

아파트 구조물의 진동특성 평가에 관한 연구

Evaluation on Vibration Characteristics of an Apartment Building Structure

최창식* 이리형**
Choi, Chang-Sik Lee, Li-Hyung

Abstract

A problem of frequency in the field of low-frequencies such as high-rise apartment building or construction vibration are often found. In this study, damage reason of a 25 stories apartment building was searched on the basis of actual damage. To find the damage reason, structural design procedure were reviewed and low-frequency vibration test was conducted.

The results indicate that the main damage reason is not by the low-frequency vibration but the asymmetrical plan of that building.

Key words : actual damage, low-frequency vibration, asymmetrical plan

1. 서 론

최근 아파트와 같은 대형 건축 구조물의 고층화 및 비대칭 평면형태에 따른 불균형 구조화에 따라 건물에 대한 진동의 영향이 가끔 문제시 되고 있다. 이러한 저주파 진동은 건물에 대한 직접적인 손상의 원인이 되므로, 쾌적한 주거 환경의 유지를 위해서는 건물의 진동량을 해석하고 진동원을 규명하여 적절한 대책을 수립하는 것이 바람직하다.

본 연구에서는 실제 피해가 발생된 C시 D아파트 최상층인 25층 층세대의 진동 현상에 대한 계측과 분석을 통하여 건축물에 미치는 영향을 평가하고 진동원을 규명하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 건물 끝단의 변위량을 해석하고, 예상 진동원에 대한 3축 방향의 주파수 분석을 수행한다.

건물 끝단의 변위에 대한 해석시에는 문제가 발생된 세대주의 옥조내 물의 진동량을 계측하고, 옥상에서 건물 끝단의 진동량을 계측하여 좌표

* 정희원, 대전대 건축공학과 조교수, 공학박사

** 정희원, 한양대 건축공학부 교수, 공학박사

● 본 논문에 대한 토의를 11월 30일까지 학회로 보내주시면 1999년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

변환에 의하여 해석 결과를 산출한다. 또한, 예상 진동원인에 대하여 각각 진동량을 계측하여 주파수 분석을 실시함으로써 건물의 운동을 유발시키는 진동원을 규명하고자 하며, 궁극적으로는 건물에 대한 진동 영향 평가의 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 구조물의 진동계측 및 분석

2.1 대상 구조물의 현황

대상 건물의 기준층 평면도는 Fig. 1에 나타내었다. 본 Fig. 1에서의 25층 측세대인 2508호 출입문 좌우측 창문 개구부 모서리를 중심으로 경사균열이 발생되어 있었다. 이러한 균열은 관통된 곳이 일부 있었으며, 대부분의 균열폭은 0.3mm 정도였고, 0.6mm 정도 되는 균열도 한곳에서 관찰되었다. 또한, 본 구조물의 외벽, 복도 난간벽, 더스트 슈트 등의 균열은 그 폭이 미소하였다.

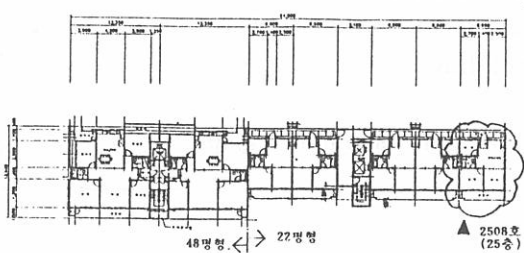


Fig. 1 대상 구조물의 기준층 평면도

2.2 실험장치 및 방법

Fig. 2는 건물의 고유 진동수 및 진동 형태의 계측을 위한 계측 위치 및 방향을 나타내고 있다. 본 실험에서는 건물의 휨(Bending)이나 비틀림(Torsion) 형태에 대한 분석을 위해 아파트 옥상에서 건물 끝단 및 중앙의 진동 변위를 9개의 계측 위치에서 건물의 길이 방향을 x축으로 하여 3축 방향에서 각각 계측하였으며, 계측 시간은 계측점 및 방향당 각각 1분으로 하였다. 또한, 고유

진동수도 진동계측 장비를 통하여 계측되었다.

