

광대역 특성을 가지는 초소형 다중 미앤더 형태의 RFID 태그 안테나

Compact Multiple Meander RFID Tag Antenna with Broadband Characteristic

정학주 · 이상운* · 추호성** · 박익모

Hakjoo Jung · Sangwoon Lee* · Hosung Choo** · Ikmo Park

요 약

본 논문에서는 UHF 대역에서 동작하는 광대역 특성을 가지는 초소형 다중 미앤더 형태의 RFID 태그 안테나를 제안하였다. 제안한 태그 안테나는 복사부에 해당하는 U-형태의 반파장 다이폴 안테나를 효과적으로 축소하기 위하여 다중 미앤더 형태로 설계하였다. 또한, 안테나 본체에 상용 태그 칩과의 공역 정합이 용이하도록 사각 형태의 급전부를 연결하였다. 제안한 태그 안테나는 $20 \times 19.7 \text{ mm}^2$ 의 크기를 가지며, $VSWR < 5.8$ 을 기준으로 한 대역폭은 855~964 MHz로 전 세계 RFID UHF 대역폭을 모두 수용하였다.

Abstract

In this paper, we propose a compact multiple meander RFID tag antenna with broadband characteristic. The proposed tag antenna has been designed using the multiple meander form to effectively minimize the U-shaped half wavelength dipole antenna as the radiator part. The commercial tag chip is attached to the upper center of the rectangular shaped feed for impedance matching. The size of the antenna is $20 \times 19.7 \text{ mm}^2$ and $VSWR < 5.8$ bandwidth is 855~964 MHz which covers the world UHF RFID bandwidth.

Key words : RFID, Tag Antenna, Meander, Small Antenna, Broadband Characteristic, Readable Range

I. 서 론

UHF 대역 RFID 시스템은 인식하고자 하는 물체의 크기에 따라 팔레트(pallet), 케이스(case), 아이템(item) level로 구분되며, 최근 사물에 대한 인식 요구가 팔레트 단위의 큰 사물에서 아이템 단위의 작은 사물로까지 확장되고 있다^[1]. 하지만 RFID 시스템에 할당된 UHF 대역(860~960 MHz)에서 반파장 다이폴 형태로 안테나를 구현할 경우, 길이가 대략 15 cm로 작은 아이템 단위의 물체에 사용하기에는 많

은 제약이 있다^{[1]-[3]}. 따라서 RFID 시스템이 여러 응용 분야에서 활용되기 위해서는 인식 대상의 물체보다 작은 크기, 즉 태그 안테나의 소형화가 절실히 요구된다. 그러나 태그 안테나는 소형화가 될수록 입력 저항은 급격히 감소하고, 입력 리액턴스는 변화의 폭이 커짐에 따라 태그 칩과의 임피던스 정합이 어렵게 되어 대역폭이 매우 좁은 문제점이 지적되고 있다^{[1],[4]}. 또한, 수동형 태그 칩은 커패시터와 저항의 병렬 결합 회로로 구성되어 있으며, 리더 시스템으로부터 송출되는 전자기파를 받아 DC 전원으로

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

*가람솔루션 안테나사업부(Antenna Department of Research and Development, Karam Solution)

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

· 논문 번호 : 20100423-051

· 교신저자 : 박익모(e-mail : ipark@ajou.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 7월 7일

