

영월 및 경주지진 파형의 주파수 분석

Characteristics of Spectrum using Observed Ground Motions from the Yongwol and the KyoungJu Earthquakes

김준경*

Kim, Jun Kyoung

ABSTRACT

Amplification factor spectrum, using the observed strong ground motions database, has been obtained and compared with Standard Response Spectrum, which were suggested by US NRC. The observed ground motions from the Yongwol and the Kyoungju Earthquake, respectively, which are supposed to represent domestic seismotectonic characteristics such as seismic source, attenuation, and site effect, are used for the analysis of amplification factor spectrum. Amplification factors have been calculated by comparing the observed peak ground motions with results from responses to the observed horizontal and vertical ground motions. The comparison shows that the amplification factors resultant from this study exceeds those of Standard Response Spectrum at relatively higher frequencies. The results suggest that the characteristics of the seismic strong ground motion, which are supposed to represent the domestic seismotectonic characteristics, differs from those of Standard Response Spectrum, especially at higher frequencies.

표준응답스펙트럼, Amplification Factor Spectrum, Seismotectonic Characteristics

1. 서론

최근 국내에서 영월 지진(1996년 12월) 및 경주지진(1997년 6월) 등과 같은 중규모의 지진이 다수 발생하여 양산단층 주변에 설치되어 운용중인 지역 지진관측망 등에서 다수의 지진동이 관측되었다. 특히 중규모의 지진은 미소지진과는 달리 지진이 발생한 지역의 지진원 특성, 지진파의 감쇄특성 등과 같은 지진지체구조 특성을 충분히 대표할 수 있기 때문에 지진지체구조 특성을 연구할 때 중요한 의미를 가진다.

* 세명대학교 교수, 정회원

지반응답 스펙트럼은 효과적인 내진 설계를 위하여 필요한 하나의 중요한 요소로서 국내에서도 최근까지 응답스펙트럼에 대하여 연구가 계속 되어 왔다. 지반응답스펙트럼 개발을 위해서 실제 관측된 강지진동 자료가 필수적이거나 국내에서 관측되어 평가에 이용가능한 강지진동 자료가 거의 축적되어 있지 않아서 응답스펙트럼을 개발하기 위하여 어려운 점이 있다.

물론 산업마다 요구하는 지반응답 스펙트럼이 다소 차이가 있지만 국내 원자력 산업의 경우 내진 설계를 위해 원전 도입국인 미국이 개발하여 적용하고 있는 표준응답 스펙트럼을 국내 고유의 최대잠재지진값에 스케일하여 적용하고 있다. 하지만 적용 응답스펙트럼에 대한 적절한 기술적 검토가 없이 외국의 응답스펙트럼의 모양특성을 그대로 적용하고 있는 실정이기 때문에 국내의 지진지체구조 특성 (Seismotectonic Characteristics) 에 적합하고 충분히 대표할 수 있는 응답스펙트럼 개발에 대한 연구가 시급히 필요하다.

Blume et. al. (1976)¹⁾ Mohraz et. al. (1983)²⁾ 및 Newmark et al (1973)³⁾ 등에 의하여 실제 관측된 강지진동을 처리하여 구조물의 주파수별 응답을 대표하는 응답 스펙트럼에 대한 연구가 수행되어 왔다. 예를 들면 실제 관측된 강지진동을 통계적으로 처리하는 방법을 이용하여 미국의 원자력규제위원회 (US NRC)가 원전 부지의 적합성 평가와 관련된 기술기준 가운데 하나로서 표준응답 스펙트럼 (Reg Guide 1.60)을 개발하였다. 이는 북미 대륙 내에서 실제 관측된 100여개의 강지진동을 처리하여 개발되었다.

하지만 표준응답 스펙트럼이 개발된 이후에도 미국 동부지역에서 중규모 이상의 지진이 계속 발생하여 관측 강지진동과 관련된 데이터베이스가 대폭 증가하였고 대폭 증가된 강지진동 자료를 분석하여 관측된 응답스펙트럼에 특성에 대한 연구가 계속되었다. 이러한 연구 결과는 표준응답 스펙트럼의 대표성 특히 고주파수 대역에서의 보수성에 대하여 문제점을 제기하였다. 또한 표준응답 스펙트럼은 주로 미국 서부 지역중에서도 극히 한정된 지역에서 발생한 지진으로부터 관측된 강지진동을 이용하여 개발되었기 때문에 미국 동부지역과 같이 지진발생 특성이 다른 지역에 표준응답 스펙트럼을 적용할 때 주파수별 지진파 전달 감쇄특성 및 부지고유 지진파증폭 특성의 대표성에 대해 Boore & Joyner(1994)는 문제점을 제기하였다. 뿐만 아니라 최대가속도값 및 최대지진규모 등에 적합한 강지진동을 선택할 때 역시 이용가능한 강지진동 자료에 있어서 많은 제한이 있기 때문에 지진원 특성의 대표성에 대하여도 문제점을 지적하고 있다.

