

유사 강지진동을 이용한 지반응답의 Amplication Factor 스펙트럼
분석

Analysis of Amplication Factor of Response Spectrum using Strong
Ground Motions Compatible to the Domestic Seismotectonic
Characteristics

김준경¹ 지현철² 박창엽³ 조봉곤⁴

Kim, Jun Kyoung, Ji H. C., Baag, C.E., Jo, B.G.

ABSTRACT

Amplication factor spectrum has been obtained and compared with Standard Response Spectrum using the observed strong ground motions database. The observed ground motions from the Miramichi, Nahanni, Saguenay and New Madrid Earthquake (vertical component 19, horizontal component 36), which are estimated to represent domestic seismotectonic characteristics such as seismic source, attenuation, and site effect, are used for the analysis of amplication factor spectrum. Amplication factor has been calculated using both observed peak values and results from responses to the observed horizontal and vertical ground motions. The comparison shows that the amplication factors resultant from this study exceeds those of Standard Response Spectrum at relatively higher frequencies. The results impie that the characteristics of the seismic strong ground motion which may represent the domestic seismotectonic characteristics differs from those of Standard Response Spectrum, which are resultant from the strong ground motions observed mainly at the western United States.

-
- 1 세명대학교 교수, 정회원
 - 2 한국자원연구소 선임연구원, 정회원
 - 3 서울대학교 교수, 정회원
 - 4 전북대학교 교수, 정회원

1. 서론

응답 스펙트럼은 효과적인 내진 설계를 위하여 필요한 여러 가지 요소 가운데 하나의 중요 요소이다. 국내의 경우 응답 스펙트럼이 계속 연구되어 왔으나 개발에 필수적인 국내에서 실제 관측된 의미있는 강지진동 자료가 거의 축적되어 있지 않다는 어려운 점이 있다.

따라서 응답 스펙트럼을 요구하고 있는 산업의 종류마다 다소 차이가 있지만 원자력 산업의 경우 내진 설계를 위해 원전 도입국이 개발하여 적용하고 있는 표준응답 스펙트럼을 최대잠재지진값에 스케일하여 적용하고 있다. 하지만 외국의 응답스펙트럼의 모양특성을 기술적 검토없이 그대로 적용하고 있는 실정이기 때문에 국내의 지진지체구조 (seismotectonic) 특성에 적합하고 또한 특성을 대표할 수 있는 응답스펙트럼에 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 예상되는 응답을 대표하는 응답 스펙트럼에 대한 연구가 수행되었다. 또한 실제 관측된 강지진동을 처리하는 방법을 이용하여 미국의 원자력규제위원회 (NRC)는 원전 부지의 적합성 평가 관련 기술 기준 가운데 하나인 표준 응답 스펙트럼 (Reg Guide 1.60)을 개발하였고 북미 대륙내에서 실제 관측된 100여개의 강지진동을 처리한 결과이다. 하지만 표준응답 스펙트럼이 개발된 이후에도 중규모 이상의 지진이 계속 발생하여 관측 강지진동에 대한 데이터베이스가 대폭 증가하였다. 이를 분석하여 관측된 강지진동 특성의 대표성 특히 고주파수 대역에서의 대표성에 대하여 일부 지진 학자들이 문제점을 제기하여 왔다. 표준응답 스펙트럼을 개발하기 위하여 이용되었던 관측 강지진동은 주로 미국 서부 지역에서 발생한 지진으로부터 관측된 강지진동이기 때문에 지진파 전달 감쇄특성 및 부지고유 특성의 대표성에 대해 문제점을 제기하였다. 또한 최대가속도값 및 최대지진규모 등을 고려할 때 제한적이었기 때문에 지진원 특성의 대표성에 대하여 문제점을 지적하고 있다.

따라서 본 연구는 외국에서 실제 관측된 강지진동을 이용하는 방법을 적용하며 국내 지진 발생 특성을 대표할 수 있는 응답 스펙트럼을 개발하기 위해 우선 유사지진동을 분석하여 표준응답 스펙트럼과 비교하고자 한다. 외국에서 실제 관측된 강지진동을 입력자료로서 선택할 때 국내의 지진지체구조 특성을 대표하는 3 가지 주요 요소인 지진원 특성, 감쇄특성 및 site effect를 고려하여 강지진동을 선택하고 이를 통계 처리하여 응답스펙트럼을 분석하였다. 다음 단계로서 주파수별 amplification factor를 구하고 이를 다시 표준 응답스펙트럼과 비교분석을 시도하였다.

2. 본 문

2.1 관측 강지진동 자료처리

본 연구는 강지진동 분석을 위하여 별도로 필터링과 같은 자료처리 과정을 직접 적용하지 않고 baseline shift와 같은 기본적 처리 및 강지진동 자료마다 주파수 대역에서 약간의 차이가 있지만 고주파수 및 저주파수 대역의 필터링 등 이미 처리된 강지진동 자료를 이용하였다.

