

2025년 추계학술발표대회 : 일반부문

## 층간소음 대응 기술 개발을 위한 바닥충격음 예측 및 실측 비교분석

### Comparative Analysis between Predicted and Measured Floor Impact Sound for the Development of Inter-floor Noise Mitigation Technologies

○원 대 관\*  
Won, Daegwan

남 유 진\*\*  
Nam, Yujin

유 영 동\*\*\*  
Yu, Youngdong

김 용 희\*\*\*\*  
Kim, Yonghee

#### Abstract

This study investigates heavy-weight floor impact noise by comparing computational predictions with experimental measurements, with the aim of developing inter-floor noise mitigation technologies. A finite element model (FEM) was constructed to reproduce the bare frame state of a residential building, and results were validated against standardized rubber ball impact tests. The measurements revealed dominant sound pressure levels in the low-frequency range (63~125 Hz), with a peak at 160 Hz caused by room mode effects. The FEM-based simulation closely matched the measurements above 100 Hz, with deviations within 2~3 dB, while underestimation occurred at lower frequencies due to the absence of frequency-dependent impedance modeling. These findings highlight the potential of FEM-based analysis as a predictive tool in the design stage, and suggest that incorporating frequency-dependent surface impedance and diverse finishing conditions will enhance predictive accuracy for practical applications.

키워드 : 중량충격음, 전산해석, 유한요소해석

Keywords : Heavy-weight impact noise, Computational analysis, Finite element method

#### 1. 연구 배경 및 목적

공동주택에서 발생하는 층간소음 문제는 거주자의 생활 만족도와 직결되는 중요한 사회적 이슈로, 특히 발걸음이나 무거운 물체의 낙하로 발생하는 중량충격음은 저주파수 대역(50~100 Hz)에 집중되어 제어가 어렵다고 알려져 있다. 기존의 연구들은 주로 완공된 건축물이나 시험기관에서 직접 측정을 수행하는 방식으로 이루어져 왔으며, 이는 다양한 시공 조건과 마감재의 영향을 포함한 결과를 제시한다. 그러나 이러한 측정은 높은 비용과 시간이 요구된다는 한계를 가지고 있다.

이에 따라 최근에는 수치해석 기반의 예측 기법이 대안으로 주목받고 있으며, 그중에서도 유한요소해석(Finite Element Method, FEM)을 활용한 구조-음향 해석은 충격원에 의한 구조 응답과 음향 방사 과정을 모사하는 데 효과적인 방법으로 보고되고 있다. 특히 건축물의 골조 상태는 가장 기본적인 구조-음향 특성을 규정하는 초기 조

건으로, 이후 마감재 및 보강재에 따른 성능 개선 효과를 평가하기 위한 기준선(baseline) 역할을 수행할 수 있다. 따라서 골조 상태에서의 중량충격음을 전산해석으로 규명하는 것은 건축물 설계 초기 단계에서의 대책 마련과 성능 보안을 위해 중요한 의미를 가진다. 본 연구에서는 이러한 배경을 토대로 골조 상태를 모사한 FEM 기반 전산해석을 수행하고, 그 결과를 음향 특성 분석과 실측 데이터 비교를 통해 검증하고자 한다.

#### 2. 층간소음 해석 및 실험

##### 2.1 해석 및 실험 조건

현재 표준 중량충격원으로는 고무공(Impact ball)이 사용되고 있으며, 이는 국내 표준(KS F 2862 등)에 근거하여 규정되어 있다.

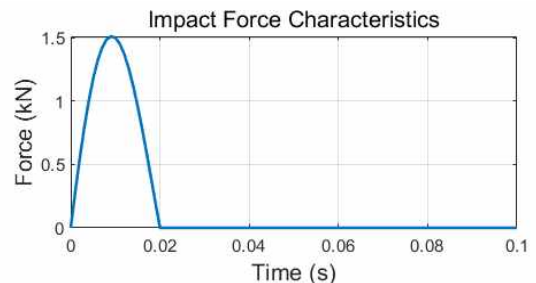


Fig. 1 Rubber ball impact force characteristics  
고무공 충격원은 약 10 ms 동안 작용하는 충격 시간과

\* 부산대 대학원 석사과정

\*\* 부산대 건축공학과 교수, 공학박사

(Corresponding author : Department of Architectural Engineering, Pusan National University, namyujin@pusan.ac.kr)

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2025-00512834 and No. 2021R1A2C2014259).

약 1500 N에 이르는 최대 충격력을 갖는 특성이 확인되었으며, 이러한 특성은 바닥 구조에 반복적으로 충격을 가함으로써 실제 생활에서 발생하는 무거운 물체 낙하나 강한 보행과 유사한 조건을 재현할 수 있도록 한다. 따라서 고무공 충격원은 실험실 조건에서 중량충격음을 표준화하여 평가하는 데 적합한 도구로 활용되고 있다.