바꾸는 기능을 한다. 이러한 RC 병렬 결합에 의해 태그 칩의 입력 임피던스는 주파수에 따라 변하며, 커패시터에 저장되는 전자기파 에너지에 의하여 일반적으로 큰 커패시턴스 값을 가지게 된다^[5]. 따라서 국가 간 상호 연동이 가능한 광대역 특성의 UHF 대역(860~960 MHz) RFID 태그 안테나의 설계에는 많은 어려움이 존재한다. 최근 이러한 문제점을 해결하기 위해 이중 T-matching 급전 구조를 가지는 bent 다이폴 안테나^[6]와 사각 형태의 급전 구조와 결합된 U-형태의 안테나^[7]가 광대역 특성을 가지는 RFID 태그 안테나로 제안되었다. 이러한 bent 다이폴 안테나와 U-형태의 안테나는 각각 이중 T-matching 급전 구조와 사각 형태의 급전 구조로 인해 매우 커패시턴스 성분을 가지는 태그 칩과의 임피던스 공역 정합으로 광대역 특성을 확보할 수 있으나, 안테나의 비교적 큰 크기로 인하여 작은 아이템 단위의 물체에 사용하기에는 많은 제약을 받는다. 유도 결합 급전 구조를 가지는 미앤더 다이폴 안테나^[8]와 transmission line 급전 구조를 가지는 원형 루프 안테나^[9]가 소형 RFID 태그 안테나로 제안되었으나, 대역폭이 매우 좁아 사용이 국한되는 단점을 가지고 있다. 또한, 다중 공진체를 가지는 미앤더 다이폴 안테나^[10]가 소형이면서 광대역 특성을 가지는 안테나로 제안되었다. 그러나 다중 공진체를 형성함에 따라 안테나 크기가 특정 방향으로 증가하게 되어 item 단위의 물체에 활용이 제한되는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 UHF 대역 RFID 시스템에서 아이템 단위의 작은 사물에 적용할 수 있는 초소형 RFID 태그 안테나를 제안하였다. 제안된 태그 안테나는 안테나의 크기를 효과적으로 축소하기 위하여 다중 미앤더 형태로 구현하였으며, 사각 형태의 급전부를 사용하여 상용 태그 칩과 임피던스 공역 정합을 이루어 광대역 특성을 가지도록 설계하였다. 또한, 태그 안테나의 인식 거리 측정을 통해 item 단위의 작은 사물에 활용 가능 여부를 검증하였다.

II. 안테나 구조 및 특성

본 논문에서 제안한 광대역 특성을 가지는 초소형 다중 미앤더 형태의 RFID 태그 안테나 구조를 그림 1에 나타내었다. 제안된 태그 안테나는 안테나의

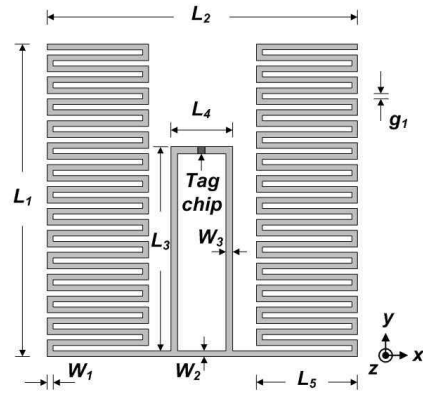


그림 1. 제안된 태그 안테나 구조(20×19.7 mm²)
Fig. 1. Structure of the proposed tag antenna(20×19.7 mm²).

복사부인 본체를 효과적으로 축소하기 위하여 미앤더(meander) 형태의 안테나로 구현하였다. 또한, 태그 안테나에 부착되는 상용 태그 칩과의 임피던스 공역 정합을 위하여 사각 형태의 급전 구조를 연결하였고, 사각 형태의 급전부를 본체 안에 위치하여 급전부에 의한 크기를 최소화하였다. 사용된 상용 태그 칩은 Alien사의 Higgs 칩으로 915 MHz에서 약 16-j131Ω의 커패시티브한 입력 임피던스 값을 가지며, 사각 형태의 급전부 상단 중앙에 연결하였다. 일반적으로 태그 안테나가 광대역 특성을 가지려면 태그 칩의 입력 리액턴스 성분이 커패시티브한 값을 가지므로, 태그 안테나의 입력 임피던스는 태그 칩과 유사한 낮은 입력 저항 값을 가지면서 입력 리액턴스는 인덕티브한 성분을 가져 임피던스 공역 정합이 잘 이루어지도록 설계하였다.

태그 안테나는 Zeland사의 상용 EM software인 IE-3D를 사용하여 비유전율이 3.38이며, 0.2032 mm의 두께를 가지는 RO 4003 기판에 단일 평면 구조로 설계하였다.

안테나에 태그 칩이 연결되었을 경우, 반사 계수(reflection coefficient)와 반사 계수는 각각 안테나와 태그 칩의 임피던스를 이용하여 식 (1)과 식 (2)를 통해 산출하였다.

