

전자파 흡수능이 부가된 진동방지재 개발

홍재일, 이상철, 이상희, 강정진
 동서울대학

Development of the Damping Sheet with Electromagnetic Wave Absorption

Jae-Il Hong, Sang-Cheol Lee, Sang-Hoi Yi, Jung-Jin Kang
 Dong Seoul College

Abstract - In this paper, the composite damping sheet with electromagnetic wave absorption was developed and studied. The damping sheets with Ni-Zn ferrite, Mn-Zn ferrite and PZT were prepared by mixing, molding and drying. From the characterizing results, the optimal portion of the composite is 1:1:0.1 of Mn-Zn ferrite:Rubber:PZT. The maximum absorption was -30 dB at 860 MHz in the single structure and over -15 dB at 180 MHz and 860 MHz in the two or three layers.

1. 서 론

빌딩, 아파트, 주택 등 공동주택의 주거 성능은 차음 및 단열, 진동 성능 등으로 구분할 수 있고 차음 성능의 경우 상하층간의 바닥 충격음 저감과 벽체의 차음 등을 들 수 있다. 특히 상하층간 및 벽체의 소음 문제는 거주자들이 가장 예민하게 느끼는 부분으로 반드시 해결해야할 과제로 지적되고 있다.

(주)성창산업은 이러한 문제점을 해결하고자 연구한 끝에 페타이어를 잘게 자른 다양한 크기의 탄화고무와 특수 접착제를 혼합한 후 타르를 중이에 함침시켜 판상으로 만든 "Sound Down"이라는 차음 및 진동 방지재를 개발하여 아파트 및 빌딩에 공급 시공하여 시공된 건물은 차별화된 고급 주택으로서 각광을 받고 있다.

Sound Down의 특징은 각종 소음을 역청지에 의해 1차로 차음 및 진동을 감소시키고 약화된 투과음은 다양한 크기의 고무층에 의해 음의 확산 및 전달을 막아주며 동시에 고무층의 기공층은 짧은 시간 내에 음이 소멸되도록 3중 구조에 의한 다단계 차음 부양공법이 적용되었다. 타르를 함침시킨 역청지층은 방수는 물론 부패를 방지하여 변형을 일으키지 않으며 타이어 추출물인 탄화고무층은 타이어 제조 시 고무 자체의 화학적 변화를 막기 위해 첨가된 노화방지재와 물리적인 변화를 막기 위해 첨가된 카본블랙과 실리카 등의 보강재 및 여러 가지 충전재로 인하여 내화학적, 내한성, 내열노화성 등 안정성이 뛰어나다. 10 mm 두께의 Sound Down으로 10~23 dB의 차음 효과를 얻을 수 있으며 0.045 kcal/mh²C의 단열성, 그리고 2200 kg/m³로 설계된 내압축성의 성능도 갖고 있어서 여러 가지 복합적으로 우수한 재료인 것이다.

그러나 21세기 정보화 사회를 맞이하여 TV, 냉장고, 전축 등의 가전제품 외에 컴퓨터, 핸드폰 등의 전자통신제품의 폭발적인 사용 증가로 인해 전자파로 인한 인체의 영향뿐만 아니라 타 기기 간의 간섭을 해결해야할 필요성이 대두되고 있다.

본 연구에서는 이미 공동주택의 층간 차음 및 진동방지재로 사용되고 있는 Sound Down이라는 제품에 Ni-Zn 페라이트 또는 Mn-Zn 페라이트, PZT 세라믹 등의 전자파 흡수재를 첨가하므로써[1,2,3] 전자파 흡수능을 부가하여 진동방지재의 고부가성을 추구하고자 하며 구체적인 목표는 다음과 같다. 첫째, 차음 및 진동방지

재의 기능을 유지 및 향상시키고 둘째, 광대역(VHF 및 900MHz)에서 전자파 흡수능을 나타내도록 하고자 하였다.

