

비재래형 저류층 투과도 측정실험

김현태 · 허대기 · 김세준 · 김인기 · 이원석 · 박희원¹⁾

1. 서론

최근 국내외적으로 재래에너지원부족을 극복하기 위해 과거에는 관심 밖이었던 쓰레기 매립층이나 석탄층과 같은 비재래에너지원을 확보하려는 다각적인 노력인 이루어지고 있다^{1,3)}. 이러한 비재래형 저류층으로부터 효율적으로 메탄가스를 개발, 생산하기 위해서는 이들 지층의 공극율이나 투과도와 같은 물성을 정확히 측정하여야 하는데, 이러한 지층은 재래의 석유, 가스 저류층과는 달리 미고결상태이기 때문에 기존의 실험장치로는 물성을 측정할 수 없다. 따라서 이 연구에서는 기존의 코아홀더로는 측정할 수 없던 비재래형 저류층의 투과도를 현장과 유사한 조건하에서 측정할 수 있는 실험장치를 개발하여 가스투과도를 측정하였다.

2. 이론적 고찰

쓰레기 매립층이나 석탄층과 같은 저류층에는 입자와 입자 사이에 임의의 공간이 형성되어 있다. 이것을 공극이라 하는데, 일반적으로 이러한 공극에는 물이나 가스가 채워져 있다. 이러한 지층에 형성된 공극은 홀로 고립되어 있거나 서로 연결되어 하나의 네트워크를 형성하게 된다. 이러한 네트워크는 가스 생산시에 가스가 이동하는 통로가 된다. 이와 같은 통로는 크기에 따라 유체가 유동할 수 있는 용이도로 정의되는데, 이것을 지층의 투과도라 한다. 가스 투과도는 식 (1)과 같이 표현된다²⁾.

$$k_g = \frac{2q\mu l}{A} \left(\frac{P_1^2}{P_1^2 - P_2^2} \right) \times 1,000 \quad (1)$$

이때 P_1 는 주입압력 (atm), P_2 는 대기압(atm), q 는 가스 생산율(cm^3/sec), μ 는 가스의 점성도(cp), l 은 시료의 길이(cm), A 는 시료의 단면적(cm^2)이고, k_g 는 가스의 투과도(md)이다. 여기서 가스 투과도는 각 실험에서 구한 매개변수들을 상기 식 (1)에 대입함으로써 계산된다.

주요어 : 비재래형 저류층, 쓰레기 매립층, 석탄층, 공극율, 가스투과도

1) 한국지질자원연구원 석유·해저자원연구부

3. 연구방법 및 결과

3-1. 연구방법

그림 1은 이 연구에서 설계 제작된 비재래형 저류층 투과도 측정 실험시스템의 개요도이다. 여기서 코아홀더는 시료를 장착하는 장치이고, 자료취득 시스템과 가스유동 측정기는 시료양단의 압력차와 시료를 통과해 생산된 가스의 양을 측정하는 장치이며, 핸드펌프는 시료에 하중압을 가하는 장치이다. 실험을 위해 먼저 코아홀더의 하단에 하나의 엔드플러그를 장착한 상태에서 쓰레기 매립층이나 분탄화된 국내 무연탄과 같은 미고결시료를 충전하고 상부에 나머지 엔드플러그를 장착하고 핸드 펌프를 이용하여 시료에 임의의 하중압과 축압을 가한 후 시료의 치수를 측정한다. 준비된 코아홀더의 한쪽 끝에 주입가스를 연결하고 다른 끝에는 가스 유동측정기를 연결하여 시료의 투과도를 측정한다.

이 연구에서 개발된 실험장비의 사용 가능성을 타진하기 위해 동일한 크기의 사암입자 ($1,180\mu\text{m}\sim 600\mu\text{m}$)를 이용하여 300psi 하중압 하에서 공극율을 반복적으로 측정된 결과 각각 35.40%, 35.12%, 및 35.26%로 측정되었다. 이 값들은 모두 상호간에 약 5%내외의 값 차이를 보인다.

