

# 개구를 갖는 공동의 외부 전자파원에 의한 공진 주파수 특성

황보 승 김 기 채

영남대학교 전기전자공학부

## Characteristics of Resonant frequencies on Cavity with a Slot-Aperture by External Sources

Seung Hwangbo Ki-Chai Kim

Electrical and Electronic Engineering, Yeungnam University

E-mail : a9824704@chunma.yeungnam.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 외부에 존재하는 전자파원으로부터 공동 구조의 벽면에 존재하는 개구를 통해 공동 내부로 침투되는 전계의 크기를 모멘트법으로 계산하였다. 모멘트법으로 계산한 결과와 다른 수치해석 방법을 사용한 결과와 비교하였고 해석 결과는 비교치와 잘 일치하고 있음을 확인하고 있다. 또한 개구를 통한 전자계 침투는 공동과 개구의 구조에 의존하는 특정 주파수에서 최대치를 나타내고 있음을 확인하고 있다.

### ABSTRACT

In this paper, the electric field intensity has been theoretically evaluated by the method of moments in a cavity by an external source. The numerical results show a good agreement with the results of other papers. It is found that the electromagnetic penetration through aperture in the cavity shows peak values at some frequencies dependent largely on the structure of the cavity and aperture.

### 1. 서 론

오늘날 고도로 발달된 전기 전자기술은 전기 전자기기들의 동작 전류를 작아지게 하고 있으며 또한 처리 신호도 아날로그에서 디지털화 되고 있다. 기기 내부는 고밀도화 되고 있으며 전자파 환경은 점점 더 악화되고 있다. 그러므로 전기전자 제품은 전도성 잡음 및 방사성 잡음에 대하여 내성이 강한 제품이 되도록 설계되어야 한다.

최근 급증하고 있는 외부 전자파원으로부터 침투되는 전자계가 기기에 오작동을 유발하는 등 많은 문제를 야기시킬 수 있다. 따라서, 개구를 통해 침투하는 불요 전자파의 크기를 예측하고 침투하는 전자파를 억제하기 위한 저감 기술의 개발은 매우 중요하다. 전자파 침투에 관한 연구는 반 무한 공간의 도체에 존재하는 개구를 통한 침투 및 침투된 전자파로부터 전선에 유기되는 전류 등을 계산한 연구결과가 보고되어 있으며 [1]~[3], 개구를 가지는 공동이 공진할 때 결합되

는 전자계 등에 관한 연구도 여러 연구자들에 의해 보고되어 있다.[4]~[6] 그리고 공동으로부터 유기되는 불요 전자파를 감소 시킬 수 있는 방법에 대한 연구도 보고 되어있다.[7]

본 논문에서는 개구를 통해 공동의 내부로 침투하는 불요 전자파 크기를 계산하고 공진 특성을 검토하였다.

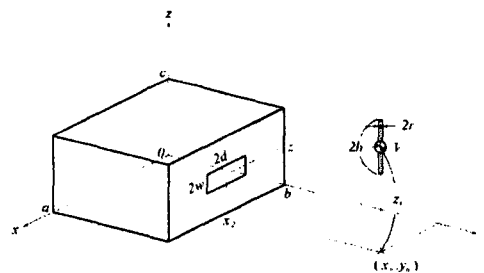


그림 1. 외부 전자파원이 있는 개구를 갖는 공동

## II. 이론 해석

### 1. 외부전자파원과 공동의 구조

그림1은 외부에 전자파원이 있는 개구를 가지는 공동의 구조와 좌표계를 나타낸다. 외부에 놓여진 다이폴 안테나를 델타 함수적 전원으로 급전하면 안테나의 중심축을 따라서 흐르는 전류 분포 및 개구면 전계 분포에 관한 적분 방정식은 반 무한공간에서의 전기형 그린함수, 자기형 그린함수 및 공동내의 자기형 그린함수를 사용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{1}{j\omega \epsilon_0} \oint_{S_1} (k_z^2 + \nabla \nabla) \cdot \bar{G}''(r, r') \cdot I(r') dS_2 - \int_{S_1} \nabla \times \bar{G}''(r, r') \cdot (E_a \times a_y) dS_2 = -V \delta(z-z') a_z \quad (1)$$

