

실험실 규모의 콘크리트 임계기체압 실험에 대한 모델링 검증

하계철, 정해룡, 김주엽*, 김주열*

한국방사성폐기물관리공단, 대전시 유성구 대덕대로 989번길 111

*(주)미래와도전, 경기도 용인시 기흥구 탑실로 46

icha@krmc.or.kr

1. 서론

2012년 3월 현재 국내 중·저준위 방사성폐기물 처분시설이 건설 중이며, 이는 지하 80~130 m의 대수층에 위치한다. 폐쇄 이후 처분시설은 지하수로 포화되어, 금속부식, 미생물분해, 방사분해 등 다양한 메커니즘에 의해 기체가 발생할 것으로 예상된다.

사일로 내부에서 발생된 기체로 인해 사일로 내부의 압력이 상승하게 된다. 따라서 공학적방벽의 건전성이 저하될 수 있으므로, 사일로 내부의 기체 축적을 방지할 수 있는 효과적인 기체배출시스템 개발이 요구된다. 본 연구에서는 사일로 내부 임계기체압 증가 대한 예측을 하기위하여 수행한, 실험실 규모의 실험에 대한 모델링 검증 분석을 하였다.

2. 실험 및 모델링

2.1 실험 방법

경주 방폐장 배합비와 같은 콘크리트 시편의 수중양생을 통한 100% 포화시편(직경15 cm, 높이 5 cm)을 사용하였다. Fig. 1에 나타난 바와 같이 콘크리트 시편을 장착한 압력용기 하단부로 일정 유량의 질소를 주입하였고, 압력용기 상부는 대기압 상태로 유지하였다.[2][3] 콘크리트 시편 상, 하부의 차압 변화 관측을 통하여 임계기체압을 도출하였다(차압이 최대가 되는 지점).

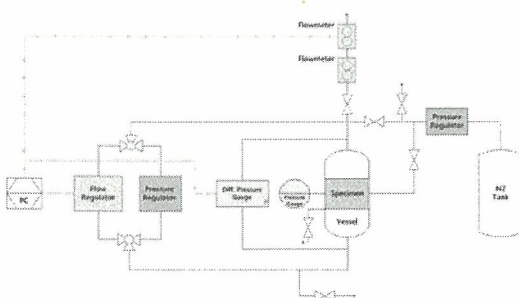


Fig. 1. Experimental apparatus system.

2.2 모델링

모델 전 영역은 3차원으로 구성하였으며, 콘크리트 시편(Ø15cm×높이5cm)과 시편을 중심으로 위·아래 기체주입 및 배출 부분(각 각 Ø15cm×높이1mm)으로 구성된다. 특히 상부층(Air)은 체적을 크게($10^{31} m^3$)하여 콘크리트 시편을 통과한 기체가 배출이 되어도 압력이 일정하게 유지하도록 설정하였다.[1][5]

모델링 전 영역에 대한 초기 조건은 압력이 대기압인 $1.013 \times 10^5 Pa(1atm)$, 온도는 $25^\circ C$, 중력가속도 상수는 9.81 $\%$ 으로 설정하였고, 콘크리트 초기조건은 Table 1과 같다.[4]

Table 1. Input data of concrete.

Variables	Concrete
Density [kg/m ³]	2600
Porosity [-]	0.15
Permeability [m ²]	1.0×10^{-18}

기체주입량(source term)은 실험시 주입 유량과 같은 1.5mL/min, 3.0mL/min 두 가지 경우를 수행하였다. 시간에 따른 변화 양상을 확인하기 위하여 3개의 모니터링 포인트를 설정하여 시간에 따른 압력 변화 및 유량을 변화를 관측하였다.

3. 결과

임계기체압 모델링 결과는 Table 2와 같으며, 시간에 따른 각 유량에 따른 압력 증가 상태를 확인할 수 있다.

