

이중편파 다이버시티 특성을 갖는 사각 링 구조의 능동형 패치 안테나에 관한 연구

A Study on Rectangular-Ring Patch Active Antenna with Dual Polarization Diversity

윤기호*
Gi-Ho Yun*

Abstract

This paper describes a compact microstrip active antenna with dual polarization. The antenna, receiving both a left-hand circularly polarized wave and a right-hand circularly polarized wave, has a function of polarization diversity. A square-shaped empty room is located on the inside of the microstrip radiator so that the size has been reduced. And slots are added around feeding point to improve input matching. Also, amplifier and switching circuitry are placed at the empty room to increase antenna gain and to select one of the circular polarizations, respectively. The proposed antenna has been applied to GPS(global positioning system). The measurement results show that it has 10dB-impedance bandwidth, 3dB axial bandwidth of about 50MHz, 3dB beamwidth of 90degree, and gain of 13dBi, respectively, for RHCP. Also, it has 3dB axial bandwidth of about 50MHz, 3dB beamwidth of 84 degree, and gain of 12dBi, respectively, for LHCP.

요 약

본 논문에서는 이중 원형 편파 특성을 갖는 소형 마이크로스트립 능동 안테나에 대해 기술하였다. 제안된 안테나는 좌수원형편파와 우수원형편파를 선택하여 수신할 수 있는 다이버시티 기능을 갖는다. 방사체용 마이크로 스트립 패치의 내부에 정사각형 빈 공간을 두어 소형화를 시켰으며 급전선로 주변에 슬롯을 위치시켜 임피던스 정합이 용이하게 하였다. 정사각형 빈 공간에는 스위치와 증폭기 회로들이 설계되었으며 이를 통해 편파 모드 선택과 안테나 이득을 증가시켰다. 제안된 안테나는 GPS 에 적용하였으며 임피던스 대역폭을 만족한다. 제작된 안테나는 우수원형편파 동작 시, 3dB 축비 대역폭은 약 50MHz, 3dB 빔 각도는 90도, 13dBi 의 안테나 이득이 측정되었다. 또한 좌수원형편파 동작 시, 3dB 축비 대역폭은 약 50MHz, 3dB 빔 각도는 84도, 약 12dBi 의 안테나 이득이 측정되었다.

Key words : Active Antenna, Polarization, Microstrip, Ring Patch

1. 서론

최근에 서비스 되고 있는 이동통신을 비롯한 소형 무선통신 단말기들에 대해 소형화는 물론 보다 나은 안테나 특성을 구현되기 위해 많은 연구가 이루어지고 있다.

[1][2]. 또한 이들은 반사, 산란, 회절 등의 복잡한 전파 환경을 가지는 실내 또는 도심환경에서 동작되고 있어 이로 인한 신호의 페이딩(fading)을 극복해야 한다. 이를 위한 여러 방법들 중에서 편파(polarization) 다이버시티(diversity) 방식이 회로규모가 작고 효율적이어서 널리 이용되고 있다[3][4]. 특히 우수원형편파(RHCP, right hand circular polarization)와 좌수원형편파(LHCP, left hand circular polarization)들을 선택적으로 스위칭 하는 원형 편파 다이버시티 방식이 선형편파(수직, 수평)들 간의 다이버시티 특성보다 우수하다고 보고되

*성결대학교 정보통신공학부
(Dept. of Information and Communication Engineering, Sungkyul University)
接受日:2009年 8月 27日, 修正完了日: 2009年 9月 26日

었다[5]. 한편, 소형패치 안테나를 이용한 편파다이버시티에 관한 논문은 최근 2.4GHz ISM 대역의 응용에서 보고[6]된 바 있으나 선형편파 방식이며 소형화에 한계가 있는 구조이다.

본 논문에서는 다중경로 페이딩 하에서 동작하는 무선통신 단말기에 적용될 수 있도록 원형편파 다이버시티 기능과 함께 높은 안테나 이득을 갖는 소형 마이크로스트립 능동안테나를 제안한다. 방사패치의 소형화를 위해 전통적인 마이크로스트립 패치에서 중심부분을 정사각형 모양으로 제거하여 원형편파 특성을 갖는 사각 링(ring) 형태로 제작하였으며, 급전선의 임피던스 정합 특성을 개선하기 위해 급전 부 주위에 slot 들을 두었다. 중심부의 빈 공간에는 RHCP와 LHCP들을 선택하여 수신하기 위한 스위치 회로들이 위치해 있고, 이의 출력은 고주파 증폭기에서 증폭되고 최종 출력된다. 본 논문에서 제안된 방식은 GPS(global positioning system)에 적용되어 수신 장치의 성능을 개선할 수 있도록 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 본 연구에서 제안된 구조의 동작이론과 설계결과를 제시하였으며, 이를 토대로 3장에서는 실험결과와 함께 결과를 분석을 하였고, 4장에서는 결론을 맺었다.

