

# 유전체 도파관 모델을 이용한 육면체 공진기 안테나 분석

## Analysis of Rectangular DRA(Dielectric Resonator Antenna) using Dielectric Waveguide Model

최원규 · 이범선

Won-Kyu Choi · Bom-Son Lee

### 요 약

본 논문에서는 유전체 도파관 모델을 이용하여 육면체 유전체 공진기 안테나의 공진주파수,  $Q_{rad}$  및 임피던스 대역폭에 대한 근사 결과를 넓은 종횡비에 대하여 3D 그래프로 제시하고 시뮬레이션 및 측정 결과와 비교 분석하였다. 이러한 비교를 위해 상대 유전율이 37.84와 90인 유전체를 개구 결합 및 동축선로 급전하였는데 공진주파수는 약 8% 정도의 예측 오차를 갖는 것이 확인되었고 임피던스 대역폭도 급전방식에 따라 차이가 날 수 있음을 확인하였다. 본 논문에서 제시된 데이터들은 유전체 공진기 안테나 설계시 주어진 공진주파수와 대역폭에 대한 종횡비 선정시 유용하게 사용될 수 있다.

### Abstract

In this work, we present the resonant frequencies,  $Q_{rad}$ , and impedance bandwidth of rectangular dielectric resonator antenna(DRA) for a broad range of aspect ratios using Dielectric Waveguide Model. These presented data are compared with simulation and measurement. The DRA having relative permittivities of 37.84 and 90 have been fed by a coaxial cable and fed using a aperture-coupled method for comparisons. The approximate resonant frequencies are shown to have the prediction error of about 8% and impedance bandwidth is found to have large prediction variation according to feeding method. The data presented in this paper can be used when the aspect ratios of DRA have to be determined for a given resonant frequency and impedance bandwidth.

### I. 서 론

유전체 공진기는 유용한 안테나로 사용 가능하다<sup>[1]</sup>. 이러한 안테나는 크기가 작고, 구조가 간단하며, 높은 방사효율을 갖고<sup>[2]</sup>, MIC와의 호환성 우수 및 거의 모든 전송선로에 대해서 급전이 용이한 점 외에 다른 공진 모드를 사용하여 방사패턴을 제어할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 장점으로 인해 구, 실린더, 육면체 등의 모양을 갖는 유전체 공진기 안테나에 관한 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나, 구, 실린더 모양에 비해 육면체 모양에 대한 연구는 상

대적으로 적은 실정이다. 구 모양의 공진기 안테나에는 항상 모드 degeneracy가 존재하고<sup>[3]</sup>, 실린더 모양의 공진기 안테나는 하이브리드 모드가 존재하지만<sup>[4]</sup> 육면체 공진기 안테나는 세 면의 크기와 급전 위치를 적절히 선택함으로써 모드 degeneracy를 피할 수 있다. 모드 degeneracy는 cross-pol 크기를 향상시키기 때문에 안테나 특성을 제한하는 역할을 한다. 공진기 안테나의 크기는  $(\epsilon_r)^{-1/2}$ 에 비례하는 관계에 있으며,  $\epsilon_r$ 이 커지면, 대역폭이 작아지는 특성을 갖는다. 육면체 공진기 안테나의 대역폭은 종횡비에 의해서도 변하므로 대역폭 제어에도 유리하

경희대학교 전파공학과(Dept. of Radio Engineering, Kyung-Hee University)

· 논문 번호 : 20000225-022

· 수정완료일자 : 2000년 5월 2일

다. 본 논문에서 공진주파수를 추정하는데 사용한 dielectric waveguide model은 유전율  $\epsilon_r > 38$ 인 유전체에서 6% ~ 8%의 오차가 있을 수 있다<sup>[5]</sup>. 본 논문에서는 육면체 DRA의 공진 주파수와 임피던스 대역폭에 대한 근사식, 시뮬레이션 및 측정결과를 비교 분석하였다. 그림 1, 2와 같이 개구결합 및 동축선로 급전된 유전체 공진기 안테나의 방사패턴은 z 방향을 향하고 있는 “magnetic-dipole”에 의한 방사패턴과 유사함을 알 수 있다.

## II. 급전구조 및 공진기 내부의 필드

구 모양의 DR은 TE 또는 TM 모드 형태가 있고, 실린더 모양의 DR은 TE, TM 또는 하이브리드 모드 형태가 있지만, 육면체 모양의 DR의 경우에는 명확한 모드 구분이 없었다. 그래서 Van Bladel<sup>[6]</sup>은 높은 유전율을 갖는 임의의 모양의 DR에 대해 일반적인 모드 구분법을 제시했다. Okaya와 Barash<sup>[7]</sup>는 최초로 육면체 DR의 모드를 해석했다. 이들은 육면체 DR의 모드는 TE와 TM으로 나누어질 수 있지만, 최저 차수의 TM 모드를 발생시킬 수 없음을 실험적으로 보였다. 따라서, 본 논문에서는 최저 차수의  $TE_{111}^z$  모드만을 다루었다.

