

## 바닥충격음 완충재의 동적특성과 소음저감 성능 비교

### Comparison Between the Dynamic Properties and Noise Isolation Performances for a Floor Impact Isolation Pad

양수영\* · 이동훈\*\* · 홍병국\*\*\* · 송화영\*\*\* · 이주원\*\*\*\*

Soo-Young Yang, Dong-Hoon Lee, Boung-Kuk Hong, Hwa-Young Song and Joo-Wone Lee

**Key Words** : Dynamic stiffness per unit area(단위 면적당 동적 스프링 상수), Floor Impact Isolation Pad(바닥충격음 완충재), Heavy-weight Impact Sound Source(중량 충격음원), Light-weight Impact Sound Source(경량 충격음원), Loss factor(손실계수), Natural frequency(고유진동수), Vibration Transmissibility(진동 전달율)

#### ABSTRACT

In this study, the dynamic properties of a floor impact sound isolation pad expressed in terms of the natural frequency, the dynamic stiffness per unit area and the loss factor are measured by the resonant method. By using the measured dynamic properties, the vibration transmissibility diagram is obtained for each isolation pad, which is compared with the values tested by the impact sound sources at the room in an apartment. From the comparative results, it is found that the noise reduction performances of isolation pads are closely connected with the natural frequency and the dynamic stiffness per unit area.

#### 1. 서 론

바닥충격음 완충재는 공동주택 상하층간의 소음을 차단하여 정온한 주거 환경을 제공하고자 하는 제품으로 소음 규제 뿐만 아니라 삶의 질 향상 측면을 위해서도 필요한 소재이다. 따라서 공동주택 상하층간의 바닥충격음을 저감시키기 위하여 개발된 층간 완충재는 현재 그 수요가 급격히 증가하고 있는 실정이다.

그러나 바닥충격음 완충재를 공동주택에 시공하여 측정 평가 하였을 때, 그 성능을 만족하지 못하는 경우로 인하여 심각한 문제가 많이 발생하고 있다. 현재 경량충격원에 대한 단일 수치 평가값은 2004년 4월에 등급기준을 마련하여 최저 58dB이하를 만족하여야 하며, 중량충격원의 경우 단일 수치평가값의 제정이 현재 2005년 7월로 유보되어 있는 상태이다.

본 연구에서는 바닥 충격음 완충재가 공동주택과 같은 실제 현장에 적용되었을 때 나타날 수 있는 성능상의 문제점을 사전에 파악해 보기 위하여 바닥충격음 완충재의 동

적특성인 단위면적당 동적 스프링 상수, 감쇠고유진동수, 손실계수의 측정값으로부터 진동전달율 선도를 작도하여 경량충격원과 중량충격원의 단일수치평가값과의 상호 연관성을 고찰해 보았다.

#### 2. 실험

바닥충격음 완충재의 동적특성은 충격해머를 사용하여 공진법<sup>(2)</sup>으로 측정하였다. 시험에 사용된 완충재는 4종류이며, 시료 종류별로 4개씩을 샘플링 하여 물성시험을 수행하였다. 바닥판과 하중판 사이에는 200×200(mm)의 측정시료를 설치하고 하중판을 충격해머로 가진시켜 하중판에 부착된 가속도계를 통하여 완충재의 감쇠고유진동수를 측정하였다. 측정된 감쇠고유진동수  $f_n$  을 식 (1)에<sup>(1)</sup> 대입하여 단위면적당 동적스프링 상수  $K_d$  를 구하였으며, 식 (2)를 통해서 완충재의 손실계수  $\eta$  를 산출하였다. 또한 식 (3)에서는 감쇠고유진동수와 감쇠비  $\zeta$  를 대입하여 진동전달율 선도를 작도하고, 현장측정결과와 비교평가 하였다. 식 (4)에 감쇠고유진동수와 감쇠비를 대입하여 위상선도를 구하였다. 또한 시험 완충재를 전기로에서 48시간동안 70°C로 가열하여 가열전 측정값과 상호 비교 하였다.

