부공동에 손실 유전체를 충진한 함체 케이스의 공진 특성

Resonance Characteristics of a Metallic Enclosure Having Sub-Cavity with Lossy Dielectric Materials

임 성 민 · 정 성 우* · 김 기 채*

Sung Min Lim · Sung-Woo Jung* · Ki-Chai Kim*

요 약

본 논문에서는 함체 케이스의 내부에 손실 유전체를 충진한 부공동을 설치하고 함체 케이스 내부로 공급된 전력과 반사 계수를 계산하여 함체의 공진 특성을 검토하고 있다. 이론 해석으로는 내부 전자파원의 전류 분포 및 부공동 개구면에서의 전계 분포에 관한 연립 적분방정식을 유도하고 Galerkin의 모멘트법으로 해석하였다. 이론 해석 결과, carbon을 함유한 발포 폴리스티렌을 손실 유전체로 사용하여 부공동의 크기와 carbon 함유량을 조절함으로써 함체 케이스의 공진 특성을 제어하여 함체 내부의 전자파 방사 크기를 저감시킬 수 있음을 보이고 있으며, 공급 전력의 실험치와도 비교하여 이론 해석의 타당성을 확인하고 있다.

Abstract

This paper presents the delivered power and reflection coefficient in metallic shielding enclosure with a sub-cavity, which are evaluated with the method of moments, and describes a method for controlling the resonance characteristics of the metallic cavity by putting lossy dielectric material in the sub-cavity. In this paper we introduce carbon poly-styrene-foam as lossy dielectric material and observe it's effects of reduction when the dimensions of the sub-cavity and permittivity of lossy dielectric material are changed. The results show that the reduction of the electromagnetic radiation can be achieved by controlling the amount of carbon in lossy dielectric material and the dimensions of the sub-cavity. The theoretical analysis is verified by the measured delivered power.

Key words : EMI, Reduction, Dielectric Material, Shielding Enclosure, Sub-Cavity, Cavity Resonance

Ⅰ. 서 론

금속으로 구성된 전기전자기기의 함체 케이스의 내부에는 PCB(Printed Circuit Board) 또는 와이어가 놓여져 있으며, PCB의 배선 및 와이어로부터 방사되는 전자파가 잡음원으로 작용하여 함체 케이스를 공진시키고 함체에 있는 통풍용 구멍 등을 통하여 함체의 외부로 방사되거나 입출력 전송 선로를 통하여 외부로 전달되어 다른 기기에 오작동을 유발하는 등 많은 문제를 야기시킬 수 있다. 따라서 기기 내부에서 발생하는 함체 케이스의 공진 특성을 예측하고 이를 감소시키는 연구가 절실히 요구된다. 함체 케이스로부터 방사되는 전자파의 저감에 관한 연구는 개구를 가진 공동으로부터 방사되는 전자파의 저감에 관한 연구[1]~[4]와 공동의 내벽에 합성 자성체를 설치하여 공동의 Q를 감소시키는 연구[5] 등 여러 연구자들에 의해 보고되고 있다. 함체의 내부에 손실 유전체 또는 자성체를 부착하여 함체의 공진 특

「본 연구는 지식경제부의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구 결과로 수행되었음(IITA-2009-(C1090-0902-0034)).」

SL주식회사 선행연구개발본부 중앙실험실(Central Test Laboratory, SL Corporation)

*영남대학교 전기공학과(Department of Electrical Engineering, Yeungnam University)

· 논 문 번 호 : 20090730-04S

· 수정완료일자 : 2009년 9월 14일

성을 제어하는 방법이 보고되어 있으나[5],[6], 부공동을 설치하는 구조에 대해서는 연구가 이루어져 있지 않다. 함체 케이스의 외부에 부공동을 설치하여 공진 특성을 제어하는 연구는 필자들에 의해 보고되어 있으며[7], 참고문헌 [7]에서는 함체 케이스의 외부에 부공동이 설치되는 구조이므로 함체 케이스에 실제로 적용할 때에는 부공동의 설치가 어려운 문제점을 가지고 있다.

