

RFID 이중 UHF 대역 인식 시스템용 안테나 소형화 설계

Design of a Size-reduced RFID Dual-UHF-Band Reader Antenna

강 승 택* · 김 형 석†
(Sungtek Kahng · Hyeong-Seok Kim)

Abstract - In this paper, a size-reduction technique is presented for the RFID reader antenna working at two UHF bands. To tackle the problem of size increase in multi-band applications, two resonance paths are made to occur in one geometry with a single feed. While one resonance path is combined with the other, the entire geometry is determined to guarantee the resonance at the target frequencies through the dual-band input impedance matching. The antenna performance is predicted by the full-wave simulation, and the design method is verified by observing the good agreement between the simulated and measured results. At the two frequencies, the satisfactory return loss as well as the antenna efficiency and peak gain of the far-field pattern is obtained.

Key Words : RFID reader antenna, Dual-band antenna, UHF band

1. 서 론

RFID 분야가 주목을 받으면서 안테나 기술자들은 기존과 다른 tag 안테나와 reader 안테나를 수요자의 요구사항에 맞추기 위해 많은 접근을 시도해왔다[1]. RFID의 단일 주파수 대역에 대해 현상에서의 인식률 향상이나 피부착 상품의 재료 및 구조적 조건을 고려하면서 크기가 방사체의 크기 축소가 큰 관심거리이다.

상품 유통이 활발해짐에 따라 RFID 레이블을 부착한 제품이 하나의 표준지역에서 다른 표준지역으로 가야될 상황은 흔히 발생한다. 그런데 이동영역의 RFID 표준이 달라지면 기존에 사용해오던 단일 대역용 레이블은 사용할 수 없게 된다. 따라서 안테나는 주파수 다양성(diversity)은 물론 인식률 향상을 위해 공간 다양성(지향성/편파)을 가져야 끊임없는 무선링크를 가질 수 있다. 따라서 본 논문에서는 군용 RFID 주파수의 다채널(다중대역) 공간 diversity를 갖는 안테나를 최적 설계하여 RFID 성능의 하나인 인식률을 극대화하는 연구를 수행하였다.

간략히 국내외 기술적 동향을 살펴보면 다음과 같다. 미국의 인터맥과 일본의 히다찌가 안테나의 소형화 기술에서 두각을 나타내고 있다[2, 3]. 그러나 이중대역 이상의 다양성 확보용 연구보다 음영지역을 없애는 방법과 다중 Tag들이 혼재되어 있을 때 신호 간 충돌방지 해법에 초점을 맞추고 있다. 이중대역을 가지는 연구는 대학교 연구실을 중심으로 수행되는 경향을 가지는데 Georgia 공대에서 공간 diversity를 위해 재구성형 안테나 시스템 개발을 발표하였으나 단점

으로 보이는 것은 여전히 음영지점이 발생하고 안테나 소자간의 간섭을 제거하지 못했다는 것과 핀 다이오드와 같은 능동소자를 부착하여 단가가 상승한다는 것이다[4, 5]. 유럽의 상황을 볼 때 스위스 연방공대 ETH에서 이중대역에 대한 결과를 내놓았으나 편파가 세계적 표준으로 채택되지 않은 성능을 보여 상품화에 의문이 제기되었다[6].

본 논문에서는 두 개의 UHF대역에서 동작하는 reader 안테나의 소형화 설계가 제시된다. 대역별로 별도의 안테나들을 두면 부피가 커지는데, 이를 방지하기 위하여 단일 급전, 단일 몸체에서 두 개의 공진경로를 형성한다. 그리고 두 개의 공진 주파수 각각에서 입력 임피던스를 매칭시켜 반사손실을 최소화한다. 이를 통해 reader와 tag간 인식거리를 확보하기 위해 전자파 방사효율을 극대화하고 이득을 높이게 된다. 따라서 제안한 구조는 전자장 모의시험을 통해 이득이 1dBi 이상, 효율이 70% 이상, 반사손실은 -10dB 이하이면서 무지향성 방사패턴을 얻을 수 있음을 보인다. 제안된 구조는 FR-4 기판으로 제작되고 예측된 성능이 실험적으로 얻어지는 것을 확인한다.

