

<http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2013.13.4.201>

JIIBC 2013-4-26

## 한쪽 면이 열린 동축 공동 공진기의 설계에 대한 연구

### Design of An Open-Ended Coaxial Cavity Resonator

이윤민, 김진국, 허 정

Yun-Min Lee, Jin-Kook Kim, Jung Hur

**요 약** 본 논문은 한쪽 면이 열린 동축 공동 공진기의 경험적 설계 방법에 대한 연구이다. 공진기의 내부 도체 반경과 공진기의 내경 그리고 길이를 이용하여 설계한다. 그러나 기본 동축 선로 이론을 적용하면 내부 도체 반경과 공진기의 내경 값에 관계없이, 길이 변화에 의해서만 공진 주파수와 Q값의 특성이 달라지는 것을 알 수 있다. 따라서 내부 도체 반경과 공진기 내경 그리고 길이의 영향을 알아내고, 경험적 설계를 통해 이론값과 설계값의 오차를 줄여 최적화된 공진기 설계 방법을 제안한다. 모의실험 결과를 바탕으로 공진기의 내경은 14 mm, 내부 도체 반경은 각각 2 mm, 5 mm, 10 mm 그리고, 공진기의 길이는 8.5 mm로 제작하였다. 제작된 공진기의 공진 주파수는 6.1, 5.7, 6.5 GHz로 측정되었다. 모의실험과 제작된 공진기를 측정한 결과에 의하면, 공진기의 길이가 10 mm이하일 때는 기본 동축 전송 이론을 직접 적용하고, 10 mm이상 일 때는 계산된 공진 주파수에 0.5 GHz보정인자 값을 더함으로써 비교적 오차가 작은 한쪽 면이 열린 동축 공동 공진기를 설계 할 수 있음을 알 수 있었다.

**Abstract** This paper is a study of an empirical design of an open-ended coaxial cavity resonator. It can be done by using the radius of the inner conductor, the inner radius and the length of the resonator. However, the basic coaxial transmission -line theory can be seen that the characteristics of the resonant frequency and the Q value are varied by the change of length, regardless of the value of radius of the inner conductor and inner radius of the resonator. We find out the impact of radius of the inner conductor, inner radius of the resonator and the length of the resonator parameter and propose the optimized empirical resonator design method by reducing the error between the theoretical value and the design value. Based on the simulation, several resonators are fabricated by the size of 14 mm for the radius of inner conductor, 2 mm, 5 mm, 10 mm respectively for the inner radius of resonator, and 8.5 mm for the length of the resonator. The resonant frequencies of the produced resonators were measured at 6.1, 5.7, 6.5 GHz respectively. According to the result of simulation and measurement, we know that we can design the relatively exact open-ended coaxial cavity resonator by applying the basic coaxial transmission-line theory directly when the length of the resonator is less than 10 mm, and adding the correction factor of 0.5 GHz to the calculated resonant frequency in case of more than 10 mm of the length of the resonator.

**Key Words** : coaxial transmission line, coaxial cable, coaxial cavity resonator

\*정회원, 건국대학교 전자정보통신공학과

접수일자 : 2013년 6월 25일, 수정완료 : 2013년 7월 22일

게재확정일자 : 2013년 8월 16일

Received: 25 June, 2013 / Revised: 22 July, 2013

Accepted: 16 August, 2013

\*Corresponding Author: lymcall@naver.com

Dept. of Electronics and Information & Communication Engineering,  
Konkuk University, Korea

