

RC조 건축물의 구조시스템에 따른 수직진동 전달 특성 비교

Characteristics of Vertical Vibration Transfer according to RC Structure Systems

전호민†

Chun, Ho Min

Key Words : fundamental frequency(고유진동수), 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 on the rahmen building structures and the shear wall building structures. In order to examine the characteristics of vertical vibration, the modal test and the heel-drop excitation experiments were conducted several times on the two type 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 and are effected the shear wall on the path of the vibration transfer.

1. 서론

협진기기와 같은 진동에 민감한 장치뿐만 아니라 건물내에 거주하는 사람에게 영향을 미치는 인자가운데 최근들어 관심이 증폭되고 있는 것은 진동과 소음이다. 이 가운데 진동을 저감시키는 방법 가운데 적절한 구조계획 및 구조설계를 통해 해결할 수 있는 방법을 사용하는 것이 가장 효율적인 방법이라 할 수 있으며, 이와 관련된 연구는 최근에 일부 수행되고 있다.^{(3),(4),(6),(7),(8)}

본 연구는 건물에 가해지는 가진원이 건물로 진입되어 저층부에서 상층부로 수직진동이 전달되면서 나타나는 각 부재의 진동 특성의 변화에 대한 최근의 연구가운데 라멘조 건축구조물과 전단벽식 건축구조물에 대한 수직진동의 수평방향 진동전달 특성 연구결과^{(7),(8)}를 토대로 정리하여 비교 분석하였다. 본 원고의 내용은 기연구결과^{(7),(8)}의 일부임을 밝히며, 발 뒤꿈치 가진원에 대한 내용으로 국한하여 라멘조 및 전단벽식 구조물의 수평방향 진동전달 특성을 기술하였다.

1.1 연구의 내용 및 방법

라멘구조물의 수직진동에 대한 수평방향 진동전달 특성 변화를 측정하기 위하여 건물 3개소를 대상으로 진동을 측정하였으며, 전단벽식 구조물은 건물 2개소를 대상으로 하여 진동을 측정하였다.^{(7),(8)} 가진원은 발 뒤꿈치에 의한 가진을 사용했으며 하층부에서 상층부로 또는 상층부에서 하층부로 전달된 수직진동이 같은 층에서 수평방향으로 전달되는 진동 특성을 관찰하였다. 라멘구조물에서는 콘보, 슬래브, 작은보로 전달되는 과정을 연구했으며, 전단벽식 구조물에서는 안방(Bed 1)과 거실사이의 슬래브에 대하여 진동 전달 특성에 대한 실험을 실시하였다.

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. 본 연구에서는 연구원 1인(70 kg)의 발 뒤꿈치에 의해 가진을 실시하였다.

1.2 실험 장비

가속도계를 이용한 자료의 획득은 실시간 처리 동적신호 분석기인 DP440을 이용하여 자료를 저장하였다.

† 초당대학교 건축학과

E-mail : hm2095@chodang.ac.kr

Tel : (061) 450-1285, Fax : (061) 453-4969

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	Tackwang	TFR-70	3
Digital camera	Olympus	C3000 zoom	1

2. 라멘조 구조물의 수직진동 전달 특성⁽⁸⁾

2.1 대상건물

대상건물의 부재치수를 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Structure Member List

Building	Girder (mm)	Beam (mm)	Column (mm)	Slab(mm)		f _c (MPa)
				THK	width×length	
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

2.2 실험방법

진동계측을 위한 가속도계는 다음 Fig. 1과 같이 설치하였으며 수평방향으로 전달되는 수직진동을 측정하였다. 기둥 바로 옆의 큰 보에 가진된 진동은 슬래브를 통해 작은 보로 전달된다. 이에 대한 수직진동의 수평방향 전달 특성을 파악하고자 발 뒤꿈치에 의해 가진하는 방법을 사용하여 비교분석하였다. 각 실험은 5회씩 실시하였으며 1회당 5번 가진한 결과를 평균화(averaging)하여 나타내었다.