2. 제안하는 구조의 초기설계와 전자장 모의시험

설계에 들어가기에 앞서 목표성능을 표 1에 정리하였다.

표 1 설계사양

Table 1 Design specifications

항 목	스 페 크
주파수 diversity	433MHz & 900MHz 대역
반사손실	< -10dB
안테나 이득	> 1dBi
안테나 효율	> 70%
방사패턴	360도 (무지향성)

† Corresponding Author : School of Electrical and Electronics Engineering, Chung-Ang University, Korea
E-mail : kimcaf2@cau.ac.kr

* Dept. of Information and Telecommunication Engineering, University of Incheon, Korea

Received : October 31, 2013; Accepted : November 14, 2013

국방 RFID 인식을 향상을 위해 주파수 diversity 특성을 가지는 안테나를 설계하는 것이 목적이며, 국방 logistics automated service에 적합한 UHF RFID 주파수 대역인 433MHz와 900MHz를 선정하였다[7]. 이 주파수에서 공진이 가능한 단일 급전, 단일 몸체 안테나로 그림 1의 구조를 제시한다.

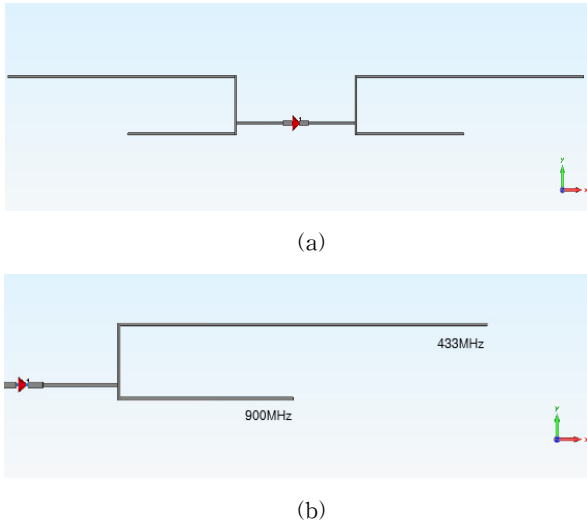


그림 1 브랜치 윙을 가지는 다이폴 안테나의 기본구조 (a) 전체 구조 (b)한 쪽만 확대

Fig. 1 Initial geometry of the branched wing dipole (a)Overall view (b)its half

그림 1은 두 대역에 해당하는 다이폴 안테나의 급전부를 연결하여 이중 대역을 만들어내는 브랜치 윙 안테나의 기본 구조를 나타내고 있다. 그림 1(b)에 나타난 대로 안테나 상단부인 433MHz 대역 다이폴 안테나의 한쪽 길이는 급전부를 포함하여 약 168mm로 433MHz의 공진을 담당한다. 그리고 하단부인 900MHz 대역 다이폴 안테나의 한쪽 길이는 급전부를 포함하여 약 88mm로 900MHz의 공진을 발생시킨다.

