

논문 2009-46TC-7-8

# 다층 CP-DRA의 이득 및 축비대역폭 증대에 관한 연구

(A study on the Enhancement of Gain and Axial Ratio Bandwidth of the Multilayer CP-DRA)

이 호 상\*\*, 조 동 기\*\*, 정 영 호\*\*, 김 철 복\*\*, 손 호 철\*, 이 문 수\*\*\*

(Ho-Sang Lee, Dong-Ki Jo, Young-Ho Jung, Cheol-Bok Kim, Ho-Cheol Son, and Mun-Soo Lee)

## 요 약

본 논문에서는 십자형 슬롯 급전방식을 이용한 다층 CP-DRA(Circularly Polarized Dielectric Resonator Antenna)의 이득 및 축비대역폭 증대에 관하여 연구한다. CP-DRA의 이득 및 축비대역폭 증대를 위하여 단층 CP-DRA에 대하여 분석하고, 이를 바탕으로 다층 CP-DRA의 구조를 제안하여 동작특성을 연구한다. 또한, 안테나의 이득 증대를 위하여 다층 CP-DRA 사이의 간격을  $0.7\lambda_0$  및  $1.2\lambda_0$ 로  $2\times 2$  평면 배열한 안테나의 방사특성을 CST사의 MWS을 이용하여 시뮬레이션을 통해 검토한다. 제안한 다층 CP-DRA를 제작하여 측정된 결과, 이득 및 대역폭이 단층 CP-DRA에 비하여 약 2배 개선됨을 알 수 있다. 그리고, 다층 CP-DRA를  $1.2\lambda_0$  간격으로 배열한 안테나에서 일반적인 배열안테나와 달리 grating lobe가 크게 감소하며, 이득은 13.4dBi, 축비대역폭은 0.8GHz으로 증가하였다.

## Abstract

In this paper, a CP-DRA(Circularly Polarized Dielectric Resonator Antenna) using cross-slot-feed is studied to enhance the gain and axial ratio bandwidth. First, a single layer CP-DRA is studied as a reference for comparison. Then a new type of multilayer CP-DRA is proposed to enhance the gain and axial ratio bandwidth. In consideration of the antenna gain enhancement, the spacing between the elements of the multilayer CP-DRA is examined through analysis of the radiation performance of a  $2\times 2$  planar array of DRAs with a spacing of  $0.7\lambda_0$  and  $1.2\lambda_0$  using CST Microwave Studio. The measured result shows that the gain and bandwidth of the multilayer structure is approximately twice that of the single layer one. In the case of the array antenna, in which the spacing between multilayer CP-DRA element is  $1.2\lambda_0$ , a grating lobe is reduced, in contrast to what we can expect from a conventional antenna array. The gain is 13.4dBi and axial ratio bandwidth is 0.8GHz.

**Keywords:** Dielectric Resonator Antenna(DRA), Multilayer DRA, Circular Polarization(CP), Array Antenna

## I. 서 론

현대사회는 인간의 활동범위가 넓어짐에 따라 다양한 초고속 광대역 무선통신 서비스의 요구가 증대되고

있다. 그러나 주파수 자원의 제한으로 스펙트럼 할당에 어려움이 있으며, 점점 열악해지는 전파 환경으로 반사·산란·회절 현상이 심해져 페이딩이 심각하게 발생한다. 이러한 문제의 해결방법으로 특성이 좋은 원형편파 사용에 대한 연구가 진행되고 있다<sup>[1-3]</sup>.

지금까지, 마이크로스트립 안테나가 소형·경량·박형의 특성으로 다양한 초고속 무선통신 시스템 개발에 중요한 기술로 주목받아 활발히 연구가 진행되고 있으나, 임피던스 대역폭의 협소함으로 인해 응용분야에 제한을 받고 있으며, 특히 원형편파 안테나는 축비 대역

\* 학생회원, \*\* 정회원, 경상대학교 전자공학과 (Gyeongsang National University, Dept. Electronic Engineering)

\*\*\* 평생회원, 경상대학교 공학연구원 (Engineering Research Institute, Gyeongsang National University)

접수일자: 2009년5월6일, 수정완료일: 2009년7월9일

폭까지 고려되어야 함으로 더욱 큰 제약을 받고 있다.

원형편과 안테나를 구성하는 방법은 90° 위상차가 발생하는 두 직선편파를 직교하도록 하는 것으로 마이크로스트립을 이용한 원형편과 안테나는 많은 연구가 진행되었으나 대역폭 제약으로 인하여, 현재는 유전체 공진기를 이용한 방법이 활발히 연구되고 있다<sup>[4~7]</sup>.

본 논문에서는 유전체 공진기에 대한 연구를 통하여 임피던스 및 축비 대역폭을 동시에 증대시키고, 고이득 특성을 갖는 CP-DRA(Circularly Polarized Dielectric Resonator Antenna)를 연구하고자 한다. 먼저 원형편과 구현을 위해 개구결합 급전방식을 이용한 단층 CP-DRA에 대하여 분석하고, 이를 바탕으로 CP-DRA의 이득 및 축비대역폭 증대를 위해 단층 유전체를 평면배열과 적층배열 등 다방면으로 연구를 수행 중에 적층으로 배열된 DRA는 유전체 막대 안테나(Polyrod Antenna)와 유사한 특성을 가짐을 발견하고, 유전체 공진기를 다층으로 적층 배열한 안테나를 연구한다.

