

논문 2013-50-10-5

# 차량 충돌 방지 레이더 시스템용 밀리미터파 유전체 공진기 안테나

( Millimeter-Wave Dielectric Resonator Antennas for the Anti-Collision  
Car Radar System )

박 영 본\*, 정 영 호\*\*, 석 창 현\*\*\*, 이 문 수\*\*\*\*

( Young Bon Park, Young Ho Jung<sup>©</sup>, Chang Heon Seok, and Mun Soo Lee )

## 요 약

본 논문에서는 차량 충돌 방지용 밀리미터파 레이더 시스템용 안테나에 적용 가능한 LTCC(low temperature co-fired ceramic) 공정을 사용한 유전체 공진기 안테나(DRA, dielectric resonator antenna)를 제안한다. 76-77 GHz에서 공진하는 DRA를 설계하며, LTCC 공정을 사용하여 유전체 공진기 내부에 SRR(split ring resonator)을 넣은 구조와 모노폴을 넣은 구조를 제안한다. 또한 모노폴을 넣은 구조는 선형 편파를 제공하는 안테나와 원형편파를 제공하는 두 가지 구조로 설계한다. 유전체 공진기 내부 구조 및 편파, 급전 마이크로스트립 선로 길이 및 마이크로스트립 구조에 따라 총 3가지 모델의 DRA를 설계하고, EM 해석 소프트웨어인 CST를 사용하여 각 안테나의 반사손실 특성 및 방사 패턴을 계산한다. 설계된 안테나를 실제 제작하여 특성을 측정하고 계산치와 비교한다. 제작된 DRA 측정결과 원하는 대역인 76-77GHz 대역에서 공진 특성을 나타내고, 8.15 dBi에서 10.82 dBi의 안테나 이득을 획득하였다.

## Abstract

This paper suggests the dielectric resonator antenna using LTCC process for mm-wave car radar system. In this paper, dielectric resonator antennas (DRA) operated in 76-77 GHz frequency band are designed. And, using the LTCC process, the structures of dielectric resonator with SRR (split ring resonator) inside and those of dielectric resonator with probe inside are suggested. Linear polarization antennas and circular polarization antenna are designed for the DRA with probe inside. Three kinds of the DRA antennas are designed and their characteristics are calculated using CST RF simulation tool. The designed antennas are fabricated and measured and the measured results are compared with calculated results. The measured operating frequencies of DRAs are within 76 GHz to 77 GHz, which are close to the calculated results, and the measured gains are about 8.15 dBi to 10.82 dBi.

**Keywords** : 밀리미터파, 유전체 공진기 안테나, LTCC

\* 정회원, \*\*\*\* 평생회원, 경상대학교 전자공학과  
(Department of Electronic Engineering, Gyeongsang National University)

\*\* 정회원, 한국항공우주산업(주)  
(Korea Aerospace Industries, LTD.)

\*\*\* 정회원, 알엔투테크놀로지(주)  
(RN2 Technologies)

© Corresponding Author(E-mail: [yh\\_ant@hanmail.net](mailto:yh_ant@hanmail.net))

※ 본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2012년도 산학연공동기술개발사업(No. C0032872)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

접수일자: 2013년2월28일, 수정완료일: 2013년9월30일

## I. 서 론

오늘날 국내·외 시장현황에서 무선 이동통신의 급격한 발전 추세에 따라 이동통신 시스템용 단말기 안테나는 마이크로스트립 패치 안테나와 평면형 역 F 안테나 등과 같이 소형화와 경량화에 많은 관심을 갖게 되었다. 특히 전자 빔을 원하는 방향으로 자유롭게 조정할 수 있는 위상 배열 안테나(phased array antenna)와 DSP(digital signal processing) 기술이 결합된 스마트 안테나(smart antenna) 시스템, 위성 방송 수신용 안테나, 차량 충돌 방지용 밀리미터파 레이더 안테나 등이 용분야는 마이크로파 및 밀리미터파 대역에서 급속도로 증가하고 있다.

지난 수십 년 동안 마이크로스트립 패치 안테나가 마이크로파 및 밀리미터파 무선 통신 시스템 안테나로 폭넓게 연구되어 왔으나 동작주파수가 밀리미터파 영역으로 높아짐에 따라 금속패치의 도체손실이 증가하여 안테나 방사효율이 떨어지고 대역폭이 좁아지는 단점이 있다. 유전체공진기 안테나(DRA, dielectric resonator antenna)는 마이크로스트립 패치 안테나의 이러한 단점을 극복하면서 온도특성이 안정된 방사소자로 많은 관심을 받고 있다. DRA는 마이크로스트립 패치 안테나에 비해서 대역폭이 넓고 (약 10%)<sup>[1]</sup>, 도체 손실이 없으므로 방사효율이 높으면서 표면파 모드에 의한 왜곡이 생기지 않는다. 또한 그 구조가 간단하고 여러 가지 모드를 사용하여 서로 다른 방사패턴을 얻을 수 있으며, MIC (microwave integrated circuit)화가 용이한 특징을 갖고 있으므로 소형이며 저가인 마이크로파 및 밀리미터파 무선 통신 시스템 안테나용으로 적합하다.

