

## 제진재가 삽입된 바닥 구조의 진동특성

Vibration Characteristics of the Floor Structures inserted with Damping Materials

정 영\* · 유 승엽\* · 전 진용\*\* · 박 준홍\*\*\*

Young-Jeong, Seung-Yub Yoo, Jin-Yong Jeon, Jun-hong Pack

**Key Words :** Floor Impact Sound(바닥충격음), Heavy-weight Floor Impact(중량충격), Natural Frequency(고유진동수)

### ABSTRACT

Damping materials encompass a broad range of materials, including, but not limits to, pressure sensitive adhesives, epoxies, rubbers, foams, thermoplastics, enamels and mastics. Their common characteristic is that their modulus is represented by a complex quantity, possessing both a stored and dissipative energy component. Loss factor of damping material analyzed more than 2 times than rubber to 1.5 ~ 2.3, could know that Damping layer has excellent attenuation performance in side of vibration reduction. Measurements of vibration using accelerometers by adhesion of Damping layer, square Plate by Separation of Damping layer is less binding of Damping layer, analyzed low loss factor and Natural Frequency by free Vibration of Square Plate.

### 1. 서 론

공동주택에서 발생되고 있는 바닥충격음은 거주자들의 생활을 침해하는 중요한 요인으로 적극적인 대처가 요구되고 있으며, 충격소음 중 실제적인 불만요인 중량충격원에 의한 바닥충격음 저감 대책으로 건교부에서는 2005년 7월 중량충격음 차단성능에 대한 법적 최저기준을 마련하여 시행하고 있다.

건교부 “주택 건설기준 등에 관한 규정” 시행령의 주요내용은 기본구조로써 벽식 바닥구조의 바닥 슬라브 두께를 증가시키는 것과, 구조형식을 라멘구조로 활용하는 것이다.

기본구조로서 바닥충격음 저감 방법은 기존 연구<sup>1)</sup>에서 제시된 것으로 건축 구조물과 탄성차음재를 1자 유도계로 모형화하여 그 특성을 분석하므로 바닥충격음을 제어 하고자 하는 접근의 방안으로 제시된 결과이다.

또한 슬라브의 두께 증가 방법은 실질적인 효과는 어느 정도 있을 것으로 기대되나, 고 비용의 차음방식으로 공동주택 내 바닥구조의 슬라브와 경량기포콘크리트 구조체 사이에 단열재 삽입이 법제화된 현 시점에서 실제적인 저감효과를 얻기에는 많은 문제를

가지고 있는 방안이다.

본 연구에서는 그동안 연구되어 제시된 단열 바닥구조체에 삽입되는 탄성차음재 활용 개념에서 벗어나 충격 에너지 소산에서 효과적인 제진층 삽입개념의 활용을 검토하고자 한다.

보 혹은 평판의 감쇠처리를 이용한 소음 진동 저감 기술은 이미 기존 연구<sup>2)</sup>를 통해 제안되었으나, 실용화 기술은 최근에 이르러 현실화되고 있으며 자동차, 가전제품 등의 분야에서 많이 적용되고 있다. 본 연구에서는 공동주택 바닥 구조체에 제진층이 삽입된 바닥구조에 대하여 시공조건에 따른 진동특성을 분석하고, 실험방법을 검토하여 샌드위치 보/평판 이론의 적용방안 및 유효성을 검토하고자 한다.

### 2. 제진재의 점탄성 특성

#### 2.1 점탄성 특성

점탄성 재료는 외부에서 힘이 가해질 경우 에너지의 일부는 복원 가능한 탄성에너지로 저장하고 나머지를 열에너지 등으로 발산시키는 성질을 가지는 재료로서 강성과 감쇠를 동시에 가지고 있다. 점탄성 재료에 동적 하중이 작용할 때 발생하는 응력과 변형율 간에는 위상차가 발생한다. Fig 1은 점탄성 재료에 주기적으로 작용하는 하중에 대한 응력과 변형율의 관계를 보여주고 있다.

