

논문 2005-42TE-4-10

2.45GHz RFID용 원형편파안테나의 설계 및 제작

(Design and Fabrication of Circularly Polarized Antenna for 2.45GHz RFID Application)

박 정 흄*

(Jeong-Heum Park)

요 약

본 논문에서는 RFID 시스템에서의 응용을 위해, 2.45GHz ISM대역에서 동작하는 단일동축급전 원편파 패치 안테나를 제작하였다. 안테나 제작에 앞서서, 일반적인 식으로 예측하기가 어려운, 최적의 급전점 위치를 확인하기 위해, HFSS 전자계 시뮬레이터를 이용하여 모의실험하였다. 이후, 실제 안테나를 제작하여 급전점의 위치에 따른 패치 안테나의 입력임피던스를 측정한 결과, 모의실험결과와 일치하는 경향을 보였다. 제작된 안테나의 특성은 유전손실이 상대적으로 큰 에폭시 기판(FR4)에서도 VSWR이 1.2이하인 우수한 특성을 가졌고, 이 결과는 RFID 리더 안테나의 응용에 충분한 값이다.

Abstract

In this paper, the single coaxial fed and circularly polarized patch antenna for the RFID system in 2.45GHz ISM band has been fabricated. The simulation by HFSS, electro-magnetic field simulator was executed in order to decide the location of feed which is difficult to be analysed. The simulated result has the same tendency as the measured one in the view of input impedance with the variation of feed location. VSWR of fabricated antenna is low(≤ 1.2) even in comparatively high dielectric loss epoxy substrate(FR4), and this value is enough for the application of RFID reader antenna.

Keywords : circularly polarized patch antenna (원편파 패치 안테나), single coaxial feed (단일 동축 급전), HFSS, RFID (무선주파수인식)

I. 서 론

무선통신기기의 증가로 주파수 자원이 포화 상태에 이르면서 사용 가능한 주파수 대역이 점차 고주파화 되어가고 있는 상황이다. ISM 대역(Industrial Scientific Medical Band : 2.4~2.4835GHz)은 10mW이하의 출력인 경우는 허가나 신고 없이 일반인이 사용가능하므로, 소전력 데이터 통신시스템에 적합하기 때문에 무선 LAN에 활용되고 있고, 최근 들어, 유비쿼터스 센서 네트워킹이 주목을 받으면서 RFID 시스템에서도 사용되고 있다. RFID시스템은 125KHz, 13.56MHz의 주파수

대역에서 전자결합 혹은 전자유도 방식의 시스템이 주로 사용되고 있으나, 인식거리가 1m이하로 짧으므로, 1m이상의 인식거리가 필요한 경우는 900MHz, 2.45GHz, 5.8GHz의 UHF 혹은 마이크로파 대역의 주파수를 사용하여 시스템을 구성한다.^[1] 마이크로파 방식 시스템의 장점은 장거리의 동작범위를 가지는 것 외에 잡음에 강하므로 고속통신이 가능하고, 1m 정도에서는 마이크로파 전력전송 기술로 태그의 무전지화가 가능한 장점이 있다.

이러한 ISM대역에서 RFID용 안테나는 직선편파 사용 시 태그의 편파와 리더의 편파가 직교하는 경우는 통신이 되지 않으므로, 휴대 및 설치방향의 임의성을 위해서 원형편파로 구현하는 것이 필요하고, 또한 소형화와 제작의 용이성을 이유로 마이크로스트립 패치 형

* 정희원, 김포대학 IT학부
(School of IT, Kimpo College)
접수일자: 2005년5월12일, 수정완료일: 2005년11월30일

태로 안테나를 제작하는 것이 바람직하다.

이에 본 논문에서는, 2.45GHz 원편파 마이크로스트립 패치안테나를 설계하고 전자계 시뮬레이터를 사용하여 모의실험을 행한 후 실제 안테나를 제작, 특성 측정을 통해, 설계 및 시뮬레이션의 유용성을 검증하였다.

II. 설계 및 제작

구현하고자 하는 원형편파 안테나의 설계사양은 일반적인 2.45GHz RFID Reader용 안테나 사양으로 설정하였고, 이를 표 1에 나타내었다.

설계목표를 위한 단일 급전 원편파 안테나의 형상을 그림 1에 나타내었다.

패치의 길이 L 은 프린팅 필드에 의한 길이 연장효과를 고려하여 아래의 식으로 결정하였다.^[2]

$$L \cong 0.49 \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

표 1. 안테나의 설계 목표 사양

Table 1. The target specification of antenna to design.

