

인식 음영 구역을 제거한 RFID 태그 안테나 설계

Design of Tag Antenna without Shadow Zone in Readable Pattern

조 치 현 · 추 호 성 · 박 익 모*

Chihyun Cho · Hosung Choo · Ikmo Park*

요 약

본 논문에서는 전기 전류와 자기 전류를 동시에 생성하여 인식 음영 구역을 제거할 수 있는 새로운 형태의 RFID 태그 안테나를 설계하였다. 변형된 이중 T 매칭 네트워크를 이용하여 상용 태그 칩을 안테나에 공액 정합을 시켜, 848~926 MHz의 넓은 대역폭($S_{11} < -10$ dB)과 90 % 이상의 높은 복사 효율을 얻었다. 제안한 안테나는 동작 주파수 부근에서 최대 이득과 최소 이득의 차이가 약 4 dB로 유사 등방성 복사 패턴을 가지며, 상용 태그 칩을 장착하여 인식 거리를 측정한 결과 태그의 방향과 무관하게 1.7~2.4 m의 고른 인식 능력을 보였다.

Abstract

In this paper, we propose a novel antenna structure which uses the electric and magnetic currents so as to eliminate nulls on their radiation pattern. The tag antenna was matched to the conjugate impedance of the commercial tag chip using the modified double T matching network. The radiation efficiency is about 90 %, and the bandwidth($S_{11} < -10$ dB) is 848~926 MHz. Also it shows the gain deviation between the maximum and minimum gains about 4 dB at any direction of the tag antenna at the operating frequency. The readable range of the tag is 1.7~2.4 m for an arbitrary rotation angle of the tag with a commercial tag chip.

Key words : RFID, Antenna, Tag, Isotropic Radiation Pattern, Genetic Algorithm

I. 서 론

RFID 시스템은 무선으로 사물을 인식하는 기술로 유비쿼터스 네트워크 환경을 실현시키는 데 가장 중요한 원천 기술 중 하나로 인식되고 있다. RFID는 크게 리더와 태그로 구분되며, 태그는 사물에 대한 정보를 담고 인식 대상이 되는 사물에 부착되며, 리더는 태그로부터 그 사물에 대한 정보를 전달받는다. 리더 시스템은 일반적으로 원형 편파를 가진 안테나를 사용함으로써 태그 안테나의 편파와 무관하게 태그의 정보를 인식할 수 있다. 그러나 리더 안테나가 원형 편파를 가져도 기존의 상용 태그 안테나

는 대부분 다이폴 또는 루프 형태의 안테나를 사용하기 때문에 복사 패턴에 널이 존재하며, 이로 인하여 태그가 놓인 방향에 따라 리더 시스템이 태그를 인식 하지 못하거나 태그를 인식할 수 있는 거리가 크게 감소되는 문제를 발생시킬 수 있다. 따라서 태그의 방향과 무관하게 리더 시스템이 태그를 인식할 수 있는 새로운 구조의 태그 안테나가 요구된다.

태그 칩이 매우 작은 전력으로도 동작하고, 칩에서 전력 손실이 발생되지 않는다고 가정하면 태그의 인식거리는 레이더 수식으로부터 쉽게 유도할 수 있다. 이때 인식 거리는 태그 안테나의 복사 이득의 제곱근에 비례한다^[1]. 따라서 태그 안테나의 방향에 따

「이 논문은 2004년도 홍익대학교 교내연구비에 의해서 지원되었음.」

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

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

· 논문 번호 : 20051005-112

· 수정완료일자 : 2005년 12월 13일

른 인식 거리의 감소 비율을 1/2 이내로 줄이기 위해서는 안테나의 최대 이득과 최소 이득의 차이가 모든 방향에서 6 dB 이하로 되게 설계하는 것이 바람직하다.

본 논문에서는 인식 음영 구역을 제거한 UHF 대역의 수동형 RFID 태그 안테나를 설계하였다. 제안한 태그 안테나는 리더 시스템이 방향에 무관하게 태그를 인식할 수 있도록 태그 안테나의 이득 편차가 6 dB 이하가 되도록 하였으며, 이러한 복사 패턴 특성을 갖기 위해 전기 전류(electric current)와 자기 전류(magnetic current)를 동시에 발생시켜 각각의 널이 발생하는 부분을 보상하도록 하였다. 태그 안테나는 914 MHz에서 동작하며 원거리 인식을 위해 높은 복사 효율을 갖도록 하였고, 충분한 전력을 태그 칩에 공급하기 위하여 안테나를 태그 칩의 임피던스에 공역 정합되도록 설계하였다.

