

진동계측에 의한 저층 철근콘크리트조 건물의 동적특성

The Dynamic Characteristics for Low-rise Reinforced Concrete Buildings by Vibration Measurements

강 동 균* 윤 성 원**
Kang, Dong-Gyun Yoon, Sung-Won

Abstract

This paper is concerned with the dynamic characteristics of buildings, especially with the measurement of the natural frequencies(natural periods) and the damping. Process of ambient vibration and synchronized human excitation tests for natural period and damping are given. Data from measurement on 16 reinforced concrete buildings in Seoul and Seoul national university of technology are given. 16 Low-rise Reinforced concrete buildings are measured for ambient vibration to obtain the vibrations characteristics. The natural periods obtained by ambient vibration measurements are compared with those of forecast model suggested by standards and foreign researchers. The natural periods show a clear dependence on building height. On the other hand, the damping ration scatter under the influence of various factors, for example, building height and natural frequency.

keywords : natural frequencies, natural periods, damping ratio, man power method, free vibration

1. 서 론

최근 급속한 경제발전과 생활수준의 향상에 따라 건물은 고층화되고 도로상을 통행하는 차량은 급속히 증가하고 있으며, 차량의 중량화 및 고속화 현상이 가속화되고 있어 과도한 진동 등의 문제가 사용성을 저하시키고 안전성을 위협하고 있다. 건물의 고유진동수에 따라 사람이 느끼는 진동지각영역은 달라진다. 그러므로, 교통진동, 건축설비, 건설공사 등으로 인하여 불쾌감을 느끼고, 일부의 경우 불안감을 표출하는 사용성의 문제가 부각되고 있다.

사용성 문제는 고층건물의 경우에는 강풍으로 인한 거주자의 사용성이 주요한 문제가 되고 있지만, 저층 철근콘크리트 건물도 사용성 차원에서 진동문제에 노출되어 있다. 수평진동에 대한 건물의 사용성 평가를 위해서는 건물의 고유진동수와 감쇠율의 정확한 평가가 필요하다.¹⁾

고유진동수는 상시진동계측을 통하여 비교적 수월하게 얻을 수 있다.²⁾ 또한, 사용성 평가의 진동진폭범위에서는 고유진동수의 진폭의존성이 공학적인 면에서 매우 적으므로 상시진동계측을 통한 방법이 많이 사용되고 있다. 그러므로, 본 연구에서는 저층 철근콘크리트건물을 대상으로 하여 상시진동계측과 자유진동실험을 실시하였다.

자유진동실험은 인력가진법(synchronized human excitation)과 가진기(vibration shaker)를 이용하는 방법이 있다. 가진기실험은 가진기가 고가이고 중량이 무거운 관계로 운반이 수월하지 못한 점이 있다. 또한, 가진중에 고유진동수와 정확히 일치된 진동수로 일정하게 가진하는 어려움도 지적되고 있다. 그러므로, 본 논문에서는 주로 고유진동수 0.5Hz~2.0Hz 범위의 건물에서는 주로 사용되는 인력가진법을 고유진동수가 2.5Hz~5.0Hz의 범위인 저층건물에 적용하였다.

따라서, 본 논문에서는 저층 철근콘크리트 건물을 대상으로 상시진동실험과 자유진동실험으로 고유진

* 정회원 · 케이에스엠기술(주) 차장, 공학석사

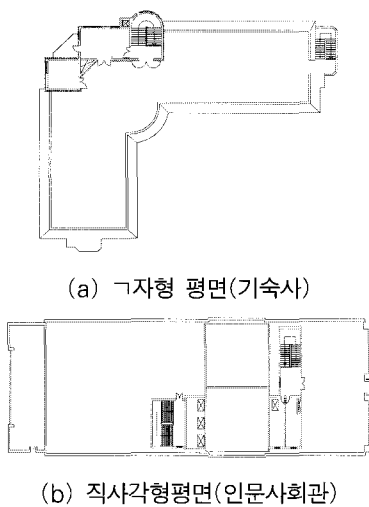
** 정회원 · 서울산업대 건축설계학과 조교수, 공학박사

동수와 감쇠율의 동적특성을 분석하여, 사용성설계를 위한 철근콘크리트조 건물의 동적 특성의 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 진동계측

2.1 계측건물

대상건물은 10층 이하 저층 철근콘크리트조 16개 동으로 선정하였다. 계측대상건물의 높이는 10.7m~33.0m이며, 모멘트골조 구조시스템이다. 평면형상은 대부분 정방형평면의 건물이지만, 예외적으로 서울산업대 내의 기숙사와 사회교육원은 7자형 평면이다. 그림 1은 대상건물 평면형상의 일 예이다. 또한, 대상건물은 1969년~2001년도에 준공된 건축물이며, 표 1은 계측대상 건축물의 재원이다.