한편, Fig. 3은 건물 끝단의 변위를 계측하기 위한 실험 장치를 나타내고 있다. 본 실험에서는 욕조에 채워진 물의 상하 진동량을 계측하여 건물 끝단의 변위로 환산하였다. Fig. 3에서 중앙 반사체의 위치를 물의 진동에 대한 중심점으로 잡아 욕조의 물 위에 5개의 반사체를 띄워 레이저 센서를 설치하였는데, 진동 변위량은 구좌표로 환산할 경우 건물의 y방향 진동을 나타내게 된다. 또한, 물의 진동 형태는 건물의 진동 현상과는 다르기 때문에 여기서 구해진 최대 변위를 건물의 지반진동 시계열로 변환하여 건물의 x방향 및 y방향에 대한 끝단의 변위를 계산하였다.

또한, 엘리베이터 운행에 따른 건물과의 공진 여부 및 권상기 진동이 건물에 미치는 영향을 평가하기 위한 계측 위치는 권상기 앞으로 하여 엘리베이터 운행시와 정지시 진동량을 계측하였으

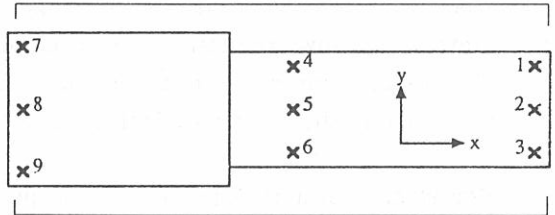


Fig. 2 건물의 고유진동수 및 진동형태 계측을 위한 계측위치 및 방향

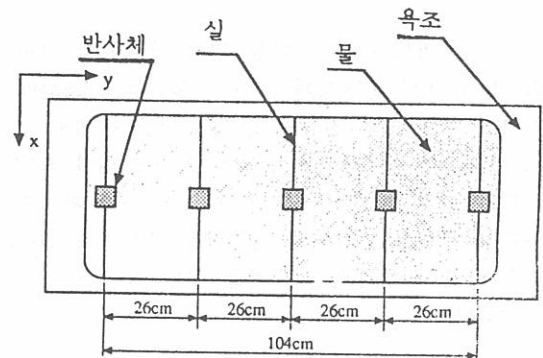


Fig. 3 건물변위 계측을 위한 계측위치 및 방향

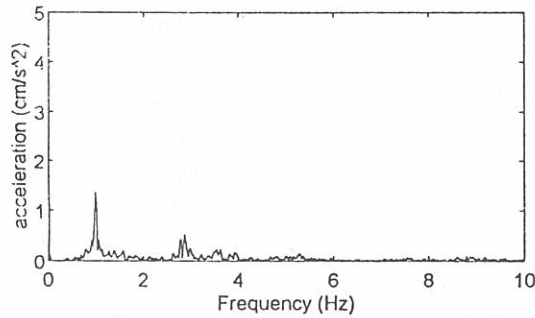
며, 측정 방향은 건물 진동의 좌표와 동일하게 건물의 길이 방향을 x방향으로 하여 3축으로 각각 측정하였다.

건물의 고유 진동수에 대한 해석과 엘리베이터 권상기에 의한 진동의 영향을 평가하기 위하여 지반 진동계에 의해 측정된 3축 방향의 데이터는 진동 레벨미터를 통하여 데이터 기록계에 저장된다. 또한, 건물의 변위를 측정하기 위한 데이터는 레이저 변위계로 측정되어 데이터 기록계에 저장된다. 기록된 데이터는 주파수 분석기에 의한 변환을 거쳐 원하는 건물의 고유 진동수와 건물 끝단의 변위로 계산된다.

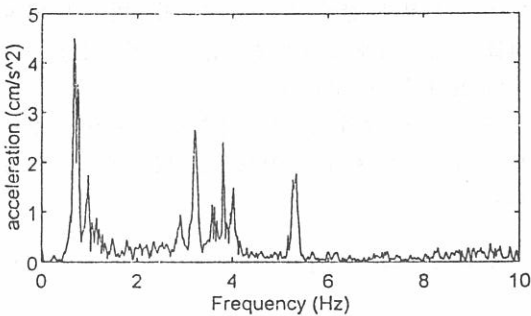
2.3 실험 결과 및 고찰

2.3.1 건물의 고유 주파수

본 실험에서는 건물의 주요 고유 진동수를 계



(a) x 방향



(b) y 방향

Fig. 4 3번 위치에서 주파수 분석결과

산하기 위하여 지반 진동계에 의한 주파수 분석 결과를 고찰하였는데, Fig. 4는 최대 진동량이 측정된 3번 측정점에서의 x방향 및 y방향의 주파수 분석 결과를 나타내고 있다.

