UHF 대역 RFID 안테나 설계

Design of RFID Antennas for UHF Band

주재율 · 조치현 · 추호성 · 박익모 · 오이석 · 김영길

Jaeyul Choo · Chihyun Cho · Hosung Choo · Ikmo Park · Yisok Oh · Youngkil Kim

UHF 대역 수동형 RFID 안테나는 리더와 태그 안테나로 구성되며 전체 RFID 시스템 효율과 인식거리는 리더와 태그 안테나의 반사손실, 효율, 방사이득, 태그 칩의 손실 등에 의해서 큰 영향을 받기 때문에 성능 좋은 안테나가 필요하다. 본 논문에서는 RFID 통신 시스템에서 리더와 태그 안테나가 가져야 할 특성을 먼저 수식적으로 접근하였고, 이러한 특성들을 효과적으로 얻을 수 있는 새로운 안테나 구조를 제시하였다. 설계한 리더 안테나는 단(layer)의 수와 모양 및 pitch angle의 변화에 의해서 안테나 특성이 결정되는 multi-layered polygonal helix 형태를 가진다. 태그 안테나로는 inductive coupling 급전을 이용한 나선(spiral)형 구조의 초소형 안테나와 루프와 다이폴 안테나의 결합을 이용한 무지향(isotropic) 인식영역 안테나를 설계하였다. 설계한 RFID 안테나들은 모두 마이크로 스트립 선로처럼 평면 인쇄가 가능하며, 각각 하드보드지(hard board: $\varepsilon'=2.3$, $\tan\delta=0.022$)와 PET(Polyethylene: $\varepsilon'=3.9$, $\tan\delta=0.003$)를 유전체로 사용했기 때문에 저가로 대량생산이 가능하다. 안테나 설계 변수의 최적화를 위해서 Pareto 유전자 알고리즘(Pareto Genetic Algorithm)을 적용하였으며, 최적화 된 리더와 태그 안테나 중 특성이 좋은 표본 안테나를 제작하여 시뮬레이션 값과 비교 후 그 성능을 검증하였다.

주제어: RFID 안테나 특성, Pareto 유전자 알고리즘, 다각 구조를 갖는 다겹 헬릭스 안테나, 초소형 태그 안테나, 무지향성 태그 안테나.

This paper reports the characteristics and designs of RFID antennas operating at UHF band. Antennas for RFID application should work with high efficiency, a low return loss and a good antenna gain to achieve the required readable range with the restricted system power. Especially, for reader antennas, the high quality of a circular polarization (CP) in a wide range of frequency is strongly required and the proper radiation pattern is needed to broaden the readable range of the system. For tag antennas, the small and planar profile is desired to be easily attached to an object and the stable radiation performance nearby various dielectric materials is required. In addition, the readable range of the tag should not change much depending on its rotation angle. In this paper, we propose a novel reader antenna, called multi-layered polygonal helix, on which the wire is wound around multi-layered polygons causing the pitch angle to both increase and decrease. We also propose two different types of tag antennas. One is to miniaturize the electrical size of the tag and the other is to achieve an omni-directional readable range so that the tag can be stably detected irrespective of its rotation angle. The detail design parameters for the both the reader and tag antennas are determined using a Pareto Genetic Algorithm in conjunction with numerical simulation code such as Numerical Electromagnetics Code (NEC) and IE3D. Then, we fabricated the samples of the optimized antennas on the low cost substrate materials and compared the measurement results to the simulations.

Keywords: characterisitcs of the RFID antenna, Pareto genetic algorithm, multi-layered polygonal heix antenna, small tag antenna, isotropic tag antenna.

주 재율, 조 치현 추 호성, 오 이석: 홍익대학교
박익모, 김영길: 아주대학교

I. 서 론

Radio Frequency Identification(RFID)은 비접촉 무선인식 기술로서 바코드의 느린 인식 속도, 인식률, 저장능력의 한계를 극복하여 유비쿼터스 컴퓨팅 개념을 실현시키기 위한 대표적인 핵심 기술로 주목 받고 있다. RFID는 1990년대 말부터 본격적인 개발이 시작된 후, 대형 반도체 제조업체들과 미국 벤처 기업인 Alien사와 Matrics사 등이 기술과 시장을 주도하고 있으며, 2000년부터 ISO에서 표준화가 추진되고 있다. 미국은 MIT 대학을 주축으로 Auto-ID 센터가 제안한 Electrical Product Code(EPC)를 표준안에 반영하려 하고 있다. 일본의 경우, 유비쿼터스 ID(U-ID) 센터를 중심으로 기술의 실용화를 위한 연구가 진행되고 있으며, 일본 총무성 주관 하에 2006년 중반까지 세계 최저가의 5엔 태그 개발이 추진중이다. 현재 Hitachi사는 2.45GHz에서 동작하는 가장 작은 태그칩인 μ-chip을 개발했으며 UHF 대역 태그도 개발 중이다. 유럽의 경우, 유럽 전기통신 표준협회(ETSI)에서 865~868MHz 대역에 유통/물류 관리용 전파식별 기술을 위한 법제도화를 마련하고 초안이 완성된 상태이다. 한국에서도 2004년 UHF 대역(908.5~914MHz)을 RFID 용도로 할당하여 공표하였으며[1] 정부, 학회, 기업 등 다양한 분야에서 RFID 기술을 연구 개발하고 있다.

RFID는 인식 대상에 대한 정보를 저장하고 있는 태그와 그 정보를 읽는 리더로 구분 할 수 있으며 각각에 장착된 안테나를 이용해 전자기파를 매개로 정보를 전달한다. RFID는 사용 주파수 대역에 따라 HF 대역(13.56MHz), UHF 대역(860~960MHz), ISM 대역(2.4GHz) 등으로 구분되며, HF 대역(13.56MHz)의 RFID는 자계결합 방식(magnetic coupling)을 사용하므로 안테나 인식영역이 협소하다는 단점이 존재하며, ISM(2.4GHz) 대역은 주변환경의 변화에 민감하여 RFID 시스템의 성능이 다소 가변적이라는 단점을 가지고 있다. 반면 UHF 대역은 HF 대역에 비해 인식율 및 인식거리가 뛰어나며 전자파 방사 방식을 사용하므로 다수의 태그를 동시에 빠른 속도로 인식할 수 있고, ISM 대역에 비하여 주변환경 변화에 안정적이므로 다른 주파수 대역에 비해 주목을 받고 있다[2],[3].

RFID는 리더 안테나를 통하여 시스템에서 송출된 전파를 태그 안테나로 전달하며, 태그는 수신된 전파를 태그 칩에 저장된 정보에 따라 다양한 변조 방식으로 변조한 후 다시 리더 안테나로 반송시켜 정보를 인식한다. RFID는 리더 안테나로부터 수신한 전파를 태그의 전원으로 사용하는 수동형 방식과 태그가 전원 및 전원공급 회로를 포함하고 있는 능동형 방식으로 구분된다. 수동형 RFID는 태그의 전원 공급을 위한 부가적인 회로가 없으므로 능동형에 비해 저렴하고 간단히 제조할 수 있는 장점이 있으나, 리더 안테나와 태그 안테나의 성능에 의해서 RFID 시스템의 효율이 크게 좌우된다[2],[3].

본 논문에서는 UHF 대역 수동형 RFID 리더와 태그 안테나의 설계 시 요구되는 특성을 살펴본 후, 수식적 이해를 통해서 RFID 안테나의 동작원리와 인식영역을 검토하였으며, 이러한 특성을 갖는 새로운 구조의 RFID 리더와 태그 안테나를 설계하였다.

리더 안테나의 설계를 위하여 전류 분포가 선로의 꺽임에 의해서 조절되는 새로운 형태의 helix 안테나를 제안하였으며, 설계된 리더 안테나는 내부에 여러 개의 helix 구조가 반복되어 방사이득 및 방사패턴의 조절이 용이하므로, 인식영역을 주어진 환경에 적합하게 설계할 수 있는 장점을 가지고 있다. 태그 안테나는 유도결합(inductively coupled)을 이용하여 소형화에 따른 입력저항 감소 문제를 해결할 수 있는 나선형 구조의 초소형 태그 안테나와 전방향에서 인식이 가능하도록 방사이득이 고른 무지향(isotropic) 인식 영역 태그 안테나를 설계하였다. RFID 안테나의 세부적인 설계 변수들은 Pareto 유전자 알고리즘(Pareto Genetic Algorithm)과 시뮬레이션 툴인 Numerical Electromagnetics Code(NEC), IE3D들을 사용하여 최적화하였다. 최적화된 RFID 안테나들의 특성을 검증하기 위해서 표본 안테나를 선별, 제작 · 측정하였으며 표본 안테나의 측정 특성은 시뮬레이션 값과 유사함을 보여주었다. 표본 리더 안테나는 반사손실 대역폭(S_{11}<-10dB) 27.63%, 원형편파 대역폭(axial ratio<3dB) 16.8%, $\theta=0°$ 에서 2.32dB의 축비(axial ratio)를 가지며 약 6dBi의 방사이득을 보였다. 상용 리더기에 장착하여 측정된 인식영역은 시뮬레이션 결과와 흡사한 영역을 나타내었다. 초소형 표본 태그 안테나는 $kr=0.272$의 크기, 3%의 반사손실 대역폭(S_{11}<-3dB), 최대 1m의 인식거리, 동작 주파수 대역에서 약 10%의 효율을 보였다. 무지향 인식영역 표본 태그 안테나는 $kr=0.81$의 크기, 반사손실 대역폭(S_{11}<-3dB) 1.7%, 태그 주변의 모든 방향에서 안테나 인식거리가 103cm~134cm의 범위를 갖는 고른 인식거리를 가졌다. II장에서는 RFID 리더와 태그 안테나의 가져야하는 특성과 송수신 과정을 수식적으로 고찰하여 제시하였다. III장과 IV장에서는 리더와 태그 안테나의 최적화 방법 및 결과를 살펴본 후 표본 안테나의 제작을 통해서 특성을 확인하였다.

