

개구를 갖는 공동의 침투 전자계 감소 방법에 관하여

황보 승 김 기 채
영남대학교 전기전자공학부

On the reducing methods of Electromagnetic Field Penetration through Apertures in Cavity

Seung Hwangbo Ki-Chai Kim

Electrical and Electronic Engineering , Yeungnam University

Tel: 053-810-2583 kckim@ynuucc.yeungnam.ac.kr

요약

본 논문에서는 외부에 존재하는 전자파원으로부터 공동 구조의 벽면에 존재하는 개구를 통해 공동 내부로 침투되는 전계의 크기를 모멘트법으로 계산하고 실험결과와 비교 검토하였다. 실험을 통해 측정된 내부 전계의 크기는 수치 해석 결과와 전계의 크기에는 차이가 있으나 전계 분포의 모양은 그 경향이 일치하고 있다는 것을 확인하였다. 또한, 외부 전자파원에 의해 공동의 내부로 침투되는 내부 전계의 감소 기법으로서 개구에 리액턴스를 장하하는 방법을 제안하고 있다.

ABSTRACT

The problem of electromagnetic field through apertures in cavity has been theoretically and experimentally investigated. The electric field intensity has been theoretically evaluated by the method of moments. Experiment results are some different from numerical simulation about the magnitude of electric field intensity, But The form of electric field intensity distributions in cavity is similar to numerical simulation. Reactance-loaded method for reducing electric field penetration in cavity by external sources is used in this paper.

I. 서론

전기 전자기기에 존재하는 개구를 통하여 기기 내부로 침투되는 불요 전자파에 관한 연구는 전기 전자기기의 내성 강화면에서 대단히 중요하다. 최근 급증하고 있는 외부 전자파원으로부터 침투되는 전자계가 기기에 오작동을 유발하는 등 많은 문제를 야기시킬 수 있다. 따라서, 개구를 통해 침투하는 불요 전자파의 크기를

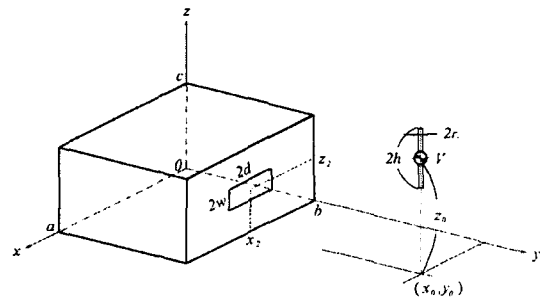


그림 1. 외부 전자파원이 있는 개구를 갖는 공동

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], 공동 구조의 벽면에 존재하는 개구를 통해 침투하는 전자파 문제의 해석에 관한 연구도 여러 연구자들에 의해 보고되어 있다.[4]~[5] 그리고 공동으로부터 유기되는 불요 전자파를 이론과 실험을 통해 연구한 자료도 보고 되어있다.[6] 본 논문에서는 개구를 통해 공동의 내부로 침투하는 불요 전자파 크기를 저감 하기 위한 기술을 개발하기 위한 연구로써 먼저 이론과 실험을 통해 내부 전계를 구하고 개구에 리액턴스를 장하함으로써 내부 전계의 크기에 어떤 변화가 있는지를 실험을 통해 검토하고 있다. 그 결과 개구에 적절한 리액턴스를 장하하면 단일 주파수에서의 전자계 침투를 감소시킬 수 있다는 것을 알았다.

II. 이론 해석

1. 외부 전자파원과 공동의 구조

그림 1은 외부에 전자파원이 있는 개구를 가지는 공동의 구조와 좌표계를 나타낸다. 외부에 놓여진 다이폴 안테나를 델타 함수적 전원으로 급전하면 안테나의 중심축을 따라서 흐르는 전류분포 및 개구면 전계 분포에 관한 적분 방정식은 반 무한공간에서의 전기형 그린함수, 자기형 그린함수 및 공동내의 자기형 그린함수를 사용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{1}{j\omega\epsilon_0} \iint_{S_2} (k_0^2 \bar{I} + \nabla\nabla) \cdot \bar{G}_e''(r, r') \cdot \mathcal{J}(r') dS_2' - \iint_{S_1} \nabla \times \bar{G}_m''(r, r') \cdot (\mathbf{E}_a \times \mathbf{a}_y) dS_1' = -V\delta(z-z')\mathbf{a} \quad (1)$$

$$\left[\frac{1}{j\omega\epsilon_0} \iint_{S_2} (k_0^2 \bar{I} + \nabla\nabla) \cdot \bar{G}_m'(r, r') \cdot (\mathbf{a}_y \times \mathbf{E}_a) dS_2' = \frac{1}{j\omega\epsilon_0} \iint_{S_1} (k_0^2 \bar{I} + \nabla\nabla) \cdot \bar{G}_m''(r, r') \cdot (\mathbf{E}_a \times \mathbf{a}_y) dS_1' + \iint_{S_2} \nabla \times \bar{G}_e''(r, r') \cdot \mathcal{J}(r') dS_2' \right]_{i.c.} \quad (2)$$

