

천층처분 안전성평가를 위한 불포화매질에서의 핵종이동 특성 시험 및 분석

신상화*, 황주호*, 이계민, 박주완**, 김창락**

(주)ACT, 대전광역시 대덕구 신일동 1688-5번지 벤처타운 장영실관 407호

경희대학교*, 경기도 용인시 기흥읍 서천 1

한국수력원자력(주) 원자력환경기술원**, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

처분 안전성 평가를 위해서는 처분시설에서의 이동 경로 및 과정의 개념적 모델을 설정하기 위해 우선적으로 지질학, 수리학 및 지화학적 관련 자료가 필요하다. 현재까지 중·저준위 방사성 폐기물 처분은 대부분 천층처분 방식으로 수행되어 왔으며, 이중 대부분은 불포화 매질 조건을 이용하여 처분되었다. 국내 특성에 맞는 대표적인 불포화대에서의 이동특성자료의 실험법을 정립하고 특성 실험을 통하여 불포화대 매질 특성자료를 분석을 통해 개발된 천층처분 확률론적 통합안전성평가코드의 입력자료를 제공하고, 신뢰성 있는 안전성평가 결과의 기초가 되며, 이를 통해 중·저준위 폐기물 처분의 종합 안전성평가 체계 구축 및 실증의 토대가 되도록 하고자 한다.

토양의 중요한 특성 중 하나는 용해된 이온을 다량으로 흡착 및 이온교환할 수 있는 능력을 지닌 것이다. 흡착능을 설명하기 위하여 실험적인 인자를 설정하였으며, 이를 분배계수(distribution coefficient)라고 하며 다음과 같이 정의한다.

$$K_d = \frac{\text{concentration of ionic species on the solid phase}}{\text{concentration of ionic species in the liquid phase}}$$

분배계수는 지연현상을 나타내는 관계식에 이용된다. 이 관계식은 다음과 같다.

$$\frac{v_i}{v_w} = \frac{1}{\left(1 + \frac{\rho_b K_d}{\theta}\right)}$$

v_i 는 흡착핵종의 pore velocity이고, v_w 는 지하수의 pore velocity이다. ρ_b 는 토양의 겉보기 밀도이고 θ 는 부피함수비이다.

방사성핵종, 토양, 지하수 등의 조절에 따라 다양한 변수가 있기 때문에 실험을 통하여 분배계수를 구하는 것은 매우 어렵다. 일반적으로 분배계수 측정에는 회분식 방법과 컬럼 방법의 두가지 방법이 있다. 회분식 방법은 일반적으로 포화상태의 매질에 적용하며 실험 핵종수도 하나로 제한되는 반면 컬럼 방법은 포화 및 불포화 상태에 모두 적용 가능하며 여러 핵종에 대하여 실험을 수행할 수 있다.

아래 그림 1에서 그림 5는 불포화 컬럼 실험 결과로서 다양한 토양 매질에서의 핵종 흡착특성을 나타내고 있다.

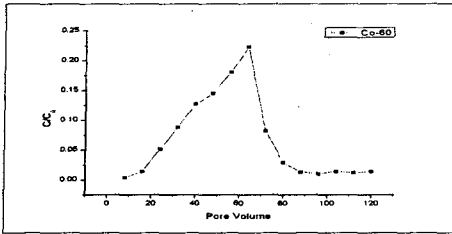


그림 1. 모래질 토양에서의 Co-60 흡착실험

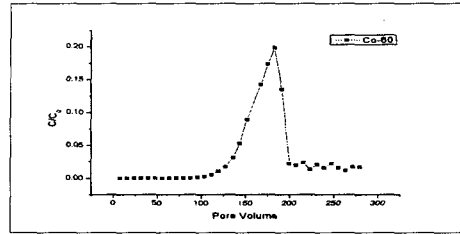


그림 2. 점토질 토양에서의 Co-60 흡착실험

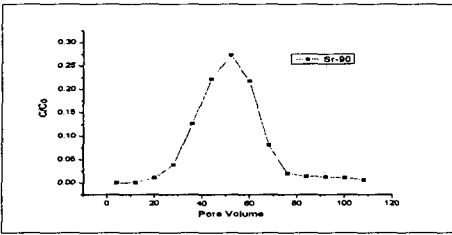


그림 3. 모래질 토양에서의 Sr-90 흡착실험

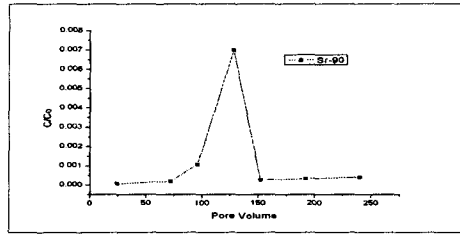


그림 4. 점토질 토양에서의 Sr-90 흡착실험

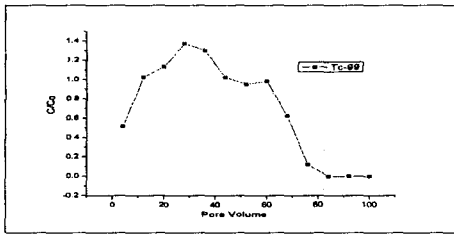


그림 5. 모래질 토양에서의 Tc-99 흡착실험

실험결과 분석을 위하여 STANMOD 소프트웨어의 CXTFIT 모델을 이용하여 분석을 하였으며, 분석을 위한 조건으로 Deterministic nonequilibrium CDE(Mode=2), Resident concentration (third-type input), Reduced time (T), Position (Z) (All parameters except D and V are dimensionless)등을 고려하였다. 아래 표 1과 2는 지연인자를 포화도에 따라 분배계수로 다시 계산한 결과를 나타낸다. 실험 시 포화도는 최대 포화도의 약 76%-81%로 유지하였다.

표 1. 모래질 토양에서의 분배계수(K_d)

핵종	문헌값* (포화기준)	실험값	95%신뢰도 구간	
			Lower	Upper
Co-60	60.00	73.99	45.14	144.57
Sr-90	15.00	48.40	22.70	104.68
Tc-99	0.10	2.32	1.74	8.11

표 2. 점토질 토양에서의 분배계수(K_d)

핵종	문헌값* (포화기준)	실험값	95%신뢰도 구간	
			Lower	Upper
Co-60	550.00	663.69	816.96	929.60
Sr-90	110.00	154.33	111.68	269.41

* C, Yu, "User's Manual for RESRAD Version 6," ANL/EAD-4, U.S. DOE (2001)

분배계수의 경우 Co-60과 Sr-90 핵종의 경우 문헌값(포화기준)에 비해 다소 높은 값을 나타냄을 알 수 있고, Tc-99핵종의 경우 문헌값(포화기준)에 비해 약 20배 정도의 차이를 나타내는 것을 알 수 있다. 지연인자의 경우 불포화 상태에서 더욱 우수한 물질이동 저지능을 보여주었고, 불포화 상태 토양에서의 물질의 이동이 포화상태 토양에서보다 더 지연됨을 알 수 있다.

표 3. 모래질 토양에서의 지연인자

핵종	문헌값 (포화기준)	실험값	95%신뢰도 구간	
			Lower	Upper
Co-60	169.00	266.60	127.40	405.80
Sr-90	43.00	179.30	64.55	294.10
Tc-99	1.28	8.92	5.87	23.70

표 4. 점토질 토양에서의 지연인자

핵종	문헌값 (포화기준)	실험값	95%신뢰도 구간	
			Lower	Upper
Co-60	1919.75	2730.00	2554.00	2906.00
Sr-90	344.75	596.40	350.00	842.90