

중량바닥충격에 의한 소음 및 진동 특성 Noise and Vibration Characteristics by Heavy-weight Floor Impact

서상호* · 송희수** · 전진용***

Sang Ho Seo, Hee Soo Song and Jin Yong Jeon

Key Words : heavy-weight floor impact(중량충격), isolation material(완충재), natural frequency(고유진동수), resonance(공진), triggering(동기화), finite element analysis(유한요소해석), rigid body analysis(강체해석)

ABSTRACT

The correlation between noise and vibration by a heavy-weight floor impact was studied. The triggering technique was used for increasing the reliability and stability to measure the level of sound pressure, sound intensity and vibration acceleration. The simple finite element and rigid body analysis method were suggested to calculate the natural frequencies of the multi-layer floor system. The result show that the isolation material adapted to reduce the light-weight floor impact noise, causing the natural frequency lower, make resonance with dominant driving frequency, and increase the noise level very sharply. Therefore the noise level peak in the region of low frequency, below 63 Hz, would be related with the natural frequencies of the floor system.

1. 서 론

최근 공동주택의 바닥충격음 문제가 사회적으로 크게 이슈화되면서 이에 대한 적절한 규제방안으로서 현재 2004년 상반기부터 2003년 발표된 법적 규제치를 적용하는 방안이 강구되고 있다.

바닥충격음은 충격원의 특성에 따라 중량충격원(heavy-weight impact)과 경량충격원(light-weight impact)으로 나뉘어지며 특히 중량충격원에 해당하는 중저주파음에 대해 입주자 불만이 매우 큰 것으로 조사되고 있다.

공동주택에서 발생하는 주 충격형태 및 어린이 연령대를 서울지역 공동주택 거주자 611명을 대상으로 조사한 결과에 의하면, 어린이의 달리기와 뛰기가 70% 이상 차지하고 있으며 6~9세의 어린이가 충격

음을 가장 많이 발생시키는 것으로 나타났다.^[1]

경량충격원에 의한 바닥충격음에 대한 대책으로서, 가진원에 보다 근접한 대책방안으로서 바닥 마감재의 구조전체 두께별, 발포층 두께별, 발포층의 발포율 및 하부 절연층 부착여부별 종류에 따라 실험적 방법에 의한 연구가 진행되었으며^[2], 또한 진동전달 경로상의 방안으로 충격음 저감재 즉 완충재를 경량기포와 바닥 슬래브사이 에 삽입하여 전달율을 저감하는 방안으로 동탄성계수 및 감쇠계수에 대한 실험적 연구가 수행되었다.^[3] 또한 수음자 측면에서의 방안으로 일정한 공간의 공기층을 형성하는 천정구조를 설치함으로 바닥충격음을 저감하는 연구 또한 진행되고 있다.^[4]

중량충격원에 의한 바닥충격음에 대한 대책으로서 는 주로 바닥 슬래브의 두께 또는 강도를 증가시키는 것이 주로 고려되고 있으나^[5] 이는 바닥전체의 구조와 관련된 경계조건 등을 종합적으로 고려하여야 한다. 바닥 충격음 예측방법으로는 수음실내 구조체 진동 측정을 통해 확산진동음의 방사에 의해 충격음을 산출하는 방법으로 Maidanik, Beranek, Cremer 등이 제안한 식을 이용하기도 한다.^[6] 특히 고체전달음에 대한 체계적인 전달경로 및 예측법으로서 통계적 에

* 한양대학교 건축공학과 박사과정
E-mail : paulseo@ihanyang.ac.kr
Tel: (02) 220-1795, Fax: (02) 2291-1793

** 한양대학교 건축공학과 석사과정

*** 한양대학교 건축공학부 부교수

너지 해석법(SEA, Statistical Energy Analysis)이 제안되고 있으나^[7] 이는 주어진 주파수 밴드내 적절한 수 이상의 모드 밀도(Modal density)가 존재해야하므로 저음역에서의 해석에 다소 한계가 있다.

따라서 현재 다양한 연구를 통해 경량 및 중량 충격원에 대한 개별적인 방안에 대해 소음 및 진동 특성을 분석하는 실험 중심으로 진행되고 있는 반면, 소음과 진동의 상호 상관성에 대한 연구가 다소 부족한 실정이므로, 본 연구에서는 중량충격원에 대해 바닥구조의 소음 및 진동 특성을 살펴보고, 실험 및 간략화한 해석적인 방법을 통해 저음역에서 발생된 특정 주파수를 분석하여 적극적으로 중량바닥충격원의 저감 방안을 연구하고자 한다.