항목	목표 사양
크기	60L×60W×2H[mm]
공진 주파수	2.45[GHz]
VSWR	≤1.5
3dB 범폭	55[°]
선행이득	≤6[dBi]
편파	원형편파

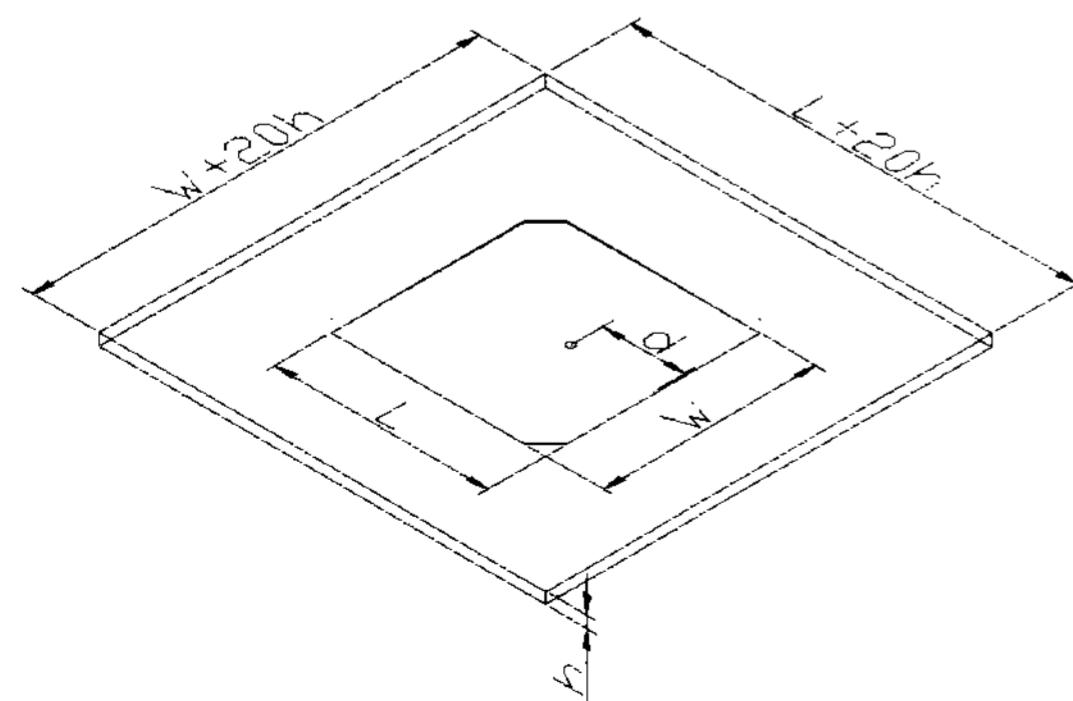


그림 1. 설계된 단일급전 원편파 안테나의 형상
Fig. 1. Figure of Single feed circularly polarized microstrip antenna.

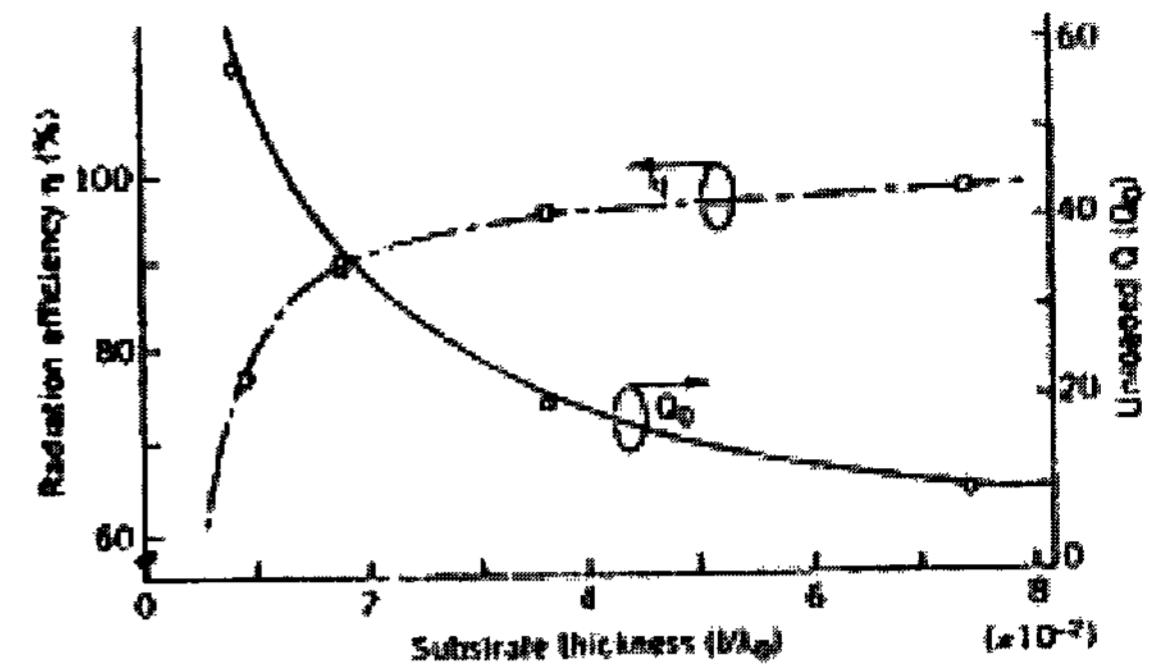


그림 2. 기판두께/파장에 따른 방사효율과 무부하 Q^[5]

Fig. 2. Variation of radiation efficiency and Unloaded Q with substrate thickness/ wavelength.^[5]

급전은 복잡성을 피하기 위해 SMA 컨넥터를 사용하여 단일직접급전방식을 적용하였다.

입력 임피이던스를 고려한 급전점의 위치를 결정하기 위해 아래의 식을 사용하였다.^[3]

$$Z_A = 90 \cdot \frac{\epsilon_r^2}{\epsilon_r - 1} \cdot \left(\frac{L}{W}\right)^2 \quad (2)$$

$$Z = Z_A \cdot \cos^2 \frac{\pi d}{L}$$

여기서, Z_A 는 패치 가장자리에서의 임피이던스이고, d 는 가장자리에서 급전점까지의 거리, L 은 패치의 길이, W 는 패치의 폭이다.

