

철골조 고층건물의 하프파워법과 RD법에 의한 감쇠율 비교

Comparison of Damping for Steel Tall Buildings by Half Power Bandwidth and Random Decrement Method

윤성원¹⁾ · 주영규^{2),†} · 신상준³⁾
Yoon, Sung Won · Ju, Young Kyu · Shin Sang Jun

요약: 본 논문에서는 상시진동계측에서 얻은 시계열파형에서 하프파워법과 RD법을 통하여 감쇠율을 산정하여 해석법에 따른 감쇠율의 변동성을 분석하였다. 상시진동계측은 국내 철골조 건물 2개동과 철골철근콘크리트조 건물 1개동을 대상으로 실시하였다. 하프파워법(half-power bandwidth method)의 변수는 앙상블 데이터수를 1024, 2048, 4096, 8192로 변화시키면서 감쇠율의 변화 경향을 분석하여 하프파워법의 적용성을 검토하였다. 상시진동계측 데이터에서 앙상블의 데이터 사이즈를 1024 에서 8192로 증가함에 따라서 하프파워법에 의한 감쇠율은 감소하면서 일정한 값으로 수렴하면서 RD법에 의한 감쇠율과 비슷해짐을 확인하였다. 또한 하프파워법에 대한 감쇠율은 일반적으로 RD법에 의한 감쇠율보다 다소 큰 것을 확인하였다.

ABSTRACT: In this paper, the damping ratios of two methods, namely the half-power bandwidth method and random decrement method from the vibration measurement were examined. Ambient vibration tests were conducted on two steel-framed and one composite tall building ranging from 27 to 36 stories. The performance of the half-power bandwidth method was investigated using four sample sizes, such as 1024, 2048, 4096 and 8192. Damping by the half-power bandwidth method is slightly more overestimated than the random decrement method due to insufficient record length. Damping evaluation by the half-power bandwidth method was found to be enhanced when using the narrower bandwidth with long recorded data.

핵심용어: 감쇠율, 하프파워법, 상시진동, RD법, 사용성

KEYWORDS: damping ratio, half power bandwidth method, random decrement method, serviceability

1. 서론

철골조 고층건물은 강풍으로 인한 진동으로 인하여 건물 거주자의 사용성 문제가 보고되고 있다. 건물의 강풍에 대한 사용성 평가를 위해서는 건물 최상층에서 가속도응답에 대한 정확한 예측이 필요하다. 응답가속도는 감쇠율 평방근의 역수에 비례하므로, 풍동실험이나 해외기준을 이용하여 응답가속도를 산정하기 위해서는 설계대상 건물에 적합한 감쇠율의 예측이 매우 중요하다. 또한 강풍으로 인한 진동이나 리모델링을 위한 제진장치를 설계할 경우에도 정확한 감쇠율의 예측이 필수 조

건이다.(일본건축학회 2000)

건물의 감쇠율을 이론적으로 정확히 예측하는 것은 지금까지 존재하지 않으며, 주로 진동계측에 의존해왔다. 그러나 감쇠율에 대한 진동평가방법은 진동계측법이나 해석방법 등에 따라 서로 크게 차이가 나는 것으로 알려져 있다. Haviland(1976)는 감쇠율의 변동계수(coefficient of variation)는 42%~87%로 지적하고 있고, Davenport와 Hill-Carroll(1986)은 감쇠율의 변동계수를 33%~78%로 지적하고 있다.

감쇠율의 평가방법은 크게 주파수응답 데이터를 이용하는 경우와 시간영역인 자유진동파형을 이용하는 방법으로 대별할 수 있다. 주파수응답 데이터를 이용하는 경우는 상시진동이나 풍

1) 정회원, 서울산업대 건축학부 부교수, 공학박사(swoon@snut.ac.kr)

2) 교신저자, 정회원, RIST 강구조연구소, 공학박사

(Tel. 031-370-9557, Fax. 031-370-9559, E-mail: tallsite@rist.re.kr)

3) 마이다스 IT, 구조설계팀(fst@korea.ac.kr)

본 논문에 대한 토의를 2007년 8월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

응답 등 시간과형의 스펙트럼해석을 통한 하프파워법이 가장 쉽게 감쇠율을 구할 수 있는 방법이다. 그러나 이 방법은 FFT (Fast Fourier Transform) 해석시에 주파수의 분해능을 가능하면 매우 작게 해야 신뢰성 높은 감쇠율을 구할 수 있는 단점이 있다.

Jeary(1986)에 의하면 FFT의 주파수 분해능(frequency resolution)을 0.01Hz로 할 경우 감쇠율을 20% 과대평가할 수 있다고 지적하고 있다. 정확한 감쇠율을 얻기 위해서 0.001Hz의 주파수 분해능을 권장하고 있지만, 실제 건물을 진동계측할 때 이러한 분해능을 적용하는 것은 현실적인 어려움이 있다. 이와 같이 하프파워법을 이용하는 경우에는 실험과 해석 조건에 유의해야 함을 알 수 있다.(田村 2004)

반면에 건물의 자유진동과형을 얻을 수만 있다면 하프파워법 보다는 자유진동곡선에서 구한 대수감소법이 일반적으로 신뢰도가 높은 감쇠율을 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다. 이러한 자유진동과형을 얻는 방법의 하나로서 상시진동과형의 중첩을 통한 RD법(random decrement technique)이 있다.(일본건축학회 2000)

따라서 본 논문에서는 상시진동계측에서 얻은 시계열과형에서 하프파워법과 RD법을 통하여 감쇠율을 산정하여 해석법에 따른 감쇠율의 변동성을 분석하였다. 상시진동계측은 국내 철골조 건물 2개동과 철골철근콘크리트조 건물 1개동을 대상으로 실시하였다. 하프파워법(half-power bandwidth method)의 변수는 양상블 데이터수를 1024, 2048, 4096, 8192로 변화시키면서 감쇠율의 변화 경향을 분석하여 하프파워법의 적용성을 검토하였다.