한편, Table. 1은 x방향 및 y방향에 대하여 기여도가 큰 진동수를 나타내고 있다. 본 피해 대

Table 1. 아파트의 x,y방향 고유 진동수

차수	1st	2nd
x	0.98 Hz	2.8 Hz
y	0.68 Hz	0.78 Hz

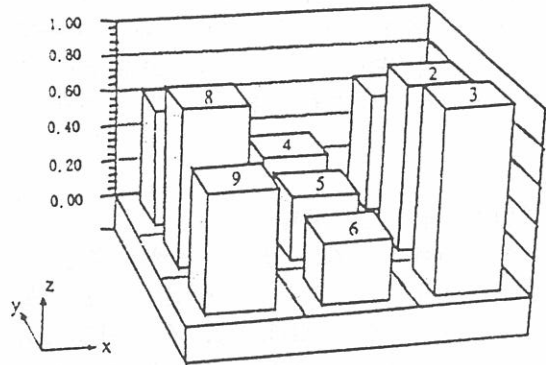


Fig. 5 y방향 진동에 대한 1차 고유진동수 크기

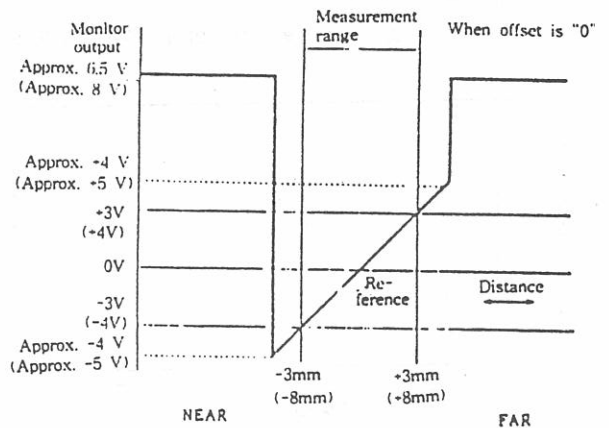


Fig. 6 거리와 출력 전압과의 관계

상 아파트와 같은 대형 건축구조물의 경우와 같이 1Hz 미만의 영향을 파악하기 위하여 최대 주파수는 10Hz로 하였는데, Fig. 4에서 y방향의 진동량이 크게 나타나고 있으므로 Table 2.1에서 1차 진동수인 0.68Hz가 건물의 진동에 가장 큰 영향을 미친다고 볼 수 있다. 또한, Fig. 5는 건물의 진동 형태를 분석하기 위하여 9개의 측정점에서의 y방향의 1차 고유 진동수에 대한 진동레벨의 크기를 나타낸 것인데 최대값을 1로 하여 상대적인 비로 나타내었다.

Fig. 5에서 알 수 있듯이 건물 양 끝단의 레벨이 중앙 위치보다 높게 나타나 있으며, 22평형 쪽의 진동량이 크게 측정되었다. 따라서, 건물이 비틀림 운동을 하고 있다고 판단할 수 있으며, 건물의 중앙 부위에서 진동이 발생한 이유는 이 측정점이 건물의 무게중심 위치가 아니므로 끝단 보다 작은 레벨로 비틀림 운동하고 있는 것으로 사료된다.

2.3.2 건물의 진동 변위

본 실험에서는 건물 끝단의 변위를 측정하기 위하여 레이저 변위계로 육조의 물에 대한 진동량을 측정하여 환산하였다. Fig. 6은 레이저 변위계의 선형 특성을 보증하기 위한 데이터를 나타내고 있는데, 육조에서의 최대 진폭은 $\pm 3\text{mm}$ 이내 이므로 본 계측 결과의 선형성이 충분히 보장된다고 볼 수 있다.