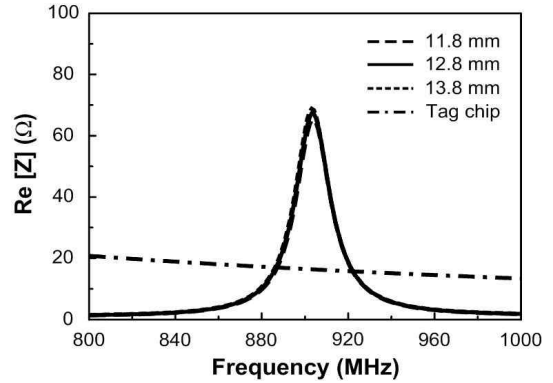
$$\Gamma = \frac{Z_{ant} - Z_{tagchip}^*}{Z_{ant} + Z_{tagchip}} \quad (1)$$

$$RL = -20 \log_{10} |\Gamma| \quad (2)$$

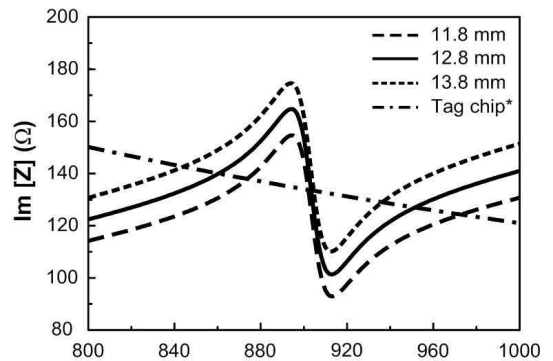
식 (2)에서 Z_{ant} 와 $Z_{tagchip}$ 은 각각 안테나와 태그 칩의 임피던스이며, Γ 는 반사 계수를 나타낸다. 식 (1)을 통하여 안테나의 입력 임피던스 값이 태그 칩의 공액 임피던스와 공액 정합되었을 때, 반사계수는 영(0)이 되어 리더 시스템의 안테나로부터 수신한 최대의 전력을 태그 칩으로 전달함을 알 수 있으며^{[1],[11]}, 식 (2)를 통하여 dB 스케일로 변환된 반사계수 값을 나타내었다. 소형 태그 안테나는 입력 임피던스가 급격히 감소하고, 입력 리액턴스의 폭이 커짐에 따라 태그 칩과 안테나 간의 공액 정합이 어렵다. 따라서 $VSWR < 5.8$ 인 반전력 대역폭(half power bandwidth)을 기준으로 하였다.

제안된 태그 안테나에 대한 임피던스 특성 변화를 살펴보고자, 안테나와 태그 칩과의 공액 정합을 위한 사각 형태 급전부 상하 길이 변화에 따른 임피던스 및 반사 계수 특성 변화를 그림 2에 나타내었다. 상하 길이 L_3 을 11.8 mm에서 13.8 mm까지 1.0 mm 간격으로 증가시켜 본 결과, 안테나의 입력 저항은 길이가 증가하여도 동일한 특성을 가졌지만 입력 리액턴스는 주파수와 무관하게 일정한 간격으로 증가하는 것을 확인할 수 있다. 안테나와 태그 칩과의 임피던스 공액 정합한 반사계수 특성 변화를 살펴보면, 낮은 쪽 정합 주파수 f_L 는 882 MHz에서 878 MHz, 870 MHz로 감소하면서 정합 특성은 나빠게 된다. 반대로 높은 쪽 정합 주파수 f_H 는 958 MHz에서 940 MHz, 930 MHz로 감소하지만 정합 특성은 향상되었다. 이러한 반사 계수 특성 변화는 상하 길이 11.8 mm의 경우, 안테나의 입력 리액턴스와 태그 칩의 복소 리액턴스가 874 MHz와 902 MHz에서 정합되어 낮은 정합 주파수 대역이 형성되었고, 12.8 mm의 경우 861 MHz, 903 MHz, 그리고 951 MHz 세 부분에서 정합되어 이중 정합 주파수를 형성됨을 알 수 있다. 그리고 13.8 mm의 경우에는 905 MHz와 936 MHz에서 정합이 이루어져 높은 정합 주파수 대역이 형성되었다.

