

감쇠재 사용에 따른 중량충격음의 소음 및 진동특성

Noise and Vibration Characteristics of Heavy-weight floor impact
by Using Damping Materials

전 진 용* · 정 영** · 송 희 수** · 김 민 배*** · 이 영 제****

Jin-Yong Jeon, Young-Jeong, Hee-Soo Song, Min-Bae Kim, Young-Je Lee

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

ABSTRACT

The Characteristics of noise and vibration by heavy-weight floor impact sound was studied. Resonance frequency increased a little in structures that use damping material in living room and bedroom, and acceleration waves length that respond became short, and displayed aspect that oscillation level decreases. Result that measure sound pressure level, structure that compare and applies damping materials with structure that apply the resilient materials from 63Hz lower part that impact energy is concentrated in energy spectrum of heavy-weight floor impact sound displayed result that sound pressure level decreases remarkably. Therefore, according to use of damping materials, confirmed reduction effect of heavy-weight floor impact sound.

1. 서 론

건교부에서는 바닥충격음 문제를 완화하기 위해 2003년 4월22일 중량충격음과 경량충격음 차단성능에 대한 법적 최저기준이 마련되었으나, 중량충격음의 차단성능에 대한 현행 벽식구조의 한계로 인해 경량 충격음 차단성능기준만 우선 시행하고, 중량충격음은 추가적인 연구를 통해 결과를 도출한 후, 2005년 7월부터 시행하는 것으로 2004년 4월에 개정¹⁾하였다.

개정된 인정 및 관리기준의 주요내용은 바닥구조의 충격음 차단성능 인정기준 및 절차, 바닥충격음 차단 성능 측정 및 평가방법, 바닥충격음 차단성능의 확인 방법, 표준바닥구조 및 완충재의 성능기준 등이다.

이와 관련하여 공동주택의 바닥충격음에 대한 법적 기준의 운용방안과 표준바닥구조 그리고 바닥충격음 차단성능 등급기준 등을 마련하기 위해 실험실 및 시 공현장의 측정, 분석을 통해 다각적인 시험과 연구를 진행한 결과, 경량충격음은 공동주택의 바닥에 완충재 등의 보강을 통해 최소기준(58데시벨)에 만족하는

차단구조를 제시하는 데 문제가 없으나, 중량충격음은 대부분의 공동주택건설방식이 벽식 구조인 국내의 경우 바닥판에 대한 중량충격음이 일체화된 벽을 타고 전달되는 음장특성(공진현상)과 함께 바닥판의 고유진동수(35~45Hz(거실), 45~60 Hz(방))가 중량충격음의 측정주파수 대역인 63Hz (44.5~89.1Hz)에 영향을 미치고 있으므로 슬래브 두께를 135~150mm에서 240mm로 늘리더라도 침실과 같은 작은 공간의 경우는 현행기준을 충족시키기 어렵다는 연구결과²⁾가 발표되었으며, 중량충격음의 성능향상을 위해서는 바닥판의 고유진동수와 공간의 고유진동수가 45Hz이 하가 되어야 하고, 고유진동수를 낮추기 위해서 공동주택의 구조형식을 벽식에서 라멘구조(15~30Hz)로 변경하는 안을 제안하고 있다.

이에 따라 건설교통부는 금년 4월 23일부터 시행하기로 하였던 공동주택의 충간소음방지기준에 대하여 경량충격음은 예정대로 시행하고, 중량충격음은 2005년 7월 1일부터 시행하는 내용의 주택건설기준등에 관한 규정을 개정³⁾하였다.

본 연구에서는 바닥충격음 기준제정과 관련하여 시행되고 있는 차단성능에 대한 법적 최저 기준인 표준구조의 완충재 사용에 대하여 바닥구조의 중량충격음의 소음 및 진동 특성을 살펴보고, 현재 건설현장에

* 한양대학교 건축공학부 부교수

** 한양대학교 건축공학과

*** (주)AVT 기술연구소장

**** (주)AVT 대표이사

서 시공되고 있는 벽식구조의 공동주택 온돌바닥구조의 큰 변화없이 중량충격음의 실제적인 저감을 위한 방안의 하나로 완충재와 땅핑재료(이하 감쇄재)를 활용하여 저주파수 영역에서 발생된 지배주파수와 해당 진동·소음레벨을 분석, 중량충격음 저감방안을 제안하고자 한다.

