

개구를 갖는 합체의 외부 다이폴 파원에 의한 침투전계와 공진 주파수 특성

Penetrated Electric Fields and Resonant Frequencies inside Metallic Enclosure with Aperture Excited by an External Dipole Source

황보 승* · 김기채**

Seung Hwangbo* · Ki-Chai Kim**

요 약

본 논문에서는 외부 다이폴 파원에 의해 합체의 개구를 통하여 침투하는 침투 전계와 합체의 공진 주파수 특성을 검토하고 있다. 이론해석 방법으로는 외부 다이폴 파원의 전류분포 및 합체에 있는 개구의 개구면 전계분포에 관한 연립 적분방정식을 Galerkin의 모멘트 법으로 해석하고 있다. 이론해석의 결과, 침투전계는 개구면 부근에서 가장 크며, 합체의 공진 주파수는 개구가 없는 경우의 공진 주파수와 거의 일치하므로 합체의 크기가 결정되면 공진 주파수의 추정이 가능하다는 것을 알 수 있었다. 이론해석의 타당성을 확인하기 위하여 합체의 내부 전계 및 공진 주파수의 실험치와도 비교하고 있다.

Abstract

This paper presents the penetrated electric fields and resonant frequencies inside a metallic enclosure with aperture excited by an external dipole source. In the theoretical analysis, integral equations for the current distribution and electric field distributions on the aperture are solved by applying Galerkin's method of moments. The results show that the electric fields inside metallic enclosure is maximum at the near the aperture and resonant frequencies are the same as calculated of the enclosure without aperture. To verify the theoretical analysis the electric field inside enclosure and resonant frequencies are compared with the experimental results.

I. 서 론

정보화 사회의 진전과 함께 전기, 전자, 정보처리 기기들은 디지털화, 소형화, 저전력화되어가고 있다. 이러한 전기, 전자, 정보처리기기들의 사용이 증가함에 따라서 전자파 환경은 더욱더 악화되고 있으므로 최근에는 전자파 내성에 대한 규제가 강화되고 있다. 우리의 생활주변에서 많이 사용 되고 있는 휴대폰 등의 무선통신 기기는 다른 전기, 전자, 정보처

리기에 대하여 외부 전자파 잡음원으로 작용하며, 이 전자파원으로부터 유기되는 전자계가 기기에 오작동을 유발하는 등 많은 문제를 야기시킬 수 있다.

그러므로 외부 전자파 잡음원으로 인한 불요 전자파가 전기, 전자, 정보처리기에 존재하는 방열용 개구 등을 통하여 기기 내부로 침투하는 불요 전자파의 크기를 감소시키는 연구가 필요하며 정보처리기기들은 내성이 강한 제품이 되도록 설계되어야 한다. 이에 대한 기초 연구로써, Rahmat-Samii^[1],

* 삼성전자 통신연구소 Home N/W연구팀(Home N/W Team, Samsung Electronic Samsung Electronics, Telecommunication R&D Center)

** 영남대학교 공과대학 전자정보공학부(School of Electrical and Electronics Engineering, Yeungnam University)

· 논문 번호 : 20010620-080

· 수정완료일자 : 2001년 7월 26일

Butler^[2] 등에 의해 무한히 넓은 도체판에 존재하는 개구를 통한 평면 전자파의 침투 문제가 연구되었으며^{[1]~[4]}, 최근에는 FEM, FDTD 등을 이용하여 합체 내부로 침투하는 전자파에 관한 연구도 보고되고 있다^{[5]~[7]}. 또한, 개구가 있는 합체의 전자파 방출 문제에 대해서도 검토되어 있으며^[8], 개구를 가지는 합체의 전자파 차폐효과에 관한 실험적 이론적 연구들이 많이 보고되어 있다^{[9]~[11]}.

본 논문에서는 옆으로 긴 개인용 컴퓨터 본체(직육면체 합체)에 CD-ROM 드라이브와 같은 크기의 개구가 있는 합체구조에 대하여, 합체의 외부에서 다이폴 파원으로 여진하였을 때, 개구를 통해 합체의 내부로 침투하는 침투전계 및 합체의 공진 주파수 특성을 해석하였다. 앞에서 언급한 많은 문헌에서는 차폐효과에 대하여 검토하고 있으나, 차폐효과만으로는 합체내의 전자계 분포를 알 수 없다. 합체 내부에 회로소자를 배치할 경우에는 침투 전자파의 영향을 최소화 하기 위해 위상정보가 포함된 합체의 내부 전계와 합체의 공진 주파수가 유용한 정보를 제공한다. 따라서, 본 논문에서는 합체 외부에 놓여진 다이폴 파원에서 여진된 전자파가 합체에 존재하는 개구를 통하여 합체 내부로 침투하는 내부 전계 및 합체의 공진 주파수 특성을 검토하였다.

