

도체 포스트를 이용한 공동 내부의 공진 억압 특성

정 광 현*

김 기 채**

영남대학교 전자정보공학부

light38@yumail.ac.kr*

kckim@yu.ac.kr**

Cavity Resonance Suppression of Shielding Enclosure by a Conductive Post

Gwang-hyun Jung

Ki-chai Kim

School of Electrical Engineering and Computer Science

Yeungnam University

I. 서 론

정보화 사회의 급속한 발전과 함께 고도로 발달된 전기, 전자, 정보처리기기들은 디지털화, 소형화, 저전력화 되어가고 있다. 전기, 전자, 정보처리기기의 내부에는 PCB(Printed Circuit Board)가 있으며 PCB의 배선으로부터 방사되는 전자파가 잡음원으로 작용하여 다른 기기에 오작동을 유발하는 등 많은 문제를 야기시킬 수 있다. 따라서 이러한 기기들의 사용이 증가함에 따라 최근 각 국에서는 기기들의 복사성 장해 전자파의 규제가 강화되고 있는 추세이다. 따라서 기기 내부에서 발생하는 전자계의 크기를 예측하고 이를 감소시키는 연구가 절실히 요구된다.

공동으로부터 방사되는 전자파의 저감에 관한 연구는 개구를 가진 공동으로부터 방사되는 전자파의 저감에 관한 연구^{[1]~[4]}와 공동의 내벽에 합성 자성체 혹은 손실 유전체를 설치하여 공동 내부의 전자파 방사를 억압하는 연구^{[5],[6]} 등 여러 연구자들에 의해 보고되고 있다.

본 논문에서는 공동의 내부를 여기시키기 위해 공

동 내부에 급전 포스트를 배치하고 공동 내부 임의의 위치에 저항과 리액턴스를 장하한 무급전 도체 포스트를 배치, 저항값과 리액턴스값을 적절히 조절하면 급전 포스트로부터 공동 내부로의 전자파 방사를 억압할 수 있음을 보이고 있다. 이론 해석으로는 공동 내부의 급전 포스트와 무급전 포스트에 흐르는 전류 분포에 관한 연립 적분 방정식을 유도하고, 그 해를 Galerkin의 모멘트법으로 구하여 공동 내부로의 전자파 방사 억압 특성을 검토하였다.

II. 이론해석

그림 1은 내부에 두 개의 포스트를 갖는 공동의 구조와 좌표계를 나타낸다. 공동은 x, y, z 축으로 각각 a, b, c 의 크기를 가진다. 공동의 내부 전자파원으로 가정한 급전 포스트 #1은 $x = x_1, z = z_1$ 에 배치되어 있으며 무급전 포스트 #2는 $x = x_2, z = z_2$ 에 배치되어 있다. 두 포스트 모두 반경은 r 이다. 또한 PCB에서 발생하는 손실을 나타내기 위해 급전 포스

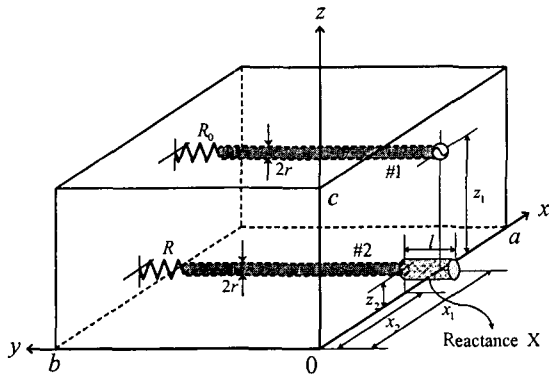


그림 1. 도체 포스트가 설치된 공동의 구조와 좌표계

트 #1의 한쪽 끝단에 저항 R 을 부착하였다. 두 개의 포스트와 공동은 모두 완전도체로 가정하였다.

