

광대역 특성을 갖는 다중 미앤더 형태의 RFID 태그 안테나 특성 비교

Comparison of the Characteristic of Multiple Meander-Line RFID Tag Antennas

정학주 · 이상운* · 추호성** · 박익모

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

요 약

본 논문에서는 UHF 대역에서 동작하는 다중 미앤더 형태의 RFID 태그 안테나의 크기와 접은 횟수에 따른 대역폭, 효율, 인식 거리 등의 특성을 비교·분석하였다. 안테나의 크기는 각각 20.0×19.7, 25.0×24.8, 30.0×29.7 mm²이며, 비교한 각각의 안테나 대역폭은 반전력 대역폭(VSWR<5.8)을 기준으로 857~963 MHz, 844~965 MHz, 844~968 MHz이며, 전 세계 RFID UHF 대역폭인 860~960 MHz를 모두 만족하는 광대역 특성을 갖는다. 또한 안테나의 크기와 미앤더 형태로 접은 횟수에 따른 효율 및 이득 특성 변화가 안테나의 인식 거리에 큰 영향을 미치는 것을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we compared and analyzed the antenna characteristics such as bandwidth, efficiency, and readable range in terms of the size and the number of turns of the multiple meander RFID tag antenna in the UHF band. The sizes of the each antenna are 20.0×19.7, 25.0×24.8 and 30.0×29.7 mm². The bandwidths of the antennas for VSWR<5.8 are 857~963 MHz, 844~965 MHz, and 844~968 MHz which cover the worldwide UHF RFID bandwidth. The readable range of the antenna was greatly affected by the efficiency and gain of the antenna which depends on the size and the number of turns of the meander antenna.

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

I. 서 론

UHF 대역 RFID 시스템은 원거리에서 전자기파를 이용하여 정보를 전달하는 무선 인식 기술로써, 사물에 대한 정보를 담고 있는 태그와 그 정보를 판독하는 리더 시스템으로 구분된다. 태그 안테나는 일반적으로 공진 주파수 파장에 의해 크기가 결정되며, 기존 UHF 대역에서 반파장 다이폴 형태의 상용

태그 안테나는 약 15 cm의 크기를 가져 작은 아이템(item) 단위의 사물에 적용하기에 많은 어려움이 있다^{[1]~[3]}. UHF 대역에서의 RFID가 다양한 분야에서 응용되기 위해서는 무엇보다도 태그 안테나의 소형화가 이루어져야 한다. 또한 안테나의 복사 효율이 높아지면 태그 안테나의 인식 거리가 증가하기 때문에 안테나의 복사 효율이 높아야 한다^{[4],[5]}. 하지만 일반적으로 안테나를 소형화하면 입력 저항이 작아

이주대학교 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 : 20100825-121

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

· 수정완료일자 : 2010년 11월 1일

지고 리액턴스 값이 커져 안테나의 대역폭이 줄어들고, 복사 효율 및 이득이 감소하는 문제점을 가진다^{[1],[6]}. 최근 RFID UHF 대역에서의 안테나 소형화를 위해 초소형 단일 PIFA를 연결한 Dual-PIFA^[5], 개방형 루프 안테나의 유도성 커플링을 이용한 초소형 개방형 루프 태그 안테나^[7], 다중 폴디드 형태의 초소형 패치 태그 안테나^[8], 슬롯을 이용해 이중 공진을 유도한 초소형 패치 태그 안테나^[9] 등 많은 안테나들이 제안되었다. 이러한 안테나는 소형화 또는 광대역 특성에 대하여 중점적으로 다루어졌고, 안테나 크기 또는 구조에 따른 효율 및 인식 거리 측정에 관한 연구는 거의 없다.

본 논문에서는 광대역 특성을 갖는 다중 미앤더 형태의 RFID 태그 안테나를 크기와 미앤더 형태로 접은 횟수의 변화에 따라 안테나 복사 효율과 이에 따른 이득, 인식 거리 등의 특성을 비교하였다. 비교한 안테나들은 안테나의 크기를 효과적으로 축소할 수 있는 다중 미앤더 형태로 구현하였으며, 사각 형태의 급전부를 사용하여 태그 칩과 안테나의 임피던스 공액 정합을 이루어 2008년 EPC Global에서 표준화한 전 세계 UHF 대역인 860~960 MHz를 모두 만족하는 광대역 특성을 가지도록 설계하였다. 안테나 각각의 크기와 미앤더 형태로 접은 횟수 변화에 따른 효율 및 이득, 인식 거리 등의 특성 분석을 통하여, 향후 소형 안테나의 협대역 특성과 효율 및 인식 거리가 저하되는 문제점을 극복할 미래형 태그 안테나 설계에 적용될 수 있을 것이다.