〈그림 1〉 계측건축의 평면형상

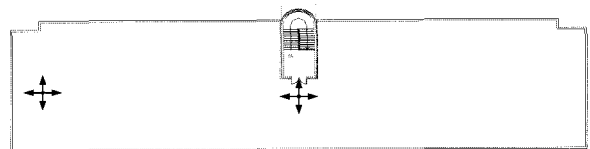
〈표 1〉 계측대상 건축물 재원

대상건물	높이 (층수)	준공 년도	대상건물	높이 (층수)	준공 년도
사회교육원	10.7(3)	1991	여의도1	33.0(10)	1991
인문사회관	23.2(6)	1969	여의도2	32.0(10)	1985
조형관	19.2(5)	1996	구로동11	16.0(4)	1989
창업센터	15.2(4)	2001	구로동7	18.6(5)	1989
학생회관	13.10(3)	1990	종교시설	23.7(5)	2001
기숙사	13.0(4)	1992	대동	30.0(8)	1998
대치동22	18.8(6)	1997	문래동5	17.4(5)	1976
대치동21	19.0(6)	1998	대치동23	21.0(6)	1990

2.2 계측방법

2.2.1 상시진동계측

대상건축물의 계측장소는 대부분 옥상층에서 계측하였다. 다만, 건물의 여건상 옥상층에서 계측이 곤란한 일부건물에서는 옥상층 바로 아래의 층에서 실시하였다. 서보가속계의 설치는 표 2, 그림 2와 같이 중앙부와 단부 부위에 장·단변 방향으로 각각 4채널로 계측한 경우도 있고, 계측건물 여건상 중앙부에 장·단변 방향으로 2채널로 계측한 경우도 있다. 계측은 시계열 파형 데이터를 Difa Measuring 시스템으로 계측하였다. 그리고, 데이터의 샘플링은 가능하면 3차 모드의 진동수까지 계측할 수 있도록 주파수 밴드 폭을 설정하였다. 대부분의 데이터는 20회 앙상블로 반복 계측하였다.



〈그림 2〉 계측건물 센서(서보가속도계) 설치위치의 예

〈표 2〉 계측장소 및 센서방향

대상건물	계측 장소	센서 방향	대상건물	계측 장소	센서 방향
사회교육원	3층	↕↔	구로동11	옥상	↕
인문사회관	옥상	↕↔	구로동7	옥상	↕
조형관	옥상	↕↔	종교시설	옥상	↕
창업센터	옥상	↕↔	대동	옥상	↕
학생회관	3층	↕↔	문래동5	옥상	↕
기숙사	4층	↕↔	대치동23	옥상	↕
대치동22	옥상	↕	여의도1	옥상	↕
대치동21	옥상	↕	여의도2	옥상	↕

2.2.2 인력가진

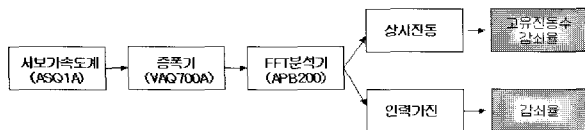
인력가진법은 건물을 미는 힘으로서 사람의 체중 이동에 따른 관성력을 이용하기 때문에 특별한 기계 등이 필요하지 않고, 비교적 간단히 실시할 수 있는 장점이 있다. 가진주기는 건물의 고유주기에 될 수 있는 한 정확히 동조하며 20회 정도의 반복횟수가 필요하다. 가진 파치의 정밀도를 올리기 위해서는

사전의 상시진동 계측 등에 따라 미리 계측된 고유주기에 펄스음을 발생시켜 가진 실시자에게 주지시키는 방법이 이용되고 있다. 이 실험에서는 공진현상에 따라 진폭이 충분히 성장한 시점에서 가진을 정지하고, 이후의 자유진동을 측정한다.

상시진동계측에서 구한 고유진동수를 가진 진동수로 하여 자유진동실험인 인력가진을 실시하였다. 인력가진은 6명이 건물의 코아를 단변과 장변에서 고유진동수와 일치하여 가진한 후 멈추어 서서 자유진동 실험을 하였다.

2.3 해석범위

대상건물을 그림 3과 같은 계측방법과 진동특성 평가방법의 흐름으로 해석하였다.



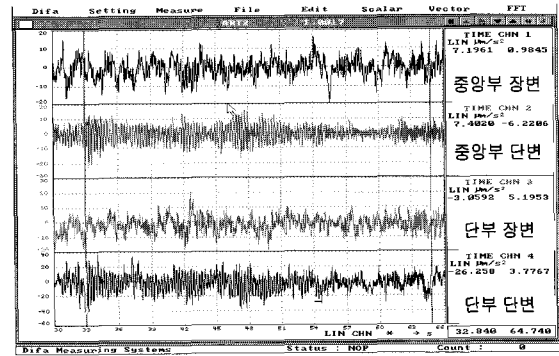
〈그림 3〉 계측방법과 진동특성 평가방법

2.3.1 상시진동에 의한 고유주기

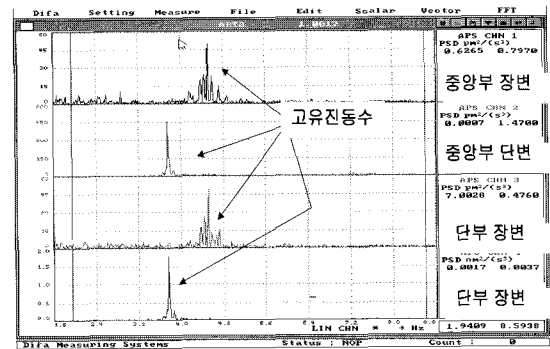
고유주기는 계측으로 얻어진 가속도 응답 시계열 파형인 그림 4에서 파워 스펙트럼으로 산정하여 고유진동수를 구하여 역수를 취하였다. 그림 4는 건물의 중앙부 장변(ch1)과 단변(ch2), 단부 장변(ch3)과 단변(ch4) 방향에 대하여 계측한 4채널의 시계열 파형을 순서대로 나타낸 것이다. 또한, 그림 5는 상시진동 계측 파형을 이용하여 고유진동수를 산정한 각 채널의 파워 스펙트럼이다. 20개 앙상블의 평균파워 스펙트럼으로부터 구한 고유진동수의 수치들을 이용하여 표 3과 같이 표준오차와 평균의 고유진동수를 구하였다.