여기서, V 는 급전전압이며, ω 는 각주파수, ϵ_0 는 자유공간의 유전율이다. 그리고 \bar{G}_m' , \bar{G}_m'' 및 \bar{G}_e'' 는 각각 공동내의 자기형 다이아덕 그린함수, 반 무한공간의 자기형 및 전기형 다이아덕 그린함수이다. 적분방정식 (1), (2)의 해를 구하기 위해 전류분포와 개구면 전계 분포를 다음과 같은 기지의 함수로 전개한다.

$$\mathcal{J}(z') = \mathbf{a}_z \sum_{l=1}^L I_l F_l(z') \quad (3)$$

$$\mathbf{E}_a = \mathbf{a}_z \sum_{p=0}^P \sum_{q=1}^Q E_{zpq} C_p(z') S_q(y') \quad (4)$$

여기서, I_l 및 E_{zpq} 는 각각 구해야 할 전류분포의 전개계수 및 개구면 전계 분포의 전개계수이며, 전개함수 F_l 은 구분적 정현함수를 사용하였다. 또한, 개구면 전개분포의 기저함수는 다음과 같은 함수를 사용하였다.

$$C_p = \text{Cos} \frac{p\pi(z'-(z_2-w))}{2w}, \quad S_q = \text{Sin} \frac{q\pi(x'-(x_2-d))}{2d}$$

식 (3), (4)를 식 (1), (2)에 대입하고 Galerkin의 방법을 적용하면 적분방정식 (1), (2)는 다음과 같은 연립 일차방정식으로 변환된다.

$$\begin{bmatrix} [Z_{l'l'}] \\ [C_{p'q'l'}^z] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [B_{z'l'pq}] \\ [Y_{z'p'q'pq}^z] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [I_l] \\ [E_{zpq}] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [V_{l'}] \\ [0] \end{bmatrix} \quad (5)$$

식 (5)에서 $Z_{l'l'}$ 은 일반화된 임피던스 행렬, $V_{l'}$

는 일반화된 전압 행렬, $Y_{sp'q'pq}^z$ 는 일반화된 어드미턴스 행렬을 나타낸다.

식 (5)로부터 미지의 전개계수를 구하면 등가 자유분포를 구할 수 있으며 이로부터 공동 내부에서의 전자계 분포를 계산할 수 있다.

2. 내부 전자계

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

$$E_{int} = - \iint_{S_a} \nabla \times \overline{G}_m^I(r, r') \cdot (-a_y \times E_a) dS_a' \quad (6)$$

III. 수치계산 및 실험 결과

1. 수치계산 결과와 실험치의 비교

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: $f = 2.0 \text{ GHz}$, $x_0 = 0.2175 \text{ m}$,
 $y_0 = 1.0 \text{ m}$, $z_0 = 0.09 \text{ m}$
- 2) 공동 치수: $a = 0.435 \text{ m}$, $b = 0.415 \text{ m}$,
 $c = 0.16 \text{ m}$
- 3) 개구 치수: $z_2 = 0.09 \text{ m}$, $x_2 = 0.2175 \text{ m}$,
 $d = 0.065 \text{ m}$, $w = 0.01 \text{ m}$

수치계산에 사용한 개구면 전개 분포의 전개함수는 $P=4$, $Q=4$ 를 선택하였다.

그리고 실제 제작한 공동은 개구가 중앙에 위치하여 영상법을 적용할 수 있도록 하였으며 접지판 위에 구성하였다.

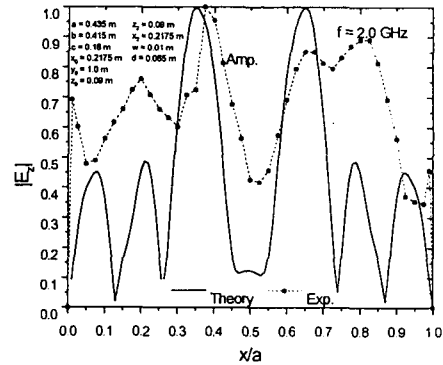


그림 2. 내부 전계의 이론치와 실험치 비교

그림 2 에 내부 전계의 계산 결과와 실험을 통해 측정된 전계의 크기를 함께 나타내었다. 제작된 공동이 정확히 좌우대칭이 되지않는 점과 이론해석에서는 공동의 외벽들을 완전도체로 가정했으나 실제로는 손실이 있는 점 등을 고려하면 내부 전계의 계산 결과는 실험결과와 그 경향이 비슷하다는 것을 알 수 있다.

