72-1

**아주대학교 전자공학부, 경기도 수원시 영통구 원천동 산 5

Design of a Novel RFID Tag Antenna with Circular Polarization

Chihyun Cho, Dong-Jin Kim, Hosung Choo, Jeong-Hae Lee, and Ikmo Park

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

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

E-mail: hschoo@hongik.ac.kr

Abstract

In this paper, we design a novel circularly polarized (CP) tag antenna with a simple structure consisting of a main antenna body, a ground plate, a shorting wall, and a thin substrate. The proposed CP tag shows the axial ratio of less than 3 dB from 904 MHz to 920 MHz, and the gain of about 5 dBi in the operating frequency range. The proposed tag shows a stable reading range without the loss of polarization when a linearly polarized antenna is used for a reader. Also the tag antenna shows the doubled reading range compared to a linearly polarized tag antenna when a CP antenna is used for a reader.

I. 서론

일반적으로 UHF 대역 RFID는 생산 비용 절감을 위해 평면 다이폴(planar dipole)을 태그 안테나로 사용한다. 그러나 다이폴 안테나는 선형 편파 (Linear Polarization) 특성을 가져 리더에서 송신된 전파와

방향이 일치하지 않으면 태그가 전파를 수신하는 과정에서 많은 전력 손실이 발생할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 원형편파 (Circular Polarization) 안테나를 이용하여 송신 전파를 보내면 태그의 편파 방향과 무관하게 태그는 항상 일정한 전력을 수신하게 된다. 그러나 선형편파 태그를 이용하여 CP 전파를 수신하면 편파 부정합이 발생하여 약 1/2의 전력손실이 발생된다. 특히 UHF 대역 RFID는 각 나라마다 송출전력에 엄격한 제한이 있으므로 편파 부정합에 의해 발생하는 전력 손실은 RFID 시스템의 성능을 감소시키게 된다.

최근 이러한 문제점을 해결하기 위해 다중 포트(multi-port)를 이용한 태그 안테나 개발에 관한 연구가 진행되었다[1]. 각 포트에 + 모양으로 안테나를 연결하여 수직/수평 편파 신호를 모두 수신할 수 있도록 하였다. 그러나 이러한 다중 포트 태그 칩은 각각의 안테나를 통해 수신한 신호를 다시 신호 처리해야 하므로 기존의 태그 칩에 비해 생산 비용이 상승하는 문제점을 가진다.

본 논문에서는 생산 비용을 절감하고 기존의 태그 칩을 이용하여 CP 전파를 송/수신할 수 있는 간단한 구조의 RFID 태그 안테나를 제안하였다. 제안된

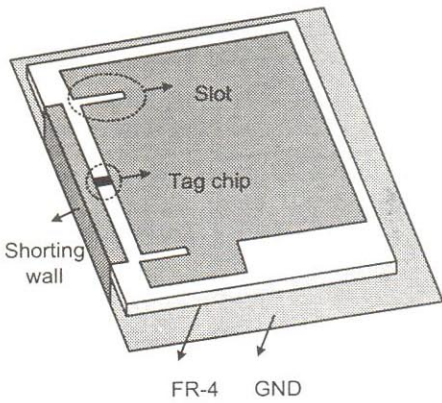


그림 1 CP RFID 태그 안테나 구조

안테나는 평균 5 dBi의 이득을 가지며 904 MHz ~ 920 MHz의 범위에서 축비(Axial ratio)가 3 dB 이하를 보인다. 또한 제안된 태그 안테나는 CP 리더를 사용하였을 경우 선형편파 태그에 비해 인식거리가 약 2배 향상되었다.

II. 안테나 구조 및 특성

그림 1은 제안된 CP 태그 안테나 구조를 보여준다. 안테나 본체는 1.6 mm 두께를 가지는 FR-4 (ϵ_r : 4.25, $\tan\delta$: 0.02) 기판 위에 인쇄되었으며, 접지면과 안테나 본체를 연결하기 위한 shorting wall을 사용하였다. 태그 칩은 shorting wall과 안테나 본체 사이에 삽입되었으며, 태그 칩이 연결된 양쪽으로 안테나 본체에 슬롯을 만들어 안테나가 태그 칩의 공액 임피던스에 정합이 될 수 있도록 하였다. 또한 안테나 본체의 한 부분을 사각형으로 잘라내어 보다 용이하게 원형편파가 생성될 수 있도록 하였다. 제안된 안테나의 구체적 설계 변수들은 개발된 Pareto 유전자 알고리즘[2]과 FEKO EM 시뮬레이터[3]의 해석 엔진을 결합하여 최적화하였다.

