

# 완충재의 구성에 따른 동탄성계수 변화에 관한 연구

## A Study on Dynamic Stiffness of Multi-layered Damping Materials

임 정 빈<sup>†</sup> · 정 진 연\* · 김 경 우\*\* · 정 갑 철\*\*\*

Jung-Bin Im, Jin-Yeon Chung, Kyoung-Woo Kim and Gab-Cheol Jeong

**Key Words** : Dynamic stiffness(동탄성계수), Multi-layered damping material(다층구조 완충재), Floor impact noise(바닥충격음)

### ABSTRACT

Many kind of damping materials are generally used on concrete slab in apartment building to reduce floor impact noise level. Lately, multi-layered damping material that is consist of several materials are used to improve the effect of floor impact noise insulation. In this study, dynamic stiffness of multi-layered damping material that is consist of common materials such as expanded polystyrene(EPS), expended polyethylene(EPE), ethylene vinyl acetate(EVA) and polyester was investigated. It was found that dynamic stiffness of multi-layered damping material could be estimated if know value of each layer that compose whole structure. And it was found that dynamic stiffness of whole structure did not change even if change order that build layer.

### 1. 서 론

공동주택에 대한 층간소음기준이 법으로 규정되어 2005년 7월부터 시행됨에 따라 모든 공동주택은 건설교통부에서 고시한 표준바닥구조 또는 한국건설기술연구원이나 대한주택공사에서 성능을 인정한 인정바닥구조로 시공되고 있다. 표준바닥구조와 인정바닥구조 모두 층간소음을 저감시킬 수 있는 요소는 슬래브 상부의 바닥충격음 저감재(완충재)로서 건설교통부에서는 ‘공동주택 바닥충격음 차단구조 인정 및 관리기준’에서 표준바닥구조용 완충재의 동탄성계수를  $40\text{MN/m}^3$  이하, 손실계수는 0.1~0.3의 범위가 되도록 규정하고 있다<sup>(1)(2)</sup>.

완충재의 성능을 평가하는 여러 항목 중 동탄성계수와 손실계수는 슬래브 상부 바닥구조의 동적 특성을 결정짓는 주된 요소로서 바닥충격음과도 밀접한 관련이 있는 것으로 조사되고 있다. 기존 연구에 의하면 완충재의 동탄성계수가 낮을수록

경량충격음의 차단효과가 증가하는 것으로 나타났으나<sup>(3)</sup>, 중량충격음과의 상관관계에 대해서는 아직 명확히 제시된 바가 없다<sup>(4)</sup>. 그러나 완충재의 동탄성계수가 낮을수록 중량충격음의 차단효과 역시 대부분 증가하는 것으로 파악되고 있다.

현재 국내에서 사용되고 있는 완충재의 소재는 가장 일반적인 EPS(발포폴리스티렌)를 비롯하여 EPP(발포폴리프로필렌), EVA(에틸렌 비닐 아세테이트), EPE(발포폴리에틸렌), PU(폴리우레탄), 고무, 기타 복합소재 등 그 종류가 매우 다양하다. 최근에는 동탄성계수를 낮추기 위해 여러 소재를 적층한 복합 구조의 완충재도 있으나, 특별한 기준 없이 주로 완충재의 구성을 임의로 변경해가면서 바닥충격음 저감량이 최대인 조합을 찾는 방식으로 제품을 개발하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 현재 국내에서 주로 사용되고 있는 완충재를 대상으로 완충재의 구성에 따른 동탄성계수의 변화를 고찰하여 다층구조 완충재의 동탄성계수를 예측할 수 있도록 함으로써 상위 등급의 인정바닥구조 개발시 시행착오를 줄일 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

### 2. 동탄성계수 측정방법

동탄성계수  $s'$ 는 동적 하중에 대한 동적 변위의 비

† 정회원, (주)대우건설 기술연구원

E-mail : jbin@dwconst.co.kr

Tel : (031)250-1189, Fax : (031)250-1131

\* 정회원, (주)대우건설 기술연구원

\*\* 정회원, 한국건설기술연구원

\*\*\*정회원, (주)비아엔지니어링

로 정의하며 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$s' = \frac{F/S}{\Delta d} \quad (\text{N/m}^3) \quad (1)$$

여기에서  $S$ 는 시험편의 면적( $\text{m}^2$ ),  $F$ 는 시험편에 수직으로 가한 동적 하중(N),  $\Delta d$ 는 시험편 두께의 동적 변화값(m)을 의미한다.

