

벽식구조 바닥판의 중량충격음 특성 분석을 위한 축소모형의 활용

Experimental Studies for Analysing of Characteristics of Floor Impact Sound through a Scale Model with Box-frame Type Structure

유 승 엽* · 전 진 용†

Seung Yup Yoo and Jin Yong Jeon

(2011년 5월 24일 접수 ; 2011년 8월 5일 심사완료)

Key Words : Heavy-weight Floor Impact Sound(바닥충격음), Scale Model(축소모형), Box-frame Type Structure (벽식구조), Isolating Material(저감재)

ABSTRACT

This study investigated the characteristics of heavy-weight floor impact sounds of box-frame type structure using 1:10 scale model. Ten types of floor structures(bare slabs and floating floors) were evaluated in terms of dynamic stiffness and loss factor. Floor vibrations and radiated sounds generated by simulated impact source were also measured. The results showed that the bakelite was appropriate for simulating concrete slab in the 1:10 scale model, and surface velocity and sound pressure level of concrete slab measured from the scale model showed similar tendencies with the results from in-situ in frequency domain. It was also found that dynamic behaviors of layered floor structures in the 1:10 scale model were similar to those in a real scale. Therefore, the use of 1:10 scale model would be useful for evaluating the heavy-weight floor impact sound insulation of layered floor structures when the frequency-dependent dynamic properties of each material are known.

1. 서 론

바닥충격음 저감구조에 대한 성능평가는 일반적으로 현장시험 시공에 의한 실험적 방법을 통해 이뤄지고 있다. 현장 시험시공을 통한 실험적 방법은 비용, 소요시간 및 다양한 영향 요인을 포함하고 있다는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 축소모형을 이용하거나 축소시편을 활용하

여 바닥구조의 구성에 따른 성능을 평가하고자 하는 연구들이 시도되고 있다.

국내에서는 박철용 등⁽¹⁾ 및 정진연⁽²⁾이 슬래브 상부 일부에 시험체를 설치하여 평가하고 이를 실제 스케일의 시험체 측정결과와 바닥충격음 차음성능을 비교하여 시험방법을 검증한 연구사례가 있었다. 한편, 독일 PTB⁽³⁾에서는 1.2×0.8 m²의 면적을 갖는 간이 시험체를 제작하여 바닥가감재의 경량충격음 차단 성능에 대해 측정할 수 있는 시험 장치를 개발하였다. 국내에서도 이와 유사한 형태로 표면 마감재의 충격음 차단 성능을 잔축실험실과 1:3 축소 실험실에서 진동가속도와 음압레벨을 측정하고 이들의 상관관계를 비교한 연구⁽⁴⁾들이 있다.

이와 같은 다수의 축소시편을 활용한 성능평가 방법들이 경량충격음의 경우에는 고주파수 대역의

† 교신저자; 정회원, 한양대학교 건축공학부
E-mail : jyjeon@hanyang.ac.kr
Tel : (02)2220-1795, Fax : (02)2220-4794

* 정회원, 한양대학교 건축환경공학과

이 논문의 일부는 2011년 춘계 소음진동 학술대회에서 발표되어 우수논문으로 추천되었음.

국부 진동에 의해 바닥판이 가진이 되므로 축소시편에 의한 예측이 잘 일치하는 경향이 있다. 반면에 중량충격음, 특히 125 Hz 이하 저주파수 대역의 경우 충격음 레벨특성은 실제 크기의 시험체에서의 결과와 상이하였다. 이는 저주파수 대역의 중량충격음 특성이 바닥판의 굽힘 진동특성에 의해 결정되기 때문으로 축소시편을 활용한 실험방법에서 슬래브 및 시편의 치수 및 물성, 경계조건 등의 실험조건에 따른 차이가 있음을 의미한다.

따라서 이 연구에서는 기존 축소모형 측정방법의 한계를 극복하고자 구조물 전체(시료 및 슬래브)를 상사법칙에 따라 축소하고 벽식구조의 경계조건을 모사하여 축소모형 바닥구조의 차음성능을 평가하였다. 우선 축소모형 제작 대상 및 평가방법을 설정하였고 콘크리트를 대체할 수 있는 슬래브 재료를 선정하였다. 그리고 뜬 바닥구조와 같은 다층 바닥구조에서 보 전달함수법을 적용하여 얻은 저감재 물성에 따른 저주파수 대역의 중량충격음 특성을 살펴보았다. 마지막으로 바닥충격음 저감구조의 특성을 위한 연구방법으로 축소모형 도입의 가능성을 검토하였다.