원형편파를 발생시키는 방법에는 여러 가지가 있으나, 본 논문에서는 perturbation segment를 이용하기 위해 사각형 패치의 마주보는 두 귀퉁이를 잘라서 원형편파를 생성하였다.^[4] 이를 위해, 그림 2의 기판두께/파장에 따른 방사효율과 무부하 Q(Q_0)의 관계 그래프에서, Q_0 를 결정한 후, 귀퉁이를 자른 패치의 형상에서, 패치 면적(S)과 잘려진 귀퉁이의 면적(ΔS) 및 Q_0 관계식^[5]으

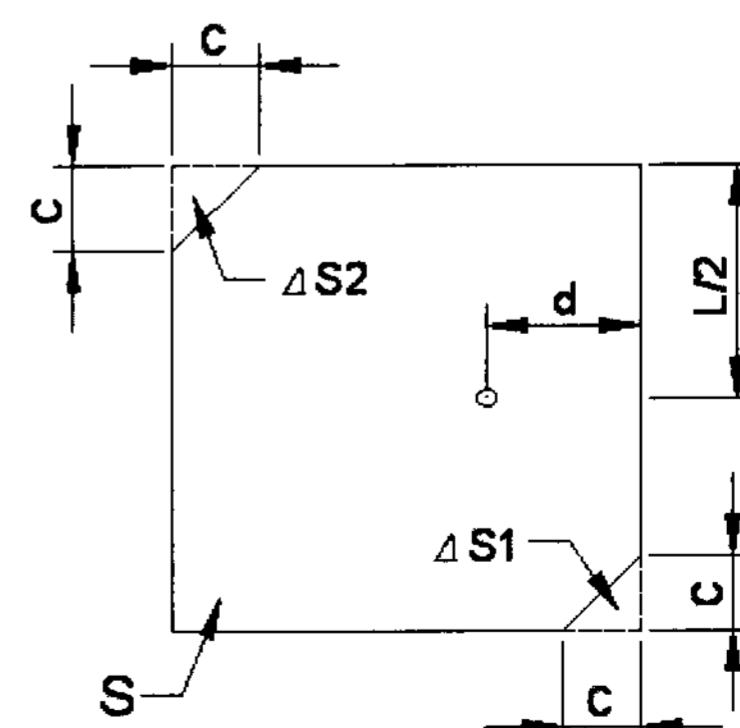


그림 3. 귀퉁이를 자른 형태의 원편파 패치
Fig. 3. Corner-truncated patch antenna.

로부터 그림 3의 Δs 와 잘려진 한 변 c 의 길이를 구할 수 있다.

$$\left| \frac{\Delta s}{S} \right| Q_0 = \frac{1}{2} \quad (3)$$

Q_0 를 결정하기 위해서는 먼저 그림 2의 그래프를 이용하여 패치의 복사효율 η 가 90% 이상이 되도록 무부하 Q 를 선택하고, 식 (3)을 이용하여 원형편파가 발생하기 위해 요구되는 $(\Delta s/S)$ 의 양을 결정한다. S 값은 정해져 있으므로, Δs 를 구하고, $\Delta s = \Delta s_1 + \Delta s_2$, $\Delta s = c^2$ 이므로 이로부터 잘려진 한 변의 길이 c 값을 구할 수 있다.

III. 전자계 시뮬레이션 및 측정 결과

3차원 전자계 해석과 그에 따른 S-파라미터를 구하기 위해서 상용의 HFSS(High Frequency Structure Simulator)를 사용하였다. HFSS는 유한요소법(FEM)을 사용하여 Maxwell 방정식을 전자장의 양으로 계산하여, 이를 고전적인 수학적 기법으로 풀 수 있도록 다시 행렬방정식 형태로 변형시켜서 해석한다.^[6] 본 실험의 해석에 사용하기 위해서, HFSS에서 제공하는 3D Modeler를 사용하여 그림 4(a)와 같이 패치 안테나를 그리고, 재료 특성과 경계조건을 지정하여 전자계 해석을 수행하였다. 본 실험에서는 동축 프로브를 사용한 단일직접급전방식이므로, 그림 4(b)와 같이 동축 프로브를 그려서 내부도체와 외부도체 사이를 입력 포트로 지정하였다.

표 2에 전자계 해석을 위한 사용재료 및 동축 프로브에 대한 관련값을 나타내었다. 급전점의 위치에 따른 안테나 반사손실 변화를 HFSS로 시뮬레이션하여 그림 5에 나타냈다. 패치 가장자리에서의 거리가 8.6[mm]일 때 반사손실이 가장 커졌으므로, 이 경우가 패치면의 임피던스가 $50[\Omega]$ 으로 매칭이 이루어진 것으로 판단된다. 설계 시, 50Ω 동축 프로브를 고려했을 때, 급전점은 식 (2)에 의해, 패치 가장자리로부터 11.6[mm] 떨어진 점으로 계산되었지만, 시뮬레이션 결과 8.6[mm] 떨어진 위치가 적정한 급전점으로 나타났다.

