

고성능 바닥충격음 차단구조 개발에 관한 연구

A Study on the Development of High Performance Floor Impact Noise Insulation System

장 재 희*
Jang, Jae-Hee

Abstract

For the many years the children's running noise has caused perpetual frictions between neighbors in apartment houses. For this reason the government established a regulation to reduce the floor impact noise, as a result almost all apartment houses have been enforced to use the floor structure with 210mm thickness concrete slab and 120mm thickness of floor heating system since July 2005. If do not want to apply this kind of system, a system which obtain the certification from the institution appointed by government must be applied. In this reason a lot of construction material companies and construction companies have been trying to develop the system with 180mm thickness concrete slab for the purpose of reducing the cost. To develop the optimized floor system, actual size test building were constructed and the materials related with reducing floor impact noise were composited and tested in the test building. Through this procedure the most effective system was found.

Keywords : Floor Impact Noise, Floating Floor, Apartment House, Sound Insulation

1. 서 론

사회가 고도화되고 다양화될수록 개인 공간에 대한 프라이버시가 점차 중요시되며 이러한 특성을 만족하기 위해서는 공간적으로나 음향적으로 완전히 독립되기를 요구하게 된다. 하지만 공동주택과 같이 주거공간의 밀집도가 높아질수록 거리에 의한 소음의 감쇠는 기대할 수 없게 되어 음의 차단성이 점차 저하되게 된다. 또한 바닥과 벽체를 함께 공유하여야 하는 공동주택에서는 고층화, 고밀도화로 인하여 많은 불만요소들이 발생하고 있으며, 그 중에서도 상층 바닥을 인위적으로 가진하는 것에 의하여 아래층에서 발생하는 바닥충격음 계통의 소음에 의한 불만이 빈번히 발생되고 있다. 이러한 불만은 최근 들어 사회적 이슈로 대두되면서 각종 시민단체의 요구에 의해 법규 개정이라는 결과로 이어졌다.

2004년 경량충격음에 대한 규제 기준이 제정되었고, 2005년 7월 중량충격음에 대한 규제 기준이 제정됨에 따라 법 시행일 이후 사업승인을 신청하는 공동주택은 바닥슬라브 두께를 210mm 이상으로 하고 상부 온돌층을 건교부에서 지정하는 표준 바닥구조로 시행하는 것을 의무화 하였다. 이와 같은 표준 바닥구조를 제외한 다른 바

닥구조를 적용하고자 할 경우에는 건교부에서 지정하는 시험기관에서 중량충격음 50dB, 경량충격음 58dB이내를 입증하는 성능인정서를 취득 후 설계에 반영하여야 한다.

법규 시행이전에 통상 사용되던 두께 150mm 슬라브 바닥 구조를 두께 210mm 로 적용할 경우 철근, 콘크리트와 같은 골조 물량 증가분은 18,210원/㎡¹⁾으로 한해 평균 건설되는 50만호를 기준으로 하면 연간 대략 1조원의 공사비 증가요인이 발생하게 된다.

골조 물량 증가에 의한 공사비 증가문제 외에도 경제수준이 향상되면서 주거성능에 대한 요구 수준 또한 동반 상승함에 따라 법규에 규정된 최소 수준보다도 향상된 성능의 바닥충격음 차단구조의 도입에 대한 필요성도 증가하고 있다.

이와 같은 사회적, 제도적 환경의 변화로 인해 바닥충격음(층간소음)에 대한 차음성능을 개선하기 위한 노력들이 최근 들어 각계에서 활발히 진행되고 있다.

바닥충격음 차음성능이 건물의 구조형식, 바닥슬라브의 두께 및 구성, 마감재의 종류, 주변의 보나 벽에 의한 지지조건 등 여러 가지 요소들에 의하여 복합적인 영향을 받으며, 각각의 경제조건에 대한 시공방법과 사용재료에 따라 바닥충격음의 차음성능은 차이를 보인다²⁾는 것은

* SK건설 연구소, 수석 연구원, 공학박사
이 연구는 건설교통부 2006년도 건설핵심기술연구개발사업(과제번호 06 건설핵심 D18)에 의한 연구 결과의 일부입니다

1) 순수 골조 증가비용으로 건설사 자체 산정 값임. 주택공사 산정치는 27,000원/㎡

이미 잘 알려진 사실이다. 그 중 구조 역할을 담당하는 콘크리트 슬라브의 강성을 높이고 두께를 늘리는 것이 가장 효과적인 방법으로 알려져 왔었고³⁾ 금번 개정된 법규에서는 비용의 증가를 감내하고서라도 슬라브의 두께를 210mm 까지 늘리는 방법을 선택하였다.

