

# 가속도계와 동적신호분석기를 이용한 건축물 바닥슬래브 동특성 및 수직진동 전달특성 측정

## Measurements on the Characteristics of Dynamic and Vertical Vibration Transfer according to floors of Building Structures using Accelerometer and Dynamic signal analyzer

전 호 민\*

Chun, Ho-Min

### ABSTRACT

In general, the vertical vibration problems for strength of members and serviceability of building structures are not considered in structural design process, but the prediction of the vertical vibration is very important and essential to structural design process. This study aims to investigate the characteristics of vertical vibration in terms of the transfer of horizontal directions on the rahmen building structures. In order to examine the characteristics of vertical vibration, the modal test and the impact (heel-drop and hammer) excitation experiments were conducted several times on three building structures. The results from the experiments are analyzed and compared with the results. The results of this study suggest that the characteristics of vertical vibration transfer in horizontal way are effected from the fundamental frequency of the slabs and excitation forces.

**Keywords:** *fundamental frequency, prediction of vibration, property of structural members, vertical vibration, vibration transfer.*

### 1. 서 론

근래에 들어서 협진시설 등과 같은 특정 목적의 건축물뿐만 아니라 일반적으로 건설되는 사무실이나 일반 주거시설에서도 진동과 소음의 영향에 대하여 많은 문제가 야기되고 있다. 특히 주거시설에서 발생하는 진동 및 소음문제는 입주민들로부터 제기되는 민원의 대부분을 차지하고 있는 실정이다. 이에 따라 여러 가지 원으로부터 주거시설의 공해진동 영향평가방법에 대한 연구가 이루어지고 있으며, 그 가운데 하나의 해결방법으로 건축구조물이 신축되기 전에 라멘구조형식과 전단벽구조형식 등의 구조물에 대한 바닥슬래브의 수직진동을 예측할 수 있는 방법이 연구되었다. 이와 같은 연구는 기둥을 통해 전달되는 진동의 저감, 보에서 슬래브로 전달될 때 나타나는 진동의 증폭 현상 등에 관한 연구가 이루어지고 있다.(전호민, 2004; 전호민, 2005)

\* 정희원 · 초당대학교 건축학과 전임강사 E-mail: hm2095@chodang.ac.kr

이에 본 연구에서는 라멘형식의 건축구조물 수직진동의 수평방향에 대한 전달 특성을 실험을 통해 분석하여 제시한다.

## 2. 진동측정실험

### 2.1 대상건물

대상건물의 구조형식은 철근콘크리트 라멘조이며 대상건물의 부재치수를 표 1에 나타내었으며 평면도를 그림 1에 나타내었다. 음영처리부분이 실험장소를 나타낸다.

표 1. 대상건물의 부재치수

건물	큰 보 (mm)	작은 보 (mm)	기둥 (mm)	슬래브(mm)		설계기준강도 MPa
				두께	가로×세로	
A	300×600	350×600	500×600 (500×500)	120	3600×8100	21
B	350×600	350×600	400×600 (500×500)	120	3600×8400	21
C	350×600	300×600	600×600 (500×500)	120	3300×6900	21