2. 진동계측 파형의 감쇠율 해석법

2.1 해석법의 개요

진동계측과형의 감쇠율을 평가하기 위한 해석법으로서, 크게 주파수응답 데이터를 이용하는 경우와 시간영역인 자유진동과형을 이용하는 방법으로 대별할 수 있다. 주파수응답 데이터를 이용하는 경우는 상시진동이나 풍응답 등 시간과형의 스펙트럼해석과 가진기를 이용한 공진곡선 등이 주로 사용되고 있다.

자유진동과형을 이용하는 방법은 RD법, 인력가진, 가진기에 의한 급정지 등이 있다(일본건축학회 2000). 표 1은 국내의 여건을 고려하여 건물의 진동계측에 일반적으로 활용할 수 있는 진동계측법과 해석법을 요약한 것이다. 실험법은 크게 4가지로서 상시진동계측, 인력가진법, 가진기, 풍응답계측이 있다.

표 1 감쇠율 실험법 및 해석법 비교

실험법	장단점	해석법
인력 가진법	<ul style="list-style-type: none"> 가진원의 설치가 불필요 고유진동수의 예측이 필요 바람 등의 영향이 포함됨 	<ul style="list-style-type: none"> 대수감소법 (시간영역)
가진기	<ul style="list-style-type: none"> 정상가진과 자유진동 가능 실적과 신뢰도가 높음 설치준비가 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 하프파워법 (주파수영역) 대수감소법 (시간영역)
상시 진동계측	<ul style="list-style-type: none"> 장시간계측으로 신뢰도향상 바람 등의 영향이 포함됨 데이터해석에 주의 요함 	<ul style="list-style-type: none"> 하프파워법 (주파수영역) RD법(시간영역)
풍응답 계측	<ul style="list-style-type: none"> 대진폭의 감쇠율평가 가능 강풍시 감쇠평가 가능 공력감쇠의 영향이 포함 	<ul style="list-style-type: none"> 하프파워법 (주파수영역) RD법(시간영역)

2.2 하프파워법에 의한 해석법

그림 1과 같이, 상시진동계측 데이터의 파워스펙트럼에서 식 (1)에 의하여 감쇠율을 산정할 수 있다. 고유진동수와 감쇠율을 산정하기 위하여 시계열과형에서 파워스펙트럼을 구하였다. 파워스펙트럼은 20회 평균파워스펙트럼을 사용하였다. 평균파워스펙트럼을 사용한 이유는 1회 파워스펙트럼으로 파워스펙트럼의 근사식을 구하면 계측점과 근사곡선의 상관이 낮기 때문이다. 평균파워스펙트럼을 구하여 파워스펙트럼의 평활화 정도를 도모한 후, 파워스펙트럼 근사곡선의 상관계수가 0.90 이상의 함수에서 식 (1)의 하프파워법을 이용하여 감쇠율을 구하였다. 파워스펙트럼 산정시에는 hanning window를 사용하였다.

하프파워법 등의 공진곡선을 사용하는 경우 감쇠율의 과대평가에 대하여 Jeary(1986)는 고유진동수 1Hz의 모형을 이용하여 하프파워법 등의 공진곡선을 이용하는 경우 FFT 진동수의 간격을 0.01Hz로 하는 경우 추정오차가 20%이고, 더욱 정밀한 값을 얻기 위해서는 주파수간격을 0.001Hz를 제안하고 있다.

$$\zeta = \frac{\Delta f'}{2f_0} \times 100 \quad (1)$$

여기서 ζ : 감쇠율(%)
 $\Delta f'$: bandwidth (Hz)
 f_0 : 고유진동수(Hz)

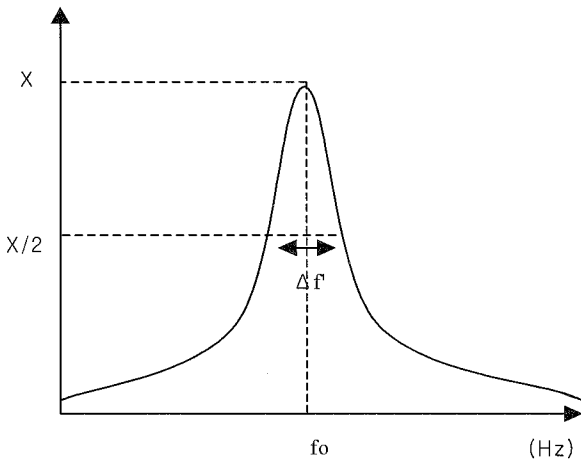


그림 1. 하프파워법에 의한 감쇠율

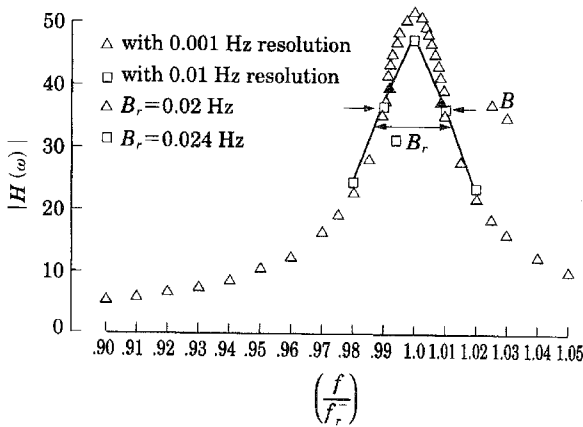


그림 2. 하프파워법의 오차(일본건축학회 2000)

