

# 고층건물의 상시진동계측을 통한 고유진동수

## Natural Frequency of Tall Building Through Ambient Vibration Measurement

윤 성 원<sup>1)</sup> · 주 영 규<sup>2)</sup>

Yoon, Sung Won, Ju, Young Kyu

요 약 : 고층건물의 사용성설계는 가속도와 같은 풍응답진동에 의하여 자주 영향을 받으므로, 이때 고유진동수의 올바른 산정은 중요하다. 설계단계에서 사용되고 있는 이러한 진동수 경험식들은 상호간에 서로 다른 결과치를 제시하는 경향이 있다. 이 논문은 철골조 건물의 진동주기에 대한 것으로서, 건물의 진동실험방법과 상시진동실험에서 얻은 고유주기를 예측하기 위한 방법을 제시하였다. 서울지역 21개동의 상시진동 계측데이터에서 고유주기를 산정하였다. 철골조 고층건물의 고유주기 근사식을 제안하였으며, 고유주기의 근사식을 국내의 기준 및 고유치해석의 결과와 비교하였다.

ABSTRACT : Wind-induced motions, like acceleration for instance, often influence designs for high-rise buildings. As a consequence, correct assessment of natural frequency becomes important. The empirical expressions used to quantify this parameter at the design phase tend to yield values that are significantly different from each other. This paper is concerned with the natural periods of steel buildings. It describes the vibration measurement methods that were employed for testing buildings. This paper will also present reliable methods of assessing the natural period from ambient vibration tests.

Data from measurements on 21 buildings in Seoul were provided while 21 buildings were tested by ambient vibration measurements to obtain the natural periods. While regression formulas of natural periods for steel-framed tall buildings were suggested, the obtained formula was compared with the empirical expressions of structural standards and the Eigen-value analysis.

핵심용어 : 고유주기, 고유진동수, 상시진동계측, 사용성

KEYWORDS : natural periods, natural frequency, ambient vibration measurement, serviceability

### 1. 서 론

철골조 고층건물은 풍하중으로 인하여 건물 최상층의 응답가속도가 일정 수준 이상을 초과하면 거주자가 불쾌감을 느끼는 사용성 문제를 야기한다. 설계단계에서의 사용성 검토는 해외기준이나 풍동실험을 이용하여 일정 재현주기별 응답가속도를 산정하여 검토할 수 있다. 이때에 신뢰성있는 응답가속도를 얻기 위해서는 정확한 고유진동수의 예측이 매우 중요하다. 고유진동수는 설계단계에서 일반적으로 고유치해석을 통해서 산정할 수 있지만, 비구조재의 모델링 등의 어려움으로 실제 건물의 정확한 고유진동수를 예측하는데 어려움이 있다. 해외의 연구 결과

에 의하면 계측치에 의한 고유진동수가 해석치보다 평균적으로 20% 전후로 큰 것으로 보고되고 있다.

해외에서의 상시진동 등의 계측을 통한 고유진동수에 대한 연구는 Suda(1995), Jeary(1992), Ellis(1998), Lago-marsino(1998) 등에 의하여 광범위하게 수행되었다. 또한 UBC(1977), Eurocode(1994), 일본(2000) 등의 해외기준도 진동계측에 기초하여 얻어진 고유진동수식을 건물 높이로 제안하고 있다. 그러나 해외의 고층건물 소재 지역의 지진하중이나 풍하중이 국내의 하중과는 서로 다르므로, 해외의 고유진동수 제안식을 국내 건물의 사용성 설계시에 그대로 적용하기에는 모순이 있다.

1) 정희원, 서울산업대학교 건축학부 조교수, 공학박사  
(Tel. 02-970-6587, Fax. 02-979-6587, E-mail: swyoon@snu.ac.kr)

2) 정희원, 대우건설기술연구소, 선임연구원, 공학박사(youngkj@mail.dwconst.co.kr)

본 논문에 대한 토의를 2003년 10월 30일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

또한 일본기준에서는 풍하중에 대한 사용성설계용 고유진동수를 별도로 제안하고 있지만, UBC(1977), Eurocode (1994)에서는 풍하중의 사용성과 안전성 설계용 고유진동수의 제안식을 동일하게 적용하고 있다. 또한 국내기준에서는 건축물 하중기준 및 해설(2000)에 지진하중에 대한 고유주기 기식이 제안되어 있는 실정이다.

또한 국내의 100m 이상의 철골조 고층건물은 순수 철골조 뿐만 아니라 철골철근콘크리트조의 비중도 상당히 차지하고 있다. 그러나 국내의 기준에서는 철골철근콘크리트조에 대한 사용성 설계시에 적합한 고유진동수식이 없는 실정이다. 국내에서는 철골조 고층건물의 진동계측을 통하여 고유진동수를 산정한 일부의 연구(윤성원, 2001; 윤성원, 2001)는 있으나, 많은 고층건물의 계측치에서 고유진동수의 근사식을 제안한 예는 아직 없는 실정이다.