2. 실험

2.1 측정용 시편의 제조 공정

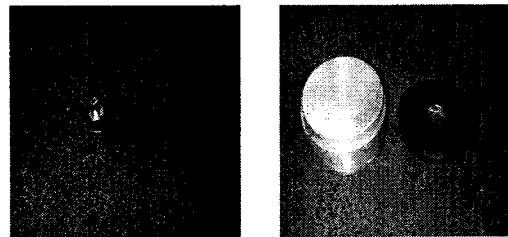
(1) 원료 준비 : 전자파 흡수능이 부가된 진동방지재는 복합 기능성 재료이므로 크게 전자파 흡수능을 가진 재료와 진동 흡수능을 가진 재료로 이루어진다. 전자파 흡수능을 가진 재료로는 자성체, 도전체, 유전체 등이 있는데 본 과제에서는 자성체와 유전체를 사용하였다.

자성체로는 Ni-Zn, Mn-Zn을 유전체로는 PZT-5계인 EC-65 세라믹을 사용하였으며 높은 투자율과 유전율을 유지하기 위하여 소결체를 다시 분쇄하여 분말로 만들어서 준비하였다. 진동을 흡수하는 재료로는 페타이어를 그레놀 형태(3-5mm)와 화이버(10-30mm) 형태로 분쇄한 것을 사용하였으며 이들을 결합하는 접착제는 폴리머계를 사용하였다.

(2) 혼합 : 분쇄한 페타이어, 페라이트, 세라믹을 중량비에 따라서 용기에 담아 완전하게 혼합한 후 접착제를 적당량 넣어서 다시 혼합하였다. 그러나 공장에서는 페타이어에 페라이트와 세라믹을 첨가 혼합할 때 다음과 같은 세 가지 방법으로 시제품을 제조하였다.

첫째 방법은 실험실의 경우와 같이 원료를 처음부터 혼합하는 방법이고, 둘째 방법은 완성된 페타이어 위에 첨가물을 살포하는 방법이고, 셋째 방법은 Sound Down의 바탕지로 사용하는 타르 함침지에 첨가물을 살포하는 것이었는데 세 가지 방법 중에서 가장 좋은 방법은 첫째 방법이었다.

(3) 성형 : 혼합된 시료를 그림 1과 같이 두 가지 형태(7mm ϕ , 133mm ϕ)의 원통형 금속 몰드에 넣어서 유압프레스를 이용하여 100 kg/cm²의 압력으로 단축 성형하였다. 그림 1에는 두 가지 형태의 금속 몰드와 시편을 나타내었다.



(a) 7mm ϕ (b) 133mm ϕ

그림 1. 금속 몰드와 시편

Fig. 1. Metal molder and specimen

(4) 건조 : 성형된 시료를 평판 위에 올려놓고 경화 시간을 단축하기 위하여 약 100 $^{\circ}$ C의 전기오븐에서 건조시켰다.

위와 같은 제조공정은 실험실에서 소량의 시편 제조 시 이용한 방법이며, 대량 생산하는 공장에서는 성형 공정과 건조 공정을 연속적으로 하기 위하여 롤러와 컨베이어를 이용한다.

2.2 전자파 흡수능 측정 방법

(1) 7 mm 홀더(Air line)에 의한 측정 : 유압 프레스를 이용하여 내경 3 mm와 외경 7 mm의 원통형으로 성형하여 제조된 시편을 홀더에 끼우고 30 kHz에서 6 GHz 까지 측정 가능한 Network Analyzer(HP 8753E)를 사용하여 1 port법으로 s11을 측정하였다. 이 측정법은 1 GHz 이상의 고주파수에서 전자파 흡수능을 측정 시 사용하며 측정장치의 사진을 그림 4에 나타내었다.