2.3.2 상시진동에 의한 감쇠율

감쇠율 산정은 MATLAB 프로그램을 이용하여 20개의 평균 파워 스펙트럼을 그림 6과 같이 최종 fitting하여 하프파워법(half-power band width)의 감쇠평가법으로 감쇠율을 추출하였다. 하프파워법의 평가방법은 그림 7과 같다.



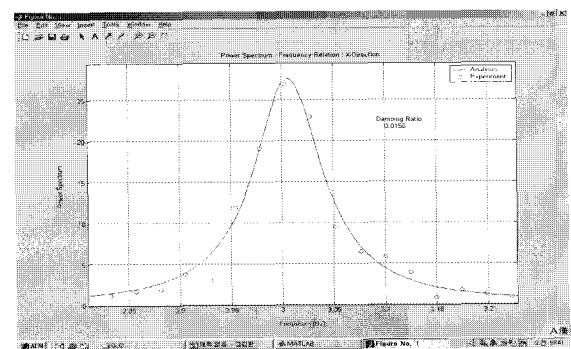
〈그림 4〉 상시진동계측 시계열 파형의 예(창업센터)



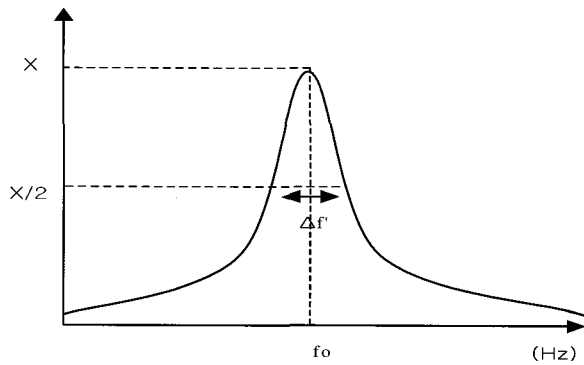
〈그림 5〉 상시진동계측 파워스펙트럼 파형의 예(창업센터)

〈표 3〉 고유진동수 데이터의 예(대치동22)

데이터	장 변	단 변	데이터	장 변	단 변
1	4.882	2.343	11	5.224	2.343
2	5.224	2.392	12	5.127	2.392
3	5.224	2.343	13	4.882	2.343
4	5.175	2.392	14	5.175	2.343
5	4.785	2.348	15	5.175	2.343
6	4.541	2.392	16	3.906	2.392
7	4.785	2.348	17	5.371	2.343
8	5.127	2.348	18	5.224	2.343
9	5.224	2.343	18	5.419	2.343
10	4.882	2.392	20	5.175	2.343
평균	5.03	2.35	표준편차	0.34	0.02



〈그림 6〉 감쇠율 산정을 위한 fitting의 예(구로11)

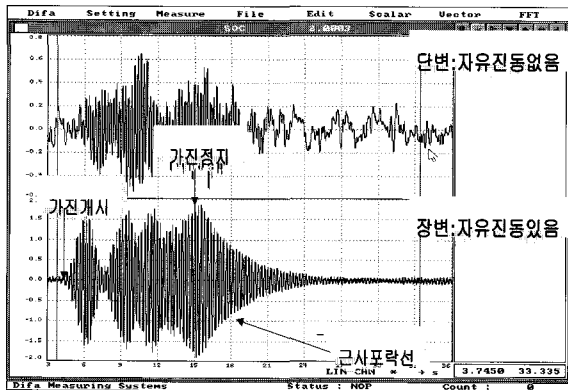


$$\zeta = \Delta f' / 2f_0, f_0 : \text{피크진동수}$$

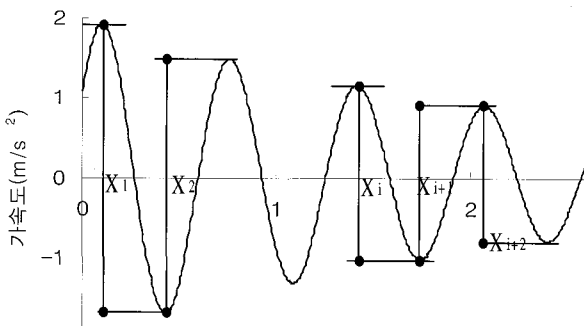
〈그림 7〉 감쇠평가방법인 하프파워법에 의한 평가방법

2.3.3 인력가진에 의한 감쇠율

대상건물의 감쇠율은 인력가진에 의한 계측으로 얻어진 가속도 응답 시계열 파형(그림 8)을 대수감소법(그림 9)으로 추출하였다. 그림 8을 대표적으로 설명하면 2개의 창은 장변과 단변의 순서로 구성되어 있다. 따라서, 인력가진력을 단변으로 작용시켰



〈그림 8〉 인력가진에 의한 계측 시계열 파형(사회교육원)의 예



$$\zeta_1 = (1/2\pi) \ln(X_i/X_{i+2}) \times 100$$

〈그림 9〉 대수감소법 감쇠율 평가방법

기 때문에 장변에는 자유진동 파형이 생성되지 않았고, 단변에만 자유진동파형이 생성되었다. 대체적으로 상시진동시 보다 수십배 크기의 진동진폭을 얻을 수 있었다. 자유진동파형으로 산정한 감쇠율의 신뢰성을 확인하기 위하여 각 파형마다의 감쇠율과 비교하였다.