3-2. 결과해석

이 장비를 이용하여 국내의 대표적인 미고결시료인 쓰레기 매립층과 석탄층의 공극율과 투과도를 측정하였다. 표 1은 쓰레기 매립층의 하중압에 따른 공극율과 투과도 값이다. 표 2는 분탄화된 국내무연탄의 하중압에 따른 공극율과 투과도 값이다. 표 1~2에서 볼 수 있는 바와 같이 이러한 결과는 하중압이 커짐에 따라 공극율과 투과도 값이 작아지는 것을 알 수 있다. 그림 2는 분탄화된 무연탄의 하중압에 따른 공극율과 투과도 상관식이다. 이 분석에 의해 산출된 공극율의 상관식은 $\text{Porosity} = -2.5198 * \ln(\text{press.}) + 36.7078$ 이며, 투과도의 상관식은 $\text{Perm.} = e^{-0.00157 * \text{press} + 1.1323}$ 이다. 이들 상관식의 압력 항에 실제 무연탄이 매장된 심도의 하중압을 대입함으로써 실제 무연탄이 매장된 심도에서의 공극율과 투과도를 산출할 수 있다. 지층의 평균밀도를 알 경우 이 상관식에서 하중압은 지층의 심도로 환산할 수 있다. 따라서 이 상관식은 석탄층 심도에 따른 공극율과 투과도를 간접적으로 예측하는데 사용될 수 있다. 단, 국내의 석탄층의 퇴적환경에 따라 퇴적양상이 다르기 때문에 이 상관식을 전 석탄층에 사용할 수 없다. 그러나 여기서 개발된 실험장비는 분탄화된 후 재 퇴적되어 고결코아와 같이 플러그 코아제작이 어려운 국내 석탄층이나 쓰레기 매립층과 같은 비재래형 저류층의 투과도 측정에 적합한 실험장비임을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

이 연구에서는 기존에 사용하던 고결코아용 코아홀더와 달리 다음과 같이 3가지 부분을 개선함으로써 비재래형 저류층 미고결시료의 공극율과 투과도를 측정할 수 있게 되었다.

1. 미고결시료용 코아홀더에는 미고결시료 충전시 고무홀더가 팽창되는 것을 방지하면서 동시에 하중압을 가하는데 영향을 주지 않는 고무슬리브 보호용 캡을 설치하였다.
2. 축의 방사상 방향은 물론 시료의 축방향으로도 하중압을 가할 수 있는 축방향 유압장치를 설치함으로써 미고결 시료를 3축으로 가압 할 수 있게 설계되었다.
3. 엔드플러그 양끝에 필터를 부착함으로써 엔드플러그의 가스 유동관에 미고결시료가 막히는 것을 방지할 수 있게 되었다.
4. 개발된 실험장비의 타당성을 검증하기 위해 대체로 일정한 크기의 사암입자를 충전하여 동일한 압력하에서 공극율을 반복적으로 측정한 결과 모두 5%내외의 실험오차 한계내의 값으로 측정된 것을 확인할 수 있었다.
5. 개발된 장비를 이용하여 국내 대표적인 미고결 시료에 속하는 쓰레기 매립층과 분탄화된 국내 석탄층의 공극율과 가스투과도를 측정하였다. 특히, 국내 석탄층의 경우 하중압에 따른 공극율과 투과도의 상관식을 도출하였다. 이 상관식은 실제 석탄층 매장심도에 따른 공극율과 투과도를 예측할 수 있기 때문에 석탄층가스의 개발계획을 세우는데 유용한 자료로 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 김인기, 허대기, 김현태, 김세준, 1999, "난지도 쓰레기 매립층물성 실험분석 연구," 동아건설.
2. 허대기, 손진담, 이경희, 1990, "대륙붕 저류층 평가 및 회수기술연구", 한국동력자원연구소, pp. 29-37.
3. Schraufnagel, R.A., Hill, D.G., and McBane, R.A., 1994, "Coalbed Methane - A Decade of Success," SPE paper 28581 presented at the 69th Annual Technical Congerence & Exhibition, New Orleans, LA.