그림 6에서 $d=7.6, 8.6, 9.6[\text{mm}]$ 인 세 가지 급전점을 가지는 원형편파안테나를 실제로 제작 후, 반사특성을 측정하여 이를 시뮬레이션 결과와 비교하였다.

시뮬레이션 결과와 같이, $d=8.6[\text{mm}]$ 일 때, 반사손실이 $-22[\text{dB}]$ 로 가장 커지만, 시뮬레이션 값인 $-35[\text{dB}]$ 와

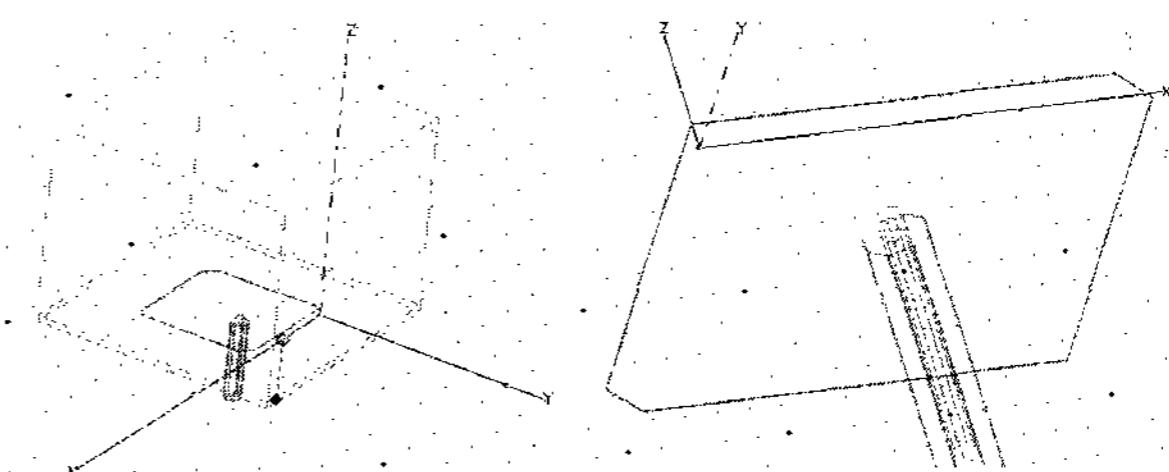


그림 4. HFSS 시뮬레이션을 위한 안테나 및 SMA 커넥터 형상

Fig. 4. Figure of antenna and SMA connector for HFSS simulation

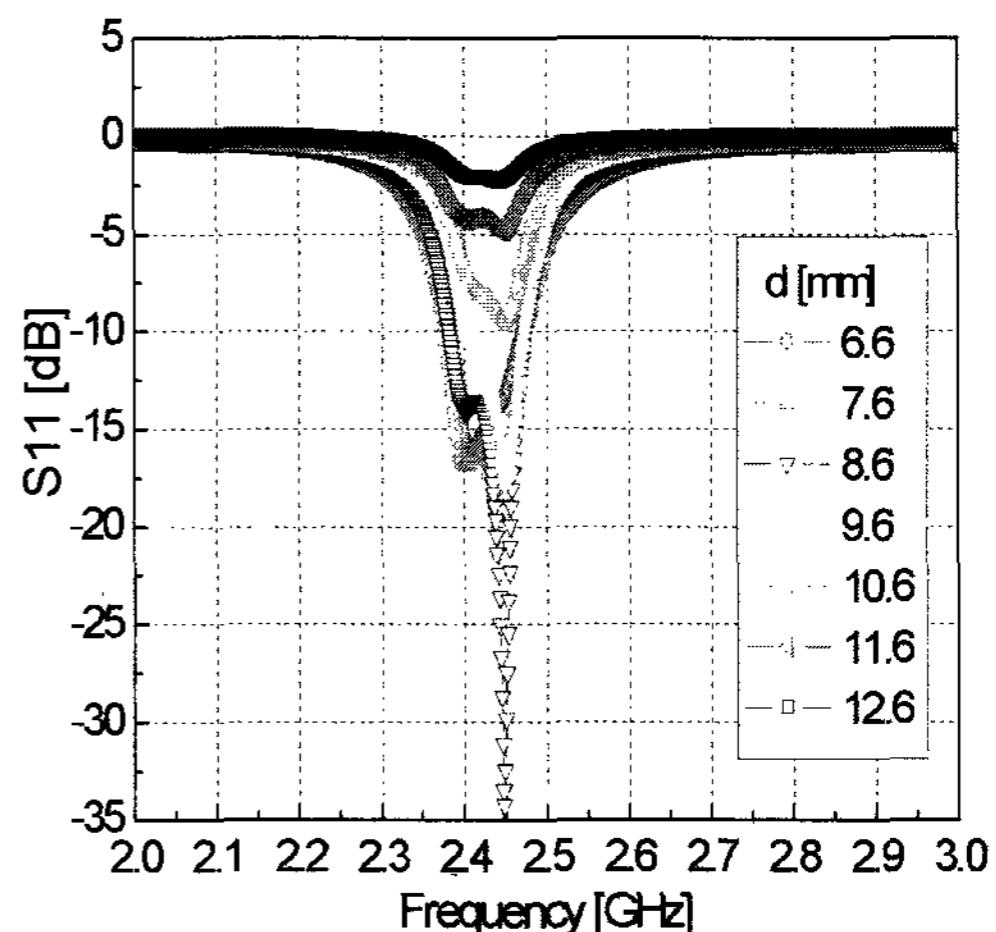


그림 5. 급전점의 위치에 따른 패치안테나의 반사 손실 변화 (HFSS 시뮬레이션 결과)

Fig. 5. Variation of return loss with feed location in patch antenna (Result of HFSS simulation).