2. 축소모형 제작 및 평가방법

2.1 축소모형 관련이론

고체 매질을 통해 전달되는 소음(structure-borne sound)의 경우, 축소모형(scale)과 모사대상(original) 간의 상사법칙(law of similarity)은 고체음과 공기음간의 파장비로 표현될 수 있다. 이때, 공기의 음속은 동일하므로 축소모형과 모사 대상간의 고체 매질의 wave speed가 동일할 때 음향적인 모사가 이뤄진다고 할 수 있다⁵⁾.

건축음향 분야에 있어서 일반적으로 판(plate)의 조건은 thin plate의 조건을 갖는다. 이러한 조건에서 판의 굽힘 진동(bending vibration)과 판에 의한 준종파(quasi-longitudinal wave)는 고체음의 전달에 있어 중요한 역할을 한다⁶⁾. 준종파의 속도가 동일한 조건을 갖는 판에 대해, 축소모형과 모사 대상 간에는 탄성계수(E)에 대해서는 식 (1), 손실계수(η)에 대해서는 식 (2)와 같은 관계를 갖는다. 여기서 ρ 는 매질의 밀도, μ 는 푸아송비를 나타낸다. 또한 D_{im} 는 굽힘 강성의 허수부, D_{re} 는

실수부를 나타낸다.

$$\left[\frac{E}{\rho(1-\mu^2)} \right]_{scale} = \left[\frac{E}{\rho(1-\mu^2)} \right]_{original} \quad (1)$$

$$\eta_{scale} = \frac{\{D_{im}(f)/D_{re}(f)\}_{sd}}{\{D_{im}(f)/D_{re}(f)\}_{ogn}} \quad (2)$$

재료의 탄성계수와 손실계수는 주파수 의존특성을 가지고 있으므로 축소 스케일을 고려하여 재료의 물성을 산정, 이를 반영하여 설계하여야 한다. 특히, 점탄성 재료와 같이 손실계수가 큰 재료의 경우에는 주파수 대역에 따른 탄성계수 편차가 커지므로 이를 반영하여 대응하는 재료를 선정해야 한다⁷⁾.

2.2 축소모형 제작

이 연구에서는 국내에서 바닥충격음 저감성능 평가에 일반적으로 사용되고 있는 벽식구조 실험동을 모델로 하여 축소모형의 활용 가능성을 평가해보았다. 벽식구조의 거실부 경계조건과 유사하며 물성 및 슬래브 경계조건, 바닥판들의 차음성능에 대한 데이터가 확보되어 있어 축소모형 평가에 유리하다. 실험실은 바닥면적 4.6 m×5.1 m(23.5 m²)의 장방형 슬래브와 200 mm 두께의 전단 내력벽체로 구성되어 있으며 벽체와 슬래브의 연결부위는 고정단의 경계조건을 갖는다. 각 실의 천장고는 2.65 m이다. 이 구조물은 벽식구조의 철근콘크리트로 되어 있으며 구조재로 사용된 철근 콘크리트는 압축강도 20.5 MPa, 밀도 2400 kg/m³의 물성을 갖도록 설계되었다.

이 연구에서는 위의 이론을 바탕으로 모사대상 실험동의 크기, 축소모형 가용재료의 물성 및 실험장치의 분석 가능한 주파수 범위를 고려하여 1:10 축소모형을 제작하였다. 축소모형 바닥판의 크기는 0.46 m×0.51 m로 하였으며 수음실의 천장고는 0.27 m로 하였다. 벽체는 두께 20 mm 아크릴 판을 사용하였다. 각각의 바닥판과 벽체 부재는 시험동 슬래브와 벽체간의 고정단 경계조건을 재현하기 위해 5 cm 간격의 볼트 체결방식으로 일체화될 수 있도록 하였다. 슬래브는 10 mm~20 mm 두께의 판재로 제작되었으며 상부 온돌 마감층은 동일 재질의 10 mm 판재를 슬래브 위에 적층하여 사용하였다. 축소모형은 Fig. 1과 같은 형태로 제작되었다.

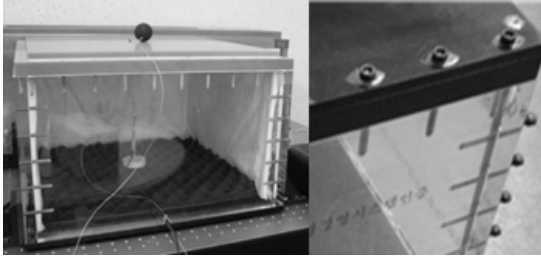


Fig. 1 Picture of scale model(left) and boundary condition between slab and wall(right)

