

근거리장 및 원거리장용 하이브리드 RFID 리더 안테나

A Hybrid Reader Antenna for Near- and Far-Field RFID in UHF Band

이주용 · 한원근* · 박익모** · 추호성

Chuyong Lee · Wone Keun Han* · Ikmo Park** · Hosung Choo

요 약

본 논문에서는 삼각형 패치와 서브 패치를 이용하여 국내 UHF RFID 대역에서 근거리장 영역과 원거리장 영역을 겸용하여 사용할 수 있는 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 FR-4 기판에 마이크로스트립 패치로 인쇄되어 대량생산이 용이한 평면 구조이며, UHF RFID 주파수 대역(912 MHz)에서 동작하도록 설계하였다. 삼각형 패치를 이용하여 정면방향에서 원형편파 특성을 가지고 동작하며 서브 패치를 삽입하여 근거리장 영역에서 강하고 균일한 수직 자계를 형성 할 수 있도록 하였다. 측정 결과 제작된 안테나는 개구면에서 3 cm 떨어진 근거리장 영역에서 -25 dBA/m 이상의 수직 자계를 형성하며, 정면방향 원거리장에서 AR<3 dB의 원형편파를 복사하며 6 dBi의 복사 이득을 보였다.

Abstract

In this paper, we propose a novel hybrid reader antenna using a triangular and rectangular sub-patch for near- and far-field RFID reader in UHF band. The antenna operates at 912 MHz, and the low-cost mass-production is available, since the antenna can be built by printing on a FR-4 substrate. The triangular patch is designed to produce a circularly polarized radiation along the bore-sight direction and the rectangular sub-patch is designed to generate a strong magnetic field over the antenna aperture. The measurement shows Hz field greater than -25 dBA/m(3 cm above the antenna aperture), and exhibits circularly polarized radiation(AR<3 dB) with a radiation gain of 6 dBi.

Key words: RFID, Near-Field Antenna, Circularly Polarization, Hybrid Antenna, Genetic Algorithm

I. 서 론

RFID 시스템은 유통망(supply chain), 전자 여권, 제약산업, 국방산업 등 다양한 분야에서 사용되고 있으며, 향후 유비쿼터스 컴퓨팅 환경을 구성할 중요한 핵심 기술 중 하나로 많은 연구가 진행되고 있다. 대부분의 수동형 RFID 시스템은 동작 원리에 따라 상호 결합 방식(mutual coupling)과 역산란 방식

(backscattering)으로 구분된다. 상호 결합 방식은 HF 대역에서 출입 인증 시스템, 교통 카드 시스템 등으로 널리 사용되고 있으며, 근접 자계를 이용하여 태그와 리더 안테나가 정보를 주고 받으므로 주변 유전체에 의한 영향이 적은 반면, 태그의 인식 거리가 매우 짧고 인식 속도 또한 고주파 대역 RFID에 비해 상대적으로 느린 단점을 가지고 있다. RFID의 또 다른 방식 중 하나인 역산란 방식은 전자파의 복사

「본 논문은 (주)LS 산전의 지원 하에 이루어졌음.」

홍익대학교 전자전기공학부(School of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University)

*홍익대학교 물리학과(Department of Physics, Hongik University)

**아주대학교 전자공학부(School of Electrical and Computer Engineering, Ajou University)

· 논문 번호 : 20081128-18S

· 수정완료일자 : 2009년 2월 9일

와 산란을 이용하므로 상호 결합 방식보다 인식거리가 길고 데이터의 처리 속도가 빠르고 안테나의 물리적 크기를 크게 축소시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 이러한 많은 장점에도 불구하고 아직 RFID 시스템의 수신 신뢰성이 기존 상호 결합 방식에 비해 떨어져 다양한 응용에 적용되기에 한계를 가진다^{[11]~[14]}.

최근 RFID 리더 안테나의 수신 신뢰성을 높이기 위하여, HF 대역 상호 결합 방식과 UHF 대역 역산란 방식의 장점들을 취합한 UHF 대역 근거리장 리더 안테나에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다^{[5],[6]}. 일반적인 UHF 대역 근거리장 안테나는 안테나의 개구면에서 자계를 형성하기 위해 반파장보다 짧은 길이의 결합 선로를 루프 형태로 배열하거나, 두 개의 패치에 반대 방향 전류가 흐르게 하여 두 패치 사이에 강한 자계를 가지게 하는 구조 등을 주로 사용한다. 그러나 이러한 안테나들은 개구면에서 수직으로 강한 자계(Hz field)를 형성하여 근거리장용 태그는 잘 인식하지만, 원거리장 영역에서는 태그를 인식하지 못하는 단점을 가지고 있다^{[7]~[9]}. 따라서 하나의 안테나로 근거리장 및 원거리장의 태그를 동시에 인식할 수 있는 하이브리드 리더 안테나에 대한 필요성이 증가되고 있다. 하이브리드 리더 안테나는 루프 형태의 근거리장용 태그 안테나를 근거리장 영역인 안테나 개구면 전체에서 안정적으로 인식하기 위해 강하고 균일한 수직 자계를 가져야 한다. 원거리장 영역에서는 안테나 정면에서 6 dBi 정도의 복사 이득을 가져 EIRP 규정을 만족하면서도 최대 태그 인식거리를 확보해야 하며, 태그의 방향에 관계없이 안정적인 인식이 가능하도록 원형 편파 특성을 보여야 한다.

