

A CPS-type Microstrip Patch Antenna Design for 910MHz RFID Tags

CPS구조를 갖는 910MHz 대역 RFID Tag용 마이크로스트립 패치 안테나 설계

Myung-Sik Son**, Byung-Mo Cho*
손 명 식**, 조 병 모*

Abstract

This paper describes the design of a coplanar-stripline(CPS) antenna without via hole in microstrip patch type for 910MHz RFID tags using the HFSS simulator. In order to obtain the simplified fabrication design of the antenna, we have used only an impedance matching network to match the impedance of a RFID-tag chip to that of the antenna, not using bandpass filter(BPF). In advance of the optimized antenna design, we have obtained and shown a good agreement compared with the published antenna for 5.8GHz in order to verify the simulation parameters in the HFSS. Based on the verified simulation parameters in the HFSS, we have designed and optimized the 910MHz-CPS-type microstrip patch antenna. The designed simulation results of the antenna show that the proposed antenna is very proper for RFID tags with the 910MHz center frequency without via hole in the microstrip patch antenna.

요 약

본 논문에서는 비아홀(via hole) 구조가 필요 없는 910MHz RFID 태그용 CPS(coplanar stripline) 형태의 마이크로스트립 패치 안테나를 HFSS 안테나 설계 시뮬레이션을 통해 최적 설계한 과정 및 그 결과를 나타내었다. 단순한 마이크로스트립 패치 안테나의 제작 구조를 얻기 위해서 비아홀 구조가 없고 대역통과(bandpass) 필터를 사용하지 않았으며, RFID 태그 칩과 안테나간의 임피던스 정합을 위해서만 임피던스 정합 네트워크 회로를 사용하였고, 안테나 크기를 조절해가며 최적 시뮬레이션을 수행하였다. 안테나 설계 시뮬레이션의 신뢰성을 확보하기 위하여 우선 기존에 발표된 5.8GHz에서의 안테나 결과를 이용해 최적화된 HFSS 시뮬레이션 파라미터를 결정하였다. 이를 토대로 비아홀 구조가 필요 없는 910MHz의 중심주파수를 갖는 CPS구조의 마이크로스트립 패치 안테나를 최적 설계하였으며, 본 논문에서 제안된 CPS구조의 패치 안테나가 910MHz RFID 태그에 적용 가능함을 보였다.

Key words : CPS(coplanar stripline), 910MHz, RFID Tag, Microstrip, Patch, Antenna

1. 서론

RFID(Radio Frequency IDentification) 시스템의

* 순천대학교 전자공학과
(Electronic Engineering, Sunchon National Univ.)

★ 교신저자: 손 명 식

※ 본 논문은 정통부 및 정보통신연구진흥원의 지원을 받아 수행된 연구결과임(06-기반-12, 정보통신연구기반조성사업)

接受日:2008年 6月 27日, 修正完了日: 2008年 9月 25日

요소 기술 중 하나인 핵심 소자로서의 RFID 태그(tag)는 IC칩, 안테나 및 패키징으로 구성된다. IC칩에는 사물의 식별 코드나 정보를 저장하며, 리더의 요청에 의해 또는 상황에 따라 스스로 외부에 자신의 정보를 전송 및 수신하기 위한 안테나를 필수적으로 사용한다.

이러한 RFID 태그용 안테나는 전기적 요구 성능뿐만 아니라 칩 및 패키징과 결합이 용이하고, 태그가 부착되는 물질 및 사용되는 환경에 영향을 받지 않는 구조가 되어야 한다.

안테나 설계 기술은 반도체 기술의 발전에 따라

소형 IC칩이 빠르게 구현되어 궁극적으로 특수 환경 및 초소형화 태그를 실현하기 위한 안테나를 웨이퍼 상에 직접 구현하는 안테나 온 칩(antenna on chip) 기술로 발전하는 단계에 있으며, 이러한 안테나-온-칩화에 따른 짧아진 인식거리에 대비한 안테나 구조에 대한 설계 및 제작 구현에 대한 선행 연구도 함께 활발히 진행되어지고 있는 상황이다.