II. UHF 대역 RFID 안테나 특성

RFID 안테나는 리더와 태그 시스템의 종단에 위치하여 전파를 송수신하기 때문에 전체 시스템의 성능에 큰 영향을 미친다. 특히 수동형 RFID 태그는 리더 안테나로부터 송출되는 전파를 전원으로 저장하여 사용하므로 안테나의 특성이 뛰어난 리더와 태그 안테나가 필요하다. 리더 안테나는 동작 주파수에서 적은 반사손실을 가져야 하며 태그 안테나의 원거리 및 안정된 인식을 위해서 고이득을 갖는 양질의 원형편파(axial ratio<3

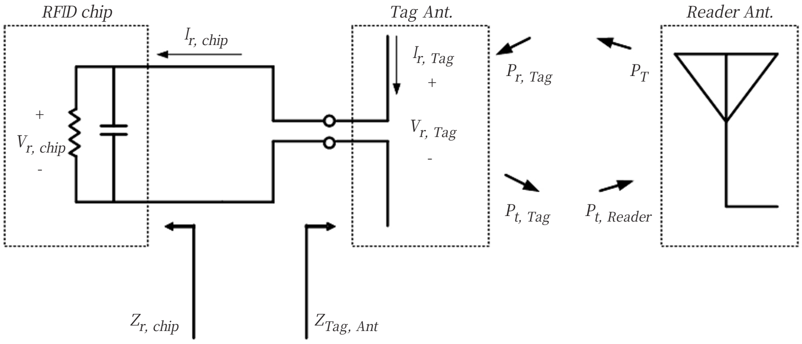


그림 1. RFID 안테나의 송수신 과정

dB)를 방사하는 것이 바람직하다. 또한 RFID는 사용되는 환경이 다양하기 때문에 주어진 환경에 적합한 안테나 인식영역을 가져야하며 저렴한 가격으로 생산될 수 있어야 한다. 태그 안테나는 다양한 인식대상에 부착이 가능하도록 소형화된 평면 형태의 구조를 가져야 하며, 인식대상의 종류와 주변 환경의 영향에 가능한 민감하지 않아야 한다. 내부적으로는 태그 칩이 동작하기 위해서 태그 안테나와 칩이 정합을 잘 이루어 반사손실이 적어야하며, 충분한 인식거리를 확보하기 위해서는 높은 방사효율을 가져야 한다. 그러나 현재 태그 칩은 0.4mm×0.4mm까지 축소되었음에도 불구하고 안테나의 크기는 동작 주파수의 파장에 비례하기 때문에 상용 UHF 태그 안테나는 15cm($\lambda/2$) 내외의 크기를 갖고 있다[4]. 또한 방사효율은 안테나의 크기가 축소될수록 급격이 떨어지므로 초소형 태그 안테나의 설계 시 중요하게 고려되야 한다[5],[6]. 수동형 태그에 내장되어 있는 태그 칩은 리더 안테나에서 송출된 전파를 전원으로 바꾸기 위한 charge capacitor, DC 전원 생성부, 신호 변조를 위한 modulator 부분 등으로 구성되어 있어서 칩의 입력 임피던스에 커패시턴스 성분이 존재한다. 그러므로 태그 안테나 설계는 주파수에 따라 값이 변하는 태그 칩의 입력 임피던스와 정합을 고려하여야 하며, 이런 이유로 광대역 태그 안테나 설계는 높은 기술력을 필요로한다. 일반적으로 수동형 RFID 태그 안테나는 칩 내부의 charge capacitor에 충전된 에너지를 이용하여 칩에 저장된 인식 정보를 수신한 전파에 변조해서 리더기로 다시 보내는 backscattering 방식을 사용해서 정보를 수신한다[7]. 구체적인 수동형 RFID 안테나 송수신 과정은 그림 1을 통해서 이해할 수 있으며 식 (1) ~ (7)로 설명하였다[8] ~ [10].

리더 안테나로부터 인식 거리 R 만큼 떨어진 태그 안테나에 전달되는 전력 $P_{r,Tag}$는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있으며, P_T는 리더 시스템에서 송출되는 신호의 전력을, η와 D는 각각 리더와 태그 안테나의 방사효율과 지향성(directivity)를 의미하고 λ는 RFID 동작 주파수에 의해서 결정되는 파장을 의미한다.

$$P_{r,Tag} = P_T\frac{(\eta D)_{Tag}(\eta D)_{Reader}\lambda^2}{(4\pi R)^2} = \frac{1}{2}\,\mathrm{Re}[V_{r,Tag}\times I_{r,Tag}^{\ *}] \tag{1}$$

태그 칩이 수신하는 전력 $P_{r,chip}$는 태그 안테나가 수신한 전력 $P_{r,Tag}$ 중 일부분이 전달되며, 전달되는 양은 태그 칩과 태그 안테나의 정합에 의해서 결정된다. 태그 칩이 수신하는 전력 $P_{r,chip}$은 식 (2)의 과정을 거쳐 계산되며, 이때 태그 칩의 최대 수신 전력 $P_{r,chip(max)}$은 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} P_{r,Chip} &= \frac{1}{2}\,\mathrm{Re}[V_{Chip}\times I_{Chip}^{\ *}] = \frac{1}{2}\,|V_{Chip}|^2\mathrm{Re}\left[\frac{1}{Z_{Chip}}\right] \\ &= \frac{1}{2}\,|V_{r,Tag}|^2\left|\frac{Z_{Chip}}{Z_{Tag\ Ant}+Z_{Chip}}\right|^2\mathrm{Re}\left[\frac{1}{Z_{Chip}}\right] \\ &= \frac{1}{2}|V_{r,Tag}|^2\frac{R_{Chip}}{(D_{Tag\ Ant}+Z_{Chip})^2+(X_{Tag\ Ant}+X_{Chip})^2} \end{aligned} \tag{2}$$

$$P_{r,Chip(max)} = \frac{1}{8}\,\frac{|V_{r,Tag}|^2}{R_{Tag\ Ant}} \tag{3}$$

식 (2)와 (3)에 의해서 impedance mismatch factor(q)는 식 (4)에 의해서 계산되며 q가 1에 가까울수록 태그 안테나가 태그 칩에 정합된 것을 의미한다.

$$q = \frac{P_{r,Chip}}{P_{r,Chip(max)}} = \frac{4R_{Tag\,Ant}R_{Chip}}{(R_{Tag\,Ant}+R_{Chip})^2+(X_{Tag\,Ant}+X_{Chip})^2}$$

$$= 1 - \left|\frac{Z_{Chip} - Z^*_{Tag\,Ant}}{Z_{Chip}+Z_{Tag\,Ant}}\right|^2 \quad (4)$$

그러므로 태그 칩이 수신하는 전력 $P_{r,Chip}$과 태그 안테나가 수신하는 전력 $P_{r,Tag}$과의 관계는 식 (5)와 같이 정리되며 태그 칩에 수신되는 전력 $P_{r,Chip}$이 태그 칩이 동작하기 위한 최소 전력 $P_{r,Chip,min}$ 보다 클 때 태그 칩은 동작하게 된다.

$$P_{r,chip} = qP_{r,Tag} = \left(1 - \left|\frac{Z_{Chip} - Z^*_{Tag\,Ant}}{Z_{Chip}+Z_{Tag\,Ant}}\right|^2\right)$$

$$P_{r,Tag} = \left(1 - \left|\frac{Z_{Chip} - Z^*_{Tag\,Ant}}{Z_{Chip}+Z_{Tag\,Ant}}\right|^2\right) \times \left(\frac{(\eta D)_{Tag}(\eta D)_{Reader}\lambda^2}{(4\pi R)^2}\right)P_T \quad (5)$$