$$K_d = (2\pi f_n)^2 m \tag{1}$$

\* 서울산업대학교 산업대학원

E-mail : ldh@snut.ac.kr

Tel : (02)970-6331, Fax : (02)979-7331

\*\* 서울산업대학교 에너지환경대학원 에너지시스템공학과

\*\*\* 서울산업대학교 에너지환경대학원 석사과정

\*\*\*\* 서울산업대학교 소음진동연구센터

$$\eta = \frac{f_2 - f_1}{f_n} = \frac{\Delta f}{f_n} \quad (2)$$

$$T = \frac{F_a}{F_i} = \frac{\sqrt{1 + \left(2\zeta \frac{w}{w_n}\right)^2}}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{w}{w_n}\right)^2\right]^2 + \left(2\zeta \frac{w}{w_n}\right)^2}} \quad (3)$$

$$\tan\phi = \frac{2\zeta (w/w_n)}{1 - (w/w_n)^2} \quad (4)$$

공동주택에서의 현장성능 시험은 상부에서 경량충격원과 중량충격원을 사용하여 가진 하면서 하부의 5지점에 설치된 마이크로폰을 이용하여 측정된 음압레벨을 주파수 분석하였다. 경량충격원과 중량충격원의 현장성능 측정은 KS F 2810-1 및 KS F 2810-2의 방법에 의거하여 측정하였고, KS F 2863-1 및 KS F 2863-2에 의거하여 평가하였다. 또 각기 다른 두 곳의 현장에서 완충재 4종류를 시공하여 시험한 현장성능 결과를 동적특성 결과와 상호 비교 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 완충재에 대한 단위면적당 동적 스프링 상수의 측정결과를 나타낸 것이다. 그래프의 횡축에 표시된 것은 동일 완충재의 가열후 시험결과를 나타낸 것이며, Fig. 2, Fig. 3의 횡축 역시 동일한 기호표시를 나타낸 것이다. 종축은 샘플링하여 측정된 각각의 완충재가 가지는 단위면적당 동적스프링 상수값의 분포도를 나타낸 것이다. 결과를 살펴보면 완충재 A, B, D의 경우 가열전과 비교하여 가열후 그 측정값이 전체적으로 낮아졌으며, 특히 감쇠고유진동수가 가장 낮은 완충재 D는 가열전후 측정값의 편차가 가장 작았다. 반면에 완충재 C는 가열전과 비교하여 가열후에 그 측정값이 커졌다. 이것은 완충재 C가 열에 의해 시료의 재질이 연화되어 시료 구성입자의 밀도가 낮아져 단위면적당 동적 스프링 상수가 증가한 것이며, 완충재 A, B, D는 그와는 반대로 시료의 재질이 열에 의해 경화되었기 때문에 나타난 결과이다.

Fig. 2는 완충재의 손실계수 측정결과를 나타낸 것이다. 그래프의 종축은 각각의 완충재가 가지는 손실계수의 분포도를 나타낸 것이다. 결과를 살펴보면 완충재 A, B, C의 경우 가열전과 비교하여 가열후 그 측정값이 낮아지거나 증가하였으며, 특히 완충재 B의 경우 시료간의 가열전 손실계수 편차가 크게 나타났으나 가열후에 시료가 열에 의해 경화되어 측정값의 편차가 줄어드는 결과가 나타났다. 반면에 완충재 D는 가열후의 측정값이 가열전과 비교하여 손실계수 측정값이 상당히 높게 나타났다. 이것은 가열후 시료의 두께가 가열전과 비교하여 상당히 증가하였으며, 고온의 영향으로 완충재의 물리적성능이 변화되었기 때문으로 사료된다.

Fig. 3은 완충재에 대한 감쇠고유진동수 측정결과를 나타

낸 것이다. 그래프의 종축은 완충재가 가지는 감쇠고유진동수의 분포도를 나타낸 것이다. 결과를 살펴보면 완충재 A,

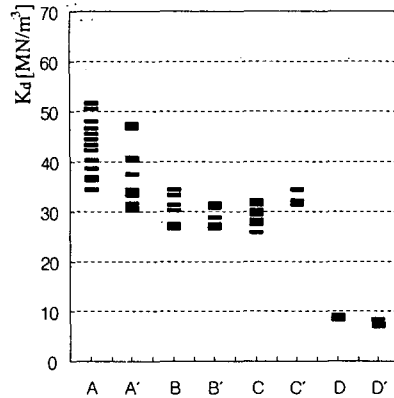


Fig. 1 Variation of the dynamic stiffnesses per unit area estimated by frequency response function for various isolation pads

