한국지진공학회 논문집 | 제13권 제1호 (통권 제65호) | 2009년 2월, pp. 27~34

오대산지진 자료를 이용한 국내 지진관측소 부지의 지반증폭특성 연구

Analysis of Site Amplification of Seismic Stations using Odesan Earthquake

김준경[1)]
Kim, Jun-Kyoung

국문 요약 >> 지진원, 지각감쇠 및 구조물과 지반상호간의 동적 특성 등을 신뢰성 있게 평가하기 위해 지반의 증폭특성을 반드시 고려하여야 한다. 주파수 영역에서 H/V 스펙트럼 비를 구하는 방법은 Nakamura(1989)에 의해 처음으로 제시되어 초기에는 지반의 상시미동의 표면파의 특성을 이해하기 위해 제시되어 한계점이 존재하나 근래에 와서 강진동의 전단파 에너지 등에 적용범위가 확장되면서 지반의 동적인 증폭특성(지반증폭함수) 연구에 많이 이용되고 있다. 본 논문에서는 오대산 지진(2007/01/20)으로부터 관측된 9개의 지반진동을 이용하여 H/V 스펙트럼 비를 분석하였고 결과를 이용하여 국내에 분포되어 있는 지진관측소 부지의 지반증폭 특성을 분석하였다. 분석결과 대부분의 지진관측소의 H/V 스펙트럼 비는 저주파수 영역에서는 고주파수 영역에 비해 다소 안정된 지반증폭 특성을 보여주었다. 하지만 지진관측소마다 고유주파수, 고주파수 및 저주파수 대역에서 서로 다른 지반증폭 특성을 보여주었다. 특히 각각 관측소 부지의 고유주파수는 각 관측소의 지진자료의 질을 좌우하므로 정확한 분석이 필요하다. 관측된 지반진동 자료를 이용하여 지진원 및 지각감쇠 요소를 분석할 경우 결과값의 왜곡을 피하기 위해 지반증폭 정보를 제거하면 신뢰성이 보다 향상된 값을 얻을 수 있다. 물론 지반증폭은 국내 지반의 분류 연구에 중요한 정보를 제공한다는 점에서 대단히 중요하다.

주요어 지반증폭함수, H/V스펙트럼비, 표면파, 우세주파수

ABSTRACT >> Site amplification should be considered in order to estimate Soil-Structure Interaction (SSI), seismic source and attenuation parameters with a greater degree of reliability. The horizontal to vertical (H/V) ratio technique, originally proposed by Nakamura (1989), has been applied to analyze the surface waves in microtremor records. Recently, its application has been extended to the shear wave energy of strong motion in order to study the site transfer function. The purpose of this paper is to estimate the H/V spectral ratio using the observed data from 9 seismic stations distributed within the Southern Korean Peninsula, from the Odesan earthquake (2007/01/20). The results show that most of the stations have more stable amplification characteristics in a low frequency band than in a high frequency band. However, each seismic station showed its own characteristic resonant frequency and low and high frequency. The resonant frequency at each station should be estimated carefully, because the quality of seismic data is dependent on the resonant frequency. It can be obtained more reliable results of seismic source and attenuation parameters, if seismic ground motions which deconvolved from site transfer function is used. The site amplification data from this study can be used to generally classify the sites within the Southern Korean Peninsula.

Key words site transfer function, H/V spectral ratio, surface wave, resonant frequency

1. 서 론

우리나라는 현대적 장비를 이용한 지진관측 이후 6.0 이상의 대규모의 지진이 거의 발생하지 않은 중약진 지역이다. 따라서 내진설계기준을 설정하기 위한 실제 관측 강지진동이 부족하여 지반증폭 특성 및 설계응답스펙트럼 작성방법의 대부분을 미국의 1997 National Earthquake Hazards Reduction Program(1) 기준을 준용하고 있다. 하지만 앞서 언급한 미국 내진설계 기준은 기반암의 대단히 깊은 미국 서부 해안지역의 지반에 적합하도록 만들어 졌고 또한 내진설계 실무자의 편의성을 위하여 지표로부터 단지 상부 30m 층의 평균 전단파 속도를 이용하도록 되어 있다. 그러나 국내에서는 대부분의 기반암이 지표로부터 30m 이내에 존재하기

1) 정회원·세명대학교 자원환경공학과 교수
(대표저자: kjk-512@semyung.ac.kr)

본 논문에 대한 토의를 2009년 4월 30일까지 학회로 보내 주시면 그 결과를 게재하겠습니다.

(논문접수일 : 2008. 11. 14 / 수정일 : 2009. 1. 14 / 게재확정일 : 2009. 1. 14)

때문에 저주파수 영역보다 고주파수 영역에서 가속도 스펙트럼의 지반증폭이 상대적으로 크게 나타나서 현재 적용중인 미국 서부 기준을 국내에 적용하는 것은 문제점이 많다. 그러므로 우선 국내의 지반특성을 고려한 국내 고유의 부지증폭 특성에 대한 연구가 필요하다.