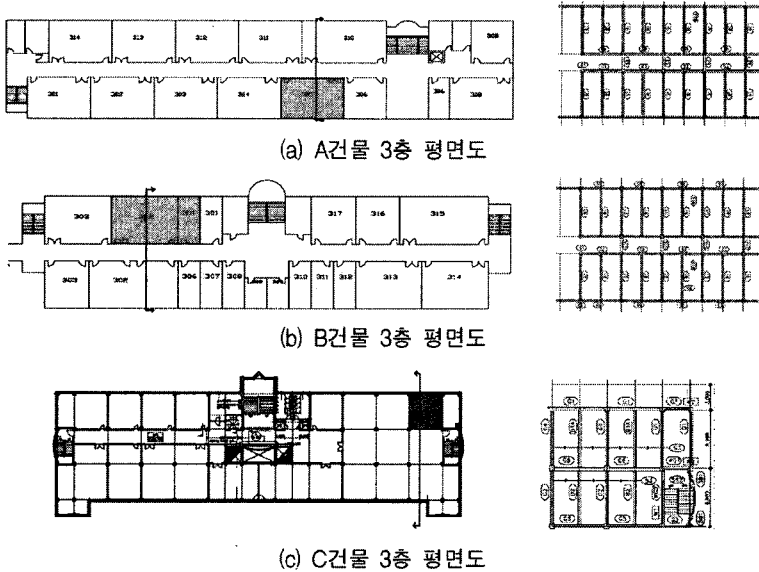


그림 1. 대상건물의 기준층 평면도 및 실험장소의 구조평면도

### 2.2 실험 방법

기둥과 연결된 큰 보에서 슬래브를 거쳐 작은 보로 전달되는 수직진동의 수평방향 전달 특성을 각 대상건물 3층에서 임팩트 해머와 발 뒤꿈치에 의한 가진을 통해 실시하였다. 발에 의한 가진은 발 뒤꿈치에 의한 충격가진으로 하였다. 각 실험은 5회씩 실시하였으며 1회당 5번 가진한 결과를 평균화(averaging)하여 나타내었다.

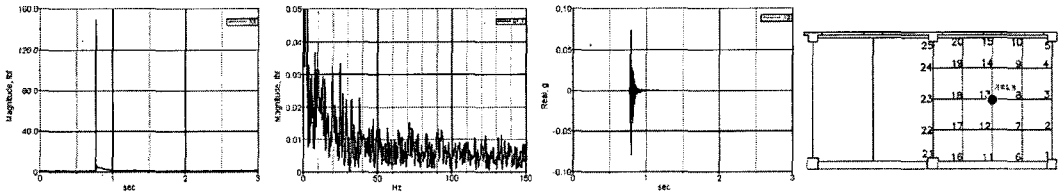
2.2.1 가진원

1) 발 뒤꿈치에 의한 가진(heel drop)

표준적인 발 뒤꿈치에 의한 가진은 170 lb(76.5 kg)의 한 사람이 발 뒤꿈치를 바닥면에서 2 in. 정도 들어 올렸다가 아래로 내려가면서 충격을 가하는 것이다. 이는 개인의 몸무게에 큰 영향을 받으며, 개인에 따라 가진의 크기가 차이가 있다. 본 연구에서는 연구원 1인(70 kg)의 발 뒤꿈치에 의해 가진을 실시하였다.

2) 임팩트 햄머에 의한 가진(impact hammer)

임팩트 햄머는 구조물을 타격함으로써 넓은 범위의 진동수 대역에서 구조물을 가진시킨다. 임팩트 햄머가 가할 수 있는 가장 높은 진동수인 차단진동수(cutoff frequency)는 임팩트 햄머의 끝단의 재료의 강성에 기인한다. 본 연구에서는 저주파의 영역이 고려 대상이므로 폴리우레탄 팁(tip)을 사용하였다. 그림 2는 임팩트 햄머의 가진력과 이에 대한 응답을 대표적인 예로 나타낸 것이다.



(a) 햄머 가진력

(b) 햄머의 진동수 성분

(c) 부재의 응답이력

그림 3. 슬래브 분할 메쉬 (A건물)

그림 2. 임팩트 햄머 가진력과 부재의 응답 예

2.2.2 고유진동수

큰 보, 작은 보와 슬래브의 고유진동수는 각 대상건물 3층에서 모드해석실험을 실시하여 구하였으며 각 부재에 대하여 가속도계는 1점에 고정하고 햄머를 이동하면서 각 점에 가진하는 방법을 사용하였다. 큰 보와 작은 보는 직선부재로 모형화하여 5개의 절점에 대하여 모드해석실험을 실시하였으며, 슬래브는 평면부재로 모형화하여 25개의 절점에 대하여 모드해석실험을 수행하였다. 그림 3은 실험대상 A건물의 바닥슬래브에 대한 고유진동수를 구하기 위하여, 전달함수 측정시 바닥 슬래브를 분할한 메쉬를 나타낸다.

