

논문 2013-50-12-3

# 초광대역 모노폴 유전체 공진기 복합체 안테나 설계

(Design of Ultra Wideband Monopole/Dielectric Resonator Antenna)

김 종 성\*

(Jong-Sung Kim<sup>©</sup>)

## 요 약

광대역 주파수 범위에 대해서 무지향성 방사 패턴을 나타내는 실린더형 유전체 공진기와 1/4 파장 길이의 모노폴의 결합구조를 제안한다. 모노폴은 저주파 대역에서 동작하고 DR 은 고주파 대역에서 동작하며 모노폴이 DR 에 전기 결합에 의하여 급전기로서 작동한다. 실린더형 DR에서 광대역 동작을 위해서 아래쪽에 직사각 구조로 식각이 이루어진다. 안테나의 크기는 DR 의 내경, 외경 및 높이가 5.8 mm, 11.6 mm 및 6.0 mm 의 크기이며 10 dB 대역폭은 4.7-18.2 GHz 범위의 대역폭을 나타내었다.

## Abstract

The combined structure of both an annular dielectric resonator and a quarter-wave monopole is proposed to generate an omnidirectional radiation pattern over the wideband frequency range. The monopole works at the lower frequency band and excites the cylindrical dielectric resonator along its center point by electrical coupling mechanism. The rectangular shape of the DR is cut to generate the wideband operation of 4.7-18.2 GHz. The geometrical parameter of cylindrical dielectric resonator is 5.8 mm, 11.6 mm and 6.0 mm in inner diameter, outer diameter and height, respectively.

**Keywords :** Monopole, Dielectric Resonator Antenna

## I. 서 론

유전체 공진기 안테나는 DRA 구조, 공진 모드, 방사 특성 및 여기 방법에 대하여 광범위한 연구가 진행되었다. 이 결과로 소형화, 방사 효율의 개선 및 구조 및 급전 방식의 다양화를 가져왔다. 특히, 3차원 구조의 DRA 는 하나의 구조에서 여러개의 모드의 여기가 가능하다. 그림 1의 실린더형 DRA 내에 1/4 파장 길이의 모노폴을 결합하여 광대역을 지원하는 안테나는 [1]에서 처음 제안되었고 그후에 [2]에서는 T 형 구조의 모

노폴로 변형하여 EMI 센서 수신 안테나로 이용하였다. [3]에서는 [1]의 변형으로 스킵트 모노폴과 원뿔형 유전체 공진기를 이용하여 2-7 GHz 의 주파수 범위에서 다중 대역으로 동작하는 안테나를 제안하였다. [4]에서는 [1]의 구조에서 실린더형 DR 을 원뿔형 DR 2개를 적층하여 광대역화를 실현하였다. 그러나 이들 변형된 DR/모노폴 구조는 제작상의 어려움과 기구적인 안정성이 떨어진다. 본 논문에서는 다중대역 및 광대역 특성을 만족하기 위하여 기존의 실린더형 DRA 의 구조에서 일부를 사각 형태로 식각하여 여러 가지 방법의 공진이 가능하도록 하였다.

실린더 구조의 DR 과 접지면의 접면 부분에 사각형으로 식각을 하여 안테나의 광대역화를 설계 방법으로 이용하였다. 설계 과정은 식각이 없는 상태에서 DR/모노폴에 대해서 모드해석을 수행하고 이를 바탕으로 DR 의 높이, 내경, 외경, 모노폴의 길이, 두께, 내경과 두께

\* 정회원, 경성대학교 정보통신공학과  
(Department of Information and Communication Engineering, KyungSung University)

© Corresponding Author(E-mail: jskim@ks.ac.kr)

※ 이 논문은 2013학년도 경성대학교 학술연구비지원에 의하여 연구되었음.

접수일자: 2013년8월26일, 수정완료일: 2013년11월27일

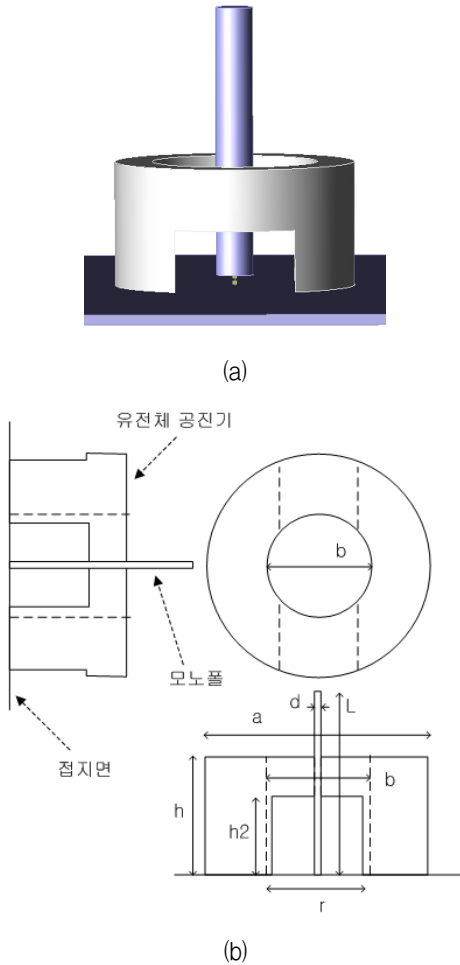


그림 1. 하이브리드 모노폴-DRA 안테나의 단면구조  
(a) 3차원 형상, (b) 2차원 단면구조  
Fig. 1. Geometry of the hybrid monopole-DRA antenna.