2. 실험 방법 및 결과

2.1 측정 개요

표준 중량충격원에 의해 수음실 각 부위로 전달된 진동 및 소음간 상관관계를 분석하고, 또한 충격음 저감재로서 완충재의 특성을 파악하기 위해 벽식 구조의 S시 현장 내 2세대(Case-A, Case-B) 4개실을 대상으로 실험을 실시하였다.

Case-A, Case-B는 동일한 구조로 공히 20층 규모의 대단지 아파트내 위치한 38평의 계단식 아파트로 바닥구조는 바닥 슬래브 150mm, 기포 콘크리트 60mm 그리고 마감 몰탈 50mm로 구성되어 있으며 B 세대만 별도 검토된 완충재가 삽입된 구조를 가지고 있으며, 이를 Fig. 1 (a), (b)에 나타냈다

대상 건물의 마루 바닥재나 석고보드 등 마감재를 부착하기 전 나슬래브의 골조 상태에서 진동을 측정하였는데, 이는 마감재와 골조사이 결합구조의 특성에 따라 소음 방사 특성과는 무관한 공진특성 등이 발생할 수 있기 때문이다.

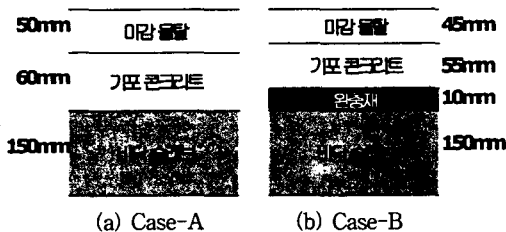


Fig. 1 Floor system details

2.2 측정 방법

측정은 KS규격(KS F 2810) 기준에 의거 표준 중

량충격원으로 가진실 중앙지점에 가진하였으며, 중량충격원의 에너지 스펙트럼 특징은 Table 1와 Fig. 2에 나타낸 것과 같이 63Hz 이하 저주파 성분에 충격 에너지가 집중되어 있다. 이러한 특징으로 인해 바닥구조의 고유진동수와의 공진에 따라 진동응답이 크게 바뀌게 되며 결과적으로 소음에 영향을 주게 되는 것이다.

반면, 경량충격원은 넓은 주파수 범위에서 상대적으로 평탄 특성을 가지며 1~4 kHz 부근에서 보다 높은 에너지가 집중되는 경향을 가진다.

Table 1 Energy spectrum of impact driving source

주파수	16	31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
경량 [N]	1.7	2.4	3.5	4.7	6.9	9.6	13	15	10	1.7
중량 [N]	108	104	40	10	4.5	1.6	0.6	-	-	-

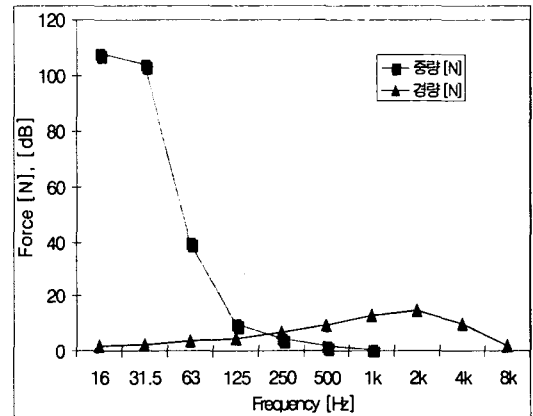


Fig. 2 Energy spectrum of impact driving source

진동레벨은 가진실 중량충격원이 가해질때 검출되는 가속도 가진신호에 대해 동기화(triggering) 시켜 측정하였으며 이를 Fig. 3에 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 평균해야 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 이상을 값을 가지는 순간 측정대상물에 대한 진동 측정이 시작되도록 설정하였다. 기타 잡음신호의 제거를 위해 동기화된 5개의 데이터를 평균하여 측정하였다.