유전체공진기(dielectric resonator: DR)는 1939년 Richtmeyer<sup>[2]</sup>가 이론적으로 처음 제안한 이후 필터나 발진기 등의 초고주파 회로 소자용으로 많이 사용되고 있다. 그 후 1983년 Long<sup>[3]</sup>이 체계적인 실험을 통하여 여러 가지 형태의 유전체 공진기를 효율이 높은 방사기로 사용할 수 있음을 입증하였다.

유전체공진기의 형태로는 원통형, 직육면체형, 반구형, 반쪽 원통형, 삼각형 캐비티 등이 있다.<sup>[3~7]</sup> 직육면체형 유전체 공진기 안테나는 원통형이나 반구형 등에 비하여 몇 가지 이점이 있다. 첫째, 공진기의 크기, 즉 길이와 높이, 폭을 적당히 선택하여 모드 축퇴(mode degeneracy)를 막을 수 있다. 둘째, 주어진 공진 주파수

에서 직육면체 유전체공진기는 두 종횡비(높이/길이와 폭/길이)를 독립적으로 선택할 수 있다. 따라서 안테나의 대역폭은 직육면체 유전체공진기의 두 종횡비에 따라 유연하게 조절할 수 있다.

본 논문에서는 밀리미터파 차량용 충돌 방지 레이더 시스템에 사용 가능하도록 고유전율의 DRA를 설계한다. 차량 충돌 방지용 레이더에 사용될 배열 안테나의 기본 소자로써 적합한 DRA를 탐색하기 위하여 SRR (split-ring resonator) 구조가 들어간 고유전율의 DRA를 포함하여 여러 가지 DRA를 설계하고 비교한다. SRR 구조를 삽입한 복잡한 DRA 제작을 위해 LTCC (low temperature co-fired ceramic) 공법을 사용한다.

안테나의 반사손실과 방사패턴은 3차원 FDTD (finite difference time domain) 법을 이용한 시뮬레이션 소프트웨어 CST MWS(CST ver.2006)를 사용하여 계산한다. 설계한 안테나의 반사 손실과 입력 임피던스, 방사패턴 및 이득특성의 계산치와 실제 안테나를 제작 측정된 측정치를 비교한다.

본 논문의 I 장은 논문의 서론으로 연구 배경, 연구 내용과 논문의 구성을 소개하고, II 장에는 직육면체 유전체공진기 안테나 이론으로 안테나의 방사모델, 그리고 공진 주파수에 대하여 기술하고, LTCC 공법을 소개한다. III 장에서는 설계하고자 하는 안테나의 특성을 계산하여 최적화된 설계 파라미터를 이용하여 안테나를 제작한다. 그리고 IV 장에서는 제작한 안테나의 특성을 실험을 통하여 측정된 결과와 계산치를 비교하며, V 장에서는 본 논문의 결론으로 전체적인 결과를 기술한다.

## II. 유전체 공진기 안테나

DRA를 설계할 때 필요한 파라미터는 공진주파수, 입력 임피던스, 방사패턴 등이 있다. DRA의 파라미터를 추정하기 위한 여러 가지 수치해석적인 방법이 연구되어 공진주파수, 방사패턴에 관해서는 상대적으로 간단한 모델이 있으나, 입력 임피던스를 수치 해석적으로 추정하기 위해 시뮬레이션 또는 실험적인 측정에 의해서 구해야 한다. 따라서 이 장에서는  $TE_{111}$  모드로 급전되는 직육면체 유전체 공진기의 공진주파수와 방사패턴에 대하여 알아본다.

1. 방사모델

직사각형 DRA의 가장 낮은 차수의 필드 분포는 유전체 도파관 모델 방정식에 의해 결정되며 이것은 미소 자기 쌍극자와 유사하다. DRA에 의해 생성된 방사패턴은 미소 자기 쌍극자를 사용함으로 추정 할 수 있다. 그림 1은  $TE_{110}^x$  모드로 여기되는 무한 접지면 상의 직육면체 DRA에 대한 등가모델, 방사패턴을 나타낸다. 그림 1(b)에서 x축으로 정렬된 수평 자기 쌍극자로 등가화 되며, 그림 1(c)는 무한 접지면에 올려진 DRA의 계산에 의한 방사패턴이다.<sup>[1]</sup>

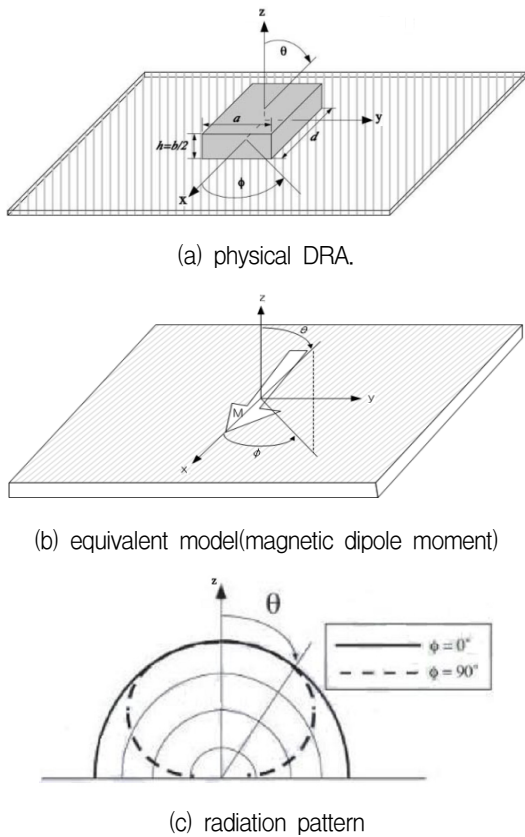


그림 1. 직육면체 유전체공진기안테나의 방사모델  
Fig. 1. Radiation model of the rectangular DRA.

