

論文2000-37TE-2-13

유전체 PZT와 페라이트 소재를 첨가한 충격흡수재의 전자파 흡수능

(Absorbing Characteristic of EM wave for Dielectric PZT and ferrite in damping material)

洪 在 一 * , 姜 廷 震 ** , 李 相 檣 ***

(Je-il Hong, Jeong-jin Kang, and Sang-hoi Yi)

요 약

본 연구는 진동흡수 소재인 아스팔트 복합체에 전자파 흡수능을 추가하여 고부가 상품을 개발하고자 자성체와 유전체를 혼합한 제품을 연구했다. 개발 범위는 모재료에 Ni-Zn형 페라이트와 유전체 세라믹 PZT를 첨가하여 전자파 흡수능을 월등히 향상시키며, 기존의 충격 흡수 기능 및 인장력과 휨 기능을 그대로 유지하게 한다. 사용 주파수 대역은 전자기기 사용이 가장 많은 UHF대 중 928MHz와 2GHz에서 4GHz대역에서 전자파 흡수가 -10dB이하인 혼합재를 개발하였다. 페라이트의 협대역 한계는 유전체 PZT 소재의 첨가로 극복한다. 또한 유전체 PZT 첨가로 공진 주파수가 2곳으로 나오는 경우를 이용하여 필요한 영역의 소재 개발에 이용할 수 있는 가능성을 제시한다.

Abstract

A new damping composite materials with asphalt and EM absorber are studied for high advantage values.

The composite Ni-Zn ferrite and dielectric PZT with a main material is well developed of EM absorbing, and is continuous maintained of origin character, damping absorbing.

Experiments and calculation results are shown to act two points frequencies at 928MHz and from 2GHz to 4GHz below -10dB

The narrow band widths of ferrite change to broad band as insert of dielectric material, PZT good of EM wave absorbtion and broad band widths in multi layers with ferrite.

These are applied to develop of new material at new need frequencies.

I. 서 론

* 正會員, 동서울大學 電子科

(Dong Seoul College Dept. of Electronics)

** 正會員, 동서울大學 電氣科

(Dong Seoul College Dept. of Electricity)

*** 正會員, 동서울大學 電子通信科

(Dong Seoul College Dept. of Electronic communication)

※ 이 논문은 (1998)년 한국학술진흥재단의 학술연구비에 의하여 지원되었음.

接受日字:1999年12月17日, 수정완료일:2000年4月25日

충격 흡수재(damping material)는 아스팔트 소재를 주 성분으로한 구성체로 기계 진동과 건축 구조물의 보호를 위해 개발된 제진소재이다. 주 기능은 충격 흡수와 구조물 보호 기능을 담당한다. 단 모재료에 대한 구성비는 아스팔트 고상(액상)을 30% 이내로 하고, 탄산칼슘과 황산 바륨 및 셀라이트를 50% 정도, 산화칼슘과 셀룰로오스 및 오일의 비율을 조정하여 대상 적용체에 합당한 충격 흡수재가 된다. 제진소재의 적용분야는 식기세척기, 세탁기, 진공청소기, 냉장고, 정수기,

전자레인지 등에 사용되며 인위적인 접착제를 사용하지 않고 80~180° C범위에서 도장 건조가 필요한 모든 산업전자 기기의 판 내외면에 자동 접착이 가능한 소재이다.

적용분야는 전자기기 분야까지 확대되고 있으며, 전기 전자기기의 사용 분야 확대는 병행하여 불요전자파 발생에 대한 전자파 흡수 필요성을 증가시키고 있지만 전자기기의 제진 이외 전자파 대책이 미흡하며, 혹은 전자기기의 전자파 대책은 별도의 전자파 흡수체를 부착하거나 기기를 개폐하는 방식을 취한다. 이 경우 제품의 가격 경쟁력 약화를 줄 수 있다.

그러므로 본 연구는 기계의 진동을 흡수하는 충격 흡수재를 모재료로 하고 전자파 흡수능을 첨가한 고부가 소재 개발을 목적으로 한다.

개발 범위는 모재료에 Ni-Zn형 페라이트와 유전체 세라믹 PZT(Lead Zirconate Titanate $PbZrO_3 - PbTiO_3$)^[1]를 첨가하여 전자파 흡수능을 월등히 향상시키며, 기존의 충격 흡수 기능 및 인장력과 휨 기능을 그대로 유지하게 하여 제품의 고부가성을 추구한다. 실험에서 사용되는 제진 소재는 아스팔트 혼합물로 가열식 소재를 사용한다. 페라이트는 Ni-Zn형 분말형으로 하고, PZT-5A소재로 분말형 물질을 사용하여 실험 측정한다.

