

완충재 종류에 따른 경량바닥충격음 저감특성 평가

Evaluation of the Light-weight Floor Impact Sound Reduction Characteristics by Types of Resilient Material

김 경 우† · 양 관 섭* · 정 진 연** · 임 정 빈** · 정 갑 철***

Kyoung-Woo Kim, Kwan-Seop Yang, Jin-Yeon Chung, Jung-Bin Im, Gab-Cheol, Jeong

Key Words : Dynamic Stiffness(동탄성계수), Resilient Material(완충재), Reduction Characteristic(저감특성)

ABSTRACT

Resilient materials are generally used for the floating floors to reduce the floor impact sound. Dynamic stiffness of resilient material, which has the most to do with the floor impact sound reduction. The resilient materials available in Korea include EPS (Styrofoam), recycled urethane types, EVA (Ethylene Vinylacetate) foam rubber, foam PE (Polyethylene), glass fiber & rock wool, recycled tire, foam polypropylene, compressed polyester, and other synthetic materials. In this study, we tested floor impact sound reduction characteristic to a lot of kinds of resilient material. The result of test showed that the amount of the Light-weight impact sound reduction appeared by being influenced from this dynamic stiffness of resilient material. As the decreasing dynamic stiffness of resilient material, the impact sound reduction amount is increased, especially in the low frequency domain.

1. 서 론

공동주택 바닥충격음은 공동주택 증가에 따라 필연적으로 발생하는 소음으로 2005년 7월부터 바닥충격음 법기준이 설정되었다. 국내에서는 완충재를 사용한 뜬바닥 구조를 형성하여 바닥충격음을 저감시키는 방안이 일반적으로 사용되고 있으며, 완충재는 슬래브 상부의 충격진동을 감쇠시켜 하부 세대로 충격음의 발생을 줄이는 역할을 하고 있다. 완충재의 동탄성계수는 바닥충격음 저감과 관련된 물리적인 요소로서 40MN/m³ 이하로 규정하고 있다.

사용되어지는 완충재는 발포폴리스티렌, 페 우레탄 계열, EVA 발포고무, 발포 PE, 유리섬유 및 락울, 페타이어, 발포 폴리프로필렌, 압축 폴리에스테르, 기타 복합소재 등으로 구성되며, 단일 재질의 완충재를 여러개 적층하는 구조도 검토되고 있다.

완충재의 동탄성계수는 일반적으로 경량충격음에 밀접한 관계를 가지고 있어, 동탄성계수가 증가함에 따라 경량충격음 저감량도 감소하는 것으로 알려져 있다.⁽¹⁾ 선행 연구⁽²⁾에서는 완충재의 동탄성계수와 중량충격음 저감량과의 상관성에 대한 검토를 하여 중량충격음 저감량과도 상관성이 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 선행 연구의 후속연구로서 완충재 종류 및 적층방법 등에 따른 경량충격음레벨 저감특성을 분석하고 완충재 동탄성계수와 저감량과의 관계를 살펴보았다.

2. 기본 이론

2.1 동탄성계수

동탄성계수(s')는 동적 하중에 대한 동적 변위의 비로 정의하며 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

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

여기에서 S 는 시험편의 면적(m²), F 는 시험편에 수직으로 가한 동적 하중(N), Δd 는 시험편 두께의 동적 변화값(m)을 의미한다.

† 정회원, 한국건설기술연구원

E-mail : kwmj@kict.re.kr

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

* 정회원, 한국건설기술연구원

** 정회원, (주)대우건설 기술연구소

***정회원, (주)비아엔지니어링

동탄성계수의 측정방법은 정현파가진법과 펄스가진법으로 구분되며, 펄스가진법은 단위면적당 동탄성계수의 산출을 감쇠진동파형에서 자유진동 부분의 파형으로부터 스펙트럼해석법과 시계열해석법 두 가지 방법 중 하나의 방법으로 가능하다.

