

논문 2008-45TC-1-11

가변 원형편파 모드 특성을 갖는 원형 링 슬롯 안테나

(Annular ring slot antenna with a variable circular polarized mode characteristic)

김 용 진*, 김 정 한*, 이 홍 민**

(Yongjin Kim, Junghan Kim, and Hongmin Lee)

요 약

본 논문에서는 위성 DMB 시스템에서 원형편파 변환 특성을 갖는 reconfigurable 원형 링 슬롯 안테나를 제안한다. 제안된 안테나는 원형 링 슬롯과 원형편파를 발생시키기 위한 4개의 튜닝 스텐브로 구성되어 있다. 슬롯과 스텐브 사이 각각의 경계면에 4개의 PIN 다이오드를 실장 하였으며 각각의 PIN 다이오드는 외부 DC전압으로 인해 동작되며 RHCP(Right Hand Circular Polarization) 모드 또는 LHCP(Left Hand Circular Polarization) 모드로 동작하도록 하였다. 측정결과, 제안된 안테나는 임피던스 대역폭($VSWR \leq 2$)이 LHCP 모드에서 570MHz (2.47 - 3.04GHz), RHCP 모드에서 560MHz (2.45 - 3.01GHz)로 나타났으며 중심주파수 2.63GHz에서의 최대 방사이득은 LHCP 모드에서 4.76dBi, RHCP 모드에서 3.1dBi를 얻었다. 또한 측정된 축비 대역폭은 RHCP, LHCP 모드에서 약 100MHz를 얻었다. 제안된 안테나는 편파변환 특성이 요구되는 환경의 위성 통신, 무선랜 및 광대역 무선통신 시스템에 적합할 것으로 사료된다.

Abstract

In this paper, the reconfigurable annular ring slot antenna with circular polarization diversity is proposed for SDMB(Satellite Digital Multimedia Broadcasting) system. The proposed antenna consists of a ring slot with four tuning stubs. Four PIN diodes are attached to switch circular polarization diversity. By switching the diodes ON or OFF, the proposed antenna can be operated either RHCP mode or LHCP mode. The experimental result shows that the proposed antenna has an impedance bandwidth($VSWR \leq 2$) of 570MHz (2.47 - 3.04GHz) at LHCP mode, an impedance bandwidth ($VSWR \leq 2$) of 560MHz (2.45 - 3.01GHz) at RHCP mode, a maximum gain of 3.1dBi at RHCP mode, 4.76dBi at LHCP mode. The 3dB CP bandwidth of about 100MHz at both RHCP and LHCP mode is achieved at the center frequency 2.63GHz. The proposed antenna is suitable for application such as mobile satellite communications, WLAN(Wireless Local Area Networks), and broadband wireless communication systems.

Keywords : SDMB, Circular polarization diversity, Reconfigurable antenna, PIN diode

I. 서 론

무선 통신 시스템에서의 안테나는 일반적으로 감도가 좋은 선형편파를 이용한다. 그러나 위성파 지상간의 통신이 직접적으로 이루어질 경우, 전리층의 산란이나 공간상의 전파장애 및 위성파 지상간의 편파왜곡이 우

려되는 통신 환경(구름, 비, 안개 등)에 강한 원형편파를 사용한다. 또한 무선 통신에서의 다중경로 페이딩을 줄이거나 주파수 자원의 재사용 측면에서 편파 변환 안테나에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.^[1~3]

마이크로스트립 안테나는 저자세화 및 경량화 구현이 용이하며 패치의 모양이나 급전구조를 다양하게 구현하여 형성된 패치의 모드를 변화시킬 수 있다. 또한 패치와 접지면 사이에 PIN 다이오드, 배랙터 다이오드와 같은 능동 소자를 실장 하여 안테나의 동작 주파수, 방사 패턴, 편파 등을 제어할 수 있다.^[4~5] 그러나 저 효율, 높은 Q로 인하여 대역폭이 좁고 편파 특성이 저하되며 불

* 학생회원, ** 정회원, 경기대학교 전자공학부
(Department of Electronic Engineering, Kyonggi University)

※ 본 연구는 “경기도에서 지원하는 경기도지역협력연구센터사업”에 의해 수행되었음

접수일자: 2007년9월28일, 수정완료일: 2008년1월15일

요방사가 발생하는 단점이 있으며 패치와 접지면의 분리로 인하여 RF MEMS(Micro-Electro Mechanical Systems) 스위치, RF 다이오드 및 직류 차단 캐패시터의 실제적인 부설 및 제작의 어려움이 따른다.