2. 현장시험시공 및 측정분석

2.1 시험시공개요

본 연구에서는 벽식구조로 시공 중인 현장 내 4세대(Case-A, B, C, D)의 거실 4개실과 침실 4개실을 대상으로 표준 중량충격원에 의해 수음실 각 부위로 전달된 진동 및 소음간 상관관계를 분석하고, 충격음 저감재로서 완충재 및 감쇄재(땅핑재료)의 특성을 파악하기 위해 현장시험시공을 실시하였다.

Case-A ~D를 시험 시공한 현장 구조는 공히 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 감쇄재를 삽입(경량기포 하부형식)한 기포층 하부구조와 마감몰탈 하부에 삽입한(온돌마루 하부형식) 구조로 구분하여 중량충격음의 소음, 진동 특성을 분석하였다.

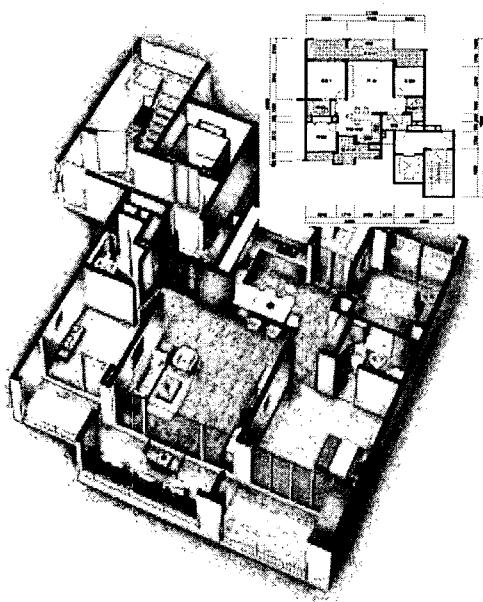


Fig. 1 Apartment for floor impact sound test

Table 1 Floor system details

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

2.2 진동측정 및 분석

본 연구의 시험시공 세대의 마루 바닥재나 석고보드 등 마감재를 부착하기 전 마감재와 골조사이 결합구조의 특성에 따라 소음 방사 특성과는 무관한 공진 등이 발생할 수 있는 요소를 제거한 맨 슬래브 상태의 진동을 측정하고, 완충재와 감쇄재를 시공한 후 경량기포콘크리트, 마감몰탈을 타설하여 충분한 양생기간을 거쳐 다시 한번 진동을 측정하였다.

측정은 KS규격(KS F 2810) 기준에 따라 가진 및 수음점을 위치시켰으며, 중량충격원에 의한 진동측정은 중앙부 가진 및 용답으로 진행하였다.

중량충격원의 에너지 스펙트럼 특징은 63Hz 이하 저주파 성분에 충격 에너지가 집중되어 있다. 이러한 특징으로 인해 바닥구조의 고유진동수와의 공진에 따라 진동용답이 크게 바뀌게 되며, 결과적으로 소음에 영향을 주게 되므로 저주파수 영역의 주파수를 분석하였다.

진동레벨은 가진실 중량충격원이 가해질 때 검출되는 가속도 가진신호에 대해 동기화(triggering) 시켜 측정하였으며, 이에 대한 방법은 Fig. 2에 나타냈다.

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 본 실험에서는 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.

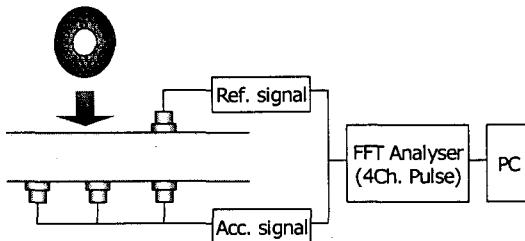


Fig. 2 Vibration measurement with triggering

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)

2.2.1 거실의 진동측정 결과

Table 2는 맨 슬래브 위에서 Table 3는 마감몰탈 위에서 측정 분석한 결과를 각 구조에 따른 고유진동수 및 가속도, 진동레벨의 영향을 나타낸 것이다, Fig. 3은 각 구조에 따라 시간응답 및 주파수 응답 결과를 나타낸 것이다.

