

이산화탄소 지중저장을 위한 실내 모사실험 장치 개발

박삼규, 조성준

한국지질자원연구원 지반안전연구부, samgyu@kigam.re.kr

Development of Experimental Apparatus for Carbon Dioxide Geological Storage

Samgyu Park, Seung Jun Cho

Geotechnical Engineering Div., KIGAM

요약 : 선진국에서는 온실가스 감축을 위한 이산화탄소 지중저장에 대하여 다양한 연구가 진행되고 있으며, 또한 염수대수층을 대상으로 파일럿 사이트를 운영하고 있다. 이산화탄소 지중저장에 있어서 모니터링 기술로 탄성과 및 전기비저항 토모그래피탐사가 적용되고 있으며, 이산화탄소 주입 전후의 탄성과 및 전기비저항의 변화로부터 주입범위 및 거동 해석을 시도하고 있다. 본 연구는 이러한 모니터링 기술을 개발하기 위하여 고압베셀을 이용하여 압력 및 온도를 제어할 수 있는 실내모사 실험 장치를 개발하고, 다공질 사암에 초임계상태의 이산화탄소를 주입하면서 전기비저항 및 탄성과 속도를 측정할 수 있는 시스템을 구축했다.

주요어 : 이산화탄소, 모니터링 기술, 모사실험장치, 고압베셀

Abstract : Geological storage of carbon dioxide has been studying in advanced countries to reduce greenhouse gases and a pilot site for geological storage is also in operation in the deep saline aquifer. Seismic wave and electrical resistivity tomography methods are applicable to monitoring techniques and they are used to evaluate the distribution range and behavior of the carbon dioxide injected in the porous sandstone formations. This paper describes the construction of an experimental apparatus which consists of a high pressure vessel and a measurement system for geological storage of carbon dioxide. The experiment apparatus will be used to measure seismic velocities and resistivities during the injection of carbon dioxide at the supercritical phase in the porous sandstones.

Keywords : carbon dioxide, monitoring technique, experimental apparatus, high pressure vessel

1. 서론

온실가스 감축을 위한 이산화탄소(CO₂) 지중저장 기술은 이미 1996년부터 미국과 캐나다 그리고 유럽연합을 비롯한 선진국에서 석유 및 천연가스 개발사업과 연계하여 활발히 개발·적용되고 있다. 이는 이산화탄소의 지중저장이 석유 및 천연가스 회수와 석탄층 메탄가스 회수를 증진시키는 부가가치 효과도 가지고 있기 때문이다. 이러한 이유로 이산화탄소 저장 기술 중에서 지중저장 기술이 과학·기술적 측면에서 가장 효과적일 뿐만 아니라 경제·산업적 측면에서도 가장 우수한 기술로 평가받고 있다. 일본 및 독일 등에서는 이산화탄소를 지중에 저장하기 위하여 깊이 750~1,000 m의 다공질 사암으로 구성된 염수대수층에 이산화탄소를 초임계 상태로 주입하는 파일럿 사이트를 운영하고 있으며, 이산화탄소 지중저장에 관한 기술을 축적하고 있다.

이산화탄소 지중저장에 있어서 모니터링 기술로 탄성과 및 전기비저항 토모그래피탐사가 적용되고 있으며, 이산화탄소 주입 전 후에 반복하여 탐사를 수행함으로써 염수대수층에서의 이산화탄소 분포범위 및 거동을 시도하고 있다. 일본의 Nagaoka 사이트에서는 탄성과 토모그래피탐사를 이산화탄소 주입 전과 주입하는 과정에서 반복 탐사를 수행하여 그 결과로부터 염수대수층에서의 이산화탄소 분포범위 및 거동을 해석하고 있다(Saito, et al., 2006). 또한 김희준 등(2005년)은 미국 Lost Hills 유전에서 이산화탄소 주입 전 후에 전자탐사 모니터링을 통해 주입된 이산화탄소가 이동하면서 전기비저항의 증가를 유발하였다는 사실을 보여주고 있다. 이러한 연구사례는 초임계상태의 이산화탄소가 염수대수층에 주입되었을 때 탄성과속도 및 전기비저항의 변화를 가져오기 때문에 이산화탄소 지중저장에 있어서 모니터링 기술로 유용하게 사용되고 있다.

본 논문은 이산화탄소 지중저장에 있어서 주입범위 및 거동, 주입량 평가 등 모니터링 기술을 개발하기 위하여 고압베셀을 이용한 실내모사 실험 장치 구축에 대하여 서술한다. 고압베셀은 최대 30MPa까지 압력을 제어할 수 있으며, 다공질 사암에 초임계상태의 이산화탄소를 주입하면서 전기비저항 및 탄성과 속도를 측정할 수 있는 시스템을 구축하여 지중저장에 핵심기술로 요구되고 있는 모니터링 기술을 개발하고자 한다.

