

슬래브의 동특성과 중량충격음의 상관관계에 관한 연구

Research about correlation of slab vibration mode and heavy-weight floor impact sound

정진연†·이상우*·임정빈**·정갑철***

J. Y. Chung, S. W. Lee, J. B. Im, G. C. Jeong

Key Words : Heavy-weight floor impact sound(중량충격음), Slab vibration mode(슬래브 진동모드), Correlation(상관관계)

ABSTRACT

Receiving room's floor impact sound level is been influenced to various factor of slab thickness, room size, structure etc. This study examined the noise of upper part slab and room mode in receiving room to be importance factor that influence in receiving room level among this factors. According to this study, vibration mode in slab and room mode are concentrated on frequency that is high level relatively. This causes bad effect in floor impact sound level. Therefore, method to reduce floor impact sound level is to change vibration mode using slab upper part's resilient material or reduce room mode in receiving room .

특성을 파악하고 수음실의 음향모드를 분석하여 바닥충격음 영향요소를 분석하였다.

1. 서론

최근 생활수준의 향상과 더불어 개인의 프라이버시를 확보하고자 하는 입주민들의 욕구는 더욱 증대되고 있다. 특히 이웃세대와 벽 하나만을 사이에 두고 생활하게 되는 공동주택의 특성상 소음과 진동에 대한 문제는 커다란 이슈가 되고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 공동주택에서 발생하는 생활소음 중 가장 문제가 되고 있는 바닥충격음을 해결하는 기초 자료를 제공하고자 한다.

바닥충격음을 저감하기 위하여 사용되어져 온 층간소음 저감재의 경우에는 대부분 가볍고 딱딱한 소음인 경량충격음에 효과를 나타내고 있지만, 무겁고 둔탁한 소리인 중량충격음에는 큰 효과를 보지 못하고 있다. 이는 중량충격음의 경우는 기존의 연구에서 알려진 바와 같이 특성상 구조체의 형식, 두께, 형상 등의 영향을 받기 때문이다. 본 연구에서는 수음실 상부 슬래브의 진동 전달

2. 실험개요 및 방법

2.1 실험개요

본 연구에서는 실험을 통해 바닥슬래브의 진동 전달특성(동특성)과 음향모드를 파악하고, 이를 바탕으로 수음실의 중량충격음에 영향을 미치는 요인을 검토하였다. 음원실에서 중량충격원에 의한 충격이 가해질 경우, 수음실에서는 상부 슬래브뿐만 아니라 측벽과 바닥에서의 방사소음까지 바닥충격음 레벨에 영향을 미치게 된다. 그러나 기존 연구에서는 수음실 상부 슬래브로부터의 방사음을 바닥충격음 레벨에 가장 크게 영향을 미치는 요인으로 제시하였다.¹⁾ 따라서 본 연구에서는 음원실 바닥 슬래브의 동특성을 검토하였고 더불어 실의 음압레벨에 영향을 주는 음향모드까지 검토하였다.

본 연구는 180 mm 두께의 천정슬래브와 측벽 등이 일체화된 벽식구조 실험실에서 실험을 수행하였다. 실의 크기는 4,520×3,780 mm

† 교신저자; 대우건설

E-mail : jinyun97@dwconst.co.kr

Tel : (031) 250-1224, Fax : (031) 250-1131

* 경기대학교 건축공학과

** 대우건설

*** 에이스패널

1) 김명준, 1999, 공동주택 바닥충격음의 부위별 전달특성 평가, 한양대학교 대학원 박사학위 논문

(17.1 m³)이다.

또 완충재의 설치에 따른 변화를 분석하기 위하여 완충재 설치 전후의 소음/진동레벨을 측정하였다. 본 연구에서 사용된 완충재는 180 mm 슬래브에서 1등급 인정을 받은 60mm 두께의 시료이고 그 제원은 다음과 같다.

Material	Thickness (mm)	Dynamic Stiffness(MN/m ³)	Grade (180 slab)
Neo-por	60	2.0	1

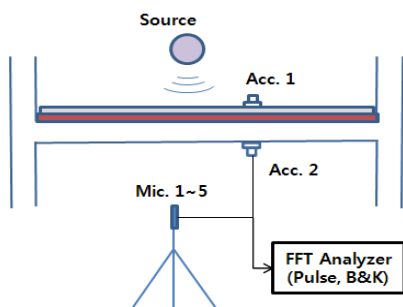


Fig. 1 Sound & Vibration test by heavy weight impact source



Fig. 2 Modal test by impact hammer

2.2 실험방법

바닥 슬래브의 동특성과 수음실의 음향모드를 파악하여 중량충격음 레벨에 영향을 주는 요인을 분석하였다.