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

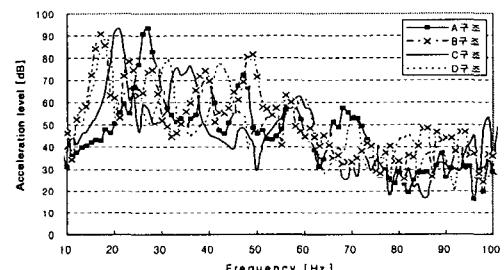
먼저 진동 스펙트럼(Fig. 3)를 보면 맨 슬래브 상태에서 측정한 결과, 고유 진동수(a, b)는 17~27Hz에서 높은 피크성분을 보이고 있으며, 각 구조의 평형에 따른 진동가속도레벨은 유사한 값(91~93 dB)을 나타내었으나, 완충재 및 감쇠재를 삽입하고 온돌구조를 시공한 후, 측정한 고유진동수는 20~33Hz에서 높은 피크성분을 보이고 있다. 특별히 각 구조의 고유진동수 변화와 함께 진동레벨의 변화를 보면, 감쇠재를 시공한 A, B, D구조는 피크 성분을 보이는 고유주파수의 증가와 함께 진동가속도레벨이 13~20 dB정도 저감되는 결과를 나타내었으나, 완충재를 시공한 C구조는 피크치를 보이는 주파수의 변화없이 진동가속도 레벨이 적은 저감효과(4 dB)를 나타내었다.

Table 2 Natural frequency and acceleration on the slab (living room)

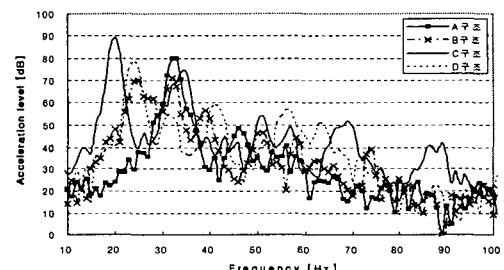
구 분	Natural frequency	Acceleration	Acceleration level
	1st [Hz]	[m/s ²]	[dB]
A 구조	27	0.46	93
B 구조	17	0.34	91
C 구조	21	0.45	93
D 구조	18	0.35	91

Table 3 Natural frequency and acceleration on the mortar (living room)

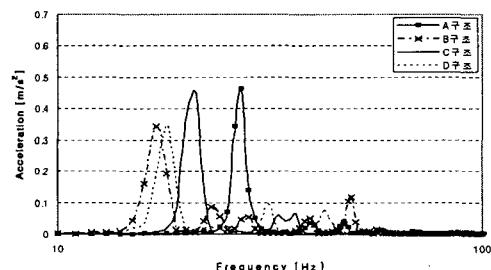
구 분	Natural frequency	Acceleration	Acceleration level
	1st [Hz]	[m/s ²]	[dB]
A 구조	33	0.10	80
B 구조	32	0.04	71
C 구조	20	0.29	89
D 구조	24	0.08	78



(a) Natural frequency on the bare slab



(b) Natural frequency on the mortar



(c) Frequency response on the bare slab

각 구조의 변화에 따른 주파수 응답 스펙트럼(c, d)과 시간 응답 스펙트럼(e~h)에서도 감쇠재를 적용한 A, B, D구조는 완충재를 적용한 C구조와 비교하여 진동가속도 응답파장이 짧아지며, 가속도 값도 감소함을 알 수 있었다.

이는 바닥구조 동특성 변화를 통해 충격음을 저감하는 하나의 방안으로 설명될 수 있으며, 감쇠재를 사용하므로 고유진동수가 증가와 함께 진동가속도레벨이 저감되는 결과를 나타내었다.

