

편파이득 향상을 위한 태그 안테나 설계

°조치현*, 추호성*, 이정해*, 박익모**

*홍익대학교 전자전기공학부, 서울시 마포구 상수동 72-1

**아주대학교 전자공학부, 경기도 수원시 영통구 원천동 산 5

E-mail: hschoo@hongik.ac.kr

Design of a Novel RFID Tag Antenna with Improved Polarization Efficiency

Chihyun Cho*, Hosung Choo*, Jeong-Hae Lee*, and Ikmo Park**

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

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

Abstract

본 논문에서는 리더의 송출전력 규제를 만족하며 RFID 시스템의 인식거리 향상을 위하여 새로운 구조의 태그 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 2 단 평판 형태의 간단한 구조임에도 불구하고 기존의 다이폴 구조의 태그와 달리 편파 부정합이 발생하지 않아 인식거리를 증대시킬 수 있다. 개발된 태그는 10 %의 임피던스 대역폭($S_{11} < -10$ dB)과 약 1.8 %의 CP 대역폭(Axial < 3dB)을 가지며, 상용 리더 시스템을 이용 시 2 배 이상의 증가된 인식거리 성능을 보인다. 또한 개발된 태그의 후방 산란 신호를 분석하여 변조된 신호가 리더 안테나와 동일한 편파 특성을 가지는 것을 확인하였다.

I. 서론

일반적으로 RFID 리더 시스템은 태그가 부착된 방향과 무관하게 안정적으로 태그에 저장된 정보를 획득하기 위해 원형편파 리더 안테나를 사용한다. 그러나 대부분의 태그 안테나는 태그의 생산비용을 절감시키기 위하여 평면형 다이폴 안테나 구조를 이용하므로 비록 태그가 놓인 방향과는 무관하게 인식이 되지만 리더가 수신한 전력 중 일부분만 수신하게 된다.

RFID 시스템은 각 나라에 따라 적용되는 규약이

값이 다르지만 모두 4W EIRP의 전력 송출 규제를 만족해야 한다 [1]. 그러므로 신호의 증폭 없이 단순히 리더 신호를 backscattering 하는 수동형 RFID의 경우 제한된 리더 시스템의 송출 전력하에서 RFID의 인식거리는 극히 제약적일 수 밖에 없다. 따라서 제한된 송출 전력하에서 RFID 시스템의 인식거리 성능을 향상시키기 위해서는 태그와 리더 안테나 사이의 편파 부정합을 해결할 수 있는 방법이 절실히 요구되고 있다.

따라서 본 논문에서는 원형 편파 특성을 가지는 태그 안테나를 개발하여 편파 이득을 향상시키고 제한된 송출 전력하에서 RFID 시스템의 인식거리 성능을 향상시켰다. 개발된 안테나는 마이크로스트립