본 논문에서는 함체 케이스에 실제로 적용할 수 있는 구조를 만들기 위해 함체 케이스의 내부에서 용이하게 부공동을 구성할 수 있는 구조를 제안하고 부공동에 손실 유전체를 충진한 경우의 함체 케이스의 공진 특성을 검토하였다. 본 논문에서는 공동 내부의 급전 포스트와 부공동이 약한 결합을 할 수 있도록 부공동의 개구면 길이 방향이 급전 포스트의 방향과 평행이 되는 구조를 선택하고 있다. 강한 결합이 되면 부공동의 개구면이 2차 파원이 되어 공동 내부로 2차 방사를 일으켜 새로운 문제를 야기시킬 수 있기 때문이다.

이론 해석으로는 함체 케이스 내부의 급전용 포스트에 형성되는 전류 분포 및 부공동의 개구면에 형성되는 개구면 전계 분포에 관한 연립 적분방정식을 유도하고, 그 해를 Galerkin의 모멘트 법으로 구하여 함체 케이스의 공진 특성을 검토하였다. 함체 케이스의 내부로 전달되는 공급 전력의 실험치와도 비교하여 이론 해석의 타당성도 확인하였다.

Ⅱ. 이론 해석

2-1 공동의 구조와 좌표계

그림 1은 함체 케이스의 내부 (ε_{r1})에 전자파원이 있고 부공동이 함체의 내부에 설치되어 부공동 내에 손실 유전체 (ε_{r2})가 충진된 함체의 구조와 좌표계를 나타낸다. 그림 1에서 보는 것처럼, 직각 구조의 금속 앵글을 함체 케이스의 윗쪽 좌우측 모서리 부분에 장착하면 함체 케이스의 내부에 부공동이 설치된 함체 케이스를 구성할 수 있다. 함체 케이스의 크기는 $a\times b\times h$이며, 부공동의 크기는 $w\times b\times u$이고, 부공동의 내부에는 손실 유전체(ε_{r2})가 충진되어 있으며, 손실 유전체의 두께는 부공동의 높이와 동일하고 u이다. 부공동을 제외한 함체 케이스 내부의 유전율은 $\varepsilon_{r1}=1$로서 자유공간과 동일하다. 함체의 내부 전자파원으로 가정한 급전 포스트는 반경이 r 이며, $x=d$와 $z=s$의 위치에 배치되어 있다. 또한, 함체 케이스 내부의 PCB 등에서 발생하는 손실을 나타내기 위해 포스트의 한쪽 끝단에 저항 R을 부착하여 함체 내부의 손실을 나타내었다. 포스트와 공동은 모두 완전 도체로 가정하였다.

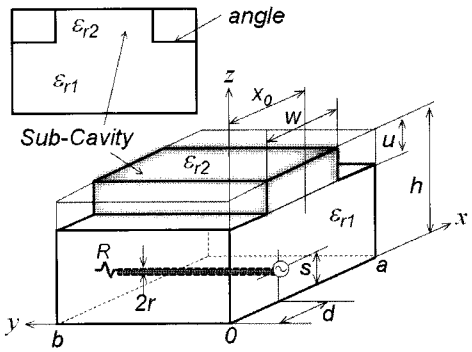


그림 1. 부공동이 설치된 함체 케이스의 구조와 좌표계
Fig. 1. Geometry and coordinate system of a metallic enclosure with sub-cavity.

2-2 적분방정식

그림 1과 같은 구조를 해석하기 위해 급전 포스트가 있는 영역을 영역 I, 부공동 영역을 영역 II로 구분한다. 영역 I의 비유전율은 ε_{r1}이며, 영역 II의 비유전율은 ε_{r2}이다. 급전 포스트는 $x=d$, $y=0$, $z=s$인 위치에서 전압이 V인 델타함수적 전원으로 급전한다고 가정하면, 급전 포스트에 흐르는 전류 분포 $\overline{J}$ 및 부공동의 개구면 전계 분포 $\overline{E_a}$에 관한 연립 적분방정식은 다음과 같다.