2.2.2 방의 진동측정 결과

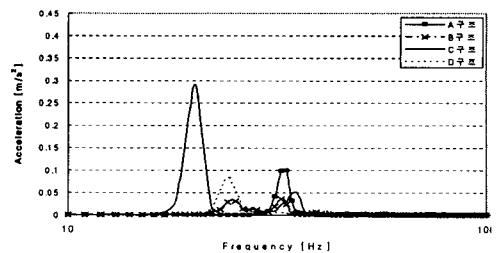
먼저 진동 스펙트럼(Fig. 3)를 보면 맨 슬래브에서 측정한 결과, 고유진동수는 30~39Hz에서 높은 피크 성분을 보이고 있으며, 각 구조의 평형에 따른 진동 가속도레벨은 큰 차이가 없는 유사한 값(94~96 dB)을 나타내었으나, 완충재와 감쇠재를 시공하고 온돌 충을 시공한 경우 고유진동수는 36~46Hz로 나타나고 있다.

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

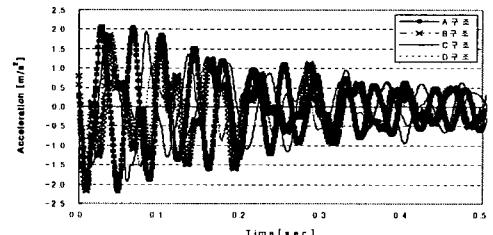
각 구조의 변화에 따른 주파수 응답 스펙트럼(c, d)과 시간 응답 스펙트럼(e~h)에서도 감쇠재를 적용한 A, B, D구조는 완충재를 적용한 C구조와 비교하여 진동가속도 응답파장이 짧아지며, 가속도 값도 감소함을 알 수 있었다.

거실과 방의 맨 슬래브와 온돌마루시공 후, 구조의 변화에 따른 진동을 비교한 결과, 완충재를 시공한 C구조는 공진주파수의 변화가 미비하였으며, 진동가속도레벨 또한 큰 변화가 없었으나, 감쇠재를 시공한 A, B, D구조는 바닥 구조의 고유특성을 보여주는 공진주파수가 증가하였으며, 진동가속도 응답파장이 짧아지고, 가속도 값도 감소되는 결과를 알 수 있었다.

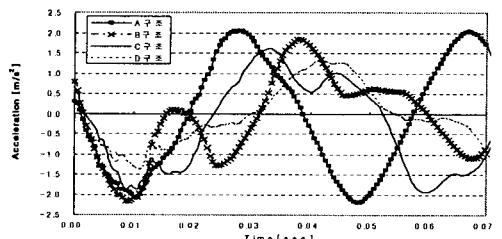
이는 이전 완충재에 대한 연구²⁾에서 저주파 특성은 중량충격원의 에너지 스펙트럼의 특성과 일치하여 오히려 음압레벨이 증가하는 결과를 초래하는 것으로 나타났으나, 본 연구에서와 같이 감쇠재를 사용한 구조에서는 음압레벨이 감소하는 결과가 나타난다.



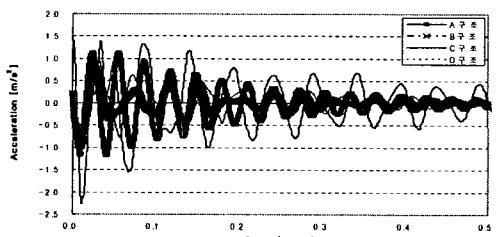
(d) Frequency response on the mortar



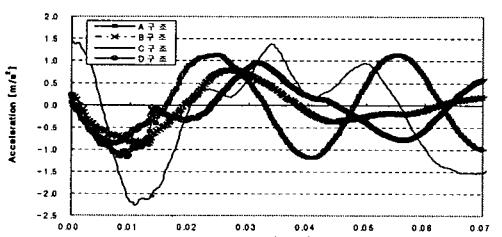
(e) Time response on the bare slab



(f) Time response on the bare slab



(g) Time response on the mortar



(h) Time response on the mortar

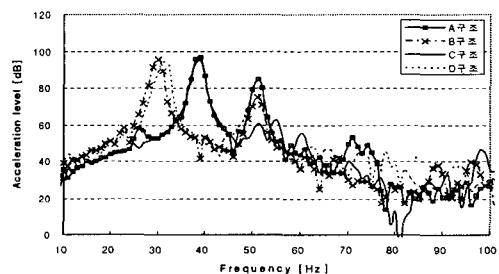
Fig. 3 Vibration spectrum of typical floor structure

