

K-PAM을 이용한 핵종별 보조안전지표와 주안전지표의 상관성 분석

김정우*, 조동건, 정종태, 고낙열, 백민훈

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*jw_kim@kaeri.re.kr

1. 서론

방사성폐기물 심층처분시스템의 안전성평가에서 주 안전지표(primary safety indicator)는 피폭선량(exposure dose)과 위험도(risk)가 고려된다. 하지만, 피폭선량과 위험도는 필연적으로 많은 불확실성을 포함하고 있으며, 방사선적 개념 등에 의해서 일반 대중의 이해도가 떨어진다. 이를 극복하기 위하여, 주안전 지표와 더불어 처분시스템 내 핵종의 농도 또는 유량(flux)과 같은 보조안전지표(complementary safety indicator)를 함께 고려함으로써 처분시스템 Safety Case의 신뢰성을 향상시키는 방법이 활용되고 있다 [1]. 보조안전지표를 활용하기 위해서는 참조값(reference value)을 확보해야 하며, 일반적으로 자연계에서 측정된 주요 방사성동위원소의 농도와 유량이 대표적이다. 하지만, 고준위방사성폐기물에는 핵분열 생성물과 같이 자연계에 존재하지 않는 핵종들(예, ^{135}Cs , ^{129}I , ^{99}Tc 등)이 다수 포함되어 있고, 그 중 일부는 안전성평가에서 주요 핵종으로 고려되고 있다. 이러한 참조값 활용의 한계를 극복하고 처분시스템 Safety Case 개발의 보조안전지표 활용도를 향상시키기 위하여, 본 연구에서는 각 핵종별 보조안전지표들과 주안전지표의 상관성 분석을 수행하였다. 이를 위해서, 최근 한국원자력연구원에서 고준위폐기물 기준 처분시스템[2]을 대상으로 개발한 종합성능평가 모델(K-PAM; KAERI Performance Assessment Model)[3]을 이용하였다.

2. 본론

2.1 보조안전지표의 종류

K-PAM에서 고려되는 보조안전지표는 Table 1과 같이 종류별로 농도와 유량으로 구분되고, 위치별로 공학적방법, 균열암반, 주단열대, 생태계 대수층으로 구분된다. 각 보조안전지표는 핵종별로 구분하여 검토하였다. 보조안전지표에 영향을 미치는 매개변수로는 Table 1과 같이 각 위치별 핵종 수착계수와 투수계수가 대표적으로 고려되었다.

Table 1. Complementary safety indicators and influential parameters in K-PAM

Complementary Safety Indicator		Influential Parameter
1. Concentration		
EBS	Tunnel EDZ (M ¹)	$K_{d,B}$, $K_B(M)$
	Tunnel EDZ (C ²)	$K_{d,B}$, $K_B(C)$
	Borehole EDZ (C)	$K_{d,B}$, $K_B(C)$
NBS	Fractured rock (M)	$K_{d,B}$, $K_B(M)$, $K_F(M)$
	Fractured rock (C)	$K_{d,B}$, $K_B(C)$, $K_F(C)$
	MWCF (M)	$K_{d,B}$, $K_{d,R}$, $K_B(M)$, $K_F(M)$, $K_M(M)$
	MWCF (C)	$K_{d,B}$, $K_{d,R}$, $K_B(C)$, $K_F(C)$, $K_M(C)$
	MWCF	$K_{d,B}$, $K_{d,R}$, $K_B(M,C)$, $K_F(M,C)$, $K_M(M,C)$
	Biosphere Aquifer	$K_{d,B}$, $K_{d,R}$, $K_B(M,C)$, $K_F(M,C)$, $K_M(M,C)$
2. Flux		
EBS → Internal fracture (M)	$K_{d,B}$, $K_B(M)$	
EBS → Internal fracture (C)	$K_{d,B}$, $K_B(C)$	
Internal fracture → MWCF (M)	$K_{d,B}$, $K_B(M)$, $K_F(M)$	
Internal fracture → MWCF (C)	$K_{d,B}$, $K_B(C)$, $K_F(C)$	
MWCF → Aquifer	$K_{d,B}$, $K_{d,R}$, $K_B(M,C)$, $K_F(M,C)$, $K_M(M,C)$	

¹M: Metal Waste

²C: Ceramic Waste

$K_{d,B}$: Partitioning coefficient in buffer

$K_{d,R}$: Partitioning coefficient in rock

K_B : Hydraulic coefficient in backfill

K_F : Hydraulic coefficient in fractured rock

K_M : Hydraulic coefficient in MWCF

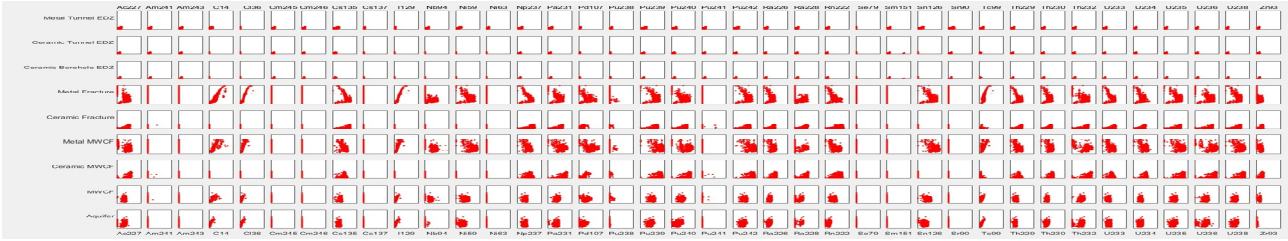


Fig. 1. Correlations between complementary safety indicators(concentration) and primary safety indicator for each radionuclide.