II. 안테나 구조 및 특성

본 논문에서 비교한 다중 미앤더(meander) 형태의 RFID 태그 안테나 구조를 그림 1에 나타내었다. 각각의 태그 안테나는 안테나의 복사부인 본체를 효과적으로 축소하기 위하여 다중 미앤더 형태로 안테나를 구현하였다. 또한, 태그 안테나에 부착되는 상용 태그 칩과의 공액 정합을 위해 사각 형태의 급전부를 본체에 연결하였으며, 사각 형태의 급전부를 본체 안에 위치하여 급전부에 의한 크기를 최소화하였다. 태그 안테나에 사용된 상용 태그 칩은 Alien사의 Higgs 칩으로 915 MHz에서 약 $16-j131W$ 의 커패시티브한 입력 임피던스 값을 가지며, 사각 형태의 급

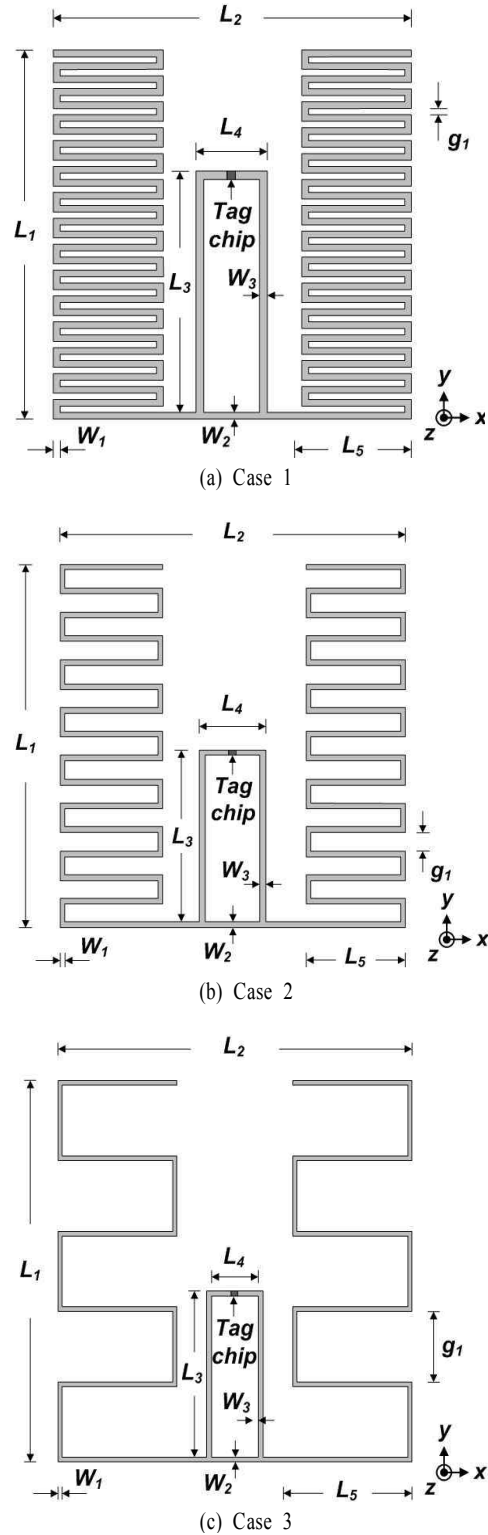


그림 1. 태그 안테나 구조
Fig. 1. Structure of the tag antenna.

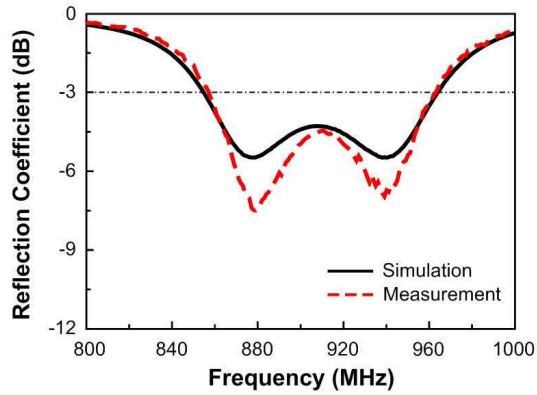
표 1. 태그 안테나 설계 변수(단위: mm)

Table 1. The design parameters of the tag antenna (Unit: mm).