슬라브 두께를 210mm로 늘릴 경우 앞서 거론된 바와 같이 한해 약 1조원의 공사비가 증가하게 되고 이러한 비용증가는 결과적으로 두께 150mm나 180mm 슬라브에서 규제기준을 만족할 수 있는 바닥충격음 차단구조 개발에 대한 의욕을 고취시키는 계기가 되었다.

법규 시행이전에 개발되어왔던 다양한 바닥충격음 차단구조는 대부분 20mm 두께의 완충성 자재로서 스티치로 폴이나 EPP재질이 대부분이었으나 기존 슬라브 두께 150mm에서는 성능기준(중량충격음 50dB)을 충족할 수 없어 두께 150mm 또는 180mm 슬라브에서는 더 이상 사용할 수 없게 되었기 때문에 새로운 방식의 바닥구조 개발에 대한 필요성이 그 어느 때보다 높아졌다.

이와 같은 환경의 변화속에서 이번 연구는 바닥충격음 저감에 대한 기존 연구 결과 중 성능 예측과 관련된 내용을 분석하고 이를 근거로 바닥충격음 차단 성능에 영향을 미칠 수 있는 기본 모델을 설정한 후 모델별 적용 가능한 자재를 추출하였다. 추출된 자재를 매스와 스프링 기능에 따라 조합하여 표준화된 실험실에서 실측과정을 거쳐 각 자재가 바닥충격음 차단성능에 미치는 영향을 분석하고 이러한 요소들을 종합하여 최적의 바닥구조를 개발하고자 하였다.

2. 바닥충격음 예측방법

2.1 Ver에 의한 예측식⁴⁾

Ver는 표준경광충격원(Tapping machine)⁵⁾으로 바닥을 가진하였을 경우의 충격음레벨을 계산하기 위한 수식을 유도하였으며, (1)기본 콘크리트 슬라브 구조의 경우, (2)바닥 마감재를 시공하였을 경우, (3) 뜬바닥방식을 적용하였을 경우에 대해 각각 바닥충격음레벨 예측식을 제안하였다.

(1) 기본 콘크리트 슬라브구조의 경우

식(1)은 슬라브에 입력된 가진력(Tapping machine)과 슬라브에 의해 손실된 파워 및 가진된 슬라브에 의해 수음실로 방사되는 음향파워사이의 힘의 균형을 토대로 유도된 식으로 슬라브 상부에 카펫트와 같은 마감재가 없는 순수 콘크리트 슬라브를 대상으로 하여 수음실에서의

음압레벨을 예측한 것이다.

$$L_n = 10 \log \left(\frac{4}{5.1} \frac{(\rho c)^2 \sigma_{rad}}{p_{ref}^2 A_0 \rho_p^2 c_L h^3 \eta} \right) dB \dots\dots\dots (1)$$

여기에서, L_n : 수음실에서의음압레벨(dB)
 p_{ref} : $2 \times 10^{-5} N/m^2 = 0.0002 \mu bar$
 ρc : 고유음향임피던스($kg/m^2 s$)
 σ_{rad} : 슬라브의방사효율
 A_0 : 흡음력
 ρ_p : 슬라브밀도(kg/m^3)
 c_L : 종파속도(m/s)
 h : 슬라브두께(m)
 η : 복합손실계수

상기 식을 공동주택 시공시 일반적으로 사용되는 콘크리트($\rho_p = 2.3 \times 10^3 kg/m^3$, $c_L = 3.4 \times 10^3 m/sec$)에 대해 적용할 경우 다음과 같이 간략하게 정리된다.

$$L_n = 32.5 - 30 \log h + 10 \log (\sigma_{rad}/\eta) \dots\dots\dots (2)$$

이들 식(1)과 식(2)로 부터 콘크리트 슬라브 특성의 변화에 따라 수음실에서의 음압레벨은 다음과 같은 감소효과를 지닌다는 중요한 결과를 얻을 수 있다. (a) L_n 은 슬라브의 두께(h)가 두 배가 될 때마다 9dB이 감소된다. (b) L_n 은 슬라브의 밀도(ρ_p)를 두 배로 할 때마다 6dB 감소된다.