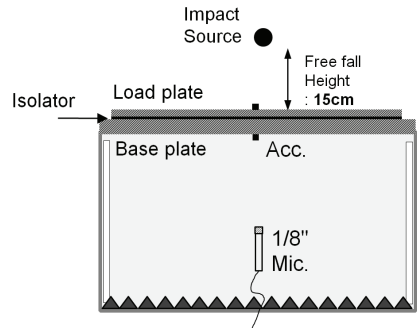


Fig. 2 Scheme of scale model of box-frame structure and measurement setup

2.3 측정 및 분석방법

Fig. 2는 제작된 축소모형 및 측정세팅을 나타내고 있다. 바닥판의 충격음 특성을 살펴보기 위하여 구형의 충격원으로 판 상하부 중앙을 가진하였을 때, 중앙부 가속도계(Endevco, Type 2250-12)를 통해 진동 레벨을 측정하고 이로 인해 방사되는 소음을 수음실 중앙부에서 1/8" 마이크로폰(GRAS, Type 4138)으로 측정하였다.

Data acquisition system(B&K, Pulse 3560C front-end)을 통해 음압 및 가속도 신호를 wav 파일로 레코딩한 다음, 음원의 sampling rate를 원래의 1/10로 줄여 분석하였다⁽⁵⁾. 이 측정에서는 측정 주파수 구간을 20 Hz~16,000 Hz로 하여 측정하였고 이의 sampling rate를 줄여주었다. 아래의 축소모형 실험결과들은 위 방법을 통해 보정된 주파수 대역, 즉 2 Hz~1,600 Hz에 대해 분석한 결과로 나타내었다. 이 연구에서는 동특성 및 두께가 다른 4종류의 슬래브 및 서로 다른 저감재를 삽입한 4종류의 다층 바닥구조를 설치하여 바닥판의 충격진동(분석구간 2초, 0.5 Hz 간격) 및 방사소음(L_{iFmax})을 측정하였다. 방사소음의 평가주파수 대역은 KS 2801-2의 방법에 따라 63~500 Hz를 대상으로 하였다.

수음실에는 벽체에 의한 반사음의 영향을 줄이고 바닥판으로부터의 방사음을 평가하기 위하여 다공성 흡음재를 설치하였다. 이를 통해 잔향시간(63 Hz~500 Hz대역)이 0.5초 이하가 되도록 하였다.

모사 충격원은 합성고무 재질의 중공(中空) 구를 사용하였으며 모사 대상인 임팩트볼(ISO 10140-3, 2010)의 재원과 비교하면 Table 1과 같은 차이가 있으며, Fig. 3은 모사 충격원(점선)과 임팩트볼(실선)간의 시간 및 주파수 영역에 대한 충격력 특성을 나타낸다. 실제 임팩트볼은 모달가진을 한다. 24 Hz에서

Table 1 Comparison between floor impact sources

| Items | ISO rubber ball | Simulated ball |
|----------------------------|-----------------|------------------|
| Weight | 2.5 kg | 25 g |
| Diameter | 178 mm | 40.5 mm |
| Drop height | 100 cm | 15 cm |
| Impact duration | 21 ms | 6 ms |
| Coefficient of restitution | 0.76 | 0.50 |
| Material | Silicone rubber | Synthetic rubber |

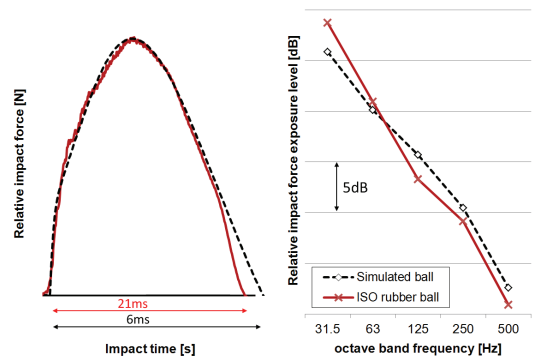


Fig. 3 Comparison of impact force characteristics (left : time domain, right : frequency domain)

1차 모드가 발생하며 10 Hz~400 Hz 대역에서 8개의 자유도를 가지는 것으로 알려져 있다⁽⁸⁾. 따라서 충격력 모달 특성을 모사하기 위하여 중공 구를 사용하였으며 유사한 주파수 특성을 나타내기 위하여 낙하 높이에 따른 충격력 특성을 비교하였다. Fig. 3과 같이 모사 가진원을 15 cm 높이에서 자유낙하할 때, 충격력의 시간 영역에서의 가진 특성, 즉 초반에 충격력이 급격히 증가하다가 천천히 감소하는 특성이 임팩트볼과 유사하게 나타났으며 충격력의

주파수 특성도 평가 대역에서 옥타브 밴드별로 4 dB이내로 서로 유사하게 나타났다.

