

중·저준위방사성폐기물 처분시설 안전성평가모델 주요 입력인자 민감도 평가 및 분석

한솔찬, 윤종일*

한국과학기술원, 대전광역시 유성구 대학로 291

*hsc09@kaist.ac.kr

1. 서론

방사성폐기물 처분시설을 운영중인 대부분의 국가에서는 연간피폭선량 및 위험도를 해당 처분시설의 안전성을 평가하기 위한 주요 안전기준으로 적용하고 있다. 이에 따라 각 처분시설을 운영하는 사업자는 독자적인 안전성평가모델(성능평가모델)을 구축하여 해당 처분시설의 안전성에 대해 검증하고 있다. 그러나 이러한 평가모델의 경우 다양한 입력인자가 사용될 뿐만 아니라 상이한 시나리오에 따라 야기되는 불확정성을 내포하고 있으므로 안전성 평가의 신뢰도가 저해될 수 있다.

그러므로 평가결과의 신뢰도 향상을 위해 처분시설에서 발생할 수 있는 다양한 핵종 유출 시나리오를 구축 및 평가하여[1-3] 상이한 시나리오에 따라 나타나는 편차를 분석하고 있다. 더불어 다양한 불확실도 평가기법을 개발·적용하여 평가결과의 신뢰도를 향상시키는 방법에 대한 연구가 수행되어왔다[4-6].

그러나 중·저준위방사성폐기물 처분시설 안전성평가에 사용되는 다양한 입력인자에 대한 체계적인 분석은 일부사례를 제외하곤[7] 다소 미진한 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 경주 중·저준위 방사성폐기물 처분시설 안전성평가에 사용되는 다양한 입력인자 중 주요 입력인자를 선별하고 해당 입력인자들의 편차가 안전성평가 결과에 미치는 영향에 대해 고찰하였다.

2. 본론

2.1 주요 입력인자 선별

2.1.1 용해도

핵종재고량 및 용해도는 안전성평가에 사용되는 대표적인 선원항이다. 그러나 선행연구로부터 처분시설에 처분될 폐기물의 핵종재고량은 대부분 용해도 제한치 미만으로 평가된다. 따라서 방사성핵종의 유출량은 각 핵종별 재고량보다는 초기 유출량을 결정하는 용해도에 더 민감하게 나타나는 것으로 평가된다. 따라서 본 연구에서는 용해도를 주요 입력인자로 선별하여 민감도평가를 수행하였으며 각 핵종별 용해도는 OECD-NEA TDB, JAEA-TDB 및 경주처분시설 주변 지하수조성 분석 데이터(Table 1)[8]를 이용하여 계산되었다.

Table 1. Geochemical condition of disposal site

pH	Eh(mV)	I (M)	Na ⁺ (ppm)	K ⁺ (ppm)
7.3 ± 1.4	-45 ± 69	0.003	18.8 ± 5.4	3.1 ± 2.0
Ca ²⁺ (ppm)	Mg ²⁺ (ppm)	Cl ⁻ (ppm)	SO ₄ ²⁻ (ppm)	Fe(ppm)
16.3 ± 8.0	4.9 ± 3.1	14.1 ± 11.5	22.7 ± 21.3	0.64 ± 1.2

2.1.2 수착분배계수

방사성폐기물을 포장하고 있는 철제드럼이 파손된 이후 방사성핵종은 지하수의 유동에 따라 생태계로 이동하게 된다. 처분시설 안전성평가모델에서는 이러한 방사성핵종의 이동을 모사하기 위해 다시속도(darcy velocity), 확산계수, 수착분배계수(distribution coefficient) 등이 사용된다.

수착분배계수는 방사성핵종-매질(뒤채움재, 자연암반)의 상호작용에 따른 방사성핵종의 이동 지연 특성을 모사하기 때문에 방사성핵종의 유출시점 및 유출량에 큰 영향을 미쳐 최종적으로 연간피폭선량을 좌우하는 입력인자로 평가된다. 따라서 본 연구에서는 수착분배계수 역시 주요 입력인자로 선별하여 그 편차에 따른 평가결과의 변화에 대해 분석하였다.

Table 2. Radionuclides input parameters

radionuclide	solubility (log(M))	K _d for host rock log(K _d (m ³ /kg))	K _d for soil log(K _d (m ³ /kg))
C	-3	-3	-1.70
Ce	-4.70	-0.61	0.67
Co	-2.14	-1	-0.23
Cs	soluble	-0.74	-0.66
Fe	-9.24	-0.92	-0.82
H	soluble	no sorption	no sorption
I	-0.15	no sorption	-3.70
Nb	-4.15	0	0.30
Ni	-4.49	-0.92	-1.10
Sr	-2.58	-1.89	-0.52
Tc	-5.77	no sorption	-3.43

2.2 민감도평가결과

용해도 민감도평가 결과 용해도가 각각 10배 증가했을 경우와 감소했을 경우 최대 피폭선량의 편차는 1%미만으로 나타났다. 이는 최대 피폭선량을 주도하는 C-14의 핵종 재고량이 용해도 제한치 미