그림 2는 최적화된 안테나의 이득과 축비를 나타낸다. 안테나 이득은 850 MHz ~ 950 MHz에서 평균 5 dBi 이상을 보인다. 안테나 이득은 태그 칩에 공액 정합되었을 때의 이득을 의미하며 다음 식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{Gain} = \text{Dir} \times \text{Eff} \times \left(1 - \frac{|Z_{ant} - Z_{chip}^*|^2}{|Z_{ant} + Z_{chip}|^2}\right) \quad (1)$$

여기서 Eff 와 Dir 은 각각 안테나의 복사효율과 지향성(Directivity)을 의미하며, Z_{ant} 와 Z_{chip} 은 안테나와 태그 칩의 입력 임피던스를 나타낸다. 또한 제안된 안테나는 904 MHz ~ 920 MHz의 범위에서 3 dB 이하의 축비를 가지므로 국내 RFID 주파수 대역(908.5 MHz ~ 914 MHz)을 충분히 만족한다.

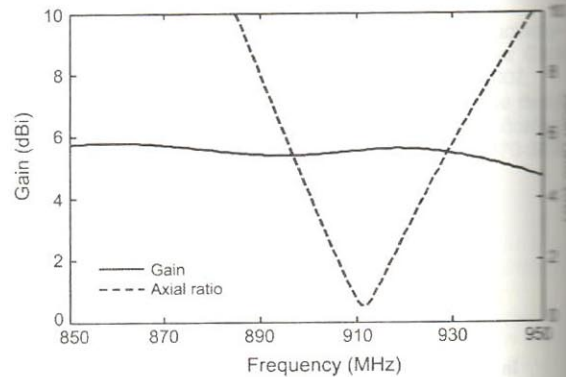


그림 2 CP RFID 태그 안테나 이득과 축비

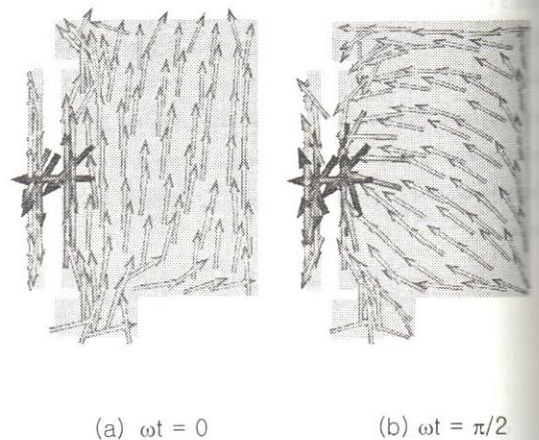


그림 3 CP RFID 태그 안테나 표면 전류

그림3은 시간에 따라 제안된 태그 안테나 표면에 흐르는 전류의 모양을 나타낸 것으로 각각 $0, \pi/2$ 에서의 전류 흐름을 보여준다. $\omega t = 0$ 에서 전류는 위쪽 방향으로 흐르지만, $\pi/2$ 후 전류는 왼쪽 방향으로 흐른다. $\omega t = \pi$ 에서는 $\omega t = 0$ 과 위상이 180° 차이가 발생하므로 전류는 아래쪽으로 흐르게 되며, $\omega t = 3\pi/2$ 에서는 전류가 오른쪽으로 흐르게 된다. 따라서 안테나 본체에 흐르는 전류는 반 시계 방향으로 회전하며 전파는 z 방향으로 진행을 하므로 제안된 태그는 Right Hand Circularly Polarization(RHCP)를 형성하게 된다.

그림 4는 제안된 CP 태그 안테나의 복사패턴을 보여준다. $\theta = 0^\circ$ 에서 안테나의 이득이 가장 높으며, back-lobe가 약 -7 dBi 이하로 안테나의 겹지면 쪽으로 복사가 거의 이루어지지 않으며, 이로 인하여 개발된 태그 안테나가 다양한 물체에 부착되더라도 안테나의 성능이 크게 변하지 않는다. 또한 3 dB 빔폭이 약 80° 로 비교적 넓은 각도 범위에서 안정적인 태그의 인식이 가능하다.