II. 안테나의 구조 및 특성

인식 음영 구역을 제거하기 위해 제안한 태그 안테나 구조를 그림 1에 나타내었다. 제안된 안테나는 두 개의 구부러진 다이폴 안테나와 변형된 이중 T 매칭 네트워크(M1, M2, M3)로 구성되어 있다. 각각의 다이폴 안테나의 구부러진 부분은 서로를 향하도록 꺾어져 있고, 한 쪽의 다이폴 안테나(L3, L4)가 다른 쪽 안테나(L1, L2)의 안에 위치하고 있다. 그리고 두 안테나는 변형된 이중 T 매칭 네트워크를 통해

태그 칩에 연결되어 있다. 제안된 안테나는 저렴한 가격으로 생산하기 위하여 50 μm 의 얇은 두께를 가지는 PET(polyethylene, ϵ_r : 3.9 $\tan \delta$: 0.003) 기판 위에 단일 평면 구조로 인쇄하였다.

각 다이폴 안테나의 구부러진 부분(L1, L3)은 서로 가깝게 위치하고 있으며, 180°의 다른 위상을 갖는 전류가 표면에 흐른다. 구부러진 안테나의 한 부분에서 다른 안테나의 구부러진 부분으로 강한 전계가 발생되며, 발생한 전계와 수직으로 자기 전류가 흐른다. 전기 전류는 외각에 위치한 다이폴의 중앙 부분(L2)에서 강하게 흐른다. 따라서 다이폴 안테나 본체를 따라 y축 방향으로 흐르는 전기 전류와 꺾어진 부분에서 발생되어 x축 방향으로 흐르는 자기 전류는 서로 수직 방향이며, 널이 발생하는 부분을 서로 상쇄시켜 등방성 복사 패턴을 갖도록 한다. 변형된 이중 T 매칭 네트워크는 안테나의 입력 리액턴스가 인덕티브한 성분을 갖도록 만든다^[2]. 따라서 커패시티브한 태그 칩의 입력 임피던스 값을 효과적으로 상쇄하여 공역 정합할 수 있도록 한다. 또한 일반적인 다이폴 안테나의 선형적 특성을 갖는 입력 임피던스를 고차 회로처럼 동작하도록 하여 광대역 특성을 가지게 한다.

제안된 안테나의 최적화된 설계 변수는 IE3D 시뮬레이션 툴^[3]을 Pareto 유전자 알고리즘^[4]에 접목시켜 도출하였다. 최적화 과정에서 사용한 3가지 비용 평가 함수는 식 (1)~(3)에 열거되어 있다.

$$\text{Cost 1} = 1 - \frac{\text{Bandwidth} \times \text{Efficiency}}{\text{Bandwidth}_{\text{theoretical}}} \quad (1)$$

$$\text{Cost 2} = \text{Normalized antenna size}(kr) \quad (2)$$

$$\text{Cost 3} = \text{Max}(\text{Gain}) - \text{Min}(\text{Gain}) \quad (3)$$

Cost 1은 주어진 크기에서 안테나가 최대 대역폭과 최대 효율을 가지도록 사용된 함수이다. 이론적 대역폭 한계치 $\text{Bandwidth}_{\text{theoretical}}$ 은 MacLean^[5]이 유도한 $\frac{1}{1/kr + 1/(kr)^3}$ 을 이용하였다. Cost 2는 안테나의 전기적 크기를 kr 로 정규화한 것이다. 이때 k 는 파수이며, r 은 안테나의 모든 부분이 포함되는 가장 작은 구의 반지름이다. Cost 3은 안테나의 복사 패턴이 가능한 등방성을 갖도록 하기 위하여 사용된 함수로 동작 주파수에서 최대 이득과 최소 이득의 차

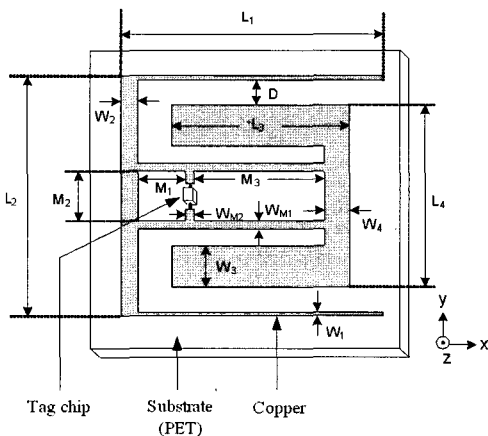


그림 1. 제안된 태그 안테나의 구조
Fig. 1. The structure of the proposed tag antenna.

