

# 기존 RC 아파트 바닥의 수직진동 성능 평가

## Evaluation of Floor Vibration Existing in Apartment Building

이 민 정\*    한 상 환\*\*

Min-Jung Lee    Sang-Whan Han

---

### ABSTRACT

In recent years building floors become larger and more spacious due to the development of new design methods and high strength and light weight materials. However, such long span floor systems may provide smaller amount of damping and have longer period so that they would be more vulnerable to the floor vibration. This study attempts to evaluate the performance of the floors in typical apartment buildings. Three different floors with the area of 43.2m<sup>2</sup>, 41.44m<sup>2</sup> and 34.5m<sup>2</sup> were investigated. The guideline provided by AISC(1997) is used to check the acceptability of the floor vibration.

---

### 1. 서론

최근 설계 방법의 개선과 고강도 재료들의 발달은 고층, 대형 건물의 건설기술로 직접적으로 이어지고 있다. 이러한 기술 개발은 바닥 구조가 장스팬화 되고 대공간화 되기 때문에 감쇠비(damping), 진동수(frequency)등의 감소를 초래하게 하였다. 이는 정적 처짐에 대한 제한치와 응력 검토에 의해 구조부재가 설계됨으로써 구조 안전성에는 문제가 없으나 진동으로 인한 사용자들의 불쾌감 혹은 불안감을 발생시킬 수 있다. 이로 인해 구조물의 사용성 평가가 필요한 실정이다.

우리나라에서는 수직진동 평가를 위해 해외 기준들을 많이 사용하여 왔다. 하지만 우리나라의 경우 해외에서 볼 수 없는 아파트 구조물이나 주상복합 건물 등과 같은 특이한 구조 형식의 건물들이 있다. 특히 철근콘크리트 고층아파트의 플랫플레이트 바닥판이나, 주상복합 건물의 바닥판과 같은 구조 형식은 진동 특성 역시 일반적인 구조물과는 다르다고 볼 수 있다. 따라서, 기존 아파트의 바닥판 형식인 플랫플레이트 슬래브에 대한 동특성 평가가 필요하며, 기준을 통한 검토가 이루어져야 한다.

본 연구에서는 우리나라에서 가장 일반적인 주거 형태인 벽식 철근콘크리트 아파트의 플랫플레이트 바닥판에 대한 진동 성능을 평가하였다. 보행하중과 뒷꿈치 충격(heel-drop)하중을 이용한 바닥진동 측정으로 실제 건물의 동특성을 파악하여 기준과 비교하였다. 사용한 기준은 현재 국내기준이 없기 때문에 해외기준(AISC Steel Design Guide Series 11(1997))을 사용하였다. 또한 FEM 해석을 통하여 바닥진동에 대한 정적처짐 기준에 대해 검토하였다.

### 2. 현장 측정

---

\*정회원, 한양대학교 건축공학과 석사과정

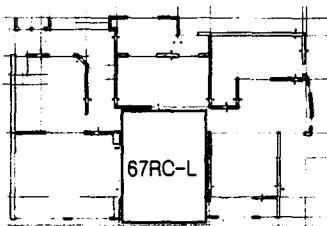
\*\*정회원, 한양대학교 건축공학과 조교수

## 2.1. 대상 건물

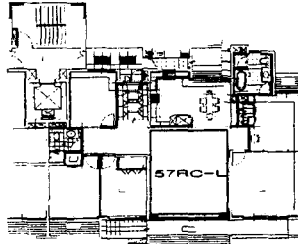
실험 대상 건물은 경기도 분당에 위치한 A 아파트와 신도림에 위치한 B, C 아파트이다. 실험 대상 바닥 구조는 모두 철근 콘크리트 플랫플레이트 바닥 구조이며, 내부 벽체는 내력벽으로 이루어져 있다. 진동을 측정할 장소는 A 아파트의 경우에는 지상 4층의 67평 거실부분이며, B, C 아파트 경우에는 지상 6층의 57평과 지상 9층의 46평 거실 부분이다. A 아파트의 바닥판의 크기는 6m×7.2m이며, 57평과 46평인 B, C 아파트의 바닥판은 5.6m×7.4m과 5m×6.9m의 크기를 가지고 있다. 아래의 표 1은 측정 현장 아파트의 일반 사항이고, 그림 1은 각각의 평면도이다.