그림 5는 제안된 CP 태그 안테나의 인식거리를 나타낸다. 안테나의 인식거리는 Alien사[4]의 리더 시스템 (ALR-9800)과 태그 칩 (ALL-9440)을 이용하여 인식거리를 측정하였으며, 약 6 dBi의 이득을 가지는 선형편파 안테나를 리더 안테나로 사용하였다. 태그의 인식거리 시뮬레이션은 다음의 식을 이용하였다 [5].

$$R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_t G_{\text{tag}}^2 G_{\text{reader}}^2}{P_{\text{system}}} \left(\frac{\lambda}{4\pi}\right)^4} \quad (2)$$

여기서 P_t 는 RFID 시스템의 송출 전력, G_{tag} 와 G_{reader} 는 각각 태그와 리더 안테나의 이득을 의미한다. P_{system} 은 리더 시스템이 태그를 인식하기 위해 필요한 최소 신호 전력을 나타낸다. 측정에 사용된 리더 시스템의 P_t 는 0.25 W 이며, P_{system} 은 약 -75 dBm 이다. 시뮬레이션 결과는 실선으로 나타내었으며, 측정결과는 점선과 사각형으로 나타내었다. 태그 안테나의 평면에서는 측정결과와 시뮬레이션 결과가 매우 유사하지만 옆면에서는 다소 인식거리의 차가 발생한다. 이는 RFID 태그 안테나의 인식거리를 전파무반사실이 아닌 일반 사무환경에서 측정하였기 때문인 것으로 사료된다.

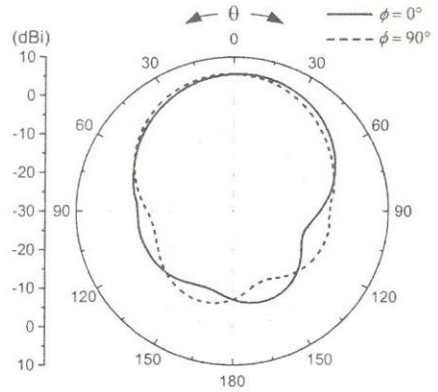


그림 4 CP RFID 태그 안테나 복사패턴

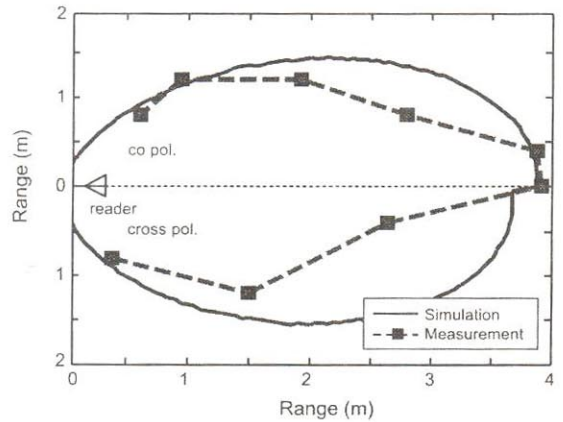


그림 5 CP RFID 태그 안테나 인식거리

그림 5의 위 부분은 리더 안테나와 태그 안테나의 주 편파 방향을 맞춘 상태에서 측정된 인식거리이며, 아래 부분은 태그 안테나를 90° 회전시켜 측정한 인식거리이다. 선형편파 리더 안테나를 이용하였음에도 불구하고 개발된 태그 안테나는 편파의 방향과 무관하게 안정적인 인식거리 성능을 보여준다.

그림 6은 리더 안테나의 축비에 따른 태그 안테나의 인식거리 변화율을 나타낸다. 리더 안테나가 각각 다른 축비를 가질 때 선형 편파 태그 안테나와 CP 태그 안테나의 인식거리가 어떻게 변화하는지를 의미한다. 축비가 다른 리더 안테나와 태그 안테나 사이의 편파 부정합은 다음 식을 이용하였다 [6].

