

상시미동 측정을 통한 벽식아파트 건물의 고유주기 Estimation of Natural Period by Microtremor Measurement in Shearwall Apartments.

강호근* 전대한** 박성수***
Kang, Ho-Geun Jun, Dae-han Park, Sung-Soo

ABSTRACT

The fundamental vibration period of a shearwall apartments cannot estimate accurately by means of empirical formulas specified in present codes. The objective of this paper is to estimate the period of a shearwall apartments by microtremor measurement. A microtremor is the continuous small oscillation of the ground caused by traffic and operation machinery. Microtremors are extensively studied primarily in Japan to estimate conveniently subsurface structures of soil deposits and building vibrations.

It is obtained the results that the fundamental periods estimated by microtremor measurement are shorter than those values by dynamic analysis of building.

1. 서 론

현행 내진설계 규준의 등가 정적 해석법에서는 설계용 탄성 가속도 응답 스펙트럼을 나타내는 동적 계수와 구조물의 유효 관성 질량을 반영한 구조물의 전체 무게에 근거하여 구조물의 밀면 전단력을 정의하고, 이를 구조물의 중요도와 소성 변형 능력 그리고 지반 특성 등을 반영하는 계수에 의하여 보정하도록 하고 있다. 또한, 동 설계법의 주요 요소인 동적 계수는 구조물의 1차 고유주기의 함수로써 결정하도록 하고 있으며, 국내 규준을 포함하여 대부분의 설계 규준에서는 초기 설계 단계에서 건물의 고유주기를 예측하기 위한 단순 설계식을 제시하고 있다. 그러므로 합리적인 고유주기 값의 산정은 전체 설계 하중의 크기를 결정짓는 중요한 변수이다.

일반적으로 구조물의 고유주기는 컴퓨터를 이용한 고유치 해석에 의해 어느 정도 정확하게 산정할 수 있지만, 실제 구조물의 해석에서는 구조물의 진동 특성을 반영한 진동모델을 설정하기 어렵다는 점과 칸막이 벽체나 외벽재 등과 같은 부가적인 강성 증가 요소들을 반영하여 진동성상을 정확히 묘사하기가 불가능하기 때문에 대부분의 규준에서는 실험적인 방법을 통하여 유도된 단순식을 제시하고 있다. 현재 국내 규준에서 제시하고 있는 고유주기 산정식은 ATC3-06 방법에 따른 것으로, 이는 1971년에 발생한 San Fernando 지진에 의해 실제 건물들의 진동 기록을 분석하

* 경남도립거창전문대학 조교수, 정희원
** 동서대학교 건설공학부 조교수, 정희원
*** 부산대학교 건축공학과 교수, 정희원

여 얻어진 실험식이다¹⁾. 그러나 이들 식은 독특한 구조적 특성을 가진 벽식 아파트 구조물에 적용할 때, 여러 가지 문제점을 내포하고 있다는 것이 여러 연구자들에 의해 지적되어 왔다²⁾.

따라서, 본 연구에서는 해석 대상 벽식 아파트 구조물을 대상으로 상시미동 측정을 통한 고유주기를 실측하여, 이를 고유치 해석에 의한 것과 비교·검토한다. 측정 대상 건물은 벽식구조로 건설된 아파트로써 현재 입주가 완료된 아파트이다. 그러므로 입주로 인하여 평가하기 어려운 부가적인 적재하중의 영향을 포함하고 있다.

본 연구에서는 가장 균질한 데이터를 얻을 수 있는 장방형 건물만을 선정하였으며, 건물의 형상비(5.4~7.3), 평면치수, 벽양의 각 방향별 변화(0.12~0.28) 등이 서로 다른 건물을 선정하여 측정하였다.

2. 상시미동 측정

2.1 상시미동의 특성

상시미동(常時微動: microtremor)이란 지반에서 관측되는 잡음(noise)의 일종이다. 1000배정도의 확대장치를 가진 고감도 지진계를 사용하면 지반상의 어느 장소에서나 지반의 진동을 기록할 수 있으며, 지반은 수 마이크로(micro) 내외의 진폭으로 항상 진동하고 있다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 미소 진동은 수십 초에서 수십 분의 1 초의 주기 파형의 집합체로 이루어져 있으며, 그 중에서 주기 양 2초 이상의 파형을 맥동(脈動)이라 부르고, 주기 2초 이하의 파형을 상시미동이라고 부른다. 상시미동은 주로 차량, 공장기계 등의 인공적인 진동원에 의해 발생한 진동이 각 방향으로 전해져 오는 파형의 집합체이다. 따라서 상시미동의 진동특성은 각 토질 특유의 성질을 가지고 있으며, 상시미동에서 얻어진 토질의 진동 특성은 자연 지진에서도 동일한 특성을 나타낸다는 것이 알려지게 되어 상시미동이 지진공학의 입장에서 특히 주목을 받게 되었다^{3,4)}.