의 간격에 따른 반사계수의 변화를 분석하였다. 이후에 DR 에 식각을 하여 DR/모노폴의 복합체에서 모노폴의 노출부를 가변하여 급전효과를 제어하였다.

## II. 안테나 구조 및 모드해석

### 2.1 안테나 구조

이 안테나는 모노폴과 DRA 가 결합한 것으로 유한한 접지면상에서 동일한 중심축을 공유한다. 이 구조에서 모노폴은 동작 주파수 대역의 저주파 영역에서 동작하고 DR 은 상단 주파수 영역에서 공진이 일어난다.

DR 의 설계를 위해서는 먼저 실린더형 구조에서 외경을 고정한 상태에서 내경과 높이를 파라미터 변화를 통하여 공진 특성을 분석한다. 여기에서 DR 의 유전율은 10.0 으로 고정한 상태에서 설계한다. 파라미터 분석

표 1. 안테나의 설계 파라미터 [단위: mm]  
Table 1. Design parameters of the proposed antenna.

파라미터	치수	파라미터	치수
d	1.8	b	4.0
L	13.0	h	6.0
a	11.6	h <sub>2</sub>	4.0
r	5.8		

은 3개의 파라미터인데 DR 의 높이, DR 의 내경 그리고 DR 의 식각 효과 3가지이다. 또한 모노폴에 대해서는 길이와 두께에 대해서 파라미터 분석을 한다. 다중대역 안테나의 설계에서 모노폴의 길이는 저주파 대역인 5 GHz 의 주파수에 고정시킨다. 표 1에는 모노폴/DR 복합체의 설계 파라미터를 나타내었으며 이를 결정하기 위한 파라미터 분석 과정을 설명한다.

### 2.2 모드해석

모노폴/DR 복합체의 모드해석은 참고문헌 [5]에서의 슬롯 결합형 링 구조의 DR에서 행한 방법을 따른다. DR에 대해서는  $HEM_{In\delta}$  ( $n=1,3,5$ ) 하이브리드 모드를 먼저 설계하며 그 공진 주파수는 전체 대역중 상측을 위치하도록 한다. 저 유전율을 갖는 링 구조의 DR 의 하이브리드 모드의 공진 주파수의 추정치는 아래와 같다.

$$f_{mn\delta} = \frac{c}{2\pi\sqrt{\epsilon_{eff}}} \sqrt{\left(\frac{\chi_{mn}}{a}\right)^2 + \left(\frac{\delta\pi}{2h}\right)^2} \quad (1)$$

여기에서  $c$ 는 빛의 속도이고  $\chi_{mn}$ 은  $n$ 이 홀수인 경우에는 베셀함수의 미분한 경우의  $J'(\chi_{mn})=0$  인 경우의 해이고,  $n$ 이 짝수인 경우에는  $J(\chi_{mn})=0$ 의 조건을 만족하는 값이다. 위의 식에서  $\delta$ 의 값은  $z$  방향에서의 필드의 반파장 길이의 수를 나타낸다. 이를 다음의 식을 이용하여 구할 수 있다<sup>[5]</sup>.

$$\beta \cdot 2h = 2\tan^{-1}\left(\frac{\alpha}{\beta}\right) \quad (2)$$

$$\alpha = \sqrt{\left(\frac{\chi_{mn}}{a}\right)^2 - k_0^2} \quad (3)$$

$$\beta = \sqrt{\epsilon_{eff}k_0^2 - \left(\frac{\chi_{mn}}{a}\right)^2} \quad (4)$$

$$\delta = \beta \frac{2h}{\pi} \tag{5}$$

위의 식에서 실효 유전율  $\epsilon_{eff}$ 는 아래와 같이 표현된다.

$$\epsilon_{eff} = \frac{b^2 h}{\frac{b^2 h}{\epsilon_{r0}} + \frac{(a-b)^2 h}{\epsilon_r}} \tag{6}$$

여기에서 내경에 해당하는 영역에는 공기의 유전율이 적용되고 링 영역에서는 유전율이 10.0을 적용하여 실효 유전율을 구한다. 하이브리드 안테나에서 2차 공진은 7 GHz 근처에서 일어나는데 이는 DR 내의  $HEM_{In\delta}$  하이브리드 모드의 여기에 의한 결과이다.