$$\frac{1}{j\omega\varepsilon_0}\oint_{S'}\overline{\overline{K}}^{I}_{ee}(\overline{r},\overline{r}')\cdot\overline{J}(\overline{r}')dS' - \frac{1}{j\omega\varepsilon_0}\int_{S'_a}\overline{\overline{K}}^{I}_{em}(\overline{r},\overline{r}')\cdot(-\hat{z}\times\overline{E_a})dS'_a = -V_{-}\delta(y) \tag{1}$$

$$\left[\oint_{S'_a}\overline{\overline{K}}^{I}_{he}(\overline{r},\overline{r}')\cdot\overline{J}(\overline{r}')dS' + \frac{1}{j\omega\mu_0}\int_{S'_a}\overline{\overline{K}}^{I}_{hm}(\overline{r},\overline{r}')\cdot(-\hat{z}\times\overline{E_a})dS'_a = \frac{1}{j\omega\mu_0}\int_{S'_a}\overline{\overline{K}}^{II}_{hm}\cdot(\overline{E_a}\times\hat{z})dS'_a\right]_{t.c.}$$

$t.c.$: tangential components (2)

여기서, 윗첨자 I, II는 각각 영역 I, II를 나타낸다. 또한, ε_0 및 μ_0는 각각 진공의 유전율 및 투자율이며, $\hat{y}$는 y 방향의 단위 벡터, $\delta(*)$는 Dirac의 델타 함수이다. $\bar{r}, \bar{r}'$은 관측점 및 파원점의 위치 벡터이며, 시간 의존성은 $\exp(j\omega t)$이다. S와 S_a는 각각 급전 포스트의 표면 및 $z=h-u$의 개구면을 나타낸다. 또한 급전 포스트의 반경이 사용 파장에 비교하여 충분히 작다고 가정하면 전류는 포스트의 중심축에 집중하여 흐른다고 가정할 수 있다. 연립 적분방정식 (1), (2)에서 적분핵은 다음 식으로 주어진다.

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

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

$$\bar{\bar{K}}^{I}_{he}(\bar{r},\bar{r}') = \nabla\times\bar{\bar{G}}^{I}_{e}(\bar{r},\bar{r}') \quad (5)$$

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

$$\bar{\bar{K}}^{II}_{hm}(\bar{r},\bar{r}') = (\bar{\bar{I}}k_0^2\varepsilon_r + \nabla\nabla)\cdot\bar{\bar{G}}^{II}_{m}(\bar{r},\bar{r}') \quad (7)$$

여기서, $\bar{\bar{I}}$는 단위 다이애딕이며, k_0는 자유공간의 파수이다. 식 (3)~(7)에서 전류원 및 자류원에 대한 다이애딕 그린함수는 다음과 같다.

$$\bar{\bar{G}}^{I}_{e} = -\hat{y}\hat{y}\sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=1}^{\infty}\frac{2\varepsilon_{0m}}{ab\Gamma^{I}_{nm}}\sin\frac{n\pi x}{a}\cos\frac{m\pi y}{b} \cdot \sin\frac{n\pi x'}{a}\cos\frac{m\pi y'}{b}L^{I}_{nm}(z,z') \quad (8)$$

$$L^{I}_{nm} = \begin{cases} \dfrac{\sinh\Gamma^{I}_{nm}z'}{\sinh\Gamma^{I}_{nm}c}\sinh\Gamma^{I}_{nm}(z-c), & z\geq z' \\ \dfrac{\sinh\Gamma^{I}_{nm}(z'-c)}{\sinh\Gamma^{I}_{nm}c}\sinh\Gamma^{I}_{nm}z, & z\leq z' \end{cases} \quad (9)$$

$$\bar{\bar{G}}^{I}_{m} = -\sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=1}^{\infty}\frac{2\varepsilon_{0n}\varepsilon_{0m}}{ab\Gamma^{I}_{nm}}\cdot (\hat{x}\hat{x}N_x + \hat{y}\hat{y}N_y)M^{I}_{nm}(z,z') \quad (10)$$

$$M^{I}_{nm} = \begin{cases} \dfrac{\cosh\Gamma^{I}_{nm}z'}{\sinh 2\Gamma^{I}_{nm}c}\cosh\Gamma^{I}_{nm}(z-2c), & z\geq z' \\ \dfrac{\cosh\Gamma^{I}_{nm}(z'-2c)}{\sinh 2\Gamma^{I}_{nm}c}\cosh\Gamma^{I}_{nm}z, & z\leq z' \end{cases} \quad (11)$$