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

T_0 : 고유주기의 평균치 [sec]

$$S_t = (2\pi f_0)^2 \cdot m \quad \text{식(3)}$$

S_t : 단위면적당의 겉보기 동탄성계수 [MN/m³]

f_0 : 진동계의 기본 고유주파수 [Hz]

m : 하중판의 단위면적당 질량 [kg/m²]

2.2 경량충격음 저감량(ΔL)

경량충격음 저감량은 주파수가 증가할수록 저감량도 상승하는 것으로 알려져 있으며, 다음(식)⁽³⁾과 같이 30dB/decade 기울기를 가지는 것으로 알려져 있다.

$$\Delta L = 30 \log \frac{f}{f_0} \quad \text{식(4)}$$

f_0 : 공진주파수 [Hz]

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{s'}{m}} \quad \text{식(5)}$$

f_0 : 공진주파수 [Hz], s' : 동탄성계수 [N/m³]
 m : 단위면적당 중량 [kg/m²]

Schiavi의 연구⁽⁴⁾에서는 식(6)과 같이 저감량 곡선 기울기를 조정 한 연구결과를 발표하였다.

$$\Delta L = 32.7 \log \frac{f}{f_0} \quad \text{식(6)}$$

3. 실험 방법 및 대상

3.1 실험방법

실험은 직방형의 철근콘크리트 벽식구조 실험실에서 실험실 상부에 완충재를 설치하고 미리 제작된 콘크리트 누름판(두께: 50mm)을 호이스트를 사용하여 올려놓은 상태에서 바닥충격음을 측정하였다. 실험실은 실크기는 4.54m×3.78m×3.0m(h)이며, 상부 슬래브 두께는 180mm로 이루어져 있다. 실험실의 벽체는 300mm로 시공되어 있다. 실험은 실험실 맨 슬래브에 대한 경

량충격음레벨을 측정 한 후에 완충재와 누름판이 설치된 상태에서 측정 한 경량충격음레벨 차이(저감량, ΔL)를 분석하였다.

$$\Delta L = L_{slab} - L_{resilient} \quad \text{식(7)}$$

L_{slab} : 맨슬래브의 경량충격음레벨 (dB)
 $L_{resilient}$: 완충재가 설치된 구조의 경량충격음레벨 (dB)

실험은 1/3옥타브 밴드로 설정하여 측정하였으며, 실험실 내부에는 마이크로폰을 중앙부와 3개의 모서리부분에 바닥으로부터 1.2m 높이에 고정하여 설치하였으며, 충격원은 중앙부를 포함하여 4개소에서 가진하였다. 실험에 사용된 장비는 다음과 같다.

- 주파수분석장치 : SA-01, Rion
- 경량충격원 : Tapping machine, Rion
- Microphone : G.R.A.S.(Type 40AE)
- Preamplifier : G.R.A.S.(Type 26CA)
- Accelerometer : PV-41, RION

3.2 실험대상

실험에 사용된 완충재 재질은 EPP, EVA, PE, EPS 등을 사용하였으며, 실험전에 실험대상 재료에 대한 동탄성계수를 측정하였다. 실험대상 및 동탄성계수 측정 결과는 표1과 같다.

표1. 실험대상 완충재 구성

구 조	완충재 구성(mm)	동탄성 계수 (MN/m ³)	비고
1	EPP (20)	28.6	단일 구성
2	EVA 요철 (20)	6.3	
3	Neopor (20)	8.8	
4	PE (20)	23.0	
5	연질 EPS (20)	18.8	
6	EPS 1호 (30)	57.0	
7	EPS 4호 (20)	49.0	
8	EPS 1호 (20)	63.0	
9	폴리에스터 (20)	1.9	
A	Neopor (20) 2겹 + EPS 1호 (20)	4.2	적층 구성
B	EPS 1호 (20) + Neopor (20) 2겹	4.1	
C	PE (20) + PE (20)	11.3	
D	EPS 1호 (20) + EPS 1호 (30)	28.7	
E	EPS 1호 (20) + EVA 요철 (20) + EPS 1호 (30)	6.1	
F	EVA 요철 (20) + 폴리에스터 (20)	1.8	
G	EVA 요철 (20) + 폴리에스터 (20) + EPP (20)	1.6	
H	폴리에스터 (20) + EPS 1호 (20)	1.9	
I	Neopor (20) + 고무 (1) + Neopor (20)	4.5	