## I. 서 론

한쪽 면이 열린 동축 공동 공진기의 구조는 수분 센서, 유전율 측정 센서, 유전체 특성 분석을 위한 전자현미경<sup>[1]</sup> 등의 분야에서 자주 사용되고 있다. 그러나 공진기를 설계하는 과정이 복잡하거나 설명이 부족한 경우가 대부분이다. 그래서 본 논문에서는 한쪽 면이 열린 동축 공동 공진기에 대한 쉽고 간단한 경험적 설계 방법을 제시하고자 한다. Shigeru Nakayama<sup>[2]</sup>는 외부 슬롯 안테나를 갖는 동축 공동 공진기를 이용하여, 콘크리트용 골재 및 시멘트의 수분량을 측정하는 센서에 적용하였고, 골재의 침식을 방지하기 위해 센서를 테플론 피복으로 덮여 있는 구조로 설계하였다. 그러나 설계 방법이 너무 단순하고 설계 과정에 대한 설명이 부족했다. U. Raveendranath<sup>[3]</sup> 등은 동축 공동 공진기와 도파관을 이용하여, 액체의 유전율을 측정하는데 사용하였다. 공진기 외부에 움직일 수 있는 샘플 챔버를 두고, 가느다란 구멍을 만들어 유전율을 측정할 수 있는 Perturbation 기술이 이용되었으나 설계 방법이 너무 어렵고 복잡했다. Bogdan A. Galwas<sup>[4]</sup> 등은 동축 공진기 한쪽 끝이 도파관으로 이루어진 구조를 제안하여 유전율을 측정하는데 사용하였다. 원형 도파관 내부를 유전체 소재로 가득 채우고, 공진 주파수와 Q값을 구하였다. 그러나 동축 공동 공진기와 원형 도파관 사이의 경계 조건에서 발생하는 복잡한 모드 매칭 해석 과정이 수반돼 설계과정이 복잡하고 어려웠다. 이와 같이 동축 공동 공진기를 응용한 여러 가지 연구들이 있지만, 공진기의 설계 과정을 명확하고 쉽게 설명하지 못했다.

동축 공동 공진기는 내부 도체 반지름, 외부 도체 내경, 그리고, 공진기의 길이를 이용하여 설계한다. 기본 동축 선로 이론을 적용하면 공진기의 내부 도체 반지름과 외부 도체 내경에 관계없이 공진기의 길이 변화에 의해서만 공진 주파수와 Q값의 특성이 달라진다. 그러나, 동축 공동 공진기는 내부 도체 반지름, 외부 도체 내경, 그리고 공진기의 길이 변화에 따라서 공진 주파수가 달라진다는 것을 우리는 경험적으로 알고 있다. 따라서, 내부 도체 반지름, 외부 도체 내경, 공진기의 길이의 영향을 포함한 다양한 구조의 동축 공동 공진기의 공진 주파수를 실험을 통해 구해볼 필요가 있다. 실제 공진기의 제작을 통한 실험은 한계가 있기 때문에 시뮬레이션 툴을 이용하여 모의실험으로 1차적 접근을 한 후 보정인자

(correction factor) 값을 이론값에 적용하여 정확한 실험 값에 대한 설계 식을 만들고, 대표적인 공진기의 크기를 정하여 실제로 이를 제작하여 검증하고자 한다. 모의실험은 HFSS(High Frequency Structure Simulator)를 이용하여 시뮬레이션으로 진행하고, 이론적으로 계산된 공진 주파수와 모의실험을 통해 얻은 공진 주파수 간의 차이를 비교하여 공진기의 특성을 분석한다. 이러한 분석 과정을 통해 얻은 결과를 바탕으로 한쪽 면이 열린 동축 공동 공진기의 설계 방법을 제안하고, 제안된 방법으로 설계된 공진기를 직접 제작하여 설계 값과 시뮬레이션 값, 실험값을 비교하여 설계방법의 타당성을 입증하려한다.

## II. 동축 공동 공진기 이론 및 시뮬레이션

다음은 동축 선로 이론을 적용하여 한쪽 면이 열린 동축 공동 공진기를 설계하고, 공진 주파수를 계산하는 과정을 보여주고 있다.

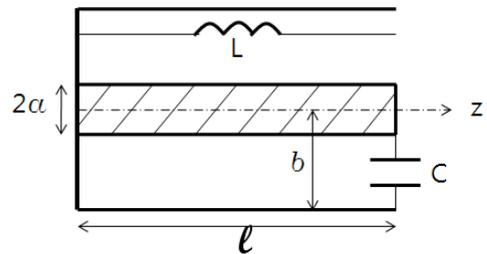


그림 1. 기본적인 동축 선로의 구조

Fig. 1. The basic structure of the coaxial line.

그림 1은 동축 선로의 등가 구조를 나타낸 것이다. 동축 선로를 일정한 길이  $l$ 만큼 잘라 한쪽 면은 닫고, 다른 한쪽 면은 열어 놓는다. 이때, 공진기의 공진 주파수는 공진기의 L값과 C값, 그리고 길이  $l$ 에 의해 결정된다. 공진기의 캐패시턴스 C는 반경  $a$ 인 내부 도체와 내경  $b$ 인 외부 도체 사이의 간격으로 구할 수 있다. 두 도체 사이의 공간은 공기로 채워져 있다.<sup>[5][6]</sup>

공진기에서의 캐피시턴스(capacitance)는 식 (1)과 같다.