Table 2. Result of the modeling(critical gas pressure).

variables	Inlet flow rate	Max. differential pressure
Gas Pressure	3.0 ml/min	43.3 bar
	1.5 ml/min	39.9 bar

1.5mL/min 유량의 경우는 기체 뿐만 아니라 포화 상태의 콘크리트 시편으로부터 주입 기체에 의해 밀려 나오는 수분의 배출 유량도 분석 하였다. [Fig. 2]

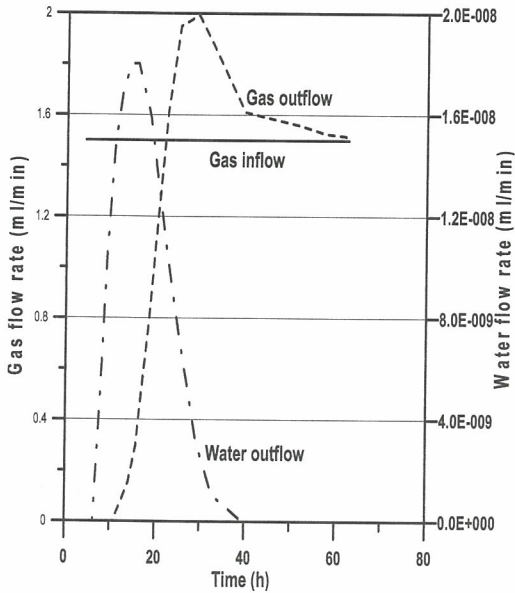


Fig. 2. Result of the modeling(Fluid Outflow).

모델링 결과와 실험 결과의 비교 분석 결과, 유량 3.0mL/min인 경우에는 7.9%의 오차를 보이고, 유량 1.5mL/min인 경우에는 1.3%의 오차를 보이고 있다. 이는 실험결과에 대한 모델링 검증 분석이 유의하다는 결론을 내릴 수 있다.[6]

4. 결론

다공성 매질에서 기체이동 특성 및 임계기체압은 다양한 변수에 의해 영향을 받게 된다. 기체압력이 gas entry pressure를 초과 한 이후, 기체이동 특성은 intrinsic permeability, relative permeability, 모세관 압력에 의해 주로 지배된다. 따라서, 기체이동 특성을 지배하는 gas entry pressure, intrinsic gas pressure 등을 매질특성에 따라 달라지기 때문에 실험을 통하여 도출하는 것이 바람직하다. 특히, gas entry pressure는 사일로 내에서 발생한 기체가 사일로 콘크리트를 통해 이동하는 현상을 지배하기 때문에 본 연구에서는 칼럼실험을 통하여 도출하였다. van Genuchten 모델 상수 값들은 기존 문헌 혹은 실험결과를 이용하여 도출하였다. 본 연구에서는 콘크리트 시편

을 활용한 실험과 모델링의 비교 분석을 통하여 실험 결과의 타당성 및 모델링의 적용성을 입증할 수 있었다.

5. 감사의 글

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(20111720100010)

6. 참고문헌

- [1] 중·저준위방사성폐기물처분시설 안전성분석 보고서, 제10권 6.1.13, 2008, 한국방사성폐기물관리공단
- [2] G. Mayer et al., Large-scale Experiment for Water and Gas Transport in Cementitious Backfill Materials (Phase 1) COLEX I, NAGRA, TR 98-03, 1998
- [3] 공학적방벽 임계기체압 및 Permeability 실험 보고서, 14117-K-TR-003, 한국방사성폐기물관리공단, 2012
- [4] 한국원자력연구원, 경주 중·저준위 방사성 폐기물 처분장 부지에서의 가스이동 수치 모델링, CM-138, 2010
- [5] Stefan Finsterle, Using the continuum approach to model unsaturated flow in fractured rock, WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 36, NO.8, PAGES 2055-2066, AUGUST 2000.
- [6] J.P. Monlouis-Bonnaire, J. Verdier, B. Perrin, Prediction of the relative permeability to gas flow of cement-based materials, Cement and Concrete Research 34 (2004) 737-744.