표 1. 측정 현장의 일반 사항

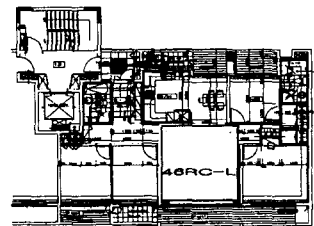
구 분	A 아파트(67평형)	B, C 아파트(57,46평형)	
구 조	철근 콘크리트 벽식 구조	철근 콘크리트 벽식 구조	
기준 층고	3m	2.7m	
Slab 형식	콘크리트 슬래브	콘크리트 슬래브	
Slab 두께	거실: 18cm	57평:16cm, 46평:15cm	
Slab 크기	6m×7.2m	57평:5.6m×7.4m, 46평:5m×6.9m	
구조재료	$f_y$	4000 kgf/cm <sup>2</sup>	4000 kgf/cm <sup>2</sup>
	$f_{ck}$	210 kgf/cm <sup>2</sup>	240 kgf/cm <sup>2</sup>



(a) A아파트 67평 평면도



(b) B아파트 57평 평면도



(c) C아파트 46평 평면도

그림 1. 측정 현장의 평면도

## 2.2. 측정장비

구조물에서 진동측정의 흐름을 보면 크게 진동원으로부터 형성되는 진동은 센서에 감지되고 신호를 증폭시켜주는 증폭기(amplifier)를 통해 동적 신호 분석기로 들어온다. 동적 신호 분석기는 아날로그 데이터를 디지털 데이터로 바꾸어 저장된다. 이렇게 얻은 데이터는 분석, 비교되어 각 바닥판의 동특성이라 할 수 있는 고유 진동수를 알아 낼 수 있게 된다. 일반적으로 동적 신호 분석기는 센서, 증폭기, 신호 분석기, 기록장치로 구분이 되어있으나, 본 연구에서 사용된 측정장비 EDX-1500A(그림 2)는 증폭기와 신호 분석기, 기록장치가 내장되어 있는 시스템으로 센서를 통해 들어온 신호는 동적 신호 분석기인 EDX-1500A 한 가지를 통해 측정 데이터를 얻을 수 있다.

센서로 사용하고 있는 서브 가속도계(그림 3)는 이중 접촉형 진동 가속도계로써 실험 대상과 접촉시

켜 일체화시킨 후 진동을 측정하는 형식으로 부착 여부가 중요하다. 항상 일정량의 전압이 유지되고 있어 수평, 수직 진동 측정에 용이하다. 또한 이 가속도계는 기구부의 기계적 특성에서 생기는 오차가 적고 저가속도, 저주파수영역에서의 미소진동측정에 적합한 형식의 센서이다.

