

국내 관측 지진파형을 이용한 지진파형 영향인자에 관한 연구

The Study on the Parameters to Represent the Characteristics of the Observed Ground Motions

김준경* · 김성균**, 이정모***, 강익범****

Kim, Jun Kyoung

ABSTRACT

Several parameters to represent the characteristics of the observed ground motions are analysed using the ground motions observed at the domestic networks from several earthquakes occurred in the Korean Peninsula. Parameters to fit most the multiple Fourier amplitude spectra of the observed accelerations are estimated. This study adopts the stochastic ground motion model, referred to the BLWN mode, in which the energy is distributed randomly over the duration of the source and which has proven to be very effective in modeling a wide range of ground motion observations. The stochastic ground motion model employed here uses an omega-squared (ω^2) Brune source model with a single corner frequency and a constant stress drop. The ω^2 source model has become a seismological standard because of its simplicity and ability to predict spectral amplitudes and shapes over an extremely broad ranges of magnitudes, distances and frequencies, as well as tectonic regions worldwide. The resultant values of several parameters from the inversion show very unstable, based on the fact of high values of mean/median. These results may imply that more observed data and more precise site classification, including accurate preparation analysis of data, such as more accurate scaling from counts to kine, are needed for more stable and effective inversion of Fourier amplitude spectrum of the observed ground motions.

1. 서론

최근 국내에서 영월 지진 (1996년 12월), 경주지진 (1997년 6월)을 비롯하여 중규모의 지진이 다수 발생하였다. 1999년에 접어들어 현재까지 국내에서 발생한 지진은 약 40 여회 발생하였고 특히 강원도 태백지역에서 규모 2.2로부터 3.3 범위의 7 회 이상의 지진이 발생

* 세명대학교 교수, 정회원

** 전남대학교 교수, 정회원

*** 경북대학교 교수, 정회원

**** 한국자원연구소 선임연구원

4. 결 론

데이터 파일의 통합과 다루기 편리한 파일의 작성 및 배포로 지진학자나 지진공학자의 자료 처리의 편리성을 도모하고자 하였다. 또한 윈도우용으로 PC에서 사용할 수 있는 데이터 처리 프로그램인 Analyst의 개발로 기본적인 데이터처리를 신속하게 진행할 수 있을 것으로 보이며 정확한 자료처리나 지진공학용의 자료제공을 위한 기초가 될 것으로 보인다.

하지만 더욱 신중하게 파일 형태에 헤더에 삽입 또는 삭제되어야할 사항이 검토가 되어야한다. 현재 Analyst는 지진의 기본적인 분석을 위한 기능을 갖추고 있으나 보다 정확한 지진분석을 위해서는 다양한 자료처리 기능과 지진공학 연구를 위한 각종 매개변수 산출 기능의 추가가 요구된다.

참고문헌

1. 지현철, 이희일, 전정수, 신인철, 김동균, 박정호, 김근영(1998), 지진공학연구, 한국자원연구소
2. Lee, W. H. K., and C. M. Valdés(1985), HYP071PC : A personal computer version of the HYP071 earthquake location program, USGS Open File Report
3. Carter, J., and Bowman, J. R.(1997), IDC Database Schema, CMR-97/28
4. Timothy, K. A., Ray, B., Scott, H. and Kris, S.(1993), "Standard for the Exchange of Earthquake Data", IRIS

하여 발생 횟수면 에서 국내 총 지진발생 회수의 약 20퍼센트를 초과하여 집중되는 현상을 나타내고 있다. 계속되는 중소규모의 지진으로부터 다양한 스케일 범위의 지진동이 발생되었고 양산단층 주변에 설치되어 운용중인 지역 지진관측망 등에서 다수의 지진동이 관측되었다. 이들 발생한 지진 중에서 특히 영월 및 경주지진과 같은 지진은 중규모이고 이들 중규모의 지진은 주파수 대역이 보다 포괄적이기 때문에 미소지진과는 달리 지진이 발생한 지역의 지진원 특성, 지진파의 감쇄특성 등과 같은 지역 고유의 지진지체구조 특성을 연구할 때 중요한 의미를 가진다.

지진동의 특성을 결정하는 영향요소는 지진원 요소, 지진파전달 매체의 탄성적 특성 및 관측 부지에서의 감쇠와 같은 동탄성 특성으로 대별되며, 이들은 지진재해도 및 지진 응답스펙트럼을 분석하고 평가하기 위해 절대적으로 필요한 변수이다. 또한 임의 지역에 고유하게 예상되는 지진재해도 및 지진 응답스펙트럼은 각종 구조물 및 건축물에 대한 실제 내진설계를 위해 필요한 기초적 입력변수이다.

