

경상분지에서의 S파 감쇠 : 1997~2000 지진자료 분석결과

Attenuation of S-waves in the Gyeongsang Basin: Results of 1997~2000 Earthquake Data Analysis

이정모* 김태경** 조봉근***
Lee, Jung Mo Kim, Tae Kyung Jo, Bong Gon

ABSTRACT

In order to get information on more reliable S-wave attenuation characteristics in the Gyeongsang Basin, local earthquake data compiled during the period of years 1997~2000 are analyzed using spectral smoothing technique. Total 421 seismograms recorded at 12 local stations by 68 earthquakes of local magnitudes equal to or greater than 1.4 are examined. Among them, 155 records with good S/N ratio were analyzed. As results, statistically well constrained attenuation characteristics are found. Those are; (1) $0.000158362 < \chi_q\text{-value} (0.000196474) < 0.000234586$, (2) $0.00657 < \chi_s\text{-value} (0.01061) < 0.01465$, and (3) $1158 < Q\text{-value} (1383) < 1716$, where the upper and low limits are values with 95% confidence level. We obtained remarkably well constrained χ_s -value which has not been determined previously. The results can be used as input data for ground motion computations in earthquake engineering.

1. 서론

지진에 의한 특정지역의 진도(intensity)는 지진의 규모(magnitude), 진원에서 거리, 전파과정에서의 감쇠(attenuation) 및 지역의 응답함수(receiver function)에 의하여 결정된다. 이들 중에서 감쇠현상은 주파수에 독립적이라고 가정할 때 가속도의 푸리에 진폭 스펙트럼(Fourier amplitude spectrum)에서 다음과 같이 기술된다(Anderson and Hough^[1]).

$$\ln a(f) = -\pi\chi f + c, \quad f > f_c. \quad (1)$$

여기서, χ 는 스펙트럼 감쇠변수(spectral decay)이며, f_c 는 모서리 주파수(corner frequency)이다. 감쇠변수의 진앙거리(R)에 따른 통계적 분포는

$$\chi(R) = \chi_q R + \chi_s \quad (2)$$

로 기술되며, χ_q 는 진앙거리에 따른 감쇠율, χ_s 는 진원 부근의 지역적 감쇠를 나타낸다.

* 경북대학교 지질학과 부교수, 정회원
** 경북대학교 지질학과 석사과정
*** 전북대학교 지구환경과학부 교수

한반도 동남부 경상분지에서의 감쇠는 여러 학자들(eg., 조남대^[2], Noh and Lee^[3], Park et al.^[4] 등)에 의하여 연구되어 왔으나, 자료부족 등의 문제점으로 매우 다른 값이 제시되었다. 박동희·이정모·김성균^[5]은 $x(R) = 0.0001374R + 0.001107$ 를 제시하고, 통계적 분포특성으로부터 x_s -값의 95% 신뢰구간은 $0.0001107 < x_s < 0.0001640$ 이 됨을 밝혔으나, 양의 값을 가져야 하는 x_s -값의 표준편차가 평균값보다 크게 나타나는 것으로부터 도출된 x_s -값에 의미를 부여하지 않았다. 본 연구는 박동희·이정모·김성균^[5]에 연속되는 것으로 그동안 누적된 지진자료를 개선된 방법으로 분석하여 경상분지에서의 신뢰도가 향상된 지진파 감쇠특성을 구하는 것이다.

2. 자료 및 방법

본 연구는 1997년에서 2000년 사이에 한반도 동남부 경상분지에서 발생한 지진을 대상으로 하였다. 이 기간에 한반도 동남부에서 발생한 지진 중 지진 관측망의 분포에 의하여 관측이 왜곡되지 않은 것으로 사료되는 규모 1.4이상의 68개의 지진이 선정되었다. 이 지역에 위치한 12개의 관측소에서 이들 지진을 기록한 자료의 수는 421개이며, 이 중 S/N비가 비교적 높은 약 200개의 자료를 분석하였다. 분석 과정 중 다중반사 등으로 가속도 스펙트럼 양상이 왜곡된 것들을 제외하고, 최종적으로 155개의 자료를 분석하였다. 본 연구에서 분석한 지진의 진앙과 관측소의 위치를 그림 1에 제시하였다. 이들 지진은 천발 지진으로 진원깊이가 대부분 10km~20km사이이며, 진앙거리는 20km에서 약 200km까지이다.