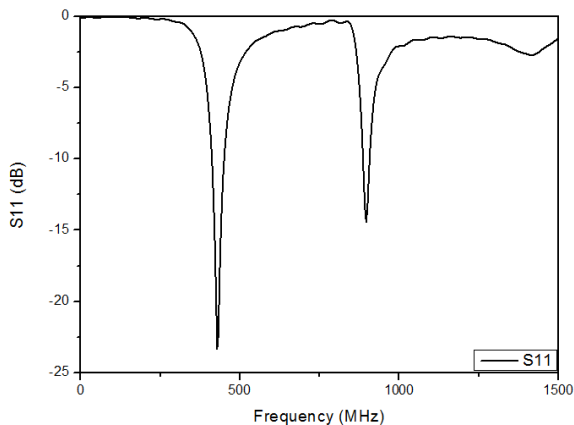


그림 2 브랜치 윙을 가지는 다이폴 안테나 기본구조의 반사손실 특성

Fig. 2 Return loss of the initial geometry of the branched wing dipole

윙의 브랜치 분기점과 급전점의 거리, 브랜치의 상하 길이를 조정하여 433MHz와 900MHz에서 공진을 유도하는 이중 대역 구조인 것이다. 각각의 주파수에 대한 별도의 안테나 방사체들을 두고 독립된 급전을 하는 일반적인 구조와 비교시 면적을 많이 줄이게 되어 소형화의 목적에 부합한다. 이 기본구조가 위의 치수와 4mm의 급전부의 간격을 가질 때 전자장 모의시험에 의해 그림 2와 같은 반사손실 특성을 얻을 수 있다.

그림 2는 그림 1의 브랜치 윙형 다이폴 안테나의 입력 임피던스 계열의 주파수 응답 특성을 나타내고 있다. 433MHz 지점에서 약 -21dB, 900MHz지점에서 약 -13dB의 반사손실을 보이고 있기 때문에 이는 안테나의 이중대역 특성을 만족하는 것으로 볼 수 있다.

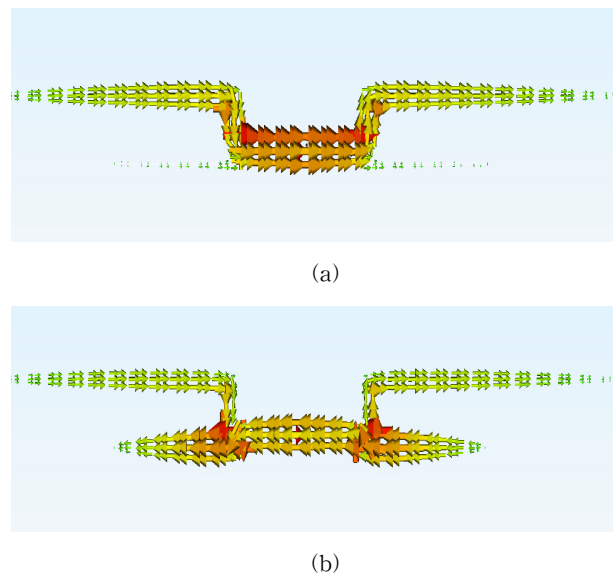


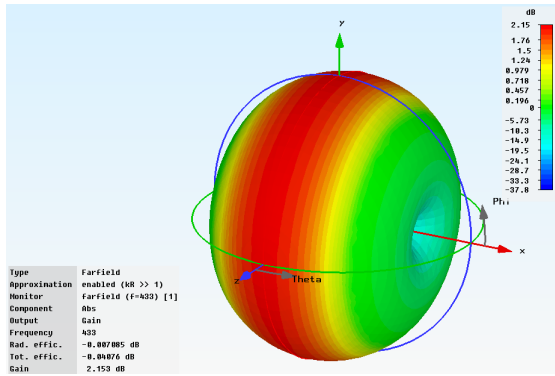
그림 3 해당 공진주파수에서의 브랜치 윙 다이폴 안테나의 표면전류 (a) 433MHz (b)900MHz

Fig. 3 Surface current at each of the resonance frequencies of the branched wing dipole (a) 433MHz (b)900MHz