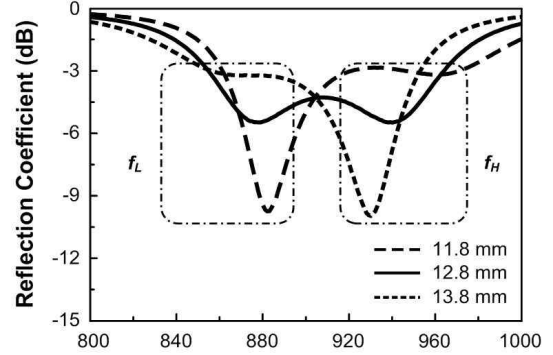
다음은 사각 형태 급전부 좌우 길이 변화에 따른 임피던스와 반사 계수 특성 변화를 그림 3에 나타내었다. 좌우 길이 L_4 를 3.5 mm에서 4.5 mm로 0.5 mm 간격으로 증가시켜본 결과, 안테나의 입력 저항은 중심 주파수 부근에서 증가하였고, 입력 리액턴스는 낮은 주파수 대역에서는 크게 증가한 반면, 높은 주



(a) 입력 저항
(a) Input resistance



(b) 입력 리액턴스
(b) Input reactance

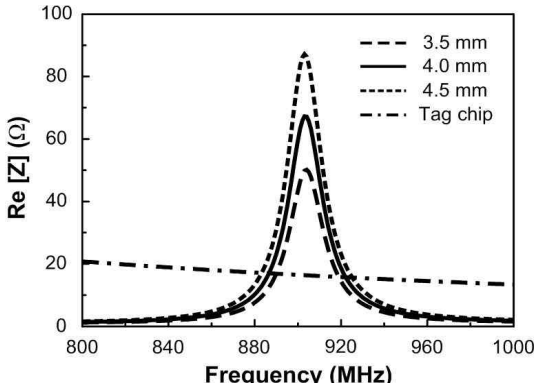


(c) 반사계수
(c) Reflection coefficient

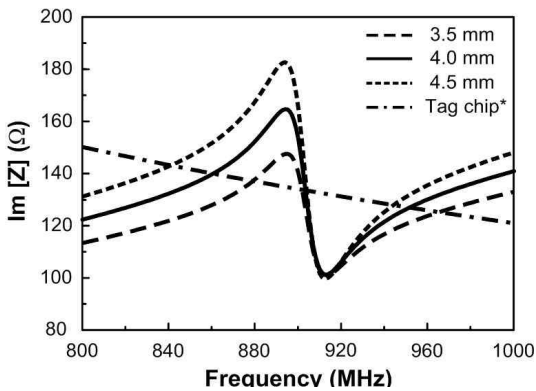
그림 2. 사각 형태의 급전부 상하 길이(L_3) 변화에 따른 특성 변화

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

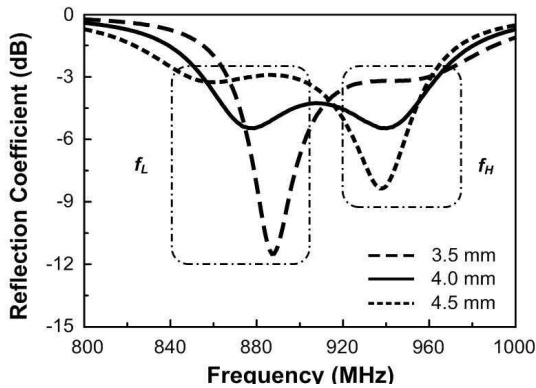
파수는 소폭으로 증가하였다. 상용 태그 칩에 공액 정합한 반사계수 특성의 경우, 낮은 쪽 정합 주파수 f_L



(a) 입력 저항
(a) Input resistance



(b) 입력 리액턴스
(b) Input reactance



(c) 반사계수
(c) Reflection coefficient

그림 3. 사각 형태의 급전부 좌우 길이(L_4) 변화에 따른 특성 변화
Fig. 3. Variation of antenna characteristic with respect to the horizontal length(L_4) of the feed line.

은 887 MHz에서 878 MHz, 860 MHz로 감소하였고, 높은 쪽 정합 주파수 f_H 는 948 MHz에서 940 MHz,

표 1. 최적화된 태그 안테나 설계 변수
Table 1. Design parameters of the optimized tag antenna.