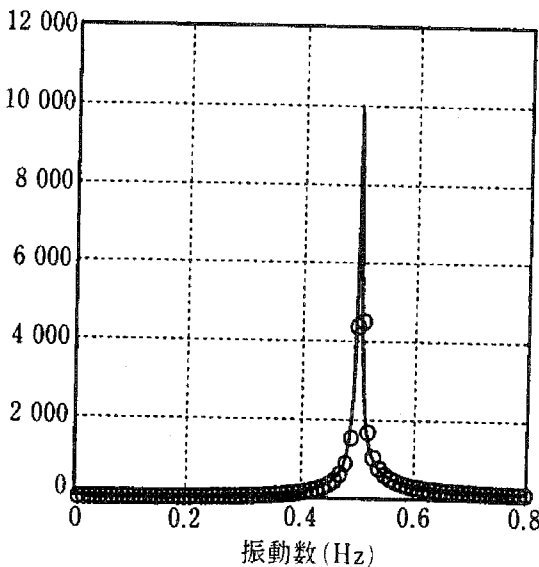


그림 3. 전달함수 예(일본건축학회 2000)

그림 2는 이러한 하프파워법의 오차를 설명하는 그림이다. 이러한 요인 외에 그림 3과 같이 공진주파수가 고유진동수와

일치하지 않는 것도 감쇠율을 과대평가하는 요인으로 지적하고 있다.(일본건축학회 2000) Bandat과 Piersol(1971) 등에 의하면 하프파워법의 오차를 2% 이내로 하기 위해서는 공진 곡선의 bandwidth 사이에 스펙트럼 포인트가 최소 6개 이상 일 것을 제시하고 있다.

2.3 RD법에 의한 해석법

RD법은 자기상관함수 추정법의 첫째 방법이다. RD법에서는 응답 $x(t)$ 에서 조건에 반응하는 부분 샘플을 다수로 나누어 이것들을 평균하여 RD파형 $a(\tau)$ 를 식 (2)에서 구한다.(일본건축학회 2000)

$$a(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \omega(t_i)x(t_i+\tau) \quad (2)$$

여기서 N : 샘플수

$\omega(t)$: 가중계수 (weighting factor)

C : 부분샘플을 특정(特定)하기 위한 조건

조건 C 와 계수 $\omega(t)$ 의 조합에 의해 다양한 RD법이 고려된다. 대표적인 조합의 예를 표 2에 정리하였다. 표 2의 조합을 이용한 RD파형은 모두 자기상관함수의 추정치로 나타나는 것으로 알려져 있다.

표 2. 대표적인 조건과 계수의 조합

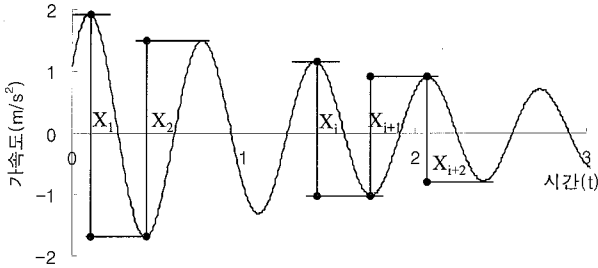
조합	조건 C	계수 $\omega(t)$	비고
(1)	$\dot{x}(t) = 0$	$sgn(x)$	
(2)	$x(t) \in R, \dot{x}(t) = 0$	$sgn(x)$	Ranked RD법
(3)	$x(t) = x_*$	1	
(4)	$x(t) = x_*, \dot{x}(t) = 0$	1	
(5)	없음	$x(t)$	직접법

비고 $\dot{x}(t)$: $x(t)$ 의 시간미분, $sgn(x)$: x 의 부호

x_* : 대상 진폭, R : 대상 진폭의 범위

표 2의 조합(2) 및 (3)에서는 진폭을 한정된 경우에 의해, 시스템의 동특성이 갖는 진폭 의존성의 평가가 가능하다. 본 논문에서는 표 1의 조합 (2)를 사용하여 얻은 자유진동파형에서 그림 4와 같은 방법으로 감쇠율을 산정하였다. 그림 4의 n 은 파형의 사이클수를 의미한다. 가속도진폭을 읽는 방법은 계

측데이터의 영점이 완벽하지 않은 구간이 있으므로 양진폭을 사용하였다. (윤성원 2003, 일본건축학회 1978)



$$\zeta_n = \frac{1}{2\pi n} \ln\left(\frac{X_i}{X_{i+2n}}\right) \times 100$$

그림 4. 대수감소법에 의한 평가 방법

2.4 하프파워법과 자유진동파형의 비교

일본건축학회(2000)의 연구에 의하면 2% 감쇠율의 모형을 이용하여 하프파워법과 자유진동파형을 이용하여 감쇠율을 분석하였다. 하프파워법은 2.11%, 자유진동파형은 1.93%~2.02% 범위로서 하프파워법보다는 자유진동파형을 이용한 감쇠율이 실제의 값에 근접함을 보여주고 있다. 田村(2004) 등은 5층 실험모형을 이용하여 감쇠율 평가방법을 비교하였다. 하프파워법 등의 주파수 응답데이터를 이용한 감쇠율 평가법에서 양상블 데이터 수를 1024에서 65356까지 증가해 가면서, FFT 진동수분해능(frequency resolution)의 간격을 충분히 세밀하게 하면 자유진동파형에 의해 구한 감쇠율과 근접한 결과를 얻을 수 있다고 지적하고 있다.