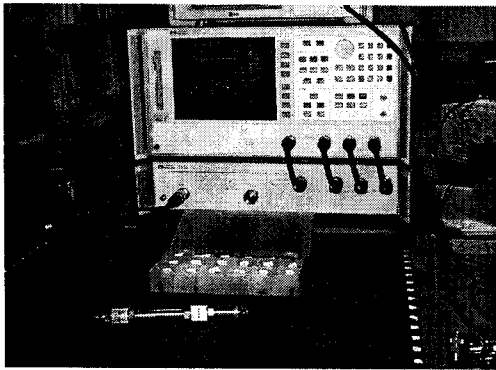


그림 2. 7mm 홀더에 의한 전자파 측정장치
Fig. 2. Electromagnetic measurement system by 7mm holder

(2) Specimen Holder에 의한 측정 : 유압프레스를 이용하여 외경 133 mm의 원판형으로 성형하여 제조된 시편을 1.5GHz 미만의 주파수대역에서 사용하는 Specimen Holder에 끼우고 30 kHz에서 6 GHz까지 측정 가능한 Network Analyzer(HP 8753E)를 사용하여 1 port법으로 s11을 측정하였다. 측정장치의 사진을 그림 4에 나타내었다.

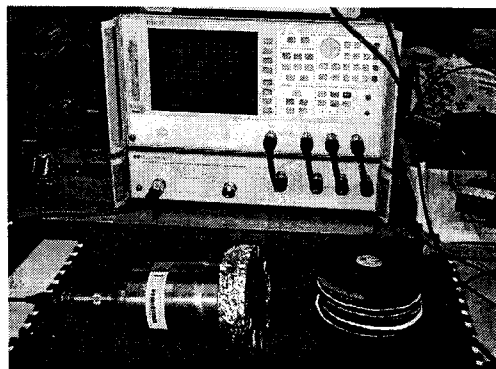


그림 3. Specimen holder에 의한 전자파 측정장치
Fig. 3. Electromagnetic measurement system by specimen holder

3. 결과 및 고찰

3.1 구성 성분에 따른 흡수능

(1) 페타이어 성분 : 페타이어도 일반 타이어의 성분과 마찬가지로 고무 50 %, 카본블랙 40 %, 가교제 및 노화 방지제 10 %로 구성되어 있다. 이 중에서 보강제로 사용되는 카본블랙은 주성분이 탄소이므로 어느 정도 전자파를 흡수하지만 실용적으로 이용할 정도는 아니다.

(2) 페라이트의 재료 특성

전자파 흡수체로 주로 사용되는 페라이트는 Ni-Zn, Mn-Zn 이며 일반적으로 Ni-Zn 페라이트는 1 GHz 이상의 고주파 대역에서, Mn-Zn 페라이트는 1 GHz 이하의 고주파 대역에서 사용된다.

표 1에는 참고적으로 Ni-Zn 페라이트와 Mn-Zn 페라이트의 주요 재료 정수를 나타내었다.

표 1. Ni-Zn 페라이트와 Mn-Zn 페라이트의 주요 재료 정수

Table 1. Material constants of Ni-Zn ferrite and Mn-Zn ferrite

항 목	Ni-Zn 페라이트	Mn-Zn 페라이트
밀도[kg/m ³]	4850	4500
투자율[μ iac]	2000	7500
손실계수[tan δ / μ iac]	25×10^{-6}	6×10^{-6}
큐리온도[$^{\circ}$ C]	100	120
포화자속밀도[mT]	260	430
잔류자기[mT]	100	120
항자계[A/m]	12	709

(3) 세라믹의 재료 특성

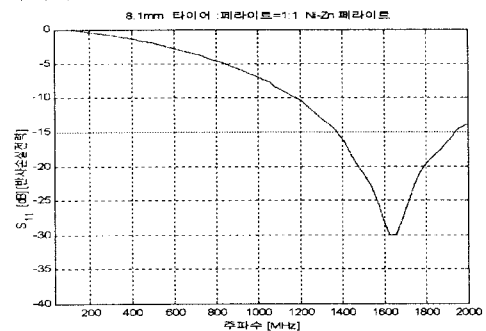
본 과제의 실험에서 사용한 세라믹은 PZT5계 세라믹으로 Edo사 제품인 EC-65를 이용하였으며 주요 재료 특성은 표 2와 같다. PZT5계 세라믹은 전자파 흡수능에서 광대역화에 큰 역할을 하는 것으로 알려져 있다[4].