본 논문에서는 마이크로스트립 안테나의 협대역 특성을 개선하기 위하여 광대역 특성을 갖는 슬롯 안테나 구조의 방사소자를 사용하였으며 안테나의 급전부와 방사슬롯과의 정합을 위한 $\lambda_g/4$ 임피던스 정합선로로 구성되어 있으며 선로 끝단의 개방 스테르브의 길이 조절로 임피던스 정합이 용이한 구조로 되어있다.

II. 본 론

1. 안테나 구조

제안된 원형편파 링 슬롯 안테나의 구조를 그림 1에 나타내었다. 안테나 제작에는 두께가 1.6mm이고 비유전율(ϵ_r)이 4.4인 FR-4 기판을 사용하였다. 일반적으로, 원형 링 슬롯 안테나는 기본모드인 TM_{11} 모드의 공진 주파수를 여기 시킨다. 방사슬롯으로부터 대각선 방향으로 한 쌍의 튜닝 스테르브를 부설하여 기본모드를 서로 크기는 같고 위상이 90° 차이가 나는 두 개의 축퇴모드를 발생시켜 원형편파를 여기 시키도록 하였다. 또한, 튜닝 스테르브의 크기를 조절하여 원형편파 특성을 최적화 시킬 수 있는 구조로 되어있다.

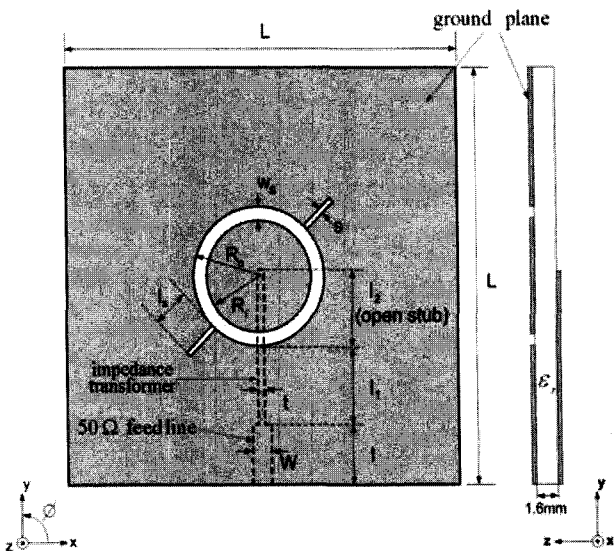


그림 1. 원형편파 링 슬롯 안테나의 구조
Fig. 1. The geometry of annular ring slot CP antenna.

튜닝 스테르브가 $\Phi = +45^\circ, -135^\circ$ 방향으로 부설된 경우엔 RHCP 모드로 동작하고 $\Phi = -45^\circ, +135^\circ$ 방향으로 부설된 경우엔 LHCP 모드로 동작한다. 안테나 급전구조는 50Ω 마이크로스트립 급전선로와 방사슬롯과의 정합을 위한 $\lambda_g/4$ 임피던스 정합선로로 구성되어 있으며 선로 끝단의 개방 스테르브의 길이 조절로 임피던스 정합이 용이한 구조로 되어있다.

