

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 has 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. Four different floors with the area of 43.2m², 41.44m², 34.5m², and 28.89m² were investigated. The guideline provided by AISC(1997) and human perception level of Korean people proposed by S. W. Han(2003) are used to check the acceptability of the floor vibration.

1. 서론

구조시스템의 고층화, 대공간화는 바닥구조의 감쇠비(damping ratio), 진동수(frequency)의 감소를 초래해 바닥진동에 문제를 발생시킬 수 있다. 또한 최근 건축물의 사용성에 대한 관심이 높아짐에 따라 바닥 진동에 대한 사용성 평가가 필요한 실정이다.

우리나라에서는 수직진동 평가를 위해 해외 기준들을 사용해 왔다. 하지만 우리나라의 경우 해외에서 볼 수 없는 아파트 구조물이나 주상복합 건물 등과 같은 특이한 구조 형식의 건물들이 있다. 특히 철근콘크리트 고층 아파트의 플랫플레이트 바닥판이나, 주상복합 건물의 바닥판과 같은 구조 형식은 진동 특성 역시 일반적인 구조물과는 다르다고 볼 수 있다. 또한 해외 기준들은 바닥판 실험과 그 지역 사람들의 특성을 고려한 인지곡선을 통해 제안된 것으로 우리나라 사람의 감성을 고려하지 못하는 국외 기준들을 그대로 사용하기는 힘들다. 그러므로 기존 아파트의 바닥판 형식인 플랫플레이트 슬래브에 대한 동특성 평가와 함께 우리나라 사람의 감성을 고려한 인지 수준에 대한 검토가 필요하다.

본 연구에서는 AISC(1997) 기준과 선행연구에서 수행된 인지기준을 검토기준으로 하여 우리나라에서 가장 일반적인 주거 형태인 벽식 철근콘크리트 아파트의 플랫플레이트 바닥판에 대한 수직진동 성능을 평가하였다. 뒷꿈치 충격(heel-drop)하중과 보행(walking)하중을 가진원으로 한 현장 측정으로 대상 바닥판의 동특성을 파악하고 최대 가속도를 측정하여 기준과 비교하였다. AISC 기준에서는 보행하중에 의한 최대가속도비 제한으로 제안되어 있으며 정적 처짐을 이용한 최소강성을 함께 고려하도록 하고 있다. 따라서 유한요소 해석을 통하여 최소 강성 기준에 대해서도 검토하였다.

* 정희원, 한양대학교 건축공학과 석사과정

** 정희원, 한양대학교 건축공학과 조교수

2. 현장 측정

2.1. 대상 건물

실험 대상 건물은 경기도 분당에 위치한 A 아파트와 서울의 신도림에 위치한 B, C 아파트, 그리고 마포에 위치한 D 아파트이다. 진동을 측정할 장소는 A 아파트의 경우에는 67평형 거실부분이며, B, C 아파트 경우에는 57평형과 46평형의 거실 부분, D 아파트는 32평형의 거실부분이다. 아래의 표 1은 측정 현장 아파트의 일반 사항이다. 대상 바닥판을 A, B, C, D 아파트 순서대로 각각 67RC-L, 57RC-L, 46RC-L, 32RC-L로 표기하였다.

표 1. 측정 현장의 일반 사항

구 분	67RC-L	57RC-L	46RC-L	32RC-L
구조 형태	철근 콘크리트 벽식 구조, 플랫플레이트 슬래브			
기준 층 고	3m	2.7m	2.7m	2.7m
바닥판 두께	18cm	16cm,	15cm	15cm
바닥판 크기	6m×7.2m(43.2m ²)	5.6m×7.4m(41.44m ²)	5m×6.9m(34.5m ²)	4.55m×6.35m(28.89m ²)

2.2. 측정 방법

본 연구에서는 동적 신호 분석기인 EDX-1500A를 사용하여 아파트에서 가장 큰 스패를 가지는 거실에 대하여 뒷꿈치 충격하중과 보행하중을 가진원으로 하여 바닥 진동을 측정하였다. 바닥판의 고유진동수는 처짐과 밀접한 관계가 있기 때문에 처짐이 가장 많이 발생하는 측정 바닥판의 중앙부에 센서를 설치하였다.