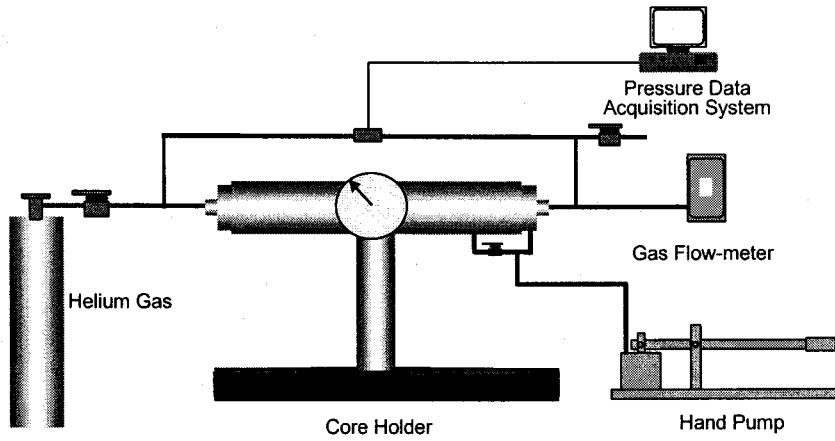


그림 1. 비재래형 저류층의 투과도 측정실험시스템 개념도

표 1. 쓰레기 매립층의 하중압에 따른 공극율과 투과도

하중압(psi)	공극율(%)	투과도(md)	참고
200	37.4	804	
250	35.71	685	

표 2. 분탄의 하중압에 따른 공극율과 투과도 값

하중압(psi)	공극율(%)	투과도(md)	참고
200	23.98	1.89	
300	21.41	1.83	
600	20.84	1.71	
900	19.54	0.81	
1,200	18.92	0.39	

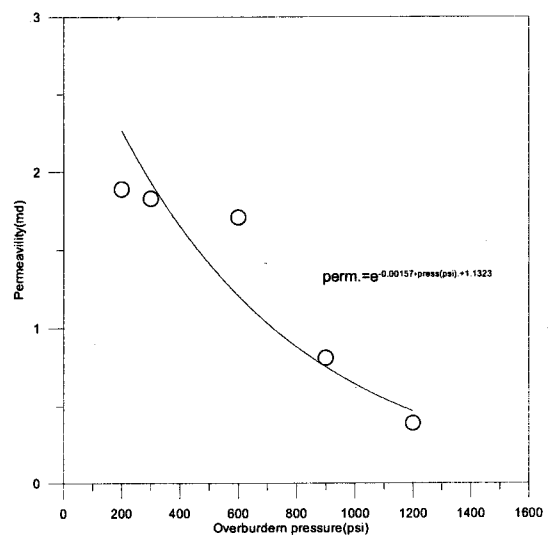
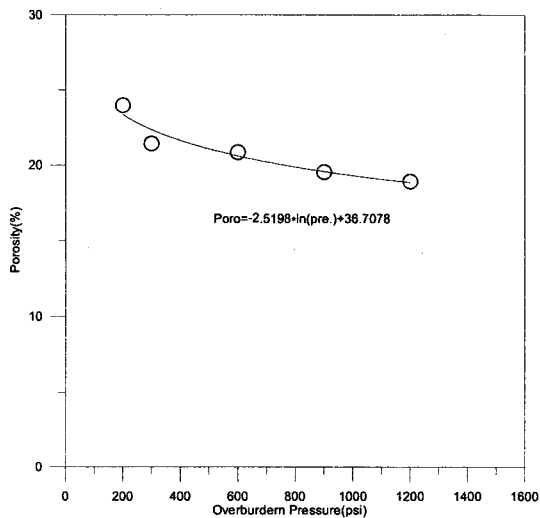


그림 2. 하중압에 따른 공극율 상관식(분탄) 그림 3. 하중압에 따른 투과도 상관식(분탄)