

## 방사성 폐기물 처분 안전성 평가를 위한 대표인 설정 방안

정찬우, 서은진, 정승영, 이윤근

한국원자력안전기술원, 대전광역시 유성구 과학로 34

icw@kins.re.kr

### 1. 서론

ICRP가 일반인 방호를 위해 정립한, 선량평가의 대상으로서 “결정집단 평균구성원” 또는 근래 “대표인”[1]의 개념은 적용상 여전히 애매하며 시간에 따라 복합피폭의 양상과 대상이 바뀔 수 있는 처분시스템에 대해 특히 그러하다. 이 연구에서는 대표인의 개념을 일반화한 모델을 제안하고 처분안전성평가 사례를 통해 적용성을 검토한다.

### 2. 대표인 모델

하나의 피폭시스템은 여러 선원·시나리오·경로를 내포할 수 있으나 피폭인 관점에서 위험도  $R$ 로 다음과 같이 통합될 수 있다[2].

$$R \equiv \gamma E(D) \approx \gamma \sum_{k=1}^n p_k D_k = \gamma \sum_{k=1}^n p_k f_k c_k w_k \quad (1)$$

여기서  $\gamma$ 는 위험도계수,  $E(D)$ 는 선량  $D$ 의 기댓값,  $p_k$ 는 연간선량  $D_k$ 를 유발하는 피폭경로  $k$ 의 연간 확률,  $c_k$ 는 피폭경로의 방사선 준위(예; Bq/kg),  $w_k$ 는 피폭인이 피폭경로와 연계되는 양(예; 섭취량, kg/y),  $f_k$ 는 선량계수(예; Sv/Bq)이며  $n$ 은 고려되는 피폭경로의 수이다. 이 경우, 대표인을 찾는 문제는 적절한 조건 하에 평가대상집단  $S$  구성원들의 habit data  $w$ 에 대하여 다음과 같이 나타낼 수 있다:

$$\text{Maximize } E[D(w)] = \mathbf{a}^T \mathbf{w}; \forall \mathbf{w} \in S \quad (2)$$

여기서  $\mathbf{a}^T$ 는 식 (1)의 해당 계수들에 상응하는  $n$ 차원의 행벡터,  $\mathbf{w}$ 는  $n$ 차원의 열벡터가 된다. 문제 (2)는 선형계획(LP) 문제의 형태로 어림될 수 있다:

$$\text{Maximize } E[D(w)] = \sum_{k=1}^n a_k w_k \quad (3)$$

subject to

$$b_i^l \leq w_i \leq b_i^u \quad (1 \leq i \leq n) \quad (4)$$

$$b_{ij}^l \leq w_i + w_j \leq b_{ij}^u \quad (1 \leq i \neq j \leq n) \quad (5)$$

.....

$$b_{12...n}^l \leq w_1 + w_2 + \dots + w_n \leq b_{12...n}^u \quad (6)$$

여기서  $b^l$ 과  $b^u$ 는 평가대상인  $w$  데이터의 성분별

하한과 상한으로 그 아래첨자에 해당하는 경로(들)의 (합산)값을 나타낸다. 예를 들어,  $b_{123n}^u$ 은  $S$ 의 원소( $w$ ) 중에서 1,2,3, $n$ 번째 경로항목의 값을 더한 것 중 가장 큰 값을 의미한다. 식 (4)~(6)은  $w$ 의  $n$ 개 항(경로)으로부터 추출할 수 있는 모든 조합 즉  ${}_n C_1, {}_n C_2, \dots, {}_n C_n$  조합에 대해 각각 전개한다.  $S$ 의 실제 데이터 가운데 (2)를 만족하는 것을  $w(s\_max)$ , (3)의 수치해를  $w(LP\_max)$ 라 하면 다음 관계가 성립한다.

$$w(s\_max) \leq w(LP\_max) \quad (7)$$

두 값의 범위를 한정하는 조건식 (4)~(6)의 수가 늘어날수록 수렴한다. 나아가,  $S$ 가  $n$ 항목별로 모집단  $P$ 로부터  ${}_n C_1, {}_n C_2, \dots, {}_n C_n$  조합별 최댓값을 지닌  $w$ 들을 부분집합으로 포함한다면  $P$ 에서 (2)에 상응하는 개인의 값  $w(p\_max)$ 에 대해 다음 관계가 성립한다.

$$w(s\_max) \leq w(p\_max) \leq w(LP\_max) \quad (8)$$

요컨대, 해당 시스템의 특성과 평가의 목적에 맞춘 적절한 조건 하에서 (2) 또는 (3)에 상응하는 개인을 대표인으로 설정할 수 있다.

