

울진 앞바다 지진(2004. 5. 29, Mw=5.1)의 지진원 스펙트럼 추정

연관희 a, 박동희 b, 장천중

전력연구원, 구조연구실, 내진기술그룹,
대전광역시 유성구 문지동 103-16

kyun@kepri.re.kr (a), dpark@kepri.re.kr (b),
cjchang@kepri.re.kr (c)

1. 서론

2004년 5월 29일 전력연구원 울진 원전 부지내 자유장 지진관측소(UJA)로부터 80km 떨어진 지점에서 발생한 울진 앞바다 지진은 국지규모 5.2의 중규모 지진으로서 1978년 지진관측 이래 최대 규모로 기록되었다. 현재까지 원전의 결정론적 입력지진동 평가에 사용된 지진은 지리산 지진(1936. 7. 3, JMA Tsuboi 규모 5)이나, 울진 앞바다 지진은 지리산 지진 보다 큰 규모의 지진으로 평가됨으로 향후 원전의 결정론적 입력지진동 평가에는 본 지진에 대한 고려가 필요하다고 판단되며 이에 따른 울진 앞바다 지진에 대한 지진원 스펙트럼 추정은 필수적이다. 울진 앞바다 지진은 국내 고성능 국가 지진관측망이 본격적으로 구축된 1999년 이후 한반도 인근에서 발생한 중규모 지진으로 지진학적으로 매우 큰 의미를 갖는다. 먼저 강진 자료가 전무한 국내에서 강진의 특성을 간접적으로 추정할 수 있는 단서를 제공하였다. 또한 1999년 이후에 축적된 다량의 미소지진 관측자료를 통해 지진파 전달 및 부지특성이 정밀하게 규명되어 지진원의 정확한 추정이 가능한 시점에서 지진이 발생하였으며, 울진 앞바다 지진 진앙지 인근에 광범위한 규모의 지진군(본진, 전진, 여진)이 발생하여 미소지진과 중규모 지진의 지진원 특성을 비교할 수 있는 중요한 자료를 제공하였다. 본 연구에서는 국내에서 계측된 지진관측자료를 이용하여 지진원 스펙트럼을 추정하고 국외의 지진원 스펙트럼과 비교, 평가하였다.

2. 지진관측자료 및 자료처리

울진 앞바다 지진은 기상청, 지질자원연구원, 한전전력연구원, 한수원(주), 원자력안전기술원 등이 운영하는 국내 지진관측망, 국외 관측망(IRIS, F-net, JMA) 등에 기록되었으며 분석 자료로는 지진파의 S 파-그룹 수평 푸리에 스펙트럼이 활용되었다.

지진원 스펙트럼은 진원으로부터 1km 떨어진 가상의 지점을 가정하고 이 거리에서 관측된 지진파 스펙트럼으로 정의된다. 따라서 지진원 스펙트럼 추정을 위해서는 거리에 따른 지진파 감쇠 및 부지특성을 보정하여야 한다. 본 연구에서는 현재까지 축적된 미소지진

관측자료(253 개 지진, 134 개 관측소의 4,523 기록)를 비선형 역산방법 ([1])을 이용하여 도출된 추계학적 지진모델 파라미터 ([2])를 이용하여 관측 스펙트럼을 보정하였다.

이러한 방법으로 추정된 지진원 스펙트럼의 타당성을 평가하기 위해 울진 인근에 설치된 단일 관측소(ULJ, UJB)에 대한 본진과 여진(전진)의 S-coda 포락선(envelope) 차이 혹은 S 파 스펙트럼의 비를 미소지진의 이론적인 스펙트럼에 더하여 울진 앞바다 본진의 지진원 스펙트럼을 추정하였다. 울진 앞바다 지진군(표 1)의 이론적인 스펙트럼은 ω -square 모델([3]) 및 Brune의 S 파 점지진원 스펙트럼 모델([4])을 가정하여 관측자료로부터 지진원 특성을 추정하였다. 관측소에서 기록된 본진과 여진의 스펙트럼은 동일한 지진파 전달특성과 부지특성을 갖기 때문에 본진/여진의 비교 방법은 본진과 여진의 지진원 스펙트럼의 차이만을 제시한다.

표 1. 울진 앞바다 지진군 정보 및 관측소

지진발생시간	ID	M _L	거리(관측소)
2004-05-29 10:49:11.6	M4052 9	5.2	79.4km(UJ A)
2001-11-21 10:49:11.6	P1112 4	3.6	44.9km(UL J)
2004-05-30 04:45:39.5	A4053 0	2.5	79.8km(UJ B)
2004-05-29 21:13:21.9	A4MA 29	2.4	67.0km(UJ B)
2004-05-29 23:24:13.8	A4C52 9	2.0	76.3km(UJ B)

3. 지진원 스펙트럼 분석 결과

S-coda 포락선 차이를 이용한 방법과 S 파 스펙트럼의 비를 이용한 지진원 스펙트럼 추정 결과 전자의 방법이 추계학적 지진모델 파라미터를 보정하여 얻어진 지진원 스펙트럼과 매우 유사한 결과를 나타내어 보다 안정적인 방법으로 평가되었으며, 이를 통해 추정된 지진원 스펙트럼의 타당성을 입증할 수 있었다(그림 1).

지진규모 2.1-5.2의 범위를 갖는 울진 앞바다 지진군의 Brune 응력강하량 평가 결과,

응력강하량은 규모와 관계없이 거의 유사한 수준으로 평가되어, 국내의 경우 Self-similarity 이론([3])에 근거하여 미소지진의 특성을 이용한 강지진동 모사방법이 적합함이 판명되었다.