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)} \cdot l \quad [F] \quad (1)$$

또한 공진기의 인덕턴스(inductance)  $L$ 은 식 (2)와 같다.

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{b}{a}\right) \cdot \ell \quad [H] \quad (2)$$

식 (1) 과 식 (2)로부터 공진기의 공진 주파수는 식(3)과 같이 구할 수 있다.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{\frac{\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{b}{a}\right) \cdot \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)} \cdot \ell^2}} \quad (3)$$

$$= \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu_0\epsilon_0}\ell} = \frac{3 \times 10^8}{2\pi\ell} = \frac{c}{2\pi\ell}$$

식(3)에서 알 수 있듯이 기존 동축 선로 이론을 이용하여 구한 공진기의 공진 주파수는 내부 도체 반경  $a$ 와 외부 도체 내경  $b$ 사이의 관계에 의해 영향을 받지 않지만, 길이  $\ell$ 의 변화에 의해서 공진 주파수가 결정된다.

그림 2는 본 논문에서 제안한 한쪽 면이 열린 동축 공동 공진기의 입체적인 구조를 보여주고 있다.

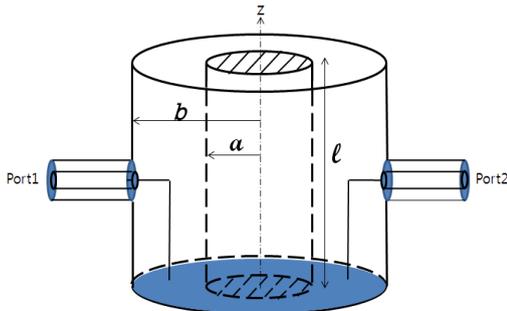
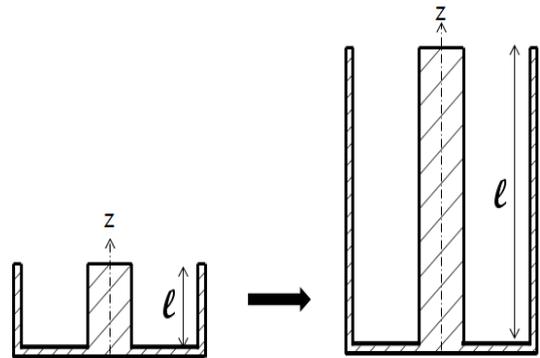


그림 2. 한쪽 면이 열린 동축 공동 공진기 구조  
Fig. 2. Structure of an open-ended coaxial cavity resonator.

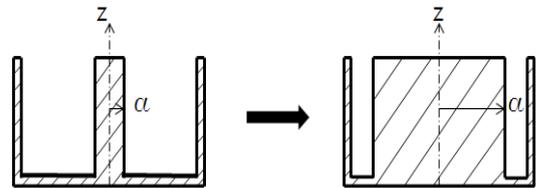
공진기 양 벽면에 입력 커플링 포트(port1), 출력 커플링 포트(port2)를 연결한다. 커플링 포트는 동축 선로 형태로 만들어졌으며 외부 도체는 공진기 벽에 연결되고, 내부 도체는 공진기 안쪽으로 연결되어 커플링 루프를 형성하게 된다. 이때 커플링 루프의 재질은 PEC이며, 지름은 0.3 mm이다. 모양은 수직 링모양, 수평 링모양, 수직 반원 모양, 수평 반원 모양, 기역자 모양 등 여러 형태

로 만들 수 있는 데 시뮬레이션 결과, 기역자(ㄱ) 모양으로 공진기 아랫면 도체에 연결한 커플링 루프가 약 10 dB정도 삽입 손실로 가장 좋은 결합을 이루었다.

그림 3은 시뮬레이션을 진행할 동축 공동 공진기의 길이  $\ell$ 과 내부 도체 반지름  $a$ 의 크기를 변화시킨 구조를 보여주고 있다. 그림 3(a)는 내부 도체  $a$ 와 외부 도체 내경  $b$ 를 고정한 상태에서 공진기의 길이를 바꾸면서 공진 특성의 변화를 측정할 구조이다. 길이  $\ell$ 은 7 mm부터 60 mm까지 변화시켰는데, 7 mm부터 9.5 mm까지 0.5 mm 간격을 두었고, 10 mm부터 60 mm까지 10 mm간격을 두었다. 그림 3(b)는 공진기의 길이  $\ell$ 을 고정한 상태에서 내부 도체 반경  $a$ 의 크기를 0.1 mm에서 13.9 mm까지 변화시켰는데, 0.1 mm부터 0.3 mm까지 0.1 mm간격으로, 1 mm부터 13 mm까지 1 mm간격으로, 13.7 mm부터 13.9 mm까지 0.1 mm간격으로 진행 하였다.



