

## 수동형 RFID 태그 안테나 성능 요소 분석

권 홍 일<sup>o</sup>, 이 종 욱, 이 범 선

경희대학교 전자공학과

[hiluc@paran.com](mailto:hiluc@paran.com), [jwlee@khu.ac.kr](mailto:jwlee@khu.ac.kr), [bomson@khu.ac.kr](mailto:bomson@khu.ac.kr)

### Analysis of Performance Elements for Passive RFID Tag Antennas

Hongil Kwon, Jongwook Lee, Bomson Lee

Kyunghee University, Radio Engineering

#### 요 약

본 논문에서는 UHF 대역 수동형 RFID 태그 안테나의 최적 설계에 필요한 요소들과 전파 음영 문제를 최소화 할 수 있는 다중 리더 안테나 방식에 대하여 분석하였다. 또한, 칩 설계시 RCS 특성이 우수한 칩 임피던스 범위를 설정해 보았으며, 등방성 방사패턴을 갖는 태그 안테나의 필요성과 설계 예를 보였다.

Keyword : RFID, Tag, Antenna, RCS, Impedance matching, fading

#### 1. 서 론

RFID(Radio Frequency Identification) 시스템은 back-scattered modulation이 가능한 리더와 트랜스폰더(태그) 사이의 무선 중계로 이루어진 통신 시스템이다<sup>[1]</sup>. UHF 대역은 기존의 저주파 대역보다 비교적 신호전송 거리가 길고<sup>[2][3]</sup>, 대역폭이 넓어 고속 전송이 가능하기 때문에 유통, 물류 및 생활 여러 분야에 활용도가 높고 특히 최근 우리나라에서도 유통 및 물류산업에 적용될 RFID 주파수 대역이 결정됨으로 해서 산업 분야 및 학계에서도 많은 관심을 기울이고 있는 상태이다. 수동형 RFID 태그는 내부의 별도의 전원을 가지고 있지 않으며, 리더로부터 송출된 전자파를 정류하여 내부 메모리에 저장된 자신의 정보를 리더에게 전달하기 위하여 전

자파를 back-scattering modulation 시켜 리더에게 되돌려 보낸다. 따라서 수동형 태그의 안테나는 가능한 최대의 전력을 손실 없이 태그 칩으로 전달하여야 하며, 이를 위하여 우수한 방사 특성과 함께 태그 칩과의 공액 정합(conjugate matching)이 이루어져야한다<sup>[4]</sup>. 그렇기 때문에 수동형 RFID 태그 안테나의 최적 설계는 매우 중요하다. 문헌 [5]에서는 태그 안테나에 대한 요구나 설계 시 고려할 점들을 정리하였다.

본 논문에서는 RFID 태그 안테나의 최적 설계에 필요한 요소들과 전파 음영 문제를 최소화 할 수 있는 다중 리더 안테나 방식에 대하여 분석한다.

## 2. 태그 안테나의 설계 최적화

수동형 RFID 태그 안테나를 설계할 때에는 다음과 같은 요구사항에 적합한 형태의 안테나를 설계하여야 한다.

- 칩 임피던스와의 공액 정합
- 태그 안테나의 소형화
- 큰 RCS
- 긴 인식거리
- 주위 물체에 대한 적은 민감도
- 저가 구조와 대량 생산의 용이성

일반적으로 수동형 RFID 태그는 안테나와 칩으로 구성되며, 안테나는 태그 칩의 임피던스에 공액 정합이 되도록 설계해야 한다. 보통 태그 칩의 RF front-end는 쇼트키(shottky) 다이오드와 커패시터를 이용한 정류 및 검파회로로 구성되어 있으며, 복소(complex) 임피던스를 가진다. 회로의 구성 및 쇼트키 다이오드의 특성은 칩 제조사마다 다르므로 칩의 입력 임피던스 또한 제조사마다 다르다<sup>[4]</sup>. 태그 칩의 임피던스와 안테나의 임피던스가 공액 정합 되었을 때, 수신된 전력이 태그 칩에 최대로 전달되어 태그 칩을 구동하게 된다. 이 때 태그 칩은 정합과 단락의 상태를 반복하여 태그 안테나의 산란 면적을 변화시켜 ASK 변조 및 정보 전달이 가능해진다.

그림 1은 RCS(Radar Cross Section) 특성이 우수한 칩 임피던스 범위를 보여주고 있다. 일반적으로 칩이 정합과 단락의 상태를 반복하여 수신전력의 크기를 변화하기 때문에 상대적으로 저항값의 범위가 커야 변조된 신호의 크기를 확연히 구분할 수가 있다.