3. 슬래브의 진동 및 소음

3.1 슬래브 측정결과

벽체와 연결되어 있는 슬래브 물성에 따른 충격음 특성을 고찰하고 모사대상 구조물인 콘크리트 슬래브를 대체할 수 있는 축소모형 재료를 선택하기 위하여 슬래브(base plate) 재료별로 특성을 살펴 보았다. Table 2는 슬래브 재료의 물성을 나타내고 있다. 사용된 재료로는 축소모형 가용재료로 활용할 수 있는 재료로서 아크릴(plexiglas) 10 mm 및 20 mm, MDF 15 mm 그리고 베크라이트 20 mm의 4 종류를 검토하였다. 바닥충격음 전달에 중요한 영향을 미치는 phase velocity(CL) 및 굽힘 강성(bending stiffness) 측면에서 콘크리트와 가장 유사한 재료로는 베크라이트로 나타났다.

(1) 바닥판 진동

모사 가진원으로 슬래브 중앙부를 가진했을 때, 슬래브 천장 중앙(소음 방사면)에서 측정된 진동속도(surface velocity)를 비교하여 각 슬래브간 차이를 살펴 보았다. 바닥충격음에 큰 영향을 미치는 슬래브의 1차 고유진동수는 아크릴 10 mm, MDF 15 mm, 아크릴 20 mm, 베크라이트 20 mm의 순으로 높았으며 각 11 Hz, 17.5 Hz, 20 Hz, 26.5 Hz로 나타났다. 비교대상이 되는 콘크리트 210 mm 두께의 실험동 측정결과에서는 32 Hz로 베크라이트가 콘크리트 슬래브와 가장 유사한 것으로 나타났다. Fig. 4에서와 같이 MDF, 아크릴에 비해 베크라이트가 가장 낮은 진동속도를 나타냈다. 이는 가용 재료 가운데 Table 2에 제시된 재료별 굽힘 강성과 같은 경향으로 63 Hz 이상의 진동레벨이 베크라이트가 가장 낮은 것으로 나타났다.

(2) 충격음 레벨

Fig. 5는 모사 가진원으로 슬래브 중앙부를 가진했을 때, 수음실 중앙부 바닥으로부터 120 mm 높에서 측정된 충격음 레벨을 나타내고 있다. 아크릴 10 mm와 MDF의 경우에는 63 Hz에서 가장 높은 레벨이 나타났으며 높은 강성을 가지는 아크릴 20 mm, 베크라이트의 경우에는 31.5 Hz에서 가장 높은 레벨을 나타냈다. 베크라이트의 경우, 다른 구조에 비해 63 Hz에서 레벨이 낮았으며 31.5 Hz에서 가장 높은 음압레벨이 나타났으며 125 Hz에서도 높은 레벨을 갖는 것으로 나타났다. 이러한 특성은

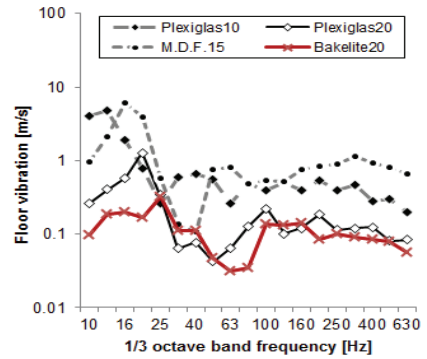


Fig. 4 Floor vibrations of base plates

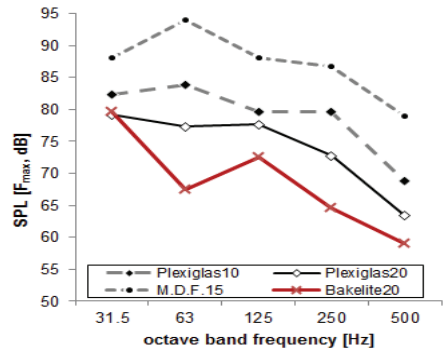


Fig. 5 Radiated SPL of base plates

Table 2 Material properties of using base plates

| Material | Density(kg/m ³) | Elastic modulus(GPa) | C _L (m/sec) | Loss factor | Poisson ratio | Thickness(mm) | Bending stiffness(kN/m) |
|-----------------------|-----------------------------|----------------------|------------------------|-------------|---------------|---------------|-------------------------|
| Concrete | 2300 | 26 | 3400 | 0.005 | 0.2 | 200 | 18 MN/m |
| Plexiglas | 1150 | 5.7 | 2200 | 0.03 | 0.3 | 20 | 4.2 |
| | | | | | | 10 | 0.5 |
| Bakelite | 1430 | 13 | 3100 | 0.02 | 0.3 | 20 | 9.5 |
| M.D.F. ⁽⁵⁾ | 760 | 4.5 | 2600 | .01 | 0.3 | 15 | 1.4 |

실제 콘크리트 슬래브에서의 충격음 레벨특성과 유사하였다.