3. 진동산정 데이터

3.1 고유주기

대상건물 16개 동의 상시진동에 의한 고유주기 및 고유진동수 데이터는 표 4와 같다.

〈표 4〉 계측된 고유주기 및 고유진동수

대상건물	고유진동수(Hz)		고유주기(sec)	
	장 변	단 변	장 변	단 변
사회교육원	3.91	4.1	0.255	0.243
인문사회관	3.17	2.73	0.315	0.366
조 형 관	4.44	3.75	0.225	0.266
창업센터	4.58	3.71	0.218	0.269
학생회관	3.86	3.96	0.259	0.252
기 숙 사	3.67	3.61	0.272	0.277
대치동22	5.03	2.35	0.198	0.425
대치동21	4.95	2.13	0.202	0.469
여의도1	1.76	2.04	0.568	0.490
여의도2	1.86	1.26	0.537	0.793
구로동11	3.03	3.20	0.330	0.312
구로동7	3.27	4.15	0.305	0.240
종교시설	3.96	2.86	0.252	0.349
대 동	2.61	2.45	0.383	0.408
문래동5	4.62	2.05	0.216	0.487
대치동23	2.87	2.06	0.348	0.485

3.2 감쇠율

대상건물 16개 동의 대하여 상시진동에 의해 계측된 데이터를 하프파워법으로 감쇠율을 산정하였다. 또한, 이 중에서 서울산업대내의 6개동 중 학생들이 상주하는 학생회관과 기숙사를 제외한 4개 동에 대하여 인력가진실험을 실시하여 대수감소법으로 감쇠율을 산정하였고, 표 5와 같다.

<표 5> 상시진동 및 인력가진에 의해 산정된 감쇠율

대상건물	상시진동 감쇠율(%)		인력가진 감쇠율(%)	
	장 변	단 변	장 변	단 변
사회교육원	1.73	1.86	1.23	1.46
인문사회관	1.55	1.22	1.05	1.02
조 형 관	1.83	1.68	1.03	1.38
창업센터	1.90	1.64	2.40	2.04
학생회관	2.11	1.97	-	-
기 속 사	2.02	1.96	-	-
대치동22	2.04	1.66	-	-
대치동21	1.82	1.56	-	-
여의도1	1.37	1.43	-	-
여의도2	1.44	1.23	-	-
구로동11	1.56	1.51	-	-
구로동7	1.78	1.65	-	-
종교시설	1.90	1.57	-	-
대 동	1.90	1.64	-	-
문래동5	1.83	1.63	-	-
대치동23	1.75	1.47	-	-

4. 진동 특성의 분석

4.1 고유주기의 파라미터 분석

이 논문에서는 편의상 그래프의 명료한 fitting을 위하여 고유진동수 대신 고유주기로 표현하였다. 고유주기에 대한 수식의 제안을 위한 변수로 건물높이(H)와 고유주기(T_1)와의 상관관계를 통하여, 고유주기의 영향을 각각 상관계수를 이용하여 분석하였다. 고유주기를 장변, 단변, 장·단변 통합, 세가지로 구분하여, 고유주기 회귀식을 건물높이(H)로 표현하였다.

장·단변 각각의 분포에 대하여 원점을 통과하는 회귀식으로 표현하면, 식 (4.1)과 식 (4.2)과 같이 표현할 수 있다.

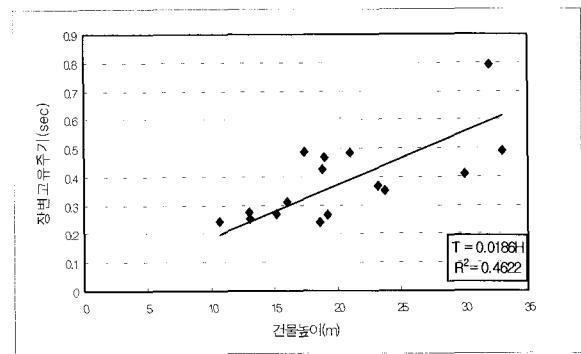
$$T = 0.0186H \quad (4.1)$$

$$T = 0.0149H \quad (4.2)$$

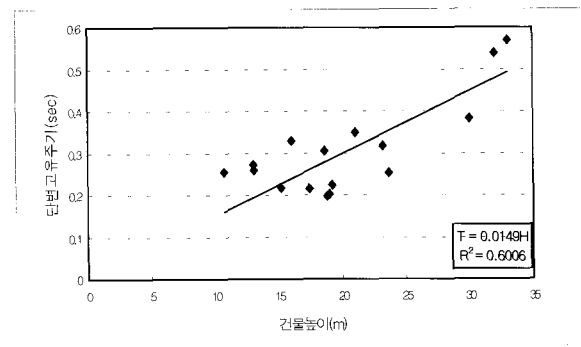
여기서, T : 고유주기(sec), H : 건물높이(m)이다.

장변과 단변의 일차식 기울기는 각각 0.0186과 0.0149이며, 회귀식에 대한 상관계수(R)는 장변에

서 0.68, 단변에서 0.77, 평균은 0.73이다. 건물높이(H)와 장·단변 각각의 고유주기(T_1)와의 상관관계는 그림 9와 같이 건물높이(H)가 증가함에 따라 고유주기(T_1)가 선형적으로 증가하는 경향을 보이고 있다.



