

전단벽식 건축구조물 수직진동의 수평방향 전달특성에 관한 실험연구

An Experimental Study on the Vertical Vibration Transfer in Horizontal Way
according to Shear Wall Building Structures due to Exciting Vibration Forces

전 호 민†

Ho-Min Chun

(2005년 11월 10일 접수 ; 2006년 2월 16일 심사완료)

Key Words : Fundamental Frequency(고유주파수), Prediction of Vibration(진동예측), Vertical Vibration
(수직진동), Vibration Transfer(진동전달)

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 to near-rooms on the shear wall 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 two building structure. 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 are effected the shear wall on the path of the vibration transfer.

1. 서 론

1.1 연구의 목적

이 연구에서는 현재 국내에서 거주용 주거시설로 많이 사용되고 있는 아파트의 주 구조시스템인 전단벽식 건축구조물에 대한 수직진동의 수평방향 진동전달 특성을 실험을 통해 알아보았다.

실험결과를 분석하여 같은 층에서도 위치에 따라 나타나는 수직진동의 차이를 파악하여 상층부 또는 하층부에서 전달되어 오는 진동의 수평방향 전달과정을 이해하는 데 여러 연구자 및 현장 기술자들에게

도움을 주고자 한다.

1.2 연구내용 및 방법

이 연구에서는 동적 가진 실험을 실시하여 건물의 진동전달 동특성을 측정한다. 이를 토대로 전달되는 과정에서 나타나는 진동특성 변화를 파악한다. 이를 위하여 전단벽식 구조물의 수평방향에 대한 수직진동 변화를 측정하기 위하여 시공중인 아파트 2개소(25평형, 46평형)를 대상으로 진동을 측정한다. 가속도계를 이용한 자료의 획득은 실시간 처리 동적신호분석기인 DP440을 이용하여 자료를 저장한다. 현장에서 측정된 자료는 시간영역의 가속도응답과 주파수영역의 가속도 응답이다.

1.3 연구의 제한사항

이 연구에서는 실험적 연구를 수행함에 있어 다음

† 책임저자; 정회원, 초당대학교 건축학과
E-mail : hm2095@chodang.ac.kr
Tel : (061) 450-1285, Fax : (061) 453-4969

과 같은 제한사항을 둔다.

(1) 진동레벨 산정시 대상으로 하는 진동은 수직 가속도로 한다.

(2) 건물진동 측정시 대상구조물은 철근콘크리트 전단벽식 구조물로 한다.

1.4 연구동향

국내에서 지반-건물 진동평가에 관한 연구는 1997년에 철도에 인접한 라멘조 철근 콘크리트 건물의 각 층에 대한 진동가속도레벨을 예측하는 연구⁽¹⁾가 이루어졌다. 1999년에는 지반에서 건물의 상층부로 전달되는 수직진동 전달량의 변화에 대한 연구⁽²⁾가 이루어졌으며, 2000년에는 철근콘크리트 건축물의 수직진동예측 프로그램에 대한 연구⁽³⁾가 수행되었다. 2002년에는 전단벽식 구조물의 바닥슬래브 수직진동 예측프로그램 개발에 대한 연구⁽⁴⁾가 수행되었다. 2003년에는 전단벽식 구조물의 진동해석을 위한 바닥슬래브의 모형화에 관한 연구⁽⁵⁾가 수행되었고, 같은 해 바닥충격을 예측을 위한 진동전달을 산정에 관한 연구

⁽⁶⁾가 수행되었다. 2004년에는 라멘건축물 수직진동의 수직방향 진동전달특성에 관한 실험⁽⁷⁾이 이루어졌다.

2. 25평형 세대 진동측정 실험

2.1 대상 건물

전단벽식 구조로 되어 있는 계단식형 아파트 25평형을 선정하여 진동실험을 실시하였다. 대상건물의 구조형식은 철근콘크리트 전단벽식 구조이며 시공 중에 있는 건물로서 골조만 완성된 상태이다. 철근콘크리트 설계강도는 21 MPa이다. Fig. 1은 측정대상 건물의 대표적인 평면도 및 슬래브 단면도를 나타내며 진동측정 장소를 나타내었다. Fig. 2는 단위세대 구조 평면도를 나타낸다.

2.2 실험 측정 장비

이 연구에서 사용된 측정장비의 사양은 Table 1과 같다.

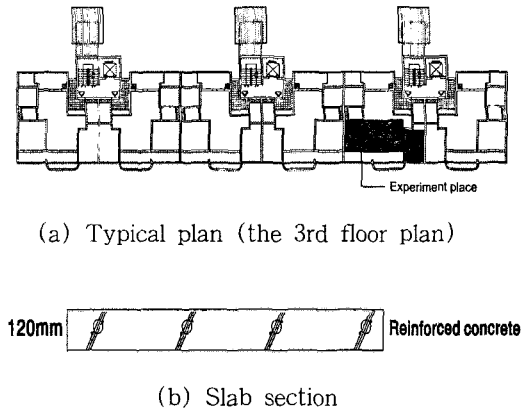


Fig. 1 Typical plan and slab section

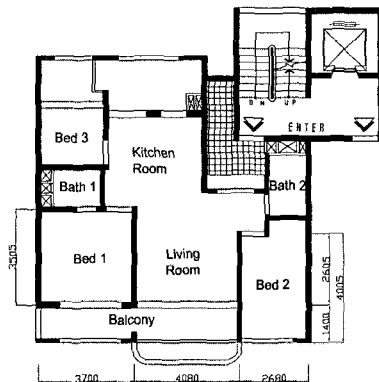


Fig. 2 Typical unit plan (25 py type)

Table 1 Equipment list

| Equipment | Model | Specification | Quantity |
|------------------|-------------------------------|---|----------|
| Dynamic analyzer | Data physics Model : DP440 | 4 channel Dynamic analyser | 1 |
| Accelerometer | Dytran Model : 3191A | Sensitivity : 5,000 mV/g Range : ±5 g (output) Frequency range(±5 %) : 0.1~1,000 Hz | 3 |
| Impact hammer | Dytran Model : 5802A | Sensitivity : 0.95 mV/LbF Maximum impulse: 8,000 LbF | 1 |
| Walkie-talkie | Taekwang | TFR-70 | 3 |
| Digital camera | Olympus | C3000 zoom | 1 |

2.3 가진원의 종류

(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 들어올렸다가 아래로 내려가면서 충격을 가하는 것이다. 이는 개인의 몸무게에 큰 영향을 받으며, 개인에 따라 가진의 크기가 차이가 있다. 이에 동일한 충격량을 가하기 위해 heel drop simulator 등을 개발하여 사용하고 있기도 하다. 이 연구에서는 연구원 1인(70 kg)의 발 뒤꿈치에 의해 가진을 실시하였다.