II. 본론

1. Square Ring Patch 이론 및 기본구조

전통적인 사각 마이크로스트립 안테나에서 원형 편파를 구현하기 위해서는 급전구조의 위상에 의존하는 방식, 패치의 모서리를 자르기는 방식, 그리고 사각패치의 측면 길이를 달리하여 2개의 공진모드(TM₀₁, TM₁₀)를 형성시키는 방식[7]들을 사용하였다. 또한 방사패치의 소형화위해 그림 1과 같이 마이크로스트립 안테나 중앙부분을 제거하여 전류길이를 늘림으로써 기본형 패치보다 소형화하기도 한다[8][9].

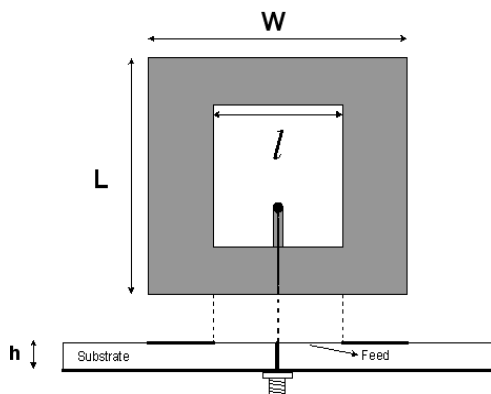


Fig. 1. Square ring patch structure
그림 1. 사각 링형 패치의 기본구조

한편 그림 1에서 원형편파를 만들어주기 위해 패치의 외곽 변의 길이인 W와 L을 서로 달리하였다. 또한 사각패치를 소형화하기 위해 패치의 내부에 정사각형 형태의 공간을 제거하였으며 정사각형의 한 변을 통해 급전선로를 연결하고 비아(via)홀을 통해 패치에 급전한다. 이때 정사각형 한 변의 길이(l)가 커질수록 소형화의 장점이 있지만 입력 임피던스가 증가하고 협대역화의 문제점이 있다.

이를 개선시키기 위해 본 연구에서는 그림 2와 같이 급전부분을 중심으로 방사패치를 45도 회전시켜 급전선과 개방 끝(open end)인 삼각형 꼭짓점 사이에 전류 경로를 늘림으로써 급전 입력임피던스를 낮출 수 있다. 또한 다중 경로로 인한 페이딩 현상을 경감하기 위한 방법으로 원형편파 다이버시티 환경을 구축하기 위해, 급전선로를 추가하여 2개의 급전선로를 두었다. 이들 2개의 급전선은 상호간에 간섭이 최소화되도록 서로 직각이 되는 지점에 위치하고 있으며 [10], 서로 다른 원형편파 특성을 나타낸다. 아울러 그림 3처럼 패치 주위에 4개의 슬롯을 추가함으로써 급전선과 삼각형 꼭짓점 사이에 전류경로가 더욱 늘어나 슬롯의 길이(Ls)에 따라 임피던스 정합을 용이하게 할 수 있을 뿐만 아니라 공진주파수가 낮아지는 효과를 가져와 안테나를 작게 만들 수 있다.

제안된 사각 링 패치 안테나는 FR4 Epoxy 기판을 사용하였으며, 급전은 비아(via) 홀을 통한 프로브(probe) 급전방식으로 패치내부의 정사각형 빈 공간에 있는 2개의 급전선로와 연결된다. 편파 다이버시티 기능을 위한 2개의 급전 선로는 서로 직각이 되도록 하며 그림 3에서 포트1에서는 RHCP(right handed circular polarization)로 동작하고, 포트 2에서는

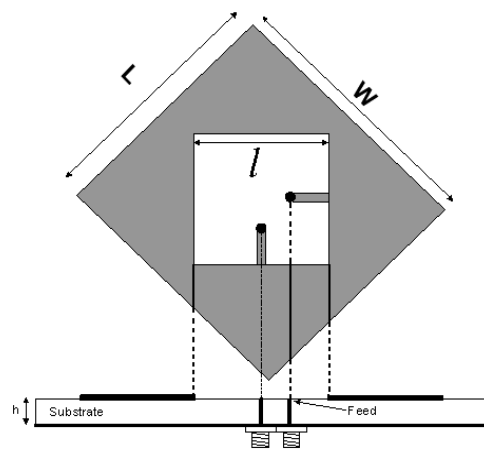


Fig. 2. 45° degree rotated square ring patch
그림 2. 45°로 회전된 정사각형 링패치

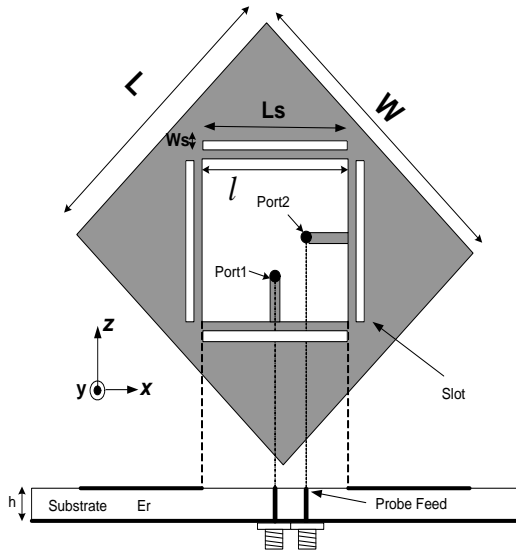


Fig. 3. Added slot of Square Ring Patch
그림 3. 슬롯이 추가된 사각 링형 패치

LHCP(left handed circular polarization)로 동작되도록 패치 외곽길이들(L,W)이 조정된다. 이들 편파들을 선택적으로 수신하기 위해 각각의 급전라인에 스위치를 연결하였으며 패치의 내부 빈 공간에 위치시켰다. 이 스위치는 두 개의 편파 중 하나를 선택하기 위해 외부 수신기의 제어신호에 따라 동작된다.