기존의 연구^{[1][2][3][4]}에서는 실리콘 고무에 Cu-Zn형 페라이트, Mn-Zn형 페라이트, Ni-Zn형 페라이트와 PZT를 혼합체로 하여 전자파 흡수체를 개발한 것이고, 본 연구에서는 제진소재에 Ni-Zn형 페라이트와 PZT 유전체를 첨가하여 제진성을 유지하며 전자파 흡수능 부가하는 것이다.

충격 흡수재에 전자파 흡수능을 부가하기 위해 전자파 복합 재료를 첨가하는 경우 전자파 흡수능은 향상되나, 특성 유지에 예상되는 문제점으로 제진성 저하 및 인장력과 휨 특성의 변형, 계속적 진동과 과열 상황에서 충격 흡수능의 변환 및 전자파 흡수능의 저하를 예상할 수 있다. 이상의 문제점은 모재료의 배합 비율에서 부착력 향상을 위한 아스팔트의 점도와 셀룰로오스 배합 비율의 조절 및 전자파 흡수체 비율의 조정으로 극복될 수 있었다.

II. 재료 특성

1. 페라이트^{[2][3][4]}
 자계형 전자파 흡수체인 페라이트 재료는 삼화전자(주) 제작된 시료로 $f_m=1.6GHz$ 이며, 정합두께 $d_m=4.5mm$ 인 Ni-Zn형 페라이트 분말로 사용하고, 보암산업(주) 제작된 시료는 $f_m=960MHz$ 이며, 정합두께 $d_m=4.7mm$ 인 Ni-Zn형 페라이트 분말로 사용한다. 또한 사용 주파수가 분말형에서는 소결형보다 200~300MHz 낮아진다.

2. 압전세라믹 유전체(PZT)

유전체형 전자파 흡수체인 PZT는 압전 세라믹용으로 사용되는 PZT-5A를 사용하는 목적은 페라이트 소재의 전자파 흡수대역이 협대역인 단점을 극복하여 광대역하고자 한다. 주요 특성은 다음 표와 같다.

표 1. PZT와 페라이트의 특성
 Table 1. Characteristics of PZT and ferrite.

재료명	항 목	정수	재료명	항 목	정수
PZT-5A	ρ (kg/m ³)	7750	Ni-Zn Ferrite -SV3C	ρ (kg/m ³)	5.0
	k33T	1730		μ_{inc}	350±20%
	k11T	1700		$\tan \delta / \mu (10^{-4})$	25
	Qm	75		δ (kg/m ³)	4.85×10^{-5}
	kp	0.60		Tc(°c)	>140
	k31	0.34		Hc(A/m)	12
	k33	0.705		Br(mT)	100
	k15	0.685		B0(mT)	260
	kt	0.49		$a \mu \gamma (10^{-8})$	10

III. 실험 및 결과고찰

시료는 모재료에 페라이트나 PZT유전체를 첨가하고 인장력과 휨특성 및 접착력과 고형상을 최대로 유지하며, 실험 측정에 의한 재료정수의 이론적 해석을 한다. 전자파 흡수능에 대한 실험측정은 네트워캐널라이저를 이용하고, 여기서 얻어진 s파라미터를 이용하여 반사계수와 투과계수를 계산하고, 이를 바탕으로 재료정수인 유전율과 투자율을 구하여 최적의 재료를 설계하도록 한다.

1. 수치해석

매질 I로부터 매질 II로 전송하는 입사파와 반사파 및 투과파의 전계를 각각 E_i, E_r, E_t 라 하며, 경계면에

서 반사계수(Γ)와 투과계수(T)가 반사되지 않고 $S=0$ 이 될 때 $T=1$ 이 된다. 이 경우 재료정수와 반사전력을 구하는 식은 다음과 같다.

수, 비유전율 $\epsilon_r = \epsilon''_r - j\epsilon'_r$, 비투자율 $\mu_r = \mu''_r - j\mu'_r$ 이고, 손실계수는 페라이트에서 $\tan\delta_\mu$ 가 크고 $\tan\delta_\epsilon$ 가 적다.