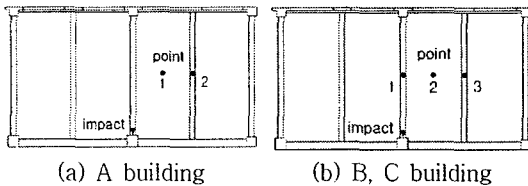


Fig. 1 Experimental Method

큰 보, 작은 보와 슬래브의 고유진동수는 대상건물 3층에서 실험모드해석(가속도계 고정, 햄머 이동 가진 실험방법)을 실시하여 구하였다. 동적신호분석기(DP440)⁽⁹⁾에서 측정된 전달함수(Transfer Response Function)를 STAR⁽¹⁰⁾프로그램에서 결과를 분석하였다. (Table 3, Table 4, Table 5)

Table 3 Fundamental frequency (A building)

Mode	Girder		Beam		Slab	
	Frequency (Hz)	Damping (%)	Frequency (Hz)	Damping (%)	Frequency (Hz)	Damping (%)
1	17.10	3.34	12.46	2.70	12.34	2.47
2	21.35	2.09	21.19	2.22	21.45	2.94
3	33.05	2.26	29.01	1.66	28.66	1.03

Table 4 Fundamental frequency (B building)

Mode	Girder		Beam		Slab	
	Frequency (Hz)	Damping (%)	Frequency (Hz)	Damping (%)	Frequency (Hz)	Damping (%)
1	18.35	3.08	17.14	3.09	17.17	2.91
2	34.08	2.11	22.78	-	22.81	2.42
3	40.40	-	33.74	4.51	35.35	3.07

Table 5 Fundamental frequency (C building)

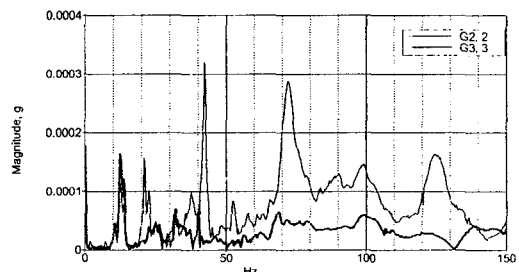
Mode	Girder		Beam		Slab	
	Frequency (Hz)	Damping (%)	Frequency (Hz)	Damping (%)	Frequency (Hz)	Damping (%)
1	21.66	2.81	22.02	2.72	22.02	2.72
2	28.70	2.88	47.93	2.13	56.31	2.02
3	43.36	4.50	56.35	1.92	75.69	2.24

2.3 수직진동의 수평방향 진동전달 특성

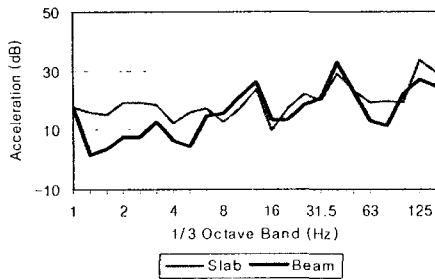
(1) A건물

Fig. 2에서 알 수 있듯이 발 뒤꿈치에 의한 가진시 진동수 성분이 크게 저감된 것을 알 수 있다. 그러나 슬래브 및 작은 보의 고유진동수 위치에서 공진이 나타났으며 발 뒤꿈치에 의한 가진력의 지배진동수는 저진동수 영역에 걸쳐있음을 알 수 있다.

슬래브 응답의 경우 1차, 2차 고유진동수에서 증폭이 발생하였으며, 작은 보에서는 1차 고유진동수에서 큰 증폭이 나타났다. 이는 수직진동이 수평방향으로 전달되면서 고차진동수 성분이 저차진동수 성분보다 큰 폭으로 저감됨을 알 수 있다.



(G2,2 : Slab, G3,3 : Beam)
(a) Frequency response



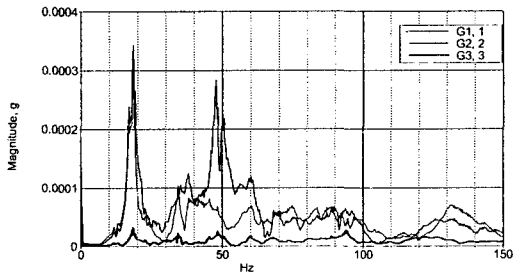
(b) 1/3 Octave response

Fig. 2 Vibration response (A building)

