

슬래브 두께에 따른 표준실험동의 중량충격음 특성

Heavy-weight Floor Impact Sound Characteristics of Standard Laboratory by Slab Thickness

정 영* · 송희수* · 전진용** · 김진수***

Young-Jeong, Hee-Soo Song, Jin-Yong Jeon, Jin-Soo Kim

Key Words : Floor Impact Sound(바닥충격음), Heavy-weight Floor Impact(중량충격), Natural Frequency(고유진동수)

ABSTRACT

In this study, examined heavy-weight floor impact sound to structure that have slab thickness of 4 form at a standard laboratory through noise and vibration measured. The results show that the nature Natural frequency increased according to change of thickness of each slab by finite element analysis, and acceleration value decreased. Results of measurements of noise and vibration at a standard laboratory, the slab 210, 240mm structures was construed result such as finite element analysis but the slab 150, 180mm structures is construed that influence in vibration acceleration level because edge condition has condition that contact to ground. Therefore, in modelling process for analysis, is thought that need that condition analyzes examining element influencing about structure that contact to ground.

1. 서론

바닥충격음은 충격원의 특성에 따라서 중량충격원(heavy-weight impact)과 경량충격원(light-weight Impact)으로 나뉘어지며 특히 국내에서는 아이들이 뛰어다니는 소음(중량충격원)에 해당하는 중저주파음에 대해 입주자 불만이 매우 큰 것으로 나타나고 있다.

공동주택에서 발생하는 소음 중에서도 특히, 재료의 성질상 콘크리트 면에 직접 충격이 가해짐으로 발생하는 바닥충격음(고체전달음)은 인접세대에 쉽게 전달되는 특성을 가지고 있다. 이러한 특성은 공동주택 거주자들이 흔히 경험하는 일로서 주로 위층에서 아이들이 뛰는 소리와 물건을 끌어 옮기거나 떨어지는 등의 소리이다. 이는 발생빈도가 그다지 높지 않다 하더라도 Annoyance가 높은 소음원으로 인식되고 있으며, 거주자들로부터 성능에 대한 개선요구와 공동주택에서의 주거생활에 대한 불만요소로 작용되고 있다.

경량충격원에 의한 바닥충격음에 대한 대책으로는 가진원에 보다 근접한 대책방안으로서 바닥 마감재의

구조체 두께별, 발포층 두께별, 발포층의 발포율 및 하부 절연층 부착여부에 따라 실험적 방법에 의한 연구가 진행되었으며¹⁾, 또한 진동전달 경로를 차단하는 방안으로 충격음 저감재 즉 완충재를 경량기포와 바닥 슬래브사이나 경량기포와 마감물탈 위에 삽입하여 전달율을 저감하는 방안으로 동탄성계수 및 감쇠계수에 대한 실험적 연구가 수행되었다.²⁾

또한 수음자 측면에서의 방안으로 일정한 공간의 공기층을 형성하는 천정구조를 설치함으로써 바닥충격음을 저감하는 연구가 진행되었다.³⁾

입주자의 실제적인 불만요소인 중량충격원에 의한 바닥충격음 저감 대책으로서는 주로 바닥 슬래브의 두께 또는 강도를 증가시키는 것이 고려되고 있으며, 이에 따라 구조형식을 벽식에서 라멘구조로 변경하거나, 바닥판의 고유진동수를 변화시키는 방법 등에 대한 검토가 필요한 것으로 판단된다.

본 연구에서는 중량충격원에 대해 바닥구조의 소음 및 진동 특성을 살펴보고, 중량충격음의 저감대책의 하나로 실제적인 대안이 되고 있는 슬래브의 두께변화에 대한 해석 및 실험을 통해 저음역에서 발생된 중량충격음의 저감 방안을 검토하고자 한다.

2. 유한요소해석 및 소음, 진동 측정분석

* 한양대학교 건축공학과
** 한양대학교 건축공학부 부교수
*** 월드건설(주) 기술연구소장

2.1 표준시험동 개요

본 연구에서는 30평형대 공동주택의 실환경 거실 규모와 유사한 환경부 연구과제(차세대 핵심환경기술 개발사업)수행과 관련하여 건설한 표준시험동에서 진동 및 소음측정을 진행하였다.