따라서 본 논문에서는 서울 소재의 철골조 및 철골철근콘크리트조 고층건물 21동을 대상으로 상시진동계측을 실시하였다. 상시진동계측 결과에서 높이를 변수로 하여 고유진동수를 산정하였고, 이를 식의 간편화를 위하여 고유주기의 근사식으로 제안하였다. 또한 계측치를 국내외 고유주기 제안식과 비교를 통하여 국내의 기준의 적용성을 검토하였다. 또한 21동 중에서 철골조 8동은 고유치해석 결과를 계측치와 상호 비교를 통하여 고유치해석의 적용성을 검토하였다.

## 2. 진동계측

### 2.1 계측 건물의 건축개요

대상건축물은 서울 소재의 장방형 고층건물 21개동이다. 서울의 고층건물이 집중되어 있는 여의도, 도곡동, 삼성동, 보라매공원, 종로, 을지로의 5개 지역에 소재한 건물을 대상으로 했다. 평면 형태는 데이터의 일관성을 위하여 모든 층의 평면이 장방형에 가까운 건물을 대상으로 하였으며, 비정형건물은 계측 대상에서 제외하였다.

표 1은 계측건물의 제원으로서, 건물의 층수, 높이, 기준층 평면치수, 종횡비(aspect ratio)를 정리하였다. 그림 1은 건물의 용도로서 21동을 용도별로 구분하면 사무소가 13동(61%)으로 가장 비중이 높으며, 그 다음으로 주상복합 6동(29%), 호텔 2동(10%)이다. 그림 2는 건물 높이의 빈도로서 계측 건물 전체높이는 80.2m~243.3m에 분포한다. 건물 높이를 100m 이하부터 50m 간격으로 분류하면, 빈도가 많은 영역은 100m~150m 사이가 8동(38%)을 차지하고 있다. 계측건물의 층수는 21층~66층 사이에 분포하며, 그림 3은 계측건물의 층수 분포이다. 30층 이하부터 10층 간격으로 정리하면 41층

에서 50층까지만 4동(14%)이며 나머지 영역은 6동(29%)으로 비교적 균등하게 분포함을 알 수 있다. 그림 4는 계측건물의 종횡비로서, 종횡비 3~4가 6동으로 가장 많으며, 나머지 종횡비의 영역은 4동씩 균등하게 분포하고 있다.

### 2.2 계측 건물의 구조개요

표 2는 계측된 21동의 구조 종별과 구조시스템으로서 철골조 11동, 철골철근콘크리트조 10동으로 구성되어 있다. 여기서 철골조는 지상층의 기둥과 보가 전부 순수 철골조이고, 철골철근콘크리트조는 지상층의 기둥은 철골철근콘크리트조이고 지상층의 보는 철골조인 경우로 정의하였다.

구조시스템은 단변의 경우는 21동 중에서 가새골조시스템이 13동(66%)으로 가장 많으며, 다음으로 아웃리거 시스템이 3동(14%), 튜브구조 2동(10%), 이중골조 2동(10%)으로 구성되어 있다. 장변의 경우는 모멘트연성골조가 8동(37%)이고 가새골조가 6동(29%), 아웃리거 시스템이 3동(14%), 튜브구조와 이중골조가 각각 2동(10%)로 구성되어 있다.(그림 5 참조)

표 1. 계측건물의 제원

건물 번호	층수	높이 (m)	평면 길이(m)		종횡비
			단변	장변	
S-1	22	80.2	25	60	2.1
S-2	22	85.6	30	30	2.9
S-3	21	93.6	31.5	62.3	2.1
S-4	22	96	17.5	42.5	3.5
S-5	27	96.2	-	-	-
S-6	31	112.6	50	30	2.9
S-7	31	116.2	32.5	15	5.3
S-8	35	133.5	60	25	3.4
S-9	44	133.9	44.4	44.4	3.0
S-10	30	134.3	40.2	40.2	3.3
S-11	31	135.6	62.3	31.5	3.1
S-12	42	141.9	53.4	20.7	4.3
S-13	37	142.5	49.8	24.8	4.1
S-14	38	152.7	53.4	22.7	4.4
S-15	35	157	-	-	-
S-16	36	160	51	33	3.9
S-17	45	200.2	69	43.5	3.7
S-18	59	210.4	42.6	35.1	5.4
S-19	54	229	60.1	49.4	4.2
S-20	66	233.9	35.1	42.6	6
S-21	60	243.3	33	54	5.8

