

벽식구조 아파트의 고유진동수 측정에 관한 연구

◦ 김하근*, 김흥식**, 천영수***, 김명준*

Measurement of First Natural Frequency in Apartments with Shear Wall

Ha-Geun Kim, Heung-Sik Kim, Young-Soo Chun, Myung-Jun Kim

ABSTRACT

This study aims to suggest the basic data for structural safety assessment and design considering building dynamic characteristics. For this purpose, ambient vibration measurement was practiced after studying international standards dealing with vibration measurements such as ISO, DIN and so on. Various types of situation and condition which help search the building natural frequencies through the field measurements were proposed.

1. 서론

최근 건축물이 대형화·고층화됨에 따라 이들 구조물에 대한 안전성 요구가 증대되고 있으며, 근래에 발생한 성수대교나 삼풍백화점의 붕괴 등 대형 참사를 교훈으로 신도시와 같은 대단위 건설이나 고층건물, 교량, 댐 또는 원자력발전소와 같은 큰 크리트 구조물에 대한 안전성 여부가 중요한 이슈로 제기되고 있다.

특히 지진 또는 동적하중을 받는 구조물에 대한 안전성 검토시에 구조물의 설계용 탄성 가속도 응답 스펙트럼을 나타내는 동적계수는 구조물의 고유진동수와 밀접한 관계가 있다. 따라서 본 연구에서는 합리적인 구조 설계 및 구조물의 안전성 판

단을 위한 기초자료를 마련코자 실제 아파트 건물의 고유진동수를 현장에서 측정하고자 한다. 이를 위해 각 국의 미진동 측정방법을 고찰한 후 얻어진 측정방법을 토대로 본 연구에 적합한 측정 주파수 대역, 분석시 해상도 등을 설정한 후 4개의 건물에 대하여 고유진동수를 측정하였다.

2. 조사대상

본 연구에서 개발중인 시스템의 현재 성능을 파악하고 향후 진동 신호 분석시 편리한 기능 등을 보완할 뿐만 아니라 진동측정방법을 정립하기 위해 경기도 성남시 분당구 소재 현장 두 장소와 인천 삼산 현장에서 건물 진동을 측정하였다.

경기도 성남시 분당구 소재 현장은 약 12층과 27층 아파트 건물이며, 인천삼산 현장의 경우는 20층 건물로서 일반적으로 많이 건설되고 있는 형태의 판상형 아파트이다.

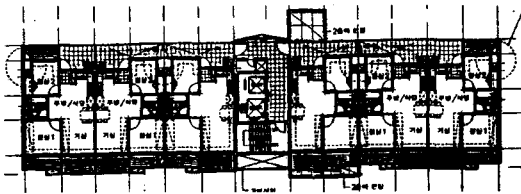
* 정희원, 대한주택공사 선임연구원

** 정희원, 대한주택공사 환경진화연구센터장, 수석연구원

*** 정희원, 대한주택공사 연구원

<표 1> 측정대상 건물의 제원

구분	층수	단위 세대 크기(m ²)	준공년도	구조 형식	기타
분당구 K아파트	12층	49	1995.	벽식 구조	복도식
분당구 D아파트	27층	144	1995.	상동	계단식
인천삼산 K-205 아파트	20층	49	2000.	상동	복도식
인천삼산 K-402 아파트	20층	59	2000.	상동	계단식



[그림 1] 측정대상 아파트 예

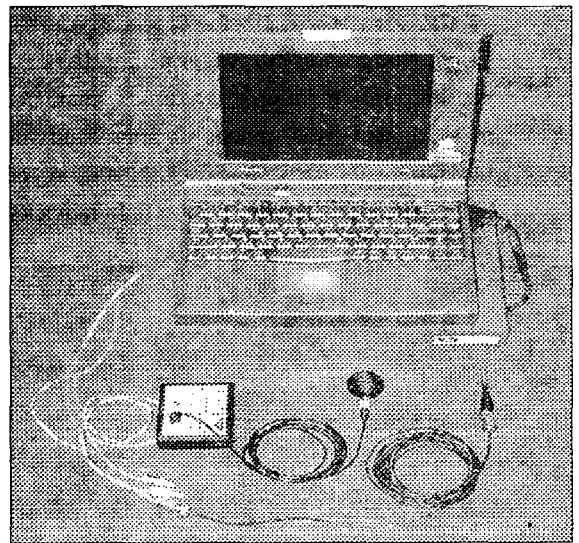
3. 측정장치

상시 미진동 측정에 의한 저주파 진동 특성의 해석을 수행하기 위해서는 먼저 측정 대상 및 조건과 목적으로 하는 측정요소에 적합하도록 측정 시스템이 구축되어야 한다.

