

Spatial and temporal evolution of a microseismic swarm induced by water injection in the Arkema-Vauvertsalt field (southern France)

Maxime Godano, Thomas Bardainne, Marc Regnier, Anne Deschamps and Marc Valette

Geophysical Journal International, V188, P274-292, 2012

Date: 2014/12/11

Summarized by Sungwon Cho

미소지진을 관측하기 위해 관정에 지진계를 설치하는 것은 관정의 형태나 설치 비용에 의해 많은 제약이 따른다. 이 논문에서는 Arkema-Vauvert salt field의 두 관정에 설치된 두 개의 삼성분 지진계로 미소지진을 관측하고 얻을 수 있는 정보와 한계를 알아보았다. Arkema-Vauvert 소금 층은 1900~2800m 깊이의 세 series로 구성되어 있으며 Arkema Company에서 주입정과 생산정 사이에 담수를 순환시켜 소금을 생산하였다. PA7 관정과 PA9 관정에 각각 1400m, 1800m 깊이에 M0와 M1 센서가 있으며 1992년부터 2007년 말까지 125000회 이상의 지진이 관측되었다.

PA22-PA23 관정을 이용한 염수 생산은 2003년 시작되었으며 이 논문에서는 2004년 1월에서 2005년 9월까지의 지진자료를 이용하였다. 이 기간은 D2 단층 아래에서 지진이 발생하던 1기, D2 단층 주위에서 많은 지진이 발생한 짧은 2기, 그리고 2기 이후의 3기로 구분되었으며 총 1214개 지진의 위치가 확인되었다. 지진 파형을 P, Sv, Sh로 나눴을 때 M1에서는 횡파분리가 나타났으며 지진군과 M1 사이에 더 높은 밀도의 균열이 있음을 의미한다. 무작위로 선정된 800개의 지진 중 638개 지진의 횡파분리를 보정하여 진원 특성을 해석할 수 있었다.

해상도 테스트를 위해 우선 5개의 45도 주향의 double-couple 진원에 대한 합성 파형을 역산하였다. 한 경우를 제외하면 진원 특성의 유형은 동일하게 구해졌으나 불확실성은 구해진 값과 예상 값의 차이보다 전체적으로 컸다. 두 번째로 다양한 방위각의 지진에 대한 역산으로 1056개의 합성파형에 대해 계산하였다. 역산 중 74%에서 진원 유형이 맞

았으며 주향 이동 단층과 경사 이동 단층에서 단층면 해가 특히 잘 구해졌다. 그러나 주향이나 면선각의 오차가 크게 나타났으며 경사가 가장 잘 구해지는 것으로 나타났다.

실제 638개의 지진에 대해서도 진원 특성을 계산하였으며 532개의 지진에서 지진 특성을 구할 수 있었다. 여기서도 마찬가지로 경사가 주향과 면선각보다 더 잘 구해졌다. 1기의 지진은 하부 allochthonous통에서 발생한 N-S나 NE-SW의 nodal 면을 갖는 쓰러스트-주향 이동 단층이 주를 이뤘으며 경사 이동 단층도 D2 단층면 가까이 얽은 곳에서 많이 나타났다. 2기에는 D2 단층면 주위에서 발생한 다른 방향의 쓰러스트 단층이 주를 이뤘다. 마지막 3기는 D2 단층면 깊이에서 발생한 NE-SW나 NW-SE의 nodal 면을 갖는 쓰러스트-경사 이동 단층이 주를 이뤘으며 지진군 바닥에서의 정단층 또는 정-주향 이동 단층 지진과 지진군 상부에서의 주향이동 단층이 발생하였다.

Arkema-Vauvert salt field에서는 두 관정 사이에서 응력 단층활동에 의한 지진이 주를 이뤘으며 공동의 붕괴에 의한 Tremor 형태의 지진이 없어 물의 순환에 의해 지진이 유발되었다고 볼 수 있다. 지진이 일어난 면은 D2 단층면 또는 암염층과 불용성 암석 사이의 S 층리면일 수 있다. D2면이 지진이 발생한 면일 경우 P1 subvertical nodal 면과 일치하지만 하부 allochthonous 암염층의 지진은 설명하지 못하는 반면 S면은 P2 sub-horizontal nodal 면과 일치하며 D2와 하부 allochthonous 암염층의 지진을 설명할 수 있다.