

공동주택 구조 유형별 바닥진동 및 바닥충격음 특성

A Study on the Characteristics of the Floor Impact Noise and Vibration According to Structure Types of Apartment House

이 규 동*

Lee, Ku-Dong

Abstract

Recently, the flat-plate structure is widely used because it has many advantages such as reduction of story height, long span etc than the RC rahmen structure. Furthermore, application of the flat-plate is on the increase because of flexible plan unlike wall structure. Long span have been at a disadvantage for vibration serviceability evaluation, however studies about vertical direction vibration of flat-plate structure has not been carried out.

This study analysis the characteristics according to slab structure to make an experiment on vibration and floor impact noise for the flat-plate structure in construction performance laboratory in Kolon E&C R&D center, the flat-plate structure applied to the post-tension method, and the wall structure in apartment houses.

키 워 드 : 플랫 플레이트, 포스트텐션, 바닥 진동, 바닥충격음
Keywords : flat-plate, post-tension, floor vibration, floor impact noise

1. 서 론

고강도 재료와 시공기술의 발달은 건축구조물의 고층화·경량화·대공간화를 가능하게 하였고, 경제성과 시공성을 만족하는 새로운 구조시스템에 관한 연구가 끊임없이 진행되고 있다. 최근 플랫 플레이트구조는 RC 라멘구조에 비하여 층고를 절감할 수 있어 경제적인 면에서 유리하고, 스패의 길이가 길어져 넓은 공간에 유리하다. 더욱이 벽식 구조에서 탈피하여 평면의 변형이 용이하여 적용 사례가 증가하고 있다.¹⁾ 그러나 긴 스패는 진동평가에 불리하게 작용할 수 있으나, 플랫 플레이트 슬래브의 수직진동에 대한 연구가 미비한 실정이다. 또한 수직진동에 대한 기준이 국내에는 강구조에만 한정되어 있을 뿐 철근콘크리트구조에 대해서는 마련되어 있지 않다.

이에 본 연구에서는 당사 연구소부지에 시공한 주택실험동 플랫 플레이트 슬래브와 포스트텐션이 적용 된 플랫 플레이트 슬래브 공동주택, 그리고 벽식구조 공동주택을 대상으로 진동실험 및 바닥충격음 시험을 수행하여 슬래브 구조별 동특성을 알아보았다.

2. 건축물 수직진동 평가기준

2.1 일본의 측정 및 분석 방법

본 연구에서는 바닥 수직진동 사용성 기준으로 일본건축학회 기준을 사용하였다. 일본건축학회 기준은 ISO2631 -2, 마이스터곡선, Allen과 Rainer의 연구에 근거한 CSA기준 등의 해외 여러 기준을 토대로 만들어졌다.

1) 적용 범위

거주 환경으로서의 성능을 유지하는 관점에서, 사람의 동작과 설비 기기 등에 의해서 건축물 바닥에 발생하는 연직 진동을 평가하는 경우에 적용한다.

2) 대상으로 하는 바닥

구조적으로 일체성을 유지하고 있는 바닥 슬래브의 구조체로서 건축물의 바닥 용도는 주거, 사무실 및 이와 유사한 바닥으로 한다.

3) 대상으로 하는 진동 및 진동수 범위

대상으로 하는 진동은 바닥의 직각방향, 즉 연직진동으로 한다. 바닥 연직방향의 1차 고유진동수는 통상적으로 3~30Hz로 한다.

4) 가진 조건

바닥 용도에 따라 가진원은 다양하기 때문에 표준가진외력 또는

1) 이민정 외 2인, 수직진동 사용성을 고려한 플랫 플레이트 슬래브의 최소두께 제안, 한국소음진동공학회논문집 제16권 제6호, pp.574~581, 2006

* 코오롱건설(주)기술연구소 선임연구원

표준가진기 등은 정하지 않고, 바닥 용도에 따라서 일상적으로 발생한다고 예상되는 가진 조건을 사용하도록 한다.

5) 평가에 이용되는 측정기의 제한

진동 평가에 이용되는 진동의 제한은 1/3옥타브밴드 분석에 의한 가속도의 최대값(0-p, 단위:cm/s²)을 기본으로, 1/3옥타브밴드 중심주파수와 각 밴드의 최대값을 그림 1에 표시한다. 이때 분석기의 시정수는 10ms로 설정하는 것이 바람직하다.