본 표준시험동은 Fig. 1의 평면도에서와 같이 기존의 건교부 시험동 바닥슬래브 두께를 가진 실이 벽과 바닥구조 일부를 공유하게 되는 구조를 개선하여 1개 층에는 단일 슬래브 두께의 구조가 되도록 계획하였으며, 2개의 독립된 시험동을 계단실로 공유하는 평면으로 계획하였다.

각 시험실 주변의 발코니는 실제 공동주택의 경우와 같이 슬래브가 연속되는 조건을 최대한 반영하기 위하여 각 시험실 건물의 주변 4면에 배치하였다.

슬래브는 각 층별로 150, 180, 210, 240mm 두께의 표준시험실을 계획하여 표준시험동 운영시 외벽체 공유세대 및 내부세대의 특성 등을 고려한 실제적이고 효율성 있는 측정을 위해 슬래브 두께별로 3실이 되도록 시공하였다.

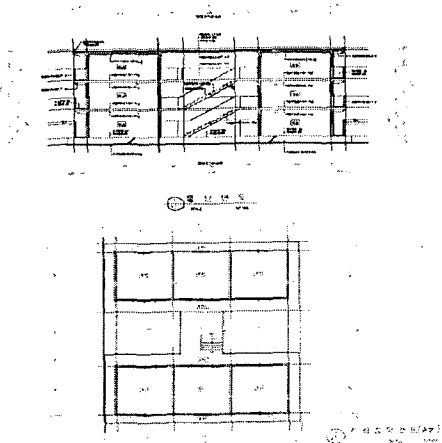


Fig. 1 The plan of floor impact sound test building



Fig. 2 The view of floor impact sound test building

2.2 슬래브 두께의 변화에 대한 유한요소해석

2.2.1 유한요소모델링

맨 슬래브 구조에 대해 중량충격원에 의한 소음 및 진동 실험 결과, 소음 주파수 특성으로 주로 100Hz 이하 저주파 성분이 지배적이며, 바닥 구조의 진동 주파수 특성보다 비교적 잘 일치하는 것으로 연구가 진행된 바 있으나, 이러한 주파수 특성은 바닥 구조의 공진주파수에 의해 발생한 구조 진동음(structure-born noise)으로 판단되며 이러한 구조진동에 대한 보다 체계적인 연구가 필요하다.

본 연구에서는 단순화된 맨 슬래브 구조에 대해 구조해석 전용 프로그램인 ANSYS를 이용하여 유한 요소 해석(Finite Element Analysis)을 실시하였으며, 타당성 있는 유한 요소 모델(Finite Element Model)을 구축하였고, 실험치와 비교하였다.

FEM해석을 위하여 먼저 시험동의 1개 층을 모두 3D로 모델링을 하였고, 경계조건은 벽체부분과 인접 건물로 이동하는 슬래브 부분을 all fixed조건으로 하여 병진 및 회전모드 6개를 구속하였고, 그 외 부분은 all free 조건으로 하였다. FEM해석에 사용된 요소(element)는 shell element를 사용하였고, 모델 해석 결과의 신뢰성을 높이기 위해 mesh의 크기를 결정하였으며, 모델의 node점의 결과를 상호 검토하고, 오차를 점검하여 모델의 신뢰성을 높였다.

고유진동수를 증가시키는 가장 단순한 방법으로 슬래브 두께를 증가시키는 방법을 제안하였다. 일반적으로 맨 슬래브 두께가 150mm인 것을 고려하여 본 표준 시험동의 슬래브를 두께별(150~240mm)로 유한 요소 해석을 수행하였다.