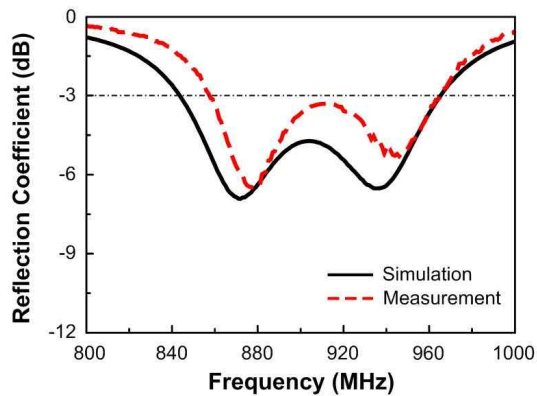
Parameters	Case 1	Case 2	Case 3
L_1	19.7	24.8	29.7
L_2	20.0	25.0	30.0
L_3	12.8	12.9	13.4
L_4	4.0	4.0	3.7
L_5	5.1	6.9	10.8
w_1	0.2	0.2	0.2
w_2	0.2	0.2	0.2
w_3	0.4	0.4	0.4
g_1	0.3	1.44	5.7

전부 상단 중앙에 연결하였다. 일반적으로 태그 칩의 입력 리액턴스 성분이 커패시티브한 값을 가지므로, 태그 안테나가 광대역 특성을 갖기 위해서 태그 안테나의 입력 임피던스가 태그 칩과 유사한 낮은 입력 저항 값을 갖고 입력 리액턴스는 인덕티브한 성분을 가져 임피던스 공액 정합이 잘 이루어지도록 하였다. 태그 안테나는 Zeland사의 상용 EM software인 IE3D를 사용하여 비유전율이 3.38이고, 0.2032 mm의 두께를 가지는 RO4003 기판에 단일 평면 구조로 설계하였다. 본 논문에서는 20.0×19.7 mm², 25.0×24.8 mm², 30.0×29.7 mm² 안테나들을 각각 Case 1, Case 2, Case 3로 표현하였으며, 각각의 안테나 설계 변수는 표 1에 나타내었다.

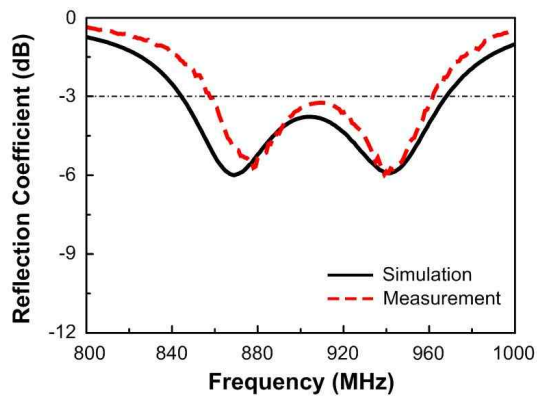
본 논문에서 비교한 주파수에 따른 태그 안테나의 반사 계수 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 그림 2에 나타내었다. 안테나의 반사 계수는 VSWR<5.8인 반전력 대역폭(half power bandwidth)을 기준으로 하였다. 태그 안테나를 태그 칩이 부착되는 급전부를 중심으로 대칭이 되도록 이등분하고 접지면의 크기에 따라 특성 변화가 생기지 않도록 2λ×2λ 크기의 접지면 위에 수직하게 세워 벡터 네트워크 분석기(vector network analysis)를 사용해 반사 계수를 측정하였다. 측정시 SMA 커넥터에 의한 위상 지연을 보상하였고, 영상법(method of image)을 사용하였으므로 측정된 임피던스 값을 두 배로 하여 반사 계수를 나타내었다^[10]. 안테나 크기에 따른 시뮬레이션 대역폭과 측정 대역폭을 그림 2에 나타내었다. 상용 태



(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3

그림 2. 태그 안테나 반사 계수 특성

Fig. 2. Reflection coefficient of the optimized tag antenna.

그 칩에 공액 정합된 태그 안테나는 반전력 대역폭(VSWR<5.8)을 기준으로 Case 1의 시뮬레이션 대역폭은 855~964 MHz로 약 11.98%를 가지고, 측정 대역폭은 857~963 MHz로 약 11.65%의 대역폭을 가