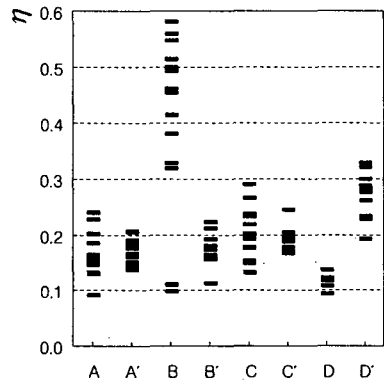


Fig. 2 Variation of the loss factors estimated by frequency response function for various isolation pads

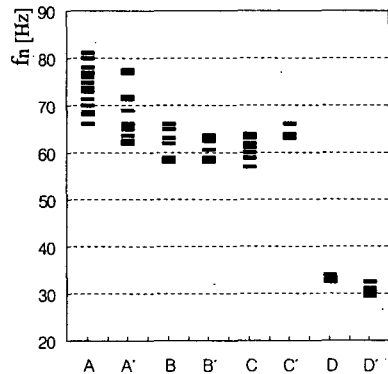


Fig. 3 Variation of the damped natural frequencies estimated by frequency response function for various isolation pads

B, D의 경우 가열전과 비교하여 가열후 그 측정값이 전체적으로 낮아졌으며, 반면에 완충재 C는 가열전과 비교하여 가열후에 측정값이 증가하였다. 이것은 Fig. 1의 결과와 유사한 경향을 보이는 것으로서, 감쇠고유진동수의 가열전후 측정값의 경향이 Fig. 1과 유사한 이유는 단위면적당 동적 스프링 상수가 고유진동수의 함수이기 때문이다.

Fig. 4는 4종류의 완충재에 대한 동적특성 시험을 수행하여 측정한 Fig. 1의 감쇠고유진동수와 Fig. 2의 손실계수에서 감쇠비를 산출하여 진동전달을 그래프 (a)와 위상차 그래프 (b)를 작도하여 도시한 것이다. 그림 (a)의 진동전달을 그래프에서 횡축은 주파수 축을 나타낸 것으로서 경량충격음의 현장측정시 옥타브밴드 2000Hz의 상한 주파수를 고려하여 3000Hz까지 표시한 것이며, 종축은 진동전달율을 나타낸 것이다. 4종류 완충재 A, B, C, D의 감쇠고유진동수는 각각 77Hz, 58Hz, 61Hz, 31.5Hz이다. 진동 저감성능에서 중요한 인자의 하나인 감쇠고유진동수는 가능한 낮게 설계되어야 바람직하며, 이것을 통해서 볼 때 감쇠고유진동수가 가장 낮은 완충재 D의 성능이 가장 우수함을 알 수 있다. 그림 (b)의 위상차 그래프에서 횡축은 주파수 축을 나타낸 것이며, 종축은 위상각을 나타낸 것이다. 결과를 살펴보면 진동 전달을 선도에서 각각의 시료가 갖는 공진주파수에서 180° 위상차를 확인 할 수 있다.

Fig. 5는 4종류의 완충재 A, B, C, D를 서로 다른 현장 2곳의 ○○공동주택 거실에 시공하여 경량충격원을 사용하여 측정한 결과를 단일 수치평가값으로 나타낸 것이다. 그래프에서 횡축은 옥타브밴드 125Hz~2000Hz까지를 나타낸 것이며, 종축은 수음실에서 측정된 경량충격음 레벨을 나타낸 것이다. 결과를 살펴보면 완충재 A, B, C, D의 단일수치 평가값은 각각 61dB, 57dB, 55dB, 53dB이다. 동일 현장에 시공된 완충재 A와 B 그리고 C와 D로 나누어 살펴보면, 모든 옥타브밴드에서 완충재 B, D가 완충재 A, C보다 충격음저감 성능이 우수함을 알 수 있었다. 이것은 Fig. 4의 진동전달을 선도과 관련지어 살펴보면 감쇠고유진동수가 77Hz인 완충재 A와 61Hz인 완충재 C는 각각 108Hz, 86.3Hz 이후부터 전달율이 1이하가 되어 감쇠성능이 나타나게 된다. 반면에 감쇠고유진동수가 58Hz인 완충재 B와 31.5Hz인 완충재 D는 각각 82Hz, 44.5Hz이후부터 전달율이 1이하로 되기 시작한다. 경량충격원의 옥타브밴드 125Hz의 하한주파수가 88Hz임을 고려할 때 완충재 A와 비교하여 완충재 B의 성능이 우수하고, 완충재 C와 비교하여 완충재 D의 성능이 우수함을 진동전달을 선도로서 파악할 수 있다.

