

관측지진파를 이용한 지반증폭특성 사례분석

Case Study of Dynamic Amplification Characteristics of the Seismic Stations Using Observed Seismic Waves

이준대[†] · 김준경¹⁾

Lee, Jundae · Kim, Junkyoung

ABSTRACT : It is necessary to consider the site amplification for estimating SSI (soil structure interaction) and seismic source with more confidence. The horizontal to vertical (H/V) ratio technique in spectral domain is one of several techniques to estimate empirical site transfer function. The technique, originally proposed by Nakamura (1989), is applied to analyze the surface waves in the microtremor records. However, the application of this technique has been widened to the shear wave energy of strong motions for estimating site amplification. The purpose of this paper is to estimate spectral ratio using observed data at the seismic stations distributed within Southern Korean Peninsula from the Fukuoka earthquake including 11 aftershocks. The results show that each station has the its own characteristics of the specific resonance, high-band, and low-band frequency. The characteristics of the resonance frequency is more important because the quality of the seismic records are dependent on the resonance frequency. The result can be used for the study of site classification and removal of the site amplification effects from observed records can give us more reliable seismic source parameters.

Keywords : Empirical site transfer function, H/V spectral ratio, Surface wave, Resonant frequency

요지 : 구조물과 지반상호간의 동적 특성 및 지진원 등을 보다 신뢰성 있게 평가하기 위해 지반의 증폭특성을 반드시 고려하여야 한다. 지반증폭 특성을 분석하는 방법은 여러 가지가 제시되어 있으나 본 연구에서는 Nakamura(1989)에 의해 제시된 방법을 적용하였다. 이 방법은 얇은 지반의 상시미동의 표면파의 특성을 이해하기 위해 제시되어 한계점이 존재하나 근래에 와서 전단파 에너지 등에 적용범위가 넓어지면서 간단한 지반의 동적인 증폭특성 연구에 많이 이용되고 있다. Nakamura(1989)가 제시한 방법을 이용하여 본진 및 11개 후진을 포함한 후쿠오카 지진으로부터 최근 한반도 남부에 설치된 지진관측계에 관측된 지진자료를 이용하여 각각 지진관측소 지반의 동적인 증폭특성을 분석하였다. 결과에 의하면 지진관측소마다 고유주파수, 고주파수 및 저주파수 대역에서 서로 다른 증폭특성을 보여주었다. 특히 각각 관측소 부지의 고유주파수는 각 관측소에서 관측한 지진자료의 질을 좌우하므로 정확한 분석이 필요하다. 또한 본 연구결과를 이용하여 국내 지반의 분류 연구에 많은 정보를 줄 수 있으며 또한 관측 지반진동으로부터 지반고유의 증폭특성을 제거하면 지진원 변수를 보다 신뢰성 있게 도출할 수 있다.

주요어 : 지반증폭, H/V스펙트럼비, 표면파, 고유주파수

1. 서론

현재 국내에서 여러 종류의 구조물의 내진기준에서 적용하고 있는 설계응답스펙트럼과 국내 관측소에서 실제 기록된 지반진동을 처리하여 얻어진 지반증폭특성을 나타내는 설계응답스펙트럼을 비교할 경우 단주기 및 장주기 대역의 특성값에서 많은 차이를 보여주고 있다. 이러한 현상은 우리나라는 현대적 장비를 이용한 지진관측 이후 6.0 이상의 대규모의 지진이 거의 발생하지 않은 중약진 지역이기 때문에 내진설계기준을 설정하기 위한 실제 관측 강지진동이 부족하여 지반증폭 특성 및 설계응답스펙트럼을 미국의 NEHRP(1997) 기준을 준용하고 있기 때문이다. 미

국 내진설계 기준은 기반암이 대단히 깊은 미국 서부 해안 지역의 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 보다 얇은 위치에 존재하기 때문에 장주기 영역보다 단주기 영역에서 가속도 스펙트럼의 지반증폭이 상대적으로 크게 나타나서 현재 사용중인 미국 서부 기준을 국내에 적용하는 것은 문제점이 많다. 따라서 우선 국내의 지반특성을 고려한 고유의 부지 증폭 특성에 대한 연구가 필요하다. 부지하부 지하매질의 기하학적 형태와 물성치 및 지형 등으로부터 영향은 관측된 지반운동의 중요한 특성치들(진폭, 주파수 성

[†] 정회원, 세명대학교 토목공학과 교수(E-mail : jdlee@semyung.ac.kr)

1) 정회원, 세명대학교 소방방재학과 교수

분, 지속시간 등)에 대단히 커다란 영향을 주기 때문에 지진공학적인 연구에서 반드시 고려되어야 할 요소이다.