본 연구에서는 KS F 2868(거주 공간 뜯바닥용 재료의 동탄성계수 측정 방법)에서 규정하고 있는 펄스가진에 의한 시계열해석법으로 완충재의 동탄성계수를 측정하였다<sup>(5)(6)</sup>.

그림 1은 펄스 가진법에 의한 측정 구성도를 나타낸 것으로 동탄성계수를 측정하고자 하는 완충재( $200 \times 200\text{mm}$ ) 상부에 단위면적당 200kg인 강제 하중판( $200 \times 200\text{mm}$ )을 올려놓은 상태에서 그 중앙을 임팩트해머로 가진하고 가진점 부근의 1점에 대해 진동 응답 파형을 측정한다.

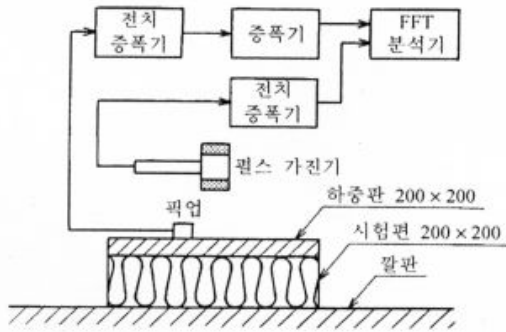


그림 1. 펄스 가진법에 의한 측정 구성도

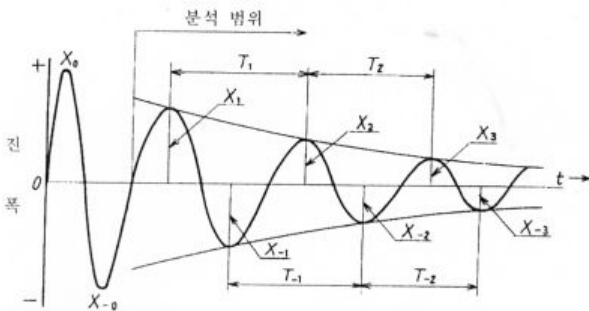


그림 2. 감쇠 진동 파형도

그림 2는 주파수 분석기에서 측정된 감쇠진동 파형을 나타낸 것으로 피크값 사이의 주기를 2개 이상 읽어서 그 평균값으로부터 다음과 같이 고유 진동수를 구한다.

$$f_0 = \frac{1}{T_0} \quad (2)$$

여기에서  $f_0$ 는 진동계의 고유진동수(Hz),  $T_0$ 는 고유 주기의 평균값(s)을 의미한다.

단위 면적당의 겹보기 동탄성계수인  $s'_t$ 는 식(2)에서

구한 고유 진동수  $f_0$ 를 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$s'_t = (2\pi f_0)^2 \cdot m'_t \quad (3)$$

여기에서  $m'_t$ 는 하중판의 단위 면적당 질량을 의미한다.

재료의 단위 면적당 동탄성계수  $s'$ 는 측면 방향에서의 흐름 저항  $r$ 에 따라 다음과 같이 결정된다.

① 높은 흐름 저항,  $r \geq 100\text{kPa} \cdot \text{s/m}^2$ 인 경우 ;

$$s' = s'_t \quad (4)$$

② 중간 정도의 흐름 저항,

$10\text{kPa} \cdot \text{s/m}^2 \leq r < 100\text{kPa} \cdot \text{s/m}^2$ 인 경우 ;

$$s' = s'_t + s'_a \quad (5)$$

여기에서  $s'_a$ 는 밀폐된 가스의 단위 면적당 동탄성계수를 의미하며 시험편을 등온(isothermal)상태로 가정하여 다음과 같이 구한다.

$$s'_a = \frac{p_0}{d\epsilon} \quad (6)$$

여기에서  $p_0$ 는 대기압,  $d$ 는 정적 하중에 있는 시험편의 두께,  $\epsilon$ 은 시험편의 공극률을 의미한다.

③ 흐름 저항이  $r < 10\text{kPa} \cdot \text{s/m}^2$ 이고 밀폐된 가스의 단위 면적당 동탄성계수  $s'_a$ 가 단위 면적당 겹보기 동탄성계수  $s'_t$ 에 비해 작을 경우,

$$s' = s'_t \quad (7)$$

### 3. 실험결과 및 분석

본 연구에서는 표 1에 나타낸 기본 완충재를 조합하여 적층구조로 구성하였을 때 기본 완충재의 동탄성계수값을 알면 적층구조의 동탄성계수값을 예측할 수 있음을 보이기 위해 실험을 수행하였다.