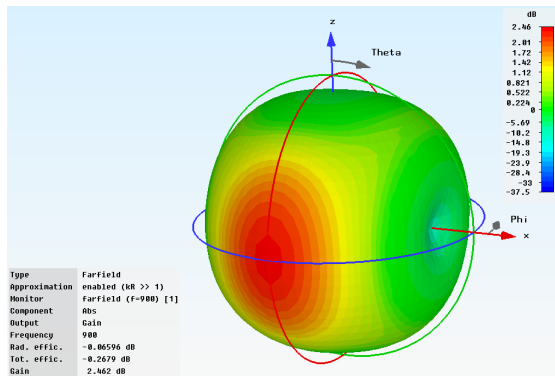
그림 3은 이중대역 브랜치 윙형 다이폴 안테나의 표면 전류분포를 나타내고 있다. 그림 3(a)는 433MHz에서 공진시 표면 전류이며 그림 3(b)는 900MHz 공진시 표면 전류를 나타내고 있다. 그림 3(a)에서 433MHz의 공진현상은 긴 윙 브랜치를 따라 흐르는 전류에 주된 영향을 받고 그림 3(b)에서 900MHz의 공진현상은 짧은 윙 브랜치를 따라 흐르는 전류에 주된 영향을 받는다.

각 공진 주파수에 해당하는 부분 외에 서로 다른 쪽의 안테나에도 전류 흐름이 생기는 상태도 볼 수 있는데 이는 더 세밀한 설계와 튜닝을 통하여 개선할 수 있으나 위 구조는 기초 구조이므로 세밀한 튜닝은 생략한다.

그림 4는 제안된 기본형 안테나의 3차원 방사 패턴을 보여주고 있다. 433MHz 대역에서는 무지향성 원거리 방사패턴을 보이고 있으며 이득은 약 2.153dBi, 방사효율은 약



(a)



(b)

그림 4 해당 공진주파수에서의 브랜치 윙 다이폴 안테나의 3차원 방사패턴 (a) 433MHz (b)900MHz

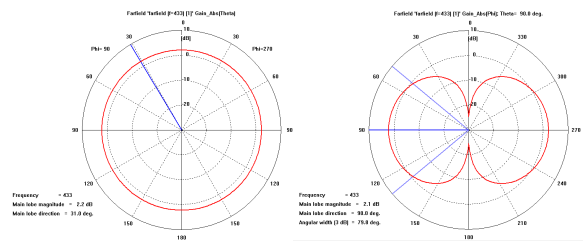
Fig. 4 3D Beam-patterns at the resonance frequencies of the branched wing dipole (a) 433MHz (b)900MHz

99%로써 100%에 가까운 양호한 상태를 보이고 있다. 900MHz 대역에서는 433MHz 윙 브랜치가 산란구조 작용을 함으로써 전자파 전력 분포가 완전한 무지향성에서 약간 벗어난 모습을 보이며 이득은 약 2.462dBi, 방사효율은 약 98.5%를 보이고 있다.

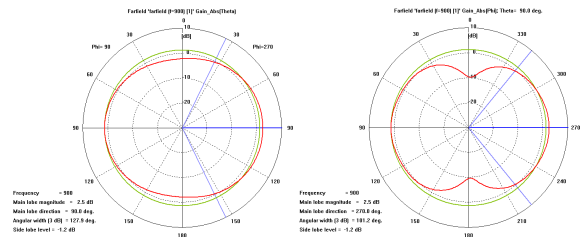
표 2 브랜치 윙 다이폴 안테나 기본형의 성능
Table 2 Performance of the initial branched wing dipole

Frequency	Retrun loss	Peak gain	Antenna efficiency
433MHz	-21dB	2.153dBi	99.1%
900MHz	-13dB	2.462dBi	94.0%

그림 5는 그림 4에서 얻어진 3차원 빔 패턴이 아닌 두 공진 주파수에서의 azimuth면과 elevation면상의 2차원 빔 패턴이다. 특히 azimuth면의 패턴들을 통해 reader 안테나에 필요한 무지향성이 확보됨을 확인할 수 있다. 위와 같이 제안된 이중대역 안테나의 기본형 특성은 표 2로서 요약가능하다.