상시미동의 진폭은 변화한 도시 지역에서는 크고, 한적한 도외지에서는 작으며, 밤보다 낮에 크다. 또한 시간에 따라 다르게 나타나고, 주위 환경의 영향도 많이 받기 때문에 상시미동의 진폭으로 지반의 특성을 조사하는 경우에는 특별한 주의가 요구된다. 그러나 상시미동의 주기는 시간에 따른 변화가 거의 없고, 환경의 영향도 매우 작으므로, 건물의 고유진동수 측정, 지반의 진동특성을 파악하는데 유용한 것으로 보고되고 있다⁴⁾. 그러므로 1950년대에서 1960년대 초기에 걸쳐 일본의 연구자들에 의해 상시미동의 탁월주기를 이용한 지반 종류의 판별, 건물의 고유진동수 측정 등이 많이 연구되었고, 최근의 1990년대 이후에는 건물의 고유주기를 응용한 건물의 감쇠정수 평가를 위한 수단으로 많은 연구가 진행되고 있다^{4,5)}.

상시미동은 언제 어디서나 존재하는 것이므로 지반의 응답을 효율적으로 추정할 수 있으며, 또한 상시미동 자체가 잡음이기 때문에 잡음으로 인한 오차가 개입될 염려가 없다는 것이 장점으로 볼 수 있다. 그러나 상시미동은 미소한 진폭으로 진동하는 지반의 잡음 진동이고, 지진파와 같이 시간축 위에서 P파, S파, 표면파로 분리되지 않고 복잡하게 혼재하고, 진동원의 스펙트럼 특성을 알 수 없다는 것 등으로 측정된 파형의 분석으로부터 얻어진 결과에 대한 신뢰성이 떨어지는 것도 간과할 수 없는 문제점이다.

2.2 계측기의 선정과 측정

상시미동에 의한 구조물의 진동 측정과 분석은 먼저, 어떤 일정 시간동안(Time span) 연속된 일련의 신호를 측정하고, 최종적으로 주파수 영역(Frequency domain)에서 구조물의 고유주기를 결정하기 위한 해석이 수행된다. 따라서, 건축물의 상시미동 측정에 의한 저주파 진동 특성의 해

석을 수행하기 위해서는 먼저 측정 대상 및 조건, 그리고 목적으로 하는 측정 요소에 적합하도록 측정 시스템이 구축되어야 한다. 측정을 위한 기기의 구성(Set-up)은 그림 1과 같다.

건물의 동적 응답을 수집하는 가장 기본적인 기기는 센서(Sensor)로서 본 연구에서는 東京測振의 servo형 속도계인 VSE-15를 사용하였다. 이 속도계는 0.1Hz에서 70Hz까지의 측정 주파수 범위를 갖고 있다. 그리고, 우수한 선형성(0.05%이하)을 가지는 동적 범위를 갖고 있으므로 동 주파수 범위내에서 비교적 신뢰성 있는 신호 측정이 가능하다. 또한, 증폭 장치는 같은 東京測振에서 제작된 전용 증폭기(AV 200)를 사용하였다. 속도계와 증폭기에 대한 기본 사양은 표 1과 같다. 측정된 신호는 데이터 획득 PC 프로그램을 사용하여, 기록 장치에 기록된다.