2. 공진주파수

RA의 공진 주파수는 유전체의 유전율, 크기 그리고 주변의 다른 유전체와의 상호결합 정도에 따라 결정된다.

직육면체 DRA의 공진 주파수를 구하기 위해서는 근사적 해석 방법을 사용한다. 공진 모드는 유전체공진기의 전기적 특성과 경계면에서의 경계조건에 의해 결정

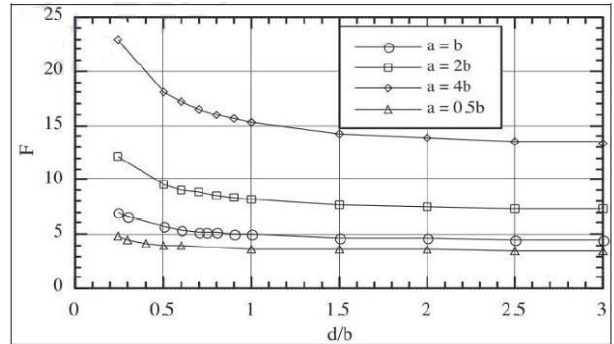


그림 2. 직육면체 유전체공진기안테나의 정규화 주파수  
Fig. 2. Normalized frequency of a rectangular DRA.

되며 유전체공진기는 일반적으로 두 가지 모드인 E-모드와 H-모드가 있다. H-모드는 경계면에서 자계의 수직 성분이 있는 모드이고, E모드는 경계면에서 자계의 수직 성분이 0(zero)인 모드이다. 기존 H-모드와 E-모드는 전자계 구조에서 각각 자기 쌍극자와 전기 쌍극자처럼 방사한다.

그림 1(a)에서 기본 모드의 하나인  $TE_{111}^x$  모드로 공진할 경우 직육면체 DRA의 공진 주파수는 식 (1)과 그림 2로부터 구할 수 있다.<sup>[8]</sup>

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

여기서, F는 정규화 된 주파수를, c는 빛의 속도를, a는 유전체의 폭을,  $f_0$ 는 유전체의 공진주파수를,  $\epsilon_r$ 은 유전체의 비유전율을 나타낸다.

4. LTCC (low temperature co-fired ceramic)공법

LTCC는 900 ° C 이하에서 내부 전극과 동시 소결하는 세라믹으로서 전자부품의 소형화 및 고주파수화에 대응한다. 동시에 LTCC는 각각의 수동소자(R,L,C)를 적층공정을 통해 3차원적으로 형성함으로써 부품의 소형화 및 복합화를 이룰 수 있는 장점이 있다. LTCC를 적용한 소자는 단위 소자에서 복합 소자까지 다양하며 응용 범위 또한 자동차용, 정보통신용, 전자 패키징, 항공 우주용 등이 있다. 최근에는 LTCC 소자의 장점인 저온 소결 특성과 내부전극으로 Ag, Cu 등을 적용함으로 인하여 고주파 부품의 소형화, 고기능화, 복합화를 실현하였으며, 회로 기판, 이동통신 부품 및 모듈에 폭넓게 응용되고 있다.

본 논문에서는 DRA 내부에 SRR 구조 및 모노폴을 사용하기 위하여 LTCC 공법을 적용한다.

### III. 안테나 설계 및 제작

#### 1. 설계

LTCC 공법을 사용한 밀리미터파 차량용 레이더 시스템에 관한 네가지의 DRA를 설계한다. 표 1은 설계하고자 하는 안테나의 사양을 나타낸 것이다.

본 논문에 설계된 안테나는 급전 방법, 안테나 구조, 마이크로스트립라인의 길이에 따라 모델명을 분류한다. DRA를 나타내기 위해 모델명을 D로 시작했고, 안테나 구조에 따라서 모노폴 구조는 M을, SRR 구조는 S를

표 1. 설계 사양  
Table 1. Specifications.

Proposed antenna	
Return loss(dB)	Below -10 dB
Bandwidth(GHz)	76GHz~77GHz
Center frequency(GHz)	76.5GHz
Gain(dB)	Around 4 dB
Radiation efficiency(%)	Around 70%
volume	3mm×3mm×0.6mm
Dielectric constant $\epsilon_{r,s}$	7.8

표 2. 설계된 안테나 모델  
Table 2. Designed Antenna Model.

모델명	안테나 구조	Miter	마이크로스트립 길이	마이크로스트립 구조
DM9	Monopole	-	9mm	Normal
DMM13	Monopole	적용	13mm	Normal
DS10I	SRR	-	10mm	Inverted

붙이고, Miter된 구조는 M을 추가한다. 마이크로스트립 라인으로 급전되는 경우 모델명에 라인의 길이를 추가하고, 반전된(Inverted) 마이크로스트립라인의 경우 마지막에 I를 추가한다. 본 논문에서 설계된 모델명으로 정리하면 표 2와 같다.