그림 1에서와 같이 공진체가 개구면에 대해 대칭성이 유지된다면  $TE_{111}^z$  모드가 여기될 수 있다. 개구면의 크기와 위치, 그리고 개방 스테르브의 길이는 적절한 정합을 위해 DRA 종횡비에 따라 달라질 수 있다. DRA에 여기되는 필드양은 슬롯의 크기와 슬

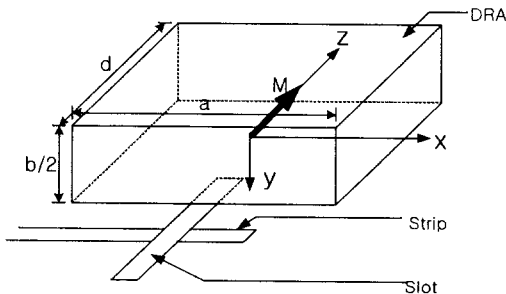


그림 1. 개구결합 급전방식에 의한  $TE_{111}^z$  모드 여기  
Fig. 1. Excitation of  $TE_{111}^z$  mode by aperture coupling feeding (M : magnetic-dipole).

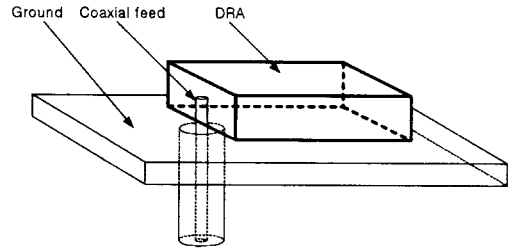


그림 2. 동축선로 급전방식에 의한  $TE_{111}^z$  모드 여기  
Fig. 2. Excitation of  $TE_{111}^z$  mode by coaxial probe feeding.

롯에 대한 DRA의 상대적 위치에 의해서 제어될 수 있다. 그림 1과 같은 급전구조는 DRA의 종횡비를 적절히 선택함으로써 최저차수모드  $TE_{111}^z$ 만을 여기시킬 수 있다. 그림 1의 좌표축과 DRA를 보면 최저차수 모드는  $TE_{111}^z$ ,  $TE_{111}^y$ ,  $TE_{111}^x$ 이다. 이러한 표기법은 Marcatali가 사각 유전체 도파관 모델에서 사용한 표기법을 사용한 것이다<sup>[8]</sup>.

그림 2는 그림 1과 같은 모드를 여기시킬 수 있는 동축선로 급전방식이다. 그림 1에서 조건  $a, b > d$ 를 사용하면  $TE_{111}^z$ 가 가장 낮은 주파수임을 알 수 있고,  $TE_{111}^x$ 와  $TE_{111}^y$ 는  $TE_{111}^z$ 와 해석 방법이 유사하기 때문에 본 논문에서는 z 방향의 자기 포텐셜을 이용해  $TE_{111}^z$ 만을 해석했다. 소스가 없는 영역에서 전기포텐셜  $\bar{\pi}$ 와 자기 포텐셜  $\bar{\pi}_m$ 에 의한 일반적인 전자기파의 표현식은 식 (1a), (1b)와 같다<sup>[9]</sup>.

$$\bar{E} = \nabla(\nabla \cdot \bar{\pi}) + k^2 \bar{\pi} - j\omega\mu \nabla \times \bar{\pi}_m \quad (1a)$$

$$\bar{H} = j\omega\mu \nabla \times \bar{\pi} + \nabla(\nabla \cdot \bar{\pi}_m) + k^2 \bar{\pi}_m \quad (1b)$$

그림 1, 2와 같은 급전구조로부터 식 (2)와 같은 z 방향으로의 자기 포텐셜을 갖는  $TE_{111}^z$  모드를 여기시킬 수 있다.

$$\pi_{mz} = A \cos(k_x x) \cos(k_y y) \cos(k_z z) \quad (2)$$

z 방향에 대한 자기 포텐셜  $\pi_{mz}$ 와 식 (1)을 이용하여 각 방향으로의 필드를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$H_z = (k_x^2 + k_y^2) A \cos(k_x x) \cos(k_y y) \cos(k_z z) \quad (3a)$$

