

회수증진을 위한 **microseismic monitoring** 기법 연구

김명선¹⁾, 변중무¹⁾, 설순지¹⁾

Study on microseismic monitoring method for enhanced oil recovery(EOR)

Myungsun Kim¹⁾, Joongmu Byun¹⁾, Soon Jee Seol¹⁾

1. 서론

근래의 석유산업에서는 저류층 거동 파악을 위해 지오폰과 같은 센서들을 영구적으로 설치하여 모니터링 하는 기술을 일반적으로 적용한다. 저류층 주변의 응력 및 저류층내의 변화를 영상화하기 위하여 여러 가지 모니터링 방법이 사용되고 있으며, 그 중 microseismic을 이용한 모니터링 방법은 유·가스 회수증진을 위한 수압파쇄 및 CO₂등의 유체 주입시 시추공 주변에서 응력변화에 의해 발생하는 작은 규모의 미세지진을 기록하여 발생한 균열대의 위치와 방향에 대한 정보 및 유체 이동 상황에 대한 정보를 분석한다(Maxwell and Urbancic, 2001). 이 연구에서는 지진의 진원을 찾는 프로그램인 Simulps14 프로그램을 microseismic 모니터링에 맞게 개선하고 합성탄성파자료를 이용하여 그 적용성을 검토하였다. 또한 low frequency spectral과 corner 주파수를 이용하여 microseismic 송신원의 강도와 특성을 분석하는 알고리즘을 개발하였다.

2. Microseismic의 위치 결정

Microseismic 이벤트가 발생하는 지역의 속도정보를 알고 있고, 여러 관측점에서 측정된 이벤트들의 P파의 직접파 도달시간이나, S파의 직접파 도달시간에서 P파의 직접파도달시간을 빼준 시간을 이용하면 microseismic이 발생한 위치를 역산 방법을 이용하여 결정할 수 있다. 이벤트의 도달시간을 구하기 위한 파선 추적으로는 Pseudo bending theory를(Um and Thurber, 1987) 사용하였으며, 이벤트

1) 한양대학교 자원환경공학과, ksunny00@hanyang.ac.kr

Department of Natural Resources and Environmental Engineering, Hanyang University

의 발생위치를 구하기 위한 역산방법으로는 SVD를 이용한 감쇠최소자승역산 방법을 사용하였다. 개선된 알고리즘의 microseismic 모니터링에 대한 적용성을 검토하기 위하여 수치모형모델을 Fig. 1과 같이 설정하였으며, 3개의 관측점에서 모니터링을 수행한 자료를 생성하였다. 일반적으로 microseismic 이벤트가 발생할 때 발생시간을 모르기 때문에 P파만 사용하였을 때는 이벤트의 위치뿐만 아니라 발생시간도 변수가 되지만, S파와 P파의 도달시간 차를 이용할 경우는 이벤트의 위치좌표만이 변수가 되므로 P파만을 이용하여 진원을 구하였을 때 보다 정확한 진원의 위치를 구할 수 있다.

Fig. 2는 P파의 도달시간만을 이용하여 진원을 구했을 때와 S파와 P파 도달시간의 차를 이용하여 진원을 구했을 때의 차이를 비교한 것이다. 별모양으로 표기된 것이 연속적으로 발생한 3개의 진원을 나타내고 있다. 네모로 표기된 것이 P파의 도달시간만을 이용하여 구한 최종 위치이며, 동그라미로 표기된 것이 S파와 P파의 도달시간 차를 이용하여 구한 최종 위치이다. P파만을 사용하였을 때 최대 7 m까지 오차를 보였지만, S파와 P파의 도달시간의 차를 사용하였을 때는 최대 3 m의 오차를 보였다(Table 1). Fig. 2와 같이 발생하는 이벤트들을 3차원으로 도시함으로써 균열이 어떤 방향으로 자라고 있는지 알 수 있다.