$$\bar{\bar{G}}^{II}_{m} = -\sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=1}^{\infty}\frac{2\varepsilon_{0n}\varepsilon_{0m}}{ab\Gamma^{II}_{nm}}\cdot (\hat{x}\hat{x}N_x + \hat{y}\hat{y}N_y)M^{II}_{nm}(z,z') \quad (12)$$

$$M^{II}_{nm} = \begin{cases} \dfrac{\cosh\Gamma^{II}_{nm}(z'-z_1)}{\sinh 2\Gamma^{I}_{nm}u}\cosh\Gamma^{II}_{nm}(z-h), & z\geq z' \\ \dfrac{\cosh\Gamma^{II}_{nm}(z'-h)}{\sinh 2\Gamma^{I}_{nm}u}\cosh\Gamma^{II}_{nm}(z-z_1), & z\leq z' \end{cases} \quad (13)$$

$$\Gamma^{I}_{nm} = \sqrt{\left(\frac{n\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{m\pi}{b}\right)^2 - k_0^2} \quad (14)$$

$$\Gamma^{II}_{nm} = \sqrt{\left(\frac{n\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{m\pi}{b}\right)^2 - k_0^2\varepsilon_{r2}} \quad (15)$$

$$N_x = \sin\frac{n\pi x}{a}\cos\frac{m\pi y}{b}\sin\frac{n\pi x'}{a}\cos\frac{m\pi y'}{b} \quad (16)$$

$$N_y = \cos\frac{n\pi x}{a}\sin\frac{m\pi y}{b}\cos\frac{n\pi x'}{a}\sin\frac{m\pi y'}{b} \quad (17)$$

여기서, $c=h-u$이며, $z_1=h-2u$이다.

급전 포스에 흐르는 미지의 전류 분포 $\bar{J}$와 개구면 전계 분포 $\bar{E}_a$에 관한 연립 적분방정식 (1), (2)는 모멘트법[9]을 사용하여 해석한다. 먼저, 포스터상의 전류 분포 및 개구면 전계 분포를 다음과 같은 기지의 함수로 전개한다.

$$\bar{J}(y') = \hat{y}\sum_{l=0}^{I}I_l\cos\frac{l\pi y'}{b} \quad (18)$$

$$\bar{E}_a(x',y') = \hat{x}\sum_{p=0}^{P}\sum_{q=1}^{Q}E_{xpq}\cos\frac{p\pi x'}{w}\sin\frac{q\pi y'}{b} + \hat{y}\sum_{p=1}^{P}\sum_{q=0}^{Q}E_{ypq}\sin\frac{p\pi x'}{w}\cos\frac{q\pi y'}{b} \quad (19)$$

여기서, I_l 및 E_{xpq}, E_{ypq}는 미지의 전개계수이다.

식 (18), (19)를 연립 적분방정식 (1), (2)에 대입하고 Galerkin의 방법을 적용하면 식 (1), (2)는 연립 일차방정식으로 변환되며, 이로부터 급전 포스트상의 전류 분포와 부공동이 접속된 개구면에서의 전계 분포를 계산할 수 있다.

함체 케이스의 내부로 공급된 전력은 반사 계수와 다음과 같은 관계가 있다[10].

$$P = \frac{V_S^2}{8Z_0}(1-|S_{11}|^2) \quad (20)$$

여기서, V_s는 전원의 급전 전압, Z_0는 전원의 임피던스이다. 급전 전압이 V_S=1 mV, 전원의 임피던스가 Z_0=50 Ω인 경우 함체 케이스로 공급된 전

력은 2.5 nW이며, 이하의 수치 계산에는 $V_S=1$ mV를 사용한다.