Parameters	Meander dipole antenna(mm)
L_1	19.7
L_2	20
L_3	12.8
L_4	4.0
L_5	5.1
w_1	0.2
w_2	0.2
w_3	0.4
g_1	0.3

938 MHz로 낮은 쪽 정합 주파수보다 소폭으로 감소하였다.

일반적인 전송 선로(transmission line)의 경우, 상하 길이의 증가는 입력 저항 값과 무관하게 위상만 변하는 특성을 갖고, 좌우 길이 증가는 위상의 변화 없이 입력 저항 값이 변하는 특성을 갖는다. 하지만 제안된 태그 안테나의 경우, 상하 길이는 전송 선로와 동일한 특성을 가지나, 좌우 길이는 사각 형태의 급전부 상단 중앙에 부착된 태그 칩 양 옆으로 접힌 급전부 선로 길이의 증가로 인해 입력 리액턴스도 함께 증가하므로 변형된 전송 선로와 같다고 할 수 있다. 따라서 제안된 태그 안테나는 사각 형태의 급전부에 의해 인덕티브한 성분을 가지므로 태그 칩의 복소 임피던스와 공액 정합으로 광대역 특성을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 이러한 특성 변화를 바탕으로 최적화된 초소형 RFID 태그 안테나의 설계 변수를 표 1에 도시하였다.

그림 4에 최적화된 태그 안테나의 주파수에 따른 반사 계수 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 비교하여 나타내었다. 제안된 태그 안테나의 반사 계수 측정은 영상법을 도입하여 대칭이 되도록 태그 안테나를 이등분한 후 모노폴 형태의 안테나가 접지면 크기에 따라 특성이 변하지 않는 충분한 크기인 $2 \lambda \times 2 \lambda$ 의 정사각형 형태의 접지면 위에 수직하게 세워 벡터 네트워크 분석기(vector network analyzer)를 이용하여 측정하였다. 또한, 안테나의 정확한 입력 임피던스를 측정하기 위하여 SMA 커넥터에 의한 위상 지연

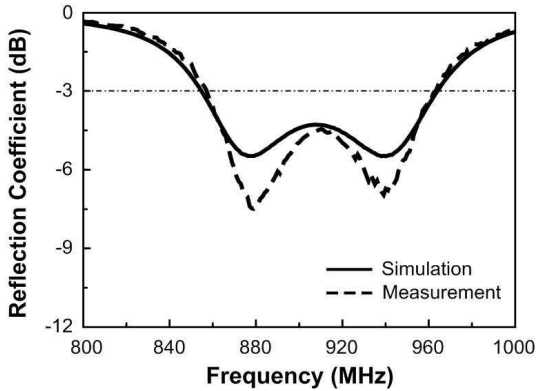


그림 4. 최적화된 태그 안테나 반사계수 특성
Fig. 4. Reflection coefficient of the optimized tag antenna.

을 보상해 주었으며, 영상법에 의해 절반으로 줄어든 임피던스 값을 두 배로 보상하여 반사 계수를 도출하였다^[11]. 시뮬레이션 대역폭과 측정 대역폭은 각각 그림 4(a)와 (b)에 나타내었으며, 시뮬레이션 대역폭과 측정 대역폭은 매우 유사함을 알 수 있었다. 최적화된 태그 안테나는 상용 태그 칩에 공액 정합한 반사계수 특성 결과, 반전력 대역폭(VSWR<5.8)을 기준으로 시뮬레이션 대역폭은 855~964 MHz로 약 11.98 %를 가지고, 측정 결과 857~963 MHz로 약 11.65 %의 대역폭을 가진다. 따라서 제안된 다중 미앤더 형태의 초소형 태그 안테나는 전 세계적으로 사용하고 있는 UHF 대역폭인 860~960 MHz를 모두 수용하므로 국가 간의 상호 연동성이 가능한 초소형 RFID 태그 안테나로서 다양한 응용 분야에 활용이 가능할 것으로 사료된다.

그림 5에서는 제안된 안테나의 복사 효율과 이득 특성을 나타내었다. 시뮬레이션 결과를 바탕으로 계산된 복사 효율을 실선으로, 이득은 점선으로 나타내었다. 안테나 측정시 태그 안테나의 복사 효율은 자유 공간 내에서 측정된 입력 저항과 안테나가 복사하지 못하도록 도체로 차폐한 후 입력 저항과의 변화량을 이용하여 구하는 Wheeler cap 측정 방법을 사용하였다^[13]. VSWR<5.8을 기준으로 한 동작 대역폭 내에서 최적화된 태그 안테나는 시뮬레이션 결과, 최대 9.35 %, 최소 6.32 %의 효율을 가졌다. 안테나 크기가 작아지고 미앤더 턴 수가 증가할수록 미앤더 형태로 접힌 부분에서 서로 반대 방향으로 흐르는