따라서 태그 안테나를 설계할 때, 최대 전력이 태그 칩에 전달되게 하기 위해서는 태그 안테나의 임피던스가 일반적인 50Ω 또는 75Ω이 아닌 태그 칩의 복소 임피던스(conjugate impedance)에 정합이 되도록 해야 하며 태그 칩이 작동하기 위한 최소 전력 $P_{r,Chip,min}$을 고려해야한다. 태그 안테나는 변조 과정을 거치면서 내부에 있는 다이오드의 기생 커패시턴스와 내부 연결선(inner connect lines) 및 커패시터들에 의해서 내부손실 $P_{Chip,loss}$이 발생하게 된다. 그러므로 최종적으로 backscattering에 의해서 리더기에 수신되는 전력은 내부손실을 감안하여 식 (6)과 같이 계산된다.

$$P_{r,Reader} = (P_{r,chip} - P_{chip,loss}) \times \frac{(\eta D)_{Tag}(\eta D)_{Reader}\lambda^2}{(4\pi R)^2}$$

$$= (P_T \times \left(1 - \left|\frac{Z_{chip} - Z^*_{ant}}{Z_{chip}+Z_{ant}}\right|^2\right) \times \left(\frac{(\eta D)_{Tag}(\eta D)_{Reader}\lambda^2}{(4\pi R)^2}\right)$$

$$- P_{chip,loss}) \times \left(\frac{(\eta D)_{Tag}(\eta D)_{Reader}\lambda^2}{(4\pi R)^2}\right) \quad (6)$$

식 (6)에서 신호의 변조 과정 중 내부손실 $P_{Chip,loss}$이 없으며 태그 동작을 위한 최소 전력 $P_{r,Chip,min}$이 태그가 인식되기 위한 최소 전력 $P_{R,min}$ 보다 매우 작다고 가정할 때 최대 인식거리 R_{max}는 식 (7-1)과 같이 간략화 할 수 있으며, 태그가 인식되기 위한 최소 전력 $P_{R,min}$에 의해서 결정된다[2]. 그러나 태그 칩 동작을 위한 최소 전력 $P_{r,Chip,min}$이 큰 경우 최대 인식거리 R_{max}는 태그가 인식되기 위한 최소 전력 $P_{R,min}$보다 태그 칩 동작을 위한 최소 전력 $P_{r,Chip,min}$에 의해서 결정되며 태그 칩과 정합이 되었을 때 식 (5)로부터 유도하여 식 (7-2)로 나타낼 수 있다.

$$R_{max} = \sqrt{\frac{P_T(\eta D)^2_{Reader}(\eta D)^2_{Tag}}{P_{R,min}}\left(\frac{\lambda}{4\pi}\right)^4}$$

$$(\because P_{r,chip} \geq P_{r,chip,min}) \quad (7\text{-}1)$$

$$R_{max} = \sqrt{\frac{P_T(\eta D)_{Reader}(\eta D)_{Tag}}{P_{r,chip,min}}\left(\frac{\lambda}{4\pi}\right)^2} \quad (7\text{-}2)$$

최대 인식거리는 식 (7-1), (7-2)과 같이 리더와 태그 안테나의 다양한 특성에 의해서 결정되므로 안테나의 성능은 RFID 시스템에서 중요하다. 최대 인식거리를 모든 방향에 대해서 계산하면 공간상의 인식영역이 형성되고, backscattering 되는 전파를 이용하여 물체를 탐지하는 monostatic 레이다의 탐지영역과 유사하며, 이런 인식영역은 RFID 시스템의 성능을 평가하는 지표로 사용된다.

Ⅲ. UHF 대역 고정형 리더 안테나

1. 고정형 리더 안테나 설계

Helix 안테나는 양질의 원형편파를 가지는 대표적인 안테나로 통신 시스템에서 많이 사용되고 있으며 구조에 따라서 Spherical helix, Hemispherical helix, Biconical helix, Quadrifilar helix로 분류된다. 각각의 helix 안테나는 상이한 안테나 특성을 보이며 사용되는 분야 또한 그 특성에 따라 구분된다[11]~[13]. 본 논문에서는 고정형 리더 안테나에 적합한 새로운 형태의 multi-layered polygonal helix 리더 안테나를 설계하였다.

그림 2는 2단 구조(two-layer)를 갖는 polygonal helix 안테나의 기본구조이다. 제시된 안테나는 x-y 평면에서 보았을 때 선로가 원점으로부터 같은 거리인 지점에서 꺽여 다각형의 모양을 이루게되며, 외부의 첫번째 단(first layer)은 5각형을 내부의 두번째 단(second layer)은 4각형의 구조를 갖는다. 안테나는 측면에서 보았을 때 다각형의 각 면과 변 위에서 수직 방향으로 선로가 꺽이게 되어 helix 형태를 이룬다. 따라서 기존

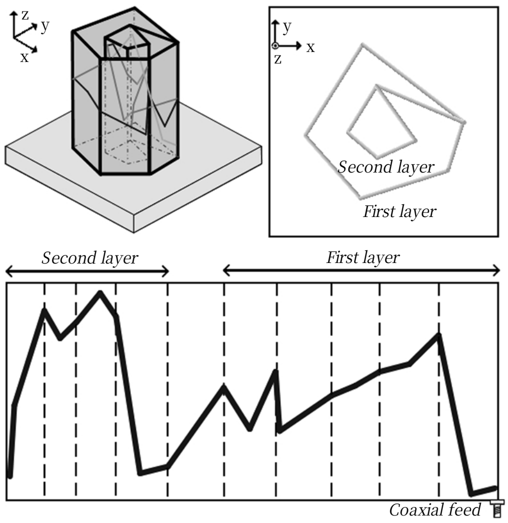


그림 2. 2단 구조의 polygonal helix antenna

의 helix 안테나는 pitch anlgle이 일정한 반면 제안된 안테나는 다양하게 변할 수 있는 구조이다. 안테나의 단의 개수, 다각형의 모양, 다각형 각 면과 변 위에서 선로가 꺽이는 횟수와 각도 등은 안테나의 특성을 좌우하는 설계 변수들이다. 설계 변수들이 고려된 안테나는 단의 개수와 다각형의 구조에 의해서 안테나의 방사이득과 원형 편파의 각속도가 결정되며, 수직 방향의 꺽인 구조는 선로에 유기되는 전류의 위상과 크기를 결정하여 원형편파 발생에 중요한 요소로 작용한다. 설계한 안테나는 마이크로 스트립 선로처럼 쉽게 유전체 위에 인쇄할 수 있는 구조로 대량생산에 용이하다.

제안된 리더 안테나의 특성 도출을 위해서, 복잡하게 연관된 다양한 설계 변수를 Pareto 유전자 알고리즘을 이용하여 최적화 하였다[14],[15]. RFID 리더 안테나 설계와 같이 다양한 특성(제한된 크기, 적은 반사손실, 고효율, 넓은 인식 영역, 양질의 원형편파)을 만족하는 안테나를 설계해야 할 때에는 Pareto 유전자 알고리즘이 일반적인 유전자 알고리즘보다 매우 효과적이다[15]. 최적화 진행방향은 비용평가 함수에 의해서 결정되며 리더 안테나의 최적화를 위해서 식 (8) ~ (11)를 비용평가 함수로 설정하였다.

$$COST1 = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{Eff_{Reader} \times BW_{Reader}}{BW_{RFID}}\right) + RQ \qquad (8)$$

$$COST2 = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{CPBW_{Reader}}{BW_{RFID}}\right) + AQ \qquad (9)$$

$$COST3 = Size_{Norm} \qquad (10)$$

$$COST4 = 1 - \frac{RP_{Reader}}{RP_{RFID}} \qquad (11)$$

식 (8), (9)에서 Eff_{Reader}는 동작 주파수에서의 안테나 효율을 의미하며, BW_{RFID}는 전 세계적으로 사용되는 UHF 대역의 RFID용 주파수 대역폭인 860 ~ 960MHz에 근거하여 100MHz로 설정하였고, BW_{Reader}와 $CPBW_{Reader}$는 설계된 안테나가 가지는 반사손실 대역폭(S_{11} < -10dB)과 원형편파 대역폭(axial ratio < 3dB)을 나타낸다. Return loss Quality(RQ)와 Axial ratio Quality(AQ)는 동작 대역폭 내에서 반사손실과 원형편파 축비(axial ratio)의 질적평가를 위해서 추가되었으며, RQ와 AQ에 의해서 안테나는 860 ~ 960MHz 대역에서 적은 반사손실과 양질의 원형편파 축비를 고르게 갖게 된다. 식 (10)은 리더 안테나의 크기를 제한하기 위해서 안테나를 포함하는 가장 작은 구의 반경 r에 wave number $k(2\pi/\lambda)$를 곱한 kr로 안테나 크기를 표준화하여 설정하였다. 식 (11)은 리더 안테나의 인식 영역을 최적화하기 위한 비용평가 함수식이고, 리더 안테나로부터 최대 인식거리(식 (7))까지 적분한 영역($-180° < \theta < 180°$, $\phi = 90°$)을 리더 안테나의 인식영역(RR_{Reader})으로 계산한 후, 요구되는 이상적 인식영역 RR_{RFID}과 비교하여 정량화하였다. 본 논문에서 이상적 인식영역 RR_{RFID}은 물류 개찰구 환경으로 가정하여 9m^2의 넓이를 갖는 3m×3m 사각 영역으로 설정하였다. 보유한 상용 RFID 리더(ALR-2850, BHNPR001[4])의 규격