한편, 울진 앞바다 지진군의 미소지진의 경우에는 추정치와 관측치가 서로 잘 일치하였으나, 본진의 경우에는 그림 2 와 같이 추정치와 관측치가 큰 차이를 나타내었다. 이러한 현상은 국외 지역에서 알려진 2-corner 지진원 모델([5,6,7])의 전형적인 지진원 형상에 기인하는 것으로서, 그림 2 와 같이 추정된 지진원 스펙트럼을 국외에서 제시된 지진원 스펙트럼과 그림 2 에 비교하여 도시하였다.

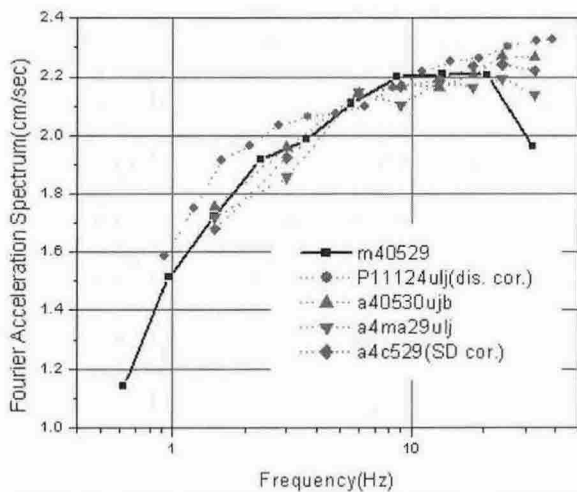
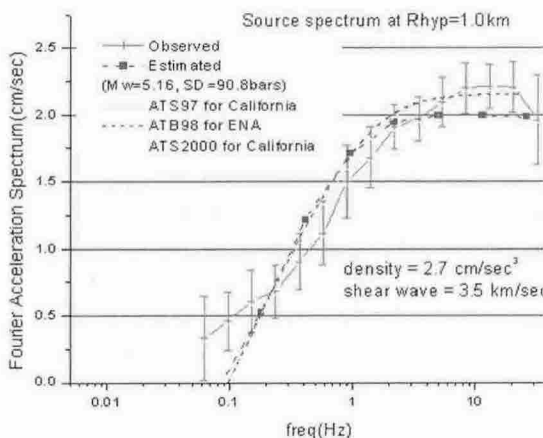


그림 1. 울진 앞바다 지진의 지진원 스펙트럼



ATS97 for California ([5]), ATB98 for ENA ([6]), ATS2000 for California ([7])

그림 2. 국외 2-corner 지진원 스펙트럼과의 비교

그림 2 에서 3Hz 미만의 경우에는 미국 California 지역에 대한 ATS2000([7]) 지진원 모델, 3Hz 이상의 경우에는 북미동부(ENA)의 지진원 모델 ATB98 ([5])와 유사하였다. 국외 지진원 스펙트럼과의 비교는 강진 자료가 전무한

국내 상황에서, 규모 6.0 이상의 지진에 대한 지진동을 모사할 경우 경험적으로 제시된 국외 지진원 스펙트럼을 활용할 수 있다는 점에서 매우 중요하다

4. 결론 및 토의

본 연구에서는 향후 원전의 지진안전성 평가시 고려될 수 있는 지진관측 이래 최대 규모 지진인 울진 앞바다 지진의 지진원 스펙트럼을 평가하였다. 이를 위해 지진파 전달, 부지특성과 관련된 추계학적 지진모델 파라미터를 관측 자료에 보정하여 추정하고, 본진/미소지진의 스펙트럼 비를 이용해 간접적으로 추정된 지진원스펙트럼과의 비교를 통해 타당성을 입증하였다.

지진원 스펙트럼 추정결과 국외 강진자료에서 관측되는 2-corner 지진원 모델이 확인되었고, 국외에서 제시된 일부 모델과도 특정 주파수 대역에서 매우 잘 일치함을 알 수 있었다. 향후 원전부지 강지진동 모사시 경험적으로 제시된 국외 지진원 스펙트럼을 활용하면, 국내 원전에 대한 강지진동 모사와 관련된 불확실성을 저감할 수 있을 것으로 판단된다.

향후 본 연구에서 검증된 본진/미소지진 S-coda 포락선 차이 방법을 이용하여 관측기록이 미비한 영월지진(1996. 12. 13, M=4.5)의 지진원 분석에 활용하고 국내 인근에서 계측된 중규모 지진의 지진원 스펙트럼과 비교하고 국내 강지진동 모사에 적합한 지진원 스펙트럼을 제시할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 2004 년도 원자력연구개발 중장기계획사업 “원전부지 최대지진력 평가연구” 과제로 수행되었음을 밝히며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 연관희 (2002). 강지진동 모사를 위한 한반도 남부의 지각감쇠 특성에 대한 연구, 2002 한국지진공학회 추계 학술발표.
- [2] Boore, D. (2003). Simulation of ground motion using the stochastic method, Pure Appl. Geophys. 160, 636-676.
- [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] 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.
- [6] Atkinson, G. M. and Silva, W. (2000), Stochastic Modeling of California Ground Motions, Bull. Seismol. Soc. Am. 90, 255-274.
- [7] Atkinson, G. M. and Silva, W. (1997), An Empirical Study of Earthquake Source Spectra for California Earthquakes, Bull. Seismol. Soc. Am. 87, 97-113.