일반적으로 유전체 막대 안테나는 표면파를 이용한 대표적인 안테나로 방사특성은 endfire 방향으로 좋은 지향성 특성이 있어 고 이득용으로 활용 할 수 있다. 그러나 유전체 막대 안테나는 원형 편파특성을 갖추기에 구조적 한계가 있다<sup>[8]</sup>. 이에 본 논문은 원형편과 급전된 단층 유전체를 다층으로 적층 배열함으로써 고이득 특성을 갖고, 동시에 광대역 원형편과 특성을 갖는 안테나를 제안한다.

안테나 연구를 위한 도구로 CST사의 Microwave Studio 소프트웨어를 사용하여 시뮬레이션하고, 그 결과 분석을 통해 축비 및 임피던스 대역폭이 최적화 되도록 한다. 안테나 제작을 위한 급전 기판은 비유전율 2.5이고 두께 0.508mm인 타코닉사의 TLX-9을 사용하고, 유전체 공진기는 비유전율 8.3이고 두께 3.0mm인 알루미늄을 가공하여 사용한다. 설계·제작한 안테나는 벡터 회로망 분석기(vector network analyzer)와 근계 측정장비(near-field measurement system)를 사용하여 안테나의 반사손실과 방사패턴을 실험적으로 측정하여 성능을 검토한다.

## II. CP-DRA 구조 및 설계 변수

### 1. 단층(Single layer) CP-DRA

본 논문은 개구결합 급전방식을 이용한 유전체공진기 안테나를 설계한다. 개구결합 급전방식은 방사소자

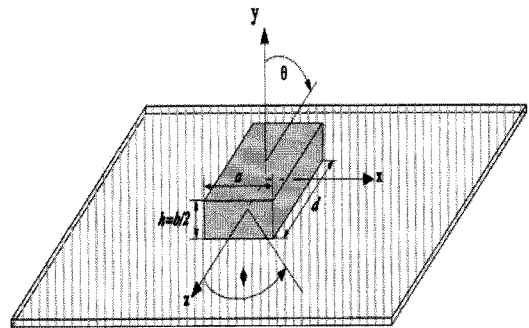


그림 1. 접지면 상부에 위치한 직육면체 DRA  
Fig. 1. Rectangular DRA on ground plane.

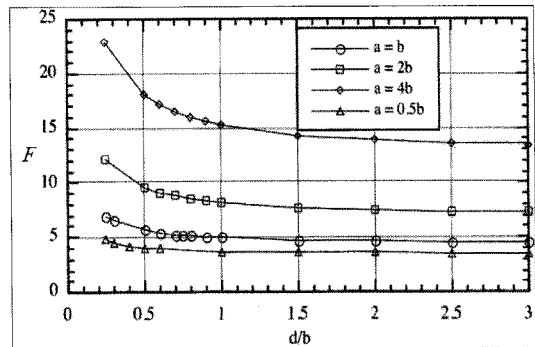


그림 2. 직육면체 DRA의 정규화된 주파수  
Fig. 2. Normalized frequency of a rectangular DRA.

와 급전선을 분리시킬 수 있기 때문에 임피던스 정합회로의 구성이 간단하며, 급전선에 의한 기생방사가 없는 장점이 있다. 특히 급전선과 방사소자 사이의 격리는 슬롯을 통해 특정모드를 유전체로 여기시켜 원하는 방사특성을 구현할 수 있다.

그림 1은 접지면 위에 올려진 직육면체 DRA의 일반적인 구조(가로×세로×높이= $a \times d \times h (=b/2)$ )를 나타내고 있으며  $b$ 는 정규화 기준치이다. 직육면체 유전체 공진기의 공진주파수와 유전율 관계는 식(1)과 그림 2를 통해 구할 수 있다<sup>[9]</sup>.

$$F = \frac{2\pi a f_0 \sqrt{\epsilon_r}}{C} \tag{1}$$

여기서  $F$ 는 정규화된 주파수,  $C$ 는 빛의 속도,  $a$ 는 유전체의 폭,  $f_0$ 는 유전체의 공진주파수,  $\epsilon_r$ 은 유전체의 비유전율이다. 그림 2는 직육면체 DRA의 정규화된 가로치수  $a/b$ 의 여러 가지 값에 대하여 정규화된 세로치수  $d/b$ 에 따른 정규화 주파수를 나타낸 것이다.

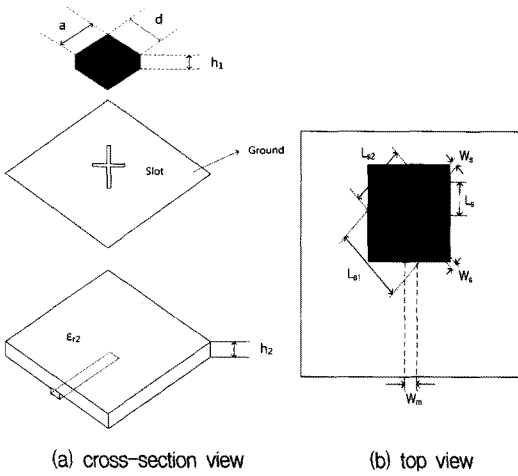


그림 3. 개구결합 급전방식 단층 CP-DRA의 구조  
 Fig. 3. Schematic of the cross-slot-coupled single layer CP-DRA.