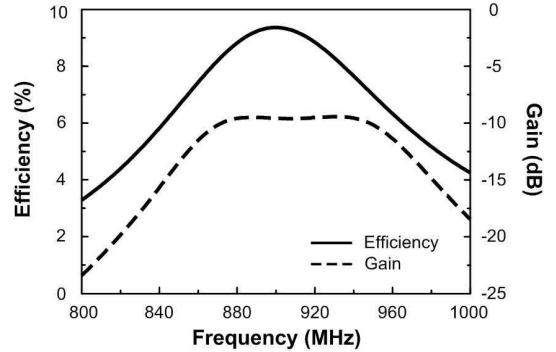


그림 5. 최적화된 태그 안테나 복사 효율 및 이득 특성
Fig. 5. Radiation efficiency and gain characteristics of the optimized tag antenna.

전류의 상쇄가 증가하게 되므로 안테나 복사 효율이 낮아짐을 알 수 있다. 또한, 실선으로 나타낸 안테나의 이득은 안테나와 태그 칩이 공액 정합되었을 때의 이득을 의미하며, 식 (3)을 이용하여 계산할 수 있다.

$$Gain = Dir \times Eff \times (1 - |\Gamma|^2) \quad (3)$$

*Dir*은 안테나의 지향성(directivity), *Eff*은 안테나의 복사 효율, $(1 - |\Gamma|^2)$ 은 안테나와 태그 칩의 부정합 효율이다. 시뮬레이션 결과, VSWR<5.8을 기준으로 한 동작 대역폭 안에서 제안한 안테나의 경우, 최대 -9.46 dBi, 최소 -11.55 dBi의 이득을 갖는다. 따라서 태그 안테나의 이득은 안테나와 태그 칩의 부정합 효율로 인한 감소로 이득이 낮아진 것을 알 수 있다.

그림 6에서는 제안된 광대역 특성을 가지는 초소형 다중 미앤더 형태의 RFID 태그 안테나의 주파수에 따른 최대 인식 거리 특성을 나타내었다. 상용 태그 칩을 안테나에 플립 칩 본딩을 하였으며, 태그 안테나의 인식 거리 측정은 전파 무반사실에서 원형 편파를 갖는 리더 안테나를 이용하여 태그 안테나의 방향에 따라 태그 칩이 구동되는 최소 복사 전력을 측정 한 후, Friis 전송 방정식을 통하여 주파수에 따른 인식 거리와 방향에 따른 인식 거리를 산출하였다^[11].

$$Readable\ range = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_{reader} G_{reader} G_{tag}}{P_{tag}}} \quad (4)$$

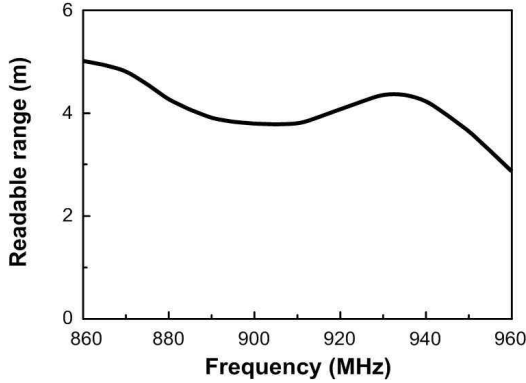


그림 6. 주파수에 따른 최적화된 태그 안테나 인식 거리 특성
 Fig. 6. Readable range of the optimized tag antenna with respect to the frequency.

여기서 P_{tag} 는 태그 안테나 부하에 전달되는 전력, P_{reader} 은 리더 안테나의 출력 포트 전력이다. 또한, G_{tag} 는 태그 안테나의 이득이며, G_{reader} 는 리더 안테나의 이득을 나타낸다. 인식 거리에서의 리더 안테나의 출력 전력과 이득 값은 고정되어 있으므로, 인식 거리는 식 (3)에의 태그 안테나 이득 값에 의해 크게 결정된다. 따라서 인식 거리는 고정된 리더 안테나가 아닌 유동적 사물에 부착되어 사용되는 태그 안테나의 효율과 그에 따른 이득에 큰 영향을 받는 것을 알 수 있다.

표 2. 주파수에 따른 최적화된 태그 안테나 인식 거리 측정 결과(단위: m)

Table 2. Measured readable range of the optimized tag antenna with respect to the frequency(unit: m).