### 3. 모델링 방법

상기 모델을 바탕으로 다음 절차에 따라 대표인을 선별한다. ①선량평가모델, 피폭시나리오, 가용 habit data를 고려하여 피폭경로와  $w$ 구성방법을 정한다. ② $w$ 구성방법에 따라 habit data를 재편하고 ICRP 대표인 habit data 기준[1]에 비추어 극단값들을 배제하여  $P$ 를 구축한다. ③피폭시나리오별로  $P$ 에서  $w$ 항목에 대해 평가의 방향에 맞춰 (4)~(6)의 조합별 대푯값(예; 최대값 또는 95th percentile 등)을 갖는 개인들을 뽑아 그들의 habit data로 시나리오별 “대표집단”  $S$ 를 구성한다. 복합시나리오의  $S$ 는 각 시나리오별  $S$ 의 원소에 시나리오 간 경로조합에 따른  $w$ 들을 추가하여 구성한다. ④시나리오별  $w$ 항목별로  $c$ 데이터를 산출한다. 위험도평가의 경우에는 해당 확률시나리오의 발생시점에 따른  $c$  profile로부터  $c$ 의 기댓값 분

포를 얻는 것이 필요하다. ⑤c를 이용하여 해당 시나리오에 대해 시점별로 (2)와 (3)을 이행하고 그 결과에 대응하는 w를 분별한다. 이 “대표인”이 ②의 관점에 부합하는지 재확인한다. ⑥대표인 w의 분포를 검토하여 시나리오 또는 시스템을 아우를 수 있는 대표인과 w를 선정한다.

#### 4. 처분시스템 적용 및 고찰

상기 방안을 보다 일반적인 habit data[3]를 써서 경주처분시설 폐쇄후안전성평가[4]의 해당부분에 대입해보았다. 정상 및 비정상 시나리오에 대해 3개 경로(1.어류/2.연체+갑각류/3.해조류), 침입시나리오에 대해 3개 경로(4.식수/5.곡물+과일/6.채소)를 고려하여 성인 6,705명의 habit data를 6개 경로항의 P로 재편하고 ③에 따라 95th percentile의 표본 S를 구성하여 후속과정을 밟았다. Fig.1은 정상시나리오에 대해, Fig.2는 비정상시나리오(기대선량분포)에 대해, Fig.3은 침입시나리오에 대해, Fig.4는 시나리오별 발생확률을 반영한 전체 기대선량분포에 대해 추출한 w를 보여준다. 이로부터 대표인(RP)의 내용이 시간에 따라 크게 변할 수 있으나 w(s\_max)와 w(LP\_max)가 서로 대체될 수 있는 반면 95th percentile에 따라서도 결과에 큰 차이를 낼 수 있음을 알 수 있다.

#### 5. 맺음말

일반적으로 하나의 피폭시스템에서 대표인은 미리 정해질 수 없으므로 평가목적에 맞게 일관성 있는 양식화된 대표인 설정방법이 요구된다. 이 연구에서 일반화한 대표인 모델은 처분시스템 폐쇄후안전성평가에 잘 적용될 수 있다.

#### 6. 감사의 글

자료를 주신 전력연구원 이갑복 님과 대전시청 조한석 님께 감사합니다. 이 연구는 교육과학기술부의 원자력연구개발사업으로 수행되었습니다.

#### 7. 참고문헌

- [1] ICRP Publication 101, ICRP, 2006.
- [2] EunJin SEO et al., *J. of Radiation Protection* Vol.35, No.1, pp.6-11, 2010.
- [3] 보건복지가족부, 2005년도 국민건강영양조사 결과보고서, 질병관리본부, 2006.

- [4] Joo Wan Park et al., *J. of Korean Radioactive Waste Society* Vol.6, No.4, pp.329-346, 2008.

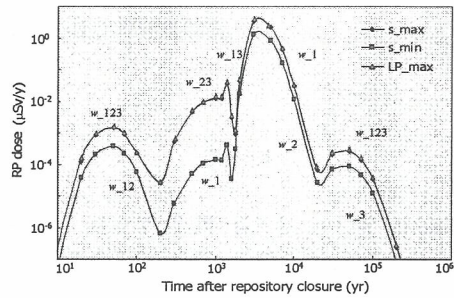


Fig. 1. Illustration of RP distribution for normal scenario

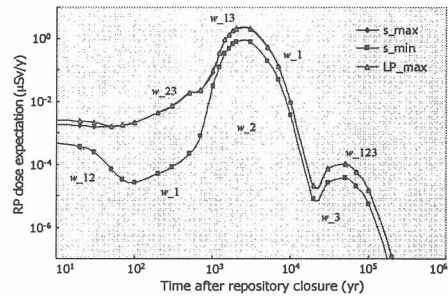


Fig. 2. Illustration of RP distribution for abnormal scenario

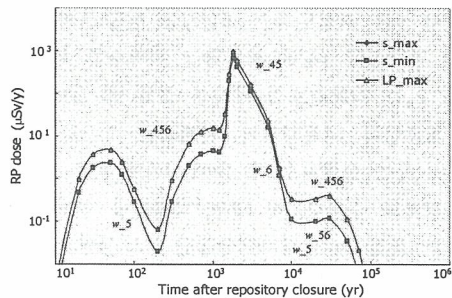


Fig. 3. Illustration of RP distribution for intrusion scenario

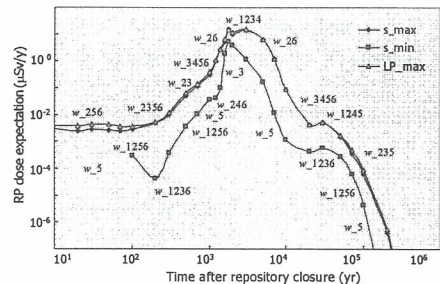


Fig. 4. Illustration of RP distribution for whole expected dose