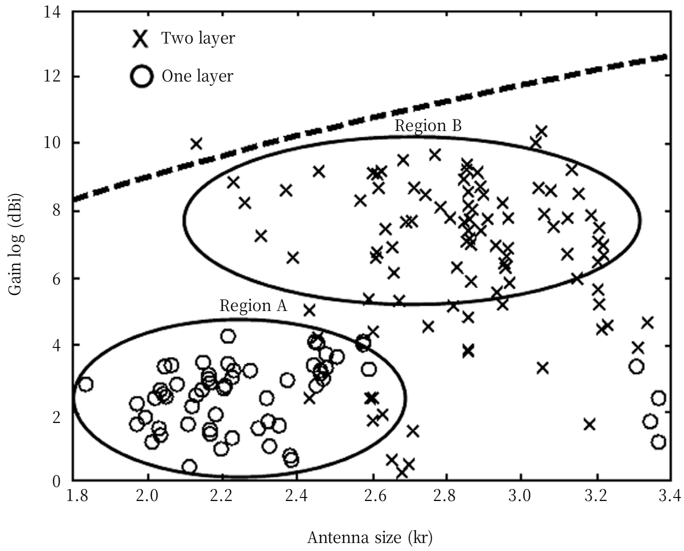
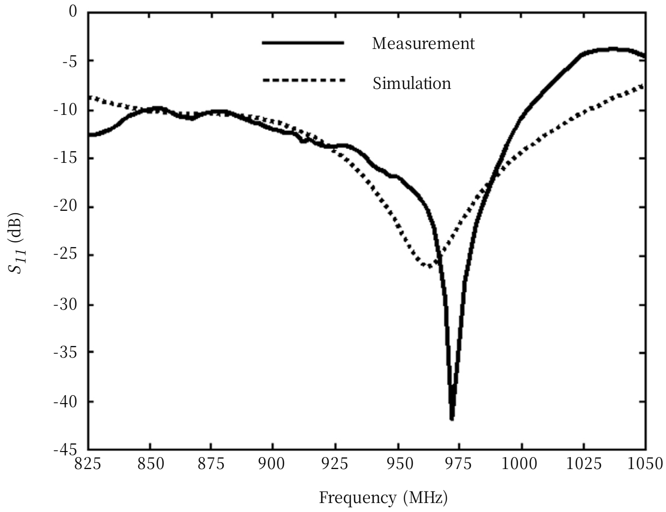


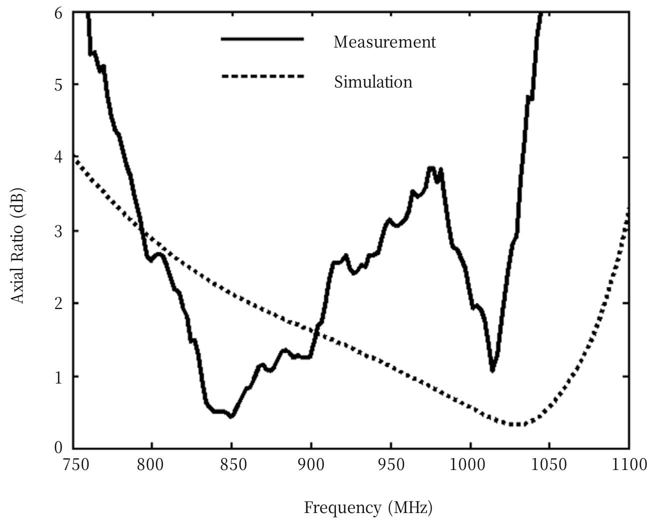
그림 3. Polygonal helix antenna의 단 개수와 크기에 따른 최적화 결과

표 1. Polygonal helix antenna의 설계 변수

Bent-point	Position (mm)		
	x	y	z
Start-point	55.173	0	0
1	55.173	0	7
2	27.182	24.695	0.642
3	-6.875	54.743	126.48
4	-27.291	26.821	92.453
5	-54.25	-10.049	87.316
6	-34.449	-36.484	74.476
7	-24.899	-49.235	69.339
8	27.654	-45.852	54.573
9	31.006	-45.636	94.379
10	41.648	-25.54	52.005
11	55.173	0	84.106
12	-3.202	23.735	24.397
13	-12.438	10.023	29.533
14	-23.198	-5.952	129.69
15	-14.252	-13.475	158.582
16	-1.884	-23.875	125.196
17	6.571	-19.335	114.924
18	20.942	-11.62	127.764
19	4.516	12.433	77.686
End-point	-3.202	23.735	17.335



(a) 리더 안테나의 반사손실

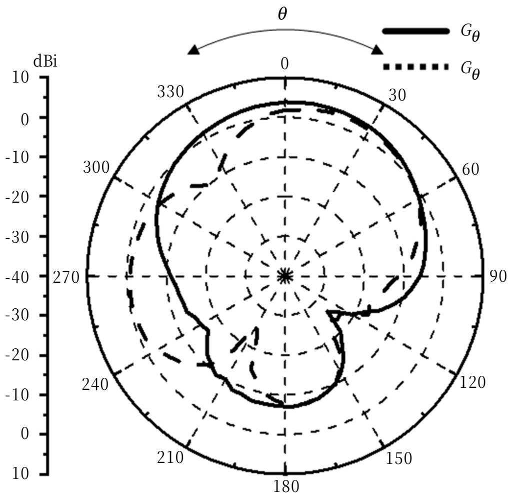


(b) 리더 안테나의 축비

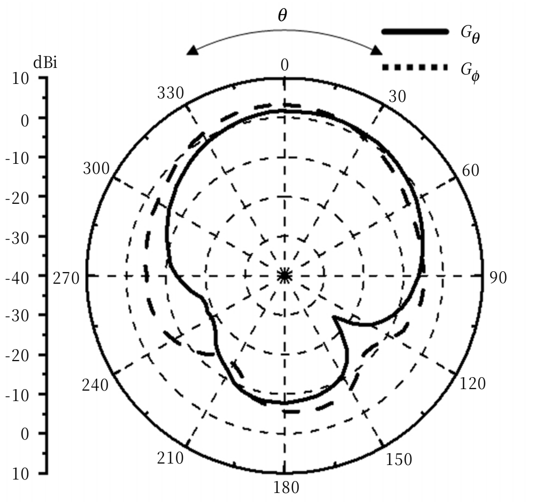
그림 4. Polygonal helix antenna의 반사손실과 축비

에 맞추어 입력단 전력 P_T는 1W, 최소 인식전력 $P_{R,min}$(minimum detectable power)은 -40dBmW로 설정하였다. 태그 안테나 방사이득 $(\eta D)_{Tag}$는 다이폴 안테나가 방사할 때 E-평면상의 편파에 대한 이득으로 하였으며 $(\eta D)_{Reader}$는 리더 안테나의 방사이득을 나타낸다.

설정한 비용평가 함수에 의해서 다양한 안테나의 성능이 평가된 후 그림 3과 같은 최적화 안테나들을 얻을 수 있었다. 그림 3의 점선은 안테나 크기에 따른 $\theta=0°$, $\phi=0°$에서의 이론적 최대 이득을 나타내고 있으며 최적화 된 1단 구조와 2단 구조는 각각 영역 *A*(*Region A*)와 영역 *B*(*Region B*)에 분포하는 것을 확인할 수 있다. 즉 multi-layered polygonal helix 안테나는 단의 수가 증가할수록 주어진 크기에서 이론적 최대 방사이득에 가까워지며 보다 먼 거리까지 태그인식이 가능하다. 그러나 반사손실 대역폭, 원형편파 대역폭, 안테나 크기 측면에서 고찰하였을 때, 단의 수는 크게 영향을 주지 않았다. 본 논문에서는 비교적 제작이 용이하며 방사이득이 높은 2단 구조의 표본 리더 안테나($kr=3.2$)를 하드보드지(hard board: $\varepsilon'=2.3$, $\tan\delta=0.022$, 두께 1.5mm) 위에 2mm 너비의 마이크로스트립 선로로 제작하였다. 표 1은 제작한 고정형 리더 안테나의 선로 위치를 원점(x=0, y=0, z=0)을 중심으로 나타내고 있다.