Ⅲ. 수치해석 결과 및 검토

도전성 물질로 이루어진 함체 케이스는 공동(cavity)을 형성하므로 고유의 공진 주파수를 가진다. 함체 케이스의 내부에 존재하는 전자파원으로부터 방사되는 전자파에 의해 함체 케이스의 내부에 전자계가 유기될 때 EMI 측면에서 가장 심각한 전자계는 공동의 고유 공진 주파수에서의 전자계이다[5]. 함체 케이스의 고유 공진 주파수를 알아보기 위해 먼저 부공동에 손실 유전체가 충진되지 않고 부공동의 폭이 $w=a$인 경우, 즉 크기가 $a\times b\times h$인 함체(공동)의 공진 특성을 검토하였다. 그린 함수에서 나타나는 급수의 항수는 200항을 선택하면 수렴치의 1.3 % 이내에서 수렴하며 계산 시간은 Core(TM) 2 Duo CPU 2.33 GHz에서 6.25×10^{-4} s이다.

수치 계산에 사용한 함체 케이스의 제원은 다음과 같으며, 함체의 치수는 실험치와 비교하기 위해 참고문헌 [3]의 치수와 동일한 크기를 사용하였다.

1) 내부 전자파원의 주파수: f= 0.7~1.6 GHz
2) 함체 케이스의 크기: a=0.3 m, b=0.14 m, h=0.22 m, d=0.15 m, s=0.17 m, R=47 Ω
3) 영역 I의 비유전율: $\varepsilon_{r1}=1$

그림 2는 함체 케이스 및 부공동의 내부에 손실 유전체를 충진하지 않았을 경우(즉, $\varepsilon_{r1}=\varepsilon_{r2}=1$), 함체 케이스로 공급된 전력과 반사 계수를 나타낸 것이다. 검토의 대상으로 선택한 주파수는 함체 케이스의 기본 모드를 포함한 0.7 GHz에서 1.6 GHz까지이다.

함체 케이스의 공진은 함체로 공급된 전력으로부터 결정되며, 공급된 전력과 반사 계수 $|S_{11}|$으로부터 공동 내부로 방사된 EMI를 예측할 수 있다. 그림 2로부터 0.89 GHz, 1.40 GHz, 1.51 GHz에서 각각 TE101, TE111, TE210 공동 모드(cavity mode)에 대한 공진이 나타남을 알 수 있으며, 함체 내부로 공급된 전력의 계산 결과는 실험 결과[3]와도 잘 일치하고 있음을 확인할 수 있다. 또한, 각각의 공진 주파수에서

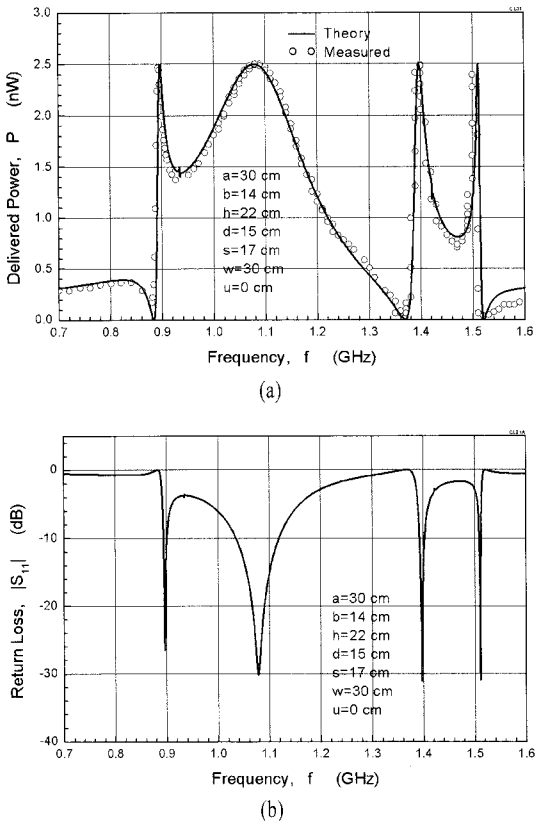


그림 2. 손실 유전체를 충진하지 않은 공동($\varepsilon_{r1}=\varepsilon_{r2}=1$)의 (a) 공급된 전력과 (b) 반사 계수
Fig. 2. Frequency characteristics of (a) delivered Power and (b) reflection coefficient for $\varepsilon_{r1}=\varepsilon_{r2}=1$.