부지의 지반증폭을 연구하는 방법에는 개략적으로 3종류가 제시되어 있다. 우선 노두가 양호하게 발달되어 있고 분석대상 부지로부터 비교적 가까운 곳에 위치하는 기준지점과 지반증폭 효과를 분석하고자 하는 대상 지점에서 동일 지반 진동원으로부터 각각 관측된 지반진동의 푸리에 스펙트럼 비를 이용하는 방법이 있다. 이러한 방법은 주로 Borchert(1970), Rogers et. al.(1984), Harzell et. al.(1997) 및 Bonilla et. al.(1997) 등에 의해 활발하게 연구되어 왔다. 2번째 방법은 Nakamura(1989)가 제시한 방법으로 동일관측소에서 수평 및 수직 성분의 스펙트럼을 비교하는 것이다. 본 연구에서는 이 방법을 이용하여 부지특성을 평가하였다. 이 방법은 Lermo and Chavez-Garcia(1993)에 의해 표면파 뿐만 아니라 적용대상이 되는 파형 에너지 종류를 확장하여 S파 에너지에도 적용하였다. 이 방법은 Ohmachi et al.(1991)에 의해 부지효과를 구하는데 성공적으로 적용되었으며 Seed et. al.(1998)는 이 방법을 S파 에너지를 이용하여 부지의 지반증폭 효과를 구하는데 적용될 수 있음을 증명하였다. 또한 H/V스펙트럼비를 이용하는 방법의 최근에는 Cassidy and Rogers(1999) 등에 의해서도 활발하게 연구되어 오고 있다. 마지막으로 이론적인 방법으로 지반에 대한 기하학적 형태와 전단파 속도 및 탄성임피던스 등을 이용하여 이론적으로 증폭 값을 평가하는 것이다. 국내에서는 최근 부지증폭에 대하여 윤종구 외(2006) 등에 의해 지진파를 이용한 방법과는 전혀 다른 시추공자료를 이용하여 부분적으로 연구되어 왔다.

2. 본 론

2.1 연구방법

추계학적 지진모델은 가장 일반적으로 적용되고 있는 단일 코너 주파수 및 일정한 응력강하(stress drop)의 ω^2 형태의 지진원 모델을 이용하였다. 가속도 시간이력에 대한 푸리에스펙트럼은 $a(f)$ 로 나타내고 여러 가지 형태로 주어질 수 있으나 본 연구에서는 다음의 식을 이용하였다.

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

식 (1)에서 부지하부의 증폭특성을 대표하는 $A(f)$ 필터는 지진파가 관측소 하부의 지표 가까이 얇은 심도에 존재하는 저속도층(미국 서부의 경우 약 100m-300m; 국내 경

주지역의 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.

배경잡음 및 S파 에너지를 이용하여 $A(f)$ 를 분석하는 방법은 앞서 제시한 바와 같이 여러 가지 방법이 제시되어 있으나 본 연구는 Nakamura(1989)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(1989)에 의하면 수직성분의 증폭효과는 거의 무시될 수 있고 수평성분과 수직성분의 스펙트럼 비를 이용하면 부지효과를 간단하고 유용하게 평가할 수 있다.

H/V스펙트럼비는 지진동의 푸리에 스펙트럼을 이용하여 다음과 같이 주어진다.

$$\log(H/V) = (\log(H_1^2 + H_2^2))/2 - \log V \quad (2)$$

여기서, H_1, H_2 는 각각 남북 및 동서방향 수평성분의 푸리에 스펙트럼을 나타내고 V 는 수직성분의 푸리에 스펙트럼을 나타낸다.