이론해석 방법으로는는 다이폴 소자에 흐르는 전류분포 및 합체에 있는 개구면의 전계분포에 관한 연립 적분방정식을 유도하고, 그 해를 Galerkin의 모멘트 법으로 해석하여 다이폴 소자에서 여진된 전자파가 합체 내부로 침투하는 내부 전계 및 합체의 공진 주파수 특성을 계산하였다. 이론해석의 타당성을 확인하기 위하여 내부 전계의 실험치와 이론치를 비교하였으며, 합체의 공진 주파수 계산결과를 문헌^[9]의 실험결과와도 비교하여 양자가 잘 일치하고 있음을 확인하였다.

II. 이론 해석

2-1 합체의 구조와 좌표계

그림 1은 합체 외부의 점 (x_0, y_0, z_0) 의 위치에 놓여진 다이폴 파원과 크기가 $a \times b \times c$ 인 합체의 한 모서리 (x_2, x_2) 의 위치에 존재하는 개구구($2d \times 2w$)

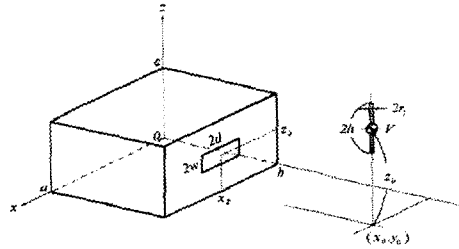


그림 1. 외부 다이폴 파원과 개구를 갖는 합체의 표계

Fig. 1. Geometry of external dipole source an cavity with aperture.

의 구조와 좌표계를 나타내고 있다. 합체 외부에 놓여진 외부 전자파원으로는 길이가 $2h$, 반경이 r_1 인 다이폴 안테나를 사용하였다. 본 논문에서는 A사에서 시판하고 있는 개인용 컴퓨터의 본체를 모델로 하여 합체의 크기를 정하고, 개구의 크기는 CD-ROM 드라이브를 상정하여 검토하기로 한다. 외부 전자파원으로 사용한 다이폴 안테나의 여진 주파수는 PCS 주파수 대역인 1.8 GHz를 사용하였다.

2-2 적분 방정식

그림 1과 같은 다이폴 파원과 개구가 있는 합체 구조에 대하여, 합체 외부에 있는 다이폴 파원의 중앙에서 급전하였을 경우, 다이폴 안테나의 전류분포 및 개구면에서의 전계분포에 관한 연립 적분방정식은 다음 식으로 주어진다. 본 논문에서는 \vec{A} 와 같은 표기를 벡터로, \overline{A} 와 같은 표기를 다이에딕으로 표기하기로 한다^[12].

$$\frac{1}{j\omega \epsilon_0} \oint_s \overline{K}_{aa}^H \cdot \vec{J}(r') dS' - \int_{s_a} \overline{K}_{am}^H \cdot (\overline{a}_y \times \overline{E}_a) dS_a = -V\delta(z-z') \overline{a}_z \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{j\omega \mu_0} \int_{s_a} \overline{K}_{hm}^H \cdot (\overline{E}_a \times \overline{a}_y) dS_a \Big|_1 \\ & = \frac{1}{j\omega \mu_0} \int_{s_a} \overline{K}_{hm}^H \cdot (\overline{a}_y \times \overline{E}_a) dS_a \\ & + \oint_s \overline{K}_{ha}^H \cdot \vec{J}(r') dS' \Big|_1 \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, ϵ_0 및 μ_0 는 각각 진공의 유전율 및 투자율이며, \bar{a}_y 는 y 방향의 단위벡터, t 는 접선성분을 나타낸다. 윗 침자 I은 합체의 내부영역, II는 합체의 외부영역을 나타낸다. 연립 적분방정식 식 (1), 식 (2)에서 적분핵은 다음 식으로 주어진다^[12].

$$\bar{K}_{ee}^u(r, r') = (k_0^2 + \nabla \nabla) \cdot \bar{G}_e^u(r, r') \quad (3)$$

$$\bar{K}_{em}^u(r, r') = \nabla \times \bar{G}_m^u(r, r') \quad (4)$$

$$\bar{K}_{hm}^l(r, r') = (k_0^2 + \nabla \nabla) \cdot \bar{G}_m^l(r, r') \quad (5)$$

$$\bar{K}_{hm}^u(r, r') = (k_0^2 + \nabla \nabla) \cdot \bar{G}_m^u(r, r') \quad (6)$$

$$\bar{K}_{he}^u(r, r') = \nabla \times \bar{G}_e^u(r, r') \quad (7)$$

여기서, \bar{I} 는 단위 다이애딕이며, k_0 는 자유공간 파수이다. 식 (3)~(7)에서 영역 I, II에서의 전기형 및 자기형 다이애딕 그린함수는 다음과 같다^[13].