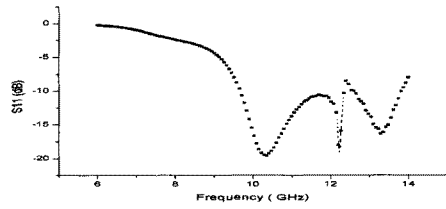
표 1. 단층 CP-DRA의 설계 파라미터 (LHCP)

Table 1. Design parameters for the single layer CP-DRA.

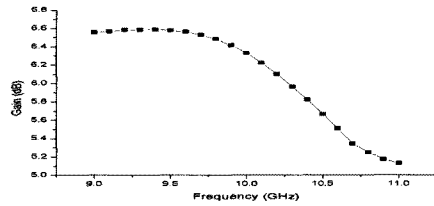
Parameter	Value(mm)	Parameter	Value(mm)
$\epsilon_{r1}$	8.3	$\epsilon_{r2}$	2.5
$h_1$	3.0	$h_2$	0.508
$a=d$	9.8	$L_s$	3.2
$L_{s1}$	6.6	$L_{s2}$	4.0
$W_s$	0.6	$W_m$	1.44

개구결합 급전방식으로 원형편파 특성을 갖는 단층 DRA의 기본 구조는 그림 3과 같다. 그림 3에 나타난 십자형 개구결합 CP-DRA는 기판의 위쪽면에 유전체 공진기가 있고 아랫면에 개구가 형성된 접지면이 있으며, 기판의 아랫면에는 50Ω으로 설계된 급전선이 폭 1.44mm로 구성되어 있다. 설계된 단층 CP-DRA는 유전체 공진기의 폭 9.8mm, 높이 3.0mm이며, 유전체공진기가 원형편파 방사특성을 갖기 위하여 십자형 개구의 장축과 단축길이를 최적화한다.

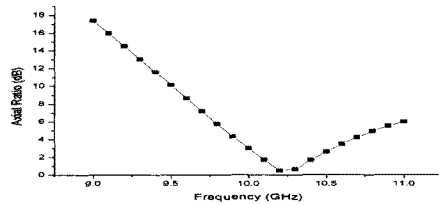
FIM(Finite Integration Method)을 사용하여 작성된 고주파 수치해석 프로그램인 CST사의 MWS를 이용하여 시뮬레이션된 좌선회 원형편파에 대한 단층 CP-DRA의 최적 설계치는 표 1과 같고, 그의 반사손실, 이득, 축비에 관한 시뮬레이션 결과는 그림 4에 나타났다.



(a) return loss



(b) gain



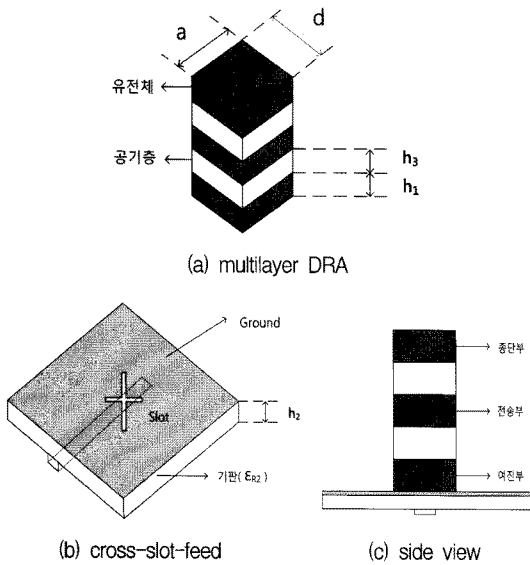
(c) axial ratio

그림 4. 단층 CP-DRA의 반사손실, 이득 및 축비  
 Fig. 4. Simulated result of the single layer CP-DRA.

## 2. 다층(Multilayer) CP-DRA

본 논문에서 제안한 개구결합 급전방식을 이용한 다층 DRA는 여진부, 전송부, 종단부 3층의 DR로 구성되어 있으며 구조는 그림 5와 같다. 접지면과 접하고 있는 여진부 DR은 여진 효율을 높이고 특정모드를 상층 유전체 공진기에 여기시키기 위한 것이며, 중앙에 위치한 전송부 DR은 대역폭 증대를 위한 것이고, 최상부에 위치한 종단부 DR은 표면파의 방사를 증대시켜 안테나 이득을 개선하기 위한 것이다.

다층 CP-DRA의 설계에서 최대의 이득을 갖기 위한 중요 인자는 여진부, 전송부, 종단부 사이의 공기층 두께이다. 또한 유전체가 다층으로 적층 배열됨에 따라 특정모드를 유전체에 여기시켜 최적의 원형편파 특성을 구현하기 위해, 십자형 슬롯의 단축길이( $L_{s2}$ )가 단층 CP-DRA에 비하여 0.5mm 길어진다. 최적화된 다층



(a) multilayer DRA

(b) cross-slot-feed

(c) side view

그림 5. 개구결합 급전방식 다층 CP-DRA의 구조  
 Fig. 5. Schematic of the cross-slot-coupled multilayer CP-DRA.

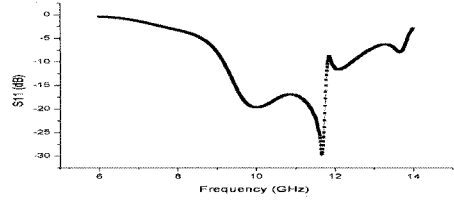
표 2. 다층 CP-DRA의 설계 파라미터 (LHCP)  
 Table 2. Design parameters for the multilayer CP-DRA.