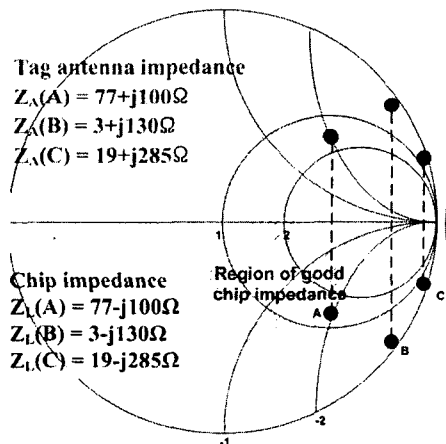


그림 1. RCS 특성이 우수한 칩 임피던스 범위

이 때 태그의 인식거리는 Radar Equation을 이용하여 유도할 수 있다. 리더의 수신단에서의 수신전력 (\$P\_r\$)은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있고, 최대 인식거리는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_r = \frac{P_t G_{reader}^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 r^4} \quad (1)$$

$$R_{max} = \left[ \frac{P_t G_{reader}^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 P_{r,min}} \right]^{1/4} \quad (2)$$

\$P\_t\$는 리더기에서 송신된 전력, G는 리더 안테나의 이득, \$P\_{r,min}\$은 리더가 태그를 인식하기 위해 필요로 하는 최소한의 수신 전력이다. 이 식에서 \$\sigma\$ (Radar Cross Section)는 식 (3)과 같이 태그의 산란 단면적 (Scattering aperture) \$A\_s\$와 \$G\_{tag}\$와의 곱의 의미를 갖는다<sup>[6]</sup>.

$$\sigma = A_s \cdot G_{tag} (A_s = A_e \text{ when matched}) \quad (3)$$

리더에서의 수신전력 \$P\_r\$은 산란 단면적 \$\sigma\$에 비례한다. 칩과 태그 안테나의 임피던스가 정합일 때는 안테나의 유효면적(Effective aperture)과 산란 단면적은 같다. 칩의 임피던스가 단락 상태일 때는 산란 단면적이 유효면적의 4배 정도가 된다.

기존의 수동형 UHF 대역 RFID 태그는 대부분 printed dipole이나 루프 안테나 형태를 가지고 있다. 참고문헌 [7]에서 알 수 있듯이 이런 형태의 안테나들은 방사패턴에 널이 존재하기 때문에 이런 방향으로 리더 안테나가 향하게 되면 태그를 인식하지 못하는 상황이 발생할 수도 있다. 이러한 문제로 널이 발생하는 보완하기 위해서 등방성 방사패턴을 갖는 안테나의 필요성이 발생할 수 있다<sup>[8]</sup>.

그림 1은 등방성 방사패턴을 고려하여 제안된 태그 안테나이다. 안테나는 대량 생산이 용이하도록 평면 형태로 구성되었으며, 상호 유도 결합 급전형태를 이용하였다. 칩 임피던스 \$37 - j159\Omega\$에 공액 정합된 안테나에 대해 칩 임피던스 변화에 따른 RCS 값은 정합(match)일 때 \$-24dBm^2\$이며, 단락(short)일 때는 \$-19dBm^2\$를 나타낸다. 일반적인 printed dipole 형태의 태그보다는 작은 RCS 크기를 나타내고 있다<sup>[7]</sup>.

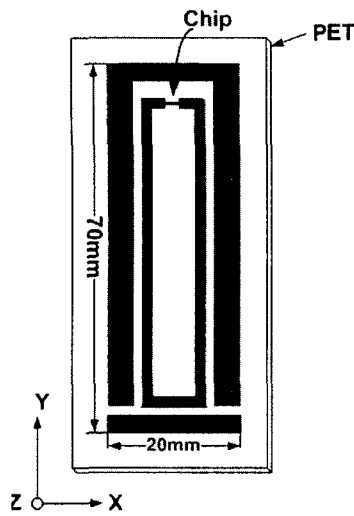


그림 1. 제안된 형태의 태그 안테나

그림 2는 평면파의 입사 방향이 태그 안테나의 정면 일 때의 각도를  $0^\circ$  라 가정하고 각각  $\phi$  방향(XY plane)과  $\theta$  방향(XZ plane)을 따라 평면파의 입사 각도 변화에 따른 산란면적의 크기 변화를 나타낸 그림이다.