3. 진동계측

3.1 계측건물

대상건축물은 서울 소재의 철골조 건물 2개동과 철골철근콘크리트조 건물 1개동이다. 평면 형태는 데이터의 일관성을 위하여 모든 층의 평면이 장방형인 건물만을 대상으로 하였다. 표 3은 계측건물의 개요이다. 층수는 27층~36층의 범위이고, 건물높이는 96.2m~160m 범위이다. (윤성원 2003)

표 3. 계측건축물 개요

건물번호	층수	높이 (m)	평면 길이(m)		변장비	용도
			단변	장변		
S1	30	134.3	40.2	40.2	1.0	사무소
S2	36	160.0	33.0	51.0	1.5	사무소
SRC1	27	96.2	30.0	40.0	1.3	아파트

3.2 계측장치

계측장비는 서보 가속도계 센서(共和電業 1996)를 사용하였으며, 데이터의 기록과 FFT분석을 위하여 네덜란드의 Difa Measuring 시스템(1995)의 4채널용 APB200 보드를 노트북 PC에 연결하였다. signal conditioner는 VAQ-700A Series(共和電業 1996)를 이용하였다. 데이터 처리과정은 서보가속도계의 센서 → signal conditioner → FFT 분석기 → PC로 처리하였다. 표4는 계측기의 주요제원이다.

표 4. 계측기기 주요제원

계측기기	모델명	주요규격
서보 가속도계	ASQ CA (kyowa)	· 용량 : 1g · 측정범위: 0.00001g- 1g
signal conditioner	VAQ 700A (kyowa)	· 채널수 : 5 ch. · 출력: 가속도, 속도, 변위
Aquisition system	DIFA200 (LMS)	· 4 ch. APB board 탑재형

3.3 상시진동계측 조건

상시진동계측은 건물의 장변과 단변을 동시에 시계열 파형으로 계측하였다. 가속도계 센서는 전부 건물 옥상에 설치하였다. 계측데이터의 샘플링 간격은 0.08sec를 사용하였고, 양상블당 샘플수는 표 5와 같다.

표 5. 계측 조건

건물 번호	층수	해석데이터		
		샘플수/양상블	sampling rate(sec)	양상블 수
S1	30	8192	0.08	10
S2	36	1024	0.08	21
SRC1	27	8192	0.08	10

4. 진동계측 데이터 및 해석

3개동의 상시진동계측 파형에서 하프파워법과 RD법의 두가

지 방법을 통하여 감쇠율을 산정하였다. 진동계측은 장변과 단변에서 계측하였지만, 하프파워법과 RD법의 계측파형이 비교적 우수한 장변에 대해서만 상호 비교분석을 실시하였다.

4.1 철골조 건물 S1

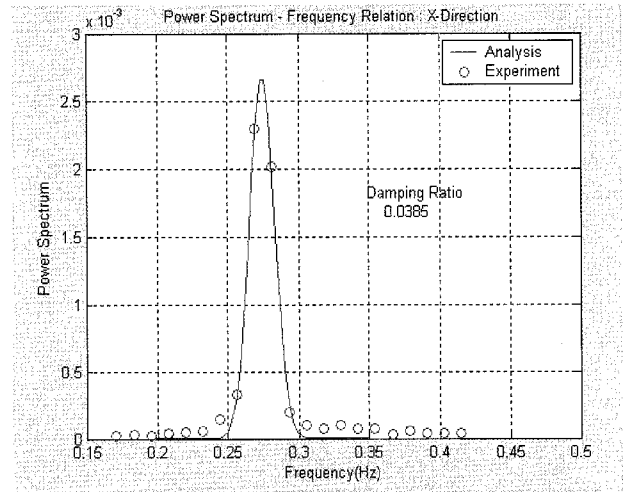
계측건물 S1에 대해 하프파워법의 적용성을 분석하기 위하여 앙상블의 데이터 수를 1024, 2048, 4096, 8192로 증가시키면서 감쇠율의 변화추이를 분석하였다. 앙상블 데이터 수가 1024, 2048, 4096의 경우는 20회 평균 파워스펙트럼을 이용하였고, 8192의 경우는 10회 평균 파워스펙트럼을 이용하여 감쇠율을 산정하였다.

그림 5는 파워스펙트럼의 예로서 하프파워법으로 감쇠율을 구하기 위하여 MATLAB을 이용하여 계측점의 근사식을 구하였다. 이 근사식의 상관계수는 앙상블 데이터 수가 1024, 2048, 4096, 8192인 경우에 장변은 0.995, 0.990, 0.997, 0.968로서 전반적으로 높은 상관성을 보이고 있다. 그림 5(a)~그림 5(d)에 의하면 앙상블데이터 수가 증가함에 따라서 스펙트럼 피크가 증가함을 확인하였다. 또한 앙상블데이터가 1024~4096 까지는 half-power bandwidth 사이의 근사식에 2개의 계측점만 존재함을 알 수 있다. 그러나 앙상블데이터가 8192인 경우에는 5점의 계측점이 피크 근사곡선 상에 존재하여 더욱 정확한 곡선을 구할 수 있었다.

