



LHRIfocus



vol.41 특집호
2024.09.30



ISSUES

공동주택 층간소음 해결을 위한
LHRI의 노력

공동주택 층간소음 해결을 위한 LHRI의 노력

김태민 책임연구원

01. 공동주택 층간소음 민원 현황 및 제도 변화
02. 공동주택 바닥충격음 발생 이론
03. 바닥충격음 사후확인제도 도입과 연구 동향
04. 정숙한 공동주택 공급을 위한 LHRI의 연구 현황



공동주택 층간소음 해결을 위한 LHRI의 노력

김태민 책임연구원

01

공동주택 층간소음 민원 현황 및 제도 변화

■ 공동주택 층간소음의 정의와 범위

- **(정의)** 공동주택에서 뛰거나 걷는 동작에서 발생하는 소음이나 음향기기를 사용하는 등의 활동에서 발생하는 소음 등(벽간소음 등 인접한 세대 간의 소음 포함)

* 국토교통부, 「공동주택관리법」(2024.04.25.)

- **(범위)** 입주자의 활동으로 인하여 발생하는 소음으로서 다른 입주자에게 피해를 주는 소음(욕실, 화장실 및 다용도실 등에서 급수·배수 소음은 제외)

1. 직접충격소음: 뛰거나 걷는 동작 등으로 인하여 발생하는 소음

2. 공기전달소음: 텔레비전, 음향기기 등의 사용으로 인하여 발생하는 소음

* 국토교통부-환경부, 「공동주택 층간소음의 범위와 기준에 관한 규칙」(2023.01.02.)

■ 공동주택 층간소음 민원 현황

- 공동주택 층간소음 관련 분쟁은 지속적으로 증가하고 있으며, 바닥충격음이 층간소음 원인 중 가장 많은 비중을 차지하고 있음
 - 이웃사이센터에 접수된 공동주택 층간소음 민원은 2023년 기준 약 3.6만건으로, 지속적으로 증가하고 있는 것으로 보고됨
 - 접수된 층간소음 민원의 원인 분석 결과, 바닥충격음에 해당되는 '아이들 뛰거나 발걸음'이 약 70%로 가장 많은 비중을 차지하는 것으로 보고됨

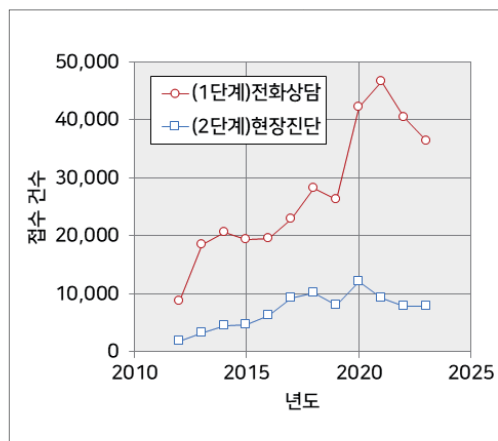


그림-1 층간소음 민원 건수(2012~2023)

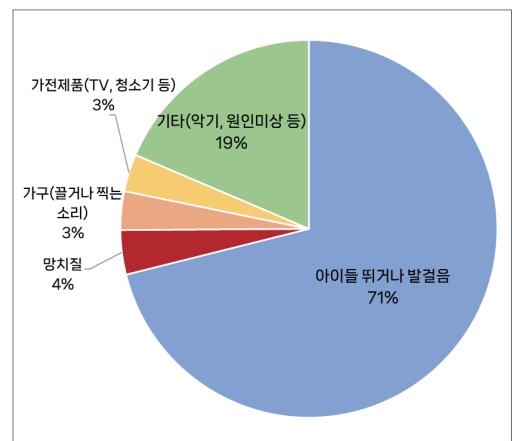


그림-2 층간소음 원인(2012~2017)

출처 : 층간소음 이웃사이센터, 자료마당-통계자료

공동주택 바닥충격음 관련 제도와 기준

- 정부는 공동주택 바닥충격음 관련 분쟁을 해결하기 위해 성능 기준을 마련하여 운영 중
 - (공동주택 공급자)바닥충격음 차단성능의 최소 성능 기준을 만족하는 공동주택 공급을 유도
 - (공동주택 사용자)공동주택 거주시 기준 이상의 소음을 발생시키지 않도록 유도

표-1 공동주택 바닥충격음 관련 국내 기준(2024년 기준)