식 (1)-(6) 을 풀어서  $h=6.0$  mm,  $\epsilon_{eff}=4.58$ ,  $\delta=0.6537$ ,  $f_{15\delta}=7.2$  GHz 이다.  $a/h$  비율과 DR 의 내경( $r$ ) 이 급전기와의 결합을 극대화하도록 적절히 조정하면 어떤 디자인에 대해서는  $HEM_{In\delta}$  하이브리드 모드중에서 다른 모드의 여기가 가능하다.

### III. 파라미터 분석

그림 1에서와 같이 DRA 의 크기를 적절히 선택하여 모노폴과 DRA 합성체의 전체 대역폭은 개별 안테나의 대역폭의 합보다 커진다. 이는 중간 주파수 대역에서 DRA 는 모노폴의 부하로서 동작하여 임피던스의 리액티브 성분을 상쇄하게 된다. 이러한 하이브리드 구성의 일반적인 동작을 결정하는 많은 파라미터가 있다. 이는 모노폴의 길이, DRA 의 크기와 유전율 그리고 접지면의 크기이다. 모노폴의 길이와 두께는 고정된 상태에서 DR 의 크기에서 높이의 변화에 따른 공진 주파수의 변화를 분석한다.

#### 3.1 유전체의 높이(h)에 따른 특성 변화

최적의 특성을 얻는데 있어서 가장 중요한 요소는 DRA 의 높이(h)와 지름(a)의 관계  $h/a$  이다.  $HEM_{In\delta}$  모드 공진에 대해서 이 비율은 부하 효과의 위치를 제어한다. 그림 1의 구조에서 DR 의 내경과 외경을 11.6 mm/5.8 mm 의 조건에서 높이를 4 mm 에서 8 mm 까지 1 mm 의 간격으로 파라미터의 변화시에 안테나의 입력에서의 반사계수를 그림 2에 나타내었다.

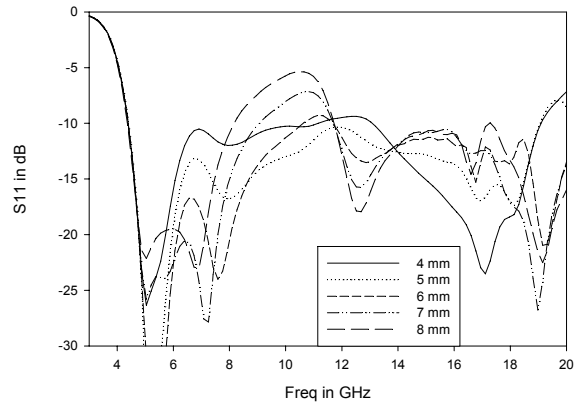


그림 2. 유전체의 높이(h)에 따른 반사계수 특성변화 ( $b=4.0$  mm,  $a=11.6$  mm,  $r=5.8$  mm,  $L=13.0$  mm,  $d=0.9$  mm)

Fig. 2. Performance analysis for the height variation of the hybrid monopole-DRA antenna.

모노폴의 길이는 저대역 주파수를 5 GHz 의 설정값으로 부터 13 mm 이고 반지름은 0.9 mm 인 조건을 선택하였다. DR 의 높이를 조정하므로 모노폴의 공진 주파수 5.5 GHz 의 값을 나타내며 DR 의 높이 변화에 대해서 변화가 없다. 그러나 DR 에 의한 로딩 효과의 차이로 임피던스 정합에서는 차이를 나타내었다. 상측 대역에서는  $HEM_{In\delta}$  의 다중모드가 생성되는데 DR 의 높이에 따라서 생성되는 모드의 주파수가 달라진다. 대역폭의 관점에서 8 GHz 와 12 GHz 에서의  $HEM_{In\delta}$  모드의 공진 깊이의 영향으로 8-12 GHz 의 영역에서 반사계수 특성이 영향을 받는다. DR 의 공진 주파수가 높이에 증가할수록 8 GHz 의 공진 주파수는 증가하고 12 GHz 에서는 공진 주파수가 감소하기 때문에 전체적인 대역폭이 넓어지는 경향을 나타낸다. 2개의 공진대역의 정합 특성을 최적화한 특성으로 DR 의 높이를 6 mm 를 선택하였다. 여기에서 모노폴은 5.5 GHz 의 중심주파수에서 공진이 일어나고 DR 은 8.0 GHz에서부터 다중공진이 발생한다. 4-5mm 에서는 20 GHz 근처에서, 7-8mm 의 높이는 중간대역에서 반사계수가 높은 값을 나타내며 6 mm에서 전체적으로 안정적인 광대역 특성을 나타내었다.