따라서 지진발생 특성을 충분히 대표할 수 있도록 임의 지역 고유의 응답스펙트럼을 개발할 필요가 있으며 이를 위한 준비 단계로서 본 연구는 국내 지진발생 특성을 대표할 수 있는 국내 양산단층 지역관측망에서 실제 관측된 지진동을 분석하였다. 또한 이러한 분석 결과를 표준응답 스펙트럼과 비교하였다.

본 연구는 우선 선택된 강지진동을 이용하여 가속도 및 속도응답을 각각 계산하고 이를 통계 처리하여 응답의 Amplification Factor를 분석하였다. 다음 단계로서 주파수별 Amplification Factor를 구하고 이를 다시 표준 응답스펙트럼과 비교 분석하였다. 응답스펙트럼 평가를 위하여 계산된 Amplification Factor를 전체 주파수 대역을 고려하여 평활화하고 단순화하는 단계 등이 추가적으로 필요하나 본 연구는 전체 관심 주파수 대역에 대하여

Amplification Factor를 단순히 계산하여 분석하였다.

2. 본 문

2.1 강지진동 자료처리

본 연구는 주파수 대역에서 강지진동 자료마다 약간의 차이가 있지만 강지진동 분석을 위하여 high pass 및 low pass 필터링과 Baseline correction과 같은 기본적인 처리를 하였다. 주어진 각각의 수평 및 수직성분 강지진동에 대하여 응답 스펙트럼을 계산하기 위해 응답을 계산하는 주파수의 간격을 아주 조밀하게 설정하여 (100개의 주파수) 주파수 간격이 응답 스펙트럼의 모양 특성에 주는 효과를 최소화시켜 특히 고주파수 대역에서 주파수 간격에 따른 영향을 최소화 할 수 있었다. 구체적으로 0.1 Hz부터 30 Hz의 관심 주파수 구간에 대하여 100개의 주파수를 선정하고 주파수 간격은 일반적으로 타 연구에서 적용하고 있는 바와 같이 주파수에 로그를 취한 값이 등간격이 되도록 유지하여 가속도 응답을 계산하였다.

전체 관심 주파수 대역을 몇 개의 Control Point로 나누어 Amplification Factor를 각 Control Point사이의 주파수 대역마다 직선화 시키는 과정을 거치는 방법도 있다. 하지만 본 연구는 계산된 수평 및 수직강지진동 응답에 대한 Amplification Factor값을 미국 원자력규제위원회의 표준응답 스펙트럼의 모양 특성과 상호 비교하였다. 전체 관심 주파수 대역에 걸쳐서 각각의 응답 주파수에서 평균값 및 표준편차에 해당하는 값의 변화정도를 각각 비교하고 또한 미국 원자력규제위원회의 표준응답스펙트럼의 모양 특성과 상호 비교하였다.

표 1. 응답 스펙트럼 분석에 이용된 유사 강지진동 자료 목록

지진발생지역	강지진동 성분 및 숫자	비고
영월 지진 (양산단층 관측망)	수평성분:10	
	수직성분:5	
경주 지진 (양산단층 관측망)	수평성분:10	
	수직성분:9	

표 1에서 주어진 바와 같이 국내의 지진지체구조 특성을 대표 가능한 응답 스펙트럼 모양 특성을 개발하기 위하여 수평 성분 강지진동은 20개, 수직 성분 강지진동은 14개를 이용하였다. 위 표에서 제시된 모두 34개의 강지진동은 관측소 조건을 고려하기 위하여 우선 건물 등 구조물의 영향을 전혀 받지 않는 자유장 (free field)에서 관측된 강지진동을 고려하였다. 또한 국내 주요 시설물의 부지의 조건을 고려하여 암반 지반 조건에서 관측된 강지

진동을 평가에 이용하였다. 지진 관측소 각각에 대한 bedrock에 대한 기술은 표 2에 주어져 있다.

표2. 지진관측소 지역, code 및 기반암 조건

지진관측소 소재지역	station code	기반암 조건	비고
덕정리	DKJ	세일 실트 호층대	
학계리	HAK	tuff	
방방골	BBK	basaltic tuff	
명계리	MKL	백악기-제3기 화강암	
매곡리	MAK	백악기 화강암	
청송	CHS	화강암	
김해	KMH	화강암	
거제면	KJM	화강암	
청도	CGD	화강암	
구례	GRE	풍화된 화강암질 편마암	
포천	PCH	화강암	
무안	MUN	tuff	

영월 및 경주지진으로부터 관측된 강지진동의 sampling rate는 일률적으로 0.01sec 이다. 일반적으로 응답 스펙트럼 특성 분석을 위하여 관심 고주파수 대역이 약 30 Hz 부근이고 본 강지진동 자료를 분석에 이용할 경우 55개의 강지진동 자료 자체의 Nyquist Frequency는 50Hz로서 30Hz보다 대역이 훨씬 광범위하나 antialias 필터링 효과 때문에 약 25hz 부터 30Hz 구간은 필터링의 영향을 다소 받는다. 하지만 원리적으로 antialias 필터링 효과가 어느 정도 인지를 시험하는 것도 본 연구의 대상이다.