(a)



(b)

그림 5 해당 공진주파수에서의 브랜치 윙 다이폴 안테나의 2차원 방사패턴 (a) 433MHz (b)900MHz
Fig. 5 2D Beam-patterns at the resonance frequencies of the branched wing dipole (a) 433MHz (b)900MHz

3. 제안하는 최종구조와 물리적 구현

앞에서 제안된 기본형은 PET병과 같은 투명 플라스틱 재질과 잘 어울린다. 그런데 산업용이면서 외부환경에서 많이 쓰이는 점을 감안하며 기구적으로 좀 더 안정되면 좋은데 FR-4 기판에 코팅하는 방식을 선택하고 적합한 모습으로 변형하면 아래의 구조와 같다.

그림 6은 개선된 형태의 브랜치 윙형 이중대역 다이폴 안테나의 구조를 나타내고 있다. 즉 FR-4 기판 위에 프린팅하여 기구적으로 안정되고 그림 1의 이상적인 급전법을 현실성 있게 바꾼 것이다. 제안된 안테나는 0.6mm 두께와 176x77mm 크기의 FR-4 기판(유전율: 4.4, 손실 탄젠트: 0.02)위에 금속으로 프린팅 형식을 취하며 다이폴의 양팔에 각각 접지와 신호선이 연결될 수 있도록 급전부를 개선하였다. 또한 그림 6(a)에서 볼 수 있듯이 이중대역 다이폴 안테나의 433MHz 공진용 긴 윙 브랜치는 미앤더 형태로 변경하여 유도길이를 줄였다. 이 때 900MHz 공진용 짧은 윙 브랜치와 간섭이 발생하여 성능열화가 발생할 수 있기 때문에 브랜치는 단계적으로 꺾어 그 길이가 유지되면서 433MHz 공진용 긴 윙 브랜치와 간섭이 최소화 되도록 변형시켰다. 이 과정에서 433MHz 공진용 긴 윙 브랜치의 총 길이는 201mm가 되고 900MHz 짧은 윙 브랜치의 총 길이는 76mm로 조금 더 짧은 길이가 되었다. 이와 같은 구조의 공진 특성을 확인하기 위해 그림 7에서 모의시험에 의해 반사손실을 그려보았다.

그림 7은 개선된 형태의 이중대역 브랜치 윙형 다이폴 안테나의 주파수 응답을 나타내고 있다. 433MHz에서는 약 -11dB, 900MHz에서는 약 -14dB의 반사손실을 보인다. 이는 본 연구에서 요구하는 이중대역 특성을 만족하고 있음을 알 수 있으며 그래프 상에서 눈에 띄는 불요공진 등도 없음을