#### 3.2 모노폴의 길이(L) 변화에 따른 특성 변화

그림 1의 구조에서 DR 의 내경과 외경을 11.6 mm/5.8 mm, 그리고 높이를 6 mm 인 조건에서 모노폴의 길이를 5-15 mm 의 범위에서 2 mm 씩 증가시 반

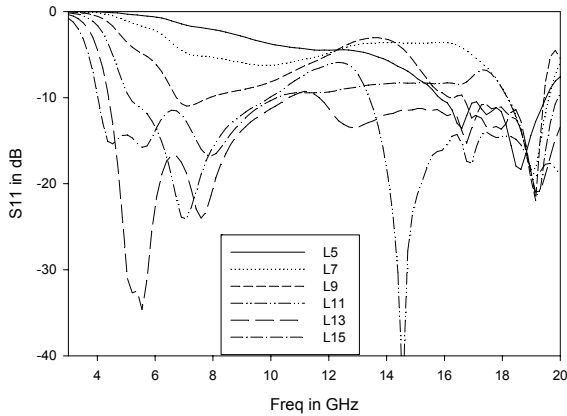


그림 3. 모노폴의 길이(L)에 따른 반사계수 특성변화 (b=4.0 mm, a=11.6 mm, r=5.8 mm, h=6.0 mm, d=0.9 mm)

Fig. 3. Performance analysis for the monopole length of the hybrid monopole-DRA antenna.

사계수를 관측하였다. 그림 3에 나타난 바와 같이 짧은 길이인 5-9 mm 에서는 15 GHz 의 이상인 상측에서 DR 공진만 발생하고 모노폴의 공진은 발생하지 않는다. 11 mm 에서는 7 GHz에서 모노폴의 공진이 발생하고 13 mm 와 15 mm 에서는 공진주파수가 5.5 GHz 와 4.8 GHz 로 감소한다. 또한 모노폴의 길이가 길어질 수록 DR 의 공진에서 급전 효율이 개선되어 다중공진 모드의 급전이 효과적으로 일어나는 것을 확인할 수 있다. 11 mm 의 길이에서 가장 최적의 저대역 특성과 대역폭이 발생함을 알 수 있다. 짧은 길이에서는 DR 이 모노폴을 둘러싸기 때문에 모노폴의 정합특성이 떨어지며 전체적으로 13 mm 의 길이가 가장 최적의 값이다.

### 3.3 모노폴의 두께(d)에 따른 특성 변화

모노폴에서 모노폴의 두께가 두꺼워지면 일반적으로 공진 주파수가 감소한다. 이는 용량성 성분의 증가로 인하여 중심주파수가 감소하기 때문이다. 또한 모노폴이 DR 의 급전기의 기능을 하기 때문에 모노폴과 DR 의 내경 사이의 영역에서 전계에 의한 급전이 일어난다. 이 간격을 캐패시턴스로 모델링할 수 있으며 모노폴의 두께가 작을 경우에는 캐패시턴스가 작은 값을 가지며, 반대의 경우에는 큰값을 갖는다. 그림 4에 나타난 바와 같이 0.3, 0.6, 및 0.9의 작은 두께에서는 모노폴의 공진 주파수는 5.5 GHz로 일정한 반면에 DR 의 급전 효과는 많은 차이를 나타낸다. 0.3 에서는 14 GHz 와

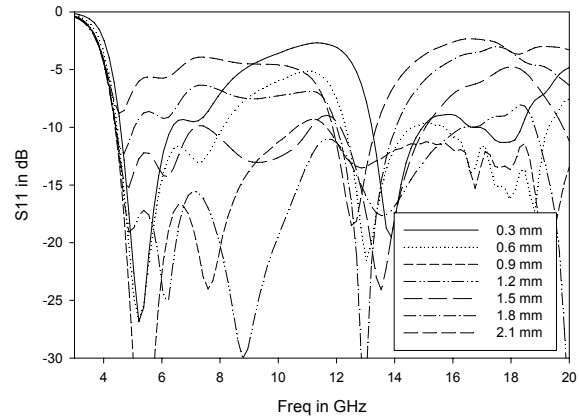


그림 4. 모노폴의 두께(d)에 따른 반사계수 특성변화 (b=4.0 mm, a=11.6 mm, r=5.8 mm, L=13.0 mm, h=6.0 mm)

Fig. 4. Performance analysis for the monopole thickness of the hybrid monopole-DRA antenna.

18 GHz에서만 급전이 이루어지고 나머지는 급전이 약하다. 0.6 에서는 14 GHz 이상에서는 급전이 보다 개선되었다. 0.9와 1.2에서는 보다 많은 DR 공진이 전 주파수 영역에서 확인된다. 1.5 이상의 주파수에서는 두께가 증가함에 따라서 모노폴의 정합이 잘 이루어지지 않는다. 이는 DR이 모노폴의 부하로서 작용하는데 이는 모노폴 DR 간의 간격이 줄어들기 때문에 로딩효과는 더 심화되는 경향을 보인다. 1.2 mm 이상에서는 13 GHz 에서 모노폴의 공진을 나타내는데 이는 모노폴의 고차 모드에 해당한다. 0.9 mm의 두께에서 가장 최적의 특성을 나타낸다.

