

# 국내 방사성폐기물 처분시설 콘크리트 투기계수 측정

김주엽, 김주열, 정해룡\*, 하재철\*, 김은희\*\*

(주)미래와도전, 경기도 용인시 기흥구 탑실로 46

\*한국방사성폐기물관리공단, 대전시 유성구 대덕대로 989번길 111

\*\*서울대학교, 서울시 관악구 관악로 1

yubioo@fnctech.com

## 1. 서론

2012년 현재 국내 중·저준위 방사성폐기물 처분 시설이 월성 부지에 건설 중이며, 2014년 6월 완공되어 운영이 개시될 예정이다. 처분시설은 지하 대수층에 위치하므로, 폐쇄 후 지하수로 포화되어 금속부식, 미생물분해, 방사분해 등 다양한 메커니즘에 의해 기체가 발생할 것으로 예상된다. 기체의 발생으로 인해 콘크리트 사일로 내부의 압력이 증가하게 되며, 따라서 특정 압력을 초과할 경우 공학적방벽인 콘크리트 사일로의 건전성이 손상될 수 있다. 이를 방지하기 위해서는 사일로 내부에서 발생된 기체가 효과적으로 외부로 빠져나갈 수 있도록 기체배출 시스템을 설계하여 공학적방벽에 적용해야 한다. 기체배출시스템 설계에 앞서 콘크리트 사일로의 물성을 파악하여 모델링 입력변수를 우선적으로 확보해야 하며, 이후 다양한 모델링 계산을 통해 최적의 기체배출시스템을 설계할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 공학적방벽 물성분석의 일환으로 실험을 통해 콘크리트 사일로의 투기계수(gas permeability)를 측정하였다.

## 2. 본론

### 2.1 시편 및 실험장치

실험시편은 직경 15 cm, 높이 5 cm 실린더형태의 콘크리트로, 28일 동안 수중양생을 통해 제작되었다. 콘크리트 시편의 조성은 처분시설에 적용될 콘크리트 사일로의 조성 과 동일하게 구성하였다.(표1)

실험장치는 콘크리트 시편을 압력용기 내에 거치하고, 시편 하단에 일정한 압력의 질소를 주입하여 시편을 통해 시편 상부로 배출되도록 설계 및 제작되었다. 시편 옆면을 Viton 재질의 고무슬리브로 감싸고, 고무슬리브 외부에 고압을 가하여 시편 옆면과 고무슬리브를 밀착시킴으로써 시편 옆면을 따라 흐르는 질소의 누설을 방지하였다. 실험장치의 구성은 그림 1과 같다.

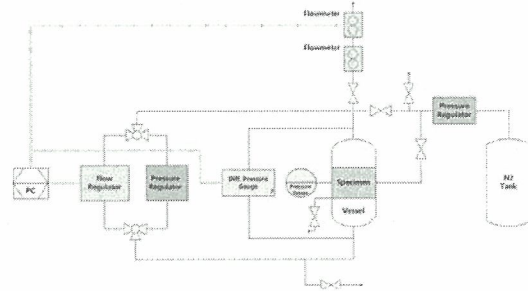


Fig. 1. Experimental apparatus system.

### 2.2 실험방법

초기 포화도 100%인 시편의 질량을 측정하고, 오븐에서 건조를 시키면서 질량변화를 측정하여 시편 평균 공극률을 통해 시편 포화도를 산출하였다. 전처리를 통해 0%, 30% 및 70% 포화도 시편을 제작하여 총 세 가지 포화도에 대한 투기계수를 측정하였다.

시편을 압력용기에 거치하고, 시편 하부에 일정한 압력의 질소를 주입하여 시편을 통과해 배출되는 질소의 유량을 측정한다. 충분한 시간이 흐른 뒤 정상상태의 유량을 기록하고, Hagen-Poiseuille Equation(1)을 통해 특정 평균압력  $P_m$ 에서의 apparent permeability( $k_{app}$ )를 산출한다.

$$k_{app} = \frac{2QP_{atm}L\mu}{A(P^2 - P_{atm}^2)} \dots\dots\dots (1)$$

- $k_{app}$  : apparent permeability( $m^2$ )
- $\mu$  : 질소 점성계수( $N \cdot s/m^2$ )
- $Q$  : 기체유량( $m^3/sec$ )
- $P$  : 시편 하부에 가해지는 절대압( $N/m^2$ )
- $A$  : 단면적( $m^2$ )
- $P_{atm}$  : 대기압( $N/m^2$ )
- $L$  : 시편높이(m)
- $P_m = (P + P_{atm})/2$

Table 1. Composition of the concrete specimen.