Fig. 7은 레이저 변위계에 의한 측정 결과를

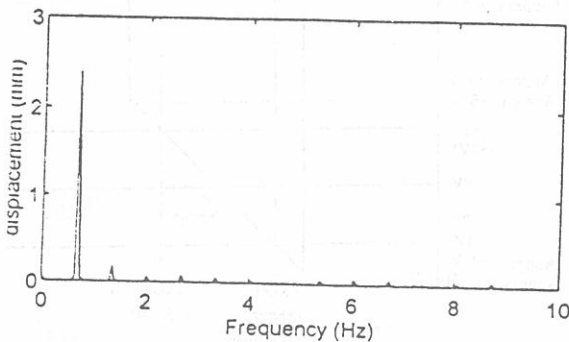


Fig. 7 레이저 변위계에 의한 건물의 변위 측정

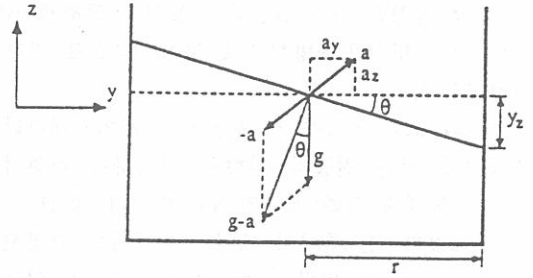


Fig. 8 건물 가속도와 중력 가속도의 관계

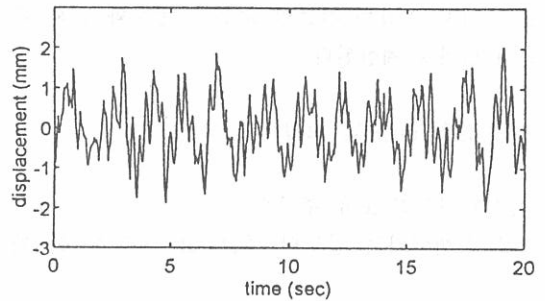


Fig. 9 건물의 y방향 변위

주파수 영역에서 나타낸 것이다. Fig. 7에서 알 수 있듯이 건물의 진동에 따른 물의 운동에 의한 주파수 분석 결과도 건물의 y방향 1차 고유 진동수와 정확히 일치하고 있으며, 따라서 지반 진동계에 의한 건물의 고유 진동수 분석이 타당한 것으로 생각된다.

한편, 육조의 물이 입자간의 상대 운동이 없이 유동하는 상대 평형상태라고 가정하면 압력구배 ∇P 는 (1)식과 같이 표현할 수 있으며, 이 때의 건물 가속도 a 와 중력 가속도 g 의 관계는 Fig. 8과 같이 표현될 수 있다⁽³⁾⁽⁴⁾.

Fig. 8에서 건물이 a 의 가속도로 운동할 경우 물과 수평면이 이루는 각도 θ 는 (2)식과 같이 계산될 수 있다.

$$\nabla P = \rho(g - a) \quad (1)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{a_y}{g + a_z} \quad (2)$$

여기서, a_y 와 a_z 는 각각 y방향의 가속도 성분과

z방향의 가속도 성분을 나타낸다. 또한, 옥조 끝단에서의 물의 진동 변위와 물이 운동하지 않는 옥조 중심에서부터 옥조 끝단 계측점까지의 거리 r을 측정할 수 있으므로 계측된 옥조 끝단의 변위 y_z 와 r로부터 물이 최대 진폭일때 수평면과 이루는 각도 θ 를 (3)식과 같이 계산 할수 있다.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{y_z}{r} \quad (3)$$

따라서, 건물의 z방향의 가속도 성분 a_z 를 무시하면 y방향의 가속도 a_y 는 (4)식과 같이 구할 수 있다.

$$a_y = g \frac{y_z}{r} \quad (4)$$

결국, 건물의 y방향 최대 가속도는 옥조내 물의 최대 진폭과 옥조 중심에서 계측점까지의 거리로부터 (4)식으로 계산하면 다음과 같다.

