

# 플라스틱 밀폐용기 및 포장용 골판지 상자에 최적화된 RFID 태그 안테나 설계

김도균\*, 조치현\*, 추호성\*, 김종배\*\*

\*홍익대학교 전자전기공학부, 서울시 마포구 상수동 72-1

\*\*LS 산전, 텔레메틱스 랩, 경기도 안양시 효계동 533번지

## Design of Tag Antennas for Attaching to Paper or Plastic Boxes

Dokyun Kim\*, Chihyun Cho\*, Hosung Choo\*, Jongbae Kim\*\*

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

\*\*Telemetry Research Lab., Central R&D Center, LS Industrial Systems

E-mail : hschoo@hongik.ac.kr

### Abstract

In this paper we propose tag antennas for attaching to paper or plastic boxes. To design the tag that can work both in air as well as on dielectric objects, we use the Pareto genetic algorithm in conjunction with IE3D EM simulator. Optimized tag antennas show very little variations on their readable ranges when they are attached to paper boxes or plastic boxes. Designed tag antennas have the size of 10 cm × 5 cm and is printed on a thin PET substrate. Measured results show that the tag optimized for the paper box has the readable range of about 4.7 m in air and about 4.8 m on the paper box while the tag antenna optimized for the plastic box shows the readable range of about 4.3 m in air and about 5.7 m on the plastic box.

### I. 서론

무선으로 물체를 인식할 수 있는 Radio Frequency Identification(RFID)는 교통카드시스템, 병원, 할인마트, 대형 창고의 물류관리 등에서 사용되고 있다[1]. 현재 UHF 대역 수동형 상용 태그들은 자유공간에서 약 3-4 m의 인식거리 성능을 보유하고 있지만 유전율을 가진 물체에 부착 시에는 인식거리가 급격하게 감소하는 문제점을 가지고 있다[2]. 이는 물체에 부착 시 태그 안테나 표면의 전류분포가 변하여 태그 칩과의 임피던스 정합을 어긋나게 하고, 근접한 유전체에 의한 손실로 태그 안테나의 복사효율이 감소하기 때문이다. 따라서 태그가 부착될 물체의 유전율을 사전에 고려한 태그 안테나 제작이 필수적이지만 이 부분에 대한 심도 있는 연구가 부족한 실정이다.

본 논문에서는 플라스틱 밀폐용기 및 포장용 골판지 상자에 부착하여도 인식거리 성능의 변화가 적은 새로운 형태의 태그안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 단일 평면의 간단한 구조로 제작이 간편해 생산비용이 저렴하고 대량생산이 용이하다. 제안된 태그 안테나는 가로 5 cm, 세로 10 cm의 크기를 가지며, 태그가 자유

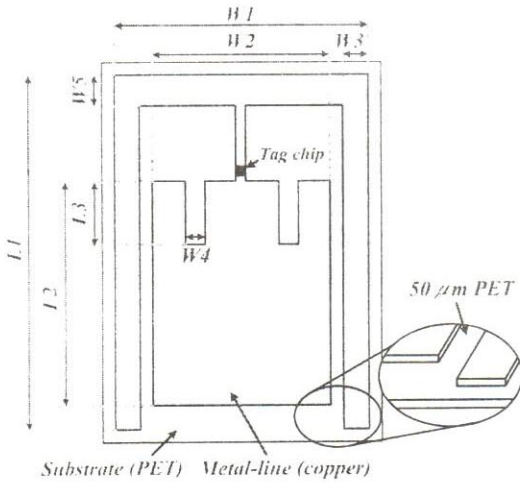


그림 1. 제안된 태그안테나의 구조도

공간에 위치할 경우 뿐 아니라 인식 대상에 부착되었을 경우에도 충분한 원거리 인식 능력을 갖도록 설계되었다. 안테나의 설계 변수는 Pareto 유전자 알고리즘 [3]과 IE3D EM 시뮬레이터[4]를 사용하여 최적화하였으며 인식거리는 상용 태그 칩과 리더기를 이용하여 측정하였다. 포장용 골판지 상자에 최적화된 태그안테나의 자유공간 인식거리는 약 4.9 m, 포장용 골판지 상자에 부착 시 약 4.8 m 이며, 플라스틱 밀폐용기에 최적화된 태그안테나는 자유공간에서 약 4.3 m, 플라스틱 밀폐용기 부착 시 약 5.8 m 의 우수한 인식거리 성능을 보였다.