#### (1) DM9

DM9 안테나 구조는 그림 3과 같다. DM9 안테나 구조는 모노폴과 마이크로스트립 급전 라인으로 구성된

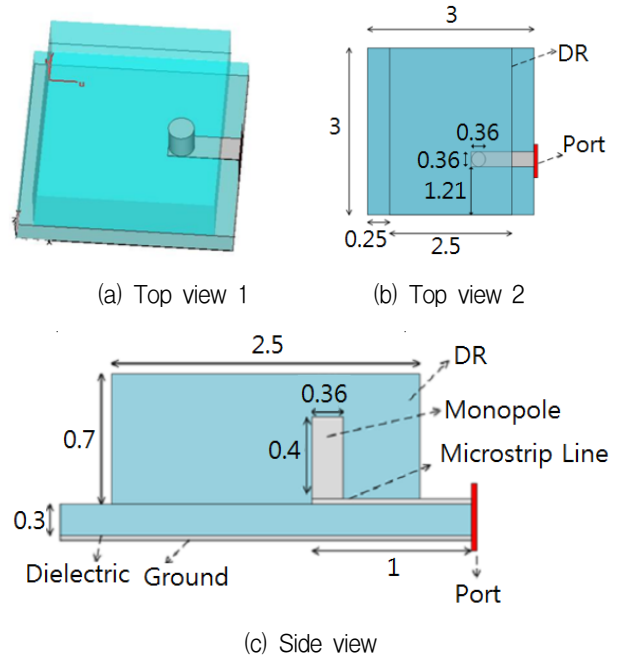


그림 3. DM9의 구조 (단위: mm)  
Fig. 3. Structure of DM9 (unit: mm).

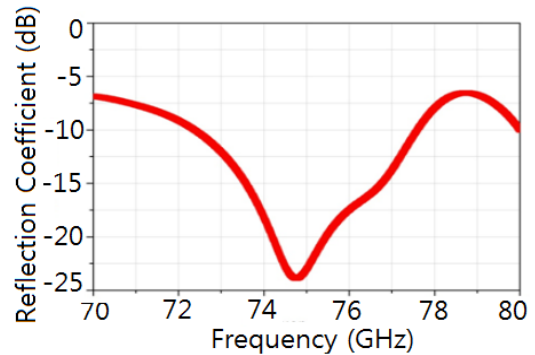


그림 4. DM9의 반사계수 해석 결과  
Fig. 4. Simulated Reflection Coefficient of DM9.

다. 그림 3(a), (b), (c)는 안테나를 위에서, 옆에서 본 그림이다.

DM9의 계산된 공진 주파수는 그림 4와 같으며, 72.5~77.5 GHz에서 공진하며 공진주파수에서 안테나 이득은 7.8 dBi로 계산된다.

#### (2) DMM13

DMM13 안테나 구조는 그림 5와 같다. 그림 5(a)는 안테나를 위에서 본 그림이고, 그림 5(b)는 안테나를 옆에서 본 그림이다. 여기서 DR의 모서리를 잘라내어 원형 편파(RHCP)를 얻을 수 있다. 잘라낸 길이는 초기에 DRA 크기의 20%로 두고 EM 해석 소프트웨어를 통

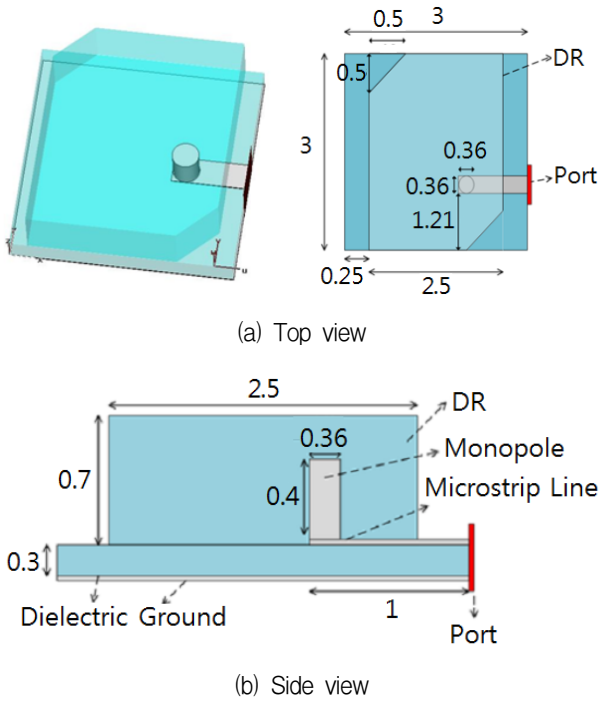


그림 5. DMM13의 구조 (단위: mm)  
Fig. 5. Structure of DMM13 (unit: mm).

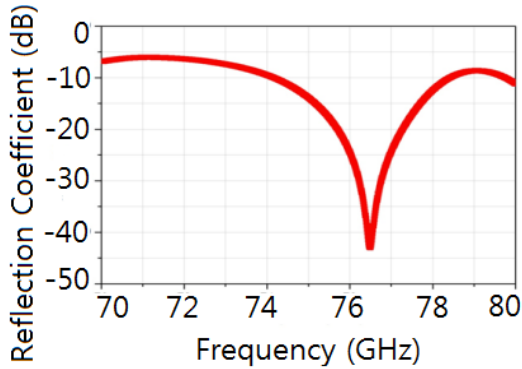


그림 6. DMM13의 반사계수 해석 결과  
Fig. 6. Simulated Reflection Coefficient of DMM13.

하여 최적화하여 크기를 결정하였다.