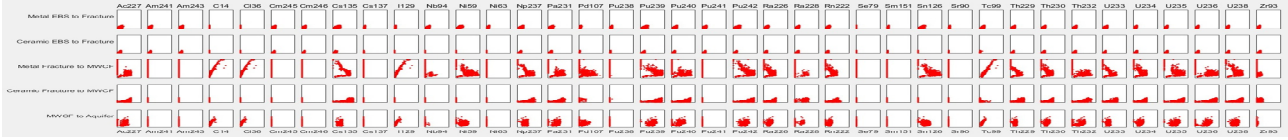


Fig. 2. Correlations between complementary safety indicators(flux) and primary safety indicator for each radionuclide.

2.2 보조안전지표-주안전지표 상관성 지표

보조안전지표와 주안전지표(피폭선량)의 상관성(R_C)은 다음과 같이 각 계산값을 무차원(dimensionless)화하고 핵종별 전체 피폭선량에 대한 기여도를 고려하여 나타내었다.

$$R_C = \frac{\left| \frac{D_{p+\Delta p} - D_p}{(D_{p+\Delta p} + D_p)/2} \right|}{\left| \frac{C_{p+\Delta p} - C_p}{(C_{p+\Delta p} + C_p)/2} \right|} \times \frac{(D_{p+\Delta p} + D_p)/2}{(D_{p+\Delta p} + D_p)/2} \quad (1)$$

여기서, D_p 는 관련 매개변수(p) 변경 전 전체 피폭선량(D), $D_{p+\Delta p}$ 는 관련 매개변수 변경 후 전체 피폭선량, C_p 는 관련 매개변수 변경 전 보조안전지표 계산값(C), $C_{p+\Delta p}$ 는 관련 매개변수 변경 후 보조안전지표 계산값, 그리고 D^r 는 개별 핵종(r)에 의한 피폭선량이다. 최종적으로, 시계열(time-series) 결과에 대하여 평균값을 취함으로써, 각 보조안전지표의 주안전지표와의 상관성을 단일값으로 나타내고 상호 비교하였다.

2.3 보조안전지표-주안전지표 상관성 분석

보조안전지표와 주안전지표의 상관성은 농도관련 보조안전지표의 경우 Fig. 1, 그리고 유량관련 보조안전지표의 경우 Fig. 2와 같이 나타났다. 여기서, x축과 y축은 다음과 같이 정의된다.

$$x: \left| \frac{C_{p+\Delta p} - C_p}{(C_{p+\Delta p} + C_p)/2} \right|, \quad y: \left| \frac{D_{p+\Delta p} - D_p}{(D_{p+\Delta p} + D_p)/2} \right| \quad (2)$$

그 결과, 금속폐기물 관련 공학적방벽 이후에서의 보조안전지표에서 상관성이 상대적으로 높게 나타났다. 그리고, 상관성이 높은 핵종은 ^{242}Pu , ^{99}Tc , ^{239}Pu , ^{14}C , ^{135}Cs 등의 순으로 나타났다(Fig. 3).

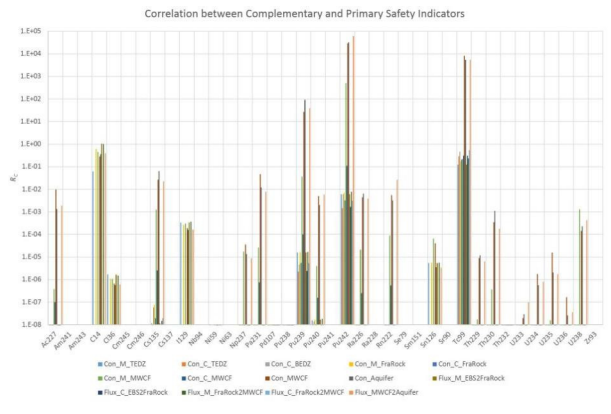


Fig. 3. Correlation values between complementary and primary safety indicators for each radionuclide.

3. 결론

본 연구에서는 종합성능평가 모델(K-PAM)을 이용하여 각 핵종별 보조안전지표들과 주안전지표의 상관성 분석을 수행하였다. 본 연구결과는 향후 참조값을 구하기 어려운 핵종에 대한 보조안전지표의 활용도를 높여 처분시스템 Safety Case의 신뢰성 향상에 기여할 것이다.

4. 감사의 글

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

5. 참고문헌

[1] 정종태, 김정우, 백민훈, "Safety Case 개발 지원을 위한 보조안전지표 기술현황 분석", KAERI/AR-1072 (2015).
 [2] J.W. Choi, D.S. Bae, S.H. Ji, G.Y. Kim, and K.S. Kim et al., "Geological Disposal of Pyroprocessed Waste from PWR Spent Nuclear Fuel in Korea", KAERI/TR-4525 (2011).
 [3] 김정우, 고낙열, 조동건, 정종태, 백민훈, "처분시스템 복합시나리오를 고려한 종합성능평가 모델 개발", 2015 한국방사성폐기물학회 추계학술대회 논문요약집, 167-168, 10.14-16, 2015, 부산.