	$\Phi = 0^\circ$	$\Phi = 90^\circ$	$\Theta = 0^\circ$
860 MHz	5.00	4.62	4.73
870 MHz	4.85	4.58	4.52
880 MHz	4.26	4.02	3.97
890 MHz	3.86	3.64	3.69
900 MHz	3.79	3.45	3.62
910 MHz	3.76	3.51	3.59
920 MHz	4.07	3.67	3.89
930 MHz	4.36	3.92	4.11
940 MHz	4.24	3.78	3.74
950 MHz	3.66	3.34	3.3
960 MHz	2.86	2.61	2.49

측정된 인식 거리는 전 세계 UHF 대역 중 최대 860 MHz에서 5.00 m, 최소 960 MHz에서 2.86 m의 인식 거리를 가지며, 중심주파수인 910 MHz에서는 최대 3.76 m를 갖는다. 제안된 태그 안테나의 주파수에 따른 최대 인식 거리는 표 2에 요약하였다.

그림 7에서는 제안된 태그 안테나의 방향에 따른

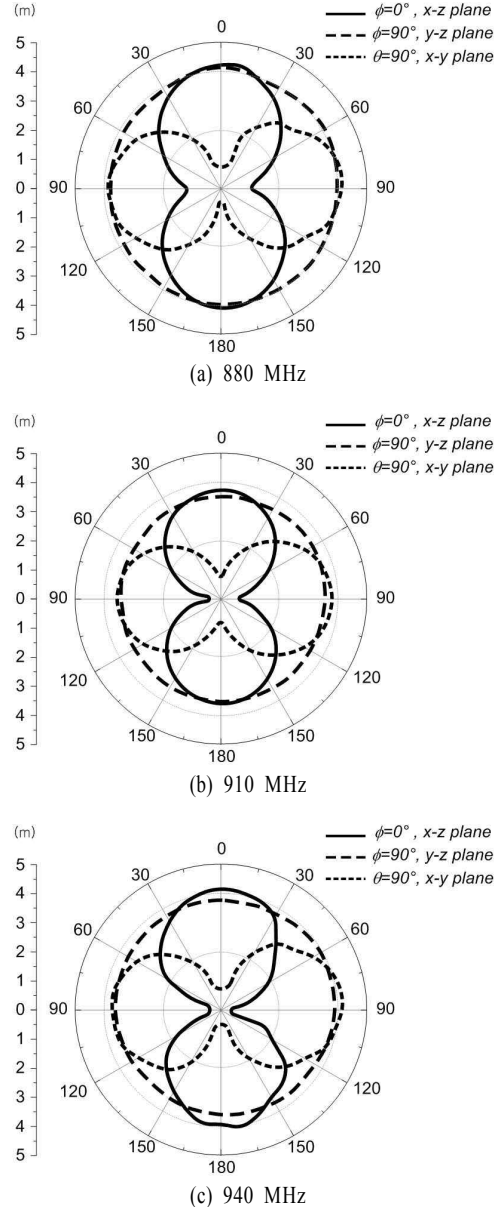


그림 7. 방향에 따른 최적화된 태그 안테나 인식 거리 특성
 Fig. 7. Readable range of the optimized tag antenna with respect to the direction.

최대 인식 거리 특성을 나타내었다. 실제 안테나를 제작하여 급전부 중앙에 915 MHz에서 16-j131Ω의 임피던스를 갖는 Alien사의 Higgs chip을 연결하여 방향에 따른 인식 거리를 측정하였다. 측정된 인식 거리는 계산된 안테나의 복사 패턴과 유사하게 나타나며, 880, 910, 940 MHz에서 각각 최대 4.26, 3.76, 4.24 m의 인식 거리를 갖는다. 따라서 제안된 태그 안테나는 item 단위의 작은 사물에 활용이 가능하다는 것과 넓은 주파수 범위에서 안정된 인식 거리를 갖는다는 것을 알 수 있다.