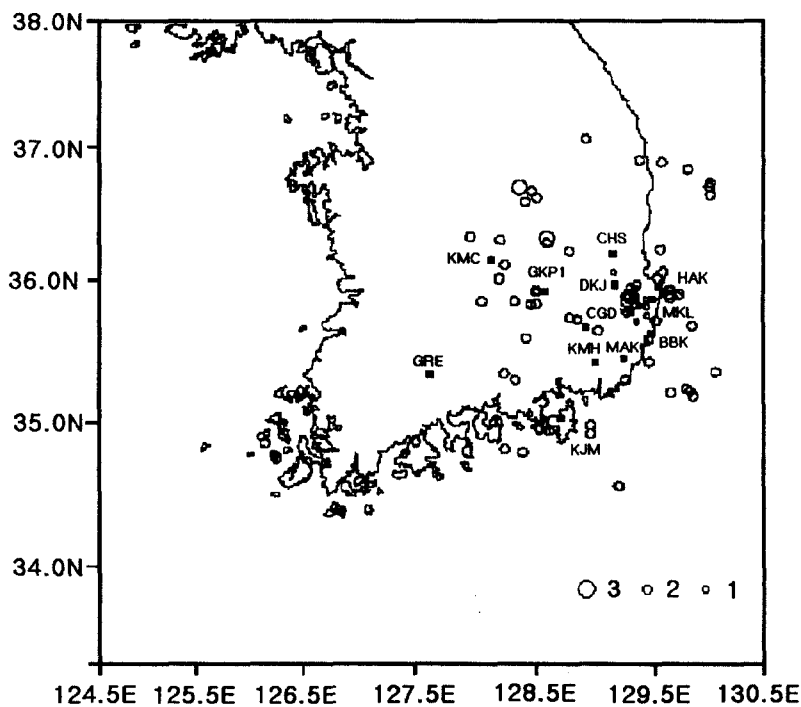


그림 1. 본 연구에 이용된 지진자료의 진앙 및 지진관측소 분포도

이상화된 모델에서 계산된 가속도 스펙트럼은 부드럽게 변하여야 하나, 실제로 관측된 자료로부터 구한 스펙트럼은 잡음, 산란 등의 영향으로 매우 불규칙하게 툼날 같은 양상을 보여 모서리 주파수의 위치를 파악하기 힘들고, 기울기를 정확하게 구하기 어렵다. 이 양상은 고주파수로 갈수록 심해지는 경향이 있다. 본 연구에서는 스펙트럼을 주파수대역의 평균값을 취하는 방법으로 평활화(smoothing)하였다. 평활화에 있어서 주파수대역은 고주파수로 갈수록 넓게 하기 위하여 옥타브(octave)대역을 선정하였으며, 여러 대역을 시도한 결과, 0.3옥타브 대역이 스펙트럼의 전반적인 양상을 잘 보존하며 효과적인 평활화를 하는 것으로 보여 선택되었다. 관측 자료로부터 구한 가속도 스펙트럼 위에 평활화한 결과의 예를 그림 2에 제시하였다. 기타 분석방법은 박동희·이정모·김성균^[6]의 방법론을 따랐으며, 이론적 배경은 상기 논문에 기술되어 있다.

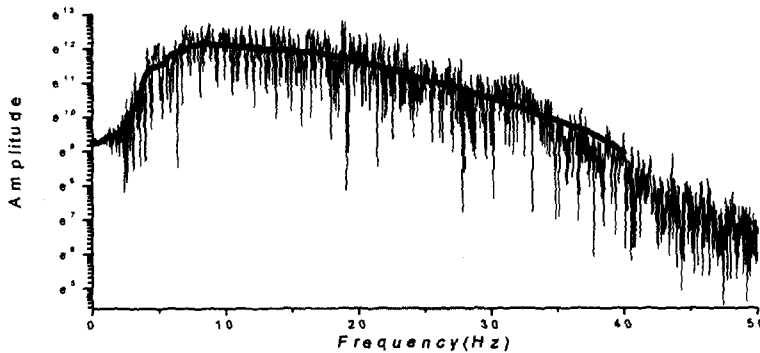


그림 2. 관측자료로부터 계산한 가속도 스펙트럼과 평활화한 스펙트럼 예

3. 분석결과

평활화된 가속도 스펙트럼에서 모서리 주파수 이후 기울기를 선형회귀분석을 하여 구하였다. 선형회귀분석 과정에서 표준편차가 큰 것은 분석에서 제외하였다. 최종적으로 남은 155개의 x -값을 진앙거리의 함수로 구한 다음 다시 선형회귀분석을 하여

$$x(R) = 0.000196474R + 0.01061 \quad (3)$$

을 도출하였다. 통계학적으로, x_q -값의 표준편차는 0.000019445 이며, x_s -값의 표준편차는 0.00206 이다. 95% 신뢰구간을 택하면 x_q -값의 범위는 $0.000158362 < x_q < 0.000234586$ 이며, x_s -값의 범위는 $0.00657 < x_s < 0.01465$ 이다. 이들 결과를 그림 3에 제시하였다. 이들 결과를 $Q = 1/x_q \cdot v_s$ 관계식을 이용하여 Q -값을 구하면 $1158 < Q\text{-값} (1383) < 1716$ 가 된다. 계산에 있어서 횡파속도는 김성균^[6]에 의한 $v_s = 3.68\text{km/sec}$ 를 이용하였다.