\* 한양대학교 건축공학과

\*\* 한양대학교 건축공학부 부교수

\*\*\* 한양대학교 기계공학과 전임강사

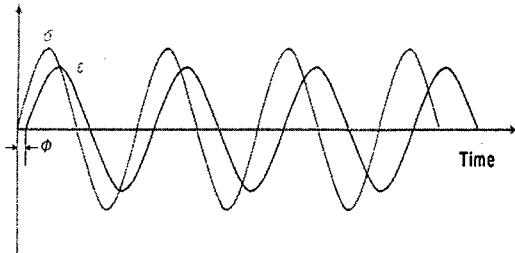


Fig. 1 Damping mechanism in terms of stress ( $\sigma$ ) and strain ( $\epsilon$ ).

응력과 변형을 간에 위상차가 발생할 경우 복소탄성계수( $E^*$ )의 개념을 도입하여 다음과 같이 표시 한다.

$$E^* = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{\sigma_0}{\epsilon_0} e^{i\phi} = E' + iE'' \quad \dots \dots \dots (1)$$

응력과 동일 위상 부분( $E'$ )을 Young's modulus, 위상차가 발생한 부분( $E''$ )을 Loss modulus라고, 이들의 비를 손실계수( $\eta$ )로 정의한다.

$$\eta = \frac{E''}{E'} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

일반적으로 점탄성 재료의 성질은 비선형이나 변형율이 상대적으로 작다면 선형으로 간주하여 그 동특성을 탄성계수  $E$ 와 손실계수  $\eta$ 를 이용하여 다음과 같이 표현한다.

$$E^* = E(1 + i\eta) \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

## 2.2 물성 시험

본 연구에서는 제진재의 물성치 시험을 위하여 점탄성 재료 시험기(DMA 2980)를 이용하여 온도변화와 주파수에 따른 제진재의 물성 변화를 분석하였다.

Table 1 Examination condition

구 분	시 험 조 건
온 도 조 건	25, 30, 35, 40 °C
주 파 수	5~50Hz
변 위 조 건	동적 변위 : 15 um 예 하중 : 0.01N
시 편	지름 : 20.5mm, 높이 : 6~6.9mm

구 분	점탄성 재료 시험기(DMA 2980)
온 도 조 건	-145~600°C
최 대 하 중	18N(동하중+정하중)
변 위 조 건	정적변위(25mm), 동적변위(0.5~10000um) 변위 분해능(1nm)
시 편	높이 10mm이하, 지름 40mm이하(압축시험편 기준)

Figure 2의 (a, b)는 감쇠 재료의 온도 및 주파수에 따른 저장탄성계수(Storage modulus)와 손실계수(Loss factor)를 나타낸다. 온도 증가에 따라서 저장탄성계수의 감소와 손실계수의 증가를 보이고, 주파수의 증가에 따라서는 저장탄성계수의 증가와 손실계수의 감소를 보이고 있다.

온도의 증가에 따라 제진총이 연화되는 현상으로부터 온도에 따른 거동을 유추해 볼 수 있고, 주파수에 따른 거동도 일반적인 점탄성 재료의 거동과 일치하고 있다. 본 연구에서 주요 관심 대상인 제진재의 손실인자(loss factor)는 1.5~2.3사이로 고무에 비해서도 2배 이상의 손실계수를 보이며, 이는 진동저감의 측면에서 제진총이 탁월한 감쇠성능이 있음을 알 수 있다.

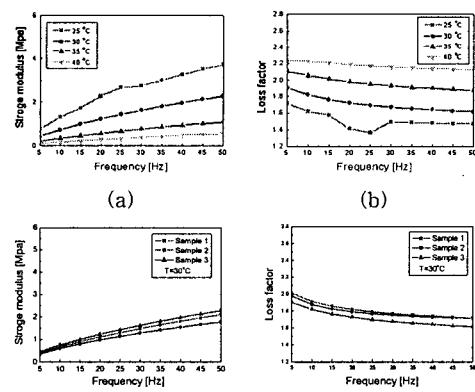


Fig. 2 Properties of damping materials by frequency and temperature

Table 2 Loss factor of materials

Material	Loss factor
Damping materials	1.40 ~ 2.20
Aluminum	$2 \times 10^{-5}$ ~ $2 \times 10^{-3}$
Concrete	0.02 ~ 0.06
Rubber	0.1 ~ 1
Steel	0.002 ~ 0.01
Wood	0.005 ~ 0.01

Figure 2의 (c, d)는 동일한 형상을 가지는 3개의 시험편에 대하여 일정온도(30°C)에 대해 주파수에 따른 실험을 수행한 결과이다. 저장탄성계수와 손실인자의 표준편차(Standard deviation)가 각각 0.22 Mpa, 0.07 이었으며, 이로부터 실험으로 추출된 제진재 물성치의 신뢰성을 확보할 수 있었다.