3.2 축소모형 검증

앞선 결과에서 실제 스케일의 콘크리트 슬래브의 고유진동수 및 모사 가진원에 따른 주파수 특성이 유사한 것으로 나타난 축소모형 베크라이트 20 mm 측정결과와 실제 스케일의 실험동 210 mm 콘크리트 슬래브간의 방사효율 및 실제 충격음 레벨을 비교하여 축소모형 결과의 재현수준을 검토하였다.

축소모형을 통한 고체음 평가의 재현을 위해서 각 구조에 따른 방사효율(radiation efficiency)을 LMS

sysnoise 프로그램을 활용하여 계산하였다. 방사효율(σ)은 식 (3)~(4)에 의해 계산되는 input power(W_i)와 output power(W_o)간의 비로 표현된다. 여기서, dS 는 국부 방사면적, v_i 는 평균 속도, ρc 는 유체의 특성임피던스를 나타낸다.

$$W_i = \rho c \oint_s |v_i|^2 dS \quad (3)$$

$$W_o = \frac{1}{2} \oint_s p \cdot v^* dS \quad (4)$$

Fig. 6은 실제 콘크리트 슬래브 구조물과 베크라이트를 사용한 축소모형간의 주파수 대역별 방사효율을 비교한 결과이다. 축소모형의 주파수는 상사의 법칙에 따라 1/10로 변환된 스케일로 나타내었다. 계산에 활용된 바닥 슬래브의 물성은 Table 2의 값을 적용하였으며 판의 경계조건은 실제 모달 테스트 결과를 바탕으로 설정하였다⁹⁾. 2개 모델에 대해 계산된 방사효율을 비교한 결과, 대응하는 주파수 대역의 방사효율 양상이 서로 유사함을 확인할 수 있었다.

실제 스케일의 실험동(슬래브 두께 210 mm)과 축소모형(베크라이트, 슬래브 두께 20 mm)에 대해 슬래브 중앙을 각각 임팩트볼과 모사 충격원으로 가졌을 때, Table 3과 같은 잔향시간을 가지는 수음실에서 측정된 충격음 레벨을 비교하였다. Fig. 7에서와 같이 축소모형과 실제 구조물간의 주파수 특성이 5 dB 이내의 차이로 유사하게 나타났으며 주파수 대역별 기울기도 서로 유사하였다. 125 Hz 이하의 주파수 대역에서는 축소모형에서의 SPL이 1.2 dB~3.3 dB의 차이로 높게 나타났다. 그리고 250 Hz와 500 Hz에서도 다소 차이가 나타나나 SPL 차이가 최대 4.9 dB내로 나타났다. 따라서 저주파수 대역의 차음성능 평가에 있어 벽식구조 콘크리트에서의 충격음 주파수 특성이 베크라이트를 사용한 축소모형을 통해 유사하게 재현될 수 있음을 확인할 수 있었다.

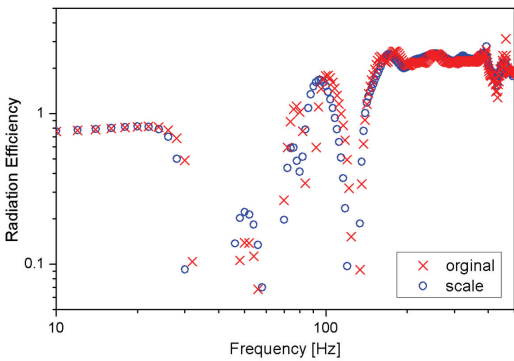


Fig. 6 Comparison of radiation efficiency between original model and scale model

Table 3 Reverberation time of each receiving room

| | 63 Hz | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz |
|----------------|--------|--------|--------|--------|
| Original model | 2.69 s | 1.53 s | 0.82 s | 0.48 s |
| Scale model | 0.42 s | 0.38 s | 0.25 s | 0.21 s |

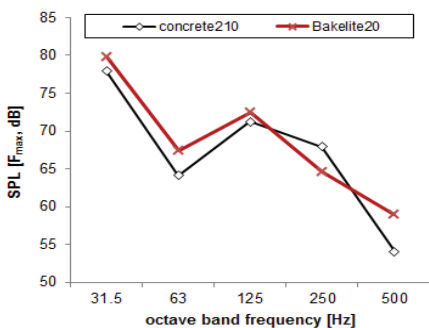


Fig. 7 Impact SPL of original model(concrete 210 mm) and scale model(bakelite 20 mm)