(a) 공진기 길이  $\ell$ 의 변화  
(a) Change of the cavity length  $\ell$



(b) 내부 도체 반지름  $a$ 의 변화  
(b) Change of the radius of the inner conductor  $a$

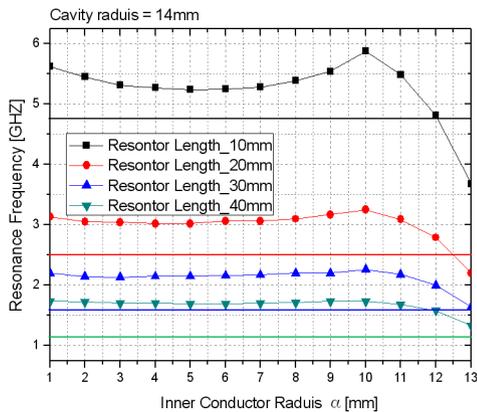
그림 3. 동축 공동 공진기 크기 변화  
Fig. 3. Change of the size of coaxial cavity resonator

그림 4는 공진기의 외부 도체의 내경  $b$ 를 14 mm로 고정하고, 길이  $\ell$ 과 내부 도체 반경  $a$ 를 변화시켜 가면서 시뮬레이션한 공진기의 공진 주파수와 Q값의 변화를 보

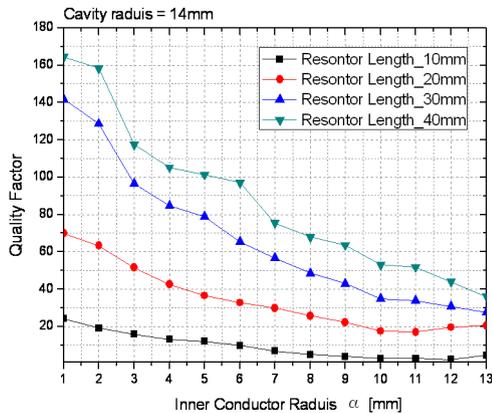
여주고 있다. 이때, Q값은 식 (4)로부터 구하였다.

$$Q = \frac{\text{resonance frequency}}{3\text{dB Bandwidth}} \quad (4)$$

그림 4(a)는 공진기의 길이  $l$ 을 각각 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm로 하고, 내부 도체 반경  $a$ 를 1 mm에서 13 mm까지 1 mm간격으로 시뮬레이션한 공진기의 공진 주파수 변화를 보여주고 있다.



(a) 공진 주파수  
(a) Resonant frequency



(b) Q값  
(b) Q values

그림 4. 길이  $l$ 이 각각 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm 일 때, 내부 도체 반지름  $a$ 의 변화에 따른 시뮬레이션 결과

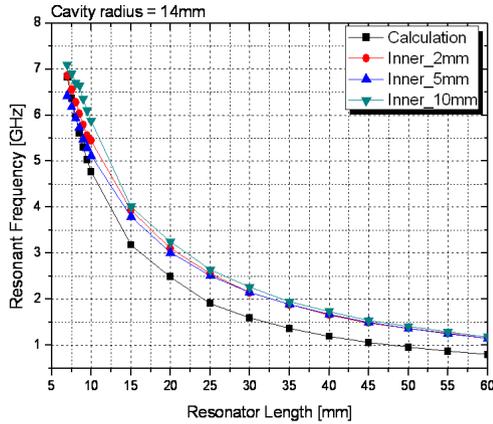
Fig. 4. Simulated results of change in the inner conductor radius  $a$  when length  $l$  are 10 mm, 20 mm, 30 mm and 40 mm respectively.

이때, 동축 선로 이론으로부터 계산된 공진 주파수는 길이  $l$ 에 따른 각 시뮬레이션 결과와 동일한 색깔의 실선으로 표시하고 있다. 그림 4(b)는 그림 4(a)의 시뮬레이션한 공진 주파수를 이용하여 계산한 Q값의 변화를 보여주고 있다. 그림 2의 공진기 구조에서 동축 선로 이론을 적용하여 계산된 공진 주파수는 길이  $l$ 이 10 mm일 때 4.77 GHz, 20 mm일 때 2.49 GHz, 30 mm일 때 1.59 GHz, 40 mm일 때 1.19 GHz로 계산되었다.