는 전원에 의해 공급된 전력의 대부분이 함체 케이스의 내부로 방사된다는 것을 알 수 있다.

그림 1의 구조에서 y방향으로 설치된 급전 포스트의 위치를 변화시키면 공동 모드가 변할 것으로 생각되지만 실제로는 포스트의 위치 변화에 따른 공동 모드의 변화는 없다. 그러나, 급전 포스트의 방향을 x방향 또는 z방향으로 선택하면 공동 모드가 변하지만 포스트를 z방향으로 설치하는 경우는 부공동과의 결합이 없으며, x방향으로 설치되는 경우는 부공동과의 강한 결합이 일어나므로, 본 논문에서는 약한 결합을 이용하기 위해 y방향으로 설치된 급전 포스트의 경우만 논의하였다.

함체 케이스의 내부로 방사되는 전자계를 저감시키기 위해서는 함체 케이스의 공진의 크기를 줄여야 한다. 본 논문에서는 함체 케이스의 공진 특성을 제어하기 위해 함체의 내부에 손실 유전체가 충진된

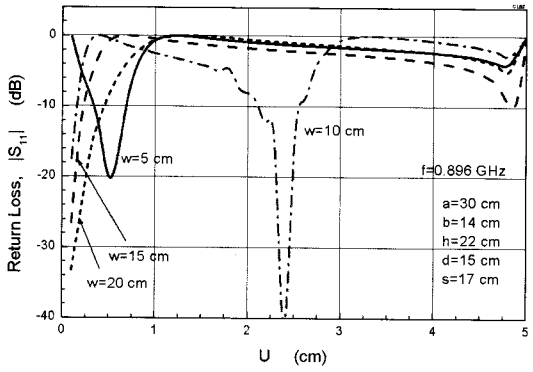


그림 3. 부공동의 크기와 반사 계수 $|S_{11}|$와의 관계 ($\varepsilon_{r1}=\varepsilon_{r2}=1$).

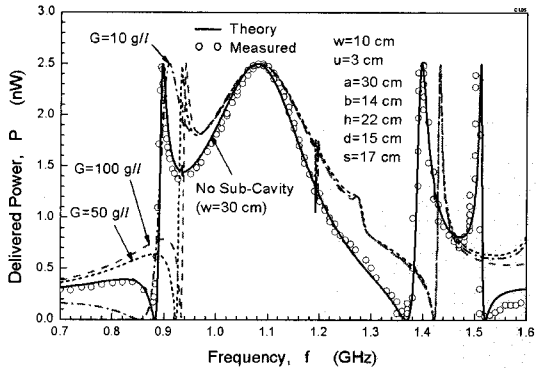
Fig. 3. $|S_{11}|$ vs. sub-cavity dimensions($\varepsilon_{r1}=\varepsilon_{r2}=1$).

부공동을 설치하고, 부공동의 크기 및 유전율 값을 변화시켰을 때, 함체의 공진 특성 변화를 검토하였다. 부공동에 충진하는 손실 유전체로는 참고문헌 [8]과 마찬가지로 carbon을 함유한 발포 폴리스티렌을 선택하였다. 이러한 손실 유전체의 유전율 ε_{r2}는 carbon 함유량 G g/l과 주파수 f GHz의 함수이며 다음 식으로 결정된다[8].

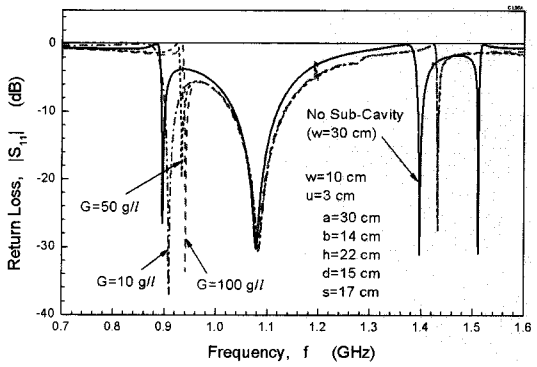
$$\varepsilon_{r2}=(\varepsilon'_{r2}-j\varepsilon''_{r2})\varepsilon_0$$
$$\varepsilon'_{r2}=(1+0.039Gf^{-0.4})^2-(0.03Gf^{-0.4})^2$$
$$\varepsilon''_{r2}=0.06Gf^{-0.4}(1+0.039Gf^{-0.4}) \quad (21)$$