2. 안테나 등가회로

광학상의 Babinet의 원리를 안테나 방사에 의한 원거리영역으로 확장하면, 그림 2에 나타난바와 같이 스크린상의 반 파장 길이의 슬롯안테나와 반 파장 길이의 다이폴 안테나가 서로 보완구조가 된다. 스크린상의 개구에 의해 방사되는 원거리영역의 전자계(E_s, H_s)와 다이폴에 의한 전자계(E_d, H_d)와의 관계는 다음과 같다.

$$E_s = \pm H_d \quad (1)$$

$$H_s = \mp (1/\eta_0)^2 E_d \quad (2)$$

여기서, 수식의 \pm, \mp 부호에서 위 부호는 전자기장에서 $+y$ 영역, 아래 부호는 $-y$ 영역을 나타낸다. η_0 는 자유공간상의 고유임피던스이다.

슬롯안테나와 다이폴 안테나의 입력저항의 관계식은

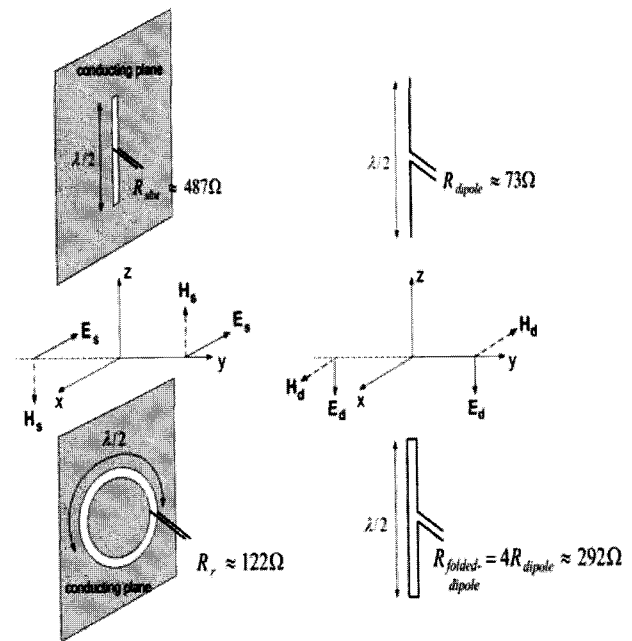


그림 2. 전자기장에서의 Babinet의 원리
Fig. 2. Babinet's principle in electromagnetic field.

다음과 같다.

$$R_{slot}R_{dipole} = \frac{\eta_0^2}{4} \quad (3)$$

반 파장 다이폴안테나의 입력저항은 $R_{dipole} = 73\Omega$ 이다. 따라서 반 파장 슬롯안테나의 입력저항은 식 (3) 으로부터 $R_{slot} = (377)^2/4R_{dipole} \approx 487\Omega$ 이 된다.

일반적으로 원형 링 슬롯안테나는 슬롯을 통하여 전 자기파를 방사하고 반 파장의 공진 길이를 갖으며 급전 점을 기준으로 두 개의 슬롯을 따라 같은 방향의 전류 경로를 나타낸다. 따라서 원형 링 슬롯 안테나는 두 개의 동일한 방향의 전류경로를 갖는 폴디드 다이폴안테나와 보완구조로 등가화 할 수 있다.

일반적인 폴디드 다이폴안테나의 입력저항 식은 다음과 같다.

$$R_{folded-dipole} = N^2R_{dipole} \quad (4)$$

여기서, N 은 폴디드 다이폴안테나의 평행한 동일방향 전류경로의 개수이다. 식 (4)를 식 (3)에 대입하여 원형 링 슬롯안테나의 입력저항 식을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$R_r = R_{slot}/N^2 \quad (5)$$

여기서, R_r 은 원형 링 슬롯안테나의 입력저항이고, 식 (5)로부터 자유공간에서 약 122Ω 의 값을 갖는다. 50Ω 마이크로스트립 급전선로와 방사슬롯의 입력저항과의 정합은 $\lambda_g/4$ 임피던스 정합선로를 통하여 이루어진다.

