

기생소자를 가지는 U-형태의 광대역 RFID 태그 안테나

U-Shaped Broadband RFID Tag Antenna with a Parasitic Element

이상운 · 조치현* · 이기근 · 추호성* · 박익모

Sangwoon Lee · Chihyun Cho* · Keekeun Lee · Hosung Choo* · Ikmo Park

요 약

본 논문에서는 UHF 대역에서 동작하는 기생소자를 가지는 U-형태의 광대역 RFID 태그 안테나를 제안하였다. 제안한 태그 안테나는 복사부에 해당하는 U-형태의 반파장 다이폴 안테나 상단 중앙에 역방향으로 U-형태의 기생소자를 삽입하였고, 본체 하단 중앙에 사각 형태의 급전 구조를 삽입하여 상용 태그 칩과 안테나의 공역 정합을 용이하게 하였다. 제안된 태그 안테나는 VSWR<2를 기준으로 한 882~927 MHz의 대역폭 안에서 3.16 dB 이하의 이득편차 특성을 가졌고, VSWR<5.8을 기준으로 한 대역폭은 857~958.5 MHz로 전 세계 UHF 대역폭을 모두 수용하였으며, 대역폭 내에서 5.07 dB 이하의 이득편차 특성을 가졌다. 또한 최소 이득편차 특성이 대역폭 중심 주파수에 나오도록 하여 주파수에 따른 이득편차 특성 변화를 최소화하였다.

Abstract

In this paper, we proposed a U-shaped broadband RFID tag antenna with a parasitic element operating at UHF band. The proposed tag antenna consists of a U-shaped half wavelength dipole antenna and an inverse U-shaped parasitic element inside the U-shaped dipole antenna. In order to have good impedance matching, the commercial tag chip is attached to the lower center of the rectangular shaped feed. On the condition of VSWR<2, the tag antenna had the measured bandwidth of 4.96 % from 882 to 927 MHz and showed the gain deviation of less than 3.16 dB. On the condition of VSWR<5.8, the tag antenna satisfies the worldwide UHF RFID bandwidth and is showed the gain deviation of less than 5.07 dB. The minimum gain deviation characteristic appears near the center of bandwidth which minimizes variation of gain deviation characteristic with respect to the frequency.

Key words : U-Shaped Antenna, U-Shaped Parasitic Element, Rectangular-Shaped Feed, Broadband, Stable Gain Deviation, Near-Isotropic Radiation Pattern, RFID, Tag Antenna

I. 서 론

RFID 시스템은 LF 대역(125 kHz, 134 kHz), HF 대역(13.56 MHz), UHF 대역(433.92 MHz, 860~960 MHz), 마이크로파 대역(2.45 GHz) 등 여러 주파수 대역을 이용하고 있으며, 이 중 UHF 대역은 긴 인식거리와 빠른 전송 속도로 인하여 기존의 바코드의 단점을 보완할 차세대 무선 인식기술로 특히 물

류·유통 분야에서 크게 주목을 받고 있다. 이러한 UHF 대역은 유럽(865~868 MHz), 북미(902~928 MHz), 일본(950~956 MHz) 등 국가별로 상이한 주파수를 할당하였으며, 한국은 908.5~914 MHz 대역을 사용하고 있다^{[1]~[4]}. 이와 같이 국가별 승인된 UHF 대역의 주파수가 다르기 때문에 국가 간의 상호 연동성이 제공되기 위해서는 광대역 특성을 갖는 태그 안테나가 요구된다^{[6]~[12]}. 그리고 태그 안테

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

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

· 논문 번호 : 20081030-134

· 수정완료일자 : 2009년 1월 7일

나는 부차 방향이 일정하지 않으므로 복사 특성의 널(null) 방향이 리더를 향하게 되면 인식률이 급격히 떨어지는 문제점이 있다. 따라서 태그 안테나는 준 등방성 복사 특성 즉, 360도 모든 방향에서 이득 편차(최대 이득과 최소 이득의 차이)가 최소화된 특성을 가져 위치나 방향에 무관한 인식률을 가지는 것이 바람직하다. 또한 주파수 변화에 따른 이득 편차 특성 변화를 최소화하여 주파수와 무관하게 고른 인식거리를 확보하는 것이 좋다. 더욱이 태그 안테나는 원거리 인식이 가능하도록 높은 복사 효율과 안테나와 태그 칩의 임피던스 공액 정합으로 태그 칩에 최대 전력을 전달해야 한다. 일반적으로 태그 칩의 입력 리액턴스는 매우 커패시티브한 성분을 가지므로 태그 안테나는 인덕티브한 성분을 가지도록 설계해야 한다^{[4],[5]}. 최근 T-matching 급전 구조와 결합된 bent 다이폴 안테나가 준 등방성 복사 패턴을 가지는 광대역 태그 안테나로 구현되었다^[6]. 그러나 bent 다이폴 안테나는 주파수에 따른 이득편차 특성이 급격히 변하므로 동작 주파수가 변할 경우 방향에 따른 인식거리가 크게 변할 수 있다.