(a) x-z 평면



(b) y-z 평면

그림 5. 912MHz에서 측정된 리더 안테나의 방사패턴

2. 고정형 리더 안테나의 특성 및 원리분석

그림 4의 (a)와 (b)는 표본 리더 안테나의 반사손실 대역폭과 원형편파 대역폭을 NEC를 통한 시뮬레이션 값과 비교하여 보여주고 있다. 표본 리더 안테나는 S_{11} = -10dB를 기준으로 27.63%(751~1003MHz)의 반사손실 대역폭을 보였으며 시뮬레이션에 의한 20.1%(845~1028MHz)보다 넓은 주파수 대역에서 반사손실이 적은 것으로 측정되었다. 원형편파 대역폭은 3 dB의 축비를 기준으로 16.8%(793~946MHz)로 측정되었으며 시뮬레이션에 의한 33.2%(794~1097MHz) 보다 협소하게 측정되었으나 동작 주파수 912MHz에서는 약 2.3dB의 축비를 보여주었다. 표본 리더 안테나의 반사손실 대역폭과 원형편파 대역폭이 시뮬레이션 값과 차이를 보이는 것은 하드보드지의 유전율과 제작상의 오차, 유한 접지면, 유전체의 유전율때문이라고 사료되나 제작된 안테나는 설계 목표인 UHF 대역(860~960MHz)을 만족시키며 동작하였다.

그림 5와 그림 6은 표본 리더 안테나의 ϕ = 0 °, ϕ = 90 °일 때 912MHz의 방사패턴과 태그 인식영역을 측정한 그림이다. 표본 리더 안테나는 유한 접지면의 영향으로 안테나 후방으로 기생 방사성분이 생겼으나 전방향(θ = 0 °)에서는 고른 이득값을 갖는 원형편파 특성을 나타내었다. 인식영역은 보유한 상용 RFID 리더

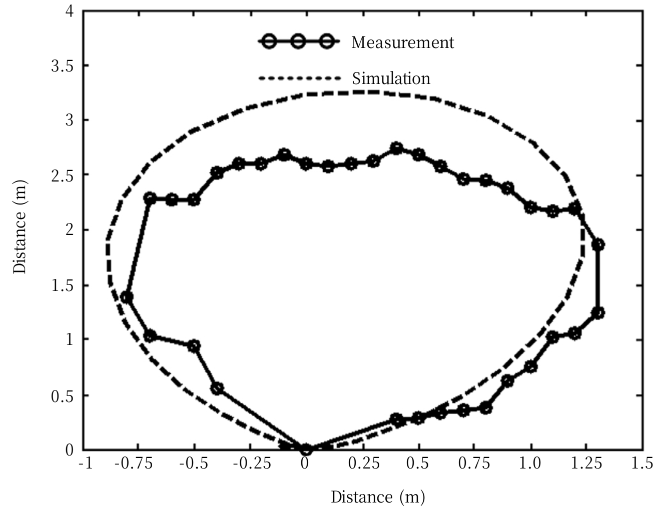


그림 6. 리더 안테나의 인식영역

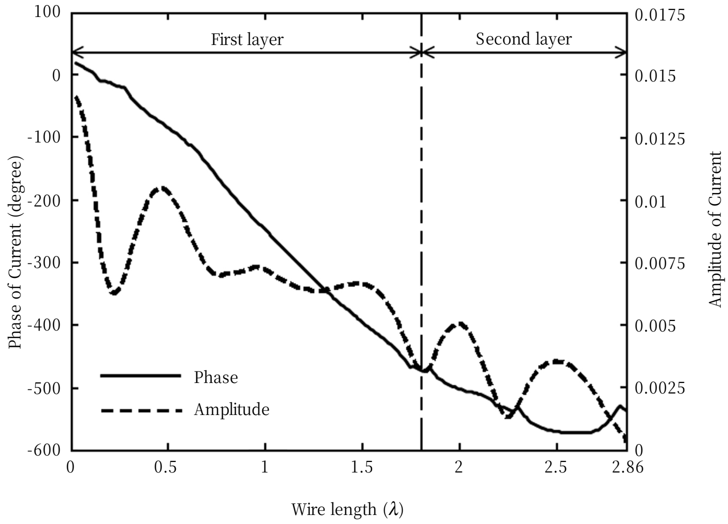


그림 7. 리더 안테나의 전류분포

에 표본 리더 안테나를 그림 4(b)로 장착한 후, 다이폴 형태의 태그(ALL-9238[4])를 이용하여 측정하였다. 표본 리더 안테나는 유전체의 영향으로 $\theta=0°$방향에서 방사이득이 시뮬레이션 값인 약 8dBi 보다 낮은 약 6dBi로 측정되어 목표로 된 인식 영역(3m×3m) 전체는 만족시키지는 못했지만 시뮬레이션으로 계산한 인식영역과 흡사하게 측정되었으며, RFID 시스템에서 요구되는 인식 영역에 적합하게 설계할 수 있음을 확인하였다.

앞의 측정된 표본 리더 안테나의 특성을 이해하기 위해 안테나의 동작 주파수(912MHz)에서 안테나 본체에 유기된 전류 분포를 NEC를 통하여 분석하였으며 그림 7은 표본 안테나의 전기적 길이에 따른 전류의 위상과 크기를 보여주고 있다. 표본 리더 안테나의 전류는 위상 변화율이 일정한 진행파(traveling wave) 성질을 가진다. 전류 위상의 일정한 변화율은 원형편파를 방사하는 안테나가 갖는 주요 특징이며[16] 설계한 안테나가 양질의 원형편파를 갖게 되는 이유이다. 이러한 위상 변화의 특징은 안테나 각단의 다각형 모양과 다각형 각변의 pitch angle 변화가 유기된 전류의 위상을 조절하여 나타난 결과이다.

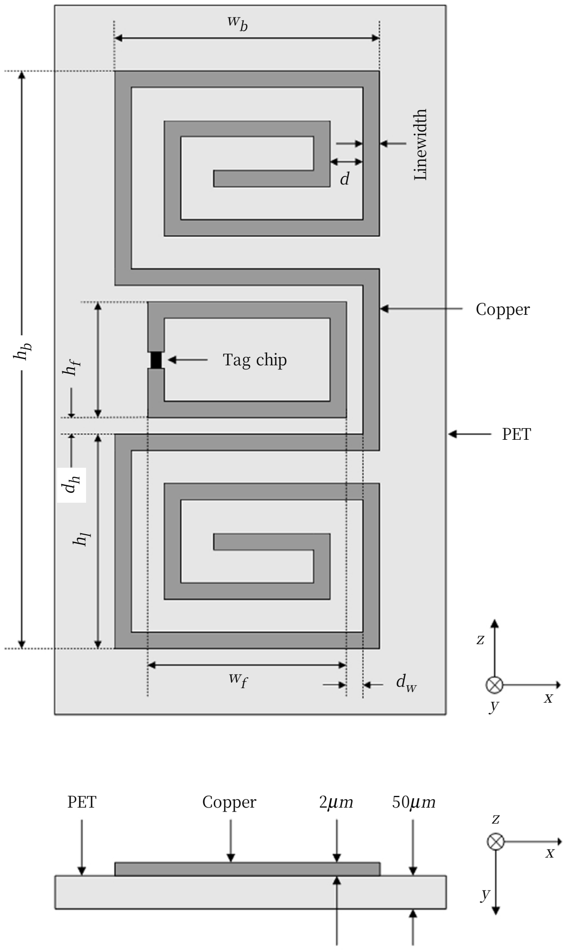


그림 8. 초소형 태그 안테나의 기본 형태

IV. UHF 대역 초소형 및 무지향 인식영역 태그 안테나

1. 초소형 태그 안테나 설계 및 결과

작은 인식대상에도 용이하게 태그를 부착하기 위하여 소형화 된 태그 안테나가 필요하다. 그러나 안테나의 크기가 소형화될수록 입력 저항이 급격히 감소하여 다른 RF 시스템과 정합이 어렵게되며, 안테나의 Q(quality factor) 값이 높아져 대역폭과 효율이 감소하게 된다. 따라서 태그 안테나의 소형화에 따른 어려움을 해결하기 위하여 본 논문에서는 초소형 태그 안테나의 기본 구조로 설계 변수가 제시된 그림 8과 같은 유도결합 안테나를 설계하였다.

초소형 유도결합 태그 안테나는 쉽게 인쇄가 가능한 평면 형태이고 태그 칩이 연결되는 급전 부위와 실제로 방사되는 본체로 구성된다. 급전 부위와 본체는 전기적으로 상호유도결합(mutual coupling)에 의해서 연결되어 있으며, 급전부 임피던스의 역수와 상호유도결합 세기의 제곱(M^2)에 비례하여 전체 임피던스가 결정되므로 소형화에 따른 입력 저항 감소 문제를 쉽게 해결할 수 있다[17]. 안테나의 본체는 크기를 효과적으로 축소하기 위하여 안쪽으로 감아 들어가는 나선 형태를 하고있어 전류 흐름이 상쇄되지 않고 순방향으로 되도록 하였다. 또한 대부분의 경우 태그 안테나는 유전체 위에 놓이게 될 확률이 크므로 안테나의 성능이 유전체 부근에서도 변하지 않고 가능한 자신의 성능을 유지해야 한다.

