

Direct Simulation Monte Carlo법에 의한 한반도 남동부지역 모델 연구

정태웅¹⁾, 최수현²⁾, 임지영²⁾

¹⁾세종대학교 에너지자원공학과, chungtw@sejong.ac.kr

²⁾순천향대학교 대학원 환경보건학과

A Study on the Model of Southeastern Korea based on the Direct Simulation Monte Carlo Method

Chung, Tae Woong¹⁾, Choi, Su-Hyun²⁾, and Im, Ji-Yung²⁾

¹⁾Dept. of Energy & Mineral Resources, Sejong Univ.

²⁾Dept. of Environmental Health Sciences, Soonchunhyang Univ.

1. 서론

지진의 전파매질에 의한 지진동 감쇠 Q^{-1} 값은 내진설계에 있어서 필수적인 정보로 한반도에서는 세계의 지진 안정지역에 해당하는 낮은 값이 보고된 바 있다 (예; Chung and Sato, 2001; Chung et al., 2007). 감쇠상수 Q^{-1} 는 고유감쇠 (Q_p^{-1})와 산란감쇠 (Q_s^{-1})가 합하여진 값으로 Q_p^{-1} 가 얼마나 지진파의 탄성에너지가 열이나 다른 형태의 에너지로 전환되었는지를 나타내는 척도라면, Q_s^{-1} 는 지진파의 반사와 굴절, 위상의 변화를 볼 수 있는 척도이다. Q_p^{-1} 값과 Q_s^{-1} 값의 분리는 다중산란 모델의 특징에 착안한 Multiple Lapse Time Window method (MLTW법), 즉 다중지연시간창 해석법에 의해 다중산란모델의 이론값과 관측되어 지는 코다파 포락선값을 비교하는 방법으로 행하여지는데, 다중산란모델의 이론값은 수치적인 방법 (Hoshiba, 1991)과 해석적인 방법 (Zeng et al., 1991; Sato, 1993)으로 구하여지고 있다 (e.g. Bianco, 2005).

남한지역 전역에 대해서 정태웅·윤숙영 (2009)은 해석적인 방법으로, Chung et al. (2010)은 수치적인 방법으로 다중산란모델 이론값을 구하여 MLTW법에 의해 분리된 감쇠상수를 구하였다. MLTW법은 다량의 자료를 최소자승적으로 구하는 관계로 앞서 행해진 남한지역 연구는 지역적 차이를 고려하지 못하였는데, 지역적 차이의 존재 여부를 검증하지 못하였다. 한반도 지역의 속도구조는 엄연히 지역적 차이가 존재하므로 (e.g. Yoo et al., 2007), 지역적인 연구는 전체 한반도와 다른 결과가 도출될 가능성이 있다.

Chung et al. (2010)에서 쓰인 수치적인 방법은 Yoshimoto (2000)에 의해 개발된 Direct Simulation Monte Carlo (DSMC)법인데, 그 유래는 Hoshiba (1991)로 Zeng(1991)이 제시한 isotropic한 다중산란체가 균일하게 분포한 매질의 이론적 산란모델식을 해석적인 방법으로 풀었던 것을 몬테카를로 (Monte Carlo) 방식의 산란으로 수치적으로 구한 것이다. Hoshiba (1991)의 방식은 모델 공간에서의 산란값을 지정한 모델층 (1차원 깊이)에 따라 바꿀 수 있어서 해석적인 방법보다 현실적이나, 모델 층 내에서는 일정한 값을

가져야 하므로 깊이에 따라 점증하는 구조를 재현할 수 없는 단점이 있다. Yoshimoto (2000)는 파선추적에 유한차분법을 이용한 DSMC법을 통하여 모델 층 내에서 속도가 다양하게 변화하는 좀더 현실적인 구조가 재현가능하게 되었다. 본 연구는 DSMC를 이용하여 한반도 남동부의 현실적인 지각모델 감쇠상수 분리를 행하고자 한다.

2. 연구 방법

본 연구에 쓰인 자료는 기상청(KMA)과 한국 지질자원연구원(KIGAM)의 관측소에서 1999년에서 2009년의 11년 동안 기록된 규모 1.4에서 4.8에 이르는 412개 지진의 상하동 성분 자료인데, 진앙거리는 80km, 49개소의 관측점으로 한반도 남동부지방의 759개 지진관측 자료이다 (Fig. 1). 이들 지진자료의 진원 깊이는 KMA에 의해 10km가 가정되어 있다.