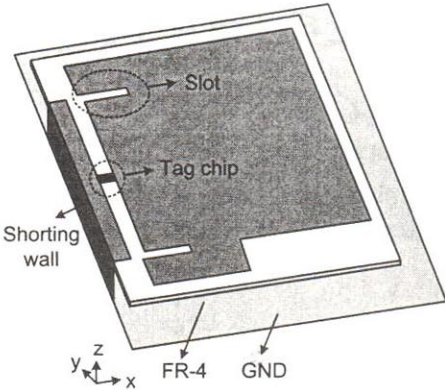


그림 1 제안된 원형편파 RFID 태그 안테나 구조

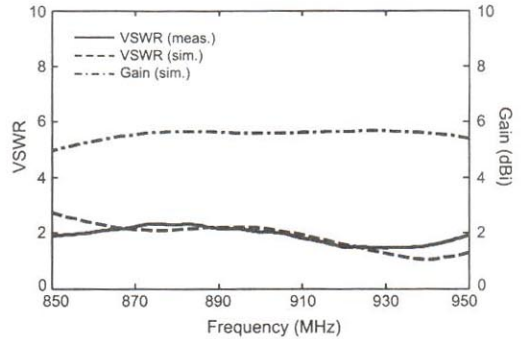


그림 2 제안된 태그 안테나 VSWR 및 이득

패치 구조로 대량생산이 용이하며, 904 MHz ~ 920 MHz 에서 축비가 3 dB 이하의 성능을 보였으며, 동작 주파수 범위에서 평균 5 dBi의 이득을 보였다. 또한 선형 편파 태그에 비해 약 2배 이상의 인식거리 성능을 보였고, 리더 안테나가 선형 편파 특성을 가지더라도 편파의 방향과 무관하게 안정적인 인식거리 성능을 보인다.

II. 원형편파 태그 안테나 설계

그림 1은 편파 이득을 향상시키기 위해 제안된 태그 안테나의 구조를 보여준다. 안테나 본체는 1.6 mm 두께를 가지는 FR-4 (ϵ_r : 4.25, $\tan\delta$: 0.02) 기판 위에 인쇄되었으며, 안테나 본체를 안정적으로 고정하며 접지면에 전기적으로 연결하기 위하여 shorting wall을 안테나 옆면에 삽입하였다. 태그 칩은 shorting wall과 안테나 본체 사이인 안테나 윗면에 위치하도록 하여 보다 태그 칩의 본딩이 용이하도록 하였으며, 태그 칩이 연결된 양쪽으로 안테나 본체에 얇은 슬롯을 삽입하여 개발된 태그 안테나가 쉽게 태그 칩의 공액 임피던스에 정합할 수 있도록 하였다. 또한 편파 이득을 향상시키기 위하여 안테나 본체의 한 부분을 사각형으로 잘라내어 원형편파가 보다 용이하게 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 제안된 RFID 태그 안테나의 VSWR과 전 방향 이득을 나타낸다. 점선은 VSWR의 시뮬레이션 결과를 점선은 측정결과를 보여준다. 측정 결과가 시뮬레이션 결과에 비해 약간 주파수가 상승 이동하였으나 전세계 RFID 주파수 대역에서 약 1 : 2 이하의 VSWR 성능을 보인다. 안테나의 이득은 다음 식을 이용하여 계산하였다.

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

여기서 Eff 와 Dir 은 각각 안테나의 복사효율과 지향성(Directivity)을 의미하며, Z_{ant} 와 Z_{chip} 은 안테나와 태그 칩의 입력 임피던스를 나타낸다. 안테나 전 방향 ($\theta = 0^\circ$) 시뮬레이션 이득은 약 5 dBi의 성능을 가져 기존의 다이폴 안테나에 비해 약 3 dB 높은 이득 특성을 가진다.

그림 3은 제안된 태그 안테나의 축비와 복사효율을 나타낸다. 시뮬레이션 결과는 점선으로 나타내었으며, 904 MHz ~ 920 MHz의 범위에서 축비가 3 dB