(a) 장변 고유주기



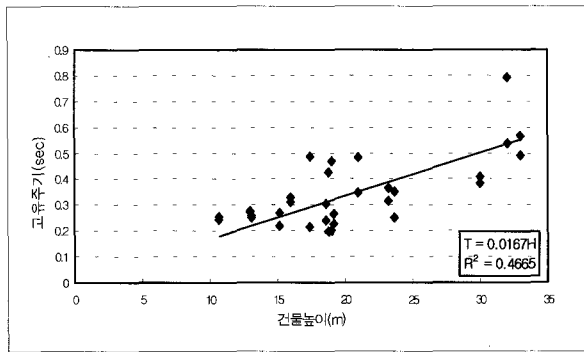
(b) 단변 고유주기

<그림 9> 높이에 대한 고유주기의 상관관계

장·단변의 모든 계측치를 종합한 회귀식의 설정을 위하여 단변과 장변의 데이터를 구분하지 않고 통합하여 작성하였다. 원점을 통과하는 회귀식은 식 (4.3)과 같이 표현된다. 기울기는 0.0167이며, 회귀식에 대한 상관계수(R)는 0.68이다. 건물높이(H)와 장·단변의 고유주기(T_1)와의 상관관계는 그림 10과 같이 건물높이(H)가 증가함에 따라 고유주기(T_1)가 증가하는 경향을 보이고 있다.

$$T = 0.0167H \quad (4.3)$$

여기서, T : 고유주기(sec), H : 밑면으로부터 최상층까지 건물높이(m)이다.



〈그림 10〉 높이에 대한 고유주기(장·단변)의 상관관계

4.2 고유주기와 국내·외 기준 및 모델식과 비교분석

실측데이터는 10층 이하의 철근 콘크리트조 모멘트 골조 시스템인 16개 동의 계측치로서 국내에는 사용성에 관한 기준이 없는 관계로 2000년도 KS 건축물 하중기준³⁾의 고유주기식 (4.4)을 사용하였다.

해외 기준식은 일본의 사용성 설계시 철근 콘크리트조 고유주기식 (4.5)과 해외의 여러 실험 모델식 즉, Ellis(1998)식⁴⁾ (4.6), Lagomarsino(1998)식⁵⁾ (4.7), Hong & Hwang(2000)식⁶⁾ (4.8)과 비교하였다.

$$T = 0.0731 (H)^{0.75} \quad (4.4)$$

$$T = 0.015H \quad (4.5)$$

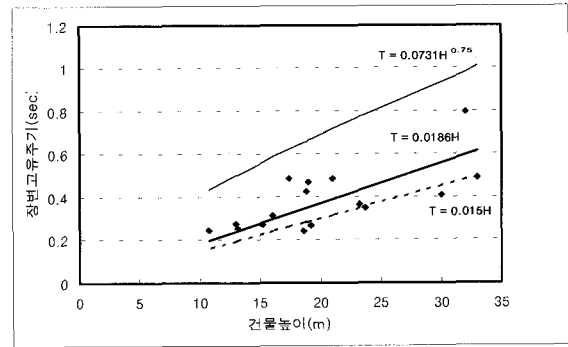
$$T = H/46 \quad (4.6)$$

$$T = H/55 \quad (4.7)$$

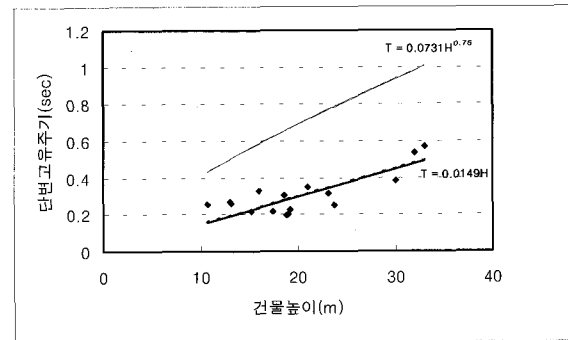
$$T = H/77 \quad (4.8)$$

여기서 T : 고유주기(sec), H : 밑면으로부터 최상층까지 건축물의 높이(m)이다.

그림 11은 단변과 장변의 계측치와 KS기준식, 일본 철근 콘크리트 사용성 기준식을 비교한 것이다. 단변 계측치의 고유주기 일차식은 $T_1=0.0149H$ 로 KS기준의 모멘트 골조식 (4.4)과는 상당한 차이를 보이고 있지만, 일본 철근 콘크리트 사용성 설계식 (4.5)과는 거의 일치함을 나타낸다. 또한, 장변도 비슷한 경향을 나타내고 있으며, 단변의 계측치와 일본 사용성 기준식이 상당히 일치하는 경향을 보인다.



(a) 장변 고유주기



(b) 단변 고유주기

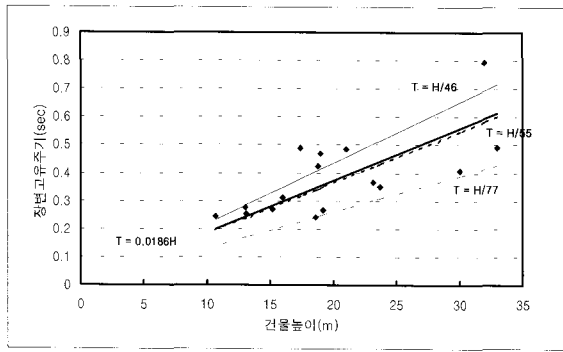
〈그림 11〉 실험식의 고유주기 상관관계와 기준식 비교

해외의 실험 모델식들과 계측치를 장·단변으로 각각 구분하여 비교하였으며, 그림 12와 같다. 식 (4.6)과 식 (4.7)은 단변 계측치와 큰 차이를 보이고 있는 반면에 (4.8)식과는 비교적 유사함을 보여주고 있다.