본 논문에서는 UHF 대역에서 동작하는 기생소자를 가지는 U-형태의 광대역 RFID 태그 안테나를 제안한다. U-형태의 태그 안테나만으로는 이득편차의 최소 지점이 대역폭을 벗어난 주파수에서 형성되므로 방향에 따른 인식거리 차이가 안테나의 동작 주파수에 따라 크게 변할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 안테나의 복사부에 해당하는 본체 상단 중앙에 역방향으로 U-형태의 기생소자를 삽입하여 최소 이득편차 특성이 대역폭 중심 주파수에 나오도록 개선하여 주파수에 따른 이득편차 특성 변화를 최소화되도록 설계하였다.

II. 안테나 구조

그림 1에 본문에서 제안한 기생소자를 가지는 U-형태의 광대역 RFID 태그 안테나의 구조를 나타내었다. 제안된 태그 안테나는 복사부에 해당하는 본체와 사각 형태의 급전부로 구성되어 있다. 본체는 U-형태의 반파장 ($\lambda/2$) 다이폴 안테나이며, 본체 상단에 역방향으로 U-형태의 기생소자를 삽입하였다.

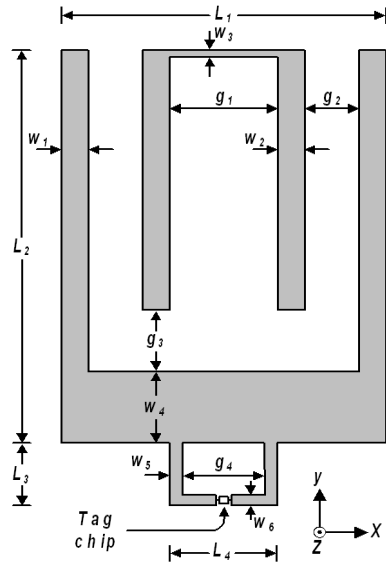
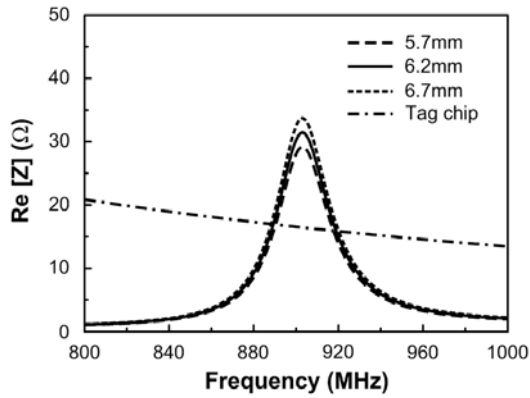


그림 1. 제안된 태그 안테나의 구조
Fig. 1. The structure of the proposed tag antenna.

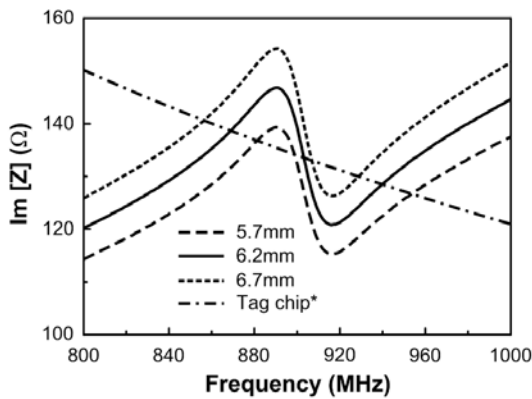
또한 본체 하단 중앙에 사각 형태의 급전 구조를 삽입하여 상용 태그 칩과 안테나의 공액 정합을 용이하게 하였고, 급전부 하단 중앙에 915 MHz에서 약 $16-j131 \Omega$ 의 입력 임피던스 값을 가지는 Alien사의 Higgs 상용 태그 칩을 연결하였다. 안테나의 입력 리액턴스를 인덕티브한 성분을 갖도록 만들어 태그 칩의 커패시티브한 성분을 상쇄하여 임피던스 공액 정합으로 광대역 특성을 가지도록 하였다^{[4],[5]}. 태그 안테나의 설계를 위한 EM 시뮬레이션은 Zeland사의 IE3D를 사용하였고, 안테나는 비유전율(ϵ_r)이 3.38이고, 0.2032 mm의 두께를 가지는 RO 4003 기판 위에 설계하였다.