슬래브의 동특성을 파악하기 위하여 모달시험(modal test)을 수행하였다. 7×7 격자 형태의 49 point를 대상으로(가속도계 고정, 해머 이동 가진) 실시하였고, 측정된 전달함수(Transfer response function)에 대하여 모달분석 프로그램을 이용하여 고유진동수와 모드형태를 분석하였다.

수음실의 음향모드를 파악하기 위해서, 수식에 의한 계산방법과 스피커를 이용한 음압레벨 측정을 동시에 실시하였다.

실험에 사용된 주요 측정장비는 다음과 같다.

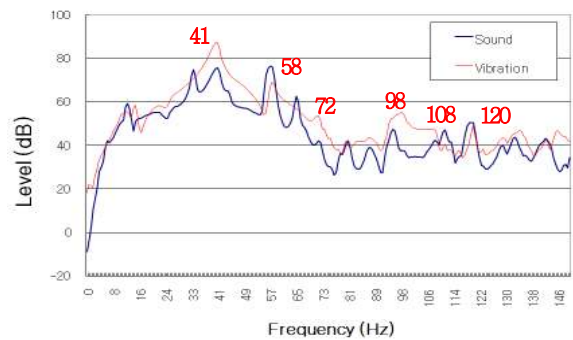
- Real Time Analyzer: Pulse 9.0, B&K, Denmark
- 중량충격음 발생기: Bang Machine, RION, Japan
- Sound Level Calibrator: NC-73, RION, Japan
- Microphone: G.R.A.S., 40AF, Denmark
- Impact Hammer: 684-0001, PCB, U.S.A.
- Accelerometer: 333A12, PCB, U.S.A.
- Amplifier: M700, Inter M
- Speaker: GDB95, 01dB, France

3. 측정결과

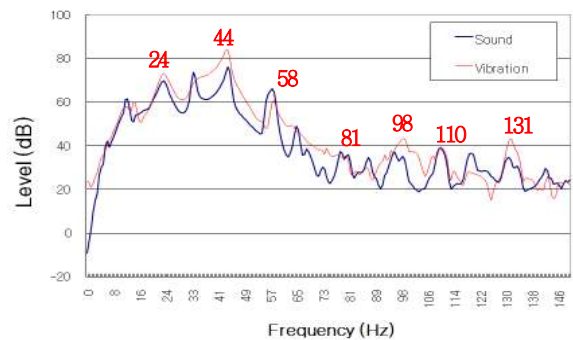
3.1 수음실에서의 소음, 진동레벨

(1) 중량충격음, 진동레벨 비교

수음실의 중량충격음 레벨에 영향을 미치는 요인 중 수음실 상부 슬래브에서의 방사음에 대한 영향을 검토하기 위하여 슬래브의 진동과 수음실의 소음을 동시에 측정하였다. 측정결과, <Fig. 3>에서와 같이 나슬래브(a)와 완충재를 설치한 구조(b) 모두 진동과 소음 측정결과가 유사한 형태를 보이고 있다. 특히 진동레벨이 상대적으로 높은 모든 주파수에서 소음레벨이 상대적으로 높게 나타나고 있는 것을 볼 수 있다.



(a) Bare slab



(b) Slab with resilient material

Fig. 3 Sound & vibration level

이는 수음실 상부의 슬래브 진동에 의한 고체 방사음이 수음실 내부의 소음에 지배적인 영향을 미치고 있음을 나타낸다. 이를 더욱 세밀하게 분석하기 위하여 3.2절에서는 수음실 상부 슬래브에 대한 동특성을 분석해 보고자 한다.

(2) 수음실에서의 중량충격음 레벨 저감량

일반적으로 슬래브 상부에 바닥충격음 완충재를 설치하는 목적은 수음실의 소음레벨을 저감하기 위함이다. 따라서 완충재 설치 전후의 수음실 바닥충격음 및 진동레벨 변화에 대하여 저감량으로 비교해 보았다. 비교결과 완충재를 설치한 후 수음실 상부 슬래브의 진동모드가 나타나는 주파수 대역에서 중량충격음과 진동의 저감량이 상대적으로 낮게 나타나고 있다. 이는 슬래브의 동특성에 따라 수음실 소음/진동 저감량이 영향을 받고 있음을 나타내고 있다.