$$\left[ \frac{1}{j\omega \mu_0} \int_{S_1} (k_z^2 + \nabla \nabla) \cdot \bar{G}'(r, r') \cdot (a_y \times E_a) dS_2 = \frac{1}{j\omega \mu_0} \int_{S_1} (k_z^2 + \nabla \nabla) \cdot \bar{G}''(r, r') \cdot (E_a \times a_y) dS_2 + \oint_{S_1} \nabla \times \bar{G}'(r, r') \cdot I(r') dS_2 \right] \quad (2)$$

여기서,  $V$ 는 급전전압이며,  $\omega$ 는 각주파수,  $\epsilon_0$ 는 자유공간의 유전율이다. 그리고  $\bar{G}'$ ,  $\bar{G}''$  및  $\bar{G}'''$ 는 각각 공동내의 자기형 다이아드 그린함수, 반 무한공간의 자기형 및 전기형 다이아드 그린 함수이다. 적분방정식 (1), (2)의 해를 구하기 위해 전류분포와 개구면 전계 분포를 다음과 같은 기지의 함수로 전개한다.

$$I(z') = \sum_{n=1}^{\infty} I_n E(z') \quad (3)$$

$$E_a = a_z \sum_{p=0}^{\infty} \sum_{q=1}^{\infty} E_{zpq} C_p(z') S_q(x') \quad (4)$$

여기서,  $I_n$ ,  $E_{zpq}$ 는 각각 구해야 할 전류분포의 전개 계수 및 개구면 전계 분포의 전개계수이며, 전개함수  $F_n$ 은 구분적 정현함수를 사용하였다. 또한, 개구면 전계분포의 기저함수는 다음과 같은 함수를 사용하였다.

$$C_p(z') = \cos \frac{p\pi(z' - (z_2 - w))}{2w}$$

$$S_q(x') = \sin \frac{q\pi(x' - (x_2 - d))}{2d}$$

식(3), (4)를 식(1),(2)에 대입하고 Galerkin의 방법을 적용하면 적분 방정식 (1),(2)는 다음과 같은 연립 일차 방정식으로 변환된다.

$$\begin{bmatrix} [Z_{11}] & [B_{z1}] \\ [C_{p0}] & [Y_{zpq}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [I_n] \\ [E_{zpq}] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [V_1] \\ [0] \end{bmatrix} \quad (5)$$

식(5)에서  $Z_{11}$ 은 일반화된 임피던스 행렬,  $V_1$ 은 일반화된 전압 행렬,  $Y_{zpq}$ 는 일반화된 어드미턴스 행렬을 나타낸다. 식(5)로부터 미지의 계수를 구하면 등가 자유분포를 구할 수 있으며 이로부터 공동 내부에서의 전자계 분포를 계산할 수 있다.

### 2. 내부 전자계

식 (5)로부터 구한 개구면 전계 분포의 전개계수를 이용하면 개구면에서의 등가 자유를 계산할 수 있고, 이로부터 공동 내부의 전계를 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$E_i = - \int_{S_1} \nabla \times \bar{G}'(r, r') \cdot (a_y \times E_a) dS_2 \quad (6)$$

## III. 수치계산 결과 및 검토

### 1. 개구면 전계 분포와 내부 전계

실험에 사용한 공동의 치수는 데스크탑형 개인용 컴퓨터와 같은 치수를 예로써 선택하였고, 개구의 치수는 CD-ROM 드라이버를 상정하였다. 본 논문에서 선택한 공동의 제원은 다음과 같다.

