

# 오대산지진('07.01.20, $M_L=4.8$ )에 대한 지진원 스펙트럼 추정

연관희<sup>1)\*</sup> · 박동희<sup>1)</sup> · 장천중<sup>1)</sup> · 서정희<sup>2)</sup>

## 1. 서 론

2007년 1월 20일 오대산 인근에서 발생한 지진( $M_L=4.8$ ,  $O=(128.5841^\circ E, 37.6889^\circ N)$ ,  $h=13.1\text{km}$ )에 대해 국내 지진관측망에 기록된 지진자료로부터 점지진원 스펙트럼(apparent point source spectrum)을 추정하였다. 지진원 스펙트럼 추정의 목적은 한반도 인근 지역에서 최근까지 발생한 중규모 이상의 지진 및 미국 지역의 지진원 특성과의 상대적인 비교를 통해 내진설계에 필요한 강지진동 평가의 기초자료를 제공하는 데 있다.

## 2. 본 론

### 2.1 지진원 스펙트럼 추정 방법

오대산지진에 대해 국내 지진관측소  $i$ 에서 계측된 기록의 푸리에스펙트럼은 식(1)과 같이 지진원(SRC), 전달(PATH), 관측소(STA) 주파수응답특성의 곱으로 표현된다. 이때 SRC( $f$ )는 가상의 진원거리 1km 지점에서의 점지진원 스펙트럼으로 근사된다.

$$\text{OBS}_i(f) = \text{SRC}_i(f) \cdot \text{PATH}_i(f) \cdot \text{STA}_i(f) \quad (1)$$

본 연구에서는 식(1)의 전달특성을, 비매개변수법으로 추정된 스펙트럼 감쇠결과로부터 도출된 거리-주파수별로 변하는 경험적인 기하학적 감쇠모델(=GEO<sub>emp</sub>( $R_i, f$ ))과 한반도 남부지역에 대하여 약  $0.4^\circ$  격자크기별로 서로 다른  $Q$  값을 갖는 모델의 조합으로 표현하였다([1]). 따라서 관측자료 별로 파선경로에 따라 서로 다른  $Q_i(=Q_{0i}f^{\alpha_i})$  및 PATH <sub>$i$</sub> 가 고려된다. 식(1)의 관측소 주파수응답특성은 지반을 포함한 지각구조내의 지층간 탄성임피던스 차이로 인한 탄성 증폭특성( $A(f)$ )과  $k_0$ 를 파라미터로 하는 지수함수로 표현되는 천부지각구조(지하 1~2km)에 의한 비탄성 감쇠의 조합으로 모델링 하였다([2]). 식(1)에 따르면 각각의 관측자료 스펙트럼으로부터 전달특성과 관측소응답특성을 제거할 경우 지진원 스펙트럼을 분리할 수 있고, 다수의 국내 지진관측소 자료에 대해 평균 지진원 스펙트럼을 계산할 수 있다.

### 2.2 추정결과 및 토의

114개의 오대산지진 관측자료의 S파 스펙트럼으로부터 식(1)의 지진원 스펙트럼을 추정된 후 단일 코너주파수의  $\omega^2$  Brune의 지진원모델([3,4])로 근사시킨 결과, 모멘트 규모=4.72, 응력강하량=137bar로 계산되었다. 이러한 결과는 그림 1과 같이 이전 연구에서 제시한 국내 지진의 응력강하량 대표모델([5])과도 잘 일치한다.

한반도 인근 지역에서 발생한 중규모 이상의 지진특성과의 보다 세부적인 비교평가를 위해

---

주요어 : 오대산지진, 지진원 스펙트럼, 영월지진, 홍도지진, 2-corner source model

1) 한전전력연구원 환경구조연구소 (kyun@kepri.re.kr)

2) 전 서울대 교수

표 1의  $M_w=3.9 \sim 6.6$  범위의 지진에 대해 지진원 스펙트럼을 추정하고, 지진원 스펙트럼 추정 결과를 식(2)의 지진원 스펙트럼 모델함수에 적합시켰다. 식(2)는 2개의 코너주파수( $2-f_c$ )를 갖는 지진원모델로서 미국의 서부 및 중동부지역에 대해 경험적인 모델이 개발되어 있다([6,7]).

