

Characterization of an Earthquake Sequence Triggered by Hydraulic Fracturing in Harrison County, Ohio

Paul A. Friberg, Glenda M. Besana-Ostman, and Ilya Dricker

SRL, V. 85, pp. 1-13, 2014

Date: 2014/11/27

Summarized by Sang-Hyun Lee

치밀한 셰일 층에서 석유나 가스를 생산하기 위하여 파쇄 확장을 유도하고 투수율을 높이기 위해서 수압 파쇄를 이용하는 데, 이 때 M_w -3.0 – 0.0의 미소지진이 발생한다. 또한 M_L 2.0 – 4.0의 큰 지진도 수압 파쇄에 의해 유발된 것으로 일부에서 보고된 바 있다.

역사적으로도, 계기 관측으로도 지진이 보고되지 않았던 지역인 Ohio의 Uhrichsville 근처의 Harrison County의 Clendening Lake 남쪽에서 2013년 10월 2일에 두 개의 M_w 2.0 지진을 포함한 6 개의 지진이 관측되었다. 그리고 그 다음날부터 19일까지 M_w 1.7 – 2.2인 4 개의 지진이 발생했다. 가장 가까운 TA.O53A 관측소에서 이들 지진은 매우 비슷한 파형을 보이며, 이는 이들 지진이 같은 소스를 공유하고 있음을 시사한다. HypoDD를 통해 재결정된 진원 위치는 3.8-4.0 km 깊이에 EW 방향의 선형으로 군집되어 나타난다. O53A에서 후방위각 분석을 통해 얻은 지진의 위치는 HypoDD의 결과와 다르게 Ryser 갱정을 가르키는 데, 이 차이는 속도 구조 모델과 관측소 보정값에 의한 오차에 의한 것으로 해석된다.

O53A 관측소에 대해서 template event cross-correlation signal detection technique을 사용하여 2012년 12월 13일부터 2013년 12월 31일까지의 미소지진을 찾아보았다. 10월 2일 10시 6분에 발생한 M_w 2.0의 지진에서 P파와 S파의 파형을 포함하는 5 s 길이의 파형(1.0 ~ 5.0 Hz, 10% tapering)을 템플릿으로 사용하였다. 한달 간의 관측 자료를 분석한 결과 9월 7일 06시를 시작으로 298 개의 이벤트가 검출되었으며, 10월 1일 08시부터 발생 빈도가 매우 커졌으며 10월 2일 하루동안 120개의 이벤트가 발생하였다. 9월 7일 이전에는 어떠한 이벤트도 검출되지 않았으며, 2013년 12월 13일을 마지막으로 지진은 더 이상 관측되지 않았다. 검출된 지진들의 b 값은 0.88 ± 0.08 로 결정되었으며, 이는 기존의 단층이 수압 파쇄에 의해 활성화된 것으로 해석된다.

깊이 ~2422 m에서 약 1.5 km 길이의 서로 평행한 Ryser-2, 3, 4 갱정에서 2013년 9월에서 2013년 10월까지 24,500, 29,500, 30,175 m^3 의 물이 1000 – 4000 BBL/hour로 주입되며 수압 파쇄 작업이 수행되었다. 주입이 시작된지 26 시간 후에 규모가 양수인 지진이 처음으로 발생하였다. 수압 파쇄 작업이 시작되고 끝나는 기간 동안, 지진 발생 빈도도 증가하다가 소멸되었다.

2013년 10월 30일에 진원 근처에 설치된 4 개의 포터블 단주기 지진계에서 템플릿을 사용하여 M_w -0.8 – 0.7의 총 30개의 지진이 관측되었다. 진원의 위치는 갱정 직하의 2.9 – 3.4 km의

깊이에서 N92° 주향의 거의 수직에 가까운 면 상에 분포하고 있다. P파의 초동을 이용하여 구한 포컬 메커니즘은 좌수향 주향 이동 단층을 보여주며, EW 방향의 단층면은 진원의 분포와 일치한다. 또한 시간에 따라 지진의 발생 위치가 깊어지고 갱정으로부터 멀어지는데, 이는 시간에 따른 공극압의 전파 양상을 지시하고 있다.

수압 파쇄 작업과 지진 발생간의 시공간적 연관도와 파형들의 유사성을 고려했을 때, 2013년에 이 지역에서 발생한 지진들은 Ryser 갱정에서 수행된 수압 파쇄에 의해 유발된 지진으로 해석된다.