

공동주택의 중량충격음 저감을 위한 제진재의 활용

Use of Damping Materials for Reducing Heavy-weight Floor Impact Noise in Apartment Buildings

○ 정 영* · 유 승 엽* · 김 민 배** · 전 진 용***

Young Jeong, Seung-Yup Yoo, Min-Bae Kim, Jin-Yong Jeon

Key Words : Heavy-weight Floor Impact(중량충격), Damping Materials(제진재), Isolation Materials(완충재)
Natural Frequency(고유진동수)

ABSTRACT

Noise and vibration generated by heavy-weight floor impact in apartment buildings were studied. The resonance frequency increased in the floor structures where damping materials were used in the living room and the bedroom. Both the acceleration wavelength and the acceleration level decreased. The results showed that the resonance frequency increased and vibration acceleration level decreased when the damping materials were used. Heavy-weight impact sound levels of the structure decreased substantially below 80Hz.

1. 서 론

우리나라 공동주택 거주자의 삶의 질에 대해 가장 큰 영향 요소는 층간소음으로, 거주환경 개선을 위해서는 층간소음 개선이 우선 추진되어함을 모두 인식하고 있다. 그러나, 대부분의 30평형대 공동주택에서 중량충격음이 55dB 전후의 성능을 나타내고 있으며, 심지어는 건교부 기준을 만족하는 공동주택에서도 층간소음으로 인한 환경분쟁 및 관련 민원이 제기되고 있는 실정이다.

최근 층간소음 저감재료와 설계 및 시공의 개선 등 연구가 진행되었으나 아직까지 효율적인 저감대책이 미미한 상태에서 2003년 4월 22일 개정하여 2004년 4월 22일 이후 시행된 "주택건설기준등에관한규정"(제14조제3항, 건설교통부)에 대하여, 중량충격음의 경우 현 시점에서는 법적 기준(50dB)를 만족하기 어렵다는 결론이 도출됨에 따라 규제사안을 2005년 7월 1일이후로 연기한 상태이다.

이와 관련하여 공동주택의 바닥충격음에 대한 법적 기준의 운용방안과 표준바닥구조 그리고 바닥충격음 차단성능 등급기준 등을 마련하기 위해 실험실 및 시공현장의 측정, 분석되었다. 각계에서 다각적인 시험과 연구를 진행한 결과, 경량충격음은 공동주택의 바

다에 완충재 등의 시공을 통해 최소기준(58데시벨)에 만족하는 차단구조를 제시하는 데 문제가 없었다.

그러나 중량충격음은 대부분의 공동주택건설방식이 벽식 구조인 국내의 경우 바닥판에 대한 중량충격음이 일체화된 벽을 타고 전달된다. 즉, 음장특성(공진현상)과 함께 바닥판의 고유진동수(35~45Hz(거실), 45~60 Hz(방))가 중량충격음의 측정주파수 대역인 63Hz (44.5~89.1Hz)에 영향을 미친다. 그러므로 슬래브 두께를 135~150mm에서 240mm로 늘리더라도 침실과 같은 작은 공간의 경우는 현행기준을 충족시키기 어렵다. 따라서 중량충격음의 성능향상을 위해서는 바닥판의 고유진동수와 공간의 고유진동수가 45Hz이하가 되어야 하고, 고유진동수를 낮추기 위해서 공동주택의 구조형식을 벽식에서 라멘구조(15~30Hz)로 변경하는 안이 제안되었다.

본 연구에서는 완충재를 사용한 바닥구조의 중량충격음 및 진동 특성을 살펴보고, 벽식구조 공동주택 온돌바닥구조에 큰 변화없이 중량충격음의 실제적인 저감을 위한 방안의 하나로 제진재를 활용하여 저주파수 영역에서 발생된 공진주파수와 해당 진동·소음 레벨을 분석, 중량충격음 저감방안을 위한 제진재의 적용성을 검토하였다.

2. 제진재의 물성 및 현장시험시공

2.1 제진재의 물성치시험

* 한양대학교 대학원 건축공학과
** (주)AVT 기술연구소장
*** 한양대학교 건축공학부 부교수

제진재의 물성치 시험을 위하여 점탄성 재료 시험기(DMA 2980)를 이용하여 온도와 주파수에 따른 제진재의 물성 변화를 분석하였다.