그림 3에 제안된 안테나의 등가회로를 나타내었다. 제안된 안테나는 방사슬롯과 정합선로와의 결합을 통하여 급전되는 구조로 되어있다. 임피던스 정합선로를 통

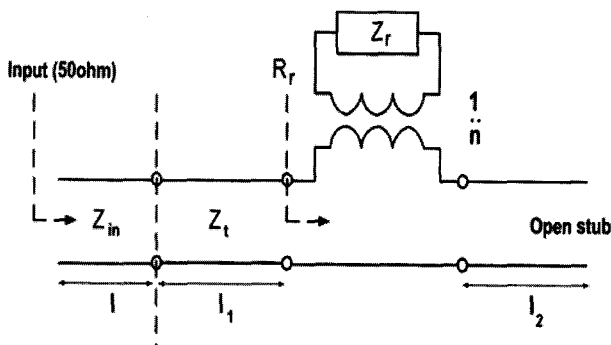


그림 3. 제안된 안테나의 등가회로
Fig. 3. The equivalent circuit of proposed antenna.

해 안테나의 입력임피던스와 방사슬롯의 입력저항이 정합되어진다. 방사슬롯에 원형편파 구현을 위하여 튜닝 스테르브를 부설하게 되면 방사슬롯의 입력임피던스 리액턴스성분이 변하게 된다. 방사슬롯 입력임피던스의 리액턴스성분 정합은 개방 스테르브의 길이를 조절함으로써 최적화된다.

여기서, Z_r 와 R_r 은 각각 방사슬롯의 입력임피던스와 입력저항을 나타낸다. n 은 방사슬롯과 정합선로와의 권선비이다. 권선비는 정합선로에서의 전압과 방사슬롯 급전점에서의 전압과의 비로 정의된다. Z_{in} , Z_t 는 안테나의 입력임피던스와 $\lambda_g/4$ 임피던스 정합선로의 선로 임피던스를 나타낸다.

3. 안테나 설계

그림 4에 제안된 원형편파 변환 링 슬롯 안테나의 구조를 나타내었다. 일반적으로 PIN 다이오드는 순방향 바이어스 인가 시에 직렬 저항 값을 갖고 역방향 바이어스 인가 시에 병렬 캐패시턴스 값을 갖는다. 이러한 다이오드의 전기적인 특성을 이용하여 제안된 안테나의 원형편파 특성을 가변시키도록 하였다. 접지면에 DC전압을 직접 인가하여 다이오드가 동작하도록 하였다. 다이오드의 위치는 순방향 바이어스 인가 시에 d_1, d_3 가 ON, 역방향 바이어스 인가 시에 d_2, d_4 가 ON 되도록 하였다.

본 논문에서 사용한 PIN 다이오드는 Infineon사의 BAR89-02L 타입이다. 사용된 다이오드의 전기적인 특성은 순방향 바이어스 인가 시에 3Ω 의 저항 값을 갖고 역방향 바이어스 인가 시에 $0.19pF$ 의 캐패시턴스 값을

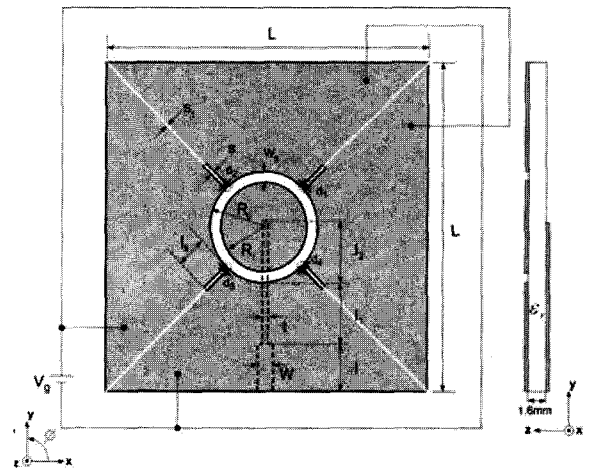


그림 4. 제안된 원형편파 변환 링 슬롯 안테나구조
Fig. 4. The geometry of reconfigurable CP antenna.