(2) 임팩트 햄머에 의한 가진(impact hammer)

임팩트 햄머는 구조물을 타격함으로써 넓은 범위의 주파수 대역에서 구조물을 가진시킨다. 임팩트 햄머가 가할 수 있는 가장 높은 주파수인 차단주파수(cutoff frequency)는 임팩트 햄머의 끝단의 재료의 강성에 기인한다. 이 연구에서는 저주파의 영역이 고려 대상이므로 폴리우레탄 팁(tip)을 사용하였다.

2.4 실험 방법

(1) 거실 단부에서 중앙부로 수직진동전달(실험 1-A)

가속도계는 Fig. 3과 같이 전단벽과 인접한 거실바닥슬래브(수진점 1), 전단벽과 거실 바닥슬래브의 중앙점 사이의 이등분되는 위치(수진점 2), 거실바닥슬래브의 중앙점(수진점 3)에 설치하여 단부벽체에서 중앙점으로 전달되는 수직진동을 측정하였다. 가진원은 발 뒤꿈치와 임팩트 햄머 2종류를 사용하였으며, 가진은 전단벽체와 인접한 3개소에 대하여 각각 3회씩 가진하였다.

(2) Bed 1에서 Bed 2로 수직진동전달(실험 1-B)

진동계측을 위한 가속도계는 Fig. 4와 같이 Bed 1

과 인접한 거실 바닥슬래브(수진점 1), 거실의 중앙 바닥슬래브(수진점 2), Bed 2의 바닥슬래브 중앙점(수진점 3)에 설치하여 Bed 1에서 Bed 2로 전달되는 수직진동을 측정하였다. 기타 실험 방법은 실험 1-A의 방법과 동일하며 가진은 Bed 1의 바닥슬래브 중앙점에 하였다.

(3) Bed 2에서 Bed 1로 수직진동전달(실험 1-C)

실험 1-B에서 언급한 순서의 역순으로 가속도계를 Fig. 5와 같이 Bed 2와 인접한 거실 바닥슬래브(수진점 1), 거실의 중앙 바닥슬래브(수진점 2), Bed 1의 중앙 바닥슬래브(수진점 3)에 설치하였다. 기타 실험 방법은 실험 1-A의 방법과 동일하며, 가진은 Bed 2의 바닥슬래브 중앙점에 하였다.

2.5 실험결과 분석

A/D 변환에서 신호가 변환되어야 할 시간 간격 및 스팬을 정의하는 샘플링과정은 다음과 같이 설정

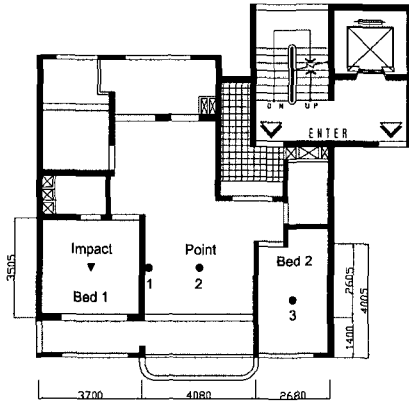


Fig. 4 Experiment 1-B

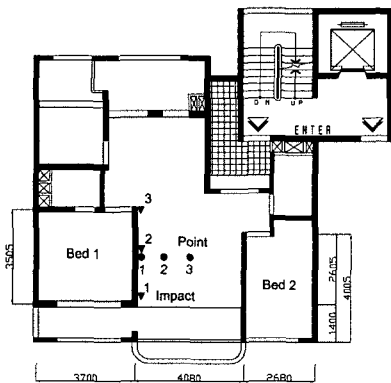


Fig. 3 Experiment 1-A

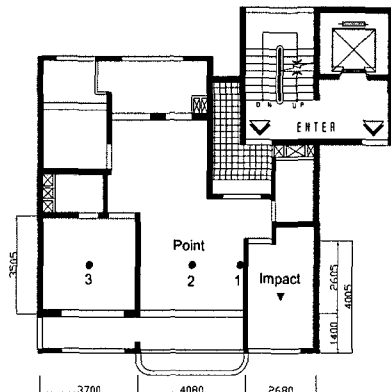


Fig. 5 Experiment 1-C

하였다.

- F (주파수범위) : 160 Hz, L (FFT line 수) : 500 line
- N (데이터 표본화 수) = $L \times 2.56$: 1280 개
- T (취득시간) = L/F : 3.125초

평균화(averaging)는 실시간 측정값(instantaneous)을 선택하였고, 윈도우(window)는 3회 연속적인 가진을 실시하였기 때문에 hanning window를 사용하였다.

(1) 고유주파수

진동응답에 영향을 미치는 슬래브의 고유주파수를 구하기 위하여 3층의 Bed 1, 거실, Bed 2에서 각각 모드해석 실험을 실시하였다. 동적신호 분석기 DP440⁽⁸⁾에서 측정한 전달함수(transfer response function)를 Star프로그램⁽⁹⁾에서 결과를 분석하였다.

Fig. 6은 모드해석⁽¹⁰⁾시 슬래브의 전달함수 측정을 위해 분할한 메쉬를 나타내며 Fig. 7은 측정장비, Fig. 8은 모드해석실험 장면을 나타낸다. Fig. 9는 대표적인 슬래브의 전달함수를 나타낸다.

(2) 수평방향으로의 수직진동 전달 특성

가. 실험 1-A

가진점에 따른 응답이 유사하게 나타나 실험 결과 가운데 대표적인 가진점 2에 대한 결과만을 Fig. 10과 Fig. 11에 나타내었다. 응답의 크기는 발 뒤꿈치에 의한 가진과 햄머에 의한 가진의 경우 모두 거실바닥의 1차 고유주파수 부근에서 최대의 응답을 나타내었다. 발 뒤꿈치에 의한 가진의 경우 Fig. 10(a)에서 알

수 있듯이 1차 고유주파수부근의 응답에서는 수진점 2, 수진점 3, 수진점 1의 순서로 진폭이 컸으나 65Hz 이상의 주파수영역에서는 진폭이 역전되는 현상을 볼 수 있다. 이것은 가진원의 고주파수 성분이 작아 수평방향으로 전달되면서 고주파수 성분이 많이 저감되어 나타난 현상으로 보인다. 햄머에 의한 가진의 경우에는 1차 고유주파수 부근에서 발 뒤꿈치에 의한 가진의 경우와 비슷한 응답을 보이나 고주파수영역에서는 햄머 가진원의 특성상 고주파수 성분이 많이 포함되어 있어 큰 응답을 나타내고 있다.