Parameter	Value(mm)	Parameter	Value(mm)
$\epsilon_{r1}$	8.3	$\epsilon_{r2}$	2.5
$h_1$	3.0	$h_2$	0.508
$a=d$	9.8	$L_s$	3.2
$L_{s1}$	6.6	$L_{s2}$	4.5
$W_s$	0.6	$W_m$	1.44
$\epsilon_{r3}$	1.0	$h_3$	5.0

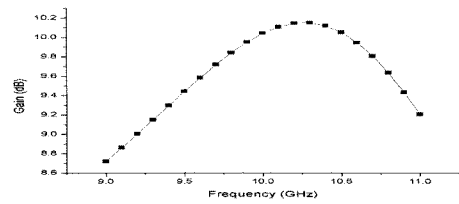
CP-DRA는 유전체 공기층 간의 공기층 두께는 5.0mm이며, 개구결합 급전 슬롯의 단축길이가 단층 CP-DRA에서 4.0mm, 다층 CP-DRA에서는 4.5mm에서 원형편파 방사특성이 가장 양호하다.

제안한 3층 CP-DRA의 최적 파라미터를 얻기 위하여 단층 CP-DRA에서 사용한 고주파 수치해석 프로그램인 CST사의 MWS를 이용하여 시뮬레이션 하였고, 표 2는 좌선회 원형편파의 최적화된 설계값이며, 그림 6은 반사손실, 이득, 축비에 관한 시뮬레이션 결과이다.

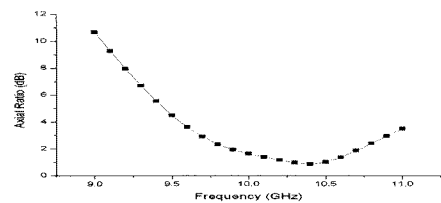
단층 CP-DRA와 다층 CP-DRA의 시뮬레이션 결과(그림 4와 그림 6)를 비교하면 표 3과 같으며, 다층



(a) return loss



(b) gain



(c) axial ratio

그림 6. 다층 CP-DRA의 반사손실, 이득 및 축비  
 Fig. 6. Simulated result of the multilayer CP-DRA.

표 3. CP-DRA의 시뮬레이션 결과 비교  
 Table 3. Comparison between the single layer CP-DRA and the multilayer CP-DRA.

구 분	단층 CP-DRA	다층 CP-DRA
10dB 이하 반사손실 대역	9.7~11.8GHz	9.2~11.96GHz
임피던스 대역폭	2.1 GHz	2.7 GHz
3dB 이하 축비 대역	10.0~10.5GHz	9.7 ~10.9GHz
축비 대역폭	0.5 GHz	1.2 GHz
중심주파수 이득 (10.2GHz)	6.1dBi	10.15dBi

CP-DRA의 성능이 단층 CP-DRA에 비하여 개선됨을 알 수 있다.

### III. 다층 CP-DRA의 2×2 배열 안테나

DRA 배열의 방사패턴은 일반적인 배열 안테나와 동일하게 단일소자의 방사패턴과 배열계수 (AF : Array Factor)에 의해 결정된다. DRA 배열의 방사전계는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다<sup>[9]</sup>.

$$E = E_0 \times AF \quad (2)$$

여기에서  $E_0$ 는 단일 DRA의 방사전계이고, DRA를 행과 열로 각각  $m$ 개 및  $n$ 개 평면으로 배열한 경우의 배열계수는 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

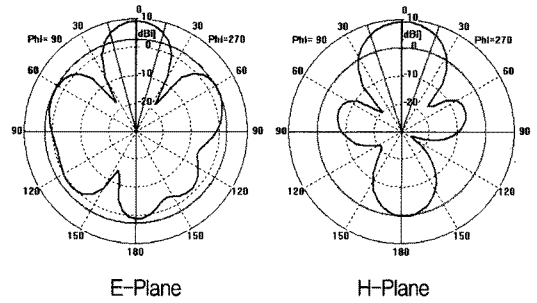
$$AF = \frac{1}{mn} \frac{\sin[m(k_0 D \sin\theta \cos\phi)/2]}{\sin[(k_0 D \sin\theta \cos\phi)/2]} \frac{\sin[n(k_0 D \sin\theta \sin\phi)/2]}{\sin[(k_0 D \sin\theta \sin\phi)/2]} \quad (3)$$

여기에서  $k_0 = 2\pi/\lambda_0$ 는 자유공간에서의 파수(wave number)이며,  $\lambda_0$ 는 자유공간에서의 파장이고,  $D$ 는 DRA 사이의 간격이다.

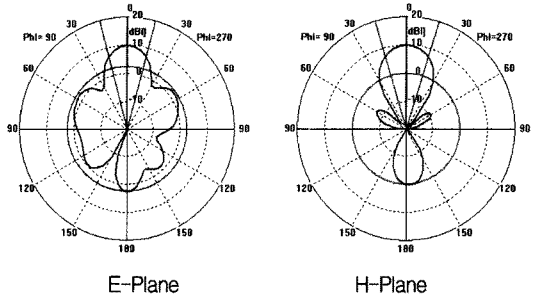
배열 안테나를 설계 할 때 중요한 인자는 방사 소자 중심과 중심 사이의 거리( $D$ )로 안테나의 이득, 빔폭과 grating lobe 등을 결정하는 주요 파라미터이다.