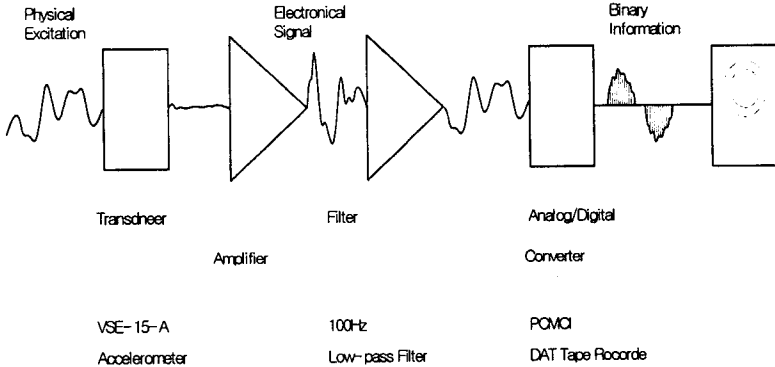


그림 1 진동 측정기의 구성

표 1 측정장비의 기본 사양

진동센서(VSE-15)		증폭기(AV-200)	
측정 주파수	0.1~70Hz	측정 주파수	0.1~70Hz
측정범위 속도	±100kine	측정범위 속도	0.1~±100kine
가속도	±2000gal	가속도	0.01~±2000gal
측정감도 속도	0.1V/kine	최대감도 속도	0.3kine/10V
가속도	5mV/gal	가속도	3gal/10V
분해능 속도	약 300 μkine	측정Range	3, 10, 30, 100,
가속도	약 1 mgal		300, 1000

2.3 측정 방법

측정시 가장 중요시되는 사항 중의 하나는 측정된 데이터의 정상성(Stationary)에 대한 가정을 확보하기 위하여 가능한 한 균일한 측정 조건을 갖는 것이다. 그러므로, 측정은 건물내 사람의 움직임과 주변 교통, 그리고 바람으로 인한 부과적인 효과를 최소화하는 조건하에서 실시되었다. 또한, 측정시 속도계의 설치 위치는 매우 중요하다. 만약, 속도계가 건물의 기하학적 중심 혹은 전단중심에 설치되지 않는다면, 비틀림에 대한 효과를 고려해야만 하기 때문이며, 또한 건물의 기하학적 중심과 질량 중심이 일치하지 않을 경우에도 비틀림 작용은 피할 수 없는 구조적 거동 요소가 되기 때문이다. 따라서, 측정은 주로 건물의 주진동 방향과 평행한 방향으로 설치된 속도

계를 건물의 최상층부 회전 중심에 설치하여 실시되었으며, 주로 지붕층 레벨의 계단실 위치에서 측정하였다.

본 연구에서는 스펙트럼 추정시 개개의 스펙트럼은 샘플링 간격 0.01초, 계속시간 약 180초 동안 연속으로 기록하였다. 이들 연속 데이터를 4096개 데이터로 나누어 FFT 분석한 스펙트럼의 평균 값으로 고유 진동수를 추정하였다.

3. 대상 모델

3.1 평면 및 입면 형식

본 연구에서는 고층 벽식 아파트의 고유주기를 측정하기 위하여, 현재 국내에서 건설되고 있는 일자형 벽식 구조 아파트의 4개 평면형을 선정하였다. 그림 1에 단위 구조 평면도를 나타냈으며, 각 평면별 개요는 표 2에 나타낸 바와 같다.

A·B 평형은 중·소형 아파트로서 6세대가 일자형으로 배열된 평면이다. A평형은 계단실형으로 단변에 대한 장변방향의 전단벽체 비는 43%로, 다른 평형에 비해 장변방향 벽체의 배치가 적은