## II. 태그 안테나 구조 및 최적화

그림 1은 제안된 태그 안테나의 구조를 나타낸다. 태그 안테나는 50 μm의 두께를 가지는 PET (Polyethylene,  $\epsilon_r=3.8$ ,  $\tan\delta=0.003$ ) 기판 위에 구리 선로로 형성되어 있다. 안테나는 길이  $L_1$ , 넓이  $W_1$ , 선로폭  $W_3$ 와  $W_5$ 로 구성된 바깥쪽의 스트립라인 형태의 선로와 길이  $L_2$ 와 넓이  $W_2$ 로 구성된 패치 형태로 구성되어 있다. 바깥쪽 스트립라인 형태의 선로가 안쪽 패치의 양테두리 부분을 근접하여 둘러싸고 있으며, 태그 칩은 스트립라인 선로와 패치의 사이에 위치하고 있다. 제안된 안테나 구조는 안쪽의 패치와 바깥쪽의 스트립 선로가 매우 가까이 위치하며, 두 부분 사이를 따라 안테

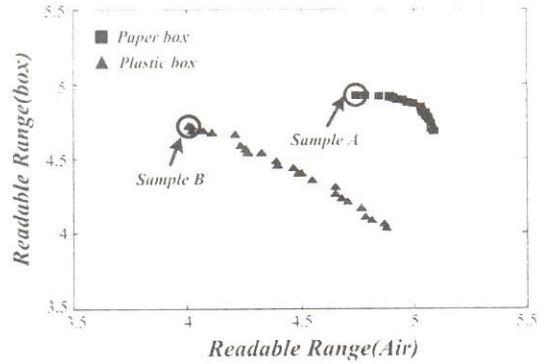


그림 2. 제안된 태그안테나의 최적화 결과

나에 근접 전계가 형성된다. 이러한 전계 분포는 유전율을 가진 유전체가 태그 안테나에 근접할 경우 일반적인 다이폴 형태에 비해 근거리장(near field)이 크게 변하지 않는다. 따라서 유전체가 근접하더라도 안테나의 전류 분포 변화가 적기 때문에 입력 임피던스 특성이 유지된다. 패치에는 길이  $L_3$ 와 넓이  $W_4$ 를 갖는 슬롯이 삽입되어 있다. 삽입된 슬롯은 태그 안테나의 임피던스 매칭에 필요한 구조로 태그 칩에 공역 정합될 수 있는 적절한 인덕턴스 성분을 생성한다.

제안된 태그 안테나는 자유공간에 있을 경우 뿐 아니라 인식 대상이 되는 물체에 부착되었을 때도 최대의 인식거리 성능을 가질 수 있도록 설계 되었다. 안테나의 설계 변수들은 Pareto 유전자 알고리즘과 IE3D EM 시뮬레이터를 이용하여 최적화하였다. Pareto 유전자 알고리즘은 일반적인 유전자 알고리즘과 달리 다수의 설계 목표를 동시에 만족하며 안테나 설계 변수를 최적화하는데 매우 효과적이다. Pareto 유전자 알고리즘의 최적화 방향을 결정하기 위해 다음 식(1), (2)와 같은 비용 평가 함수(cost function)를 정의하였다.

$$Cost1 = 1 - RR \text{ normalize\_air} \quad (1)$$

$$Cost2 = 1 - RR \text{ normalize\_object} \quad (2)$$

$Cost1$ 은 자유공간 상태에서 태그의 인식거리를 극대화시키기 위해 사용되었으며,  $Cost2$ 는 플라스틱 밀폐용기 ( $\epsilon_r=1.7$ ,  $\tan\delta=0.003$ ) 또는 포장용 골판지 상자 ( $\epsilon_r=1.095$ ,  $\tan D=0.007$ )에 부착하였을 때 태그의 인식거리를 극대화시키기 위해 사용하였다. 사용된 종이재질의 상자는 주위에서 흔히 사용되는 포장용 종이의 유전율

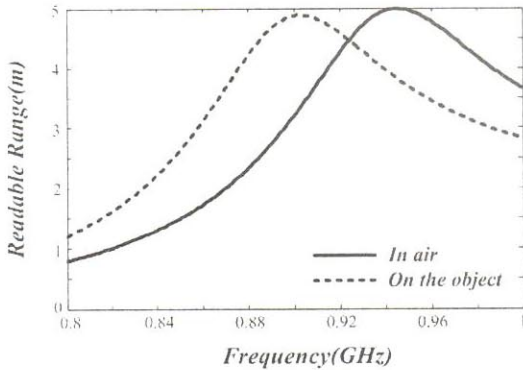
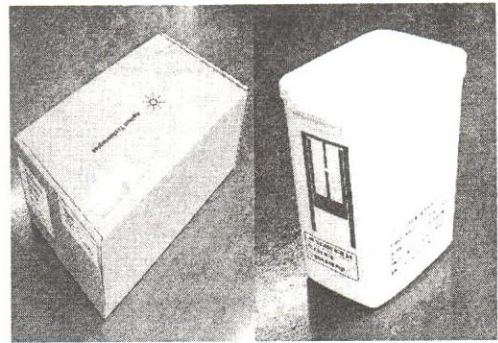