초소형 태그 안테나의 설계 시 요구되는 다양한 특성(적은 반사손실, 고효율, 주변환경 변화에 대한 안정성)들을 동시에 만족시키며 제안된 안테나의 설계 변수들을 최적화하기 위하여 Pareto GA를 이용하였으며, 다음의 비용평가 함수식 (12) ~ (14)를 사용하여 최적화 방향을 설정하였다.

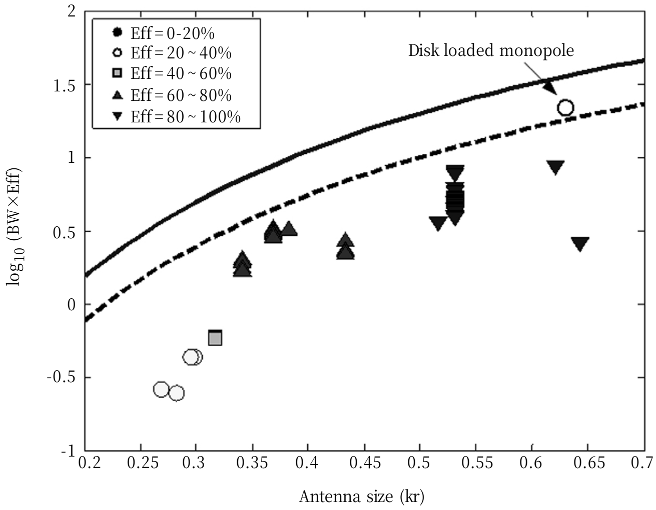


그림 9. 초소형 태그 안테나의 최적화 결과

$$Cost\ 1 = 1 - \frac{Eff_{Tag} \times BW_{Tag}}{BW_{Theory}} \tag{12}$$

$$Cost\ 2 = \frac{|\Gamma_{w/o,material} \times \Gamma_{w,\ material}|}{\Gamma_{w/o,material}} \tag{13}$$

$$Cost\ 3 = Size_{NORM} \tag{14}$$

Cost 1은 동작 주파수 914 MHz에서 태그 안테나의 소형 안테나(kr<1)의 반사손실 기준 -3dB으로 도출한 반사손실 대역폭(S_{11}<-3dB)과 효율이 고려되어 결정되며 BW_{Theory}는 안테나의 크기에 따른 이론적 최대 반사손실 대역폭[6]으로 설정하였고, Eff_{Tag}와 BW_{Tag}는 각각 태그 안테나의 효율과 반사손실 대역폭을 의미한다. 따라서 태그 안테나는 *Cost* 1을 통하여 효율이 높고, 반사손실 대역폭이 넓게 최적화된다. *Cost* 2는 태그 안테나 주위에서 유전체의 유무에 따른 반사손실의 차이를 계산하여 태그 안테나의 주변 환경 민감도를 정량화한 값으로 유전체의 부근에서도 안테나의 성능이 최대한 유지되도록 한다. *Cost* 3은 태그 안테나의 크기를 정량화한 값으로 태그 안테나를 소형화시키기 위해서 추가된다.

그림 9은 최적화된 결과를 안테나의 크기(kr)와 반사손실 대역폭(S_{11}<-3dB)×효율 축으로 투영하여 보여주고 있으며 성능 비교를 위해서 이론적 최대 반사손실 대역폭과 Foltz의 disk loaded monopole(kr=0.63, r=0.1λ) 안테나[18]를 표시하였다. 최적화된 안테나들의 특성은 같은 크기의 이론적 최대 반사손실 대역폭

표 2. 초소형 태그 안테나의 기본 형태

설계변수	길이(mm)
h_b	23.9
h_l	5.3
h_f	13
w_b	15.5
w_f	11.54
d_w	0.97
d_h	0.15
d	0.3
Linewidth	0.5

에는 못 미치지만 평면형 구조를 생각할 때 비교적 좋은 특성을 보여주고 있다. 최적화된 안테나들 중 반사손실 대역폭이 넓으며 효율이 좋고 크기가 작은 표본 안테나를 두께 50μm의 PET(Polyethylene: ε'=3.9, tanδ=0.003)위에 인쇄하여 제작하였으며 표 2는 설계 변수를 보여준다.

그림 10은 초소형 표본 태그 안테나의 측정된 반사손실과 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 제작된 표본 안테나는 kr=0.272의 크기를 가지며 동작 주파수 914MHz에서 반사손실 대역폭(S_{11}<-3dB)은 약 3%(27MHz)로 측정되었고 시뮬레이션 결과와 흡사하였다. 안테나 효율은 공기중에서 측정한 입력 저항과 안테나를 방사하지 못하도록 차폐시켜 측정한 입력 저항의 차이를 이용하여 효율을 계산하는 Wheeler cap method[5],[19]를 사용하였으며, 측정 결과 약 10%의 효율을 보였다. 표본 태그 안테나는 5.73dBi의 방사이득, 원형편파 방사 특성을 갖는 상용 RFID 리더와 태

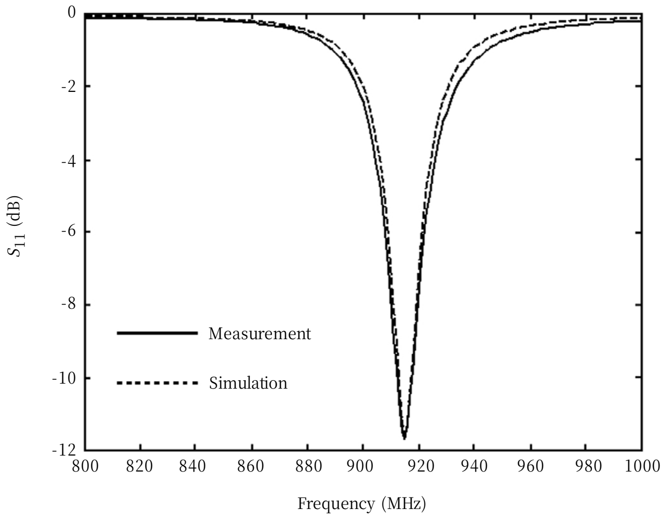


그림 10. 초소형 표본 태그 안테나의 반사손실

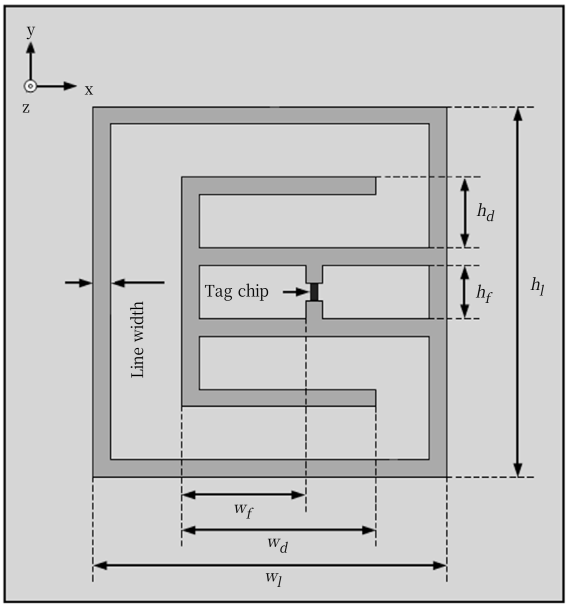
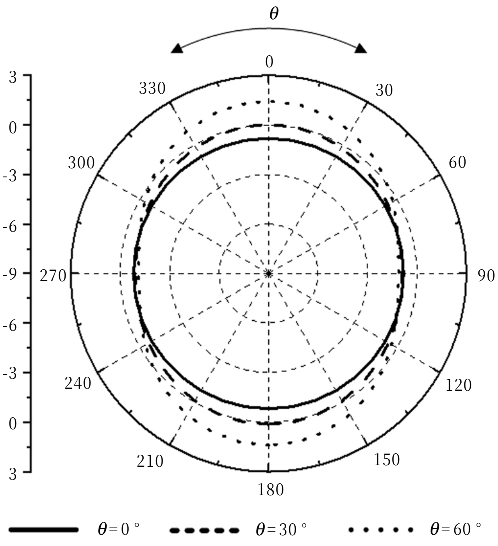


그림 11. 무지향 인식영역 태그 안테나의 기본 형태

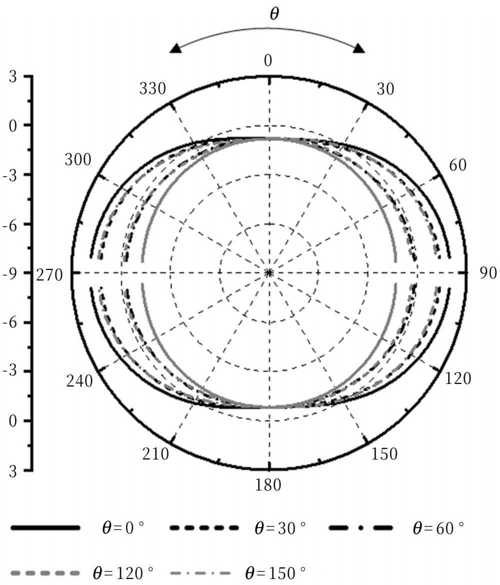
그 칩(ALL-9238,9250[4])을 사용하여 측정한 결과 그림 8의 y축 방향으로 최대 1m의 인식거리가 측정되었으며, 이는 제작된 안테나의 소형화된 크기(상용 태그의 약 20%)를 고려할 때 우수한 인식거리를 보인다.