단층 DRA를 사용한 배열 안테나는 많은 연구가 진행되고 있으나, 본 연구에서 제한한 다층 DRA의 배열에 관한 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서, 본 논문은 다층 CP-DRA 사이의 간격을  $0.7\lambda_0$  및  $1.2\lambda_0$  2가지 형태로 정하여 DR 배열안테나에서 소자간격이 안테나 이득에 미치는 영향에 대하여 연구한다. 여기에서 소자 간격  $0.7\lambda_0$ 는 일반적인 안테나 배열 및 단층 DRA에서 많이 적용되는 간격이고, 소자간격  $1.2\lambda_0$ 는 일반적인 안테나 배열에는 grating lobe가 발생하여 사용할 수 없는 간격이지만, 본 연구에서 다층 CP-DRA 배열안테나의 이득 향상을 위해 제한된 간격이다.

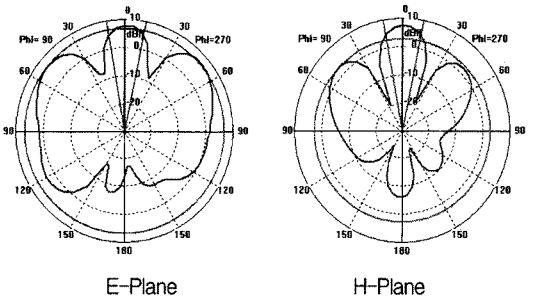
그림 7은 단층과 다층 CP-DRA를 소자 간격  $0.7\lambda_0$  및  $1.2\lambda_0$ 로 배열한 안테나의 시뮬레이션 방사패턴이고, 그림 8은 다층 CP-DRA를 소자 간격  $0.7\lambda_0$  및  $1.2\lambda_0$ 로 배열했을 때 반사손실, 이득, 축비를 계산한 결과이다. 그림 7과 그림 8의 결과를 비교하면 표 4와 같다. 표 4에서 다층 CP-DRA를  $0.7\lambda_0$  간격으로 배열한 경우와 단층 CP-DRA를 같은 간격으로 배열한 안테나의 SLL(side-lobe-level), F/B(front-to-back ratio) 및 이득은 비슷하지만, 다층 CP-DRA를  $1.2\lambda_0$  간격으로 배



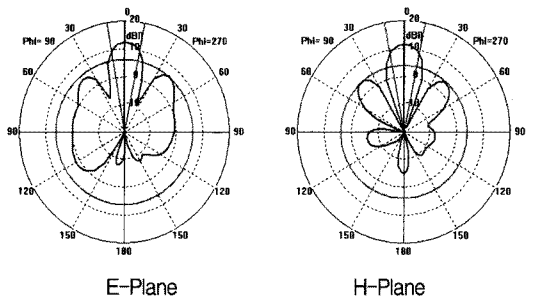
(a) 단층 CP-DRA의 2×2 배열안테나 ( $D=0.7\lambda_0$ )



(b) 다층 CP-DRA의 2×2 배열안테나 ( $D=0.7\lambda_0$ )



(c) 단층 CP-DRA의 2×2 배열안테나 ( $D=1.2\lambda_0$ )



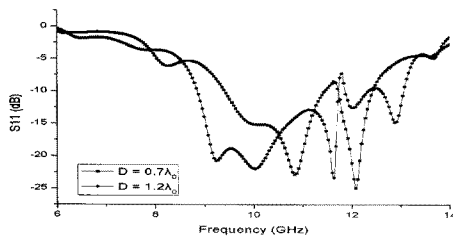
(d) 다층 CP-DRA의 2×2 배열안테나 ( $D=1.2\lambda_0$ )

그림 7. 2×2배열 CP-DRA의 시뮬레이션 방사패턴 (10.2GHz)

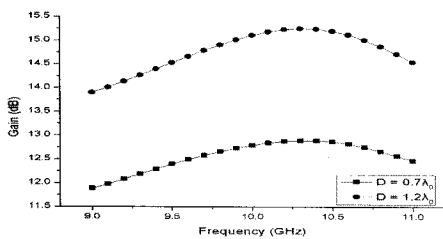
Fig. 7. Simulated radiation patterns for the CP-DRAs.

표 4. CP-DRA 종류별 시뮬레이션 결과 비교  
Table 4. Simulated result of the CP-DRAs.

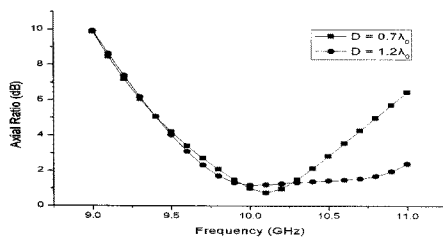
구분	SLL (dB)	F/B (dB)	이득 (dBi)	임피던스 대역폭	축비 대역폭
단층CP-DRA (D=0.7λ <sub>0</sub> )	-8.8	12.4/3	12.2	1.2GHz	0.55GHz
다층CP-DRA (D=0.7λ <sub>0</sub> )	-8.7	13.1/4	12.7	1.9GHz	0.9GHz
단층CP-DRA (D=1.2λ <sub>0</sub> )	-2.6	10.8/-5	10.8	1.6GHz	0.6GHz
다층CP-DRA (D=1.2λ <sub>0</sub> )	-7.1	15.3/-4	15.23	3.0GHz	1.4GHz



(a) return loss



(b) gain



(c) axial ratio

그림 8. 다층 CP-DRA의 2×2 배열 안테나의 시뮬레이션 결과

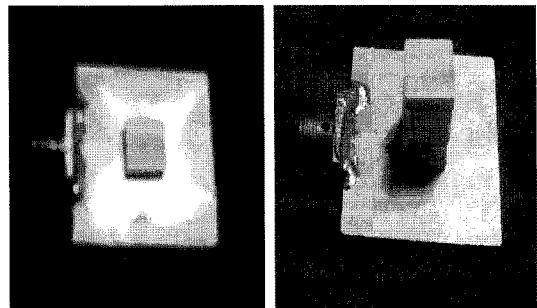
Fig. 8. Simulated result of 2×2 array antenna.