표 2. EC-65의 주요 재료 특성

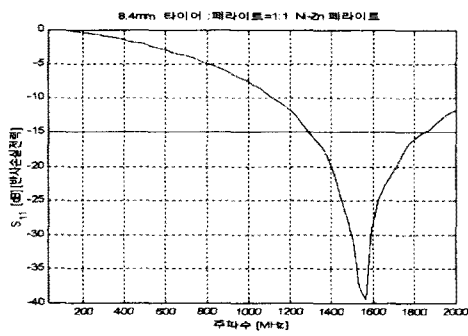
Table 2. Material constants of EC-65

항 목	EC-65(Edo사PZT5계)
밀도[kg/m ³]	7500
유전율 K_{33}^1	1725
큐리온도[$^{\circ}$ C]	350
전기기계결합계수	0.62
압전상수 d_{33} [10 ⁻¹² m/V]	380
탄성률 Y_{33} [N/m ²]	6.6×10^{10}

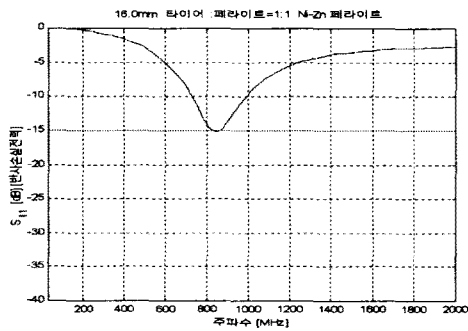
그림 4는 Ni-Zn 페라이트를 사용하여 페타이어에 혼합했을 때(페타이어:페라이트:PZT 세라믹 = 1:1:0.1) 시편의 두께에 따른 전자파 흡수능을 7 mm 홀더로 측정한 결과이다.



(a) d = 8.13 mm



(b) $d = 8.38 \text{ mm}$



(c) $d = 16.0 \text{ mm}$

그림 4. Ni-Zn 페라이트 첨가된 시편의 두께에 따른 전자파 흡수능

Fig. 4. Electromagnetic wave absorption with the thickness of Ni-Zn ferrite added specimen

일반적으로 전자파 흡수체에서는 최대 흡수능을 나타내는 공진주파수를 f , 시편의 두께를 d 라고 할 때, $f \cdot d = C$ (여기서 C 는 상수)라는 공식에 따른다.

Ni-Zn 페라이트를 첨가한 시편의 경우 흡수능은 -30, -40, -15dB로 일관된 경향성은 없었으나 시편이 두꺼울수록 공진 주파수가 낮아지는 경향을 나타냈다. 그림 5의 결과를 정리하면 표 3과 같다.

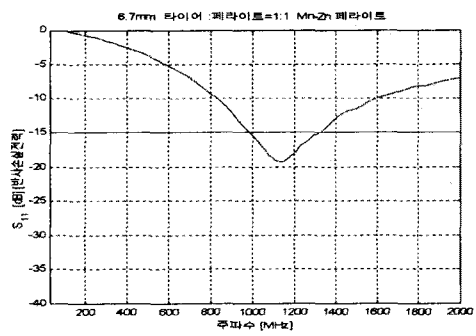
그러므로 공진 주파수를 낮추기 위해서는 시편을 두껍게 제조해야 한다는 것인데 이것은 경제적인 문제와 실용적인 문제라는 관점에서 그렇게 바람직하지는 않다.

표 3. Ni-Zn 페라이트 첨가된 시편의 두께에 따른 전자파 흡수능 측정 결과

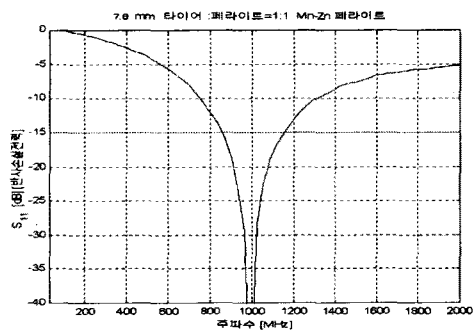
Table 3. Electromagnetic wave absorption results with the thickness of Ni-Zn ferrite added specimen