사진 1. 실제 제작된 패치 안테나의 형상
Photo 1. Figure of the fabricated patch antenna.

는 많은 차이가 있는데, 이는 커넥터 내도체와 패치면과의 접합 부위에서의 손실, 급전점용 기판 홀과 커넥터 내도체 사이의 공간 형성에 다른 유전손 등에서 기인하는 것으로 보인다. $d=7.6, 9.6[\text{mm}]$ 인 안테나에서 공진주파수가 시뮬레이션 값과 차이가 나는 이유는 안테나 제작 시 패치 패턴의 제작 오차에 기인하는 것으로,

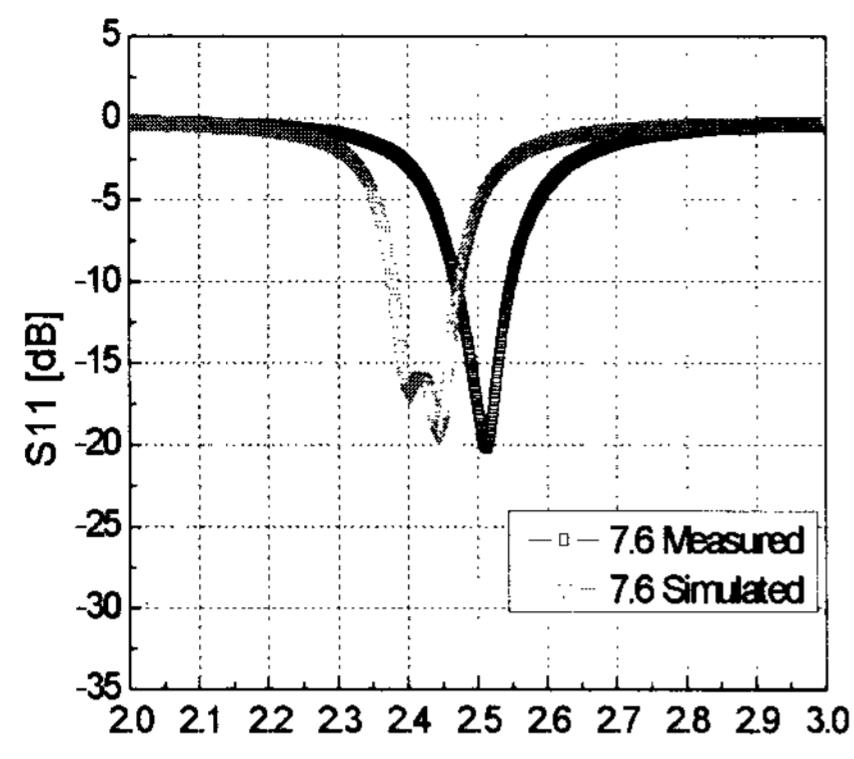
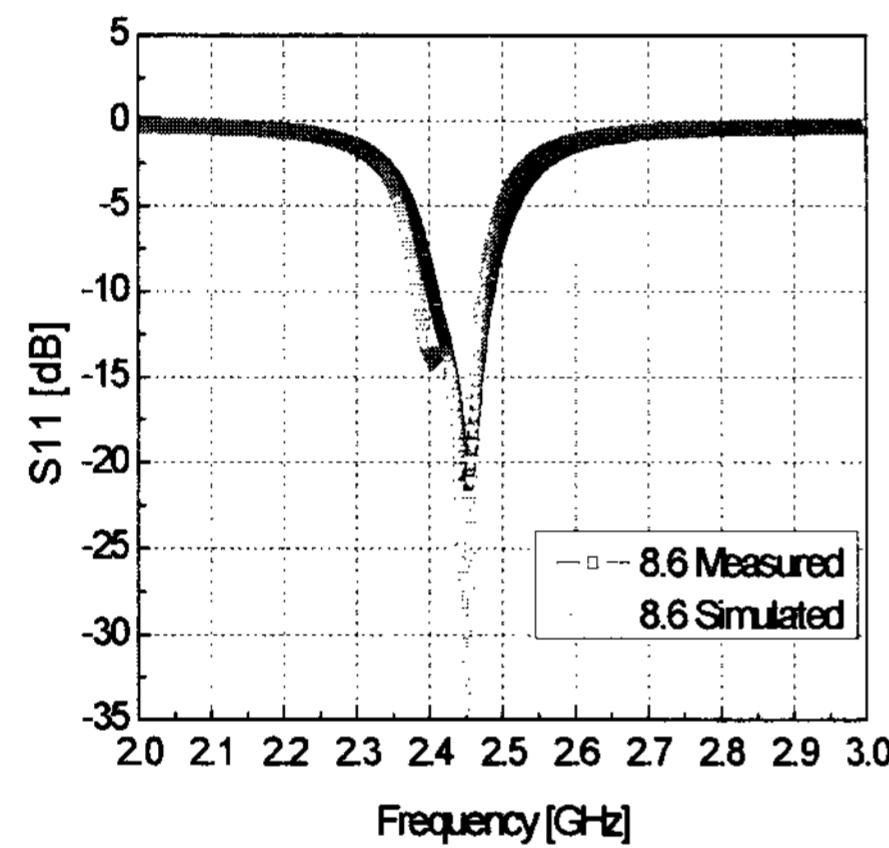
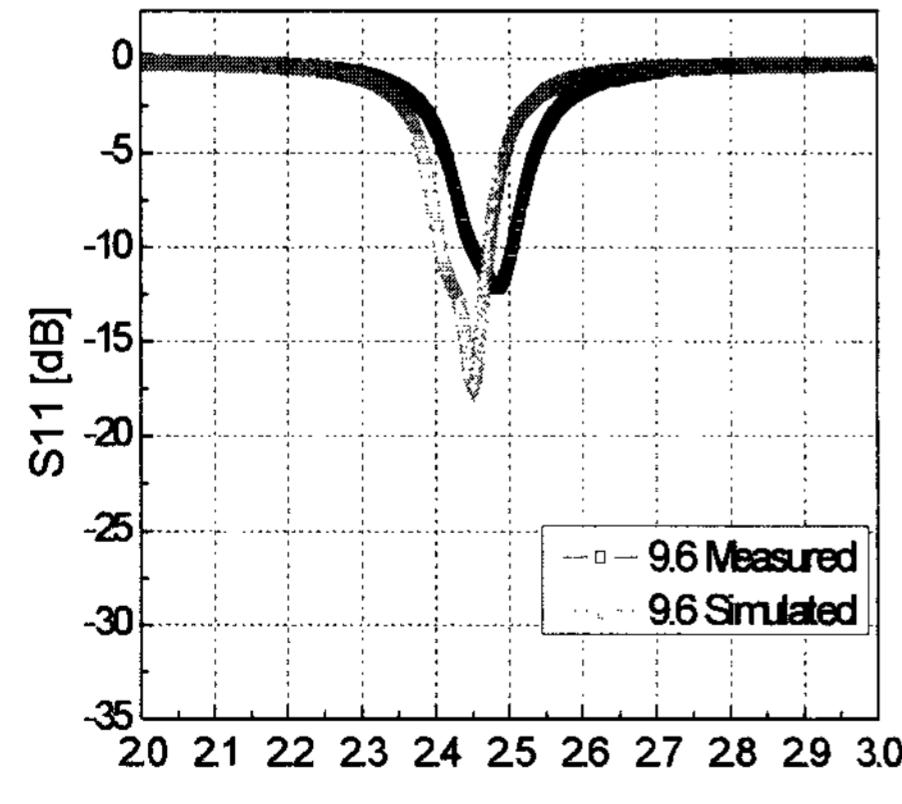