III. 결 론

본 논문에서는 UHF 대역에서 동작하는 광대역 특성을 가지는 초소형 다중 미앤더 형태의 RFID 태그 안테나를 설계하였다. 제안한 태그 안테나는 복사부에 해당하는 U-형태의 반파장 다이폴 안테나를 효과적으로 축소하기 위해 다중 미앤더 형태로 설계하였으며, 상용 태그 칩과의 공역 정합이 용이하도록 본체 중앙에 사각 형태의 급전부를 연결하였다. 급전부 상단 중앙에는 Alien사의 Higgs 칩을 사용하여 비유전율이 3.38이며, 0.2032 mm의 두께를 갖는 RO 4003 기판에 단일 평면 구조로 설계하였다. 제안한 태그 안테나는 20×19.7 mm²의 크기를 가지며, 반 전력 대역폭(VSWR<5.8)을 기준으로 855~964 MHz의 대역폭을 가짐으로써 전 세계 UHF 대역을 만족하도록 하였다. 또한, 태그의 원거리 인식을 위해 안테나의 복사 효율을 분석하여 이득을 산출해내고, 이에 따라 주파수와 방향에 따른 인식 거리를 측정하였다. 그 결과, 제안한 광대역 특성을 갖는 미앤더 형태의 태그 안테나는 UHF 대역의 중심주파수인 910 MHz에서 최대 3.76 m로 기존 소형 태그 안테나의 단점인 협대역 특성과 낮은 인식 거리를 극복하였으며^{[6]~[10],[16],[17]}, item 단위의 작은 사물에 활용이 가능하다.

참 고 문 헌

[1] K. Finkenzeller, *RFID Handbook*, 2nd Ed., Wiley: New York, 2003.
 [2] K. Watanabe, H. Aono, S. Ozaki, K. Yoshimura, K. Saito, K. Kudo, and A. Watanabe, *Ubiquitous Radio*

Frequency Identification, Nikkei BP, 2004.
 [3] R. Riesco, *RFID and Contactless Smart Card Applications*, Wiley: New York, 2005.
 [4] V. D. Hunt, A. Puglia, and M. Puglia, *A Guide to Radio Frequency Identification*, Wiley: New York, 2007.
 [5] U. Karthaus, M. Fischer, "Fully integrated passive UHF RFID transponder IC with 16.7 μW minimum RF input power", *IEEE J. Solid-State. Circuits*, vol. 38, pp. 1602-1608, Oct. 2003.
 [6] C. Cho, H. Choo, and I. Park, "Broadband RFID tag antenna with quasi-isotropic radiation pattern", *Electron. Lett.*, vol. 41, no. 20, pp. 1091-1092, Sep. 2005.
 [7] 이상운, 조치현, 이기근, 추호성, 박익모, "등방성 복사 특성을 가지는 U-형태의 RFID 태그 안테나", *한국전자과학회논문지*, 19(5), pp. 523-532, 2009년 5월.
 [8] 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.
 [9] H. K. Ryu, J. M. Woo, "Miniaturization of circular loop antenna using short stub for RFID system", *Electron. Lett.*, vol. 42, no. 17, pp. 955-956, Aug. 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] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, New York: John Wiley & Sons, 1997.
 [12] 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.
 [13] 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.
 [14] 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.

[15] H. Jang, B. Lee, "UHF-band inductively-coupled RFID antenna with near-isotropic radar cross section patterns", *Proc. IEEE AP-S Int. Symp.*, pp. 1209-1212, Jun. 2007.

[16] M. A. Ziai, J. C. Batchelor, "Curved RFID tags for

metallic gas cylinders", *Electron. Lett.*, vol. 45, no. 17, pp. 867-869, Aug. 2009.

[17] H. K. Ryo, G. Jung, D. K. Ju, S. K. Lim, and J. M. Woo, "An electrically small spherical UHF RFID tag antenna with quasi-isotropic patterns for wireless sensor networks", *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 9, pp. 60-62, Mar. 2010.

정 학 주



2009년 2월: 순천향대학교 정보기술공학과 (공학사)
2009년 3월~현재: 아주대학교 전자공학부 석사과정
[주 관심분야] 소형 RFID 태그 안테나 설계

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 8월~현재: 홍익대학교 전자전기공학부 조교수
[주 관심분야] 초소형 안테나, 최적화 알고리즘을 이용한 안테나 설계, RFID용 태그 및 리더 안테나

이 상 운



2007년 2월: 남서울대학교 전자공학과 (공학사)
2009년 2월: 아주대학교 전자공학부 (공학석사)
2009년 3월~현재: 가람솔루션 안테나 연구원
[주 관심분야] 소형 안테나, RFID

태그 안테나 설계

박 익 모



1984년: 뉴욕주립대학교 전기전자공학과 (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