시편의 두께 $d[\text{mm}]$	공진주파수 $f[\text{MHz}]$	C 상수 $[\text{MHz} \cdot \text{mm}]$
8.13	1623	13200
8.38	1575	13200
16.0	825	13200

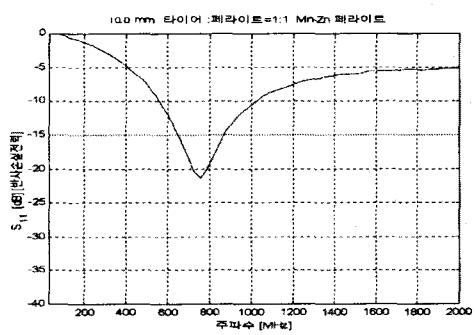
그림 5는 Mn-Zn 페라이트를 사용하여 페타이어에 혼합했을 때(페타이어:페라이트:PZT 세라믹 = 1:1:0.1) 시편의 두께에 따른 전자파 흡수능을 7 mm 홀더로 측정 한 결과이다.



(a) $d = 6.70 \text{ mm}$



(b) $d = 7.77 \text{ mm}$



(c) $d = 10.03 \text{ mm}$

그림 5. Mn-Zn 페라이트 첨가된 시편의 두께에 따른 전자파 흡수능

Fig. 5. Electromagnetic wave absorption with the thickness of Mn-Zn ferrite added specimen

전자파흡수능은 두께에 따라서 -18, -40, -22 dB로서 Ni-Zn 첨가한 시편과 마찬가지로 일관된 경향이 나타나지 않았다.

표 4에는 그림 5으로부터 $f \cdot d = C$ 라는 공식을 증명하는 결과를 나타내었다. Mn-Zn 페라이트를 첨가한 시편들이 Ni-Zn 페라이트를 첨가한 시편 보다 전반적으로 공진 주파수가 낮았으며 이 결과도 역시 시편이 두꺼워질수록 공진 주파수가 낮아짐을 보여주고 있다. 두께 10mm 시편의 경우 공진 주파수가 775 MHz으로 핸드폰의 사용주파수 대역이어서 상당히 유용할 것으로 보인다.

표 4. Mn-Zn 페라이트 첨가된 시편의 두께에 따른 전자파 흡수능 측정 결과

Table 4. Electromagnetic wave absorption results with the thickness of Mn-Zn ferrite added specimen

시편의 두께 d[mm]	공진주파수 f[MHz]	C 상수 [MHz · mm]
6.70	1160	7772
7.77	1000	7772
10.03	775	7772

3.2 구조에 따른 전자파 흡수능

전자파 흡수능을 VHF대역에서 UHF대역까지 확대시키기 위하여 133 mm ϕ ×10 mm 시편을 그림 6과 같이 단층형, 2층형과 3층형으로 제작한 후 Specimen holder를 이용하여 전자파 흡수능을 측정하였으며 그 결과는 다음과 같다.

2층으로 적층 시에 각 층의 위치는 주요 전자파 흡수층인 페타이어+페라이트+PZT 세라믹(1:1:0.1)층을 전면으로 하였으며 페라이트는 후면으로 배열하였다. 3층으로 적층 시에는 2층형의 전면에 페타이어층을 한층 더 적층하였다.

