

기판과 선로 및 주변환경 변화에 따른 RFID 태그 안테나 성능 분석

*김도균^o, *추호성, **박익모

*홍익대학교 전자전기공학부, 서울시 마포구 상수동 72-1

**아주대학교 전자공학부, 경기도 수원시 영통구 원천동 산 5

hschoo@hongik.ac.kr

Study on the Performance of the RFID Tag Antenna with the Change of the Substrates, Metal-line and Surrounding Environment

*Dokyun Kim^o, *Hosung Choo, **Ikmo Park

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

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

Abstract

The characteristics of the tag antenna are influenced much with the change of the electrical properties of its substrate material, conducting metal-line and the surrounding environments. In this paper, we study the characteristics of tag antenna according to the electrical variations of those substrate materials, metal-line and the surrounding environmental conditions.

Key words : RFID, Tag, Conductivity, Permittivity, Antenna

I. 서론

Radio Frequency Identification (RFID)은 무선으로 주변 환경의 정보를 감지하여 통합정보관리 시스템을 구축할 수 있는 객체인식 기술이며, 특히 유비쿼터스(ubiquitous)space 환경 구현에 필수적인 핵심 기술로 주목되고 있다. RFID 태그에는 객체정보가 저장되며, 태그 안테나와 태그 칩으로 구성된

다[1].

태그 안테나의 일반적인 특성은 안테나의 구조에 의해 결정되나, 효율이나 인식거리 등은 태그 안테나를 구성하는 물질의 도전율(conductivity)과 유전율(permittivity)의 영향을 많이 받는다. 따라서 성능이 우수한 태그 안테나를 개발하기 위해서는 선로와 기판을 구성하는 적절한 물질의 선택이 필수적이다. 본 논문에서는 태그 안테나의 기판과 선로 그

리고 주변환경에 따른 특성 변화를 관찰한 후 이러한 결과가 태그 안테나에 주는 영향에 대해 연구하였다.

태그 안테나의 최적화에는 Pareto 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)[2]과 IE3D EM 시뮬레이터[3]를 사용하였다. 먼저 도선율이 다른 3개의 선로를 사용하여 선로의 도선율과 태그의 인식거리 사이의 관계를 분석하였으며, 선로의 두께에 따른 태그의 성능 변화에 대해 조사하였다. 또한 기판 종류와 기판 두께가 태그의 인식거리에 미치는 영향에 대해서도 연구를 하였다. 마지막으로 태그의 주변환경 변화에 따른 인식거리 변화를 분석하기 위해 각기 다른 유전체를 태그에 근접시켜 그 성능변화를 연구하였다.

II. 태그 안테나 최적화

그림1은 안테나 재질 및 주변환경에 따른 안테나 특성 변화 연구에 사용된 태그 안테나의 구조도이다. 태그 안테나는 태그 칩에 의해 급전되는 루프 안테나와 실제 복사되는 다이폴 안테나로 구성되어 있으며, 두 부분은 상호유도결합에 의해 연결되어 있다. 급전이 이루어지는 루프 안테나는 사각형으로 구성되어 다이폴 안테나의 안쪽에 위치하며, 안테나의 크기를 효과적으로 감소하기 위해 다이폴 안테나는 안쪽으로 감아 도는 형태로 하였다[4].

각각의 안테나 설계변수를 최적화하기 위해 Pareto 유전자 알고리즘과 IE3D EM 시뮬레이터를 사용하였으며, 다음의 비용평가 함수에 의하여 최적화를 진행하였다.

$$\text{Cost 1} = (\text{BW} \cdot \text{Eff}) / \text{BW}_{\text{theo}}$$

$$\text{Cost 2} = \text{size (normalize)}$$

Cost 1은 주어진 크기에서 대역폭과 효율을 증대시

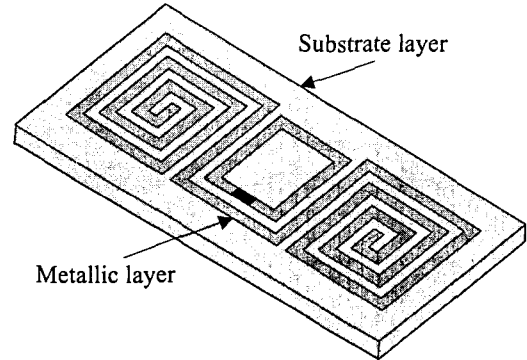


그림1. 상호 유도 결합된 태그 안테나

키기 위하여 사용하였으며, BW_{theo} 이론적 대역폭 [5]을 나타낸다. Cost2는 안테나 크기를 축소하기 위하여 사용된 함수로 kr 을 사용하였다. 주어진 비용평가 함수를 사용하여 최적화된 태그 안테나의 인식거리 비교하기 위하여 식(1)을 이용하였다.

