

# 바닥충격음 완충재의 동탄성계수 특성 및 측정 영향인자

## A Study On the Property and Influence Factor in Measuring of the Dynamic Stiffness of Damping Materials

김 경 우† · 최 현 중\* · 강 재 식\* · 양 관 섭\*

Kyoung-Woo Kim, Hyoun-Jung Choi, Jae-Sik Kang and Kwan-Seop Yang

**Key Words** : Dynamic Stiffness(동탄성계수), Loss factor(손실계수), Damping Material(완충재)

### ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the current status and influence factor in measuring the dynamic stiffness of damping materials. The property of the dynamic stiffness of damping materials was tested and analysed in conditions such as the size of test samples and the change of relative humidity in heating chamber. Test results showed that the dynamic stiffness of after-heating was lower than that of before-heating in most samples and the change of relative humidity in heating chamber got little influence of the dynamic stiffness. The resonant frequency of test sample decreased 2~7Hz as the decrease of the size of sample. Because it was increased that total mass per unit area of sample, the change of dynamic stiffness had little influence.

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

공동주택 바닥충격음 문제 대두에 따라 건설교통부는 바닥충격음 법기준을 설정(경량충격음: 58dB이하, 중량충격음: 50dB이하)하고 2005년 7월1일부터 중량충격음 기준을 포함하여 시행 중에 있다. 바닥충격음 관련고시<sup>(1)</sup>에서 표준바닥구조와 표준바닥구조에 사용되는 완충재에 대한 성능항목을 설정하고 있다. 물성치 중 바닥충격음과 가장 관련이 깊은 동탄성계수는 40MN/m<sup>2</sup>이하, 손실계수는 0.1~0.3 이하로 규정하고 있다. 또한 70℃, 48시간 가열 후 완충재의 동탄성계수는 가열하기 전 동탄성계수보다 20%를 초과해서는 안 되며, 손실계수는 0.1~0.3 이하로 가열 전과 동일하게 규정하고 있다.

바닥구조는 바닥충격음과 함께 단열기준에도 적합해야하는데 단열기준<sup>(2)</sup>의 강화로 바닥슬래브 상부에 경량기포콘크리트와 모르타르 만을 사용하던 것을 단열

재(일반적으로 발포폴리스티렌 보온재(KS 2호)) 20mm 이상을 추가로 설치하게 되었다. 단열기준의 강화와 함께 바닥충격음 저감을 위한 진동감쇠의 목적으로 발포폴리스티렌 보온재를 완충재로 대체하여 시공하고 있으며, 완충재의 진동감쇠 능력과 함께 단열성능도 완충재가 가져야하는 중요한 성능항목이 되었다.

국내에서 사용되는 완충재는 발포폴리스티렌, 페우레탄계열, EVA 발포고무, 발포 PE, 유리섬유 및 락울, 페타이어, 발포 폴리프로필렌, 압축 폴리에스테르, 기타 복합소재 등으로 구성되어 있다. 평판형태의 완충재가 주류를 이루고 있으며, 완충재 하부에 요철을 부여한 경우와 여러 가지 재료를 적층하면서 평판이외의 다양한 모양의 완충재가 제작되고 있다. 그러나 국내에서 생산되는 여러 가지 재질과 형태를 가지는 완충재에 대한 동탄성계수 특성과 측정방법에 대한 검토가 부족한 실정이다.

본 연구에서는 현재 국내에서 많이 사용되고 있는 완충재를 대상으로 재질에 따른 동탄성계수와 손실계수 특성을 살펴보고 동탄성계수 측정시 시료 크기와 가열후 동탄성계수 측정시 가열조건 중 습도에 대한 영향요인을 설정하여 동탄성계수 및 손실계수를 검토하였다.