관측된 지진파를 이용하여 부지의 지반증폭을 연구하는 방법에는 개략적으로 세 종류가 제시되어 있다. 우선 이론적인 방법이 있고 지반에 대한 기하학적 형태와 전단파 속도 및 탄성임피던스 등을 이용하여 이론적으로 지반의 증폭값을 평가하는 것이다. 두 번째 방법은 노두가 양호하게 발달되어 있고 분석대상 부지로부터 비교적 가까 곳에 위치하는 기준 관측지점과 지반증폭 효과를 분석하고자 하는 대상지점에서 동일한 지반진동원으로부터 각각 관측된 지반진동의 푸리에 스펙트럼 비를 이용하는 방법이 있다. 이러한 방법은 주로 Borchert[2], Rogers et al.[3], Harzell et al[4] 및 Bonilla et al.[5] 등에 의해 활발하게 연구되어 왔다. 하지만 주변에 노두가 잘 발달된 기준 관측지점을 쉽게 발견할 수 없을 경우 다른 방법이 제시되었고 분석대상 부지에서 관측된 지반진동의 수평과 수직성분의 스펙트럼 비(이하 H/V 스펙트럼 비)를 비교하여 분석하는 방법이 있다.

관측된 지진파의 H/V 스펙트럼 비를 이용하는 방법은 Nakamura[6]에 의해 처음으로 제시되었고 주로 상시미동의 표면파를 푸리에 변환을 수행한 후 스펙트럼의 H/V비를 이용하여 부지의 지반증폭 효과를 분석하였다. 이 방법은 Lermo and Chavez-Garcia[7]에 의해 표면파 뿐만 아니라 더욱 확장하여 강진동의 S파 에너지에도 적용하였다. 또한 이 방법은 Ohmachi et al.[8]와 Lermo and Francisco[9]에 의해 부지지반의 증폭효과를 구하는데 성공적으로 적용되었으며, Seed et al.[10]는 이 방법을 S파 에너지를 이용하여 부지지반의 증폭 효과를 구하는데 적용될 수 있음을 증명하였다. 또한 H/V 스펙트럼 비를 이용하는 방법이 최근에는 Cassidy and Rogers[11] 등에 의해서도 활발하게 연구되어 오고 있다. 국내에서는 최근 부지증폭 특성에 대하여 윤종구 외[12]에 의해서는 부지지반의 고유주기를 이용하였고 또한 박동희 외[13] 등에 의해 본 연구방법과 유사한 연구가 수행되었으나 아직 그다지 활발하지 못한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 H/V 스펙트럼 비를 적용한 방법을 이용하여 국내 지진관측소 부지 고유의 지반증폭 효과를 분석하였다. 본 연구에서 이용된 자료는 한국지질자원연구원에서 운영되는 국내 지진관측망에서 오대산지진으로부터 관측된 지반진동 자료이고 본 연구결과는 국내 각종 주요 구조물의 내진설계 뿐만 아니라 지진원 및 지각감쇠 요소를 왜곡없이 분석하기 위해서도 역시 중요한 기초자료로 사용가능하다.

2. 본 론

2.1 연구방법

추계학적 지진모델은 단일 코너 주파수 및 일정한 응력강하(Stress Drop)의 ω^2 형태의 지진원 모델을 이용하였다. 가속도시간이력에 대한 푸리에 스펙트럼은 $a(f)$로 나타내고 여러 가지 형태로 주어질 수 있으나 본 연구에서는 다음의 식을 이용하였다.

$$a(f) = C \cdot \frac{f^2}{1+(\frac{f}{f_0})\gamma} \cdot \frac{M_0}{R} \cdot P(f) \cdot A(f) \cdot e^{\frac{-\pi f R}{\beta_0 Q(f)}} \quad (1)$$

여기서,

$$C = (\frac{1}{\rho_0 \beta_0^3}) \cdot (2) \cdot (0.55) \cdot (\frac{1}{\sqrt{2}}) \cdot \pi,\ f = \text{주파수}$$

M_0 = 지진모멘트($seismic$), R = 진원거리($hypocentral$)
β_0 = 지진원부근의 S파속도, ρ_0 = 지진원부근의 밀도
$Q(f)$ = $Q_0 f^{\eta}(quality)$, $A(f)$ = 지각증폭
$P(f)$ = 고주파제거필터, f_0 = 지진원코너주파수
γ = 1, 2, 3(f_0 이상에서 지진원 변위 스펙트럼 감쇠율)

위에서 제시된 가속도의 푸리에 스펙트럼 지배방정식에서 C는 상수로서 지진원 지역 지반의 밀도(ρ_0)와 S파 속도, 자유면 효과(2배수), 구면으로 방사하는 지진에너지의 평균값(0.55), 2개의 수평방향으로의 에너지 분리($1/\sqrt{2}$)와 관련된 파의 특성을 포함한다. 지진원 규모는 지진모멘트와 고주파 응력파라미터, 즉 응력강하($\Delta\sigma$)의 두 개의 독립적인 파라미터에 의해서 결정된다. 지진모멘트와 모멘트 지진규모의 상관관계는 Hanks and Kanamori[14]에 의해 제시된 지진모멘트 규모의 정의에 따라 다음과 같이 제시 가능하다.