뒷꿈치 충격하중은 바닥판의 중앙부에서 15cm의 높이 만큼 뒷꿈치를 든 다음 자유 낙하시켜 바닥에 충격을 주는 방식으로 가력하였고, 보행하중은 70kgf의 몸무게를 가진 사람이 메트로놈을 이용하여 2Hz의 일정한 보조에 맞춰 중앙부에 설치된 센서를 바라보며 대각선으로 걸어가는 방식으로 가력하였다.

2.3 측정 결과

뒷꿈치 충격을 이용하여 대상 바닥판의 감쇠비를 측정하였으며, 감쇠비는 식(1)에 의해 결정하였다.

$$\xi = \frac{1}{2\pi j} \ln \frac{A_i}{A_{i+j}} \quad (1)$$

여기서, A_i = heel-drop의 i 번째 진폭, A_{i+j} = heel-drop의 $i+j$ 번째 진폭이다.

바닥판 고유진동수는 가속도 시간이력응답을 FFT(Fast Fourier Transfer)를 이용하여 평가하였다. 그림 1은 57평 바닥판의 충격하중에 의한 감쇠비를 측정할 실측 그래프이다. 그림 2는 보행하중에 대한 가속도 응답을 시간에 대한 그래프로 보여 주고 있으며, 그림 3은 그림 1과 그림 2와 같은 시간에 대한 함수를 FFT를 통해 진동수 영역으로 변환시킨 그래프이다. 표 2는 이러한 결과를 통해 얻은 각 바닥판의 동특성 값을 나타내고 있다.

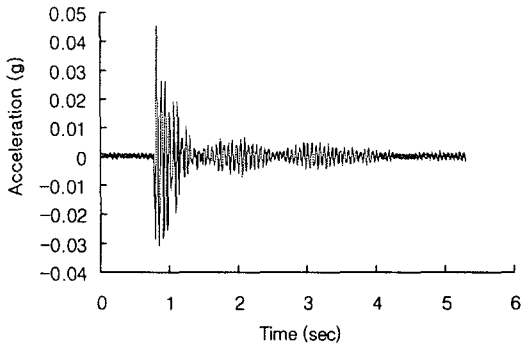


그림 1. 뒷꿈치 충격하중에 의한 응답 : 57RC-L

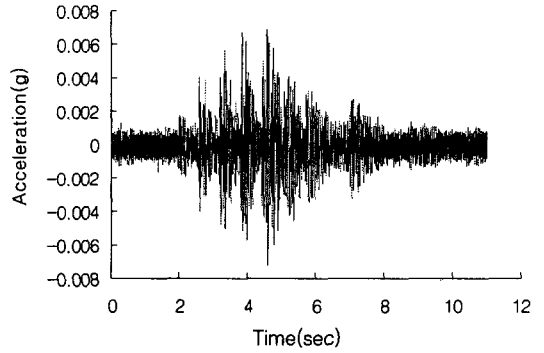


그림 2. 보행하중에 의한 응답 : 57RC-L

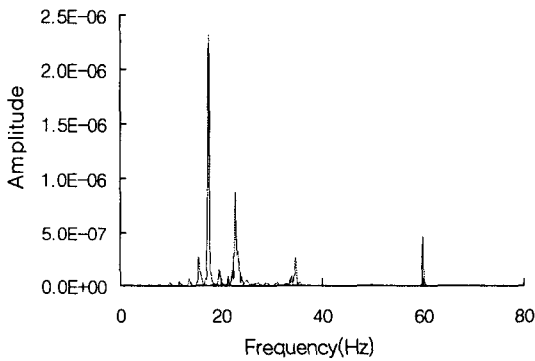


그림 3. FFT 응답 : 57RC-L

표 2. 실측한 대상 건물의 최대 가속도와 고유진동수

구 분	67RC-L	57RC-L	46RC-L	32RC-L
Damping ratio	0.013	0.017	0.0206	0.0132
$a_p(g)$	0.0052	0.0069	0.011	0.0124
$f_n(Hz)$	17.97	17.58	19.92	34.37