### 3.4 DR 의 내경(r)의 변화에 따른 특성 변화

그림 1의 구조에서 DR 의 외경과 높이를 11.6 mm/6 mm 로 하고 모노폴의 길이와 두께를 13 mm/0.9 mm 인 상태에서 모노폴의 내경의 변화를 주었다. 식(1)과 같이 DR 의 공진 주파수는 내경 b에 의해서 실효 유전율의 크기에 변화를 주어 공진 주파수를 변화시킨다. DR 의 내경을 1.5 mm에서 4.0 mm 까지 0.5 mm의 간격으로 증가시 S11의 특성을 그림 5에 나타내었다. 모노폴의 공진 주파수는 1.5 mm 에서부터 내경이 증가시 정합이 개선되는 특성을 나타내었다. 이는 모노폴의 입장에서 DR 의 내경이 작은 경우에는 DR 이 부하 효과로 작용하는 반면에 큰 값에서는 독립적인 모노폴의 특성을 나타내기 때문이다. DR의 공진은 1.5 mm의 작은

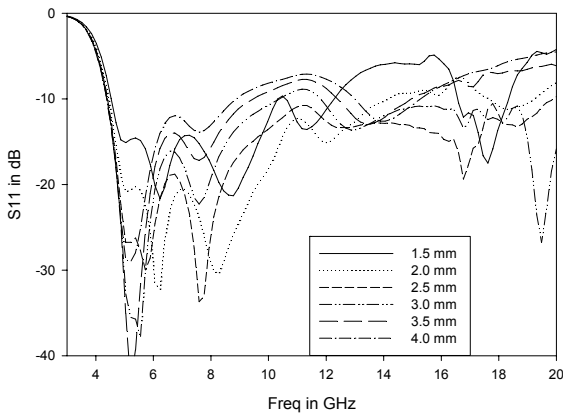


그림 5. DR의 내경( $r$ ) 변화에 따른 반사계수 특성변화 ( $b=4.0$  mm,  $a=11.6$  mm,  $h=6.0$  mm,  $L=13.0$  mm,  $d=0.9$  mm)

Fig. 5. Performance analysis for the inner diameter of ring resonator in the monopole-DRA antenna.

간격을 제외하고는 DR의 간격이 증가함에 따라서 고주파에서의 급전효과가 나빠지는 효과를 나타낸다. 이는 모노폴과 DR 간의 간격이 늘어나서 커플링 효과가 특정 주파수를 제외하고는 나빠지기 때문이다. 2.5 mm의 내경에서 모노폴의 공진과 DR의 공진이 전체적으로 효과적으로 발생하여 전체 대역폭이 최대가 된다.

### 3.5 DR의 식각 효과에 따른 특성 변화

DR/모노폴의 복합체에서 DR과 모노폴의 간격이 DR

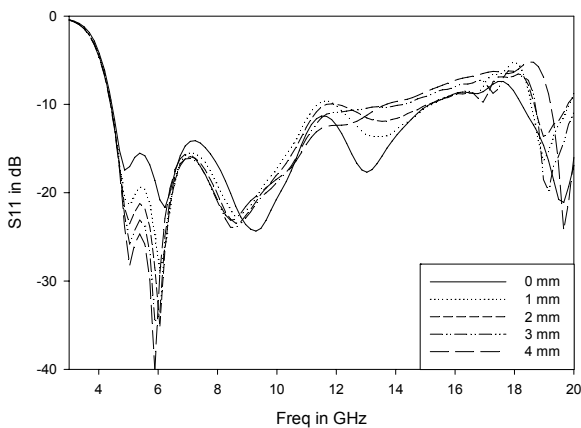


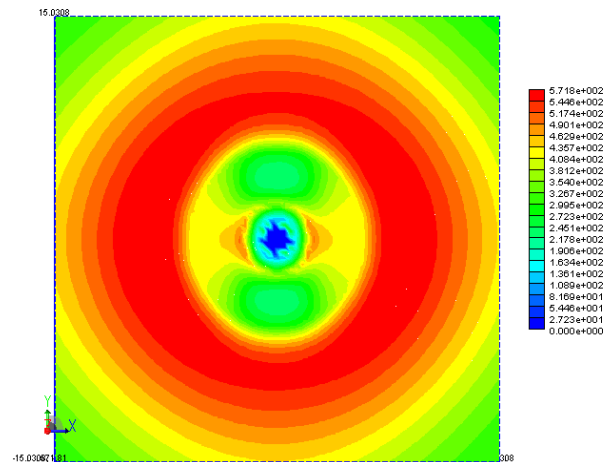
그림 6. DR의 식각 효과에 따른 반사계수 특성변화 ( $b=4.0$  mm,  $a=11.6$  mm,  $r=5.8$  mm,  $h=6.0$  mm,  $L=13.0$  mm,  $d=0.9$  mm)

Fig. 6. Performance analysis for the variation of the cutout dimension in the hybrid monopole-DRA antenna.