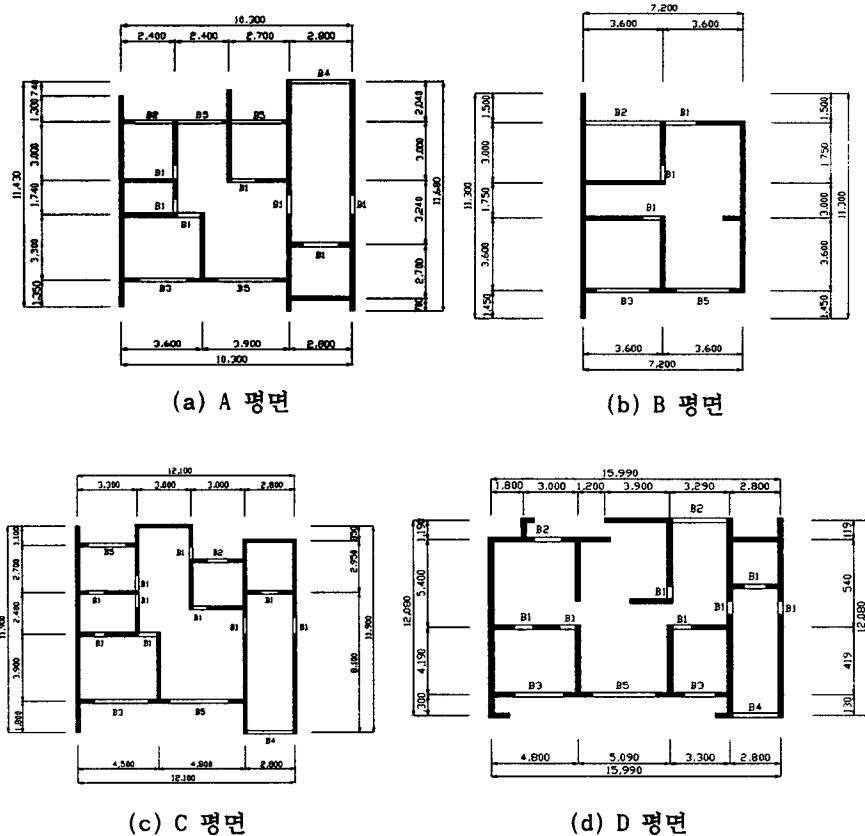


그림 2 해석 대상 구조물의 단위 구조 평면도

평형이다. B 평형은 복도형 아파트로 단변방향에 대한 장변방향의 전단벽체 비가 72%로 장변 방향에 대한 전단벽의 배치가 높은 구조이며, A 평형과 면적, 길이방향 전체 벽체의 길이 등에서 유사한 크기를 갖는다.

C 평형은 계단실형으로 단변에 대한 장변 벽체의 길이 비는 65%이며, 벽체 길이가 가장 큰 구조 형식이다. D 평형은 중·대형 아파트로 대부분 2~4세대가 일자형으로 배치되는 경우가 많으며, 세대 중간에 코어를 형성하는 평형으로서 단변에 대한 장변 벽체의 길이 비는 66%가 된다. 또한, 모든 평형의 층수는 25층으로 지표면에서 67.9m의 높이로 이루어져 있다.

3.2 부재 단면

건물의 주요 구조부재 단면은 구조물의 규모, 형상, 작용하중 등이 거의 동일하므로, 사용되는 구조 부재의 단면 크기와 배근 상태도 거의 동일하다⁶⁾. 사용된 보 및 전단벽 단면 형상과 배근도는 그림 2와 같다. 층고는 1-15층에서는 2.6m, 16층 이상의 상부 층에서는 2.8m 이므로 연결 보 부재의 단면이 20cm정도 증가된다.

표 2 해석 대상 구조물의 평형별 개요

평형	배치 형식	단위 세대수	층 수	높이 (m)	폭(Y) (m)	길이(X) (m)	벽체				장변/단변 비율(%)	
							장변방향		단변방향			
							길이 (m)	벽률 (m/m ²)	길이 (m)	벽률 (m/m ²)		
A	24평형	코어형	6	25	67.9	9.34	53.4	72.0	0.116	167.3	0.284	43
B	25평형	복도형	6	25	67.9	11.55	43.2	71.4	0.146	98.6	0.201	72
C	33평형	코어형	6	25	67.9	11.05	64.2	120.6	120.6	185.3	0.241	65
D	49평형	코어형	2	25	67.9	12.6	29.2	54.0	0.138	82.0	0.209	66

표 3 보 부재의 단면치수 및 배근

Beam ID	Story No.	Dim. (b×D)		Top Bar	Bottom Bar	Stirrup Bar
		b (cm)	D (cm)			
B1	25~16	18	58	4-D16	4-D16	D10@200
	16~B1	18	38	4-D16	4-D16	D10@200
B2	25~16	18	130	4-D16	4-D16	D10@200
	16~B1	18	110	4-D16	4-D16	D10@200
B3	25~16	18	100	4-D16	4-D16	D10@200
	16~B1	18	80	4-D16	4-D16	D10@200
B4	25~16	18	130	4-D16	4-D16	D10@200
	16~B1	18	110	4-D16	4-D16	D10@200
B5	25~16	18	32	4-D16	4-D16	D10@200

표 4 전단벽 부재의 단면치수 및 배근

Wall ID	Story No.	Thick t(cm)	Vertical Bar#1	Horizon Bar#1	Edge Bar
외부벽	25~16	20	D10@300	D10@300	4-D16
	15~10	20	D10@250	D10@250	4-D16
	9~2	20	D13@150	D10@200	4-D16
	1~B1	20	D13@150	D10@150	4-D16
내부벽	25~16	18	D10@300	D10@300	4-D16
	15~10	18	D10@250	D10@250	4-D16
	9~2	18	D13@250	D10@200	4-D16
	1~B1	18	D13@150	D10@150	4-D16

*1 복배근으로 배근 한다.