그림 3. 표본 B의 주파수에 따른 인식거리

을 측정하여 이용하였으며, 플라스틱 밀폐용기는 상용 폐기물 전용 용기의 유전율을 이용하였다. 각각의 비용 평가 함수에 따라 최적화된 결과를 그림 2에 나타내었다. 가로축은 자유공간에서의 최대 인식거리이며, 세로 축은 대상 물체에 부착하였을 때의 인식거리이다. 포장용 골판지 상자 용도로 최적화된 태그 안테나는 사각형으로 표시하였으며, 플라스틱 밀폐용기 용도로 최적화된 태그 안테나는 삼각형으로 표시하였다. 포장용 골판지의 유전율에 최적화된 태그 안테나들은 자유공간에서 약 4.7 m, 부착했을 때 약 4.9 m 정도의 인식거리 능력을 보인다. 또한 플라스틱 밀폐용기가 가지는 유전율에 최적화된 태그 안테나들은 자유공간에서 최대 4.1 m, 부착했을 때 약 4.7 m의 인식거리를 가진다. 물체 부착시의 인식거리가 증가하면 자유공간에서의 인식거리는 감소하며, 반대로 물체 부착시의 인식거리의 감소는 자유공간에서의 인식거리 증가로 나타난다. 따라서 자유공간과 물체 부착시의 인식거리는 교환관계(trade-off)가 형성되며, 물체의 유전율이 높을수록 더욱 커지는 것을 관찰 할 수 있다. 그림 2의 최적화 결과 중 물체 부착시의 인식거리 성능이 가장 우수한 포장용 골판지 상자용 표본 A와 플라스틱 밀폐용기용 표본 B를 각각 선택하여 이를 제작하고 측정하였다.

### III. 태그 안테나의 성능 측정 및 동작 원리

그림 3은 플라스틱 밀폐용기에 최적화된 표본 B의 주파수에 따른 최대 인식거리를 시뮬레이션 한 결과이다. 실선은 자유공간에서의 인식거리이며 점선은 플라



(a)포장용 골판지 상자 (b)플라스틱 밀폐용기  
그림 4. 골판지 상자 및 플라스틱 밀폐용기 사진

스틱 밀폐용기에 부착하였을 때의 인식거리이다. 태그 안테나가 자유공간에 있을 시 906 MHz에서 1 GHz의 주파수 범위에서 3.5 m 이상의 인식거리를 나타내며, 플라스틱 밀폐용기에 부착하였을 시 868 MHz에서 958 MHz의 주파수 범위에서 3.5 m 이상의 인식거리를 나타낸다. 자유공간에서 주파수가 약 940 MHz일 때 5 m의 최대인식거리를 가지며, 유전체에 부착하면 약 900 MHz에서 5 m로 최대 인식거리를 나타내는 주파수가 이동하는 현상을 보인다. 하지만 약 900 ~ 940 MHz의 주파수 범위 안에서 자유공간과 수거함 부착경우 모두 3.5 m 이상의 안정적 인식거리가 확보되는 것을 확인할 수 있다.

제작된 태그 안테나에 상용 태그 칩(Philips - TSSOP8)[5]을 부착하고, 상용 리더기(Samsys - MP9320 2.8 EPC™)[6]를 이용하여 인식거리를 측정하였다. 그림 3(a)는 제작된 표본 A를 포장용 골판지에 부착시킨 사진이며, 그림 3(b)는 제작된 표본 B를 플라스틱 밀폐용기에 부착한 사진이다. 측정된 포장용 골판지 상자 와 플라스틱 밀폐용기에 부착된 표본 A와 표본 B의 자유공간과 부착 시의 인식거리를 시뮬레이션 결과와 비교 하였다. 포장용 골판지 상자에 최적화된 표본 A의 경우 자유공간의 시뮬레이션과 측정결과가 동일한 약 4.7 m의 인식거리를 나타냈으며 부착 시 시뮬레이션 4.9 m, 측정 4.8 m의 유사한 인식거리 결과를 보였다. 또한 플라스틱 밀폐용기의 경우 자유공간 시뮬레이션 결과 4.1 m, 측정 4.3 m로 유사한 비교 결과를 보였으나 물체를 부착하게 되면 시뮬레이션 4.7 m, 측정 5.8 m로 제작결과가 시뮬레이션 결과에 비해 높은 인식거리 차이를 보였다. 그림 5는 본 연구에서