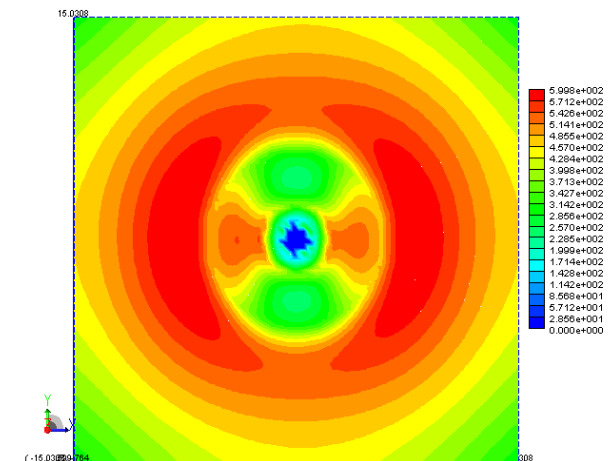
에 밀접한 영향을 갖는다는 것이 확인되었다. 또한 모노폴의 입장에서 DR과의 간격이 좁으면 DR이 부하 효과로 작용하여 정합 특성이 떨어진다. 이를 보상하기 위한 하나의 방법으로 그림 1과 같이 DR/모노폴의 복합체에서 DR의 하측부를 사각 형태로 식각하여 하측부의 모노폴이 개방되도록 하였다. 따라서 식각부가 커지면 개방 효과에 의하여 모노폴의 정합이 개선되고 반면에 고주파 영역에서의 DR 공진부의 정합이 떨어진다. 이는 DR의 높이가 감소하는 효과와 같은 현상이다. 그림 6에 모노폴의 식각에 의한 효과를 S11에 의하여 나타내었으며 이로부터 2 mm의 두께의 식각에서 가장 최적의 특성을 나타내었다.

### 3.6 근접전계 분석

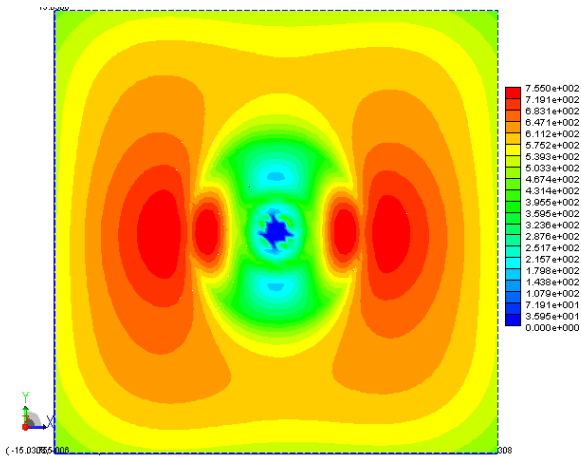
그림 7에는 4개의 주파수에서 최적의 관측면을 선택하여 FDTD 시뮬레이션에 의하여 구한 필드값의 2차원



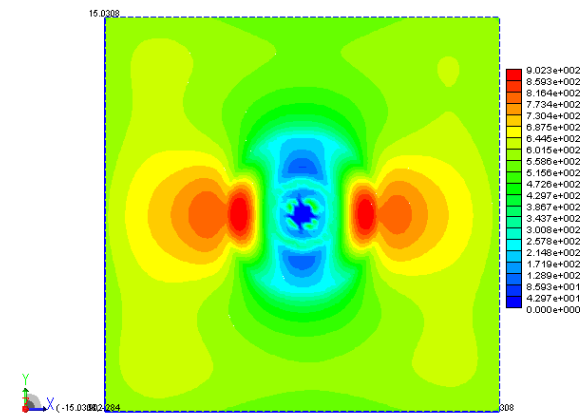
(a)  $E_z$  ( $f=5.0$  GHz)



(b)  $E_z$  ( $f=7.0$  GHz)



(c)  $E_z$  (f=9.0 GHz)



(d)  $E_z$  (f=11.0 GHz)

그림 7. 모노폴/DR 복합체 안테나의 전계분포 변화  
Fig. 7. Distribution of electric field on the observation plane.

분포를 나타낸 것이다. 그림 7(a)는 5.5 GHz의 주파수에서 모노폴의 중간 지점에서  $E_z$  필드의 크기를 나타낸 것이다. 필드 분포가 원형으로 방사되며 이는 모노폴의 근접 전계에 해당한다. 또한 5.5 GHz는 모노폴의 길이의 1/4 파장 길이에 해당한다.

그림 7(b)-(d)는 7, 9, 11 GHz 3개의에서 관측면에서의 필드분포를 나타낸 것이다. 이는 그림 1(b)에 나타난 바와 같이 중앙에는 급전용 모노폴이 있고 공기층을 두고 링형 DR이 위치한다. 7 GHz에서는  $HEM_{11\delta}$ 에서 링형 공진기 영역에서 필드분포가 강하고 모노폴과 링 사이의 공기 영역에서의 필드는 약하다. 그러나 9 GHz에서는 에너지가 공기층으로 이동하고 11 GHz에서는 공기층의 필드가 강하다.  $HEM_{11\delta}$  모드에서 주파수에 따라서 전력의 분포가 변화하여 전체적으로 광대

역 특성을 나타나게 된다. 12 GHz 이상에서는  $HEM_{11\delta}$  고차모드가 발생하여 전체적으로 20 GHz 까지 모드가 발생한다.