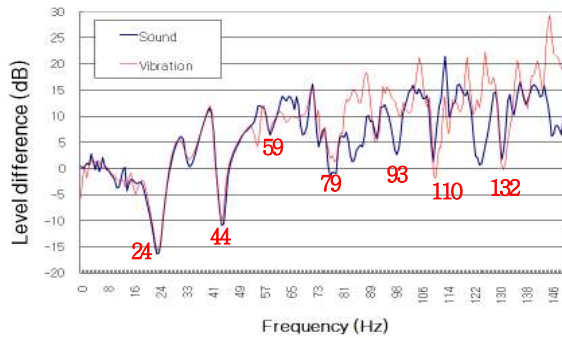


Fig. 4 Level difference by resilient material establishment

3.2 바닥슬래브 동특성

수음실 상부 슬래브의 동특성을 고찰하기 위하여 모달시험을 실시하였다. 이를 통해 3.1절에서 언급된 진동레벨과의 연관성을 살펴보고자 한다.

(1) 완충재 설치 전후의 동특성

층간소음 완충재 설치 전후의 슬래브 동특성 변화를 살펴보았다. 측정결과, <Fig. 5>의 슬래브 진동모드가 존재하는 주파수 영역에서 <Fig. 3>의 진동레벨이 상대적으로 높게 나타난 것을 확인할 수 있다. 즉, 바닥충격음 레벨에 슬래브의 진동모드가 영향을 주고 있다는 것을 알 수 있었다.

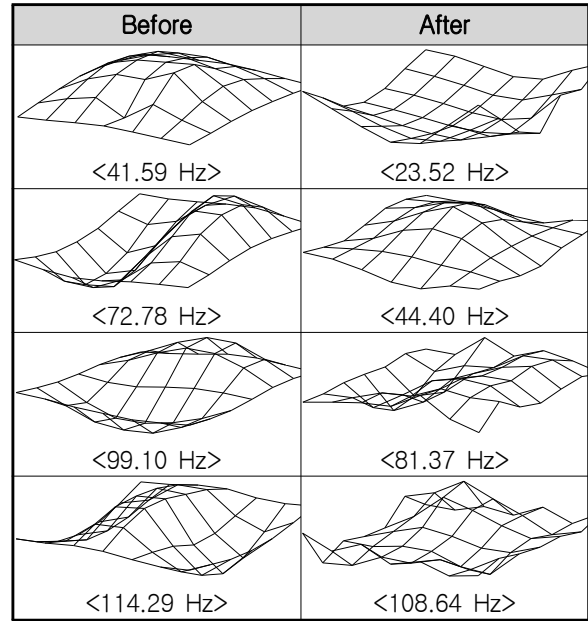


Fig. 5 mode shape change by resilient material establishment

(2) 완충재 설치 후 상하부 동특성

층간소음 완충재를 설치한 후, 가속도계를 몰탈층 상부와 슬래브 하부에 설치하여 모달시험을 수행하였다. 분석결과 몰탈층과 슬래브의 동특성은 다른 형태로 나타나고 있으나 완충재의 고유진동수 설계영역인 24 Hz 부근에서는 동일한 1차 모드가 형성되고 있음을 알 수 있다.

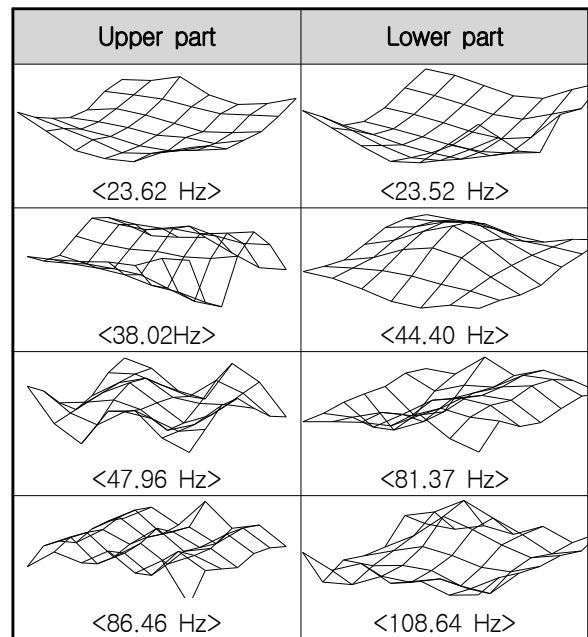


Fig. 6 Upper & lower part mode shape of slab(with resilient layer)

