

단위 해체공정의 방사선학적 안전성 검증을 위한 차등화 접근방법 - 제염·해체 작업자 시나리오를 중심으로

정계학, 박원재, 김홍태, 이윤근, 석태원, 박상훈
한국원자력안전기술원, 대전광역시 유성구 구성동 19번지

radwaste@kins.re.kr

원자력시설의 해체에 따른 방사선학적 위해도는 시설의 규모, 오염도, 작업특성 등에 따라 큰 차이가 있으며, 이에 따라 최근 해체안전성 평가의 심도를 위해도의 크기에 비례하도록 가변적으로 조정하는 Graded Approach(차등화 접근방법) 적용 필요성이 활발하게 논의되고 있다. 이 연구에서는 제염·해체 작업자 시나리오의 방사선학적 안전성 검증을 위한 차등화 접근방법 적용체계를 도출하고 Test Case를 기준으로 그 적용성에 대한 예비평가를 수행하였다.

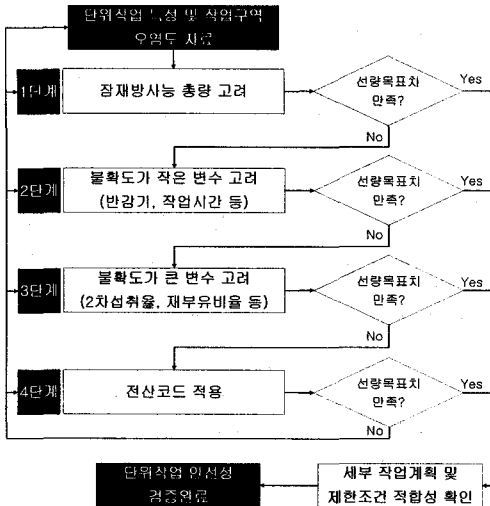


그림 1. 제염·해체 작업자 시나리오 검증을 위한 차등화 접근방법 적용절차

이 유발될 가능성은 없으나, 오염도가 미미한 구역에서의 단순한 작업에 대해서는 제1단계의 단순 계산을 통해 신속하게 안전성을 검증할 수 있다. 제1단계 검증을 통해 가상적인 최대 흡입선량, 섭취선량, 잠김에 의한 선량 및 바닥으로부터의 직접선량이 다음과 같이 모두 선량목표치 이하인 경우에는 일단 해당 작업계획이 적합하다고 판단할 수 있다:

$$D_{p,M} = A_T \cdot DCF_p \leq L_{DC}, \quad (1)$$

여기서, p = 피폭경로(각 호흡, 섭취, 잠김, 바닥으로부터 직접피폭), $D_{p,M}$ = 피폭경로 p 에 따른 가상적인 최대선량(mSv 또는 mSv/y), DCF_p = 피폭경로 p 에 따른 선량환산인자(mSv/Bq, mSv/y per Bq/m³ 또는 mSv/y per Bq/m²), A_T = 작업구역내 총방사능 또는 방사능농도 (Bq, Bq/m³ 또는 Bq/m²), L_{DC} = 선량목표치 (mSv/y).

제1단계 예비검증을 통해 계산된 선량이 선량목표치를 초과할 경우에는 보다 사실적인 평가를 위해 제2단계 검증을 수행한다. 제2단계는 선량평가에 이용되는 각종 변수들 중에서 불확도가 작은 변수들의 값으로 보다 현실적인 값을 적용하는 방법이다. 불확도가 작은 변수들의 예로는 반감기, 작업시간, 작업자의 호흡률 등이다. 한편 제2단계 검증을 통한 계산값이 선량목표치를 초과할 경우에는 불확도가 다소 높은 변수들의 값으로 보다 현실적인 값을 적용하는 제3단계 검증을 수행하게 된다. 그러나 제3단계 검증에서도 기준을 만족하지 못할 경우에는 상세한 피폭경로와 변수들을 반영한 전산코드(예: RESRAD-BUILD)를 이용해 보다 사실적인 검증계산을 수행한다.

