

# 공동주택의 중량충격원에 의한 진동해석 연구

## Vibration Analysis Study of Heavy Weight Impact Source in an Apartment Building

윤진호\*      박일선\*      노삼영\*\*  
 Yun, Jin Ho      Park, Il Sun      Noh, Sam-Young

### ABSTRACT

Recently the heavy weight impact noise transmitted slab vibration has been recognized as an important issue. The aim of this study is to find the path of vibration transmission, comparing the numerical analysis with the field test results. Additionally the effect of stiffening beam element under slab, as a method to increase the stiffness of slab, will be shown concerning natural frequencies.

### 1. 서론

최근의 건축물은 대 공간 확보를 위하여 장 스패너, 설계기술의 발달, 고강도 강재의 개발 및 고강도 경량콘크리트를 사용하여 구조물의 경량화가 이루어지고 있다. 하지만 구조물의 경량화 현상은 구조물의 진동수와 감쇠비의 감소를 초래하게 되고, 이는 바닥판 위의 동적 하중에 대하여 바닥진동 문제 및 이로 인하여 발생하는 고체전달음에 의한 소음 문제를 발생시킬 수 있다. 사용자의 거동으로 인한 바닥진동 및 그로 인해 발생하는 소음을 제어하기 위한 대책을 마련하기 위해서는 우선 진동원에 의한 진동 거동을 파악해야 한다. 또한 우리나라의 벽식 아파트는 서구의 것과는 다른 특이한 구조-운동, 좌식생활-형식으로 동특성 역시 일반적인 구조물과는 다르다고 할 수 있다. 그러므로 벽식 아파트 구조물의 동특성 및 구조물내의 진동에너지 전달량과 전달경로의 파악은 바닥진동 제어를 위한 방안 마련에 중요한 선결과제라 할 수 있다. 또한, 진동저감을 위해 강성보강의 효과를 알아보기 위해 슬래브에 강성보강용 보를 적용하여 고유진동수의 변화를 통한 강성증가 효과를 알아보려고 한다. 해석 수행은 유한요소 프로그램인 ANSYS를 사용하여 해석을 진행하였다. 그림 1은 연구 진행 흐름도로서 현장과 해석의 결과를 비교, 분석함으로써 구조물의 동특성과 응답가속도의 분포를 파악하고자 한다.

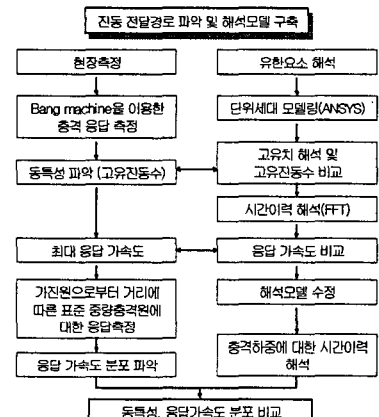


그림 1. 연구 진행 흐름도

### 2. 현장측정

#### 2.1 측정대상의 개요

\* 정희원, 한양대학교 건축구조공학 석사과정  
 \*\* 정희원, 한양대학교 건축학부 조교수

표준충격원에 의하여 슬래브를 가진하였을 때, 구조물의 고유진동수와 진동의 거동 및 전달경로를 파악하기 위하여 현재 시공 중인 현장을 택하여 실험을 하였다. 30평형세대 거실 중심을 가력지점으로 하여 거실의 슬래브와 벽면, 거실의 양쪽 실에 대한 고유진동수와 진동가속도 레벨을 측정하였다. 또한 가력 아래세대에서 바닥진동의 주요 전달경로일 것으로 예상되는 거실천장과 벽면에 대한 측정을 하였다. 그림 2와 표 1은 측정대상의 ANSYS 해석모델과 구조개요를 나타낸 것이다.