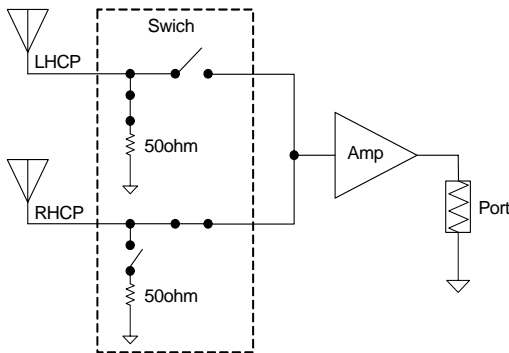


Fig. 4. Schematic of active circuitry including amplifier and switch
그림 4. 스위치와 증폭기를 포함한 능동회로 구성도

그림4는 방사패치의 내부 정사각형 빈 공간에 위치한 능동회로들의 블록 구성을 나타낸다. 방사패치의 2개의 급전포트에서 구현되는 RHCP와 LHCP가 안테나 심벌로 표시되었고, 이들 각각에 스위치 어셈블리(assembly)가 연결되었다. 안테나회로 전체와 연결되는 수신기에서 오는 제어신호에 따라 스위치가 제어되어 원형편파들 중에 하나가 선택된다. 선택된 편파 신호는 증폭기를 거치면서 일정레벨의 신호로 증

폭하게 되어 수신기의 수신감도 개선에 기여한다. 선택되지 않는 원형편파신호는 스위치 내부 상에서 50 ohm으로 종단되어 다른 경로의 임피던스에 영향을 주지 않는다. 이 두 원형편파 간의 격리도는 스위치와 방사패치의 포트 간 격리도 성능에 준한다.

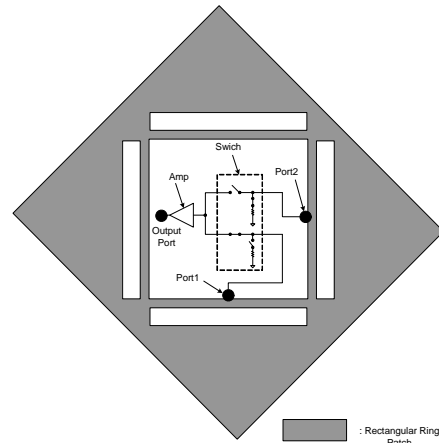


Fig. 5. The structure of a proposed antenna
그림 5. 제안된 능동안테나 구조

그림 5는 본 논문에서 제안된 안테나의 전체 구조를 나타낸다. 방사패치의 2개의 급전포트들(port 1, port2)은 각각 서로 다른 원형편파를 발생시키며, 스위치 어셈블리의 단자들과 연결을 갖는다. 이들의 연결은 마이크로스트립 선로로 구현된다. 스위치에서 선택된 신호는 증폭기를 거쳐 최종 출력단자(output port)에서 출력되어 수신기로 입력된다.

2. 안테나 설계

본 논문에서 제안된 안테나는 1.5GHz 대역에서 동작하는 GPS시스템에 적용하여 RHCP를 기본으로 수신하며, 다중 경로 페이딩으로 변형된 LHCP 신호를 선택적으로 수신한다. 먼저 원형편파가 발생될 수 있도록 상호 직교된 두 개의 공진모드를 형성시키기 위해 방사패치의 외곽 길이인 L과 W 값을 설정한다. 제안된 안테나를 해석을 위해 Ansoft사의 HFSS툴을 이용하였다.

그림 6에서는 원형편파특성을 갖도록 설계된 방사패치에 대해, 각 포트들의 반사특성(S11, S22)으로부터 얻어진 임피던스 특성들의 시뮬레이션 결과를 스미스 차트 상에 보여준다. 50옴 근처에서 딥(dip)점이 형성되어 이 지점에서 2개의 공진모드의 임피던스가 합쳐진 것을 볼 수 있다. 그림 7은 원형편파의 특성을 나타내는 3dB 축비 대역폭을 보여주고 있

으며 시뮬레이션 결과 1.555GHz~1.615GHz로 약 60MHz대역폭을 갖는다. 방사패치가 대칭구조이므로 RHCP와 LHCP 모두 같은 특성을 나타낸다.