- 1) 외부 전자파원 :  $f = 1.8 \text{ GHz}$ ,  $x_0 = 0.2175 \text{ m}$   
 $y_0 = 10 \text{ m}$ ,  $z_0 = 0.09 \text{ m}$
- 2) 공동의 치수 :  $a = 0.435 \text{ m}$ ,  $b = 0.415 \text{ m}$   
 $c = 0.16 \text{ m}$
- 3) 개구 치수 :  $z_2 = 0.09 \text{ m}$ ,  $x_2 = 0.2175 \text{ m}$   
 $d = 0.065 \text{ m}$ ,  $w = 0.01 \text{ m}$

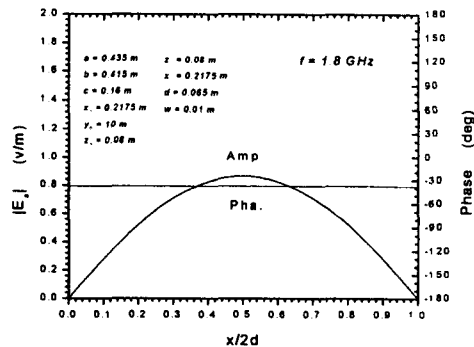


그림 2. 개구면 전계 분포

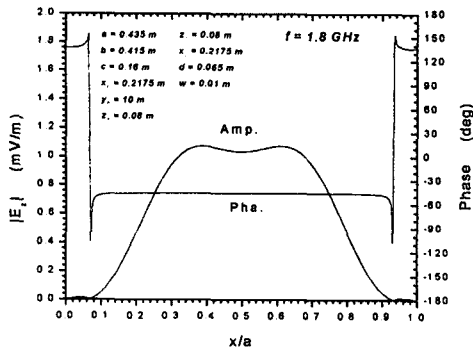


그림 3 내부 전계 분포(x 방향)

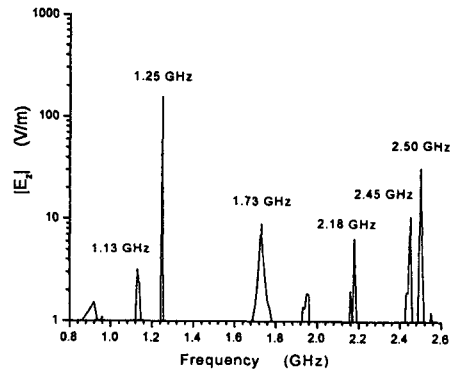


그림 5. 주파수에 따른 내부전계

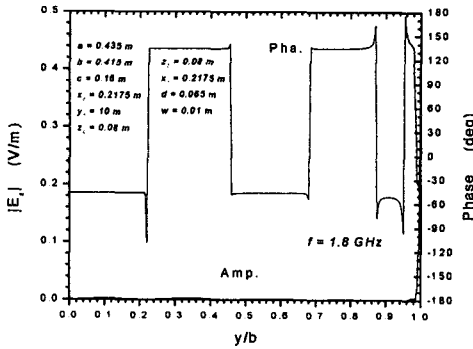


그림 4. 내부 전계 분포(y방향)

그림 2는 데스크탑형 컴퓨터에서 CD-ROM 드라이브가 컴퓨터 본체의 중앙에 위치할 때의 개구면 전계 분포를 나타낸 것이다. 개구면의 중앙에서 전계가 가장 크고 위상은 거의 일정함을 알 수 있다.

그림 3은 x방향에 따른 내부 전계강도를 계산한 것으로 중앙부분의 영역에서 전계가 크며 위상은 공동의 양쪽 끝에서 반전되는 것을 알 수 있다.

그림 4는 y방향에 따른 내부 전계강도를 계산한 것으로 개구에서 침투한 전계가 공동으로 침투하는 양을 나타내고 있다. 개구에서 공동 안으로 진행하면서 전계 강도가 급격히 줄어드는 것을 알 수 있고 위상이 반전되는 부분에서 전계강도가 0에 가까워지는 것을 알 수 있다.

## 2. 주파수 특성

그림 5는 주파수에 따른 공동 내부 전계를 나타낸 것이다.

공동의 공진 주파수들은 1.25 GHz, 1.73 GHz, 2.18 GHz,와 2.45 GHz이다. 문헌[5]에서는 서는 TLM method를 이용하여 공진 주파수를 계산하고 있으며, MOM을 사용하여 계산한 결과를 표 1에 나타내었다.