본 논문에서는 원거리장 영역에서 원형 편파 특성과 높은 복사 이득을 보이는 삼각형 마이크로스트립 패치와 근거리장 영역에서 역방향 전류 특성을 가지는 서브 패치를 사용하여 균일한 수직 자계를 가지는 하이브리드 리더 안테나를 구현하였다. 제안된 안테나의 측정 결과, 안테나 개구면에서 강하고 균일한 수직 자계를 가지고 6 dBi 이상의 원형 편파 복사 이득을 보여 상용 근거리장 및 원거리장 리더 안테나로 사용이 가능함을 확인하였다.

II. 안테나의 구조 및 최적화

원거리장 UHF 대역 RFID 리더 안테나는 대부분 패치 안테나 구조를 사용하며, 원형 편파 특성을 가지기 위해서 패치의 가로/세로 길이를 조절하거나, 모서리를 절제 또는 슬랏을 삽입하는 방법 등을 사용한다^{[10]~[15]}. 그러나 패치를 사용하는 마이크로스트립 안테나는 근거리장에서 패치의 중앙 부분에 수직 자계가 급격히 감소하는 영역이 있어 루프 형태의 근거리장용 태그 인식에 사용되기 어렵다. 이러한 수직 자계의 널(null) 영역은 패치의 모양에 의한 큰 차이를 보인다. EM 시뮬레이션을 사용하여 다양한 패치 안테나의 근접 자계를 관찰한 결과, 삼각형 구조의 패치일 경우 사각형 또는 원형 구조에 비해 다소 적은 수직 자계 널 영역을 보이는 것을 확인하였다. 삼각형 패치를 사용하여 수직 자계 널 영역을 감소시킬 수는 있으나 특정 영역에서는 여전히 수직 자계의 강도가 약해 근거리장용 태그를 안정적으로 인식하지 못하는 문제점을 가진다. 이러한 인식 널 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 삼각형 패치에 역방향 전류가 흐르는 선로를 삽입하였다. 역방향 전류의 선로를 사용하면 두 선로 사이에 강한 수직 자계를 형성시켜 근거리장용 리더 안테나에 적합한 자계 특성을 얻을 수 있다^[16]. 그림 1(a)는 삼각형 패치만 있는 경우의 수직 자계 분포를 보여주며, 그림 1(b)는 역방향 선로를 삽입한 경우에 수직 자계 분포를 보여준다.

역방향 전류 선로를 실제 구현하기 위해 그림 2와 같이 삼각형 패치에 근접하여 직사각형 모양의 서브 패치를 삽입하였다. 삼각형 패치는 원형 편파 특성을 가지면서 국내 RFID 주파수 대역에서 공진하기 위해 각 변의 길이를 동작 주파수(912 MHz) 파장의 절반이 되도록 하였으며, 임피던스 정합이 되도록 급전점의 위치를 조절하였다. 서브 패치의 위치는 역방향 전류 특성을 유도하여 수직 자계의 분포를 균일하게 하기 위해 약 $\lambda/8$ 정도 삼각 패치로부터 이격 거리를 두었으며, 두 패치 사이의 거리가 대략 $\lambda/8$ 일 때 서브 패치에 역방향 전류가 유기되며, 수직 자계의 분포도 가장 균일해짐을 확인하였다. 두 패치 사이의 이격 거리를 확보하기 위해 두 패치의 높이 h_1 과 h_2 를 다르게 하였으며, 제작이 용이하도록 유전