4. 다층 바닥구조의 진동 및 소음

4.1 단층 저감재를 사용한 바닥구조

일반적인 공동주택 바닥충격음 차단구조는 210 mm 두께의 콘크리트 슬래브위에 20 mm~30 mm

두께의 완충 저감재(표준바닥구조: 동탄성 계수 40 MN/m³, 손실계수 0.1~0.3)가 시공되고 그 위에 경량 기포 콘크리트, 마감 몰탈의 단열층이 시공되는 형태로 되어 있다. 이와 같이 뜬 바닥구조(floating floor)로 불리는 다층 바닥구조에서는 중간에 삽입되는 저감재의 물성에 따라 충격음 저감특성이 결정된다.

이 축소모형을 활용한 실험에서는 단층의 저감재가 사용되는 경우(single layer)와 복층으로 구성된 저감재가 사용되는 경우(double layers)의 다층 바닥구조를 대상으로 20 mm 두께의 베크라이트 슬래브 위에 저감재를 적층한 다음 다시 10 mm 두께의 베크라이트 판을 올려놓는 형태로 시험체를 설치하여 저감재 물성별 충격 진동 및 소음 측정결과를 분석하였다. 저감재로서 고려된 재료는 층간소음 저감재로 사용되는 EPDM, EPS, EVA, PE-foam 그리고 점탄성 제진재(VED)를 사용하였다.

Table 4는 보 전달함수법으로 측정된 저감재 종류별 동탄성계수, 손실계수 및 두께를 나타낸다. 동탄성 계수(N/m²) 및 손실계수는 20 Hz~2,000 Hz의 평균값을 나타내었다⁽¹⁰⁾. 즉, 축소모형에 대해서는 16 Hz~125 Hz 대역의 동탄성계수에 해당하는 값이다. 보 전달함수법에 의해 측정된 동탄성 계수는 KS F2868에 의해 측정된 동탄성계수(N/m³)와 달리 시편 두께의 영향을 고려하여 계산된다. 두께를 고려한 저감층의 dynamic stiffness(N·m)는 Table 4의 No. 1에서 5의 순서로 증가한다. 손실계수 또한 No. 1에서부터 순서대로 증가하여 PE-foam이 가장 작았으며 VED가 가장 큰 값을 가졌다. 위의 조건을 바탕으로 이 연구에서는 저감층 동특성에 의한 충격 진동 및 소음 특성을 살펴보았다.

(1) 바닥판 진동

Fig. 8은 다층 바닥구조에 다양한 저감재를 적용했을 때, 모사 가진원으로 바닥판 중앙부를 가진하여 수음실 천장에서 측정된 주파수 대역별 진동레벨을 나타내고 있다. Bakelite 맨슬래브와 비교하여 모든 다층 바닥구조에서 125 Hz 이상 주파수 대역의 방사면 진동속도가 절반 이하로 감소하였다. 반면, 63 Hz 이하의 대역에서는 PE-foam을 제외하고 대부분의 저감재를 사용한 구조에서 진동이 맨슬래브에 비해 증가하는 것으로 나타났다.

Table 4 Dynamic properties of using isolators

| No. | Material | Elastic modulus | Thickness | Loss factor |
|-----|----------|-----------------|-----------|-------------|
| 1 | PE-foam | 0.02 MPa | 3.8 mm | 0.05 |
| 2 | EPS | 0.13 MPa | 2.3 mm | 0.07 |
| 3 | EVA | 1.57 MPa | 1.5 mm | 0.25 |
| 4 | EPDM | 5.41 MPa | 1.1 mm | 0.33 |
| 5 | VED | 7.61 MPa | 1.2 mm | 1.01 |

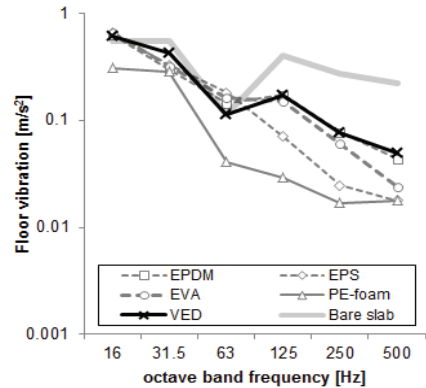


Fig. 8 Floor vibrations of floor structures with isolator of single layer

다른 저감재에 비해 상대적으로 작은 탄성계수를 가지고 있는 PE-foam의 경우에는 전주파수 대역에서 진동레벨이 크게 감소하는 경향을 보였으나 탄성계수가 큰 재료들은 125 Hz 이상 대역에서 레벨이 크게 감소하지 않았다. 손실계수가 큰 VED의 경우에는 다른 재료에 비해 레벨이 증가하는 경우가 나타나지 않았다.

