

위험도기반 처분안전성평가를 위한 복합피폭상황 통합해석 개념모델

정찬우, 서은진, 안상면, 박진용
 한국원자력안전기술원, 대전광역시 유성구 구성동 19번지
 icw@kins.re.kr

방사성폐기물의 처분안전성을 객관화하기 위해서는 적절한 성능목표(선량/위험도 제약치)와 양식화된 부합성 입증방법이 조화를 이루어야 한다. 이 연구는 위험도제어체계의 처분시스템에 대해 불확실한 미래의 다양한 잠재피폭상황을 종합적으로 다루기 위한 하나의 개념모델을 제시한다.

개념모델

처분된 폐기물로부터 일반인에 이르기까지 피폭경로를 그림1과 같이 단순화할 수 있다. 전체피폭상황의 통합해석을 위해서는 위험도제약치의 부합성이라는 측면에서 피폭인 관점에서 접근할 필요가 있다. 주어진 피폭사례로 인한 한 개인의 총 위험도는 잠재피폭상황들의 중첩으로부터 가능한 선량(D)의 확률(P)분포에 걸친 기댓값 형식으로 나타낼 수 있다.

$$\gamma \int_D P(D) D dD \quad (< \text{risk constraint}) \quad (1)$$

여기서 γ 는 위험도계수로서 선량 당 위해 발생확률(예; 0.05/Sv)이다. 식(1)을 바로 계산할 수는 없으며 총위험도에 기여하는 주요 피폭상황에 대해 다음과 같이 어렵할 수 있다.

$$\gamma \sum_{k=1}^n P_k D_k = \gamma \sum_{k=1}^n P_k C_k F_k \quad (2)$$

여기서, P_k 는 연간선량 D_k 로 이끄는 피폭상황 k 의 연간발생확률; C_k 는 피폭매체의 방사능준위(예; Bq/g); F_k 는 피폭매체와 피폭자간 상호작용(섭생특성)을 반영한 선량계수([Sv/y]/[Bq/g])이다. 처분사례에 대해 피폭상황과 P_k 를 유도하려면 누출에서 피폭매체까지 경로를 구성하는 주요 성분들을 분별하고 적절히 결합시켜야 한다. 일반화를 위해, 방사성물질이 다수의 선원/시나리오로부터 피폭사례영역의 매체에 이르는 다양한 잠재이동현상들이 하나의 위상공간에 누출(및 생태환경)의 경계조건과 이동경로로 구성된 다양한 틀에 중첩 형성되는 것으로 볼 수 있다. 즉, 전체 잠재이동현상들은 누출과 이동경로의 결합을 통해 매체 방사능 기대준위로 나타날 수 있다.

$$\sum_{i=1}^s p(i) \left[\sum_{j=1}^w p(j|i) C_{ij} \right] = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^w p_{ij} C_{ij} \quad (3)$$

여기서, $p(i)$ 는 누출시나리오 i 의 연간발생확률, $p(j|i)$ 는 시나리오 i 에 따라 누출된 방사능플럭스가 경로 j 를 경유하여 환경매체 방사능준위 C_{ij} 를 나타낼 조건부확률이다. γ 와 F 가 방사성물질의 이동현상과 무관한 계수이므로 식(3)은 (2)와 오염매체를 중심으로 다음과 같이 연결될 수 있다.

$$\gamma \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^w p_{ij} C_{ij} F_{ij} = \gamma \sum_{k=1}^n P_k C_k F_k \approx \gamma \int_D P(D) D dD \equiv \text{Risk} \quad (i, j = k; sw = n) \quad (4)$$

여기서 F_{ij} 는 C_{ij} 에 연계된 선량계수이다. 즉, 식(2)에서 피폭자에 기초한 피폭상황 k 는 선원항 관점에서 기본적으로 시나리오 i 와 이동경로 j 로 구성될 수 있다. 수학적 모델링을 위해서는 누출시나리오와 이동경로를 주어진 처분시스템 특성에 맞게 정의해야 한다. 그림1에 예시한 각각 5개의 항목들은 이런 작업의 양식화를 위한 토대를 제공할 수 있다.