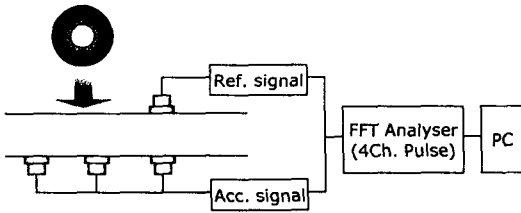


Fig. 3 Vibration measurement with triggering

소음측정은 음압레벨(SPL)과 더불어 크기와 방향을 정확히 측정하여 보다 정확한 소음방사특성을 분석하기 위해 음향인텐시티레벨(SIL)을 동시에 측정하였다. 음향인텐시티는 신호대 잡음비(S/N ratio)가 좋은 근거리음장(Near field)에서 음원에 대해 보다 정확히 측정할 수 있는 것으로, 2개의 마이크로폰으로부터 측정된 음압과 상호 스펙트럼 함수(Cross spectrum function)의 허수부를 이용하여 측정되었다.

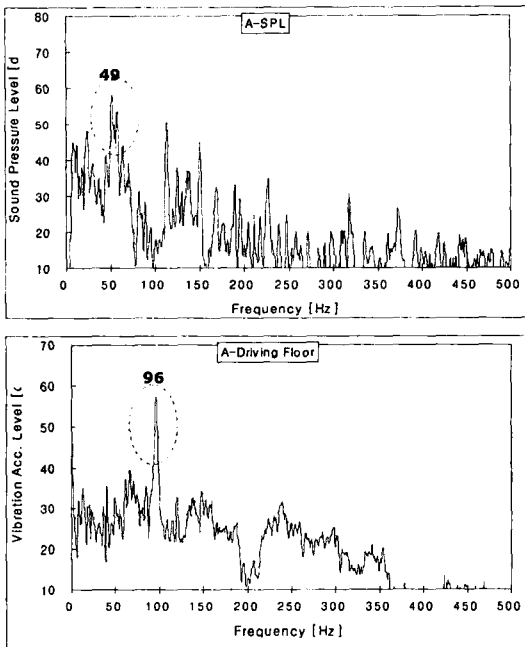


Fig. 4 Noise and vibration response

본 실험에 사용된 장비 및 센서는 다음과 같다.

- Bang machine (FI-02, Rion)
- FFT (4-Ch. Pulse, B&K)
- Sound intensity (G.R.A.S)
- Microphone (Type 4165, B&K)
- Accelerometer (PCB)
- Notebook computer (IBM)

2.3 소음/진동 실험 결과(기준바닥)

Case-A에 대한 소음측정결과를 Fig. 4에 나타냈다. 50Hz 저주파에서 지배적인 특성을 나타냈다. 그러나 가진면의 바닥의 경우 약 96Hz에서 공진모드가 발생하였으나 소음에는 크게 영향을 주지 못하고 있다.

이와 같이 진동의 모든 공진주파수가 소음에 직접적으로 영향을 주지는 않음을 나타내는 것인데, 이는 630Hz 이상의 보다 높은 주파수에서는 가진 레벨 자체가 상대적으로 매우 낮기 때문에 응답으로 나타나지 않는 것으로 사료된다.

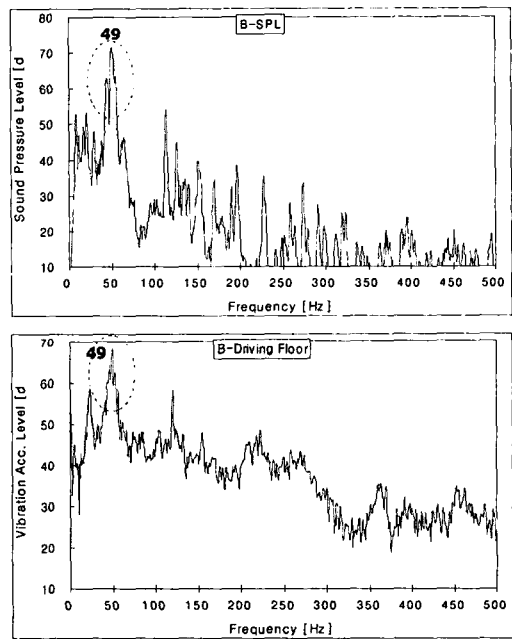


Fig. 5 Noise and vibration response

2.4 소음/진동 실험 결과(완충재 적용바닥)

Case-B의 경우 완충재를 설치한 구조를 가지고 있으며 이의 소음 및 진동실험결과는 Fig. 5와 Fig. 6와 같다.