2.2 연구자료

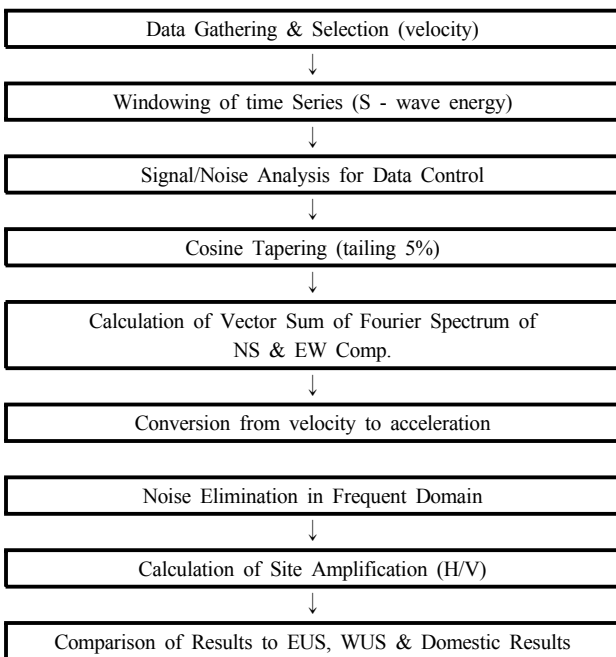
본 연구에서 사용한 자료는 후쿠오카 지역에서 2005년 3월 20일 발생한 지진(규모 6.5)을 포함하여 12개 지진으로부터 관측된 154개 지반진동 자료를 이용하였다. 12개의 후쿠오카 지역에서 발생하여 국내의 지진관측소에서 관측된 속도자료는 모두 가속도형태의 자료로 변환하여 이용하였다. 본 연구에서 사용된 관측자료는 표 1에 제시되어 있고 각각 지진발생일시, 지진규모 및 관측소 목록을 나타내고 있다. 수직성분 뿐만 아니라 2개의 수평성분의 S파 에너지 중에서 S/N비가 낮은(약 3.0이하) 자료는 제외하였다. 따라서 모두 10개 관측소에 대해 S/N비 조건을 만족시키는 10개 이상의 지진자료를 지진자료를 얻을 수 있었다.

본 연구를 위해 특히 12개의 후쿠오카 지진을 선택한 것은 12개의 지진의 진앙위치가 아주 좁은 지역내에 한정되어 분포하고 있다. 따라서 지진원 및 지진파 전파 특성 관련 값들을 분석할 때 지진파 전파 경로에 대한 중복성이 증가되므로 지진파의 전파 경로에 대해 분산이 감소하는 장점이 있다.

표 1. 자료분석에 이용된 지진발생일자, 진앙위치, 진원깊이, 지진규모 및 관측소 목록

EVENT NO	Date	Lat	Log	Depth (km)	ML	Station
1	2005/05/02	33.7713	130.2324	0.00	4.3	KRA,KRB,WSB,WSA,HDB,WSC,GSU,GKP1,KMC,BGD,UJA,TJN,YGA,SND,HKU,SNU,KHD
2	2005/04/20	33.7379	130.2116	0.00	4.6	KRA,KRB,WSB,WSA,HDB,WSC,GSU,GKP1,KMC,BGD,UJA,TJN,YGA,SND,HKU,SNU,KHD
3	2005/04/20	33.7116	130.2677	0.00	4.7	KRA,KRB,WSB,WSA,HDB,WSC,GSU,GKP1,KMC,BGD,UJA,TJN,YGA,SND,HKU,SNU,KHD
4	2005/04/10	33.5419	129.9002	0.00	4.4	KRA,KRB,WSB,WSA,HDB,WSC,GSU,GKP1,KMC,BGD,TJN,YGA,SND,KHD
5	2005/03/25	33.9128	130.1575	0.00	3.9	KRA,KRB,WSA,HDB,WSC,GSU,GKP1,BGD,TJN,SND,HKU,KHD
6	2005/03/22	33.8668	130.0855	0.00	4.3	KRA,KRB,WSB,WSA,HDB,WSC,GSU,GKP1,KMC,BGD,TJN,SND,HKU,SNU,KHD
7	2005/03/21	33.8175	130.0618	0.00	4.4	KRA,KRB,WSB,WSA,HDB,WSC,GSU,GKP1,KMC,BGD,TJN,YGA,SND,HKU,SNU,KHD
8	2005/03/21	33.8381	130.1983	0.00	4.0	WSB,WSA,HDB,GSU,GKP1,KMC,TJN,SND,HKU,KHD
9	2005/03/20	33.7734	130.0191	0.00	3.9	HDB,GSU,GKP1,KMC,BGD,TJN,SND,HKU,KHD
10	2005/03/20	33.7905	129.8901	0.00	4.2	HDB,GSU,GKP1,KMC,BGD,TJN,SND,HKU,SNU,KHD
11	2005/03/20	33.8183	130.0974	0.00	3.9	HDB,GSU,GKP1,KMC,BGD,TJN,SND
12	2005/03/20	33.7620	130.0954	12.10	6.5	HDB,GSU,GKP1,KMC,BGD,TJN,SND,HKU,SNU,KHD