나. 실험 1-B

실험결과에 대한 그래프를 Fig. 12 및 Fig. 13에 나



Fig. 7 Dynamic analyzer



Fig. 8 Modal test

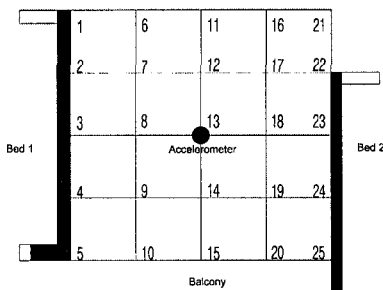


Fig. 6 Mesh of slab(living room)

Table 2 Natural frequency

| Mode | Frequency (Hz) | | |
|------|----------------|-------------|------------|
| | Bed 1 room | Living room | Bed 2 room |
| 1 | 48.50 | 29.53 | 28.86 |
| 2 | 53.75 | 49.31 | 60.78 |
| 3 | 72.86 | 66.51 | 73.99 |

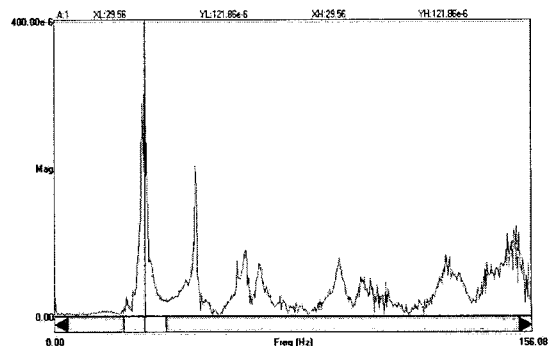
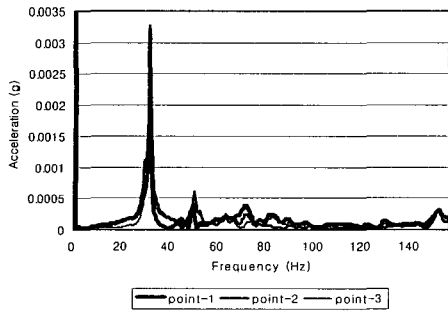
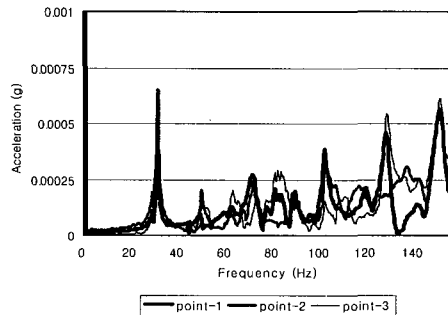


Fig. 9 Frequency response function(living room)

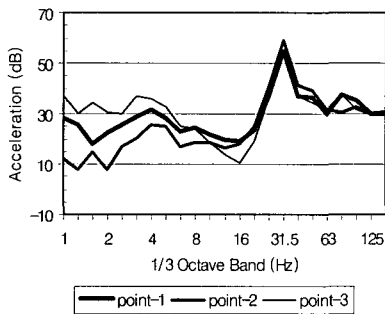


(a) Heel impact (F-ME-2)

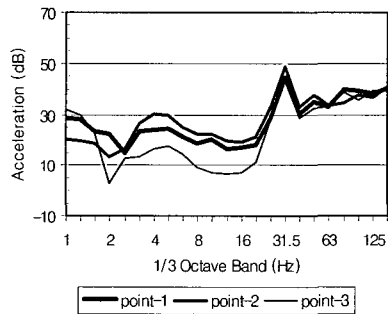


(b) Hammer impact (H-ME-2)

Fig. 10 Frequency response for excitation from edge to center at living room (experiment 1-A)

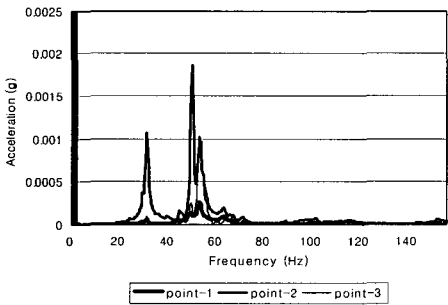


(a) Heel impact (F-ME-2)

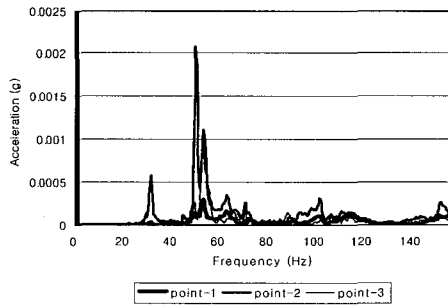


(b) Hammer impact (H-ME-2)

Fig. 11 1/3 Octave response for excitation from edge to center at living room (experiment 1-A)

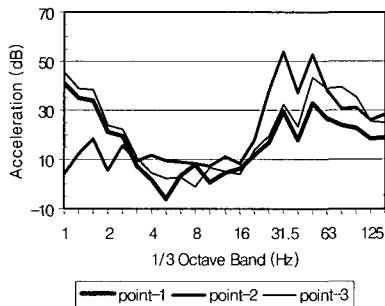


(a) Heel impact (F-B1-C)

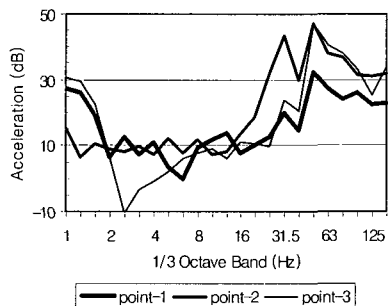


(b) Hammer impact (H-B1-C)

Fig. 12 Frequency response from bed 1 to bed 2 for excitation on center of bed 1 (experiment 1-B)

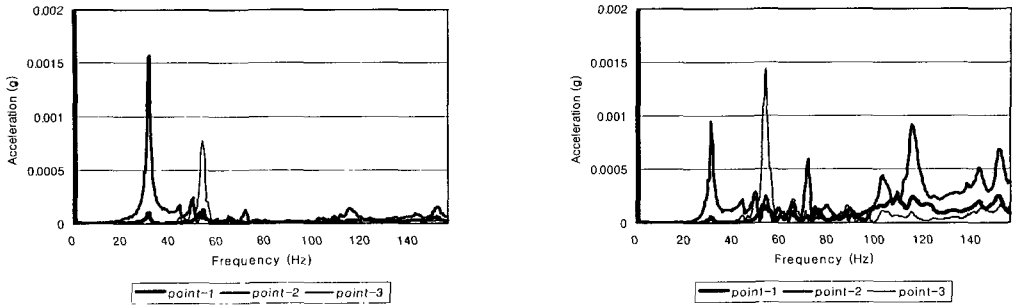


(a) Heel impact (F-B1-C)

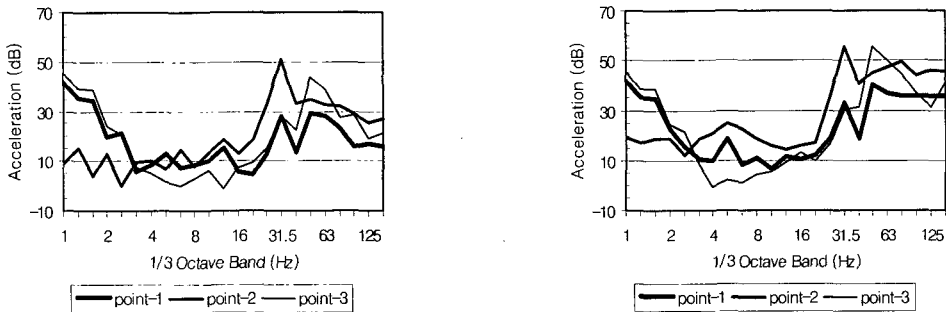


(b) Hammer impact (H-B1-C)