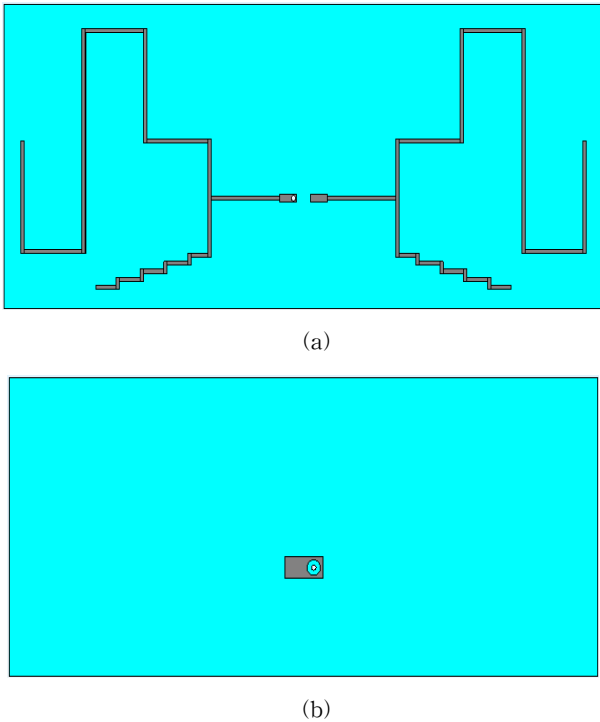


그림 6 브랜치 윙 다이폴 안테나의 최종구조 (a)상면도 (b) 하면도

Fig. 6 Final geometry of the branched wing dipole (a)Top-view (b)Bottom-view

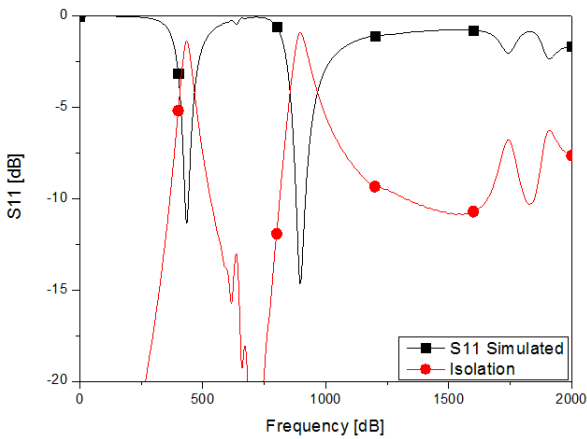


그림 7 브랜치 윙 다이폴 안테나 최종구조의 반사손실

Fig. 7 Return loss of the final geometry of the branched wing dipole

알 수 있다.

그림 8은 개선된 이중대역 브랜치 윙형 다이폴 안테나의 공진 주파수에서의 표면전류를 나타내고 있다. 433MHz 주파수에서는 미앤더 형태의 길이가 긴 안테나 부분에 표면전류가 많이 형성됨을 알 수 있으며 900MHz에서는 하단 계단형의 안테나 부분을 따라 표면전류가 크게 형성됨을 알 수 있다.

그림 9는 최종 이중대역 브랜치 윙형 다이폴 안테나의 공진 주파수별 3D 방사 패턴이다. 기본형 이중대역 안테나와

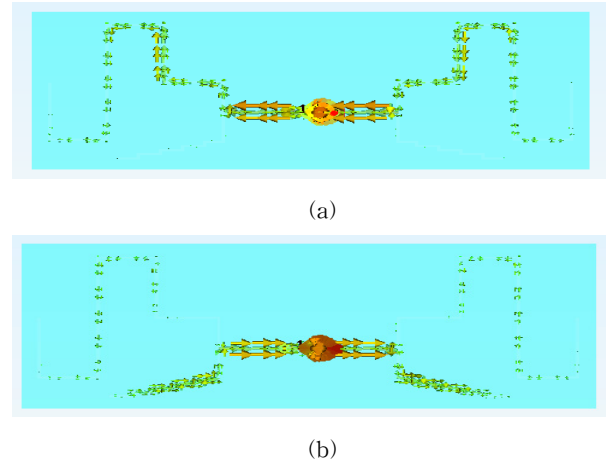


그림 8 해당 공진주파수에서의 브랜치 윙 다이폴 최종 안테나의 표면전류 (a) 433MHz (b)900MHz

Fig. 8 Surface current at each of the resonance frequencies of the branched wing dipole (a) 433MHz (b)900MHz