6) 평가 곡선

① 건축물 진동에 관한 거주 성능 평가 지침_1991

기존의 일본건축학회 기준은 ISO2631-2, 마이스터곡선, Allen과 Rainer의 연구에 근거한 CSA기준 등의 해외 여러 기준을 토대로 최대 가속도 값을 그림 1과 같이 5단계로 제한하고 있다. 이 기준은 수직진동에 대한 바닥의 응답파형으로 구한 고유진동수와 감쇠비 등 구조물의 동특성과 최대가속도를 이용하여 진동 사용성 평가를 하도록 하고 있다. 진동평가 곡선의 선택은 표 1에서와 같이 건물 용도, 진동 종류(type), 그리고 사용성 등급(rank)에 따라 정해진다.

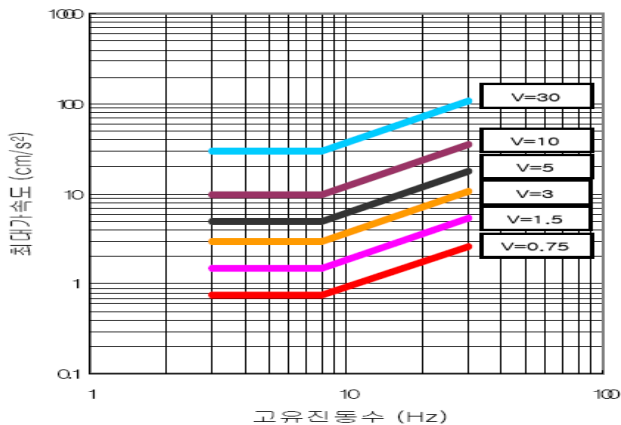


그림 1. 연직진동에 대한 거주성능 평가_1991

표 1. All vertical vibration criteria_1991

Room	Rank usage	Type				
		Rank I	Rank II	Rank III	Rank III	Rank III
Residence	Livingroom, bedroom	V-0.75	V-1.5	V-3	V-5	V-10
	Reference room	V-1.5	V-3	V-5	V-10	V-30
Office	Office place	V-3	V-5	V-5	V-10	V-30

Type 1 : floor exposed to continuous or intermittently repeated vibration
 Type 2 : floor exposed to impulse vibration and having low damping ratio ($\xi \leq 3\%$)
 Type 3 : floor exposed to impulse vibration and having high damping ratio ($3\% < \xi \leq 6\%$)

진동에 관한 거주 성능평가는 성능평가제한치에서 바닥 응답파형으로부터 구한 진동수, 진동진폭, 감쇠비를 조합하여 거주 기준을 V-3, 사무실은 V-5로 제한하고 있다.

② 건축물 진동에 관한 거주 성능 평가 지침_2004(1차 개정)

마이스터 곡선과 ISO2631-2:1989를 비롯한 기존의 성능평가 곡선을 종합적으로 사용하되, 성능 설계에 대응하는 것을 목적으로

하였기 때문에, 기존의 건물 용도에 따른 Rank로 정하지 않고 연직진동에 대한 사람의 진동지각 확률에 근거하여 정한 성능평가 곡선을 정의하고 설계자가 이를 참고로 목표로 하는 바닥의 성능을 설정하는 형태로 바뀌었다.

평가곡선은 각 레벨의 진동이 발생했을 때 몇 %의 사람이 진동을 느끼는지를 나타내며, 10%의 사람이 느끼는 레벨을 V-10으로 표시한다.

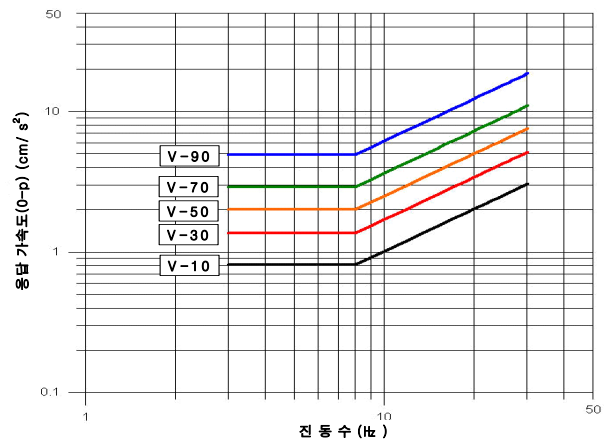


그림 2. 연직진동에 대한 거주성능 평가_2004

표 2. 성능평가 곡선의 정의식(단위:cm/s²)_2004

레벨	진동수(Hz)	
	3 ≤ f < 8	8 ≤ f ≤ 30
V-10	0.81	0.101f
V-30	1.36	0.17f
V-50	2.00	0.25f
V-70	2.90	0.363f
V-90	4.92	0.615f