	공동주택 공급자	공동주택 사용자
관련 근거	주택건설기준 등에 관한 규정	공동주택 층간소음의 범위와 기준에 관한 규칙
대 상	튼바닥구조에 대한 현장성능 기준(인정구조)	거주자 생활 소음
시험 장소	표준시험동/현장	민원 세대
소음 기준	중량/경량충격음 49dB 이하	[주간](최고소음도)57dBA, (1분 등가소음도)39dBA [야간](최고소음도)52dBA, (1분 등가소음도)34dBA
측정 방법	KS F ISO 16283-2	소음·진동 공정시험 기준(ES 03305.1)
측정 시기	사용검사 전	층간소음 민원 발생시
충격원	표준충격원([중량]뱅머신, [경량]태핑머신)	생활충격원
기준 초과	보완 시공/보상 (권고)	소음 발생 세대 과태료

- 정부는 거주자가 체감할 수 있는 바닥충격음 차단성능 기준 마련을 위해 준공 전 현장의 바닥충격음을 측정·평가하는 사후확인제도를 도입하여 운영 중('22.08)
 - 사용검사 전 대상 단지의 임의의 2%를 선정, 바닥충격음 차단성능을 측정·평가
 - 정부는 측정 세대를 2%에서 5%로 확대, 성능 미달시에는 보강 의무화(사용 승인 불가) 등을 예고
- 사후확인제도 도입과 관련하여 최소 성능 기준 미달시 막대한 비용 발생 예상
 - 정부는 최소 성능 미달 상황 발생시 보상 및 보강 방안에 대해 전문 기관과 연구를 진행 중
 - 연구 보고서에 따르면, 중량/경량충격음 기준 미달시 최대 337,034원/m²이 예상(서울 기준)
 - * 국토안전관리원, 공동주택 바닥충격음 손해배상 가이드라인 마련 연구(2024)
 - 소음 보강 관련 연구도 진행 중에 있으며, 천정 보강 방안 등이 중점적으로 검토 중
 - 단, 보강 공법 적용에 따른 입주 지연 등이 발생할 수 있기 때문에 배상금액과 유사한 비용 발생 가능
 - 따라서, 안정적인 바닥충격음 현장 성능 구현을 위한 기술 개발이 시급히 요구되는 상황



■ 공동주택 바닥충격음 발생 메커니즘

- 지배적인 물리현상으로 공동주택 바닥충격음 발생 현상을 정의
 - 바닥충격음은 바닥 슬래브의 진동으로 발생하는 소음 방사(Sound Radiation) 현상
 - 일반적으로 완충재를 적층한 뜬바닥구조를 이용하여 바닥 슬래브로 전달되는 충격 에너지를 저감
 - 바닥 슬래브의 강성을 증가시키는 것이 이상적인 바닥충격음 저감 방안이며, 일반적으로 바닥 슬래브 두께를 증가시켜 슬래브 강성을 확보

표-2 바닥충격음 발생 메커니즘 요약

단계	대상	물리현상	특징
	생활충격원	충격원	<ul style="list-style-type: none"> · 거주자 생활 중 바닥을 가진하는 생활충격원 (아이들 뒹, 보행 등) · 충격원과 바닥면의 접촉 시간으로 충격원의 주파수 특성이 결정
	뜬바닥구조 (완충재 +상부구조)	방진시스템 (절연기)	<ul style="list-style-type: none"> · 뜬바닥구조가 1자유도 진동 시스템으로 운동 · 충격력을 저감, 방진시스템(절연기) · 완충재의 동탄성계수가 낮을수록, 상부구조(모르타르, 경량콘크리트)의 질량이 클수록 충격력 저감에 유리
	바닥 슬래브	구조 진동 + 소음 방사	<ul style="list-style-type: none"> · 바닥 슬래브 진동에 의한 소음 방사 · 바닥 슬래브의 강성이 증가할수록 소음 저감에 유리 · 바닥 슬래브 진동 특성이 바닥충격음의 크기, 주파수 특성 등을 결정 · 하부층 거실(수음실)의 음향 모드에 따라 소음 증폭 가능
	천정 구조	차음	<ul style="list-style-type: none"> · 바닥 슬래브에서 방사된 소음을 차단 · 고밀도 천정 마감재(차음석고보드 등) 적용시 소음 저감 효과 기대 가능 · 천정내 공기층의 공진현상으로 증폭 발생 가능 · 천정 높이 증가 또는 흡음재 삽입시 공진현상 억제 가능