4. 실험결과 및 분석

4.1 재질에 의한 영향

그림1.과 그림2.는 완충재의 재질이 다르고 두께는 20mm, 30mm 시료에 대한 경량충격음레벨 저감량을 나타낸다. 그림1.의 측정대상 시료의 경량충격음 저감량은 주파수가 증가할수록 증가되는 특성을 보이고 있었으며, 동탄성계수가 낮은 재료인 Neopor의 저감량이 높은 것으로 나타났다. 구조2의 EVA 재료는 동탄성계수가 6.3MN/m²으로 낮았지만 4개 재료 중에서 가장 낮은 저감량을 보이고 있었다. EVA 요철에 의한 공기층의 영향을 고려하지 않은 동탄성계수에 의한 것으로 판단된다. 그림2.는 EPS 4종과 폴리에스터에 대한 결과로 연질EPS와 폴리에스터의 저감량이 높은 것으로 나타났으며, 일반 EPS 3종류는 동탄성계수가 낮은 순서대로 저감량이 높은 것으로 나타났다. 동탄성계수가 가장 낮은(1.9 MN/m²) 폴리에스터의 저감량이 다른 재료의 비하여 가장 큰 것으로 나타났으며, 특히 100Hz~500Hz의 저감량이 다른 구조에 비하여 10dB이상 높았으나 고주파수에서는 다른 구조에 비하여 저감량 곡선 기울기가 완만하게 나타났다.

경량충격음 저감량은 완충재 재질변화에 따른 영향보다는 동탄성계수 차이에 발생한 것으로 판단된다. 완충재를 제조하는 원료의 차이보다는 동일한 원료에서도 동탄성계수에 영향을 받는 것으로 사료된다.

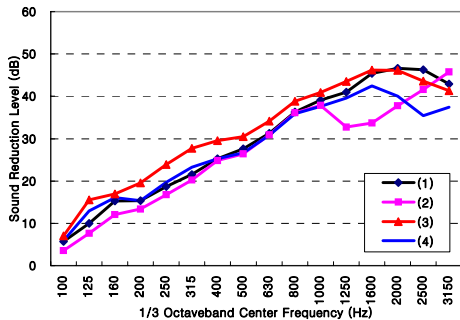


그림1. 재질에 의한 영향 1

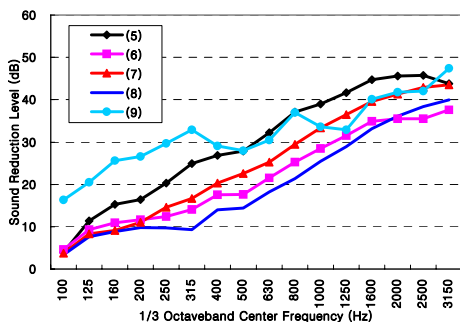


그림2. 재질에 의한 영향 2

4.2 두께에 의한 영향

그림3.~그림5.는 완충재 두께변화에 따른 경량충격음 저감량을 나타낸 것으로, 그림3.은 PE 20mm와 PE 20mm 2겹을 적층한 구조의 저감량을 나타낸다. 두께가 증가되어 동탄성계수로 23.0MN/m²에서 11.3 MN/m²으로 낮아졌으며, 동탄성계수가 낮은 구조에서 저감량이 증가하는 것으로 나타났다. 일부 고주파수에서는 저감량이 낮아지는 현상이 나타났다.

그림4.는 EPS 1호 20mm와 EPS 1호 20mm + EPS 1호 30mm 적층한 구조를 비교한 것으로 그림3.의 결과와 같이 두께가 두꺼운 구조(D)에서 저감량이 더 큰 것으로 나타났다.

그림5.는 Neopor 20mm와 40mm(구조I)에 대한 측정결과로서 동탄성계수가 두께 증가에 의해 8.8 MN/m²에서 4.5 MN/m²로 낮아졌으며, 저감량도 증가한 것으로 측정되었다. 630Hz를 전후하여 Neopor의 두께가 두꺼운 구조에서 저감량이 감소하는 현상이 발생하였다.

완충재를 동일한 재질이나 다른 재질을 적층하여 두께가 증가되면 동탄성계수가 낮아지고 경량충격음 저감량도 증가하는 것으로 나타났으며, 일부 주파수 영역에서 경량충격음 저감량이 감소되는 현상이 발생하였는데 원인에 대한 보다 심도있는 검토가 필요할 것으로 판단된다.