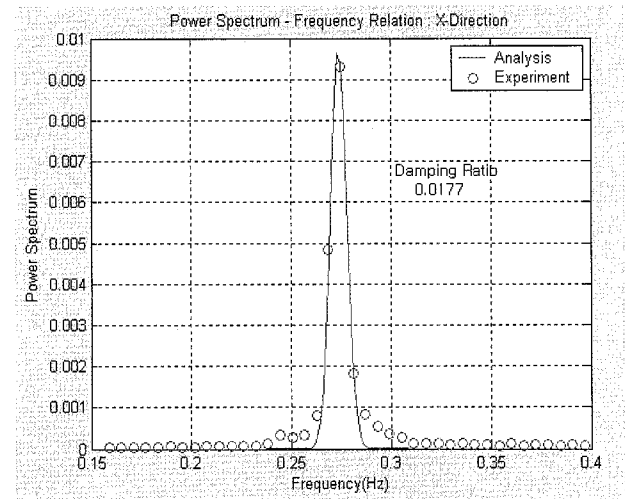
앙상블의 데이터가 1024, 2048, 4096, 8192로 증가함에 따라서 감쇠율은 그림 6과 같이 3.85%, 1.77%, 1.10%, 1.17%로 각각 감소하면서 수렴해가는 경향을 확인할 수 있었다. 이 값은 그림 6의 RD법에 의한 감쇠율인 1.22%와 거의 비슷한 값을 보이고 있다. RD법에 의한 감쇠율 산정시에는 그림 7과 같이 5개의 피크를 사용하였다. 따라서 하프파워법의 데이터 사이즈가 1024, 2048에서는 하프파워법의 감쇠율이 RD법에 의한 감쇠율 값보다 각각 3.17배, 1.45배 크다. 그러나, 데이터 사이즈가 4096과 8192인 경우에는 하프파워법의 감쇠율이 RD법에 의한 감쇠율의 각각 0.90배, 0.96배로서 거의 유사한 값을 보여 주고 있다.

앙상블사이즈에 따른 하프파워법에 의한 감쇠율을 분석하기 위하여, 앙상블 데이터수의 변화에 따른 고유진동수와 bandwidth의 변화를 분석하였다. 고유진동수는 거의 변화가 없이 0.27Hz를 유지하였다. 반면에 스펙트럼 bandwidth는 앙상블의 데이터 수가 증가함에 따라서 감쇠율이 감소되는 비슷한 양상으로 작아지는 것을 확인할 수 있다. 즉 데이터 수가 1024에서 8192로 증가함에 따라 bandwidth는 0.0210Hz에서 0.0064Hz로 감소하는 것을 확인하였다. 표 6은 앙상블 데이터 수에 따른 bandwidth의 변화 경향이다. 따라서 앙상블 데이터

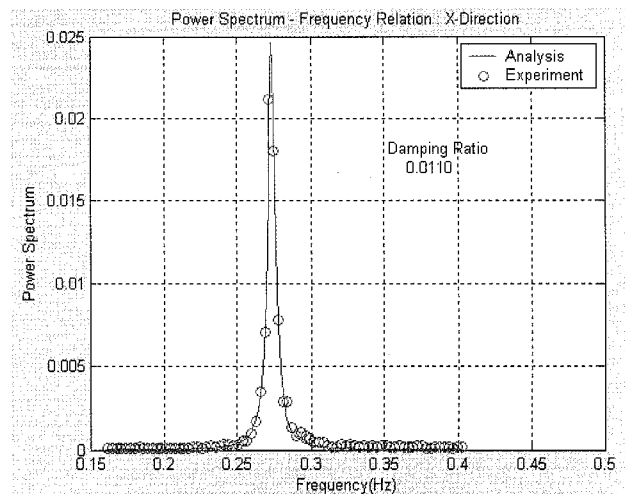
수가 1024에서 8192로 증가함에 따른 감쇠율의 감소는 그림 8과 같이 bandwidth의 감소 때문인 것을 알 수 있다.



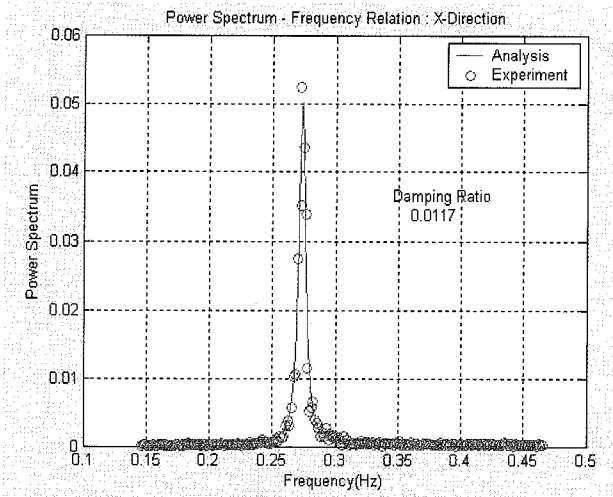
(a) 데이터 사이즈 1024



(b) 데이터 사이즈 2048



(c) 데이터 사이즈 4096



(d) 데이터 사이즈 8192

그림 5. 철골조 건물 S1의 파워스펙트럼

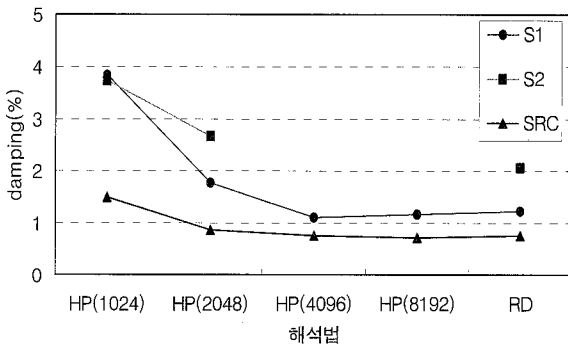


그림 6. 해석법에 따른 감쇠율 추이

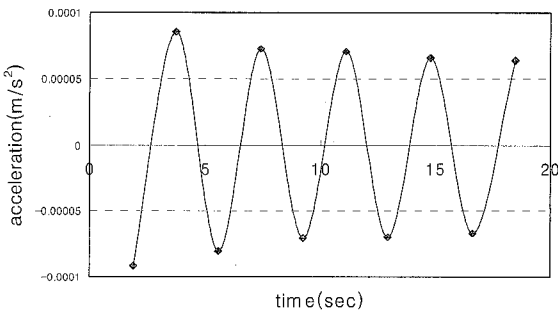


그림 7. RD법에 의한 철골조 건물 S1의 자유진동파형

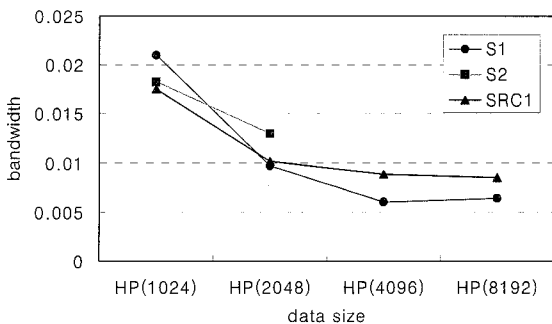


그림 8. 데이터 사이즈에 따른 bandwidth의 추이

표 6. bandwidth 비교 (단위:0.01HZ)