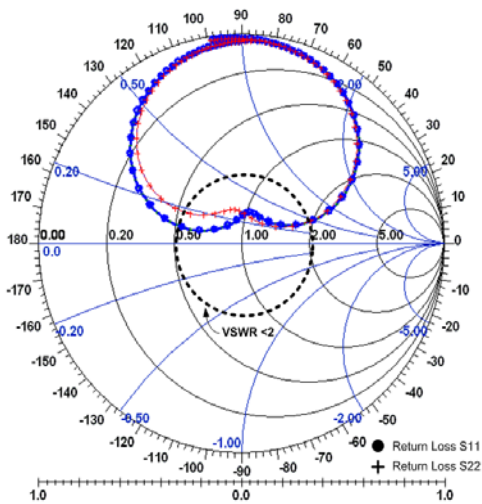


Fig. 6. Simulated return loss at each feeding port
그림 6. 각 급전포트에서 반사손실에 대한 시뮬레이션결과

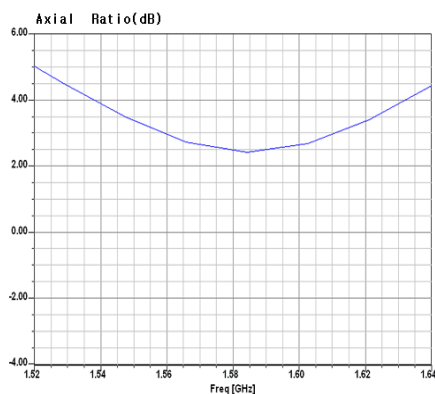


Fig. 7. Simulated 3dB Axial Bandwidth for the patch
그림 7. 방사패치의 3dB 축비 대역폭 시뮬레이션결과

그림 8은 급전 선로를 따라 연결된 방사패치 상의 슬롯(slot) 주변의 전류 분포를 나타낸다. 방사 패치 상에서 전류분포 형성이 슬롯 주변을 따라 형성하게 되므로 전류경로가 길어지는 효과를 볼 수 있다. 즉, 슬롯의 길이(Ls)를 조정하여 임피던스 정합을 용이하게 할 수 있는 환경을 얻어낸다. 그림 9에는 제안된 안테나가 RHCP로 동작시 E-plane 방사패턴의 시뮬레이션 결과를 보여주며 그림10에는 LHCP로 동작시 E-plane 방사패턴의 시뮬레이션결과를 나타낸다. 이들 모두 3dB 빔폭은 100° 이상의 전면 방향성을 갖는다.

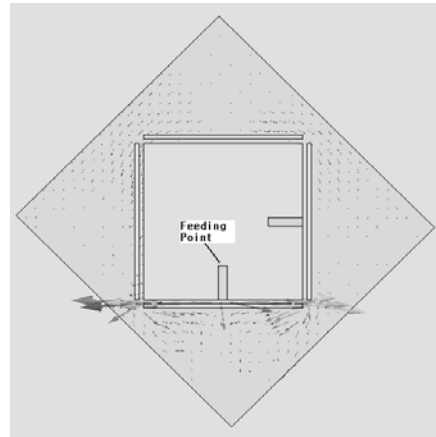


Fig. 8. Distributed current path along the feed line
그림 8. 급전선로 주위의 전류 분포

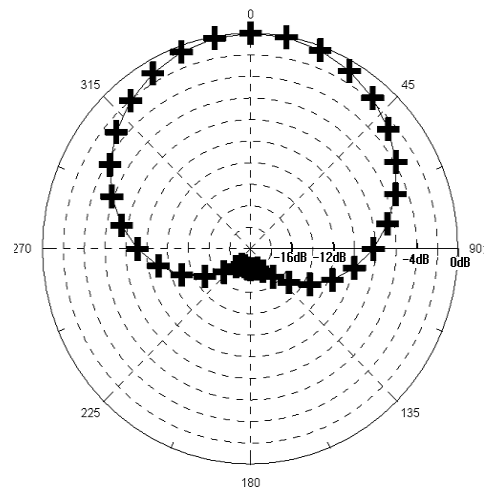


Fig. 9. Simulated RHCP radiation pattern(E-plane)
그림 9. RHCP 방사패턴 시뮬레이션 결과(E-plane)

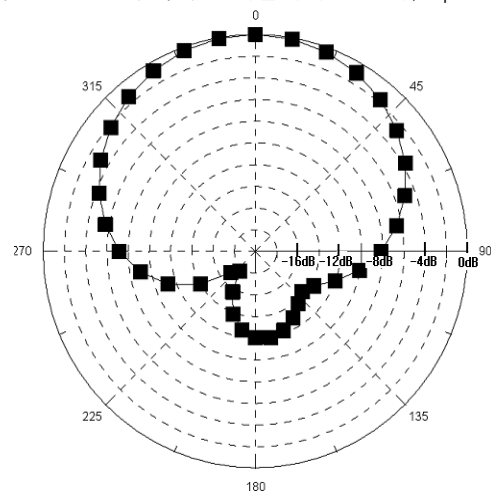


Fig. 10. Simulated LHCP radiation pattern(E-plane)
그림 10. LHCP 방사패턴 시뮬레이션 결과(E-plane)