Table 4 Natural frequency and Acceleration on the slab (room)

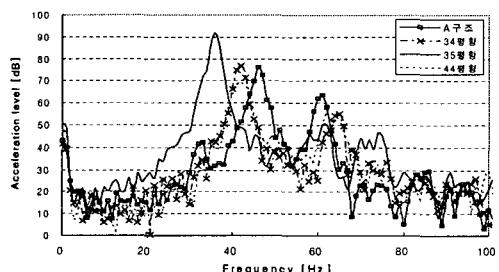
구 분	Natural frequency	Acceleration	Acceleration level
	1st [Hz]	[m/s ²]	[dB]
A 구조	39	0.67	96
B 구조	30	0.60	96
C 구조	39	0.56	95
D 구조	31	0.53	94

Table 5 Natural frequency and Acceleration on the mortar (room)

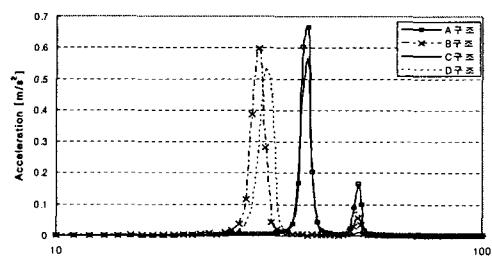
구 분	Natural frequency	Acceleration	Acceleration level
	1st [Hz]	[m/s ²]	[dB]
A 구조	46	0.063	76
B 구조	42	0.068	77
C 구조	36	0.38	92
D 구조	42	0.028	69