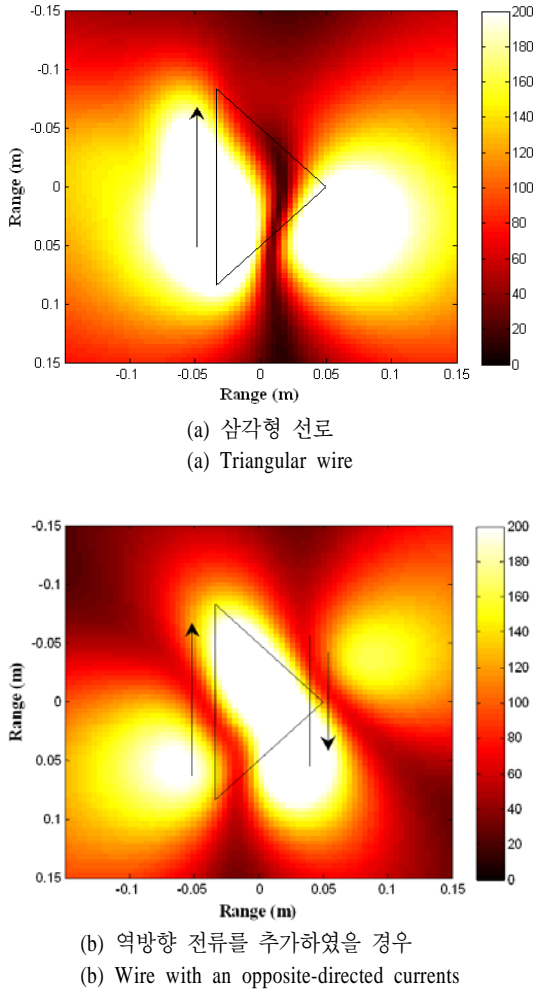


그림 1. 안테나 구조에 의한 수직 자계 분포 특성
Fig. 1. Characteristics of the Hz field distribution.

체 기판(FR-4) 위에 두 패치를 각각 평면 형태로 인쇄하였다. 안테나의 설계변수를 최적화하여 최상의 안테나의 성능을 확보하기 위해 FEKO EM 시뮬레이터와 Pareto 유전자 알고리즘을 사용하여 최적화된 삼각 패치의 크기, 서브 패치의 위치 및 크기, 급전점의 위치 등을 도출하였다. 최적화 과정에서 Pareto 유전자 알고리즘의 최적화 방향을 결정하는 비용 평가 함수로 식 (1)~(2)를 이용하였다^{[17],[18]}.

$$Cost1 = 1 - \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M H_z(x_n, y_m)}{N \times M} \quad (1)$$

$$Cost2 = \max(H_z) - \min(H_z) \quad (2)$$

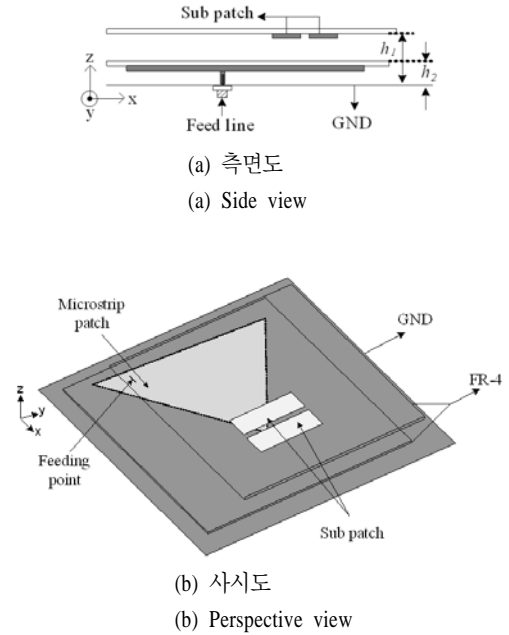


그림 2. 제안된 안테나 구조
Fig. 2. The structure of the proposed antenna.

$Cost1$ 은 인식 영역 내에서 수직 자계 세기의 평균 값을 증가시키기 위해 사용된 비용 평가 함수이며, H_z 는 안테나 개구면에서 3 cm 떨어진 평면에서의 수직 자계이며, x_n 과 y_m 은 평면의 x-y 좌표를 의미한다. $Cost2$ 는 개구면 위쪽 평면에서 수직 자계의 분포를 균일하게 하여 인식 널을 최소화하기 위한 비용 평가 함수로 수직 자계 세기의 편차를 의미한다. 그 외에 원거리장 조건에서 높은 복사 이득의 원형 편파 특성을 가지도록 하기 위해 정면 방향(bore-sight)에서 안테나 복사 이득이 5 dBi 이하거나 원형 편파 특성이 $AR > 3$ dB이면 비용 평가 함수에 가산치를 적용하여 조사 영역에서 제외되도록 하였다. 약 300번 이상의 최적화 반복 과정을 수행하여 안테나의 최적 설계 값을 도출하였으며, 이 때 설계 변수 값을 표 1에 나타내었다.