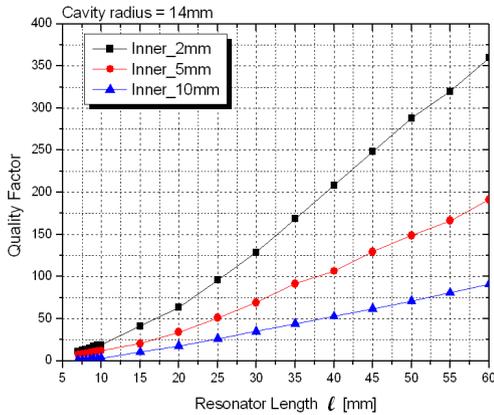
그림 4(a)를 보면 알 수 있듯이 계산된 공진 주파수와 모의 실험된 공진 주파수를 비교해 보면, 길이  $l$ 이 10 mm일 경우, 내부 도체 반경  $a$ 를 1 mm에서 13 mm로 변화시켜본 결과, 1 mm일 때 5.62 GHz, 5 mm일 때 5.24 GHz, 10 mm일 때 5.88 GHz, 13 mm일 때 3.68 GHz에서 공진 주파수가 나타났다.  $a$ 가 12 mm일 때 계산된 공진 주파수와 시뮬레이션한 공진 주파수가 4.77 GHz로 일치했지만, 내부 도체  $a$ 가 12 mm가 되면  $a$ 와  $b$ 사이의 간격이 너무 가깝기 때문에 공진기를 실제로 제작하는데 어려움이 있다. 그래서, 좀 더 세분화하여 공진 주파수의 변화를 확인할 필요가 있다. 이때,  $a$ 값을 13.7 mm, 13.8 mm, 13.9 mm로 변화시켜가면서 확인해 본 결과,  $a$ 가  $b$ 에 가까워질수록 급격히 공진 주파수가 낮아져 공진 주파수를 예측하기가 힘들어진다는 것을 알 수 있었다. 그림 4(b)에서 Q값의 변화를 살펴보면, 제안된 공진기의 내부 도체 반경이 길어질수록, 그리고, 공진기의 길이가 짧아질수록 Q값이 작아지는 것을 볼 수 있다. 공진 주파수 변화가 일정한 패턴을 찾기 위해서 그림 4(a)로부터 내부 도체  $a$ 를 비교적 공진 주파수 변화폭이 작은 2 mm, 5 mm, 10 mm로 선택하고, 공진기 길이  $l$ 의 변화에 따른 공진 주파수 변화를 자세히 관찰해 보기 위해 그림 5와 같이 실험하였다.

그림 5는 외부 도체 내경  $b$ 를 14 mm, 내부 도체 반경  $a$ 를 2 mm, 5 mm, 10 mm로 선택하여 길이  $l$ 을 변화시키면서 시뮬레이션한 결과와 계산한 결과를 비교하여 나타낸 것이다. 길이  $l$ 을 7 mm부터 60 mm까지 변화시키면서 시뮬레이션 하였는데, 7 mm부터 9.5 mm까지 0.5 mm 간격으로, 10 mm부터 60 mm까지는 10 mm간격으로 시뮬레이션 하였다. 실험한 결과, 공진기의 길이  $l$ 이 10 mm이하 일 때는 이론값과 실험값이 비교적 일치하는 경향을 보이면서 내부 도체 반경  $a$ 가 5 mm이고, 길이 8 mm에서 공진 주파수가 일치하였으며,  $l$ 이 10 mm이상으로 길어질수록 이론값과 실험값에 차이가 생겼으며, 10

mm이상부터는 길이가 길어질수록 약 0.5 GHz의 일정한 차이로 수렴하면서 변화였다. 또한, Q값은 공진기의 길이가 길어질수록 비교적 선형적으로 증가하는 것을 볼 수 있다.



(a) 공진 주파수  
(a) Resonant frequency



(b) Q값  
(b) Q values

그림 5. 내부 도체 2 mm, 5 mm, 10 mm에 길이  $l$ 의 변화에 따른 시뮬레이션 결과

Fig. 5. Simulated results of change in length  $l$  when the radius of inner conductor are 2 mm, 5 mm and 10 mm respectively.