2. 실내 모사실험 장치

이산화탄소의 지중저장은 주로 초임계상태로 대상 지층에 주입하고 있으며, 이 때 주입범위 및 거동, 주입량의 정량적 평가 기술은 매우 중요하다. 이산화탄소는 압력과 온도에 따라서 가스, 액체 및 초임계상태로 상변화가 쉽게 일어난다. 따라서 실내에서 온도와 압력을 제어할 수 있기 때문에 모사실험으로 이산화탄소의 지중저장에 필요한 모니터링 기술을 개발할 수 있다.

Fig. 1은 실내 모사실험 장치의 모식도를 나타내고 있다. 이 장치는 최대 30MPa 까지 허용 압력을 가진 고압베셀과, 압력을 제어할 수 있는 Syringe pump와 이산화탄소를 주입하면서 탄성과 속도 및 전기비저항을 측정할 수 있는 계측 시스템으로 구성되어 있다. 압력베셀은 Fig. 2와 같이 원통형의 철재를 가공하여 제작한 것으로 실험할 때 공시체가 압력베셀 내부에 삽입하게 되어 있으며, 다공질 사암을 이용하여 이산화탄소의 초임계상태를 주입할 경우에는 압력베셀 내부의 봉압이 최대 15MPa까지 걸리게 된다. 이 때 다공질 사암의 공시체에 부착되어 있는 전극 및 측정 센스라인을 밖으로 뽑아내기 위하여 30개의 Rider line hole을 정밀하게 가공하여 특수 제작한 패키징으로 고압에 견딜 수 있도록 고안했다.

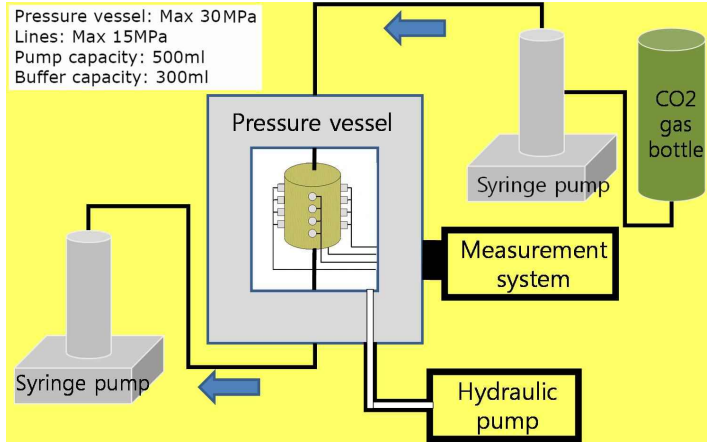


Fig. 1. View of experimental apparatus.



Fig. 2. High pressure vessel.



Fig. 3. Syringe pump.

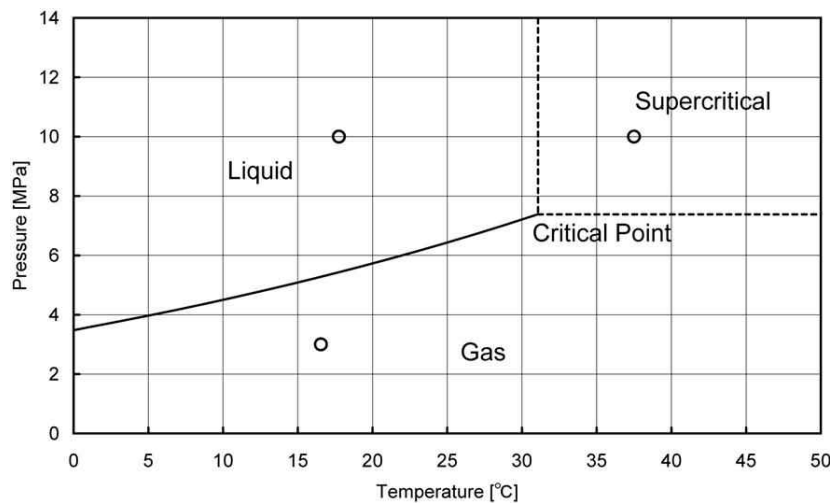


Fig. 4. Phase diagram of carbon dioxide.