(2) 충격음 레벨

Fig. 9는 진동 측정과 동일한 상태에서 측정된 수음실 중앙부의 대역별 최대 음압레벨을 나타낸다. 진동 측정결과와 유사한 결과를 보였으며 PE-foam을 제외한 경우, 63 Hz에서 VED를 사용한 구조가 가장 낮은 음압레벨을 보였다. 그러나 125 Hz 이상의 대역에서는 저감효과가 다른 구조에 비해 미미한 것으로 나타났다. 한편, 동탄성계수가 낮은 EPS의 경우에는 125 Hz~500 Hz까지의 저감량이 상대적으로 다른 구조에 비해 큰 것으로 나타났다. 특히 125 Hz에서의 음압레벨이 크게 줄었다. PE-foam의 경우에는 전주파수 대역에서 상대적으로 큰 저감량을 보여

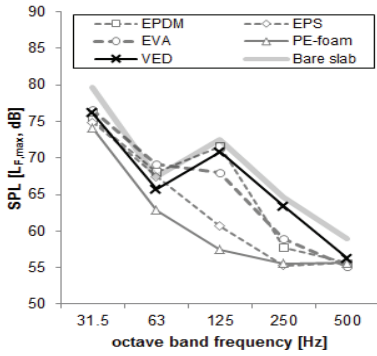


Fig. 9 Radiated SPL of floor structures with isolator of single layer

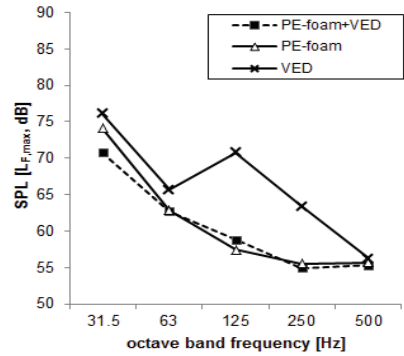


Fig. 10 Radiated SPL of floor structures with isolators of double layers

주었으나 탄성계수 0.02 MPa는 상부층 거주자의 보행감 및 구조 안정성 측면에서 실질적으로 적용이 어려울 것으로 생각된다.

4.2 복층 저감재를 사용한 바닥구조

최근 층간소음 저감재의 종류가 다양해짐에 따라 서로 다른 물성을 가진 2가지 이상의 저감재가 적용되어 사용되는 경우들이 있다. 이 연구에서는 탄성계수 및 손실계수가 가장 작은 PE-foam과 탄성계수 및 손실계수가 가장 큰 VED가 서로 적용되어 있는 바닥구조의 충격음 저감특성을 살펴보았다.

Fig. 10은 2개의 저감재가 함께 적용되어 있는 구조(점선)와 각각 저감재가 단층으로 적용되어 있는 경우(실선)의 충격음 레벨을 나타내고 있다. 복층으로 되어 있는 저감재의 경우에는 충격음 레벨 특성이 탄성계수가 낮은 PE-foam과 유사하게 나타났다. 한편, PE-foam 구조에 VED를 추가로 적용함으로써 31.5 Hz에서는 3 dB의 저감효과가 나타났다.

단층 및 복층 저감재를 사용한 구조에 대한 실험 결과에서 모두 기존 결과⁽¹¹⁾와 같이 동탄성계수가 작은 구조에서 중량충격음이 저감되는 결과들이 나타났으며 이 실험결과에서도 단일수치값($L_{i,Fmax,AW}$, KS F 2863-2)으로 보았을 때, 탄성계수가 작은 EPS 및 PE-foam은 49 dB, EVA 52 dB, EPDM 54 dB 그리고 VED는 55 dB로 탄성계수 감소에 따라 맨슬래브 대비 최대 8 dB 감소하는 것으로 나타났다. 특히 뱅머신에 비해 125 Hz에서의 음압레벨이 단일수치값을 결정하는 데 중요한 역할을 하는 임팩트볼 측정평가라는 측면에서 탄성계수 감소에 따른 중량충격음 저감효과가 더욱 뚜렷하게 나타났다.

2가지 저감재를 적용한 저감구조의 경우에서도 이전 연구들과 같이 저감층이 2개의 스프링이 직렬로 연결된 구조로 해석될 수 있으므로 낮은 동탄성계수를 가지는 PE-foam의 탄성계수가 지배적인 역할을 하게 되는 결과들을 볼 수 있었다. 따라서 완충재와 제진재를 복합적으로 적용했을 때(단일수치값 49 dB), 추가적인 저감효과는 나타나지 않았다. 다만 저차의 공진주파수 대역에서는 손실계수가 큰 VED를 적용함으로써 충격음 레벨을 다소 저감하는 역할을 하는 것을 확인할 수 있었다.