(2) 콘크리트 슬라브 상면에 탄성마감재를 시공하였을 경우

경광충격원에 의해 발생하는 바닥충격음은 바닥 상면에 탄성을 지닌 재료를 시공하면 효과적으로 감소시킬 수 있다는 것은 잘 알려진 사실이다⁶⁾.

이와 같은 탄성재료 층은 가진력의 파형을 바꾸며, 결과적으로 충격용 해머에 의해 슬라브에 전해지는 가진력의 스펙트럼을 변화시킨다. 부드러운 표면이 단단한 콘크리트 슬라브면에 비하여 임피던스가 적다는 것은 주지의 사실이다.

콘크리트 슬라브 상면의 탄성 마감재에 의한 충격음 차음성능 개선치(ΔL_n)는 탄성 마감재에 의해 슬라브에 가해지는 힘이 줄어드는 정도를 의미하며 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$\Delta L_n = 20 \log \frac{|F_n|}{|F_n'|} = 20 \log \left(\frac{4/\pi}{\sin \alpha/\alpha + \sin \beta/\beta} \right) dB. \dots (3)$$

2) 日本建築學會, 建物の遮音設計資料, 技報堂出版, 1988, p120.
 3) I.L.Ver, JASA, Vol.50 No.4, p1044
 4) I.L.Ver, JASA, Vol.50 No.4, p1043-1050
 5) ISO recommendations, "Field and Laboratory Measurements of Airborne and Impact Sound Transmission,"ISO/R 140"

6) 日本建築學會, 建物の遮音設計資料, 技報堂出版, 1988, p168.

여기에서, $\alpha = \frac{\pi}{2} \left(1 - n \frac{f_r}{f_0}\right),$
 $\beta = \frac{\pi}{2} \left(1 + n \frac{f_r}{f_0}\right).$

F_n' : 탄성층에 가해지는 힘
 F_n : 기본 콘크리트 슬라브에 가해지는 힘

식(3)을 댄핑이 없고 강성이 높은 바닥에 대해 적용하면 주파수 f/f_0 의 함수로 표현된다. $f/f_0=1$ 이하일 경우 개선치는 0 이고, 이상일 경우라도 40dB/decade곡선을 따라 개선된다.

따라서 슬라브 상면에 탄성 마감재를 시공하였을 경우 바닥충격음 개선치는 탄성층의 고유진동수를 기준으로 주파수가 10배가 될 경우 40dB의 저감효과를 거둘 수 있다.

(3) 뜯바닥구조를 적용하였을 경우

슬라브의 두께를 늘려서 충격음을 개선하는 것은 비경제적이기 때문에 대부분의 바닥충격음 저감방법은 충격음과 공기전파음의 차음성능을 동시에 개선할 수 있는 뜯바닥 구조를 도입한다.

Ver에 의해 제안된 뜯바닥구조의 바닥충격음 개선 예측식은 다음과 같다.

$$\Delta L_n(\omega) \approx 10 \log [2.3c_L h_1 n_1 n' \left(\frac{\omega^3}{\omega_1^4}\right)] \dots\dots\dots (4)$$

여기에서, c_L : 상부 누름 콘크리트 종파속도
 h_1 : 상부 누름 콘크리트 두께
 n_1 : 상부 누름 슬라브의 복합손실계수
 n' : 단위면적당 탄성마운트 갯수
 f_1 : $\omega_1/2\pi$, 상부 누름 슬라브의 고유진동수

뜯바닥구조에 의한 바닥충격음 개선치는 질량의 법칙 특성과 마찬가지로 저주파수 대역에서는 저감효과가 적고 고주파수로 갈 수록 저감효과가 크게 나타나는 특성을 보인다.