$$\begin{aligned} \bar{G}_m^l &= \bar{a}_z \bar{a}_z \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2\epsilon_{on}}{ca} \frac{N_z}{\Gamma_{nm}} \cdot \\ &\frac{\cosh \Gamma_{nm} y \cosh \Gamma_{nm} (y' - 2b)}{\sinh 2 \Gamma_{nm} b} \\ &+ \bar{a}_x \bar{a}_x \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{2\epsilon_{on}}{ca} \frac{N_x}{\Gamma_{nm}} \cdot \\ &\frac{\cosh \Gamma_{nm} y \cosh \Gamma_{nm} (y' - 2b)}{\sinh 2 \Gamma_{nm} b}, \end{aligned} \quad (y' > y) \quad (8a)$$

$$\begin{aligned} \bar{G}_m^u &= \bar{a}_z \bar{a}_z \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2\epsilon_{om}}{ca} \frac{N_z}{\Gamma_{nm}} \cdot \\ &\frac{\cosh \Gamma_{nm} y' \cosh \Gamma_{nm} (y - 2b)}{\sinh 2 \Gamma_{nm} b} \\ &+ \bar{a}_x \bar{a}_x \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{2\epsilon_{om}}{ca} \frac{N_x}{\Gamma_{nm}} \cdot \\ &\frac{\cosh \Gamma_{nm} y' \cosh \Gamma_{nm} (y - 2b)}{\sinh 2 \Gamma_{nm} b}, \end{aligned} \quad (y > y') \quad (8b)$$

$$\bar{G}_{e,m}^u = \bar{I} \frac{e^{-jk_0 \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2}}}{2\pi \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2}} \quad (9)$$

여기서, ϵ_{om} 와 ϵ_{on} 은 Neumann계수이고, \bar{a}_x 및 \bar{a}_z 는 각각 x 방향의 단위벡터 및 z 방향의 단위

벡터이다. 또한,

$$N_x = \cos \frac{n\pi z}{c} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi z'}{c} \sin \frac{m\pi x'}{a} \quad (10)$$

$$N_z = \sin \frac{n\pi z}{c} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi z'}{c} \cos \frac{m\pi x'}{a} \quad (11)$$

$$\Gamma_{nm} = \sqrt{\left(\frac{n\pi}{c}\right)^2 + \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 - k_0^2} \quad (12)$$

이다.

2-3 모멘트 법 해석

다이폴 소자에 흐르는 전류분포 및 개구면에서의 개구면 전계분포에 관한 연립 적분 방정식 식 (1), 식 (2)의 해를 모멘트 법으로 구한다. 다이폴 소자의 전류분포와 개구면 전계분포를 기저의 함수를 이용하여 다음과 같이 급수 전개한다^[14].

$$\bar{I}(z') = \bar{a}_z \sum_{l=1}^L I_l F_l(z') \quad (13)$$

$$\bar{E}_a = \bar{a}_z \sum_{p=0}^P \sum_{q=1}^Q E_{zpq} C_p(z') S_q(x') \quad (14)$$

여기서,

$$F_l(z') = \begin{cases} \frac{\sin k(z' - z_{l-1})}{\sin k \Delta z_l}, & z'_{l-1} \leq z' \leq z'_l \\ \frac{\sin k(z_{l+1} - z')}{\sin k \Delta z_l}, & z'_l \leq z' \leq z'_{l+1} \end{cases} \quad (15)$$

$$C_p(z') = \text{Cos} \frac{p\pi(z' - (z_2 - w))}{2w} \quad (16a)$$

$$S_q(x') = \text{Sin} \frac{q\pi(x' - (x_2 - d))}{2d} \quad (16b)$$

전류분포와 개구면 전계분포에 관한 식 (13), 식 (14)를 연립 적분방정식 식 (1), 식 (2)에 대입하고 Galerkin 법을 적용하면 연립 적분방정식은 다음과 같은 연립 일차방정식으로 변환된다.

$$\begin{aligned} \sum I_l Z_{l'l'} + \sum E_{zpq} B_{z'l'pq} &= V_{l'} \\ \sum I_l C_{p'q'l} + \sum \sum E_{zpq} Y_{zpq'q'} &= 0 \end{aligned} \quad (17)$$

식 (17)로부터 미지의 전개계수 I_l , E_{zpq} 을 구

하면 외부 다이폴 파원의 전류분포와 개구면에서의 전계분포를 계산할 수 있다. 개구면 전계분포를 식 (16)과 같이 공동의 모드함수로 전개하면 해의 수렴이 빠르다^[14].