실측은 가로 3 m, 세로 4 m, 높이 2.8 m 규모의 공간에서 수행되었으며, 이는 일반적인 방 하나의 크기와 유사한 형상을 가진다. 시험 대상 공간은 벽체와 바닥·천장이 마감되지 않은 골조 상태였으며, 이러한 조건에서 중량충격음을 측정하였다.



Fig. 2 Test site and set up

수치해석 모델은 실측 사이트와 동일한 크기로 구성하였으며, 콘크리트의 물리적 특성을 반영하여 모델링하였다. 또한 표준 중량충격원인 고무공의 충격력을 입력 변수로 설정하여 해석을 수행하였으며, 이를 통해 골조 상태에서의 구조-음향 응답 특성을 분석하고자 하였다.

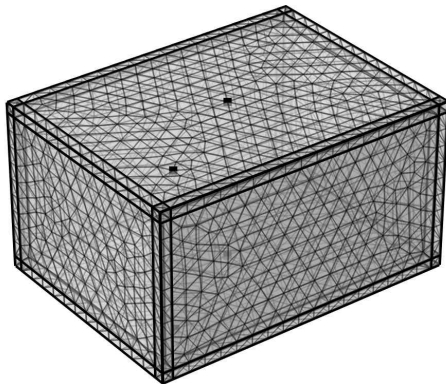


Fig. 3 Acoustic analysis model

## 2.2 결과 비교 분석

실험 결과, 고무공을 이용한 중량충격음 시험에서는 Fig. 4와 같이 주파수 대역별 특성이 나타났다.

특히 저주파수 구간(63~125 Hz)에서 상대적으로 높은 음압 레벨로 측정되었으며, 160 Hz에서 피크가 발생하였다. 이러한 현상은 수음실 내부에 음향 임피던스가 존재하지 않아 발생하는 룸모드(Room mode)의 영향으로 해석된다.

실험 데이터와 수치해석 결과를 비교한 결과, 전반적인 경향은 유사하게 나타났으며 100 Hz 이상의 영역에서는 차이가 약 2~3 dB 이내로 확인되었다. 그러나 100 Hz 미만의 저주파수 영역에서는 해석 결과가 다소 과소평가되는 경향을 보였으며, 이는 해석 모델에 주파수 의존적인 콘크리트 표면 임피던스가 반영되지 않았기 때문으로 판단된다. 따라서 향후 연구

에서는 이러한 임피던스를 대역별로 적용함으로써 해석 모델의 정확도를 한층 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

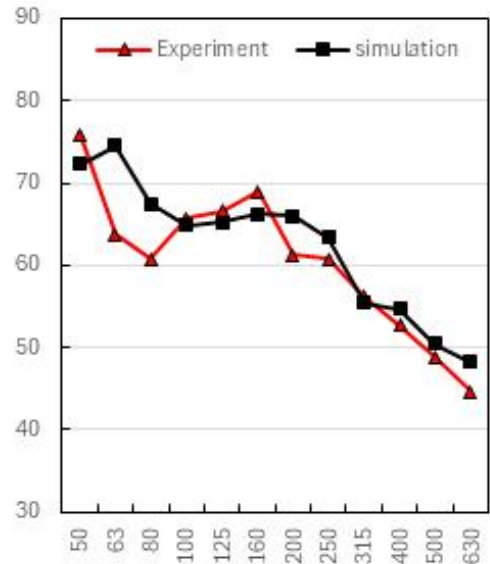


Figure 4 Rubber ball test and simulation results

## 3. 결론

본 연구에서는 중간소음 대응을 위한 바닥충격음 예측 모델을 구축하여 실측 결과와 비교 검토를 실시하였다. 그 결과, 해석치는 중간소음 실험치를 높은 정확도로 재현하였다. 하지만, 실제 주거 환경에서는 다양한 충격원과 구조적 조건이 복합적으로 작용하므로 향후 연구에서는 바닥 마감재와 완공 구조체를 포함한 다양한 조건을 고려하여 해석 모델을 확장할 필요가 있다. 특히 콘크리트 표면 임피던스의 주파수 의존성을 반영하고, 실험실이 아닌 실제 공동주택 현장에서의 측정 결과와 비교·검증을 수행한다면 해석 모델의 신뢰성을 한층 높일 수 있을 것이다. 이를 통해 설계 단계에서 중량충격음 성능을 사전에 예측하고, 효과적인 저감 방안을 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

## 참고문헌

1. 박흥근, 문대호, 보행과 표준중량충격원의 충격력 및 바닥충격음 특성, 한국소음진동공학회 학술대회논문집, 2014
2. 김태민, 양홍석, 유한요소해석을 이용한 중량충격원 종류 및 평가지표 별 바닥충격음 예측 정확도 검증. 한국소음진동공학회논문집, 30(2), 169-178. 2020
3. Cox, T. J., D'Antonio, P., & Avis, M. R. Room sizing and optimization at low frequencies. Journal of the Audio Engineering Society, 52(6), 640-651. 2004