K-PAM을 이용한 안전성평가 주요 입력자료 민감도분석

김정우*, 조동건, 고낙열, 정종태, 백민훈
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111
*jw_kim@kaeri.re.kr

1. 서론

다중방벽으로 구성되는 방사성폐기물 심층처분시스템의 안전성평가에는 다양한 입력자료들이 필요하다. 처분시스템의 부지특수성, 불균질성 등을 고려하면 안전성평가에 필요한 모든 입력자료들을 실험을 통한 단일값으로 제시하는 것은 한계가 있다. 따라서, 일반적인 안전성평가에서는 보수적인 대푯값 또는 특정 범위에서의 확률분포를 이용하여 입력자료들이 사용된다. 이러한 입력자료들의 불확실성이 안전성평가 결과에 미치는 영향은 입력자료 민감도분석을 통하여 가늠할 수 있다. 본 연구에서는 최근 한국원자력연구원에서 개발한 심층처분시스템 종합성능평가 모델(K-PAM; KAERI Performance Assessment Model)[1]을 이용하여 안전성평가에서 사용되는 주요 입력자료들에 대한 민감도분석을 수행하였다. 여기서, K-PAM은 파이로프로세스에서 발생하는 방사성폐기물의 심층처분을 위한 기준처분시스템[2]을 대상으로 한다.

2. 본론

2.1 K-PAM

K-PAM은 파이로프로세스에서 발생하는 방사성폐기물의 심층처분을 위한 기준 처분시스템을 대상으로 복합시나리오 안전성평가를 수행하기 위하여 한국원자력연구원에서 최근에 개발된 종합성능평가 모델이다. K-PAM은 Matlab, GoldSim, Excel 프로그램들로 구성된 통합프로그래밍 시스템이다. 여기서, Excel은 입력자료들을 관리하고, GoldSim은 주어진 시나리오에 대한 종합성능평가를 수행하고, Matlab은 복합시나리오 생성과 함께 최종 선량 및 위험도를 계산하며 전체 프로그래밍을 관리한다.

2.2 주요 입력자료

K-PAM에서 사용되는 입력자료는 크게 시뮬레이션 조건, 선원항, 지하수와 매질의 물성, 처분시스템 구성요소의 제원, 외부사건 특성, 출력방법 등으로 구분된다.

선원항과 관련해서는 핵종 재고량, 폐기물 배치, 처분용기 수명, 처분용기 초기파손 확률, 폐기물 유출율 등의 입력자료가 포함된다. 지하수와 매질의 물성과 관련해서는 핵종 용해도, 확산계수, 매질의 밀도, 공극율, 그리고 매질별 핵종 수착계수 등이 포함된다. 처분시스템 구성요소의 제원과 관련해서는 공학적방벽에서 각 방벽 재질의 크기 및 투수계수, 굴착손상대(EDZ)의 크기 및 투수계수, 그리고 천연방벽에서 균열암반의 크기, 투수계수, 수두차, 주요 지하수 유동로(MWCF)의 크기, 투수계수, 수두차, 암반확산깊이 등이 포함된다. 외부사건 특성과 관련해서는 지진의 발생시점, 규모, 처분장으로부터의 거리, 그리고 우물개발의 발생시점, 처분장으로부터의 거리, 취수량 등이 포함된다.

Table 1. Main input parameters in K-PAM

Class	Input Parameter
Source	• Inventory • Source unit, layout • Failure time • Probability of early failure • Degradation rate
Water & Solid	• Solubility • Diffusivity • Bulk density • Porosity, tortuosity • Kd
EBS (+ EDZ)	• Dimension • Hydraulic conductivity
NBS	• Size • Hydraulic conductivity • Hydraulic gradient
External event	• Earthquake occurrence time, magnitude, distance • Well intrusion occurrence time, distance, discharge rate

2.3 민감도분석

K-PAM의 주요 입력자료 중, 일차적으로 핵종의 수착계수와 용해도에 대한 민감도 분석을 수행하였다. 그 외의 입력자료는 모두 참고문헌 [2]에서 인용하였다.

2.3.1 수착계수

참고문헌 [2]에서 제시된 완충재와 암반에서의 핵종별 수착계수(Table 2)를 기본값으로 10배씩 증감하며 최종선량에 미치는 영향을 조사한 결과(Fig. 1), 최종선량은 주로 C-14, Tc-99, I-129에 의해서 나타났으며, 수착계수가 100배 감소하면서부터 민감도가 크게 나타났다. 이때, Pu-239, Pu-240, Pu-242, Sn-126 등이 큰 역할을 하는 것으로 분석되었다.