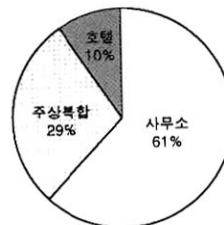


그림 1. 건물 용도

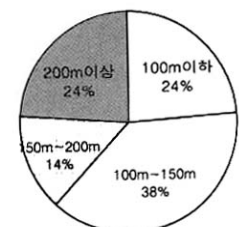


그림 2. 건물 높이

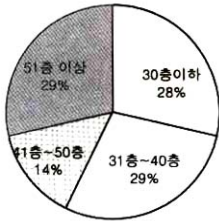


그림 3. 건물 층수

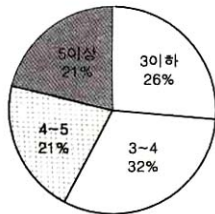
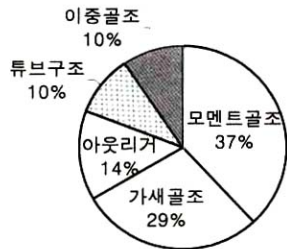


그림 4. 건물 종횡비



(a) 단변



(b) 장변

그림 5. 계측 건물의 구조시스템

표 2. 계측 건물의 구조 종별 및 구조시스템

건물 번호	층수	구조 종별 <sup>주)</sup>	구조시스템	
			단변	장변
S-1	22	SRC	가새골조	모멘트골조
S-2	22	SRC	가새골조	모멘트골조
S-3	21	S	가새골조	모멘트골조
S-4	22	SRC	가새골조	모멘트골조
S-5	27	SRC	이중골조	이중골조
S-6	31	SRC	가새골조	모멘트골조
S-7	31	S	가새골조	가새골조
S-8	35	S	입체구조	입체구조
S-9	44	SRC	아웃리거 & 벨트트러스	아웃리거 & 벨트트러스
S-10	30	S	튜브구조	튜브구조
S-11	31	S	가새골조	모멘트골조
S-12	42	SRC	가새골조	가새골조
S-13	37	S	가새골조	가새골조
S-14	38	S	가새골조	모멘트골조
S-15	35	SRC	이중골조	이중골조
S-16	36	S	가새튜브구조	튜브구조
S-17	45	S	가새골조	가새골조
S-18	59	SRC	아웃리거 & 벨트트러스	아웃리거 & 벨트트러스
S-19	54	S	가새골조	가새골조
S-20	66	SRC	아웃리거 & 벨트트러스	아웃리거 & 벨트트러스
S-21	60	S	가새골조	가새골조

주) S : 철골조 기둥 + 철골보

SRC : 철골철근콘크리트 기둥 + 철골보

### 2.3 계측장치

계측한 21동은 고층건물인 관계로 고유진동수가 1.0Hz

이하이다. 또한 상시진동계측을 하였으므로 가속도 진폭의 작은 관계로 저진동수 특성이 우수한 서보 가속도계(共和電業, 1996) 센서를 사용하였다. 서보가속도계의 전용 signal conditioner는 VAQ700A(共和電業, 1996)를 이용하였다.

또한 현장 계측의 용이성을 위하여 데이터의 기록과 FFT 분석을 위하여 네덜란드의 Difa Measuring 시스템(1995)의 4채널용 APB200 보드를 노트북 PC에 연결하였다. 데이터 처리과정은 서보가속도계의 센서 → signal conditioner → FFT분석기 → PC의 순서로 처리하였고, 그림 6은 계측 기기의 구성도이다.

그림 7은 계측장치의 설치 상황이며, 표 2의 S-15와 S-21에는 건물 옥상이 외부인에게 비공개되는 관계로 두 건물에서는 옥상 바로 아래층에서 계측을 하였다. 나머지 19동은 전부 건물 옥상바닥에서 계측을 하였다. 가속도계 센서의 위치는 되도록 옥상의 정중앙에 근접하여 설치하여 비틀림모드가 아닌 단변과 장변의 병렬모드를 계측하도록 하였다. 가속도계 센서는 표 2의 S-13만 4채널을 사용하였고, 나머지 건물은 전부 단변과 장변 각 1개씩 2채널을 사용하였다.

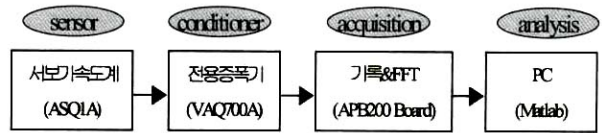


그림 6. 계측기기의 구성도



(a) 서보가속도계 센서 설치 상황



(b) acquisition system 설치 상황

그림 7. 계측기기의 설치 상황

표 3. 계측기기 주요제원

계측기기	모델명	주요규격
서보 가속도계 signal conditioner	ASQ CA (kyowa) VAQ 700A (kyowa)	· 용량 : 1g · 측정범위 : 0.0000001g~1g · 채널수 : 5 ch. · 출력 : 가속도, 속도, 변위
acquisition system	DIFA200 (LMS)	· 4 ch. APB board 탑재형

### 3. 계측데이터

#### 3.1 계측 조건

표 4는 상시진동 계측시의 계측기기의 계측조건 및 고유주기 결과이다. 21동의 고유진동수중에서 최대치는 표 4의 건물번호 S-1이 0.71Hz이므로, 향후의 3차 고차모드의 진동수 분석을 위하여 데이터 샘플링간격은 12.5Hz, FFT 진동수 대역은 6.25Hz로 설정하였다. 현장 계측 여건과 계측된 파형의 명료도 등을 감안하여 표 4와 같이 앙상블당 샘플수는 2,048~16,384로 하였고, 앙상블 수는 2~20개로 설정하였다.