$$\log M_0 = 1.5 M_w + 16.05 \quad (2)$$

응력강하($\Delta\sigma$)는 지진원 코너주파수와 지진모멘트(M_0) 등과 관련되어 있으며 다음과 같은 관계식으로 표현된다.

$$f_0 = \beta_0 (\frac{\Delta\sigma}{8.44 M_0})^{1/3} \quad (3)$$

응력강하는 고주파 응력강하(혹은 응력파라미터)라고도

불리며 그 이유는 지진원특성을 나타내는 코너주파수 이상의 고주파 대역에서 푸리에 스펙트럼이 응력강하에 비례하여 스케일되기 때문이다.

또한 식 (1)에서 $P(f)$ 필터는 관측지반진동이 일정한 주파수 값 이상의 영역에서 스펙트럼 값이 급격히 감소하는 현상을 모델화하기 위해 이용된다. 고주파영역에서 스펙트럼값의 감쇠는 지진원 특성도 영향을 주지만 주로 지진원으로부터 관측소 부지부근 지표까지 통과하는 매질의 비탄성 감쇠특성 등에 의해 설명된다.

고주파 영역에서 관측 강진운동의 급격하게 감소하는 현상을 대표하는 이론은 F-max 모델 및 Kappa 모델 등 두 가지 종류가 제시되어 있으며 Kappa 모델은 다음과 같은 형태로 제시된다.

$$P(f) = e^{-\pi \cdot k(R) \cdot f} \tag{4}$$

식 (4)의 지수부분의 주된 구성요소인 $k(R)$은 지진파가 지진원으로부터 관측점까지 지각을 통과할 경우 발생하는 지진파의 감쇠를 나타내며 크게 두 가지 현상을 포함하여 모델링하고 있다. 즉 관측소 부지하부의 약 3-4km 부근까지의 비탄성 감쇠 효과 및 거리와 관련된 지각구조 전체에 의한 효과로 구성되어 있다. 위에서 제시한 두 가지 종류의 감쇠효과를 모두 고려한 식은 아래 식에 의해 모델화된다.

$$\kappa(R) = \frac{H}{\overline{\beta}\,\overline{Q_s}} + \frac{R}{\beta_0 Q(f)} \tag{5}$$

위 식 중에서 등호 오른쪽의 첫 번째 항은 거리가 0인 경우에 해당하며 $k(0)$으로 표시 되며 식 (6)과 같이 표현된다.

$$k(0) = \frac{H}{\overline{\beta}\,\overline{Q_s}} \tag{6}$$

식 (6)에서 $\overline{\beta}$, $\overline{Q_s}$는 관측소 부지하부의 전체 Soil층의 깊이 H에 대한 전단파 속도 및 Quality Factor 값들의 평균을 의미한다. 이 식에서 제시된 바와 같이 거리가 0인 경우 k값은 주파수와 무관하게 모델화가 가능하며 관측소 부지의 약 3-4km 하부의 특성에 좌우되는 값으로 간주된다.

지진파가 지진원으로부터 관측점까지 지각을 경유할 때 발생하는 감쇠의 두 가지 종류의 효과 중에서 두 번째 효과에 해당하는 거리와 관련되며 지각전체 구조에 의한 효과가 있다. 이는 주파수의 함수인 $Q(f)$로 모델링이 되고 식 (5)의 $k(R)$중에서 두 번째 항에 해당하며 가속도 지배방정식 식 (1)에서 마지막 항에 해당한다. 따라서 본 논문의 가속도 지배방정식 식 (1)에서 제시된 $P(f)$는 앞서 제시된 2개의 일반적인 감쇠 특성 중에서 단지 관측소 부지하부의 비탄성 감쇠만을 대표하도록 모델화하였다. 본 연구에서는 각각의 관측소에서 관측된 지진파는 동일한 경로를 전파하였고, 따라서 H/V 스펙트럼 비 값은 $P(f)$ 특성으로부터 영향을 전혀 받지 않는다. 식 (1)에서 부지하부의 증폭특성을 대표하는 $A(f)$ 필터는 지진파가 관측소 하부의 지표 가까이 얕은 심도에 존재하는 저속도층(미국 서부의 경우 약 100m-300m; 국내 경주지역의 경우 약 30m)을 전파함에 따라 고주파수 대역에서 파의 진폭이 주파수에 의존하여 증가하는 현상을 대표한다. 또한 지진파의 부지 직하부에서의 증폭률은 관측소 하부의 전단파 속도 및 밀도 등에 의해 결정된다.