2. 침투 전자계 감소 기법

이론 해석과 실험을 통해 공동의 내부에는 전계가 큰 부분이 존재한다는 것을 확인하였다. 따라서, 전자파 침투에 의한 내부 전계를 감소시키기 위해 개구면에 리액턴스를 장하하는 방법을 제안하고, 그림 4(a),(b)는 리액턴스의

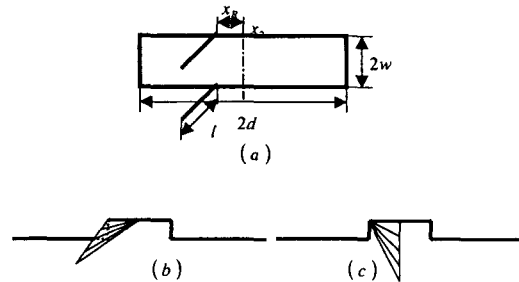


그림 3. 개구면의 리액턴스 장하

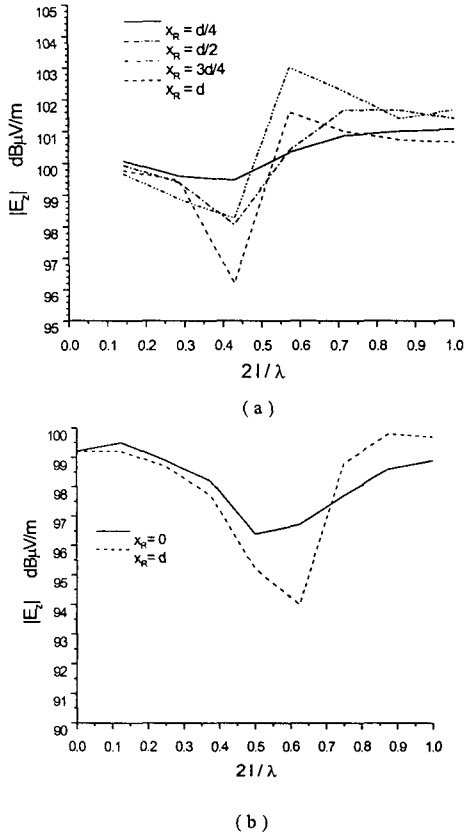


그림 4. 리액턴스 장하시 내부 전계분포

장하점을 좌측에서 중앙까지 이동하면서 리액턴스의 길이에 따른 내부 전계 분포를 나타낸 것이다. 그림 4(a)에서 리액턴스의 길이가 $3\lambda/16$ 일 때 내부 전계 분포가 가장 줄어드는 것을 알 수 있었다. 그림 4(b)는 삼각형 형태의 리액턴스를 $x_R = 0$, $x_R = d$ 위치에서 변화시킴에 따른 내부 전계의 크기를 나타내었다. 그림 4(b)는 $x_R = 0, x_R = d$ 위치에서 리액턴스의 길이를 변화시킬 때 각각 $\lambda/4, 5\lambda/16$ 부분에서 내부 전계의 크기를 가장 작게 나타내고 있다.

VI. 결론

외부 전자파원으로부터 개구를 가지는 공동 내부로 전자파가 침투하는 현상을 모멘트법을 사용하여 계산하였고 실험을 통해 내부 전계를

측정하였다. 그리고 리액턴스를 장하하여 내부 침투 전계를 감소하는 방법을 제안하였다.

내부 전계 분포의 측정 결과는 수치해석을 통한 결과와 유사한 모양을 나타내었지만 공동의 외벽이 손실을 가지고 있고, 제작된 공동이 완전 대칭을 이루지 않아 공동의 중앙에서 외부로 갈수록 전계의 크기에는 많은 차이를 나타냈으나 그 경향이 비슷하다는 것을 확인하였다. 그리고, 개구면에 리액턴스를 장하한 경우에는 리액턴스의 길이가 $3\lambda/16$ 일 때 내부 전계의 크기가 가장 작다는 것을 알 수 있고 삼각형 형태의 리액턴스를 장하한 경우에는 $x_R = 0, x_R = d$ 위치에서의 리액턴스를 변화 할 때 각각 $\lambda/4, 5\lambda/16$ 에서 내부 전계가 가장 줄어드는 것을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] Y. Rahmat-Samii and R. Mittra, "Electromagnetic 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, "Electromagnetic 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] R. F. Harrington and J. R. Mautz, "A generalized network formulation for aperture problems," *IEEE Trans. Antennas Propagation*, Vol. AP-24, pp. 870-872, Nov. 1976.
- [5] Chang-Hong Liang and David K. Cheng, "Electromagnetic Fields Coupled into a Cavity with a Slot-Aperture Under Resonant Conditions," *IEEE Trans. Antennas Propagation*, Vol. AP-30, pp. 664-672, 1982.
- [6] 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.