Fig. 13 1/3 Octave response from bed 1 to bed 2 for excitation on center of bed 1 (experiment 1-B)



(a) Heel impact (F-B2-C) (b) Hammer impact(H-B2-C)
Fig. 14 Frequency response from bed 2 to bed 1 for excitation on center of bed 2 (experiment 1-C)



(a) Heel impact (F-B2-C) (b) Hammer impact(H-B2-C)
Fig. 15 1/3 Octave response from bed 2 to bed 1 for excitation on center of bed 2 (experiment 1-C)

타내었다. 발 뒤꿈치에 의한 가진의 경우 수진점 1의 응답은 전체 영역에 걸쳐 아주 작은 응답을 나타내었다. 수진점 2의 응답은 거실의 1차 고유주파수에서도 큰 응답을 나타내었으나 2차 고유주파수 부근에서 더 큰 응답을 나타내었다. 이것은 Bed 1의 가진에 의해서 Bed 1의 1차 고유주파수의 영향에 의해 증폭되어 전달된 진동의 영향으로 판단된다. 수진점 3에서도 Bed 2의 고유주파수 영향보다 가진원의 지배주파수의 영향이 더 큰 응답이 나타났다. 햄머에 의한 가진 역시 동일한 응답양상을 나타내었으며, 발 뒤꿈치에 의한 응답보다 고차주파수 영역에서의 응답이 더 크게 나타났다.

다. 실험 1-C

실험에 대한 결과를 Fig. 14와 Fig. 15에 나타내었다. 발 뒤꿈치에 의한 가진의 경우 수진점 1의 응답은 실험 1-B의 경우와 같이 상대적으로 작았다. 수진점 2의 응답이 거실의 1차 고유주파수 부근에서 가장 큰 응답을 나타내었다. 이것은 Bed 2 가진시 Bed 2의 1차 고유주파수에 의한 증폭된 진동에 의해 나타난 영향으로 생각된다. 수진점 3에서도 나타난

큰 응답은 Bed 1 바닥슬래브의 2차 고유주파수 부근에서 나타났다. 이것은 Bed 2 가진원의 2차 고유주파수에 의한 영향으로 보인다.

(3) 수평방향으로의 수직진동 전달 비교

전체 주파수 영역에 걸친 진동레벨을 파악하여 각 실험결과를 비교해 보면 더욱 뚜렷이 경향을 비교해 볼 수 있다. Overall vibration level은 1/3 octave acceleration level을 이용하여 수직진동감각 보정치를 사용하지 않고, 각 실험결과를 비교하기 위하여 사용하였다. 산정식은 식 (1)과 같다.

Overall vibration level(L) (dB) :

$$L = 10 \log (10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots + 10^{L_{n-1}/10} + 10^{L_n/10}) \quad (1)$$

여기서, $L_1, L_2, \dots, L_{n-1}, L_n$: 1/3 octave band의 밴드별 진동레벨(dB)이다. Table 3은 각 가진 결과에 대한 overall vibration level을 나타내고 있으며 Fig. 16, Fig. 17은 이러한 결과를 그림으로 나타낸 것이다.

실험 1-A에 대한 결과는 Table 3 및 Fig. 16에서 알 수 있는 것처럼 수진점 2에서 진동레벨이 증가했

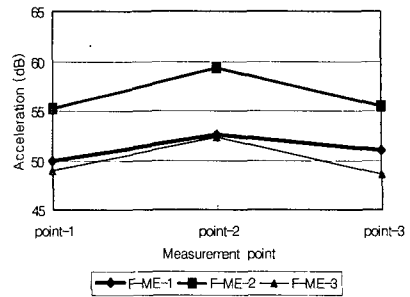
다가 수진점 3에서 다시 저감되는 양상을 볼 수 있다. 발 뒤꿈치에 의한 가진의 경우 수진점 1에서 수진점 2로 전달되면서 2.62 dB ~ 4.12 dB의 진동증폭이 생겼으나 수진점 2에서 수진점 3으로 전달시에는 -1.53 dB ~ -3.83 dB정도가 저감되었다. 수진점 1과 수진점 3의 비교에서는 -0.32 dB ~ 1.09 dB의 차이를 나타내었다.

햄머에 의한 가진의 경우 수진점 1에서 수진점 2로 전달되면서 0.44 dB ~ 2.10 dB의 진동증폭이 생겼다. 그러나 발 뒤꿈치에 의한 가진과 마찬가지로 수진점 2에서 수진점 3으로 전달되는 과정에서는 -1.53 dB ~ -2.58 dB 정도 저감되었다. 수진점 1과 수진점 3의 응답차이는 -0.48 dB ~ -1.09 dB의 차이를 나타내었다. 실험 1-A의 결과에서 수진점이 동일한 바닥슬래브에서 단부에서의 가진은 수진점의 위치에 따른 응답에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로

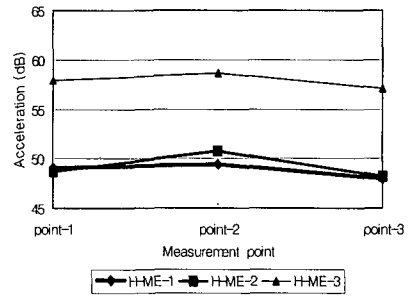
Table 3 Overall Vibration Level (dB, RE, 10⁻⁶g)

| Experiment | Excitation source place-point* | Accelerometer | | |
|------------|--------------------------------|---------------|---------|---------|
| | | point-1 | point-2 | point-3 |
| | | ① | ② | ③ |
| 1-A | F-ME-1 | 49.94 | 52.56 | 51.03 |
| | | 2.62 | -1.53 | 1.09 |
| | F-ME-2 | 55.24 | 59.36 | 55.53 |
| | | 4.12 | -3.83 | 0.29 |
| | F-ME-3 | 48.99 | 52.36 | 48.67 |
| | | 3.37 | -3.69 | -0.32 |
| | H-ME-1 | 49.05 | 49.49 | 47.96 |
| | | 0.44 | -1.53 | -1.09 |
| | H-ME-2 | 48.68 | 50.78 | 48.20 |
| 2.10 | | -2.58 | -0.48 | |
| H-ME-3 | 57.88 | 58.62 | 57.06 | |
| | 0.74 | -1.56 | -0.82 | |
| 1-B | F-B1-C | 43.68 | 56.40 | 49.79 |
| | | 12.72 | -6.61 | 6.11 |
| | H-B1-C | 36.55 | 49.54 | 48.52 |
| | | 12.99 | -1.02 | 11.97 |
| 1-C | F-B2-C | 43.74 | 51.58 | 49.30 |
| | | 7.84 | -2.28 | 5.56 |
| | H-B2-C | 47.23 | 58.28 | 57.53 |
| | | 11.05 | -0.75 | 10.30 |
| Ref. | | 1 Hz ~ 156 Hz | | |

