

이산화탄소 지중저장을 위한 대수층 내 거동 특성 규명 실험

강현민¹⁾ · 김인수¹⁾ · 양민준¹⁾ · 이민희^{1)*} · 왕수균²⁾

1. 서 론

최근 세계 각국에서 화석에너지 사용의 효율성 증가, 저탄소 함량의 에너지원, 대체에너지원 개발 등 이산화탄소 배출량을 조절하고 줄이기 위한 기술개발에 상당한 노력을 하고 있다. 하지만 교토의정서에서 제시한 배출량을 만족하기 위해서는 이산화탄소의 처분기술의 개발이 더욱더 필요한 실정이다. 현재까지 개발된 이산화탄소 처분기술 중에서는 심부 대수층 처분, 심부 석탄층 처분, 유전 및 가스전 처분 등의 지중 저장을 위한 기술이 외국에선 활발히 진행되고 있으나 우리나라는 아직까지 이산화탄소의 지중 저장을 위한 기술에 대한 연구가 매우 미약한 실정이다. 본 연구는 이산화탄소의 지중저장을 위한 대수층 내 거동 특성을 규명하기 위하여, 파일럿 박스실험을 실시하였다.

2. 본 론

2.1 실험 방법

심부 대수층 내 이산화탄소의 수리지질학적 지구화학적 환경을 규명하기 위하여 Pilot-box를 이용하여 이산화탄소가 포화된 증류수, 이산화탄소 가스 그리고 대체유체인 광유(mineral oil : KF-50)의 공극내 거동 모니터링 실험을 실시하였다. 두께 2 cm의 아크릴 재질의 박스(2m × 1m × 1m)를 사용하였으며, 직경이 1 mm인 glass bead를 매질로 사용하여 80 cm 두께로 충전하였다. 2일 동안 정치시킨 수돗물을 이용하여 박스를 포화시켰으며, 좌측 수위조에 300 ml/min의 수돗물을 주입하여 수두차에 의하여 7.3 cm/hr의 유속을 발생하도록 조절하였다. 이산화탄소가 포화된 증류수의 거동 관측실험에서 이산화탄소가 포화된 증류수 주입장치는 박스 왼쪽에서 15 cm 지점 중앙에 깊이 65 cm 되는 지점까지 PVC 재질의 주입정을 설치하였으며, CO₂로 포화된 1차 증류수(1.3 × 10⁵ mg/L)를 1 ml/min으로 주입하였다. 이산화탄소 가스 거동 관측실험에서는 정중앙에 주입정을 설치하고, 주입정 하부에 graphite 재질의 기포발생기를 튜브에 연결하여 설치하였으며, CO₂ 가스는 공기유량계를 설치하여 300 ml/min 으로 주입하였다. 대체유체 인 광유(mineral oil : KF-50)의 거동 관측 실험에서는 하부 15 cm와 60 cm 지점에 골판지를 사용하여 불투수층을 만들었으며, 박스 왼쪽에 주입정을 설치하여 Sudan IV로 붉게 염색된 광유(mineral oil : KF-50)를 20 ml/min으로 주입하였다. 샘플링 포트는 박스에 teflon 재질의 튜브를 가로와 세로 20 cm의 일정한 간격의 격자형태로 5 cm, 35 cm의 길이로 관입하여 설치하였으며, 시료는 실험 시작 후 12시간 간격으로 10 ml씩 채취하였으며, 가스크로마토그래피(GC : Thermo Focus GC with TCD)로 CO₂의 농도를 분석하였고, 광유는 중량법을 이용하여 농도를 측정하였다.

주요어 : 이산화탄소, 지중저장

1) 부경대학교 환경지질과학과

2) 부경대학교 환경탐사공학과

* Corresponding author : heelee@pknu.ac.kr

2.2. 결과 및 토의

2.2.1. Pilot box 내 이산화탄소로 포화된 증류수의 거동 관측실험

총 72시간 동안 CO₂ 용존 증류수를 박스내 주입하고 모니터링하는 실험을 실시하였다. Fig. 1은 박스내 샘플링포트에서 채취한 물시료의 CO₂ 농도를 분석한 결과이다. 시간이 지남에 따라 CO₂로 포화 된 용액은 공극수의 흐름에 따라 우상향으로 이동하면서 공극수에 희석되는 현상을 나타내고 있다.