현재 13.56MHz 대역에서는 부하 변조 기능을 할 수 있도록 칩 제어에 따라 임피던스를 변경할 수 있는 구조와 900MHz 대역의 수동형에서는 전력 변환 효율을 높일 수 있도록 칩의 입력 임피던스와의 정교한 정합 기술이 필요한 상황이다. 또한 태그의 글로벌 사용을 위한 860~960MHz 대역에서 동작하는 소형의 광대역 안테나가 요구되며, 제작비용을 줄이기 위한 단일층 구조와 소형으로 100MHz 대역폭을 만족시키는 새로운 안테나 기술 개발 등이 필요하다. 현재로서는 위에서 언급한 주파수 대역들에 다이폴 안테나가 주로 사용되고 있으나, 소형화 및 특수 환경의 금속 RFID 태그(제강이나 제철 제품에 부착하기 위한 RFID 태그)를 위한 마이크로스트립 패치(microstrip patch) 안테나 기술 등이 활발히 연구 개발되고 있다. 또한 개발되어 온 RFID 태그용 안테나 구조는 적용되는 RFID 태그의 사용 환경 및 사용되는 중심 주파수에 따라 특수성을 고려하여 설계 개발되어지고 있다.

특히 금속들로 둘러 싸여져 있는 특수 환경에서 RFID 태그를 성공적으로 적용하기 위해 현재 사용되고 있는 마이크로스트립 패치 안테나 구조를 최적화 설계 개발하기 위해 우선 고려해야 할 사항은 패키징을 고려한 안테나 구조의 단순함 및 이에 따른 안테나 성능의 최적화, 그리고 안테나와 IC칩과의 최적 정합 성능을 보이기 위한 정합 매칭 구조를 갖는 설계가 필수적이다.

본 논문에서는 선행된 연구인 참고 문헌 [1]의 5.8GHz 대역 마이크로스트립 패치 안테나 연구 측정 결과를 바탕으로 그림 1에서 보인 상용 제품 중 하나인 910MHz 금속 태그 제작 공정의 용이성과 경제성 그리고 소형화에 주안점을 두고 중심주파수 910MHz 태그용 안테나를 설계하여 시뮬레이션을 통해 성능을 검증하였다. 마이크로스트립 패치 안테나 제작시 비아홀(via hole) 구조가 필요하지 않은 CPS (coplanar stripline) 구조를 적용하여 제작의 용이성과 경제성을 동시에 추구하였고 파장의 길이를 고려한 안테나 소형화 및 임피던스 매칭 네트워크 회로를 삽입하여 칩과 안테나의 임피던스를 정합함으로써 910MHz 대역 RFID 태그 안테나로 사용가능하도록 최적 설계하였다.

본 논문의 II절에서는 참고 문헌 [1]에서 사용된 시뮬레이션과의 차이를 파악 고려하고, 안테나 설계에

대한 신뢰성 확보를 위하여 동일한 구조의 안테나 디자인과 파라미터를 적용한 시뮬레이션 비교 결과를 통해 안테나 시뮬레이션의 신뢰성을 확보하였음을 보였다. III절에서는 RFID 태그 안테나에 대한 시뮬레이션 검증 결과를 바탕으로 RF회로용 PCB 기판으로 많이 사용되는 듀로이드(duroid) 기판과 유전율이 높은 세라믹(ceramic) 기판을 이용해 910MHz의 중심주파수를 얻도록 CPS구조를 갖는 TPA(truncated patch antenna) 안테나 레이아웃(layout)을 설계한 후 사용 기판에 따른 물리적 소형화를 HFSS 시뮬레이션을 통해 비교 검증하였다. 또한 설계된 비아 홀 공정이 필요 없는 CPS구조의 마이크로스트립 TPA 패치 안테나를 최종적으로 RFID용 IC칩과 임피던스 정합함으로써 910MHz 대역 RFID 태그 안테나용으로 최적 설계하여 그 적용 가능성을 보였다.