이러한 S파 지진파 자료를 그 도달시간부터 15초 길이의 3개의 시간창 부분으로 나누는데, 세 개의 시간창 값은 각각 1-2, 2-4, 4-8, 8-16, 16-32 Hz의 대역필터를 통과시킨 후 DSMC 계산결과와 이론곡선을 최소자승법으로 맞추어 이때의 고유감쇠 $\eta_i (= \frac{2\pi f}{v} Q_i^{-1})$ 값과 산란감쇠 $\eta_s (= \frac{2\pi f}{v} Q_s^{-1})$ 값을 구한다.

3. 연구결과

먼저 균일한 모델에 대하여 진원 깊이를 0(지표)-20km 사이의 1km 간격으로 달리하여 DSMC를 적용한 결과, 10km 깊이에서 가장 작은 잔차 (M_{sum})를 얻었다. Table 1은 해석적 방법 (모델 U1)에 의한 값과 0, 5, 10, 15, 20km 진원 깊이의 비교치이다. 이러한 결과는 기상청 자료의 진원깊이를 10km로 가정하여 진앙을 구한 자

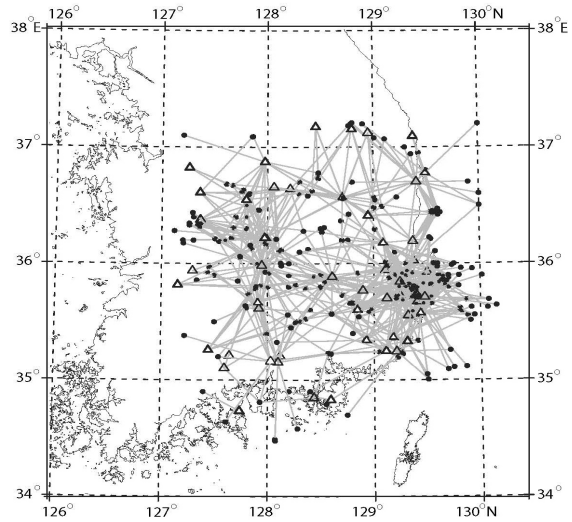


Fig. 1. Map of South Korea showing paths connecting 412 earthquakes (solid circles) and 49 stations (triangles) used in this study.

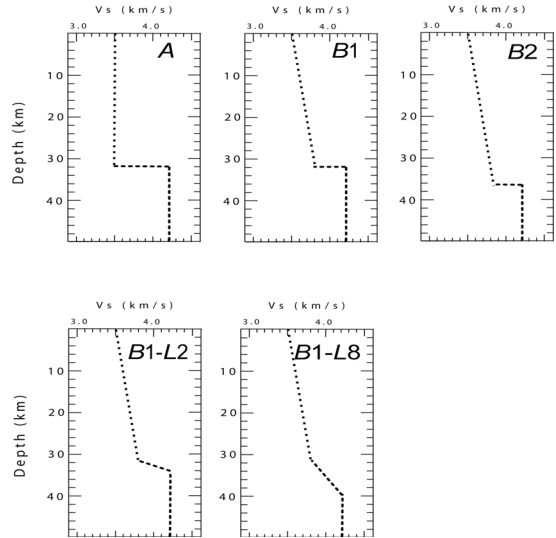


Fig. 2. The five models analyzed in this study. A, B1, B2 are discontinuous Moho models; B1-L2 and B1-L8 are continuous Moho models.

료를 바탕으로 본 연구가 진행된 것과 관계가 있는 것으로 해석된다. 한반도 전체에 대한 5가지 모델 연구에서는 불연속적인 모호면과 32km 두께의 지각이 속도경사를 갖는 모델 B1이 최소잔차를 보인 반면, 본 연구에서는 연속적인 모호면이면서 그 두께가 6km인 모델이 가장 작은 잔차를 보여 주었다. (Fig. 2) 그러나 모델 간의 잔차차이는 한반도 전체의 경우에 비해 매우 작았다. 이는 한반도 남동부의 속도구조의 변화량이 매우 큰 것과 연관이 되는 것으로 해석된다. 연구결과 도출된 고유감쇠값 Q_i^{-1} , 산란감쇠값 Q_s^{-1} 및 총감쇠값 Q_t^{-1} 을 비교한 결과, 한반도 전체값 보다는 월등히 높고 세계의 다른 지역과는 중간수준의 지진발생 지역값과 대응되었다. 이는 남동부 지역이 다른 한반도 지역에 비해 지진활동이 활발한 것과 연관된 결과이다.