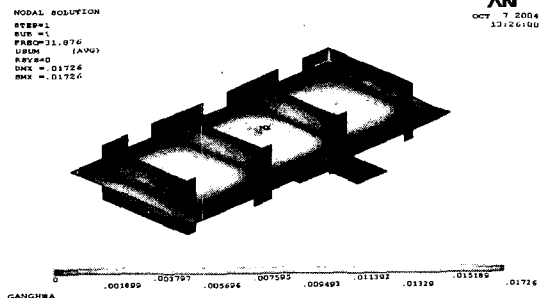


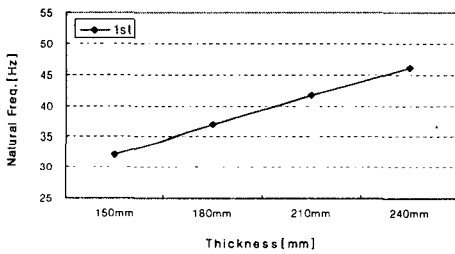
Fig. 3 ANSYS modeling

FEM 해석결과에 따라 1차 고유진동수의 경우, 슬래브 두께가 30mm증가할 때마다 약 4~5Hz 증가가 예상 되었다.

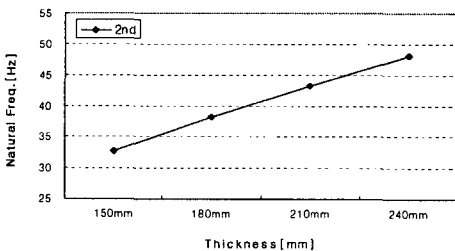
2차 및 3차 공진주파수의 경우, 슬래브 두께의 증가에 대해 각각 약 4~6Hz 증가함을 알 수 있었다. 일반적으로 고유진동수는 주어진 시스템의 강성과 질량에 의해 결정되는데, 슬래브 두께를 증가시키면 전체 질량과 강성이 모두 증가하나, 질량 증가의 영향보다 강성 증가의 효과가 더 크기 때문에 고유진동수가 증가하게 된다.

Table 1 Natural frequency with typical floor thickness

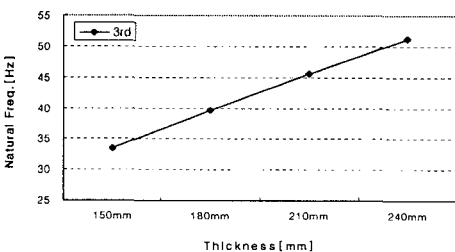
	Poisson 0.185, dens 2.4E ³ , ex 2.6954E ¹⁰			
	Thickness (mm)	1st	2nd	3rd
Case-1	150	32	33	34
Case-2	180	37	38	40
Case-3	210	42	43	46
Case-4	240	46	48	51



(a) 1st Natural frequency



(a) 2nd Natural frequency



(a) 3rd Natural frequency

2.2.2 시간 및 주파수 응답

일반적으로 두께를 증가시키면 질량이 증가함과 동시에 슬래브의 굽힘 강도(bending stiffness)도 동시에 증가하게 되는데 특히 질량 증가에 비해 굽힘 강도의 증가폭이 더 커져 고유진동수가 고주파로 이동하게 된다.

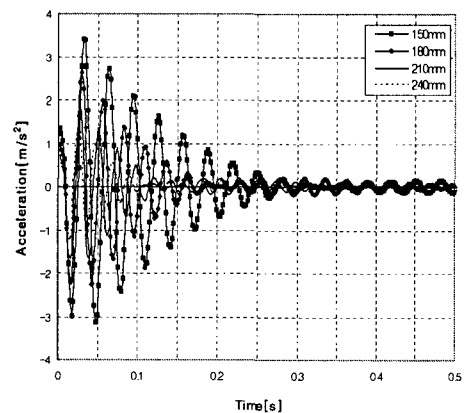
1, 2차 고유 진동수에 대해, 슬래브가 30mm 증가에 약 13% 정도 주파수가 증가하였으며, 3차 고유 진동수에 대해서는 각각 15% 정도 증가하였다.

또한 충격시 진동레벨은 매우 짧은 시간내 피크치로 계산되는데 슬래브 두께가 증가함에 따라 진동가속도 응답과장이 짧아지며 가속도값 또한 감소함을 알 수 있다. 이는 기본적 바닥 구조 동특성 변화를 통해 충격음을 저감하는 하나의 방안으로서 고유진동수를 증가시키는 방법이다.

슬래브 두께 변화에 따른 가속도는 150mm에 비해 30mm 증가하였을 경우, 약 40% 감소하는 것으로 예측되었으며, 진동 가속도 레벨은 기존 150mm에 비해 30mm 증가하였을 경우 약 3dB 정도 저감되는 것으로 해석되었다.