#### IV. 실험결과

앞장에서 서술한 모노폴/DRA 구조의 안테나를 그림 8에 나타내었다. 3cm x 3cm의 접지면위에 13 mm 길이의 모노폴과 식각된 실린더 구조의 DR을 하나의 복합체 형태로 제작하였다. 급전은 모노폴에 프로우브 급전을 이용하였다. 그림 9에는 3-20 GHz의 주파수 범위에 대해서 반사계수의 측정 및 계산결과를 나타내었다. 측정된 10 dB 대역폭은 4.7- 18.2 GHz의 범위이며 이

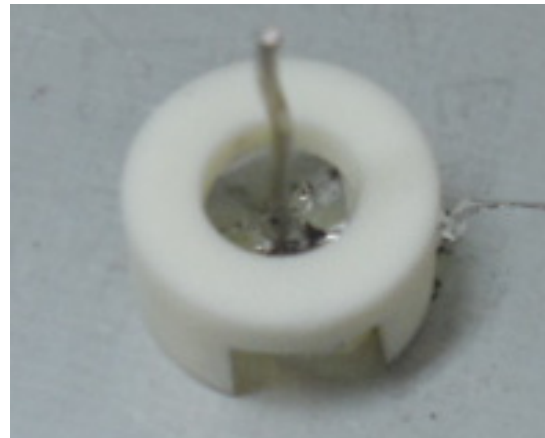


그림 8. 모노폴/DRA 복합구조의 안테나  
Fig. 8. Photograph of the hybrid monopole-DRA antenna.

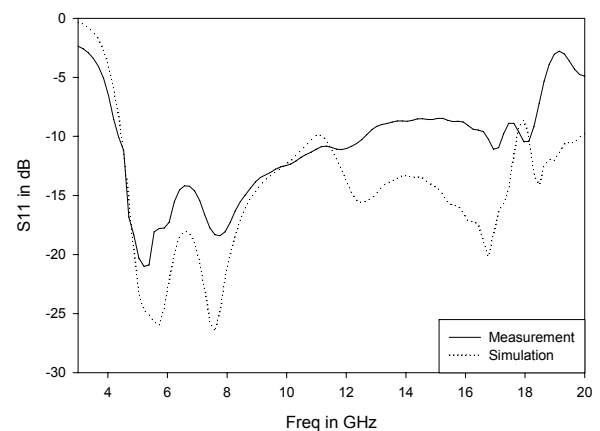


그림 9. 주파수에 따른 반사계수(S11) 특성  
Fig. 9. Return loss of the fabricated monopole-DRA antenna.

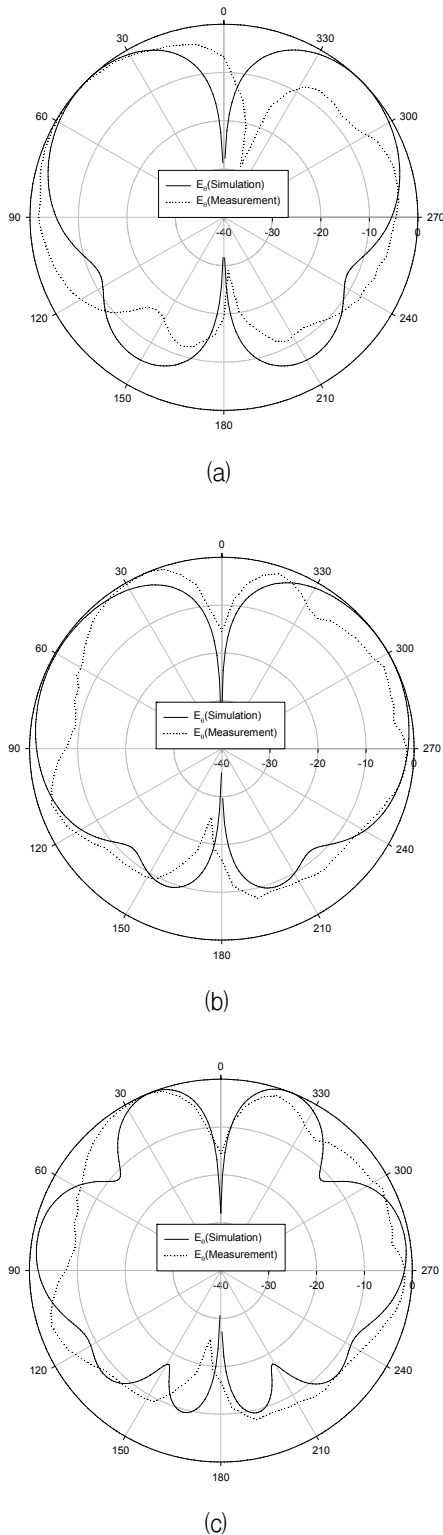


그림 10. 방사패턴 계산 및 측정결과 비교  
 (a) 5.5 GHz, (b) 7.5 GHz, (c) 11.5 GHz  
 Fig. 10. Radiation pattern the hybrid monopole-DRA antenna.  
 (a) 5.5 GHz, (b) 7.5 GHz, (c) 11.5 GHz.