### 3. Square Plate 실험

#### 3.1 콘크리트 슬라브와 바닥 모루타르 물성치 추출

이전 연구<sup>3)</sup>를 통해 발표된 제진재의 삽입에 따른 소음·진동 특성에 대한 실험에서 제진재를 적용한 구조는 제진재를 시공하지 않은 구조와 비교하여 공진 주파수가 증가하였으며, 진동가속도 응답파장이 짧아지고, 진동가속도레벨이 감소되는 결과가 나타났으며, 바닥충격음 측정을 위한 중량충격원의 에너지 스펙트럼에서도 충격에너지가 집중되어 있는 63Hz 대역에서 완충재를 적용한 구조와 비교하여 음압레벨이 현저히 저감되는 결과를 나타내었다.

본 실험에서는 현재 실제 공동주택 바닥구조물과 동일한 두께로 제작한 시험체를 대상으로 현재 제안되어 사용되고 있는 이론식 검증이 적합하지 않으므로 얇은 평판이론 적용이 가능한 축소 평판 시험체를 제작하여 각 재료별 물리적 특성을 측정하였다.

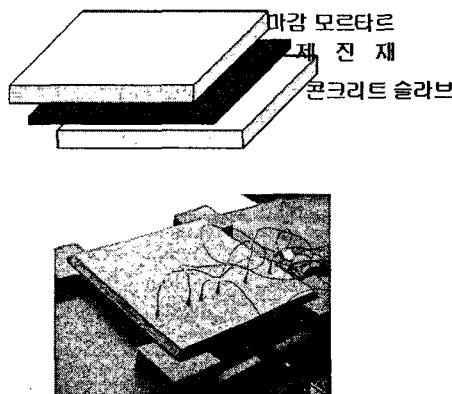


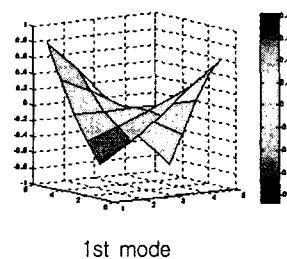
Fig. 3 Measurements of vibration using accelerometers for free-free square plate

시험체의 크기는 1000×1000mm와 500×500mm로 구분하여 시험하였다. Figure 3는 제작된 시험체와 시험체를 통한 물성치 측정에 대한 것으로 Impact 테스트를 통한 고유진동수의 측정과 탄성계수 사이의 관계식을 이용하여 계산하였다.

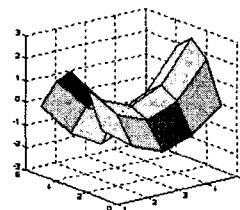
$$f = \frac{\lambda^2}{2\pi a^2} \left[ \frac{Eh^2}{12\rho(1-\nu^2)} \right]^{1/2} \quad \dots\dots\dots(4)$$

Table 3 Properties of square plates

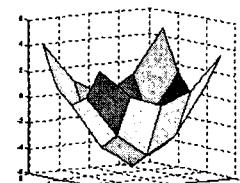
구 분	$E$ (Gpa)	
모루타르	500×500mm	11.2 ~ 12.4
	1000×1000mm	15.5 ~ 17.2
슬라브	500×500mm	40.9 ~ 41.3
	1000×1000mm	34.5 ~ 35.4



1st mode



2nd mode



3rd mode

Fig. 4 Mode shape

#### 3.2 제진층이 삽입된 구조층의 접착에 따른 특성

Fig 5는 제진재을 삽입하지 않은 축소 평판시험체의 주파수 응답특성을 분석 하였으며, Fig 6은 제진층이 삽입된 축소 평판시험체에서 제진층이 상하부면 바닥 모루타르 및 바닥콘크리트 슬라브와의 접착 여부에 따라 나타나는 진동 특성을 검토하여 제진층 삽입구조의 특성에 대한 영향을 분석한 결과이다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 그동안 업계에서 사용되어 왔으나, 중량충격음 저감에 효과적이지 않은 것으로 밝혀진 구조체용 삽입되는 단성차음재 대신에 공동주택 바닥 구조체에 제진층이 삽입된 바닥구조의 시공조건에 따른 진동특성을 분석하였다.