진다. Case 2의 시뮬레이션 대역폭은 844~965 MHz로 약 13.38 %를 가지고, 측정 대역폭은 858~965 MHz로 약 11.74 %의 대역폭을 가지며, Case 3의 시뮬레이션 대역폭은 844~968 MHz로 약 13.69 %를 가지고, 측정 대역폭은 858~962 MHz로 약 11.43 %를 가진다. 태그 칩의 캐패시티브한 리액턴스 성분을 상쇄하고자 안테나의 리액턴스 성분을 인덕티브하게 설계하였으며, 안테나가 광대역 특성을 가질 수 있도록 주파수에 따른 입력 리액턴스 변화의 폭이 작게 설계하였다. 안테나 리액턴스 변화의 폭이 작으므로 태그 칩 리액턴스 성분과 넓은 주파수 대역에서 정합이 되며, 이에 따라 안테나 대역을 확장하였다^[20]. 또한 미앤더 턴 수가 증가하게 되면 안테나의 입력 저항과 리액턴스가 감소한다. 이러한 미앤더 턴 수의 변화에 따른 입력 임피던스 변화를 급전부의 길이 L_3 와 폭 L_4 를 조절하여 안테나가 정합이 잘 되도록 하였다^[20]. 비교한 각각의 다중 미앤더 형태의 태그 안테나들은 전 세계적으로 사용하고 있는 UHF 대역폭인 860~960 MHz를 모두 수용하였다. 따라서 안테나 모두 국가 간 상호 연동성이 가능한 초소형 태그 안테나로써 기존의 협대역 특성을 극복하고 주파수에 상관없이 다양한 응용 분야에 활용이 가능할 것이다.

태그 안테나의 복사 효율을 그림 3에 나타내었다. 안테나의 인식 거리에 큰 영향을 미치는 복사 효율은 자유 공간 내에서 측정된 입력 저항과 안테나가 복사하지 못하도록 도체로 차폐한 후 입력 저항의 변화량을 이용하는 Wheeler Cap 측정 방법을 사용하였다^[20]. 각각의 안테나 효율은 $VSWR < 5.8$ 을 기준으로 한 동작 대역폭 내에서 시뮬레이션 결과 Case 1이 최대 9.35 %, 최소 6.32 %, Case 2가 최대 24.82 %, 최소 15.33 %, Case 3이 최대 38.9 %, 최소 25.13 %의 효율을 가졌다. 따라서 안테나의 크기가 커지고 미앤더 형태로 접은 횟수가 줄어들수록 복사부의 미앤더 라인을 따라 서로 반대 방향으로 흐르는 전류의 상쇄가 줄어들기 때문에 복사 효율이 크게 증가하게 된다. 본 논문에서 비교한 안테나 구조는 그 크기에 비해 부가적인 정합 회로 없이 광대역 특성을 가지며, 비교적 좋은 효율을 얻어 안정된 인식 거리를 확보할 수 있다.

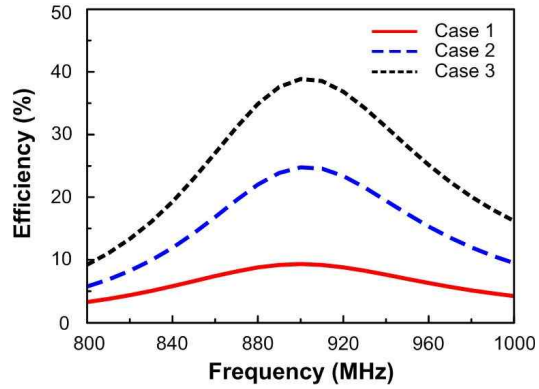


그림 3. 태그 안테나 복사 효율 특성
Fig. 3. Radiation efficiency of the optimized tag antenna.

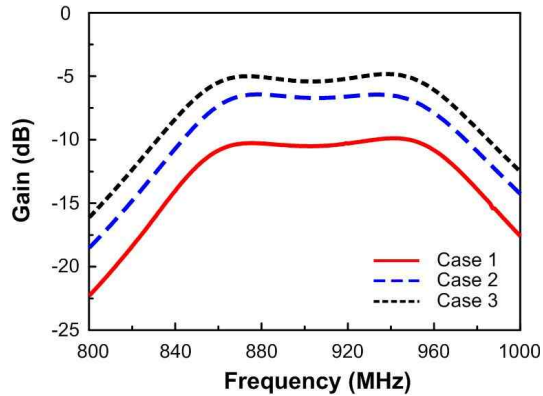


그림 4. 태그 안테나 이득 특성
Fig. 4. Gain characteristic of the optimized tag antenna.