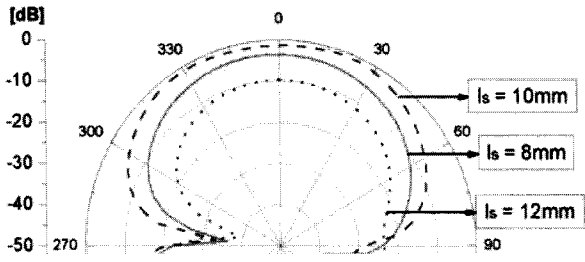


그림 5. 튜닝 스테르브의 길이(l_s)변화에 따른 축비패턴의 변화 (RHCP mode, $f_0 = 2.63\text{GHz}$)

Fig. 5. The variation of axial ratio pattern against parameter l_s (RHCP mode, $f_0 = 2.63\text{GHz}$).

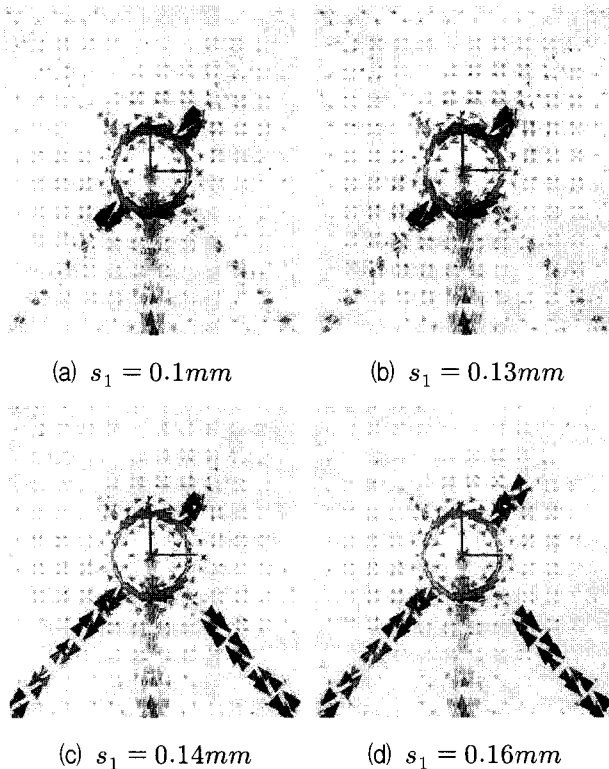


그림 6. 접지면 슬릿의 폭(s_1)변화에 따른 표면전류분포 (RHCP mode, $f_0 = 2.63\text{GHz}$)

Fig. 6. The variation of surface current against parameter s_1 (RHCP mode, $f_0 = 2.63\text{GHz}$).

갖는다. DC전압을 인가하기 위하여 접지면상에 얇은 슬릿을 형성하였다. 순방향 바이어스 인가 시에 안테나가 LHCP 모드로 동작하고 역방향 바이어스 인가 시에 RHCP 모드로 동작하도록 PIN 다이오드의 극성을 고려하여 실장 하였다.

위에서 제시된 안테나의 설계변수들을 토대로 CST사의 MWS(Micro Wave Studio) 3D 필드 시뮬레이션 툴^[8]을 사용하여 모의실험 하였다. PIN 다이오드의 전기적인 특성은 ON 또는 OFF일 때 각각의 저항 값과 캐패시턴스 값을 개별소자 값으로 입력하여 모의실험