Table 2. Kd(m3/kg) for each radionuclide [2]

	Buffer	Rock		Buffer	Rock
Ac	5.0E+0	5.0E+0	Pu	3.0E+0	4.0E-3
Am	5.0E+0	5.0E+0	Ra	1.0E-2	1.0E-1
C	0.0E+0	0.0E+0	Rn	0.0E+0	0.0E+0
Cl	0.0E+0	0.0E+0	Se	3.0E-3	8.3E-4
Cm	5.0E+0	5.0E+0	Sm	1.0E+0	1.0E+0
Cs	6.6E-1	5.2E-2	Sn	3.0E+0	2.0E-2
I	7.4E-3	0.0E+0	Sr	1.2E-2	1.0E-2
Nb	1.0E+0	1.0E+0	Tc	1.0E-1	0.0E+0
Ni	7.0E-1	1.2E-1	Th	3.0E+0	5.0E+0
Np	3.0E+0	1.7E-1	U	5.0E+0	5.0E+0
Pa	1.0E+0	1.0E-1	Zr	5.0E+0	5.0E+0
Pd	1.0E-1	3.0E-2			

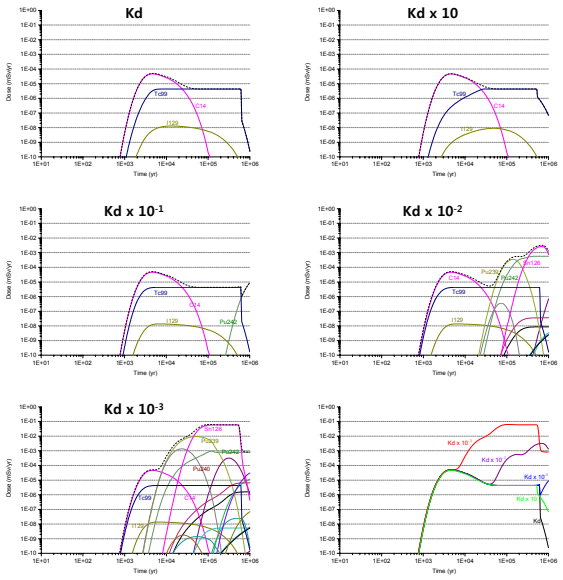

Fig. 1. Sensitivity on Kd.

2.3.2 용해도

참고문헌 [2]에서 제시된 핵종별 용해도(Table 3)를 기본값으로 10배씩 증감하며 최종 선량에 미치는 영향을 조사한 결과(Fig. 2), 용해도의 10배 이상 증감은 더 이상 최종선량 변화에 영향을 미치지 못했다. 10배 이내의 변화에서도 수착계수만큼의 영향은 나타나지 않았다.

Table 3. Solubility(mol/m^3) for each radionuclide [2]

RN	Sol.	RN	Sol.	RN	Sol.
Ac	1.0E-4	Ni	5.0E-4	Sm	1.0E-4
Am	1.0E-4	Np	2.0E-5	Sn	5.0E-4
C	1.0E+0	Pa	5.0E-5	Sr	1.0E+1
Cl	7.0E+3	Pd	1.0E-5	Tc	1.0E-5
Cm	1.0E-4	Pu	5.0E-6	Th	5.0E-5
Cs	4.0E+3	Ra	1.0E-3	U	1.0E-5
I	4.0E+3	Rn	-	Zr	1.0E-5
Nb	1.0E-4	Se	1.0E-4		

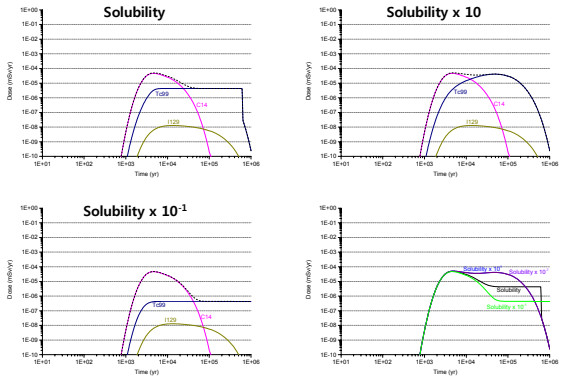

Fig. 2. Sensitivity on solubility.

3. 결론

K-PAM에서 사용된 주요 입력자료중 수착계수와 용해도에 대한 민감도분석을 수행하였다. 향후 그 외 입력자료에 대한 민감도분석과 함께 분석결과의 정량화를 통해 각 입력자료들의 중요도를 제시할 수 있을 것으로 기대한다.

4. 감사의 글

이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (원자력연구개발사업, No. 2012M2A8A5025589)

5. 참고문헌

[1] 김정우, 고낙열, 조동건, 정종태, 백민훈, “처분시스템 복합시나리오를 고려한 종합성능평가 모델 개발”, 2015 한국방사성폐기물학회 추계학술대회 논문요약집, 167-168, 10.14~16, 2015, 부산.

[2] J.-W. Choi, D.-S. Bae, S.-H. Ji, G.-Y. Kim, K.-S. Kim et al., “Geological Disposal of Pyroprocessed Waste from PWR Spent Nuclear Fuel in Korea”, KAERI/TR-4525, (2011).