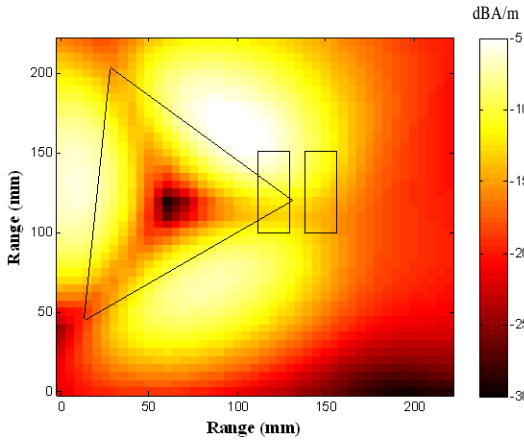
III. 최적화된 안테나의 측정 및 분석

최적화된 안테나의 성능을 확인하기 위해 실제 안테나를 제작하여 근거리장 영역과 원거리장 영역에서 성능을 각각 측정 후 시뮬레이션과 비교하였다. 그림 3(a)는 안테나 개구면에서 3 cm 떨어진 근

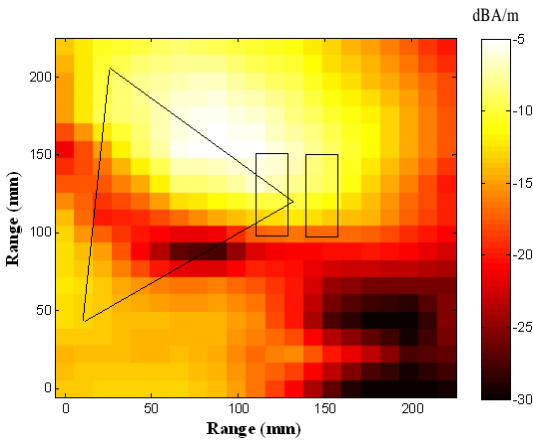
표 1. 안테나의 설계 변수

Table 1. Design parameters for the antenna.

	본체	서브 패치 1	서브 패치 2	급전	높이 (h_1, h_2)
좌 표 (x mm, y mm)	(7.5, 53.0) (153.6, 133.5) (21.3, 234.9)	(112.4, 138.0) (132.8, 138.0) (132.8, 186.2) (112.4, 186.2)	(145.6, 138.0) (166.0, 138.0) (166.0, 186.2) (145.6, 186.2)	(40.1, 112.2)	19.3 mm 13.0 mm



(a) 시뮬레이션 된 수직 자계 분포
(a) Simulated Hz field distribution



(b) 측정된 수직 자계 분포
(b) Measured Hz field distribution

그림 3. 안테나의 수직 자계 분포

Fig. 3. Near Hz field distribution of the proposed antenna.

영역에서의 수직 자계의 시뮬레이션 세기를 나타내며, 제안된 안테나가 1 W의 송출전력을 가질 때 개구면 전체에서 -25 dB/m 이상의 수직 자계 값

을 가지는 것을 알 수 있다. 근접 자계 측정을 위해 지름이 약 1.8 cm인 마그네틱 프루브(magnetic probe)와 HP 8510C 네트워크 분석기를 사용하였으며, 안테나 표면을 13×13 구간으로 나눈 후 개구면과 3 cm 떨어진 평면의 각 구간에서 안테나와 마그네틱 프루브 사이의 상대적인 S_{21} 을 측정하였다^[19]. 측정된 수직 자계 세기를 그림 3(b)에 나타내었으며, 측정 결과 수직 자계가 강한 영역과 약한 영역이 시뮬레이션 값과 유사한 것을 볼 수 있다. 그림 4는 제작된 안테나를 가지고 근영역장 태그 안테나를 인식할 때의 최대 인식거리 측정 값을 나타낸다. 의료 시약 통 안을 고 유전율을 가지는 액체로 채운 후 시약 통 바닥에 Inpinj사의 근거리장용 태그(Inpinj button)를 부착하였으며, 20×20 cm² 영역의 개구면을 13×13 구간으로 나누어 각각 구간에 대해 인식거리를 측정하였다^[20]. 측정 결과 최대 인식거리는 약 10 cm이며, 평균 4.5 cm 이상의 인식거리를 가져 개구면 전체에서 근거리장 태그를 안정적으로 인식하는 것을 확인할 수 있다.

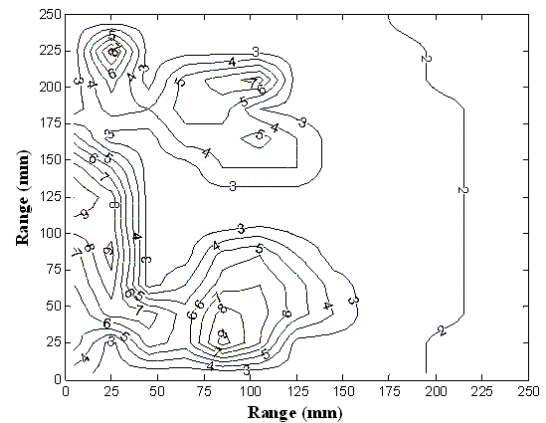
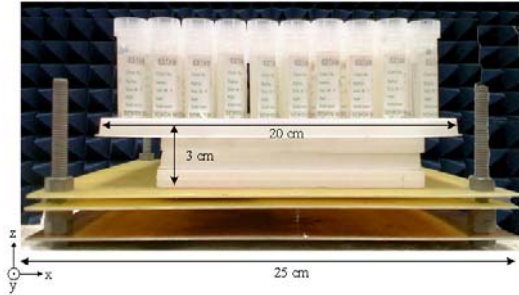
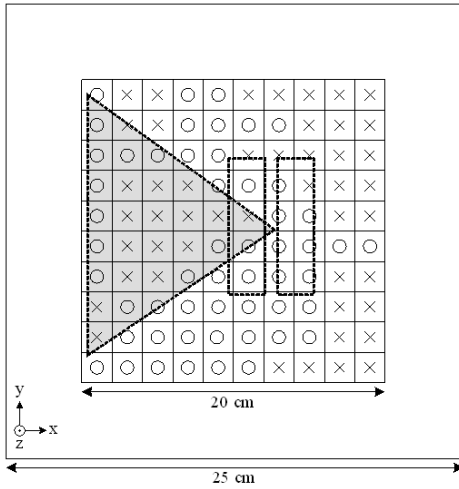