상시 미진동에 의한 구조물의 진동 측정과 분석은 어떤 일정 시간동안 연속된 일련의 신호를 측정하고, 최종적으로 주파수영역(Frequency Domain)에서 구조물의 고유주기 등을 결정하기 위한 해석이 수행된다. 본 연구에서는 시간영역에서 일정 시간 동안 신호를 저장한 후 풍하중에 의한 건물진동이 잘 나타난 구간에 대해 FFT 분석기법에 의

해 주파수 영역에서 건물의 고유 주파수를 구하는 방식을 선택하였다. 건물 진동 측정을 위하여 본 연구에서는 (주)에스브이에서 제공된 센서(CB31), Power Supply 및 Amplifier Unit(O37) 및 다채널 데이터 수집/분석기(PCI1616), 컴퓨터 등을 사용하였다.

건물의 동적응답을 수집하는 가장 기본적인 기기는 센서(Sensor)로서, 본 연구에서는 커퍼시타입의 가속도계를 사용하였다. 이 가속도계는 0 Hz에서 30kHz 까지 우수한 선형성을 가지는 동적범위(Dynamic Range)를 갖고 있으므로 동 주파수 범위 내에서 신뢰성 있는 신호측정이 가능하다.



[그림 2] 진동 측정기기 사진

측정에 사용된 파워서플라이는 가로 5cm×세로 5cm×높이 2cm 인 소형으로서 측정이 극히 간편하고 케이블 등에 의한 전기노이즈를 최소화하고 신호대 잡음 비율(Signal-to-Noise ratio)을 극대화하는 기능을 갖고 있다. 고층건물의 각 층에서 진동을 측정하기 위해서는 많은 신호 전송 케이블이 필요하며, 이 케이블의 전기저항으로 인하여 노이즈가 발생할 수도 있게 된다. 본 측정기기 구성시에는 약 30m이상의 케이블에서 발생할 수도 있는 노이즈를 최소화하기 위해 1G당 0.5V의 커퍼시타

타입의 진동센서를 사용하였으며, 향후에는 1V의 진동센서를 사용하여 케이블 전기 노이즈 영향을 최소화 하고자 한다.

또한 60Hz 부근의 전원 노이즈를 최소화하기 위해 Low Pass Filter를 사용하였다. 특히 본 측정상비는 하드웨어적인 Low Pass Filter 뿐만 아니라 Soft Ware 측면에서 Low Pass Filter, High Pass Filter가 있어 원하는 신호를 쉽게 얻을 수 있도록 구성되어 있다.

4. 측정방법

본 측정의 목적은 측정 대상 건물이 바람에 의해 수평적으로 진동하는 량을 파악하여 건물의 고유진동수를 파악하는 데 있다. 따라서 측정시 건물내의 사람의 움직임, 주변 교통진동, 건물내의 설비진동 등의 압진동이 최소화되는 상황에서 실시하였다. 또한 바람의 풍향과 풍속을 측정함으로써 가능한 균일한 측정조건하에서 데이터를 수집하였다. 측정은 주로 2~5m/sec 정도의 약풍에서 측정하였다. 강풍시에는 공기역학적인 감쇠효과가 심할 수 있기 때문에 이 상황하에서의 측정은 바람직하지 못하기 때문이다(Gary). 풍향과 풍속은 Grill Type 프로펠러 풍향 풍속계(WS2000)를 사용하였다.

측정시 가속도계의 설치위치는 매우 중요하다. 만약 가속도계가 건물의 기하학적인 중심 혹은 전단중심(Shear Center of Building)에 설치되지 않는다면 비틀림(Torsion)에 대한 효과를 고려해야만 하기 때문이며, 또한 건물의 기하학적 중심과 질량중심이 일치하지 않을 경우에도 비틀림 작용은 피할 수 없는 구조적 거동 요소가 되기 때문이다. 따라서 측정은 주로 건물의 주 진동 방향과 평행한 방향으로 상호 직교되게 설치된 가속도계를 건물의 최상층부 회전중심에 설치하여 실시되었는데, 이는 가능한 비틀림으로 인한 효과를 최소화하기 위함이다.

이 위치는 가장 쉽게 건물의 기본 진동모드를 얻을 수 있는 최적의 위치이다.(Gary 1990). 본 연구에서는 건물의 중심은 평면적으로 등분포한 질량으로 가정하고, 기준층 평면의 중심과 측정하고자 하는 방향의 주요 전단벽의 위치를 고려하여 정하였으며, 주로 지붕층 레벨의 계단실 위치에서 측정하였다.