보 부재의 단면 치수 및 배근 상태는 표 3에 나타내었으며, 부재 기호는 그림 2에 나타낸 평면도의 기호와 일치한다.

전단벽의 단면 크기는 외부 벽체와 세대간을 구획하는 벽체의 경우에는 두께 $t=20\text{cm}$ 가 사용되고, 단위 세대 내부의 벽체는 두께 $t=18\text{cm}$ 가 사용된다. 표 4는 벽체의 단면 치수 및 배근을 나타낸 것이다.

기존의 연구결과에 의하면⁸⁾, 건물의 고유주기는 지반 조건의 영향을 받는 것으로 알려져 있지만, 지반 조사 데이터의 부족으로 본 연구에서는 ETABS에 의한 고유치 해석에서 기초 고정으로 가정하여 해석을 수행하였다.

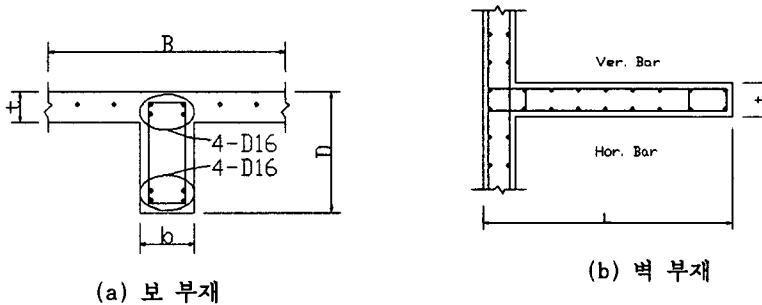
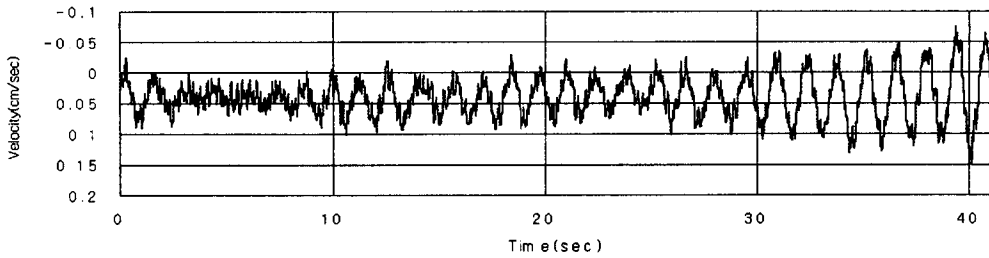


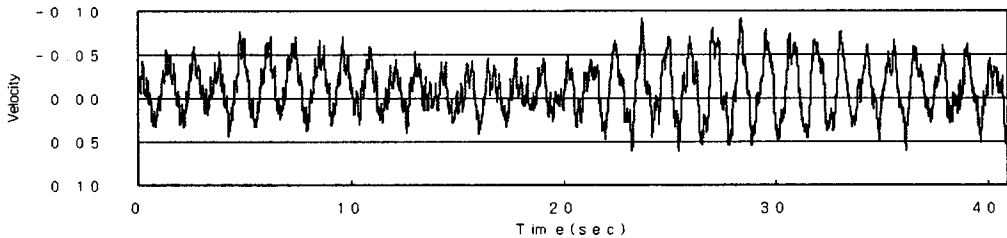
그림 3 구조부재의 단면 및 배근 형태

4. 결과 및 고찰

그림 4는 D평형에서 측정된 속도파형을 장변방향, 단변방향에 대하여 각각 나타낸 것이다. 그림으로부터 미동의 속도파형은 장, 단변방향 모두 매우 규칙적으로 진동하고 있다는 것을 알 수



(a) 단변방향



(b) 장변방향

그림 4 상시미동의 속도파형

있다.

대상 건물의 고유주기를 비교하기 위해 ETABS에 의한 계산치와 상시미동 측정에 의한 1차 고유주기 측정치를 나타내면 표 5와 같다. 여기서, 대상 건물의 X방향(장변방향)의 1차 고유주기를 Tx, Y방향(단변방향) 1차 고유주기를 Ty로 표기한다.