식 (17)에서 일반화 임피던스비 및 일반화 전압비의 구체적인 표현식은 다음과 같다.

$$Z_{1'1} = \frac{1}{j\omega \epsilon_0} \oint_{S'} \oint_{S'} F_{1'}(z) \bar{a}_z \cdot \overline{K}_{ee}^H(r, r') \cdot \bar{a}_z F_{1'}(z') dS' dS \quad (18)$$

$$B_{z1'10} = \oint_{S'} \int_{S_a} F_{1'}(z) \bar{a}_z \cdot \overline{K}_{em}^H(r, r') \cdot \bar{a}_x C_{\beta'}(z') S_{\alpha'}(x') dS' dS_a \quad (19)$$

$$C_{\beta'q1} = - \int_{S_a} \oint_{S'} \bar{a}_x C_{\beta'}(z) S_{\alpha'}(x) \cdot \overline{K}_{he}^H(r, r') \cdot \bar{a}_z F_{1'}(z') dS' dS_a |_t \quad (20)$$

$$Y_{z\beta'q10} = \frac{1}{j\omega \mu_0} \int_{S_a} \int_{S'} \bar{a}_x C_{\beta'}(z) S_{\alpha'}(x) \cdot [\overline{K}_{hm}^I(r, r') + \overline{K}_{hm}^H(r, r')] \cdot \bar{a}_x C_{\beta'}(z) S_{\alpha'}(x) dS' dS_a |_t \quad (21)$$

$$V_{1'} = -V \oint_{S'} F_{1'}(z) \bar{a}_z \cdot \bar{a}_z \delta(z-z) dS \quad (22)$$

식 (14)의 개구면 전계분포를 알면 다음 식으로부터 합체 내부에 침투된 전계를 계산할 수 있다.

$$\bar{E}_i = - \int_{S_a} \nabla \times \overline{G}_m^I(r, r') \cdot (\bar{a}_y \times \bar{E}_a) dS_a \quad (23)$$

합체 내부의 자계분포는 전계분포로부터 유추할 수 있으므로 본 논문에서는 전계만을 취급하기로 한다.

III. 수치해석 결과 및 검토

II장의 이론해석을 바탕으로 개구면 전계분포, 내부 전계 및 합체의 공진 주파수를 계산하였다. 수치 계산에 사용한 합체의 크기는 시판되고 있는 A사의 옆으로 긴 개인용 컴퓨터의 본체를 모델로 하여 결정하였으며, 개구의 크기는 CD-ROM 드라이브의 크기를 참고로 하였다. 또한, 다이폴 파원의 길이는

PCS 주파수 대역인 1.8 GHz에 대하여 반파장 길이로 하고, 외부 다이폴 파원의 위치는 원점으로부터 10 m의 거리를 선택하였다. 이렇게 선택한 이유는 일반적인 사무실 환경 즉, 복도에서 휴대폰을 사용할 때 사무실에 놓여진 컴퓨터의 내부에 침투하는 전자파의 크기를 파악하기 위해서이며 이들의 구체적인 제원은 다음과 같다.

- 합체의 크기 : $a=0.435 \text{ m}, b=0.415 \text{ m}, c=0.16 \text{ m}$
- 개구의 크기 및 위치 : $d=0.065 \text{ m}, w=0.01 \text{ m}, z_2=0.08 \text{ m}, x_2=0.2175 \text{ m},$
- 외부 전자파원 : 반파장 다이폴 안테나 ($r_1=0.0005 \text{ m}$)
- 외부 전자파원까지의 거리 : 10 m
- 사용 주파수 : 1.8 GHz

3-1 개구면 및 내부 전계분포

그림 2는 개구가 본체의 중앙에 있는 경우의 개구면 전계분포를 나타낸 것이다. 그림 2로부터 알 수 있는 것처럼, 개구면 전계분포는 개구면을 따라서 대칭을 이루고 있으며, 개구가 중앙에서 옆으로 비껴 있을 경우에도 중앙에 있는 경우와 개구면 전계분포는 거의 동일하다는 것을 확인할 수 있었다. 위상은 개구가 중앙에 있을 경우와 비껴 있을 경우 모두 개구를 따라 일정하다.