2.2 일본건축학회 제시 임피던스법에 의한 예측식⁷⁾

임피던스법에 의한 예측식은 JIS에 규정된 중량충격원(Bang machine)으로 콘크리트 슬라브를 가진하였을 경우 아래층 수음실에서 측정되는 바닥충격음 레벨을 예측하기 위한 식으로 가진력산출, 바닥슬라브의 기본 임피던스산정, 유효방사면적 산출과 같은 절차를 거쳐 보정형식으로 예측치를 산출한다.

대표적인 계산 식은 다음과 같다.

$$L_n = 20 \log F_{rms} - L_{ZT} + 10 \log S_{eff} + 10 \log k \dots\dots\dots (5)$$

$$- 10 \log A + \Delta C + 152$$

여기에서,

L_n : 옥타브대역별 중량충격음레벨
 F_{rms} : 중량충격원의 가진력
 L_{ZT} : $L_z + \Delta L_z + Z_T$
 L_z : 기본 임피던스레벨
 ΔL_z : 가진점별 임피던스레벨 상승량
 Z_T : 공진에 의한 임피던스레벨 보정량
 S_{eff} : 유효방사면적
 k : 음향방사계수
 A : 수음실 흡음력
 ΔC : 소음계 동특성 보정량

상기 식에서 바닥충격음 레벨은 기본 임피던스 레벨에 의하여 결정되는데 기본 임피던스레벨 L_z 는 다음 식에 의해 구해진다.

$$L_z = 20 \log Z_b \dots\dots\dots (6)$$

$$Z_b = 8\sqrt{Bm} \approx 2.31\sqrt{\rho E h^2}$$

여기에서, B : 슬라브의굴곡강성(Nm^2)
 m : 슬라브의면밀도(kg/m^2)
 ρ : 슬라브의밀도(kg/m^3)
 h : 슬라브의두께(m)
 Z_b : 슬라브의기본임피던스(kg/s)

상기 식으로 부터 슬라브의 두께가 두배가 될 경우 바닥충격음레벨(중량충격음)은 12dB 감소됨을 알 수 있다. 앞서 검토한 Ver에 의한 예측식에서는 슬라브의 두께가 두배로 될 경우 9dB(경량충격음) 개선되는 것으로 나타났다.

슬라브의 두께를 증가시킬 경우 중량과 경량충격음 모두에 대해 차음성능 개선효과를 얻을 수 있으며, 이 중 중량충격음에 대해 보다 효과적이라고 할 수 있다.

2.3 고유진동수 예측식⁸⁾

바닥충격음 예측시 고려되는 대표적인 변수로 슬라브의 두께와 차음성능간의 관계를 앞서 기술하였다. 슬라브를 통해 전달되는 구조체 전파음의 해석을 위해 슬라브의 자체 고유 진동수를 파악해야 할 필요가 있다.

탄성체에 대한 고유진동수는 질량과 강성에 의해 다음의 식으로 결정된다.

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_e}{M_e}} \dots\dots\dots (7)$$

7) 日本建築學會, 建物の遮音設計資料, 技報堂出版, 1988, p.120~155.

8) 日本建築學會, 鐵筋 콘크리트 構造計算規準, 技報堂出版, 1990.

여기에서,

$$\begin{aligned}
 k_e &: \text{슬라브의 강성(스프링정수)} \\
 &= \frac{48EI_e}{a^3} = \frac{48EBh^3}{12a^3} \\
 E &: \text{영계수}(2.1 \times 10^5 \text{kgf/cm}^2) \\
 I_e &: \text{단면계수} \\
 B &: \text{유효폭}(cm) \\
 h &: \text{슬라브두께}(cm) \\
 a &: \text{슬라브 단변길이}(cm) \\
 M_e &: \text{슬라브의 유효질량} \\
 &= \frac{\left(\frac{b^3}{a^3}\right)}{\pi^4 C \left(1 + \frac{b^2}{a^2}\right)^2} M \\
 M &: \text{슬라브의 전질량}(a \times b \times h \times \text{콘크리트질량}) \\
 b &: \text{슬라브 장변길이}(cm) \\
 C &: \text{슬라브의 처짐계수}(0.011 \sim 0.017)
 \end{aligned}$$

상기 식으로 부터 슬라브의 두께가 늘어날 수록 고유진동수는 증가하게 됨을 알 수 있다. 고유진동수가 높아 지게 되면 동일 충격에 대해 해당 주파수 대역에서 진동 전달율이 감소하게 되며 이로 인해 바닥충격음 차음성능은 향상되는 효과를 보이게 된다.