계산된 임피던스 특성은 그림 6과 같고, 74.5~78.3 GHz에서 공진하며, 중심주파수에서 안테나 이득 및 축비는 각각 7.7 dBi와 0.2 dB로 계산되며, 원현편파 특성을 제공함을 알 수 있다.

그림 7은 중심 주파수 76.5GHz에서 계산된 방사 패턴이고, 그림 8은 축비 계산 결과이다.

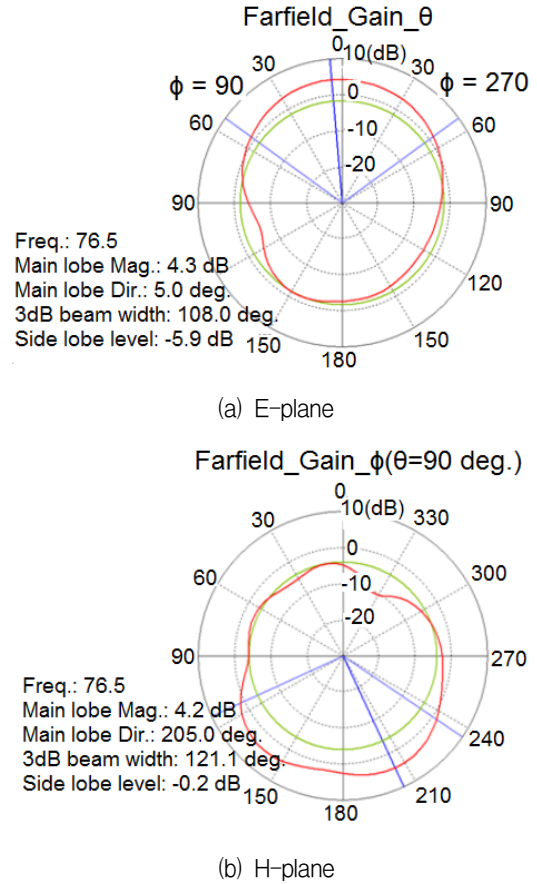


그림 7. DMM13의 방사패턴 해석 결과  
Fig. 7. Simulated radiation patterns of DMM13.

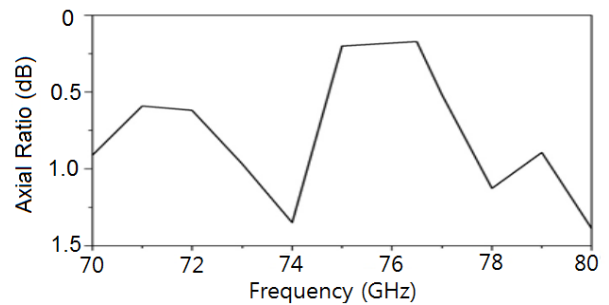


그림 8. DMM13의 축비 해석 결과  
Fig. 8. Simulated axial ratio of DMM13.

### (3)DS10I

DS10I 안테나 구조는 그림 9와 같다. 그림 9(a),(b)는 각각 DS10I 안테나를 위 및 아래에서 본 그림이고, 그림 9(c),(d)는 옆에서 본 그림이다. DS10I 안테나는 하나의 SRR과 하나의 모노폴로 구성된다.

SRR의 갭을 변수로 한 경우 반사손실 특성은 그림

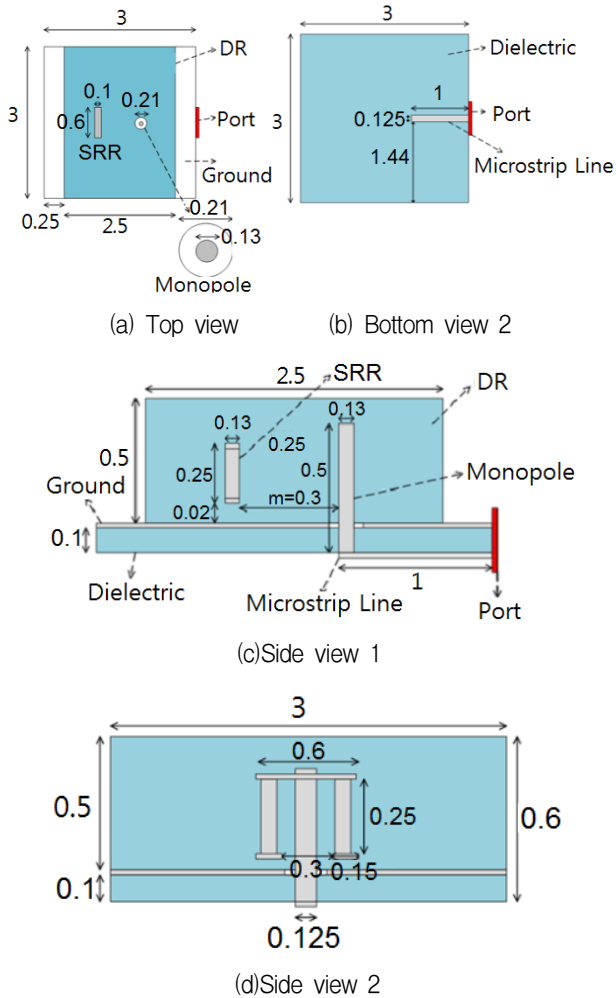


그림 9. DS10I의 구조 (단위: mm)  
Fig. 9. Structure of DS10I (unit: mm).