표 1. 공진 주파수

Modes	Resonant Frequencies(GHz)	
	TLM	MoM
TM111	1.32 GHz	1.25 GHz
TM211	1.64 GHz	1.73 GHz
TM410	2.16 GHz	2.18 GHz
TM411	2.40 GHz	2.45 GHz

이론적으로 완전도체 금속 공동은 식(7)과 같이 무한 개의 공진 주파수를 가진다.

$$f_{mnp} = c \times \sqrt{\left(\frac{m}{2a}\right)^2 + \left(\frac{n}{2b}\right)^2 + \left(\frac{p}{2c}\right)^2} \quad (7)$$

그러나 본 논문에서의 구조는 외벽이 개구에 의해서 잘려져 있으므로 z-x방향의 개구는 가능한 공진 모드를 제한 시킨다.

본 논문에서는 문헌[5]와 같이 개구에서 50 mm 떨어진 곳에서 외부 전자파원을 두고 공동의 z-x평면 30 mm에서 계산한 결과이다.

- 1) 공동의 치수 :  $a=0.2 \text{ m}, b=0.15 \text{ m}$   
 $c=0.3 \text{ m}$
- 2) 개구 치수 :  $z_1=0.15 \text{ m}, x_2=0.1 \text{ m}$   
 $d=0.05 \text{ m}, w=0.005 \text{ m}$

문헌[5]에서는 평면파를 입사시켰으나 본 논문

에서는 다이폴 안테나를 외부 전자파원으로 입사했을때의 주파수 특성을 조사하였다. 그림 5는 두 개의 결과값들이 비교적 잘 일치하고 있음을 나타내고 있다.

#### IV. 결론

외부 전자파원으로부터 개구를 가지는 공동 내부로 전자파가 침투하는 현상을 모멘트법을 사용하여 계산하였고 주파수에 따른 내부 전계를 계산하여 공진 특성을 검토하였다.

개구를 통해 침투한 전계는 대략 공동과 개구의 구조로부터 계산되어지는 공진 주파수와 비슷한 주파수인 1.25 GHz, 1.73 GHz, 2.18 GHz,와 2.45 GHz에서 최대치를 나타내었다. 내부 전계 해석 결과는 공동의 공진 주파수에서 공진을 일으키며 z-x방향의 개구에 의해서 z 방향의 전류가 제한되기 때문에 특정 공진 주파수에서만 공진이 일어나는 것을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

- [1] Y. Rahmat-Samii and R. Mittra, "Electro-magnetic coupling through small apertures in a conducting screen," *IEEE Trans. Antennas Propagation*, Vol.AP-25, pp. 180-187, Mar. 1977.
- [2] C. M. Butler and K. R. Umashankar, "Electro-magnetic Excitation of a wire through an aperture-perforated, conducting screen," *IEEE Trans. Antennas Propagation*, Vol. AP-25, pp. 456-462, July 1976.
- [3] J. L. Lin, W.L. Curtis, and M. C.Vincent, "On the field distribution of an aperture," *IEEE Trans. Antennas Propagation*, Vol. AP-22, pp. 467-471, 1974.
- [4] Chang-Hong Liang and David K. Cheng, "Electro magnetic Fields Coupled into a Cavity with a Slot-Aperture Under Resonant Conditions," *IEEE Trans. Antennas Propagation*, Vol. AP-30, pp. 664-672,1982
- [5] Graziano Cerri, Roberto De Leo, and Valter Mariani Primiani, "Theoretical and Experimental Evaluation of the Electromagnetic Radiation From Apertures in Shielded Enclosures," *IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility*, Vol. 34, No. 4, Nov. 1992
- [6] Hiroaki Kogure, Hideki Nakano, Kohji Koshiji, Eimei, "Analysis of Eletromagnetic Field inside Equipment Housing with an Aperture, *IEICE*.

*Commun.*, Vol. E80-B, No. 11 Nov. 1997.

- [7] 황보 승, 김 기채, "개구를 갖는 공동의 침투 전자계 감소 방법에 관하여," *해양정보 통신 학술대회 논문집* Vol. 3, No. 2, pp 106-109, Nov. 1999.