■ 공동주택 바닥충격음 주요 설계 변수

- 바닥충격음 저감 방안으로, 일반적으로 뜬바닥구조를 적용한 방진 시스템을 적용 중
 - 일반적인 바닥충격음 저감 방안으로, 완충재를 적용한 뜬바닥구조를 적용 중
 - 뜬바닥구조의 완충재는 공동주택 구조물 대비 강성이 상대적으로 작기 때문에 1-자유도 시스템의 강성(스프링)과 유사한 역할을 수행
 - 이때, 뜬바닥구조 시스템은 절연기(Isolator)의 방진 시스템으로, 넓은 주파수 대역의 충격력을 저감 가능하지만, 특정 저주파수 대역에서는 바닥충격음 증폭 현상이 발생 가능
 - 최근 고중량 모르타르를 적용한 개선형 바닥구조에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있으나, 공동주택 평면 형태 등에 따른 성능 편차는 발생 가능

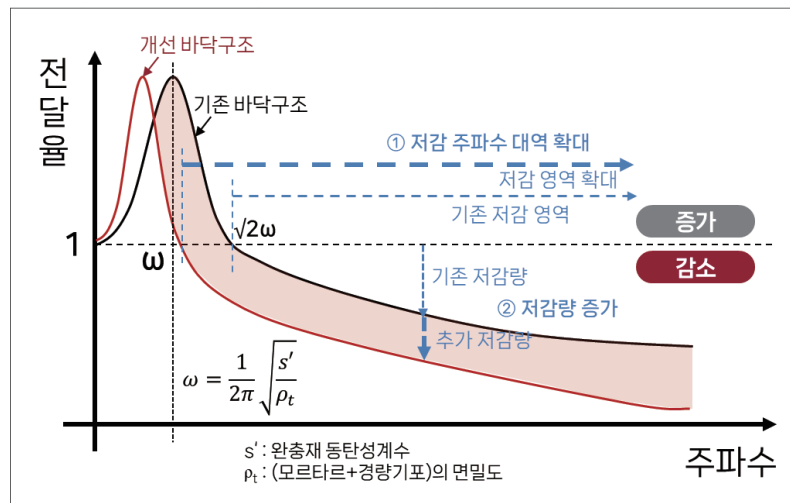


그림-3 뜬바닥구조의 에너지 전달율

- 구조 형식에 따라 바닥 슬래브의 진동 특성이 상이하며, 이에 따라 동일 평면 조건에서도 바닥충격음 성능 편차는 발생 가능
 - (벽식구조)내력벽을 경계로 바닥 슬래브의 진동 특성 결정, 평형/평면 등에 따른 성능 편차 큼
 - (기둥식구조)기둥/보를 경계로 바닥 슬래브의 진동 특성 결정, 평형/평면 등에 따른 성능 편차 적음

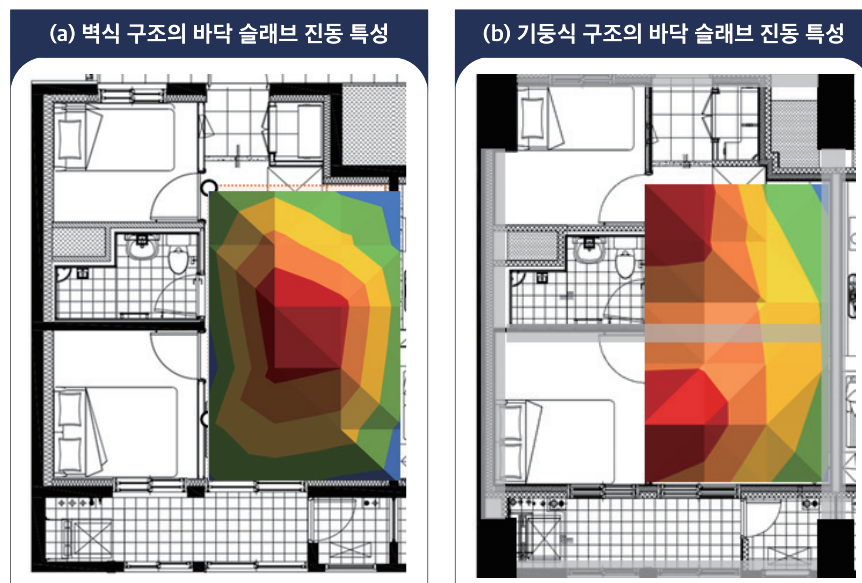


그림-4 구조형식에 따른 바닥 슬래브 진동 특성 차이(거실 공간의 1차 진동 모드 형상)