2.2 기존(1991)곡선과 개정(2004)곡선과의 비교

전 곡선(그림 1)의 V-0.75곡선과 개정된 곡선(그림 2)의 V-10 곡선 및 V-1.5곡선과 V-30곡선, V-3곡선과 V-70곡선, V-5곡선과 V-90곡선이 잘 대응되고 있다.

2.3 모델링 결과와 실제 측정치와의 비교

주택실험동 3층 바닥(210T, 플랫 플레이트구조)을 대상으로 구조 모델링을 실시하였으며, 모델링의 결과로 도출 된 일본건축학회 기준의 '건축물 진동에 관한 거주 성능 평가' 의 결과와 실제로 측정된 결과를 비교 분석하였다.

1) 구조 모델링 결과

주택실험동 3층 1호, 2호 세대를 대상으로 실시한 결과는 그림 3과 그림4와 같다.

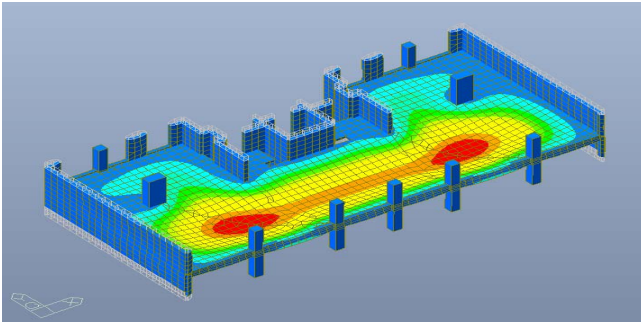


그림 3. 최대 변위부

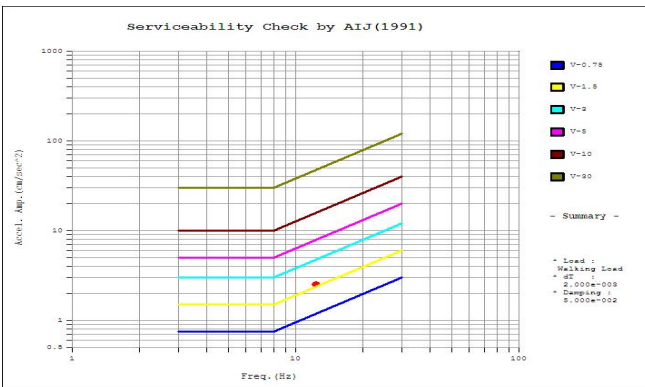


그림 4. 일본건축학회 기준(건축물 진동에 관한 거주 성능 평가 지침_1991)

모델링 평가 결과 주택실험동 3층(210T)의 평가치는 V-1.5(V-30 : 진동 지각 확률 70%)로 평가되었다. 본 결과는 흔들음이 무시된 맨슬래브 상태의 결과이다.

2) 실제 측정 결과

주택실험동 3층 1호, 2호 세대를 대상으로 실시하였다. 충격원으로는 성인(몸무게 약 70kg)의 보행 시 진동의 최대값을 측정하여 평가하였다. 측정위치는 그림 5와 같다.