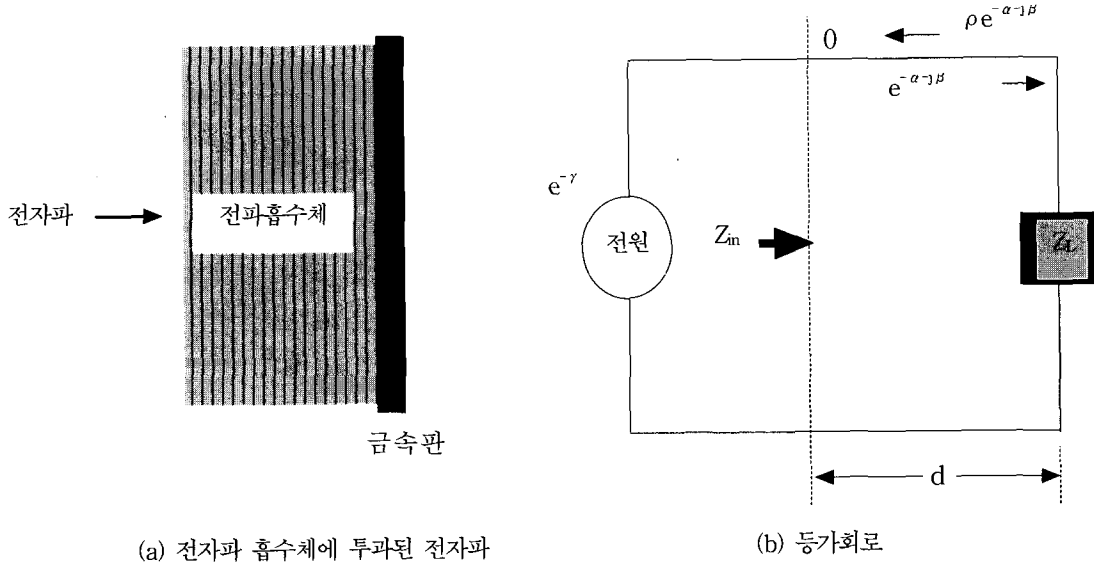


그림 1. 전자파 흡수체 투과 전자파
Fig. 1. Transmission of EM wave in MW absorber.

부하측에 대한 입력 임피던스는 $Z_L=0$ 일때 정규화하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Z_{in} = \frac{V(d)}{I(d)} = Z_C \frac{1 + \Gamma_L e^{2(-\alpha d - j\beta d)}}{1 - \Gamma_L e^{2(-\alpha d - j\beta d)}}$$

$$= Z_C \frac{(1 - e^{2(-\alpha d - j\beta d)})}{(1 + e^{2(-\alpha d - j\beta d)})} = \tanh(+\alpha d + j\beta d) \quad (1)$$

여기서 Γ 는 반사계수, α 는 감쇄계수, β 는 전파상수이다. $\alpha=0$ 인 매질에서 자유공간의 특성임피던스를 고려하면

$$Z_{in} = Z_C \tanh(+j\beta d) = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh(j 2\pi \frac{d}{\lambda_0} \sqrt{\mu_r \epsilon_r})$$

$$= \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh(j 2\pi \frac{fd}{c_0} \sqrt{\mu_r \epsilon_r}) \quad (2)$$

이다. 여기서 λ_0 는 자유공간 내 전자파 파장, C_0 은 자유공간 내 위상속도, d 는 흡수체 두께, f 는 전자파 주파

식(2)에서 $Z_{in}=50\Omega$ 동축케이블에 임피던스 매칭이 되는 경우 최적의 흡수체 두께(d)를 구할 수 있다.

$$d = \frac{1}{2jx_2} \ln \frac{(1+x_1)}{(1-x_1)} \quad (3)$$

단 변수 $x_1 = \sqrt{\frac{\epsilon_r}{\mu_r}}$, $x_2 = 2\pi f \sqrt{(\mu_0 \epsilon_0) \sqrt{\mu_r \epsilon_r}}$ 는 식(4)의 비유전율과 비투자율 값을 각 주파수에서 대입하여 상수가 된다.

$$\epsilon_r = \frac{jC_0}{\omega d} \frac{1-\Gamma}{1+\Gamma} \ln T \quad (4)$$

$$\mu_r = \frac{jC_0}{\omega d} \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} \ln T$$

여기서 T 는 투과계수이다.

$$P_{\text{총흡수전력}} = 1 - [S_{11}(\omega)^2 + S_{21}(\omega)^2] \quad (5)$$

ω 는 주파수 각속도, P 는 전자파 흡수전력을 나타낸다.