바닥충격음 측정·평가 방법 변경에 따른 성능 기준 영향

- 바닥충격음은 소음의 특성에 따라 중량충격음과 경량충격음으로 구분하여 측정 및 평가
 - 바닥충격음의 측정/평가: KS F ISO 16283-2, KS F ISO 717-2
 - * 국토교통부, 「공동주택 바닥충격음 차단구조 인정 및 검사기준」(2023.08.28)

표-3 소음 특성에 따른 바닥충격음의 구분

구분	중량충격음	경량충격음
소음 특징	무겁고, 부드러운 충격에 의한 저주파 대역의 바닥충격음	가볍고, 딱딱한 충격에 의한 고주파 대역의 바닥충격음
측정주파수	1/1 옥타브 밴드의 중심주파수 63~500Hz 1/3 옥타브 밴드의 중심주파수 50~630Hz	1/1 옥타브 밴드의 중심주파수 125~2,000Hz 1/3 옥타브 밴드의 중심주파수 100~3,150Hz
충격 원인	거주자 보행, 어린이 뒀 등	물건 낙하, 가구 끄는 소리 등
표준충격원	고무공	탱머신
소음평가	A-가중최대바닥충격음레벨	가중표준화바닥충격음레벨

- [표준충격원] 민원 비중이 높은 생활충격원 충격력 특성과 유사하도록 표준중량충격원을 탱머신에서 고무공으로 변경
 - 층간소음 민원 비중이 높은 '아이들 뒀'과 충격력 특성이 유사한 고무공으로 표준충격원을 변경
 - 1/1 옥타브 밴드의 63Hz에 집중되어 있던 충격력이 1/1 옥타브 밴드의 125, 250Hz 까지 분포
 - 수치적으로 3dB 완화. 단, 다양한 층간소음 저감 기술에 대한 효과 분석이 가능

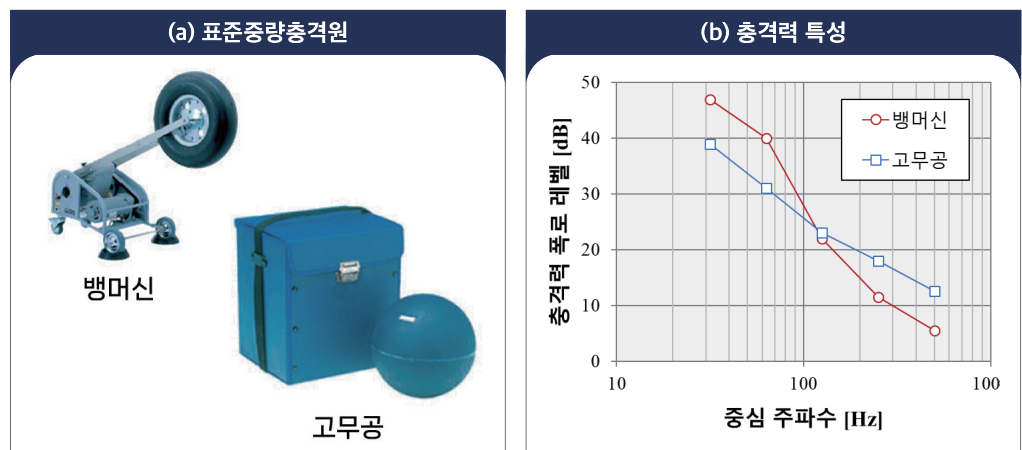


그림-5 표준중량충격원의 변화

- [평가방법] 바닥충격음 특성을 세분화 하기 위해 단일수치량 평가 방법 변경
 - (중량충격음: 역A특성가중바닥충격음 레벨) A-가중치 적용 후 전체 소음도로 계산
 - (경량충격음: 가중표준화바닥충격음레벨) 보정식의 수음실 부피를 잔향시간으로 변경하여 계산
 - 수치적으로 중량충격음은 4~5dB 강화, 경량충격음은 2~3dB 강화
- [성능기준] 바닥충격음 차단성능 최소 기준을 중량/경량충격음 모두 49dB로 변경
 - 수치적으로 중량충격음 1dB 강화, 경량충격음 9dB 강화