실내 모사실험에서 다공질 사암의 공시체에 가스, 액체 및 초임계상태의 이산화탄소를 주입하면서 탄성과 속도 및 전기비저항을 측정하기 위하여 주입압력 및 온도를 제어할 수 있는 장치를 만들었다. 압력베셀 내부의 온도를 제어하기 위하여 온도조절이 가능한 전열 패드를 사용하였으며, 이산화탄소의 상변화를 위해서 Fig. 3과 같이 Syringe pump 로 압력을 조절하고, 온도는 조절은 Water circulator를 이용하여 Syringe pump 외벽에 뜨거운 물을 순환시켜 40°C까지 온도를 조절 할 수 있도록 고안하였다. Fig. 4는 이산화탄소의 상변화 다이어그램을 나타내고 있다. 이 그림에서 알 수 있듯이 온도와 압력으로 쉽게 상변화가 일어날 수 있으며, 초임계상태의 이산화탄소를 주입하기 위해서는 온도는 32°C 이상, 압력은 약 8MPa 이상이 요구된다. Table 1은 다공질 사암 공시체에 이산화탄소를 가스, 액체 및 초임계상태로 주입할 때 봉압, 간극수압, 이산화탄소 주입압력 및 온도를 표시한 것이다. 이것은 Onishi et al.,(2006)이 실내 모사실험에서 실시한 사례이다. 이 표에 의하면, 다공질 사암 공시체의 봉압을 주입 압력보다 1.3~1.6배 정도 크게 하여 이산화탄소가 다공질 사암의 공시체 내부로만 이동할 수 있게 조절하고 있으며, 이산화탄소를 주입할 때 주입량을 일정하게 유지하기 보다는 주입압력을 일정하게 유지하고 있음을 알 수 있다.

Table 1. Conditions of pressure and temperature of injected CO₂ phases.

Phase	Hydrostatic Pressure (MPa)	Pore pressure (MPa)	CO ₂ injection pressure (MPa)	Temperature of injected CO ₂ (°C)
Gas	5	3	3.0 - 3.1	15.5 - 17.6
Liquid	13	10	10.0 - 10.4	17.5 - 18.0
Supercritical	13	10	10.0 - 10.4	37 - 38

Fig. 5는 이산화탄소를 다공질 사암 공시체에 주입하면서 탄성과 속도 및 전기비저항을 측정하기 위한 측정 시스템의 모식도이다. 이 측정 시스템을 이용하여 탄성과속도 및 전기비저항을 입체적으로 영상화할 수 있으며, 이산화탄소 주입 전후의 탄성과 속도변화 및 전기비저항의 변화를 모니터링 함으로서 주입범위 및 거동, 주입량을 평가하고자 한다.

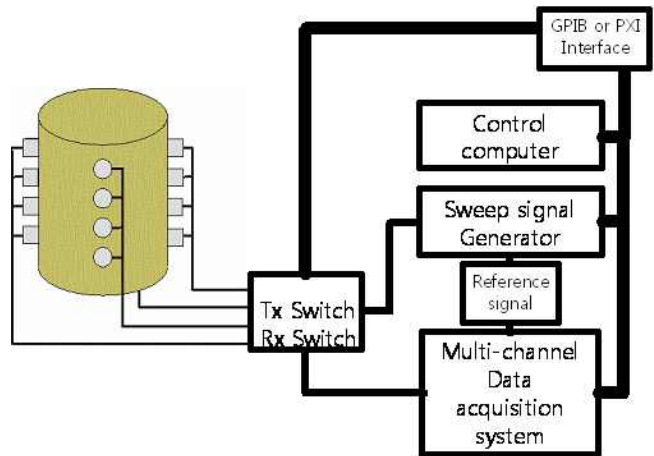


Fig. 5. Measurement system.

3. 맺음말

이산화탄소 지중저장을 위해서는 모니터링 기술이 요구되고 있으며, 이를 위해 실내에서 온도와 압력을 모사할 수 있는 실험 장치를 개발하였다. 이 실험 장치는 압력베셀을 이용하여 최대 30MPa까지 제어할 수 있으며, 온도는 60°C까지 제어할 수 있어 가스, 액체 및 초임계상태의 이산화탄소 상변화를 조절할 수 있다. 앞으로 동해가스전에서 채취한 다공질 사암을 이용하여 국내 이산화탄소 지중저장에 필요한 모니터링 기술을 개발할 예정이다.

감사의 글

이 연구는 한국지질자원연구원 기본사업인 ‘지하 정밀 영상화 융합기술 개발’ 과제의 일환으로 수행되었다.

참고문헌

- 김희준, 최지향, 한누리, 남명진, 송운호, 이태중, 서정희, 2005, 시간 경과에 따른 반복적 물리탐사 기법을 이용한 이산화탄소의 지중처리 모니터링, 물리탐사, 8, 280-286.
- Hideki Saito, Dai Nobuoka, Hiroyuki Azuma, Ziqiu Xue and Daiji Tanase, 2006, Time-lapse crosswell seismic tomography for monitoring injected CO₂ in an onshore aquifer, Nagaoka, Japan, *Exploration Geophysics* 37, 30-36.
- Kyosuke Onishi, Yoshihiko Ishikawa, Yasuhiro Yamada, and Toshifumi Matsuoka, 2006, Measuring electrical resistivity of rock samples injected with gas, liquid and supercritical CO₂, Proceedings of the 10th International Symposium on RAEG, March 30-31, KIGAM, 227-230.