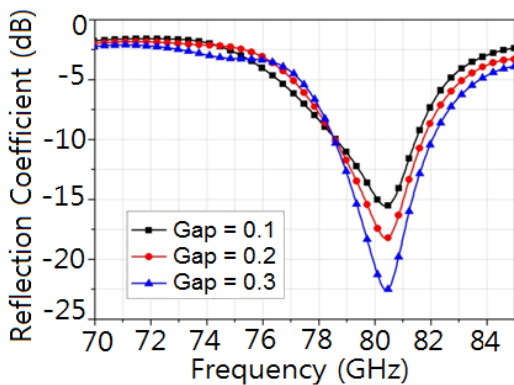


그림 10. SRR의 간격 변화에 따른 반사계수 해석 결과  
Fig. 10. Simulated reflection coefficient for different gap of SRR.

10과 같으며 최적치는 0.3 mm이다.

SRR의 갭을 0.3 mm으로 두었을 때, 모노폴과 SRR

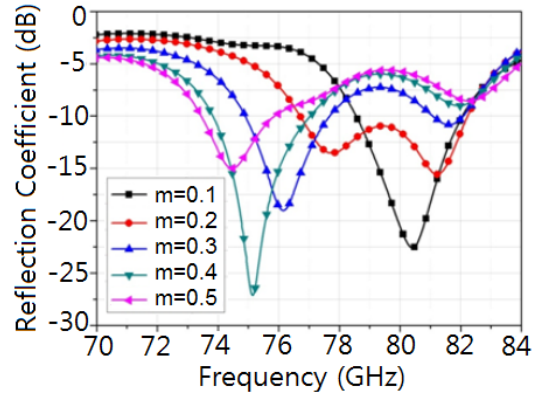


그림 11. m 값의 변화에 따른 반사계수 해석 결과  
Fig. 11. Simulated reflection coefficient for different m.

사이의 거리 m 에 따른 반사손실 특성은 그림 11과 같 으며, m = 0.3 mm를 최적값으로 선택한다. 공진주파수 에서 안테나 이득은 6dBi로 계산된다.

## 2. 제작

그림 12에 제작된 안테나를 나타내었고 측정 결과는 다음 장에서 제시된다.

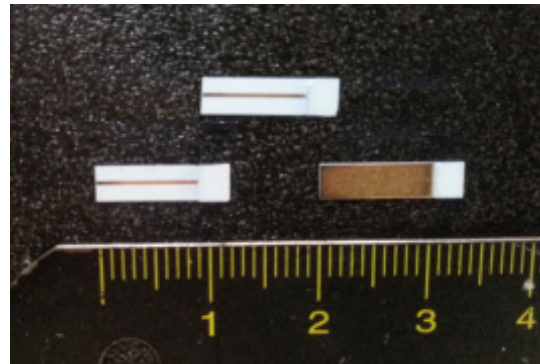
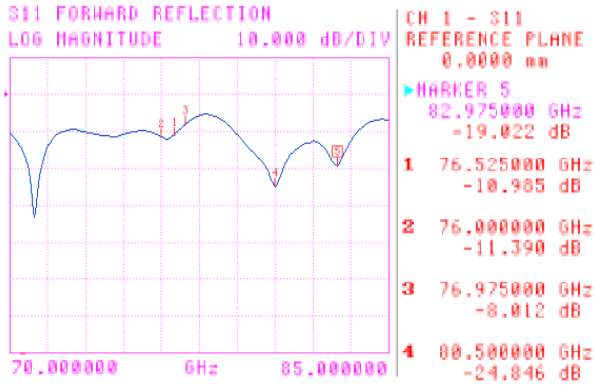


그림 12. 제작된 안테나 (상단: DMM13, 좌측 하단: DM9, 우측 하단: DS10I)  
Fig. 12. Fabricated Antenna. (upper: DMM13, lower left: DM9, lower right: DS10I).

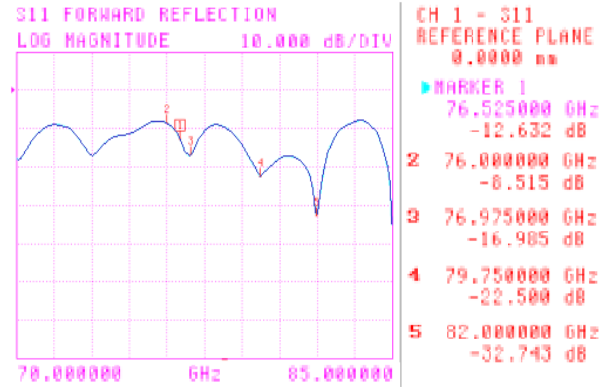
## V. 실험 및 고찰

### 1. 특성 측정

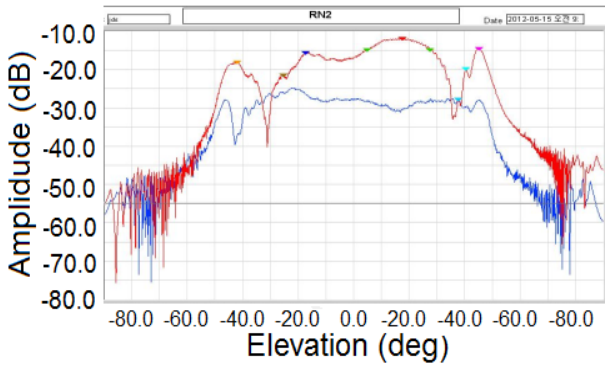
안테나의 반사계수(Reflection coefficient)는 Vector Network Analyzer (Anritsu ME7808A)를 사용하여 측정되었으며, 안테나 패턴은 전자파 무반향실에서 측정 되었다. 측정장비의 Waveguide 포트와 제작된 안테나