공동 내부의 급전 포스트 #1은 $y=0$ 인 위치에서 전압 V 인 델타함수적 전원으로 급전한다고 가정하면 포스트 #1에 흐르는 전류분포 \bar{J}_1 과 포스트 #2에 여기되어 흐르는 전류분포 \bar{J}_2 에 관한 연립 적분방정식은 다음과 같다. 본 논문에서는 x 와 같은 표기를 x 방향의 단위벡터, \bar{A} 와 같은 표기를 벡터로, 그리고 \bar{A} 와 같은 표기를 다이애딕으로 나타내기로 한다.

$$\frac{1}{j\omega \epsilon_0} \oint_{S_1} \bar{K}_{11}(\bar{r}, \bar{r}') \cdot \bar{J}_1(\bar{r}') dS_1' + \frac{1}{j\omega \epsilon_0} \oint_{S_2} \bar{K}_{12}(\bar{r}, \bar{r}') \cdot \bar{J}_2(\bar{r}') dS_2' = -V \underline{y} \delta(y) + R_0 I_1(b) \delta(y-b) \quad (1)$$

$$\frac{1}{j\omega \epsilon_0} \oint_{S_1} \bar{K}_{21}(\bar{r}, \bar{r}') \cdot \bar{J}_1(\bar{r}') dS_1' + \frac{1}{j\omega \epsilon_0} \oint_{S_2} \bar{K}_{22}(\bar{r}, \bar{r}') \cdot \bar{J}_2(\bar{r}') dS_2' = R I_2(b) \delta(y-b) + X I_2 \delta(y) \quad (2)$$

여기서, ϵ_0 는 진공의 유전율, a 는 각주파수이며, \underline{y} 는 y 방향의 단위벡터, $\delta(*)$ 는 Dirac의 델타함수이다. \bar{r}, \bar{r}' 은 관측점 및 파원점의 위치 벡터이며 시간 의존성은 $\exp(j\omega t)$ 이다. S_1 과 S_2 는 각각 포스트 #1, #2의 표면을 나타낸다. 또한 두 포스트 #1, #2의 반경이 사용파장에 비교하여 충분히 작다고 가정하면 전

류는 포스트의 중심축에 집중하여 흐른다고 가정할 수 있다.

연립 적분 방정식 (1), (2)에서 적분핵은 다음 식으로 주어진다.

$$\bar{K}_{ij}(\bar{r}, \bar{r}') = (\bar{I} k_0^2 + \nabla \nabla) \cdot \bar{G}_{ij}(\bar{r}, \bar{r}') \quad i, j=1 \text{ or } 2 \quad (3)$$

여기서, \bar{I} 는 단위 다이애딕이며, k_0 는 자유공간의 파수이다. 식 (3)에서 포스트 # j 에 흐르는 전류원이 # i 에 벡터 포텐셜 \bar{A} 를 생성시키는 다이애딕 그린함수는 다음과 같다.

$$\bar{G}_{ij} = -\underline{y} \underline{y} \sum_{p=1}^{\infty} \sum_{q=1}^{\infty} \frac{2 \epsilon_{0q}}{ab \Gamma_{pq}} \sin \frac{p\pi x_i}{a} \cos \frac{q\pi y_j}{b} \cdot \sin \frac{p\pi x'_i}{a} \cos \frac{q\pi y'_j}{b} L_{pq}(z_i, z'_j) \quad (4)$$

$$L_{pq} = \begin{cases} \frac{\sinh \Gamma_{pq} z'}{\sinh \Gamma_{pq} c} \sinh \Gamma_{pq} (z - c), & z \geq z' \\ \frac{\sinh \Gamma_{pq} (z' - c)}{\sinh \Gamma_{pq} c} \sinh \Gamma_{pq} z, & z \leq z' \end{cases} \quad (5)$$

$$\Gamma_{pq} = \sqrt{\left(\frac{p\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{q\pi}{b}\right)^2 - k_0^2} \quad (6)$$

미지의 전류분포 \bar{J}_1 과 \bar{J}_2 에 관한 연립 적분방정식 (1), (2)는 모멘트법^[7]을 사용하여 해석한다. 먼저 두 포스트상의 전류분포 \bar{J}_1 과 \bar{J}_2 를 다음과 같은 기지의 함수로 전개한다.

$$\bar{J}_1(y') = \underline{y} \sum_{m=0}^M a_m \cos \frac{m\pi y'}{b} \quad (7)$$

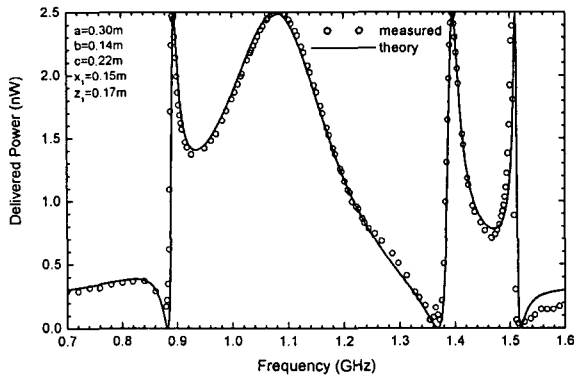
$$\bar{J}_2(y') = \underline{y} \sum_{n=0}^N b_n \cos \frac{n\pi y'}{b} \quad (8)$$

여기서 a_m 및 b_n 은 미지의 전개계수이다.