II. HFSS 시뮬레이터 파라미터 검증을 위한 안테나 시뮬레이션

선행된 연구 [1]는 중심주파수 5.8GHz에서 동작하는 CPS TPA(truncated patch antenna) 구조를 갖는 렉테나(rectenna) 제작에 관한 내용이었다. 중심주파수 910MHz에서 동작하는 CPS구조를 갖는 TPA 안테나 최적 설계의 신뢰성을 확보하기 위하여 안테나 설계용 HFSS 시뮬레이터의 파라미터 설정 검증이 필요하다.

이를 위해 선행된 연구에서 사용된 시뮬레이터 Zeland IE3D와 본 논문에서 사용한 Ansoft HFSS ver. 10.0의 시뮬레이션 결과 차이를 파악하고 안테나 설계 파라미터의 신뢰성을 확보하기 위해 참고 문헌 [1]에서의 동일한 레이아웃 구조(그림 2)와 기판 재질 특성을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였고, 참고 문헌 [1]에서의 결과(그림 3)와 일치하는 결과(그림 4)를 얻을 수 있었다.

그림 3 과 4 에서 보인 바와 같이 참고 문헌 [1]에서의 5.8GHz 결과와 중심주파수에서 약 200MHz 정도의 차이가 있었음을 확인 할 수 있었으며 전체적인 결과에서 큰 차이가 없음을 확인할 수 있었다. 또한 그림 4의 결과를 통해 HFSS 시뮬레이터의 설계 파라미터 설정에 대한 신뢰성 및 안테나 시뮬레이션 정확성을 확보하였음을 보였다.

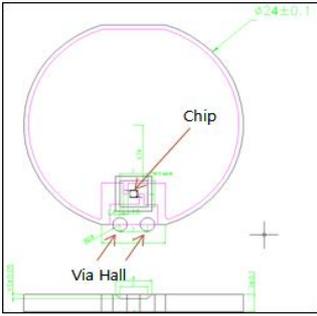


Fig. 1. RFID-tag layout with the microstrip patch antenna, chip, and via-hole

그림 1. 마이크로스트립 구조를 갖는 기존 RFID 태그에서의 안테나, 칩 및 비아 홀 레이아웃 구조

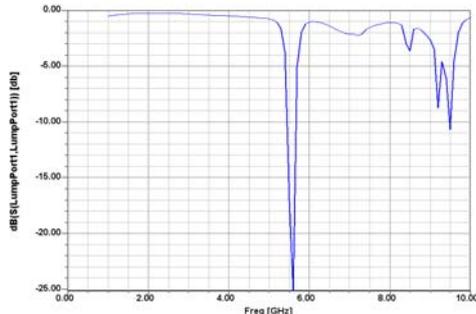


Fig. 4. S₁₁ simulation result of the antenna with the same structure of the published reference [1]

그림 4. 선행 연구된 참고 문헌 [1]에서의 동일한 안테나 구조를 HFSS를 사용한 S₁₁ 안테나 시뮬레이션 결과

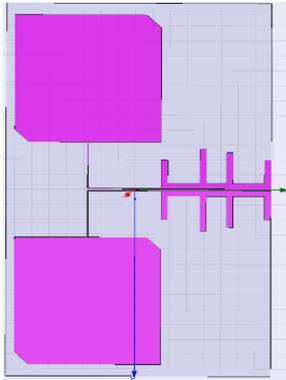


Fig. 2. A CPS-type TPA antenna layout with a bandpass filter

그림 2. 밴드패스 필터(BPF)를 갖는 CPS구조 TPA 안테나 레이아웃[1]

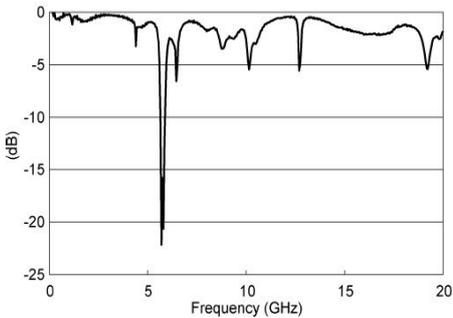


Fig. 3. S₁₁ measurement of the antenna in the published reference [1]