광대역 특성을 가지는 다중 미앤더 형태의 RFID 태그 안테나의 주파수에 따른 이득을 그림 4에 나타내었다. 안테나의 이득은 안테나와 태그 칩이 공액 정합되었을 때의 이득을 의미하며, 식 (1)을 이용하여 계산할 수 있다.

$$\text{Gain} = \text{Dir} \times \text{Eff} \times (1 - |I|^2) \quad (1)$$

Dir은 안테나의 지향성(directivity), Eff는 안테나의 복사 효율, $(1 - |I|^2)$ 은 안테나와 태그 칩의 부정합 효율이다. $VSWR < 5.8$ 을 기준으로 전 세계 RFID UHF 대역폭 내에서 Case 1의 경우 최대 -9.89 dBi, 최소 -10.84 dBi, Case 2의 경우 최대 -6.45 dBi, 최소 -7.91 dBi, Case 3의 경우 최대 -4.84 dBi, 최소 -6.10 dBi의 이득을 갖는다. 태그 안테나의 이득은

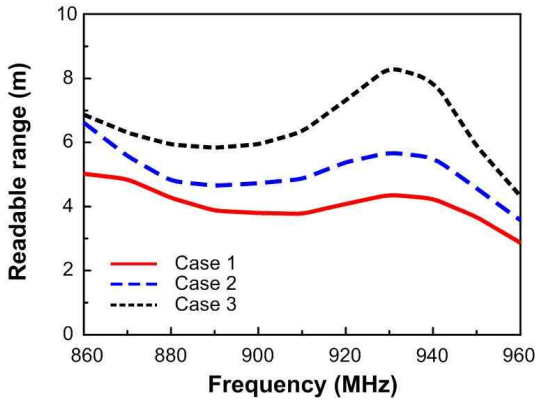


그림 5. 주파수에 따른 태그 안테나 인식 거리 특성
Fig. 5. Readable range of the tag antenna with respect to the frequency.

안테나와 태그 칩의 부정합 효율로 인한 감소로 이득이 낮아진 것을 알 수 있다. 따라서 안테나 크기가 커지고 미앤더 형태로 접은 횟수가 줄어들수록 효과와 이득이 모두 증가하는 것을 확인할 수 있다.

다중 미앤더 형태의 RFID 태그 안테나의 주파수에 따른 최대 인식 거리 특성을 그림 5에 각각 나타내었다. 태그 안테나의 인식 거리 측정은 상용 태그 칩을 안테나에 플립 칩 본딩을 하고 전파 무반사실에서 원형 편파를 갖는 리더 안테나를 이용하여 태그 안테나의 방향에 따라 태그 칩이 구동되는 최소 복사 전력을 측정 한 후, Friis 전송 방식 (2)를 통하여 주파수에 따른 인식 거리를 산출하였다^[10].

$$Readable\ range = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_{reader} G_{reader} G_{tag}}{P_{tag}}} \quad (2)$$

P_{reader} 는 리더 안테나의 출력 포트 전력이고, G_{reader} 는 리더 안테나의 이득을 나타낸다. 또한 P_{tag} 는 태그 칩에 전달되는 최소 문턱 전력(sensitivity), G_{tag} 는 태그 안테나의 이득, 그리고 $\lambda/4\pi$ 는 1 m의 자유 공간에서 갖는 손실 계수이다. 태그의 최소 문턱 전력 P_{tag} 는 P_{reader} 에 따른 EIRP(Effective Isotropically Radiated Power)와 1 m 자유 공간에서의 손실 계수의 합으로 나타낸다. EIRP는 리더 안테나의 입력 전력 P_{reader} 와 이득 G_{reader} 의 곱으로 구해지며, 일반적으로 ISO 18000에 따라 최대 4 W, 즉 36 dBm 이하의 값을 가져야 한다^[12]. 따라서 태그가 동작하기 위한 리더의 최소 출력 전력에 6 dBi의 이득

표 2. 주파수에 따른 태그 안테나 최대 인식 거리 측정 결과(단위: mm)

Table 2. The measured maximum readable range of the tag antenna with respect to the frequency(Unit: mm).

Frequency	Readable range		
	Case 1	Case 2	Case 3
860 MHz	5.00	6.60	6.85
870 MHz	4.85	5.56	6.29
880 MHz	4.26	4.78	5.92
890 MHz	3.86	4.64	5.82
900 MHz	3.79	4.71	5.93
910 MHz	3.76	4.85	6.32
920 MHz	4.07	5.37	7.31
930 MHz	4.36	5.68	8.34
940 MHz	4.24	5.53	7.95
950 MHz	3.66	4.55	5.86
960 MHz	2.86	3.56	4.31

G_{reader} 를 곱하여 36 dBm 이하의 EIRP 값을 구하고, 이를 이용하여 1 W 이하의 리더 안테나 최소 전력 P_{reader} 에 1 m 자유 공간 손실 계수와 리더 안테나의 이득 G_{reader} , 케이블 손실을 고려하여 태그의 sensitivity 값, 즉 태그의 최소 문턱 전력 P_{tag} 를 구한다. 또한 태그 P_{tag} 를 EIRP 값과 1 m 자유 공간 손실 계수의 곱으로 나누어 태그 안테나의 이득 G_{tag} 를 나타낸다^[18].