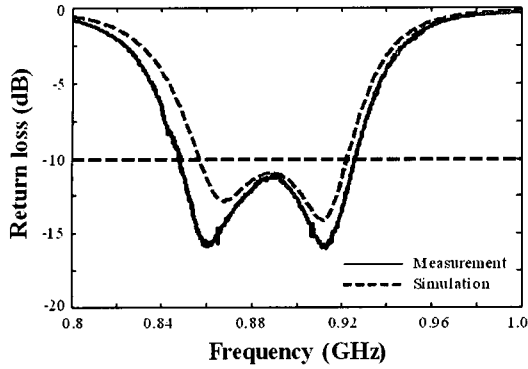


그림 2. 최적화된 태그 안테나의 반사 손실 특성
Fig. 2. The return loss of the optimized tag antenna.

이를 이용하였다. 최적화된 안테나의 설계 변수들은 $L_1 = 53.1$ mm, $L_2 = 79.2$ mm, $L_3 = 37$ mm, $L_4 = 57.8$ mm, $W_1 = 0.5$ mm, $W_2 = 4$ mm, $W_3 = 12.5$ mm, $W_4 = 4$ mm, $M_1 = 5.8$ mm, $M_2 = 18.6$ mm, $M_3 = 30.7$ mm, $W_{M1} = 1$ mm, $W_{M2} = 1.5$ mm, 그리고 $D = 10.2$ mm이다.

그림 2는 안테나가 상용 태그 칩(ALL-9238, 9250^[6])의 입력 임피던스에 공액 정합되었을 때의 반사 손실 특성 그래프이며, 플립에 접합되어 있는 태그 칩을 사용하여 안테나와 연결하였다. 태그 칩은 914 MHz에서 약 $13 - j133$ 의 입력 임피던스 값을 가진다. 시뮬레이션 결과와 측정 결과는 각각 점선과 실선으로 나타내었고 두 결과가 매우 유사함을 보여주고 있다. 측정 반사 손실 대역폭은 848 MHz에서 926 MHz로 78 MHz이며, 동작 주파수를 기준으로 약 8.5%의 부분 대역폭을 가진다. 이는 전 세계적으로 요구되는 RFID 주파수인 860~960 MHz 대역을 거의 만족시키는 것으로 향후 약간의 대역폭 성능만 개선하면 단일 태그 안테나로 전 세계에서 사용할 수 있을 것이다.

그림 3은 최적화된 태그 안테나의 복사 효율 특성이며, 복사 효율 시뮬레이션 결과는 점선으로 측정 결과는 원형 도형으로 표시하였다. 안테나의 복사 효율은 Wheeler Cap 방법^[7]을 이용하여 측정하였고, 동작주파수 범위에서 시뮬레이션 결과와 측정 결과 모두 90% 이상의 효율을 보였다.

그림 4는 최적화된 안테나의 이득 편차 특성이다. 이득 편차 시뮬레이션은 점선으로 나타내었으며, 측정 결과는 삼각형으로 표시하였다. 이득 편차는 360

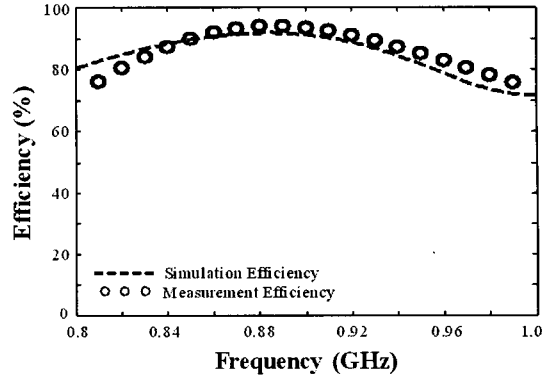


그림 3. 최적화된 태그 안테나의 복사 효율
Fig. 3. The efficiency of the optimized tag antenna.