$$H_x = (k_x k_z) A \sin(k_x x) \cos(k_y y) \sin(k_z z) \quad (3b)$$

$$H_y = (k_y k_z) A \cos(k_x x) \sin(k_y y) \sin(k_z z) \quad (3c)$$

$$E_x = (j\omega\mu k_y) A \cos(k_x x) \sin(k_y y) \cos(k_z z) \quad (3d)$$

$$E_y = -(j\omega\mu k_x) A \sin(k_x x) \cos(k_y y) \cos(k_z z) \quad (3e)$$

$$E_z = 0 \quad (3f)$$

식 (3)에서 A는 임의의 상수이고,  $k_x, k_y, k_z$ 는 각각 x, y, z 방향으로의 전파상수이다. 공진체 내부에는 식 (3)와 같은 필드들이 존재하지만, 식 (3b)~(3e)와 같은 필드들은 공진체 내에서 서로 상쇄되는 방향으로 필드를 형성하기 때문에,  $TE_{111}^z$  모드에서는  $H_z(3a)$ 만이 방사에 주로 기여함을 알 수 있다. 그림 3과 4는 직육면체 공진체 안테나의 far field 방사 패턴을 보인 것인데, 식 (2)와 같은 자기 포텐셜에 의해 주로 방사패턴이 결정됨을 알 수 있다.

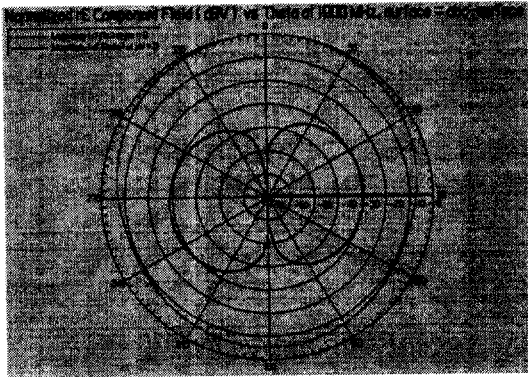


그림 3. H평면에서  $E_\phi$ (co-pol)와  $E_\theta$  (cross-pol)

Fig. 3.  $E_\phi$ (co-pol) and  $E_\theta$  (cross-pol) in H plane.

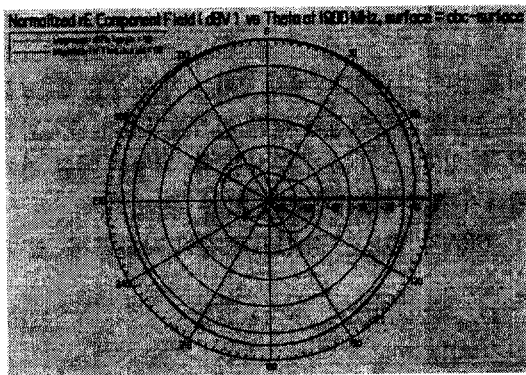


그림 4. E평면에서  $E_\theta$ (co-pol)와  $E_\phi$ (cross-pol)

Fig. 4.  $E_\theta$ (co-pol) and  $E_\phi$ (cross-pol) in E plane.

### III. 공진주파수 및 대역폭

공진체의 표면  $|x|=a/2$ 와  $|y|=b/2$ 에서 자기벽 경계조건이 만족하므로  $TE_{111}^z$  모드에 대해서 전파상수  $k_x$ 와  $k_y$ 는 식 (4)와 같이 얻을 수 있다.

$$k_x = \frac{\pi}{a}; \quad k_y = \frac{\pi}{b} \quad (4)$$

Dielectric waveguide model<sup>[8]</sup>을 사용하여 전파상수  $k_z$ 를 얻기 위해 식 (5)와 같은 초월방정식을 사용할 수 있다.

$$k_z \tan(k_z \frac{d}{2}) = \sqrt{(\epsilon_r - 1)k_0^2 - k_x^2 - k_y^2} \quad (5)$$

x, y, z 각 방향으로의 전파상수  $k_x, k_y, k_z$ 는 식 (5)와 (6)을 동시에 만족해야 한다.

$$k_x^2 + k_y^2 + k_z^2 = \epsilon_r k_0^2 \quad (6)$$

식 (6)에서  $k_0$ 는 자유공간에서의 전파상수이다. 그림 5는 식 (4), (5), (6)을 이용하여 공진기의 종횡비 변화에 따른 공진주파수( $\sqrt{\epsilon_r} k_0$ ) 변화를 나타낸 그림이다. 그림 1에서 y축상의 유전체 높이를  $b/2=5$  mm로 고정시키고, x, z축상의 유전체 길이를 a와 d로 하였다. 그림 3에서는 x, y축을 각각 a/b, d/b로, z축을  $\sqrt{\epsilon_r} k_0$ 로 하였다. 그림 5를 통하여 여러

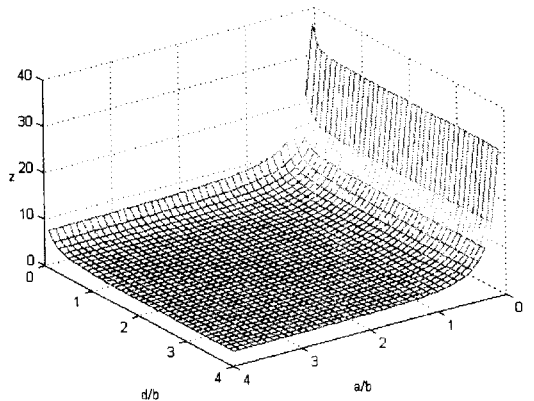


그림 5. 공진체 종횡비에 따른 공진주파수( $\sqrt{\epsilon_r} k_0$ )

Fig. 5. Resonant frequencies( $\sqrt{\epsilon_r} k_0$ ) as functions of aspect ratios.