이때, 공진기의 외부 도체의 내경  $b$ 와 내부 도체 반경  $a$  간의 크기 비는 약 3이다. 위와 같은 결과를 이용하여 제안한 한쪽 면이 열린 동축 공동 공진기를 설계할 때 공진기의 길이가 10 mm이하일 때는 기존 이론식을 이용하여 설계하고, 공진기의 길이가 10 mm이상 일 때는 기존

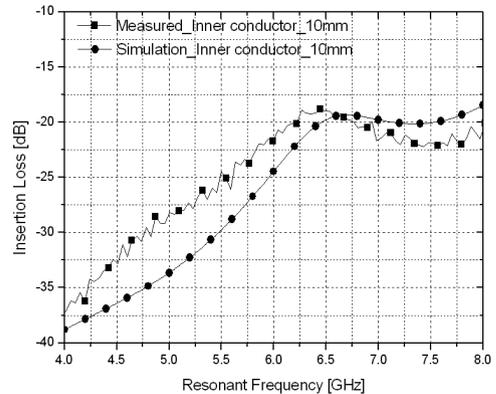
계산된 공진 주파수에 보정 값을 적용하여 설계할 수 있음을 알 수 있다. 따라서, 공진기의 길이가 10 mm이상일 경우 보정 값이 약 0.5 GHz차이를 보이고 있으므로 기존 동축 선로 이론으로부터 계산된 공진 주파수에 0.5 GHz를 더하여 공진기를 설계하면 비교적 정확하게 설계된 공진 주파수에서 공진하는 공진기를 설계할 수 있다.

### III. 제작 및 측정

지금까지 제안된 한쪽 면이 열린 동축 공동 공진기와 관련하여 동축 선로 이론으로부터 계산된 공진 주파수들과 시뮬레이션한 결과들을 비교함으로써 제안된 공진기 구조를 설계하는 방법에 관해 고찰하였다.



(a) 제작된 공진기  
(a) Fabricated resonator



(b) 삽입 손실  
(b) Insertion loss

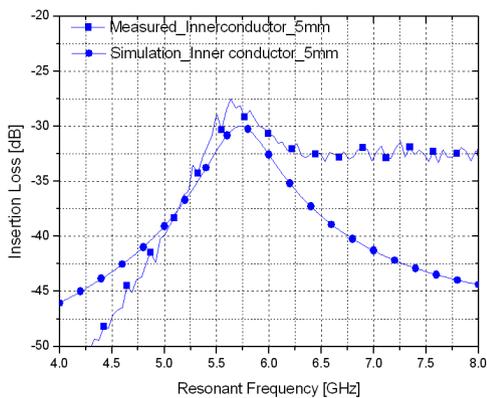
그림 6.  $a=10$  mm,  $b=14$  mm,  $l=8.5$  mm로 제작된 공진기 및 삽입 손실 측정 결과

Fig. 6. Fabricated resonator with  $a=10$  mm,  $b=14$  mm,  $l=8.5$  mm and measured insertion loss.

앞서 제안한 내용을 바탕으로 외부 도체의 내경  $b$ 는 14 mm, 길이  $\ell$ 은 8.5 mm, 내부 도체의 반경  $a$ 는 각각 2 mm, 5 mm, 10 mm로 정하여 3개의 동축 공동 공진기를 제작하였다. 또한, 공진기를 설계할 때 시뮬레이션한 것과 동일하게 양 벽면에 입출력 커플링 포트를 기억자(ㄱ) 모양으로 정하였으며, 커플링 루프는 지름이 0.3 mm인 단선을 사용하여 제작하였다. 이와 같은 설계과정으로 제작된 공진기에 대한 신뢰성을 검증하기 위하여 제작된 공진기와 동일한 사이즈와 재질로 HFSS를 사용하여 시뮬레이션한 뒤 HP-8753ES 네트워크 분석기를 사용하여 측정된 삽입 손실 및 공진 주파수와 비교하였다. 그림 6(a)는 제작된 한쪽 면이 열린 동축 공동 공진기의 사진이며, 외부 도체의 내경  $b$ 가 14 mm, 공진기의 길이  $\ell$ 이 8.5 mm, 공진기 내부 도체의 반경  $a$ 가 10 mm이고, 재질은 구리이다.



(a) 제작된 공진기  
(a) Fabricated resonator



(b) 삽입 손실  
(b) Insertion loss

그림 7.  $a=5$  mm,  $b=14$  mm,  $\ell=8.5$  mm로 제작된 공진기 및 삽입 손실 측정 결과

Fig. 7. Fabricated resonator with  $a=5$  mm,  $b=14$  mm,  $\ell=8.5$  mm and measured insertion loss.