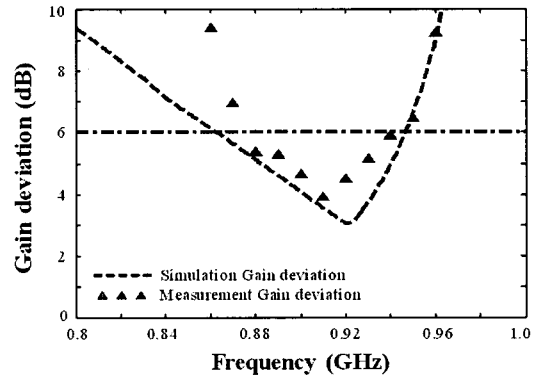


그림 4. 최적화 태그 안테나의 주파수에 따른 이득 편차
Fig. 4. The gain deviation vs. frequency of the optimized tag antenna.

도 전 방향에서 관찰한 안테나의 최대 이득과 최소 이득의 차이이며, 주파수에 따라 표시하였다. 측정된 이득 차이는 시뮬레이션 결과와 비교적 유사한 결과를 보여주며, 880 MHz에서 940 MHz 범위에서 6 dB보다 작으며 동작 주파수에서 약 4 dB의 특성을 보인다. 또한 제안된 태그 안테나는 거의 모든 대역폭에서 이득 차이가 6 dB보다 작은 등방성 복사 패턴을 나타내며, 동작 주파수에서 x 방향으로 약 2 dBi의 최대 지향성을 갖는다.

그림 5는 상용 태그 칩을 안테나에 연결하고, RFID 시스템(BHNPR001^[6])을 이용하여 안테나의 방향에 따른 최대 인식 거리를 측정된 결과이다. xy, yz, xz 평면을 따라 인식 거리를 측정된 결과 1.7~2.4 m의 성능을 보였다.

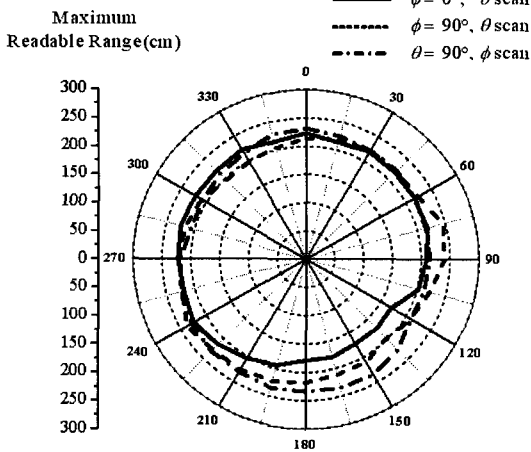


그림 5. 최적화된 안테나의 방향에 따른 태그의 인식 거리
 Fig. 5. The maximum detectable range vs. orientation of the tag.

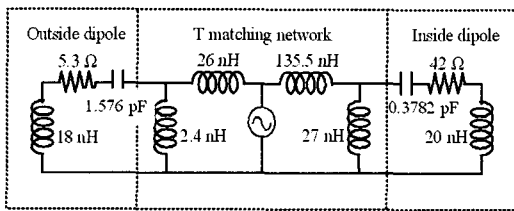
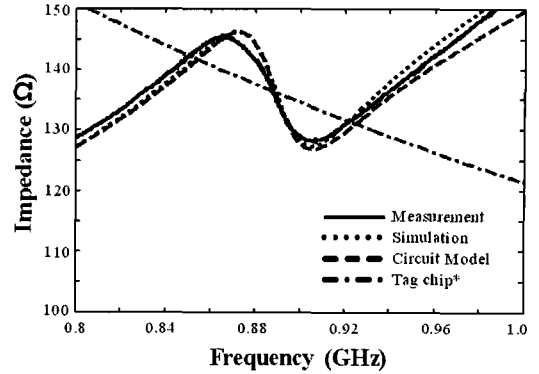


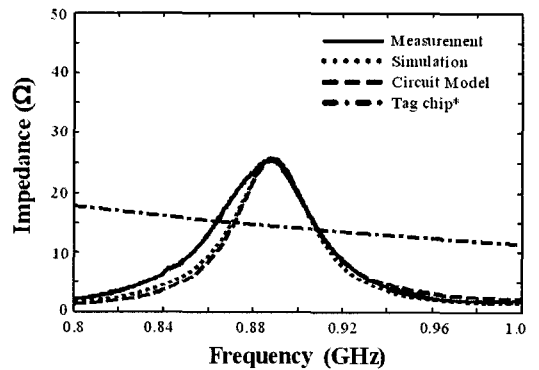
그림 6. 제안된 안테나의 등가회로도
 Fig. 6. The equivalent circuit model of the proposed tag antenna.