3. 바닥진동 평가

3.1. 가속도 평가

우리나라에서 소개되고 있는 바닥판의 수직 진동에 대한 사용성 기준은 CEN EC 3/1과 Allen & Murrery의 평가 기준이다. CEN EC 3/1은 바닥구조의 감쇠나 진동 응답을 검토하지 않았으므로 본 연구에서는 Allen & Murrery의 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 4에서는 실측된 고유진동수와 보행 하중에 대한 가속도 응답과 AISC(1997) 기준의 제한값이 함께 나타나 있다.

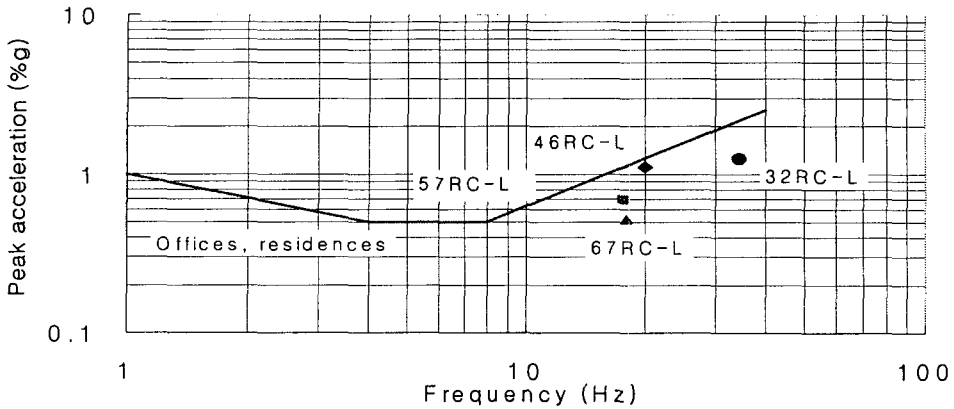


그림 4. 측정결과와 AISC 기준값과의 비교

3.2. 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 있어 가속도 평가와 함께 정적 기준에 대한 검토가 이루어져야 한다. 그러나 실제 건물에서 정적 처짐을 측정하는 것은 어려운 일이다. 그러므로 본 연구에서 정적 처짐을 통한 최소강성의 평가는 유한요소 해석을 통해서 이루어졌다. 사용한 프로그램은 Midas GENw이다.

해석 모델의 검증은 측정된 바닥판의 응답결과와 비교를 통해 이루어 졌다. 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. 고유치 해석시 콘크리트의 탄성계수는 정적 해석 탄성계수의 1.35배 한 동적 탄성계수를 사용하였다.

표 3은 고유치 해석을 통해 얻은 측정 대상 바닥판의 고유진동수와 실측된 값과의 차이를 나타낸 것이다. 해석 모델과 측정된 바닥판의 고유 진동수 값이 15% 내에서 일치하는 것을 볼 수 있다. 이것으로 실제 바닥판의 강성이 해석 모델에 유사하게 반영되었다고 판단하고, 모델링한 바닥판 중앙부에 1KN의 정적 집중하중을 적용하여 정적 처짐을 얻었다. 표 4는 정적 처짐량과 최소강성 평가 결과를 정리한 것이다. 최소강성 평가 결과 32RC-L을 제외한 나머지 세 바닥판 모두 최소강성에 대한 기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

표 3. 실측과 해석에 의한 고유 진동수 비교

고유 진동수 (Hz)	측정치 (A)	Midas GENW	
		해석값(B)	오차 $ B-A /A \times 100$
67RC-L	17.97	18.74	4.28%
57RC-L	17.58	19.70	12.06%
46RC-L	19.92	18.68	6.22%
32RC-L	34.37	30.03	11.87%