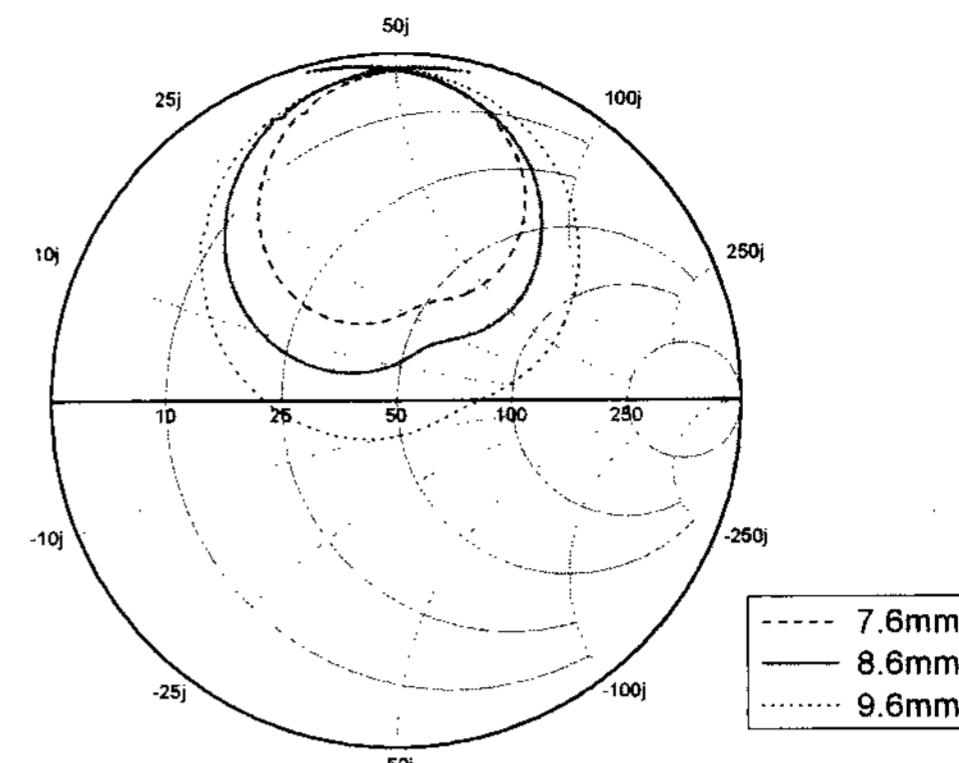
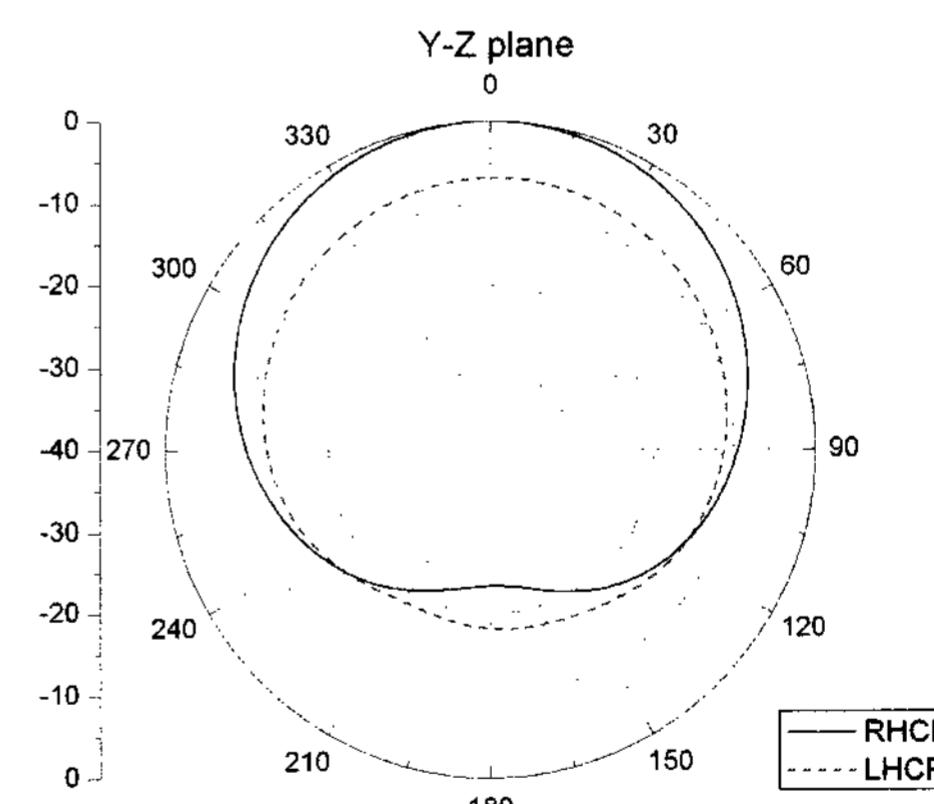
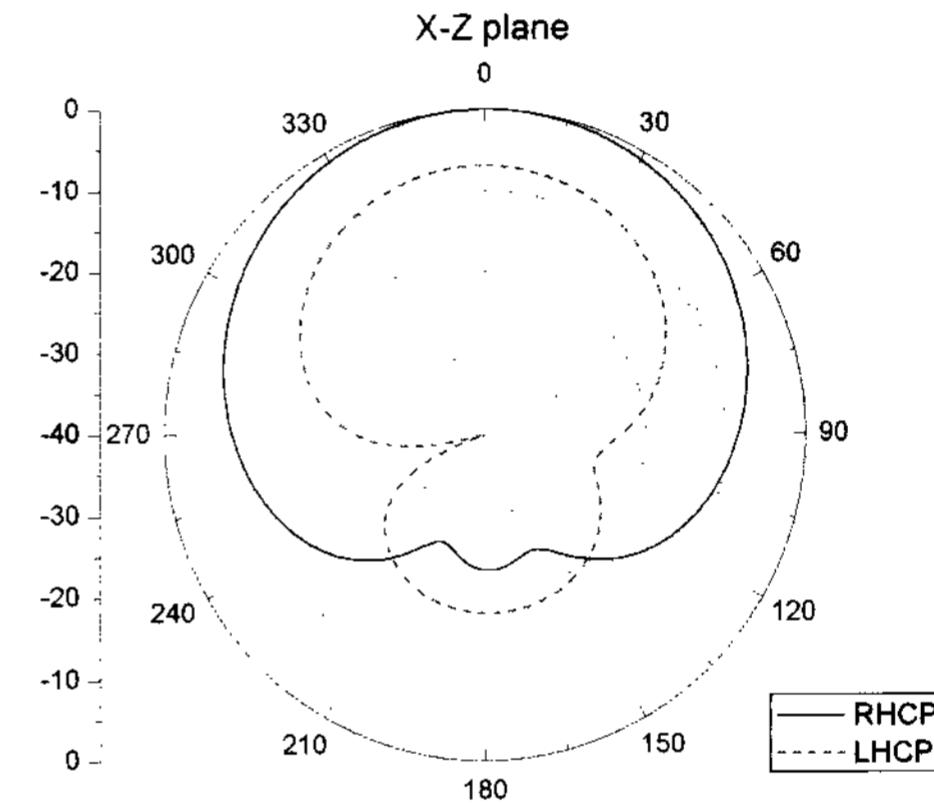
(a) $d=7.6[\text{mm}]$ (b) $d=8.6[\text{mm}]$ (c) $d=9.6[\text{mm}]$