먼저 온도 증가에 따른 제진층이 연화되는 현상으로부터 온도에 따른 거동을 유추해 볼 수 있었으며, 주파수에 따른 거동도 일반적인 점탄성 재료의 거동과 일치함을 보였다.

제진재의 손실계수는 1.5~2.3사이로 고무에 비해서 2배 이상으로 나타났으며, 진동저감의 측면에서 제진층이 탁월한 감쇠성능이 있음을 알 수 있었다.

축소 평판시험체에 삽입된 제진층이 상하부면의 바닥 모르타르 및 바닥콘크리트 슬라브와의 접착 여부에 따라 나타난 진동 특성을 검토한 결과, 제진층이 분리된 시험체는 제진층의 전단변형이 적어 접착된 평판 시험체의 제진층 결과와 비교하여 손실계수가 낮게 나타났으며, 제진층의 구속이 적으므로 시험체의 자유로운 진동으로 인해 낮은 고유진동수를 나타내었다.

#### 참 고 문 헌

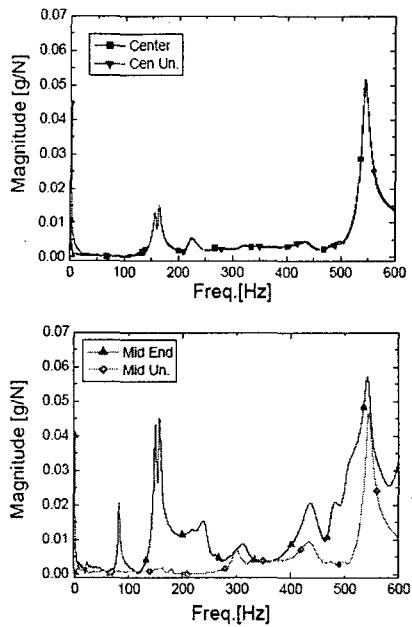
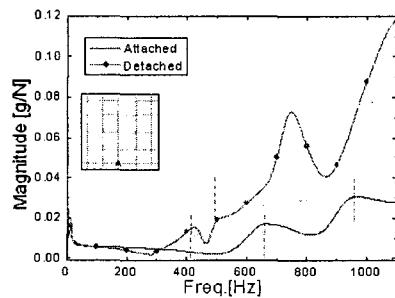
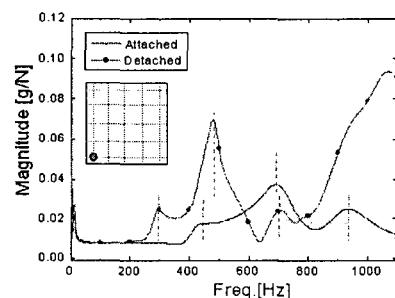


Fig. 5 Measurements of vibration using accelerometers of square plate not inserted with damping layer



(a) Adhesion (mid end)



(b) Separation (corner)

Fig. 6 Measurements of vibration using accelerometers by adhesion of Damping layer

(1) 대한주택공사, 2001, "공동주택 바닥충격음 차단 성능기준 설정연구".

(2) D.J. Mead, S. Markus, "The forced vibration of a three-layer, damped sandwich beam with arbitrary boundary conditions", JSV(1969), 163-175.

(3) 정 영 외, 2004, "충격음 저감재의 동특성과 실험실 경량충격음레벨 저감량의 상관관계", 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집, pp.191~195.

(4) M.P. Norton, "Fundamentals of noise and vibration analysis for engineers", Cambridge University Press, Cambridge, 1989.

(5) M. kerwin, "Damping of plate flexural vibrations by means of viscoelastic laminae", ASME (1959), 49-88

(6) R.A. DiTaranto, "Theory of vibratory bending for elastic layered finite-length beams", ASME (1965), 881-886