건물 번호	양상블 데이터 수			
	1024	2048	4096	1024
S1	2.110	0.970	0.603	0.641
S2	1.825	1.302	-	-
SRC1	1.750	1.014	0.885	0.850

4.2 철골조 건물 S2

계측건물 S2에 대해 하프파워법의 적용성을 분석하기 위하여 양상블의 데이터 수를 1024, 2048로 증가시키면서 감쇠율의 변화추이를 분석하였다. 양상블 데이터 수가 1024의 경우는 20회 평균 파워스펙트럼을 이용하였고, 2048의 경우는 10회 평균 파워스펙트럼을 이용하여 감쇠율을 산정하였다. 계측된 데이터길이의 제한으로 인하여 데이터 사이즈가 2048까지만 분석을 하였다.

그림 9는 S2의 파워스펙트럼 예로서 파워스펙트럼 근사식의 상관계수는 양상블 데이터 수가 1024, 2048인 경우에 0.993, 0.986으로서 전반적으로 높은 상관성을 보이고 있다. 그림 9(a)~그림 9(b)에 의하면 계측점의 피크 근사식 상에 bandwidth 범위에서 양상블의 데이터가 1024인 경우에는 계측점이 1점 전후가 있으며, 양상블의 데이터가 2048인 경우에는 2점의 계측점이 있는 것을 확인하였다. 이와 같이 양상블의 데이터가 증가함에 따라서 S1에서와 같이 S2에서도 스펙트럼 피크가 증가하는 것을 확인하였다.

양상블의 데이터가 1024, 2048로 증가함에 따라서 감쇠율은 그림 6과 같이 3.74%, 2.67%로 감소하는 경향을 확인할 수 있었다. 이 값은 그림 10의 RD법에 의한 감쇠율인 2.06%로 근접해감을 알 수 있었다. RD법에 의한 감쇠율 산정시에는 4개의 피크를 사용하여 대수감소법으로 산정하였다.

양상블 데이터 수가 1024에서 2048로 증가함에 따라 고유진동수는 거의 변화가 없이 0.24Hz를 유지하였다. 반면에 스펙트럼 bandwidth는 양상블의 데이터 수가 증가함에 따라서 감쇠율이 감소되는 비슷한 양상으로 작아지는 것을 확인할 수 있다. 그림 8에서와 같이 데이터 수가 1024에서 2048로 증가함에 따라 bandwidth는 0.0183Hz에서 0.0130Hz로 감소하는 것을 확인하였다. 따라서 양상블 데이터 수가 1024에서 2048로 증가함에 따른 감쇠율의 감소는 그림 8에서와 같이 bandwidth의 감소 때문인 것을 알 수 있다.

4.3 철골철근콘크리트조 건물 SRC 1

계측건물 SRC1에 대한 하프파워법의 적용성을 분석하기 위

하여 앙상블의 데이터 수를 1024, 2048, 4096, 8192로 증가시키면서 감쇠율의 변화추이를 분석하였다. 앙상블 데이터 수가 1024, 2048, 4096의 경우는 20회 평균 파워스펙트럼을 이용하였고, 8192의 경우는 10회 평균 파워스펙트럼을 이용하여 감쇠율을 산정하였다.

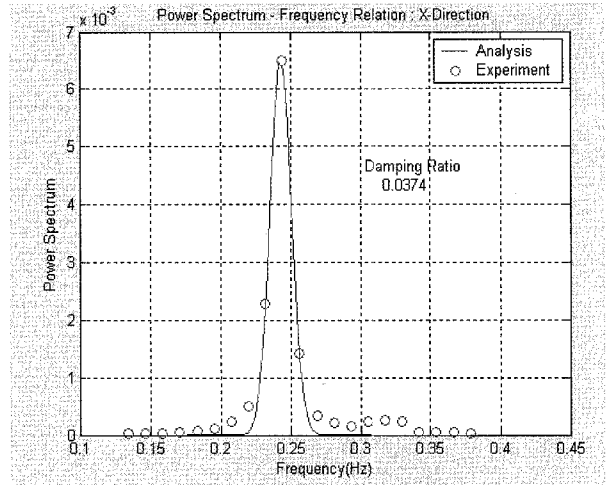
그림 11은 SRC1의 파워스펙트럼 예이다. 이 근사식의 상관계수는 앙상블 데이터 수가 1024, 2048, 4096, 8192인 경우에 0.995, 0.990, 0.997, 0.968로서 전반적으로 높은 상관성을 보이고 있다. 그림 11(a)~그림 11(d)에 의하면 하프파워의 bandwidth 범위에서 계측점의 피크 근사식 상에 앙상블의 데이터가 1024~2048인 경우에는 1점의 계측점이 피크 근사식 곡선 상에 있다. 그러나 데이터사이즈가 4096과 8192로 증가함에 따라서 각각 3점과 5점의 계측점이 bandwidth 범위에서 피크 근사식 곡선상에 존재함을 알 수 있다. 앙상블데이터가 증가함에 따라서 스펙트럼피크가 증가하는 것도 확인하였다.