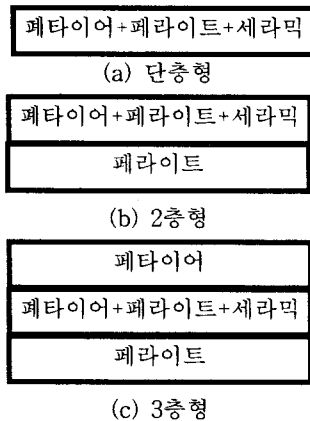


그림 6. 층수에 따른 시편의 종류
Fig. 6. Specimen with the layer

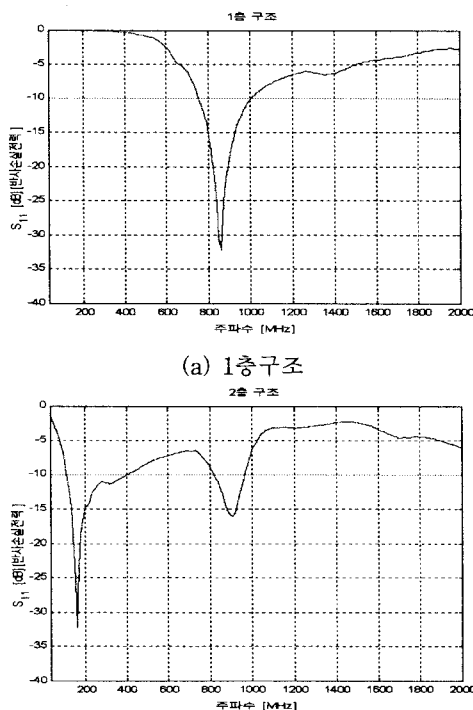


그림 7. 층수에 따른 전자파 흡수능
Fig. 7. Electromagnetic wave absorption with the layers

그림 7에는 층수에 따른 전자파 흡수능을 측정한 결과를 나타내었다. 그림 7(a)의 단층형에서는 중심 주파수가 860 MHz에서 -32 dB의 단일 공진을 나타내었으며 그림 7(b)의 2층형에서는 중심 주파수가 180 MHz와 860 MHz에서 각각 -32 dB와 -17 dB 2개의 공진을 나타내었다. 또한 그림 7(c)의 3층형에서도 2층형과 비슷하게 중심 주파수가 180 MHz와 860 MHz에서 2개의 공진을 나타내었는데 전자파 흡수능은 각각 -35 dB와 -27 dB로 더 우수하였다.

이러한 결과는 두께에 따른 전자파 흡수능의 결과와는 다르며, 여러 층으로 적층하여 시료가 두꺼워질수록 저주파수대역에 또 다른 공진 주파수가 생기고 전자파 흡수능도 증가하는 것을 알 수 있었다. 배열 순서에 따라서 특성이 다르게 나타났으며 대체적으로 부드러운 재료의 층이 전면에 올수록 전자파 흡수능이 우수하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 페타이어로 만든 차음 및 진동방지에 Mn-Zn 페라이트와 PZT 세라믹을 1:1:0.1로 혼합하여 복합체(composite)를 제조하였다. 그 결과 복합체는 860 MHz를 중심으로한 UHF 대역에서 -30 dB의 전자파 흡수능을 나타내었으며 복합체와 페라이트의 2층 구조와 페타이어, 복합체와 페라이트의 3층 구조에서는 180 MHz 중심의 VHF 대역과 860 MHz 중심의 UHF 대역에서 -15dB 이상의 전자파 흡수능을 나타내었다. 그 중에서도 3층 구조의 흡수능이 가장 우수하였다.

따라서 본 연구에서 개발된 제품은 사용자가 필요한 주파수 대역에 따라서 선택할 수 있는 장점이 있으며 앞으로 층 구조의 조합에 대하여는 더 많은 연구가 이루어져야 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] W. H. Emerson, "Electromagnetic Wave Absorbers and Anechoic Chambers through the Years", IEEE Trans., Vol.21, No.4, pp.484-490, 1973
- [2] 신광호,사공건, "Cu-Zn페라이트/고무 복합형 전파흡수체에 있어서 PZT 첨가가 전파흡수특성에 미치는 영향", 전기학회논문지 제44권 제5호, pp.633-639, 1995.5
- [3] 内藤喜二, 未武國弘, 蘇原英二, 佐藤正明, "コム状のフェライト吸収壁の電波吸収特性", 電子通信學會論文誌, Vol. 52, No.4, pp.242-247, 1969
- [4] 홍재일, 강정진, 이상희, "유전체 PZT와 페라이트 소재를 첨가한 층적흡수체의 전자파 흡수능", 전자공학회논문지 Vol.37TE, No.2, pp.91-95, 2000