그림 3(a)는 개구가 본체의 중앙에 있는 경우, 합체 중앙에서의 내부 전계를 x축을 따라서 나타낸 것이다. 그림 3(b)는 개구가 본체의 중앙에서 좌측으로 11.75 cm 떨어져 있는 경우, 합체 중앙에서의 내부 전계를 x축을 따라서 나타낸 것이다. 그림 3에서 보는 것처럼, 개구와 가까운 쪽에서 합체의 내부 전계가 크게 나타난다는 것을 알 수 있다. 또한, 그림 3(a)로부터 합체의 중앙 부분($x=0.3a \sim 0.7a$)에서 전계의 세기가 최대가 되며 합체의 가장자리 부분에서 위상이 반전되는 것을 알 수 있다. PCB가 합체의 내부에 배치된 상태에서의 내부 전계는 PCB가 없을 경우의 내부 전계와 차이가 나지만, 그림 3(b)로부터 유추할 수 있는 것처럼, $x=0.3a$ 의 위치에서 전계의 세기가 최소가 되므로 이 위치에 PCB를 수

개구를 갖는 합체의 외부 다이폴 파원에 의한 침투전계와 공진 주파수 특성

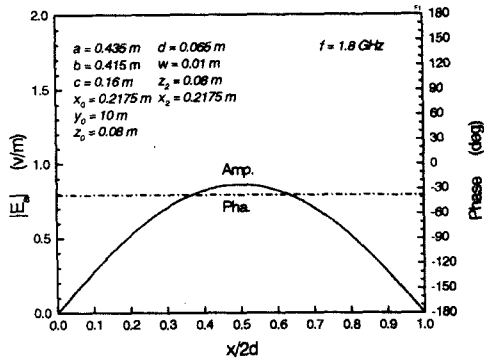


그림 2. 개구면 전계분포
Fig. 2. Electric field distribution on aperture.

직으로 배치하면 침투 전자파의 영향을 최소로 할 수 있을 것으로 생각된다.

그림 4(a)는 개구가 본체의 중앙에 있는 경우, 합체의 내부 전계를 합체의 중앙에서 y축을 따라서 나타낸 것이며, 그림 4(b)는 개구가 본체의 중앙에서 좌측으로 11.75 cm 떨어져 있는 경우, 합체의 내부 전계를 합체의 중앙에서 y축을 따라서 나타낸 것이다. 개구가 합체의 중앙에 위치한 그림 4(a)로부터 알 수 있는 것처럼, 합체의 내부로 침투된 전계는 개구 부근에서 가장 크고 개구면에서 멀어질수록 급격히 작아진다. 개구면이 합체의 옆으로 11.75 cm 이동한 경

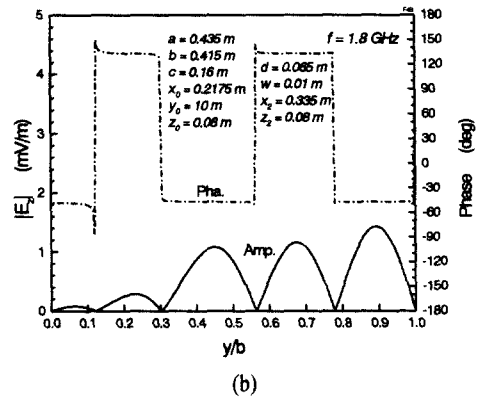
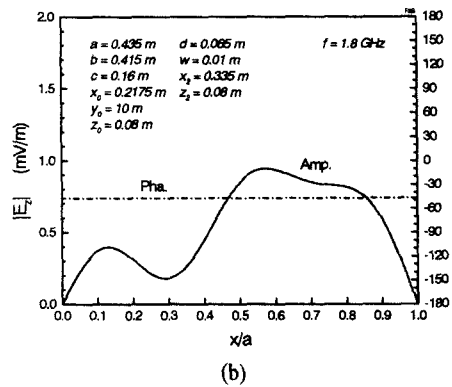
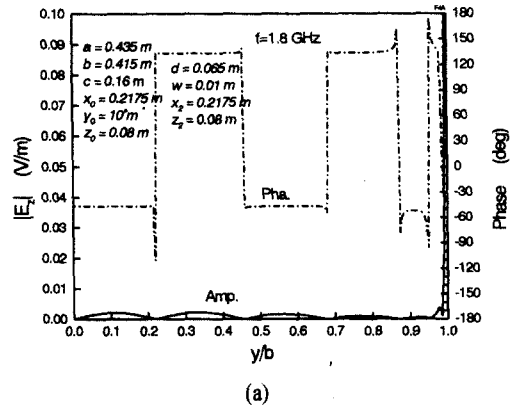
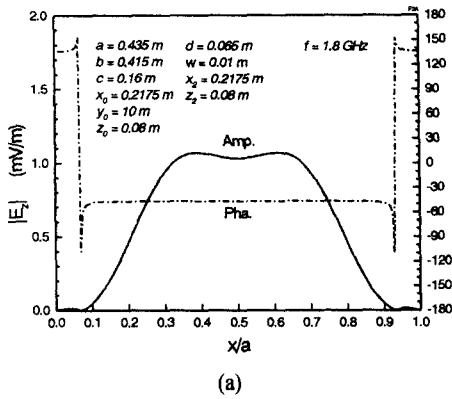


그림 3. 공동의 내부 전계분포
(a) 개구가 중앙에 있는 경우
(b) 개구가 옆으로 비껴 있는 경우

Fig. 3. Electric field distributions in metallic enclosure.