† 정회원, 한국건설기술연구원

E-mail : kwj@kict.re.kr

Tel : (031)910-0356, Fax : (031)910-0361

\* 정회원, 한국건설기술연구원

1.2 기초연구 및 이론고찰

(1) 기존 연구고찰

바닥충격음 저감의 하나의 공법으로 뜬바닥구조가 검토되면서 완충재에 대해 관심이 높아졌으나 과거에는 완충재에 대한 동탄성계수에 대한 검토가 이루어진 경우는 드물다. 정갑철의 연구<sup>(3)</sup>를 통하여 완충재가 가져야하는 물성에 대한 검토가 이루어 졌으며, 바닥충격음 고시<sup>(1)</sup>에 동탄성 및 손실계수, 가열후 동탄성 및 손실계수, 가열후 치수안정성, 밀도, 흡수율에 대한 성능 항목이 선정되었다. 2003년 한국산업규격으로 동탄성계수 측정방법<sup>(7)</sup>이 국제규격(ISO 9052-1:1989 Acoustics -Determination of dynamic stiffness -Part 1: materials used under floating floors in dwellings)과 일본규격(JIS A 6321:2000 浮き床用ロックウール緩衝材)을 바탕으로 제정되었다. 국내 동탄성계수 측정방법이 외국의 규격을 바탕으로 제정되었기 때문에 국내 실정에 적합한지 여부를 확인하는 연구들이 진행되었다.<sup>(4)(5)</sup>

(2) 동탄성계수 및 손실계수 측정 방법

동탄성계수 측정방법은 정현파가진법과 펄스가진법으로 구분된다. 펄스가진법은 하중판과 시험편으로 구성된 진동계의 고유 진동수에서 하중판의 진동 가속도 진폭이 5cm/s<sup>2</sup> 정도가 되게 하중판 중앙을 충격 주파수 80Hz 정도의 가진원에 의해 단발로 충격 가진하고, 가진점 부근의 1점에 대한 진동 속도 응답파형을 측정한다. 단위면적당 동탄성계수의 산출은 감쇠진동파형에서 자유진동 부분의 파형으로부터 스펙트럼해석법과 시계열해석법 두가지 방법 중 하나의 방법으로 산출이 가능하다. 본 연구에서는 펄스가진법을 사용하여 시계열해석을 통하여 동탄성계수를 산출하였다.

$$f_0 = \frac{1}{T_0} \dots\dots\dots (1)$$

f<sub>0</sub> : 진동계의 기본 고유주파수[Hz]  
T<sub>0</sub> : 고유주기의 평균치 [sec]

$$S'_t = (2\pi f_0)^2 \cdot m \dots\dots\dots (2)$$

S'<sub>t</sub> : 단위면적당의 겉보기 동탄성계수 [MN/m<sup>2</sup>]  
f<sub>0</sub> : 진동계의 기본 고유주파수 [Hz]  
m : 하중판의 단위면적당 질량 [kg/m<sup>2</sup>]

손실계수 산출은 시계열해석법의 감쇠진동파형 자유진동 부분으로부터 피크값을 정부(正負) 각각 2점 이상 읽고, 정부별로 이웃하는 2개의 값의 조합으로부터 다음의 식에 의해 구한 값을 산술평균하여 손실

계수를 구한다.

$$\eta_{i,i+1} = \frac{1}{\pi} \ln \frac{X_i}{X_{i+1}} \dots\dots\dots (3)$$

η<sub>i,i+1</sub> : 이웃하는 2개의 피크값으로부터 구한 손실계수  
X<sub>i</sub> : 파형의 i번째의 피크값 [정부동측(正負同側)]  
X<sub>i+1</sub> : 파형의 i+1번째의 peak 값

2. 실험의 개요 및 방법

본 연구에서는 국내에서 많이 사용되는 완충재를 재질별로 구분하여 동탄성 및 손실계수, 가열후 동탄성계수 및 손실계수를 측정하여 완충재의 물리적 특성에 대한 현황을 살펴보았다.

가열후 동탄성계수 측정시 48시간동안 70℃로 가열한 후에 동탄성계수를 측정하도록 되어 있을 뿐 가열 챔버의 습도조건에 대한 규정은 없는 상태이다. 가열시 습도변화에 따른 영향과 시료 크기 변화에 대한 영향을 살펴보았다.

동탄성 및 손실계수는 임팩트 해머를 이용한 펄스가진법을 통하여 실험하였으며, 동일한 재질의 시료를 3개씩 3회 측정하여 9개 측정값을 산술평균하였다. 측정에 사용한 장비는 다음과 같다.