배경잡음과 관측된 지진파의 S파 에너지를 이용하여 $A(f)$를 분석하는 방법은 앞서 제시한 바와 같이 여러 가지 방법이 제시되어 있으나 본 연구는 Nakamura[6]의 방법을 적용하였다. 이 분석방법은 일반적으로 지반진동원이 관측부지에 아주 가까이 있지 않을 경우 지진파의 수직성분은 거의 증폭이 없으나 수평성분은 속도가 낮은 매질을 통과하여 전파될 때에 지각의 속도 및 밀도의 지반매질 임피던스 차이에 의한 지반의 증폭효과를 크게 나타내는 성질을 이용하고 있다. 따라서 Nakamura[6]에 의하면 수직성분의 증폭효과는 거의 무시될 수 있고 수평성분과 수직성분의 스펙트럼 비를 이용하면 부지효과를 간단하고 유용하게 평가할 수 있다.

H/V 스펙트럼 비는 지진동의 푸리에 스펙트럼을 이용하여 다음과 같이 주어진다.

$$\log(H/V) = (\log(H_1^2 + H_2^2))/2 - \log V \tag{7}$$

여기서, H_1, H_2는 남북 및 동서방향 수평성분의 푸리에 스펙트럼을 나타내고 V는 수직성분의 푸리에 스펙트럼을 나타낸다.

2.2 연구자료

본 연구에서 사용한 자료는 오대산지역에서 2007년 1월 20일 발생한 지진으로부터 한국지질자원연구원의 관측망에서 관측된 9개 가속도 지반진동 자료를 이용하였다. 특히 오대산 지진을 선택한 것은 최근 한반도 내륙에서 발생한 지진 가운데 중규모급 지진으로 기록되었고 또한 진앙이 한반도 내륙 중앙에 위치하고 있어 한반도 지진특성을 대표가능한 지진 중에 하나로 판단되었기 때문이다. 사용된 관측자료는 표 1에 제시되어 있고 각각 지진발생일시, 지진규모 및 관측소 목록을 나타내고 있다. 또한 본 연구에서 이용한 관측소의 위치, 진앙거리 및 Sensor의 종류는 표 2에 각각 제

시되어 있다. 수직성분 뿐만 아니라 2개의 수평성분의 S파 에너지 중에서 S/N비가 낮은(약 3.0이하) 자료는 분석에서 제외한 후 모두 9개 가속도 지반진동 자료를 이용하였다.

2.3 자료처리

S파 에너지의 시간창 길이를 설정할 때 Rayleigh파 에너지를 최대한 제외하였고, 시간창 시작점은 S파 에너지 도달 2초전으로 하고 진원거리에 따라 S파 시간창 길이를 제시된 공식을 이용하여 조절하였다. 잡음을 제거하기 위해 잡음의 시간창 길이를 S파 시간창 길이와 동일하게 설정하여 푸리에 변환을 수행할 때 발생하는 주파수간격 차이 등에 대한 문제점 발생을 사전에 배제하였다.

시간창을 이용한 에너지 선택작업으로 인해 경계 부분에서 본래 Signal에는 포함되지 않았던 고주파 성분이 인위적으로 발생하는 것을 방지하기 위해 Signal 마지막 부분에 Cosine Tapering을 수행하였다. 또한 수평 2개 성분(NS 및 EW) 및 수직성분의 관측지반진동을 Analyst 프로그램을 이용하여 각각 푸리에 스펙트럼으로 변환하였다.

주파수의 변화에 따른 H/V 스펙트럼 비의 전체적인 변화를 보다 효과적으로 파악하기 위해 각각 관측소의 주파수 영역에서 Phazen 이동평균(Moving Average)을 적용하였다. 이동평균의 창길이는 6개의 다양한 주파수 영역의 창길이를 이용하여 저주파수, 고주파수 및 부지고유의 우월주파수 등에 변화를 조사하였으며 주파수 대역의 창길이를 각각 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 및 3.0Hz로 설정하여 분석을 시도하였으나 결과를 제시할 때는 Smoothing 하지 않은 경우와 3.0Hz 주파수 대역의 창길이를 이용한 결과를 동시에 제시하였다.

본 연구에서 이용한 지반진동 자료는 1초당 100개의 샘플링을 하였기 때문에 나이퀴스트(Nyquist) 주파수는 50Hz이고, 나이퀴스트 주파수인 50Hz 부근에서 공통적으로 아주 큰 값을 보여주고 있다. 50Hz 부근에서 이러한 불규칙한 피크는 극히 좁은 주파수영역을 가지고 있어 S파 에너지를 취할 때 내재되는 백색잡음이거나 대도시내의 배경잡음일 가능성이 있다. 백색잡음은 다른 주파수 영역에서도 광범위하게 유사한 크기로 나타나야 하나 그러한 현상을 보여주지 않기 때문에 관측소 주변의 인위적 및 자연적 배경잡음이 영향을 주었을 가능성이 크다.