가지의 유전체 종횡비에 따른 공진 주파수를 구할 수 있고, 역으로 특정 공진 주파수를 얻기 위한 공진체 크기를 결정할 수 있다. 또, 특정 공진 주파수를 얻을 수 있는 공진체 크기는 여러 개가 있음을 알 수 있다.

그림 1과 같은 구조의 DRA는  $TE_{111}^z$ 에서 식 (7)과 같은 자기 모멘트 다이폴  $\overline{p}_m$ 과 같이 방사한다<sup>[8]</sup>.

$$\overline{p}_m = -\frac{j8Aw\epsilon_0(\epsilon_r - 1)}{k_x k_y k_z} \sin\left(\frac{k_z d}{2}\right) \overline{a}_z \quad (7)$$

$\overline{p}_m$ 에 의한 방사전력은 식 (8)과 같다.

$$P_{rad} = 10k_0^4 |\overline{p}_m|^2 \quad (8)$$

그림 6과 7은 공진체의 상대유전율이 37.84이고, 높이가  $b/2=5\text{ mm}$ 로 일정할 때 다른 종횡비 변화에 따른 방사전력의 변화를 보이고 있다. 그림 6과 7에서 크기  $a$ 가 일정할 때,  $d$ 값이 증가할수록 방사전력이 증가함을 알 수 있고, 크기  $a$ 가 증가할 때, 방사전력이 작아졌다가 커짐을 볼 수 있다.

공진체에 저장된 평균 전기 에너지는 식 (9)와 같다.

$$W_e = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r a b d A^2}{32} \left(1 + \frac{\sin k_z d}{k_z d}\right) (k_x^2 + k_y^2) \quad (9)$$

그림 8과 9는 공진체의 상대유전율이 37.84이고, 높이가  $b/2=5\text{ mm}$ 로 일정할 때 다른 종횡비 변화에 따른 공진체내에 저장된 평균 전기에너지 변화를 보

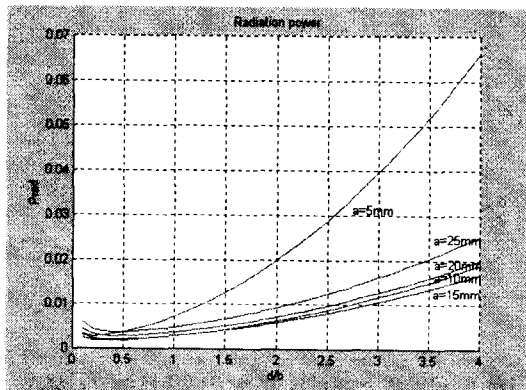


그림 6. 종횡비에 따른 방사전력  
Fig. 6. Radiated power as functions of aspect ratios.

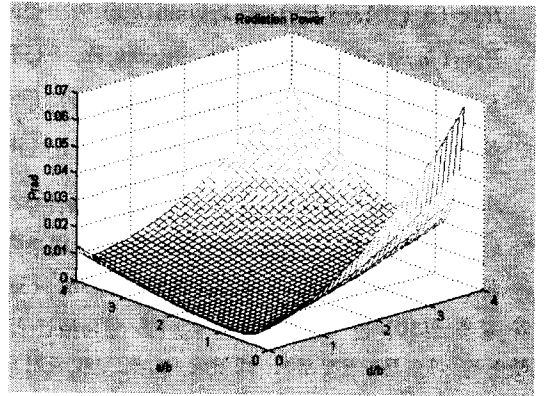


그림 7. 종횡비에 따른 방사전력 (3차원)  
Fig. 7. Radiated power as functions of aspect ratios (3D).

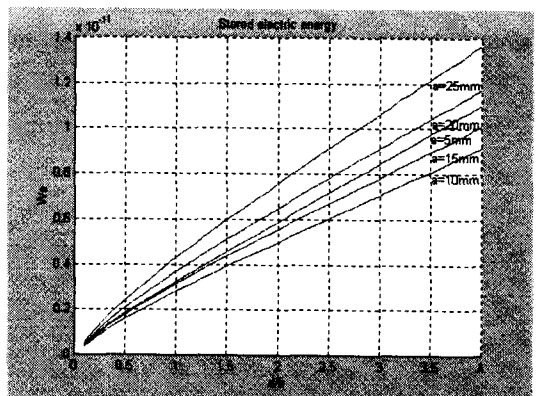


그림 8. 종횡비 변화에 따른 축적된 평균 전기에너지의 변화  
Fig. 8. Average stored electric energy as functions of aspect ratios.