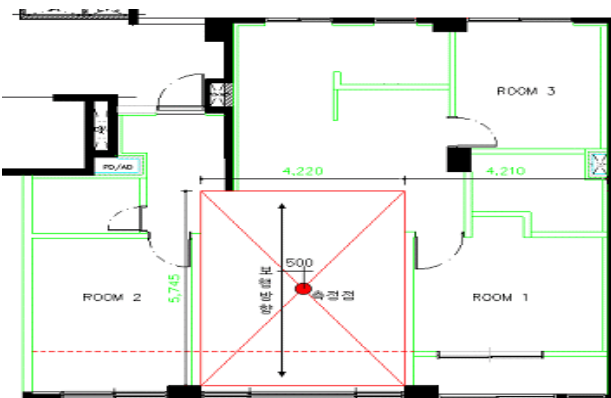


그림 5. 측정 위치

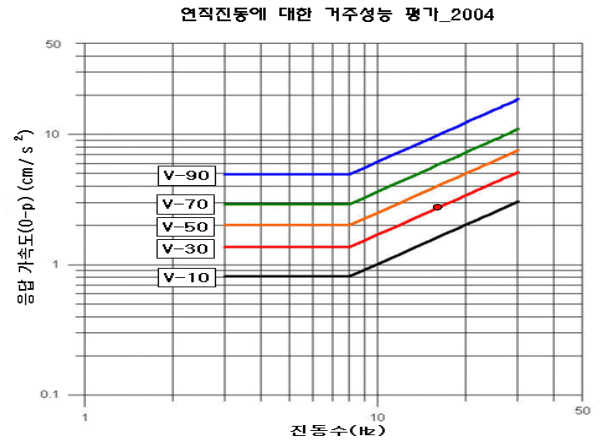


그림 6. 301호 거주성능 평가 : 맨슬래브(V-30)

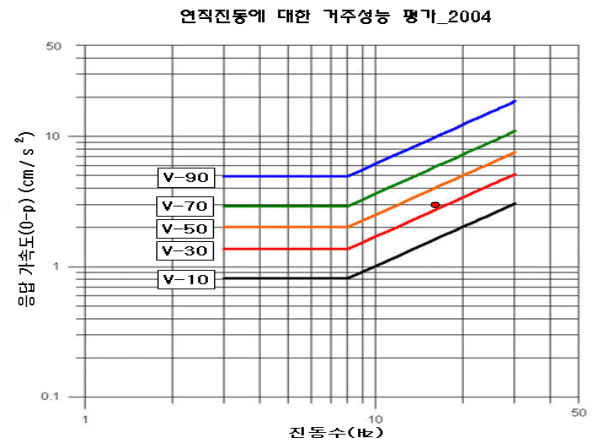


그림 7. 302호 거주성능 평가 : 맨슬래브(V-50)

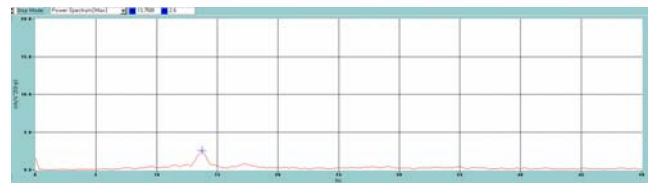


그림 8. 3층 301호 거실(맨슬래브, 보행 충격)
: 중심주파수 13.8Hz, 진동량 2.6cm/s²

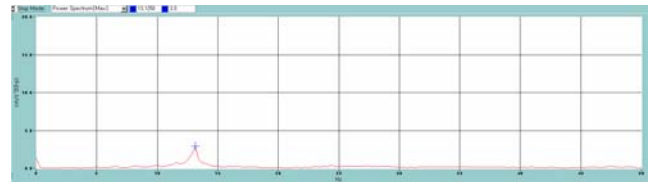


그림 9. 3층 302호 거실(맨슬래브, 보행 충격)
: 중심주파수 13.1Hz, 진동량 3.0cm/s²

실제 측정 결과, 그림 6,7과 같이 모델링의 결과(그림 4)와 중심주파수는 매우 유사함을 알 수 있었으나, 진동량은 약간의 차이가 있었다. 그러나 전체적으로 일본건축학회 기준인 '건축물 진

동에 관한 거주 성능 평가' 의 평가치는 매우 유사함을 알 수 있었다. 그림 8,9는 측정 된 화면을 캡처하였다.

3. 바닥 구조별 진동량 비교를 위한 충격원 제안_임팩트 볼

일본건축학회의 '건축물 진동에 관한 거주 성능 평가 지침' 에 의한 평가 진동원은 1인 보행, 중중걸음(5번 왕복), 1인 밟기 (30~40회), 1인 발꿈치 충격(10회) 등 실제 가해질 진동을 요구하고 있다. 그러나 바닥구조별 비교 평가를 위해서는 더욱 정량적인 중량충격원이 필요하다. 현재 바닥충격음 시험법에서의 중량충격원인 Bang-machine은 실제의 아동 보행 시 진동량 보다 큰 것으로 조사되었다.