3. 바닥충격음 차단구조 개발

3.1 바닥충격음 차단성능 시험용 표준 시험실

바닥충격음 차단성능은 슬라브의 조건, 실의 형상, 단열 및 완충재의 종류, 벽체 절연여부, 마감물탈의 두께 등 다양한 요소들에 의해 영향을 받는다. 또한 일반 제조업과 달리 현장에서 수작업으로 진행되는 건설업의 특성상 동일한 구조를 시공한다고 해도 공장제품과 같은 품질관리가 이루어지지 않는다. 이로 인해 동일한 바닥구조를 현장에 시공한 후 성능을 평가하더라도 그 결과에 차이가 나타나는 경우가 다반사이다.

이와 같은 변수를 통제하고 개발하고자 하는 바닥충격음 차단구조에 대해 구조별 성능 변화를 정확히 파악하기 위하여 바탕이 되는 바닥 슬라브를 표준화하여 제작하고, 현장 타설 마감 습식 물탈을 건식 물탈 판으로 특수 제작하여 호이스트를 이용해 설치 가능하도록 함으로



사진 7. 이동형 건식 물탈판

써 슬라브와 물탈 사이에 시공되는 각종 완충재의 성능 변화를 정확히 계량할 수 있는 방안을 도입하였다.

3.2 바닥충격음 차단구조 개발

고유진동수와 진동전달율의 관계에서 바닥충격음을 줄여주기 위한 기본 방향은 뜬바닥의 고유진동수를 최대 10Hz가 넘지 않도록 하는 스프링, 매스 시스템을 개발하는 것이다. 고유진동수를 낮추는 방법은 앞서 살펴본 진동모델에서 매스를 증가시키거나 스프링정수를 낮추는 것이다. 스프링정수를 절반으로 줄이는 것과 매스를 두배로 늘리는 것은 고유진동수로 보았을 때는 같은 효과를 나타낸다.

공동주택 바닥구조에서 초기매스의 역할을 하는 것은 두께 40~50mm의 마감물탈로 약 80~110kgf/m²이다. 기존에 개발된 다양한 바닥충격음 저감방법들은 대부분 단열재의 성격을 겸하는 완충재를 적용하거나 방진재를 활용한 뜬바닥을 구성하는 것들이 대부분이다. 이는 앞서 살펴본 진동모델에서 매스는 일정하게 유지하고 스프링정수 값을 낮춤으로써 고유진동수를 낮추려는 시도이다. 하지만 대부분의 완충재에서 목표하는 고유진동수를 확보하기가 쉽지 않은 상황이고 그 결과 바닥충격음 차단성능 또한 개선에 한계를 지니는 것으로 나타나고 있다.

이와 같은 바닥충격음 저감원리에 따라 개발하고자 하는 바닥구조는 매스역할을 담당하는 자재, 스프링역할을 담당하는 자재로 크게 양분하여 구성하도록 하였고 이에 해당되는 자재는 기존 건축자재 뿐만 아니라 각종 산업용 자재를 총 망라하여 검색하는 것으로 하였다. 이를 통해 일차 선정된 자재는 표와 같으며 각 구성자재를 조합하여 약 200가지의 경우의 수를 산정하였으며 시험 결과에 따라 경우의 수를 줄여가는 방식으로 진행하였다.

표 1. 바닥충격음 차단구조 개발용 구성자재

| 구분 | 자재종류 |
|----------|---|
| 매스역할 자재 | 콘크리트 블록(2가지)/보도블럭(2가지) |
| 스프링역할 자재 | SKY VIVA(4가지)/급속스프링(3가지)/방진고무(3가지)/EPP/EPS(3가지)/EVA칩/팽창질석분/타이어 분쇄칩/ESORBA(3가지)/복합자재(EPS류) |

표 2. 측정 장비의 제원

| 품명 | 모델명 | 제조회사 | 비고 |
|--------|--------------|------|-----------------|
| 주파수분석기 | Pulse system | B&K | 1/1 octave, 4ch |
| 마이크로폰 | Type 4189외 | B&K | 50mV/Pa |
| 경량충격원 | Type 3204 | B&K | Tapping Machine |
| 중량충격원 | FI-02 | Rion | Bang Machine |