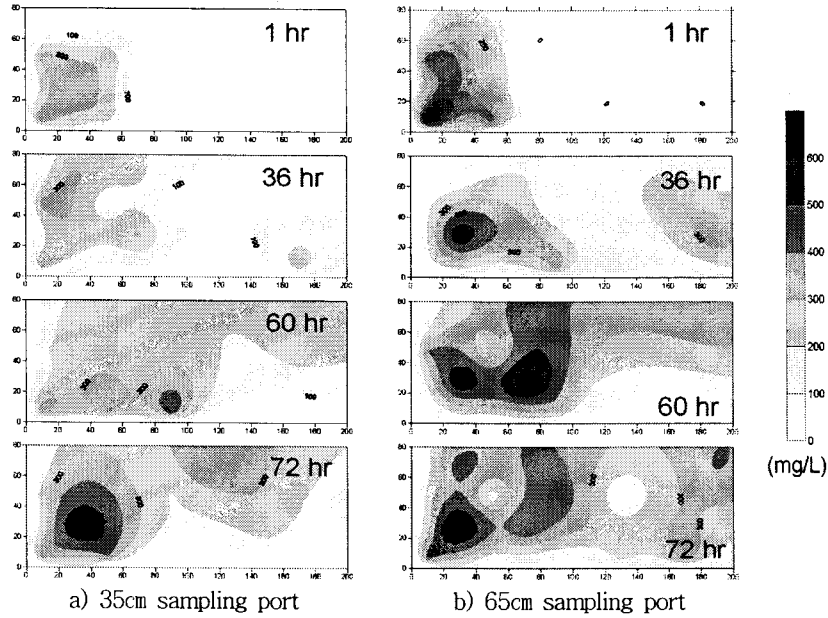


Fig. 1. 대수층 내 용존상 이산화탄소 거동 모니터링 실험 결과.

2.2.2. Pilot box 내 이산화탄소 가스 거동 관측실험

박스 내 대수층의 지하수 이동이 없는 상태에서 총 72시간 동안 이산화탄소 가스를 300 ml/min으로 주입하여 CO₂ 농도를 모니터링 하는 실험을 실시하였다. Fig. 2는 시간에 따른 박스내 CO₂ 농도 분포를 나타내는 결과이다. 이산화탄소 가스가 거동하는 경로 부근의 공극수는 접촉과 용해로 인하여 CO₂ 농도가 증가되지만, 공극수의 흐름이 제한된 상태에서는 단순한 농도구배에 의한 확산은 시간에 따라 서서히 이루어짐을 알 수 있었다.

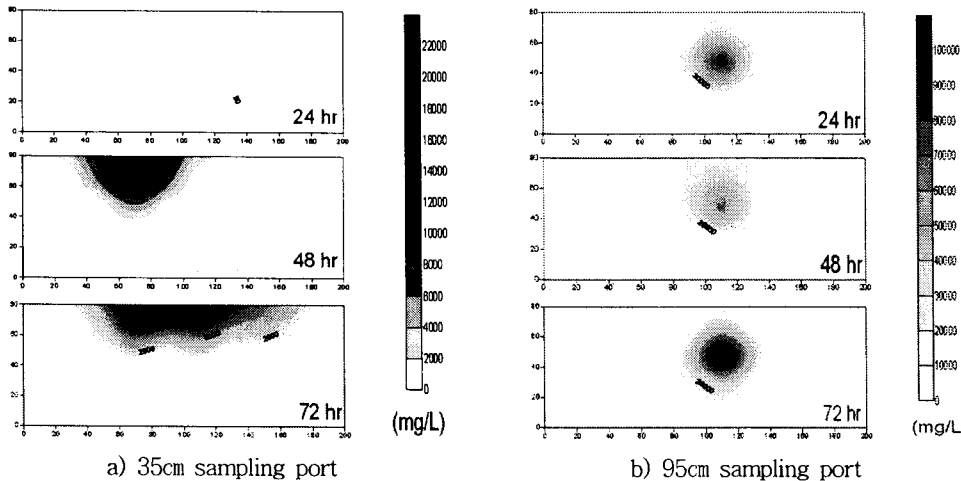


Fig. 2. 이산화탄소 가스의 거동 모니터링 박스 실험 결과.