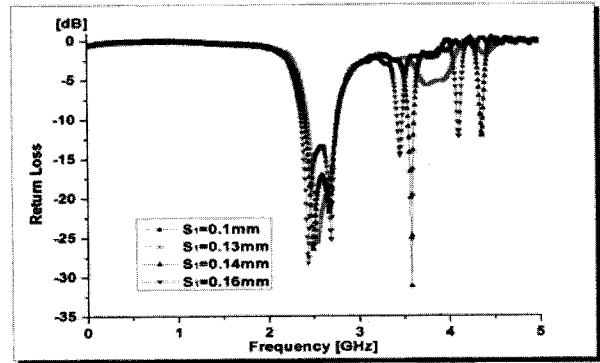
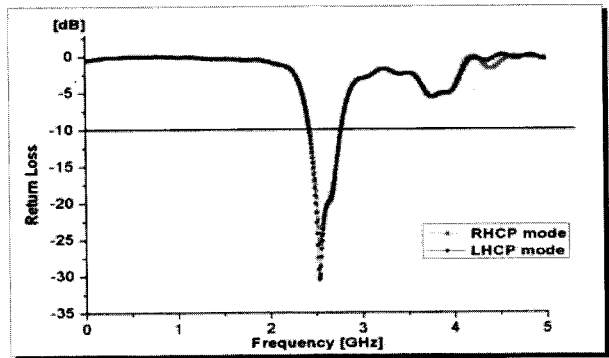
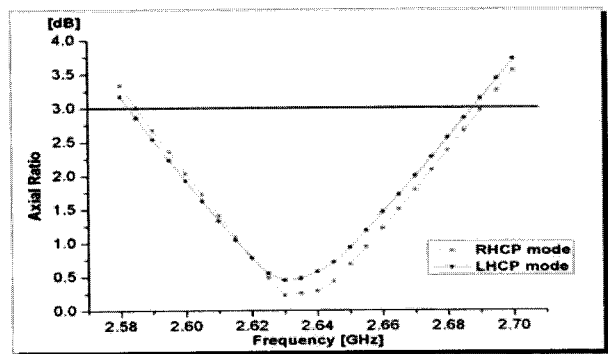


그림 7. 접지면 슬릿의 폭(s_1)변화에 따른 반사손실 특성 (RHCP mode)

Fig. 7. The variation of return loss against parameter s_1 (RHCP mode).



(a) 반사손실
(a) return loss



(b) 3dB 축비 대역폭
(b) 3dB AR bandwidth

그림 8. 제안된 안테나의 모의실험결과
Fig. 8. The simulated result of proposed antenna.

하였다.

그림 5에 튜닝 스테르브의 길이(l_s)변화에 따른 축비패턴의 변화를 나타내었다. 튜닝 스테르브의 폭은 PIN 다이오드의 실장면적($L \times W = 1\text{mm} \times 0.6\text{mm}$)을 고려하여 0.5mm로 고정하였다. 모의실험결과 튜닝 스테르브의 길이가 10mm일 때 주방사방향 방위각 60° 내에서

표 1. 제안된 안테나의 설계변수 (단위: mm)
Table 1. The parameters of proposed antenna(unit: mm).

L	l	l_1	l_2
100	19	17	18.5
l_s	t	w	w_s
10	1	2.96	2
R_i	R_o	s	s_1
12	14	0.5	0.1

3dB이하의 축비를 만족함을 알 수 있다.

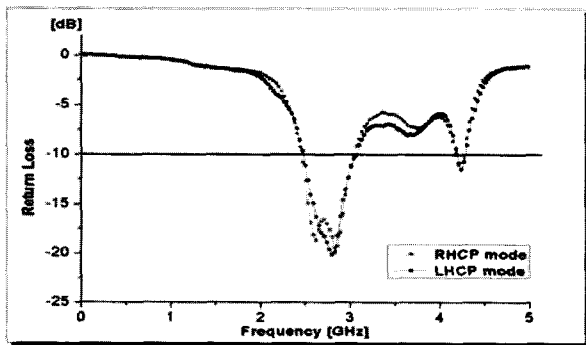
그림 6과 7에 접지면의 슬릿(s_1) 변화에 따른 안테나의 특성변화를 나타내었다. DC전압 인가를 위한 접지면의 슬릿 폭이 형성되면 슬릿 사이에 전계가 형성된다. 이로 인해 접지면에 불연속 교류신호가 흐르게 되고 안테나의 불요방사를 일으켜 안테나 특성이 저하된다. 모의실험결과 접지면 슬릿의 폭이 0.13mm 이하가 되면 슬릿 사이의 자기적 결합이 강해져 캐패시턴스 성분보다 인덕턴스 성분이 증가하게 되어 접지면상의 교류신호가 원활하게 흐름을 알 수 있다.