III. 안테나 특성

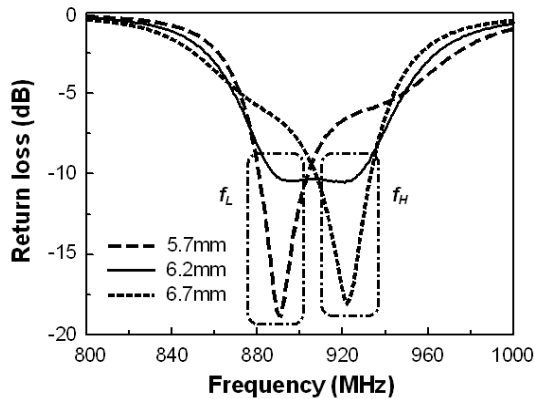
제안된 태그 안테나의 특성을 살펴보고자, 사각 형태의 급전부 상하 길이(L_3) 변화에 따른 임피던스와 반사손실 특성 변화를 그림 2에 나타내었다. L_3 을 5.7 mm에서 6.7 mm까지 0.5 mm 간격으로 증가시키면 임피던스 특성의 경우 그림 2(a)와 (b)처럼 입력 저항은 중심 주파수 부근에서 소폭으로 증가하였으며, 입력 리액턴스는 주파수에 관계없이 일정하게 증가하였다. 안테나와 태그 칩의 공액 정합한



(a) 입력 저항
(a) Input resistance



(b) 입력 리액턴스
(b) Input reactance



(c) 반사손실
(c) Return loss

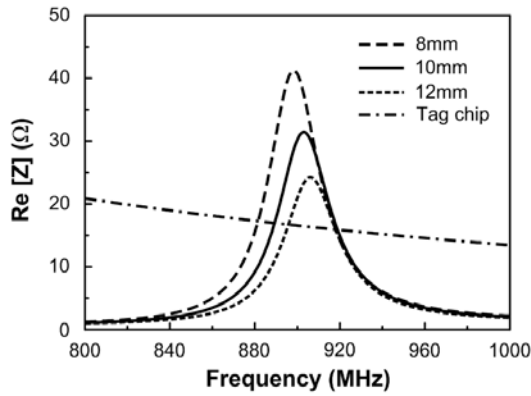
그림 2. 사각 형태의 급전부 상하 길이(L_3) 변화에 따른 안테나 특성 변화

Fig. 2. Variation of antenna characteristic with respect to the length(L_3) of the feed.

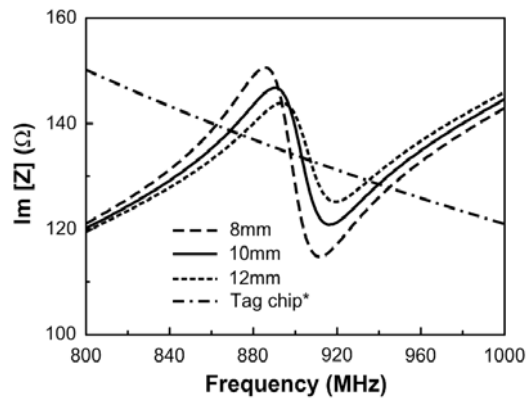
반사손실 특성은 상하 길이 5.7 mm의 경우 891 MHz에서 낮은 정합주파수(f_L)만 형성되었고, 6.2 mm일 경우 894 MHz와 917 MHz에서 이중 정합주파수를 형성하였다. 그리고 6.7 mm의 경우 922 MHz에서 높은 정합주파수(f_H)만 형성되었다. 이러한 특성 변화는 상하 길이 5.7 mm의 경우 안테나의 입력 리액턴스와 태그 칩의 리액턴스가 낮은 주파수에서 두 부분이 만나 낮은 정합주파수만 형성되었으며, 6.2 mm의 경우 일정한 간격으로 세 부분이 만나 이중 정합주파수를 형성하였다. 그리고 6.7 mm의 경우 높은 주파수에서 두 부분이 만나 높은 정합 주파수만 형성하였다. 사각 형태의 급전부 좌우 길이 L_4 도 상하 길이 변화와 유사한 특성을 가졌다. 위 결과로 급전부 상하 길이와 좌우 길이를 조절함으로써 안테나와 태그 칩과의 임피던스 공액 정합으로 광대역 특성을 얻을 수 있다.