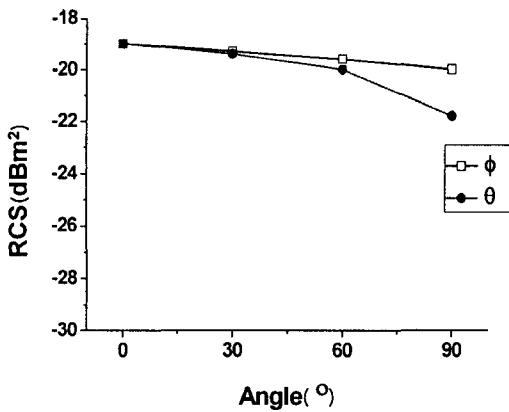


그림 2. 평면파 입사각도에 따른 RCS 변화 (XY plane, XZ plane)

등방성 방사패턴을 가지고 있기 때문에 평면파의 입사 방향에 따라서 RCS의 값은 큰 차이를 보이지 않았다.

### 3. 다중리더 방식에서의 전파음영 최소화

그림 3은 다중 리더 안테나 환경에 대한 그림이다. 이와 같이 멀티 리더 환경에서 발생하는 리더 사이

의 간섭이나 충돌은 리더의 인식을 저하 및 시스템 오동작과 같은 RFID 시스템에서의 치명적인 단점을 발생 시킬 수 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해서 주파수 천이(FH: Frequency Hopping)이나 액세스 전 채널 모니터(LBT: Listen Before Talking)와 같은 채널 액세스 방법을 개발하고 있는 실정이다<sup>[9]</sup>.

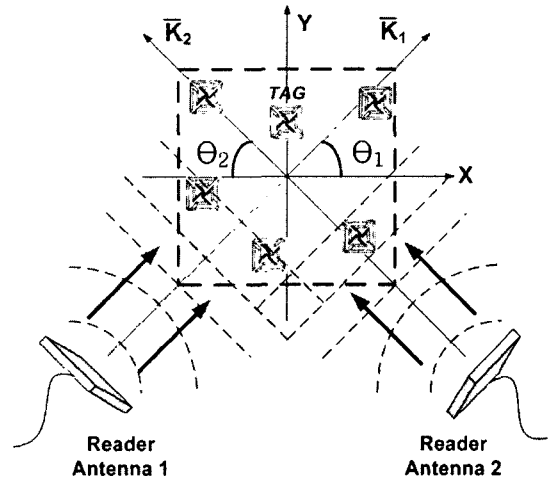


그림 3. 다중 리더 안테나 환경

리더 안테나에 방사하는 파가 상품이 실린 카트 안에서 평면파 형태로 진행한다고 가정했을 때, wave vector  $\vec{k}$ 는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있으며, 이 때 두 파의 합은 식 (5)와 같다.

$$\begin{aligned} \vec{k}_1 &= k_1 \cos \theta_1 \vec{a}_x + k_1 \sin \theta_1 \vec{a}_y \\ \vec{k}_2 &= -k_2 \cos \theta_2 \vec{a}_x + k_2 \sin \theta_2 \vec{a}_y \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} E_z(x, y) &= E_0 e^{-j\vec{k}_1 \cdot \vec{r}} + E_0 e^{-j\vec{k}_2 \cdot \vec{r} + \phi} \\ &= E_0 e^{-j(k_1 \cos \theta_1 x + k_1 \sin \theta_1 y)} \\ &\quad + E_0 e^{-j(-k_2 \cos \theta_2 x + k_2 \sin \theta_2 y + \phi)} \end{aligned} \quad (5)$$

두 진행파의 위상 차이에 의해 fading이 생기기 때문에 음영지역이 발생한다.

그림 4는 멀티 리더 안테나의 위치에 따라서 생기는 multi-path fading 현상을 나타내고 있다.