표 4의 21동중에서 S-11을 제외한 20동 전부 진폭이 작은 미진동 조건에서 계측하였으며, 이때의 진동원은 건물 주변의 교통진동으로 판단된다. 이때의 최대가속도의 크기는 20동 대부분 0.1cm/s<sup>2</sup>이다. 그러나 표 4의 S-11건물을 계측시에 강풍이 다소 강하게 불었으며, 이 때의 진동원은 풍하중으로서 최대가속도는 장변과 단변에서 각각 1.69cm/s<sup>2</sup>와 1.50cm/s<sup>2</sup>으로 기록되었다.

상시진동이 미소진동이므로, 측정대상건물의 내부에서 발생하는 엘리베이터 진동 등의 잡진동이 작은 경우에 계측을 실시하였다. 따라서 노이즈 외력이 상시진동 입력파형보다 큰 데이터는 기록하지 않고 제거하고 다시 계측을 실시하였다. 또한 전기적 신호의 노이즈 제거를 위하여 signal conditioner를 옥상의 철제난간 등에 접지하였다. 계측시의 low pass filter는 10Hz에 설정하였다.

#### 3.2 평균 스펙트럼

그림 8은 Difa APB200프로그램을 이용하여 계측한 상시진동 시계열파형의 한 예이다. 각 창의 순서대로 건물 중앙부의 장변과 단변이다. 그림 9는 계측된 상시진동 시계열파형의 파워스펙트럼을 통하여 산정한 고유진동수로서, Difa 200의 내장된 프로그램을 이용하여 해석하였다. 파워스펙트럼의 평활화를 위하여 hanning window를 사용하였다.

그림 10은 그림 9의 단변 앙상블의 평균 파워스펙트럼으로서, 노이즈의 제거를 위하여 MATLAB Ver. 6.1을 이용하여 평균파워스펙트럼을 산정하였다. 표 4에 단변과 장변에 계측된 고유주기를 정리하였다.

표 4. 계측 조건

건물 번호	층수	해석데이터			고유주기(sec)	
		샘플수/ 앙상블	진동수 대역	앙상블 수	단변	장변
S-1	22	16,384	6.25	2	1.39	1.41
S-2	22	4,096	6.25	4	1.86	1.67
S-3	21	4,096	6.25	20	3.06	2.70
S-4	22	4,096	6.25	5	2.28	2.05
S-5	27	8,192	6.25	10	1.96	1.69
S-6	31	2,048	6.25	4	1.58	1.78
S-7	31	5,120	6.25	4	2.34	2.82
S-8	35	4,096	6.25	4	3.07	3.15
S-9	44	8,192	6.25	10	2.73	2.78
S-10	30	8,192	6.25	10	3.65	3.65
S-11	31	4,096	6.25	20	3.34	4.07
S-12	42	5,120	6.25	5	3.91	3.57
S-13	37	8,192	6.25	10	4.15	3.98
S-14	38	16,384	6.25	2	3.42	3.91
S-15	35	4,096	6.25	5	3.73	3.28
S-16	36	4,096	6.25	5	4.57	4.10
S-17	45	2,048	6.25	5	4.67	4.69
S-18	59	16,384	6.25	5	3.95	4.17
S-19	54	4,096	6.25	4	4.83	4.98
S-20	66	16,384	6.25	5	4.67	4.90
S-21	60	16,384	6.25	20	5.46	5.85

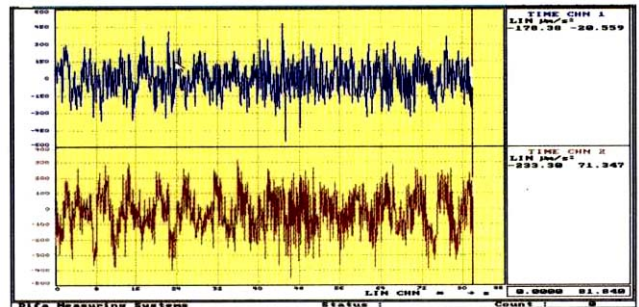


그림 8. 상시진동 계측데이터의 예 (건물 S-21)