2.2.3. 과잉계 유체상태인 CO₂의 대수층 내 거동을 모사한 박스실험

자유상의 과잉계 CO₂를 모사한 대체유체인 광유를 이용하여 총 30시간 동안 주입하면서 공극 내 모니터링을 실시하였다. Fig. 3은 자유상의 대체유체의 시간에 따른 공극내 농도 분포를 나타낸다. 12시간이 지나면서 광유 주입의 영향이 나타나기 시작하며, 시간이 지남에 따라 박스 전체로 자유상 광유가 퍼져 나가는 현상을 볼 수 있었다. 하지만 주입량이 증가함에 따라 자유상이 상승하여 상부층의 불투수층 위로 퍼져 나가는 현상을 확인할 수 있었으며, 이것은 광유 주입량이 시간에 따라서 공극수의 흐름에 따라 흘러가지 못하고, 주입정과 매질 사이의 틈으로 over-flowing 되는 현상이 발생하였다. 이에 따라 향후 주입량 변화에 따른 공극수의 흐름에 따른 대체유체의 거동 모니터링 실험이 필요할 것으로 사료된다.

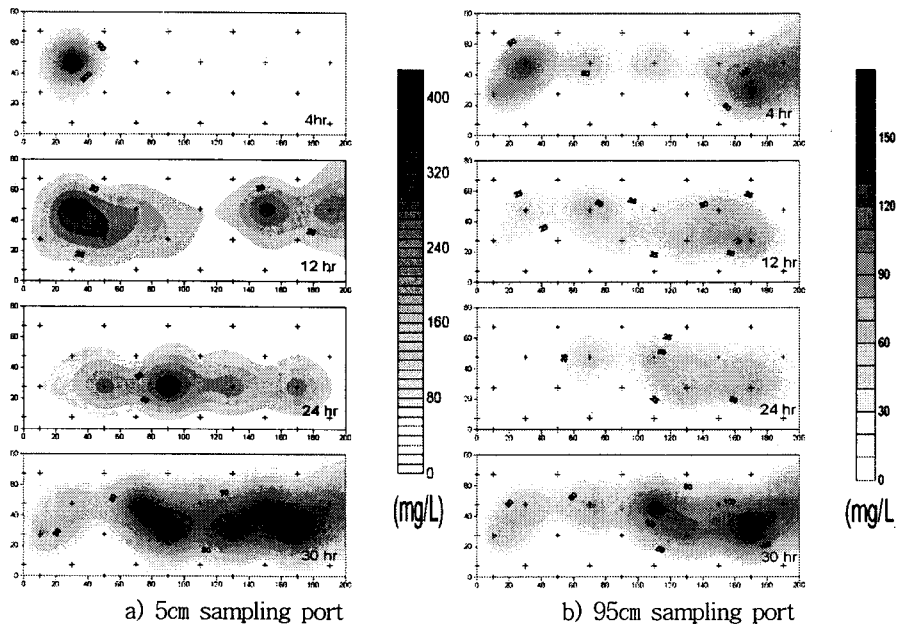


Fig. 3. 이산화탄소 대체유체인 광유(KF-50)의 박스 내 거동 모니터링 실험 결과.

3. 결 론

본 실험을 통하여 심부 대수층내 이산화탄소의 자유상, 가스상, 용존상에서의 거동 모니터링 박스실험을 실시함으로써 실제 이산화탄소를 지중저장하였을 경우 자유상, 기체상, 용존상 형태의 이산화탄소 거동특성을 규명하였으며, 이러한 결과는 심부 대수층에 CO₂를 저장하는 경우 중요한 자료로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

4. 참고문헌

1. 채기탁, 윤성택, 최병영, 김강주, M. Shevalier (2005) 이산화탄소 저감을 위한 지중처분기술의 지구화학적 개념과 연구개발 동향. 자원환경지질, 38권, p.1-22.
2. Bachu, S., Gunter, W.D. and Perkins, E.H. (1994) Aquifer disposal of CO₂ : hydrodynamic and mineral trapping. Energy Conversion & Management, v. 35, p. 269-279.
3. Gale, J. (2003) Geological storage of CO₂: What's known, where are the gaps and what more needs to be done. In: Gale, J. and Kaya, Y. (eds) Proceedings of the 6th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, Volume I. Elsevier Science Ltd., London, UK, p. 207-212.