표 4. 최소 정적강성 평가

구 분	정적처짐 (mm)	최소 강성 (KN/mm)	평 가
67RC-L	1.073	0.932	N.G
57RC-L	1.256	0.796	N.G
46RC-L	1.152	0.868	N.G
32RC-L	0.833	1.2	O.K

4. 인지실험 결과를 이용한 평가

4.1 한상환의 인지실험(2003)

우리나라 사람을 대상으로 진동대 실험을 수행하여 우리나라 사람의 감성을 고려한 인지곡선을 제안하였다. 인지수준을 ‘인지하지 못함(not perceptible)’, ‘약하게 인지(weakly perceptible)’, ‘분명하게 인지(distinctly perceptible)’, ‘강하게 인지(strongly perceptible)’의 4단계로 구분하고 뒷꿈치 충격을 가진 원으로 한 수직진동에 대한 사람의 응답을 고유진동수, 최대 가속도, 감쇠비에 따라 측정하였다. 인지실험은 서로 다른 배경의 30명의 남녀를 대상으로 하여 실시하였고, 측정 범위는 2.5Hz~25Hz 사이의 6개 진동수, 0.1~9.4(%gravity) 사이의 9개 최대 가속도, 그리고 0.01~0.1의 5개 감쇠비이며, 그 결과를 해외 기준과 비교하였다. 그림 5에서 감쇠비 0.02에 대한 결과를 볼 수 있다.

4.2 인지실험 결과를 이용한 평가

측정 바닥판의 감쇠비가 모두 2% 내외이므로 2%의 감쇠비에 대한 인지실험 결과와 비교하였다. 그림 5는 인지곡선과 측정값을 비교한 그래프이다. 46RC-L은 ‘약하게 인지’ 수준이고, 57RC-L과 32RC-L은 ‘인지하지 못함’과 ‘약하게 인지’ 사이에 있으며, 67RC-L은 ‘인지하지 못함’ 정도의 수준에 있다. 인지실험의 ‘인지하지 못함’의 경우 실험범위의 하한치에 따라 그 값이 변할 수 있다. “인지하지 못함” 정도를 인지의 하한선으로 본다면, 67RC-L을 제외한 나머지 바닥판에서는 모두 진동을 인지하게 된다.

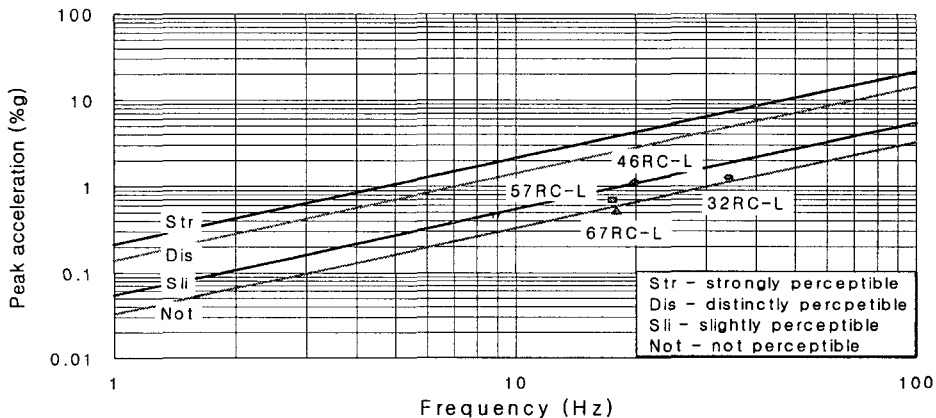


그림 5. 인지곡선과 AISC 기준 및 측정값의 비교

AISC(1997) 기준에서는 보행하중에 의한 가속도로 바닥의 수직진동 성능을 평가하도록 하고 있다. 그런데, 인지실험은 뒷꿈치 충격을 이용하여 수행되었으므로 AISC 기준 및 인지실험 결과와 뒷꿈치 충격에 대한 가속도값의 비교도 이루어졌다. 뒷꿈치 충격하중에 대한 최대가속도는 67RC-L이 7.97(%gravity), 57RC-L이 4.56(%gravity), 46RC-L이 6.03(%gravity), 그리고 32RC-L이 7.29(%gravity)의 값을 가지고, 이 결과는 그림 6에서 보여진다. 측정 바닥판 모두 ‘강하게 인지’ 수준을 넘고 있으며, AISC(1997) 기준의 쇼핑몰에 대한 제한값도 만족하지 못하고 있다.