* F : heel drop ME : Living room 1 : Excitation point 1
 H : Impact hammer B1 : Bed 1 room 2 : Excitation point 2
 B2 : Bed 2 room 3 : Excitation point 3
 C : Center of slab

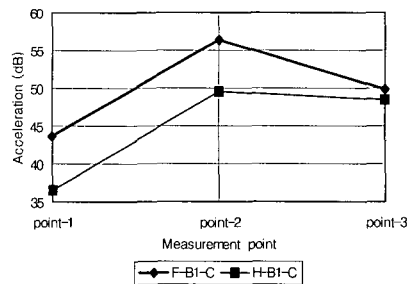


(a) Heel impact

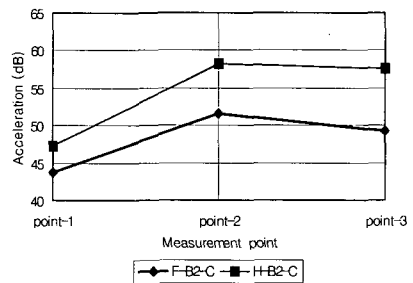


(b) Hammer impact

Fig. 16 Comparison of overall vibration level with respect to acquisition points (experiment 1-A)



(a) Experiment 1-B



(b) Experiment 1-C

Fig. 17 Comparison of overall vibration level with respect to acquisition points (experiment 1-B, 1-C)

나타났으며 또한 단부에서 가진점의 위치변화에 따른 수진점의 응답차이도 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 특이한 사항은 일반적인 예상과는 달리 슬래브 중앙점보다는 단부와 중앙점의 이등분이 되는 수진점 2에서 조금 더 큰 진동레벨이 나타났다.

실험 1-B에 대한 overall vibration level 결과는 Table 3과 Fig. 17(a)에서 알 수 있듯이 발과 햄머에 의한 가진시 수진점 1에서 수진점 2로 전달되는 과정에서 12.72 dB ~ 12.99 dB 정도 증가했다. 수진점 2에서 수진점 3으로 전달시에는 -1.02 dB ~ -6.61 dB정도가 저감되었다. 이것은 전달되는 진동의 거리감쇠 및 수진점 2에서 수진점 3으로 전달되는 위치에 존재하는 전단벽체에 의한 영향으로 판단할 수 있다. 수진점 1에서 수진점 3으로 전달되는 진동의 차이는 6.11 dB ~ 11.97 dB 정도 증폭되었다. 이는 슬래브의 중앙부 가진시 가진된 슬래브의 고유주파수에 의한 응답이 인접슬래브에 대한 응답에 영향을 미치고 인접한 슬래브의 고유주파수에 의해서도 증폭되어 나타난 것으로 판단된다.

실험 1-C에 대한 overall vibration level 결과는 Fig. 17(b)에서 알 수 있듯이 실험 1-B의 양상과 비슷한 결과를 나타내었다. 특히 두 실험의 수진점 3의 결과는 Maxwell-Betti의 상반작용의 원리를 동적응답으로 일반화시킨 Rayleigh의 원리에 의해 이해할 수 있으며, 응답의 레벨 차이는 실험 1-B와 실험 1-C에 각각 가해진 가진원(발 뒤꿈치, 햄머)의 가진력에 의한 차이에서 비롯된 것으로 이해 할 수 있다.

3. 46평형 세대 진동측정 실험

3.1 대상 건물

구조형식은 철근콘크리트 전단벽식 구조이며 시공 중에 있는 건물로서 골조가 완성되고 바닥도 모르타르마감까지 된 상태이다. 철근콘크리트 설계강도는 21 MPa이다. Fig. 18에는 측정대상 건물의 대표적인 평면도와 슬래브 단면을 나타내었다. Fig. 19는 단위 세대 구조평면도를 나타낸다.

3.2 실험 방법

(1) Bed 1에서 거실로의 수직진동 전달(실험 2-A) 진동계측을 위한 가속도계는 Fig. 20과 같이 거실과 Bed 1사이의 벽체에 인접한 Bed 1 바닥슬래브

(수진점 1), 거실과 Bed 1사이의 벽체에 인접한 거실 바닥슬래브(수진점 2), 거실 바닥슬래브의 중앙부(수진점 3)에 설치하여 Bed 1에서 거실로 전달되는 수직진동을 측정하였다. 가진은 Bed 1의 바닥슬래브 중앙점에 하였다.

(2) 거실에서 Bed 1으로의 수직진동 전달(실험 2-B)

실험 2-A에서 언급한 순서의 역순으로 가속도계를 Fig. 21과 같이 거실과 Bed 1사이의 벽체에 인접한 거실 바닥슬래브(수진점 1), 거실과 Bed 1사이의 벽체에 인접한 Bed 1의 바닥슬래브(수진점 2), Bed 1의 중앙 바닥슬래브(수진점 3)에 설치하였다. 기타 실험방법은 실험 2-A의 방법과 동일하며, 가진은 거실 바닥슬래브 중앙부에 하였다.

3.3 실험결과 분석

2.5절의 내용에서 언급한 것과 동일한 샘플링, 평균화 및 윈도우 조건을 사용하여 분석하였다.

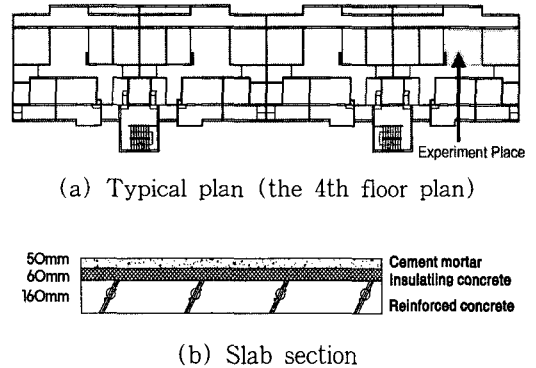


Fig. 18 Typical plan and slab section

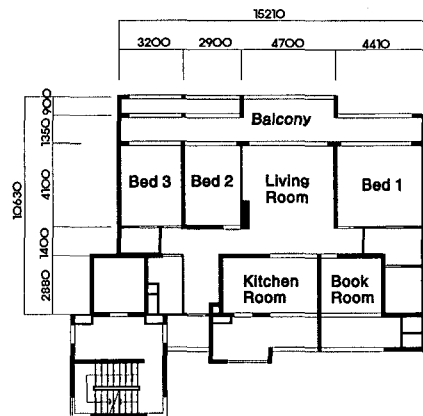


Fig. 19 Typical unit plan (46 py type)