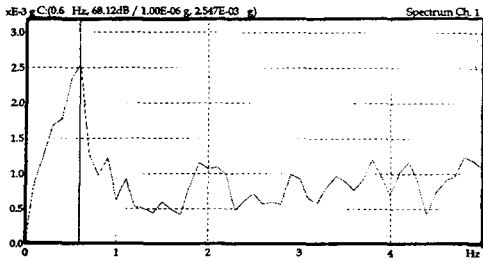
측정은 건물의 각 측정점에서 200초 이상 2회 측정하였으며, 기타 측정 및 분석시 조건들은 다음과 같다.

- 측정 주파수 대역 : 0~200Hz, 또는 0~20Hz
- 분석 주파수 대역 : 0.1~20Hz 또는 0.1~5Hz
- 분석시 해상도 : 0.1 Hz
- overlap : 50%~75%
- average 횟수 : 5~20회
- window : hanning
- 케이블 고정방법 : 약 2-3m 간격으로 고정

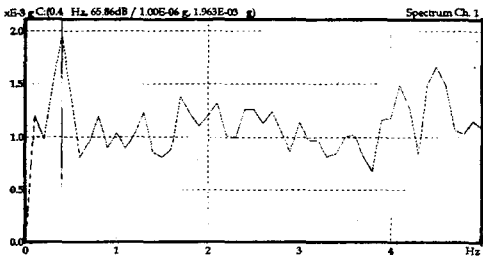
5. 측정결과 및 분석

(가) 고유진동수 측정

미진동 측정 결과로부터 분석된 대표적인 파워스펙트럼(Normalized Power Spectrum)은 [그림 3]~[그림 6]과 같다. 상시 미진동 상태에서 측정시간이 200초일 경우, 200초 동안의 파워스펙트럼의 평균값이 10초 동안의 파워 평균값 보다 더 객관적인 정보를 제공한다고는 할 수 없다. 즉 풍하중이 일시적으로 작용하기 때문에 바람이 있을 경우의 데이터를 바람이 없을 경우의 데이터와 평균한다면 데이터는 정확한 결과를 제공하지 않는다. 따라서 분석시 풍속이 상대적으로 커 건물진동이 크게 되었을 경우에 대해서만 신호를 한정하여 분석하는 것이 바람직하다. 따라서 본 연구에서는 약 25초~60초 정도의 신호에 대하여 스펙트럼 평균값을 구하였다.