표 2. 자료처리 과정 순서도



2.3 연구방법

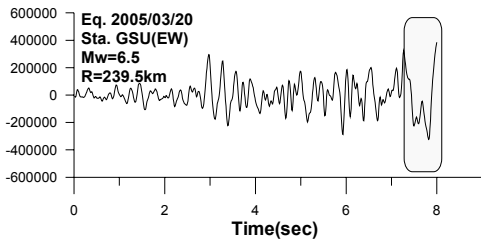
표 1에서 제시된 관측 지반진동을 분석하였으며 표 2에서 제시된 순서도에 따라 순차적으로 수행하였다. 특히 S파 에너지의 시간창 길이를 설정할 때 Rayleigh파 에너지를 최대한 제외하였고, 시간창 시작점은 S파 에너지 도달하기 2초전으로 하고 진원거리에 따라 S파 시간창 길이를 제시된 공식을 이용하여 조절하였다. 잡음을 제거하기 위

해 잡음의 시간창 길이를 S파 시간창 길이와 동일하게 설정하여 푸리에 변환을 수행할 때 발생하는 주파수간격 차이 등에 대한 문제점 발생을 사전에 배제하였다.

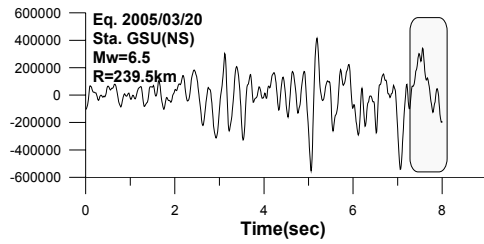
시간창을 이용한 S파형 에너지 선택작업으로 인해 경계 부분에서 본래 signal에는 포함되지 않았던 고주파 성분이 인위적으로 발생하는 것을 방지하기 위해 signal 마지막 부분에 cosine tapering작업을 수행하였다. 또한 수평 2개 성분(NS 및 EW) 및 수직성분의 관측지반진동을 Analyst 프로그램을 이용하여 각각 푸리에 스펙트럼으로 변환하였다. 그림 1은 2005년 3월 20일 후쿠오카지역에서 발생한 규모 6.5의 지진에 대해 GSU 관측소에서 수평 2개 성분 각각에 대해 S파 에너지를 tapering하는 과정을 예시하였다.

3. 연구결과

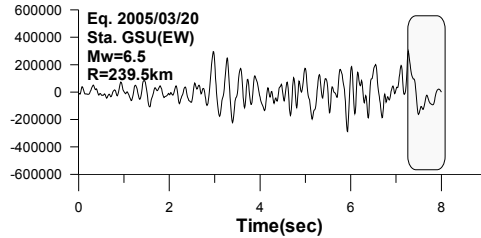
연구결과는 그림 2, 3, 4, 및 5에 차례로 제시되어 있으며 각각의 그림에서 가로축은 주파수값을 대수적으로 표시하였고 세로축은 H/V스펙트럼비 값을 대수적으로 표시하였다. 주파수의 변화에 따른 H/V스펙트럼비 값의 전체적인 변화양상을 보다 효과적으로 파악하기 위해 각각의 관측소 자료에서 주파수 영역에서 이동평균(moving average)을 적용하였다. 이동평균의 창길이는 각각의 그림에 표시되어 있는 바와같이 6개의 다양한 주파수 영역의 창길이를 이용하여 좁은 영역 및 넓은 영역 주파수 범위에 대한 변화를 조사하였으며 이동평균의 창길이는 각각 0.5, 1.0, 1.5,