그림 3. 선행 연구된 참고 문헌 [1]에서의 S₁₁ 안테나 반사 특성

III. CPS구조를 갖는 TPA 안테나 설계

1. CPS-TPA 안테나 구조 모델링

TPA 안테나의 구체적인 설계를 위하여 각 변의 길이와 관내 파장을 고려한 레이아웃 설계를 진행하였다[2]. 표 1에 나타난 파라미터 값을 갖는 duroid5880 기판을 이용하는 경우 안테나 크기 및 시뮬레이션 결과를 확인하기 위하여 그림 2에 보인 안테나 레이아웃 구조에서 BPF(대역통과필터)를 제외한 CPS TPA 안테나를 디자인하여 선택 중심주파수 910MHz를 목표로 정사각형 패치 안테나의 크기를 결정하는 시뮬레이션을 우선 수행하였다.

그림 5에 보인바와 같은 단순화한 초기 안테나 레이아웃 구조를 이용하여 정사각형 사각 패치 안테나 각 변의 길이를 결정하였고, 그 시뮬레이션 결과를 그림 6에 나타내었다. 정사각형의 TPA 각 변의 길이는 110mm이고, 잘라낸 코너의 길이는 2.584mm이며 TPA로의 급전선 길이는 중심주파수 파장을 고려하여 55mm로 설계되었고 선폭은 2.54mm로 결정되었다. CPS 방식을 이용한 설계이기 때문에 두 안테나 사이의 간격 역시 $\lambda/4$ 를 고려하여 55mm로 설계하였다. 이러한 안테나 구조를 사용하여 시뮬레이션한 결과 그림 6에서 보는 바와 같이 실제 계획했던 중심주파수보다 약 60MHz 가량 낮은 840~860MHz의 중심주파수가 나타났다. 이 결과를 분석하여 중심주파수 선택성을 910MHz로 이동시키기 위하여 두 안테나 사이의 급전선 간격에 의한 문제로 판단되어 두 안테나 사이의 간격을 54mm부터 58.5mm까지 25 μ m 단위로 시뮬레이션을 수행하였으며 그림 7에 이 결과를 보였다.

그림 8에서 보인 바와 같이 910MHz에 가장 가까운

최적 결과는 급전점을 포함한 두 안테나 사이 간격이 59.172mm일 때 중심주파수 897MHz에서 -15.79dB의 결과를 얻을 수 있었다.

Table 1. Duroid5880 PCB parameters

표 1. Duroid5880 PCB 기판 파라미터

| | |
|------------------------|------------|
| 기판비유전율(ϵ_r) | 2.20 |
| 기판두께(h) | 0.5 mm |
| 관내파장(λ) | 222.20 mm |
| 금속재질 | copper |
| 금속두께(t) | 35 μ m |

Table 2. Ceramic board parameters

표 2. Ceramic 기판 파라미터

| | |
|------------------------|------------|
| 기판비유전율(ϵ_r) | 60 |
| 기판두께(h) | 2 mm |
| 관내파장(λ) | 42.56 mm |
| 금속재질 | silver |
| 금속두께(t) | 35 μ m |

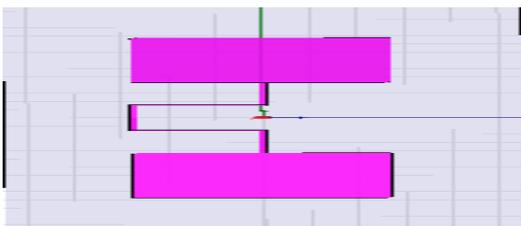


Fig. 5. Antenna simulation layout without the bandpass filter for the 910MHz center frequency with the square microstrip patch [1]

그림 5. 910MHz 주파수 선택성을 목표로 BPF를 제거한 구조로 설계한 정사각형 마이크로스트립 패치 안테나 레이아웃

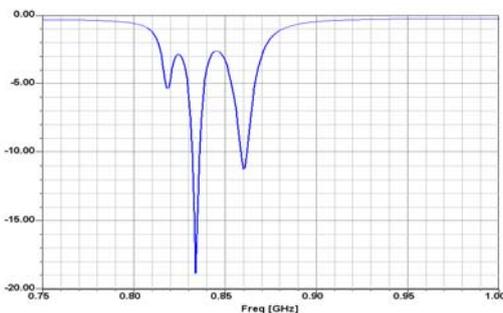


Fig. 6. S_{11} simulation result of the antenna without the

bandpass filter for the 910MHz center frequency with the square microstrip patch [1]