3. 능동 안테나의 제작 및 측정

안테나의 성능검증을 위해 FR4(유전율: 4.4, 보드 높이: 1.6mm) Epoxy 기판을 이용하여 제작하였으며 그림 11에서 볼 수 있다. 방사체 외곽길이 L은 33.5mm, W는 35mm 이다. 전통적인 방사패치의 크기에 비해 약 40%의 크기 축소가 이루어졌다. 급전선로 주위의 슬롯의 폭 Ws는 0.5mm 이며, 길이는 18.5mm 이다. 또한 방사패치 내부의 정사각형 한 변의 길이 l 은 20mm 이다. 능동회로에 있는 스위치는 Analog device 사의 ADG918을, 증폭기용 소자로는 저잡음 특성이 우수한 Agilent 사의 ATF-55143을 사용하였다.

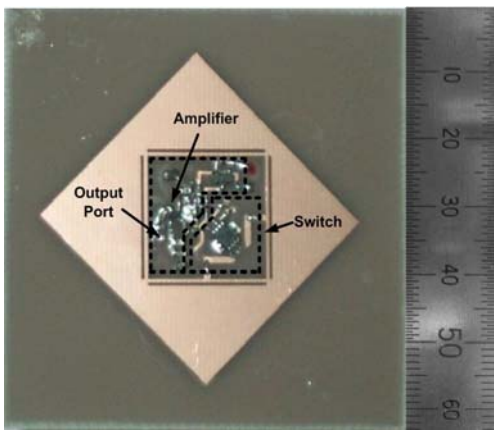
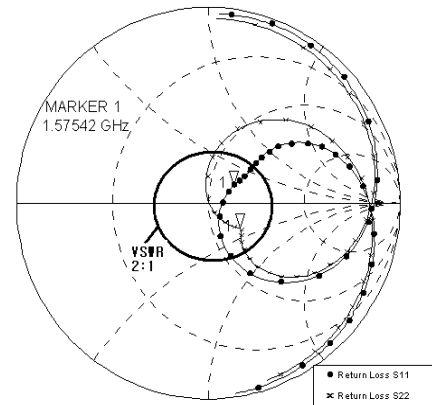


Fig. 11. The photograph of the fabricated Antenna
그림 11. 제작된 능동안테나의 사진

그림 11에서 방사체의 내부 빈 공간에 스위치회로와 증폭기 회로가 삽입되었으며 최종 출력 단(output port)은 비아(via)홀을 통해 안테나와 연결되는 고주파 front-end 회로의 수신부에 연결된다. 제작된 안테나는 2개의 원형편파 특성을 나타내므로 RHCP로 동작하는 경우와 LHCP로 동작하는 경우를 각기 구분하여 특성을 측정하도록 한다. 따라서 각 편파모드를 선택하기 위해 외부에서 제어전압을 인가하였다. 또한 안테나의 입력임피던스와 축비 등의 성능 개선을 위하여 급전선로 주위의 슬롯의 길이(Ls)와 방사체의 각 변의 길이(L,W)들을 시뮬레이션 값을 기초로 조정하였다.

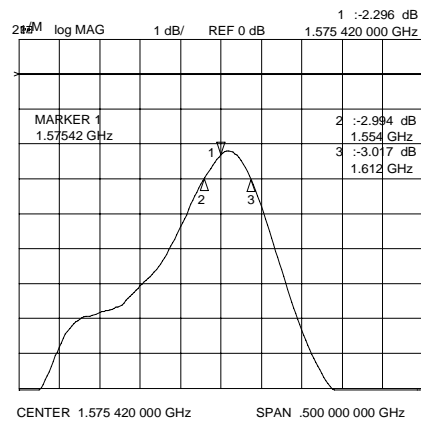
그림12에 방사체의 임피던스를 측정한 결과를 보여준다. VSWR 2:1을 갖는 임피던스 대역폭은 약 83MHz로서 광대역 특성을 나타내며 스미스 차트 상에서 GPS대역 가까이에서 2중 공진모드가 겹쳐진 딥(dip)점이 형성된 것을 볼 수 있다. 여기에서 점선(dotted line)은 RHCP가 선택되었을 때의 특성이며,

직선은 LHCP에 해당한다. 그림 13에서 방사체의 3dB 축비 대역폭을 보여주며 2개의 편파들이 동일한 특성을 나타낸다. 1.554GHz~1.612GHz로서 약 58 MHz 대역을 얻어내었으며, 그림 7의 시뮬레이션 결과와 매우 근접되었다.



CENTER 1.575 420 000 GHz SPAN 600 000 000 GHz

Fig. 12. Measured input Impedances of the radiator
그림 12. 제작된 방사체의 입력임피던스 측정결과



CENTER 1.575 420 000 GHz SPAN .500 000 000 GHz

Fig. 13. Measured axial ratio of the radiator
그림 13. 제작된 방사체의 원편파의 축비 측정결과

그림 14는 능동회로의 고주파 증폭기 성능을 측정한 결과이다. 반사손실은 -17.5dB로서 스위치와 정합조건을 갖추었으며 이득은 약 17dB으로 측정되었다. 이는 능동안테나 수신 신호의 이득을 향상시켜 시스템 수신감도를 개선시킬 수 있는 충분한 이득으로 평가된다.