2. 실험결과 및 고찰^{[4][5]}

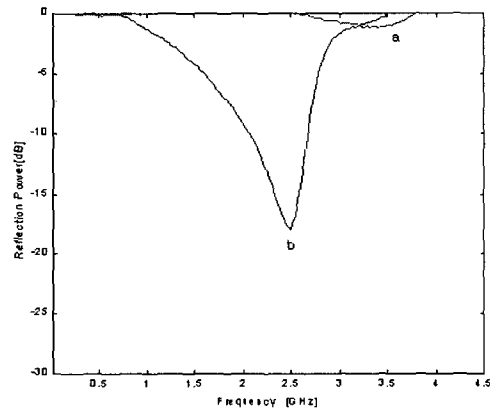
시료 제작은 모재료를 단일 재료하는 경우, Ni-Zn페라이트 첨가하는 경우, PZT유전체 첨가하는 경우, 페라이트와 PZT유전체를 동시에 첨가하는 경우로 분리하여 실험한다. 각 경우에 대한 실험 내용은 다음 표와 같다.

단 실험 방법에서 1 port에 끝부분을 단락시켜 측정하는 방법과 중앙에 시료를 넣고 2 port를 접속하는 2 가지 방법 모두 측정하였다. 이 경우 전자는 식(2)을 사용하고 후자는 식(5)를 사용하였다.

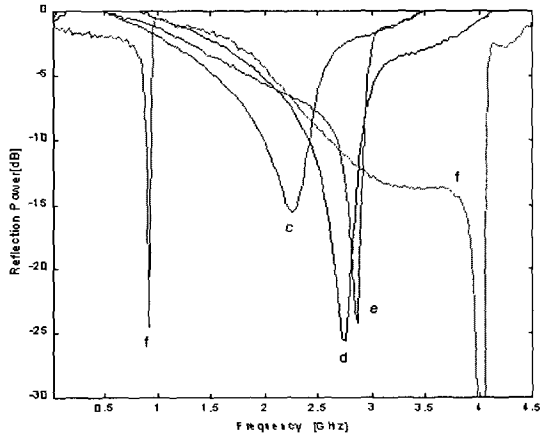
표 2. 실험측정의 경우

Table 2. Cases of experimental. (wt%)

	모재료	페라이트	PZT	두께(mm)
a	25	-	-	4
b	25	50	-	4
c	25	50	5	4
d	25	50	10	4
e	25	50	15	4
f	25	50	20	4



(a) a,b의 경우



(b) c,d,e,f의 경우

그림 2. 페라이트 유전체 복합 댐핑소재의 전자파 흡수능

Fig. 2. Characteristic of EM wave absorbing for composite material of ferrite, dielectric and damping material.

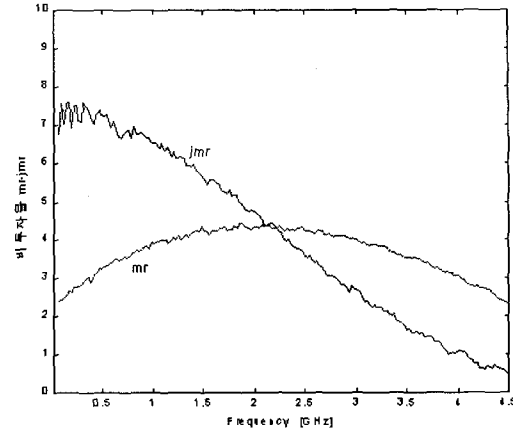


그림 3. 페라이트 분말의 비투자율(b의 경우)

Fig. 3. Permeability of ferrite powder in case of b.

실험 결과 a는 모재료가 탄소 성분이므로 전자파 흡수능을 기대하였지만 주파수 2.5~4.0GHz대역에서 -1dB~-2dB 정도 감쇠로 거의 변화가 없다. 다만 주파수대역이 높아질 경우 더 많은 흡수능을 기대할 수는 있지만 본 실험과는 무관한 특성으로 결정하였다.

실험 결과 b는 모재료에 페라이트를 1:2 비율로 혼합한 경우로 흡수전력 기준을 -10dB로 하여 중심주파수 2.58GHz에서 주파수 폭이 619MHz이 된다.

c,d,e,f는 b경우에 PZT량을 부가하여 혼합하였다. 이 경우 유전체 량에 따른 공진주파수 대역이 고주파 대역으로 이동하게 되었다. 또한 중심주파수에 대한 대역폭은 줄어들지만 f의 경우 공진주파수 대역이 2곳으로 나타내어 928MHz에서 57MHz 대역폭과 4.12GHz에서 1571MHz 대역폭을 가지므로 사용 용도를 고려할 만하다고 평가한다.