주파수에 따라 측정된 인식 거리는 Case 1이 860 MHz에서 최대 5.00 m, 960 MHz에서 최소 2.86 m, Case 2가 860 MHz에서 최대 6.60 m, 960 MHz에서 최소 3.56 m, Case 3이 930 MHz에서 최대 8.34 m, 960 MHz에서 최소 4.31 m의 인식 거리를 가진다. 또한 중심 주파수인 910 MHz에서는 안테나 각각 최대 3.76 m, 4.85 m, 6.32 m이며, 전 세계 UHF 대역에서 측정된 인식 거리가 주파수에 따라 일정하게 증가하는 것을 확인할 수 있다. 비교한 태그 안테나들의 주파수에 따른 최대 인식 거리는 표 2에 요약하여 나타내었다.

그림 6~8에는 비교한 안테나들이 주어진 주파수인 880, 910, 940 MHz에서 방향에 따른 인식 거리 특성을 나타내었다. 측정된 인식 거리는 계산된 안테

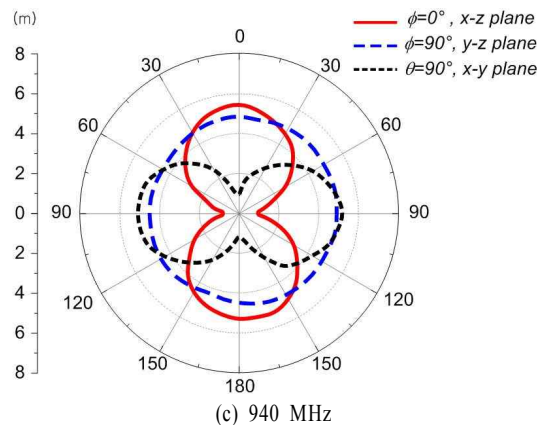
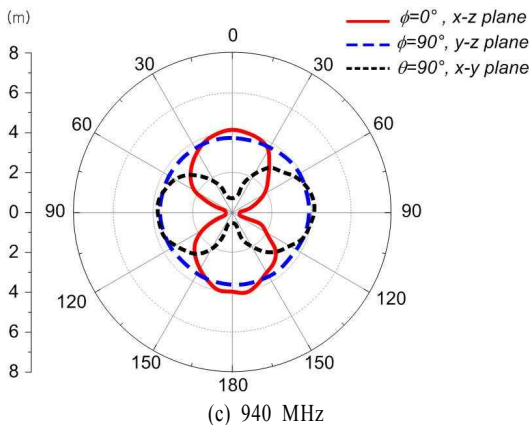
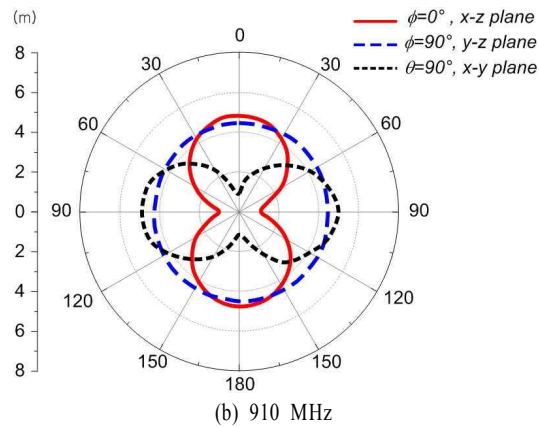
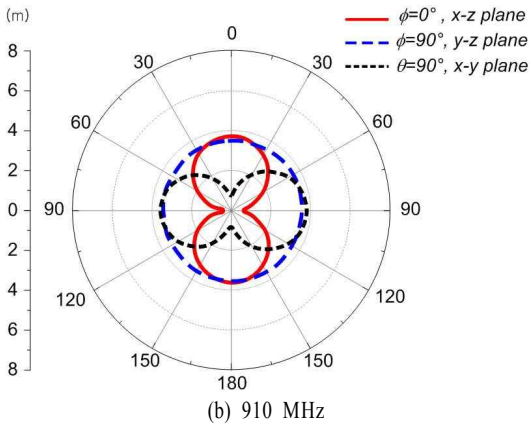
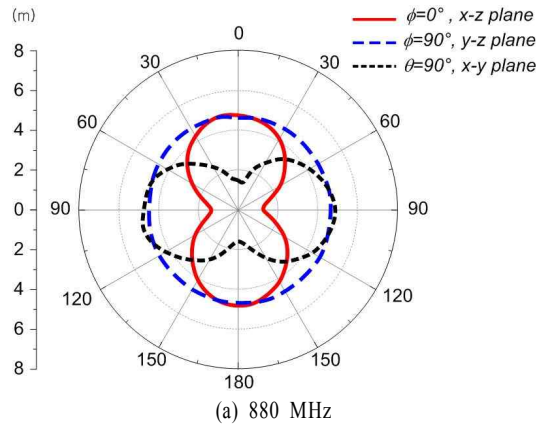
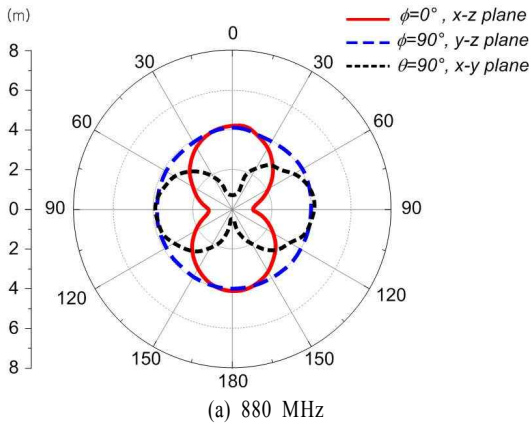