(2) B건물

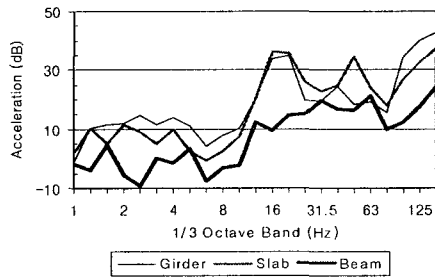
Fig. 3에서 알 수 있듯이 큰 보에서 슬래브를 거쳐 작은 보로 전달되는 과정에서 에너지가 감소된 것을 알 수 있으며 각 부재의 고유진동수에 의해 진폭이 차이를 나타내고 있다. (Table 4 참조)

또한 70 Hz이상의 고진동수 성분은 큰보, 슬래브, 작은 보의 순서로 계속 저감되는 것으로 나타났으나 저진동수 영역에서는 고유진동수의 영향을 크게 받는 것으로 보인다.



(G1,1 : Girder, G2,2 : Slab, G3,3 : Beam)

(a) Frequency response



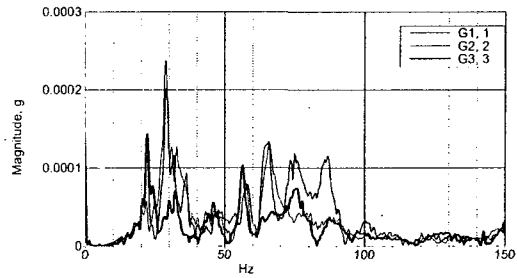
(b) 1/3 Octave response

Fig. 3 Vibration response (B building)

(3) C건물

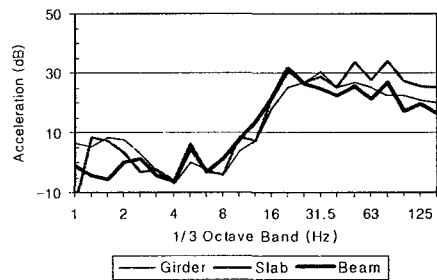
C건물에 대한 수평방향 수직진동의 전달특성은 Fig. 4에서 알 수 있듯이 다른 대상건물과 유사한 특성을 나타내었다.

전체진동수 영역에서 수평방향으로 진행되면서 진동가속도가 저감되는 것으로 나타났으나 저진동수 영역에서는 각 부재의 고유진동수의 영향으로 큰 저감은 나타나지 않았다.



(G1,1 : Girder, G2,2 : Slab, G3,3 : Beam)

(a) Frequency response



(b) 1/3 Octave response

Fig. 4 Vibration response (C building)

2.4 건물별 수평방향 진동전달 비교

전체 진동수 영역에 걸친 진동레벨을 파악하여 비교해 보면 이에 대한 결과를 더욱 뚜렷이 알 수 있다. Table 6 과 Fig. 5는 각 가진 결과에 대한 Overall Vibration Level을 나타내고 있다.

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

Building	Excitation source-place-point	Girder ①	Slab ②	Beam ③
		②-①	③-②	③-①
A	F-G-E		37.48	35.95
			-1.53	
B	F-G-E	45.79	43.10	28.75
		-2.69	-14.35	-17.40
C	F-G-E	35.67	39.68	35.75
		4.01	-3.93	0.08
Ref.		1 Hz-156 Hz		

* F : Heel drop G : Girder E : End of Girder

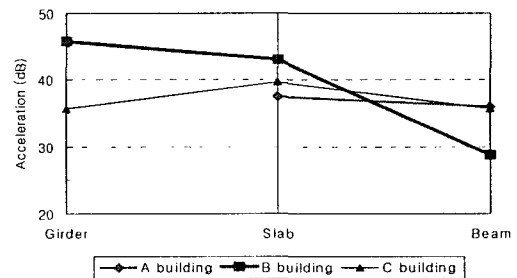


Fig. 5 Comparison of overall vibration level with respect to three buildings(rahmen structures)

B, C 대상건물의 경우 큰보에서 작은보로 전달되는 양상이 다르게 나타났다. B건물은 -2.69 dB 감소했으나 C 건물의 경우 4.01 dB 증가한 것으로 나타났다. 이에 대해서는 추가적으로 대상건물을 확보하여 실험을 통해 양상을 구명해야 할 것으로 생각된다. 그러나 슬래브 중앙부에서 작은보로 전해지는 전달은 응답의 차이는 있으나 저감되는 것으로 나타났다. A건물은 -1.53 dB, B건물은 -14.35 dB, C건물은 -3.93 dB만큼 저감되는 것으로 나타나 B건물이 가장 큰 저감을 나타내었다. 이것은 큰보에 가진된 발 뒤꿈치 충격이 클 경우 상대적으로 더 큰 진동 저감을 나타낸다는 것을 알 수 있다.