전진용 외 「바닥충격음 측정용 표준충격원과 실충격원의 특성 비교」 의 연구에서 공동주택의 주된 바닥충격원으로 조사된 25kg 의 몸무게를 갖는 어린이가 약30cm의 높이에서 뛰어내릴 때의 충격력은 평균 1600N, 거실에서 달릴 때의 충격력은 평균 900N 으로 나타났다. 반면 KS에 표준 중량충격원으로 규정된 뱅머신의 충격력은 4500N으로 나타나 실충격원의 결과와 큰 차이를 나타냈다. 이에 반해 JIS와 ISO에 새로운 표준 중량충격원으로 규정된 Impact ball은 1500N의 충격력을 갖으며, 충격력 폭로레벨의 주파수 특성도 실충격원과 가장 유사한 것으로 나타났다. Impact ball의 충격력은 1,500 N 정도로 Bang machine 보다 낮으며, 실제 어린이 충격력과 유사한 것을 알 수 있다. 그림 10에서와 같이 Impact ball의 저주파 충격력레벨도 bang machine 보다 낮아 실제충격원과 유사한 충격력 특성을 갖는 것을 알 수 있다. 이에 본 연구에서는 바닥 구조별 진동량 비교를 위한 충격원으로 임팩트 볼을 사용하기로 한다.

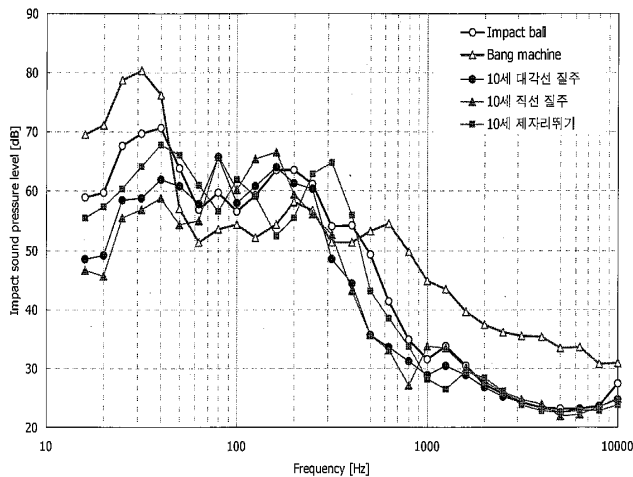


그림 10. 각 충격원별 주파수 특성

4. 측정 방법

4.1 측정점

측정위치는 그림11과 같이 거실의 중앙부를 대상으로 하였다.

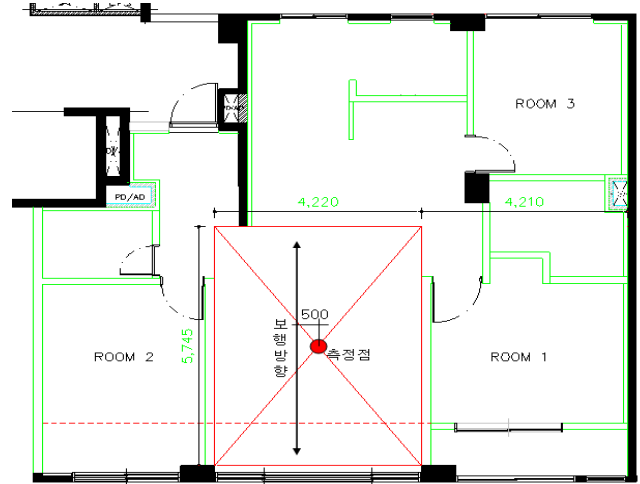


그림 11. 측정 위치 예시

4.2 측정기기 사양

측정을 위한 장비는 Rion사의 SA-01을 사용하여 표 3과 같은 방법으로 측정하였다.

표 3. 측정기기 최소사양

구분	범위	속도	가속도
진동 특성	범위(mm), 속도(cm/s), 가속도(cm/s ²) 동시 측정		
측정 진동수 범위	0.25Hz~70Hz		
최대 측정 범위	100mm	약 10cm/s	1000cm/s ²
최소 분해능	약 1 μ m	0.0001cm/s	0.01cm/s ²

4.3 측정 조건 및 결과의 표시

- ① 진동원 : 임팩트 볼
- ② 진동 픽업 설치 조건 : 슬래브 위 연직방향 설치
- ③ 측정 방법 : 진동센서와 50cm 이격하여 임팩트 볼의 가진 시, 진동의 최대값 연속 측정. 진동에 의한 가속도를 계속하고, 중심주파수 3.15~50Hz의 가속도의 최대값 (0-p)를 구한 결과를 표시.