- 소음 및 진동분석장치 : Symphonie, 01dB
- 진동센서 : KD37V, MMF
- 임팩트해머 : 086C02, PCB

3. 실험결과 및 분석

3.1 재질별 측정결과

완충재의 재질은 단일소재 이외에도 여러 소재를 복합한 제품도 많이 있으나 본 실험에서는 단일소재인 EPP, EPS, EVA, PE 4종류에 대한 측정이 이루어졌다. 그림1.은 재질별 동탄성계수에 대한 측정결과로서 대부분의 제품에서 현행 법기준인 40MN/m<sup>2</sup>이하의 값을 보이고 있었으며, EVA 재질의 경우 완충재 하부의 요철 유무에 따른 동탄성계수 차이가 크게 발생하고 있었다. 요철이 없는 제품의 경우 요철이 있는 제품보다 동탄성계수가 낮은 경향을 보이고 있었다. 요철유무에 대한 결과는 동일한 제품에 대하여 요철유무에 따른 측정결과가 아니며, 요철의 형상이나 크기가 상이한 제품에 대한 결과이다.

재질과 동탄성계수에 대하여 특별한 상관성은 없어 보였으며, 전반적으로 40MN/m<sup>2</sup> 이하의 값을 보이고 있었다. 그림2.는 재질별 손실계수를 나타낸 것으로 대

부분의 제품이 0.1~0.3 사이의 수치를 보이고 있었다. 손실계수도 재질별 특별한 특징을 보이고 있지 않았다.

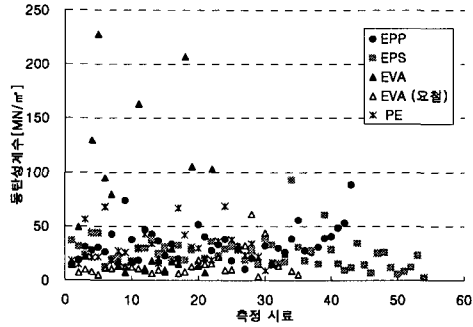


그림 1. 재질별 동탄성계수

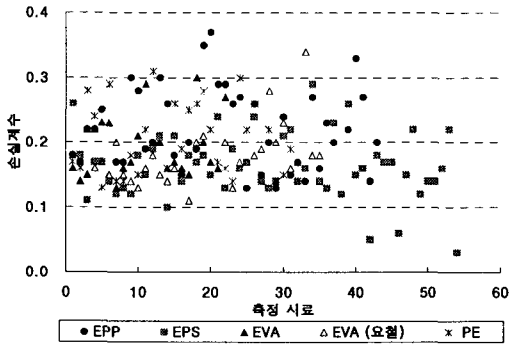


그림 2. 재질별 손실계수

### 3.2 가열 전·후 측정결과

표준바닥구조의 완충재로 사용하기 위해서는 가열 후의 동탄성계수 변화가 가열전보다 20%를 초과해서는 안 된다. EPS, EVA, EPP, PE 재질로 구성된 제품에 대한 가열 전·후의 동탄성계수 및 손실계수 변화를 살펴보았다. 가열은 항온항습챔버에서 70℃, 50%로 48시간 가열하였으며, 가열 후 23℃, 50%에서 1시간 방치 후에 측정하였다.

그림3.는 동탄성계수의 변화로 측정 시료 중 EVA 재질 제품은 타 재질에 비하여 동탄성계수가 낮은 분포를 보였으며, 측정시료의 대부분이 가열 후 동탄성계수가 낮아지는 경향을 보였다. EPP, PE는 가열 전·후 동탄성계수 변화폭이 크게 발생하였으며, PE 특정 제품은 57.4%의 변화(시료평균 40%)를 보였다. EVA는 변화폭이 가장 낮아 측정 시료 평균으로 11.9%를 보였다.

그림4.는 손실계수의 변화로 동탄성계수와 같이 EPS, EVA재질보다는 EPP, PE 재질이 가열 전·후 변화 폭이 크게 발생하였다.