■ 주요 바닥충격음 저감 연구 동향

- 표준충격원 변경, 평가 방법 변경 등에 따른 다양한 바닥충격음 저감 기술을 연구 중
 - 바닥충격음 저감 기술에 따른 소음 저감 효과는 주파수 대역에 따라 상이

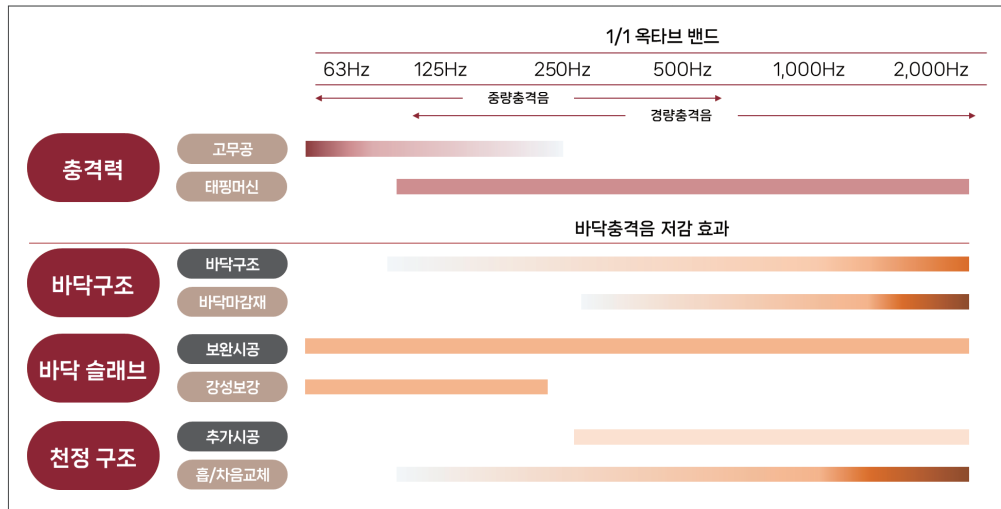


그림-6 소음 저감 기술의 주파수 대역별 저감 효과

- [바닥마감재] 고탄성 바닥 마감재 개발
 - 바닥 마감재의 경우 경량충격음 저감에는 효과적이지만, 중량충격음에서는 상대적으로 소음 저감 효과가 미비
 - 고탄성바닥마감재 적용을 통해 중량충격음에서도 소음 저감 효과를 구현하기 위해 연구 진행 중
- [바닥구조] 고중량, 고성능의 뜬바닥구조 개발
 - 뜬바닥구조의 상부 구조 밀도를 증가시키고, 고성능 완충재를 적용한 바닥구조 개발 중
 - 다양한 건설사에서 고중량 상부 구조를 적용한 바닥구조를 통해 1~2등급의 인정바닥구조 취득 중
 - 충격력 저감 대역의 확장으로 중량충격음에서도 소음 저감 효과를 기대할 수 있으며, 현재 상용화를 위한 연구 진행 중

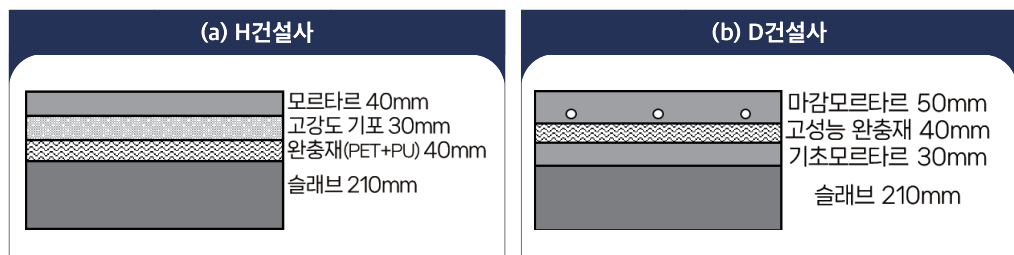


그림-7 고성능 바닥구조 개발 예

- [천정구조] 고차음 천정 구조 개발
 - 기존 천정 마감재 대비 차음성능이 개선된 마감재를 적용한 천정 구조 개발 중
 - 무달대 천정 및 천정 내부 공기층의 공명 현상 억제를 위한 흡음재 삽입 등을 병행하여 검토 중
 - 사후확인제도와 관련하여 성능 기준 미달 상황에 적용 가능한 방안으로 검토 중