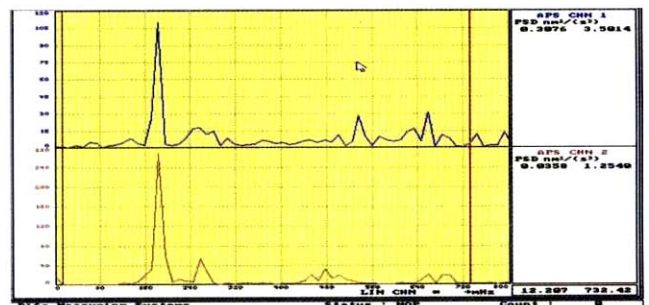


그림 9. 앙상블 1개의 파워스펙트럼 (건물 S-21)



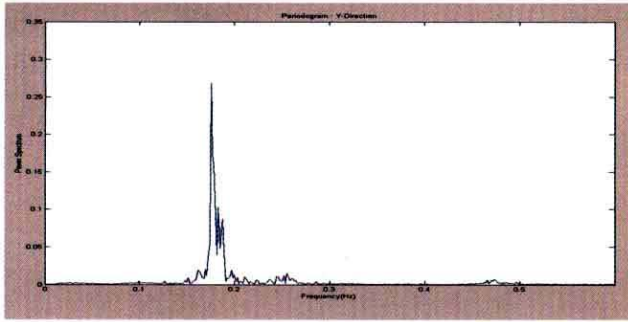


그림 10. 파워스펙트럼의 평균(건물 S-21)

같이 일차식으로 표현할 수 있다. 단변과 장변의 일차식의 기울기는 각각 0.0210과 0.0207로서 큰 차이는 보이지 않음을 알 수 있다. 식(3)과 식(4) 회귀식의  $R^2$ 은 각각 0.824와 0.920이며 평균 0.872로서 철골조건물의 0.747보다 더 높은 상관성을 보이고 있다. 그림 12-(c)에서는 x축을 단변의 고유주기, y축을 장변의 고유주기로 표현하여 단변과 장변의 고유주기를 비교하였다. 장변의 고유주기가 단변의 고유주기의 0.98배로서, 단변과 장변의 고유주기의 차이는 없는 것을 알 수 있다

#### 4. 고유진동수 계측치의 근사식

단변과 장변에 대하여 철골조와 철골철근콘크리트조의 고유진동수를 산정하고, 제안식의 간편화를 위하여 고유진동수 식을 고유주기의 회귀식으로 제안하였다. 단변과 장변의 고유주기를 비교한 후에, 철골조와 철골철근콘크리트조 각각에 대하여 단변과 장변을 통합한 근사식을 산정하였다.

##### 4.1 단변과 장변의 회귀식

전체 21동 상시진동 계측 결과에서 철골조 11동과 철골철근콘크리트조 10동을 분리하여 분석하였다. 그림 11은 철골조건물의 고유주기 계측치에서 얻은 회귀식 및 단변과 장변의 고유주기를 비교한 것이다. 철골조 고층건물의 고유주기 회귀식은 단변과 장변에서 그림 11-(a), (b)로부터 식(1), 식(2)를 얻을 수 있다. 식(1)과 식(2)에서 회귀식의 상관계수의 자승인  $R^2$ 은 각각 0.749와 0.744이며 평균 0.747로서 높은 상관성을 보이고 있다. 단변과 장변의 고유주기 일차식의 기울기는 각각 0.0239와 0.0247로서 큰 차이는 보이지 않음을 알 수 있다. 그림 11-(c)에서는 x축을 단변의 고유주기, y축을 장변의 고유주기로 표현하여 단변과 장변의 고유주기를 비교하였다. 장변의 고유주기가 단변의 고유주기보다 1.027배 크므로, 단변과 장변의 고유주기의 차이는 보이지 않는 것을 알 수 있다.

$$T = 0.0239H \quad (1)$$

$$T = 0.0247H \quad (2)$$

여기서 T : 고유주기(sec)

H : 건물높이(m)

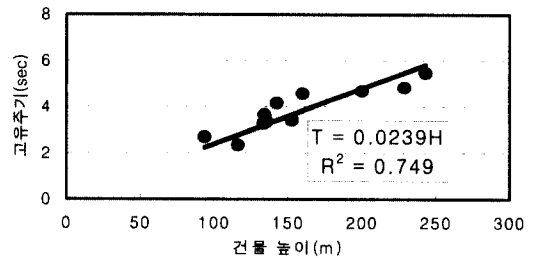
그림 12는 철골철근콘크리트조 10동의 고유주기 회귀식 및 단변과 장변의 고유주기를 비교한 것이다. 그림 12-(a), (b)에서 회귀식을 단변과 장변으로 표현하면 식(3), 식(4)와

$$T = 0.0210H \quad (3)$$

$$T = 0.0207H \quad (4)$$

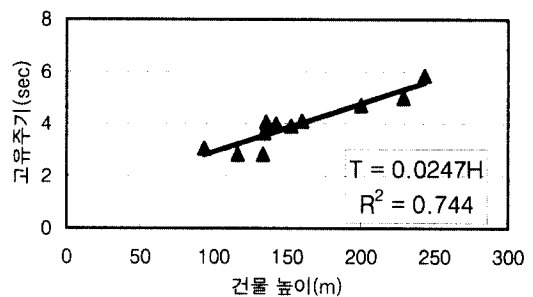
여기서 T : 고유주기(sec)

