

차등접근법에 근거한 원자력시설 해체 작업단위별 잠재 위험도 사전선별 방법론

정제학

한국원자력안전기술원, 대전광역시 유성구 구성동 19번지

radwaste@kins.re.kr

원자력시설의 해체과정에는 크고 작은 잠재리스크를 수반하는 다양한 해체활동이 수행되며, 이러한 해체활동은 작업의 특성에 따라 작업단위 (work package)로 세분화 할 수 있다. 그러나 해체안전성을 검증하는 과정에서 일반적으로 수십 내지 수백 가지로 세분화된 개별 작업단위의 적합성을 동일한 수준으로 검증하기 위해서는 많은 규제인력, 자원 및 시간이 소요되며, 잠재적인 위험도가 미미한 작업단위와 위험도가 큰 작업단위를 동일한 수준으로 검증하는 것은 효율성 및 효과성이라는 안전규제 기본원칙과도 부합하지 않는다. IAEA 주관으로 수행되고 있는 해체안전성 평가 및 검증을 위한 국제공동연구 (DeSa)에서 위험도에 따른 차등접근법 (GA)의 적용을 제안한 것도 이와 같은 맥락에서 이해할 수 있다. 그러나 아직까지 국내외적으로 해체와 관련하여 개별 작업단위의 잠재적인 위험도를 정량적으로 신속하게 구분할 수 있는 체계적인 방법론이 개발되지 못함에 따라, GA를 반영한 해체안전성 검증체계의 개선에는 현실적인 한계가 있다.

이 논문에서는 작업자와 일반인에 대한 잠재적인 위험도 예측값에 근거해 개별 해체 작업단위의 중요도를 신속하게 사전선별 (screening)할 수 있는 방법론을 개발하고, 이를 반영한 개선된 해체안전성 검증체계를 제시하였다.

해체과정에서 특정한 작업단위로부터 작업자가 받게 될 방사선량을 결정하는 주요 작업조건과 피폭경로별 각 작업조건의 기여도는 표 1과 같이 정리할 수 있으며, 이 연구에서는 표 1의 분석결과를 토대로 해체 작업단위 잠재위험도 지수 (Potential Risk Index for decommissioning Work package: PRI_w)를 수식 (1)과 같이 정의하였다. 해체계획서에 기술된 방사선학적 작업조건 관련 자료를 수식 (1)에 대입해 작업단위별 PRI_w 를 산출하면 개별 작업단위의 잠재적인 위험도 우선순위를 쉽게 평가할 수 있으며, ANSI/HPS N13.1에서 채택한 PIC (Potential Impact Category)와 유사한 등급분류 체계를 적용할 경우 등급별로 잠재 위험도에 상응하는 안전성 검증수준을 결정할 수 있을 것이다.

표 1. 해체 작업단위별 작업조건이 피폭경로에 미치는 기여도 분석결과

주요 작업조건	단위	피폭경로			비고
		외부피폭	호흡	(이차)섭취	
외부 방사선량률	mSv/h	◎ (직접)	×	×	◎ : 가장 지배적인 피폭경로 △ : 기여도가 낮은 피폭경로 × : 기여도가 미미한 피폭경로
공기오염도	Bq/m ³	△ (잠김)	◎	×	
표면오염도	Bq/m ²	△ (직접)	△ (재부유)	◎	

$$PRI_w = \frac{DL_w}{DC_w} \cdot \left(\frac{DR \cdot (2,000)}{DL_w} + \sum_{i=1}^N \frac{CA_i}{DAC_i} + \sum_{i=1}^M \frac{CS_i \cdot SIR \cdot (2,000)}{ALI_i} \right) \quad (1)$$

여기서, DR = 작업구역 외부 선량률 (mSv/h), DLW = 작업자 선량한도 (예: 20. mSv/y), DCW = 해체작업 선량제약치 (예: 10 mSv/y), 2,000 = 단위환산계수 (연간 작업시간, 2,000h/y), i = 핵종 일련번호, N = 작업구역 공기중에 존재하는 핵종의 개수, M = 작업구역 오염표면에 존재하는 핵종의 개수, CA_i = 공기중 방사성핵종 i의 농도 (Bq/m³), DAC_i = 방사성핵종 i의 유도공기중농도 (Bq/m³), CS_i = 작업구역내 접근 가능한 표면의 오염도 (Bq/m²), SIR = 이차섭취율 (예: 10⁻⁴ m³/h), ALI_i = 방사성핵종 i의 연간섭취한도 (Bq).