이를 통해 향후에 나슬래브 진동모드의 측정만으로도 바닥충격음 성능을 어느 정도 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

3.3 수음실 음향모드

3.2절에서 고찰한 슬래브의 동특성과 더불어 수음실의 중량충격음 레벨에 영향을 미치는 주요한 요인 중 하나가 수음실 음향모드이다. 3.1절 <Fig. 3>에서 살펴보면 슬래브의 동특성으로만 설명하기 어려운 부분들이 있다. 즉, 슬래브의 진동모드와 상관없이 상대적으로 소음, 진동 레벨이 높은 주파수 영역이 존재한다. 따라서 이를 확인하기 위하여 수음실의 음향모드를 측정하여 분석하였다.

직방 형태인 수음실에서는 음향모드가 존재하기 마련이다. 이를 확인하는 방법은 수음실 각변의 길이를 이용하여 수식으로 계산하는 방법이 있고, 격자 형태의 수음점에서 측정한 음압레벨을 이용하여 확인하는 방법이 있다. 본 절에서는 이러한 두 가지 방법을 모두 사용하여 실의 음향모드를 확인하고자 한다.

(1) 수식에 의한 음향모드

실의 각변의 길이가 l_x, l_y, l_z 인 직방체실에서 주변이 모두 강벽인 경우의 경계조건은 벽면상에서 벽에 수직방향의 입자속도가 0인 경우이다. 또한 3개의 변수가 분리 가능하므로 1차원인 경우와 동일한 방법으로 풀 수가 있어, 이 조건에서 고유주파수를 구한 결과는 식(a)와 같다. 단, n_x, n_y, n_z 는 각각 0, 1, 2, 3,이 되며 그 실의 입자속도 분포는 정재파로서 식(b)로 나타낼 수 있고, 또한 음압진폭의 정재파는 식(c)로 나타내어 진다.²⁾

$$f_n = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{n_x}{l_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{l_y}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{l_z}\right)^2} \dots\dots\dots(a)$$

$$\sin\left(\frac{n_x \pi x}{l_x}\right) \sin\left(\frac{n_y \pi y}{l_y}\right) \sin\left(\frac{n_z \pi z}{l_z}\right) \dots\dots\dots(b)$$

$$\cos\left(\frac{n_x \pi x}{l_x}\right) \cos\left(\frac{n_y \pi y}{l_y}\right) \cos\left(\frac{n_z \pi z}{l_z}\right) \dots\dots\dots(c)$$

2) 前川純一, 1989, 建築音響, 技文堂

Table 1 Room mode of receiving room

Hz	mode	Hz	mode	Hz	mode
0.0	0,0,0	66.0	2,0,0	95.2	1,2,0
33.0	1,0,0	71.8	0,1,1	97.6	2,1,1
44.6	0,1,0	79.0	1,1,1	105.5	0,2,1
55.5	1,1,0	79.7	2,1,0	110.6	1,2,1
56.3	0,0,1	86.8	2,0,1	111.1	2,2,0
65.2	1,0,1	89.3	0,2,0	112.5	0,0,2

(2) 실험을 통한 음향모드

수음실에서 스피커를 이용한 음향모드를 측정하기 위하여 7×5 격자 형태의 35 Point를 대상으로 음압레벨을 측정하였다. <Fig 7>은 수음실의 평균음압레벨을 나타낸 것으로, 상대적으로 음압레벨이 크게 나타나는 주파수가 식(a)에서 계산된 주파수와 거의 일치함을 알 수 있다. <Fig. 8>은 음압레벨 측정을 통한 수음실의 음향모드를 그림으로 나타낸 것이다.

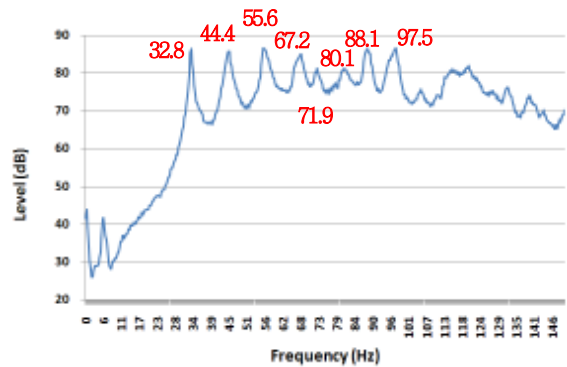
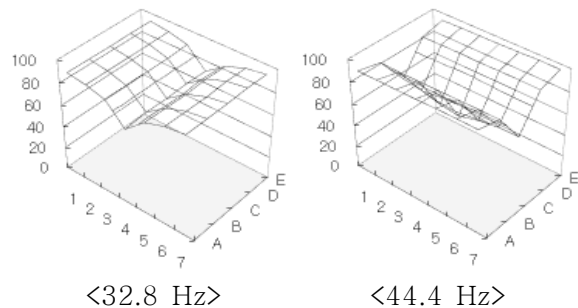