$$a_y = (9.81m/sec^2) \frac{(0.0024m)}{(0.52m)} = 0.045m/sec^2$$

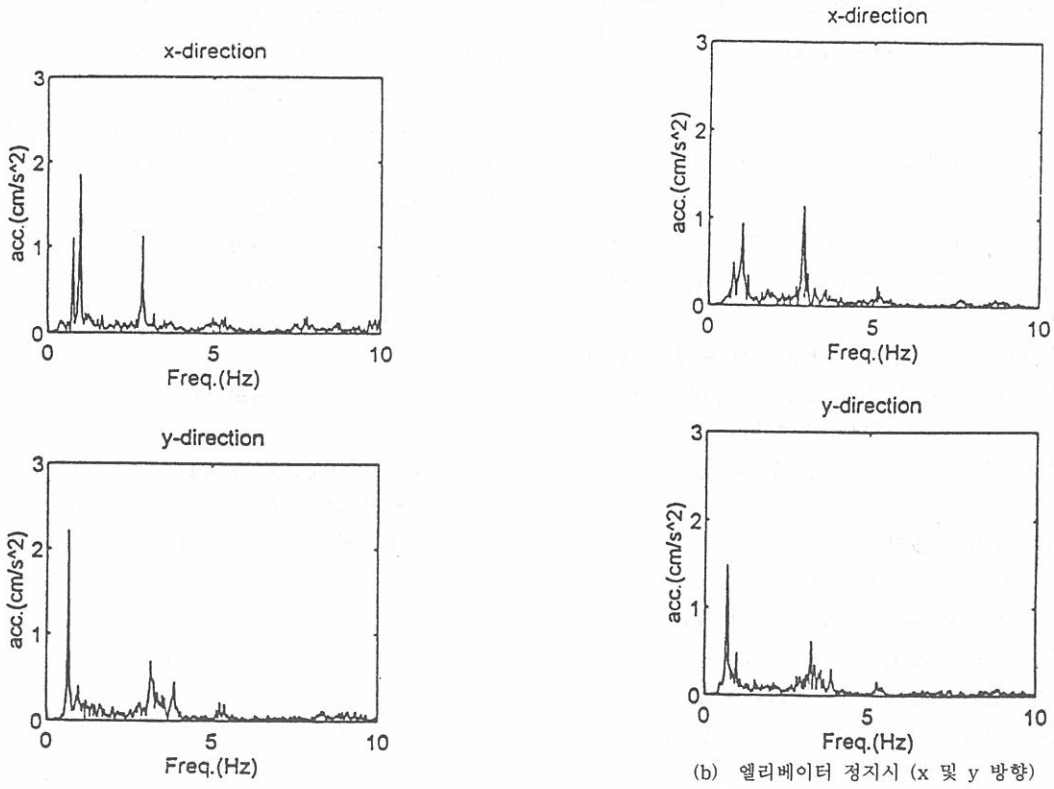
또한, 진동의 변위 d, 가속도 a와 진동수 f 사이에는 (5)식과 같은 기본 관계가 성립한다⁽²⁾.

$$a = \omega v = \omega d^2 = (2\pi f)^2 d \quad (5)$$

(5)식으로 부터 1차 진동수 $f=0.68Hz$ 에 대해 위의 결과를 건물의 y방향 최대 변위 d_y 로 환산하면 다음과 같다.

$$d_y = \frac{a_y}{(2\pi f)^2} = \frac{(45mm)}{(2 \times 3.1415 \times 0.68)^2} = 2.47mm$$

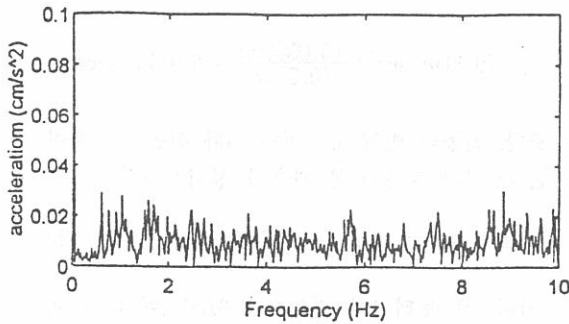
이 결과는 옥조내 물의 변위가 측정시 약 5mm 정도로 가장 크게 움직였을 경우의 진동량을 나타내고 있으나, 측정 시간 및 상황에 따라 물의