적용방법

어느 시점/기간에 정상자연현상을 포함한 내외부 현상들이 처분시스템에 작용하면 그 개시현상의 발생가능성이 내포된 연간발생확률을 가지고 각 누출이 일어날 것이다. 이동경로도 유사한 방식으로 그 개시현상과 호응하여 연간발생확률을 가지고 각 누출을 맞이하며 자체 이동특성을 반영한 후 환경매체의 방사능준위로 나타낸다. 이동의 종점으로서 환경매체도 개시확률현상에 영향을 받으나 이 부분은 이동경로에 통합하는 것이 효과적이다. 또한, 환경매체와 피폭자의 상호작용(특히 피폭자의 섭생특성)도 개시현상에 직간접적으로 영향을 받을 수 있으나 자연현상과 연계하여 개별 인간거동에 확률값을 부여하기보다는 성능목표 부합성 결정의 관점에서 결정집단 또는 대표개인을 합리적으로 설정하여 F 의 값에 반영하는 대응방식이 보다 유효할 것이다[2]. 일단 시간에 따

른 위험도값을 산출하면 평가 목적에 적합한 위험도 프로파일을 구성하여 성능목표 부합성을 판단할 수 있다[1]. 이 전개에서 방사능과 매체는 단순화를 위해 각각 단일항으로 고려되었다. 실례에서 핵종과 매체를 종류별로 세분하여 적용할 때 이 모델은 일반성을 잃지 않는다. 또한 이 모델은 해당시스템의 특성과 가용정보에 따라 부분적으로 구체화할 수도 있다.