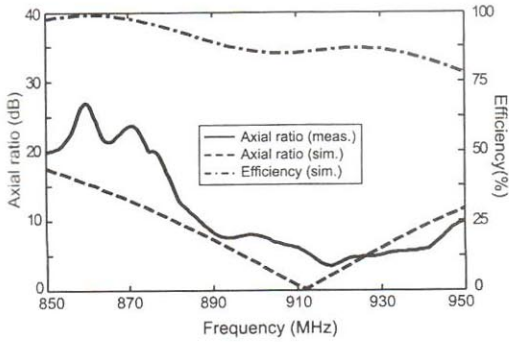


그림 3 제안된 태그 안테나의 축비 및 효율

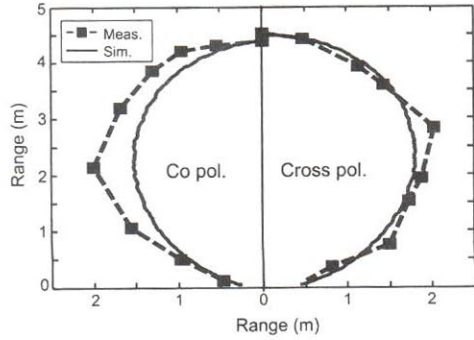


그림 4 제안된 태그 안테나의 인식 거리

이하이므로 국내 RFID 주파수 대역 (908.5 MHz ~ 914 MHz)을 충분히 만족한다. 측정 결과는 실선으로 나타내었으며 시뮬레이션 결과와 다소 차이를 보이지만 전체적인 경향은 유사한 것을 확인할 수 있다. 안테나의 시뮬레이션 복사효율은 일점 쇄선으로 나타내었으며, 전 세계 RFID 주파수 대역폭에서 약 80%의 비교적 높은 효율 특성을 보인다.

그림 4는 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].

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

여기서 P_i 는 RFID 시스템의 송출 전력을, 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_i 는 0.25 W 이며, P_{system} 은 약 -75 dBm 이다. 시뮬레이션 결과는 실선으로 나타내었으며, 측정

결과는 점선과 사각형으로 나타내었다. 태그 안테나의 인식거리 측정 결과와 시뮬레이션 결과가 비교적 잘 일치하고 있다. Co pol.과 Cross pol.은 각각 태그 안테나를 90도 회전시켜서 인식거리를 측정한 결과를 의미하며, 태그 안테나의 방향과 무관하게 제안된 원형편파 태그 안테나는 거의 유사한 인식거리 성능을 가진다.

그림 5는 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].

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

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. 따라서 편파 부정합이 포함된 RFID 인식거리 수식은 다음과 같다.

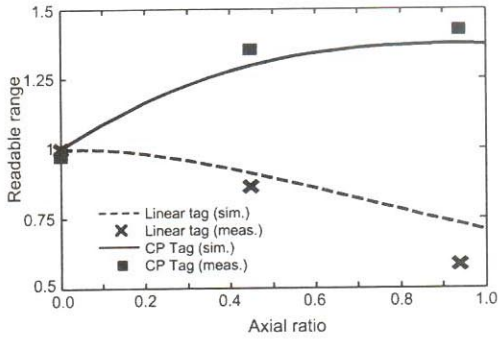
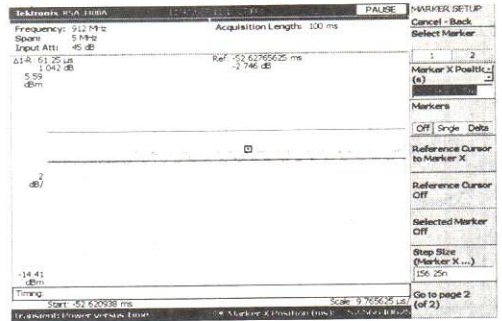


그림 5 리더 안테나 축비에 따른 태그 안테나 인식 거리

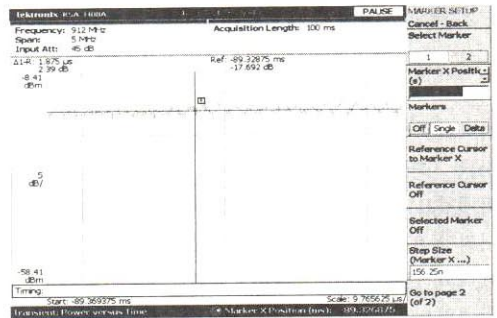
$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{P_r G_{tag}^2 G_{reader}^2 P^2}{P_{system}} \left(\frac{\lambda}{4\pi}\right)^4} \quad (4)$$