그림 6. 910MHz 주파수 선택성을 목표로 BPF를 제거한 구조로 설계한 정사각형 마이크로스트립 패치 안테나 레이아웃의 S_{11} 시뮬레이션 결과

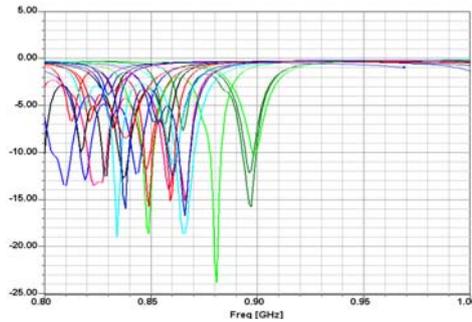


Fig. 7. S_{11} simulation results of the antenna sweeping the gap distance from 54mm to 58.5mm in 25 μ m unit without the bandpass filter for the 910MHz center frequency with the square microstrip patch

그림 7. 두 패치 안테나 사이 간격을 54mm부터 58.5mm까지 25 μ m 단위로 시뮬레이션을 수행한 결과

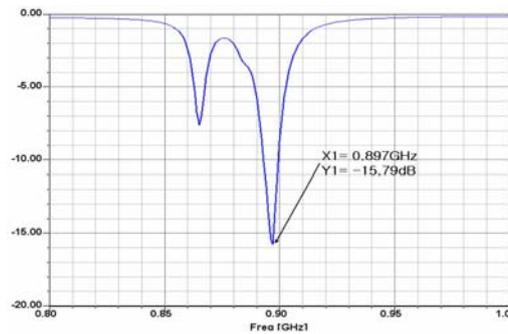


Fig. 8. S_{11} simulation result of the antenna with 897MHz center frequency at the gap distance of 59.172mm without the bandpass filter in the square microstrip patch

그림 8. 두 패치 안테나 사이 간격이 59.172mm일 때 중심주파수 897MHz를 보여주는 S_{11} 시뮬레이션 결과

2. TPA 안테나 소형화 최적 설계

위 소절에서 언급한 910MHz TPA 안테나 설계는 참고 문헌 [1] 결과에서 사용된 동일한 재질의 듀로이드 기판을 사용하여 설계한 결과로 중심주파수 910MHz 주파수 선택성을 만족하는 안테나 크기가 매우 커서 태그에 적용하기에는 다소 큰 문제가 여전히 남아 있게 되었다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 안테나 크기를 줄여 최적 소형화하기 위해 비유전율이 높은 기판

물질을 사용하여 소형화 설계를 수행하였다..

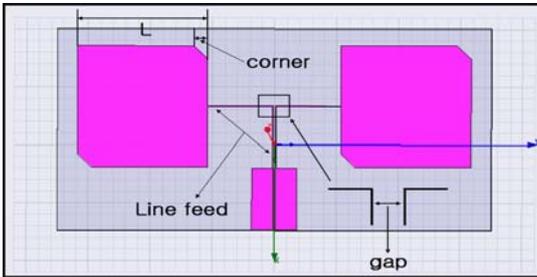


Fig. 9. CPS-type TPA antenna layout for the 910MHz center frequency through $\lambda/4$ transforming by the gap distance without the bandpass filter in the square microstrip patch

그림 9. 910MHz CPS TPA + $\lambda/4$ 변환기 모델링을 통한 안테나 레이아웃 구조

안테나의 길이는 주어진 식 (1) [4]을 이용하여 관내 파장을 고려하여 계산한 결과 20.85mm이었다..