III. 안테나의 동작 원리

그림 6은 제안된 태그 안테나의 동작 특성을 설명하기 위한 RLC 회로 모델이다. 두 개의 꺾인 다이폴 안테나는 각각 직렬 RLC 회로 모델을 사용하여 나타내었고, 변형된 이중 T 매칭 네트워크는 4개의 인덕터를 사용하였다. 회로의 소자값들은 안테나의 각 부분을 IE3D를 이용하여 시뮬레이션 하여 대략적인 RLC 값들을 추출한 후, 회로 모델을 바탕으로 수차례의 반복적인 계산을 통하여 측정된 입력 임피던스 값과 최대한 유사하도록 그 값을 구하였다. 그림 7은 등가회로를 이용하여 계산한 태그 안테나의 임피던스이다. 실선은 측정된 안테나의 입력 임피던스이며, 점선은 상용 시뮬레이션 툴을 이용한 결과이고 파선은 회로 모델을 이용한 값이다. 회로 모델을 이



(a) 입력 리액턴스
 (a) Input reactance



(b) 입력 저항
 (b) Input resistance

그림 7. 태그 안테나의 입력 임피던스
 Fig. 7. The input impedance of the tag antenna.

용한 입력 임피던스 값이 시뮬레이션 결과 및 측정 결과와 매우 유사함을 보여준다. 점과 파선으로 이루어진 선은 태그 칩의 공액 임피던스를 나타낸다. 안테나의 입력 저항은 칩의 저항과 두 부분에서 만나고 리액턴스는 세 부분에서 칩의 공액 리액턴스와 만난다. 따라서 제안된 태그 안테나는 변형된 T 매칭 네트워크에 의해 입력 리액턴스 값이 인덕티브하게 되어 태그 칩의 커패시턴스 성분을 충분히 상쇄시켜 공액 정합을 이루도록 한다. 또한 공간 주파수 근처에서 선형 특성을 갖는 다이폴 안테나를 고차 회로처럼 동작하도록 하여 이중 공진의 광대역 특성을 갖도록 한다.

그림 8은 각각 태그 안테나의 등가 표면 전기 전류와 자기 전류의 분포도이다. x축 방향으로 흐르는 전기 전류 I_x 는 x축을 기준으로 위쪽과 아래쪽의 전

류 분포의 위상이 180도 차이가 나며 원거리(far-field)에서 상쇄된다. 하지만 y축 방향으로 흐르는 전기 전류 J_y 의 경우, 바깥쪽의 꺾인 다이폴 안테나에 대부분의 전류가 흘러 대칭적인 전류 분포를 보이지 않으므로 상쇄되지 않고 원거리까지 복사하게 된다. y축으로 흐르는 M_y 의 경우에도 x축을 기준으로 전류 분포의 위상이 180도 차이가 나는 것을 확인할 수 있으며, 같은 원리로 M_y 도 원거리에서 상쇄된다. 반면 M_x 는 근접한 구부러진 다이폴 사이에서 강하게 발생되며, 위쪽과 아래쪽의 전류가 동위상을 가져 원거리 복사가 일어난다. 따라서 제안된 태그 안테나는 x축 방향으로 흐르는 자기 전류와 y축 방향으로 흐르는 전기 전류가 각각 서로의 널을 보상하여 등방성에 가까운 복사 패턴을 형성한다. 그림 9

는 각각 880 MHz, 914MHz, 940 MHz에서 측정된 정규화된 복사 패턴으로 모두 6 dB 이하의 이득 편차를 보이는 것을 확인할 수 있다.