본 연구에서는 식(2)의  $f_A$ 는 고정시키고  $f_B$ 와  $\epsilon$ 에 대한 파라미터( $p1 \sim p4$ ) 만을 변화시키며 RMS 오차가 최소화되는 파라미터를 최적해로 채택하였다. 파라미터 추정시 지진 ⑥(‘홍도지진’)은 지진원 스펙트럼이 유사 규모의 다른 지진에 비해 매우 다른 형태를 나타내어 분석에서 제외시켰으며, 지진 ⑧,⑨에 대해서는 기존 연구결과([8,9])를 이용하였다.

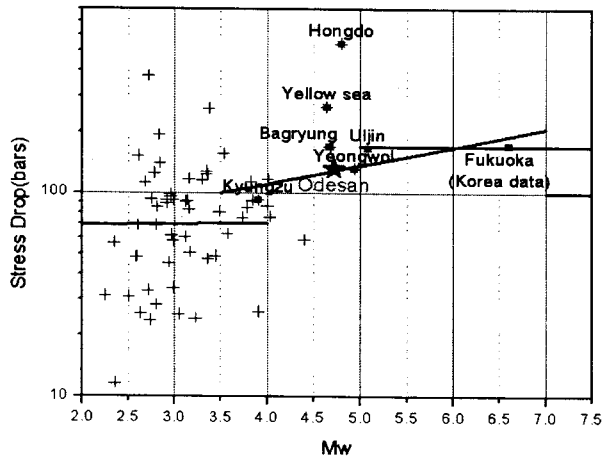


그림 79. 국내 지진응력강하량 모델([5])과의 비교

표 1. 국내 지진의  $2-f_c$  지진원모델에 사용된 지진목록

일련 번호	지진발생 일자	시/분/초 (KST)	국지 규모	$M_w$ (est.)	발생 위치
①	'96.12.13	13:10:17	4.5	4.9	37.2°N 128.8°E
②	'97.06.26	03:50:21	4.2	4.4*	35.8°N 129.3°E
③	'99.06.02	18:12:23	3.4	3.9	35.9°N 129.3°E
④	'01.11.24	16:10:31	4.1	4.04	36.7°N 129.9°E
⑤	'02.07.23	21:48:08	4.7	4.9	35.6°N 122.2°E
⑥*	'03.03.23	05:38:41	4.9	4.83	35.0°N 124.6°E
⑦	'03.03.30	20:10:52	5.0	4.61	37.8°N 123.7°E
⑧	'04.05.29	19:14:24	5.2	5.16	36.8°N 130.2°E
⑨	'05.03.20	10:53:47	7.0	6.6	33.9°N 130.2°E

\*: 분석에서 제외, +: ①(영월지진)에 대한 상대 규모

$$E(M_o, f) = C(2\pi f)^2 M_o \left[ \frac{1-\epsilon}{1+(f/f_A)^2} + \frac{\epsilon}{1+(f/f_B)^2} \right] \begin{pmatrix} \log f_A = 2.41 - 0.533 \cdot M \\ \log f_B = p1 + p2 \cdot M \\ \log \epsilon = p3 + p4 \cdot M \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$C = R_p F V / (4\pi \rho \beta^3 R) \quad (R_p=0.55, F=2.0, V=0.71, \rho=2.8\text{g/cm}^3, \beta=3.7\text{km/sec})$$