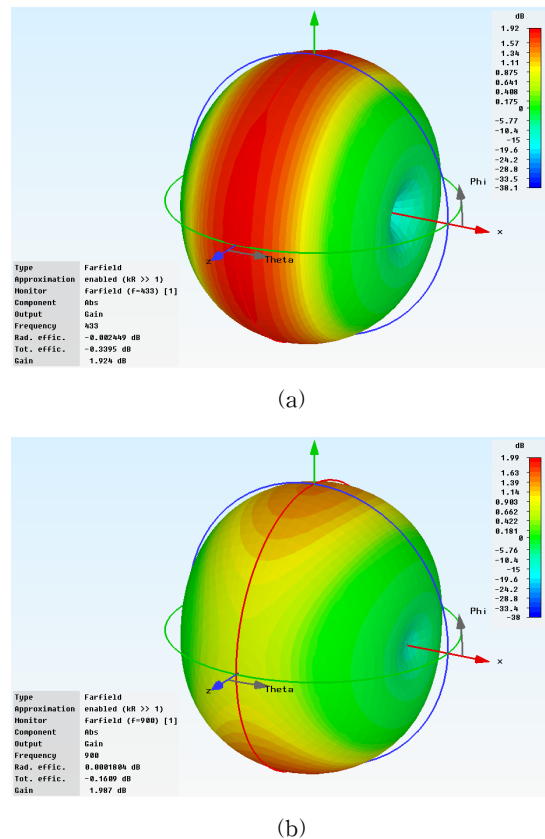


그림 9 최종 브랜치 윙 다이폴 안테나의 3차원 방사패턴 (a) 433MHz (b)900MHz

Fig. 9 3D Beam-patterns of the final branched wing dipole (a) 433MHz (b)900MHz

유사한 방사 패턴을 보이고 있으며 433MHz 900MHz에서의 이득은 각각 1.923dBi, 1.987dBi를 나타내고 있다. 목표이득을 모두 만족한다.

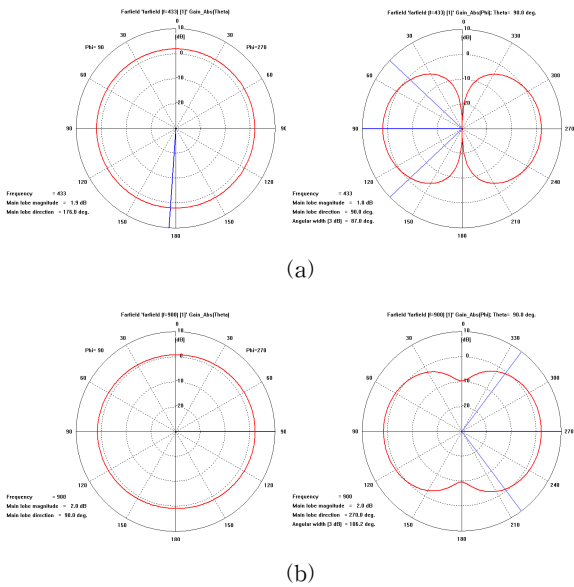


그림 10 개선된 브랜치 윙 다이폴 안테나의 2차원 방사패턴
 (a) 433MHz (b)900MHz
Fig. 10 2D Beam-patterns of the final branched wing dipole
 (a) 433MHz (b)900MHz

그림 10은 그림 9에서 얻어진 3차원 빔 패턴이 아닌 두 공진 주파수에서의 azimuth면과 elevation면상의 2차원 빔 패턴이다. 효율은 433MHz에서는 92.5%, 900MHz에서는 96.4%를 갖는다. 그리고 azimuth면의 패턴들을 통하여 reader 안테나에 필요한 무지향성이 확보됨을 알 수 있다. 제안된 이중대역 안테나의 최종구조의 특성은 표 3으로 요약가능하다.

표 3 브랜치 윙 다이폴 안테나 최종구조의 성능
Table 3 Performance of the final branched wing dipole

Frequency	Retrun loss	Peak gain	Antenna efficiency
433MHz	-11dB	1.924dBi	92.5%
900MHz	-14dB	1.987dBi	96.4%

본 안테나 설계가 실제환경에서 적합한지 확인하기 위해 상기의 기판과 물리적 치수를 기반으로 시제품이 제작되었고 상용 RFID tag의 인식을 테스트 과정을 거쳤다. Tag는 RFID UHF 대역의 표준형인 ALN-964x, ALN-9540, ALN-9622이 선택되었고 제안된 안테나는 reader로서 동작하였다.

세 가지 태그중 성능이 제일 좋은 ALN-964x의 경우에는 3.3m에서 인식이 75%로 최장거리를 나타내고 있었다. 두 번째 경우인 ALN-9540의 경우에는 칩으로 Higgs-2가 사용된 태그로 칩 성능은 다른 두 태그보다 떨어지지만 태그 안테나의 성능이 더 뛰어나 2.9m까지 인식이 되는 것을 확인할 수 있고 ALN-9622 태그의 실험 결과는 2.4m까지 인식 가능한 것으로 확인 하였다. 따라서 증폭기가 없는 상태에서 표준형 tag들의 정보를 읽어낼 수 있는 거리가 2m를 넘는 것을 통해 RFID에 활용 가능할 것으로 판단된다.