그림 15는 능동안테나가 LHCP와 RHCP로 동작 시 GPS대역에서의 3dB 축비대역폭을 측정한 결과이다. 즉, 그림 11에서 보는 바와 같이 능동회로(스위치 및 증폭기)를 포함한 최종 출력 단(output port)에서 측

정된 결과이다.

RHCP 편파가 선택되어 동작하는 경우, 그림 15에서 굵은 실선으로 나타내진 것처럼 3dB 편파 대역폭이 1.549~1.602GHz이며 약 50MHz의 대역폭을 나타낸다. LHCP의 경우도 유사하다.

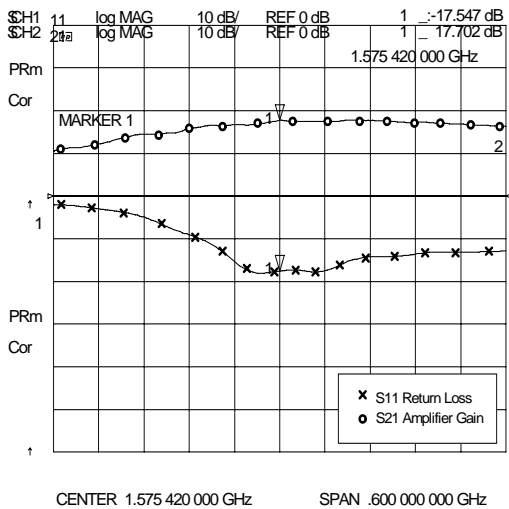


Fig. 14. Measured gain and return loss of an amplifier
 그림 14. 증폭기의 이득 및 반사손실 측정결과

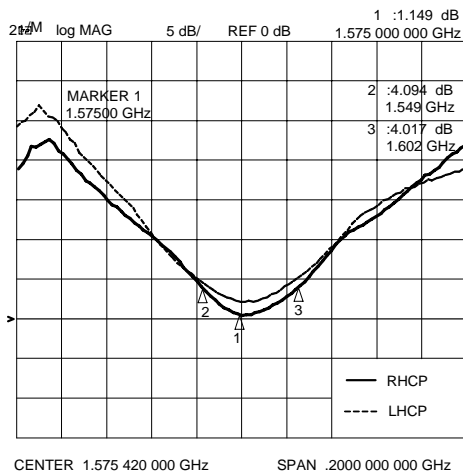


Fig. 15. Measured axial ratio at each CP operation
 그림 15. 원형편파 축비의 측정결과

능동안테나가 RHCP로 동작되었을 때, LHCP포트에서 일부 누설 파워가 발생하게 된다. 누설 LHCP파워는 RHCP의 특성에 영향을 주게 된다. 그림 16에 두 편파간의 격리도를 보여준다. 측정결과 동작주파수에서 최대 -28.3dB로 측정되었으며 특정 편파가 선택되었을 때 다른 편파에 주는 영향이 매우 적을 것

으로 판단된다.

그림 17과 그림18은 능동안테나의 방사패턴을 측정 한 결과이다. 간이 전파 무반사실(3x5x3.5 m³)에서 측정하였으며 기준 안테나로 Standard Horn을 이용 하였다.