H : 건물높이(m)

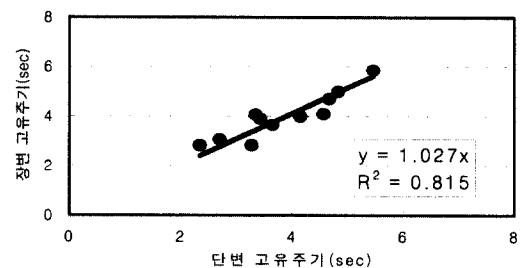


(a) 단변의 회귀식

철골조(장변)

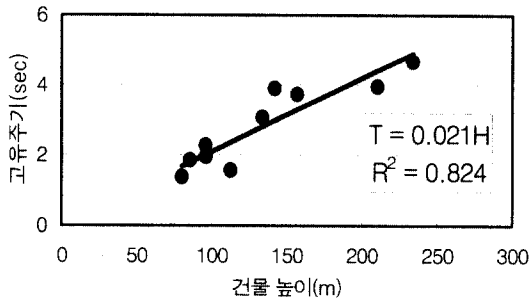


(b) 장변의 회귀식

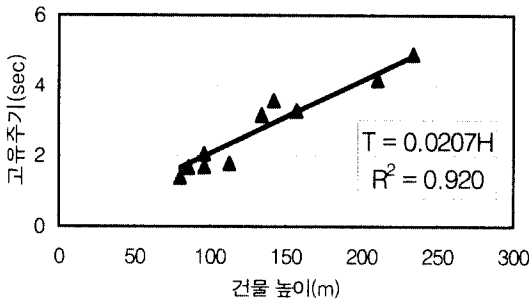


(c) 단변과 장변의 고유주기 비교

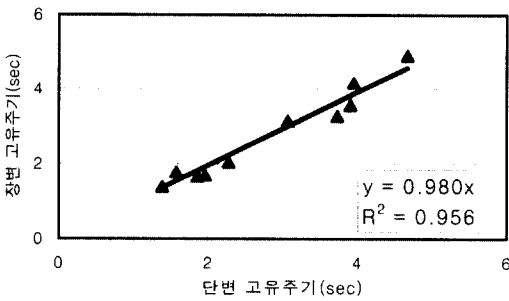
그림 11. 철골조 고유주기 회귀식의 비교



(a) 단변의 회귀식



(b) 장변의 회귀식



(c) 단변과 장변의 고유주기 비교

그림 12. 철골철근콘크리트조 고유주기 회귀식

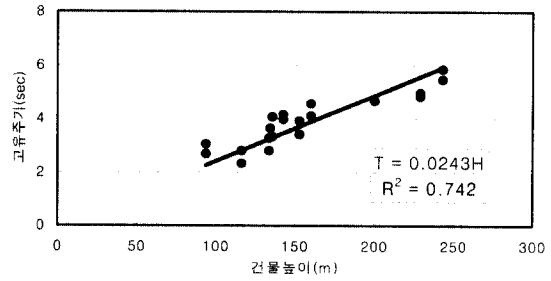
#### 4.2 단변과 장변의 통합 회귀식

그림 11과 그림 12에서와 같이 철골조와 철골철근콘크리트조 각각에서 단변과 장변에 대한 고유주기 차이가 작은 관계로 단변과 장변의 데이터를 구분하지 않고 통합하여 회귀식을 작성하였다.

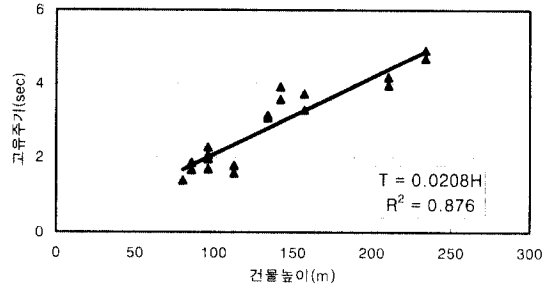
그림 13은 철골조와 철골철근콘크리트조의 고유주기 근사식이다. 그림 13에서 일차 근사식을 산정하면 식(5)와 식(6)과 같으며, 두 식의  $R^2$ 은 각각 0.742, 0.876으로서 높은 상관성을 보이고 있다. 또한 식(5)와 식(6) 일차식의 기울기는 각각 0.0243과 0.0208로서 차이가 비교적 큰 것을 알 수 있다. 따라서 철골조와 철골철근콘크리트조는 각각 별도의 고유주기식으로 표현하는 것이 바람직함을 알 수 있다.