$$R_{R \text{ readable Range}} = \sqrt[4]{\frac{P_T G_{R \text{ reader}}^2 G_{\text{Tag}}^2 \left(\frac{\lambda}{4\pi}\right)^4}{P_{R, \text{min}}}} \quad (1)$$

여기서 P_T 는 리더에서 송출되는 전력이며 G_{Tag} 는 태그 안테나의 이득, G_{Reader} 는 리더 안테나의 이득이고, $P_{R, \text{min}}$ 은 리더 시스템이 태그를 인식하기 위한 최소의 전력이다.

III. 태그 안테나 성능 분석

태그의 기판두께 차이에 따른 인식거리 변화를 나타낸 결과를 그림 2에 나타내었다. 가로축은 안테나의 전기적 크기이며 세로축은 태그의 최대 인식거리 이다. 기판은 비용과 생산성에서 비교적 우수한 PET(Polyethylen, $\epsilon_r=3.9$, $\tan\delta=0.003$)를 사용하였고, 두께를 각각 50 μm , 200 μm , 1000 μm 로 설정하여 인식거리 특성을 분석하였다. 안테나의 크기가 $0.3 < kr < 0.5$ 인 경우에는 PET의 두께에 따른

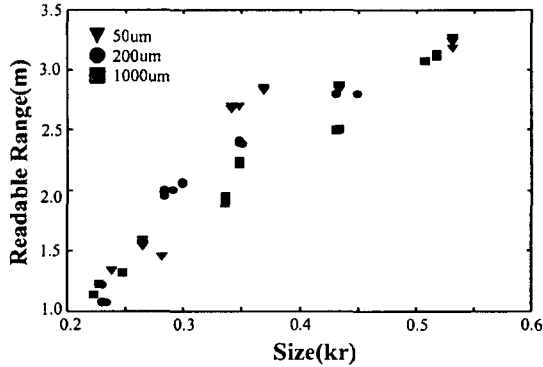


그림2. 기판 두께에 따른 인식거리

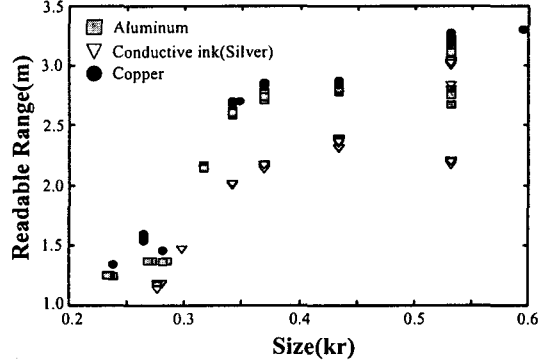


그림4. 도전율에 따른 인식거리

인식거리 차이가 크게 발생하는 것을 확인할 수 있었으며, 이 구간에서는 유전체의 두께가 두꺼워짐에 따라 기판에 의한 손실이 증가하여 태그의 최대 인식거리가 감소한다. 따라서 태그 안테나의 유전체 두께를 얇게 하여 기판에 의한 손실을 줄이는 것이 필요하다.