그림 6. 방향에 따른 Case 1 태그 안테나 인식 거리 특성

Fig. 6. Readable range of the Case 1 tag antenna with respect to the direction.

나의 시뮬레이션 복사 패턴과 유사하게 나타나며, 880, 910, 940 MHz에서 Case 1이 최대 4.26, 3.76, 4.24 m, Case 2가 최대 4.78, 4.85, 5.53 m, Case 3이

그림 7. 방향에 따른 Case 2 태그 안테나 인식 거리 특성

Fig. 7. Readable range of the Case 2 tag antenna with respect to the direction.

최대 5.92, 6.32, 7.95 m의 인식 거리를 갖는다. 따라서 안테나의 크기가 커지고 미앤더 형태로 접은 횟수가 줄어들수록 인식 거리가 증가하는 특성을 확인

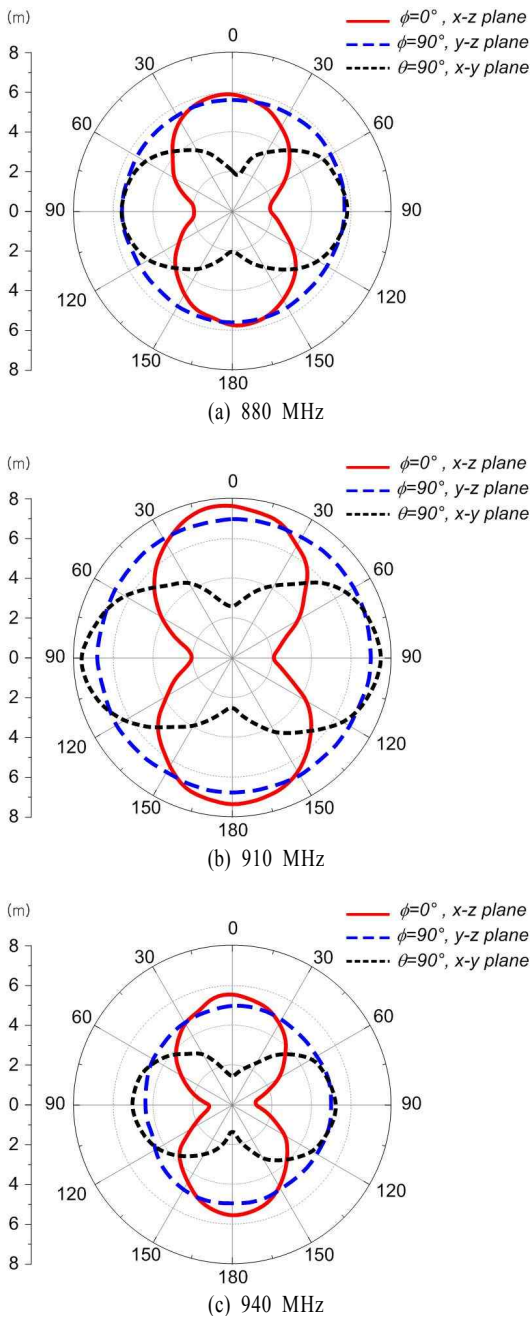


그림 8. 방향에 따른 Case 3 태그 안테나 인식 거리 특성
 Fig. 8. Readable range of the Case 3 tag antenna with respect to the direction.

할 수 있다. 측정 결과, 다중 미앤더 형태의 태그 안테나는 기존 소형 안테나의 문제점인 협대역 특성을 극복하고 전 세계 UHF 대역을 모두 만족하는 광대

역 특성을 갖는 것을 확인할 수 있다. 또한, 안테나 크기와 미앤더 턴 수 변화에 따른 특성 변화를 이용하여 아이템 단위의 작은 사물에 적용할 수 있는 초소형 안테나 제작에 활용이 가능하다.