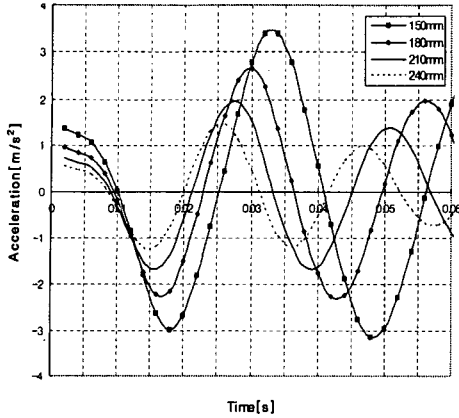
Table 2 Natural frequency and acceleration with typical floor thickness

T(mm)	Natural frequency	Acceleration [m/s ²]	Acceleration level [dB]
	1st [Hz]		
150	32	0.71	97
180	37	0.44	94
210	42	0.37	91
240	46	0.30	89

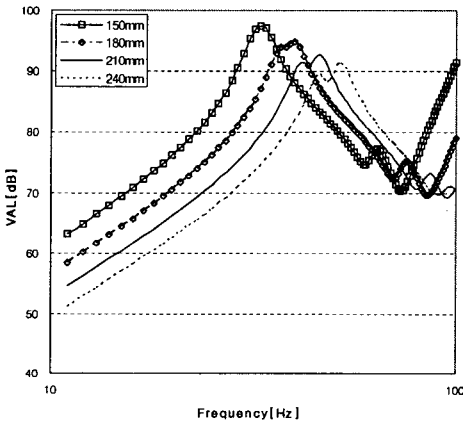


(a) Time response

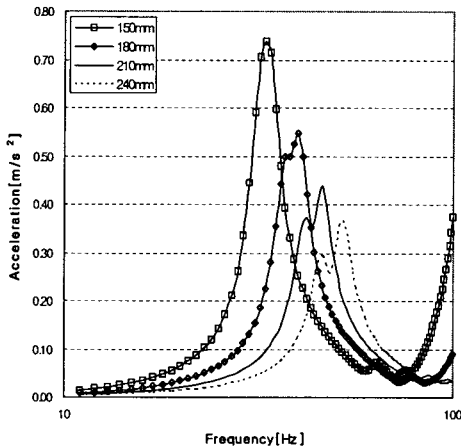
Fig. 4 Natural frequency with typical floor thickness



(b) Time response



(c) Frequency response



(d) Frequency response

Fig. 5 Frequency & time response of typical floor thickness

2.2 슬라브 두께의 변화에 대한 소음, 진동측정분석

2.2.1 측정 및 분석방법

본 연구에서는 시험시공 세대에서 마루 바닥재나 석고보드 등 마감재를 부착하기 전 마감재와 골조사이 결합구조의 특성에 따라 소음 방사 특성과는 무관한 공진특성 등이 발생할 수 있는 요소를 제거한 맨슬래브 상태의 진동을 측정하였다.

측정은 KS F 2810에 따라 가진 및 수음점을 위치시켰으며, 중량충격원에 의한 진동측정은 중앙부 가진 및 응답으로 설정하였다.

중량충격원의 에너지 스펙트럼 특징은 63Hz 이하 저주파 성분에 충격 에너지가 집중되어 있으므로 바닥구조의 고유진동수에서 공진에 따라 진동응답이 크게 바뀌게 되며, 결과적으로 소음에 영향을 주게 되므로 저주파수 영역에서 발생하는 지배적인 주파수를 분석하였다.

진동레벨은 가진실에서 중량충격원이 가해질 때 검출되는 가속도 가진신호에 대해 동기화(triggering)시켜 측정하였으며, 이에 대한 방법은 Fig. 6에 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 측정해야 하므로 본 실험에서는 중량충격원에 의해 바닥이 진동하는 시점을 기준으로 하기 위해 가진 바닥에 가속도계를 장착하여 기준신호(reference signal)로 인식하여 이 신호가 정해진 레벨 이상을 값을 가지는 순간 측정대상물에 대한 진동 측정이 시작되도록 설정하여 측정 분석하였으며, 소음측정은 음압레벨(SPL)을 측정하였다.