그림 3은 안테나의 복사부에 해당하는 본체 하단 선폭의 변화에 따른 임피던스와 반사손실 특성 변화를 나타내었다. 선폭 w_4 를 8 mm에서 10 mm, 12 mm로 증가함에 따라 입력 저항은 크게 감소하였고, 입력 리액턴스는 변화의 폭이 크게 줄었다. 또한 반사손실 특성의 경우 낮은 정합주파수 f_L 은 879 MHz에서 894 MHz, 912 MHz로 높아진 반면에 높은 정합주파수 f_H 는 930 MHz에서 917 MHz, 915 MHz로 감소하여 두 정합주파수 간격이 점점 가까워지는 것을 알 수 있다. 이러한 반사손실 특성 변화는 낮은 정합주파수 f_L 과 높은 정합주파수 f_H 는 선폭이 증가함에 따라 안테나의 리액턴스 변화의 폭이 작아지면서 태그 칩의 리액턴스와 정합되는 세 부분이 점점 가까워지기 때문인 것으로 사료된다.

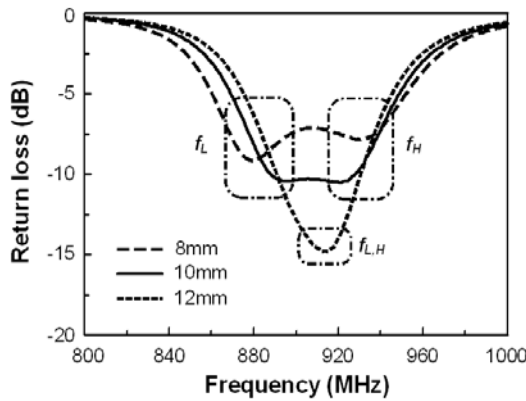
다음은 제안된 태그 안테나의 이득편차 특성 변화를 살펴보고자, U-형태의 본체와 기생소자 간의 가로 간격(g_2) 변화에 따른 특성 변화를 그림 4에 나타내었다. g_2 를 6.5 mm에서 8.5 mm까지 1 mm 간격으로 증가시켜 본 결과, 안테나의 360° 전방향의 최대 이득과 최소 이득의 차이인 이득편차 특성이 낮은 주파수 대역에서 일정하게 유지되지만 최소 이득편차 특성이 894 MHz에서 902 MHz, 그리고 908 MHz로 높은 주파수로 증가함에 따라 높은 주파수



(a) 입력 저항
(a) Input resistance



(b) 입력 리액턴스
(b) Input reactance



(c) 반사손실
(c) Return loss

그림 3. 본체 하단 선폭(w_2) 변화에 따른 안테나 특성 변화

Fig. 3. Variation of antenna characteristic with respect to the width(w_2) of the body.

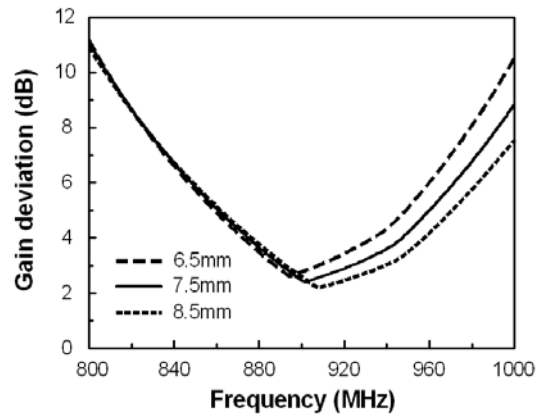


그림 4. 본체와 기생소자 간의 가로 간격(g_2) 변화에 따른 안테나 특성 변화

Fig. 4. Variation of antenna characteristic with respect to the gap(g_2) between the body and the parasitic element.