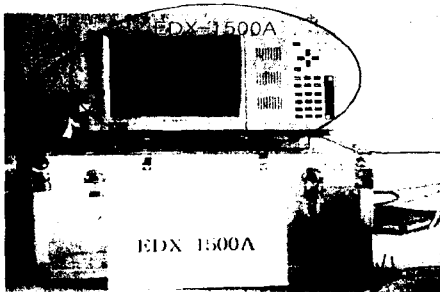


그림 2. EDX-1500A



그림 3. 가속도계

### 2.3. 측정 방법

거실에 대하여 가진원으로 뒷꿈치 충격(heel drop)하중과 모래주머니 충격하중, 보행하중을 사용하였고, 이를 이용하여 감쇠와 바닥판의 고유진동수를 측정할 수 있다. 기존 연구에서 알려진 것과 같이 바닥판의 고유진동수는 처짐과 밀접한 관계가 있기 때문에 처짐이 가장 많이 발생하는 측정 바닥판의 중앙부에 센서를 설치하였다. 충격하중 가력 시 모래주머니 충격하중은 20kgf의 모래주머니를 50cm의 높이에서 자유 낙하시키고, 뒷꿈치 충격(heel drop)하중은 바닥판의 중앙부에서 15cm의 높이 만큼 뒷꿈치를 든 다음 자유 낙하시켜 바닥에 충격을 주는 방식으로 측정값을 얻었다. 보행하중의 특성을 결정하는 요소는 보행자의 몸무게와 보행 속도 등으로 결과에 중요한 변수가 된다. 따라서, 보행하중은 70kgf의 몸무게를 가진 사람이 메트로놈을 이용하여 일정한 보조인 2Hz에 맞춰 중앙부에 설치된 센서를 바라보며 대각선으로 걸어가는 방식으로 가진하였다.

### 3. 측정 결과

뒤꿈치 충격(heel drop)과 모래주머니 충격을 이용하여 대상 바닥판의 감쇠비를 측정하였으며, 감쇠비는 식(1)에 의하여 결정하였다.

$$\xi = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{A_1}{A_2} \quad (1)$$

여기서,  $A_1$  = heel-drop의 첫 번째 진폭,  $A_2$  = heel-drop의 두 번째 진폭이다.

바닥판 고유진동수는 가속도 시간이력응답을 FFT(Fast Fourier Transfer)를 이용하여 평가하였다. 그림 4는 57평 바닥판의 충격하중에 의한 감쇠비를 측정한 실측 그래프이다. 그림 5는 보행하중에 대한 가속도 응답을 시간에 대한 그래프로 보여 주고 있으며, 그림 6은 그림 5와 같은 시간에 대한 함수를 FFT를 통해 진동수 영역으로 변환시킨 그래프이다. 표 2는 이러한 결과를 통해 얻은 각 바닥판의 동특성 값을 나타내고 있다.

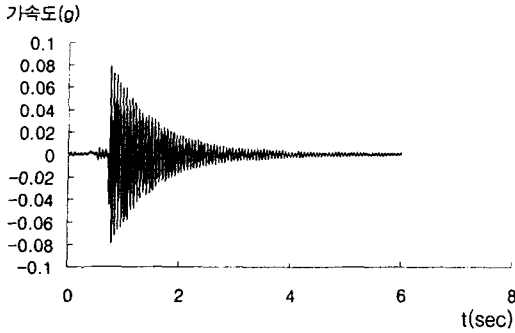


그림 4. 57평 뒷꿈치 충격(heel drop) 특성

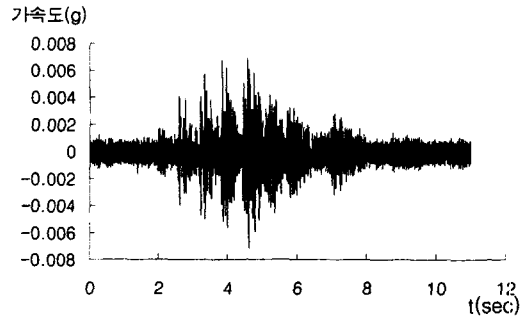


그림 5. 57평 보행하중에 의한 응답

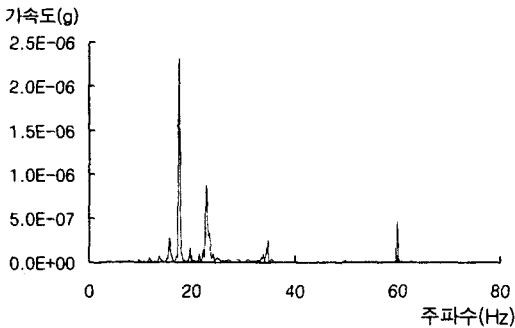


그림 6. 57평 FFT 응답

표 2. 실측한 대상 건물의 최대 가속도와 고유진동수

구 분	A 아파트 (67RC-L)	B 아파트 (57RC-L)	C 아파트 (46RC-L)
	67평형	57평형	46평형
	거실	거실	거실
Damping	0.013	0.017	0.0206
$a_p(g)$	0.0052	0.0069	0.011
$f_n(Hz)$	17.97	17.58	19.92