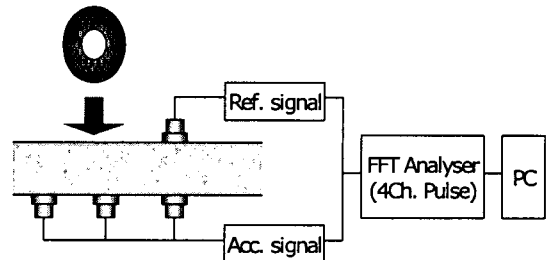


Fig. 6 Vibration measurement with triggering

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 측정 및 분석결과

맨 슬래브 구조에 대해 중량충격원에 의한 진동 실험결과, 슬래브 두께가 150, 180mm인 1차 고유진동수의 경우, 30mm 증가할 때 5Hz, 슬래브 210, 240mm는 3Hz 증가했다.

이에 대해 동일한 조건의 3D 모델링 해석결과와 비교해 보면 Table 4에서와 같이 슬래브 150, 180mm는 실험치와 유사한 고유진동수의 변화를 나타내었으나, 210, 240mm는 결과에 큰 차이를 보이고 있다.

이는 해석을 위한 모델링의 경계조건 결정에 있어 지지조건이 바닥에 접하고 있는 구조와 접하지 않는 구조에 대해 각각의 조건에 맞는 모델링이 되어야 함을 보여주고 있는 결과로 사료된다.

FFT로 가속도레벨을 분석한 결과, 특정주파수에서 최고 피크치가 나타나는데, 이는 측정된 맨 슬래브에서의 고유진동수로 볼 수 있다.

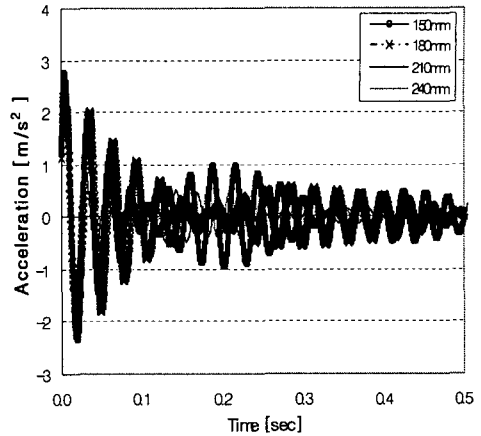
슬래브 두께 150, 180mm는 맨 슬래브 두께가 30mm 증가할 때 고유진동수가 15% 증가하였으나, 진동가속도레벨의 변화는 1dB 증가한 것으로 분석되었으며, 슬래브 210, 240mm는 두께가 30mm 증가할 때 고유진동수가 9% 증가하였으나, 진동가속도레벨의 변화는 3dB 저감한 것으로 분석되었다.

따라서 동일한 지지조건을 갖고 있는 슬래브 210, 240mm의 측정결과를 통해 슬래브 두께가 증가할 경우 전체 질량과 강성이 모두 증가하나 강성의 증가 효과가 더 크기 때문에 고유진동수는 증가하며, 이에 따라 진동가속도 레벨은 감소하게 된다.

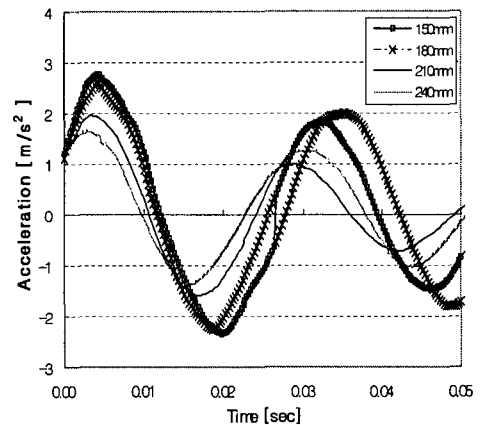
그러나 본 실험동의 슬래브 150, 180mm 구조는 슬래브 210, 240mm구조와 달리 주변 지지조건이 지면에 접한 조건을 가지고 있으므로 진동가속도레벨에 영향을 주는 것으로 분석된다. 따라서 향후, 해석을 위한 모델링 과정에서 지지조건이 지면에 접한 구조에 대하여 영향요소를 검토한 해석이 필요하다.