x_q 의 표준편차가 박동희·이정모·김성균^[6]의 0.00001361 보다 다소 큰 값이 도출되었으나, 이는 자료의 임의적인 선택보다는 통계적인 성질에 의한 일괄선택 및 자료의 수적 증가에 기인하는 것으로 사료된다. 참고로 그들은 약 50개의 자료를 분석하였다. 또한, x_q -값이 박동희·이정

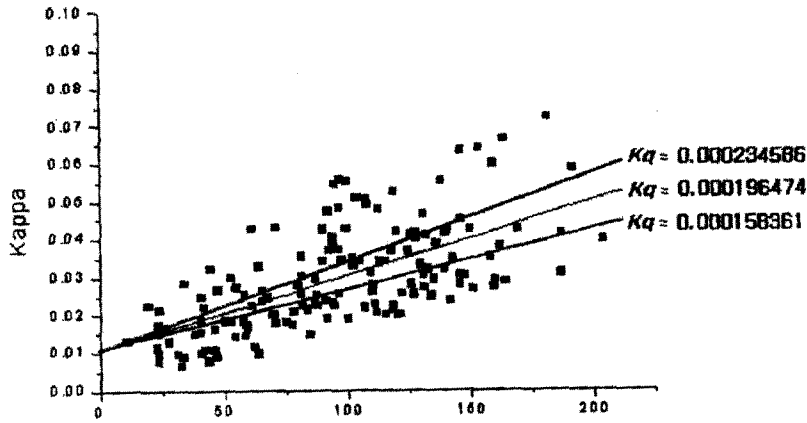


그림 3. 진앙거리에 따른 x 의 분포 및 회기분석 결과와 95% 신뢰구간

모·김성균^[5]의 0.0001374 보다 큰 값으로 도출되어 Q -값이 작게 나왔으며, 95% 신뢰구간을 취한 Q -값의 범위는 그들의 결과($1656 < Q < 2454$)보다 약간 좁다. x_s -값의 표준편차는 평균값의 20% 정도에 지나지 않아 99.7% 신뢰도를 취할 수 있는 표준편차 3배 구간을 택한 하한 값이 0.00443으로 양의 값을 가지므로 충분한 물리학적 의미를 가진다고 볼 수 있다.

4. 결론

경상분지에서서의 신뢰도 높은 지진파 감쇠특성을 구하기 위하여 스펙트럼 평활화기법을 사용하여 그동안 축적된 지진자료를 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

$$(1) 0.000158362 < x_q\text{-값} (0.000196474) < 0.000234586,$$

$$(2) 0.00657 < x_s\text{-값} (0.01061) < 0.01465,$$

$$(3) 1158 < Q\text{-값} (1383) < 1716.$$

상기 결과의 상한 값과 하한 값은 95% 신뢰도를 취한 것이다. 상기 값들은 종전의 연구 결과보다 신뢰도가 높은 것으로 사료된다. 특히, x_s -값의 신뢰도가 향상되어 물리적으로 의미가 있는 값이 도출되었으며, 향후 지진공학적 지진동 계산에 입력자료로 이용될 수 있다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 자연재해 방재기술개발사업의 일환으로 수행되었다.

참고문헌

- Anderson, J. and Hough, S.(1984), "A model for the shape of the fourier amplitude spectrum of acceleration at high frequency," Bull. seism. Soc. Am., Vol.74, pp.1969-1993.
- 조남대(1998), "추계학적 모사법을 이용한 한반도 남부에서의 강진동 연구," 서울대학교 대학

원 이학석사 학위 논문.

3. Noh, M. and Lee K, (1994), "Estimation of peak ground motions in the southeastern part of the Korean Peninsula (I): estimation of spectral parameters," Jour. Geol. Soc. Korea., Vol.30, pp.297-306.
4. Park, J., Noh, M., and Lee, K. (1999), "Development of attenuation equations of ground motions in the southern part of the Korean peninsula," Jour, Eq. Soc. Korea, Vol.3, pp.21-27.
5. 박동희, 이청모, 김성균(2000), "한반도 동남부의 지진파 감쇠와 지진원 요소," 지진공학회지, 제4권, pp.99-105.
6. 김성균(1995), "한반도 지각구조에 관한 연구," 지질학회지, 제31권, pp.393-403.