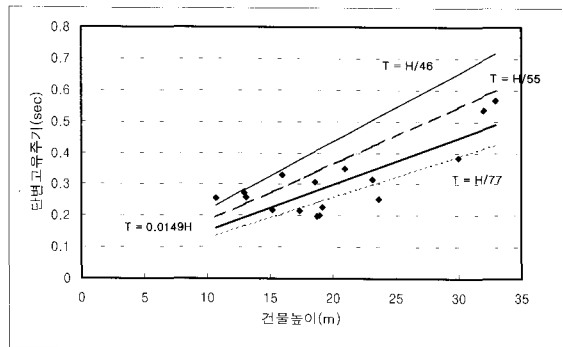
장변 계측치와 모델식들의 상관관계는 단변과는 달리 식 (4.8)만이 큰 차이를 보일 뿐, 식 (4.6)과 식 (4.7)은 계측치와 상당히 근접하며, 식 (4.7)에 거의 일치함을 보여주고 있다.

그림 13은 단변과 장변의 데이터를 구분하지 않고 통합하여 작성한 근사식과 해외 기준식과 비교한 것이다. 실험식 근사식은 $T_1=0.0167H$ 로 국내 KS기준식과 상당한 차이를 나타내며, 일본 철근 콘크리트 사용성 설계식 $T_1=0.015H$ 과는 상당히 근사함을 보여주고 있다.

또한, 그림 14는 해외 실험 모델식과의 비교한 것이며, 근사식은 식 (4.6)에는 상당한 차이를 보여주고 있지만 식 (4.7)과 식 (4.8)에 근사한 경향을 보인다. 특히, 식(4.7)에 거의 근접한 양상을 나타낸다.

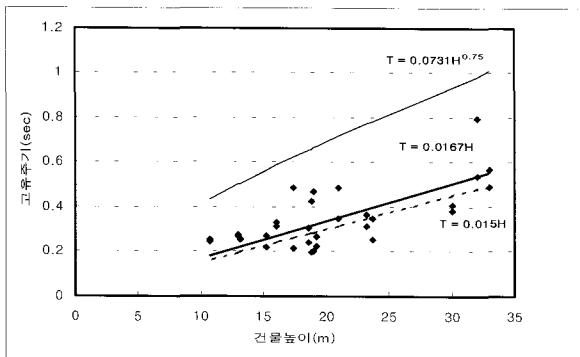


(a) 장변 고유주기

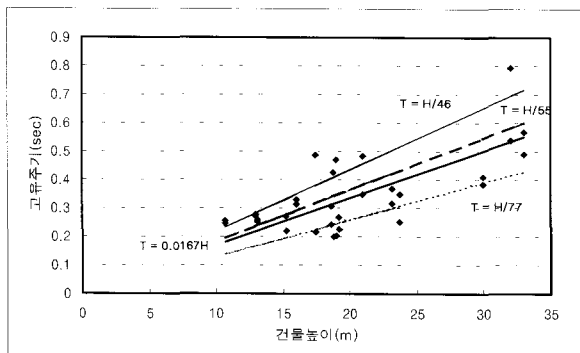


(b) 단변 고유주기

〈그림 12〉 실험식의 고유주기 상관관계와 모델식 비교



〈그림 13〉 실험식의 고유주기(장·단변) 상관관계와 기준식 비교



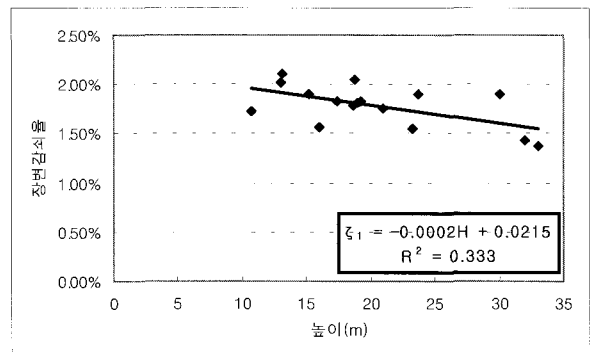
〈그림 14〉 실험식의 고유주기(장·단변) 상관관계와 모델식 비교

4.3 감쇠율과 파라미터 분석

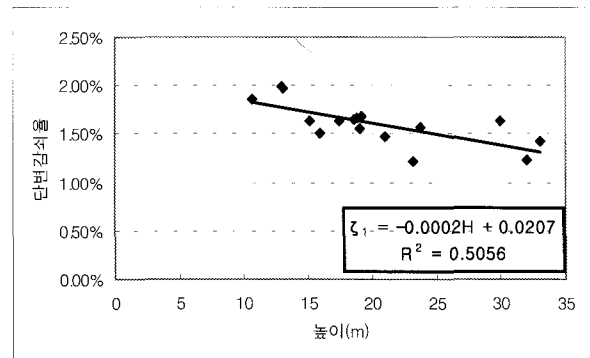
4.3.1 건물높이(H)와 1차 감쇠율(ζ_1)과의 상관관계

높이(H)에 대한 1차 감쇠율(ζ_1)의 회귀식은 장변에서 $\zeta_1=0.0002H+0.0215$, 단변에서 $\zeta_1=0.0002H+0.0207$ 이며, 상관계수(R)는 장·단변 각각 0.58, 0.71이다.