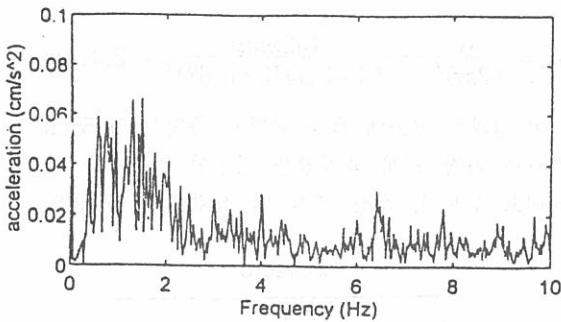
(a) 엘리베이터 운행시 (x 및 y 방향)

(b) 엘리베이터 정지시 (x 및 y 방향)

Fig.10 엘리베이터 작동에 따른 주파수 분석



(a) x 방향



(b) y 방향

Fig. 11 아파트 지하층에서의 주파수 분석

변위가 약 1mm~4mm 변위의 값으로 변하므로 위의 결과는 건물의 최대변위로 가정할 수 있을 것이다.

한편, Fig. 9는 건물의 y방향에 대한 진동 변위를 나타내고 있다. 본 Fig. 9에서 건물의 기본 주기 성분이 뚜렷하게 나타나고 있으며, 그 외의 주기 성분도 포함되어 있는 것을 알 수 있다.

2.3.3 건물의 진동원

본 실험에서는 건물의 진동원을 규명하기 위하여 엘리베이터의 운행에 따라 권상기의 진동이 건물에 미치는 영향과 아파트 지하층의 지반진동을 평가하였다. Fig. 10은 엘리베이터 정지시와 운행시의 결과를 비교하여 나타낸 것이다. Fig. 10에서 알 수 있듯이 엘리베이터 정지시에도 건물의 기본 주파수가 나타나고 있으며, 진동 레벨

에도 큰 변화가 없으므로 권상기를 진동원으로는 볼 수 없을 것으로 판단된다.

한편, Fig. 11은 지하실 지반에 대한 진동 측정 결과이다. 이 경우에 지반에서 유입되는 진동원은 뚜렷히 나타나고 있지 않으며, 레벨이 매우 낮은 진동량이다. 따라서, 건물의 진동원을 도로 교통에 따른 진동이나 지하수의 유동에 따른 진동 등의 영향으로는 판단되지 않는다.

3. 결론

본 연구에서는 실제 피해가 발생된 C시 D아파트의 진동 특성을 평가하기 위하여 건물의 진동수와 진폭 및 진동원을 찾는 실험과 진동 현상에 대한 분석을 중점적으로 행하였다.

건물의 진동원을 규명하기 위한 엘리베이터의 운행에 따른 권상기의 진동과 도로교통에 따른 진동이나 지하수의 유동에 따른 지반의 진동을 분석한 결과, 본 대상 건물의 진동 현상과는 큰 연관성이 없는 것으로 판단된다. 따라서, 진동 현상은 지반진동이나 엘리베이터 등의 기계진동에 기인된 것은 아닌 것으로 사료된다. 또한, 육조내물의 진동현상은 있었으나, 이러한 유체 진동은 건물의 진동주기와 바람에 의한 물의 진동 주기가 공진하게 되면 미세한 진동에도 크게 증폭되는 경향을 가지는데 기인한 것으로 판단된다.

감사의 말

본 연구는 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터(STRESS)와 대전대학교 건설연구소(CRI)의 일부 공동 지원에 의한 것으로서 관계관 제위께 감사드립니다.

참고 문헌

1. 천병식, 오재용, "지반진동 영향과 대책", 건설연구사, 1993
2. "진동이 주변 구조물 및 콘크리트 경화에 미치는

-
- 영향”, 대한주택공사 주택연구 자료, 1990
3. Frank M. White, "Fluid Mechanics", McGraw-Hill, 1980
 4. 손병진, 맹주성, 이상환, "유체역학", 회중당, 1992
 5. 천영수, 조남규, 이리형, 저주파진동 해석을 위한 데이터처리기법 연구", 한국전산구조공학 논문집, 제10권, 제4호, 1997. 12 pp185~193

(접수일자 : 1998. 4. 17)