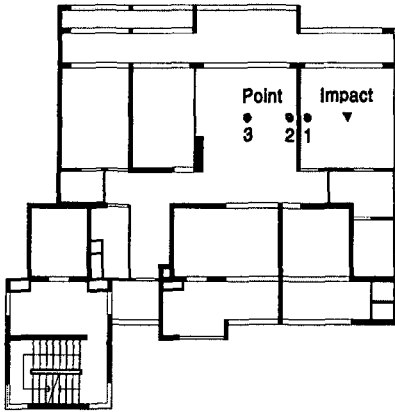


Fig. 20 Experiment 2-A

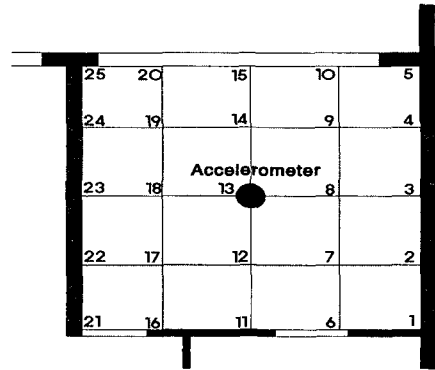


Fig. 22 Mesh of slab (Bed 1)

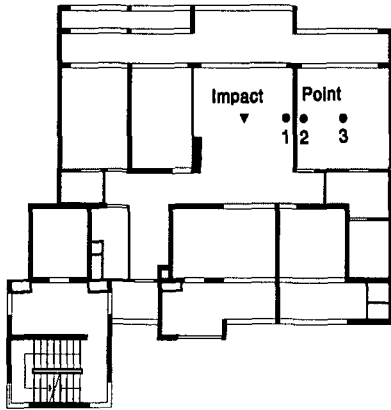


Fig. 21 Experiment 2-B

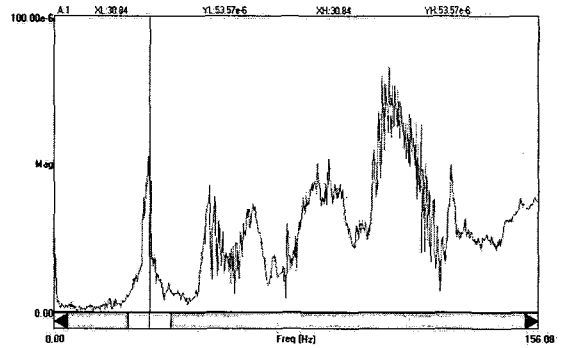


Fig. 23 Frequency response function (Bed 1 room)

Table 4 Natural frequency

| Mode | Frequency (Hz) Bed 1 room |
|------|------------------------------|
| 1 | 30.80 |
| 2 | 53.23 |
| 3 | 69.27 |
| 4 | 84.88 |
| 5 | 92.67 |

(1) 고유주파수

모드해석 실험을 실시하여 Bed 1 바닥슬래브의 고유주파수를 측정하였다. Fig. 22는 모드해석시 슬래브의 전달함수 측정을 위해 분할한 메쉬를 나타내며 Table 4는 실험결과를 나타낸다. Fig. 23은 대표적인 전달함수이다.

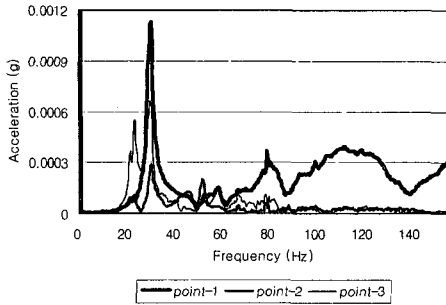
(2) 수평방향으로의 수직진동 전달 특성

가. 실험 2-A

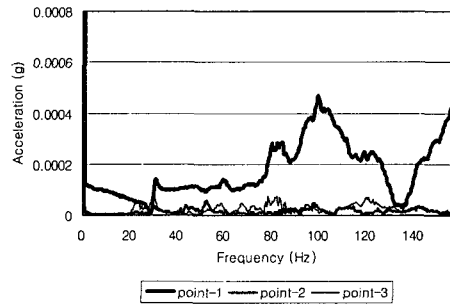
실험 결과에 대한 그래프를 Fig. 24 및 Fig. 25에 나타내었다. 발로 가진시 수신점 1, 2, 3 모두 1차 고유주파수 부근에서 큰 응답을 나타내었다. 수신점 1의 응답이 가장 크게 나타났으며 수신점 2, 수신점 3으로 전달되면서 고차 주파수의 응답이 크게 저감되었다. 수신점 3의 응답이 수신점 2의 응답보다 조금 더 크게 나타났다. 이것은 벽체에 인접된 슬래브의 단부(수신점 2)에서는 강성이 커서 응답이 저감되었으나 수신점 3은 거실 슬래브의 중앙부분에서는 슬래브의 고유주파수 및 Bed 1의 1차 고유주파수의 영향을 받아 증폭된 것으로 판단된다. 해머로 가진시에도 양상은 발로 가진시와 비슷한 경향을 나타내었다. 발로 가진시보다 상대적으로 고차주파수 영역에서 의 응답이 크게 나타났다.

나. 실험 2-B

실험에 대한 결과를 Fig. 26과 Fig. 27에 나타내었다. 발 뒤꿈치에 의한 가진의 경우 수신점 1의 응답

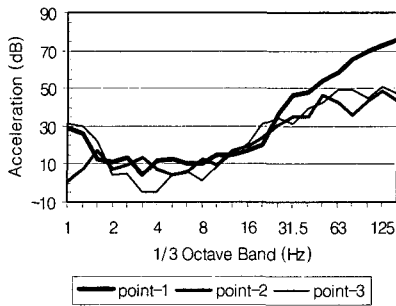


(a) Heel impact (F-B1-C)

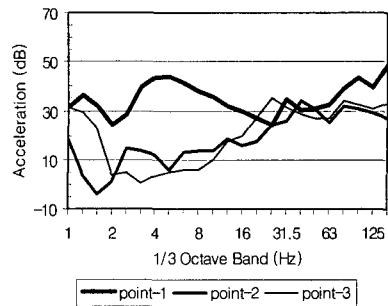


(b) Hammer impact (H-B1-C)

Fig. 24 Frequency response from bed 1 to Living room for excitation on center of bed 1 (experiment 2-A)

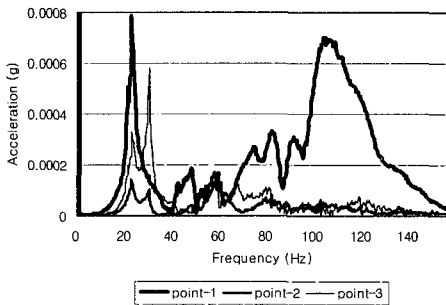


(a) Heel impact (F-B1-C)