한편 원자력시설의 해체과정에서 발생된 방사성물질의 일부는 대부분 공기중 이동경로를 통해 주변 환경 및 생태계로 유출되어 주변 주민에게 잠재적인 위험도를 유발할 수 있는 것으로 알려져 있다. 이에 따라 특정한 해체 작업단위로 인한 일반인의 잠재적인 위험도를 신속하게 사전 선별할 수 있는 잠재적인 방출가능 재고량 (Potentially Releasable radioactivity Inventory during decommissioning for the Public: PRI_p)을 수식 (2) 및 (3)과 같이 유도할 수 있다.

$$PRI_p = \sum_{i=1}^N \frac{Q_{inv,i}}{Q_{th,i}} \quad (2)$$

$$Q_{th,i} = \frac{DC_p}{RF_i \cdot (X/Q) \cdot ((DCF_{inh,i} \cdot BR) + DCF_{cloud,i})} \quad (3)$$

여기서, i = 핵종 일련번호, Q_{th,i} = 핵종 i의 재고량 상한치 (Bq), Q_{inv,i} = 해체시설 내 방출가능한 핵종 i의 재고량 (Bq), DC_p = 일반인에 대한 선량제약치 (예: 0.05mSv), RF = 방출가능한 핵종 i의 분율(-), (X/Q) = 대기확산인자 (s/m²), DCF_{inh,i} = 핵종 i의 호흡선량환산인자 (Sv/Bq), BR = 호흡률 (8,400m³/y), DCF_{cloud,i} = 핵종 i의 Cloud Shine 선량환산인자 (Sv · m³/Bq · s).

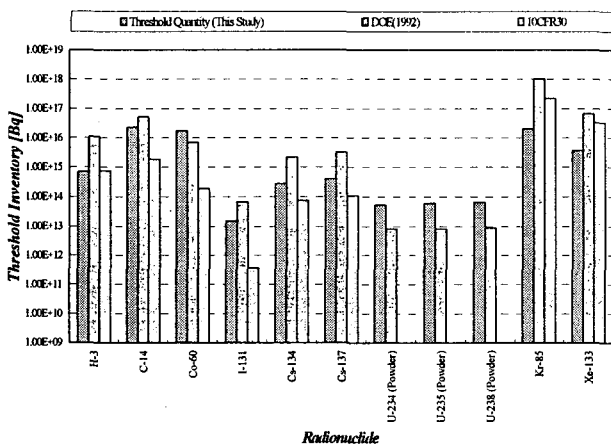


그림 1. PRI_p 산출결과와 해외 유사사례 비교결과

그림 1로부터 어떤 해체 작업단위에 대해 산출된 PRI_p가 1을 초과하거나 특정 방사성핵종 (예: ¹³⁷Cs)의 재고량이 Q_{th,i} (예: 3.94×10¹⁴Bq)를 초과한다면, 주변 주민에 대한 선량제약치 초과 가능성을 배제할 수 없으므로 상세한 안전성평가가 필요함을 알 수 있다.

그림 1은 해체시설에서 검출될 수 있는 주요 방사성핵종(³H, ¹⁴C, ⁶⁰Co, ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, 우라늄 동위원소, ⁸⁵Kr, ¹³³Xe)에 대한 Q_{th,i} 예비 산출결과와 미국의 원자력시설 및 방사성물질 이용 위험도 평가지수 적용사례 (DOE-STD-1027-92, 10CFR30 및 40CFR302)를 비교한 결과로서, 대부분 1 내지 2-Order 내에서 일치하고 핵종별로 유사한 추이를 보이고 있음을 알 수 있다.