Table 1. Comparison of the misfit values for the uniform models obtained by analytically (U1) and numerically (U2-0, -5, -10, -15, and -20).

f (Hz)	η_i, η_s are in km^{-1}																	
	U1			U2-0			U2-5			U2-10			U2-15			U2-20		
	$(M_{sum}=5.22)$			$(M_{sum}=5.03)$			$(M_{sum}=4.93)$			$(M_{sum}=4.18)$			$(M_{sum}=4.60)$			$(M_{sum}=5.63)$		
	η_i	η_s	M_f	η_i	η_s	M_f	η_i	η_s	M_f	η_i	η_s	M_f	η_i	η_s	M_f	η_i	η_s	M_f
1 - 2	0.013	0.010	2.10	0.011	0.009	2.08	0.012	0.010	1.87	0.013	0.010	1.43	0.013	0.009	1.18	0.014	0.009	0.97
2 - 4	0.010	0.004	0.89	0.009	0.004	0.83	0.010	0.004	0.96	0.010	0.004	0.96	0.011	0.004	1.06	0.011	0.004	1.20
4 - 8	0.014	0.006	0.72	0.014	0.006	0.70	0.014	0.006	0.72	0.015	0.006	0.73	0.015	0.006	1.00	0.014	0.005	1.35
8 - 16	0.021	0.011	0.76	0.020	0.011	0.77	0.020	0.011	0.77	0.021	0.011	0.58	0.022	0.011	0.85	0.021	0.009	1.33
16 - 32	0.027	0.020	0.75	0.026	0.020	0.65	0.026	0.020	0.62	0.027	0.020	0.49	0.027	0.020	0.50	0.030	0.023	0.79

참고문헌

- 정태웅 · 윤숙영, 2009, 다중지연시간창법(MLTW)의 한반도 지진자료 적용성 분석, *지구물리와 물리탐사*, **12**, 199-207.
- Bianco, F., Del Pezzo, E., Malagnini, L., Di Luccio, F., and Akinici, A., 2005, Separation of depth-dependent intrinsic and scattering seismic attenuation in the northeastern sector of the Italian Peninsula, *Geophysical Journal International*, **161**, 130-142.
- Chung, T. W., Noh, M. H., Kim, J. K., Park, Y. K., Yoo, H. J., and Lees, J. M., 2007, A Study of the Regional Variation of Low-Frequency Q_{lg}^{-1} around the Korean Peninsula, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **97**, 512-520.
- Chung, T. W., and Sato, H., 2001, Attenuation of high-frequency P- and S-waves in the crust of the southeastern Korea, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **91**, 1867-1874.
- Chung, T.W., Yoshimoto, K. Yun S., 2010. The separation of intrinsic and scattering seismic attenuation in South Korea, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **100**, 3183-3193.
- Hoshiba, M., 1991. Simulation of multiple-scattered coda wave excitation based on the energy conservation law, *Physics of the Earth and Planetary Interior*, **67**, 123-136.

- Sato, H., 1993. Energy transportation in one- and two-dimensional scattering media; analytic solutions of the multiple isotropic scattering model, *Geophysical Journal International*, **112**, 141-146.
- Yoo, H. J., Herrmann, R. B., Cho, K. H., Lee, K., 2007. Imaging the three-dimensional crust of the Korean Peninsula by joint inversion of surface-wave dispersion and teleseismic receiver functions, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **97**, 1002-1011.
- Yoshimoto, K., 2000, Monte Carlo simulation of seismogram envelopes in scattering media, *Journal of the Geophysical Research*, **105**, 6153-6161.
- Zeng, Y., Su, F., and Aki, K., 1991, Scattering wave energy propagation in a random isotropic scattering medium; 1, Theory, *Journal of Geophysical Research*, **96**, 607-619.