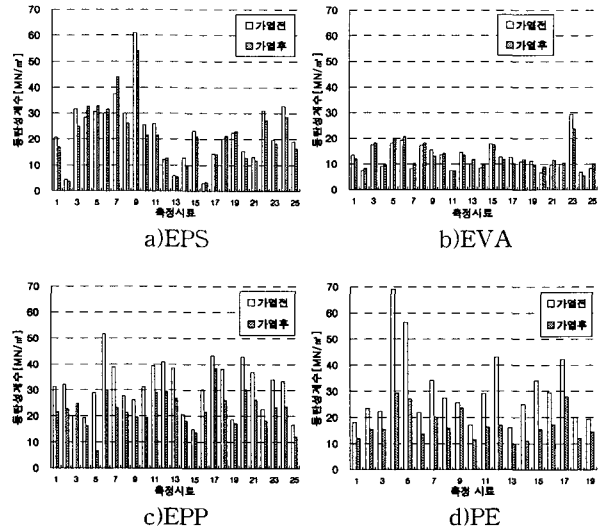


그림 3. 재질별 가열 전·후 동탄성계수

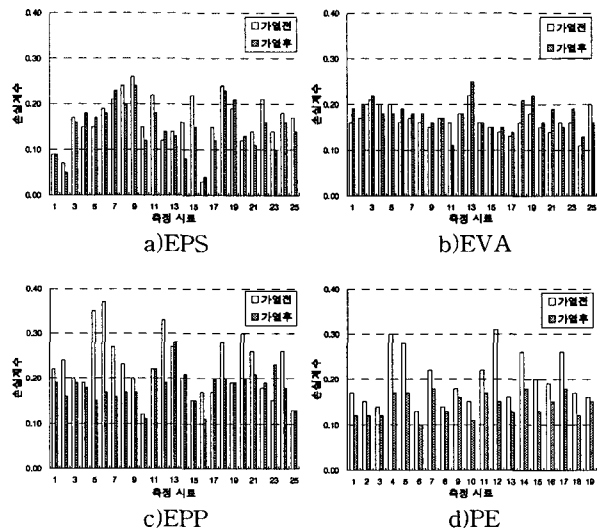


그림 4. 재질별 가열 전·후 손실계수

### 3.3 가열시 습도 조건변화에 따른 측정결과

가열에 대한 시험조건은 70℃로 48시간 동안 가열한 후에 23℃, 50%조건에 1시간 방치후 시험하는 것으로 온도와 시간에 대한 언급만 있을 뿐 가열 챔버의 습도 조건에 대한 언급이 없어 챔버 내부 습도 변화에 따른 동탄성계수 및 손실계수 변화의 영향정도를 파악하였다. 챔버 내부의 습도를 40%, 50%, 70%로 설정하여 9개 제품에 대하여 실험을 실시하였다. 표1.과 그림5.와 같이 시료에 따라 습도변화에 따른 가열 전·후 동탄성계수 변화율의 변화가 크게 나타나는 제품도 있었으나 습도에 따른 변화는 크지 않은 것으로 판단된다. 측정시료 중 PE, EPO, EVA의 경우 습도변화에 대한 영

향은 거의 없는 것으로 나타났다. 측정시료는 독립기포 (Closed cell)로 이루어져 습도의 영향을 적게 받은 것으로 판단된다. 손실계수도 동탄성계수와 유사한 경향을 보이고 있었다.

표1. 습도변화에 따른 동탄성계수 측정결과 (단위: MN/m<sup>2</sup>)

구 분	가열 전 동탄성계수	가열 후 동탄성계수		
		습도 40%	습도 50%	습도 70%
EPS(1)	24.7~30.2	31.5	30.8	26.4
EPS(2)	28.2~33.5	28.9	23.9	20.9
EPS(3)	6.1~7.6	6.3	7.2	6.0
EPP(1)	67.9~92.8	43.3	40.5	40.3
EPP(2)	45.7~47.0	29.7	29.8	27.6
PE	22.3~22.5	12.3	12.8	12.6
EPO	15.0~15.4	11.0	11.0	11.4
우레탄	12.7~15.9	13.9	15.6	15.8
EVA	6.3~7.3	9.6	8.7	9.3

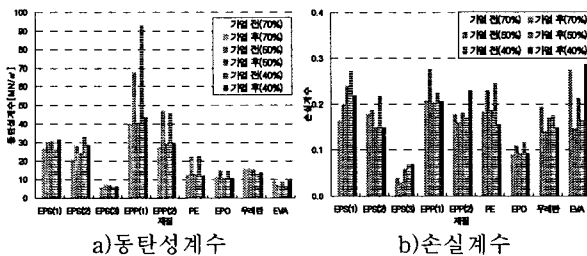


그림 5. 습도변화에 따른 측정결과

3.4 시료크기에 따른 측정결과

동탄성계수 측정규격<sup>(7)</sup>에는 시료의 크기를 (200×200)mm 이상으로 규정하고 있으며, 시료의 크기가 증가하여도 동탄성계수에 대한 영향은 크지 않은 것으로 알려져 있다. 가열 후 동탄성계수 측정시 48시간 동안 가열된 시료 중 일부는 크기가 줄어들어는 경우가 발생한다.