그림 4. 소형 근거리장 태그와의 인식거리

Fig. 4. The reading range using a small NF tag.



(a) 안테나 측정 환경
(a) Measurement set up



(b) 안테나 인식 영역
(b) Reading zone of the proposed antenna

그림 5. 근거리장용 태그 안테나 인식 영역 측정
Fig. 5. Measurement of reading zone using a near-field tag.

다수 태그에 대한 동시 인식능력을 확인하기 위해 100개의 시약 통을 한꺼번에 안테나의 개구면 위에 배열하고 인식 성공률을 측정하였다. 그림 5(a)는 측정 환경을 보여주며, 각각의 시약 통 바닥에 근거리장용 태그를 부착한 후 개구면에서 3 cm 떨어진 평면에 가로 세로 각각 10줄씩 총 100개의 시약 통을 배열하였다. 그림 5(b)는 태그가 성공적으로 인식된 부분을 '○'로, 인식되지 않은 부분을 '×'로 표시한 결과이며, 측정된 평면에서 약 70 % 이상의 인식 성공률을 보였다. 측정 결과를 살펴보면 태그가 안정적으로 인식한 영역이 수직 자계의 세기가 강한 영역과 일치함을 알 수 있으며, 근거리장 리더 안테

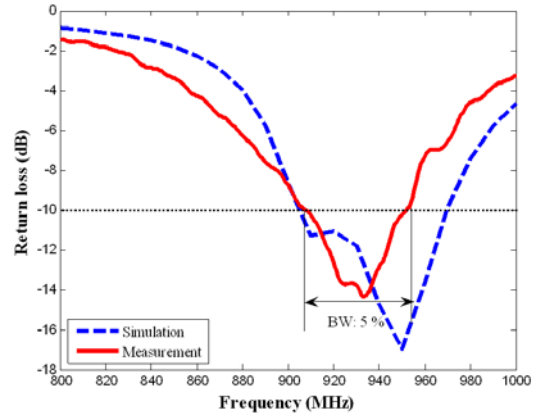


그림 6. 안테나 반사 손실
Fig. 6. Return loss of the antenna.

나 설계에 수직 자계의 균일도 및 세기가 매우 중요함을 보여준다.

다음으로는 제안된 안테나의 원거리장 영역 특성을 살펴보았으며, 그림 6은 안테나의 반사 손실($S_{11} < -10$ dB) 측정 값과 시뮬레이션 값을 보여준다. 측정된 반사 손실 대역폭이 912 MHz를 중심으로 5 % (900~950 MHz)로 국내 RFID 주파수 기준을 만족하는 것을 확인할 수 있다. 그림 7은 축비 특성($AR < 3$ dB)을 측정한 결과로 2.1 % (900~922 MHz)의 원형 편파 대역폭을 가지고 동작하는 것을 알 수 있다. 동작 주파수에서 x-z와 y-z 평면의 복사 패턴을 측정한 결과, 두 평면에서 모두 주빔 방향(z 축상)에서 시뮬레이션 값과 유사하게 약 6 dBi의 복사 이득을 가지는