이고 있다. 그림 8과 9에서 크기  $a$ 가 일정할 때,  $d$ 값의 증가할수록 저장된 평균 전기에너지가 증가함을 알 수 있고, 크기  $a$ 가 증가할 때, 저장된 평균 전기에너지가 작아졌다가 커짐을 볼 수 있다.

DRA의  $Q_{rad}$ 는 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{rad} = 2w_0 W_e / P_{rad} \propto (\epsilon_r)^{3/2} \quad (10)$$

그림 10과 11은 공진체의 상대유전율이 37.84이고, 높이가  $b/2=5\text{ mm}$ 로 일정할 때 다른 종횡비의 변화에 따른  $Q_{rad}$ 의 변화를 보이고 있다. 그림 10과

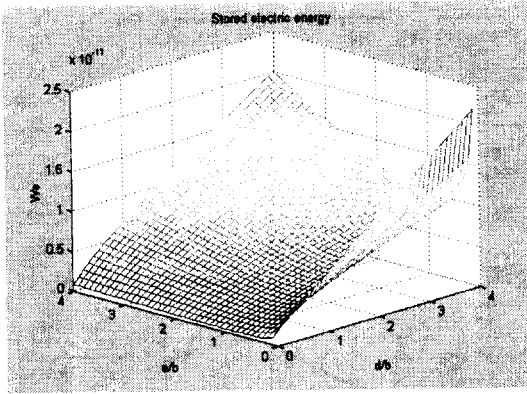


그림 9. 종횡비 변화에 따른 축적된 평균 전기에너지의 변화 (3차원)

Fig. 9. Average stored electric energy as functions of aspect ratios (three dimension).

11에서 크기  $a$ 와  $d$ 값이 증가할수록  $Q_{rad}$ 이 증가하다가 감소함을 알 수 있다.

대역폭은 식 (11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$BW = \frac{VSWR - 1}{Q\sqrt{VSWR}} \quad (11)$$

그림 12와 13은 공진체의 상대유전율이 37.48이고, 높이가  $b/2=5$  mm로 일정할 때 다른 종횡비 변화에 따른 공진기 안테나의 임피던스 대역폭 변화를 보이고 있다. 그림 12와 13은 공진체 내에 축적된 평균 전기에너지와 공진체의  $Q_{rad}$  및 방사전력을 이용하여 얻은 임피던스 대역폭이다. 그림 12와 13에서 크기  $a$ 가 일정할 때,  $d$ 값의 증가할수록 임피던스 대역폭이 감소하다가 증가함을 알 수 있다.

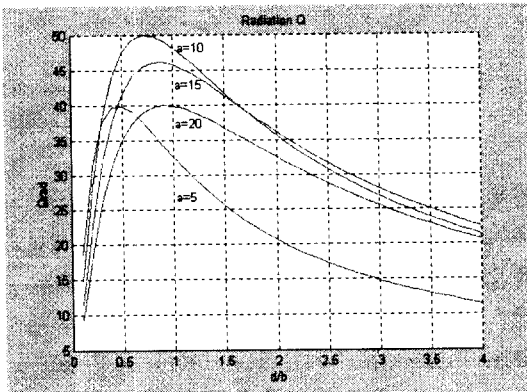


그림 10. 종횡비에 따른 방사 Q  
Fig. 10. Radiation Q as functions of aspect ratios.

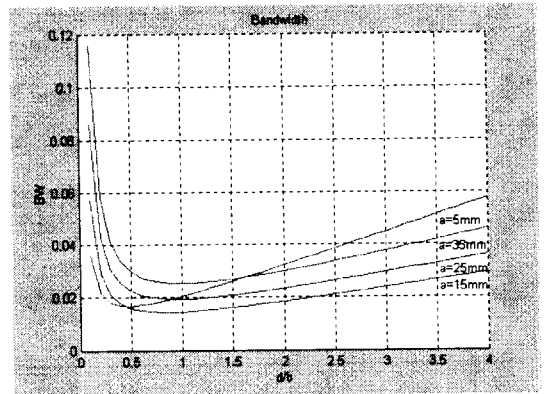


그림 12. 종횡비 변화에 따른 대역폭 변화  
Fig. 12. Bandwidth as functions of aspect ratios.