완충재의 적층구조를 그림 3과 같이 연속된 스프링의 직렬구조로 모사하면 적층구조의 동탄성계수  $s'_s$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$s'_s = \frac{1}{1/s'_1 + 1/s'_2 + 1/s'_3} \quad (8)$$

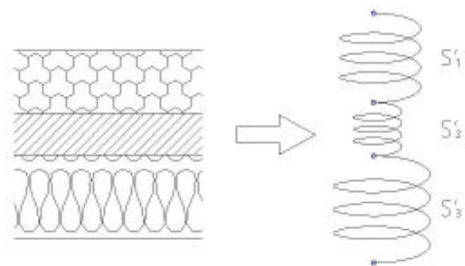


그림 3. 적층구조의 동탄성계수 합성 모델

표 1. 실험대상 완충재의 종류별 동탄성계수

| No. | 완충재       | 두께 (mm) | 동탄성계수 (MN/m <sup>3</sup> ) | 비고  |
|-----|-----------|---------|----------------------------|-----|
| 1   | EPS 1호    | 20      | 63                         |     |
| 2   | EPS 1호    | 30      | 57                         |     |
| 3   | EVA       | 20      | 6.3(28.5)                  | 요철형 |
| 4   | EPE       | 20      | 23                         |     |
| 5   | Neopor(A) | 20      | 8.8                        |     |
| 6   | Neopor(B) | 20      | 4.7                        |     |
| 7   | 폴리에스터     | 20      | 1.9                        |     |

표 2. 완충재의 적층구조에 따른 동탄성계수 변화

| 구조 | 완충재                              | 두께 (mm) | 동탄성계수 (MN/m <sup>3</sup> ) |      |
|----|----------------------------------|---------|----------------------------|------|
|    |                                  |         | 예측값                        | 측정값  |
| A  | EPS 1호(20T)<br>+EPS 1호(30T)      | 50      | 29.9                       | 28.7 |
| B  | EPE(20T)<br>+EPE(20T)            | 40      | 11.5                       | 11.3 |
| C  | Neopor(A)(20T)*2<br>+EPS 1호(20T) | 60      | 4.1                        | 4.2  |
| D  | EPS 1호(20T)<br>+Neopor(A)(20T)*2 | 60      | 4.1                        | 4.1  |
| E  | Neopor(B)(20T)<br>+EPE(20T)      | 40      | 3.9                        | 4.1  |
| F  | EPE(20T)<br>+Neopor(B)(20T)      | 40      | 3.9                        | 4.0  |
| G  | Polyester(20T)<br>+EPS 1호(20T)   | 40      | 1.8                        | 1.9  |
| H  | EVA요철(20T)<br>+Polyester(20T)    | 40      | 1.8                        | 1.8  |

표 2는 기본 완충재를 조합한 적층구조별로 동탄성계수값을 비교한 것으로 예측결과와 측정결과가 잘 일치함을 볼 수 있다. 따라서 적층구조를 구성하는 각 완충재의 동탄성계수값을 이용하면 적층구조에 따른 동탄성계수값을 예측할 수 있음을 알 수 있다. 또한 완충재의 적층순서를 변경한 C와 D구조, E와 F구조의 경우와 같이 완충재의 적층순서를 변경하여도 적층구조의 동탄성계수값은 변함이 없음을 볼 수 있다. 그리고 G와 H구조의 경우와 같이 동탄성계수값의 차이가 매우 큰 두 재료를 적층할 경우 적층구조의 동탄성계수

값은 두 재료 중 동탄성계수값이 작은 재료의 값과 같아짐을 볼 수 있다.

그림 4와 그림 5는 완충재 구성에 따른 중량바닥충격음레벨을 비교한 것으로, 슬래브 두께가 180mm인 실험실에서 측정된 자료이다.