Fig. 6은 Fig. 5에서 언급한 동일 현장에 대해 중량충격원을 사용하여 측정한 결과를 단일 수치평가값으로 나타낸 것이다. 그래프에서 횡축은 옥타브밴드 63Hz~500Hz까지를 나타낸 것이며, 종축은 수음실에서 측정된 중량충격음 레벨을 나타낸 것이다. 결과를 살펴보면 완충재 A, B, C, D의 단일수치 평가값은 각각 57dB, 55dB, 58dB, 56dB이다. 동일

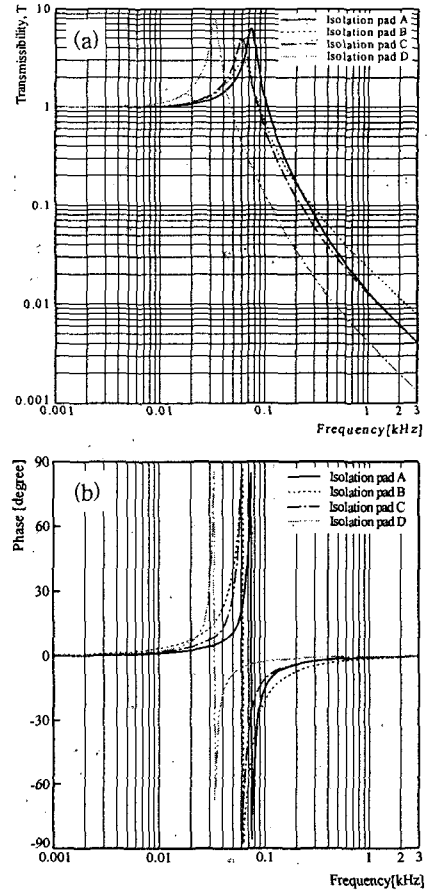


Fig. 4 Vibration transmissibilities and phases for isolation pads A, B, C and D

현장에 시공된 완충재 A와 B 그리고 C와 D로 나누어 살펴보면, Fig. 5의 경량 충격음 결과에서와 같이 모든 옥타브밴드에서 완충재 B, D가 완충재 A, C보다 충격음저감 성능이 우수함을 알 수 있었다. 즉, 중량충격원의 옥타브밴드 63Hz의 하한주파수가 44Hz임을 고려할 때 완충재 A와 비교하여 완충재 B의 성능이 우수하고, 완충재 C와 비교하여 완충재 D의 성능이 우수함을 진동전달을 선도로서 파악할 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 충격해머를 사용하는 공진법으로 4종류의 바닥충격을 완충재에 대해 동적특성을 파악하였다. 공진법을 사용하여 측정한 감쇠고유진동수를 통해 단위면적당 동적 스프링 상수, 손실계수 그리고 감쇠비를 산출하였으며, 또한 진동전달을 선도를 작도하여 현장측정결과와의 비교분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