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

또한 라인피드(line feed) 간격(gap)은 0.3mm이며 원형편파 생성을 위해 안테나의 코너 부분을 자른 길이는 1.9mm이다. 그리고 라인피드(feed) 길이는 $\lambda/4$ 이며 칩 임피던스와의 매칭을 위해 사용된 매칭 네트워크는 $\lambda/4$ 변환기를 이용하였다. 또한 주어진 식 (2) [4]를 이용하여 협폭의 선폭을 0.15mm로 구하였다.

$$Z_0 = \frac{Z_f}{2\pi \sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left(8 \frac{h}{w} + \frac{w}{4h} \right) \quad (2)$$

주파수가 910MHz의 UHF 대역이기 때문에 기판의 비유전율이 낮은 경우 안테나 및 기판의 크기가 커지는 문제점이 발생하여 비유전율이 높은 세라믹 기판을 이용하여 안테나 및 기판의 크기를 소형화하고, 그림 9에 보인 바와 같은 CPS구조 레이아웃을 갖는 안테나 설계 시뮬레이션을 수행하였으며, 칩과 안테나간의 임피던스 정합을 위해 임피던스 매칭 네트워크 분포소자를 이용해 정합되도록 최적 설계하였다.

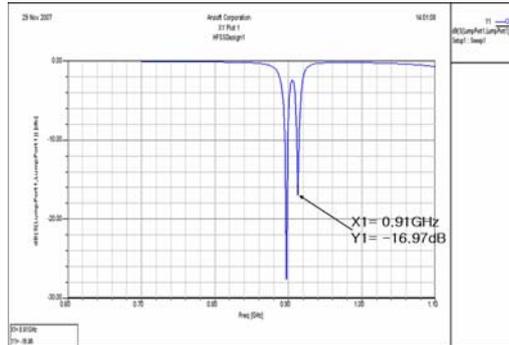


Fig. 10. Optimized simulation result of S_{11} with the CPS-type TPA layout for the 910MHz center frequency through $\lambda/4$ transforming by the gap distance without the bandpass filter in the square microstrip patch

그림 10. CPS TPA+Impedance Matching Network 안테나 최적 설계된 S_{11} 시뮬레이션 결과

그림 10에서는 마이크로스트립 CPS구조를 갖는 TPA와 RFID IC칩과의 임피던스 정합을 위한 매칭 네트워크 분포 레이아웃을 갖는 최적 설계된 S_{11} 반사 특성을 나타내 보였다. 중심주파수 910MHz에서 -16.97dB의 양호한 S_{11} 반사 특성을 얻었다.

그림 11에서는 최종 설계된 안테나의 방사 패턴이다. 원형편파를 발생시키기 위해 TPA를 적용한 결과 우원편파(RHCP)와 좌원편파(LHCP)를 모두 방사되기는 하지만 좌원편파에서 우수한 방사특성이 나올 수 있다.

표 3에 보인 바와 같이 듀로이드 기판을 사용하였을 때보다 비유전율이 높은 세라믹 기판을 사용하였을 때 안테나 크기가 1/5로 소형화되었음을 확인할 수가 있었다.

표 4에서 최종 설계된 안테나 특성을 요약하여 나타내었다. 중심주파수 913MHz에서 S_{11} 은 -16.97dB의 우수한 특성을 보였다.

IV. 결론

HFSS 시뮬레이션 최적 설계를 통해 듀로이드5880 기판을 사용하여 제작한 안테나보다 유전율이 높은 세라믹 기판에서 보다 소형화된 913MHz 대역 CPS TPA 안테나를 디자인하여 설계 결과를 얻을 수 있었다.