2. 무지향 인식영역 태그 안테나 설계 및 결과

RFID가 실생활에서 사용되기 위해서는 가능한 주변환경과 조건에 무관하게 시스템이 동작하여야 하며, 이를 위하여 신뢰성이 높은 태그 안테나가 요구된다. 특히 태그는 상황에 따라 다양한 방향으로 놓일 수 있기 때문에 태그 안테나의 방사이득이 모든 방향에서 고르게 분포하도록 하여 항상 리더가 인식할 수 있도록 해야 한다. 그러나 현재 상용화 된 태그 안테나는 대부분 다이폴 형태의 안테나로 되어있으므로 안테나의 양 끝부분에서 널(null)이 존재하며, 이로 인하여 양 끝부분이 리더 안테나를 향하게 되면 태그의 인식률이 급격히 떨어진다. 따라서 태그의 신뢰성 확보를 위하여 방사패턴



(a) x-y 평면



(b) y-z 평면

그림 12. 무지향 인식영역 태그 안테나의 지향성 방사패턴

이 모든 방향으로 고른 무지향 인식영역 태그 안테나의 설계가 요구된다.

그림 11은 설계 변수가 제시된 무지향 인식영역 태그 안테나의 기본 구조이며 루프 안테나 안에 다이폴 안테나가 내재된 구조를 이루고 있다. 루프 안테나는 정면에서 널이 존재하나 그 외의 방향에서는 비교적 고른 방사패턴을 가지므로 다이폴 안테나와 조합하여 각 안테나의 널을 보상해 줄 수 있다. 다이폴 안테나는 크기 축소를 위하여 구부러진 형태를 하고 있으며, 태그 칩은 다이폴 안테나와 루프 안테나에 직접 연결시키지 않고 작은 루프를 새로 구성하여 연결하였다. 태그 칩과 연결된 작은 루프는 태그 칩이 가지고 있는 커패시턴스 성분을 상쇄시키는 역할을 하며 태그 칩과의 연결을 용이하게 한다. 설계 변수들을 최적화하기 위하여 Pareto GA를 적용하였다. 비용평가 함수로는 초소형 태그 설계 시와 동일하게 식 (12), (13)을 *Cost* 1과 *Cost* 2로 적용하였으나, 무지향 인식영역 특성을 도출하기 위해 식 (14) 대신 식 (15)를 *Cost* 3로 사용하였다.

$$Cost\ 3 = 1\frac{G_{max}\text{-}G_{min}}{G_{dev,ref}} \qquad (15)$$

식 (15)의 G_{max}와 G_{min}는 모든 θ와 ϕ에서 계산된 태그 안테나의 최대 이득과 최소 이득을 의미한다. 식 (7)에

표 3. 무지향 인식영역 태그 안테나의 설계변수

설계변수	길이(mm)
h_l	59.5
h_f	6.94
h_d	4.47
w_f	39.26
w_l	60.98
w_d	51.51
Linewidth	0.5

따르면 인식거리는 태그 안테나 방사이득의 제곱근에 비례하며, 안테나 이득이 1/4로 축소되면 인식거리는 1/2가 된다. 최대 인식거리와 최소 인식거리의 비가 1/2 이내로 하여 시스템의 신뢰성을 확보하기 위해, 모든 방향의 안테나 이득 차가 6dB($G_{dev,ref}$=6dB) 이내로 하였다. 제시된 비용평가 함수를 사용해서 최대 이득과 최소 이득의 차이가 6dB 이하의 무지향 인식 영역을 갖는 최적화 결과들을 얻을 수 있었으며, 최적화 결과들은 크기(kr)가 0.7 이상의 구간에서 다양하게 분포하였다. 이러한 최적화 결과는 외부의 루프 안테나가 동작 주파수에서 약 1λ이어야 하므로 kr=0.7 보다 작은 크기에서는 최적화가 어렵기 때문이다. 최적화 결과들 중에서 최대 이득과 최소 이득의 차이가 작은 안테나(kr=0.81)를 표본 태그 안테나로 PET위에 인쇄하여

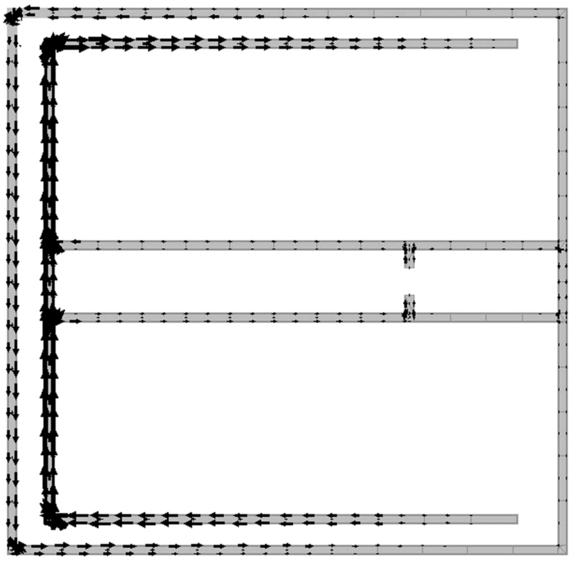


그림 13. 무지향 인식영역 태그 안테나의 전류분포

제작하였으며 표 3은 설계변수를 보여주고 있다.

그림 12는 표본 안테나가 갖는 x-y 평면과 y-z 평면의 시뮬레이션 지향성(Directivity) 방사패턴을 보여주고 있다. 평면구조 해석용 시뮬레이션 툴 IE3D의 제약때문에 그림 12(b)에서 $\theta=0°$에서는 나타내지 못하였으나 그림 12(a),(b)를 통해서 최적화 안테나가 고른 방사패턴을 갖는다는 것을 알 수 있다. 지향성 방사패턴을 통해서 안테나의 방사이득을 계산한 결과, $\theta=93°$, $\phi=0°$에서최대이득 0.37dBi 이었으며 $\theta=90°$, $\phi=180°$에서 최소이득 -2.45dBi의 성능을 나타내었다. 따라서 최대 이득과 최소 이득의 차이는 2.9dB로 설계 목표인 6dB 이하를 만족시켰다. 표 4는 제작된 표본 안테나의 x-y, x-z, y-z 평면상 측정된 최대 인식거리를 보여주고 있다. 인식 거리는 5.73dBi의 이득, 원형편파 방사 특성을 갖는 상용 RFID 리더를 사용하여 측정하였으며 최소 103cm에서 최대 134cm 사이의 고른 인식거리 성능을 보였다.

설계된 무지향 인식영역 태그 안테나의 특성을 확인하기 위해서 안테나에 흐르는 전류의 크기를 그림 13에 제시하였다. 안쪽의 다이폴 안테나에 흐르는 전류는 $\lambda/2$ 다이폴 안테나와 같은 전류 분포를 보이며, 바깥쪽의 루프 안테나는 일반적인 루프 안테나와 비슷한 전류분포를 보이지만 다이폴 안테나와 가까운 곳에서 좀 더 많은 전류가 흐른다. 이런 비대칭한 루프의 전류 분포는 다이폴과 루프 사이의 전자기 유도현상으로 사료된다. 전체적인 전류 분포를 볼 때 다이폴 안테나와 루프안테나가 결합하여 안테나는 고른 방사패턴을 형성하며 무지향성 인식영역을 갖게된다.