- (a) Aperture with center
- (b) Aperture with offset

그림 4. 공동의 내부 전계분포
(a) 개구가 중앙에 있는 경우
(b) 개구가 옆으로 비껴 있는 경우

Fig. 4. Electric field distribution in cavity.

- (a) Aperture with center
- (b) Aperture with offset

우는 그림 4(b)와 같이 개구면에서 먼 $y=0 \sim 0.3b$ 부근에서 아주 작은 값이 된다는 것을 알 수 있다.

본 논문에서는 PCS 주파수 대역인 1.8 GHz의 단일 주파수에 대해서만 논의하였으며 ESD 등과 같은 광대역 주파수의 침투에 대한 문제는 논의하지 않았다.

3-2 합체의 공진 특성

그림 5는 합체의 중앙에서 계산한 공진 주파수 특성을 나타낸다. 그림 5에서 알 수 있는 것처럼, 공진 주파수는 1.13 GHz, 1.53 GHz, 1.85 GHz, 2.23GHz 이다. 표 1은 합체의 공진 주파수를 모드별로 나타낸 것이며, 개구가 있을 경우의 합체의 공진 주파수는 개구가 없을 경우의 합체 자체의 공진 주파수(표 1에서 "calculated"로 표시하였음)와 약간의 차이가

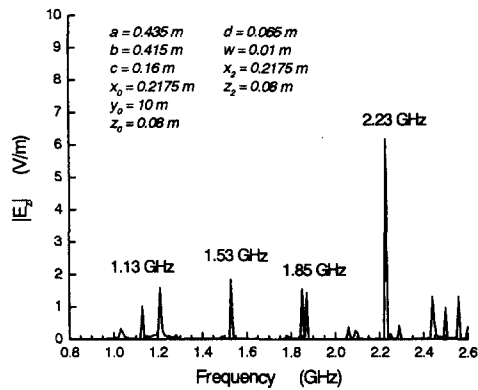


그림 5. 공동의 공진 주파수 특성

Fig. 5. Resonant frequencies of cavity.

표 1. 공진 주파수 특성

Table 1. Resonant frequencies

Resonant frequencies (GHz)	Our results (MoM)	Calculated (without aperture)
f_{111}	1.13	1.06
f_{123}	1.53	1.57
f_{210}	1.85	1.91
f_{223}	2.23	2.23

있을 뿐이다. 이러한 공진 주파수의 차이는 합체에 있는 개구로 인하여 합체 벽면 전류분포에 불연속이 발생하기 때문이다.

따라서, 침투한 전계는 합체 자체의 공진 주파수와 거의 일치하는 주파수에서 최대치를 나타내므로 합체의 크기가 결정되면 공진 주파수의 추정이 가능하다는 것을 알 수 있다. 합체에 개구가 있으면 개구로 인하여 합체 벽면 전류의 불연속이 발생되므로 개구가 없을 경우의 합체 자체의 공진 주파수와는 차이가 나지만 거의 같은 주파수에서 공진이 일어난다는 것을 알 수 있다.

IV. 실험결과

그림 6(a)는 내부 전계를 측정하기 위한 실험장치의 구성도를 나타낸 것이다. 신호 발생기를 접지판 위에 설치된 $\lambda/4$ 길이의 모노폴 안테나에 접속하고 합체의 내부에는 $\lambda/4$ 모노폴 안테나를 삽입하여 스펙트럼분석기에 연결하였으며 실험장치의 사진은 그림 6(b)에 나타내었다. 신호 발생기는 HP사의 83751A를 사용하였고 수신기로는 Advantest사의 R4131C를 사용하였다. 합체 내부의 전계를 측정하기 위하여 합체의 윗면 중앙에 파장에 비해 충분히 좁은 슬릿을 만들고 합체 내부로 $\lambda/4$ 모노폴을 삽입하였다. 실험에 사용한 주파수는 그림 5의 공진 주파수 특성을 참고로 하여 합체가 공진하는 1.85 GHz와 2.23 GHz의 주파수를 피하여 2 GHz를 선택하였다. 실험에 사용한 접지판 및 합체 등의 구체적인 제원은 다음과 같다.

