

코다파 분석을 통해 유도된 후쿠오카지진 (2005년 3월 20일, Mw 6.6) 및 그 여진의 동역학적 지진원 특성

유승훈¹⁾, 이준기¹⁾, 최호선^{1),2)}, Kevin Mayeda^{3),4)}

¹⁾서울대학교 지구환경과학부, monday7@snu.ac.kr

²⁾한국원자력안전기술원

³⁾Weston Geophysical Corporation, Lexington, Massachusetts, USA

⁴⁾Seismological Laboratory, University of California, Berkeley, California, USA

Coda-derived source parameters of the 2005 west off Fukuoka seismic sequence and their scaling relations

Seung-Hoon Yoo¹⁾, Junkee Rhie¹⁾, Hoseon Choi^{1),2)}, and Kevin Mayeda^{3),4)}

¹⁾School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, Seoul, Korea

²⁾Korea Institute of Nuclear Safety, Daejeon, Korea

³⁾Weston Geophysical Corporation, Lexington, Massachusetts, USA

⁴⁾Seismological Laboratory, University of California, Berkeley, California, USA

지진이 발생하는 과정에서 단층면에서 일어나는 일련의 동역학적 현상을 이해하는 일은 학문적으로 매우 중요할 뿐만 아니라, 이는 향후 발생 가능한 강진에 의한 방출 에너지를 가늠할 수 있게 해주는 중요한 단서를 제공하기 때문에 지진 방재적 측면에서도 그 가치가 크다고 할 수 있다. 이러한 단층 운동의 동역학적 특성을 보다 잘 이해하기 위해서는 지진에 의해 방출되는 에너지 및 그에 따른 응력 강하량 등의 동역학적 지진원 요소를 정확하게 결정하는 것이 필수적이다. 지금까지 선행되었던 대부분의 지진원 연구들은 이와 같은 동역학적 지진원 요소 결정에 있어서 지각 내의 속도 및 감쇄 구조, 지진원 방사 패턴 등에 매우 민감한 지진의 직접파 즉, P파나 S파를 주로 사용하였다. 따라서 이들 방법들은 이 다양한 효과들을 정확하게 고려하여 제거하지 못할 경우 자칫 잘못된 결과를 도출할 수 있는 문제를 가지고 있다.

본 연구에서는 지진의 직접파 또는 표면파가 불균질한 지구 매질 내에서 산란되어 발생하는 코다파를 이용하여 지진원 요소를 결정하는 방법을 사용하였다. 지각 내에서 거의 균일하게 산란된 코다파에서는 직접파에 비해 전파에 의한 효과나 지진원 방사 패턴에 의한 효과가 크게 줄어들게 된다. 이러한 코다파를 지진원 요소를 결정하는데 사용하면 우리가 미처 고려하지 못하는 수준의 전파 효과나 지진원 방사 효과로부터 보다 자유로워 질 수 있어 지진원 요소를 보다 정확하게 결정하는 것이 가능하다.

우리는 2005년 3월 20일 일본 후쿠오카(Fukuoka) 인근 해상에서 발생한 규모 6.6의 지진과 규모 3.4에서 5.4 사이의 19개의 여진들의 코다파를 이용하여 이 지진들의 동역학적 지진원 요소들을 결정하였다. 지진원 동역학적 특성 이외의 효과인, 전파 효과, 지진원 방사 패턴에 의한 효과 등을 효과적으로 제거하기 위해 엄격한 제약을 두고 자료를 선택하였다. 기본적으로 coda source spectrum method를 사용하였고, 도출된 결과를 검증할 목적으로

전파 효과와 부지 효과에 독립적인 coda spectral ratio method를 추가적으로 사용하였다. 이처럼 전파 효과와 부지 효과에 대해 서로 독립적인 두 가지 방법을 적용, 이들 결과를 비교 분석함으로써 그 동안 선행되었던 많은 연구들에서 논란이 되었던 이들 효과에 의한 왜곡을 거의 완벽하게 제거하여 보다 정밀한 방출 에너지를 계산해 낼 수 있었다.

대상 지진의 단층운동의 동역학적 특성을 파악하기 위해 대표적인 동역학적 지진원 요소인 지진원 스펙트럼의 corner frequency f_c 와 scaled energy의 지진 규모에 따른 변화를 관찰하였다. 이때, 지진 모멘트 M_0 에 대한 방출 에너지의 비로 표현되는 scaled energy는 지진이 지진파 형태로 얼마나 효율적으로 에너지를 방출하는 가를 나타내는 값으로 실제 단층 운동의 동역학적 특성이 자기유사성을 따를 경우, 이 물리량은 지진의 규모와는 상관없이 일정한 값을 갖게 된다.

두 지진원 요소를 통해 도출된 지진원의 동역학적 특성 관계에서 흥미로운 사실을 확인 할 수 있었다. 먼저, 연구에 사용된 지진들의 규모에 따른 corner frequency의 관계가 일반적으로 $M_0 \sim f_c^{-3}$ 의 관계식으로 대변되는 동역학적 자기유사성(self-similarity)을 뚜렷이 벗어나, $M_0 \sim f_c^{-3.66 \pm 0.05}$ 의 관계를 따르는 것을 알 수 있었다. 또한, scaled energy에서는 모멘트 규모 4.0 - 5.0 사이의 지진들에서 이 값이 선형적으로 증가하는 현상이 관측되었는데, 이는 그 이외의 범위의 지진들에 대한 scaled energy 값이 다소 일정하게 나타나는 것과는 큰 차이를 보여준다. 이는 이 규모 범위 내에서 지진의 규모가 증가함에 따라 지진이 보다 효율적으로 에너지를 방출하는 것을 의미한다. 또한 이러한 결과는 규모 5.0 이상의 큰 지진과 4.0 이하의 작은 지진의 단층 파쇄의 동적 특성이 명확하게 다르다는 것을 보여주는 것이며, 규모에 따른 동적 특성의 차이를 만들어내는 변화가 모멘트 규모 4.0과 5.0 사이에서 점진적으로 일어난다는 것을 의미한다.

우리는 후쿠오카지진과 그 여진들의 코다파 분석을 통해 지금까지 지진학 전반에 걸쳐 널리 받아들여지고 있는 지진원의 동역학적 자기 유사 관계를 벗어나는 명확한 증거를 찾았다. 이러한 우리의 관측 결과를 설명하기 위해서는 단층 운동의 규모에 따라 단층면 사이의 운동 마찰력의 변화를 야기할 수 있는 새로운 동역학적 단층 모델이 필요할 것으로 생각된다.