각각 점선과 실선은 식(4)을 이용하여 계산된 선형편파 태그와 CP 태그의 정규화된 이론적 인식거리를 나타낸다. 또한 제안된 원형편파 태그와 선형 편파 태그의 측정 인식거리를 각각 사각형과 x 기호로 나타내었다. 인식거리 측정 결과와 시뮬레이션 결과가 비교적 잘 일치하고 있다. 선형 편파 리더 안테나를 사용할 시 각 태그의 인식거리는 유사한 인식거리를 보이지만, 리더 안테나가 점파 원형편파 특성을 가짐에 따라 각 태그의 인식거리는 커다란 차이를 보인다. 축비가 1에 가까운 원형편파 리더 안테나를 사용할 경우, 선형 편파 태그는 약 1/2의 편파 부정합이 발생하고 인식거리는 약 30% 감소하게 된다. 그러나 원형편파 태그의 경우 편파 이득이 향상되어 선형편파 리더 안테나를 사용할 경우보다 인식거리가 약 40% 증가한다. 따라서 원형 편파 리더 안테나를 이용하는 RFID 시스템의 경우, 제안된 원형편파 태그를 이용하면 기존의 다이폴 태그에 비해 약 2배 이상의 인식거리 증대가 가능하다.

UHF 대역 RFID 태그는 메모리에 저장된 데이터에 따라 칩의 임피던스를 변화시키며, 이에 따라 RCS값이



(a) RHCP 후방산란 신호



(a) LHCP 후방산란 신호

그림 6 제안된 태그 안테나의 후방산란 신호

달라지게 된다. 따라서 리더는 후방 산란되는 신호의 차이를 이용하여 태그의 정보를 획득하게 되며, 이는 저장된 데이터에 따라 반사체의 크기를 변화시키는 것과 같다. 일반적으로 반사체에 의한 산란 신호는 입사된 전파의 편파 특성과 다른 특성을 가지게 된다. 예를 들어 금속 도체에 RHCP 편파가 입사되면 반사되는 전파는 LHCP의 특성을 가지게 된다. 그러나 안테나의 경우에는 반사체와 달리 안테나의 편파 특성에 따라 송/수신할 수 있는 전파의 편파가 결정된다.

따라서 이러한 편파 특성을 RFID 시스템에 적용하려면 우선 리더 안테나가 송신 전파와 동일한 편파 특성을 가지는 신호를 수신할 수 있도록 해야 한다.

즉, 태그의 후방산란 전파가 리더에서 송출한 전파와 동일한 편파 특성을 가져야만 단일 리더로 신호를 송/수신할 수 있게 된다. 또한 태그의 경우에도 태그 안테나를 통해 수신된 신호가 태그 칩으로 전달되어 변조된 후, 다시 태그 안테나를 통해 복사되므로 비록 반사체처럼 신호를 후방산란 시키지만 안테나와 동일한 편파 특성을 가지게 된다.

그림 6은 변조된 태그의 후방산란 신호를 실시간 스펙트럼 분석기[7]를 이용하여 측정된 결과이다. 그림 6 (a)와 (b)는 각각 RHCP 및 LHCP 안테나를 이용하여 검출한 후방산란 신호를 의미한다. RHCP 후방산란 신호는 LHCP 신호보다 high/low 레벨이 명확히 구분되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 원형편파 태그를 개발 시에는 반드시 리더 안테나와 동일한 편파 특성을 가지는 태그를 개발하여야 리더가 원활히 태그를 인식할 수 있게 된다.

III. 결론

본 논문에서는 편파 이득을 개선하여 RFID 시스템의 인식거리를 상승시킨 원형편파 태그 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 대량생산이 용이한 간단한 2단 평판 구조임에도 불구하고 기존의 다이폴 태그에 비해 2배 이상 상승된 인식거리 성능을 보인다. 또한 10 %의 임피던스 대역폭과 약 1.8 %의 원형편파 대역폭을 가지며, 동작주파수 범위에서 평균 5 dBi의 이득을 보였다. 또한 후방산란 신호 분석을 통하여 개발된 태그가 리더 안테나와 동일한 편파 특성을 가지는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 논문은 서울시 산학연 협력사업의 지원 하에 이루어졌음.

참고문헌

- [1] <http://www.epcglobalinc.org>
- [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.
- [7] <http://www2.tek.com>, "RSA 3408a."