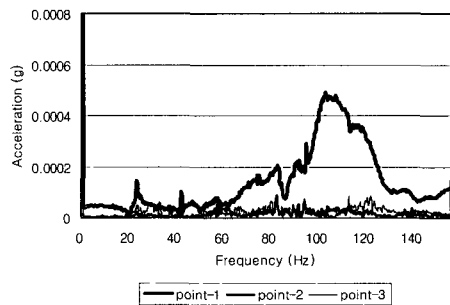


(b) Hammer impact (H-B1-C)

Fig. 25 1/3 Octave response from bed 1 to Living room for excitation on center of bed 1 (experiment 2-A)

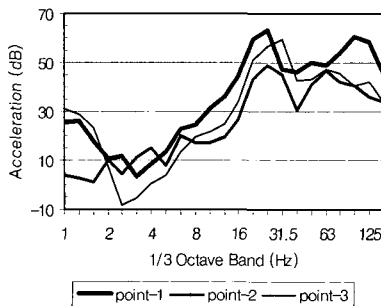


(a) Heel impact (F-L-C)

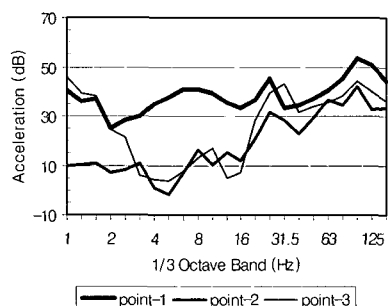


(b) Hammer impact (H-L-C)

Fig. 26 Frequency response from Living room to Bed 1 for excitation on living room (experiment 2-B)



(a) Heel impact (F-L-C)



(b) Hammer impact (H-L-C)

Fig. 27 1/3 Octave response from Living room to Bed 1 for excitation on living room (experiment 2-B)

은 실험 2-A의 경우와 같이 응답이 가장 크게 나타났다. 수진점 2, 수진점 3으로 전달되면서 고차주파수의 응답이 크게 저감되었다. 1차 고유주파수 영역에서의 응답에서 수진점 3의 응답이 수진점 2의 응답보다 좀 더 크게 나타났다. Bed 1의 1차 고유주파수 부근에서 가장 큰 응답을 나타내었다. 햄머에 의한 가진의 경우에도 발 뒤꿈치에 의한 가진의 경우와 유사한 응답을 나타내었으나 발로 가진시보다 상대적으로 고차주파수 영역에서의 응답이 크게 나타났다.

(3) 수평방향으로의 수직진동 전달 비교

Table 5는 각 가진 결과에 대한 overall vibration level을 나타내고 있으며 Fig. 28은 결과를 그림으로 나타낸 것이다.

실험 2-A에 대한 overall vibration level 결과는 Fig. 28(a)에서 알 수 있듯이 발 뒤꿈치 및 햄머에 의한 가진의 경우 수진점 1에서 수진점 2로 진동이 전달되면서 -13.59 dB ~ -25.53 dB정도 응답이 감소하였다. 이것은 전달되는 진동의 거리감쇠 및 수진점 1에서 수진점 2로 전달되는 위치에 존재하는 전단벽체에 의한 영향으로 판단할 수 있다. 수진점 2에서 수진점 3으로의 전달시에는 2.72 dB ~ 3.37 dB 정도 다시 증가하였다. 이것은 Bed 1 슬래브의 고유주파수 및 거실의 고유주파수에 의한 영향으로 볼 수 있다. 수진점 1과 수진점 3에서의 응답의 차이는 -10.87 dB ~ -22.16 dB 로 나타나 전단벽체의 유무

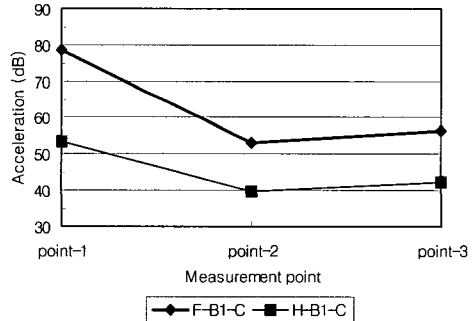
가 인접슬래브의 응답에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

실험 2-B에 대한 overall vibration level 결과는 Fig. 28(b)에서 알 수 있듯이 실험 2-A 실험결과와 유사한 양상을 나타내었다. 특히 두 실험의 수진점 3의 결과는 앞의 실험 1-B, 실험 1-C의 비교에서도 언급하였듯이 Maxwell-Betti의 상반작용의 원리를 동적응답으로 일반화시킨 Rayleigh의 원리에 의해 이해할 수 있으며, 응답의 레벨 차이는 실험 2-A와 실험 2-B에 각각 가해진 가진원(발 뒤꿈치, 햄머)의 가진력에 의한 차이에서 비롯된 것으로 이해할 수 있다. 발 뒤꿈치 및 햄머에 의한 가진의 경우 수진점 1에서 수진점 2로 진동이 전달되면서 -12.45 dB ~ -13.70 dB정도 응답이 감소하였다. 이것은 전달되는 진동의 거리감쇠 및 수진점 1에서 수진점 2로 전달되는 위치에 존재하는 전단벽체에 의한 영향으로 판단할 수 있다. 수진점 2에서 수진점 3으로의 전달시에는 6.47 dB ~ 8.58 dB정도 다시 증가하였다. 이것은 거실 바닥슬래브의 고유주파수 및 Bed

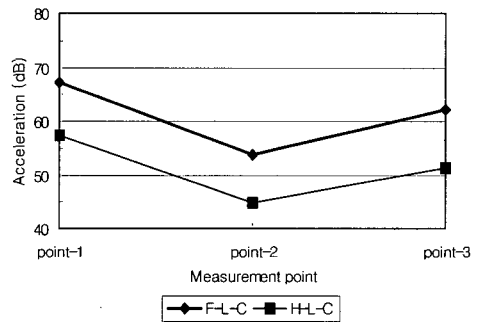
Table 5 Overall Vibration Level (dB, RE. 10⁻⁶g)

| Experiment | Excitation source-place-point* | Accelerometer | | |
|------------|--------------------------------|---------------|---------|---------|
| | | point-1 | point-2 | point-3 |
| | | ① | ② | ③ |
| 2-A | F-B1-C | 78.37 | 52.84 | 56.21 |
| | | -25.53 | 3.37 | -22.16 |
| 2-A | H-B1-C | 53.25 | 39.66 | 42.38 |
| | | -13.59 | 2.72 | -10.87 |
| 2-B | F-L-C | 67.33 | 53.63 | 62.21 |
| | | -13.70 | 8.58 | -5.12 |
| 2-B | H-L-C | 57.33 | 44.88 | 51.35 |
| | | -12.45 | 6.47 | -5.98 |
| Ref. | | 1 Hz~156 Hz | | |

* F : heel drop B1 : Bed 1 room C : Center of slab
 H : Impact hammer L : Living room