앙상블의 데이터가 1024, 2048, 4096, 8192로 증가함에 따라 감쇠율은 그림 11과 같이 1.49%, 0.86%, 0.75%, 0.72%로 각각 감소하면서 수렴해가는 경향을 확인할 수 있었다.

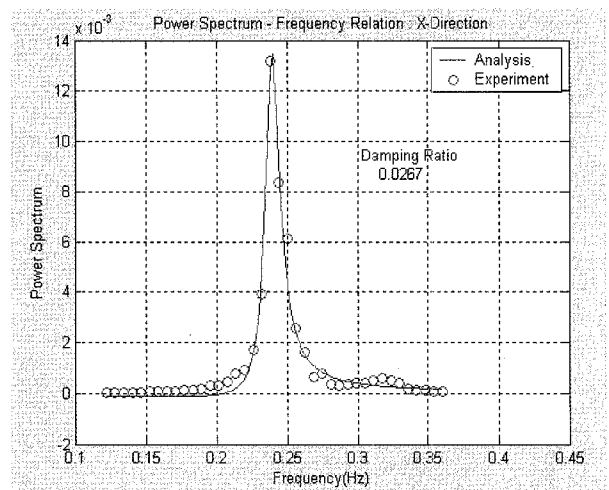
그림 12는 SRC1의 RD법에 의한 감쇠율로서 0.75%를 나타내고 있다. RD법에 의한 감쇠율 산정시에는 13개의 피크를 사용하였다. 데이터 사이즈가 1024, 2048에서는 하프파워법의 감쇠율이 RD법에 의한 감쇠율 값보다 각각 1.99배, 1.15배 크다. 그러나 데이터사이즈가 4096과 8192로 증가하면서 RD법에 의한 감쇠율인 0.75%와 거의 유사한 값을 보여주고 있다.

데이터 수의 변화에 따른 고유진동수와 bandwidth의 변화를 분석한 결과, 앙상블데이터가 4096까지는 고유진동수가 큰 변화가 없이 0.59Hz 전후를 유지하였다. 그러나 앙상블데이터가 8192인 경우에는 고유진동수가 0.51Hz 전후로 다소 감소하였다. 반면에 스펙트럼 bandwidth는 앙상블데이터 수가 증가함에 따라서 감쇠율이 감소되는 비슷한 양상으로 작아지는 것을 확인할 수 있다. 즉 데이터 수가 1024에서 8192로 증가함에 따라 bandwidth는 0.0175Hz에서 0.0085Hz로 감소하는 것을 확인하였다.

표 6은 앙상블 데이터 수에 따른 bandwidth의 변화 경향이다. 따라서 앙상블 데이터 수가 1024에서 8192로 증가함에 따른 감쇠율의 감소는 그림 8과 같이 bandwidth의 감소 때문인 것을 알 수 있다.



(a) 데이터 사이즈 1024



(b) 데이터 사이즈 2048

그림 9. 철골조 건물 S2의 파워스펙트럼

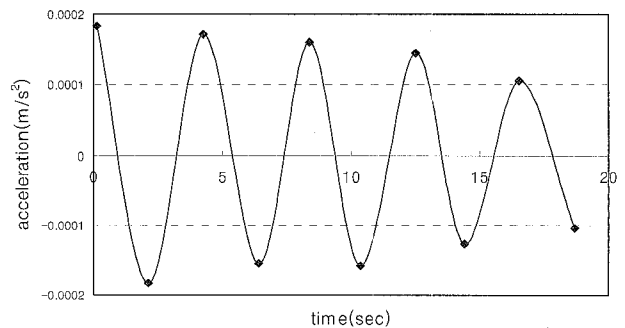
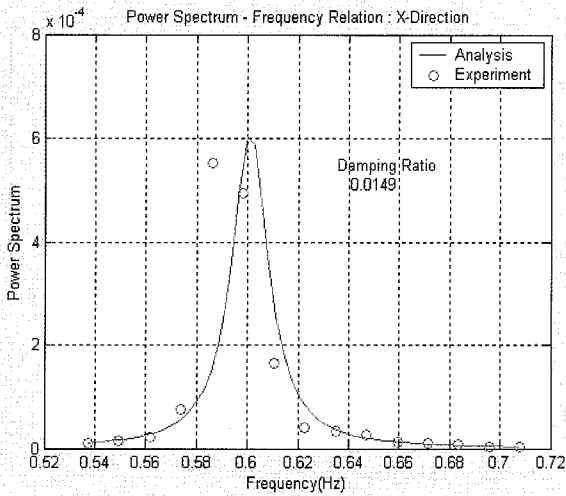
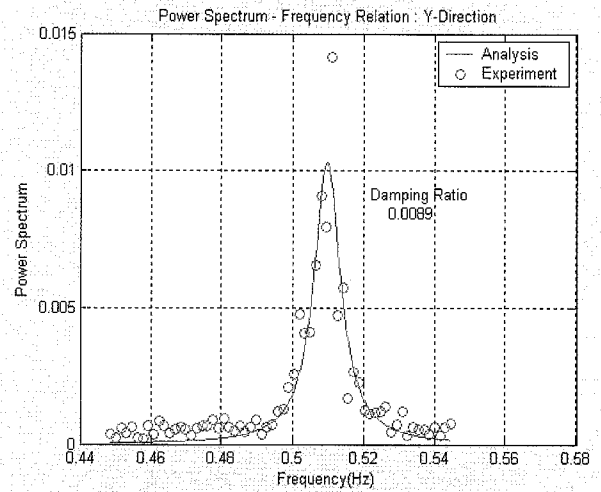