검증과정을 통과한 작업계획에 대해서는 단위 작업당 투입인력, 예상 작업시간 등 세부작업계획과 선량목표치 등 제한조건을 만족하기 위한 운영상 조치계획의 적합성을 확인함으로써 검증이 완료된다. 한편 제4단계 검증과정까지 통과하지 못한 작업계획에 대해서는 단위작업에 대한 특성 및 오염도 자료를 보다 현실적으로 수정한 후 적절한 단계의 재검증을 수행할 수 있다.

표 1. 선정된 Test Case의 주요 특성값

조건	값
선량목표치	10 mSv/y
작업구역 크기	5m×5m×3m
방사성 핵종	Co-60
바닥면 오염도	4.0×10 ⁻⁴ Bq/m ² or 4 Bq/g
작업중 분진농도	10 g/m ³
연간 작업시간	2,000 h
호흡률	1.2 m ³ /h
2차 섭취율	1.0×10 ⁻⁴ m ³ /h

이 연구에서는 가상적인 제염·해체 단위작업을 Test Case로 선정하여 위에 제시된 차등화 접근방법의 적용성을 확인하였다(표 1 참조). 선정된 Test Case는 바닥면만 오염된 작업장에서 바다 제염·해체 단위작업을 수행하는 경우를 가정한 것이다. 주어진 Test Case에 대해 제1단계 내지 제4단계 차등화 접근방법을 각각 적용할 경우 예상되는 작업자의 선량을 계산하였다.

그림 2에 도시한 바와 같이, Test Case의 경우 제1단계 및 제2단계 검증과정에서 호흡 및 삼킴에 따른 예상선량이 10 mSv/y를 초과하는 것으로

평가되었다. 그러나 제3단계 검증단계에서는 피폭경로 별 예상선량 및 총 유효선량(약 1.76mSv/y)이 선량목표치 이내로 계산되었으며, RESRAD-BUILD를 이용한 제4단계 검증에서는 총 유효선량이 약 0.2mSv/y로 더 낮게 추정되었다.

즉, Test Case에 대한 안전성 검증에 차등화 접근방법을 적용할 경우, 제3단계에서 기본적인 적합성을 확인할 수 있으며, 전산코드를 이용한 제4단계 상세 평가를 반드시 수행할 필요는 없다.

이 연구에서 도출된 차등화 접근방법에 근거한 단계별 검증절차는 원자력시설 해체시 방사선학적 안전성에 대한 검증에 실제 활용될 수 있을 것이다. 이를 통해 기존의

전면적인(Full Scope) 검증관행에 따른 업무부담을 저감하고 잠재적인 위해도가 큰 안전사례의 검증에 집중함으로써 전체적인 안전성 검증의 효율성을 제고할 수 있을 것으로 기대된다.

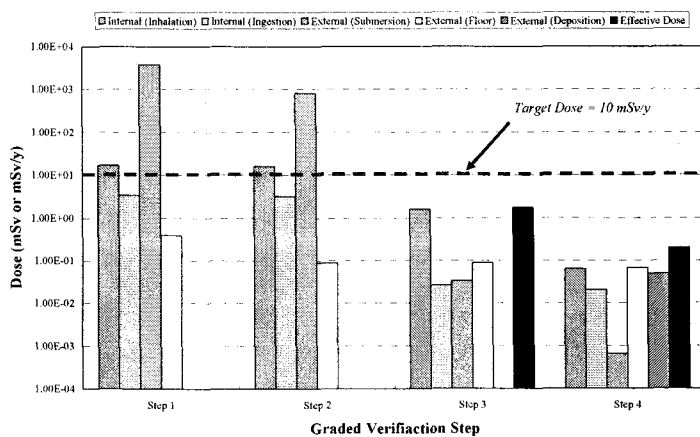


그림 2. Test Case에 대한 차등화 접근방법을 이용한 검증결과