2.3 실험 측정장비

진동 계측에 사용된 장비를 표 2에 나타내었다.

표 2. 실험장비 목록

장비	모델명	계원	수량
동적신호분석기	Data Physics Model : DP440	4 channel Dynamic Analyser	1
가속도계	Dytran Model : 3191A	Sensitivity : 5,000 mV/g Range : ±5 g (output) Frequency range(±5%) : 0.1-1,000 Hz	3
임팩트 햄머	Dytran Model : 5802A	Sensitivity : 0.95 mV/LbF Maximum impulse : 8,000 LbF	1
디지털 카메라	Olympus Model : C3000 zoom		1

### 3. 실험결과 분석

#### 3.1 고유 진동수

모드해석 실험을 실시하여 큰 보, 작은 보 및 슬래브의 고유진동수를 측정하였다. 동적신호분석기(Data Physics Corporation, 2000)에서 측정한 전달함수(transfer response function)를 STAR 프로그램(Spectral Dynamics, 2001)에서 결과를 분석하였다. 측정결과는 표 3과 같다. 그림 4는 C 건물의 작은 보에 대한 전달함수 그래프로서 대표적인 것을 나타내었다.

표 3 대상 건물 부재의 고유진동수 (Hz)

모드	A 건물			B 건물			C 건물		
	큰 보	슬래브	작은보	큰 보	슬래브	작은보	큰 보	슬래브	작은보
1차	17.10	12.34	12.46	18.35	17.17	17.14	21.66	22.02	22.02
2차	21.35	21.45	21.19	34.08	22.81	22.78	28.70	56.31	47.93
3차	33.05	28.66	29.01	40.40	35.35	33.74	43.36	75.69	56.35

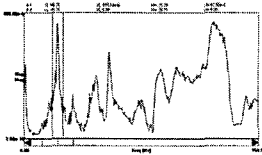


그림 4. 전달함수(C건물 작은 보)

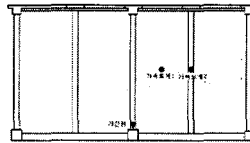


그림 5. A건물 실험 측정위치

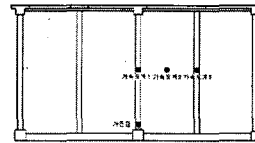
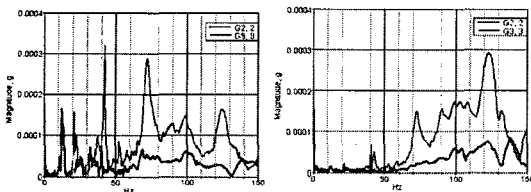


그림 6. B, C건물 실험 측정위치

#### 3.2 A 건물

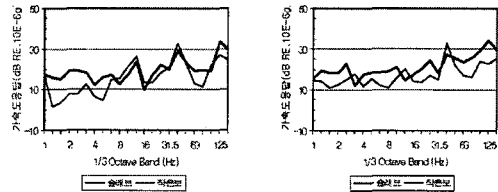
가속도계 측정위치는 그림 5와 같다. 그림 7과 그림 8에서 발 뒤꿈치에 의해 가진한 경우와 햄머로 가진한 경우 모두 진동수 성분이 크게 저감된 것을 알 수 있다. 그러나 슬래브 및 작은 보의 고유진동수 위치에서의 진폭은 큰 차이를 나타내었다. 이는 가진원의 지배진동수의 차이로 인해 나타나는 것으로 파악된다. 또한 슬래브 및 작은보의 고유진동수에 의해 진폭이 차이를 나타내고 있다.