III. 결 론

본 논문에서는 UHF 대역에서 동작하는 광대역 특성을 가지는 다중 미앤더 형태의 RFID 태그 안테나를 크기와 미앤더 형태로 접은 횟수를 변화시키며 특성을 비교하였다. 비교한 태그 안테나는 복사부에 해당하는 U-형태의 반파장 다이폴 안테나를 효과적으로 축소하기 위하여 다중 미앤더 형태로 설계하였다. 각각의 태그 안테나는 20.0×19.7 mm², 25.0×24.8 mm², 30.0×29.7 mm²의 크기를 가지며, 반전력 대역폭(VSWR<5.8)을 기준으로 855~964 MHz, 844~965 MHz, 844~968 MHz의 대역폭을 가짐으로써 전 세계 UHF 대역인 860~960 MHz를 모두 만족하였다. 또한, 태그의 원거리 인식을 위한 안테나의 복사 효율을 안테나 크기와 미앤더 형태로 접은 횟수를 변경하여 확인하였으며, 이를 통해 이득을 구하고 주파수와 방향에 따른 인식 거리를 산출 및 측정하였다. 그 결과, 각각의 태그 안테나는 전 세계 UHF 대역의 중심 주파수인 910 MHz에서 Case 1이 최대 3.76 m, Case 2가 최대 4.85 m, Case 3이 최대 6.32 m로 안테나 크기를 증가시키고, 미앤더 형태로 접은 횟수를 줄일수록 안테나 복사 효율과 인식 거리가 증가하는 특징을 갖는 것을 확인하였다.

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] 김도균, 추호성, "부착면 표면 물질에 의한 성능 왜곡을 최소화한 이중 선로의 비대칭 다이폴 형태 태그 안테나 설계", 한국전자과학회논문지, 18 (4), pp. 398-407, 2007년 4월.

- [5] H. Son, W. Choi, and G. Choi, "Radiation efficiency improvement method of RFID tag antenna for metallic objects printed on lossy substrate", *Proc. IEEE APMC*, pp. 1-4, Dec. 2008.
- [6] V. D. Hunt, A. Puglia, and M. Puglia, *A Guide to Radio Frequency Identification*, Wiley: New York, 2007.
- [7] S. Chen, K. Lin, and R. Mittra, "Miniature and near-3D omnidirectional radiation pattern RFID tag antenna design", *Electron. Lett.*, vol. 45, no. 18, pp. 923-924, Aug. 2009.
- [8] K. S. Min, G. D. Park, and C. K. Park, "Design for the miniaturized RFID tag antenna in 910 MHz band", *Proc. IEEE TENCON*, pp. 1-4, Oct. 2007.
- [9] J. Z. Huang, P. H. Yang, W. C. Chew, and T. T. Ye, "A compact broadband patch antenna for UHF RFID tags", *Proc. IEEE APMC*, pp. 1044-1047, Dec. 2009.
- [10] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, New York: John Wiley & Sons, 1997.
- [11] 이우성, 장기훈, 윤영중, 이병무, "대역폭 확장 특성을 갖는 소형 RFID 태그 안테나", *한국전자과학회논문지*, 17(6), pp. 511-518, 2006년 6월.
- [12] 남세현, 박용권, 전병돈, 정유정, "태그 간의 상호 간섭과 캐비닛의 간섭을 고려한 열쇠 관리용 캐비닛 안의 소형 UHF RFID 태그 안테나", *한국전자과학회논문지*, 20(9), pp. 823-828, 2009년 9월.
- [13] U. Karthaus, M. Fischer, "Fully integrated passive UHF RFID transponder IC with 16.7 μ W minimum RF input power", *IEEE J. Solid-State. Circuits*, vol. 38, pp. 1602-1608, Oct. 2003.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] W. H. Kummer, E. S. Gillespie, "Antenna measurements-1978", *Proc. IEEE*, vol. 66, no. 4, pp. 483-807, 1978.
- [19] 류홍균, 우종명, "미앤더 라인을 이용한 RFID 태그용 원형 루프 안테나의 소형화", *한국전자과학회논문지*, 18(6), pp. 591-601, 2007년 6월.
- [20] 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.
- [21] 정학주, 이상운, 추호성, 박익모, "광대역 특성을 가지는 초소형 다중 미앤더 형태의 RFID 태그 안테나", *한국전자과학회논문지*, 21(9), pp. 971-978, 2010년 9월.

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