- 접지판의 크기 : 1.8×0.9 m
- 합체의 크기 : $0.435 \times 0.415 \times 0.8$ m
- 개구면의 크기 : 0.13×0.01 m
- 외부 전자파원: $\lambda/4$ 모노폴 안테나 (길이= 0.0375 m)
- 외부 전자파원까지의 거리 : 1 m
- 사용 주파수: 2.0 GHz

신호 발생기를 연결하고 전계 측정용 프로브를 합체의 윗 부분에 설치된 슬릿에 삽입하여 프로브의 위치를 x축의 방향으로 이동시키면서 합체의 내부 전계를 측정하였다. 그림 7에 내부 전계의 최대치

개구를 갖는 합체의 외부 다이폴 파원에 의한 침투전계와 공진 주파수 특성

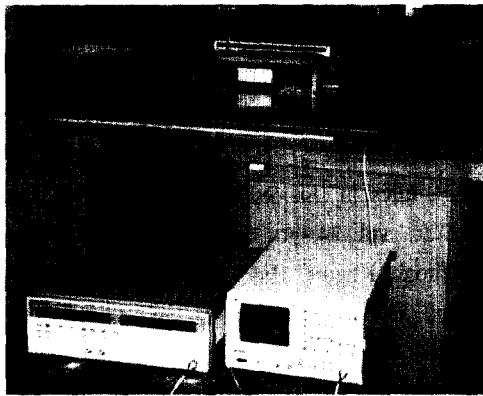
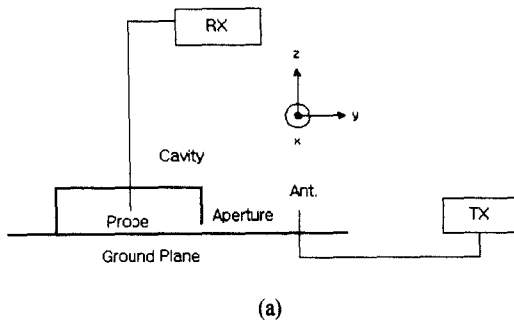


그림 6. 실험 장치도

- (a) 실험 장치도
- (b) 실험 장치의 사진

Fig. 6. Experimental setup.

- (a) Experimental setup
- (b) Photograph of experimental setup

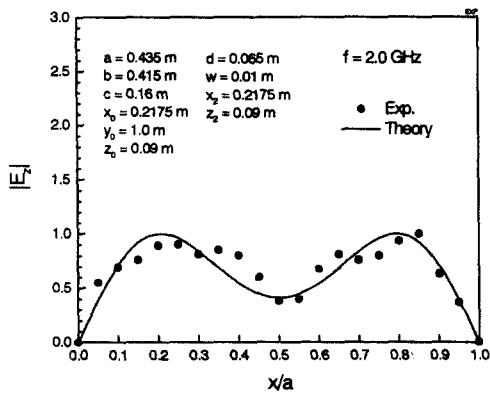


그림 7. 공동 내부 전계의 이론치와 실험치

Fig. 7. Electric field distributions(theory and experiment).

표 2. 각 모드에서의 공진 주파수의 이론치와 실험치
Table 2. Theoretical and experimental resonant frequencies of each mode.

Modes	Resonant Frequencies (GHz)		
	Our results MoM	Reference[9]	
		TLM	Measured
TM_{111}	1.25	1.32	1.49
TM_{211}	1.73	1.64	1.68
TM_{410}	2.18	2.16	2.20
TM_{411}	2.45	2.40	2.47

로 정규화 한 내부 전계의 계산치 및 실험치를 함께 나타내었다. 측정에 사용한 접지판이 유한하며 제작된 합체가 정확히 좌우 대칭이 되지 않는 점, 이론해석에서 개구면이 있는 부분을 무한히 넓은 도체면으로 가정 한 점, 합체의 외벽들을 완전도체로 가정했으나 실제로는 손실이 있는 점, 내부 전계 측정용 프로브와 합체 벽면의 결합, 케이블에서의 손실, 측정오차 등을 고려하면 내부 전계의 계산결과는 실험결과와 그 경향이 일치하고 있음을 알 수 있다.

또한, 합체의 공진 주파수 계산결과를 Kogure^[9]의 실험결과와도 비교하였다. 표 2에서 알 수 있듯이 문헌^[9]의 실험결과와 비교적 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 표 2에는 본 논문에서 모멘트 법(MoM)을 이용하여 계산한 공진 주파수와 TLM 법으로 계산한 공진 주파수를 함께 나타내었다.