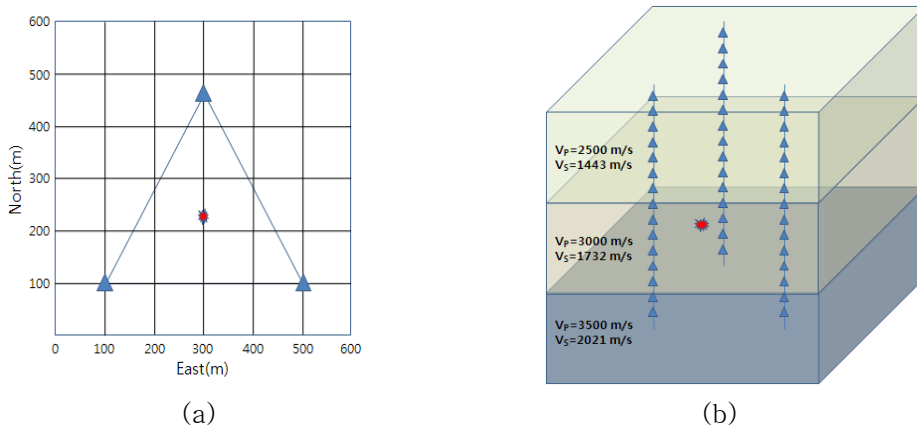


Fig. 1. (a) Plan view of the location of the injection well and the monitoring wells.
(b) 3D view of the velocity model and the geometry used to create synthetic seismograms.

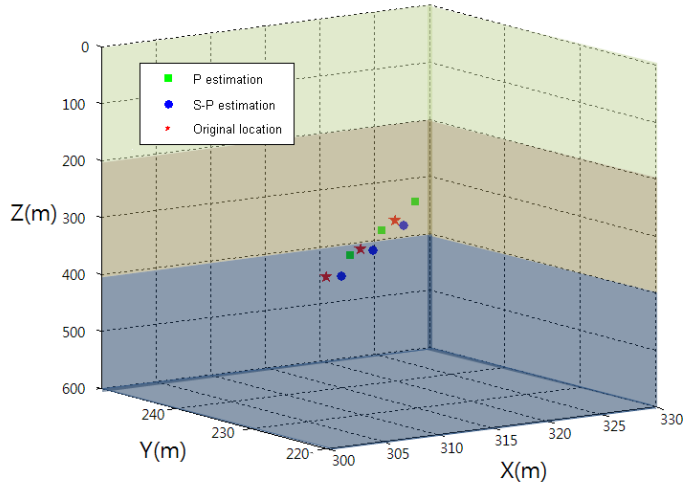


Fig. 2. 3D view of the microseismic locations and the hypocenters estimated using P-wave only, and the difference of P- and S-wave arrival times.

Table 1. Coordinates of original location, P estimation and S-P estimation.

Original location	P estimation	S-P estimation
(300, 220, 300)	(307, 227, 303)	(302, 221, 303)
(310, 230, 310)	(316, 236, 312)	(311, 230, 313)
(320, 240, 320)	(326, 246, 321)	(320, 239, 322)

3. Microseismic 송신원의 특성분석

Microseismic 송신원의 특성으로는 강도를 나타내는 seismic moment와 moment magnitude가 있고, 송신변수들이라고 불리는 탄성과 에너지, 송신원 반지름, 응력변화 등이 있다. 이중 seismic moment는 지진의 크기를 가장 잘 나타내는 매개변수이며, 강성률과 균열의 면적 그리고 평균변위의 곱으로 표현된다. 이러한 seismic moment는 일반적으로 탄성파기록이나 주파수 분석을 통한 방법을 통하여 구할 수 있다. Moment magnitude가 0 이하일때가 microseismic이며 값이 작아질수록 강도가 약하다. 모니터링한 이벤트들의 moment magnitude를 관측정보로부터 거리에 따라 도시함으로써 microseismic의 측정 가능범위를 파악할 수 있으며, 확장된 균열의 구조를 알 수 있다. 또한 송신변수들이라고 하는 여러 탄성과 특성들을 통해 발진기구를 알 수 있으며, slip의 형태나, 변위, 면적 등을 예측 할 수 있다(Kwiatek et al., 2008).