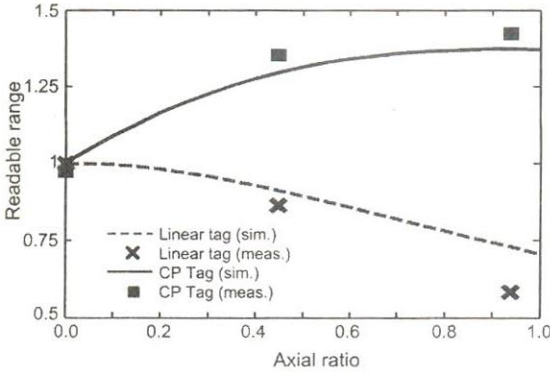


그림 6 리더 안테나 축비에 따른 태그 안테나 인식거리

$$p = \frac{1}{2} + \frac{4R_{\text{reader}}R_{\text{tag}} + (R_{\text{reader}}^2 - 1)(R_{\text{tag}}^2 - 1)\cos 2\Delta\tau}{2(R_{\text{reader}}^2 + 1)(R_{\text{tag}}^2 + 1)} \quad (3)$$

p 는 편파 부정합을 의미하며, R_{reader} 와 R_{tag} 는 각각 리더 안테나와 태그 안테나의 축비를 나타낸다. $\Delta\tau$ 는 리더와 태그 안테나의 최대 이득이 발생하는 각도의 차이를 의미한다. 편파 부정합이 포함된 RFID 인식거리 수식은 다음과 같다.

$$R_{\text{max}} = \sqrt[3]{\frac{P_i G_{\text{tag}}^2 G_{\text{reader}}^2 P^2}{P_{\text{system}}} \left(\frac{\lambda}{4\pi}\right)^4} \quad (4)$$

각각 점선과 실선은 식(4)을 이용하여 계산된 선형편파 태그와 CP 태그의 정규화된 이론적 인식거리를 나타낸다. 또한 측정된 CP 태그와 선형 편파 태그의 인식거리를 각각 사각형과 x 기호로 나타내었다. 인식거리 측정 결과와 시뮬레이션 결과가 비교적 잘 일치하고 있음을 보여준다. 선형 편파 리더 안테나를 사용할 시 각 태그의 인식거리는 유사한 인식거리를 보이지만, 리더 안테나의 축비가 점차 1로 증가함에 따라 각 태그의 인식거리는 커다란 차이를 보인다. 축비가 1에 가까운 리더 안테나를 이용 시, 선형 편파 태그는 1/2의 편파 부정합이 발생하고 인식거리는 약 30% 감소하게 된다. 그러나 CP 태그의 경우 오히려 편파 부정합이 선형편파 리더 안테나를 사용할 경우보다 감소하고 인식거리가 약 40% 증가한다.

따라서 CP 리더 안테나를 이용하는 RFID 시스템의 경우, CP 태그가 선형편파 태그에 비해 약 2배의 인식거리가 상승된다.

III. 결론

본 논문에서는 원형편파 태그 안테나를 제작하고 상용 RFID 시스템을 이용하여 인식거리를 측정하였다. 개발된 태그 안테나는 904 ~ 920 MHz 에서 축비가 3 dB 이하의 성능을 보였으며, 동작 주파수 범위에서 평균 5 dBi의 이득을 보였다. 또한 상용 RFID 시스템과 선형 편파 리더 안테나를 이용하여 인식거리를 측정한 결과 리더 안테나의 편파와 무관하게 유사한 인식거리를 가졌다. CP 리더 안테나를 사용할 경우, 선형편파 태그에 비해 인식거리가 약 2배 증가되었다.

감사의 글

본 논문은 서울시 산학연 협력사업의 지원 하에 이루어졌음.

참고문헌

- [1] P. V. Nikitin, S. Lam, and K. V. S Rao, "Performance of RFID Tags with Multiple RF Ports," in *IEEE Antennas Propagat. Soc. Int. Symp.*, pp. 5459-5462, June 2007.
- [2] J. Horn, N. Nafpliotis and D. E. Goldberg, "A niched Pareto genetic algorithm for multiobjective optimization," in *Proc. First IEEE Conf. Evolutionary Computation*, vol. 1, pp. 82-87, June 1994.
- [3] <http://www.feko.info>, EM Software & Systems, "FEKO Suite 5.2."
- [4] <http://www.alientechnology.com>, "RFID systems."
- [5] C. Cho, H. Choo, and I. Park, "Design of UHF small passive tag antennas," in *IEEE Antennas Propagat. Soc. Int. Symp.*, vol. 2B, pp. 349-352, July 2005.
- [6] W. L. Stutzman, *Polarization in Electromagnetic Systems*, Boston, Artech House, 1993.