응답 스펙트럼을 구하기 위해 응답을 계산하는 주파수의 간격을 아주 조밀하게 설정하여 (100개의 주파수) 주파수 간격이 응답 스펙트럼의 모양 특성에 주는 효과를 최소화시켰다. 따라서 특

히 고주파수 대역에서 주파수 간격에 따른 영향을 최소화 할 수 있었다. 본 연구는 0.1 Hz부터 30 Hz구간에 대하여 100개의 주파수를 선정하여 응답을 계산하였다. 응답 계산을 위한 주파수 간격은 일반적으로 적용하고 있는 바대로 주파수에 로그를 취한 값이 등간격이 되도록 유지하였다.

본 연구는 전체 관심 주파수 대역을 몇 개의 control point로 나누어 amplification factor를 주파수 대역마다 직선화 과정을 거치지 않고 계산된 응답결과값 그대로 미국 원자력규제위원회의 표준응답 스펙트럼의 모양 특성과 상호 비교하였다. 전체 관심 주파수 대역에 걸쳐서 각각의 응답 주파수에서 평균값 및 표준편차에 해당하는 값을 각각 비교하고 또한 미국 원자력규제위원회의 표준응답 스펙트럼의 모양 특성과 상호 비교하였다.

지진원 특성 및 지진파 전달 감쇄특성을 고려하여 미국 서부 지역보다는 상대적으로 동부 및 캐나다 북동부 지역에서 발생한 지진을 선택하였다. EPRI가 발행한 연구 보고서⁴⁾가 제시한 바와 같이 한반도, 미국 동부 및 캐나다 북동부 지역 가운데 일부 지역은 지체 구조적으로 안정지각구조지역 (SCR; stable continental region) 으로 평가되어 지진지체구조적 특성을 고려할 때 상호 유사한 지역으로 평가하였다. 따라서 캐나다 동북부인 순상지(shield) 에서 발생한 Miramichi 지진, Nahanni 지진, Saguenay 지진 및 미국 중부에서 발생한 New Madrid 지진을 응답스펙트럼 개발을 위한 입력 자료로 이용하였다. 본 연구에서 인용된 강지진동 관측 자료는 표 1에 주어져 있다.

표 1. 응답 스펙트럼 분석에 이용된 유사 강지진동 자료 목록

지진명	강지진동 성분 및 숫자	지진관측소 지반조건	비고
Miramichi 지진 (캐나다 동북부)	수평성분:9	Bedrock	
	수직성분:5	Bedrock	
Nahanni 지진 (캐나다 동북부)	수평성분:10	Bedrock	
	수직성분:6	Bedrock	
New Madrid 지진 (미국 중동부)	수평성분:11	Bedrock	
	수직성분:5	Bedrock	
Saguenay 지진 (캐나다 동북부)	수평성분:6	Bedrock	
	수직성분:3	Bedrock	

국내 지진지체구조 특성을 대표 가능한 응답 스펙트럼 모양 특성을 개발하기 위하여 수평 성분 강지진동은 36개, 수직 성분 강지진동은 19개를 이용하였다. 강지진동 관측소 조건을 고려하기 위하여 우선 건물 등 구조물의 영향을 전혀 받지 않는 자유장 (free field)에서 관측된 지진동을 선택하였으며 또한 국내 원전 부지의 조건에 적합하도록 하기 위해 암반 지반 조건에서 관측된 강지진동을 선별하여 평가에 이용하였다.

캐나다 동북부에서 발생한 Miramichi 지진, Nahanni 지진, Saguenay 지진 및 미국 중부에서

발생한 New Madrid 지진으로 부터 관측된 강지진동의 sampling rate는 일률적으로 0.005sec 이다. 응답 스펙트럼 평가를 위하여 관심 고주파수 대역이 약 30 Hz 이고 이러한 자료를 입력 자료로 이용할 경우 입력 자료 자체의 Nyquist Frequency는 100Hz로서 30Hz보다 대역이 훨씬 광범위하기 때문에 원리적으로 충분히 의미 있는 결과를 얻을 수 있다.

수직 성분 강지진동 에 대한 응답은 수평 두 성분 강지진동의 최대 관측값의 평균을 이용하지 않고 수직 성분 강지진동 자체의 관측 값을 그대로 이용하였다.

본 연구는 입력 강지진동의 지진원 특성과 같은 자체 특성을 분석하기 위하여 각각의 강지진동을 처리하여 Fourier 스펙트럼을 분석하였고 또한 해당 phase spectrum도 분석하였다. Fourier 스펙트럼을 분석시 Nyquist frequency 부분 까지만 고려하였고 이외의 부분은 이론적으로 대칭이기 때문에 생략하였다. 다음 단계로서 입력 강지진동을 이용하여 지반의 가속도 및 속도 응답에 대한 분석하였다. 단 응답을 구하기 위해 critical damping 값은 5%값에 대해서만 응답결과값을 상호 비교하였다. 이를 이용하여 다시 지반의 가속도 및 속도 응답에 대한 주파수별 응답의 amplification factor를 계산하였다.