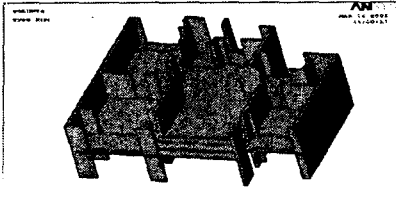


그림 2. 30평형세대 ANSYS 해석모델

표 1. 측정대상 구조개요

구분	30평형 세대	
평면구성	3-bay	
대상 두께	바닥	콘크리트 슬래브 150mm
	벽체	콘크리트 180mm
기준 층고	2.6m	

## 2.2 현장측정

30평형세대 거실 중심에서 표준 중앙충격원으로 슬래브를 가진하였을 때, 세대 각 부위로 전달된 진동가속도 레벨을 측정하였다. 진동가속도레벨 측정 지점은 가력지점인 슬래브를 중심으로 20개의 지점을 선정하여 측정하였다. 또한 충격원의 주요 전달경로로 예측되는 벽체 및 아래세대 천장에 대한 측정을 실시하였다.

## 3. 유한요소해석 (ANSYS 해석)

실험대상인 30평형세대에 대한 모델을 해석하여 표준충격원으로 가진하였을 때의 고유진동수와 진동가속도 레벨의 결과를 얻을 수 있었다. 해석모델은 슬래브를 중심으로 벽체 전체를 고려하여 실제현장과 동일한 모델을 구축하였다. 가능한 정확한 해석을 위하여 베란다의 화단부분과 인방 보를 함께 모델링을 하였고, 3D의 Solid Element를 사용하여 해석하였다. 해석 경계조건은 벽체의 상부는 수직진동 효과를 고려하여 벽면의 수평방향인 X, Y방향의 변형을 구속하였으나, 벽체의 하부는 모든 자유도를 구속하였다. 표 2는 해석에 사용한 물성치를 나타낸다.

표 2. 해석 물성치 (콘크리트)

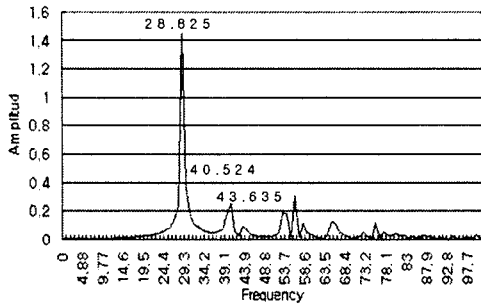
슬래브 두께 (mm)	탄성계수 E (N/m <sup>2</sup> )	포아송 비 $\nu$	밀도 $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
150	2.254e <sup>10</sup>	0.167	2.4e <sup>3</sup>

또한, 강성 증가로 인한 진동 저감 효과를 알아보기 위하여 거실 슬래브에 강성보강용 보를 적용시켜 해석하였다. 강성보강용 보의 폭은 동일한 지점에서 크기를 변형시켜가며 고유진동수의 증가분을 토대로 결정하였고, 모드해석 시 각 모드에서 나타나는 최대 변형위치에 적용하였다.

## 4. 실험 및 해석결과

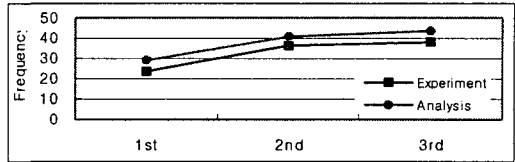
### 4.1 진동전달 경로

현장측정과 해석 결과를 통하여 구조물의 고유진동수와 진동가속도 레벨을 비교하였다. 그림 3은 용인동백지구 30평형세대의 고유진동수 측정결과와 해석결과를 나타낸 것이다. 해석결과를 측정결과와 비교해 보면 각 모드에서의 절대오차(Hz)는 비교적 일정하게(약 4.8Hz) 나타나고 있지만, 상대오차(%)는 차이가 큰 것을 알 수 있다. 전체 구조물이 아닌 단위세대만을 모델링 하여 해석을 수행하였기에 실제 구조물의 특성이 해석에 정확히 반영되지 않았다. 또한, 측정대상이 현재 부분적으로 시공되고 있기 때문에 많은 변수를 포함하고 있다는 점 역시 오차의 원인으로 판단된다.