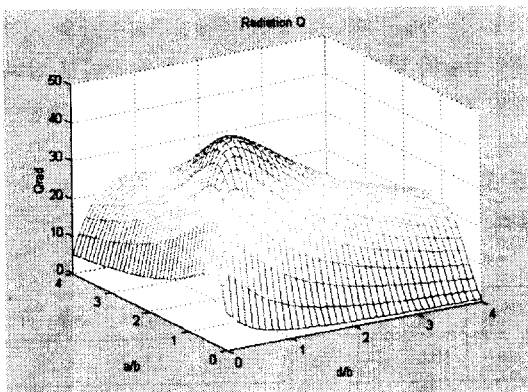


그림 11. 종횡비에 따른 방사 Q (3차원)  
Fig. 11. Radiation Q as functions of aspect ratios.

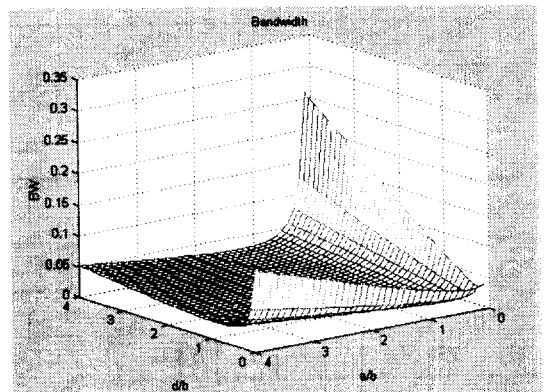


그림 13. 종횡비 변화에 따른 대역폭 변화(3차원)  
Fig. 13. Bandwidth as functions of aspect ratios(3D).

#### IV. 이론값, 시뮬레이션값 및 측정값 비교

공진기 안테나의 공진주파수와 임피던스 대역폭을 추정하는데 사용한 Dielectric waveguide model의 정확도를 검증하기 위해서 이론에 의한 근사값, HFSS를 이용한 시뮬레이션값 및 측정값을 서로 비교하였다.

표 1, 2는 유전율 37.84일 때, 3.78 GHz에서 공진하는 3개의 공진체 크기를 선택하여, 근사값과 시뮬레이션값을 비교한 표이다. 공진 주파수는 이론과 시뮬레이션 결과가 거의 일치하나 임피던스 대역폭은 이론값이 대체로 적은 결과를 보였다. 이론 대역폭은 순수 공진체에 의한 대역폭이지만 실험값은 급전 구조와 관련된 대역폭이기 때문에 다소 차이가 있다. 그림 14는 유전체의 상대유전율이 90일 때, 특정 공진주파수와  $Q_{rad}$ 에 대한 등고선을 나타내고 있다. 공진주파수는 2 GHz와 2.5 GHz에 대한 등고선을 나타내고,  $Q_{rad}$ 는 110~160까지의 등고선을 공

표 1. Dielectric waveguide model에 의한 공진주파수 근사값

Table 1. Approximate resonant frequencies by Dielectric waveguide model. ( $\epsilon_r = 37.84$ )

구분	$a$	$b/2$	$d$	$f_0$ (이론값)
(1)	18 mm	5 mm	5 mm	3.78 GHz
(2)	11 mm	5 mm	9 mm	3.78 GHz
(3)	9 mm	5 mm	20 mm	3.78 GHz

표 2. 개구결합 급전방식을 이용한 경우의 근사값과 시뮬레이션값 비교 ( $\epsilon_r = 37.84$ )

Table 2. Comparison between approximation and simulation in case of aperture coupling feed.

구분	공진 주파수		임피던스 대역폭	
	이론	시뮬레이션	이론	시뮬레이션
(1)	3.78 GHz	3.66 GHz	1.8 %	2.7 %
(2)	3.78 GHz	3.68 GHz	1.4 %	3.3 %
(3)	3.78 GHz	3.7 GHz	1.9 %	2.7 %

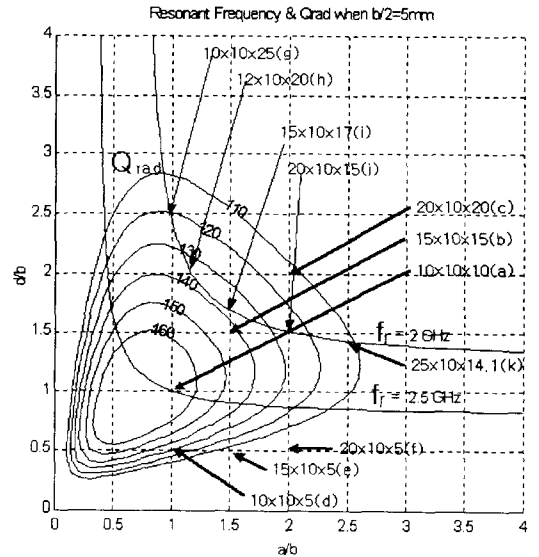


그림 14. 종횡비 평면에 있어서의 특정 공진주파수와  $Q_{rad}$ 에 대한 등고선 ( $\epsilon_r = 90$ )

Fig. 14. Contour of the specific resonant frequencies and  $Q_{rad}$  on the plane of aspect ratios ( $\epsilon_r = 90$ ).