열한 경우에 SLL, F/B 및 이득이 크게 개선됨을 알 수 있다. 또한 다층 CP-DRA의 소자 간격이 1.2λ<sub>0</sub>일 때가 0.7λ<sub>0</sub>일 때 보다 임피던스 및 축비 대역폭도 개선됨을 알 수 있다.

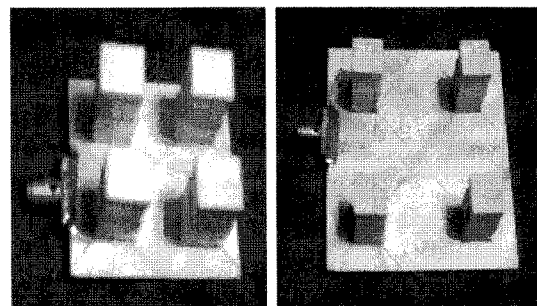
#### IV. 안테나 제작 및 측정

그림 9는 제작한 안테나의 실제 사진들이다. 제작에 사용한 기판은 비유전율(ε<sub>r</sub>) 2.5, 기판 두께 0.508mm인 TLX-9 기판이고, 유전체 공진기는 비유전율 8.3, 유전체 손실 tanδ 0.002, 두께 3.0mm인 알루미늄이다. 그리고 다층 DRA의 공기층은 스티로폼(styrofoam)을 이용하여 유전체 간격 5.0mm가 되도록 제작하였다.

그림 10은 제작한 안테나의 반사손실 측정결과로서 단층 CP-DRA의 대역폭은 1.32GHz(9.68~11.0GHz)이고 다층 CP-DRA의 대역폭은 2.94GHz(9.26~12.2GHz)로 임피던스 대역폭이 2배 이상 개선됨을 알 수 있다. 그리고 2×2 배열 다층 CP-DRA의 소자 간격이 0.7λ<sub>0</sub> 경우 대역폭은 1.25GHz(9.8~11.05GHz)이고, 소자 간격 1.2



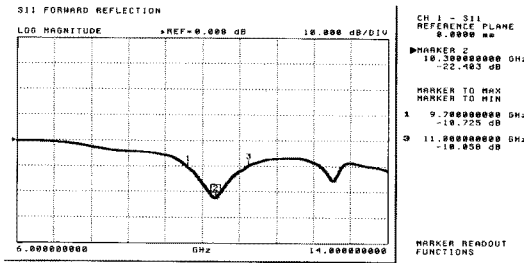
(a) single layer CP-DRA (b) multilayer CP-DRA



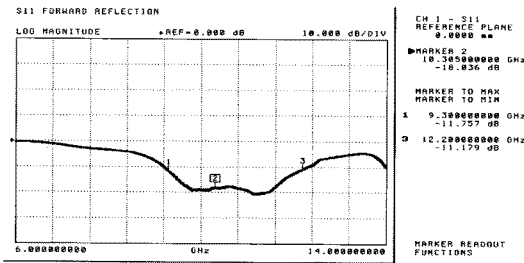
(c) planar array(D=0.7λ<sub>0</sub>) (d) planar array(D=1.2λ<sub>0</sub>)

그림 9. 제작한 CP-DRA의 사진

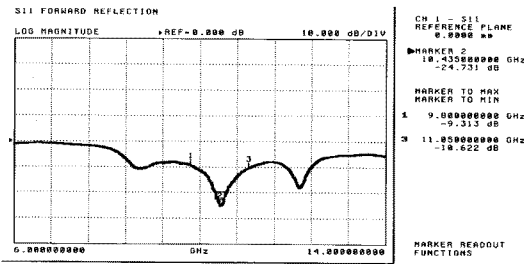
Fig. 9. Photograph of the fabricated CP-DRAs.



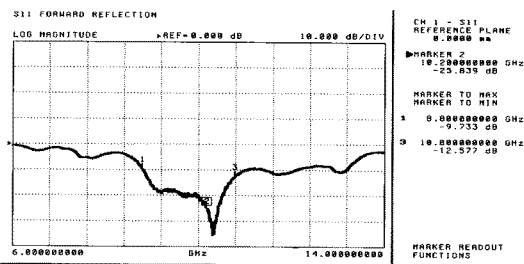
(a) single layer CP-DRA



(b) multilayer CP-DRA



(c) planar array with  $D=0.7 \lambda_0$

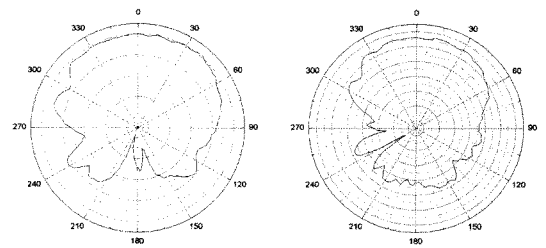


(d) planar array with  $D=1.2 \lambda_0$

그림 10. CP-DRA의 측정된 반사손실  
Fig. 10. Measured return loss for the CP-DRAs.