Table 1 Examination conditions

구분	점탄성 재료 시험기(DMA 2980)
온도조건	-145~600℃
최대하중	18N(동하중+정하중)
변위조건	정적변위(25mm), 동적변위(0.5~10000um) 변위 분해능(1nm)
시편	높이 10mm이하, 지름 40mm이하(압축시험편 기준)

구분	시험조건
온도조건	25, 30, 35, 40 °C
주파수	5~50Hz
변위조건	동적 변위 : 15 μm 예 하중 : 0.01N
시편	지름 : 20.5mm, 높이 : 6~6.9mm

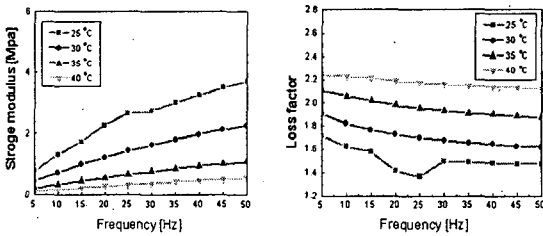


Fig. 1 Properties of matter by frequency and temperature

Table 2 Loss factor

Material	Loss factor
Damping material	1.40~2.20
Aluminum	$2 \times 10^{-5} \sim 2 \times 10^{-3}$
Concrete	0.02~0.06
Rubber	0.1~1
Steel	0.002~0.01
Wood	0.005~0.01

2.2 현장시험시공

벽식구조로 시공 중인 현장 내 4세대(Case-A, B, C, D)의 거실 4개실과 침실 4개실을 대상으로 표준 중량충격원에 의해 수습실 각 부위에 전달된 진동 및 소음간 상관관계를 분석하고, 충격음 저감재로서 완충재 및 제진재의 특성을 파악하기 위해 현장시험을 실시하였다.

CaseA~D를 시험 시공한 현장 구조는 20층 규모의 대단지 아파트 내 위치한 30~44평의 계단식 아파트로 바닥구조는 바닥 슬래브 150 mm, 기포 콘크리트 60mm 그리고 마감 몰탈 50mm로 구성되어 있으며, 본 연구를 위해 기포 콘크리트 층 하부에 완충재와 제진재를 삽입(경량기포 하부형식)한 기포층 하부구조와 마감몰탈 하부에 삽입한(경량기포 상부형식) 구조로 구분하여 중량충격음과 진동 특성을 분석하였다.

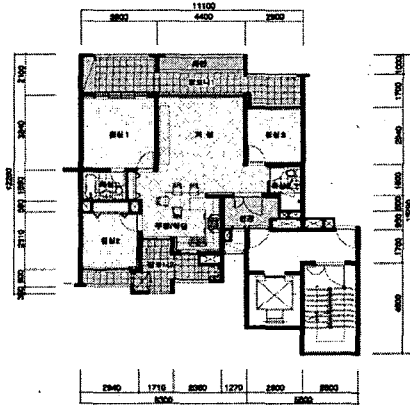


Fig. 2 Apartment for floor impact sound test

Table 3 Floor system details

구조	바닥층 구성
A구조 (30평)	슬래브(150mm)+제진재(15mm)+경량기포콘크리트(45mm)+마감몰탈(50mm)
B구조 (34평)	슬래브(150mm)+제진재(20mm)+경량기포콘크리트(40mm)+마감몰탈(50mm)
C구조 (35평)	슬래브(150mm)+완충재(20mm)+경량기포콘크리트(40mm)+마감몰탈(50mm)
D구조 (44평)	슬래브(150mm)+경량기포콘크리트(45mm)+제진재(15mm)+마감몰탈(50mm)

3. 진동측정 및 분석

맨슬래브는 골조와의 결합 특성에 의해 소음 방사 무관한 공진 등이 발생할 수 있는 요소가 없다. 먼저 맨 슬래브 상태의 진동을 측정하고, 완충재와 제진재를 시공한 후 경량기포콘크리트, 마감몰탈을 타설하여 충분한 양생기간을 거쳐 다시 한번 진동을 측정하였다.

측정은 KS규격(KS F 2810)에 따라 가진 및 수습 점을 위치시켰으며, 중량충격원에 의한 진동은 중앙부 가진 및 응답으로 측정하였다.

진동레벨은 가진실 중량충격원이 가해질 때 검출되는 가속도 가진신호에 대해 동기화(triggering) 시켜 측정하였으며, 이에 대한 방법은 Fig. 3에 나타났다.