3. 전단벽식 구조물의 수직진동 전달 특성⁽⁷⁾

3.1 대상건물

대상건물의 구조형식은 철근콘크리트 전단벽식 구조이며 철근콘크리트 설계강도는 21 MPa 이다. Fig. 6은 대상건물 슬래브의 부재치수를 나타낸다.

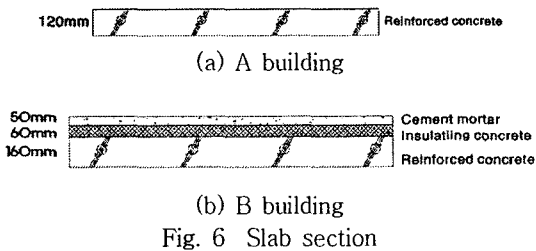


Fig. 6 Slab section

3.2 실험방법

(1) A건물

A건물에서 진동계측을 위한 가속도계는 Fig. 7(a)와 같이 안방(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. 가진은 Bed 1의 바닥슬래브 중앙점 3회씩 가진하였다.

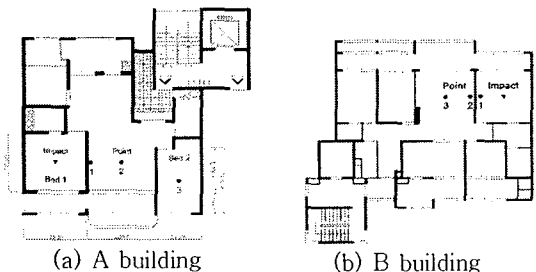


Fig. 7 Experimental Method

(2) B건물

B건물에서 진동계측을 위한 가속도계는 Fig. 7(b)와 같이 거실과 Bed 1사이의 벽체에 인접한 Bed 1 바닥슬래브

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

3.3 수직진동의 수평방향 진동전달 특성

(1) A건물

진동응답에 영향을 미치는 슬래브의 고유진동수를 구하기 위하여 3층의 Bed 1, 거실, Bed 2에서 각각 모드해석 실험을 실시하였다. 동적신호 분석기 DP440⁽⁹⁾에서 측정 한 전달함수(Transfer Response Function)를 Star프로그램⁽¹⁰⁾에서 결과를 분석하였다.

Table 7 Fundamental 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

실험결과에 대한 그래프를 Fig. 8에 나타내었다. 발 뒤꿈치에 의한 가진의 경우 수진점 1의 응답은 전체 영역에 걸쳐 아주 작은 응답을 나타내었다. 수진점 2의 응답은 거실의 1차 고유진동수에서도 큰 응답을 나타내었으나 2차 고유진동수 부근에서 더 큰 응답을 나타내었다. 이것은 Bed 1의 가진에 의해서 Bed 1의 1차 고유진동수의 영향에 의해 증폭되어 전달된 진동의 영향으로 판단된다. 수진점 3에서도 Bed 2의 고유진동수 영향보다 가진원의 지배진동수의 영향이 더 큰 응답이 나타났다.