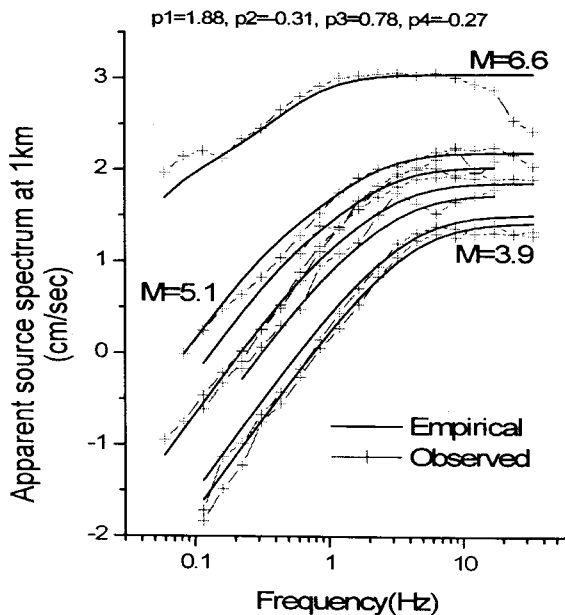


그림 2.  $2-f_c$  지진원 스펙트럼 추정.

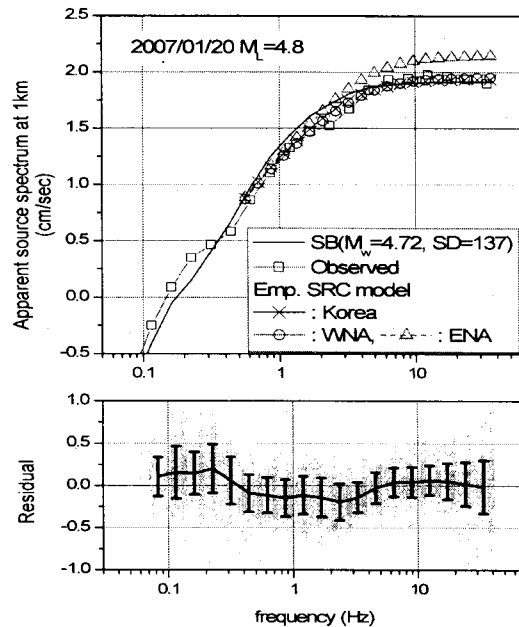


그림 3. 오대산지진의 지진원 스펙트럼.

그림 2는 식(2)의  $2-f_c$  지진원 경험모델의 최적해와 표 1의 지진원 스펙트럼 추정결과와의 적합결과이며, 그림 3은 식(2)의 최적 모델(x)과 오대산지진의 지진원 스펙트럼(□)을 비교한 결과로서, 최근까지의 중규모 이상 지진에 대해 경험적으로 도출된  $2-f_c$  지진원모델이  $1-f_c$  Brune의 지진원모델보다는 오대산지진원 스펙트럼과 잘 일치하고 있음이 확인된다.

한편 그림 4로부터 1996년 영월지진(표 1의 ①)의 지진원 스펙트럼이 오대산지진의 지진원 스펙트럼 보다 큼을 알 수 있는데 이에 비해 국지규모는 낮게 평가되어 있다. 이러한 사실은 영월지진과 오대산지진의 감진면적 및 최대진도 평가결과의 비교에서도 그 가능성이 제시된 바 있다([10]).

표 1의 지진과 오대산지진에 대해 추정된 다수의 지진원 스펙트럼을 함께 이용하여 최종적으로 추정된 식(2)의 지진원모델 최적 파라미터는  $(p1, p2, p3, p4) = (2.12, -0.36, 0.53, -0.22)$ 로서, 이 지진원모델은 규모 약 5.5 미만에서는 미국 서부지역의 지진원모델 ([7])과 거의 일치하고 있다. 이러한 결과를 예시하기 위해 그림 3에는 오대산지진의 규모와 동일한 지진에 대한 미국 서부지역의  $2-f_c$  모델(○ 심벌)을 함께 나타내었다.