두 개의 꺾인 다이폴 안테나 사이의 거리(D)를 최적화 결과의 반인 5 mm로 하였을 경우, 자기전류가 강하게 형성되어 y축 방향으로 지향성이 약 1.2배 강하게 되는 반면 x축 방향으로의 지향성 세기는 크게 변하지 않는다. 그러나 두 개의 꺾인 다이폴 안테나의 간격을 최적화 결과보다 1.5배 증가시켜 15 mm의 간격을 두었을 경우, 자기 전류의 크기가 급격히 감소하여 y축 방향으로의 지향성이 약 2배 감소한다. 즉, 전기 전류의 세기는 두 안테나 사이의 간격(D)과 무관하게 다이폴 지향성과 유사하지만 자기 전류의 세기는 두 다이폴 안테나의 간격(D)에 의해

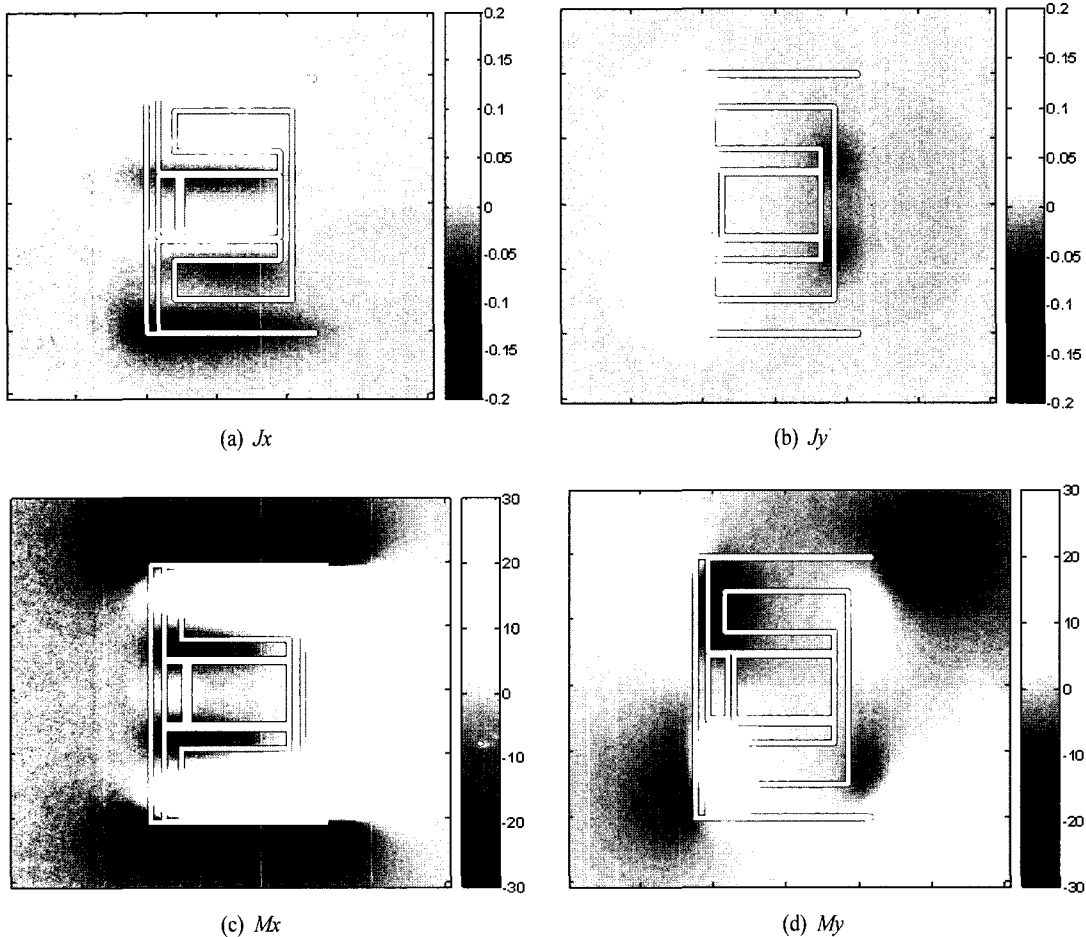


그림 8. 등가 표면 자기 전류와 전기 전류
Fig. 8. The equivalent surface electric and magnetic current.