수평성분에 대한 Amplification Factor를 구하기 위해 가속도 강지진동에 대한 주파수별 응답을 계산하고 다시 이를 실제 지반가속도값을 이용하여 계산하였다. 수직 성분의 경우 강지진동에 대한 각각의 주파수에 대한 Amplification Factor를 구하기 위해 수평 두 성분 강지진동의 최대 관측값의 평균을 이용하지 않고 수직 성분 강지진동 자체의 관측 값을 그대로 이용하였다.

첫 단계로서 입력 강지진동의 지진원 특성과 같은 강지진동 자체 특성을 분석하기 위하여 각각의 강지진동을 처리하여 Fourier 스펙트럼을 분석하였고 또한 해당 phase spectrum도 분석하였다. Fourier 스펙트럼을 분석시 Nyquist Frequency 대역까지 고려하여 aliasing을 여부를 조사하였고 이외의 주파수 대역부분은 이론적으로 대칭이기 때문에 분석을 생략

하였다. 다음 단계로서 입력 강지진동을 이용하여 지반의 가속도 및 속도 응답에 대한 분석하였다. 응답을 구하기 위해 critical damping 값은 5%값에 대해서만 응답을 계산하였고 이를 상호 비교하였다. 이를 이용하여 다시 지반의 가속도 및 속도 응답에 대한 주파수별 응답의 Amplification factor 값을 계산하였다.

2.2. 분석 결과

수평성분 가속도 및 속도의 Amplification Factor 스펙트럼을 분석한 결과 수평 성분 강지진동을 처리하여 결과되는 가속도 응답에서의 주파수별 Amplification Factor는 특히 약 10 Hz 이상의 주파수 대역에서 표준응답스펙트럼 보다 초과하고 있다. 이러한 초과 현상은 최근의 연구 결과인 Atkinson & Boore(1995)가 제시한 바와 초과 시작점의 주파수 값이 정확하게 일치하지 않는다 하더라도 현재 준용 중인 표준응답 스펙트럼의 고주파수 대역에서의 보수성에 대한 문제점을 이미 지적해 온 바와 일치한다.

또한 가속도 응답의 Amplification Factor 값의 변화를 살펴보면 평균값과 표준편차가 더한 값(+1 σ)에 해당하는 값에 있어서 상호간 차이가 대단히 크게 나타난다. 하지만 상대적으로 속도 응답에 대한 Amplification Factor 값의 변화를 살펴보면 평균값과 표준편차가 더한 값(+1 σ)에 해당하는 값에 있어서 전체 주파수 대역에 걸쳐서 커다란 차이를 보이지 않는다.

수직성분 가속도 및 속도의 amplification factor 스펙트럼을 분석한 결과 14개 수직 성분 강지진동을 처리하여 결과되는 주파수별 가속도 Amplification Factor 값의 변화를 살펴보면 수평성분과 유사하게 약 10 Hz 이상의 고주파수 대역에서 표준응답스펙트럼이 제시하고 있는 값을 초과하고 있다.

3. 결론

본 연구 결과에 의하면 미국의 서부 지역에 관측되고 암반 지반 조건에서 관측된 강지진동을 처리한 결과인 표준응답 스펙트럼 보다 고주파수 대역에서 수평 및 수직성분 모두 가속도 응답의 경우 훨씬 높은 값을 가지고 있음을 보여주고 있다. 따라서 미국의 서부 지역에 관측되고 암반 지반 조건에서 관측된 강지진동을 처리한 결과와 영월 및 경주지진으로부터 관측된 강지진동을 처리한 본 연구 결과와는 서로 심각한 차이점이 존재한다. 이러한 차이점은 국내 고유의 지진지체구조 특성을 반영하는 응답스펙트럼개발의 필요성을 의미한다.

참고문헌

1. Blume, J.A., Sharpe, R.L. and Dala, J.S., "Recommendations for Shape of Earthquake R Response Spectra", John A. Blume and Associates, Engineers, San Franciscans, CA, USAEC contract #, AT(49-5)-3011. 1973.

2. Mohraz, B. H., Hall, W. J. and Newmark, N. M., "A Study of Vertical and Horizontal Earthquake Spectra", N. M. Newmark, Consulting Engineering Services, Urbana Ill., USAEC Contract No. AT (49-5)-2667, 1972.
3. Newmark, N. M., Blume, J. A. and Kapur, K. K.. "Seismic Design Spectra for Nuclear Power Plants", Journal of Power Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol 99, No PO2, 1973.
4. EPRI, "The Earthquakes of Stable Continental Regions", TR-102262-V1, 1994.