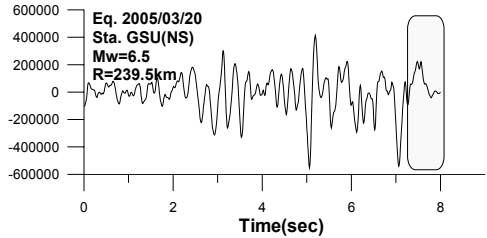
(a) EW성분 Tapering 전



(b) NS성분 Tapering 전



(c) EW성분 Tapering 후



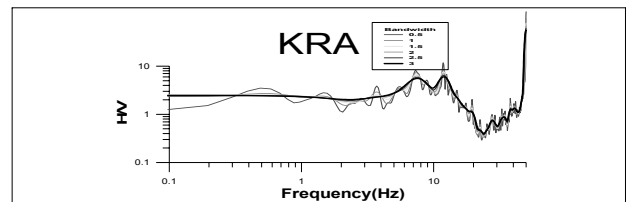
(d) NS성분 Tapering 후

그림 1. 2005년 3월 20일 규모 6.5의 GSU관측소에서 관측된 EW 및 NS 성분에서 S wave 에너지의 tapering 과정

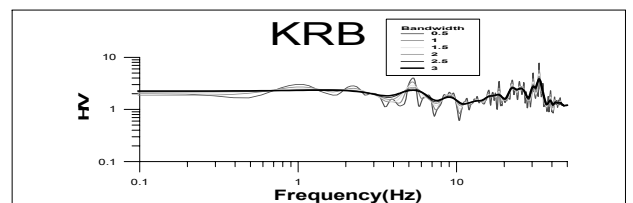
2.0, 2.5 및 3.0 Hz이다.

3.1 고리 원전부근의 부지증폭 특성

그림 2는 고리 원자력발전소 부근의 2개의 관측소(KRA 및 KRB)에서 관측된 지반진동을 이용하여 분석한 결과를 보여주고 있다. 전체적으로 저주파수 영역에서 2보다 큰 값을 가지고 출발하고 또한 거의 변화가 없고 일정한 값을 보여주고 있으나 고주파수 영역으로 갈수록 지반의 증폭 값이 심하게 변화하고 있는 현상을 보여주고 있다. KRA 관측소는 약 6Hz에서 약 15Hz 사이의 영역에서 H/V스펙트럼비가 지역적인 피크를 갖고 있고 또한 진폭의 변화가 상대적으로 크다. 본 연구에서 이용한 지반진동 자료는 1초당 100개의 샘플링을 하였기 때문에 나이퀴스트(Nyquist) 주파수는 50Hz이고 나이퀴스트 주파수인 50Hz 부근에서는 아주 큰 값을 보여주고 있다. 50Hz 부근에서 나타나는 피크는 극히 좁은 주파수영역을 가지고 있어 S파 에너지를 취할 때 내재되는 백색잡음이거나 대도시내의 배경잡음일 가능성이 있다. 하지만 백색잡음은 다른 주파수 영역에서도 광범위하게 유사한 크기로 나타나야 하나 그러한 현상은 보여주지 않기 때문에 관측소 주변의 인위적 및 자연적 배경잡음이 영향을 주었을 가능성이 크다. 물론 KRB 관측소에서도 고주파수 영역에서 다소 변화는 보여주고 있으나 전체적으로 안정된 값을 보여주고 있다. 따라서 2개의 관측소가 고리 원자력 발전소 내부에서 서로 대단히 가까운 거리에 있지만 H/V스펙트럼비가 많은 차이를 보여주고 있다. 이러한 차이는 넓은 지역의 전체적인 지반조건이 부지의 지반증폭 특성에 영향을 줄 수 있지만 관측소



(a)



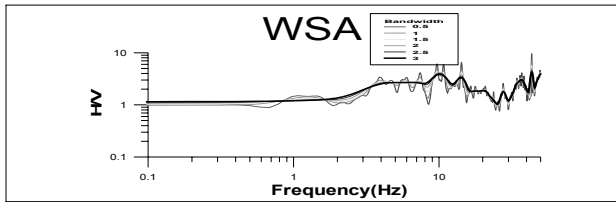
(b)

그림 2. 지진관측소 KRA(a) 및 KRB(b)에 대한 H/V 값

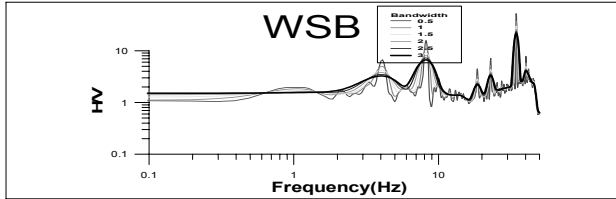
부지 고유의 하부지반 특성도 역시 큰 영향을 준다는 것을 잘 보여주고 있다.