그림 11 피측정 중인 안테나
Fig. 11 Antenna under test

4. 결 론

RFID UHF 이중대역에서 동작하는 reader 안테나의 소형화 설계가 제시되었다. 대역별로 별도의 안테나들을 두면 부피가 커지는데 이를 방지하기 위하여 단일 급전, 단일 몸체에서 두 개의 공진경로를 형성한다. 그리고 두 개의 공진 주파수 각각에서 입력 임피던스를 매치시켜 반사손실을 최소화한다. 이를 통해 reader와 tag간 인식거리를 확보하기 위해 전자파 방사효율을 극대화하고 이득을 높게 된다. 따라서 제안한 구조는 전자장 모의시험을 통해 이득이 1dBi 이상, 효율이 70% 이상, 반사손실은 -10dB이하이면서 무지향성 방사패턴을 얻을 수 있음을 보였다. 제안된 구조는 FR-4 기판상에서 제작되고 RFID tag-reader 실험을 통해 로지스틱스에서 활용가능성이 확인되었다.

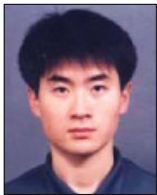
References

- [1] Klaus Finkenzeller, RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification, Wiley, 2003. 5
- [2] P. Nikitin, Sensing with UHF RFID: an Overview, 6th IEEE UWB Forum on Sensing and Communications, TU Graz, Austria, May 5, 2011
- [3] Hitachi Develops World's Smallest RFID Chip from 'TheFutureofThings'
- [4] N. Langer, C. Forman, and S. Kekre, "Assessing the Impact of RFID on Return Center Logistics," Interfaces, Vol. 37, No. 6, November - December 2007, pp. 501 - 514.
- [5] N. Kingsley, D. E. Anagnostou, M. Tentzeris, and J. Papapolymerou, "RF MEMS Sequentially Reconfi

gurable SierpinskiAntenna on a Flexible Organic SubstrateWith Novel DC-Biasing Technique,” Journal of Microelectromechanical System, Vol. 16, No. 5, October.

- [6] J. L. M. Flores, S. S. Srikant, B. Sareen, and A. Vagga, “Performance of RFID tags in near and far field,” in IEEE Int. Conf. on Personal Wireless Commun. (ICPWC) '05, (New Delhi), pp. 353 - 357, Jan. 2005.
- [7] S. Kahng, Chapter 3 : ‘Design Fundamentals and Advanced Techniques of RFID Antennas’ in ‘Development and Implementation of RFID Technology’ Edited by Cristina Turcu, ISBN 978-3-902613-54-7, In-Tech

저 자 소 개



강 승 택 (姜勝澤)

2000년 2월 한양대학교 전자통신 공학박사, 2000년 4월 한양대학교 산업과학연구소 연구원, 2004년 2월 한국전자통신연구원 통신위성개발센터 선임연구원, 2004년~현재 인천대학교 정보통신공학과 교수, 2007년~현재 송도 국방벤처 자문교수

[주 관심분야] 전자파 수치 해석 및 응용, EMI/EMC 대책, 초고주파 부품 및 안테나 설계, 메타재질구조 이론 및 응용



김 형 석 (金炯碩)

1985년 서울대학교 전기공학 공학사, 1987년 서울대학교 전기공학 공학석사, 1990년 서울대학교 전기공학 공학박사, 1990~2002년 순천향대학교 정보기술공학부 교수, 1997~1998년 R.P.I ECSE, USA 방문교수, 2002년~현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수

[주 관심분야] 전자파수치해석, 무선통신부품 해석 및 설계, 최적설계 기법 연구, 전력설비 모니터링 시스템, SoC 응용회로, EMI/EMC, RFID 응용 기술