4. 바닥충격음 차단성능 평가 결과

200여가지 가용 가능한 경우의 수에서 시험도중 성능 개선에 영향을 미치지 못하는 조합을 배제하면서 시험한 결과, 성능에 결정적인 영향을 미치는 요인은 마감몰탈과 구조체 슬라브 사이에 시공되는 자재의 완충성이었다. 슬라브 상부에 시공 가능한 자재 중 매스를 증가시킬 수 있는 자재는 두께와 시공성 측면에서 최대 2배까지 증가시키는 것이 가능한 반면 스프링정수는 최대 1/10로 줄일 수 있어 마감몰탈의 균열이나 기타 장기 침하에 의한 하자예방이 가능한 선에서 결국 스프링 정수에 의해 바닥충격음 차단성능이 결정될 수 밖에 없는 구조적 한계가 있는 것으로 나타났다. 사용자재 조합에 따른 각 구조별 중량충격음 차단성능은 다음과 같다.

표 3. 측정 대상 시험체의 구성 및 중량충격음 레벨

| 번호 | 시험체 구성 | 중량* |
|----|--|-----|
| 0 | 멘슬라브(180) | 51 |
| 1 | 몰탈(50)+EPP(20)+PC블럭(50)+금속스프링(40) | 41 |
| 2 | 몰탈(50)+EPP(20)+PC블럭(50)+방진고무(40) | 43 |
| 3 | 몰탈(50)+EPP(40) | 52 |
| 4 | 몰탈(50)+연질EPS(20)+PC블럭(50)+EPP(40) | 45 |
| 5 | 몰탈(50)+EPP(20)+PC블럭(50)+EVA chip(40) | 43 |
| 6 | 몰탈(50)+EPP(20)+PC블럭(50)+석분(40) | 48 |
| 7 | 몰탈(50)+EPP(20)+보도블럭(60)+석분(40) | 47 |
| 8 | 몰탈(50)+EPP(20)+보도블럭(60)+SKY Viva(10)+석분(40) | 41 |
| 9 | 몰탈(50)+SKY Viva(10)+EPP(20)+보도블럭(60)+SKY Viva(10)+석분(40) | 42 |
| 10 | 몰탈(50)+EPP(20)+SKY Viva(10)+보도블럭(60)+SKY Viva(10)+석분(40) | 41 |
| 11 | 몰탈(50)+SKY Viva(10)+보도블럭(60)+SKY Viva(10)+석분(40) | 41 |
| 12 | 몰탈(50)+EPP(20)+SKY Viva(10)+EPS(20)+SKY Viva(10) | 43 |
| 13 | 몰탈(50)+EPP(20)+SKY Viva(10)+EPS(20)+SKY Viva(20) | 40 |
| 14 | 몰탈(50)+EPP(20)+SKY Viva(10)+ALC(60)+SKY Viva(20) | 40 |
| 15 | 몰탈(50)+EPP(20)+SKY Viva(20)+ALC(60)+SKY Viva(20) | 40 |
| 16 | 몰탈(50)+EPP(20)+SKY Viva(20)+PC블럭(50)+방진고무(40) | 40 |
| 17 | 몰탈(50)+EPP(20)+SKY Viva(20)+EPS(20)+SKY Viva(20) | 39 |

