

Surface Microseismic Monitoring of Hydraulic Fracturing of a Shale-Gas Reservoir Using Short-Period and Broadband Seismic Sensors

Xiangfang Zeng, Haijiang Zheng, Xin Zhang, Hua Wang, Yingsheng Zhang, and Qiang Liu

Seismological Research Letters, V85, P668, 2014

Date: 2014/10/22

Summarized by Sungwon Cho

미소지진의 관측은 수압파쇄에 의한 균열 망의 범위와 잠재적 유발지진의 위험성을 평가하는 데 있어 중요한 역할을 하고 있다. 이 논문에서는 중국 남서부의 셰일 가스층의 다단계 수압 파쇄에 의한 미소지진을 지표에서 관측하였다. 300m 두께의 셰일 가스층에서 총 1400m 길이의 수평 관정을 통해 21 단계의 파쇄가 이뤄졌으며 27개의 단주기 지진계와 18개의 광대역 지진계로 관측하였다.

자료의 특성 함수의 STA/LTA를 이용하여 지진 이벤트를 감지하였으며, 1~60Hz의 밴드패스 필터를 적용한 결과 700개 이상의 이벤트를 감지하였다. Migration 기반 위치 측정법을 이용하여 위치를 결정하였으며 파형이 상쇄되는 것을 막기 위하여 파형의 포락선을 계산하여 stacking 하였다. 격자의 각 지점에서 관측소까지의 시간은 eikonal 방정식을 이용한 유한차분법으로 계산하였다. 감지된 이벤트 중 3차원 격자에서 목적함수의 분산이 큰 경우만을 실제 이벤트로 분류하였으며 SNR이 큰 이벤트는 직접 초동을 측정하여 Double-difference 방법으로 다시 위치를 잡았다.

수압파쇄 단계에 따라 지진의 위치는 남쪽에서 북쪽으로 이동하였으며 관정 근처에서 나타나는 그룹 I와 500m 동쪽에서 나타나는 그룹 II로 나뉘어졌다. 처음 9 단계에서는 주로 그룹 I의 지진이 일어났으며 그룹 II는 북동-남서의 60°선을 따라 일부 발생하였다. 10 단계에서 관정에 수직인 방향으로 지진이 무리지어 발생하였으며 16 단계까지 그룹 II의 주류를 이루었다. 16단계 이후로는 감지된 지진이 이전보다 적었다.

지진의 focal mechanism을 계산하기 위해 Hardebeck and Shearer (2002)의 HASH 방법

을 사용하였다. 그룹 I과 그룹 II의 focal mechanism은 큰 차이가 없었으며 압축 P파의 방향은 구조적 응력 방향과 일치하였다. 단층면은 명확하지 않았으나 북동-북동쪽과 동북동 방향에 주로 나타났으며 대부분의 유발지진이 자연 단층면을 따라 발생한 것으로 보인다.

관정을 따라 발생하는 대부분의 지진은 응력과 공극압 변동에 의한 지진으로 보이나 1.5km 떨어진 지역에서 발생한 두 지진은 유체가 단층면을 따라 급속히 이동하여 발생하였거나 응력의 변화에 의해 유발되었을 가능성이 있다. 10단계의 지진들은 이미 존재 하던 단층면이 재활성화되어 발생한 것으로 보이며, 11에서 16단계에서는 10단계로 형성된 통로를 따라 유체가 이동하여 공극압을 증가시켜 지진을 일으켰을 수 있다.