그림 10. RD법에 의한 철골조 건물 S2의 자유진동파형

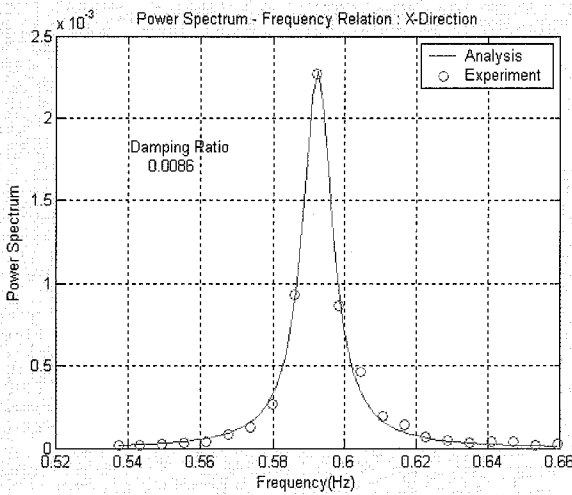


(a) 데이터 사이즈 1024



(d) 데이터 사이즈 8192

그림 11. 철골철근콘크리트조 건물 SRC1의 파워스펙트럼



(b) 데이터 사이즈 2048

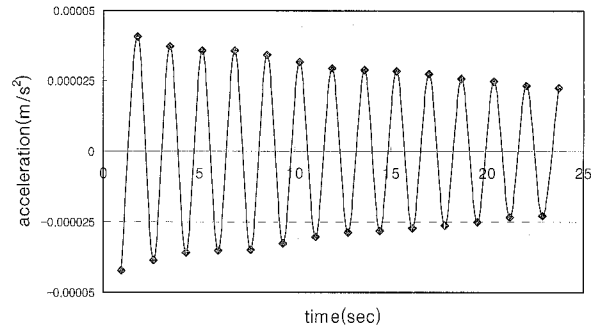
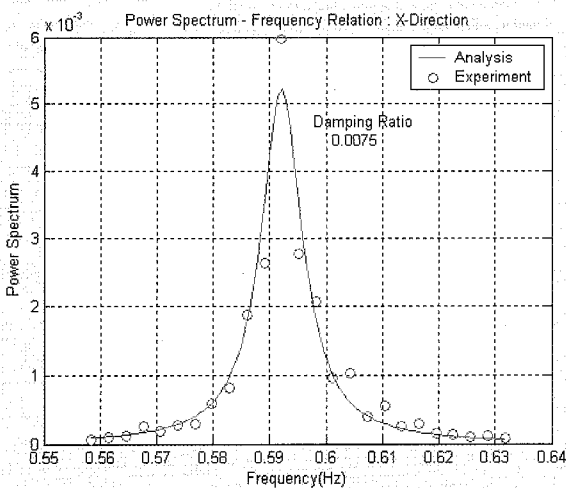


그림 12. RD법에 의한 철골철근콘크리트조 건물 SRC1의 자유진동파형



(c) 데이터 사이즈 4096

5. 결론

건물의 높이 96.2m~160.0m, 고유진동수 0.27Hz~0.59Hz 범위의 고층건물의 상시진동계측 데이터에 대한 하프파워법과 RD법을 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 상시진동계측 데이터에서 앙상블의 데이터 크기를 1024에서 8192로 증가함에 따라서 하프파워법에 의한 감쇠율은 감소하면서 일정한 값으로 수렴하면서 RD법에 의한 감쇠율과 비슷해짐을 확인하였다. 앙상블이 데이터 크기의 증가로 인한 감쇠율의 감소는 파워스펙트럼의 주파수 bandwidth의 감소 때문이다.
- (2) 하프파워법에 대한 감쇠율은 일반적으로 RD법에 의한 감쇠율보다 다소 큰 것을 확인하였다. 그러나 하프파워법의 경우 앙상블 데이터 수를 최소한 4096 이상으로 하면 RD법에 더욱 근접하는 정확한 감쇠율을 얻을 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2005년도 연암재단 해외파견연구교수 연구비지원
과 서울산업대 해외유명기관 파견연구교수 지원에 의한 것입니
다. 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

윤성원 주영규(2003) 상시진동계측을 통한 고유진동수, 한국강
구조학회지 논문집, 15권 2호, pp. 117-124
日本建築學會(2000) 建築物の減衰, 丸善株式會社
Bandit, Piersol(1971) Random Data: Analysis and
Measurement Procedure, Wiley-interscience
Davenport, A.G. and Hill-Carroll,P.(1986) Damping in
Tall Buildings: Its variability and Treatment in
Design, Building Motion in Wind, Proceedings of
a Session, ASCE Convention, Seattle, Washington

Difa Measuring System(1995), APB200 Manual
Haviland, R.(1976) a Study of the Uncertainties in the
Fundamental Translational Periods and Damping
Values for Real Buildings, MIT, Research Report
No. 5, Publication No. R76-12, Department of
Civil Engineering., Cambridge, Mass.
Jeary(1986) Damping in Tall Buildings- Mechanism
and a Predictor, Earthquake Engineering and
Structural Dynamics, Vol.14, pp.733~750
日本建築學會(1978) 建築構造物の振動實驗, pp. 36-38
田村幸雄(2004) 構造物の動的特性を決定する方法に關する基礎
的な研究, 日本建築學會 學術講演會集, August, pp.823
- 824.
(株)共和電業(1996) 取扱説明書 서보형가속도변환기 ASQ-C
A·CB, pp. 1-7
(株)共和電業(1996) 取扱説明書 VAQ-700A, pp. 5-28
(접수일자 : 2006. 7. 11 / 심사일 2006. 8. 7 /
심사완료일 2006. 10. 17)