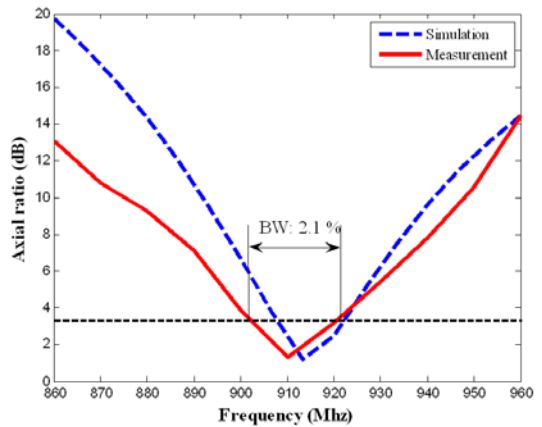
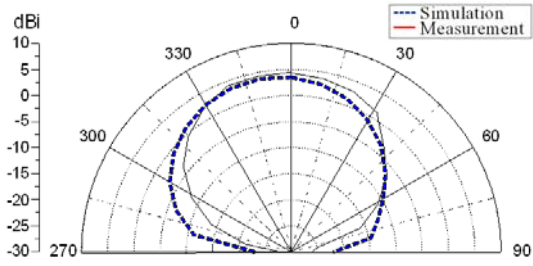
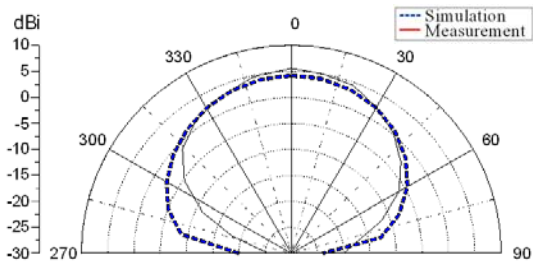


그림 7. 안테나 축비
Fig. 7. Axial ratio of the antenna.



(a) x-z 평면
(a) x-z plane



(b) y-z 평면
(b) y-z plane

그림 8. 측정된 안테나 복사 패턴(912 MHz)
Fig. 8. Measured radiation patterns of the antenna(912 MHz).

것을 그림 8(a)와 (b)에서 확인할 수 있다. 마지막으로 원거리장용 태그 안테나와의 인식거리를 측정하기 위해 제작된 안테나를 Impinj사의 CSL-461 RFID 리더기에 장착하였으며, 태그 안테나는 Alien사의

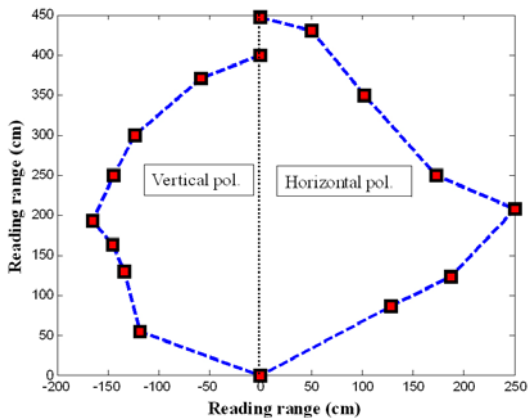
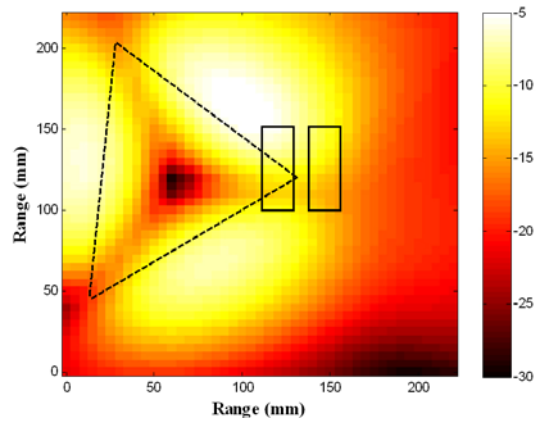


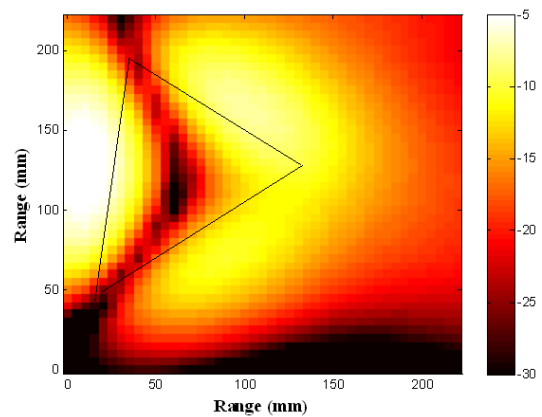
그림 9. 원거리장 인식 영역
Fig. 9. The reading range using a far-field tag.

ALL-9440을 사용하였다^{[21],[22]}. 그림 9는 측정된 원거리장 태그 인식거리를 나타내며, 정면 방향에서 태그의 수직/수평 방향으로 각각 4.5 m와 4.1 m의 최대 인식거리를 가져 제안된 안테나가 태그 안테나의 방향에 상관없이 잘 인식하는 것을 알 수 있다.

서브 패치가 근거리장 영역에서 수직 자계 분포에 주는 영향을 확인하기 위해 제안된 안테나와 서브 패치를 제거한 안테나의 수직 자계 분포를 각각 시뮬레이션하여 그림 10(a)와 (b)에 나타내었다. 제안된 안테나의 경우, 개구면 전체에서 -25 dBA/m 이상의 강한 수직 자계가 형성되는 반면 서브 패치를



(a) 제안된 안테나의 수직 자계
(a) The near Hz field of the proposed antenna



(b) 패치를 제거한 안테나의 수직 자계
(b) The near Hz field without the sub-patch

그림 10. 패치에 의한 수직 자계 분포
Fig. 10. The change of the Hz field by the sub patch.