국내에서 관측된 의미있는 지진동이 아직 충분하게 축적되어 있지 않아서 이에 대한 연구가 미미하였으나 최근 국내에서 관측된 지진동의 자료가 점차 증가하고 있고, 또한 관측파형의 질이 점차 개선되고 있어 국내에서 관측된 파형을 적용한 관련 연구 등이 계속 발표되고 있다. 하지만 국내에서 관측되고 있는 전체 관측 파형 자료는 주파수 대역의 신뢰폭이 상대적으로 좁고 특히 중규모의 지진으로부터 관측된 관측 파형의 절대량에 있어서 한계가 있다. 따라서 이를 이용하여 얻어지는 지반지진동의 특성을 결정하는 인자의 변수값은 아직 높은 불확실성을 갖고 있는 실정이다.

일반적으로 임의 지반 진동원으로부터 임의 거리에서 예상되는 최대 지반진동 값, 코너주파수, Q값 및 지반진동의 지속시간 등과 같은 지반진동의 특성을 결정하는 기본적인 지배방정식은 관련 연구 상호간에 커다란 차이가 없다. 하지만 지구물리적인 효과 등을 고려하여 관측파형으로부터 효과적으로 변수를 분석하기 위한 수치해석 알고리즘은 각각의 관련 연구마다 다양하게 제시되어 있다. 지반진동의 특성을 결정하는 기본적인 지배방정식은 본 연구가 채택한 바와 타 연구의 모델과 거의 유사하며 본 발표논문 내용 중에 제시되어 있다. 본 연구는 다수의 관측된 지반진동의 푸리에 amplitude 스펙트럼 값을 제한된 주파수 대역에서 가장 잘 만족시키는 코너주파수, 지각구조의 전달매체 특성을 대표하는 Q값, Q값의 주파수의존성을 나타내는 변수인 η 값, 부지별 감쇠특성을 나타내는 변수인 κ 등을 수치해석 방법을 이용하여 분석하였다.

2. 지반지진동 자료처리

본 연구는 주파수 대역에서 지반지진동 자료마다 약간의 차이가 있지만 관측된 지반지진동 분석을 위하여 high pass 필터링 및 low pass 필터링과 baseline correction과 같은 기본적인 처리를 하였다. 주어진 각각의 수평 성분 지반지진동에 대하여 여러 가지 변수들을 계산하기 위해 주파수의 간격을 Nyquist frequency 범위내에서 아주 조밀하게 설정하여 최대의 정보를 얻기 위한 시도를 하였다. 관측 지진동마다 다소 차이가 있으나 변수추정 모델링을 위한 주파수 대역은 최소 0.4 Hz 또는 0.5 Hz에서 최대 20 Hz까지의 푸리에 amplitude 스펙트럼 정보를 이용하였다.

Table 1에 주어진 바와 같이 국내의 지진지체구조 특성을 대표 가능한 여러 가지 변수들을 분석하기 위하여 수평성분 지반지진동은 23개를 이용하였다. 위 표에서 제시된 모두 23개의 지반지진동은 관측소 조건을 고려하기 위하여 우선 건물 등 구조물의 영향을 전혀 받지 않는 자유장에서 관측된 지반지진동을 고려하였다. 또한 국내 주요 시설물의 부지의 조건을 고려하여 암반지반 조건에서 관측된 지반지진동을 평가에 이용하였다. 지진 관측소 직

각에 대한 기반암에 대한 기술은 Table 2에 주어져있다.

영월 및 경주지진으로부터 관측된 지반지진동의 sampling rate는 일률적으로 0.01sec로 고정되어 있다. 일반적으로 국내에서 발생하고 있는 지진규모 등을 고려하여 코너주파수의 범위 내에 충분히 포함되도록 모델링을 위하여 관심 고주파수 대역을 결정하였다. 즉 모델링을 위하여 관심 고주파수 대역을 약 20Hz 부근까지 연장하였다. 본 연구를 위해 이용한 지반지진동 자료를 분석에 이용할 경우 23개의 지반지진동 자료의 Nyquist frequency는 50 Hz로서 변수추정을 위한 최대 주파수값인 20Hz보다 광범위하여 모델링을 위한 주파수대역은 원리적으로 문제점은 없다. 또한 anti-alias 필터링 효과로 인하여 약 25Hz부터 필터링의 영향을 받는다 하더라도 역시 변수추정 모델링을 위한 주파수대역은 원리적으로 문제점은 없다.

첫 단계에 우선 응답스펙트럼을 계산하기 위하여 필요한 기록은 가속도 기록이기 때문에 속도기록으로부터 가속도 기록으로 변환을 계산하였다. 변환 단계에서 실제 관측된 속도기록 뿐만 아니라 변환된 가속도 기록에 대하여 Fourier 스펙트럼 분석을 시도하여 적절하게 필터링을 시도하였다.

지진파형은 수직, 남북방향 및 동서방향 성분으로 나누어지고 각각의 성분에 대해 P파 및 S파를 확인할 수 있고, P파 및 S파의 도착시간 차이를 이용하여 계산할 결과 진앙거리가 개략적으로 일치하였다. 또한 지반진동에 전체적으로 장주기의 잡음이 전체적으로 존재하고 있음을 보여주고 있다.