앞서 시행한 동일한 수치모형모델에 송신원의 진폭 값을 조정하여, 각각 다른 크기를 갖는 송신원 S1, S2, S3로 합성탄성파자료를 생성하였다. S1과 S2는 진폭이 약 20배정도 차이이고 S1과 S3는 약 40배 정도의 진폭 차이를 주었다. Seismic moment와 moment magnitude 및 송신변수들을 계산하기 위해 Snoke's integral J(Snoke, 1987)와 spectral parameter K(Andrews, 1986)를 이용하여 low frequency spectral과 coner 주파수를 구하였다. 그 결과 송신원의 크기가 가장 작았던 S1에서 강도가 가장 작게 나오고 S3이 가장 큰 강도와 seismic moment 및 에너지를 나타내었다. 약 40배 정도의 진폭차이가 날 때 moment magnitude가 약 1정도 차이나는 것을 확인할 수 있다.

Table 2. Source parameters of seismic events.

Events	Source Coordinate (X, Y, Z)	Seismic Moment [Nm]	Moment Magnitude	Energy [J]
S1	(300, 220, 300)	7.72E+04	-2.7	4.58E-05
S2	(310, 230, 310)	1.62E+06	-1.9	2.02E-02
S3	(320, 240, 320)	3.40E+06	-1.6	8.86E-02

4. 결론

Microseismic 이벤트가 발생할 때 위치를 결정하기 위해 P파의 도달시간만을 사용하였을 경우와, S파와 P파 도달시간의 차를 이용하였을 때를 비교한 결과, S-P파 시간을 사용하였을 때 더욱 정밀하게 진원을 찾을 수 있었다. 하지만 연속된 이벤트들이 기록되므로 근접한 시간에 이벤트들이 발생할 때 초동발체 오차들로 인하여 진원을 찾을 때 위치오차가 발생할 수 있다. 합성탄성파자료로부터 얻은 microseismic 이벤트들의 특성분석을 통하여 seismic moment 및 강도, 송신변수들을 구하여 모니터링시 발생한 균열의 분석 자료로 활용할 수 있다.

5. 사사

이 연구는 2008년도 에너지관리공단에서 시행한 ‘시추공 물리탐사를 이용한 비재래 유전의 특성화 및 모니터링 기술 개발’ 과제의 일환으로 수행되었습니다. 이에 감사를 드립니다.

6. 참고문헌

- Andrews, D.J., 1986, Objective determination of source parameters and similarity of earthquakes at different size. In: Das, S., Boatwright, J., Scholz, C.H. (Eds.), Earthquake Source Mechanics, Proceedings of the 5th Maurice Ewing Symposium. American Geophysical Union, Washington, DC, pp. 259-267.
- Kwiatek, G., Bohnhoff, M., Dresen, G., Schulze, A., Schulte, T., Zimmermann, G., Huenges, E., 2008, Microseismic event analysis in conjunction with stimulation treatments at the geothermal research well GtGrSk4/05 in Groß Schönebeck/Germany. 33rd Stanford Workshop on Geothermal Reservoir Engineering (Stanford, USA 2008), CD-ROM.
- Maxwell, S.C. and Urbancic, T.I. 2001, The role of passive microseismic monitoring in the instrumented oil field. The Leading Edge. Vol. 20. pp. 636-639. Society of Exploration Geophysicists. Tulsa, OK, U.S.A.
- Snoke J. A., 1987, Stable determination of (Brune) stress drops. Bull. Seism. Soc. Am. 77 (1987), pp. 530-538.
- Um, J. and C. Thurber, 1987, A fast algorithm for two point seismic ray tracing, Bull. Seism. Soc. Am., 77, pp. 972-986.