그림 8에 모의실험결과를 통해 최적화한 제안된 안테나의 반사손실과 3dB 축비(Axial Ratio) 대역폭을 나타내었다. 임피던스 대역폭($VSWR \leq 2$)은 LHCP, RHCP 모드에서 약 360MHz을 나타내었으며 3dB 축비 대역폭은 LHCP, RHCP 모드에서 약 100MHz을 나타내었다. 표 1에 제안된 안테나의 설계변수를 나타내었다.

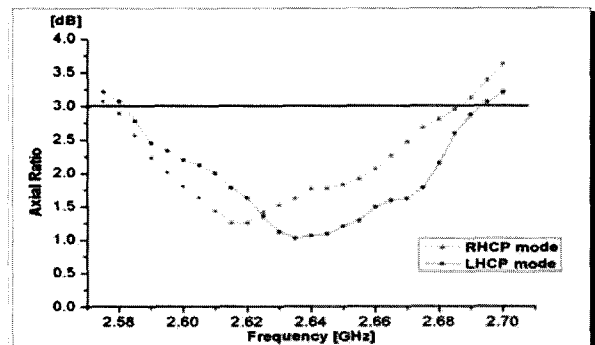
III. 제작 및 측정결과

그림 9에 RHCP 모드일 경우와 LHCP 모드로 동작할 경우 제작된 안테나의 반사손실 특성과 축비 대역폭의 측정결과를 나타내었다.

그림 10에 2.63GHz에서의 방사패턴 측정결과를 나타내었다. 측정결과 LHCP 모드인 경우에 LHCP와 RHCP의 차이가 방위각 20°에서 20dB이상 차이가 나고 RHCP 모드인 경우에 LHCP와 RHCP의 차이가 방위각 325°에서 20dB이상으로 각각의 경우 모두 우수한 원형편파 특성을 보임을 알 수 있다.

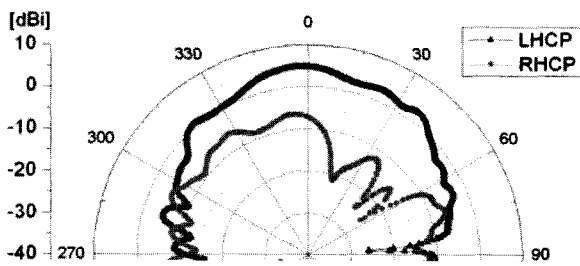


(a) 반사손실
(a) return loss

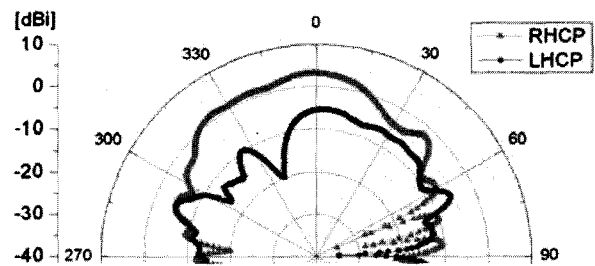


(b) 3dB 축비 대역폭
(b) 3dB AR bandwidth

그림 9. 제작된 안테나의 측정결과
Fig. 9. The measured result of fabricated antenna.



(a) LHCP 모드 방사패턴 (y-z 평면)
(a) radiation pattern at LHCP mode (y-z plane)



(b) RHCP 모드 방사패턴 (y-z 평면)
(b) radiation pattern at RHCP mode (y-z plane)

그림 10. 제작된 안테나의 방사패턴
Fig. 10. The measured radiation pattern of fabricated antenna.

표 2. 제작된 안테나의 특성
Table 2. The summary of result.