3. 자료분석

본 연구에서 적용한 지반지진동을 결정하는 지배방정식은 아래와 같고 관측된 지반지진동으로부터 여러 변수를 결정하는 수치해석 알고리즘은 Abrahamson이 이용한 알고리즘을 이용하였다.

본 연구가 사용하고 있는 수치해석 알고리즘은 다수의 지진으로부터 발생되어 다수의 관측소에서 관측된 지진파형의 푸리에 amplitude 스펙트럼 값을 만족시키도록 되어 있다. 또한 동일한 관측소에서 다수의 지진으로부터 발생된 지진파형을 중복이 될 경우도 있다. 따라서 단일 지진원으로부터 임의 부지에서 관측된 지진파형을 이용하는 것보다 임의 부지에서 서로 다른 지진에 의한 관측 지진파형이 중복되어 관측소의 부지특성 변수를 상대적으로 보다 잘 구할 수 있다.

지진원을 대표하는 모델로서 Brune의 지진원 모델인 지진원의 주파수영역에서의 진폭값이 각주파수의 자승에 비례하는 (ω^2) 지진원 모델을 이용하였다. 역산 모델링에서 가속도값과 변수들이 비선형으로 관련되어 있는 지배방정식으로 이루어져 있어 비선형 역산수치모델을 사용하였다. 보다 구체적으로 지배방정식의 값을 결정하는 변수들을 동시에 구하기 위해 Levenberg -Marquart 비선형 역산 수치모델을 이용하였다.

지진원의 규모와 각 지진원으로부터 각 관측소까지 거리를 초기 입력값으로 이용하였다. 우선 지진원 지역의 shear wave 속도는 3.5 km/sec, 지각물질의 밀도는 2.7로 가정하였다. 부지의 증폭 혹은 감폭 특성은 부지조건에 따라 2 가지로 분류하여 관측소에 부여하였다. 관측파형의 주파수 대역에서 각 지진파형마다 약간 상이하나 관측된 지진파형의 푸리에 amplitude 스펙트럼 값을 동시에 만족시키기 위해 모델링을 위한 주파수 대역은 최소 0.4 Hz 또는 0.5 Hz에서 최대 20 Hz까지의 푸리에 amplitude 스펙트럼 정보를 이용하였다.

관측된 지진파형의 푸리에 amplitude 스펙트럼 값을 동시에 만족시키기 위해 모델링한 결과 얻어지는 변수값은 우선 지각물질의 거시적인 damping 효과를 나타내는 변수인 Q값, 변수인 Q값의 주파수에 대한 지수 비례관계를 나타내는 변수인 η 값이 있다. 그리고 각 지

진원에 고유한 코너주파수가 있다. 부지 특성을 나타내는 damping 값의 종류를 미국 기준에 의해 2가지 부지 특성으로 분류하여 $\kappa 1$ 및 $\kappa 2$ 로 표시하였다. 따라서 구하고자 하는 지진동 특성 변수는 7 가지이다. 또한 마지막으로 모델링한 결과 얻어지는 변수상호간의 covariance matrix를 구하였다.

4. 결과 및 결론

국내 지반진동을 이용하여 모델링한 결과 지반진동 특성을 나타내는 값들은 기존의 연구 결과 값들과 유사한 경향을 보이고 있으나 결과 값들의 안정성에 대한 지표가 예를 들면 mean값/ median값 등이 높게 나타나고 있다. 따라서 관측 지반진동 자료에 대한 스케일, 특히 스케일은 관측시기에 따라 당시의 관측조건을 최적화 하기 위해 자주 변하기 때문에 주의해야 할 것으로 보인다. 또한 부지특성 분류 등과 같은 점에서 향후 보다 많은 자료를 이용한 그리고 보다 정밀한 분석이 요구된다.

5. 참고문헌

1. 김준경(1998), "영월 및 경주지진 파형의 주파수 분석", 한국지진공학회 추계발표논문집, 제2권2호.
2. 김준경(1999), 내진설계를 위한 응답스펙트럼 연구", 한국자원공학회 춘계발표논문집. 1999.
3. J. A. Blume, R. L. Sharp and J. S. Dala(1973), "Recommendations for Shape of Earthquake Response Spectra", John A. Blume and Associates, Engineers, San Francisco, USAEC contract #, AT(49-5)-3011.
4. Mohraz, B. H. , W. J. Hall, and N. M. Newmark(1972), " A study of vertical and horizontal earthquake spectra", N. M. Newmark Consulting Engineering Services, Urbana III, USAEC contract #, AT(49-5)-2667.
5. N. M. Newmark, J. A. Blume, 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.
6. Atkinson & Boore(1996), "Characteristics of the recent ground motion", Seis. Research Letters, p224-240, vol 67.
7. EPRI, (1994), " The earthquakes of Continental Regions", TR-102222-VI.