그림 3은 유전체 두께를 50 μm 로 고정하고 다른 종류의 유전체를 사용하여 최적화한 결과를 나타낸 그림이다. 사용된 유전체는 PET ($\epsilon_r=3.8$), Duroid ($\epsilon_r=2.2$), 공기($\epsilon_r=1$), 그리고 Silicon ($\epsilon_r=11.4$)이다. 안테나의 크기가 $0.4 < kr < 0.5$ 인 구간에서는 Duroid와 공기가 다른 유전체에 비해 인식거리가 향상되었는데 이는 공기와 Duroid의 손실이 다른 기판에 비해 적기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 기판의

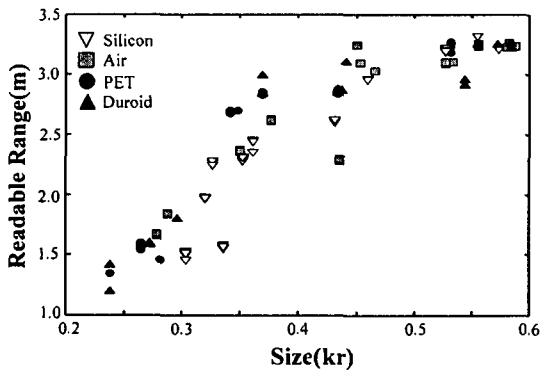


그림 3. 기판의 종류에 따른 인식거리

두께가 50 μm 로 매우 얇기 때문에 기판에 의한 손실보다 안테나 구조에 의해 발생하는 손실이 더 크므로 전반적으로 유전체의 종류에 따른 태그의 인식거리는 비교적 많은 차이를 보이지 않는다. 따라서 생산 시 사용할 태그 기판은 인식거리 성능 변화에 크게 영향을 주지 않기 때문에 저가의 얇은 기판을 사용하는 것이 유리할 것으로 사료된다.

그림 4는 도전율이 다른 금속으로 태그 안테나의 선로가 구성되었을 때 태그의 인식거리 변화를 나타낸 결과이다. 50 μm PET기판 위에 구리($\sigma=5.8 \times 10^7$), 알루미늄($\sigma=3.82 \times 10^7$), 그리고 도전성 잉크(silver, $\sigma=4.5 \times 10^6$)를 선로로 사용했으며, 선로의 두께는 모두 35 μm 이다. 도전율이 낮을수록 태그의 인식거리가 감소하는 것을 확인할 수 있었는데, 이는 도전율의 감소가 안테나의 효율 감소에 큰 영향을 미치기 때문인 것으로 사료된다. 최근 태그의 제작 비용을 낮추기 위해 도전성 잉크를 사용하는 방법이 제안되었다. 그러나 일반적으로 많이 사용되는 구리선로와 비교하여 인식거리의 감소가 없도록 하기 위해서는 도전성 잉크의 도전율을 상승 시킬 수 있는 방법이 모색되어야 할 것이다.

그림 5는 안테나 선로의 두께에 따른 효율 변화를 나타내었다. 50 μm PET 위에 최적화한 결과 중 비교적 효율이 높은 안테나를 표본 안테나로 선택하

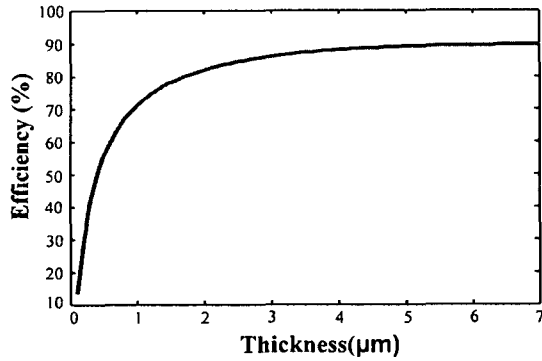


그림 5. 선로 두께에 따른 안테나 효율

여 선로의 두께를 변화시켰다. 선로의 두께가 약 2 μm 가 될 때까지 효율은 소폭 감소되는 성향을 보였으나 2 μm 보다 얇아지면서 안테나 효율이 급격하게 감소함을 알 수 있다. 이는 안테나 선로의 두께가 침투 깊이(skin depth)인 2.15 μm 보다 얇아지면서 안테나 효율이 급격히 감소하기 때문이다. 태그의 대량 생산 시 선로의 두께도 생산 비용에 많은 부분을 차지하기 때문에 가능한 얇게 제작되어야 하는데, 구리로 선로를 인쇄할 경우 두께가 최소한 2 μm 이상이 되어야 태그의 인식거리의 급격한 감소를 방지할 수 있다.