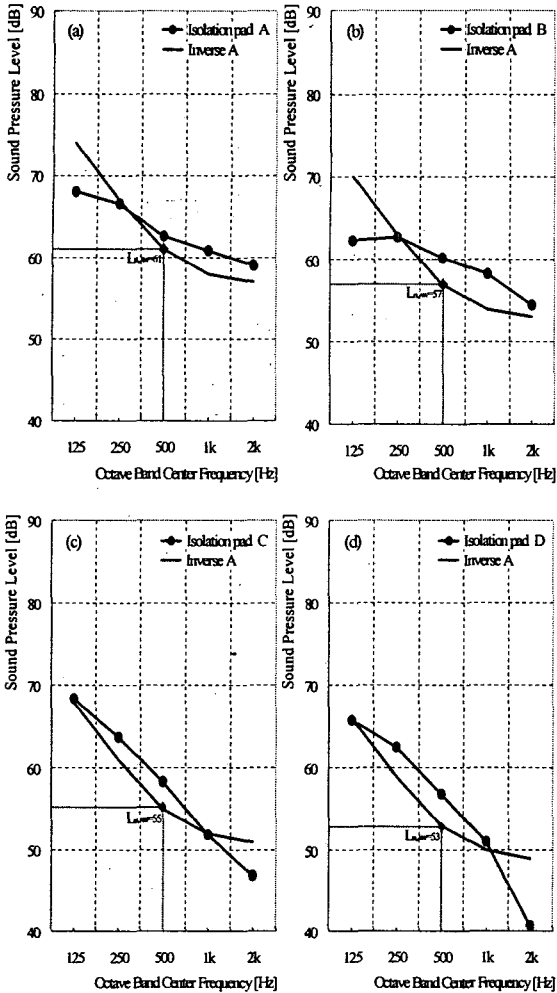


Fig. 5 Comparison between the measured light-weight impact sound level and the inverse A curve in a living room

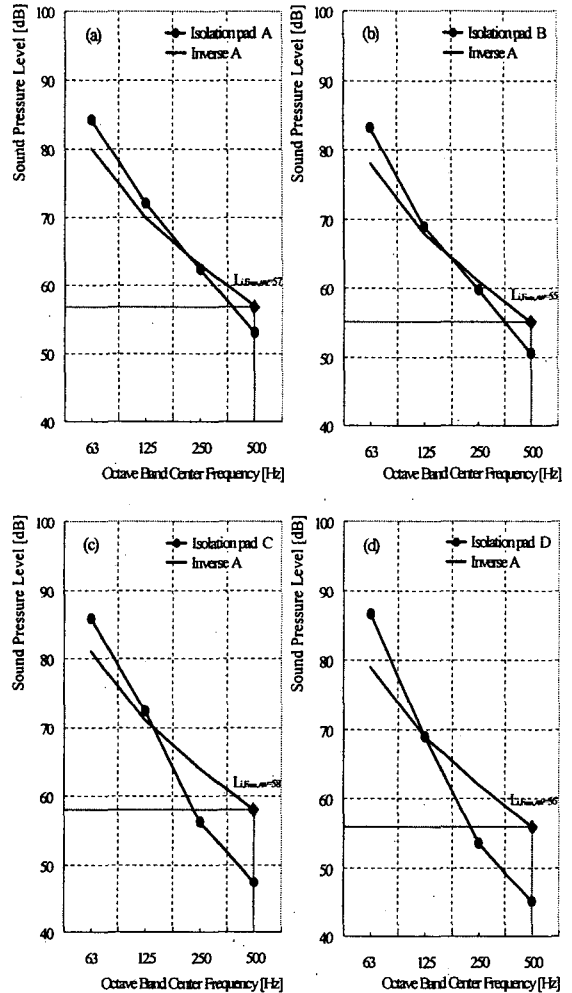


Fig. 6 Comparison between the measured heavy-weight impact sound level and the inverse A curve in a living room

- 진동 저감성능에서 중요한 인자의 하나인 감쇠고유진동수는 가능한 낮게 설계되어야 바람직하며, 이것을 통해서 볼 때, 감쇠고유진동수가 가장 낮은 완충재가 현장 성능결과에서도 경량충격원과 중량충격원에서 좋은 저감 성능을 보여 주었다.
- 완충재의 동적특성값인 단위면적당 동적 스프링 상수는 고유진동수의 함수이므로 단위면적당 동적 스프링 상수가 낮을수록 좋은 소음저감 성능을 보여주었다. 그러나 손실계수와 소음저감 성능과의 밀접한 관련성은 파악할 수 없었다.

## 참고 문헌

- J. D. IRWIN & E. R. GRAF, 1979, Industrial noise and vibration control, Chap. 9, Prentice-Hall, Inc.
- S. Gade, K. Zaveri, H. Konstantin-Hansen and H. Herlufsen, 1994, "Complex modulus and damping measurements using resonant and non-resonant methods", Technical review Brüel & Kjær