

Monitoring increases in fracture connectivity during hydraulic stimulations from temporal variations in shear wave splitting polarization

Alan F. Baird, J.-Michael Kendall, James P. Verdon, Andreas Wuestefeld, Todd E. Noble, Yongyi Li, Martin Dutko and Quentin J. Fisher

Science, V345, P448-451, 2014

Geophysical Journal International, V195, P1120-1131, 2013

Date: 2014/11/21

Summarized by Hobin Lim

지하에서 유체 상태의 자원을 추출하는 방법은 전통적인(conventional) 방식과 비전통적(Unconventional)인 방식으로 크게 구분된다. 비전통적인 방법의 자원 추출은, 기존의 전통적인 방식에서는 유체의 매질에 대한 투수성(permeability)이 매우 낮아 자원을 추출하기 어려웠던 지역을 대상으로 삼는다. 투수성이 낮은 지하 암질의 투수성을 높여서 유체, 즉 자원을 추출하기 용이하게 만드는 방법중의 대표적인 것은 수압 파쇄(hydraulic stimulation) 기법이다. 이것은 지하에 유체를 주입하여 stress를 가하여, 인위적인 fracture를 만들어 투수성을 높이는 방법이다. 수압파쇄에 의해 발생한 fracture는 주입 방향을 따라 정렬하는 경향이 있으며, 이로 말미암아 매질의 비등방적 성질이 변한다. Baird et al, 2013에서는 북미지역에서 (구체적인 장소는 밝히지 않았음) tight-gas sandstone에 대하여 수압 파쇄가 이루어 졌던 지역에 대하여, 시간에 따른 fracture의 상태를 S파 스플리팅(S-wave splitting) 방법론을 이용하여 추론한다.

Baird et al, 2013에서는 Wuestefeld *et al.*, 2010에서 제시한 S파 스플리팅 방법을 연구에 적용하였다. 이 방법은 매우 많은 지진파 자료에 대해서 자동적으로 분석을 수행하며, 자료의 질을 매우 등방적(-1), 판단불능(0), 그리고 매우 비등방적(1)으로 분류하여 계산의 정확도를 높인다. S파 스플리팅의 방법으로는 S파가 가장 빠른 방향(ψ)과 비등방성의 정도(δt)가 계산된다. 계산된 결과를 바탕으로 Orthorhombic 비등방성을 가정하고 fracture의 방향과 분포를 역산을 통해 계산했다. S파 스플리팅 분석과는 별개로 시추공(borehole)에서 측정된 시추공 붕괴 방향 자료를 사용하였다. 시추공 탐사는 수압 파쇄 이전에 수행되었기 때문에, 본래 자연적으로 존재하던 fracture의 방향과 분포를 추론할 수 있는 자료가 된다. 수압파쇄 단계는 1stage 부터 5stage까지 시간간격(2-5일)을 두고 단계별로 진행되었다. 2-5stage에 대한 S파 스플리팅 결과에서는 시간에 따른 변화가 미미하였다. 따라서, 시간 구간을 수압 파쇄 전, 1stage, 그리고 2-5stage로 구분하였고, 연구 지역의 수압 파쇄에 의해 인위적으로 생성된 fracture의 방향과 분포의 시간에 따른 변화를 분석하였다.

1stage에서 S파 스플리팅 결과를 역산하여 얻은 fracture의 strike는 20°-30°를 향한다. 2-5stage에서는 fracture의 strike는 50°-70°를 향한다. 2-5stage fracture의 strike는 수압 파쇄 이전에 측정된 시추공 붕괴 방향(45°-50°)과 상응하는 결과이다. 시추공 붕괴 방향은 수평적으로 가해지는 스트레스가 최대가 되는 방향을 가리킨다. Baird et al, 2013에서는 다음과 같이 위 S파 스플리팅의 역산 결과를 해석한다. 수압 파쇄 이전에 스트레스가 최대가 되는 방향은 45°-50°이다. 수압 파쇄 전에 자연적으로 존재하던 fracture의 strike는 20°-30°를 갖는 것이 많이 존재한다. Stage1에서 S파 스플리팅 결과의 역산을 통해 계산한 fracture의 strike (20°-30°)는 자연적으로 존재하던 fracture를 sampling한 것이다. Stage1에서 인위적으로 발생하는 fracture의 strike는 수평 압력이 최대가 되는 방향인 45°-50°이지만, 그 수가 충분히 많지 않기 때문에 S파 스플리팅 계산 결과에는 sampling 되지 않았다. 2-5stage에서는 인위적으로 발생한 fracture의 수가 충분히 많이 발생하고, 이것이 S파 스플리팅의 계산 결과에 큰 영향을 끼쳤다.

마지막으로, Baird et al, 2013에서 명확히 해석하지 못한 관측 결과가 있다. 1stage에서는 수압 파쇄에 의한 미소 지진의 위치에 따라 fracture의 strike가 구분된다. Strike가 20°-30°를 향하는 그룹(위에서 언급) 바로 옆에 strike가 130°를 향하는 그룹이 존재한다. Baird et al, 2013은 수직, 수평 컴파일런스(compliance)의 비율, fracture간의 연결성, 그리고 fracture속의 유체 함량이 130°를 향하는 fracture를 설명할 가능성이 있다고 설명한다. 수압 파쇄 전부터 존재하던 fracture는 그 속이 꽉 찬 상태로 존재하지만, 새롭게 생겨난 fracture는 대부분 비어있다. 또한, 수압 파쇄의 목적은 투수율을 높이는 것이기 때문에, 새롭게 생겨난 fracture가 닫히지 않기 위해서 물질(proppant)을 투입한다. 이와 같이, 이미 존재하던 fracture와 인위적으로 발생한 fracture는 성질이 다르다. 이것이 수직, 수평 컴파일런스 비율을 상이하게 만들며, 위의 관측 결과를 설명할 수 있다고 말한다.