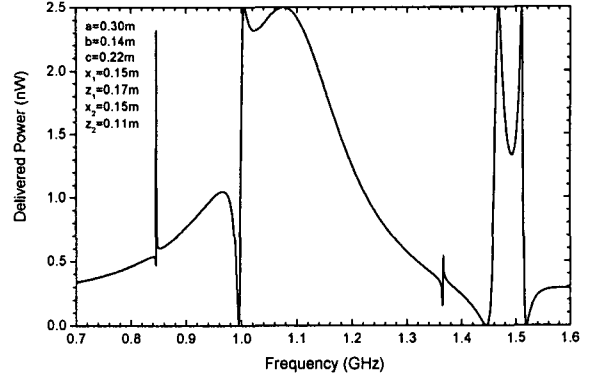
식(7), (8)을 연립 적분방정식 (1), (2)에 대입하고 Galerkin의 방법을 적용하면 연립 적분방정식은 연립 일차방정식으로 변환되며 이로부터 급전포스트 #1과 무급전포스트 #2 상의 전류분포와 반사계수, 그리고 공동으로 공급된 전력을 구할 수 있다.

III. 수치해석 결과 및 검토

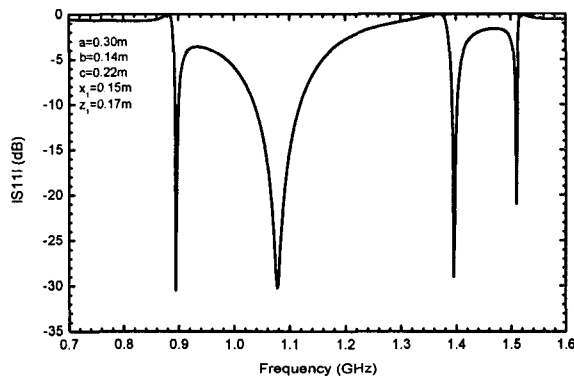
도전성 물질로 이루어진 공동은 고유의 공진주파수



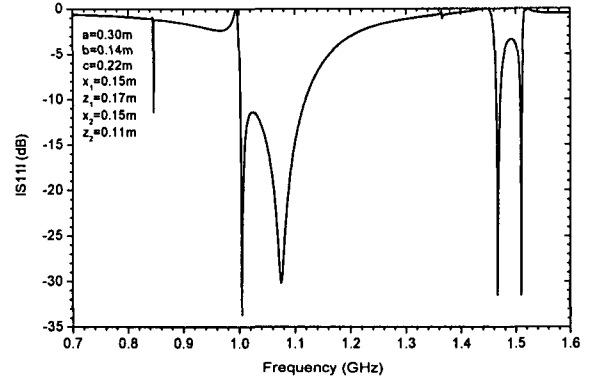
(a)



(a)



(b)



(b)

그림 2. 도체 포스트를 설치하지 않은 공동의
(a) 공급된 전력 (b) 반사손실

그림 3. 도체 포스트를 설치한 공동의
(a) 공급된 전력 (b) 반사손실

를 가진다. 공동 내부에 존재하는 전자파원으로부터 방사되는 전자파에 의해 공동 내부에 전자계가 유기될 때 가장 큰 전자계는 공동의 고유 공진 주파수에서의 전자계이다^[5]. 먼저 공동의 고유 공진 주파수를 알아보기 위해 공동 내부에 급전 포스트 #1만을 설치한 공동의 공진 특성을 검토하였다.

수치계산에 사용한 공동의 제원은 다음과 같으며 공동의 치수는 실험치와 비교하기 위해 참고논문^[3]의 치수를 사용하였다.