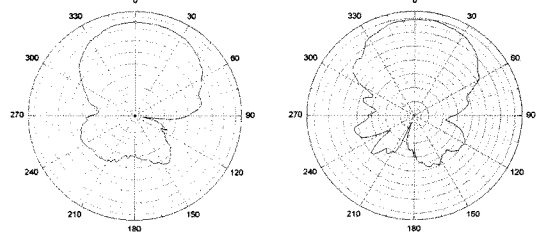
$\lambda_0$  경우 대역폭은 2.2GHz(8.8~11.0GHz)로 시뮬레이션 결과와 비교하여 약간의 차이는 있지만 대역폭이 많이 증가됨을 알 수 있다.

그림 11은 제작한 안테나의 방사패턴 측정결과를 나타낸 것으로, 그림 11의 (a)와 (b)는 단일 소자의 단층



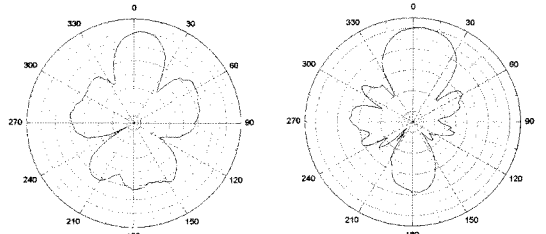
E-Plane H-Plane

(a) 단층 CP-DRA (단일소자)



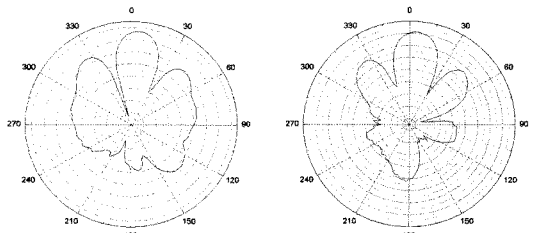
E-Plane H-Plane

(b) 다층 CP-DRA (단일소자)



E-Plane H-Plane

(c) 다층 CP-DRA의 2x2 배열안테나 ( $D=0.7 \lambda_0$ )



E-Plane H-Plane

(d) 다층 CP-DRA의 2x2 배열안테나 ( $D=1.2 \lambda_0$ )

그림 11. CP-DRA의 측정된 방사패턴 (10.2GHz)  
Fig. 11. Measured radiation patterns for the CP-DRAs.

및 다층 CP-DRA의 방사패턴이다. 그림 11의 (c)는 다층 CP-DRA를  $0.7 \lambda_0$  간격으로 2x2 평면 배열한 안테

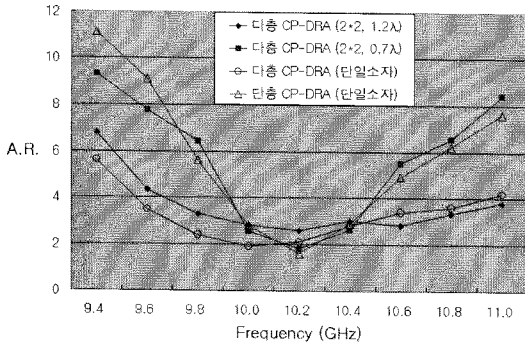


그림 12. CP-DRA의 측정된 축비  
 Fig. 12. Measured axial ratios of the CP-DRAs.

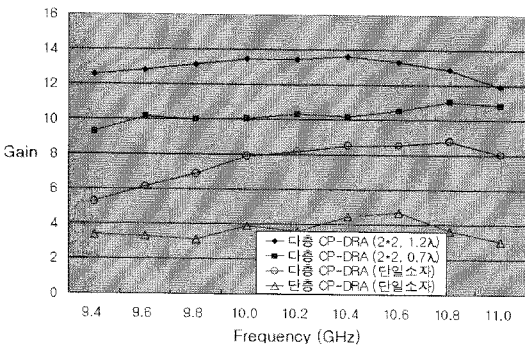


그림 13. CP-DRA의 측정된 이득  
 Fig. 13. Measured gains of the CP-DRAs.

나의 방사패턴으로 시뮬레이션 결과(그림 7의 b)와 비슷하며, 그림 11의 (d)는 다층 CP-DRA를  $1.2\lambda_0$  간격으로  $2 \times 2$  평면 배열한 안테나의 방사패턴으로 이득은  $0.7\lambda_0$  간격으로 배열된 다층 CP-DRA에 비하여 3dB이 높게 나타난다.

그림 12와 그림 13은 CP-DRA의 축비와 이득을 측정한 결과이다. 본 논문에서 제안한 다층 CP-DRA는 단층 CP-DRA에 비하여 임피던스 대역폭 및 축비 대역폭이 개선되며, 매우 높은 이득 특성을 가진다. 그리고 다층 CP-DRA를 소자 간격을  $0.7\lambda_0$  대신  $1.2\lambda_0$ 로 배열한 경우 임피던스 및 축비 대역폭, 이득도 개선됨을 알 수 있다.

