

## Linking microseismic event observations with geomechanical models to minimize the risks of storing CO<sub>2</sub> in geological formations

J.P. Verdon, J.-M. Kendall, D.J. White, and D.A. Angus

Earth and Planetary Science Letters, 305, P143-152, 2011

Date: 2014/12/05

Summarized by Hobin Lim

---

이산화탄소를 지하에 저장하는 방법은 온실가스 감축을 위한 주요 방법으로 여겨진다. 따라서, 지하에 주입한 이산화탄소를 다시 빠져 나오지 않도록 하는 조건이 무엇인지 아는 것은 중요하다. 주입된 이산화탄소는 지하의 공극압력과 응력분포에 영향을 끼치기 때문에, 미소지진이나 새로운 fractures을 만들어 내는 것으로 알려져 있다. Fracture는 이산화탄소의 통로가 되기 때문에, fracture가 많으면 이산화탄소가 다시 빠져나올 가능성이 높다. 이산화탄소 주입 지역을 모니터링 하기 위한 방법으로는 InSAR를 이용한 미세한 지표 변화 관측, 시공간적 지진파 관측 변화 관측, 그리고 미소 지진 활동을 이용하여 이루어 지고 있다.

Verdon et al., 2011에서는 캐나다 Weyburn 지역의 미소지진의 위치와 비등방성 특성의 이상(anomaly)이 발생하는 이유를 수치 모델링을 이용하여 밝힌다. Weyburn 지역은 과거에 oil production이 있었고, 이후에 감소한 생산량을 회복시키기 위해, CO<sub>2</sub>를 주입하여 스트레스를 높인 지역이다. 우선 Weyburn 지역의 P파와 S파 속력을 구하기 위하여, 측정 실험을 수행하였다. 이를 바탕으로 수직하게 1181-1356 m 깊이 사이에 설치된 8개의 Geophones를 이용하여 미소지진의 위치를 구한다. 지진의 발생 방향은 P파의 particle motion analysis를 이용하여 구한다. 그리고 P파-S파 도달 시간 차이를 이용하여 미소 지진의 발생 거리를 계산한다. 얻은 지진 위치를 이용하여 S-wave splitting을 측정하고, Weyburn 지역의 지진파 비등방적 특성을 구했다.

미소지진의 위치는 CO<sub>2</sub>주입이 이루어지는 injector보다는 oil 생산이 이루어지는 producer에서 더 많이 발생했다. 또한, reservoir 층 보다는 그 위의 overburden 층에서 더 많이 발생하는 양상을 띄었다. 또한, S파 스플리팅 결과에 따르면 수직으로 입사하는 S파에 대해서 북서 방향으로 편향된 S파가 가장 빠른 것으로 보인다. 미소 지진의 위치가 inducer보다는 producer에서 더 많이 발생하는 것은 기존의 생

각과는 다른 결과이다. 또한, S파의 fast axis orientation도 producing well 방향 (북동) 과 평행할 것으로 예상했으나, 반대로 수직인 양상을 보인다.

이와 같이 기대했던 미소 지진의 위치와 S파 orientation과 실제 관측된 그것의 차이점을 설명하기 위하여 Weyburn 지역의 oil producing 과정과 injection 과정을 수치모델링 하였다. 수치 모델링에 필요한 매질의 물리적 성질(porosity, Young's modulus, permeability, density, 그리고 Poisson's ratio)는 코어 샘플에서 측정한 것을 기반으로 하였다. 수치 모델링의 element (50 m) 사이즈는 미소지진의 rupture (수 미터) 스케일 보다 훨씬 더 크게 설정되어 있기 때문에, 직접 미소 지진 자체를 모델링 하진 못했다. 따라서, 스트레스 성분으로 fracture potential을 정의하여 미소 지진이 발생할 가능성이 높은 지역을 모델링 결과에서 추론하였다. 코어 샘플에서 측정한 데이터를 기반으로 하였을 때, 모델링 결과의 fracture potential (정확히는 fracture potential 의 변화량)이 높은 지역(reservoir)과 실제로 미소 지진이 많이 발생한 곳(overburden)은 일치 하지 않았다. 또한, 비등방성의 orientation도 차이를 보였다.

위의 불일치를 Verdon et al., 2011에서는 코어 샘플이 측정하는 매질의 특성과 지진학적으로 관측하는 매질 특성의 스케일이 다르기 때문일 것이라고 설명한다. Verdon et al., 2011는 reservoir의 Young's modulus를 코어 샘플에서 측정한 것 (14 GPa) 보다 훨씬 더 줄였을 때 (0.5 GPa), 모델링 결과가 실제 관측된 것과 비슷한 양상을 띄는 것을 확인하였다. Young's modulus가 작다는 것은 매질이 더 무르고 deformation이 크다는 것을 의미한다. Reservoir의 deformation이 크기 때문에, 그 상부에 overburden 층을 밀어 올리는 경향을 보인다. 따라서, stress가 reservoir에서 overburden으로 전이되어, overburden에 미소지진이 많이 발생하게 된다.