- 1) 내부 전자파원의 주파수 : $f=0.7 \sim 1.6$ GHz
- 2) 공동의 치수 : $a=0.3$ m, $b=0.14$ m, $c=0.22$ m
 $x_1=0.15$ m, $z_1=0.17$ m, $x_2=0.15$ m, $z_2=0.11$ m
 $R=47 \Omega$

그림 2는 공동 내부에 급전 포스트 #1만을 설치하였을 경우 공동으로 공급된 전력과 반사손실을 나타낸 것이다. 검토의 대상으로 선택한 주파수는 공동의 기본 모

드를 포함한 0.7 GHz에서 1.6 GHz까지이다. 공동 내부로 공급된 전력은 반사손실과 다음과 같은 관계가 있다^[8].

$$P = \frac{V_s^2}{8 Z_0} (1 - |S_{11}|^2) \quad (9)$$

여기서, V_s 는 전원의 전압, Z_0 는 전원의 임피던스이다. $V_s=1$ mV, $Z_0=50 \Omega$ 인 경우 공급된 전력은 2.5 nW이다. 공동의 공진은 공동으로 공급된 전력으로부터 결정되며 공급된 전력과 반사손실 $|S_{11}|$ 으로부터 공동 내부로 방사된 전자계의 크기를 예측할 수 있다. 그림 2로부터 0.89 GHz, 1.40 GHz, 1.51 GHz에서 각각 TE101, TE111, TE210 공동모드에 대한 공진이 나타남을 알 수 있으며, 공동 내부로 공급된 전력의 계산 결과는 실험 결과^[3]와도 잘 일치하고 있음을 확인할 수 있다. 또한 각각의 공진 주파수에서는 전원에 의해 공급된 전력의 대부분이 공동 내부로 방사

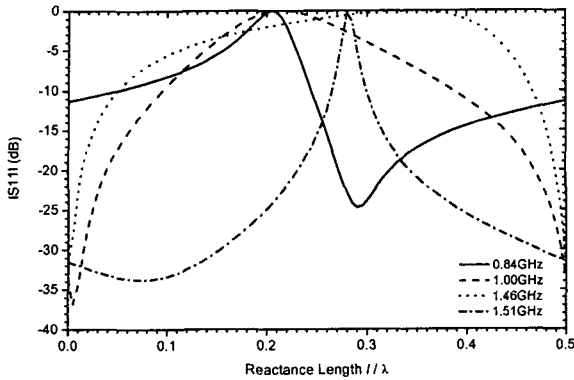


그림 4. 리액턴스와 반사손실 $|S_{11}|$ 과의 관계

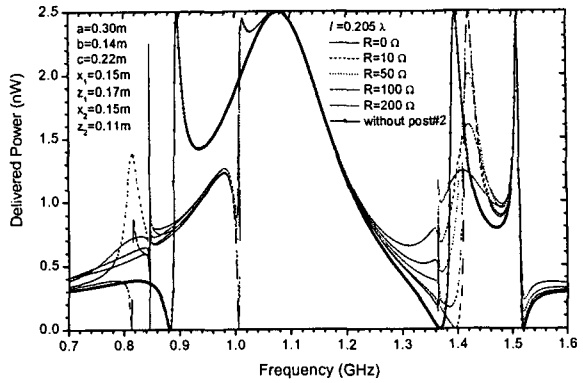
된다는 것을 알 수 있다.

본 논문에서는 공동 내부로 방사되는 전자계를 저감시키기 위해 공동 내부의 임의의 위치에 무급전도체 포스트를 설치하였다. 그리고 무급전 포스트에 저항과 리액턴스를 장하하여 그 값을 변화시켰을 때 공동 내부로 방사되는 전자파의 크기를 검토하였다.