건물높이(H)와 1차 감쇠율(ζ_1)과의 관계는 그림 15와 같이 높이가 높을수록 감쇠율은 작아지는 경향을 보이고 있다. 또한, 고유주기(T_1)와 1차 감쇠율(ζ_1)과의 관계는 그림 16과 같은 경향을 나타낸다. 철근콘크리트 건물의 높이(H)와 고유주기(T_1)의 상관관계가 높기 때문에 그림 15와 그림 16은 비슷한 경향을 보이고 있다. 높이(H)가 10m이상, 고유주기(T_1)가 0.2이상의 건물에 있어서 건물높이(H)가 높을수록 1차 감쇠율(ζ_1)은 작아지게 되고, 1차 감쇠율(ζ_1)은 2.0% 보다 작아진다. 다만, 건물높이(H)가 20m이하의 장변 1차 감쇠율(ζ_1)에서 2.0%를 초과하는 건물도 있다.

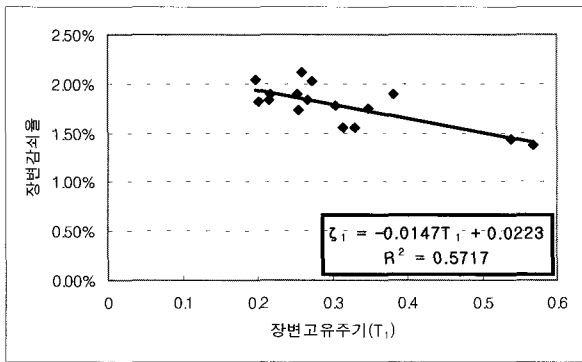


(a) 장변 감쇠율

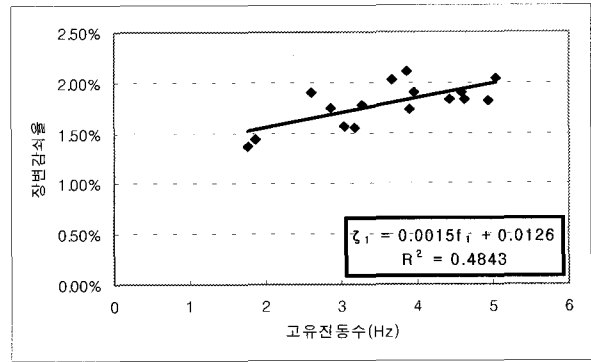


(b) 단변 감쇠율

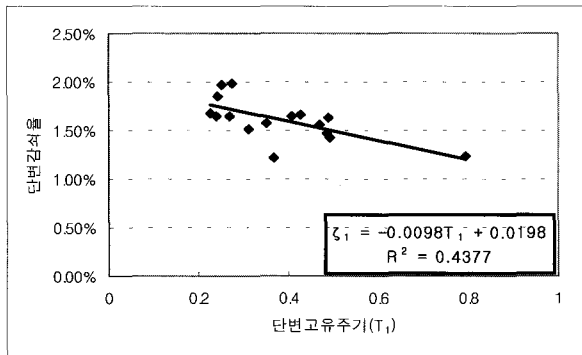
〈그림 15〉 건물높이(H)와 1차 감쇠율의 상관관계



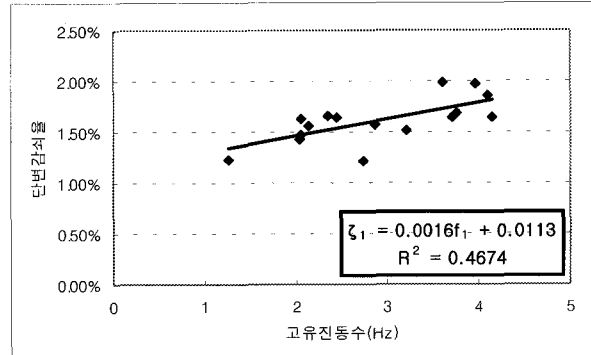
(a) 장변 감쇠율



(a) 장변 감쇠율



(b) 단변 감쇠율



(b) 단변 감쇠율

〈그림 16〉 고유주기(T_1)와 1차 감쇠율의 상관관계

〈그림 17〉 고유진동수(f_1)와 1차 감쇠율의 상관관계

4.3.2 고유진동수(f_1)와 1차 감쇠율(ζ_1)과의 상관관계

1차 감쇠율(ζ_1)의 고유진동수(f_1) 의존성을 조사하기 위하여 고유진동수와의 상관관계를 그림 17에 나타내었다. 1차 감쇠율은 고유진동수가 증가함에 따라서 함께 증가하는 경향을 알 수 있다. 1차 감쇠율(ζ_1)은 고유진동수(f_1)가 증가함에 따라 거의 선형적으로 증가하고 상관관계가 높다는 것은 장변에서 $\zeta_1 = 0.0015f_1 + 0.0126$, 단변에서 $\zeta_1 = 0.0016f_1 + 0.0113$ 에 상관관계수(R)가 0.70, 0.68로 분포로 알 수 있다.