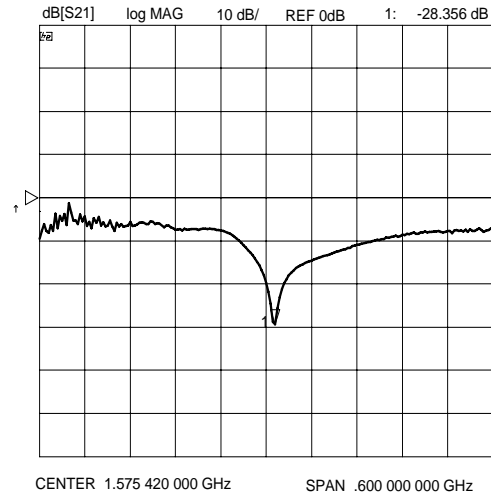


Fig. 16. Signal leakage in the LHCP path on RHCP operation

그림 16. RHCP로 동작 시 LHCP경로 상의 누설신호

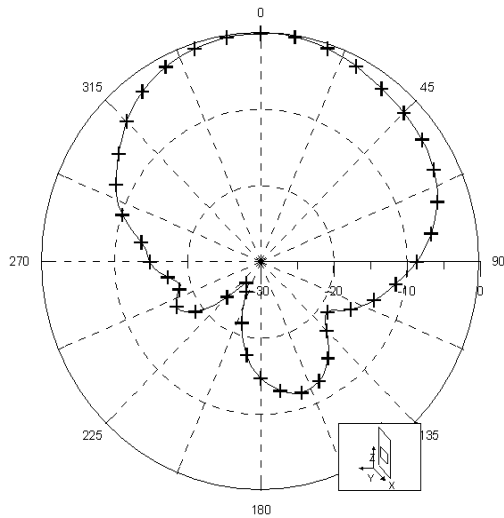
그림 17과 그림18은 능동안테나의 방사패턴을 측정 한 결과이다. 간이 전파 무반사실(3x5x3.5 m³)에서 측정하였으며 기준 안테나로 Standard Horn을 이용 하였다. 방사패턴의 기준 좌표축은 그림 3의 좌측 하단이나 그림 17과 그림18에 있는 방사패턴들의 우측 하단에서 볼 수 있다. 3dB 축비 측정과 동일하게 외부 제어전압을 통해 2개의 편파중 하나를 선택하여 방사패턴을 측정하였다. 제안된 능동안테나가 우선원형편파(그림 17)나 좌선원형편파(그림 18)로 동작 시 3dB 빔폭은 RHCP의 경우에 X-Y, Y-Z 평면으로 동일하게 90도 전면방향성 측정이 되었고, LHCP의 경우에는 X-Y, Y-Z 평면으로 동일하게 약 84도 전면방향성으로 측정이 되었다. 이들 모두 그림 9와 그림10의 시뮬레이션 결과들과는 약간 상이하나 스위치를 비롯한 능동회로들과 작은 접지 면이 방사패턴들에 영향을 준 것으로 판단된다. 최대 방향성 이득은 LHCP로 동작 시 약13dBi, RHCP로 동작 시 약 12dBi로 측정되었다. 이는 방사체의 이득과 스위치 손실 그리고 고주파 증폭기의 이득을 합친 값이며, 전체적으로 제안된 소형 능동안테나가 수신 시스템의 성능을 개선시킬 수 있는 충분한 여력을 가진 것으로 사료된다.

III. 결론

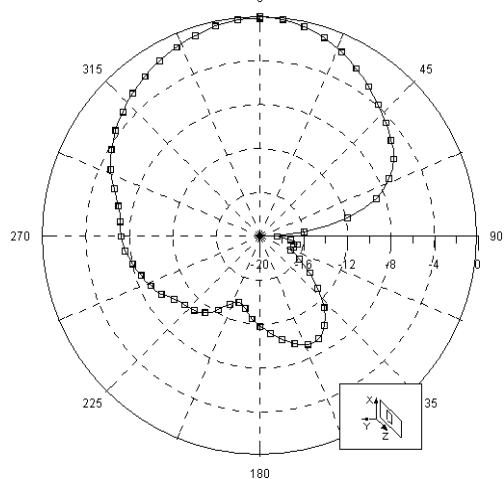
본 논문에서는 다중 경로 페이딩에 의한 무선통신장치의

수신 성능 향상을 위해 2개의 원형편파모드들(LHCP, RHCP) 중에서 하나를 선택하여 수신할 수 있는 편파다이버시티 기능을 갖는다.

이를 위해 안테나 중앙의 정사각형 빈 공간에 스위치와 증폭기를 위치시켜 각각의 원형편파를 수신할 수 있도록 하였고, 수신신호를 증폭하여 수신 성능을 개선하도록 하는 한편 능동 안테나의 소형화를 이룰 수 있게 하였다. 또한 입력 임피던스 특성을 개선하기 위해 사각 링 패치 개구면을 45°회전시켰다.



(a)



(b)

Fig. 17. Radiation patterns on operating RHCP

: X-Y plane(a), Y-Z plane(b)

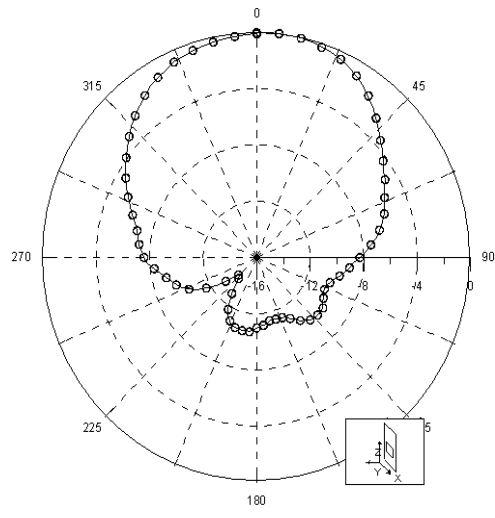
그림 17. RHCP 동작 시 방사패턴들

: X-Y 평면(a), Y-Z 평면(b)