( G2.2 : 슬래브, G3.3 : 작은 보 ) ( G2.2 : 슬래브, G3.3 : 작은 보 )

(a) 발 뒤꿈치 가진 (b) 임팩트 햄머 가진

그림 7. A건물의 수직진동 응답

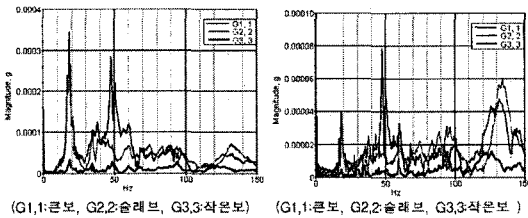


(a) 발 뒤꿈치 가진 (b) 임팩트 햄머 가진

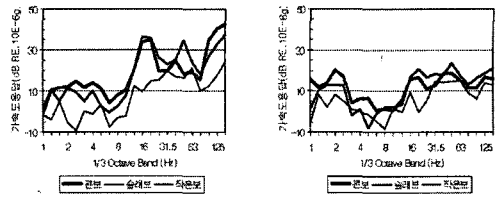
그림 8. A건물의 수직진동 응답 (1/3 Octave band)

#### 3.3 B 건물

앞의 그림 6은 B건물과 C건물에 대한 가속도계의 측정 위치를 나타낸다. B건물의 수직진동 수평방향의 전달 특성은 그림 9와 그림 10에서 알 수 있듯이 A건물의 경향과 유사하게 나타났다. 큰 보에서 슬래브를 거쳐 작은 보로 전달되는 과정에서 에너지가 감소된 것을 알 수 있으며 각 부재의 고유진동수에 의해 진폭이 차이를 나타내고 있다. B건물도 가진원에 따라 상이한 형태의 진동전달 특성이 나타났다.



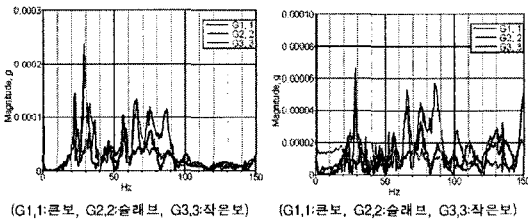
(a) 발 뒤꿈치 가진 (b) 임팩트 햄머 가진  
그림 9. B건물의 수직진동 응답



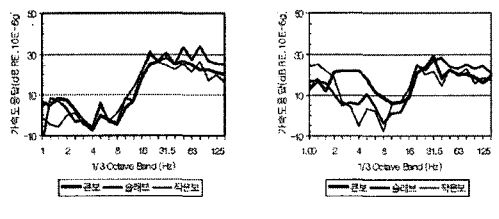
(a) 발 뒤꿈치 가진 (b) 임팩트 햄머 가진  
그림 10. B건물의 수직진동 응답 (1/3 Octave band)

3.4 C 건물

C건물에 대한 수직진동의 수평방향 전달특성은 그림 11과 그림 12에서 알 수 있듯이 다른 대상건물과 유사한 특성을 나타내었다. 전체진동수 영역에서 수평방향으로 진행되면서 진동가속도가 저감되는 것으로 나타났으나 저진동수 영역에서는 각 부재의 고유진동수의 영향으로 큰 저감은 나타나지 않았다. 따라서 특정 진동수에 대한 영향을 피하기 위해서는 부재의 고유진동수를 변화시키는 방향으로 고려해야 함을 알 수 있다.



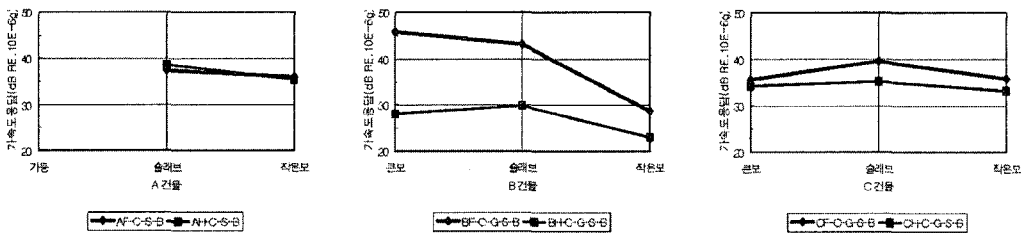
(a) 발 뒤꿈치 가진 (b) 임팩트 햄머 가진  
그림 11. C건물의 수직진동 응답