V. 결 론

본 논문에서는 옆으로 긴 개인용 컴퓨터 본체에 CD-ROM 드라이브와 같은 크기의 개구가 있는 합체 구조에 대하여, 합체의 외부에서 다이폴 파원으로 여진하였을 경우, 개구를 통해 합체 내부로 침투하는 침투전계 및 합체의 공진 주파수를 모멘트 법으로 해석하였다. 이론해석의 결과, 침투한 전계는 개구면 부근에서 가장 크며 개구가 없는 경우의 합체 자체의 공진 주파수와 거의 일치하는 주파수에서 최대치를 나타내므로 합체의 크기가 결정되면 공진 주파수의 추정이 가능하다는 것을 알 수 있었다. 이론해석의 타당성을 확인하기 위하여 내부 전

계의 실험치와 이론치를 비교하였으며, 특히 공진 주파수의 계산결과를 Kogure 등의 실험결과와도 비교하여 양자가 잘 일치하고 있음을 확인하였다. 본 논문의 결과는 전기, 전자, 정보처리 장치의 기구 설계에 있어서 유용한 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 본 논문에서는 PCS 주파수 대역인 1.8 GHz의 단일 주파수에 대해서만 논의하였으나, 앞으로는 ESD 등과 같은 광대역 주파수의 전자파 침투 문제에 대하여 검토할 계획이다.

참 고 문 헌

- [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] 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
- [5] Kuang-Ping Ma, Min Li, James L. Drewniak, Todd H. Hubing, and Thomas P. Van Doren, "Comparison of FDTD algorithms for subcellular modeling of slots in shielding enclosures", *IEEE Trans. EMC*, vol. 39, no. 2, pp. 147-155, May 1997.
- [6] Erik K. Reed and M. Butler, "Time-domain electromagnetic penetration through arbitrarily shaped narrow slots in conducting screens", *IEEE Trans. EMC*, vol. 34, no. 3, pp. 161-172, August 1992.
- [7] Min Li, Kuang-Ping Ma, David M. Hockanson, James L. Drewniak, Todd H. Hubing, and Thomas P. Van Doren, "Numerical and experimental corroboration of an FDTD thin-slot model for slots near corners of shielding enclosures", *IEEE Trans. EMC*, vol. 39, no. 3, pp. 225-232, August 1997.
- [8] Graziano Cerri, Roberto De Leo, and Valter Mariani Primiani, "Theoretical and experimental evaluation of the electromagnetic radiation from apertures in shielded enclosures", *IEEE Trans. EMC*, vol. 34, no. 4, Nov. 1992.
- [9] Hiroaki Kogure, Hideki Nakano, Kohji Koshiji, and Eimei Shu, "Analysis of electromagnetic field inside equipment housing with an aperture", *IEICE Trans. Commun.* vol. E80-B, no. 11, pp. 1620-11623, November 1997.
- [10] Frank Olyslager, Eric Laermans, Daniel DE Zutter, Steven Criel, Ronald De Smedt, Norbert Lietaert, and Andre De Clercq, "Numerical and experimental study of the shielding effectiveness of a metallic enclosure", *IEEE Trans. EMC*, vol. 41, no. 3, pp. 202-212, August 1999.
- [11] B. Audone and M. Balma, "Shielding effectiveness of apertures in rectangular cavities", *IEEE Trans. EMC*, vol. 31, no. 1, pp. 102-106, Feb. 1989.
- [12] C. T. Tai, *Dyadic Green Functions in Electromagnetic Theory*, Scranton, PA: Intex, 1971.
- [13] R. E. Collin, *Field Theory of Guided Waves*, New York: McGraw-Hill, 1960.
- [14] K. C. Kim and S. Tokumaru, "A cutoff cavity antenna having resonant posts", *Trans. IEICE, J70-B*, 10, pp.1217-1228, 1987.

황보 승



1998년 2월: 영남대학교 전기공학과 (공학사)
2000년 7월: 영남대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
2000년 7월~현재: 삼성전자 통신연구소 Home N/W 연구팀
[주 관심분야] Wireless Lan의 연구

김기채



1984년: 영남대학교 전자공학과
1986년: Keio Univ. 대학원 (공학석사)
1989년: Keio Univ. 대학원 (공학박사)
1989년 4월~1993년 3월: 한국표준과학연구원 전자파연구실 선임연구원
1993년 4월~1995년 8월: 일본 후쿠오카공업대학 정보공학과 조교수
1995년 9월~현재: 영남대학교 전자정보공학부 부교수, 한국전자파학회 이사
[주 관심분야] EMC/EMI 관련 안테나 및 측정시설, 소형 안테나 및 전자파 응용