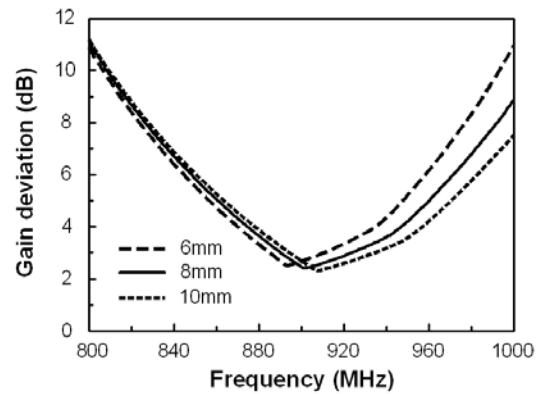


그림 5. 본체와 기생소자 간의 세로 간격(g_3) 변화에 따른 특성 변화

Fig. 5. Variation of antenna characteristic with respect to the gap(g_3) between the body and the parasitic element.

대역에서의 이득편차 특성이 크게 낮아지는 것을 알 수 있다.

U-형태 반파장 다이폴과 기생소자 간의 세로 간격(g_3) 변화에 따른 특성 변화를 그림 5에 나타내었다. g_3 을 6 mm에서 8 mm, 그리고 10 mm으로 세로간격이 넓어짐에 따라 이득편차 특성의 경우 가로 간격(g_2) 변화와 유사한 특성 변화를 가지며, 기생소자 중앙 상단 선폭(w_3) 변화도 유사한 특성을 갖는다.

이러한 특성 변화를 바탕으로 최적화된 기생소자를

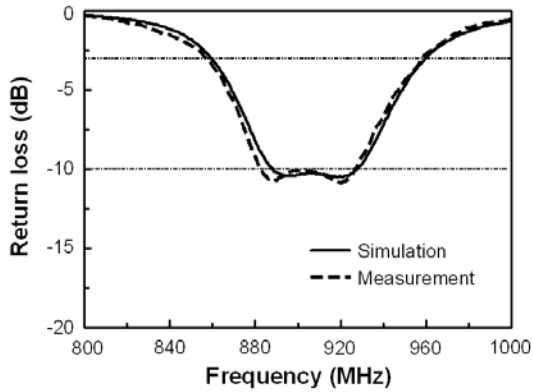


그림 6. 최적화된 태그 안테나의 반사손실
Fig. 6. The return loss of the optimized tag antenna.

가지는 U-형태 광대역 RFID 태그 안테나의 설계변수는 $L_1=48$ mm, $L_2=61.9$ mm, $L_3=6.2$ mm, $L_4=16.4$ mm, $w_1=4$ mm, $w_2=4$ mm, $w_3=1$ mm, $w_4=10$ mm, $w_5=1$ mm, $w_6=1$ mm, $g_1=17$ mm, $g_2=7.5$ mm, $g_3=8$ mm, $g_4=14.4$ mm이다.

그림 6은 최적화된 태그 안테나의 주파수에 따른 반사손실 특성을 나타내었다. 제안된 태그 안테나의 측정은 영상법(method of image)을 도입하여 안테나를 대칭이 되도록 이등분한 후 노노폴 형태의 안테나처럼 접지면 위에 세워 벡터 네트워크 분석기(vector network analyzer)를 이용하여 측정하였다. 또한 안테나의 정확한 입력 임피던스를 측정하기 위하여 SMA 커넥터에 의한 위상 지연을 보상해 주었으며, 영상법에 의해 절반으로 줄어든 임피던스 값을 두 배로 보상하여 반사손실을 도출하였다^[13]. 반사손실에 대한 시뮬레이션 결과와 측정 결과는 실선과 점선으로 도식화하였고, 두 결과가 매우 유사함을 알 수 있다. VSWR<2를 기준으로 시뮬레이션 결과 888~928 MHz로 약 4.41 %의 대역폭을 가지고, 측정 결과 882~927 MHz로 약 4.96 %의 대역폭을 가진다. 또한 VSWR<5.8을 기준으로 한 대역폭에서 시뮬레이션 결과 859.5~960 MHz로 약 11.05 %의 대역폭을 가지고, 측정 결과 857~958.5 MHz로 약 11.18 %의 대역폭을 가진다. 따라서 제안된 태그 안테나는 RFID 시스템의 UHF 대역폭인 860 MHz에서 960 MHz를 모두 수용하므로 단일 RFID 태그 안테나로 활용이 가능할 것으로 사료된다.