Source of aggregate	Mix Type	W/(C+F) (%)	S/a (%)	Proportion (kg/m <sup>3</sup> )								
				Water	Cement	Fly-ash	3/4"	Coarser	Finer	WRA	AEA	HWRA
Daejong and Jinae Area	E-1-40	40.0	38.4	206	412	103	961	357	241	2.3193	0.1287	-

세 가지 압력(2, 3, 4 bar)에서의  $k_{app}$ 를 측정하여  $1/P_m$ 과의 선형관계식을 근사한다. Klinkenberg Equation(2)을 통해 선형근사식의 y절편으로부터 intrinsic permeability( $k_{int}$ )를 산출한다.

$$k_{app} = k_{int} \left(1 + \frac{\beta}{P_m}\right) \dots\dots\dots (2)$$

2.3 실험결과

세 가지 포화도(0%, 30%, 70%)의 시편에 대해 각각 세 가지 압력(2, 3, 4 bar)을 가하여 실험을 수행하였으며, 각 주입압력에 대해 2회 반복 수행하였다. 각 포화도에서 특정압력에서의 apparent permeability를 산출하여 반복수행에 대한 평균을 구하였고, 세 점을 통해 선형식을 근사하였다. 0%, 30%, 70% 포화도에서 intrinsic permeability는 각각  $1.04 \times 10^{-18} \text{ m}^2$ ,  $6.04 \times 10^{-18} \text{ m}^2$ ,  $1.60 \times 10^{-18} \text{ m}^2$ 로 산출되었다. 세 가지 포화도에서 산출한 결과는 그림 2와 같다.

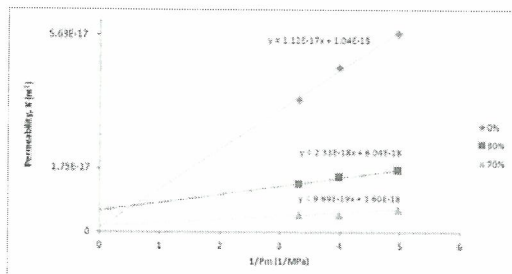


Fig. 2. Result of the permeability.

3. 결론

실험결과 동일한 조건에서 시편에 따른 편차가 상당히 컸으며, 이는 다공성매질인 콘크리트의 특성으로 인해 시편에 따라 내부 공극망 형태가 매우 다양하기 때문인 것으로 해석된다. 각 포화도별 실험결과는 실험전 예상과 일치하게 주입압력이 증가할수록

$k_{app}$ 가 감소하는 경향을 보였다. 그러나 세 가지 포화도 실험을 종합했을 때 그림 2와 같이 0% 포화도 시편의 intrinsic permeability가 가장 낮은 값으로 산출되었다. 위 결과는 시편에 따른 배출유량 결과 값의 극심한 편차에 의한 것으로, 앞서 설명한 콘크리트 특성에 의한 것으로 판단된다. 추후 연구를 통해 샘플 수를 늘리게 되면 보다 정확한 permeability를 산출할 수 있을 것이며, 또한 다양한 포화도의 시편을 활용하여 포화도와 relative permeability의 관계 그래프 및 근사식을 산출할 예정이다.

4. 감사의 글

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

5. 참고문헌

[1] 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.  
 [2] Wendy A. Cole and William A. Wakeham, "The Viscosity of Nitrogen, Oxygen, and Their Binary Mixtures in the Limit of Zero Density," IUPAC Transport Properties Project Center, Department of Chemical Engineering and Chemical Technology, Imperial College, London SW72BY, United Kingdom.