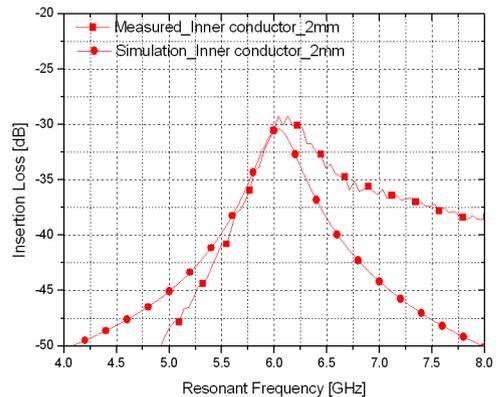
그림 6(b)는 그림 6(a)와 같이 제작된 공진기의 삽입 손실을 측정된 결과와 시뮬레이션한 결과를 4 GHz에서 8 GHz까지 주파수대별로 비교하면서 보여주고 있다. 제작된 공진기에서 공진 주파수는 6.5 GHz에서 측정되었고, 삽입 손실은 -18 dB이며, Q값은 1.5로 나타났으며 시뮬레이션 결과와 유사한 공진 주파수 특성을 보여주고 있다.

그림 7(a)의 공진기는 외부 도체의 내경과 공진기 길이는 그림 6(a)와 같고, 내부 도체의 반경  $a$ 가 5 mm이며, 재질도 그림 6(a)와 동일하게 구리로 제작되었다.

그림 7(b)는 그림 7(a)와 같이 제작된 공진기의 측정된 삽입 손실과 시뮬레이션된 삽입 손실을 보여주고 있다.



(a) 제작된 공진기  
(a) Fabricated resonator



(b) 삽입 손실  
(b) Insertion loss

그림 8.  $a=2$  mm,  $b=14$  mm,  $\ell=8.5$  mm로 제작된 공진기 및 삽입 손실 측정 결과

Fig. 8. Fabricated resonator with  $a=2$  mm,  $b=14$  mm,  $\ell=8.5$  mm and measured insertion loss.

제작된 공진기를 측정된 결과 공진 주파수는 5.7 GHz이고, 삽입 손실은 -27.5 dB이며, Q값은 9.6로 나타났고,

시뮬레이션 결과와 유사함을 볼 수 있다. 그림 7(a)의 공진기는 외부 도체의 내경과 공진기 길이는 그림 6(a)와 같고, 내부 도체의 반경  $a$ 가 5 mm이며, 재질도 그림 6(a)와 동일하게 구리로 제작되었다. 그림 7(b)는 그림 7(a)와 같이 제작된 공진기의 측정된 삽입 손실과 시뮬레이션된 삽입 손실을 보여주고 있다. 제작된 공진기를 측정한 결과 공진 주파수는 5.7 GHz이고, 삽입 손실은 -27.5 dB이며, Q값은 9.6로 나타났고, 시뮬레이션 결과와 유사함을 볼 수 있다.

그림 8(a)의 공진기는 그림 (6)와 크기 및 재질이 동일하나, 내부 도체 반경  $a$ 가 2 mm로 제작되었다. 그림 8(b)는 그림 8(a)로 제작된 공진기의 측정된 삽입 손실과 시뮬레이션한 삽입 손실을 보여주고 있다. 제작된 공진기의 측정된 공진 주파수는 6.1 GHz에서 나타났으며, 삽입 손실은 -30 dB, Q값은 15로 측정되었다. 역시 위의 다른 두 개의 공진기와 마찬가지로 시뮬레이션한 결과와 비슷한 공진 특성을 보이는 것을 알 수 있다.

제작된 3개의 한쪽 면이 열린 동축 공동 공진기의 측정 결과를 비교해 보면, 모의실험에서 외부 도체의 내경  $b$ 가 14 mm, 공진기의 길이  $l$ 이 8.5 mm로 10 mm미만이고, 내부 도체의 반경  $a$ 가 5 mm일 때, 계산된 공진 주파수와 시뮬레이션된 공진 주파수가 일치했던 것과 비슷하게 그림 7(b)로 제작된 공진기에서 계산된 공진 주파수와 같은 주파수에서 공진이 발생하는 것을 볼 수 있다. 이때, 동축 전송선로 이론으로 계산된 공진 주파수와 측정된 공진 주파수 간의 작은 차이는 오픈된 영역에서 전파 손실로 공진 특성에 영향을 주고 있기 때문으로 생각된다. 이때, 삽입 손실은 그림 6(b), 그림 7(b), 그림 8(b)에서 보는 바와 같이 내부 도체  $a$ 의 반경이 작아질수록 커지는 것을 알 수 있다.