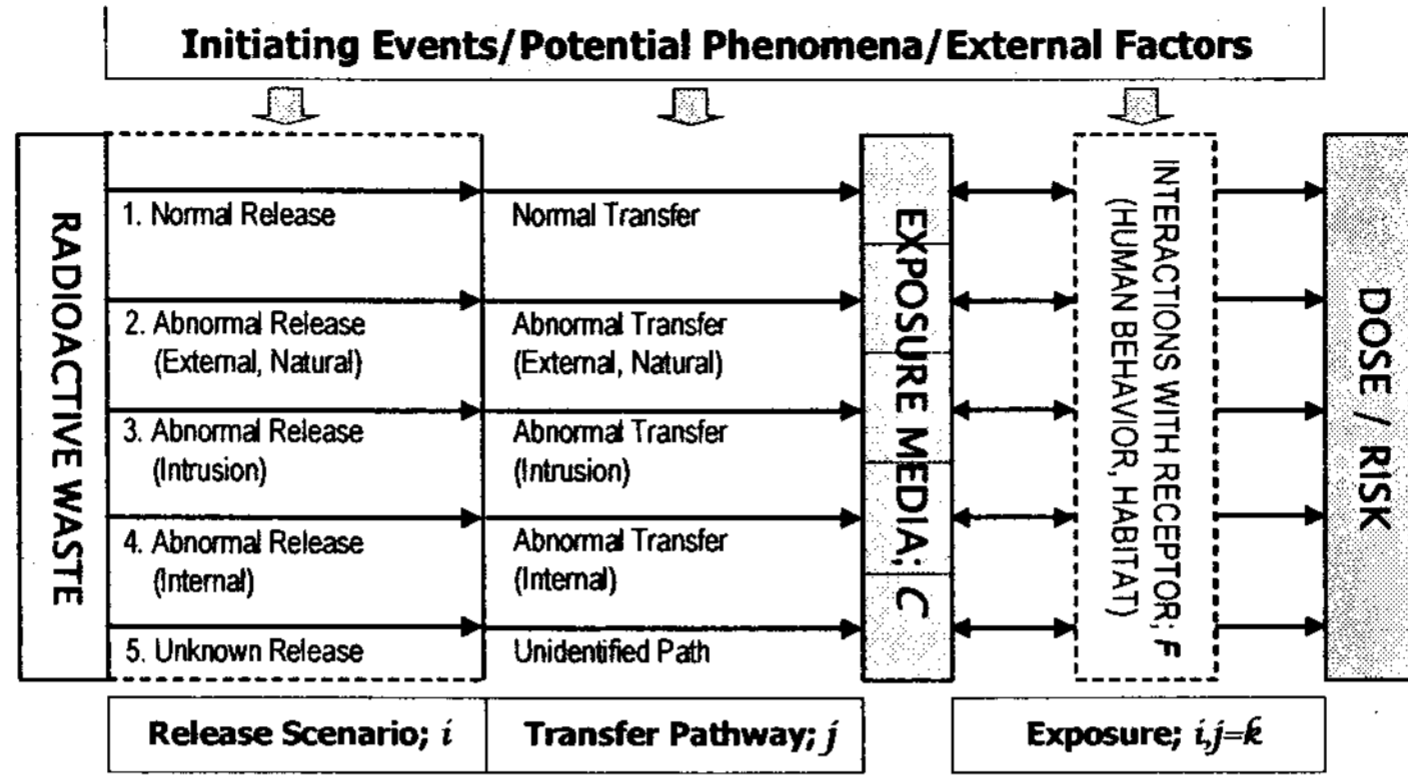


그림 1. 처분시스템 위험도해석을 위한 복합피폭상황의 추상화

예시

상기 모델을 그림1과 같이 각 5개의 시나리오와 경로로 구성된 처분피폭사례를 통해 예시한다. 시나리오별 연간발생확률 p_i 와 경로가중 오염도 즉 $C_i = \sum p_{ij} C_{ij}$ ($j=1 \sim 5$)가 개별 분석을 통해 그림2와 같이 나타난다고 가정하자. 피폭인의 섭생특성이 반영된 선량계수(F)를 편의상 시나리오별로 대표개인에 대해 각각 1이라 하면 시나리오별 선량기여분 즉 $p_i C_i F_i$ 와 대표개인 총위험도를 그림3과 같이 나타낼 수 있다. 이것은 시나리오 관점이고, 경로 관점에서도 같은 방식으로 전개할 수 있다.