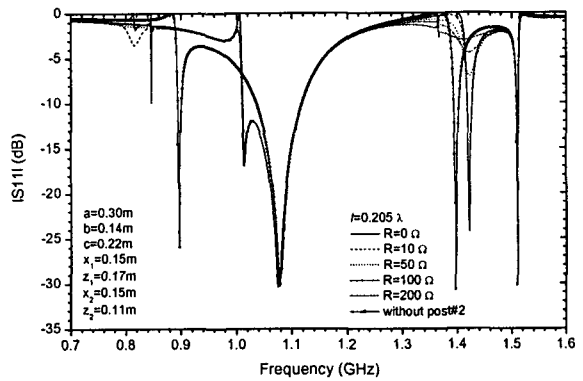
그림 3은 무급전 포스트 #2를 공동 내부에 설치하였을 경우 공동으로 공급된 전력과 반사계수를 나타낸다. 0.89 GHz와 1.40 GHz에서의 공동의 공진은 억압되었지만 포스트 #1과 포스트 #2의 coupling에 의해 0.84 GHz, 1.00 GHz, 1.46 GHz, 1.51 GHz 에서 공동의 공진이 발생함을 알 수 있다. 이러한 주파수에서의 공진을 억압시키기 위해 그림 1의 구조에서 포스트 #2의 $y=0$ 위치에 리액턴스 소자, $y=b$ 위치에 저항을 장하하였다.

그림 4는 우선 $y=0$ 의 위치에 리액턴스 소자만을 장하하여 리액턴스 소자 길이를 변화시켰을 때 각 공진 주파수에서의 반사손실 $|S_{11}|$ 을 검토하였다. 그림 4로부터 각각의 공진 주파수에서 최대의 반사손실을 갖는 리액턴스 소자 길이를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 모든 공진 주파수에서 가능한 한 최대의 반사손실을 갖는 리액턴스 소자 길이로 $l=0.205\lambda$ 를 선택하였다.

그림 5는 포스트 #2의 $y=0$ 위치에 소자 길이가 $l=0.205\lambda$ 인 리액턴스와 $y=b$ 위치에 저항을 장하하였을 때의 공동으로 공급된 전력과 반사손실의 주파수 특성을 나타낸 것이다. 그림 5로부터 적절한 저항값을



(a)



(b)

그림 5. 저항 변화에 의한 공동의 (a) 공급된 전력 (b) 반사손실

택하였을 경우 각 공진 주파수에서 공동 내부로의 전자파 방사를 억압시킬 수 있음을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 내부 전자파원에 의해 공동 내부로 전자파가 방사될 때 공동으로 공급된 전력과 반사손실 $|S_{11}|$ 을 모멘트 법을 사용하여 계산하였다. 공동 내부로 방사되는 전자파를 저감시키기 위해 공동 내부의 임의의 위치에 도체 포스트의 설치를 제안하였으며 도체 포스트에 장하한 저항과 리액턴스 값을 조절하면 공동 내부로 방사되는 전자파를 저감할 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] M. Li, J. Nuebel, J. L. Drewniak, R. E. DuBroff, T. H. Hubing and T. P. Van Doren, "EMI from cavity modes of shielding enclosure-FDTD modeling and measurements", *IEEE Trans., Electromagnetic Compatibility*, vol. 42, no. 1, Feb. 2000.
- [2] W. Wallyn, F. Olyslager, E. Laermans, D. De Zutter, R. De Smedt and N. Lietaert, "Fast Evaluation of Shielding Efficiency of Rectangular Shielding Enclosures", *1999 IEEE International Symposium on*, vol. 1, pp. 311-316, 1999.
- [3] M. Li, K-P. Ma, J. L. Drewniak, T. H. Hubing and T. P. Van Doren, "Numerical and Experimental Corroboration of an FDTD Thin-Slot Model for Slots Near Corners of Shielding Enclosures", *IEEE Trans., Electromagnetic Compatibility*, vol. 39, pp. 225-232. Aug. 1997.
- [4] F. Olyslager, E. Laermans, D. De Zutter, S. Criel, R. De Smedt, N. Lietaert and A. De Clercq, "Numerical and Experimental study of the Shielding Effectiveness of a metallic enclosure", *Electromagnetic Compatibility, IEEE Trans.*, vol. 41, pp. 202-213, Aug. 1999.
- [5] Y. Hotta, Xiaoh Li, O. Hashimoto and S. Nitta, "A study on suppression of cabinet resonance by means of the hybrid magnetic materials", *2001 IEEE International Symposium on*, vol. 2, pp. 713-718, 2001.
- [6] 김기채, 정광현, "손실 유전체를 이용한 공동 내부의 전자계 저감특성", *한국전자파학회논문지*, Vol. 14, No. 9, pp. 950-954, 2003.09
- [7] R. F. Harrington, *Field Computation by Moment Methods*, IEEE Press, 1993.
- [8] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, Addison Wesley, 1990.