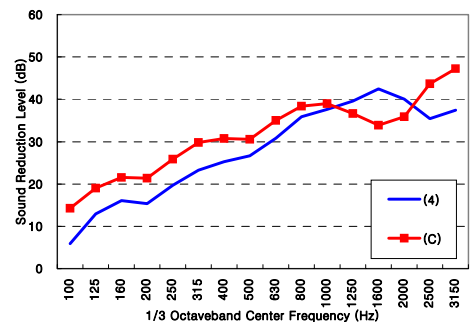


그림3. 두께에 의한 영향 1

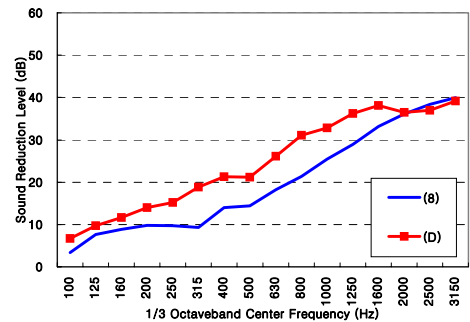


그림4. 두께에 의한 영향 2

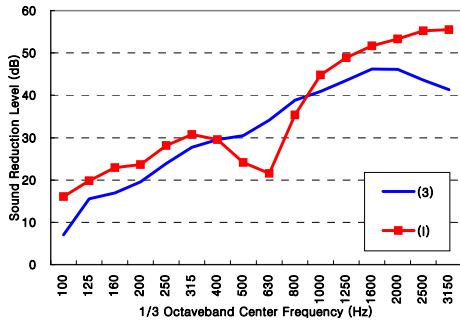


그림5. 두께에 의한 영향 3

4.3 적층 위치에 의한 영향

측정대상 A, B는 Neopor과 EPS를 적층한 구조로 완충재를 적층하는 순서를 변경하여 경량충격을 저감량을 측정하였다. 그림6과 같이 완충재의 적층위치에 따라 경량충격음 저감량은 거의 일치하는 것으로 나타났으며, 동탄성계수도 4.2MN/m²와 4.1MN/m²로 거의 동일하게 측정되었다. 동탄성계수가 동일하면 경량충격음 저감량도 거의 일정한 특성을 보이는 것으로 판단된다.

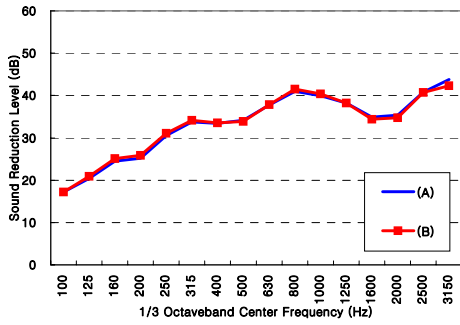


그림6. 적층 위치의 영향

4.4 동탄성계수에 의한 영향

그림7은 EVA구조와 EVA와 EPS가 적층된 구조에 대한 경량충격음 저감량 측정결과로서 EVA재료는 하부에 요철형태로 구성되어 있다. 2개 구조는 동탄성계수가 6.3MN/m²과 6.1MN/m²로 유사함에도 불구하고 그림6과 같은 동일한 저감특성을 보이지 않고 두께가 두꺼운 구조의 저감량이 더 큰 것으로 나타났다.

그림8은 동탄성계수가 1.6 MN/m²~1.9 MN/m²로 낮은 범주에 속하는 구조에 대한 측정결과이다. 경량충격음 저감량 100Hz~1000Hz는 다소 유사한 특성을 보이고 있었으며, 1000Hz 이상에서는 두께가 가장 얇은 구조9의 저감량이 다른 구조에 비하여 낮게 측정되었다. 동탄성계수가 낮고 두께가 두꺼운 구조에서 경량충격음 저감량이 높은 것을 알 수 있었다. 또한 동탄성계수가 낮은 구조의 저감량이 다른 구조에 비하여 저주파 영역에서 더 높은 것으로 나타났다.

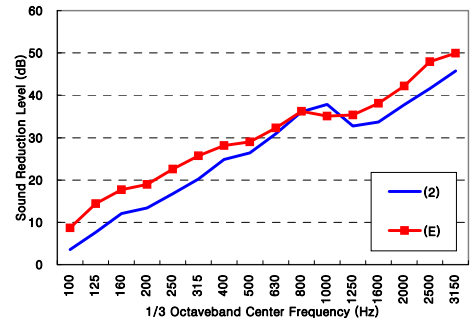


그림7. 동탄성계수의 영향 1

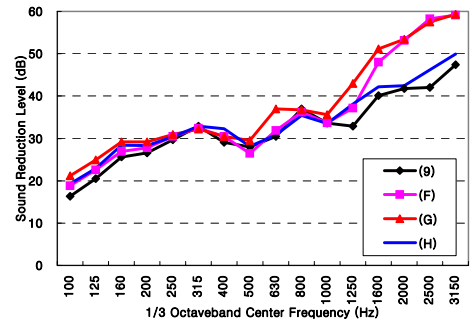
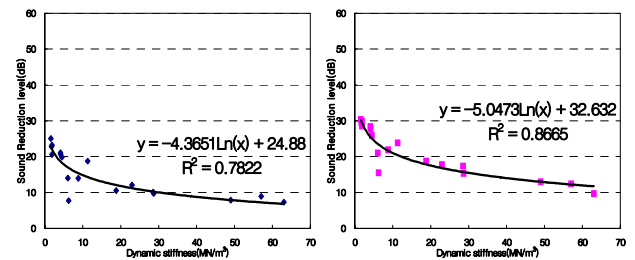