만으로 존재하여 용해도의 증감에 따라 피폭선량이 변하지 않기 때문에 판단된다. 더불어 U-235의 재고량은 용해도 제한치 이상이므로 해당 핵종에 의한 피폭영향은 용해도에 민감한 것으로 나타났다. 반면 C-14, Ni-59, Nb-94의 핵종 재고량은 용해도 제한치 미만으로 존재하여 해당 핵종들에 의한 피폭영향은 용해도에 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

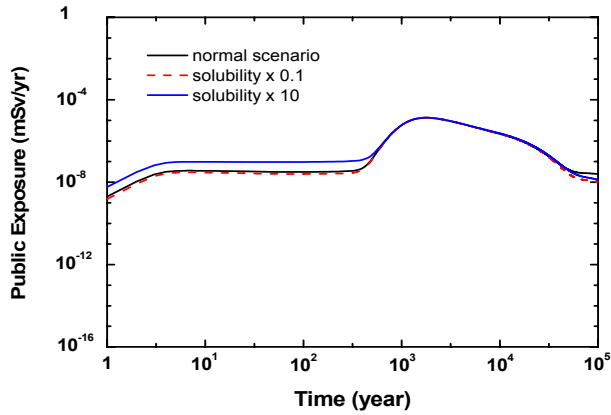


Fig. 1. Sensitivity analysis result (Solubility).

수확분배계수 민감도평가 결과 수확분배계수가 각각 최솟값과 최댓값을 가질 때의 최대 연간피폭선량의 편차는 약 4배로 나타났다. 이는 최대 연간피폭선량을 주도하는 C-14의 영향이 크게 증가했기 때문에 분석된다. 또한 흡착분배계수가 최댓값을 갖는 경우 금속원소(Ni-59, Nb-94)에 의한 피폭영향은 나타나지 않는 것을 확인할 수 있었다.

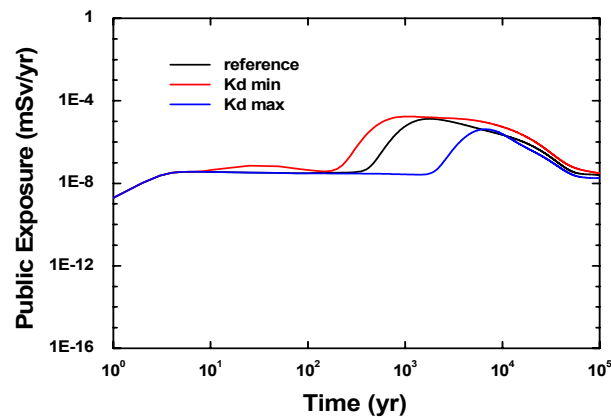


Fig. 2. Sensitivity analysis result (Distribution Coefficient).

3. 결론

주요입력인자에 대한 민감도 평가 결과 용해도의 민감도는 핵종재고량과 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다. 그러나 경주 처분시설의 경우 최대 피폭선량을 주도하는 C-14의 핵종재고량이 용해도 제한치 미만으로 존재하여 용해도의 편차에 따른 최

대 피폭선량의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 반면 수확분배계수의 편차에 따른 최대 피폭선량의 차이는 입력인자 중 가장 크게 나타났으며 주요 피폭핵종에도 큰 차이를 야기했다. 따라서 수확분배계수는 안전성평가의 불확실성을 가장 크게 좌우하는 입력인자로 판단된다.

4. 감사의 글

본 연구는 원자력안전위원회의 재원으로 한국원자력안전재단의 지원을 받아 수행한 원자력안전연구사업의 연구결과입니다 (No.1305032).

5. 참고문헌

- [1] Y.-M. Lee and J. Jeong, "Evaluation of nuclide release scenarios for a hypothetical LILW repository", *Progress in Nuclear Energy*, **53**, 760-774 (2011).
- [2] Y.-M. Lee, J. Jeong and J. Choi, "An evaluation of an earthquake scenario for a pyroprocessed waste repository", *Progress in Nuclear Energy*, **66**, 133-145 (2013).
- [3] Y.-M. Lee and H.-J. Choi, "An evaluation of nuclide release from a trench-type LILW repository", *Progress in Nuclear Energy*, **88**, 95-103 (2016).
- [4] W.-J. Cho, S.-H. Chang and H.-H. Park, "Uncertainty Analysis of Safety Assessment for High-Level Radioactive Waste Repository", *Waste Management*, **12**, 45-54 (1992).
- [5] D.P. Gallegos and E. J. Bonano, "Consideration of uncertainty in the performance assessment of radioactive waste disposal from an international regulatory perspective", *Reliability Engineering and System Safety*, **42**, 111-123 (1993).
- [6] J.C. Helton, "Uncertainty and sensitivity analysis techniques for use in performance assessment for radioactive waste disposal", *Reliability Engineering and System Safety*, **42**, 327-367 (1993).
- [7] R.N. Nair and T.M. Krishnamoorthy, "Probabilistic safety assessment model for near surface radioactive waste disposal facilities", *Environmental Modelling & Software*, **14**, 447-460 (1999).
- [8] 최병영, 김건영, 고용권, 신선호, 유시원, 김두행 "중·저준위 방사성 폐기물 처분부지의 지구 화학 특성 I. 지하수", *방사성폐기물학회지*, **6(4)**, 297-306 (2008).