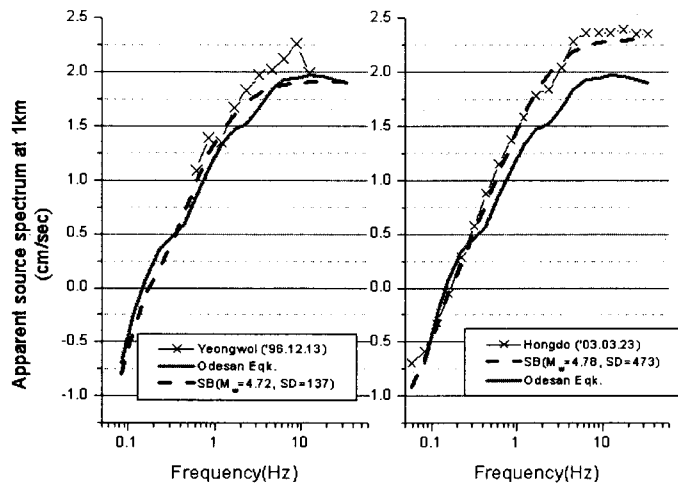


그림 4. 영월, 홍도지진의 지진원 스펙트럼과의 비교.

### 3. 결 론

오대산지진의 지진원 스펙트럼 크기는  $1-f_c$   $\omega^2$  Brune의 지진원모델 보다는 최근까지 한반도 인근에서 발생한 중규모 이상의 지진원 스펙트럼으로부터 추정된  $2-f_c$  (2개의 코너주파수) 지진원모델(식(2))에 잘 부합되었으며, 미국 서부지역의  $2-f_c$  지진원모델과도 매우 유사하였다. 특히 영월지진의 규모는 오대산지진의 규모보다 크게 평가되었으며, 유사한 규모의 홍도지진에 대한 고주파 지진원 스펙트럼 크기는 비정상적으로 매우 큰 값을 나타내었다. 끝으로 오대산지진을 포함한 최근까지의 한반도 인근에서 발생한 중규모 이상의 지진에 대해 경험적으로 도출된  $2-f_c$  지진원모델을 제시하였다.

### 참고문헌

- [1] 연관희, 2007, 한반도 남부지역에 대한 2차원 Q 토모그래피 역산(박사학위논문), 서울대학교, p181.
- [2] 장천중, 최원학, 연관희, 박동희, 2007, 원전부지 지진관측망 2006년도 지진관측연보, 한전 전력연구원, p242.
- [3] Aki, K., 1967, Scaling Law of Seismic Spectrum, *J. Geophys. Res.*, **72**, 1217-1231.
- [4] Brune, J., 1970, Tectonic Stress and the Spectra of Seismic Shear Waves from Earthquakes, *J. Geophys. Res.*, **75**, 4997-5009.
- [5] 연관희, 박동희, 장천중, 2006, 한반도 인근 지역의 Brune 응력강하량(파라미터) 추정에 대

- 한 고찰, 한국지진공학회 학술대회 Vol. 10, 70-77.
- [6] Atkinson, G. M. and Boore, D. M ,1998, Evaluation of Models For Earthquake Source Spectra in Eastern North America, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **88**, 919-934.
- [7] Atkinson, G. M. and Silva, W. ,2000, Stochastic Modeling of California Ground Motions, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **90**, 255-274.
- [8] 연관희, 박동희, 최원학, 장천중 ,2005, 울진 앞바다 지진('04.5.29, M=5.2)의 추계학적 지진 동 평가, 한국지진공학회 춘계학술대회 Vol. 9. No. 1, 18-25.
- [9] 연관희, 박동희, 장천중, 최원학, 이대수 ,2005, 후쿠오카 지진('05. 3. 20,  $M_{JMA}=7.0$ )에 대한 일본 인근 지진관측소와 국내 지진관측소의 주파수응답특성 비교, 한국지구물리학회지, Vol. 8, No. 1. 15-21.
- [10] 경재복, 허서윤, 도지영, 조덕래 ,2007, 2007년 1월 20일 오대산지진(M=4.8)의 진도, 단층 면해 및 단층과의 관계 분석, Vol. 11, 3-14.