즉, 일반적인 임펄스 가진의 경우 정상상태의 특성과 달리 매우 짧은 시간 내 정확한 데이터를 확보해야 하는 어려움이 있으며 본 중량충격원의 경우 수백 msec 내 다수의 데이터를 측정, 분석해야 한다. 따라서 중량충격원에 의해 바닥이 진동하는 시점을 기준으로 하기 위해 가진 바닥에 가속도계를 장착하여 기준신호(reference signal)로 인식하여 이 신호가 정해진 레벨 이상의 값을 가지는 순간 측정대상물에 대한 진동 측정이 시작되도록 설정하였다.

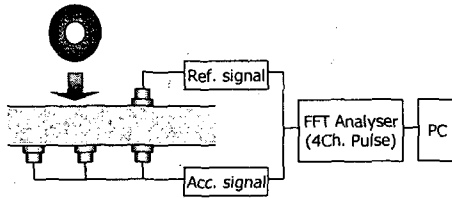


Fig. 3 Vibration measurement with triggering

소음은 음압레벨(SPL)을 측정하였다.

본 실험에 사용된 장비 및 센서는 다음과 같다.

- Bang machine (FI-02, Rion)
- FFT (4-Ch. Pulse, B&K)
- Microphone (Type 4165, B&K)
- Accelerometer (PCB)
- Notebook computer (COMPAQ)

3.1 거실의 진동측정 결과

Table 4는 맨 슬래브 위에서 Table 5는 마감물탈위에서 측정 분석한 결과이며, 각 구조에 따른 고유진동수 및 가속도, 진동레벨의 영향을 나타낸 것이다.

바닥에서의 피크 주파수는 바닥 구조의 고유 특성을 반영해 주는 것으로 고유주파수(Natural frequency)로 판단되며, 다소 복잡하고 다양한 피크가 발생하였다. 이는 가진 면에서 발생된 진동이 벽과 주변 구조를 통해 전달되면서 동특성이 일부 반영되어 나타난 것으로 분석된다.

먼저 맨 슬래브 상태에서 측정한 결과, 고유진동수는 17~27Hz에서 높은 피크성분을 보이고 있으며, 각 구조의 평형에 따른 진동가속도레벨은 유사한 값(91~93 dB)을 나타내었으나, 완충재(C구조) 및 제진재(A,B,D구조)를 삽입하고 온돌구조를 시공한 후, 측정한 세대에서는 고유진동수가 20~33Hz에서 높은 피크성분을 보이고 있다. 특별히 각 구조의 고유진동수 변화와 함께 진동레벨의 변화를 보면, 제진재를 시공한 A, B, D구조는 피크 성분을 보이는 고유주파

수의 증가와 함께 진동가속도레벨이 13~20 dB정도 저감되는 결과를 나타내었으나, 완충재를 시공한 C구조는 공진주파수의 변화 없이 진동가속도레벨이 4dB의 저감효과를 나타내었다.

Table 4 Natural frequency and acceleration of bare slabs (living room).

구분	Natural frequency	Acceleration	Acceleration level
	1st [Hz]	[m/s ²]	[dB]
A 구조	27	0.46	93
B 구조	17	0.34	91
C 구조	21	0.45	93
D 구조	18	0.35	91

Table 5 Natural frequency and acceleration of finished structures (living room)

구분	Natural frequency	Acceleration	Acceleration level
	1st [Hz]	[m/s ²]	[dB]
A 구조	33	0.10	80
B 구조	32	0.04	71
C 구조	20	0.29	89
D 구조	24	0.08	78

각 구조의 변화에 따른 스펙트럼과 시간 영역에서도 제진재를 적용한 A, B, D구조는 완충재를 적용한 C구조와 비교하여 진동가속도 응답파장이 짧아지며, 가속도 값도 감소함을 알 수 있었다.

이는 완충재보다 제진재를 적용한 바닥구조 변화가 충격음을 보다 효율적으로 저감하는 하나의 방안이 될 수 있다는 결과를 나타내고 있다.

3.2 방의 진동측정 결과

Table 6에서와 같이 맨 슬래브에서 측정치를 분석한 결과, 고유진동수는 30~39Hz에서 높은 피크성분을 보이고 있으며, 각 구조의 평형에 따른 진동가속도레벨은 큰 차이가 없이 유사한 값(94~96 dB)을 나타내었으나, Table 7에서와 같이 완충재와 제진재를 시공하고 온돌층을 시공한 경우 고유진동수는 36~46Hz로 나타나고 있다.