그림 4에서 완충재의 적층순서를 변경한 C와 D구조의 경우, 바닥충격음의 주파수특성이 일치함을 볼 수 있으며 이는 표 2에서 고찰한 바와 같이 완충재의 적층순서를 변경하여도 동탄성계수값이 같기 때문인 것으로 판단된다. 즉, 완충재의 적층순서와는 관계없이 동탄성계수값이 같으면 바닥충격음 차단성능 또한 같음을 알 수 있다. 한편 그림 4에서 C와 D구조의 바닥충격음 특성은 동탄성계수값의 차이가 큰 EPS 1호(20T)보다는 차이가 작은 Neopor(A)(20T)의 주파수특성과 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다.

그림 5에서도 마찬가지로 G구조의 바닥충격음 특성은 동탄성계수값의 차이가 큰 EPS 1호(20T)보다는 동탄성계수값이 유사한 Polyester(20T)의 주파수특성과 거의 일치함을 볼 수 있다.

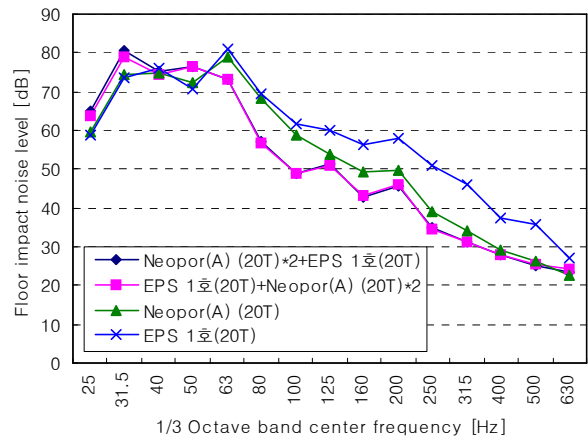


그림 4. 완충재 구성에 따른 중량바닥충격음 비교(1)

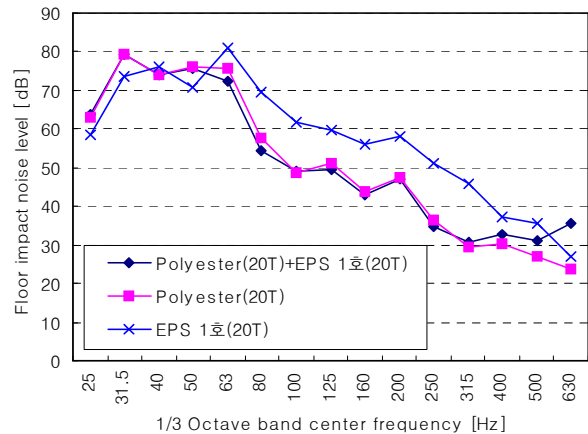


그림 5. 완충재 구성에 따른 중량바닥충격음 비교(2)

#### 4. 결 론

바닥충격음 완충재의 적층구조에 따른 동탄성계수값과 중량바닥충격음을 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 적층구조를 구성하는 각 완충재의 동탄성계수값을 알면 적층구조에 따른 동탄성계수값을 예측할 수 있다.
- 2) 완충재의 적층순서를 변경하여도 적층구조의 동탄성계수값과 중량바닥충격음의 주파수특성은 변하지 않는다.
- 3) 동탄성계수값의 차이가 큰 두 재료를 적층할 경우 적층구조의 동탄성계수값과 중량바닥충격음의 주파수특성은 두 재료 중 동탄성계수값의 차이가 작은 재료의 특성을 따라간다.

본 연구는 주로 독립기포(closed cell)를 가진 완충재를 대상으로 하였으며, 연속기포(open cell)를 가진 재료와 표면에 돌기가 있는 완충재에 대해서는 향후에 공기층에 대한 동탄성계수를 고려하여 추가로 연구를 수행할 예정이다.

#### 참 고 문 헌

- (1) 건설교통부고시 제2006-435호, “공동주택 바닥충격음 차단구조 인정 및 관리기준”
- (2) 정갑철 외2명, 2001, “공동주택 바닥충격음 완충재료의 물성 권장안”, 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 59~64.
- (3) 이주원 외2명, 2003, “충격음 저감재의 동특성과 실험실 경량충격음레벨 저감량의 상관관계”, 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집, pp. 191~195.
- (4) 양수영 외4명, 2005, “바닥충격음 완충재의 동적특성과 소음저감 성능 비교”, 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 275~278.
- (5) 이성호 외2명, 2005, “완충재의 동탄성 및 손실계수 측정시 영향인자에 관한 연구”, 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 279~282.
- (6) 한국산업규격, KS F 2868:2003 거주공간 뜬바닥용 재료의 동탄성계수 측정방법