표 4. 무지향 인식영역 태그 안테나의 인식거리

Theta(θ)	Phi(ϕ)	인식거리(cm)
0°	0°	134
180°	0°	130
90°	0°	131
90°	90°	120
90°	180°	120
90°	270°	103

V. 결 론

수동형 RFID 시스템에서 안테나의 성능은 시스템의 효율을 결정하는 중요한 요소이다. UHF 대역 RFID 리더와 태그 안테나는 각각의 역할과 사용 목적에 따라 다양한 특성이 요구된다. 리더 안테나는 설치장소 등에 의해 제한된 크기를 가져야 하며 다양한 국가에서 사용되기 위해 국제적인 RFID 반사손실 대역폭(860~960MHz)과 고이득의 원형편파(Axial ratio<3 dB) 및 주어진 환경에 적합한 안테나 인식영역을 가져야 한다. 태그 안테나는 용도에 따라 크기가 작거나 무지향 인식영역을 가져야 하며, 뛰어난 방사효율과 우수한 반사손실 특성을 갖는 동시에 주변환경의 변화에도 가능한 민감하지 않아야 한다. 본 논문에서는 먼저 리더와 태그 안테나의 특성들을 고찰하였으며, 다양한 특성을 갖는 새로운 구조의 multi-layered polygonal helix 리더 안테나와 초소형 태그 안테나 및 무지향 인식영역 태그 안테나를 설계하였다. 설계된 안테나들은

Pareto GA와 EM 시뮬레이션 툴을 사용하여 안테나 구조를 최적화시켰다. 설계한 리더 안테나는 인쇄가 가능한 구조이고 pitch angle이 다양하게 변화하여 양질의 원형편파를 방사할 수 있고, 내부에 반복되는 helix 구조를 가져 방사이득이 우수하였다. 최적화 결과 중에서 선별 과정을 거쳐 하드보드지에 인쇄되어 제작된 표본 리더 안테나는 반사손실 대역폭(S_{11}<-10 dB) 27.63%, 원형편파 대역폭 16.8%, 동작주파수 912MHz에서 $\theta=0°$ 방향으로 2.3dB의 축비, 방사이득 약 6dBi의 특성을 가지며 최대 인식거리가 세로 2.6m 가로 2m로 측정되었다.

태그 안테나의 경우, 작은 대상에도 부착할 수 있는 초소형 태그 안테나와 태그가 놓인 방향에 무관하게 인식되는 무지향 인식영역 태그 안테나를 설계하였다. 소형화시킨 태그 안테나는 kr<0.3까지 소형화되었으며, 무지향 인식영역 안테나는 최대 방사이득과 최소 방사이득이 6dB 이하의 차이를 갖도록 설계되었다. 최적화 결과들 중 비교적 성능이 우수한 표본 안테나를 각각 PET에 인쇄하여 제작하였다. 초소형 표본 태그 안테나는 동작 주파수 914MHz에서 $kr=0.272$의 크기를 가지며 반사손실 대역폭(S_{11}<-3dB) 2.9%, 효율 10%, 최대 1m의 인식 거리 능력을 보였다. 무지향 인식영역 표본 태그 안테나는 크기 $kr=0.81$, 반사손실 대역폭(S_{11}<-3dB) 1.7%을 보였으며, 각도에 따른 인식거리가 103cm에서 134cm내에서 값을 갖는 무지향성 인식영역을 나타내었다.

감사의 글

본 논문은 정보통신부의 ‘유비쿼터스 컴퓨팅 및 네트워크 원천기반기술 개발사업’의 지원과 과학기술부 ‘특정연구개발사업’의 지원에 의하여 연구되었음.

[참고문헌]

[1] http://www.mic.go.kr (Ministry of Information and Cumunication Republic of Korea), "Notice 2004-34."

[2] K. Finkenzeller, *RFID Handbook*, Reading, MA: Addison Wiley, 2002.

[3] W. Rankl and W. Effing, *Smart Card Handbook*, New York: John Wiley & Sons, 2003.

[4] http://www.alientechnology.com RFID system

[5] H. A. Wheeler, "The radiansphere around a small antenna," *Proc. IRE.* Aug.,1959, pp. 1325-1331.

[6] J. S. McLean, "A re-examination of the fundamental limits on the radiation Q of electrically small antennas," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. 44, May. 1996, pp. 672-676.

[7] U. Karthaus and M. Fischer, "Fully integrated passive UHF RFID transponder IC with 16.7-μW minimum RF input powoer," *IEEE J. Solid-State. Circuits*, Vol. 38, Oct. 2003, pp. 1602-1608.

[8] C. A. Balanis, *Antenna theory analysis and design*, New York: John Wiley & Sons, 1997.

[9] W. L. Stutzman and G. A, Thiele, *Antenna theory and design*, New York: John Wiley & Sons, 1998.

[10] D. M. Pozar, *Microwave engineering*, New York: John Wiley & Sons, 1998.

[11] H. E. King and J. L. Wong, "Characteristics of 1 to 8 wavelength uniform helical antennas," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. 28, Mar. 1980, pp. 291-296.

[12] A. Safaai-Jazi and J. C. Cardoso, "Radiation characteristics of a spherical helical antenna," *Proc. Inst. Elect. Eng. Microwave and Antennas Propagat.*, Vol. 143, Feb. 1996, pp. 7-12.

[13] J. M. Tranquilla and S. R. Best, "A study of the quadrifilar helix antenna for Global Positioning System applications," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. 38, Oct. 1990, pp. 1545-1550.

[14] D. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Reading, MA: Addison Wesley, 1989.

[15] Y. Rahmat-Samii and E. Michielssen, *Electromagnetic Optimization by Genetic Algorithms*, New York: John Wiley & Sons, 1999.

[16] H. T, Hui, K. Y. Chan and E. K. N. Yung, "The input impedance and the antenna gain of the spherical helical antenna," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. 49, Aug. 2001, pp.1235-1237.

[17] H. Choo and H. Ling, "Design of electrically small planar antennas using an inductively coupled feed," *Electron. Lett.*, Vol. 39, Oct. 2003, pp. 3080-3081.

[18] H. D. Foltz, J. S. Mclean and G. Crook, "Disk-loaded monopoles with parallel strip elements," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. 46, Dec. 1998, pp.1894-1896.

[19] E. Newman, P. Hohley, and C. H. Walter, "Two methods for the measurement of antenna efficiency," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. 23, Jul. 1975, pp. 457-461.

주 재 율
(Jaeyul Choo)

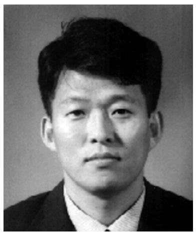
2004. 2: 홍익대학교 전자전기공학부 학사
2004. 3 ~ 현재: 홍익대학교 전파통신공학과 석사과정
주관심분야: 송수신 안테나 설계 및 GA 유전자 알고리즘을 이용한 최적화
E-mail: wnwodbf@hanmail.net
Tel: +82-19-552-6466
Fax: +82-2-333-5443

조 치 현
(Chihyun Cho)

2004. 2: 홍익대학교 전자전기공학부 학사
2004. 3 ~ 현재: 홍익대학교 전파통신공학과 석사과정
관심분야: 초소형 안테나 설계 및 GA 유전자 알고리즘을 이용한 최적화
E-mail: clgusl@nate.com
Tel: +82-17-342-9935
Fax: +82-2-333-5443

추 호 성
(Hosung Choo)

1998. 2: 한양대학교 전파공학과 학사
2000. 8: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 석사
2003. 5: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 박사
2003 6 ~ 2003. 8: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 Post Doctor
2003. 8 ~ 현재: 홍익대학교 전자전기공학부 전임강사
관심분야: 초소형 안테나, 최적화 알고리즘을 이용한 안테나 설계, RFID용 태그 및 리더 안테나
E-mail: hschoo@hongik.ac.kr
Tel: +82-2- 320-3066
Fax: +82-2- 320-1119



박 익 모
(Ikmo Park)

1984: 뉴욕주립대학교 전기전자공학과 학사
1989: 일리노이대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 석사
1994: 일리노이대학교 전기전자 및 컴퓨터 공학과 박사
1994 ~ 1996: LG전자기술원
1996 ~ 현재: 아주대학교 전자공학부
관심분야: 초고주파 수동소자(안테나 포함) 설계 및 해석
E-mail: ipark@ajou.ac.kr
Tel: +82-31-219-2483
Fax: +82-31-212-9531

오 이 석
(Yisok Oh)

1982년: 연세대학교 전기공학과 학사
1988년: 미국 University of Missouri-Rolla, 전기 및 컴퓨터 공학사 석사
1993년: 미국 University of Michigan, Ann Arbor, 전기공학 및 컴퓨터과학과 박사
1994 ~ 현재: 홍익대학교 전자전기 공학부 부교수
관심분야: 전파 산란, 마이크로파 원격탐사, 안테나
E-mail: yisokoh@hongik.ac.kr
Tel: +82-2-320-1481
Fax: +82-2-320-1193

김 영 길
(Youngkil Kim)

1974 ~ 1978: 고려대학교 공과대학 전자공학과 학사
1979 ~ 1980: 한국과학기술원 전자공학과 석사
1981 ~ 1984: (불란서) ENST 전자공학과 박사
1977. 12: 제 12회 기술고시 통신직(통신기좌)
1978 ~ 1979: 체신부 정책국 전자통신 전담반 통신기좌
1984. 9 ~ 현재: 아주대학교 정보통신대학 전자공학부 정교수
관심분야: RFID(ubiquitous ID) Reader Platform, 유,무선 네트워크(Bluetooth,Zigbee etc)를 이용한 환자생체관리 시스템, Embedded Hardware System 설계 및 구현
E-mail: ykkim@ajou.ac.kr
Tel: +82-11-9000-3276
Fax: +82-31-212-9531