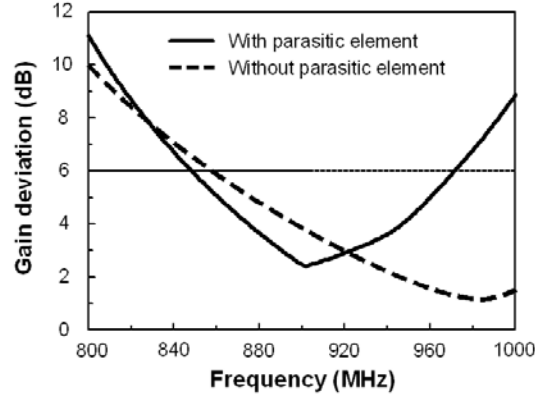


그림 7. 최적화된 태그 안테나의 이득편차 특성
Fig. 7. The gain deviation of the optimized tag antenna.

그림 7은 최적화된 태그 안테나의 주파수에 따른 이득편차 특성을 나타내었다. 시뮬레이션 결과 VSWR<2를 기준으로 한 대역폭 안에서 3.16 dB 미만의 이득편차 특성을 가지고, VSWR<5.8을 기준으로 한 대역폭 안에서는 5.07 dB 미만의 이득편차 특성을 가졌다. 따라서 제안된 기생소자를 가지는 U-형태의 태그 안테나는 기생소자가 없는 경우 최소 이득편차 특성이 대역폭 외 높은 주파수에서 나와 주파수에 따른 인식거리 차이가 발생하는 문제점을 최소 이득편차 특성이 대역폭 중심 주파수에 나오도록 하여 주파수에 따른 이득편차 특성 변화를 최소화하였다.

그림 8에는 최적화된 태그 안테나의 주파수에 따른 이득 특성을 나타내었다. 시뮬레이션 결과

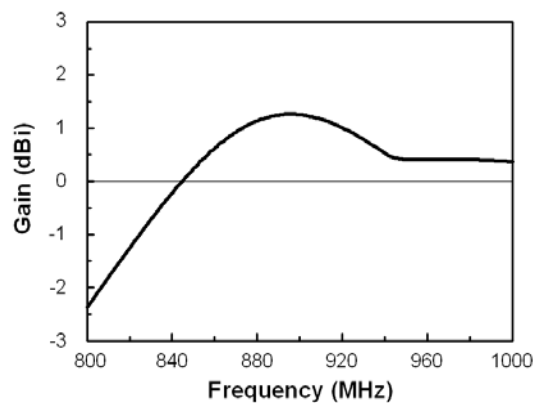


그림 8. 최적화된 태그 안테나의 이득 특성
Fig. 8. The gain of the optimized tag antenna.

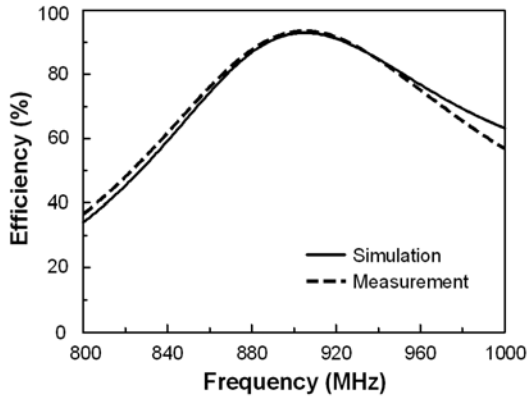


그림 9. 최적화된 태그 안테나의 복사 효율 특성
Fig. 9. The efficiency of the optimized tag antenna.

VSWR<5.8을 기준으로 한 동작 대역폭 안에서 1.26 ~0.41 dBi의 이득 특성을 가지는 것을 확인할 수 있다.

그림 9는 최적화된 태그 안테나에 대한 복사 효율 특성이다. Wheeler Cap 방법^[4]를 이용하여 안테나의 복사효율을 측정하였으며, 실선은 시뮬레이션 결과를 점선은 측정 결과로써 두 결과가 매우 유사하게 나타났다. 측정 결과 최적화된 태그 안테나의 복사효율은 VSWR<2 대역폭 내에서 88.6 % 이상의 복사효율을 가지며, VSWR<5.8 대역폭 내에서는 70.1 % 이상의 비교적 높은 복사 효율을 갖는다.