주변환경에 따른 태그 안테나의 성능변화 분석을 위해 태그를 유전체에 근접시킨 결과를 그림 6에 나타내었다. 유전체는 일반적으로 주위에서 흔히 볼 수 있는 유리 ($\epsilon_r=6.64$, $\tan\delta=0.047$), 나무($\epsilon_r=4$, $\tan\delta=0.01$), 마른 흙 ($\epsilon_r=2.8$, $\tan\delta=0.05$)의 3종류를 사용하였다. 그림 7은 태그에 유전체를 근접 시키는 방법을 나타낸 것으로, 10 cm의 두께를 갖는 무한히 넓은 유전체를 2 cm까지 태그에 근접시켜 성능을 비교하였다. 이때 사용된 태그는 50 μm 의 PET 위에 35 μm 의 구리 선로로 구성되었다. 최적화 결과는 근접한 유전체에 따라 태그의 인식거리 성능이 크게 변함을 보여준다. 이는 안테나의 근처에 유전체가 존재하면 안테나 선로 위의 전류 분포가 변화

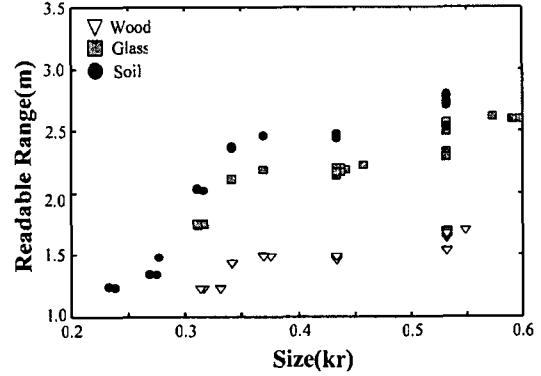


그림 6. 유전체 근접에 따른 인식거리

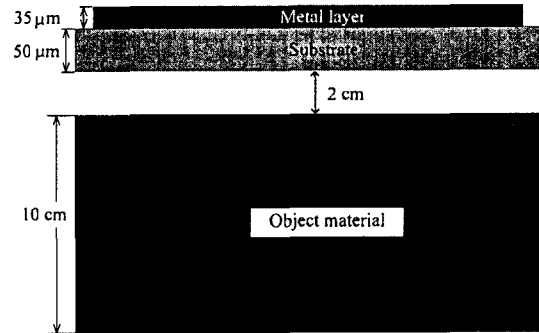


그림 7. 유전체 근접 방법

고 안테나와 유전체 사이에 기생 커패시턴스 등이 발생하기 때문이다[6]. 따라서 태그 안테나는 인식 대상이 되는 유전체에 의한 영향을 사전에 고려하여 설계하여야 한다.

IV. 결론

본 논문에서는 기판과 선로의 재질에 따른 안테나의 특성변화를 조사하였다. 기판의 두께를 증가시키면 기판 손실의 증가로 인하여 인식거리가 하락하였으나, 동일한 두께를 가지는 유전율이 다른 유전체를 사용하였을 경우 인식거리의 차이가 비교적 적게 나타났다. 기판선로의 도전율이 낮아지면 효율 감소로 인하여 인식거리 또한 감소하는 것을 확인

하였다. 태그 안테나를 무한히 넓은 유전체에 근접시켜 인식거리 변화를 검토하였고, 마지막으로 동작 주파수 914 MHz에서 선로 두께가 칩투 깊이인 약 $2\ \mu\text{m}$ 이하가 되면 안테나의 효율이 급격히 감소하여 인식거리가 줄어드는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] K. Finkenzeller, *RFID Handbook*, New York: John Wiley & Sons, 1999.
- [2] D. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison Wesley, Reading, MA, 1989.
- [3] IE3D Electromagnetic sSimulation and Optimization Software, Zeland Software, Inc..
- [4] 주재율, 조치현, 추호성, 박익모, 오이석, 김영길, "UHF 대역 RFID 안테나 설계," *Telecommunications Review*, 16(2), pp.257-273, 2005년 4월.
- [5] J. S. McLean, "A re-examination of the fundamental limits on the radiation Q of electrically small antennas," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 44, pp. 672-675, May 1996.
- [6] S. Cichos, J. Haberland, and H. Reichl, "Performance analysis of polymer based antenna-coils for RFID," *International IEEE Conference on Polymers and Adhesives in Microelectronics and Photonic*, pp. 120-124, June 2002.

M E M O