결과에서 보는 바와 같이 50Hz의 음이 Case-A에 비해 약 14dB 증가하였는데, 이의 주 원인으로서는 바로 바닥구조의 공진에 의한 영향으로 소음이 크게 증폭되었기 때문이다. 즉, 진동실험결과에서와 같이 가진 주파수의 에너지 스펙트럼이 높은 50 Hz 부근에서 바닥 구조의 진동모드가 발생할 경우 공진이 발생하여 소음이 크게 증가함을 알 수 있다. 또한 이러한 공진 주파수는 각 측정부위에서 발생함을 알 수 있다.

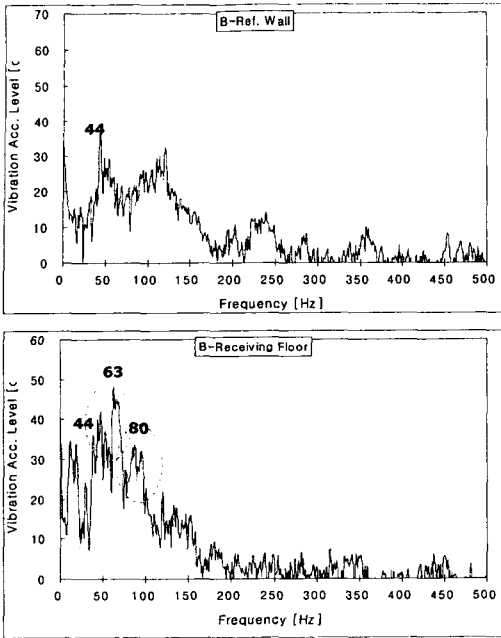


Fig. 6 Vibration response

2.5 음향인텐시티 실험 결과

기준 Case-A에 대해 음향인텐시티를 측정된 결과를 Fig. 7에 나타냈다. 천장>바닥>벽의 순으로 소음이 크게 방사되고 있으며, 특히 천장의 경우 50~63Hz 주파수성분이 크게 나타나고 있으며 이는 음압 레벨 시험과도 잘 일치한다.

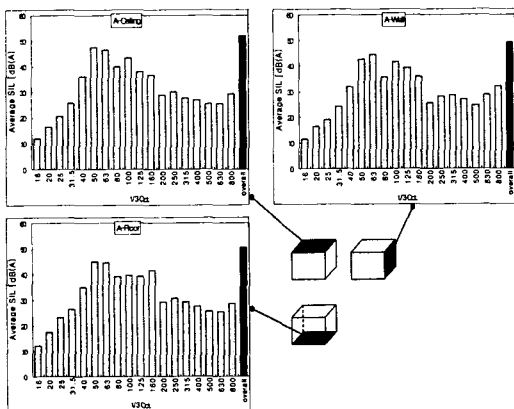


Fig. 7 Sound intensity level in A

완충재를 적용한 Case-B의 경우 시험결과를 Fig. 8에 나타냈는데, 바닥>천정>벽의 순으로 소음이 크게 방사되고 있으며, 이는 완충재 적용에 의해 바닥구조의 공진주파수가 50Hz 부근으로 이동하여 가

진원의 가진주파수와 공진이 발생하였기 때문에 사료된다.

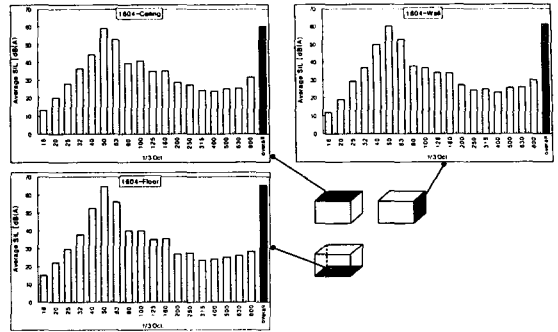


Fig. 8 Sound intensity level in B

3. 해석 방법 및 결과

3.1 유한요소 해석

바닥구조 진동실험에서 측정된 96Hz의 주파수성분을 규명하기 위해, 바닥구조를 다음 Fig. 9과 같이 간략화하여 ANSYS를 이용하여 유한요소 해석을 수행하였으며, 그 결과를 Fig. 10에 나타냈다.