그림8. 동탄성계수의 영향 2

4.5 동탄성계수와 경량충격음 저감량 상관성

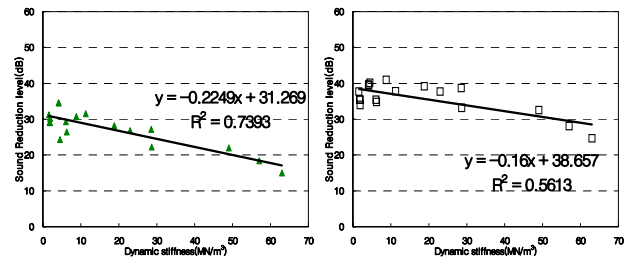
그림9는 1/3옥타브밴드로 측정된 결과를 1/1로 옥타브밴드로 환산하여 주파수별 동탄성계수와 경량충격음 저감량과의 상관성을 나타내었다.

동탄성계수가 증가할수록 경량충격음 저감량도 감소하는 경향을 나타내었으며, 주파수가 증가할수록 결정계수(R²)도 낮아지는 것으로 나타났다. 특히, 250Hz의 결정계수가 0.8665로 나타나 가장 높은 상관성을 보였다.



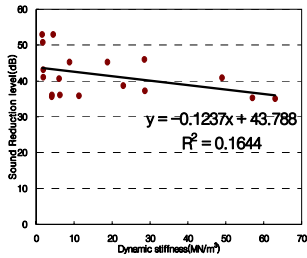
(a) 125Hz

(b) 250Hz



(c) 500Hz

(d) 1000Hz



(e) 2000Hz

그림9. 동탄성계수와 경량충격음 저감량과의 상관성

4. 결론

국내에서 완충재로 사용하는 재료를 대상으로 실험실 측정을 통하여 완충재 종류별 경량충격음 저감량을 측정한 결과는 다음과 같다.

완충재의 동탄성계수는 두께가 두꺼워질수록 낮아지며 경량충격음 저감량은 증가하는 것으로 나타났다. 또한 완충재를 다른 재질과 적층할 경우에는 적층되는 순서를 변경하여도 거의 일정한 동탄성계수와 경량충격음 저감량을 보였다. 동탄성계수가 낮은 구조의 경량충격음 저감량은 그렇지 않은 구조에 비하여 저주파수 영역에서 저감량이 더 큰 것으로 나타났다.

완충재의 동탄성계수가 증가하게되면 경량충격음저감량도 감소하는 것으로 나타나 상관성이 있는 것을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- (1) 이주원, 외2명, 2003, “충격음 저감재의 동특성과 실험실 경량충격음레벨 저감량의 상관관계”, 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집, pp. 191~194.
- (2) 김경우, 외4명, 2007, “완충재 종류에 따른 중량바닥충격음 저감특성 평가”, 한국소음진동공학회 추계학술대회, Proceeding CD.
- (3) L. Cremer, M. Heckel, B.A.T. Petersson, 2005, “Structure-Borne Sound”, Springer-Verlag Berlin.
- (4) Alessandro Schiavi, Andrea Pavoni Belli, Francesco Russo, “Dynamic Stiffness Measurement: an empirical model to estimate the reduction in impact sound pressure level and its relative improvement curve”, ICA 2004:3401-3404
- (5) 정갑철, 외2명, 2001, “공동주택 바닥충격음 완충재료의 물성 권장안”, 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 59~64.
- (7) 이성호 외2명, 2005, “완충재의 동탄성 및 손실계수 측정시 영향인자에 관한 연구”, 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 279~282.
- (8) 김경우 외4명, 2005, “바닥충격음 완충재의 동탄성계수 및 열전도율 특성에 관한 연구”, 대한건축학회 창립60주년기념 학술발표대회논문집, pp. 207~210.
- (9) 송민정, 외2명, 2000, “축소실험실을 이용한 바닥완충구조의 경량충격음 차음성능 예측방법에 관한 실험적 연구”, 한국소음진동공학지 제10권 제1호, pp. 82~98.
- (10) 한국산업규격, KS F 2868:2003 거주공간 뜬바닥용 재료의 동탄성계수 측정방법