항목 \ 모드	LHCP 모드	RHCP 모드
다이오드 상태	d_1 ON, d_3 ON d_2 OFF, d_4 OFF	d_2 ON, d_4 ON d_1 OFF, d_3 OFF
임피던스 대역폭 ($VSWR \leq 2$)	570MHz	560MHz
3dB 축비 대역폭	110MHz	107MHz
최대 방사이득	4.76dBi	3.1dBi



그림 11. 제작된 안테나의 사진
Fig. 11. The photo of fabricated antenna.

표 2에 제작된 안테나의 측정결과를 나타내었다. 그림 11에 제작된 안테나의 사진을 나타내었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 위성 DMB시스템 (2.605 - 2.655GHz)에서 RHCP와 LHCP 모두 수신 가능한 reconfigurable 원형편파 링 슬롯 안테나를 설계 및 제작하였다. PIN 다이오드의 전기적인 성질을 이용하여 접지면의 튜닝 스타버를 개방 혹은 단락시킴으로써 원형편파 변환 특성을 갖도록 하였다.

제안된 안테나의 반사손실 측정결과 PIN 다이오드의 접합 용량 캐패시턴스와 안테나 공정상의 오차로 인해 모의실험결과와 약간의 차이가 있었으나 모의실험결과와 동일한 주파수대역에서 원형편파 변환 특성을 보였다.

위성 DMB대역 내에서 $VSWR \leq 2$ 의 임피던스 대역폭 및 3dB이하의 축비 특성을 모두 만족하였고 원형편파 변환 시에 RHCP, LHCP의 특성변화가 뚜렷하게 나타남을 알 수 있었다. 본 논문에서 제안된 안테나는

편파를 선택적으로 취해 송수신하는 경우의 무선통신이나 위성통신 시스템 등에 응용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] F. Yang and Y. Rahmat-Samii, "A Reconfigurable Patch Antenna using Switchable Slots for Circular Polarization Diversity", IEEE Microwave Guided Wave Lett., vol. 12, pp. 96-98, March 2002.
- [2] S. T. Fang, "A Novel Polarization Diversity Antenna for WLAN applications", 2002 IEEE AP-S Dig., pp. 282-285, July 2000.
- [3] R. N. Simons, D. Chun and L. P. B. Katechi, "Polarization Reconfigurable Patch Antenna using Microelectro-mechanical Systems(MEMS) Actuators", Proceeding of 2002 IEEE International Antenna Propagation Symposium, pp. 6-9, June 1998.
- [4] D. H. Schaubert, F. G. Farrar, A. Sindoris and S. T. Hayes, "Microstrip Antennas with Frequency Agility and Polarization Diversity", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-29, no. 1, pp. 118-123, January 1981.
- [5] M. Boti, L. Dussopt and J. -M. Laheurte, "Circularly polarized antenna with switchable polarization sense", Electron Lett., vol. 36, no. 18, pp. 1518-1519, August 2000.
- [6] R. F. Harrington, "Time Harmonic Electromagnetic Fields", JOHN WILEY & SONS, INC. 2001.
- [7] Constantine A. Balanis, "Antenna Theory", JOHN WILEY & SONS, INC. 1997.
- [8] CST STUDIO SUITE™ 2006 MWS(Micro Wave Studio) manual, CST Corporation.

저 자 소 개



김 용 진(학생회원)
 2007년 경기대학교 전자공학부
 (학사)
 2007년~현재 경기대학교
 전자공학부 석사과정
 <주관심분야 : 안테나 설계 및 해석, RF 수동소자, Metamaterials>



김 정 한(학생회원)
 2007년 경기대학교 전자공학부
 (학사)
 2007년~현재 경기대학교
 전자공학부 석사과정
 <주관심분야 : 안테나 설계 및 해석, RF 시스템, Metamaterials>



이 흥 민(정회원)
 1972년 연세대학교 전자공학과
 (학사)
 1974년 연세대학교 전자공학과
 (석사)
 1990년 연세대학교 전자공학과
 (박사)
 1991년~현재 경기대학교 전자공학부 교수
 <주관심분야 : 안테나 설계 및 해석, 전파전파, RF 수동소자, Metamaterials>