* $L'_{i, FmaxAW}$

표 4. 측정 대상 시험체의 주파수별 중량충격음 레벨

| 번호 | 1/1옥타브밴드 중심주파수 | | | |
|----|----------------|------|------|------|
| | 63 | 125 | 250 | 500 |
| 0 | 77.1 | 67.6 | 57.7 | 47.5 |
| 1 | 76.1 | 71.1 | 64.5 | 54.1 |
| 2 | 71.4 | 56.4 | 46.8 | 42.8 |
| 3 | 82.0 | 62.2 | 48.0 | 43.6 |
| 4 | 74.9 | 57.9 | 46.7 | 43.0 |
| 5 | 72.7 | 54.6 | 45.8 | 43.7 |
| 6 | 75.3 | 62.8 | 49.8 | 43.0 |
| 7 | 76.8 | 60.5 | 46.3 | 41.9 |
| 8 | 68.2 | 52.8 | 45.1 | 43.7 |
| 9 | 69.5 | 53.6 | 45.1 | 43.7 |
| 10 | 69.7 | 50.1 | 46.0 | 42.9 |
| 11 | 70.7 | 48.9 | 44.2 | 42.2 |
| 12 | 73.5 | 52.7 | 45.7 | 42.6 |
| 13 | 69.2 | 51.7 | 47.5 | 42.4 |
| 14 | 68.0 | 50.6 | 45.1 | 42.0 |
| 15 | 66.0 | 50.5 | 45.9 | 42.0 |
| 16 | 68.9 | 48.1 | 41.9 | 41.3 |
| 17 | 65.3 | 49.1 | 45.4 | 42.2 |

스프링정수 5kgf/mm인 금속스프링을 50cm 간격으로 배치하고 상부에 230kgf/m² 하중을 재하한 경우 기존 대비 약 10dB의 성능개선이 가능하나 하중에 의한 처짐이 10mm정도 발생되고 상부 보행에 의해 발생하는 진동이 인체의 허용치를 상회하는 문제가 있었다. 금속스프링의 특성상 댐핑에 의한 감쇠가 적어 바닥판의 진동이 필요치 이상으로 증가하게 된 점을 감안하여 동일한 스프링정수를 지닌 방진고무를 사용한 경우 중량충격음은 금속스프링에 비하여 2dB정도 떨어지나 보행에 의한 진동은 발생하지 않았다.

콘크리트 슬라브면과 마감몰탈 사이에 EPP 40mm를 설치한 경우 중량충격음레벨은 콘크리트 슬라브만 시공되어 있는 경우에 비하여 마감몰탈의 공진현상을 유발하여 오히려 1dB 저하되는 결과를 보였다. 이는 기존에 적용되어 왔던 20mm 두께 내외의 바닥충격음 차단재에서 동일하게 나타났던 현상이다.

중량 재질 사이에 탄성을 지닌 자재를 배치하는 다층 구조에서 탄성이 비교적 좋은 EVA chip은 탄성이 떨어지는 석분에 비하여 5dB의 성능 차이를 보였으며, 동일한 구조에서 흡음재로 사용되는 PE Felt를 적용하였을 경우 성능은 현저히 개선되는 것으로 나타났다. 또한 섬유질 흡음재 사이에 ALC, 콘크리트 블럭, EPS와 같이 매스의 특성이 전혀 다른 종류의 재질을 적용하여도 성능에는 별다른 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 통상 슬라브 두께가 10mm 늘어날 때마다 1dB의 성능이 개선되는 것을 감안하면 슬라브 상부에서의 매스의 역할은

이론상 매우 중요한 의미를 지닐 수 있을 것으로 추정되었지만 슬라브 구조체와 분리되어 적용될 경우에는 그러한 예측이 적용될 수 없음이 이번 실험을 통해 밝혀졌다.

앞서 이론 고찰에서 살펴 보았듯이 매스-스프링 방진 구조에서 매스를 두배로 늘리는 것과 스프링정수를 절반으로 줄이는 것은 같은 결과를 나타낼 수 있지만 현실적으로 슬라브 구조체와 분리되어 시공되는 상부 매스의 경우는 시공성과 경제성을 고려할 때 바람직하지 못한 방법이라고 할 수 있다.

스프링 정수가 낮은 탄성재를 적용하더라도 단일층으로 적용하는 것은 상부 몰탈 판의 공진을 유발하여 성능을 오히려 저하시키는 현상이 발생하기 때문에 탄성계수가 서로 다른 재질을 추가하여 다층구조로 형성하는 것이 바람직하다. SKY Viva와 같은 섬유질 흡음재와 일반 스티로폼 재질을 적층한 경우와 방진고무 및 금속스프링 구조에서 볼 수 있듯이 동일한 탄성계수를 지녔다고 하더라도 내부가 채워져있는 재질보다는 섬유질과 같은 흡음성 재질을 적용하여 다층 구조를 형성하는 것이 성능 개선에 보다 유리하다는 것을 이번 실험을 통해 알 수 있었다.