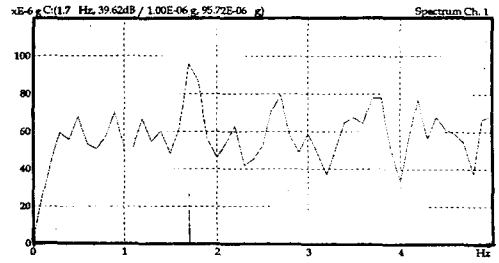


(a) 1차측정

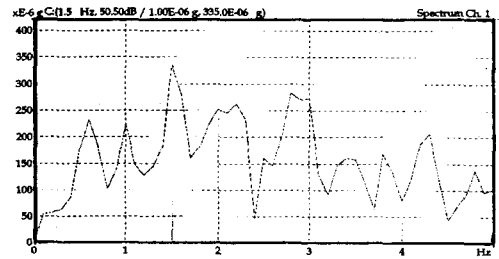


(b) 2차측정

[그림 3] 분당 D아파트 고유진동수 측정 결과

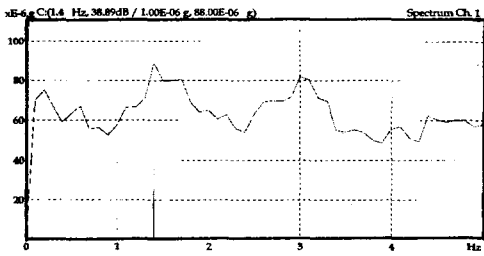


(a) 1차측정

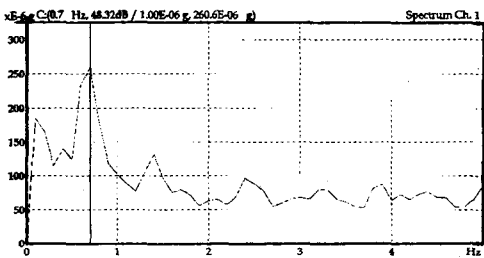


(b) 2차측정

[그림 5] 인천 K아파트 402동 고유진동수

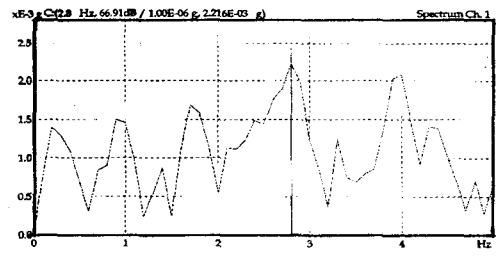


(a) 1차측정

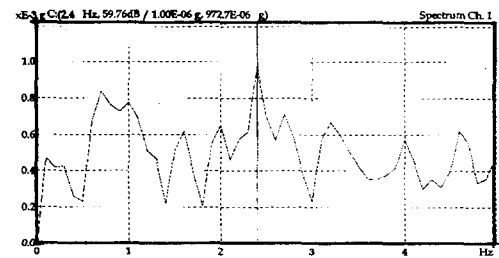


(b) 2차측정

[그림 4] 인천 K아파트 205동 고유진동수



(a) 1차측정



(b) 2차측정

[그림 6] 분당 K아파트 고유진동수 측정결과

<표 2 > 고유진동수 실측치 및 예측치

No	측정현장	실측치 (Hz)	예측	
			f=18/층수	f=10/층수
1	분당 D아파트	0.4~0.7	0.64	0.35
2	인천삼산 K아파트 205동	0.7~1.4	0.9	0.5
3	인천삼산 K아파트 402동	1.0~1.7	0.9	0.5
4	분당 K 아파트	2.3~2.8	1.6	0.9

주) 위 예측식은 철근콘크리트 구조에 대한 예측식을 사용한 결과임. 스틸구조의 경우 위 결과 보다 낮은 주파수로됨.

<표 2>는 측정대상 건물에 대한 고유 진동수를 파워스펙트럼의 피크치로부터 구한 결과이다. 본 연구에서는 27층 높이의 분당 D 아파트의 경우 고유진동수는 0.4Hz~0.7Hz였다. 20층 높이의 인천삼산 K 아파트 205동 복도식의 경우에는 0.7Hz~1.5Hz였으며, 402동 복도식의 경우에는 1.0Hz~1.7Hz로 나타나 27층인 분당 D아파트보다는 2.0~2.4배정도 높은 고유진동수를 나타내고 있었다. 한편, 12층의 분당 K 아파트의 경우에는 2.3Hz~2.8Hz로 나타나 27층인 분당 D아파트 4.6배정도 높은 고유진동수를 나타내고 있었다.

한편 실측된 고유진동수를 일본 및 독일의 연구 결과로부터 예측된 고유진동수와 비교하였다. 단 일본의 경우는 철근콘크리트 RC조에 대한 고유진동수 예측식($f=18/\text{층수}$)으로부터 구한 값¹⁾이며, 독일의 경우는 구조형식에 대한 언급이 없는 고유진동수 예측식($f=10/\text{층수}$)으로부터 구하였다²⁾.

실측치와 예측치의 결과를 비교한 결과, 실측치는 독일의 예측치보다는 일본의 예측치와 보다 근접하고 있었으며, 실측치가 예측치 보다 약간 높음을 알 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 강성이 매우 높은 벽식 아파트 건물에 대해 고유진동수를 측정하였다. 측정결과,

실측치는 “ $F=18/\text{층수}$ ”에 의한 일본의 예측치와 보다 비슷한 양상을 보이고 있으며, 대체로 실측치가 예측치보다 약간 높게 나타났다. 또한 본 연구에서 설정한 신호 분석 상황과 조건 등은 향후 고유진동수 측정시 유효하게 이용될 수 있다고 판단된다.

한편 현장에서 시간축에서 일정 레벨이상의 신호만을 트리거하여 측정할 수 있는 진동 측정시스템의 경우 보다 정확한 고유진동수 측정이 가능하다고 판단되며, 향후 지속적인 측정에 의해 보다 많은 자료가 축적될 필요가 있다고 판단된다.

참고문헌

1. “Kushiro市内の學校建物の常時微動測定”, 일본 건축학회 기술보고집, 제 2호 89-93, 1996.3
2. DIN 4150 Part3 Structural Vibration in Buildings Effects on Structures
3. Cawley, P. and Adams, R.D. (1979). The location of defects in structures from measurements of natural frequencies. J. Strain Analysis, 14, 49-57.
4. Hearn, G. and Testa, R.B. (1991). Modal analysis for damage detection in structures. J. Struct. Engrg., ASCE, 117(10), 3042-3063.
5. Pabst, U. and Hagedorn, P. (1993). On the identification of localized losses of stiffness in structures. Structural Dynamics of Large Scale and Complex Systems, ASME, 59, 99-103.
6. Hassiotis, S. and Jeong, G.D. (1993). Assessment of structural damage from natural frequency measurements. Computers and Structures, 49(4), 679-691.
7. Gary K Leaver (1990) Full-scale Measurement of the Dynamic Response of Tall Building, University of Sydney.
8. 김홍식 외 11인, (2000) 아파트 건물의 구조진단용 진동 시스템 개발(I), 1차년도 연구보고서, 건설교통부
9. 김두영, 천영수, 유석형 (1997) 벽식구조 아파트의 고유주기 산정식 제안(III), 대한주택공사