2.2. 분석 결과

그림 1에서 보여주는 바와 같이 36개 수평 성분 강지진동을 처리하여 결과되는 가속도 응답에서의 주파수별 amplification factor는 특히 12hz 또는 13 hz이상의 주파수 대역에서 표준응답스펙트럼 보다 초과하고 있다. 또한 고주파수 대역으로 증가할수록 초과 정도가 증가하고 있음을 보여 주고 있다. 이러한 초과 현상은 최근의 연구 결과가 현재 준용 중인 표준응답 스펙트럼의 고주파수 대역에서의 보수성에 대한 문제점을 이미 지적해 온 바와 일치한다.

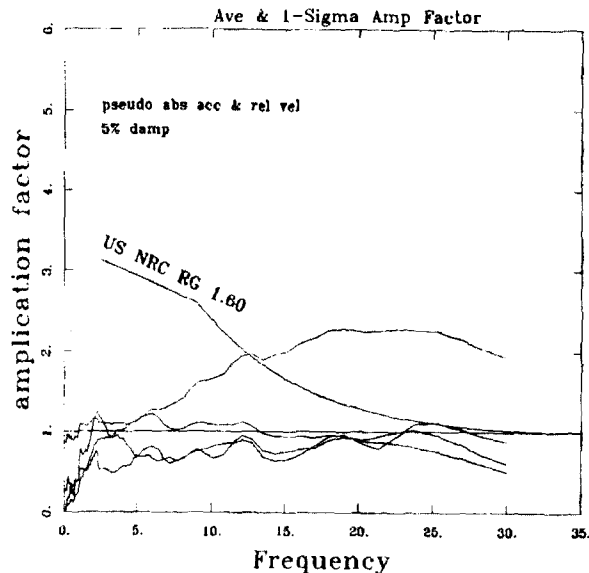


그림 1. 수평성분 가속도 및 속도의 amplification factor 스펙트럼

가속도 응답의 amplification factor 값은 평균값과 표준편차가 더한 값(+ 1σ)에 해당하는 값이 상호간 차이가 대단히 크게 나타난다. 특히 고주파수 대역에서 두 값의 차이는 증가하고 있다. 하지만 상대적으로 속도 응답에 대한 amplification factor 값은 평균값과 표준편차가 더한 값(+ 1σ)에 해당하는 전체 주파수 대역에서 커다란 차이를 보이지 않는다.

그림 2에서 보여주는 바와 같이 26개 수직 성분 강지진동을 처리하여 결과되는 주파수별 가속도 amplification factor는 수평성분과 유사하게 15 hz 이상의 고주파수 대역에서 표준응답스펙트럼이 제시하고 있는 값을 초과하고 있다.

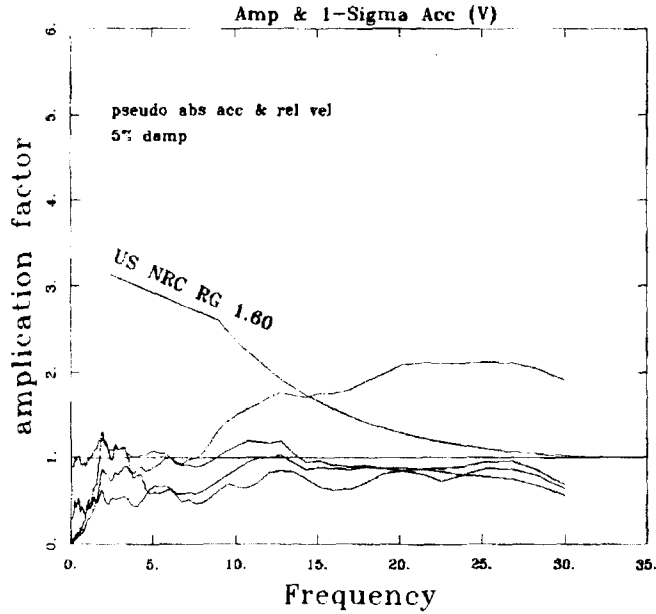


그림 2. 수직성분 가속도 및 속도의 amplification factor 스펙트럼

3. 결 론

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 미국 동부 및 캐나다 동북부에서 발생 관측된 강지진동을 처리한 본 연구 결과와는 서로 심각한 차이점은 국내 고유의 지진지체구조 특성을 반영가능한 응답스펙트럼개발의 필요성을 의미한다.

참고문헌

1. J. A. Blume, R.L. Sharpe, and J.S. Dala (1973), "Recommendations for shape of earthquake response spectra", John A. Blume and Associates, Engineers, San Franciscans, CA, USAEC contract #,

AT(49-5)-3011.

2. B. H. Mohraz and W. J. Hall, and N. M. Newmark (1972), "A Study of Vertical and Horizontal Earthquake Spectra", N. M. Newmark, Consulting Engineering Services, Urbana Ill., USAEC Contract No. AT (49-5)-2667.

3. N. M. Newmark, J. A. Blume, and K. K. Kapur(1973), " Seismic Design Spectra for Nuclear Power Plants", Journal of Power Division, Proceedings of the american society of Civil Engineers, Vol 99, No PO2.

4. EPRI (1994), The Earthquakes of Stable Continental Regions, TR-102262-VI.