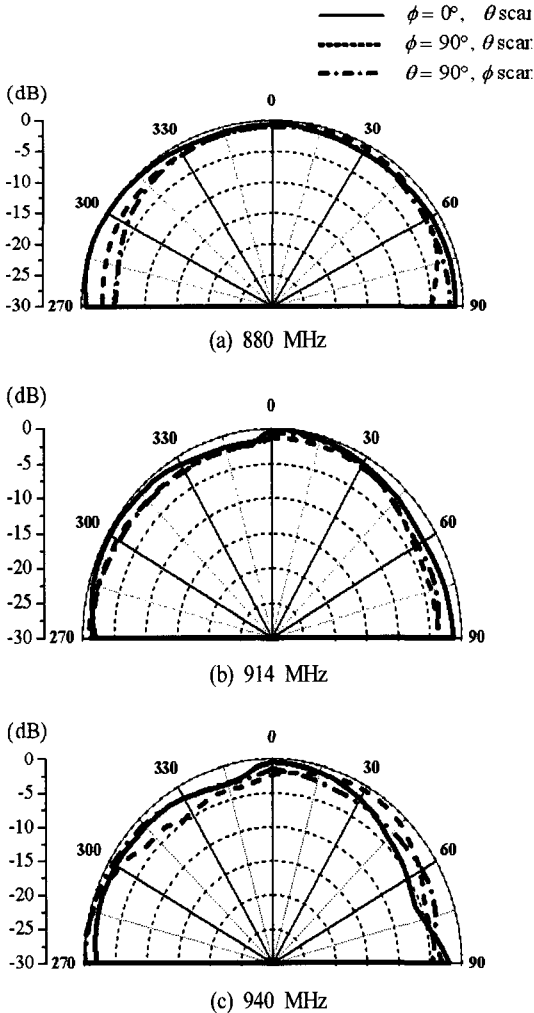


그림 9. 태그 안테나의 정규화된 이득
Fig. 9. The normalized gain of the tag antenna.

크게 변한다. 따라서 두 안테나를 근접시켜 적절한 크기의 자기 전류를 생성시키면 전기 전류에 의한 널을 보상하여 유사 등방성 복사 패턴을 얻을 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 인식 음영 구역을 제거하기 위한 태그 안테나를 설계하였다. 태그 안테나는 두 개의 꺾인 다이폴 안테나와 변형된 이중 T 매칭 네트워크로 구성하였다. 변형된 T 매칭 네트워크는 태그 칩의 커패시턴스 성분을 상쇄시킬 수 있도록 안테나의

입력 임피던스를 충분히 리액티브하게 만들어 태그 칩과 공액 정합을 이룰 수 있도록 한다. 또한 선형적인 입력 임피던스 특성을 갖는 다이폴 안테나들을 고차 회로처럼 동작시켜 광대역 특성을 갖도록 한다. 제안된 태그 안테나는 상용 태그 칩에 공액 정합시켰을 경우, 측정 대역폭($S_{11} < -10$ dB)은 848~926 MHz로 약 8.5%의 성능을 나타내고, 동작 주파수 범위에서 약 90%의 복사 효율을 보인다. 두 개의 다이폴 안테나의 구부러진 부분은 서로 근접되어 있어 강한 전계를 형성하여 자기 전류를 발생시킨다. 따라서 다이폴 안테나의 본체에 흐르는 전기 전류와 이와 수직인 방향으로 흐르는 자기 전류가 각각 서로의 널을 보상하여 등방성에 가까운 복사 패턴을 형성한다. 동작 주파수에서 최대 이득과 최소 이득의 차이는 약 4 dB이며, 880~940 MHz에서 6 dB 이하의 성능을 갖는다. 상용 태그 칩과 RFID 시스템을 이용하여 최대 인식 거리를 측정된 결과, 제안된 태그 안테나는 모든 방향에서 1.7~2.4 m의 비교적 고 큰 인식 영역을 갖는다.

참 고 문 헌

- [1] K. Finkenzeller, *RFID Handbook*, 2nd Ed., West Sussex, England: Wiley, 2003.
- [2] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, New York: John Wiley & Sons, 1997.
- [3] *IE3D Electromagnetic Simulation and Optimization Software*, Zeland Software, Inc.
- [4] D. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison Wesley, Reading, MA, 1989.
- [5] J. S. McLean, "A re-examination of the fundamental limits on the radiation Q of electrically small antennas", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 44, pp. 672-675, May 1996.
- [6] <http://www.alientechnology.com>, 'RFID systems'.
- [7] H. A. Wheeler, "The radiansphere around a small antenna", *Proc. IRE*, vol. 47, pp. 1325-1331, Aug. 1959.

조 치 현



2004년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)
2004년 3월~현재: 홍익대학교 전파통신공학과 석사과정
[주 관심분야] 소형 안테나, RFID 태그 안테나 설계 및 유전자 알고리즘을 이용한 최적화

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
[주 관심분야] 초고주파 수동소자(안테나 포함) 설계 및 해석

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