■ [설계 단계] 공동주택 바닥충격음 성능 분석 및 저감 설계 적용

- 구조형식, 평면 형태 등에 따라 공동주택 바닥충격음의 현장 성능 편차가 발생 가능
 - 공동주택 구조형식, 평면 설계 등에 따라 동일 평면에서도 맨슬래브 조건의 바닥충격음 성능 상이
 - 고성능의 바닥충격음 저감 기술 적용 조건에서도 준공 전 현장 성능 편차 발생 가능
 - 따라서, 맨슬래브 조건에서의 성능 기준을 마련하고, 대상 평면에 최적화된 저감 기술 설계가 요구
- 최근 다양한 분야에서 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 성능 분석 및 설계 변수 변경에 따른 영향을 분석하는 연구 방법을 적용 중
 - 자동차, 우주·항공, 철도, 조선 등 다양한 산업 분야에서 구조, 전기, 유동 등의 현상을 분석하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 활용 중
 - 컴퓨터 시뮬레이션은 시제품을 이용한 실험 방법 대비 시간적, 경제적 비용을 효과적으로 저감할 수 있으며, 다양한 물리 현상을 복합적으로 분석할 수 있는 장점이 존재
- 공동주택 평면 설계시 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 바닥충격음 예상 성능을 분석하고, 성능 개선이 요구되는 경우 설계 변경 등의 설계 프로세스 개선 필요
 - 공동주택 설계 단계에서 맨슬래브, 바닥구조 시공, 천정 시공 조건 등에 따른 예상 성능을 분석
 - 최초 설계가 바닥충격음 차단성능 기준을 미달하는 경우 설계 변경 등을 통한 성능 목표 검토
 - 목업실험등, 샘플 시공 등을 통한 기존 실험적인 연구 방법 대비 효과적으로 성능 분석이 가능하며, 실험 조건의 제약이 없기 때문에 다양한 변수 분석이 가능한 장점 존재

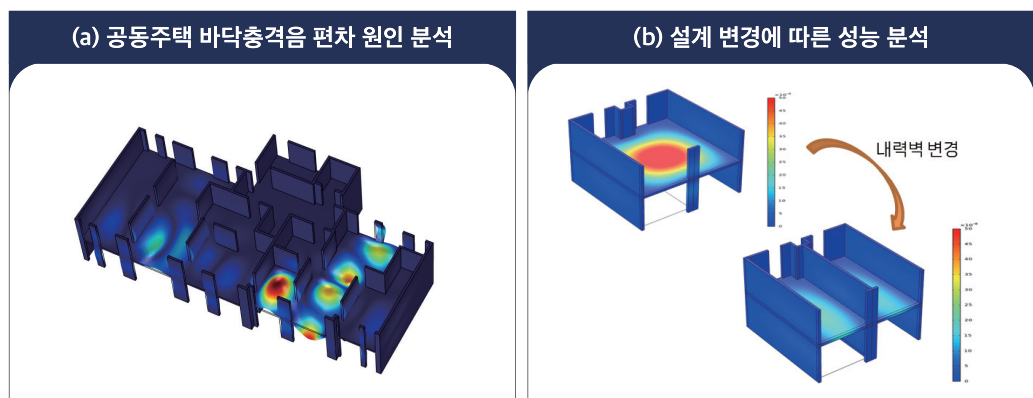


그림-8 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 공동주택 바닥충격음 성능 분석

- 단, 공동주택 바닥충격음 저감 연구에 컴퓨터 시뮬레이션을 활용하기 위해서는 입력변수, 해석 프로세스 가이드라인 마련 등의 연구 필요
 - 컴퓨터 시뮬레이션 활용시 요구되는 재료 물성, 하중 조건 등에 대한 DB가 부족한 상황으로, 현장 콘크리트의 탄성계수, 밀도 등에 대한 데이터 수집이 선행되어야 신뢰성 있는 분석 가능
 - 표준화된 시뮬레이션 프로세스가 존재하지 않기 때문에 사용자에게 따른 해석 결과 편차가 발생 가능. 따라서 신뢰성을 확보할 수 있는 표준화된 바닥충격음 시뮬레이션 가이드라인 마련 필요