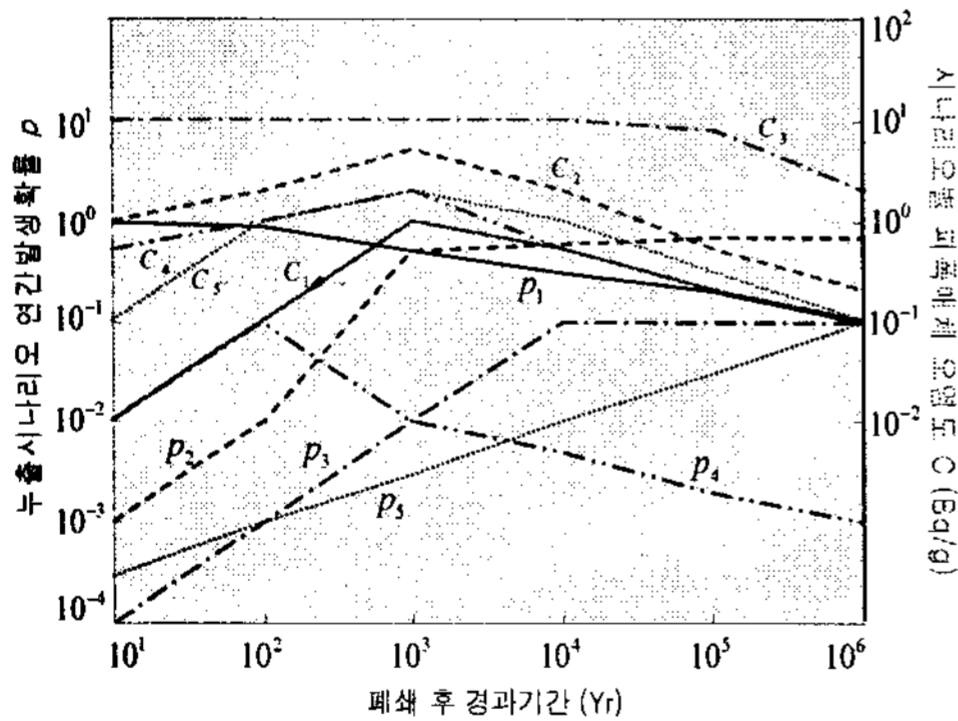


그림2. 시나리오별 발생확률과 경로가중 오염도

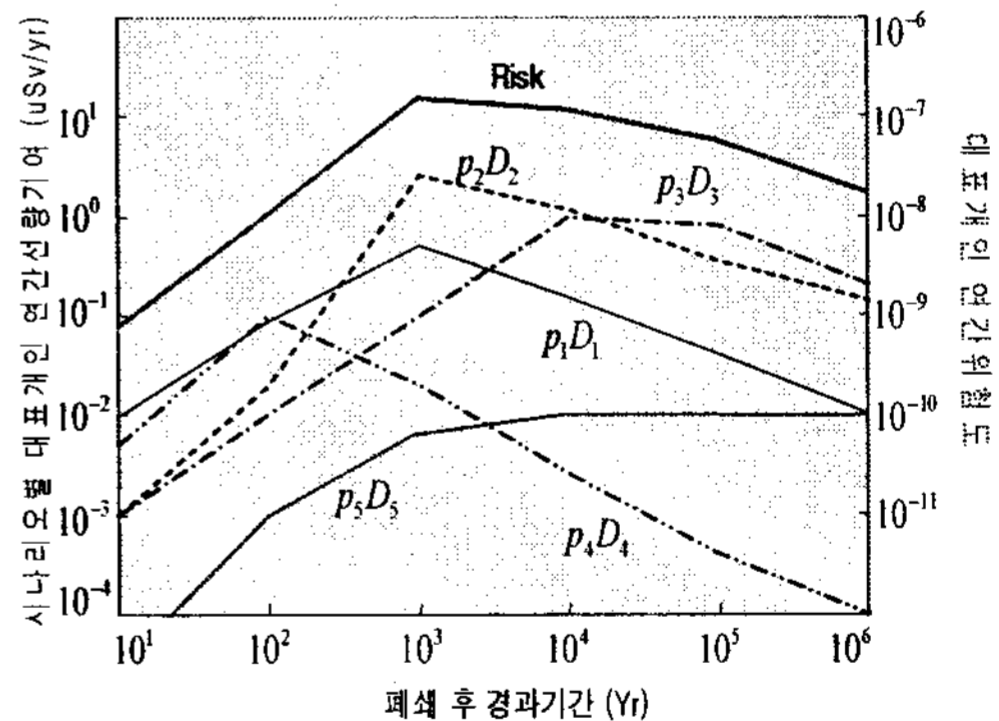


그림3. 시나리오별 선량기여와 대표개인 위험도

결론

위험도제어체계의 처분시스템에서 불확실한 미래의 다양한 잠재피폭상황을 종합적으로 다룰 수 있는 개념모델을 수립하였다. 이 모델의 장점은 통합성과 선형성으로서 선원/시나리오/경로를 종합하되 분별된 피폭경로의 독립적 취급과 선형대수로 개별 분석에서 전체로 바로 통합하고 역으로 전체에서 각 성분을 쉽게 추출한다. 이러한 특성은 위험도의 산출과 민감도/불확실성의 체계적 분석을 용이하게 함으로써 적합한 선량합산모델[2]과 연계하여 처분안전성평가의 robustness와 성능목표 부합성결정의 신뢰성을 높이는 방편으로 당해 모델의 활용을 기대할 수 있게 한다.

참고문헌

- [1] 정찬우 외, 중·저준위방사성폐기물처분시설에 대한 위험도평가방안, 한국방사성폐기물학회 2007 추계학술대회 논문요약집 (pp. 185-186).
- [2] 정찬우 외, 방사성폐기물 처분위험도 부합성평가를 위한 대표개인 설정 방안, 대한방사선방어학회 2007 추계학술발표회 논문집.