## V. 결론

본 논문에서는 한쪽 면이 열린 동축 공동 공진기의 경험적 설계 방법을 소개하고 공진기의 공진 주파수 특성을 분석하여 공진기를 설계 및 제작하는 방법에 대하여 다루었다. 동축 선로 이론과 시뮬레이션을 통해 공진기를 설계하고, 설계된 공진기와 제작된 공진기 간의 공진 주파수 오차가 크지 않은 설계 방법을 제안하였다. 동축 선로 이론에 의하면 공진기의 공진 주파수는 길이 변화

에 의해 정해진다. 그러나 공진기 내부 도체 반경의 크기를 변화시켰을 때, 공진 주파수 특성이 같이 변하는 것을 시뮬레이션과 실제 제작을 통해 확인하였다. 실험 결과, 내부 도체 반경이 10 mm이상이면 공진 주파수는 급격히 낮아지고, Q값이 나빠지는 반면 내부도체 반경이 10 mm 이하가 되면 비교적 일정한 공진 주파수 특성을 나타냈으며, Q값이 높아졌다. 이론과 시뮬레이션 그리고 실제 공진기 제작을 통해 확인한 결과, 공진기 설계 시 공진기 외부 도체의 내경과 내부 도체의 반경 비가 3 정도이고, 공진기의 길이가 10 mm미만일 때, 전송선로 이론으로 계산된 값으로 공진기를 설계할 수 있으며, 길이가 10 mm이상일 때 계산된 이론값에 공진 주파수 오차를 보정하기 위한 보정값을 반영함으로써 비교적 정확한 공진기를 설계할 수 있다는 것을 확인하였다.

본 연구에서 제안하고 설계한 한쪽 면이 열린 동축 공진기는 열린 면에 유전체의 양이 달라짐에 따라 제안된 공진기의 공진 주파수와 Q값 등이 변하는 점을 이용하여 유전체 측정센서, 수분센서 등과 같은 다양한 전파 측정 분야에 적용이 가능할 것으로 기대된다.

## References

- [1] D. J. Barker, P. M. Suherman, T. J. Jackson and M. J. Lancaster, "Comparison of scanning evanescent microwave microscopy with co-planar waveguide methods of characterization of Ba0.5Sr0.5TiO3 thin films", 2009. ISAF 2009. 18th IEEE International symposium Applications of Ferroelectric, 2009.
- [2] Shigeru Nakayama, "Development of a microwave moisture sensor for aggregates" Meas. Sci. Technol., vol. 6, no. 7, pp. 429-431, Jul. 1995.
- [3] U. Raveendranath. S. Bijukumar, and K. T. Mathew, "Broadband Coaxial Cavity Resonator for Complex Permittivity Measurements of Liquids" IEEE Trans. Instrumentation and Measurement, vol. 49, no. 6, pp. 1305-1312, Dec. 2000.
- [4] Bogdan A. Galwas, Jerzy K. Piotrowski, Member, IEEE, and Jerzy Skulski, "Dielectric Measurements Using a Coaxial Resonator Opened to a Waveguide Below Cut-Off" IEEE Trans. Instrumentation and

Measurement, vol. 46, no. 2, pp. 511-514, Apr. 1997.  
[5] D. K. Cheng, Field and Wave Electromagnetics, Addison Wesley, 1961.

[6] D. M. Pozar, Microwave Engineering, John Wiley and Sons, 3rd Ed., New York: John Wiley & Sons Inc., 1998.

저자 소개

이 윤 민(정회원)



- 2006년: 한국산업기술대학교 전자공학과 (공학사)
- 2008년: 건국대학교 정보통신대학원 전자 및 정보통신 공학과 (공학석사)
- 현재: 건국대학교 전자 및 정보통신 공학과 (박사과정)
- 관심분야: RF, 안테나 설계, 마이크로파 회로 등

김 진 국(정회원)



- 1997년: 건국대학교 전자공학과 (공학사)
- 1999년: 건국대학교 정보통신 대학원 전자 및 정보통신공학과 (공학석사)
- 2003년: 건국대학교 정보통신 대학원 전자 및 정보통신공학과 (박사수료)
- 관심분야: RF, 유전체 공진기, 마이크로파 필터 등

허 정(정회원)



- 1981년: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
- 1983년: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1991년: 서울대학교 전자공학과 (공학박사)
- 현재: 건국대학교 전자정보통신 공학과 교수

• 관심분야 : 안테나 및 전파전파, 마이크로파