3.2 월성 원전부근의 부지증폭 특성

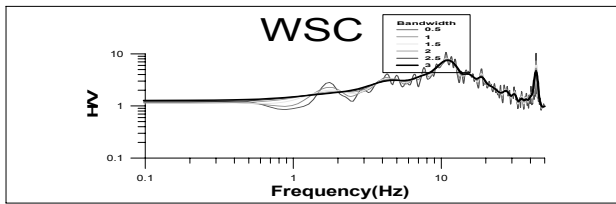
그림 3은 월성 원자력발전소 부근의 3개의 관측소(WSA, WSB 및 WSC)에서 관측된 지반진동을 이용하여 분석한 H/V스펙트럼비의 결과를 보여주고 있다. 전체적으로 저주파수 영역에서는 1과 2사이의 값을 유지하고 있으며 3개의 관측소에서 공통적으로 2개의 지역적인 피크영역이 존재함을 알 수 있다. 하나는 약 8Hz에서 약 10Hz 사이에 중심을 두고 좌우로 감소하는 지역적인 피크영역이 있고 또한 약 30Hz에서 50Hz 사이 영역의 고주파수 영역에서의 지역적인 피크영역을 보여주고 있다. 특히 WSB 관측소는



(a)



(b)



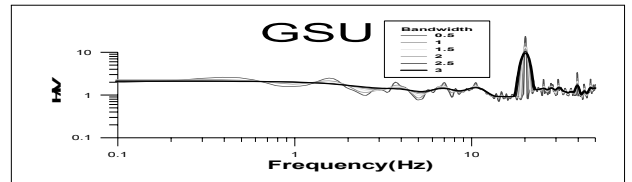
(c)

그림 3. 지진관측소 WSA(a), WSB(b) 및 WSC(c)에 대한 H/V 값

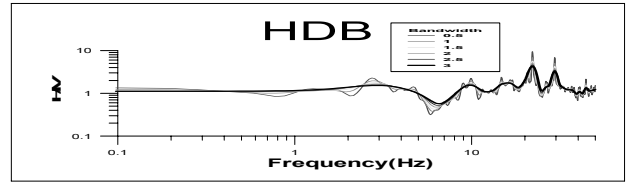
2개의 지역적인 피크영역에서 다른 2개의 관측소에 비해 가장 심한 변화를 보여주고 있기 때문에 양질의 관측 지반진동을 얻기 위해 관측소 하부 지반조건을 고려할 필요가 있다고 판단된다. WSB 관측소 부지의 지반증폭값이 심하게 변화하는 이유는 월성지역의 석산부근에 위치하고 있어 타 관측소에 비해 관측소 바로 주변의 석산관련 차량운행과 같은 인위적 및 자연적 배경잡음이 더욱 영향을 줄 가능성이 크다. 또한 지진원 및 지각구조에 의한 광역적인 감쇠값을 구하기 위해 WSB 관측소에서 관측된 지반진동을 이용할 경우 결과값에 왜곡된 영향을 줄 가능성이 크다.

3.3 GSU, HDB, SND 관측소의 부지증폭 특성

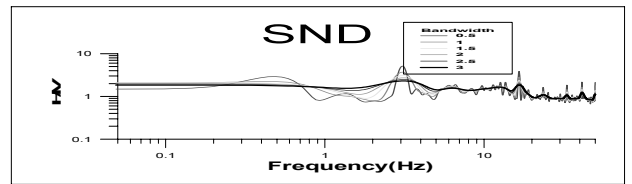
그림 4는 GSU(경상대학교), HDB(효동리) 및 SND(상동) 관측소와 같이 시추공 관측소에서 관측된 지반진동을 이용하여 분석한 결과를 보여주고 있다. 시추공 관측소는 센스가 지반으로부터 일정한 깊이의 시추공내에 설치되어 있어 지표잡음의 영향이 비교적 적은 것으로 알려져 있다. SND 관측소는 변화가 가장 작은 부지의 지반증폭값을 보여주고 있고 물론 HDB 관측소도 비교적 변화가 작은 값을 보여주고 있다. GSU 관측소의 경우 H/V스펙트럼비의 변화는 작으나 특히 20Hz 부근에서 특징적인 피크를 보여주고 있다. 이 피크는 아주 좁은 주파수영역을 가지고 있어 GSU 관측소 고유의 우세주파수로 판단된다. 따라서 지진원 및 지각구조에 의한 광역적인 감쇠값과 같은 다른 목