$$T = 0.0243H \quad (5)$$

$$T = 0.0208H \quad (6)$$



(a) 철골조



(b) 철골철근콘크리트조

그림 13. 고유주기 근사식

### 5. 계측치와 국내외기준 및 해석치와 비교

#### 5.1 계측치와 국내의 기준과의 비교

21동의 계측 결과와 국내의 기준의 고유주기 식과 비교하였다. 국내 기준은 사용성기준이 없는 관계로 2000년도 건축물 하중기준(2000)의 고유주기식을 사용하였다. 계측건물이 철골조와 철골철근콘크리트조이고, 구조시스템이 그림 5에서와 같이 5가지인 점을 감안하여 철골조 모멘트연성골조의 식(7)과 기타구조의 식(8)을 사용하였다. 해외의 기준식은 일본의 사용성의 고유주기 계산을 위한 식(9)와 Eurocode의 고유주기식인 식(10)을 사용하였다.

그림 14-(a)는 철골조 건물에 대한 계측치와 국내의 기준과 비교한 것이다. KS기준의 모멘트 연성골조 식(7)은 계측치의 회귀식인 식(5)  $T = 0.0243H$  만큼은 잘 일치하지 않지만, 계측치와 비교적 잘 대응하는 것을 알 수 있다. 반면에 계측치는 기타골조의 식(8)과는 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 그림 14-(b)는 철골철근콘크리트조에서 계측치와 국내의 기준을 비교한 것이다. 철골철근콘크리트조에서 KS기준식 (7), (8)은 전부 계측치와 큰 차이를 보이고 있다. 반면에 일본의 사용성기준 식(9)와 Eurocode의 식(10)과는 비교적 잘 일치함을 알 수 있다. 그림 14-(b)에서 일본기준 식

(9)와 Eurocode 식(10)을 별도로 도시하지 않았다. 이 이유는 계측치의 일차회귀식 (6)의 기울기인 0.0208이 일본규준 식(9)의 기울기 0.02 및 Eurocode 식(10)의 기울기인 0.0217과 거의 차이가 없기 때문이다.

$$T=0.0853H^{0.75} \quad (7)$$

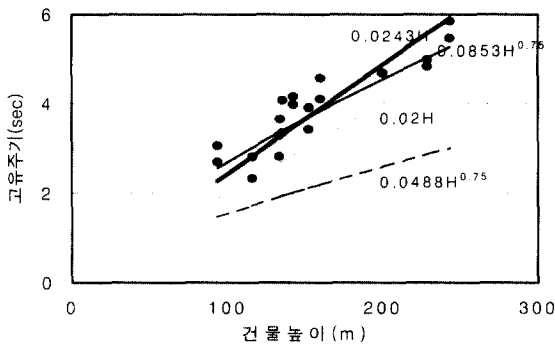
$$T=0.0488H^{0.75} \quad (8)$$

$$T=0.02H \quad (9)$$

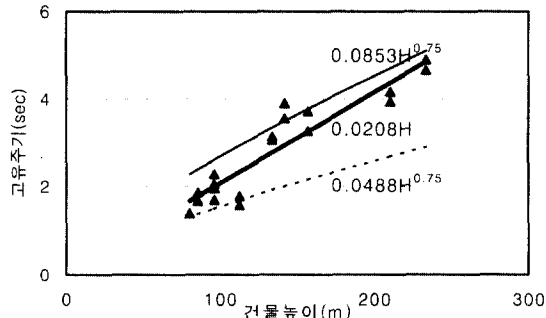
$$T=0.0217H \quad (10)$$

여기서 T : 고유주기(sec)

H : 최상층까지의 건축물의 높이(m)



(a) 철골조



(b) 철골철근콘크리트조

그림 14. 계측치와 국내의 기준과 비교

### 5.2 계측치와 고유치해석과 비교

전체 21동 중에서 철골조 8동의 구조계산서를 참조하여 고유치해석 결과를 정리하면 표 5와 같다. S-14 건물 단변의 고유치해석 결과는 건물의 형상이 비정형인 관계로 비교 대상에서 제외하였다.