그림 1의 공동 구조에서 $z=h$의 위치에서 함체 케이스의 내부로 폭 w, 높이 u인 부공동을 설치하고 부공동의 내부에 carbon 발포 폴리스티렌을 충진하였을 때, carbon 발포 폴리스티렌의 carbon 함유량을 10~100 g/l로 변화시키며 함체 케이스로 공급된 전력과 반사 계수 $|S_{11}|$을 검토하기로 한다.

그림 3은 TE101 모드의 공진 주파수인 0.89 GHz에서 부공동에 손실 유전체를 충진하지 않았을 때 (즉, $\varepsilon_{r2}=1$), 부공동의 크기에 대한 반사 계수 $|S_{11}|$의 특성을 나타낸 것이다. 그림 3으로부터 알 수 있는 것처럼, 부공동의 폭과 높이를 적절히 조절하면 부공동에 손실 유전체를 충진하지 않아도 반사 계수의 크기를 제어할 수 있으며, 즉 공진 특성을 제어할 수 있으며, 공진 주파수 0.89 GHz에서 공진이 억제됨을 알 수 있다. 공진이 억제되면 함체 케이스의 내부로 방사되는 전자계의 크기가 저감된다.



(a)



(b)

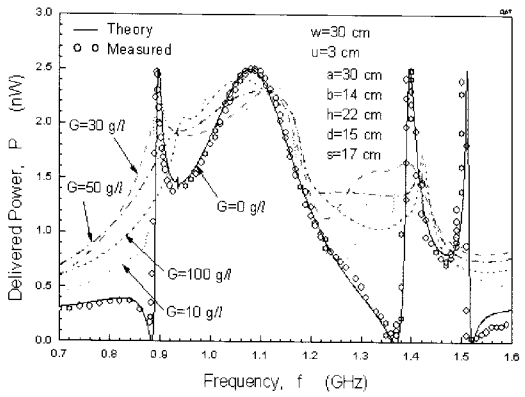
그림 4. w=10 cm인 경우 carbon 함유량에 따른 (a) 공급된 전력과 (b) 반사 계수 $|S_{11}|$의 주파수 특성

Fig. 4. Frequency characteristics of (a) delivered power and (b) $|S_{11}|$ for w=10 cm with lossy dielectric materials.

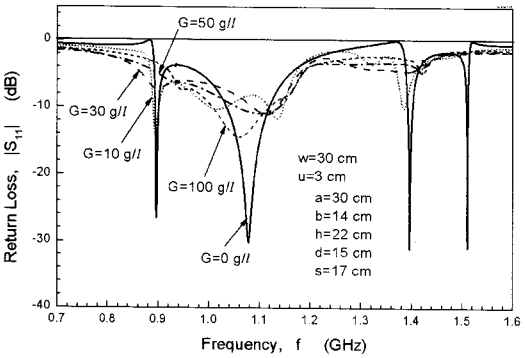
그림 4는 w=10 cm, u=3 cm인 부공동 내부에 손실 유전체(carbon 발포 폴리스티렌)를 충진하고 carbon 함유량 G를 변화시켰을 때 함체 케이스에 공급된 전력과 $|S_{11}|$의 주파수 특성을 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있는 것처럼, TE101, TE111, TE-210 각 공동 모드에서의 공진은 억제되지만 carbon 함유량 G가 증가할수록 이웃하는 높은 주파수 영역에서 공진이 발생하고 있음을 알 수 있다. 이 사실은 곧 부공동에 손실 유전체를 충진하면 공진 주파수가 이동된다는 것을 말해주고 있다.

그림 5는 w=30 cm, u=3 cm인 부공동 내부에 손실 유전체(carbon 발포 폴리스티렌)를 충진하고 carbon 함유량 G를 변화시켰을 때 함체 케이스에 공급된 전력과 $|S_{11}|$의 주파수 특성을 나타낸 것이다. 그림



(a)



(b)

그림 5. w=30 cm인 경우 carbon 함유량에 따른 (a) 공급된 전력과 (b) 반사 계수 $|S_{11}|$의 주파수 특성

Fig. 5. Frequency characteristics of (a) delivered power and (b) $|S_{11}|$ for w=30 cm with lossy dielectric materials.