축소모형 실험의 경우, 저탄성계수의 완충재를 적용할 때, 250 Hz 이상의 대역에서 55 dB 이하의 음압레벨이 측정되지 않았는데 이는 측정 시스템의 dynamic range에 따른 noise floor에 영향을 받았기 때문에 실제 차음성능에 비해 다소 높게 측정된 것으로 사료된다. 고차음의 바닥구조의 평가시에는 고주파수 대역에서 더욱 폭넓은 dynamic range를 확보할 수 있는 시스템 구성이 필요하다.

5. 결 론

이 연구를 통한 주요 측정 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

(1) 재료의 물성, 치수를 고려하여 상사의 법칙을 적용하여 만든 축소모형의 경우, 측정된 신호의 sampling rate를 축소하여 분석함으로써 바닥충격음의 주파수 대역별 특성 재현이 가능하다.

(2) 이 연구에서는 콘크리트 슬래브를 재현할 수 있는 재료로는 베크라이트를 선정하였다. 그리고 이를 이용하여 다양한 저감재를 사용한 다층 바닥구

조에 대해서도 저감재의 탄성계수 및 손실계수에 따른 주파수 대역별 저감특성이 실제 구조물에서의 경향과 유사하게 나타나는 결과들을 볼 수 있었다.

따라서 기존 축소시편 실험방법에서 예측이 어려운 125 Hz 이하의 저주파수 대역에 대해 축소모형을 활용하여 상대적인 충격음 특성평가가 가능할 수 있음을 확인하였다. 보다 정확한 저감구조 충격음 성능 평가를 위해서는 주파수 대역별 탄성계수 및 손실계수에 대한 측정결과가 있어야 한다. 특히, 점탄성 재료와 같이 손실계수는 주파수 대역에 따른 탄성계수 차이가 크기 때문에 주파수 대역별 물성결과가 있을 때 정확한 결과해석이 가능하다. 향후 이러한 고려사항들을 반영할 때, 축소모형 측정 방법을 바닥구조의 충격음 차단성능 연구에 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

후 기

이 연구는 한국연구재단 “기초연구사업”(과제번호: 2010-0027675)의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

(1) Park, C. Y., Hong, G. P., Lee, S. J., Kim, J. K. and Kim, K. R., 2007, Study on the Test Method of Impact Sound Pressure Level Using the Miniature Mortar, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 1446~1449.

(2) Chung, J. Y., 2009, Small-size Specimen's Effectiveness That is used to Mortar Layer of Slab (heavy-weight floor impact sound), Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 19, No. 2, pp. 184~191.

(3) Sommerfeld, M., 2009, A Simplified Measurement Method for the Determination of Impact

Sound Reduction, Proceedings of NAG/DAGA 2009, Rotterdam.

(4) Song, M. J. and Kim, S. W., 1999, An Experimental Study on the Relation between VAL in Mini-laboratory and SPL in Reverberation Room - Focused on the Floor Covering PVC, Journal of the Architectural Institute of Korea(planning and design), Vol. 16, No. 1, pp. 109~116.

(5) Kling, C., 2007, Miniaturising a Wall Test Facility, Building Acoustics, Vol. 14, No. 4, pp. 243~266.

(6) Hopkins, C., 2007, Sound Insulation, Butterworth-Heinemann, Oxford.

(7) Pritz, T., 2004, Frequency Power Law of Material Damping, Applied Acoustics, Vol. 65, No. 11, pp. 1027~1036.

(8) Park, B., Jeon, J. Y. and Park, J., 2010, Force Generation Characteristics of Standard Heavyweight Impact Sources used in the Sound Generation of Building Floors, Journal of Acoustical Society of America, Vol. 128, No. 6, pp. 3507~3512.

(9) Park, J., Kim, S. J., Park, J., Yoo, S. Y. and Jeon, J. Y., 2011, Measurements of Dynamic Properties of Concrete Structures Using Flexural Wave Propagation Characteristics, Mechanics Research Communications, Vol. 38, pp. 101~105.

(10) Kim, J. H., Yoo, S. Y., Park, J. H. and Jeon, J. Y., 2010, Measuring Dynamic Properties of Floor Impact Isolators, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 533~534.

(11) Kim, K. W., Jeong, G. C., Yang, K. S. and Sohn J. Y., 2009, Correlation between Dynamic Stiffness of Resilient Materials and Heavyweight Impact Sound Reduction Level, Building and Environment, Vol. 44, No. 8, pp. 1589~1600.