Fig. 7 Average sound pressure level in receiving room



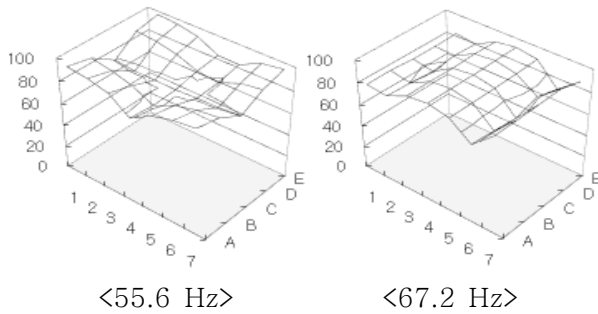


Fig. 8 Room mode by sound pressure level in receiving room

3.4 바닥충격음 영향요소 분석

<Fig. 9>는 실험을 통해 수음실에서 중량충격음 레벨에 대하여, 영향을 주는 요인을 이용하여 분석한 것이다. 슬래브의 동특성에 의한 진동 모드뿐만 아니라 수음실에서 음향모드에 따라 중량충격음 레벨이 좌우되고 있는 것을 확인할 수 있었다.

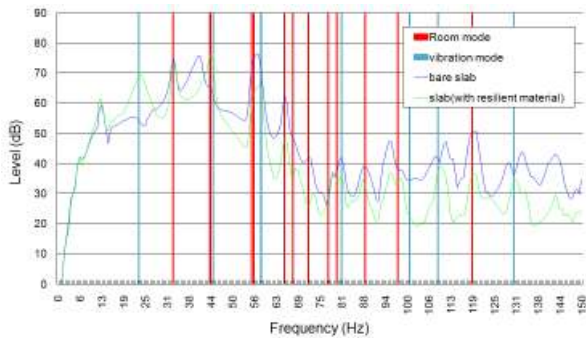


Fig. 9 Factor analysis of sound & vibration level in receiving room

4. 결 론

본 연구에서는 중량충격음에 기여하는 요인인 수음실의 음향모드와 수음실 상부 바닥슬래브 진동모드를 도출하여 수음실의 중량충격음 레벨을 저감시킬 수 있는 자료를 제공하고자 한다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 수음실 상부 바닥슬래브 진동레벨이 높은 주파수와 수음실 내부 소음레벨이 높게 나타나는 주파수가 일치하였다. 이는 수음실 상부 바닥슬래브의 진동에 의한 고체 방사음이 수음실 내부의 소음에 크게 영향을 미치고 있음을 알 수 있다

(2) 수음실 천정의 진동레벨 측정결과, 상대적으로 높은 측정값을 나타내는 주파수에서 슬래브 진동모드가 형성되고 있음을 알 수 있었다.

(3) 실내의 음향모드는 계산식으로 예측한 결과와 측정결과가 일치하였고, 실내의 음향모드가 형성된 주파수에서 중량충격음 레벨이 상대적으로 높게 나타나고 있다.

(4) 따라서 수음실에서의 중량충격음 레벨을 저감시키기 위해서는 슬래브 동특성 변화와 더불어 수음실의 음향모드를 바꾸기 위한 방안이 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- (1) KIM, M. J., 1999, Evaluation of floor-impact sound transmission through the interior structures of receiving room in apartment buildings, Hanyang univ.
- (2) 前川純一, 1989, 建築音響, 技文堂
- (3) Seo, S. H., 2005, 2-Dimensional floor impact vibration analysis in bare reinforced concrete slab using finite element method, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering. Vol. 15, No.5
- (4) Yoo, S. Y., 2007, Investigation of the heavy-weight floor impact sound field in a testing building with bearing wall structure, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference
- (5) Chung, J. Y., 2005, A study on the effect by receiving points as measuring floor impact sound, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference