

휴대폰 앱을 이용한 건물 수평진동의 상시진동계측

Ambient Vibration Measurement of Buildings Horizontal Vibration Using a Mobile Phone Application

문 상 현*

Moon, Sang-Hyouen

윤 성 원**

Yoon, Sung-Won

Abstract

The cases of conducting the vibration measurement using the mobile phone with regard to the building's horizontal vibration are very rare in Korea and foreign countries. Therefore, this study analyzed the horizontal vibration nature of the building using the mobile phone targeting 5 tall buildings, and reviewed about the applicability of the mobile phone vibration measuring instrument through the comparison/verification with the data of the existing vibration measuring instrument. The peak of the measured time series waveform was measured clearly and it showed a similar value to the existing natural frequency.

Keywords : Tall building, Mobile-phone, Natural frequency, Ambient vibration

1. 서론

최근 철골조 고층아파트와 주상복합의 고층 건물 건설이 증대됨에 따라 사용성에 강풍에 의한 관심이 고조되고 있다. 그러나 철골조 고층건물은 중량, 감쇠율의 감소로 인하여 풍하중에 의해 예민하게 진동한다. 특히 건물의 최상층의 응답가속도가 일정 수준 이상을 초과하면 거주자가 불쾌감을 느끼는 사용성 문제가 발생한다. 설계단계에서의 사용성 검토는 해외기준이나 풍동실험을 이용하여 일정재현 주기별 응답가속도를 산정하여 검토할 수 있으나 이때에 신뢰성 있는 응답가속도를 얻기 위해서는 정확한 고유진동수의 예측이 매우 중요하다.¹⁾

이러한 응답가속도를 산정하기 위해서는 현재 고가

의 진동계측 장비를 이용하여 계측하고 의존하고 있는 실정이다. 그러나 현재의 진동계측 장비는 고가이며 다양한 진동계측장비가 필요하고, 설치시간 또한 오래 걸리며 전문지식을 갖춘 전문가를 필요로 한다. 그러나 스마트폰 시대가 도래함으로써 스마트폰 보급률이 증대됨에 따라 진동계측이 가능한 휴대폰 어플리케이션이 개발되는 등 휴대폰 어플리케이션의 진동계측시스템을 통하여 저가의 비용과 짧은 준비기간으로 수월하게 진동계측을 실시할 수 있는 기반이 조성되었다.

휴대폰을 이용한 진동계측으로서 윤성원(2013)²⁾, 도기영(2014)³⁾의 연구가 있으나, 보도교를 대상으로 했다. 건물을 대상으로 한 연구는 윤성원, 문상현(2015)⁴⁾ 휴대폰에 의한 고층건물의 진동계측이 있으나, 풍응답 계측을 통한 진동특성 분석으로서 건물의 수평진동에 대해서는 휴대폰 진동계측기를 이용하여 상시진동계측을 실시한 사례는 아직 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 기존의 고가의 진동장비를 이용하여 계측한 데이터와 휴대폰 어플리케이션의 상시진동계측과 비교함으로써 휴대폰 진동계측 앱의 현실적 적용 가능성에 대하여 검토하였다.

* 학생회원, 서울과학기술대학교 건축학전공, 석사과정
Seoul National University of Science and Technology,
School of Architecture

** 교신저자, 서울과학기술대학교 건축학부 교수, 공학박사
Seoul National University of Science and Technology,
School of Architecture, Professor
Tel: 010-2650-6587 Fax: 02-979-6587
E-mail: swyoon@seoultech.ac.kr






2. 진동계측

2.1 계측 건물의 건축개요

대상건축물은 윤성원(2003)¹⁾의 “고층건물의 상시진동계측을 통한 고유진동수”와, 구해진, 김홍진(2015)⁵⁾ “내풍설계를 위한 RC 건축물의 고유주기 및 감쇠비 산정식” 논문의 계측대상으로 선정된 서울과 부산 및 인천의 장방형 고층건물 5개동을 선택하였다. 서울의 고층건물이 집중되어 있는 여의도, 종로, 송도, 해운대, 4개 지역에 소재한 건물을 대상으로 선정하였으며¹⁾⁵⁾, 비정형건물과 사용용도로 인하여 계측허가를 받지 못한 건물은 계측 대상에서 제외하였다.

<Table 1>은 계측건물의 제원으로서, 건물의 외관 및 층수, 높이, 기준층 평면치수를 정리하였다.

<Table 1> Overview of measured buildings⁴⁾

| No | S-1 | S-2 | S-3 | S-4 | S-5 | |
|--------------------------------|---|---|---|---|---|---|
| Ref | Yoon, S.W ¹⁾ | | | Koo, H.J ⁵⁾ | | |
| exterior of building |  |  |  |  |  | |
| Height(m) | 116.2 | 133.5 | 243.3 | 130.2 | 237 | |
| Floor (F) | 31 | 35 | 60 | 34 | 64 | |
| Dimension of Building plan (m) | Long side | 50 | 60 | 33 | 52 | - |
| | Short side | 30 | 20 | 54 | 29 | - |

2.2 계측 건물의 구조개요

<Table 2>는 계측된 5개동의 구조 종별과 구조시스템으로서 철골조, 철골철근콘크리트조로 구성되어 있다. 여기서 철골조는 지상층의 기둥과 보가 전부 순수철골조인 경우로 정의하였고, 철골철근콘크리트조는 지상층의 기둥은 철골철근콘크리트조이고 지상층의 보는 철골조인 경우로 정의하였다.¹⁾

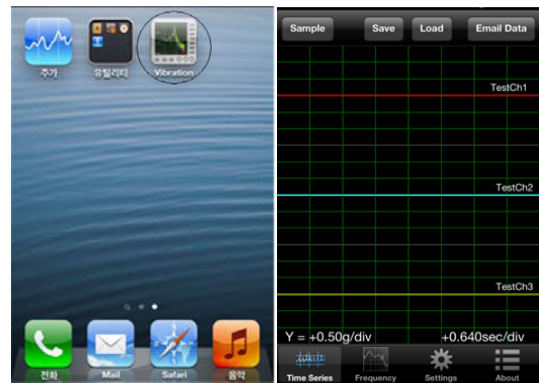
<Table 2> Structure type and system of the building

| Ref | No | Floor (F) | Structural type | Structural systems | |
|-------------------------|-----|-----------|-----------------|--------------------|-----------------|
| | | | | Long side | Short side |
| Yoon, S.W ¹⁾ | S-1 | 31 | S | Braced frames | Braced frames |
| | S-2 | 35 | S | Space structure | Space structure |
| | S-3 | 60 | S | Braced frames | Braced frames |
| Koo, H.J ⁵⁾ | S-4 | 34 | RC | Braced frames | Braced frames |
| | S-5 | 64 | RC | Outrigger | Outrigger |

2.3 계측장치

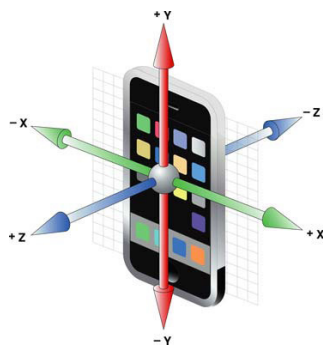
2.3.1 휴대폰 계측장치

모바일 진동계측시스템은 센서, 신호 측정기, FFT 분석기가 일체화되어 있고 일반인도 쉽게 사용할 수 있는 장점을 갖추고 있다. 따라서 이번 고층건물 진동계측에서는 <Fig. 1>과 같이 현장에서 전원없이 간단하고 편리하게 계측할 수 있는 휴대용의 진동 앱을 이용하여 진동계측을 실시하였다.³⁾



a) Vibration measuring instrument. App (vibration app ver. 2.01)³⁾
 b) Vibration measuring instrument. Main view (vibration app ver. 2.01)³⁾

휴대용 진동계측기는 <Fig. 2>와 같이 x, y, z의 3축 방향(2방향 수평가속도와 1방향 수직가속도)에 대한 실시간 계측을 할 수 있으며, 동적특성도 모니터 상에서 해석이 가능하다. 휴대용 진동계측기 장비에는 MEMS의 가속도계가 내장되어 있어 3축의 가속도계는 약 0.02g 감도와 최대 ±2G까지 계측이 가능하다. 또한, 휴대용 진동계측기 App은 0~100Hz 파형의 범위에서 샘플링 간격(Sampling rate)을 설정 할 수 있다.³⁾

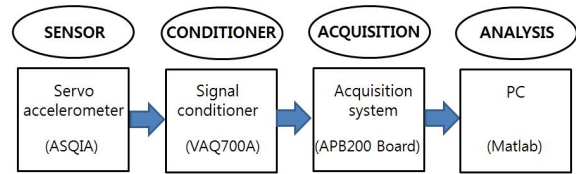


<Fig. 2> I-Phone 3 Axial direction³⁾

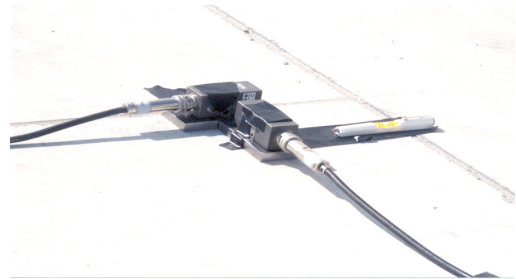
2.3.2 기존 계측장치

<Table 1>의 S-1~S-3에 사용한 계측장비는 서보 가속도계센서를 사용하였으며, 데이터의 기록과 FFT분석을 위하여 네덜란드의 Difa Measuring 시스템⁴⁾의 4채널용 APB200 보드를 노트북PC에 연결하였다. Signal conditioner는 VAQ700A5를 이용하였다. 데이터 처리과정은 서보가속도계의 센서→Signal conditioner→FFT분석기→PC의 순서로 처리하였고, <Fig. 3>은 계측기기의 구성도이다.¹⁾

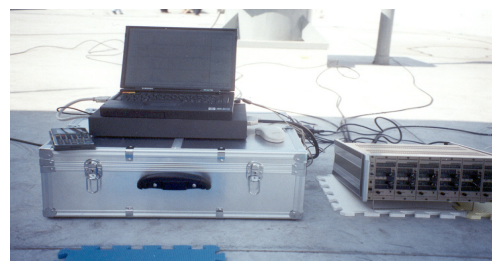
<Fig. 4>는 계측장치의 설치 상황이며, 건물의 옥상바닥에서 실시하였다. 가속도계 센서의 위치는 되도록 옥상의 정중앙에 근접하여 설치하여 비틀림모드가 아닌 단변과 장변의 병렬모드를 계측하도록 하였다. 가속도계 센서는 건물의 단변과 장변 각 1개씩 2채널을 사용하였다.¹⁾



<Fig. 3> The configuration of the instrument¹⁾



(a) Servo accelerometer installation situation



(b) Signal conditioner and acquisition system installation situation

<Fig. 4> Vibration measuring instrument installation conditions¹⁾

<Table 3> Instruments Overview¹⁾

| Measuring equipment | Model name | Main specifications |
|---------------------|------------------|--|
| Servo accelerometer | ASQ CA (kyowa) | ·Magnitude : 1g ·Measured range :0.00001g- 1g |
| Signal conditioner | VAQ 700A (kyowa) | ·Channel No : 5 ch. |
| Aquisition system | DIFA200 (LMS) | · 4 ch. APB board |

3. 계측데이터

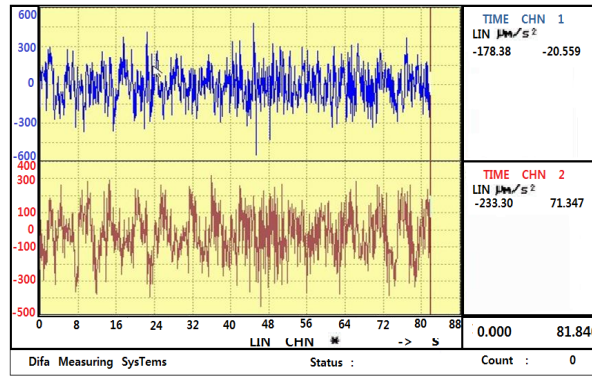
3.1 계측조건

3.1.1 기존 진동장비의 계측조건

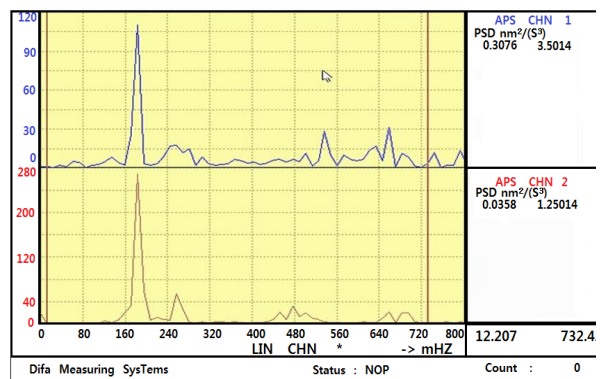
<Table 4>는 선행연구의 기존 계측기기의 계측조건 및 고유 진동수의 결과이다. S-1~S-3는 향후의 3차 고차모드의 진동수 분석을 위하여 데이터 샘플링 간격은 13Hz, FFT 진동수 대역은 6.5Hz로 설정하였다. 현장 계측 여건과 계측된 파형의 명료도 등을 감안하여 표와 같이 앙상블당 샘플수는 4,096~16,384로 하였고, 앙상블 수는 4~20개로 설정하였다. <Fig. 5>는 기존 계측장비를 통하여 얻은 S-3의 장변과 단변의 시계열 파형의 예이다. <Fig. 6>은 장변과 단변의 파워스펙트럼으로서 <Fig. 6 (a)>는 하나의 앙상블에 대한 파워스펙트럼이고, <Fig. 6 (b)>는 20개 앙상블에 대한 장변의 파워스펙트럼 예이다. S-4~S-5는 샘플링 간격을 200Hz로 하였으며, 계측 시간은 최소한 30분 이상이 되도록 하였다. 5개동의 고유진동수 중에서 S-4, 5는 장, 단변으로 분류하지 않고 평균치를 사용하였다.

<Table 4> Vibration instrument condition in measurement

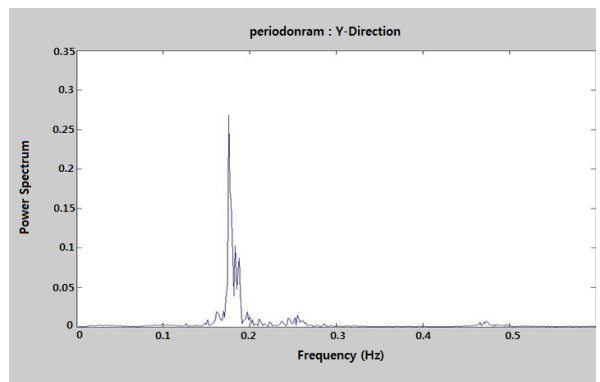
| Ref | No | Floor count (F) | Data | | | Natural Frequency (Hz) | |
|-------------------------|-----|-----------------|------------------|-----------------|--------------------|------------------------|-----------|
| | | | Samples/Ensemble | Frequency Range | Number of Ensemble | Short side | Long side |
| Yoon, S.W ¹⁾ | S-1 | 35 | 4,096 | 6.5 | 4 | 0.32 | 0.31 |
| | S-2 | 44 | 8,192 | 6.5 | 10 | 0.36 | 0.35 |
| | S-3 | 60 | 16,384 | 6.5 | 20 | 0.18 | 0.17 |
| Koo, H.J ⁵⁾ | S-4 | 34 | 360,000 | 100 | - | 0.32 | |
| | S-5 | 64 | 360,000 | 100 | - | 0.19 | |



<Fig. 5> Vibration measuring instrument data (S-3)¹⁾



a) Ensemble 1 power spectrum (S-3)¹⁾



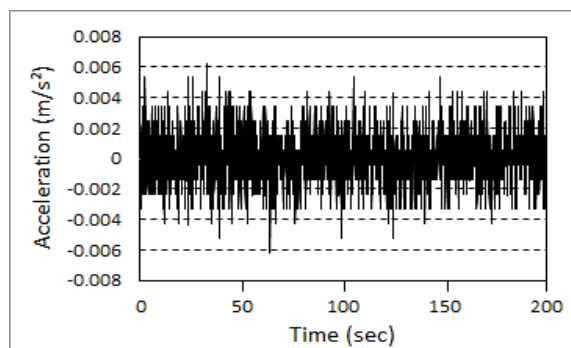
b) The average of the power spectrum (S-3)¹⁾
<Fig. 6> Vibration measuring instrument Power spectrum

3.1.2 휴대폰 계측조건

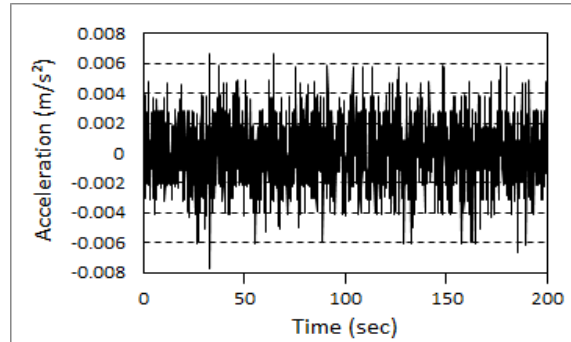
<Table 5>는 휴대폰 진동계측시 계측기기의 계측 조건 및 고유진동수의 결과이다. 5개동의 샘플링은 기존 진동계측기의 샘플링 간격이 13Hz인 선행연구와 조건을 최대한 비슷하게 하기 위하여 데이터 샘플링간격은 10Hz로 하여, FFT 진동수 대역은 5Hz로 설정하였다. 현장 계측 여건과 계측된 파형의 명료도 등을 감안하여 <Table 6>과 같이 앙상블당 샘플수는 4,096로 하였고, 앙상블 수는 3~10개로 설정하였다. <Fig. 7>은 휴대폰 진동계측기를 통하여 얻은 시계열파형이다. 선행연구와 같이 S-3을 대표적으로 나타내고 있으며, <Fig. 9, 10>은 5개동의 파워스펙트럼이다.

<Table 5> I-Phone Vibration instrument condition in measurement

| Div | No | Floor count (F) | Data | | | Natural Frequency (Hz) | |
|-------------------------|-----|-----------------|------------------|-------------------|--------------------|------------------------|-----------|
| | | | Samples/Ensemble | Frequency (Range) | Number of Ensemble | Short side | Long side |
| Yoon, S.W ¹⁾ | S-1 | 35 | 4096 | 5 | 3 | 0.37 | 0.36 |
| | S-2 | 44 | 4096 | 5 | 6 | 0.30 | 0.35 |
| | S-3 | 60 | 4096 | 5 | 10 | 0.17 | 0.19 |
| Koo, H.J ²⁾ | S-4 | 34 | 4096 | 5 | 4 | 0.31 | 0.31 |
| | S-5 | 64 | 4096 | 5 | 5 | 0.19 | 0.21 |



a) Short side

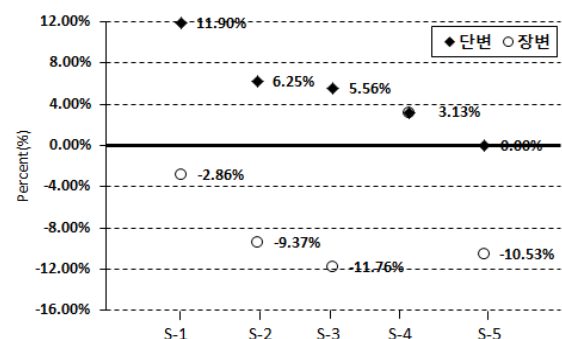


b) Long side

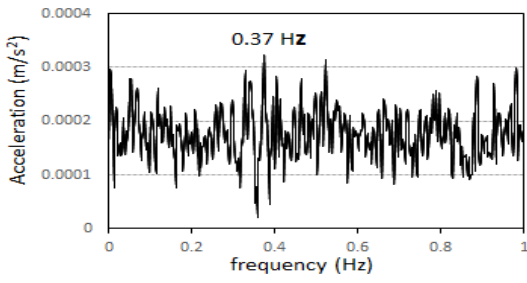
<Fig. 7> Time series of I phone vibration measuring instrument (S-3)

3.2 계측데이터 비교분석

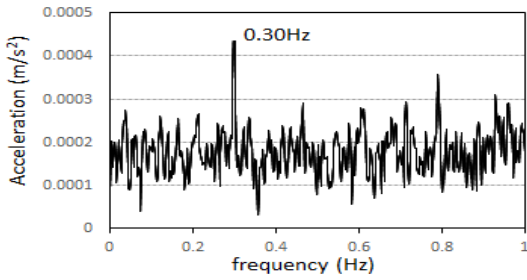
선행연구의 고층건물의 계측데이터를 휴대폰 앱을 통한 계측데이터로 비교 분석한 결과는 <Fig. 8>과 같다. S4~S5 건물의 경우는 휴대폰 고유진동수의 비교를 위하여 장변과 단변의 고유진동수의 평균값을 사용하였다. 휴대폰 앱에 의한 고유진동수는 기존 진동장비에 의한 값과 0.00%~11.9%의 차이를 보이고 있다. 이를 단변과 장변으로 나누어 분석하면, 단변은 5.37%, 장변은 7.53%의 오차를 보이고 있다. 평균 6.45%의 차이를 보이고 있다. 이 차이는 샘플링 간격, 앙상블 수, 계측위치 등의 여러 가지 복합적인 원인에 기인하는 것으로 판단되며 휴대폰 진동계측의 적용성이 충분함을 알 수 있다.



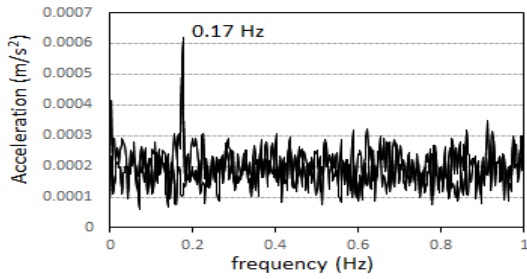
<Fig. 8> Comparison of the data difference



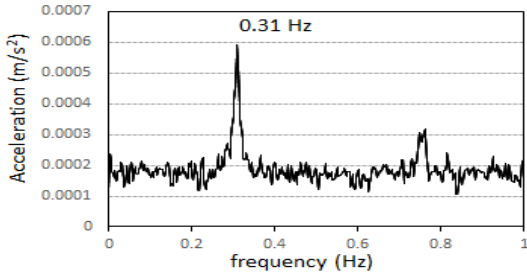
a) (S-1)



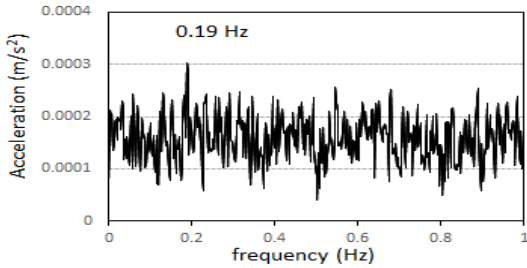
b) (S-2)



c) (S-3)

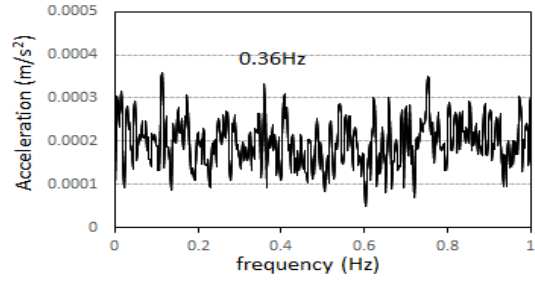


d) (S-4)

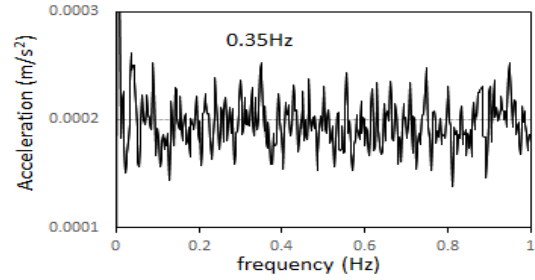


e) (S-5)

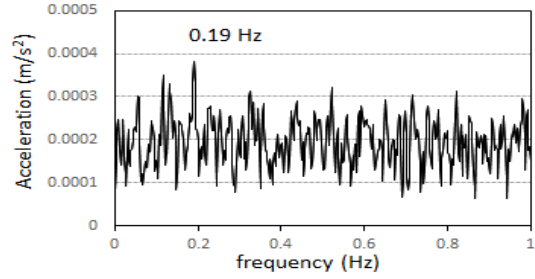
〈Fig. 9〉 Power spectrum (Short side)



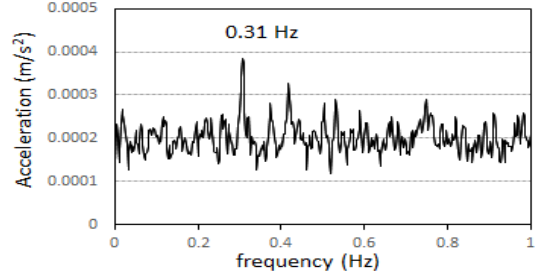
a) (S-1)



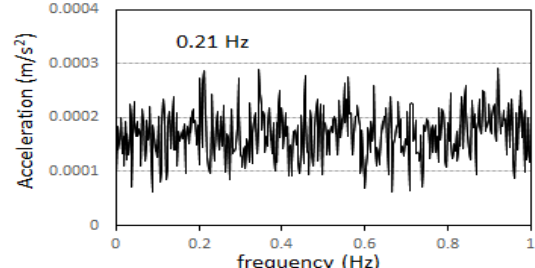
b) (S-2)



c) (S-3)



d) (S-4)



e) (S-5)

〈Fig. 10〉 Power spectrum (Long side)

4. 결론

본 연구에서는 선행연구 분석을 통하여 기존의 진동계측장비로 계측한 건물 중에서 서울과 부산 및 인천의 장방형 고층건물 5개동의 고층건물을 대상으로 휴대용 진동계측기를 이용하여 상시진동계측을 실시하였다. 기존의 계측데이터와 휴대용 진동계측기를 통하여 고유진동수를 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 파워스펙트럼의 고유진동수 피크가 명확히 계측 되었으며 일부 데이터는 고차모드까지 명확히 확인할 수 있었다.

둘째, 휴대용 진동계측기와 기존의 고유진동수와 차이는 단변의 경우 평균 오차율이 5.37%이고, 장변의 평균 오차율은 7.53%로서 장, 단변 통합 6.45%로서 공학적으로 휴대용 진동계측기의 적용 가능성을 확인하였다.

셋째, 휴대폰의 어플리케이션을 이용하여 구조물의 동적특성 분석에 활용 가능성을 확인하였다.

감사의 글

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

1. Yoon Sung-Won, Joo Young-Kyu, (2003) Natural Frequency of Tall building Through Ambient Vibration Measurement, Journal of KSSC, pp. 117~124 Korea (in Korea).
2. Sung-won Yoon, Ki-Young Do, (2013) Analysis of vibration measurement data of the pedestrian bridge using cellular phone Journal of the Koera Cpted Association, Vol 4, No.2, pp. 59~75 (ing Korean).
3. Do, K. Y. (2014) Analysis of Natural Frequency through Vibration Measurement of Foot-bridges, M.S. dissertation, Seoul National University of Science and Technology, Korea (in Korean).
4. Moon Sang-Hyoun, Jung Young-Seok, Yooun Sung-won, (2015) Measurement Oscillation of Skyscraper with a Mobile Phone Journal of the Korean Association For Spatial Structures, Vol 11, No.1, pp. 110~111
5. Koo, Hye Jin, Kim, Hong-Jin. (2015) Natural Period and Damping Ratio of RC Buildings for Serviceability Design, Journal of the AIK, Vol. 31, No.2, pp. 37~44 (in Korean).

■ Received : August 13, 2015

■ Revised : August 28, 2015

■ Accepted : August 28, 2015