본 연구에서 해석 대상 건물은 X방향의 내력벽 총 길이에 대한 Y방향의 내력벽 총 길이를 표 2에 나타낸 바와 같이 43%, 72%, 65%, 66%로 나타났다. 그 결과에 따르면, B평형은 복도형 아파트로 다른 평형에 비해 상대적으로 길이 방향에 대한 전단벽을 많이 배치하고 있다.

대상 구조물에서 장, 단변방향의 고유주기를 살펴보면, 모든 평형에서 미진동 측정에 의한 고유주기가 고유치 해석 방법에 의한 고유주기 보다 짧게 나타난다. 그 이유으로써 실제 건물에 있어서 칸막이 벽체와 같은

부가적인 강성 증가 요소에 의한 강성의 증가, 그리고 지반 조건에 따른 기초의 강성 차이, 건물의 고유치 해석 모델화에서 질량 및 강성 평가의 오차 등의 원인으로 볼 수 있다.

앞으로 이러한 문제점들에 대한 보다 상세한 검토가 필요한 것으로 사료된다.

5. 결 론

표 5 평형별 1차 고유주기(단위:sec)

평형		ETABS	상시미동 측정치
A	Tx	2.383	1.689
	Ty	1.548	1.205
B	Tx	1.625	1.378
	Ty	1.760	1.465
C	Tx	1.331	1.138
	Ty	1.484	1.365
D	Tx	1.483	1.170
	Ty	1.312	1.412

본 논문에서는 상시미동을 이용하여 벽식 아파트 건물의 고유주기를 측정하였다. 상시미동은 언제, 어디서나 관측되는 지반의 진동으로 지반의 응답뿐만 아니라, 지반을 통하여 건물에 전달되는 진동을 이용하면, 건물의 고유 진동수를 추정할 수 있는 매우 유용한 수단이라고 생각된다. 그러나 상시미동은 미소한 진폭을 갖는 진동이기 때문에 측정치에 대한 신뢰성이 중요하다.

본 논문에서는 건물의 고유주기와 진동특성을 추정하기 위한 예비 단계로서 국내에서 가장 많이 건설되고 있는 벽식 아파트 건물을 대상으로 진동을 측정하였다. 측정 건물에서 상시미동 측정에 의한 고유주기가 진동모델의 고유치 해석에 의한 값보다 짧게 나타나는 것을 알 수 있었다. 아직 측정 장치의 사용 미숙, 측정 데이터 처리 및 측정 대상 구조물의 고유치 해석 결과의 정밀도 등에 대한 세밀한 검토가 필요하다고 사료되지만, 상시미동에 의한 건물의 고유주기 측정 결과는 충분히 신뢰성이 있다고 판단된다. 앞으로 다양한 종류의 구조물을 대상으로 지속적인 연구가 요구된다.

[참고문헌]

1. ATC(1978), Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings, ATC-3-06 Report, Applied Technology Council Redwood City, California
2. Lopez, R. R., "A Numerical Model For Nonlinear Response of RC Frame Wall Structure," Ph.D Dissertation, University of Illinois at Urbana-Shampaign, 1988
3. 堀家正則, "微動の研究について", 地震 第2輯, 제46권, 1993, pp.343-350.
4. 金井 清, 小堀鐸二, 蛭田捨太郎, 新訂 建築學大系 11 : 地震, 振動學, 彰國社, 1968. 2, p.98-104.
5. 日本建築學會, 建築物の耐震設計資料, 1981. 4, p75-84.
6. 전대한, 강호근, 조한욱, 이정원, "정적 탄소성 해석에 의한 고층 벽식 아파트의 수평 내력 검토," 한국지진공학회는문집, 제2권, 제4호, 1998. 12. pp.31~40.
6. 森田高市, 神田 順, "常時微動による減衰定數評價手法に關する考察", 日本建築學會 構造工學 論文集, Vo. 42B, 1996년, 3월, pp.553-560.
7. 日本建築學會 構造委員會/荷重評價小委員會, 建築物の減衰評價-大地震や大型台風時の精度良い 應答豫測に向けて-1995年度日本建築學會大會(北海道)構造部門(2)荷重パネルディスカッション 資料. 1995. 8. p.73
8. 장극관, 천영수, "모드해석을 통한 벽식구조 아파트 건물의 System Identification", 한국지진공학회는문집, 제2권, 제4호, 1998. 12. pp.191~197.