### V. 결 론

본 논문에서는 CP-DRA의 이득 증대 및 반사손실과 축비대역폭 개선을 위해 단층 CP-DRA에 대하여 분석하고, 이를 바탕으로 유전체 공진기를 3층으로 적층 배

열한 안테나를 제안하였다. 제안한 다층 CP-DRA는 중심주파수 10.2GHz에서 이득이 8.1dB로 단층 CP-DRA의 이득 3.6dB에 비하여 약 2배 이상 증대되었고, 임피던스 대역폭과 축비 대역폭도 개선됨을 알 수 있었다.

또한, 다층 CP-DRA를  $0.7\lambda_0$  및  $1.2\lambda_0$  간격으로  $2 \times 2$  평면 배열한 안테나를 제작하여 방사패턴을 측정하였다. 다층 CP-DRA를  $1.2\lambda_0$  간격으로 배열한 안테나에서는 일반적인 배열안테나와 다르게 grating lobe가 크게 감소하며, 이득도  $0.7\lambda_0$  간격으로 배열된 안테나에 비하여 약 3dB 높게 나타났다.

본 논문에서 제안한 다층 CP-DRA를 위성방송 수신용 안테나에 적용할 경우에 안테나 크기를 크게 줄일 수 있는 이점이 있을 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

- [1] David M. Pozar and Sean M. Duffy, "A Dual-Band Circularly Polarized Aperture-Coupled Stacked Microstrip Antenna for Global Positioning Satellite," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 45, NO. 11, pp. 1618-1624, November 1997.
- [2] Choon Sae Lee and Vahakn Nalbandian, "Planar Circularly Polarized Microstrip Antenna with a single feed," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 47, NO. 6, June 1999.
- [3] B. Al-Jibouri, T. Vlasits, E. Korolkiewicz, S. Scott and A. Sambell, "Transmission-line modelling of the cross-aperture-coupled circular polarized microstrip antenna," *IEE Proceedings, Microwaves, Antennas Propag.*, Vol. 147, NO. 2, pp. 82-86, April 2000.
- [4] Shing-lung Steven Yang, Ricky Chair, Ahmed A. Kishk, Kai-Fong Lee and Kwai-Man Luk, "Study on Sequential Feeding Networks for Subarrays of Circularly Polarized Elliptical Dielectric Resonator Antenna," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 55, NO. 2, pp. 321-332, February 2007.
- [5] Georgios Almpanis, Christophe Fumeaux and Rudiger Vahldieck, "Offset Cross-Slot-Coupled Dielectric Resonator Antenna for Circular Polarization," *IEEE Microwave and Wireless components Letters*, Vol. 16, No. 8, pp. 461-463, August 2006.
- [6] Matthew T. K. Tam and Ross D. Murch, "Circularly Polarized Circular Sector Dielectric



Resonator Antenna," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 48, NO. 1, pp. 126-128, January 2000.

- [7] Kwok Wa Leung and Hoi Kuen Ng, "The Slot-Coupled Hemispherical Dielectric Resonator Antenna With a Parasitic Patch: Application to the Circularly Polarized Antenna and Wide-Band Antenna," *IEEE Transactions on Antennas and*

*Propagation*, Vol. 53, NO. 5, pp. 1762-1769, May 2005.

- [8] Richard C. Johnson, *Antenna Engineering Handbook-Third Edition*, McGraw-Hill, Inc., Chap 12.
- [9] K. M. Luk and K. W. Leung, *Dielectric Resonator Antennas*, Research Studies Press LTD., Chap 2 and Chap 9, 2003.

### 저 자 소 개



이 호 상(정회원)  
1997년 경상대학교  
전자공학과 석사 졸업.  
2005년~현재 경상대학교  
전자공학과 박사 과정.  
1994년~현재 한국수자원공사.  
<주관심분야 : 안테나, 무선통신,  
레이더 시스템>



손 호 철(학생회원)  
2009년 경상대학교  
전자공학과 학사 졸업.  
2009년~현재 경상대학교  
전자공학과 석사 과정.  
<주관심분야 : 무선통신, 안테나,  
마이크로파, Matamaterial>



조 동 기(정회원)  
2001년 경상대학교  
전자공학과 석사 졸업.  
2000년~2008년 한국소니전자.  
2004년~현재 경상대학교  
전자공학과 박사 과정.  
<주관심분야 : 무선통신, 안테나,  
전자장 수치해석>



이 문 수(평생회원)  
1970년 한국항공대학교  
통신공학과 학사 졸업.  
1980년 한양대학교  
전자통신공학 석사 졸업.  
1984년 한양대학교  
전자통신공학 박사 졸업.  
1981년~1986년 제주대학교 통신공학과 부교수.  
1986년 9월~1987년 9월 미국 COMSAT 연구소  
연구원.  
1999년 6월~1999년 8월 미국 Syracuse 대학교  
방문교수.  
2004년 1월~2005년 2월 미국 미시시피 대학교  
방문교수.  
1987년~현재 경상대학교 전자공학과 정교수.  
<주관심분야 : 마이크로파, 무선통신, 안테나,  
Matamaterial>



정 영 호(정회원)  
2001년 경상대학교  
전자공학과 석사 졸업.  
2003년~현재 경상대학교  
전자공학과 박사 과정.  
2001년~현재 KAI 선임연구원.  
<주관심분야 : 무선통신, 안테나,  
전자장 수치해석>



김 철 복(정회원)  
2006년 경상대학교  
전자공학과 학사 졸업.  
2008년 경상대학교  
전자공학과 석사 졸업.  
<주관심분야 : RF 회로, 안테나,  
Particle swarm optimization,  
Matamaterial>