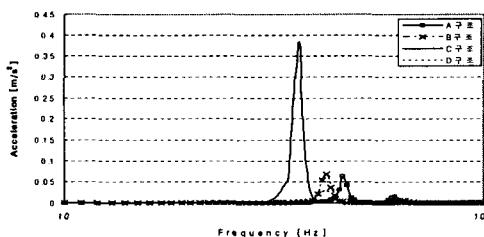
(a) Natural frequency on the bare slab



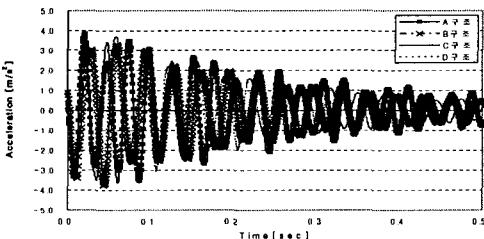
(b) Natural frequency on the mortar



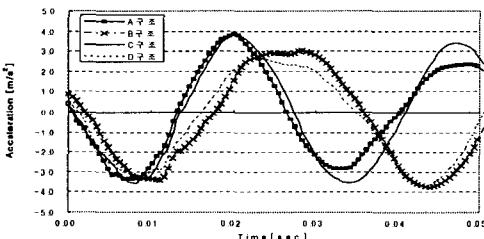
(c) Frequency response on the bare slab



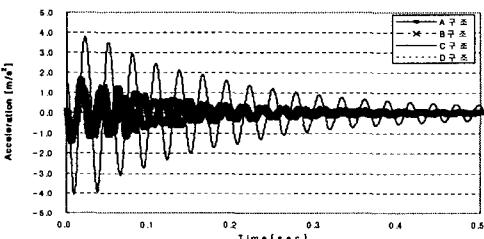
(d) Frequency response on the mortar



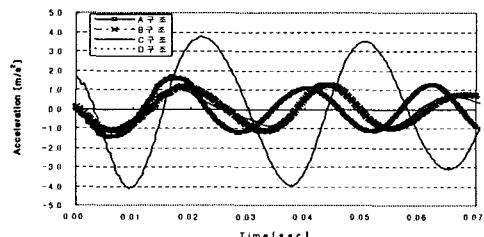
(e) Time response on the bare slab



(f) Time response on the bare slab



(g) Time response on the mortar



(h) Time response on the mortar

Fig. 4 Vibration spectrum of typical floor structure

2.3 중량충격음 소음레벨 측정 및 분석

Table 4와 Fig. 5, 6 는 각 구조별 중량충격음 차단 성능에 대한 결과를 나타낸 것이다. 역 A특성별 평가 결과를 보면 완충재를 사용한 구조와 비교하여 감쇠재를 사용한 구조는 거실과 방 모두 바닥충격음의 법적기준(50 dB이하)을 만족하는 성능을 보이는 것으로 나타났다. 특별히 중량충격원의 에너지 스펙트럼 특성에서 충격에너지가 집중되어 있는 63Hz 대역 아래에서 완충재를 적용한 구조와 비교하여 감쇠재를 적용한 A, B, D구조는 음압레벨이 현저히 저감되는 결과를 나타내고 있다.

이는 거실 및 방에서 각 구조별 진동 측정결과에서 언급한 바와 같이 감쇠재를 적용한 구조에서 공진주파수의 증가와 더불어 주파수 및 가속도 값이 감소하여 진동 가속도레벨을 감소시키는 결과를 가져왔으며, 음압레벨 또한 감소되었다.

Table 6 Heavy impact sound transmission level of typical floor structures

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

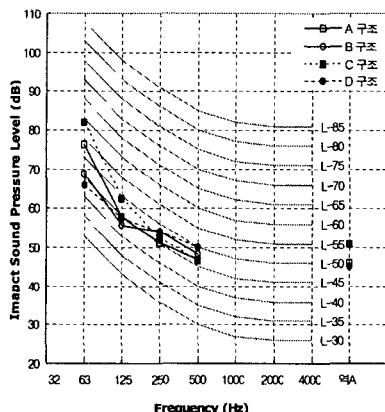


Fig. 5 Heavy impact sound transmission level of living room

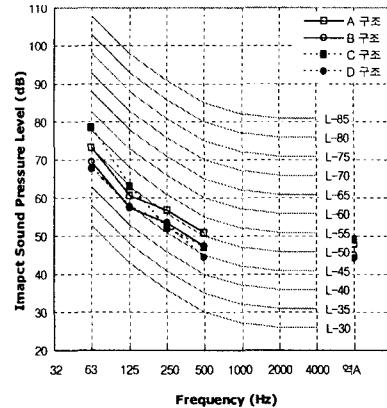


Fig. 6 Heavy impact sound transmission level of room

3. 결 론

본 연구에서는 150mm 두께 슬래브의 4가지 마감구조별 현장시험시공을 통하여 벽식구조의 경량기포층에 완충재나 감쇠재를 사용하는 경우, 중량충격원에 의한 진동특성 및 음압레벨에 대한 영향을 검토하였다.

거실과 침실에서 감쇠재를 사용한 구조에서는 공진주파수가 다소 증가하였으며, 진동가속도 응답파장이 짧아지고, 진동가속도레벨이 감소되는 양상을 나타내었다.

음압레벨의 측정결과, 중량충격원의 에너지 스펙트럼에서 충격에너지가 집중되어 있는 63Hz 대역 아래에서 완충재를 적용한 구조와 비교하여 감쇠재를 적용한 A, B, D구조는 음압레벨이 현저히 저감되는 결과를 나타내었다.

따라서 감쇠재의 사용에 따라 중량바닥충격음의 저감효과를 확인하였다.

향후, 바닥 구조 내 열성능을 만족하는 적정 설계 방안을 도출할 예정이다.

참 고 문 헌

- (1) 공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준(건설교통부고시 제2004-71호, 04.03.30)
- (2) 양관섭 등, 2004, “벽식구조 공동주택의 바닥충격음 특성”, 한국생활환경학회지, 제11권, 제2호, pp9 8~104.
- (3) 개정규정 : 주택건설기준등에관한규정 부칙 제1조(시행일)