1) 과도해석을 통한 구조물의 고유진동수

	측정(Hz)	해석(Hz)	오차(Hz)	오차[%]
1 <sup>st</sup> mode	24	28.825	4.825	20.1%
2 <sup>nd</sup> mode	36	40.524	4.524	12.5%
3 <sup>rd</sup> mode	38	43.635	5.635	14.8%



2) 측정과 해석 고유진동수 비교

그림 3. 고유진동수 해석 및 실험치 비교

그림 4, 5는 측정에 의한 진동가속도 응답분포와 위치별 측정과 해석의 최대 가속도 응답을 비교한 것이다. 충격진동은 가력지점으로부터 슬래브를 통하여 벽체와 인근 침실로 전달되는 것을 알 수 있었다. 표 4의 진동 전달율을 보면 거의 모든 진동이 벽체가 아닌 슬래브를 통하여 전달되는 것으로 나타났다. 침실 1과 침실 2의 전달율이 다른 것은 실의 크기와 세대 좌우의 경계조건이 주요원인으로 판단된다. 표 3과 표 4는 측정에 의한 진동가속도 결과와 진동 전달율을 나타낸다.

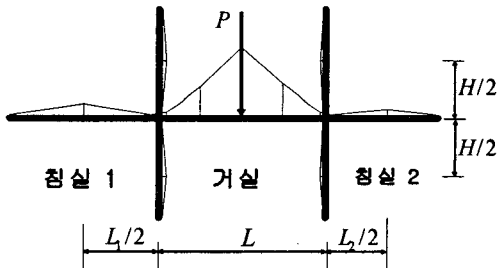


그림 4. 측정에 의한 가속도 응답분포

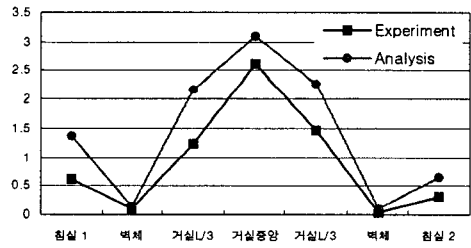


그림 5. 위치별 최대 가속도 응답 비교

표 3. 진동가속도 해석결과

위치	가속도응답 (m/s <sup>2</sup> )	위치	가속도응답 (m/s <sup>2</sup> )
거실중앙	2.9791	천장중앙(아래층)	3.0965
L/3(왼쪽)	2.1904	H/4(가력층)	0.1447
L/3(오른쪽)	2.2905	H/2(가력층)	0.1734
침실 1 중앙	1.3477	H/4(아래층)	0.0531
침실 2 중앙	0.6429	H/2(아래층)	0.1136

표 4. 진동 전달율 해석결과

	비율
아래층 천장	1
가력층 벽체	0.056
아래층 벽체	0.037
가력층 침실 1 바닥	0.44
가력층 침실 2 바닥	0.21

#### 4.2 강성보강용 보

거실 슬래브에 중량충격을 가진 한 결과 인접벽체 방향보다 부엌-발코니 방향으로 가속도 응답이 상대적으로 크게 측정되었다. 진동의 효과적인 제어를 위해 강성보강용 보의 방향을 베란다 화단방향으로 적용하였다. 모드해석 결과 1차 모드에선 거실 중앙부, 2차 모드에선 베란다 끝부분에서 최대변형이 일어났기 때문에 이 부분에 강성보강용 보를 적용하였다. 또한 강성보강용 보의 효과를 좀 더 명확히 알아보기 위하여 거실 슬래브만을 선택하여 해석을 하였다. 강성보강용 보의 폭은 고유진동수의 증가분이 가장 크게 나타난 300mm의 보 폭을 선택하는 것이 효과적이라 판단하였고, 보의 위치는 거실 '중앙'과 '베란다'에 1단 보강하는 것과 '중앙+베란다'의 2단 보강하는 것에 대하여 해석을 수행하였다.

그림 5는 기본 슬래브와 강성보강용 보가 적용된 해석모델 각각의 1차 고유모드형상이며, 표 5-6은 강성보강용 보 폭에 따른 고유진동수의 증가분과 강성보강용 보의 1단 및 2단 보강에 따른 고유진동수의 증가를 나타내었다.