3. 연구결과

연구결과는 그림 1~그림 4에 차례로 제시되어 있다. 각각의 그림에서 가로축은 주파수값을 대수적으로 표시하였고 세로축은 각 관측소에서 수평 2개 성분 및 수직성분에 대한 푸리에 변환값 뿐만 아니라 이를 이용한 H/V 스펙트럼 비 값을 대수적으로 동시에 제시하였다. 따라서 H/V 스펙트럼 비 값을 읽을 때는 단위가 증폭정도를 나타낸다. 푸리에 스펙트럼 값의 경우 가는 실선은 동서 성분, 굵은 점선은 남북 성분 그리고 가는 점선은 수직성분을 나타낸다. H/V 스펙트럼 비 값을 나타낼 때 가는 실선은 증폭값을 Smoothing 하지 않은 결과이고 굵은 실선은 0.3Hz 길이의 주파수 대역창을 이용하여 Smoothing과정을 거친 결과이다.

그림 1에서 BGD 및 HDB 관측소의 H/V 스펙트럼 비는

〈표 1〉 자료분석에 이용된 지진 및 관측소 목록

Date	Lat	Log	Depth (km)	M_W	Station(9)
2007/01/20	37.6889	128.5841	약 5km	4.7	BGD, GKP1, GSU, HDB, HKU, KHD, KMC, SND, TJN

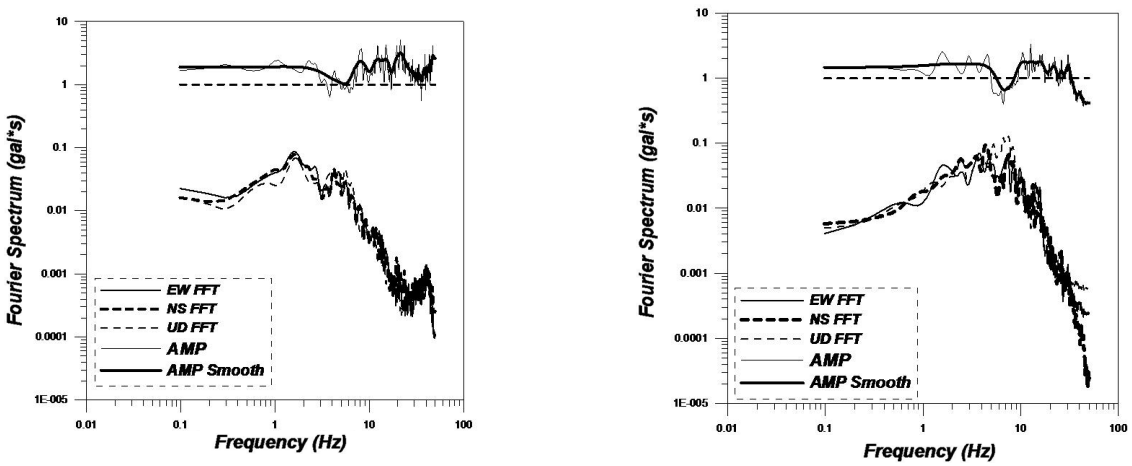
〈표 2〉 지진관측소 목록

Station Name	Longitude	Latitude	Epicentral Distance (km)	Sensor Type
BGD	126.56	34.16	251.6380	STS-2
GKP1	128.61	35.89	131.4911	STS-2
GSU	128.10	35.15	152.8818	CMG-3TB
HDB	129.40	35.73	204.3165	CMG-3TB
HKU	127.36	36.61	30.82906	STS-2
KHD	126.38	37.70	169.7882	JC-V100
KMC	127.94	35.98	73.53722	JC-V100
SND	128.80	37.15	164.0451	STS-2
TJN	127.36	36.38	100.6926	STS-2

저주파수 대역에서 여타 관측소에 비해 가장 안정된 값을 보여 주었다. 2개 관측소 모두 약 7에서 10Hz 부근에서 국부적으로 최소값을 보여주고 또한 주파수가 증가할수록 보다 변화가 심한 특징을 보여주고 있다. 따라서 관측소 부지로서 다른 관측소 그룹에 비하여 가장 지반 증폭이 작은 양상을 보여 주었다. HDB 관측소는 김준경[15] 에서의 결과와 유사한 모습을 보여 주었다. BGD 및 HDB 관측소는 연관희와 서정희[16]에 의하면 부지등급 5개 등급 중에서 각각 A 및 B로 분류되어 있어 본 연구결과와 대체로 일치하고 있다.