4.4 하프파워법과 대수감소법에 의한 1차 감쇠율 비교분석

하프파워법(H.P)과 대수감소법(C.F)으로 산정한 감쇠율 데이터는 표 6과 같다. 두 평가방법 각각의 데이터를 추출하였다. 또한, 각각의 평가법에 따른 회귀직선을 구하였으며, 그림 18과 같다. 2개의 회귀직선 결과를 비교하면, 대소관계는 대수감소법이 하프파워법 보다 작은 것으로 나타나며, 1차 감쇠율과

〈표 6〉 하프파워법 및 대수감소법에 의한 감쇠율

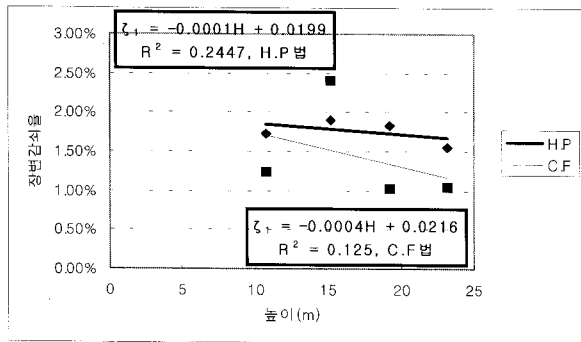
대상건물	하프파워법 감쇠율(%)		대수감소법 감쇠율(%)	
	장 변	단 변	장 변	단 변
사회교육원	1.73	1.86	1.23	1.46
인문사회관	1.55	1.22	1.05	1.02
조형관	1.83	1.68	1.03	1.38
창업센터	1.90	1.64	2.40	2.04

높이와의 상관관계에서 하프파워법(H.P)의 계측데이터 분포가 대수감소법 보다 크지 않음을 알 수 있었다.

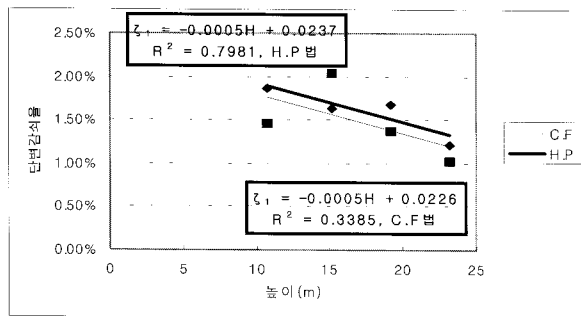
5. 결 론

진동계측에 의한 저층 철근콘크리트 16개동의 진동특성을 분석하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 상시진동계측에서 산정한 높이(H)에 대한 고유주기의 회귀식과 상관관계수(R)는 단변이 $T=0.0149H$ 에 0.68, 장변이 $T=0.0186H$ 에 0.77이며, 장·단변 통합 근사식은 $T=0.0167H$ 에 0.68이다.



(a) 장변 감쇠율



(b) 단변 감쇠율

〈그림 18〉 H.P법과 C.F법에 의한 1차 감쇠율과 높이의 상관관계

- 2) 저층 철근 콘크리트조 계측치는 「2000년 KS건축물 하중 기준」의 모멘트 골조 고유주기 제안식 $T=0.0731H^{0.75}$ 와는 큰 차이를 보여주고 있다. 반면, 일본 철근 콘크리트 사용성에 관한 고유 주기 식 $T=0.015H$ 에는 근접한다.
- 3) 높이(H)에 대한 1차 감쇠율(ζ_1)의 회귀식은 장변에서 $\zeta_1=-0.0002H+0.0215$, 단변에서 $\zeta_1=-0.0002H+0.0207$ 이며, 상관계수(R)는 장·단변 각각 0.58, 0.71이다. 건물높이가 높을수록 감쇠율은 작아지는 경향을 보였으며, 건물높이(H)와 고유주기

(T_1)의 상관관계가 높기 때문에 고유주기와 1차 감쇠율(ζ_1)과의 관계와 비슷한 경향을 나타냈다.

- 4) 고유진동수(f_1)와 1차 감쇠율(ζ_1)과의 상관관계에서 1차 감쇠율(ζ_1)은 고유진동수(f_1)가 증가함에 따라 거의 선형적으로 증가하고 상관관계가 높다는 것은 장변에서 $\zeta_1=0.0015f_1+0.0126$, 단변에서 $\zeta_1=0.0016f_1+0.0113$, 상관계수(R)가 0.70, 0.68로 분포하고 있어, 감쇠율은 고유진동수의 의존성이 있다는 것을 알 수 있었다.
- 5) 하프파워법(H.P)에 의한 감쇠율이 대수감소법(C.F)에 의한 감쇠율 보다 큰 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 日本建築學會 : 建築物の振動に關する住居性能評價指針同解説, 1991, pp. 1~34.
2. 日本建築學會 : 建築構造物の振動實驗, 1978.
3. 사)대한건축학회 : “건축물 하중기준 및 해설”, 2000, pp. 69, 건설교통부.
4. Ellis, B.R., Full-scale Measurements of Dynamic Characteristics of Buildings in the UK, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1998, Vol 59, pp. 365~382.
5. Lagomarsino, S : Forecast models for damping and vibration periods of buildings, Journal of Wind Engineering and industrial Aerodynamics, Vol. 48, pp. 221~239, 1993.
6. Hong, L.L. and Hwang, W.L, empirical formula for fundamental vibration periods of reinforced concrete building in Taiwan, Earthquake Engineering Structural Dynamics., Vol. 74, pp. 741~750.