그림 3에서 $\mu'' > \mu'$ 인 경우에서 $f_m \cdot d_m = 2.29\text{GHz}$ 의 값을 추출해 낼 수 있었다. 추후 사용 주파수 대역을 VHF와 이동통신 주파수 대역인 900MHz 대역, 1.8GHz 및 2GHz 대역의 광대역 전자파 흡수체를 개발하고 이에 합당한 제진 특수성을 보유하는 재료를 만드는 것이다. 이를 위해 페라이트 흡수체의 재료를 Ni-Zn형에서 저주파 대역 사용 Mn-Zn형과 고주파 대역 사용 Ba형 페

라이트를 사용하여 사용 주파수 대역을 변경하고자 한다. 또한 주파수 정합을 위한 두께와 관계가 일정한 영역에서 $f_m \cdot d_m = C$ 경우에 사용 주파수를 하향하는 시도하고자 한다.

또한 실험 방법에서 반사전력 측정은 식(2)을 사용한 1 포트법과 식(6)을 사용한 2 포트법에서 결과가 일치하지 않아 결과값의 신뢰성 문제를 고려하여 일반적으로 사용하는 식(2)을 사용한 1 포트법으로 결과 측정했다. 2 포트법의 결과값 신뢰는 추후 계속적인 연구와 실험이 필요한 부분이다.

IV. 결 론

본 연구는 진동흡수 소재인 아스팔트 복합체에 전자파 흡수능을 부가하여 고부가 상품을 추구하고자 자성체와 유전체를 혼합한 제품 개발을 연구하여, 제진소재의 제진성을 유지하고 전자파 흡수능을 부가하였다. 실험 결과 공진 주파수는 2곳으로 전자기기 사용이 가장 많은 UHF대 중 928MHz와 2GHz에서 4GHz대역에서 전자파 흡수가 -10dB 이하이고, 주파수 대역폭이 페라이트의 협대역폭 한계를 1.57GHz이상 벗어난 혼합체를 개발하였다. 페라이트의 협대역 한계는 유전체 PZT 소재의 첨가로 극복한 것이다. 유전체 PZT의 특성은 유전체형 전자파 흡수체로 전자파 흡수능이 우수하며, 유전체와 페라이트 적층형에서 대역폭이 광대역화 하는 특성을 적용한 것이다.

추후 사용 2GHz에서 광대역폭 전자파 흡수체를 개발하고 이에 합당한 제진성을 보유하는 재료를 개발하는 것이다. 이를 위해 페라이트 흡수체의 재료를 변경하고, 유전체를 사용한 광대역 사용 흡수체를 개발하도록 한다. 또한 주파수 정합을 위한 두께와 관계가 일정한 영역에서 사용 주파수를 하향하는 시도하고자 한다.

미국 Penstate Univ. Post-Doc연수, 1991년 9월~현재
연세대학교 산업기술연구소 객원교수, 1991년 3월~현재
동서울대학 전기과 교수, 주관심분야: 전기재료(압전 세라믹)

참 고 문 헌

- [1] 신광호, 사공건, "Cu-Zn페라이트/고무 복합형 전자파흡수체에 있어서 PZT첨가가 전자파 흡수특성에 미치는 영향," 전기학회논문지 44권5호, pp 633-639, 1995. 5
- [2] B.T.Lee and H.C.Kim, "Prediction of Electromagnetic Properties of Mn-Zn Ferrite-Silicone Rubber Composites in Wide Frequency Range," Jrn.Appl. Phys., Vol 35(1996) part 1 No.6A, pp 3401-3406, 1996. 6.
- [3] 김한근, 신광호, 사공건, "S-band용 Ferrite/Rubber 복합형 전자파흡수체에 있어서 첨가물의 효과," 전기학회 논문지 43권 8호, pp 1317-1323, 1994. 8
- [4] F.Jones and S.J.Jang, "Microwave Absorbent Composites," Material Research Lab. Report, Pennsylvania State Univ., 1992. 4
- [5] 윤현보, "흡수체 설계 및 성능해석에 관한 연구," 한국전자파기술학회 연구보고서, 1994. 4

저 자 소 개



洪在 (正會員)
1958년9월26일생, 1982년 2월 연세
대학 전기공학과 졸업(공학사), 1987
년 2월 연세대학 대학원 전기공학과
과 졸업(공학석사), 1991년 8월 연
세대학 대학원 전기공학과 졸업(공
학박사), 1987년 2월~1988년 2월

姜廷震(正會員) 第 35卷 T編 參照

李相檜(正會員) 第s 35卷 T編 參照