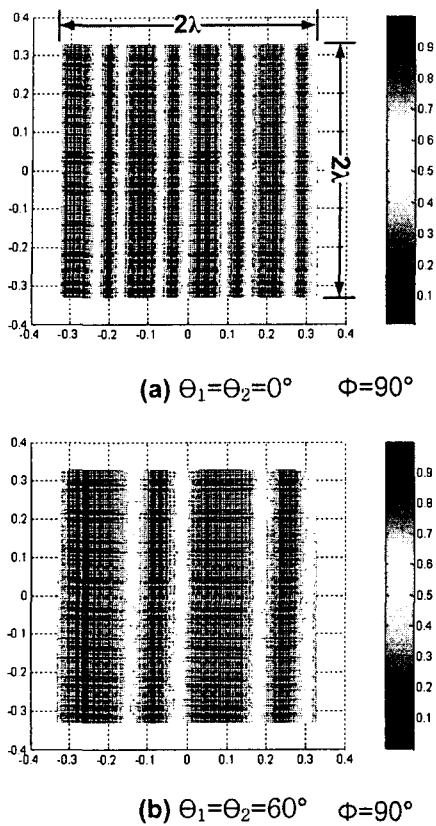


그림 4. 다중 리더 안테나 위치에 따른 fading 현상

그림 4 (a)는  $\theta_1$ 과  $\theta_2$ 가 모두  $0^\circ$  일 때 즉, 리더 안테나가 서로 마주보고 있을 때의 fading 현상을 보여주고 있고, 그림 4 (b)에서는  $\theta_1$ 과  $\theta_2$ 가  $60^\circ$ 일 때를 나타내고 있다. 이 때 리더 안테나1의 주파수는 911MHz이고 리더 안테나 2는 930MHz이며, 두 안테나의 위상 차이는  $90^\circ$  으로 가정하였다. 리더 안테나가 서로 마주보고 있을 때에 fading 밀도가 더 큼을 알 수 있다. 두 개의 진행파가 같은 크기로 마주보고 진행하면 정재파가 되는 원리이다. 이러한 페이딩 위치는 보통 반파장 주기로 나타난다. 그림 4 (b)에서 페이딩 되는 위치의 밀도가 상대적으로 낮은 것은  $\theta_1$ 과  $\theta_2$ 가  $60^\circ$ 이어서 마주보는 방향으로의 wave vector 크기가 작아지고 따라서 파장이 길어진 영향이다. 그러나  $\theta_1$ 과  $\theta_2$ 가 커질수록 리더1과 2의 수신 환경 상관 관계가 커지는 단점을 가지므로 적절한 타협이 필요하다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 UHF 대역 수동형 RFID 태그 안테

나의 동작원리를 파악하고, 태그 안테나의 최적 설계에 필요한 요소들과 전파 음영 문제를 최소화 할 수 있는 다중 리더 안테나 방식에 대해 분석하였다. 칩 설계 시 RCS 특성이 우수한 칩 임피던스 범위를 설정해 보았으며, 등방성에 근접하는 태그 안테나의 필요성과 이러한 안테나를 예시해 보았다. RFID 태그 설계시 이러한 요구사항을 충족시켜야 효율적인 RFID 시스템을 구축할 수 있다.

#### Acknowledgement

This work was supported by grant R01-2005-000-11-56-0 from Korea Science & Engineering Foundation.

#### 참 고 문 헌

- [1] Rao, K.V.S.; "An overview of backscattered radio frequency identification system (RFID)", APMC., Vol 3, pp.746 - 749, Dec.1999.
- [2] K. Finkenzeller, *RFID Handbook*, 2nd ed., West Sussex, England: Wiley, 2003.
- [3] De Vita, G., Iannaccone, G., "Design Criteria for the RF Section of UHF and Microwave Passive RFID Transponders", IEEE MTT., Vol 53, pp. 2978-2990, Sept., 2005.
- [4] 손해원, 최원규, 표철식, "UHF RFID 태그 안테나 기술", 한국전자파학회지, Vol.16, No.2, pp.55-63, 2005년 4월.
- [5] P. R. Foster and R. A. Burberry, "Antenna problems in RFID systems", *Microwave and Antenna Systems*, pp. 3/1-3/5, 1999.
- [6] Akira Ishimaru, *Electromagnetic Wave Propagation, Radiation, and Scattering*, Prentice Hall, Inc., 1991.
- [7] Hongil K., Bomson L., "Performance of RFID Tag at UHF Band in Terms of Radar Cross Sections", 2005 ISAP., Vol.3, pp. 1053-1056, Aug., 2005.
- [8] 조치현, 추호성, 박익모, "인식음영구역을 제거한 태그 안테나 설계", 마이크로파기술 대회 논문지, Vol.28, No.2, pp.287-290, 2005년 9월.
- [9] 박준석, 오하령, "RFID 시스템에서의 Air-Channel Access 방법", 한국전자파기술지, Vol.16, No.3, pp. 48-60, 2005년 7월.