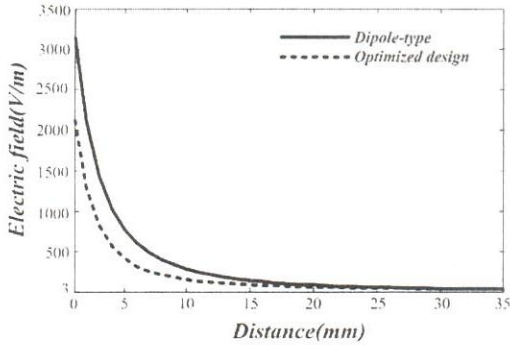


그림 5. 플라스틱 밀폐용기 및 포장용 골판지 상자에 부착된 태그 안테나의 E-field 시뮬레이션 결과

제안된 태그안테나를 유전체에 부착하였을 때 발생하는 근접 전계강도를 나타낸 그림이다. 제안된 안테나를 915MHz의 동작 주파수에서 동작하는 일반적인 다이폴 타입 안테나와 비교하였다. 비교된 두 개의 안테나의 최대 전계형성 위치에서 안테나로부터 일정한 거리로 멀어졌을 때 나타나는 전계강도를 나타낸다. 그림 5의 가로축은 안테나로부터의 거리를 나타내며, 세로축은 전계강도를 나타낸다. 다이폴 타입 안테나는 전계가 가장 강하게 생성된 급전위치에서 크기를 보았으며, 약 3200V/m의 전계강도를 보인다. 제안된 태그 안테나는 중앙 패치의 가장 자리에 흐르는 전류와 스트립 선로에 흐르는 전류가 서로 반대 방향이기 때문에 서로 근접한 패치와 스트립 선로 사이에서 근접전계가 생성된다. 생성된 전계는 다이폴 타입의 급전위치에서 발생된 전계의 약 70%인 2200V/m의 전계강도를 보인다. 또한 거리가 멀어질수록 전계 강도가 다이폴 타입 보다 급격히 감소한다.

즉, 제안된 안테나는 근거리 전기장이 패치부분과 패치를 둘러싸고 있는 스트립 선로의 사이에서 생성되는 반대방향의 전류로 인해 발생하여 근접 전계강도가 다이폴 안테나에 비해 약함을 알 수 있다. 따라서 태그의 후면으로 부착되는 유전체의 유전율로 인한 근거리장(near field)의 왜곡이 적기 때문에 인식거리의 변화가 적은 것으로 사료된다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 산업현장에서 상품의 포장, 운송 및 상용 폐기물 전용 용기로 사용되는 플라스틱 밀폐용기와 포장용 골판지 상자에 부착하여도 인식거리 성능이 감소하지 않는 태그안테나 구조를 제안하였다. 제안된 안테나는 제작이 간편해 생산비용이 저렴하고 대량생산이 용이하며 바깥쪽 스트립라인 선로와 패치의 양 테두리 부분 따라 근접 전계가 형성되는 특성을 보인다. 이는 유전체에 부착되는 경우에도 유사한 인식거리 성능을 가지게 하며, 측정결과 포장용 골판지 상자에 최적화된 태그는 자유공간에서 약 4.7 m, 부착 시 약 4.8 m의 인식거리 성능을 보였다. 플라스틱 밀폐용기에 최적화된 태그는 자유공간에서 4.3 m, 부착 시에는 5.8 m의 높은 인식거리를 나타냈다.

#### 참고 문헌

- [1] K. Finkenzeller, *RFID Handbook*, 2nd ed., West Sussex, England: Wiley, 2003.
- [2] 조치현, 추호성, 박익모, 김영길, "UHF 대역 수동형 RFID 태그 안테나 설계", *한국전자과학회논문지*, 16(9), pp. 872-882, 2005년 9월.
- [3] D. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, MA, Addison Wesley, 1989.
- [4] IE3D Electromagnetic simulation and optimization Software, Zeland Software, Inc..
- [5] <http://www.philipssemiconductor.com>
- [6] <http://www.samsys.com>