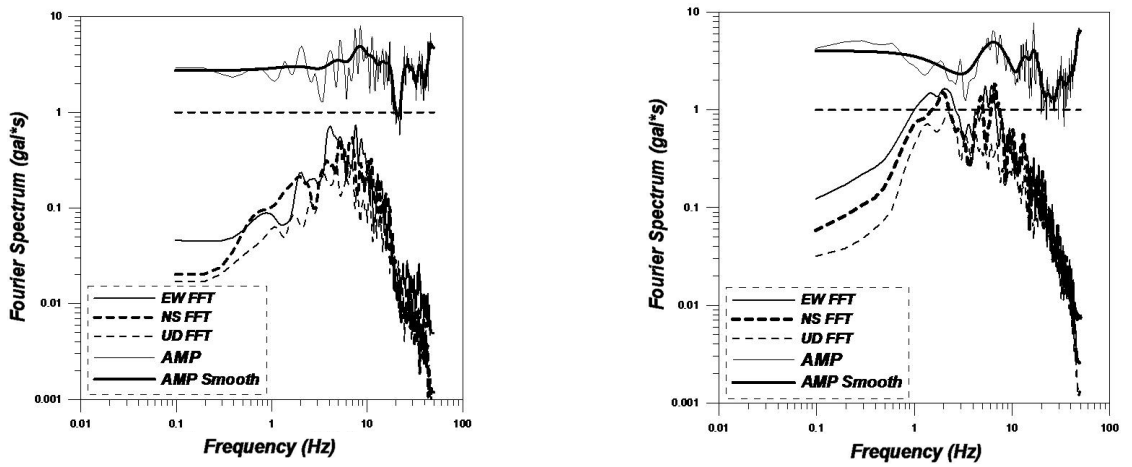
그림 2에서 HKU 및 KMC 관측소의 H/V 스펙트럼 비는 여타 관측소에 비하여 저주파수 대역 뿐만 아니라 고주파수 대역에서 심한 변동성을 보여 주었다. 특히 저주파수 대역에서는 부지의 증폭 정도가 HKU 관측소는 3이상, KMC 관측소는 5이상의 값을 보여 주고 있어 증폭특성 값이 대단히 커서 지진관측소 부지로서 피해야할 특징을 보여주었다. 특히 2개 관측소 모두 고주파수 대역에서 다른 2개 그룹에 비하여 변동성이 가장 큰 특징을 보여 주었다. 연관희와 서정희[16]에 의하면 HKU는 C로 분류되어 있어 본 연구결과와 대체로 일치하는 것으로 분석된다. 하지만 KMC 관측소는 본 연구에서는 증폭정도가 아주 심한 부지로 분석되었으나 연관희와 서정희[16]는 A로 분류하고 있어 커다란 차이를 보여주고 있다. 이는 지반증폭을 분석하는 방법의 차이도 작용하고 있는 것으로 분석되며 또한 개개의 지진 또는 동일 관측소에서 관측파형의 갯수에 따라 다른 특징을 보여줄 수도 있다.[17]

그림 3에서 GSU, GKP1, KHD, SND 및 TJN 관측소의 H/V 스펙트럼 비는 저주파수 대역에서는 약 2에서 3정도의 비교적 안정된 값을 보여 주었고 주파수가 증가할수록 보다 복잡한 특징을 보여주고 있다. 하지만 2번째 그룹의 관측소