진체의 종횡비 평면상에 그린 것이다. 그림 14와 같은 방법을 이용하면, 공진체의 공진주파수와 대역폭을 쉽게 확인할 수 있고, 역으로 설계하고자 하는 공진주파수와 대역폭을 갖는 공진체의 종횡비를 쉽게 얻을 수 있다. 표 3~5는 그림 14에서 구분 (a)~(c)의 종횡비를 갖는 공진체가 개구결합 급전되었을 때, 공진주파수와 임피던스 대역폭의 근사값, 시뮬레이션값 및 측정값을 서로 비교한 표이다. 구분 (a)~(c)는 크기  $a$ 와  $d$ 가 같은 공진체이다.

표 3~5에서 볼 수 있듯이 공진주파수값은 시뮬레이션값에 대해 약 8% 이내의 오차를 보이고 있다. 실험 대역폭은 급전구조와 관련될 수 있기 때문에

표 3. 샘플 (a)~(c)에 대한 근사값 (개구결합급전)

Table 3. Approximate values for samples (a)~(c). (aperture coupled feed) ( $\epsilon_r = 90$ )

구분	$a$	$b/2$	$d$	$f$ (GHz)	BW(%)
(a)	10 mm	5 mm	10 mm	2.5	0.39
(b)	15 mm	5 mm	15 mm	2.06	0.45
(c)	20 mm	5 mm	20 mm	1.87	0.58

표 4. 공진주파수 비교(개구결합 급전방식) ( $\epsilon_r = 90$ )

Table 4. Comparison of resonant frequencies.

구분	공진 주파수		
	이론	시뮬레이션	측정
(a)	2.5 GHz (6.2% 오차)	2.354 GHz	2.73 GHz
(b)	2.06 GHz (7.4% 오차)	1.918 GHz	2.13 GHz
(c)	1.87 GHz (10.6% 오차)	1.69 GHz	1.555 GHz

표 5. 임피던스 대역폭 비교(개구결합 급전방식)

( $\epsilon_r = 90$ )

Table 5. Comparison of Impedance bandwidths.

구분	임피던스 대역폭		
	이론	시뮬레이션(GHz)	측정(GHz)
(a)	0.39 %	2.35~2.358 (0.33 %)	2.72~2.74 (0.7 %)
(b)	0.45 %	1.913~1.924 (0.6 %)	2.12~2.136 (0.7 %)
(c)	0.58 %	1.682~1.695 (0.8 %)	1.55~1.56 (0.6 %)

표 6. 샘플 (d)~(f)에 대한 근사값 (동축선로급전)

Table 6. Approximate values for samples (d)~(f). (coaxial probe feed)

구분	$a$	$b/2$	$d$	$f$ (GHz)	BW(%)
(d)	10 mm	5 mm	5 mm	2.9	0.4
(e)	15 mm	5 mm	5 mm	2.54	0.46
(f)	20 mm	5 mm	5 mm	2.4	0.54

이론값과 다를 수 있다. 표 6~7은 그림 14에서 구분 (d)~(f)의 종횡비를 갖는 공진체가 동축선로 급전되었을 때, 공진주파수와 임피던스 대역폭의 근사값과 시뮬레이션값을 서로 비교한 표이다. 구분 (d)~(f)는 크기  $d$ 가 일정할 때, 크기  $a$ 가 변하는 공진체들이다.

표 6~7은 공진주파수 근사값이 약 5% 이내의 오차를 보이고 있음을 알 수 있다.

표 8~9는 그림 14에서 종횡비에 따라 2 GHz를 얻을 수 있는 등고선상에서 5개의 종횡비를 선택하

표 7. 동축선로 급전시의 근사값과 시뮬레이션 비교

Table 7. Comparison between approximation and simulation in case of coaxial probe feed.

구분	공진 주파수		임피던스 대역폭	
	이론	시뮬레이션	이론	시뮬레이션
(d)	2.9 GHz (4.6%오차)	3.04 GHz	0.4 %	0.65 % (3.03~3.05 GHz)
(e)	2.54 GHz (5.9%오차)	2.7 GHz	0.46 %	1 % (2.68~2.71 GHz)
(f)	2.4 GHz (7.6%오차)	2.6 GHz	0.54 %	0.7 % (2.51~2.69 GHz)

표 8. 2GHz 등고선상의 종횡비 ( $\epsilon_r = 90$ )

Table 8. Aspect ratios on 2GHz contour. ( $\epsilon_r = 90$ )

구분	$a$	$b/2$	$d$	$f$ (GHz)	BW(%)
(g)	10 mm	5 mm	25 mm	2 GHz	0.61 %
(h)	12 mm	5 mm	20 mm	2 GHz	0.51 %
(i)	15 mm	5 mm	17 mm	2 GHz	0.48 %
(j)	20 mm	5 mm	15 mm	2 GHz	0.51 %
(k)	25 mm	5 mm	14.1 mm	2 GHz	0.6 %

표 9. 근사값과 개구결합 급전방식을 이용한 시뮬레이션값 비교 ( $\epsilon_r = 90$ )

Table 9. Comparison of Approximate values and simulation values using aperture coupling.