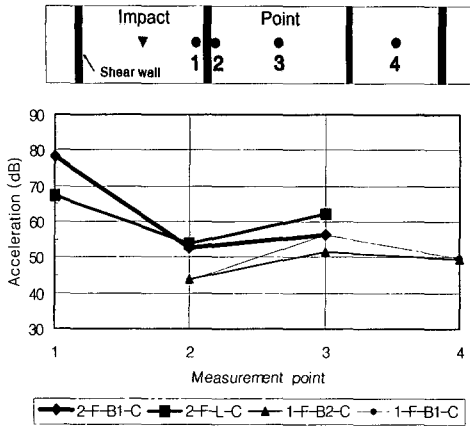


(a) Experiment 2-A

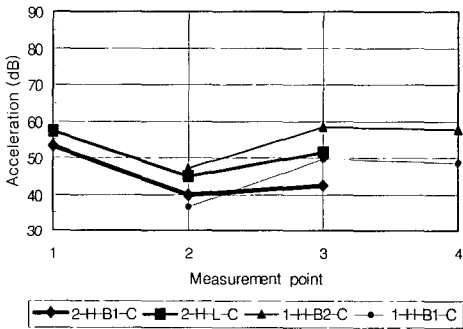


(b) Experiment 2-B

Fig. 28 Comparison of overall vibration level with respect to aquisition points (experiment 2-A, 2-B)



(a) Heel impact



(b) Hammer impact

Fig. 29 Comparison of overall vibration level with respect to acquisition points for two excitation sources

1 바닥슬래브의 고유주파수에 의한 영향으로 볼 수 있다. 수진점 1과 수진점 3에서의 응답의 차이는 -5.12 dB ~ -5.98 dB 로 나타나 실험 2-A의 결과와 마찬가지로 전단벽체의 유무가 인접슬래브의 응답에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

4. 대상건물에 대한 결과 비교 분석

25평형과 46평형에 대한 수평방향 수직진동 실험 결과를 절대적인 값으로 비교하는 것은 무의미하나 진동전달에 대한 경향을 파악하는 데는 도움을 줄 수 있을 것이다. 이에 두 대상 건물의 진동전달 경로에 전단벽체에 존재하는 실험결과를 토대로 발 뒤꿈치에 의한 가진 결과와 임팩트 햄머에 의한 가진 결과를 분리하여 Fig. 29에 나타내었다.

Fig. 29(a)에서 알 수 있듯이 발 뒤꿈치에 의한 가

진을 받은 수진점 1에서의 응답이 가장 크게 나타나는 것을 알 수 있으며, 수진점 2에서의 응답은 상대적으로 수진점 1에 비해 크게 저감되는 양상을 나타내었다. 그러나 슬래브의 중앙부에 위치한 수진점 3에서는 수진점 2보다는 증폭하는 양상을 나타내었다. 이는 수진점 3의 슬래브 고유주파수의 영향과 가진원에 의해 유발된 수직진동 전달특성에 의해 증폭된 것이다. 수진점 4는 수진점 3에 비해 저감되었으나 수진점 2에 비해서는 더 큰 응답을 나타내고 있다. 이것은 전단벽식 아파트에서 인접해 있는 세대간에 발생할 수 있는 진동전달에 대한 특성을 보여준다고 할 수 있다.

Fig. 29(b)에서 알 수 있듯이 임팩트 햄머에 의한 가진을 받은 수진점 1에서의 응답이 가장 크게 나타나는 것을 알 수 있으며, 전체적인 진동전달 특성은 발 뒤꿈치에 의한 가진의 특성과 유사하게 전개되는 양상을 나타내었다.

5. 결론

전단벽식 철근콘크리트 건축구조물의 수평방향 수직진동 전달 특성을 파악하기 위하여 평형이 다른 전단벽식 건축구조물 2개소를 선정하여 수직진동 전달 실험을 실시하였다. 실험에 의한 결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었으며 인접한 세대에 대한 수직진동의 전달에 대한 기초자료로서 도움이 될 것으로 생각한다.

(1) 수평방향으로 전달되는 수직진동은 가진원에 의해 충격된 바닥슬래브의 고유주파수에 의한 영향이 인접된 바닥슬래브의 고유주파수의 영향과 더불어 수직진동 응답에 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있었다.

(2) 수직진동이 수평으로 전달되는 과정에서 전단벽체의 존재로 인하여 진동이 저감되는 것으로 나타났다. 응답 측정위치(단부, 중앙부)에 따라 응답의 저감 정도에 차이를 나타내었다.

(3) 전단벽체에 인접한 위치에서의 바닥슬래브에 대한 가진보다는 바닥슬래브의 중앙점에서의 가진이 인접 바닥슬래브에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이것은 전단벽식 아파트에서 인접해 있는 세대간에 발생할 수 있는 진동전달에 대한 특성을 보여준다고 할 수 있다.

(4) 슬래브의 마감정도에 따른 영향의 차이는 이 연구에서는 확인할 수 없었으며, 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

후 기

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

참 고 문 헌

- (1) Chun, H. M., 1997, "A Study on the Prediction Model for Vibration of Structure near Railways", PhD thesis, Yonsei University, Korea.
- (2) Chun, H. M. and Hong, K. P., 1999, "An Experimental Study on the Vertical Vibration Transferred from Ground to Building", Journal of the AIK, Vol. 15, No. 11 pp. 37 ~ 44.
- (3) Chun, H. M. and Hong K. P., 2000, "A Development of Prediction Program for Vertical Transfer Vibration of R/C Structure due to Traffic Loads", Proceedings of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering the 10th Anniversary Conference, pp. 949~954.
- (4) Chun, H. M., Ro, J. H. and Hong, K. P., 2002, "A Development of the Vertical Vibration Prediction Program for Floors of the Shear bearing Structures due to Traffic Loads", Journal of the AIK, Vol. 18, No. 7, pp. 19~26.
- (5) Chun, H. M. and Yoo, S. M., 2003, "The Modelling of Floor in the Shear Wall Building Structures to Predict Vertical Vibration Level of the Slab", Journal of the AIK, Vol. 19, No. 5, pp. 11~18.
- (6) Kim, H. G., Kim, M. J. and Oh, Y. K., 2003, "Assessment of Vibration Transmissibility for Prediction of Heavy Floor Impact Sound", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 13, No. 6, pp. 415~422.
- (7) Chun, H. M., 2004, "An Experimental Study on the Vertical Vibration Transfer According to Rahmen Building Structures due to Train Loads", Proceedings of the COSEIK Conference, Vol. 17, No. 2, pp. 469~475.
- (8) SignalCalc Mobilyzer manuals, 2000, Data Physics Corporation.
- (9) The STAR system manuals, 2001, Spectral Dynamics, Inc.
- (10) Ewing, D. J., 1984, Modal Testing : Theory and Practice, Research Studies Press Ltd., England.