시료의 크기가 작아질 경우의 영향을 파악하기 위하여 5개 제품에 대하여 400mm, 300mm, 200mm, 190mm, 180mm 시료를 대상으로 동탄성계수를 측정하였다.

측정결과 시료 크기가 작아짐에 따라 대부분 시료에서 고유진동수가 (2~7)Hz 감소되는 경향을 보이고 있었다. 하중판 보다 시료의 크기가 작게 되면 시료가 받는 하중이 증가되어 식(2)의 m의 수치도 증가되기 때문에 동탄성계수 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 시료 크기 감소에 따라 동탄성계수가 변화하는 것은 하중판을 시료에 올려놓을 때 시료 정 중앙부위에 올려 두지 못하여 편심하중이 전달될 경우 진동전달의 특성이 변화되어 나타나는 현상으로 판단된다.

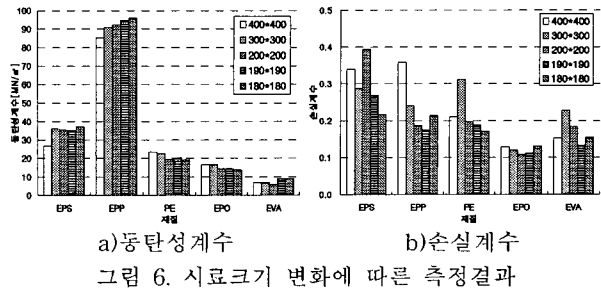


그림 6. 시료크기 변화에 따른 측정결과

4. 결론

국내에서 바닥구조용 완충재로 많이 사용하는 재료를 대상으로 가열 전·후의 동탄성 및 손실계수 현황과 가열시 습도 조건변화에 대한 영향 및 시료크기 변화에 대한 영향을 검토한 결과는 다음과 같다.

- 1) 제질에 따른 동탄성계수 변화는 뚜렷한 경향성을 보이지는 않았으며, 대부분 제품이 현행 법기준인 40 MN/m<sup>2</sup> 이하의 값을 보였다. EVA 재질의 완충재의 경우 요철유무에 따른 동탄성계수 변화 폭이 크게 나타났다.
- 2) 가열 후 동탄성계수가 대부분 낮아지는 경향을 보였으며, EPP와 PE는 가열 전·후의 변화폭이 타재질에 비하여 크게 발생하였다.
- 3) 가열 시 습도를 70%, 50%, 40%로 변화하였을 경우 재료별 동탄성계수 변화는 미미한 것으로 나타났다.
- 4) 시료의 크기가 작아지면 고유진동수가 (2~7)Hz 낮아졌으나 단위면적당 하중의 증가로 동탄성계수의 변화는 크지 않았다.

참 고 문 헌

- (1) 건설교통부 고시 제2005-189호, 2005, 공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준
- (2) 건설교통부 고시 제2003-31호, 건축물에너지절약설계기준
- (3) 정갑철, 외1인, 2001, “공동주택 바닥충격음 완충재료의 물성 권장안”, 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 59~64.
- (4) 김하근 외2명, 2005, “튼 바닥구조용 완충재의 동탄성계수 측정에 관한연구”, 대한건축학회논문집, 계획계 21권 1호, pp. 229~234.
- (5) 이성호 외2명, 2005, “완충재의 동탄성 및 손실계수 측정시 영향인자에 관한 연구”, 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 279~282
- (6) 김경우 외4명, 2005, “바닥충격음 완충재의 동탄성계수 및 열전도율 특성에 관한 연구”, 대한건축학회 창립60주년기념 학술발표대회논문집, pp. 207~210.
- (7) 한국산업규격, KS F 2868:2003 거주공간 뜬바닥용 재료의 동탄성계수 측정방법