그림 10은 최적화된 태그 안테나의 방향에 따른 최대 인식거리를 측정된 결과이다. 태그 안테나의 인식거리 측정은 전파 무반사실에서 원형 편파를 가지는 리더 안테나를 이용하여 태그 안테나의 방향에 따라 태그 칩이 구동되는 최소 복사 전력을 측정하였고,

표 1. 주파수에 따른 인식거리 측정 결과

Table 1. Measured readable range of the antenna with respect to the frequency. (unit: m)

	$\phi=0^\circ$		$\phi=90^\circ$		$\theta=90^\circ$	
	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum
880 MHz	8.66	6.13	8.29	6.34	9.41	6.22
910 MHz	10.29	8.09	8.74	6.59	9.08	8.97
940 MHz	9.72	6.73	9.15	7.80	8.97	8.00

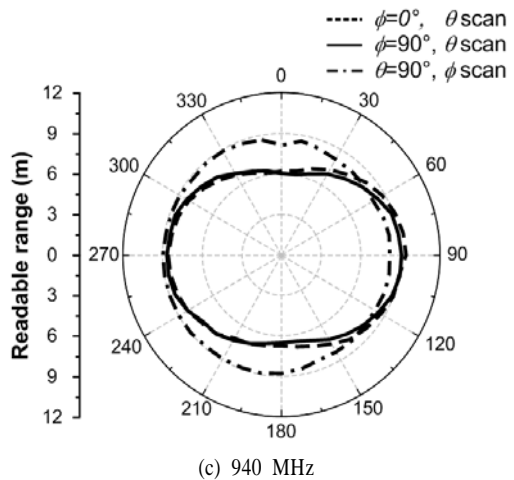
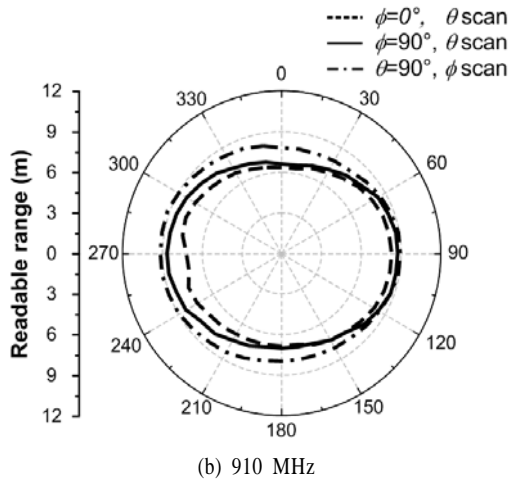
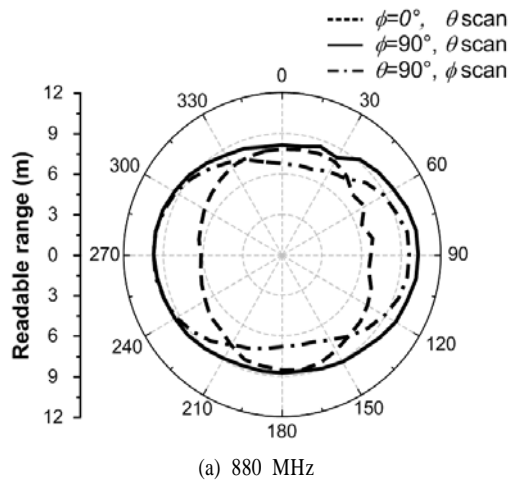


그림 10. 최적화된 태그 안테나의 인식거리 특성
Fig. 10. The readable range of the optimized tag antenna.

Friis 전송 방정식^[13]을 통하여 인식거리를 산출하였다. 측정된 인식거리는 880 MHz에서 10.29~6.13 m, 910 MHz에서는 9.15~6.34 m, 그리고 940 MHz에서는 9.41~6.05 m이다. 주파수에 따른 인식거리 측정 결과를 표 1에 요약하였다. 제안된 기생소자를 가지는 U-형태의 광대역 RFID 태그 안테나는 리더 시스템에서 태그를 인식할 때 동작 주파수 안에서 비교적 고른 인식거리를 갖는다.

IV. 결 론

본 논문에서는 기생소자를 가지는 U-형태의 광대역 RFID 태그 안테나를 설계하였다. 제안한 태그 안테나는 U-형태의 반파장 다이폴 안테나 상단 중앙에 역방향 U-형태의 기생소자가 삽입된 본체와 사각 형태의 급전부로 구성되어 있다. 또한 본체 하단 중앙에 사각 형태의 급전 구조를 삽입하여 상용 태그 칩과 안테나의 공액 정합을 용이하게 하였다. 제안된 태그 안테나는 상용 태그 칩과의 임피던스 공액 정합으로 UHF 대역폭인 860 MHz에서 960 MHz를 모두 수용한 광대역 특성을 얻을 수 있었으며, 대역폭 내에서 5.07 dB 이하의 이득편차 특성을 가졌다. 그리고 안테나의 최소 이득편차 특성이 동작 대역폭의 중심에서 발생하도록 하여 주파수에 따른 이득편차 변화를 최소화하였다. 태그 안테나의 방향에 따른 최대 인식거리를 측정한 결과 880 MHz에서는 10.29~6.13 m, 910 MHz에서는 9.15~6.34 m, 그리고 940 MHz에서는 9.41~6.05 m로 대역폭 내에서 비교적 고른 인식거리를 갖는다.