(a) 발 뒤꿈치 가진 (b) 임팩트 햄머 가진  
그림 12. C건물의 수직진동 응답 (1/3 Octave band)

3.5 수직진동의 수평방향 진동 전달 비교

전체 진동수 영역에 걸친 진동레벨을 파악하여 비교해 보면 이에 대한 결과를 더욱 뚜렷이 알 수 있다. 그림 13과 표 4는 각 가진 결과에 대한 Overall Vibration Level을 나타내고 있다.



(a) A 건물 (b) B 건물 (c) C 건물

그림 13. 수평방향 각 위치의 응답 비교 (Overall Vibration Level)

표 4. Overall Vibration Level (dB, RE.  $10^{-6}g$ )

가진원	A 건물			B 건물			C 건물		
	큰보	슬래브	작은보	큰보	슬래브	작은보	큰보	슬래브	작은보
발 뒤꿈치		37.48	35.95	45.79	43.10	28.75	35.67	39.68	35.75
임팩트 햄머		38.58	35.31	28.11	29.80	23.11	34.17	35.22	33.23

#### 4. 결론

라멘형식 철근콘크리트 건축구조물 수직진동의 수평방향 전달 동특성을 파악하기 위하여 라멘형식의 건물을 3개소에 대하여 모드해석 실험 및 수직진동의 수평방향 전달실험을 실시하였다. 실험에 의해 측정된 결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 기둥에 인접한 큰보에서 슬래브, 작은보 순서로 전달되는 수평방향의 수직진동은 가진원에 따른 진동응답의 양상은 큰 차이를 보였다. 발 뒤꿈치에 의한 가진과 햄머에 의한 가진은 상이한 진동응답을 나타내었다. 이는 가진원의 지배진동수에 따른 영향으로 판단된다.
2. 대체적으로 거리에 따른 고차진동수 영역이 더 크게 저감되는 것으로 나타났으며 저진동수 영역에서는 큰보, 슬래브, 작은보의 고유진동수에 의해 진동이 증폭되는 현상으로 인해 상대적으로 더 크게 나타났다. 따라서 특정 진동수에 대한 영향을 피하기 위해서는 부재의 고유진동수를 변화시키는 방향으로 고려해야 함을 알 수 있다.
3. 기둥을 통해 전달된 수직진동은 큰보에서 슬래브로 전달되면서 증폭되는 현상이 나타나며, 슬래브에서 작은보로 전달되면서 저감되는 양상을 나타내었다.

#### 감사의 글

이 논문은 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (R05-2003-000-11968-0)

#### 참고문헌

- 전호민, 홍갑표 (1999) 철근콘크리트 건축물의 수직진동전달에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집, 15(11) pp.37~44.
- 전호민, 이동훈, 홍갑표 (2001) 열차하중에 의한 건축구조물의 진동특성 변화에 관한 비교 연구, 대한건축학회논문집, 17(12), pp.11~18.
- 전호민 (2004) 라멘조 건축구조물의 수직진동 전달특성에 관한 실험연구, 한국전산구조공학회 학술발표회 논문집, 17(2), pp.469~475.
- 전호민 (2005) 전단벽식 건축구조물의 수평방향 수직진동 전달특성에 관한 실험연구, 대한건축학회 학술발표대회논문집, 25(1), pp.43~46.
- 横田明則, 平尾善裕 (1997) 建物内振動の評価, 騒音制御, 21(1), pp.28--32.
- Spectral Dynamics, Inc. (2001) The STAR system manuals, Spectral Dynamics, Inc, San Jose
- Data Physics Corporation (2000) SignalCalc Mobilyzer manuals, Data Physics Corporation, San Jose.