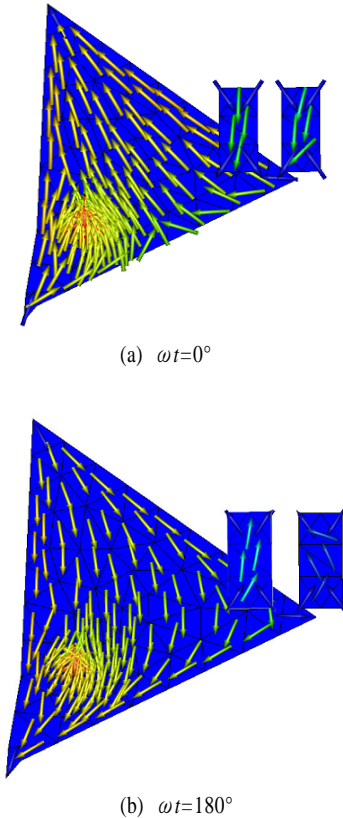


그림 11. 시간에 따라 안테나 패치에 흐르는 전류 특성
Fig. 11. Current distribution in terms of time.

제거한 안테나의 경우에는 삼각형 패치의 대각선 방향에서 수직 자계가 약한 부분이 발생하는 것을 볼 수 있다. 이를 통해 서브 패치가 삼각형 패치에 형성되는 대각선 수직 자계 널 영역을 보완하여 개구면 전체에서 강하고 균일한 수직 자계를 형성시킴을 알 수 있다. 또한, 서브 패치에 의한 수직 자계 형성 원리를 확인하기 위해 FEKO EM 시뮬레이터를 이용하여 시간에 따른 전류의 흐름을 확인하였으며, 그림 11에 나타내었다. 그림 11(a)는 $\omega t=0^\circ$ 일 때의 전류의 흐름을 나타내며, 삼각형 패치에 전류가 위쪽 방향으로 흐를 때 서브 패치는 삼각형 패치와 반대 방향인 아래쪽으로 흐르며, 그림 11(b)의 $\omega t=180^\circ$ 의 경우에도 삼각형 패치와 서브 패치에 흐르는 전류가 서로 반대 방향인 것을 알 수 있다. 따라서 삼각형 패치에 흐르는 전류와 서브 패치에 흐르는 반대 방향의 전류가 개구면에서 근영역장 수직 자계를 보다 강하고 균일하게 형성시키는 것을 확인하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 근거리장과 원거리장 영역에서 동시에 사용할 수 있는 UHF 대역 하이브리드 리더 안테나를 제안하였으며, 삼각형 패치와 서브 패치의 형태를 사용하여 강하고 균일한 수직 자계 및 원형 편파의 높은 복사 이득을 가지도록 FEKO EM 시뮬레이터와 Pareto 유전자 알고리즘을 이용하여 최적화하였다. 삼각형 패치는 정면에서 높은 복사 이득과 원형 편파 특성을 가지게 하며, 서브 패치는 본체에서 생기는 수직 자계 널을 보완하여 개구면 전체에서 강하고 균일한 수직 자계 분포를 가지게 함을 확인하였다. 최적화된 설계 값을 바탕으로 안테나를 제작한 후 성능을 측정한 결과 근영역장에서 개구면 전체에 강하고 균일한 수직 자계를 가지며 개구면에서 3 cm 떨어진 높이에서 약 70 % 이상의 근거리장용 태그 인식률을 보였다. 원영역장에서는 국내 RFID 주파수 대역을 포함하는 대역폭 특성을 가지고 원형 편파 특성의 6 dBi 복사 이득을 보였다. 안테나의 동작원리를 확인하기 위해 안테나의 전류 흐름을 관찰하였으며, 서브 패치의 역방향 전류 특성이 삼각형 패치 위의 수직 자계 널 영역을 보완하여 강한 수직 자계를 형성시키는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] P. V. Nikitin, K. V. Rao, and S. Lazar, "An overview of near field UHF RFID", *IEEE International Conference on RFID*, pp. 167-174, Mar. 2007.
- [2] J. Choo, J. Ryoo, I. Park, J. Hong, and J. Lee, "A novel multi-loop tag for near field communication in UHF band", *Proceeding of Asia-Pacific Microwave Conference*, pp. 1-4, Dec. 2007.
- [3] A. Sharneli, A. Safarian, A. Rofougaran, M. Rofougaran, J. Castaneda, and F. De Flaviis, "A UHF near field RFID system with fully intergrated transponder", *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 56, pp. 1267-1277, May 2007.
- [4] R. Glidden, C. Bockorick, S. Cooper, C. Diorio, D. Dressler, V. Gutnik, C. Hagen, D. Hara, T. Hass, T. Humes, J. Hyde, R. Olive, O. Onen, A. Pesavento,