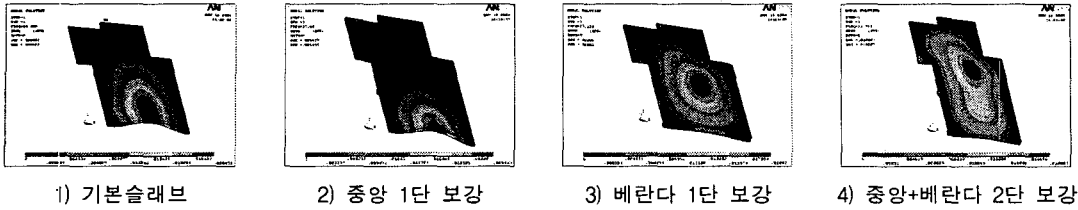


그림 5. 30평형세대 기본슬래브 및 강성보강용 보가 적용된 해석모델의 1차 고유모드형상

표 5. 강성보강용 보 폭에 따른 1차 고유진동수의 증가율

보 폭(mm)	고유진동수(Hz)	증가율(%)	증가분(%)
기본 슬래브	26.260	-	-
200mm	30.723	17.0	4.5
300mm	31.913	21.5	3.6
400mm	32.862	25.1	2.9
500mm	33.611	28.0	2.9
600mm	34.363	30.9	

표 6. 강성보강용 보에 의한 1차 고유진동수의 증가율

구분	고유진동수(Hz)	증가율(%)
30평형세대	24.939	-
거실중앙 보강	27.460	10.1%
발코니 보강	27.135	8.8%
거실+발코니 보강	31.711	27.2%

### 5. 결론

본 연구는 중량충격원에 의한 고유진동수 및 진동전달경로의 규명과 구조물의 강성증가를 위한 슬래브의 강성보강용 보의 적용에 대한 효과를 알아보기 위한 것으로 다음과 같은 결론 및 향후 연구방향을 얻었다.

- 1) 해석모델을 통하여 전체적인 진동전달경로 및 각 부재별 진동에 대한 민감 정도는 측정을 통해 얻은 결과와 유사한 양상을 나타냈다. 측정과 해석을 통한 벽식 아파트의 진동전달 양상은 주로 슬래브를 통하여 인근 침실과 아래층으로 전달되었고, 벽체에 의한 전달 영향은 미비하였다.
- 2) 해석모델의 모드해석 결과 1차 모드에서는 거실 중앙부가, 2차 모드에서는 베란다부분에서 최대 변형이 일어난다. 이에 강성보강용 보의 위치를 거실중앙과 베란다 부분에 적용하여 슬래브 자체의 강성 증가 효과를 살펴본 결과, 거실중앙과 발코니 보강 시 각각 10.1%, 8.8%의 고유진동수 증가율을 나타내었고, 두 곳 모두 보강 하였을 때에는 27.2%의 증가율을 나타내었다.
- 3) 향후 이번 실험을 통해 얻은 결과를 SYSNOISE 프로그램을 이용하여 측정현장의 음향실험과 비교하는 소음 저감효과에 관한 연구가 추가적으로 필요하다고 판단된다.

### 참고문헌

1. 김홍식, 김명준, “표준충격원에 의한 바닥구조체 및 수음실의 진동응답 특성에 관한 연구”, 대한건축학회논문집, 18권 10호, 2002.10, pp.227-234.
2. AISC/CISC, “Steel Design Guide Serise 11. Floor Vibration due to Human Activity”, American Institute of Steel Construction, Chicago, 1997.
3. Jeon, J. Y., Seo, S, H., “Noise and Vibration Characteristics of the Reinforced Concrete Slab Impacted by Heavy-Weight Source in an Apartment Buiilding”, ICA 2004, Japan, pp.2401-2402.
4. 이민정, “기존 아파트 바닥의 수직진동 성능 평가”, 한양대학교 석사학위논문, 2004.
5. ISO, “Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration - Part II : Continuous and Shock-Induced Vibration in Building(1 to 80Hz).”, ISO 2631-2, 1989
6. 마이더스 아이티, 복합구조 아파트 바닥판의 사용성 검토 절차, 2000.