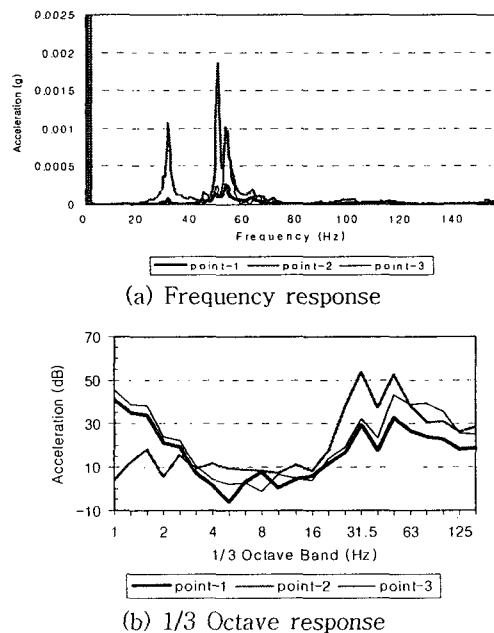


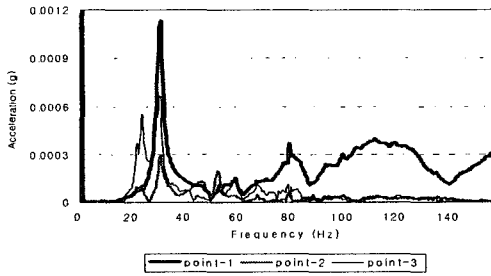
Fig. 8 Vibration response (A Building)

(2) B건물

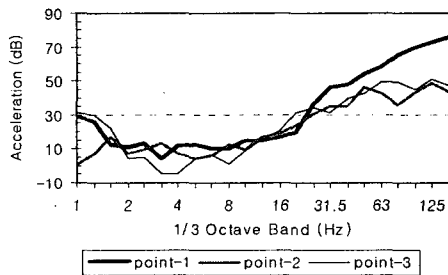
모드해석 실험을 실시하여 Bed 1 바닥슬래브의 고유진동수를 측정하였으며 다음 Table 8과 같다.

Table 8 Fundamental frequency

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



(a) Frequency response



(b) 1/3 Octave response

Fig. 9 Vibration response (B Building)

실험 결과에 대한 그래프를 Fig. 9에 나타내었다. 발 뒤꿈치로 가진시 수신점 1, 2, 3 모두 1차 고유진동수 부근에서 큰 응답을 나타내었다. 수신점 1의 응답이 가장 크게 나타났으며 수신점 2, 수신점 3으로 전달되면서 고차 진동수의 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 고유진동수 및 Bed 1의 1차 고유진동수의 영향을 받아 증폭된 것으로 판단된다.

3.4 수평방향으로의 수직진동 전달 비교

전체 진동수 영역에 걸친 진동레벨을 파악하여 각 실험 결과를 비교해 보면 더욱 뚜렷이 경향을 비교해 볼 수 있다. Table 9는 각 가진 결과에 대한 Overall Vibration Level을 나타내고 있으며 Fig. 10은 이러한 결과를 그림으로 나타낸 것이다.

Table 9 Overall Vibration Level (dB, RE. 10⁻⁴g)

Building	Excitation source-place-point*	Accelerometer		
		point-1 ①	point-2 ②	point-3 ③
		②-①	③-②	③-①
A	F-B1-C	43.68	56.40	49.79
		12.72	-6.61	6.11
B	F-B1-C	78.37	52.84	56.21
		-25.53	3.37	-22.16
Ref.		1 Hz-156 Hz		

* F : heel drop B1 : Bed 1 room C : Center of slab

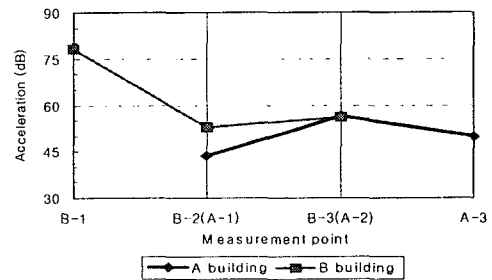


Fig. 10 Comparison of overall vibration level with respect to two buildings(shear wall structures)

A건물에 대한 Overall Vibration Level 결과는 Table 9와 Fig. 10에서 알 수 있듯이 가진시 수신점 1에서 수신점 2로 전달되는 과정에서 12.72 dB 정도 증가했다. 수신점 2에서 수신점 3으로 전달시에는 -6.61 dB 정도가 저감되었다. 이것은 전달되는 진동의 거리감쇠 및 수신점 2에서 수신점 3으로 전달되는 위치에 존재하는 전단벽체에 의한 영향으로 판단할 수 있다. 수신점 1에서 수신점 3으로 전달되는 진동의 차이는 6.11 dB 정도 증폭되었다. 이는 슬래브의 중앙부 가진시 가진된 슬래브의 고유진동수에 의한 응답이 인접슬래브에 대한 응답에 영향을 미치고 인접한 슬래브의 고유진동수에 의해서도 증폭되어 나타난 것으로 판단된다.