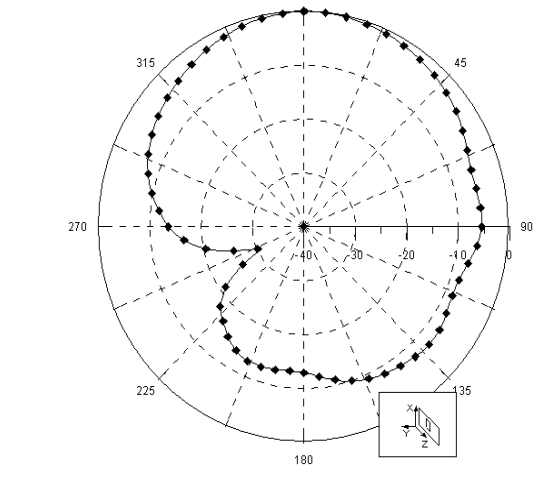
그리고 급전점 근처에 슬롯을 추가하고, 그 길이를 가변 하여 전류경로를 증가시킴으로써 임피던스 정합을 이룰 수 있었다. GPS 시스템에 적용된 안테나는 기존의 마이크로 스트립안테나보다 소형화를 위해 사각 링형 패치형태로 구현하였으며, 원

형편파특성을 얻어내기 위해 사각 구조를 각 변이 서로 다른 직사각형 구조로 변형하였다.

제작된 안테나의 크기는 전통적인 사각형 안테나에 비해 능동회로들을 포함하고도 약 40%정도의 크기감소가 있었다. 안테나 성능들을 측정된 결과, VSWR 2:1을 기준으로 한 임피던스 대역폭은 GPS대역에 만족하고, 3dB 축비 대역폭은 RHCP 동작 시 약 50MHz, LHCP 동작 시 약 50MHz로 측정되었다. 3dB Beamwidth는 RHCP 동작 시 90도 전면 방향성이고,



(a)



(b)

Fig. 18. Radiation patterns on operating LHCP

: X-Y plane(a), Y-Z plane(b)

그림 18. LHCP 동작 시 방사패턴들

: X-Y 평면(a), Y-Z 평면(b)

LHCP 동작 시 84도 전면 방향성으로 측정 되었다. 최대방향성 이득은 RHCP 동작 시 13dBi로 측정이 되었고, LHCP 동작 시 12dBi로 측정이 되었다.

본 능동안테나는 원형편파 다이버시티 기능을 나타내면서도 최근의 무선통신 단말기에 필수적인 소형크기를 갖는다. 또한

충분한 안테나 이득을 통해, 적용된 GPS 수신기의 수신 성능을 개선시킬 수 있을 것으로 판단된다.

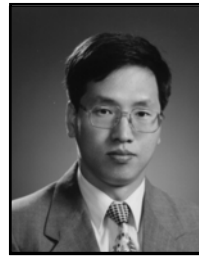
참고문헌

- [1] Chou, H.T., and Chiu, Y.L. "A compact-sized microstrip antenna for GPS applications", *Microwave Opt. Tech. Letter*, Vol.48, No.4, pp. 810 - 814, Oct. 2005
- [2] Yun, G.H. and Rhee, S.Y., "CPW fed slot antenna for triple-frequency band operation", *IET Electronic Letters*, Vol.42, No.17, pp.952-953, Aug. 2006
- [3] Dietrich, C. B. and Dietze, K., Nealy, J. R., and Stutzman, W. L., "Spatial, polarization and pattern diversity for wireless handled terminals", *IEEE Trans. Antenna Prop.*, Vol. 49, No.9, pp.1271-1281, Sept. 2001
- [4] Loredó, S. and Torres, R.P., "Experimental analysis of the advantages of polarization diversity in indoor scenarios at 1.8 and 2.5 GHz", *Microwave Opt. Tech. Letter*, Vol. 31, No.5, pp. 355 - 361, Oct. 2001
- [5] Ha, Deock Ho, "An analysis of the polarization characteristics in Indoor radio Channel", *Proceedings of The 2nd CDMA International Conference & Exhibition, CIC'97, Seoul Korea*, Vol.2, pp.144-148, Oct. 1997
- [6] Chuang, H.R., and Kuo, L.C., "3-D FDTD design analysis of a 2.4GHz polarization-diversity printed dipole antenna with integrated balun and polarization-switching circuit for WLAN and wireless communication applications", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 51, No.2, pp.374-381, Feb. 2003
- [7] Deshpande.M.D., and N.K.Das, "Rectangular microstrip antenna for circular polarization," *IEEE Trans. Antenna Propagation*, Vol. AP-34, pp.744-746, No.6, 1986
- [8] Wen-Shyang Chen, "Single feed dual frequency rectangular microstrip antenna with square slot", *Electronic Letters*, 5th Feb 1998 Vol.34 No.3
- [9] Bafrooei, P. M., "Characteristics and design of microstrip square ring antennas", M.Sc thesis, Univ. Manitoba, Canada, Aug. 1997
- [10] Srinivasan,V.,K.T.V.Reddy, and G.Kumar, "Dual feed microstrip antennas for orthogonal

polarization," *NSAMI*, New Delhi, India, pp.43-46, March 2003

저 자 소 개

윤 기 호 (정회원)



1984년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학사)

1986년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)

1999년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)

1985년 1월~1997년 2월 : 삼성종합기술원, 삼성전기 근무

1997년 3월~2009 2월 : 호남대학교 전파공학과 부교수

2009년 3월~현재 : 성결대학교 정보통신공학과 조교수

<주관심분야> RF 능동 및 수동회로/시스템, 안테나