(a) BGD (b) HDB

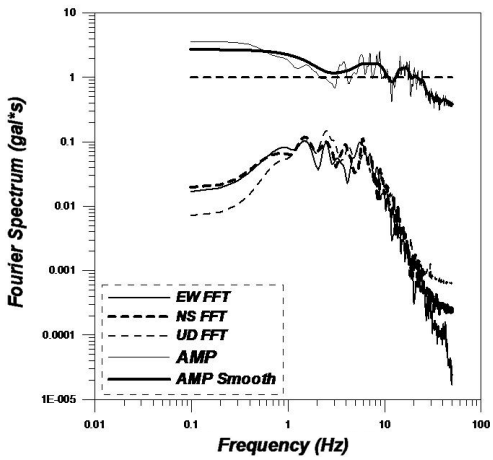
〈그림 1〉 지진관측소의 3성분 푸리에 스펙트럼 및 부지 지반증폭



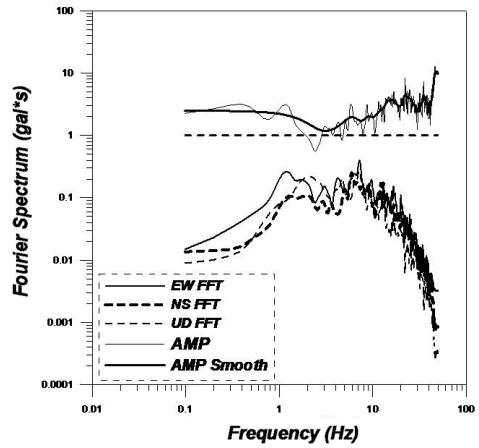
(a) HKU (b) KMC

〈그림 2〉 지진관측소의 3성분 푸리에 스펙트럼 및 부지 지반증폭

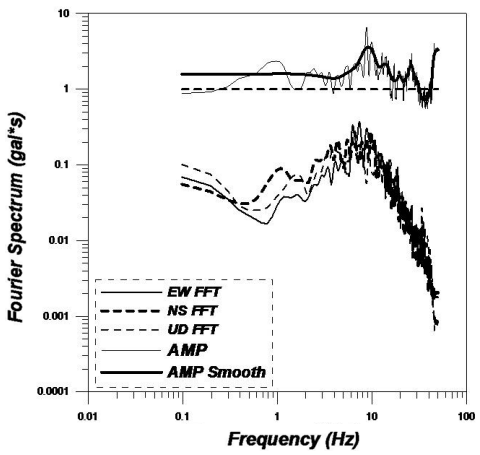
에 비하여 고주파수 대역에서도 비교적 안정된 값을 보여주고 있다. 특히 GSU 관측소는 시추공 관측소이고 고주파수 대역으로 이동할수록 스펙트럼 비가 거의 1에 가까운 특징을 보여주고 있다. 이는 김준경[15]의 결과와 대단히 유사한 모습을 보여주고 있다. 또한 TJN 및 SND 관측소의 스펙트럼 비 역시 김준경[15]의 결과에 대단히 유사한 모습을 보여 주고 있다. 연관희와 서정희[16]에 의하면 GSU, GKP1, KHD, SND 및 TJN 관측소 모두를 A로 분류하고 있어 본 연구결과와 대체로 잘 일치하는 것으로 분석된다. KHD와 TJN 관측소는 약 10Hz 부근에서 부지 고유 주파수를 보여



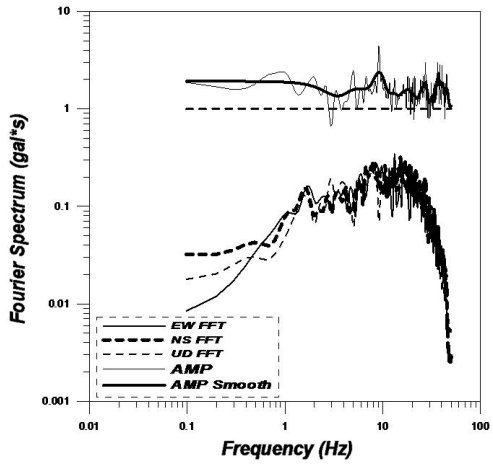
(a) GSU



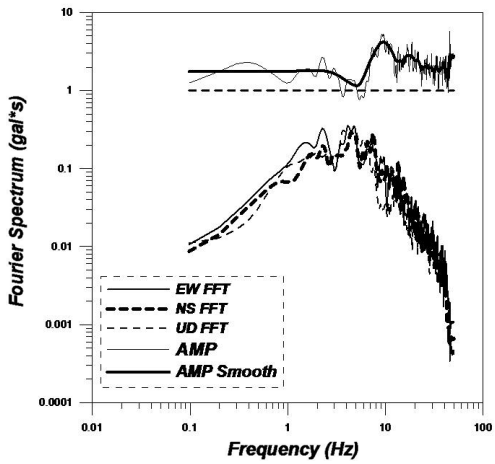
(b) GKP1



(c) KHD

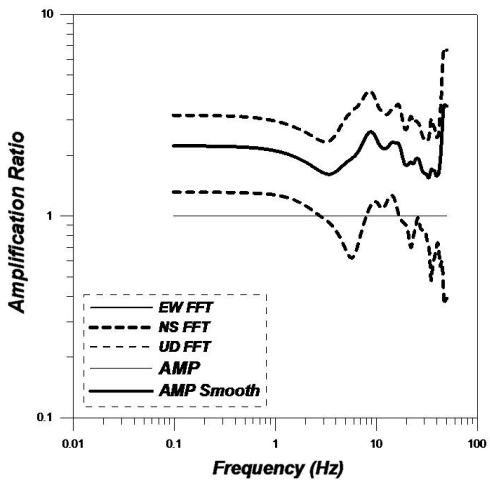


(d) SND



(e) TJN

〈그림 3〉 지진관측소의 3성분 푸리에 스펙트럼 및 부지 지반증폭



〈그림 4〉 9개 관측소 부지증폭값의 평균 및 ∓ 1σ

주고 있다.

그림 4에 9개 지반진동 자료의 평균값과 표준편차 값을 제시하고 있다. 약 3Hz에서 4Hz 부근에서 최소값을 보이고 이후 주파수가 증가하면서 변화가 심하게 증가하다가 또한 고주파수 대역의 마지막에서 감소하고 있다. 9개 부지 평균적 증폭값이 전체적으로 약 2에서 3사이의 값을 가지고 변화하고 있으며 평균의 의미를 굳이 분석하기는 어려우나 9개 관측소의 평균적 경향을 파악하는 데에 정보를 제공 가능하다.

4. 결 론

국내에서는 아직 지반고유의 증폭현상에 대한 국내 연구가 거의 없었기 때문에 저주파수 대역에서 고주파수 대역까지 전체 주파수 대역에 걸쳐서 주로 증폭계수 1을 획일적으로 사용하고 있는 실정이다. 따라서 지진원과 지각 및 부지 하부 심부의 감쇠 값을 분석하기 위해 국내 지반고유의 증폭현상에 대한 연구가 필요하다.