- K. Sundstrom, and M. Thomas, "Design of ultra low-cost UHF RFID tags for supply chain application", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 42, no. 8, pp. 140-151, Aug. 2004.
- [5] S. A. Bokhari, J. -F. Zurcher, J. R. Mosig, and F. E. Gardiol, "Near fields of microstrip antennas", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 43, no. 2, pp. 188-197, Feb. 1995.
- [6] R. J. Paknys, "The near field of a wire grid model", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 39, no. 7, pp. 994-999, Jul. 1991.
- [7] W. L. Stutzman, *Antenna Theory and Design*, 2nd Ed. New York: Wiley, 1997.
- [8] Thomas A. Milligan, *Modern Antenna Design*, New York: Wiley, 2005.
- [9] R. Garg, P. Blartia, I. Bahl, and A. Ittipiboon, *Microstrip Antenna Design Handbook*, Boston, MA: Artech House, 2001.
- [10] R. C. Hua, T. G. Ma, "A printed dipole antenna for Ultra High Frequency(UHF) Radio Frequency Identification(RFID) handheld reader", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 55, no. 12, pp. 3472-3745, Dec. 2007.
- [11] S. A. Bokhari, J. F. Zurcher, J. R. Mosig, and F. E. Gardiol, "A small microstrip patch antenna with a convenient tuning option", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 44, no. 11, pp. 1521-1528, Nov. 1996.
- [12] S. Kim, H. Park, D. Lee, and J. Choi, "A novel design of an UHF RFID reader antenna for PDA", in *Proc. Asia-Pacific Conf. Microw.*, pp. 1471-1473, Dec. 12-15, 2006.
- [13] N. Chang, J. Lin, "A novel circularly polarized patch antenna with a serial multi-slot type of loading", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 55, no. 11, pp. 3345-3348, Nov. 2007.
- [14] M. Song, J. Woo, "Miniaturization of microstrip patch antenna using perturbation of radiating slot", *Electron. Lett.*, vol. 39, no. 5, pp. 417-419, Mar. 2003.
- [15] Klaus Finkenzeller, *RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification*, 2nd Ed. New York: Wiley, 2003.
- [16] 조치현, 류정기, 추호성, 박익모, "역방향 전류를 이용한 UHF 대역 근거리장용 RFID 리더 안테나 설계", *춘계마이크로파 및 전파전파학술대회논문집*, 31(1), pp. 403-406, 2008년 5월.
- [17] H. Choo, H. Ling, "Design of electrically small planar antennas using an inductively coupled feed", *Electron. Lett.*, vol. 39, no. 22, pp. 3080-3081, Oct. 2003.
- [18] Y. Rahmat-Samii, E. Michielssen, *Electromagnetic Optimization by Genetic Algorithms*, New York: Willey, 1999.
- [19] D. C. Smith, "Signal and noise measurement techniques using magnetic field probes", in *Proc. IEEE Electromagnetic Compatibility. Int. Symp.*, pp. 559-563, Aug., 1999.
- [20] Impinj RFID chips. [Online]. Available at www.impinj.com
- [21] CS461 RFID reader. [Online]. Available at www.convergence.com.hk
- [22] RFID tags. [Online]. Available at www.alientechology.com

이 주 용



2007년 8월: 홍익대학교 전자전기 공학과 (공학사)
2007년 9월~현재: 홍익대학교 전자정보통신대학원 석사과정
[주 관심분야] RFID용 태그 및 리더 안테나 설계

박 익 모



1984년: 뉴욕주립대학교 전기전자 공학과 (공학사)
1989년: 일리노이대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 (공학석사)
1994년: 일리노이대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 (공학박사)
1994년~1996년: LG전자기술원
1996년~현재: 아주대학교 전자공학부 교수
[주 관심분야] 초고주파 및 테라헤르츠파 수동소자(안테나 포함) 설계 및 해석

한 원 근



1982년: 서울대학교 물리학과 (이학사)
1984년: 서울대학교 물리학과 (이학석사)
1986년: 브라운대학교 물리학과 (이학석사)
1991년 브라운대학교 물리학과 (이학박사)

1991년~현재: 홍익대학교 물리학과/기초과학과 부교수
[주 관심분야] 전산물리학

추 호 성



1998년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학사)
2000년 8월: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학석사)
2003년 5월: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학박사)
2003년 6월~2003년 8월: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 (Post Doctor)
2003년 9월~현재: 홍익대학교 전자전기공학부 조교수
[주 관심분야] 초소형 안테나, 최적화 알고리즘을 이용한 안테나 설계, RFID용 태그 및 리더 안테나