5. 결 론

공동 주택에서의 층간 소음문제는 경제 수준이 향상되면서 점점 더 심각한 사회문제로 인식되어 왔다. 2005년 7월 층간소음에 대한 성능을 규제하는 법이 제정되기까지는 층간소음 문제는 사실상 거주자들 당사자들 사이에서 해결하는 것이 최선책으로 여겨졌다. 물론 지난 10여 년동안 층간소음을 저감시킬 수 있는 기술이나 제품을 개발하기 위한 노력들이 끊이지 않고 이어졌지만 그로 인한 대부분의 제품들이 20mm 수준의 완충재에 집중되어 있어 체감수준의 성능 개선은 이루어지지 못했던 것이 사실이다. 하지만 2005년 건교부 고시를 통해 슬라브 두께를 210mm이상으로 적용하거나 중량충격음 50dB을 만족하도록 규제하게 되면서 신축 건물의 공사비가 증가하게 되었고, 이는 결과적으로 새로운 제품을 개발할 때 원가 측면에서 보다 다양한 방법들을 시도할 수 있는 계기가 되었다.

원가절감보다는 성능 개선에 중점을 둔 본 연구에서는 바닥충격음 차단성과 관련된 요소들에 대해 문헌 및 기존 자료를 중심으로 고찰하고 이를 토대로 성능에 영향을 주는 요소들을 분류한 뒤, 각 요소에 적합한 소재를 총합하여 요소별 조합을 통한 최적 바닥충격음 차단구조를 개발하는 과정을 거쳤다. 기존 이론에 대해서는 이미 대부분 정리가 되어 있는 상황에서 최단 시간에 목표하는 바를 달성하기 위해서는 현장실험 시간을 최소화하는 것이 필요하였고 이를 위해 적용한 마감몰탈 건식화 공법은 단시간내에 다양한 바닥구조를 시험하는데 중요한

역할을 하였다.

매스와 스프링 역할로 구분된 각종 바닥구조 구성재들을 대상으로 다양한 조합을 구성하고 그에 대한 중량충격음 차음성능을 측정한 결과는 다음과 같다.

1. 동일한 스프링 정수를 지닌 방진고무를 사용한 경우 중량충격음은 금속스프링에 비하여 2dB정도 저하된다.
2. 섬유질 흡음재 사이에 ALC, 콘크리트 블럭, EPS와 같이 매스의 특성이 전혀 다른 종류의 재질을 적용하여도 성능에는 별다른 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.
3. 스프링 정수가 낮은 탄성재를 적용하더라도 단일층으로 적용하는 것은 상부 몰탈 판의 공진을 유발하여 성능을 오히려 저하시키는 현상이 발생하기 때문에 탄성계수가 서로 다른 재질을 추가하여 다층구조로 형성하는 것이 바람직하다.

참고문헌

1. 장재희 외, 폴리프로필렌을 이용한 바닥충격음 저감시스템 개발에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 14권 12호, 1998.12.
2. 장재희, 바닥충격음 저감재의 저감효과에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 14권 12호, 2002.2.
3. Jaehee Jang, Sangwoo Lee, System development to reduce floor impact sound in apartment houses, Journal of Acoustical Society of America(JASA),Vol.105 No.2, Pt 2, 1999.2
4. I.L.Ver, Impact noise isolation of composite floors, JASA, Vol.50 No.4, 1970
5. ISO recommendations, Field and laboratory measurements of airborne and impact sound transmission, ISO/R 140
6. K.B.Ginn, Architectural acoustics, B&K, 1978.
7. N.J.Mason, Mason Jack-up floor slab system-Bulletin ACS-102-1, Mason Industries, 1997.
8. N.J.Mason, Impact and airborne sound transmission field test report, Mason Industries, 1974.
9. G.Porges, Applied acoustics, Edward arnold Ltd.,1977.
10. M.J.Allen, Flanking paths between walls and lightweight wood frame floors using statistical energy analysis, ASA 136th meeting, 1998
11. 日本建築學會, 建物の遮音設計資料, 技報堂出版, 1988.
12. 日本建築學會, 鐵筋 콘크리트 構造計算規準, 技報堂出版, 1990.
13. 日本音響材料協會, 騒音振動對策 핸드북, 集文社, 1983.