#### 4. 바닥진동 평가

##### 4.1. 가속도 평가

우리나라에서 소개되고 있는 바닥판의 수직 진동에 대한 사용성 기준은 CEN EC 3/1과 Allen & Murraray의 평가 기준이다. CEN EC 3/1은 바닥구조의 감쇠나 진동 응답을 검토하지 않았으므로 본 연구에서는 Allen & Murraray의 평가 기준을 고려한 AISC Steel Design Guide Series 11(1997)을 사용하였다. AISC 기준을 보면 가속도비와 진동수에 대한 관계를 파악하고 가속도비 제한치와 비교하여 바닥판의 진동 성능을 평가하도록 제안되어 있다. 4Hz와 8Hz 사이에서 가장 낮은 제한 값을 가지고 있으며, 이 값은 0.5(% gravity)에 해당한다. 또한 8Hz 이상의 경우 제한치가 상승하여 고주파의 경우 진동에 대한 높은 가속도를 허용한다.

그림 7에서는 실측된 고유진동수와 보행 하중에 대한 가속도 응답과 AISC(1997) 기준의 제한값이 함께 나타나 있다. 67평형, 57평형, 46평형 아파트의 거실 바닥을 각각 67RC-L, 57RC-L, 46RC-L로 표시하였다.

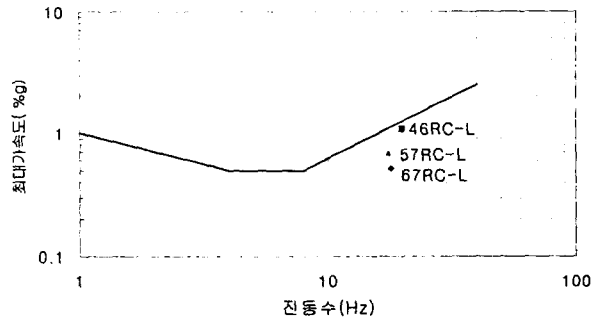


그림 7. 측정결과와 AISC 기준값과의 비교

#### 4.2. FEM 해석을 통한 정적처짐 평가

AISC(1997) 기준은 고유진동수가 9Hz 이상의 진동수를 가진 바닥판에 대해서는 가속도 제한과 함께 1KN에 의한 정적처짐이 1mm 이하가 되도록 최소 정적처짐 제한을 제시하고 있다. 따라서, 9Hz 이상의 바닥판의 경우 정적처짐에 대한 추가 검토가 이루어져야 한다. 그러나 실제 건물에서 정적 처짐을 측정하는 것은 어려운 일이다. 그러므로 본 연구에서 정적 처짐의 평가는 FEM 해석을 통해서 이루어졌다. 해석 모델은 현장에서 실측한 동특성 값들을 재현할 수 있도록 모델링하였다. 해석 모델의 검증은 측정된 바닥판의 응답결과와 비교를 통해 이루어졌다. 고유치 해석을 수행하기 위해 해석 대상 바닥판에 직접적인 영향을 주는 모드가 3~4개 포함되도록 10개 정도의 고유모드를 선택하여 해석하였고, 1차 고유진동수는 모드의 형상을 보고 판단하였다. 표 3은 SAP(2000)과 Midas GENw 4.3.2(2001)를 사용하여 고유치 해석을 통해 얻은 실측 건물의 고유 진동수이다. 해석 모델과 측정된 바닥판의 고유 진동수 값이 15%내에서 일치하는 것을 볼 수 있다. 이것으로 바닥판의 강성이 유사하게 반영되었다고 판단하고, 정적처짐을 얻기 위해 모델링한 바닥판 중앙부에 1KN의 정적 하중을 적용하여 표 4와 같은 정적처짐량을 얻었다.