그림 6. 급전점의 위치에 따른 패치안테나의 반사손실 변화

Fig. 6. Variation of return loss with feed location in patch antenna.

그림 7. 급전점의 위치에 따른 패치의 입력 임피던스 ($f=2\sim3\text{GHz}$)Fig. 7. Input impedance of patch with feed location ($f=2\sim3\text{GHz}$).그림 8. $d=8.6[\text{mm}]$ 인 패치 안테나의 방사패턴Fig. 8. Radiation pattern of patch antenna fabricated with $d=8.6[\text{mm}]$.

정확한 공진주파수를 얻기 위해, 치수가 엄격히 관리되어야 하는 것이 패치 안테나의 단점이기도 하다.

실제 제작된 안테나의 형상을 사진 1에 나타내었다.

그림 7은 급전점의 위치에 따른 패치의 입력 임피던스의 변화를 측정하여 Smith Chart상에 나타내었다. 입력 임피던스는 패치의 가장자리에서 멀어질수록 작

표 3. d=8.6[mm]인 패치안테나의 특성

Table 3. Characteristics of patch antenna fabricated with d=8.6[mm].

항목	제작된 안테나 사양
크기	61.3L × 61.3W × 1.58H[mm]
공진 주파수	2.449[GHz]
VSWR	1.2
3dB 범폭	93[°]
선형이득	2.24[dBi]
편파	우수원형편파(RHCP)

아지기 때문에, 모서리에서의 거리가 7.6[mm]인 경우는 미결합(Under-coupled), 9.6[mm]인 경우는 과결합(Over-coupled)⁶⁾이 발생했음을 보여주고 있다.^[6] 따라서 적정한 급전점의 위치는 시뮬레이션의 결과와 같이, 패치 가장자리로부터 8.6[mm]가 적정함을 측정을 통해서도 확인 할 수 있었다.

그림 8에 패치 가장자리로부터 8.6[mm]에서 급전점을 가지는 패치 안테나의 방사특성을 알아보기 위해, 두 개의 직교평면 상에서 관찰된 2.449GHz에서의 방사패턴을 나타내었다. 우수한 우선회원형편파가 얻어졌음을 알 수 있다.

표 3에서는 8.6[mm]에서 급전점을 가지는 패치 안테나의 제 특성을 요약하였다. 표 1에서의 2.45GHz RFID 용 안테나의 일반적인 사양과 비교하였을 때, 공진주파수 및 VSWR은 만족시켰으나, 안테나의 방사패턴이 전반적으로 넓은 형상이므로, 3dB 범폭과 선형이득이 차 이를 보였다. 이는 RFID 시스템에서의 인식거리를 감소시키는 요인이 될 것이므로, 지향성을 보강하기 위해서는 어레이 안테나를 도입하는 등의 새로운 설계가 필요하다고 보인다.

IV. 결 론

본 연구에서는 2.45GHz RFID시스템에서 사용가능한 단일 급전 원편파 패치안테나를 설계, 제작하였다. 이를 위해, 잘 알려진 전자계 시뮬레이터인 HFSS를 사용하여 전자계 해석을 수행한 후, 실제 패치 안테나를 제작, 측정하여 그 결과를 전자계 해석 결과와 비교하였다.

그 결과, 일반적으로 예측하기 곤란한 급전점의 위치를 모의실험을 통해 최적하게 결정할 수 있었다. 제작된 안테나의 특성 측정 결과, Teflon등의 고주파용 기

판이 아닌 상대적으로 저가인 에폭시 기판(FR4)으로도 요구되는 VSWR 및 원편파 특성을 만족하는 안테나를 제작할 수 있었으나, 선형이득이 보강되어야 할 것으로 나타났고, 이를 위해 향후 과제로 어레이 안테나의 적용을 통해 지향성을 개선시켜야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] Klaus Finkenzeller, *RFID Handbook*, Wiley, p.166, 2003.
- [2] R. E. Munson, "Conformal Microstrip Antenna and Microstrip Phase Arrays", *IEEE Trans. Antenna & Propagation*, Vol. AP-22, pp. 74-78, Jan. 1974.
- [3] D. R. Jackson and N. G. Alexopoulos, "Simple Approximate Formulas for Input Resistance, Bandwidth, and Efficiency of a Resonant Rectangular Patch", *IEEE Trans. Antenna & Propagation*, Vol. 3, pp. 407-410, Jan. 1974.
- [4] J. R. James and P. S. Hall, *"Handbook of Microstrip Antenna"*, Peter Peregrinus, 1989.
- [5] 한명우, "GPS 수신용 능동안테나의 설계", 건국대학교 석사학위 논문, 17-21쪽, 1998년
- [6] Kunal Parikh, "Simulation of Rectangular, Single-layer, coaxial-fed patch antennas Using Agilent High Frequency Structure Simulator (HFSS)", Virginia Polytechnic Institute and University, p. 3, Dec. 2003.
- [7] R. B. Waterhouse, "Microstrip Patch Antennas - A Designer's Guide", Kluwer Academic Publishers, p. 46, 2003.

저자소개



박정 흠(정회원)

1990년 연세대학교 전기공학과 학사 졸업.

1992년 연세대학교 전기공학과 석사 졸업.

1998년 연세대학교 전기공학과 박사 졸업.

1992년~1994년 삼성전기 종합연구소 연구원

1998년~2000년 삼성전자 반도체연구소 선임연구원

2000년~현재 김포대학 IT학부 조교수

2003년~2004년 영국 Birmingham Univ. EDT Center 방문연구원

<주관심분야 : 유전체, 암전체 응용소자, RF소자>