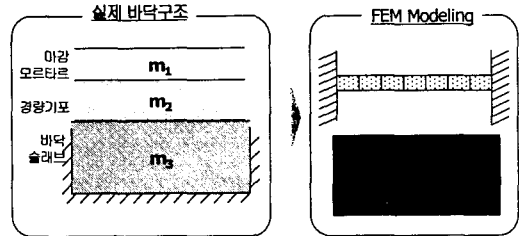


Fig. 9 Finite Element Modeling and Analysis by ANSYS

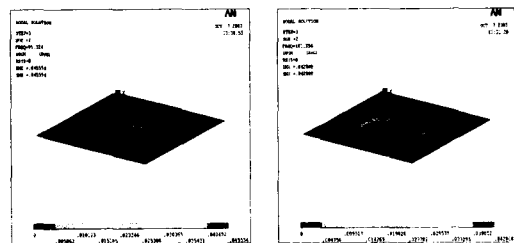


Fig. 10 FEM Analytical Result

해석결과, 1차 고유진동수는 95Hz로 실험에서 발

생된 주요 진동특성과 비교적 잘 일치함을 확인하였다.

3.2 Rigid body 해석

바닥구조에 완충재가 삽입된 경우, 완충재가 하나의 강성 역할을 하며 진동특성을 나타나게 된다. 이러한 경우 일반적인 유한요소 해석보다는 각 부재 즉, 마감 몰탈, 경량 기포 콘크리트 및 바닥 슬래브를 하나의 독립된 강체(Rigid body)로 보고 해석한 결과, 1차, 2차, 3차 공진주파수가 47, 64, 80Hz로 실험에서 나타난 공진 피크와 비교적 잘 일치함을 확인하였다.

본 실험에 사용된 완충재는 경량충격원에 대한 저감방안으로 잘 활용될 수 있으나, 중량충격원에 대한 본 연구에 의하면 완충재의 강성에 의해 바닥 시스템의 고유진동수를 저주파로 특히 50Hz 부근으로 이동시켜 가진원과 공진시킴으로 소음이 더욱 증폭되는 결과를 낳게 되었다. 따라서 시스템의 고유진동수에 영향을 줄 수 있는 구조변경에 대해서는 반드시 중량과 경량 모두에 대한 응답특성을 확인하는 것이 필요하다 하겠다.

4. 결론

본 연구는 중량충격원에 대한 소음 및 진동 특성에 대해 서로 상관성 유무에 대해 실험 및 해석적인 방법으로 접근하였다.

바닥충격음의 저감을 위해 자주 사용되는 완충재는 경우에 따라서는 바닥구조에 있어서 하나의 강성요소로 작용하여, 바닥구조의 공진주파수를 더욱 낮은 저주파수로 이동시키게 되어 결과적으로 가진원의 에너지가 높은 저주파성분에서 공진을 발생시켜 중량충격원에 의해서는 소음이 오히려 크게 증가되었다.

완충재가 없는 바닥구조의 경우 하나의 간략화된 모델로 유한요소해석을 수행한 결과 실험과 비교적 잘 일치함을 확인하였으며, 진동 전달 경로상에 완충재가 설치될 경우 바닥구조를 강체운동으로 모델링하여 진동 해석한 결과 역시 실험과 비교적 잘 일치함을 확인하였다.

향후, 바닥구조내 완충재에 대한 스프링요소를 고려한 유한요소해석을 수행하여 바닥구조 개선을 위한 구체적인 개선 방안을 도출할 예정이다.

참 고 문 헌

- (1) 정정호, 전진용, 류종관, 2003, “고무공 충격원을 이용한 바닥충격음 측정”, 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 208~213.
- (2) 기노갑, 정진연, 송민정 외, 2003, “바닥마감재에 의한 바닥충격음 차음특성 연구”, 대한건축학회 학술발표논문집, pp. 645~648.
- (3) 이주원, 정갑철, 권영필, 2003, “충격음 저감재의 동특성과 실험실 경량충격음레벨 저감량의 상관관계”, 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집, pp.191~195.
- (4) 김선우, 신흥철 외, “천정구조와 바닥마감재의 조합에 따른 경량충격음 응답특성 및 저감량에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회논문집 계획계, Vol.18, No.8, pp.177~184.
- (5) 정갑철, 이성호, 2003, “바닥충격음 완화를 위한 저감기술”, 대한환경공학회 춘계학술연구발표회, pp.754~761.
- (6) 김명준, 김홍식, 김하근, 2003, “수음실 내 구조체의 진동량 계측을 통한 바닥충격음레벨 예측”, 한국소음진동공학회논문집, Vol.13, No.1, pp.3~9.
- (7) 김명준, 손장열, 김홍식, 1998, “콘크리트 구조체의 경량바닥 충격음 전달특성 해석을 위한 SEA법의 적용성에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회논문집 계획계, Vol.14, No.11, pp. 313~322..