그러나 완충재를 시공한 C구조는 공진주파수가 낮은 대역으로 이동하는 결과를 나타내었다. 각 구조의 고유진동수 변화와 함께 진동가속도레벨의 변화를 보면, 제진재를 시공한 A, B, D구조는 고유진동수의 증가와 함께 진동가속도레벨이 25~30 dB 저감되었으나, 완충재를 시공한 C구조는 4 dB 저감되는 결과는 나타내었다.

각 구조의 변화에 따른 스펙트럼과 시간 영역신호

에서도 제진재를 적용한 A, B, D구조는 완충재를 적용한 C구조와 비교하여 진동가속도 응답파장이 짧아지며, 가속도 값도 감소함을 알 수 있었다.

Table 6 Natural frequency and acceleration of bare slabs (bedroom)

구분	Natural frequency	Acceleration	Acceleration level
	1st [Hz]	[m/s ²]	[dB]
A 구조	39	0.67	96
B 구조	30	0.60	96
C 구조	39	0.56	95
D 구조	31	0.53	94

Table 7 Natural frequency and acceleration of finished structures (bedroom)

구분	Natural frequency	Acceleration	Acceleration level
	1st [Hz]	[m/s ²]	[dB]
A 구조	46	0.063	76
B 구조	42	0.068	77
C 구조	36	0.38	92
D 구조	42	0.028	69

3.3 고유진동수에서의 감쇠비 비교

제진재 삽입구조에서 고유진동수의 이동과 진동가속도 응답파장, 가속도 값의 변화와 더불어 동일한 모드 형상을 가지는 고유진동수에서의 감쇠비를 Table 8에서 비교하였다.

Table 8 Damping Ratio

mode	맨 슬라브	제진재 삽입구조	감쇠비의 차이(%)
1st	0.015	0.079	186%
2nd	0.010	0.018	80%
3rd	0.013	0.029	123%
4th	0.009	0.027	200%

3.4 중량충격음 측정 및 분석

Table 9는 각 구조별 중량충격음 차단성능에 대한 결과를 나타낸 것이다. 역 A특성별 평가 결과를 보면 완충재를 사용한 구조(C구조)와 비교하여 제진재를 사용한 구조는 거실과 방 모두 50 dB이하를 만족하는 것으로 나타났다. 특별히 중량충격원의 에너지 스펙트럼 특성에서 충격에너지가 집중되어 있는 63Hz 대역 이하에서 완충재를 적용한 구조와 비교하여 제진재를 적용한 A, B, D구조는 음압레벨이 현저히 저감되는 결과를 나타내었다.

이는 거실 및 침실의 각 구조별 진동 측정결과에서 언급한 바와 같이 제진재를 적용한 구조에서 공진주

파수의 증가와 더불어 주파수 및 가속도 값이 감소하여 진동 가속도레벨을 감소시키는 결과를 가져왔으며, 음압레벨 또한 감소되었다.

Table 9 Heavy impact sound transmission level of typical floor structures (1)

구분	역 A특성 평가		비고
	거실	방	
A구조	46	48	30평
B구조	45	45	34평
C구조	51	50	35평
D구조	45	44	44평

Table 10 Heavy impact sound transmission level of typical floor structures (2)

구분	역 A특성 평가(방)	비고
C-1구조	57	기본구조
C-2구조	58	경량기포 마감물탈 강도증가
C-3구조	50	경량기포층 완충재 삽입
C-4구조	45	제진재 삽입구조

4. 결론

거실과 침실에서 제진재를 시공한 구조는 공진주파수가 증가하였으며, 진동가속도 응답파장이 짧아지고, 진동가속도레벨이 감소되었다.

제진재를 시공한 세대의 음압레벨의 측정결과, 중량충격원의 에너지 스펙트럼에서 충격에너지가 집중되어 있는 63Hz 대역에서 완충재를 적용한 구조와 비교하여 음압레벨이 현저히 저감되었다.

경량기포와 마감물탈을 시공한 C-1구조, 경량기포층 및 마감물탈층의 강도를 증가시킨 C-2구조, 완충재 시공한 C-3구조와 제진재 시공한 구조를 비교할 때 5~13dB 저감되는 결과는 나타내었다.

제진재를 적용한 바닥구조가 충격음을 보다 효율적으로 저감하는 방안이 될 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 환경부 “차세대 핵심환경기술개발사업”(과제번호: 03-1-11-2-002)의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 1) 공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준 (건설교통부고시 제2004-71호, 04.03.30)
- 2) 전진용 외, 2004, “감쇠재 사용에 따른 중량충격음의 소음 및 진동 특성”, 한국소음진동공학회 추계학술대회는문집, pp.97~102.