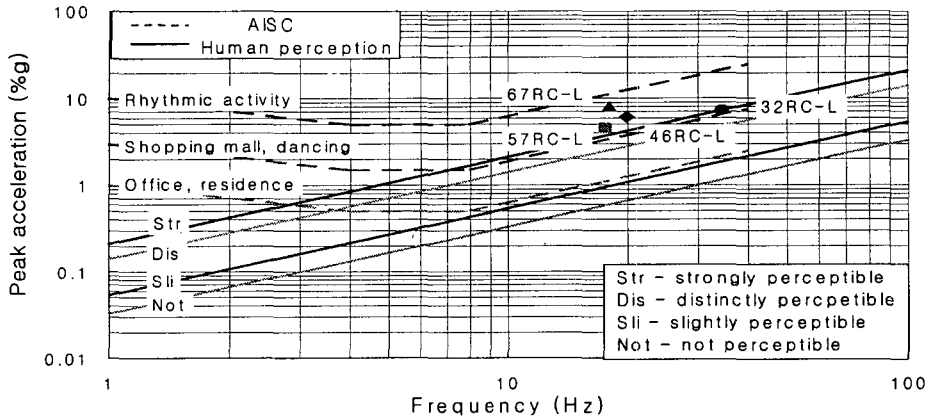


그림 6. 인지곡선과 AISC 기준 및 측정값의 비교-뒷꿈치 충격

5. 결론

- 1) 본 연구에서 측정된 바닥판은 고유진동수가 약 35Hz의 값을 가지는 32RC-L을 제외한 나머지 모두 17Hz에서 20Hz 사이의 값을 나타내고, 2% 내외의 감쇠비를 갖는다.
- 2) 대상 바닥판 모두 AISC(1997) 기준의 동적 제한은 만족하나 유한요소 해석 결과 1KN의 정적 집중하중에 대한 정적처짐은 32RC-L을 제외한 나머지 모두 1mm를 초과하여 최소강성 제한은 만족시키지 않는다.
- 3) 보행하중에 의한 가속도 응답은 인지실험 결과의 '약하게 인지' 정도의 수준이고, '인지하지 못함'을 인지의 하한선으로 보면, 67RC-L을 제외한 세 바닥판에서 수직진동에 대해 인지할 수 있게 된다.
- 4) 뒷꿈치 충격하중에 의한 가속도 응답은 '강하게 인지' 수준을 넘어서며, AISC(1997)의 주거용도의 건물보다 큰 제한값을 가지는 쇼핑몰의 제한값도 만족하지 못한다.

감사의 글

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

참고문헌

1. Murray, T.M., Allen, D.E., Unger, E.E., "Floor Vibration Due to Human Activity", AISC Steel Design Guide Series No. 11, 1997
2. Allen, D. E., and murray, T. M., "Design Criterion for vibrations due to walking", Engineering Journal, 4th Qtr, AISC, 1993
3. Chopra, A. K., Dynamics of structures: Theory and application to earthquake engineering, Prince-Hall, 2nd Edition, 2001
4. 한상환, 김도훈, "수직진동 허용제한치 제안을 위한 인지실험", 대한건축학회논문집 구조계, 제 19권 1호, 2003
5. 대한건축학회, 강구조 한계상태 설계기준 및 해석, 1998
6. 마이더스 아이티, "복합구조 아파트 바닥판의 사용성 검토 절차", 2000