구분	공진 주파수		임피던스 대역폭	
	이론	시뮬레이션	이론	시뮬레이션
(g)	2 GHz (3%오차)	1.94 GHz	0.61 %	0.5 % (1.935~1.945 GHz)
(h)	2 GHz (2.3%오차)	1.954 GHz	0.51 %	0.6 % (1.948~1.96 GHz)
(i)	2 GHz (7%오차)	1.868 GHz	0.48 %	0.7 % (1.862~1.875 GHz)
(j)	2 GHz (8%오차)	1.85 GHz	0.51 %	1.1 % (1.84~1.86 GHz)
(k)	2 GHz (10%오차)	1.818 GHz	0.6 %	0.9 % (1.81~1.827 GHz)

여 시뮬레이션값과 비교한 결과이다.

공진주파수 근사값과 시뮬레이션값은 약 6% 이내의 오차를 보이고 있다.

### V. 결 론

본 논문에서는 Dielectric waveguide model 이론을 토대로 유전율 37.84와 90인 유전체 공진기 안테나의 공진 주파수 및 임피던스 대역폭에 대한 근사적 예측값, 시뮬레이션값 및 측정값을 비교 분석함으로써 근사식의 정확도를 조사하였다. 유전체의 종횡비에 따른 공진주파수를 얻을 수 있는 3차원 그래프를 제시하였고, 방사전력, 공진체에 축적된 평균 전기 에너지 및  $Q_{rad}$ 를 이용하여 얻은 이론적 대역폭을 공진체의 종횡비에 따라 그린 3차원 그래프도 제시하였다. 이런 그래프를 이용하여 원하는 공진주파수와 대역폭을 갖는 최저 차수 모드를 얻기 위한 최적의 유전체 크기를 얻을 수 있는 방향을 제시하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] R. K. Mongia and P. Bhartia, "Dielectric resonator antennas - A review and general design relations for resonant frequency and bandwidth," *Int. J. Microwave Millimeter-Wave Eng.*, vol. 4, pp. 230-247, July, 1994.
- [2] R. K. Mongia, A. Ittipiboon, and M. Cuhaci,

"Measurement of radiation efficiency of dielectric resonator antennas," *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol. 4, pp. 80-82, Mar., 1994.

- [3] M. Gastine, L. Courtois, and J. J. dormann, "Electromagnetic resonance of free dielectric spheres," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-15, pp. 694-700, Dec., 1967
- [4] D. Kajfeja and P. Guillon, Eds., *Dielectric resonators*. Norwood, MA: Artech, 1986.
- [5] R. K. Mongia, A. Ittipiboon, and M. Cuhaci, "Low profile dielectric resonator antennas using a very high permittivity material" *Electronics Letters*, 30, 17, Aug., 1994, pp. 1362-1363.
- [6] J. Van Bladel, "On the resonances of a dielectric resonator of very high permittivity," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-23, pp. 199-208, Feb., 1975.
- [7] A. K. Okaya and L. F. Barash, "The dielectric microwave resonator," *Proc. IRE*, vol. 50, pp. 2081-2092, Oct., 1962
- [8] R. K. Mongia and A. Ittipiboon "Theoretical and Experimental Investigations on Rectangular Dielectric Resonator Antennas," *IEEE Trans. on AP*, vol. 45, no. 9, Sep., 1997.
- [9] Akira Ishimaru, *Electromagnetic Wave Propagation, Radiation, and Scattering*, Prentice Hall, 1991.

### 최 원 규



1999년 2월: 경희대학교 전파공학과 (공학사)  
 1999년 3월~현재: 경희대학교 전파공학과 대학원 석사과정  
 [주 관심분야] 안테나 설계 및 RF 회로

### 이 범 선



1982년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)  
 1991년 8월: 미국 네브래스카 주립대 전자공학과 (공학석사)  
 1995년 5월: 미국 네브래스카 주립대 전자공학 (공학박사)  
 1995년 5월~1995년 8월: 미국 네브래스카 주립대 포닥 (Post Doctor)

1995년 9월~현재: 경희대학교 전자정보학부 부교수  
 [주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 위성전파 감시, 전자파 산란