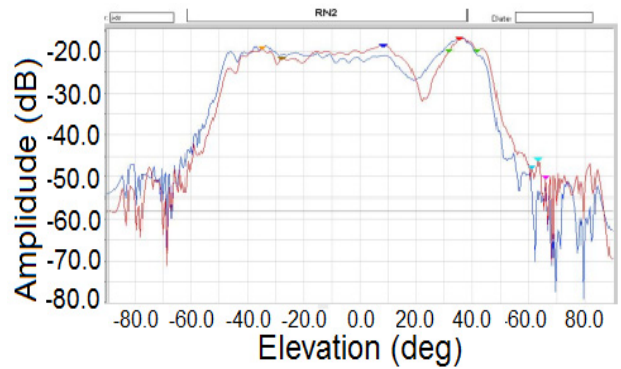
(a) Reflection coefficient



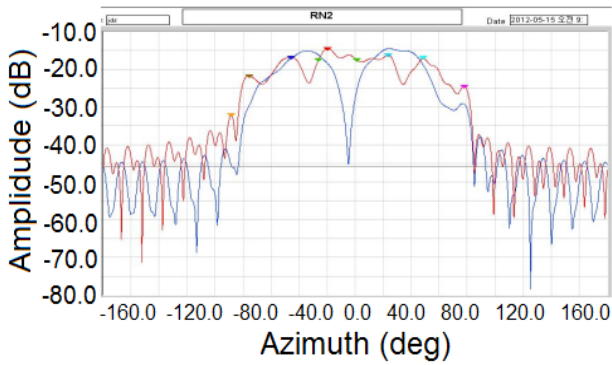
(a) Reflection coefficient



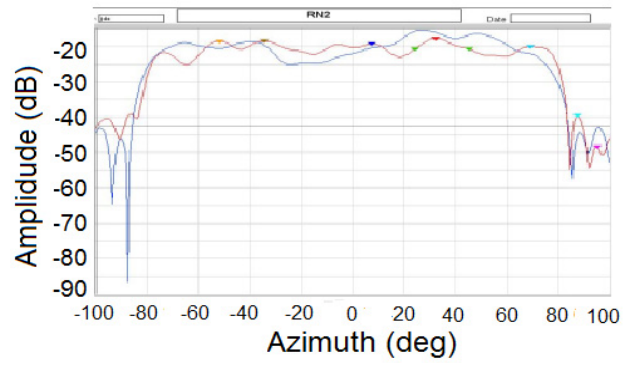
(b) Pattern(E-plane)



(b) Pattern(E-plane)



(c) Pattern(H-plane)



(c) Pattern(H-plane)

그림 13. DM9 측정 결과  
 Fig. 13. Measuring results of DM9.

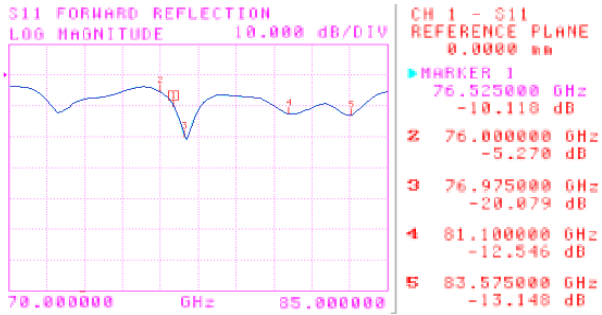
그림 14. DMM13 측정 결과  
 Fig. 14. Measuring results of DMM13.

를 연결하기 위하여 Waveguide to Microstrip 어댑터를 제작하여 안테나를 연결 측정을 수행하였다.

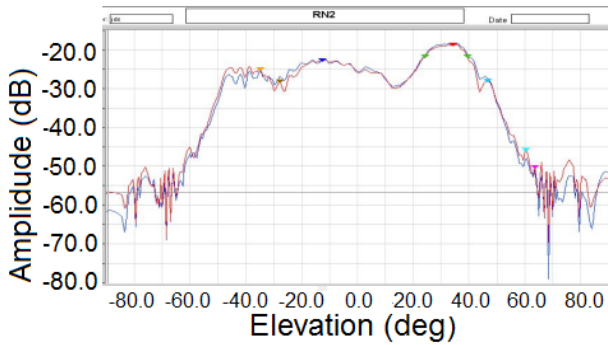
제작된 안테나의 측정된 반사계수와 방사패턴은 그림 13, 14, 15와 같다. 그림 13은 DM9 모델의 반사계수와 패턴 측정치이다.

그림 14는 DMM13 모델의 반사계수, 패턴 측정치이다.

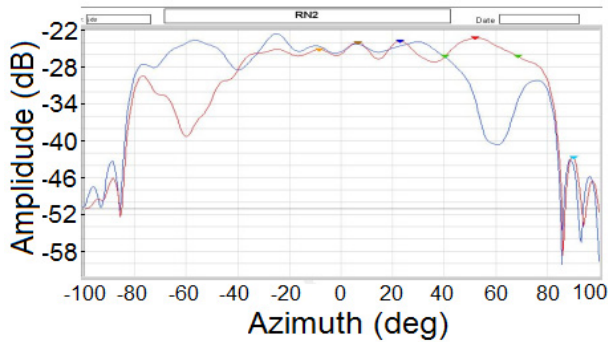
그림 15는 DS10I 모델의 반사계수와 패턴 측정치이다.