(a)



(b)



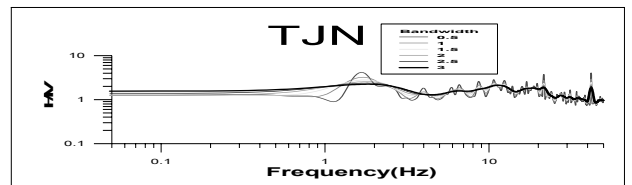
(c)

그림 4. 지진관측소 GSU(a), HDB(b) 및 SND(c)에 대한 H/V 값

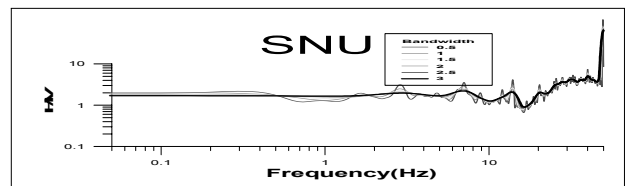
적의 연구를 위해 GSU 관측소에서 관측된 지반진동을 이용할 경우 특히 주의하여 지반의 증폭효과를 제거해야 할 필요가 있다.

3.4 TJN, SNU 관측소의 부지증폭 특성

그림 5는 TJN(대전) 및 SNU(서울대학교) 관측소의 H/V 스펙트럼비를 보여주고 있다. 2개의 관측소는 비교적 잘 발달된 암반위에 측정기가 위치하고 있다. TJN 관측소(대전)는 부지의 지반증폭값의 변화가 상대적으로 타 관측소에 비해 대단히 작다. 이러한 현상은 TJN 관측소가 비록 시추공 관측소는 아니지만 단단한 기반암위에 위치하고



(a)



(b)

그림 5. 지진관측소 TJN(a) 및 SNU(b)에 대한 H/V 값

있어 전체 주파수 영역에서 지반증폭값의 변화가 상대적으로 작은 것으로 분석된다. SNU 관측소는 TJN 관측소와 유사하게 전체 주파수 영역에서 지반증폭값의 변화가 상대적으로 작으나 50Hz 부근에서 급격한 피크를 보여주고 있다. 이러한 피크는 극히 좁은 주파수영역을 가지고 있어 S파 에너지를 취할 때 내재되는 백색잡음이거나 대도시내의 배경잡음일 가능성이 있다. 하지만 백색잡음은 다른 주파수 영역에서도 유사한 크기로 나타나야 하나 그러한 현상은 없기 때문에 앞서 제시한 바와같이 관측소 주변의 인위적 및 자연적 배경잡음이 더욱 큰 영향을 줄 가능성이 있다.

4. 결 론

국내에서는 아직 부지고유의 증폭현상에 대한 국내 연구가 거의 없기 때문에 지진원 관련 값과 지각감쇠 관련값을 분석하기 위해 저주파수 대역에서 고주파수 대역까지 전체 주파수 대역에 걸쳐서 주로 증폭계수 1을 획일적으로 사용하고 있는 실정이다. 특히 관측된 지반진동을 이용하여 지진원 및 지각구조에 의한 광역적인 감쇠값 등을 구할 때 WSB 및 GSU 관측소 등에서 관측된 지반진동을 이용할 경우 결과값에 왜곡된 영향을 줄 가능성이 크다. 그러므로 국내 지역별 부지 고유의 수평과 수직성분의 비에 해당하는 지반증폭값에 대한 정보가 필요하며 사례를 분석한 결론은 다음과 같다.