그림 15는 표 5의 고유주기에 대하여 해석치를 x축, 계측치를 y축으로 비교한 것이다. 회귀식은 식(11)과 같으며, 계측치의 고유주기가 해석치의 약 88.3%로서 나타나 있다. 이

와 같이 계측치가 해석치보다 작은 이유는 구조설계시에 비구재부재가 모델링되지 않았기 때문인 것으로 판단된다. 회귀식 (11)의 상관계수의 자승인 R<sup>2</sup>은 0.819로서 해석치와 실측치는 높은 상관성을 보이고 있다.

$$T_m=0.883T_d \quad (11)$$

여기서 T<sub>m</sub> : 고유주기의 계측치(sec)

T<sub>d</sub> : 고유주기의 해석치(sec)

표 5. 고유주기의 해석치와 계측치

건물 번호	층수	고유주기(sec)			
		단변		장변	
		계측치	해석치	계측치	해석치
S-7	31	2.34	3.23	2.82	3.23
S-11	31	3.34	3.70	4.07	4.35
S-13	37	4.15	4.00	3.98	5.00
S-14	38	3.42	-	3.91	4.76
S-16	36	4.57	4.33	4.10	4.98
S-17	45	4.67	5.00	4.69	5.88
S-19	54	4.83	5.26	4.98	5.56
S-21	60	5.46	6.67	3.91	-

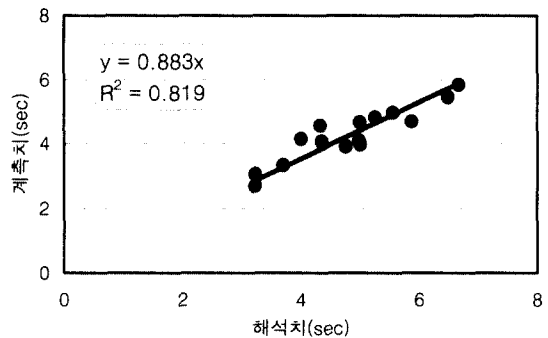


그림 15. 고유주기의 해석치와 계측치의 비교

### 6. 결 론

본 연구에서는 21층~66층인 21동의 고층건물을 대상으로 한 상시진동계측을 통한 고유주기를 산정하였으며, 이 결과를 국내외기준 및 고유치해석과 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 철골조와 철골철근콘크리트조 고층건물의 상시진동계측에서 산정한 고유주기의 근사식은 각각 T=0.0243H, T=0.0208H와 같다. 회귀식의 상관계수의 자승인 R<sup>2</sup>은 각각 0.742, 0.876으로서 높은 상관성을 보이고 있다.

- (2) 철골조 고층건물의 계측치는 「2000년 KS 건축물 하중 기준」의 모멘트연성골조 고유주기 제안식과 비교적 잘 일치하고 있다. 그러나 기타 구조식과는 큰 차이를 보이고 있다. 반면에 철골철근콘크리트조 고층건물은 「2000년 KS 건축물하중 기준」의 철골조 모멘트연성골조식과 기타 구조식 전부 큰 차이를 보이고 있다. 또한 계측치는 일본의 사용성설계용 고유주기식과 Eurocode 고유주기식에 잘 일치한다.
- (3) 철골조 8동의 고유치해석과 계측치를 비교한 결과 고유주기의 계측치는 해석치의 88.3%인 것으로 나타났다.

### 감사의 글

이 논문은 2001년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구 되었음(KRF-2001-003-E00480)

### 참 고 문 헌

대한건축학회(2000), 건축물 하중기준 및 해설, pp. 69  
 윤성원, 박수용, 성수진(2001), 고층건물의 가속도응답 및 강풍특성 계측, 대한건축학회 구조계 논문집, 제17권, 4호, pp. 45-52  
 윤성원 외 4명(2001), 국내 철골조건물의 사용성평가용 고유진동수 특성, 강구조학회 학술발표논문집, pp. 397-402  
 (株)共和電業(1996), 取扱説明書 servo 加速度變換機 ASQ -CA・CB, pp. 1-7  
 (株)共和電業(1995), 取扱説明書 VAQ-700A, pp. 5-28

日本建築Center(1993), 建築物の減衰評價研究報告書, pp. 75-99  
 日本建築學會(1991), 建築物の振動に關する住居性能評價指針同解説, pp. 1~34  
 日本建築學會(2000), 建築物の減衰, 丸善株式會社  
 Difa Measuring System(1995), APB200 Manual  
 Ellis, R.(1998) Full-scale Measurements of Dynamic Characteristics of Buildings in the UK, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol 59, pp. 365-382  
 EUROCODE 1(1994), *Basis of Design and Actions on Structures*, Part 2-4, wind Action, CEN/TC 250/SC 1, Steering Panel Draft  
 International Conference of Building Officials(1977), *Uniform Building Code*  
 Jeary,A.P.(1986), Damping in Tall Buildings-a Mechanism and a predictor, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 14, pp. 733-750  
 Lagomarsino, S.(1998), Forecast model for damping and Vibration Periods of Buildings, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, pp. 221-239  
 Suda, K. et al(1995), Damping Properties of Buildings in Japan, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, September, pp. 383-392  
 (접수일자 : 2002. 10. 7 / 심사일 2002. 11. 4 / 심사완료일 2003. 4. 4)