는 118 % 이며 계산 결과와의 차이는 DR 과 접지면 사이에 접착제에 의한 공기층의 삽입과 프로우브 급전에서의 SMA 커넥터와 1.8 mm 지름의 모노폴과의 급전부에서의 불연속에 의한 것이다. 이 대역에서는 모노폴과 DR 의 공진이 복합적으로 일어난 결과이다. 이는 [1]에서의 6.0-18.5 GHz의 동작범위에 비하여 약 20% 정도의 대역폭이 증가되었다. 그림 10에는 3개의 주파수에서 측정된 E 평면에서의 방사 패턴의 측정 및 계산 결과를 나타내었다. 3개의 주파수에서 모두 전계 다이폴의 방사 패턴과 유사한 무지향성 패턴을 가지므로 H 평면에서의 패턴은 나타내지 않았다. 이는 모노폴과 DR의  $HE_{1n1\delta}$  다중 모드의 공진이 이 대역에서 일어나기 때문이다. 3개의 주파수에서의 이득의 측정치는 1.2 dBi, 2.7 dBi 및 3.8 dBi 인데 이는 계산치와  $\pm 0.5$  dB 의 오차를 갖는다. 그림 10(a)는 5.5 GHz 에서의 방사 패턴으로 이는 모노폴의 공진에 의한 특성이다.  $\pm 45^\circ$  의 방향으로 최대 빔이 전송되는데, 측정치와의 차이는 식각효과에 의한 로딩의 효과의 차이에 의한 것이다. 그림 10(b)는 7.5 GHz에서 E-평면에서의 방사패턴이다.  $60^\circ$  방향에서 최대 방사가 일어나는데 비하여 약  $30^\circ$ 의 방향오차를 나타내었다. 그림 10(c)는 11.5 GHz의 주파수에서 방사패턴으로 이는 DR의 고차모드 특성을 반영한 결과이다. 전체적으로 2-4 dBi 의 이득을 나타내었다.

### V. 결 론

이 논문은 모노폴과 DRA 의 하이브리드 안테나를 도입하였다. 이 구조에서 모노폴은 저대역에서 동작하고 DR 은 고주파 영역에서 다중공진이 일어난다. 특히 DR 공진 모드는 모노폴과 DR 의 하이브리드 구조여서 하나의 공진 모드에 대해서 영역별 에너지 분포가 주파수에 따라서 변화하는 특성으로 인하여 광대역 특성을 나타낸다. DR 의 높이, 내외경, 모노폴의 길이 및 두께에 따라서 파라미터 분석을 모노폴과 동축 DRA 의 크기를 잘 선택하여 초광대역 안테나로서 동작이 가능하다. 프로토타입 안테나의 시뮬레이션 및 측정 결과는 100% 이상의 광대역 및 무지향성 방사특성을 나타내었다. 식각 효과에 의하여 모노폴/DR 의 급전 효과에 의한 정합 특성의 제어가 가능함을 확인하였다.

## 참 고 문 헌

- [1]. M. Lapiere, Y. M. M. Antar, A. Ittipiboon, and A. Petosa, "Ultra wideband monopole/dielectric resonator antenna," *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 15, no. 1, pp. 7 - 9, Jan. 2005.
- [2] Ghosh, S. "Hybrid T-shaped monopole / dielectric resonator antenna as EMI sensor", *International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS)*, pp. 94 - 97, 2009.
- [3]. M. N. Jazi, and, T. A. Denidni, "Design and Implementation of an Ultrawideband Hybrid Skirt Monopole Dielectric Resonator Antenna," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 7, pp. 493-496, 2008.
- [4]. C. Ozzaim, F. Ustuner, and Nevat Tarim, "Stacked Conical Ring Dielectric Resonator Antenna Excited by a Monopole for Improved Ultrawide Bandwidth," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 61, no. 3, pp. 1435-1438, March. 2013.
- [5]. A. Perron, T. A. Denidni, and A. Sebak, "High-Gain Hybrid Dielectric Resonator Antenna for Millimeter-Wave Applications: Design and Implementation," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 57, no. 10, pp. 2882-2892, Oct. 2009.

---

## 저 자 소 개

---



김 종 성(정회원)

1988년 경북대학교 전자공학과  
학사 졸업.

1990년 한국과학기술원 전기 및  
전자공학과 석사 졸업.

2001년 포항공과대학교 전자전기  
공학과 박사 졸업

1990년~2002년 KT 연구개발본부 선임연구원

2004년~현재 경성대학교 정보통신공학과  
부교수.

<주관심분야 : 초고주파공학, 전자파 수치해석>