참 고 문 헌

[1] K. Watanabe, H. Aono, S. Ozaki, K. Yoshimura, K. Saito, K. Kudo, and A. Watanabe, *Ubiquitous Radio Frequency Identification*, Nikkei BP, 2004.
 [2] R. Riesco, *RFID and Contactless Smart Card Applications*, Wiley: New York, 2005.
 [3] V. D. Hunt, A. Puglia, and M. Puglia, *A Guide to*

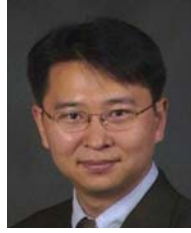
Radio Frequency Identification, Wiley: New York, 2007.
 [4] K. Finkenzeller, *RFID HandBook*, 2nd Ed., Wiley: New York, 2003.
 [5] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, New York: John Wiley & Sons, 1998.
 [6] C. Cho, H. Choo, and I. Park, "Broadband RFID tag antenna with quasi-isotropic radiation pattern", *Electron. Lett.*, vol. 41, pp. 1091-1092, Sep. 2005.
 [7] H. Son, G. Choi, and C. Pyo, "Design of wideband RFID tag antenna for metallic surfaces", *Electron. Lett.*, vol. 42, no. 5, pp. 263-265, Mar. 2006.
 [8] C. C. Chang, Y. C. Lo, "Broadband RFID tag antenna with capacitively coupled structure", *Electron. Lett.*, vol. 42, no. 23, pp. 1322-1323, Nov. 2006.
 [9] C. Cho, H. Choo, and I. Park, "Design of novel RFID tag antenna for metallic objects", *Proc. IEEE AP-S Int. Symp.*, pp. 3245-3248, Jul. 2006.
 [10] W. Lee, K. Chang, and Y. Yoon, "Small RFID tag antenna with bandwidth-enhanced characteristic", *Proc. IEEE AP-S Int. Symp.*, pp. 1359-1362, Jul. 2006.
 [11] W. Choi, H. Son, C. Shin, J. Bae, and G. Choi, "RFID tag antenna with a meandered dipole and inductively coupled feed", *Proc. IEEE AP-S Int. Symp.*, vol. 9, no. 14, pp. 619-622, Jul. 2006.
 [12] S. Lim, Y. Oh, H. Lim, Y. Lee, and N. Myung, "Analysis and design of a UHF RFID tag antenna with a split ring resonator", *Proc. IEEE iWAT*, pp. 446-449, Mar. 2008.
 [13] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, New York: John Wiley & Sons, 1997.
 [14] 조치현, 추호성, 박익모, 강진섭, "유전자 알고리즘을 사용한 안테나 고차 변압 회로 구성과 변압 회로를 사용한 Wheeler Cap 효율 측정법", *한국전자과학회논문지*, 17(8), pp. 753-759, 2006년 8월.

이 상 운



2007년 2월: 남서울대학교 전자공학
학과 (공학사)
2007년 3월~현재: 아주대학교 전
자공학과 석사과정
[주 관심분야] 소형 안테나, RFID
태그 안테나 설계

추 호 성



1998년 2월: 한양대학교 전파공학
과 (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 8월~현재: 홍익대학교 전자전기공학부 조교수
[주 관심분야] 초소형 안테나, 최적화 알고리즘을 이용한
안테나 설계, RFID용 태그 및 리더 안테나

조 치 현



2004년 2월: 홍익대학교 전자전기공
학부 (공학사)
2006년 2월: 홍익대학교 전파통신공
학과 (공학석사)
2006년 3월~현재: 홍익대학교 전자
정보통신공학과 박사과정
[주 관심분야] 소형 안테나, RFID
태그 안테나 설계 및 유전자 알고리즘을 이용한 최적화

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 (안테
나 포함) 설계 및 해석

이 기 근



1988년: 광운대학교 전자공학과 (공
학사)
1993년: University of Florida 전자공
학과 (공학석사)
2001년: Arizona State University 전
자공학과 (공학박사)
2004년~현재: 아주대학교 전자공

학부 조교수
[주 관심분야] SAW 센서, Neural probes, RF MEMS