- (1) 고리 및 월성원자력 발전소 부지내의 관측소들의 지반증폭값을 비교한 결과 거리적으로 대단히 가까운 부근의 관측소라고 할지라도 부지 직하부의 특성이 다르면 지반증폭값이 서로 다른 경향을 보이고 있어 부지 직하부의 속도구조 모델의 영향이 지반증폭값에 대단히 중요하다. 특히 WSB 관측소는 월성지역의 석산부근에 위치하고 있어 암반 노두위에 위치하고 있으나 타 관측소에 비해 부지의 지반증폭값이 심하게 변화하는 현상을 보여 주고 있다. 이러한 현상은 관측소 부지하부의 특성도 중요하지만 관측소 주변의 인위적 배경잡음이 더욱 커다란 영향을 줄 가능성이 있으므로 관측소의 위치를 선정할 때 주변의 잡음환경도 고려하여야 한다.
- (2) 시추공 관측소에서 관측된 지반진동을 이용하여 분석한 결과에 의하면 비교적 변화가 작은 H/V값을 보여 주고 있으나 GSU 관측소와 같이 좁은 범위의 주파수 영역에서 급격한 피크값을 보여 주는 경우도 있다. 따

라서 급격한 피크값을 보여 주는 경우 지진원 및 지각 구조에 의한 광역적인 감쇠값을 구할 경우 결과값에 왜곡된 영향을 줄 가능성이 크기 때문에 신중하게 고려하여야 한다. TJN 및 SNU 관측소의 경우 잘 발달된 암반위에 지반진동 측정용 sensor가 위치하고 있어 비교적 작고 안정된 H/V스펙트럼비를 보여주고 있다. 따라서 잘 발달된 암반조건은 양질의 지반진동을 관측하기 위해 필요하다.

- (3) 각각 관측소 부지의 고유주파수는 각 관측소에서 관측한 지진자료의 질을 특히 좌우하므로 정확한 분석이 필요하다. 또한 본 연구결과를 이용하여 국내 지반의 분류 연구에 많은 정보를 줄 수 있으며 관측 지반진동으로부터 지반고유의 증폭특성을 제거하면 지진원 변수를 보다 신뢰성 있게 도출할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 2007년도 기상지진개발사업단의 “기상지진기술개발사업(CARTER 2007 -5109)”에 의한 것이며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 윤종구, 김동수, 방은석 (2006), 국내지반특성에 적합한 지반 분류 방법 및 설계응답스펙트럼 개선에 관한 연구(1)-국내 내진설계기준의 문제점 분석, *한국지진공학회 논문집*, 10권 2호, pp. 39~50.
2. Bonilla, L., J. Steidl, G. Lindley, A. Tumarkin and R. Archuleta (1997), 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.* 87, pp. 710~730.
3. Borchardt, R. (1970), Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay, *Bull. Seism. Soc. Am.* 60, pp. 29~61.
4. Cassidy, J. F. and G. C. Rogers (1999), Seismic site response in the greater Vancouver, British Columbia area: spectral ratios from moderate earthquakes, *Can. Geotech. J.* 36, pp. 195~209.
5. Hartzell, S., E. Cranswick, A. Frankel, D. Carver and M. Meremonte (1997), Variability of site response in the Los Angeles Urban area, *Bull. Seism. Soc. Am.* 87, pp. 1377~1400.
6. Lermo, J. and F. Chavez-Garcia (1993), Site effect evaluation using spectral ratios with only one station, *Bull. Seism. Soc. Am.* 83, pp. 1574~1594.
7. Nakamura, Y. (1989), A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, *QR RTRI* 30, pp. 25~33.
8. NEHRP (1997), Recommended provisions for seismic regulation for new building and other structures, *FEMA 302/303*, part 1 (Provisions) and Part 2 (Commentary).

9. Ohmachi, T., Y. Nakamura and T. Toshinawa (1991), 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, pp. 1643~1648.
10. Rogers, A. M., R. D. Borchardt, P. A. Covington and D. M. Perkins (1984), A comparative ground response study near Los Angeles using recordings of Nevada nuclear tests and the 1971 San Fernando earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.* 74, pp. 1925~1949.
11. Seed, H. B., M. P. Toro, J. L. Sun (1998), Relationship between soil conditions and earthquake motions, *Earthquake spectra*, 4, pp. 687~729.

(접수일: 2008. 11. 5 심사일: 2008. 11. 6 심사완료일: 2008. 12. 10)