본 연구의 결과에 의하면 특히 HKU 및 KMC 관측소는 지진원 및 지각구조에 의한 광역적 및 부지하부의 심부에 대한 감쇠값 등을 구할 때 결과값에 왜곡된 영향을 줄 가능성이 타 관측소에 비해 상대적으로 대단히 크다. 그러므로 해당 2개 관측소에 대해 부지 고유의 H/V 스펙트럼 비에 해당하는 지반증폭 값을 반드시 고려하거나 해당 2개 관측소 자료를 제외할 필요가 있다. 장기적으로 지반증폭이 큰 관측소는 주변 암반이 잘 발달된 주변 지역의 지반으로 옮길 필요가 있다고 판단된다.

또한 시추공 관측소인 GSU 지반진동을 이용하여 분석한 결과에 의하면 비교적 변화가 작은 안정된 지반증폭 값을 보여주고 있어 향후 관측소를 설치할 때 다수의 시추공 관측소도 필요하다고 판단된다. 본 연구결과와 연관희와 서정희[16]의 결과와 비교하면 KMC 관측소를 A로 분류하고 있어 본 연구와 가장 커다란 차이를 보이고 있으나 여타 8개의 관측소는 본 연구결과와 대체로 일치하는 것으로 분석된다.

물론 지반증폭 값을 분석하는 방법론에 따라 결과가 서로 다를 수도 있고, 또한 개개의 지진에 따라 다른 특징을 보여줄 수도 있으므로 향후 다양한 연구방법과 보다 많은 중규모급 지진자료를 분석하여 그러한 결과들을 종합적으로 비교하면 신뢰성이 더욱 향상된 국내 지진관측소의 지반증폭 값을 얻을 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 2007년도 기상지진개발사업단의 “기상지진기술개발사업(CARTER 2007 -5107)”에 의한 것이며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. NEHRP, *Recommended provisions for seismic regulation for new building and structures*, FEMA 302/303, part 1 (Provisions) and Part 2 (Commentary), 1997.
2. Borcherdt, R., “Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay,” *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 60, 1970, pp. 29-61.
3. Rogers, A. M., Borcherdt, R. D., Covington, P. A. and Perkins, D. M., “A comparative ground response study near Los Angeles using recordings of Nevada nuclear tests and the 1971 San Fernando earthquake”, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 74, 1984, pp. 1925-1949.
4. Hartzell, S., Cranswick, E., Frankel, A., Carver, D. and Meremonte, M., “Variability of site response in the Los Angeles Urban area,” *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 87, 1997, pp. 1377-1400.
5. Bonilla, L., Steidl, J., Lindley, G., Tumarkin, A. and Archuleta, R., “Site amplification in the San Fernando Valley, California. variability of site-effect estimation using the S-wave, coda, and H/V methods,” *Bull. Seism. Soc. Am.* Vol. 87, 1997, pp. 710-730.
6. Nakamura, Y., “A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface,” *QR RTRI 30*, 1989, pp. 25-33.
7. Lermo, J. and Chavez-Garcia, F., “Site effect evaluation using spectral rations with only one station,” *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 83, 1993, pp. 1574-1594.
8. Ohmachi, T., Nakamura, Y. and Toshinawa, T., “Ground motion characteristics in the San Francisco Bay area detected by microtremor measurements,” *Proc. 2nd Int.*

Conf. on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, St. Louis, Missouri, 1991, pp. 1643-1648.

9. Lermo, J. and Chavez-Garcia, F. J., "Site effect evaluation using spectral ratios with only one stations," *Bull. Seism. Soc. Am*, Vol. 83, 1993, pp. 1574-1594.
10. Seed, H. B., Toro, M. P., Sun, J. L., "Relationship between soil conditions and earthquake motions," *earthquake spectra*, Vol. 4, 1988, pp. 687-729.
11. Cassidy, J. F. and Rogers, G. C., "Seismic site response in the greater Vancouver, British Columbia area: spectral rations from moderate earthquakes," *Can. Geotech. J.*, Vol. 36, 1999, pp. 195-209.
12. 윤종구, 김동수, 방은석, "국내 지반특성에 적합한 지반분류 방법 및 설계응답스펙트럼 개선에 관한 연구(I) -국내 내진설계기준의 문제점 분석," 한국지진공학회지, 제 10권, 2006, pp. 39-60.
13. 박동희, 연관희, 장천중, "지진관측 자료를 이용한 국내 지진관측소의 지반특성 분류," 한국지진공학회 춘계학술대회논문집, 2003, pp. 61-68.
14. Hanks, T. C., Kanamori, H., "A moment magnitude scale," *J. Geophys. Res.*, Vol. 84, 1979, pp. 2348-2350.
15. 김준경, "국내 지진관측소 부지의 지반증폭특성 연구", 한국암반공학회지, 제16권, 2006, pp. 486-494.
16. 연관희, 서정희, "지진동모델 파라미터 동시역산을 이용한 지진관측소 분류," 물리탐사, 제10권, 2007, pp. 183-190.
17. Su, F., Anderson, J. G., Brune, J. N., and Zeng, Y., "A comparison of direct S_Wave and Coda-Wave site amplification determined from aftershocks of the Little Skull Mountain earthquake," *Bull. Seism. Soc. Am*, Vol. 86, 1996, pp. 1008-1018.