5. 현장 측정 및 결과 분석

5.1 측정 대상

- ① 플랫 플레이트구조 슬래브 두께 210mm, 250mm
- ② 벽식구조 슬래브 두께 210mm
- ③ 플랫 플레이트구조(포스트텐션 적용) 슬래브 두께 250mm



그림 12. 측정 전경



그림 13. 측정장비 전경

5.2 측정 결과 분석

- 1) 벽식 구조에서 탈피하여 평면의 변형이 용이하여 적용 사례가 증가하고 있다. 그러나 긴 스패는 진동평가에 불리하게 작용할 수 있다. 일반적인 벽식구조 공동주택과 일반 플랫 플레이트구조 및 포스트텐션이 적용된 플랫 플레이트구조에 대한 슬래브 진동특성과 중량충격음을 알아보았다.
- 2) 표 4에서와 같이 일반 슬래브 대비 중심주파수의 이동 및 현저한 진동량의 감소로 보아 포스트텐션 적용으로 슬래브의 고강성이 이루어진 것을 알 수 있다. 또한 진동량이 감소되었다는 것은 바닥충격음 감소에도 역할을 할 것으로 판단된다.
- 3) 표 5에서와 같이 슬래브의 많은 부분을 구축하고 있는 내력 벽식 구조에서 기둥식구조로 변경 시, 고유진동수는 벽식구조 대비 저주파수 대역으로 이동(28.6Hz → 19.1Hz)한다. 이는 중량충격음의 충격원인 뱀머신과의 공진을 피할수 있는

좋은 방법으로 중량충격음을 현저히(6.5dB 감소) 떨어뜨릴 수 있었던 것으로 판단된다.

4) 슬래브 중간의 기둥 수를 줄이기(경간비의 증가) 위한 방법으로도 사용되는 포스트텐션 공법은 경간비의 증가로 인한 슬래브 진동을 당초 우려했었다. 그러나 본 연구에서 측정된 결과와 같이 벽식구조 210mm 슬래브 대비 약 1/10의 진동량으로 측정되었다. 이는 슬래브의 두께 증가분과 강선 긴장으로 인한 슬래브의 고강성화가 진동량을 줄이는데 기여했다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. 이민정 외 2인, 수직진동 사용성을 고려한 플랫 플레이트 슬래브의 최소두께 제안, 한국소음진동공학회논문집 제16권 제6호, pp.574~581, 2006
2. 일본건축학회, 건축물 진동에 관한 거주 성능 평가 지침 1991
3. 일본건축학회, 건축물 진동에 관한 거주 성능 평가 지침 2004(1차 개정)
4. 전진용 외 3인, 바닥충격음 측정용 표준충격원과 실충격원의 특성비교, 한국소음진동공학회논문집 제16권 제8호, pp.789~796, 2006

표 4. 플랫 플레이트 구조에서의 일반 슬래브 대비 포스트텐션 슬래브의 특성

구 분	중심주파수(Hz)			진동량(cm/s ²)			비 고
	1	2	평균	1	2	평균	
포스트텐션 적용	17.8	20.3	19.1	0.9	1.1	1.0	거실 면적 : 5.5 * 4.5m
일반	17.5	15.6	16.6	2.9	4.4	3.7	거실 면적 : 4.6 * 4.2m
포스트텐션 특징	일반 대비 고주파로			일반 대비 진동량 감소			슬래브 강성 증가에 따른 변화로 판단

표 5. 포스트텐션 적용 플랫 플레이트 슬래브 대비 벽식구조 일반 슬래브의 특성

구 분	측정 항목	벽식구조(210mm)			포스트텐션 플랫 플레이트			포스트텐션 특징
		1	2	평균	1	2	평균	
바닥슬래브 진동	고유진동수(Hz)	28.4	28.8	28.6	17.8	20.3	19.1	중심주파수의 이동
	진동량(cm/s ²)	11.3	10.3	10.8	0.9	1.1	1	벽식 대비 약 10배 감소
바닥충격음	중량충격음(dB)	48	48	48	41	42	41.5	일반 대비 6.5dB 감소