B건물에 대한 Overall Vibration Level 결과는 Fig. 10과 Table 9에서 알 수 있듯이 발 뒤꿈치에 의한 가진의 경우 수신점 1에서 수신점 2로 진동이 전달되면서 -25.53 dB 정도 응답이 감소하였다. 이것은 전달되는 진동의 거리감쇠 및 수신점 1에서 수신점 2로 전달되는 위치에 존재하는 전단벽체에 의한 영향으로 판단할 수 있다. 수신점 2에서 수신점 3으로의 전달시에는 3.37 dB 정도 다시 증가하였다. 이것은 Bed 1 슬래브의 고유진동수 및 거실의 고유진동수에 의한 영향으로 볼 수 있다. 수신점 1과 수신점 3에서의 응답의 차이는 -22.16 dB로 나타나 전단벽체의 유무가 인접슬래브의 응답에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

라멘형식 철근콘크리트 건축구조물 수직진동의 수평방향 전달 동특성을 파악하기 위하여 라멘형식의 건물을 3개소에 대하여 모드해석 실험 및 수직진동의 수평방향 전달실험을 실시하였다. 전단벽식 철근콘크리트 건축구조물에 대해서는 평형이 다른 전단벽식 건축구조물 2개소를 선정하여 수직진동 전달실험을 실시하였다. 실험에 의해 측정된 결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 라멘구조 및 전단벽식 구조에 대한 수평방향의 수직진동은 발 뒤꿈치에 의한 가진의 경우 지배진동수는 저진동수 영역에 걸쳐있음을 알 수 있다.

(2) 대체적으로 거리에 따른 고차진동수 영역이 더 크게 저감되는 것으로 나타났으며 저진동수 영역에서는 각 부재의 고유진동수에 의해 진동이 증폭되는 현상으로 인해 상대적으로 더 크게 나타났다.

(3) 수평방향으로 전달되는 수직진동은 가진원에 의해 가진된 부재의 고유진동수에 의한 영향이 인접된 부재의 고유진동수의 영향과 더불어 수직진동 응답에 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있었다.

(4) 라멘구조의 경우 기둥을 통해 전달된 수직진동은 슬래브에서 작은보로 전달되면서 저감되는 양상을 나타내며, 전단벽식 구조의 경우 수평으로 전달되는 과정에서 전단벽체의 존재로 인하여 진동이 저감되는 것으로 나타났다.

후 기

이 논문은 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구의 일부임

(R05-2003-000-11968-0)

참 고 문 헌

(1) Chun, H. M., 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.

(2) Chun, H. M., Hong K. P., 2000, "A Development

of Prediction Program for Vertical Transfer Vibration of R/C Structure due to Traffic Loads", Proceedings of KSNVE the 10th Anniversary Conference, pp. 949~954.

(3) Chun, H. M., Ro, J. H., 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.

(4) Chun, H. M., 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.

(5) Kim, H. G., Kim, M. J., Oh, Y. K., 2003, "Assessment of Vibration Transmissibility for Prediction of Heavy Floor Impact Sound", Transactions of the KSNVE, Vol. 13, No. 6, pp. 415~422.

(6) 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.

(7) Chun, H. M., 2006, "An Experimental Study on the Vertical vibration Transfer in Horizontal Way according to Shear Wall Building Structures due to Exciting Vibration Forces", Transactions of the KSNVE, Vol. 16, No. 3, pp. 270~282.

(8) Chun, H. M., 2006, "An Experimental Study on the Characteristics of Vertical Vibration Transfer according to Rahmen Building Structures due to Exciting Vibration Forces". Journal of the AIK, Vol. 22, No. 4, pp. 3~10.

(9) SignalCalc Mobilyzer manuals, 2000, Data Physics Corporation.

(10) The STAR system manuals, 2001, Spectral Dynamics, Inc.

(11) Ewing, D. J., 1984, Modal Testing: Theory and Practice, Research Studies Press Ltd., England.