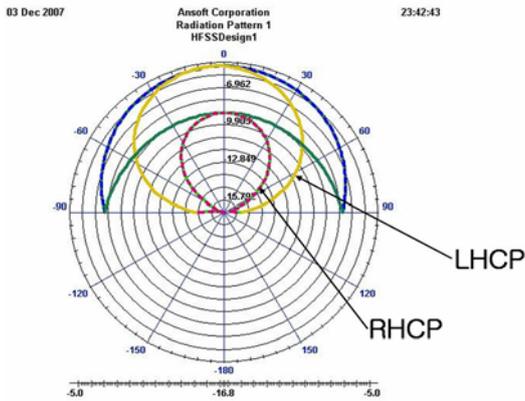


Fig. 11. Simulation result of the antenna radiation pattern with the CPS-type TPA layout for the 910MHz center frequency through $\lambda/4$ transforming by the gap distance without the bandpass filter in the square microstrip patch

그림 11. CPA TPA+impedance Matching Network 안테나의 방사 패턴

Table 3. Comparison of the antenna size on the duroid5880 PCB and the ceramic board

표 3. 듀로이드 기판과 세라믹 기판에서의 910MHz대역 안테나 크기 비교

| 항 목 | duroid5880 | ceramic |
|----------------------|------------|----------|
| 비유전율(ϵ_r) | 2.2 | 60 |
| 관내파장(λ) | 22.22 cm | 42.56 mm |
| 안테나의 크기 | 110 mm | 20.85 mm |

Table 4. The optimized size and characteristics of the designed antenna on the microstrip ceramic board

표 4. 세라믹 기판에서의 최종 설계된 안테나 특성

| 항 목 | 설계된 안테나 사양 |
|-----------------|---------------------|
| 공진주파수 | 913 MHz |
| 크 기 | 20.85 mm × 20.85 mm |
| 잘린 코너 길이 | 1.9 mm |
| 두 라인 피드 간격 | 0.3 mm |
| VSWR | 1.25 |
| S ₁₁ | -16.97dB |
| 편파 우수성 | LHCP(좌원편파) |

실제 제작 및 측정을 하지 못하였기 때문에 100%

의 신뢰성을 얻지는 못하였다. 그러나 앞에서 선행된 시뮬레이션 설계의 신뢰도를 확보하기 위해서 선행 연구 제작된 안테나 구조를 시뮬레이션하여 측정 결과와 비교함으로써 만족할 만한 타당성을 어느 정도는 확보하였다고 여겨진다.

추후 진행할 연구는 설계된 안테나 구조를 실제 제작하고 안테나 특성을 측정하여 시뮬레이션 설계와 비교 수정하면서 최적 설계 레이아웃을 구하는 연구를 진행할 예정이다.

본 논문에서 설계된 CPS구조를 갖는 안테나 레이아웃 설계 결과를 바탕으로 910MHz 대역 RFID 태그를 제작한다면 비아홀을 만들 필요가 없기 때문에 공정 및 제조비용을 절감할 수 있으리라 기대된다.

참고문헌

- [1] Yu-Jiun Ren, Kai Chang, "5.8-GHz Circularly Polarized Dual-Diode Rectenna and Rectenna Array for Microwave Power Transmission", *IEEE Trans. MTT*, vol. 54, issue 4, pp. 1495-1502, 2006
- [2] 박정희, "하이크로파 무선전력전송을 위한 렉테나 설계와 구현," *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installations Engineers*, vol. 20, No .6, pp. 43-48, 2006
- [3] Ansoft Corporation, User's guide - *High Frequency Structure Simulator v.10.0*
- [4] Warren L. Stutzman And Gary A.Thiele, *Antenna Theory and Design*, 2nd Edition, 1998
- [5] 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.

 저 자 소 개

손 명 식 (정회원)



1992년 : 중앙대학교
전자공학과 졸업 (공학사)
1995년 : 중앙대학교 대학원
전자공학과 (공학석사)
1999년 : 중앙대학교 대학원
전자공학과 (공학박사)
2005년 2월~현재 :
순천대학교 정보통신공학부

전자공학과 조교수

<주관심분야> 반도체 공정/소자/회로 모델링 및
시뮬레이션, 안테나 및 RFIC 집적회로 설계

조 병 모 (정회원)



1982년 : 인하대학교 전자공학과
졸업 (공학사)
1984년 : 연세대학교 대학원
전자공학과 (공학석사)
1991년 : 연세대학교 대학원
전자공학과 (공학박사)
1991년 3월~현재 : 순천대학교
정보통신공학부 전자공학과 교수

<주관심분야> Digital Signal Processing,
Multirate/SubBand Signal Processing