(a) Reflection coefficient



(b) Pattern(E-plane)



(c) Pattern(H-plane)

그림 15. DS10I 측정 결과

Fig. 15. Measuring results of DS10I.

2. 실험에 대한 고찰

표 3에 본 논문에서 설계·제작한 직육면체 DRA의 중심주파수 및 안테나 이득의 계산치와 측정치를 나타내었다.

계산치와 비교하여 안테나 이득은 실제 측정치가 계산치보다 더 나은 특성을 나타내었다. 안테나 공진 주파수가 약간 차이가 있으나 원하는 주파수 대역에서 공진을 하였다. 계산치와 측정치의 차이는 계산상의 오차와 제작과 측정에서 포함된 오차로 인해 나타난 것으로 판단된다.

표 3. 시험 결과

Table 3. Test results.

	계산치		측정치	
	중심주파수 (GHz)	Gain (dB)	중심주파수 (GHz)	Gain (dB)
DM9	74.8	7.8	76.1	9.01
DMM13	76.4	6.1	76.9	8.15
DS10I	76.5	7.4	77	10.82

VI. 결 론

본 논문에서는 LTCC 공법을 적용한 밀리미터파 대역에서 동작하는 고유전율의 직육면체 DRA를 설계하여, 특성을 실험적으로 고찰하였다. 직육면체 DRA의 방사모델과 공진주파수를 구하는 이론적 근거를 살펴보고, 프루브 구조 및 SRR 구조를 이용한 직육면체 유전체공진기 안테나를 설계·제작하여 그 특성을 고찰하였다. 그리고 원형편파를 얻기 위하여 DR의 대각선 모서리를 자른 직사각형 DRA도 설계 제작하여 특성을 고찰하였다.

안테나의 계산 및 측정결과 원하는 공진 특성 및 임피던스 매칭, 안테나 이득을 얻을 수 있었으며, 따라서 본 연구에서 제안된 안테나를 차량충돌 방지용 밀리미터파 레이더 시스템에 사용될 소형 배열 안테나의 소자로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

REFERENCES

- [1] K. M. Luk and K. W. Leung, 2003. Dielectric resonator antennas, Research Studies Press LTD.
- [2] R. D. Richtmeyer, Jun. 1939, Dielectric resonator, Journal of applied physics vol. 10 : 391-398.
- [3] S. A. Long, M. W. McAllister and L. C. Shen, May 1983, The resonant cylindrical dielectric cavity antenna, IEEE trans. antennas and propagation, vol. AP-31 : 406-412
- [4] M. W. McAllister, S. A. Long, Mar. 1983, Rectangular dielectric resonator antenna, Electron. Lett., vol. 19 : 218-219.
- [5] M. W. McAllister and S. A. Long, Aug. 1984, Resonant hemispherical dielectric antenna, Electron. Lett., vol. 20 : 657-659.
- [6] R. K. Mongia, P. Bhartia and M. Cuhaci, Feb.



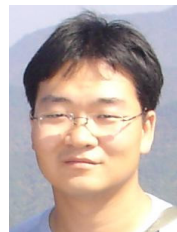
1993, Half-split cylindrical dielectric resonator antenna using slot coupling, IEEE microwave and guided wave letters, vol. 3 no. 2 : 38-39.

- [7] A. Ittipiboon, et al., Sep. 1993, Aperture fed rectangular and triangular dielectric resonators for use as magnetic dipole antennas, IEEE Electronics Letters, EL-29.
- [8] Warren L. Stutzman and Gary A. Thiele, Antenna theory and design, John Wiley & Sons, Inc., Chap 5.

저 자 소 개



박 영 본(정회원)  
2011년 경상대학교  
전자공학과 학사 졸업.  
2013년 경상대학교  
전자공학과 석사 졸업.  
<주관심분야 : 안테나>



정 영 호(정회원)  
1997년 경상대학교  
전자공학과 학사 졸업.  
2001년 경상대학교  
전자공학과 석사 졸업.  
2013년 경상대학교 전자공학과  
박사 졸업.  
2002년~현재 한국항공우주산업  
<주관심분야 : 안테나>



석 창 현  
2002년 경상대학교 전자공학과  
학사 졸업.  
2004년 경상대학교 전자공학과  
석사 졸업.  
2004년~현재 (주) RN2  
Technologies 책임연구원  
<주관심분야 : 통신, Coupler, Divider, Antenna>



이 문 수(정회원)  
1970년 한국항공대학교  
통신공학과 학사 졸업.  
1980년 한양대학교 전자통신  
공학과 석사 졸업.  
1984년 한양대학교 전자  
통신공학 박사 졸업  
1981년~1986년 제주대학교 통신공학과 부교수  
1986년 9월~1987년8월 미국 COMSAT 연구소  
연구원  
1999년 6월~1999년8월 미국 Syracuse 대학교  
방문교수  
2004년 1월~2005년2월 미시시피 대학교  
방문교수  
1987년~현재 경상대학교 전자공학과 정교수  
<주관심분야 : 마이크로파, 무선통신, 안테나,  
Metamaterial>