표 3. 실측과 해석에 의한 고유 진동수 비교

고유 진동수(Hz)		측정치 (A)	SAP2000		Midas GENW 4.3.2	
			해석값(B)	오차 $ B-A /A \times 100$	해석값(C)	오차 $ C-A /A \times 100$
A 아파트	67평	17.97	18.55	3.23%	18.74	4.28%
B 아파트	57평	17.58	19.01	8.13%	19.70	12.06%
C 아파트	46평	19.92	18.62	6.53%	18.68	6.22%

표 4. 최소 정적처짐량

구	분	1KN에 의한 최소 정적처짐(mm)	평	가
A 아파트	67평	1.073	N.G	
B 아파트	57평	1.256	N.G	
C 아파트	46평	1.152	N.G	

## 5. 측정 및 해석을 통한 바닥 진동 평가 결과

본 연구에서는 벽식 철근콘크리트 아파트의 플랫플레이트 바닥판에 대해 고유진동수, 최대 가속도, 최소 정적처짐에 대해 평가해 보았다. 고유진동수와 최대 가속도를 AISC(1997)기준에 의해 평가해본 결과 그림 7에서 보는 바와 같이 만족하고 있다. 기준에 따르면 고유진동수 9Hz 이상인 구조물은 가속도 제한과 정적처짐 제한을 모두 만족시켜야 한다. 모델링에 의한 최소정적 처짐을 검토한 결과 표 4와 같이 67 평은 1.073mm, 57평은 1.256mm, 46평은 1.152로 1mm를 넘고 있다.

## 6. 결론

- (1) 본 연구에서 측정된 67, 57, 46평의 바닥판은 고유진동수가 모두 17Hz에서 20Hz 사이의 값을 나타내고, AISC(1997)의 최대 가속도 기준 제한치에 만족하는 것으로 평가되었다. AISC(1997)에 따르면 9Hz 이상의 고유진동수를 가지는 바닥판은 최대가속도 기준과 최소 정적처짐 기준 두 가지를 동시에 만족시켜야한다. FEM 해석으로 구한 정적처짐량은 해석 모델의 오차를 고려할 때 제한값에 근접하나 기준을 만족시킨다고 말하기는 어렵다.
- (2) 최소 정적처짐 기준을 만족시키기 위하여 바닥판의 강성을 더 크게 해주거나, 또는 스패를 줄여 주어야 한다. 정적 처짐은 바닥판의 강성에 반비례하고 스패에 비례하기 때문이다. 그러나 시공 후 바닥판의 강성이나 스패를 조절하는 데에는 어려움이 따르기 때문에 시공 전 바닥판의 사용성에 대한 계획과 검토가 이루어져야 한다.

## 감사의 글

본 연구는 2001년 건설 기술 연구개발 사업으로 연구되었으며, 이에 감사 드립니다.

## 참고문헌

1. Becker, R., "Simplified Investigation of Floors under Foot Traffic", ASCE Structural Division, Vol. 106, 1980 Nov., pp. 2221~2234.
2. Foschi, R.O., Neumann, G.A., Yao, F., Folz, B., "Floor Vibration Due to Occupants and Reliability-Based Design Guidelines", Canadian J. of Civil Engineering, Vol. 22, 1995, pp.471~479.
3. Hugo Bachmann and Walter Ammann, "Vibration in Structures Induced by Man and Machines", LABSCE-AIPC-IVBH, 1987.
4. Murray, T.M., Allen, D.E., Unger, E.E., "Floor Vibration Due to Human Activity", AISC Steel Design Guide Series No. 11, 1997.
5. 대한건축학회, 강구조 한계상태 설계기준 및 해석, 1998.
6. 마이더스 아이티, "복합구조 아파트 바닥판의 사용성 검토 절차", 2000.