Table 3 Natural frequency and Acceleration of typical floor thickness

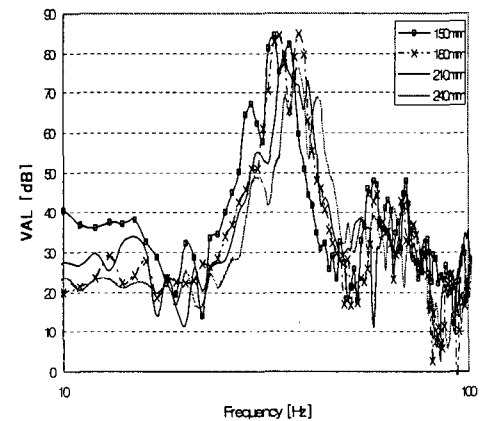
T(mm)	Natural frequency	Acceleration [m/s ²]	Acceleration level [dB]
	1st [Hz]		
150	33	0.16	84
180	38	0.17	85
210	35	0.86	79
240	38	0.64	76



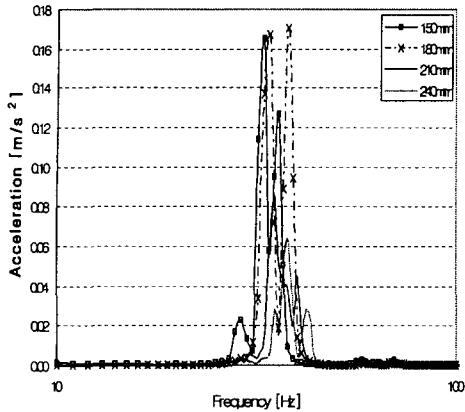
(a) Time response



(b) Time response



(c) Frequency response



(d) Frequency response

Fig. 7 Frequency & time response with typical floor thickness

Table 4 Test results

	Thickness (mm)	Experiment	Analysis	Error(%)
Case-1	150	33	32	4
Case-2	180	38	37	3
Case-3	210	35	42	16
Case-4	240	38	46	17

3. 결론

본 연구에서는 표준실험동에서 4가지 슬래브 두께를 갖는 구조를 대상으로 유한요소해석 및 소음 진동측정 분석을 통하여 중량충격음에 대한 영향을 검토하였다.

유한요소해석에서는 각 슬래브 두께가 증가함에 따라 고유진동수의 증가와 함께 진동가속도레벨이 감소하였다. 특히 실험실에서의 소음 및 진동측정결과 동일한 지지조건을 갖고 있는 슬래브 210, 240mm의 측정결과에서는 슬래브 두께를 증가시키면 전체 질량과 강성이 모두 증가하나 강성의 증가 효과가 더 크기 때문에 고유진동수는 증가하며, 이에 따라 진동가속도 레벨은 감소하였다.

그러나 본 실험동의 슬래브 150, 180mm 구조는 슬래브 210, 240mm 구조와 달리 주변 지지조건이 지면에 접한 조건을 가지고 있으므로 진동가속도레벨에 영향을 주는 것으로 분석되었다.

따라서 해석을 위한 모델링 과정에서 지지조건이 지면에 접한 구조에 대하여 영향요소를 검토하여 해석하는 접근방법이 필요할 것으로 사료된다.

향후, 실제 소음 저감량에 대한 주파수별 방사 효율 등에 대한 영향에 대한 분석을 통해 구체적인 개선방안을 도출할 예정이다.

참고 문헌

- 1) 기노갑 외, 2003, "바닥마감재에 의한 바닥충격음 차음특성 연구", 대한건축학회 학술발표논문집, pp. 645~648.
- 2) 이주원 외, 2003, "충격음 저감재의 동특성과 실험실 경량충격음레벨 저감량의 상관관계", 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집, pp.191~195.
- 3) 김선우 외, "천정구조와 바닥마감재의 조합에 따른 경량충격음 응답특성 및 저감량에 관한 실험적 연구", 대한건축학회논문집 계획계, Vol.18, No.8, pp.177~184.