■ [시공 단계] 시공 단계별 바닥충격음 성능 관리 방안 마련

- 공동주택 시공 품질 등에 따라 동일 단지에서도 바닥충격음 차단성능 편차 발생 가능
 - 동일 구조, 평면 조건에서도 시공 품질 등에 따라 바닥충격음 차단성능 편차가 발생하고 있으며, 안정적인 현장 성능 구현을 위해서는 측정 세대간 성능 편차 저감이 필수적으로 요구
 - 바닥충격음의 경우 수음실의 소음 측정 조건(창호, 출입문 설치 등)이 충족되어야 하기 때문에 시공 단계에서 바닥충격음 성능 확인 방안이 전무한 상황
 - 준공 단계에서 바닥충격음 성능 개선이 요구되는 경우에는 입주 지연 등 막대한 비용 지출이 예상
 - 따라서 시공 단계에서 바닥충격음 차단성능을 평가할 수 있는 방안이 시급히 요구되는 상황
- 바닥충격음은 바닥 슬래브 진동에 의한 소음 발생 현상으로, 바닥 슬래브 진동을 이용하여 바닥충격음 예상 성능을 분석할 수 있는 방안을 연구 중
 - 토지주택연구원에서는 바닥 슬래브 진동을 측정하여 바닥충격음의 예상 성능을 분석하고, 세대간 편차 발생 세대를 판별할 수 있는 방안을 연구 중
 - 목업실험동을 이용하여 표준충격원에 대한 바닥 슬래브 진동 및 바닥충격음을 측정하였으며, 바닥 슬래브 진동을 이용하여 2dB 오차 수준으로 바닥충격음 예측이 가능한 것으로 분석
 - 시공 단계별 바닥충격음 저감 영향을 분석한 결과, 바닥구조 시공, 바닥 마감재 시공 조건에 따른 바닥충격음 예측은 신뢰성 있는 분석이 가능한 것으로 분석
 - 단, 천정 구조에 대한 소음 저감 효과는 이론식 대비 편차가 존재하였으며, 후속 연구를 통해 천정 구조에 대한 소음 저감식 개선이 필요

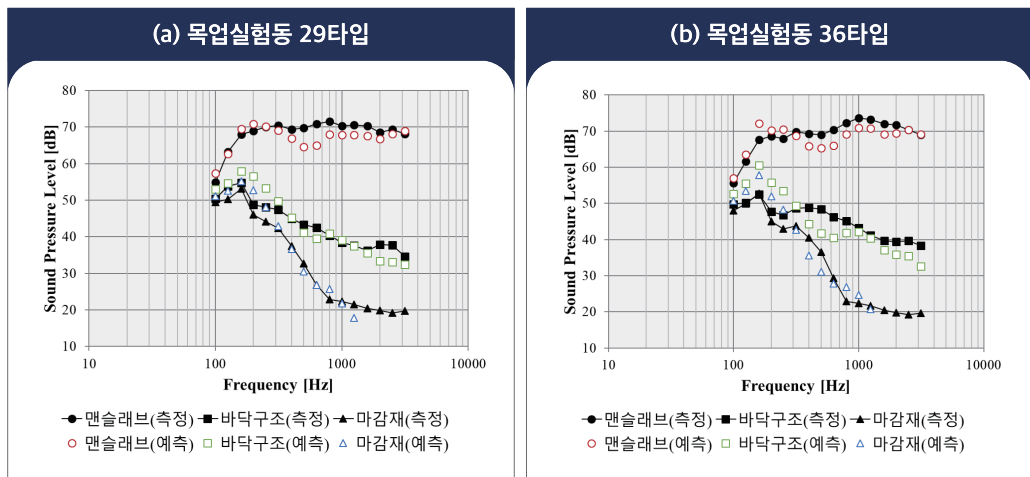


그림-9 바닥 슬래브 진동을 이용한 바닥충격음 예측 결과

- 단, 해당 연구는 목업실험동을 대상으로 수행되었기 때문에 외부 요인에 대한 영향을 최소화하였으며, 후속 연구에서 실제 공동주택을 대상으로 방법론의 신뢰성을 개선할 예정
 - 실제 공동주택 시공 현장을 대상으로 골조 시공 이후 바닥 슬래브의 진동을 측정, 준공 단계에서 바닥충격음을 측정하여 본 연구에서 제시한 방법론에 대한 신뢰성을 검토
 - 또한, 다수 현장의 측정 데이터를 수집, 본 연구에서 제시한 바닥충격음 계산식을 개선하고 실효성 있는 공동주택 바닥구조 시공 품질 방안 마련 예정