5로부터 알 수 있는 것처럼, carbon 함유량 G가 증가할수록 TE101, TE111, TE210 각 공동 모드에서 공동으로 공급된 전력이 감소하고 반사가 커지게 되는 것을 확인할 수 있다. 함체 케이스의 공진이 억제되면 함체 케이스 내부로 방사되는 전자계의 크기가 저감된다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 함체 케이스의 내부에 유전체를 충진한 부공동이 있을 때 함체로 공급된 전력과 반사 계수 $|S_{11}|$을 모멘트법을 사용하여 공진 특성을 검토하였다. 함체 케이스의 내부로 방사되는 전자파의 크기를 저감시키기 위해서는 함체의 공진 특성을 제어해야 하는데, 함체의 내부에 설치된 부공동에 손실 유전체를 충진하여 부공동의 크기와 유전율 값을 조절하면 함체 케이스의 내부로 방사되는 전자파의 크기를 저감시킬 수 있음을 확인하였다. 이론 해석 결과, 손실 유전체를 충진한 부공동의 크기가 클수록, 또한 손실 유전체가 다량의 carbon을 함유할수록 함체 내부로 방사되는 전자파가 효율적으로 저감됨을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

[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, Xiaohe 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] 정광현, 김기채, "손실 유전체를 이용한 공동 내부의 전자계 저감 특성", 한국전자파학회논문지, 14(9), pp. 950-954, 2003년 9월.

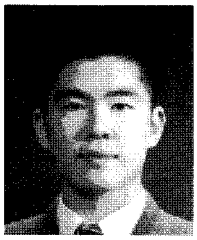
[7] S. M. Lim, Sung-Woo Jung, and K. C. Kim, "Resonance characterisics of a metallic enclosure having sub-cavity filled with lossy materials", *Proceeding of KJJC-AP/EMC/EMT 2009*, May 2009.

[8] T. Nakamura, S. Tokumaru, and S. Itoh, "Reduction of SAR in human body by lossy dielectric shield", *IEICE Trans.*, vol. J79-B-II, no. 11, pp. 941-949, Nov. 1996.

[9] R. F. Harrington, *Field Computation by Moment Methods*, IEEE Press, 1993.

[10] D. M. Pozar, *Microwave Engneering*, Addison Wesley, 1990.

임 성 민

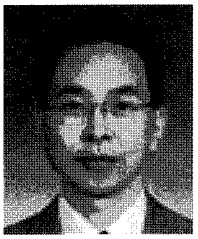


2002년 2월: 영남대학교 전기공학과 (공학사)
2004년 2월: 영남대학교 전기공학과 (공학석사)
2004년 3월~현재: SL주식회사 선행연구개발본부 중앙실험실
[주 관심분야] EMC/EMI

정 성 우

2002년 2월: 영남대학교 전기공학과 (공학사)
2008년 8월: 영남대학교 전기공학과 (공학석사)
2008년 9월~현재: 영남대학교 전기공학과 박사과정
[주 관심분야] EMC/EMI 및 Rectenna

김 기 채



1984년 2월: 영남대학교 전자공학과 (공학사)
1986년 3월: Keio University 전기공학과 (공학석사)
1989년 3월: Keio University 전기공학과 (공학박사)
1976년 10월~1980년 2월: (주)금성사 음향설계실
1989년 4월~1993년 3월: 한국표준과학연구원 전자파연구실 선임연구원
1993년 4월~1995년 8월: 일본 후쿠오카 공업대학 정보공학과 조교수
1995년 9월~현재: 영남대학교 전기공학과 교수
2009년 1월~현재: 한국전자파학회 부회장
1988년: IEICE Japan, Young Scientist Awards
1994년: IEE Japan, Paper Presentation Awards
[주 관심분야] EMC/EMI 안테나 및 전자파 차폐, 소형 안테나, 전자파 이론 및 응용