

누설위험도 우선순위 평가기법에 관한 고찰

양양희, 손순환, 이갑복, 손욱

한전 전력연구원

E-mail: yhyang@kepri.re.kr

중심어 : 비계획 유출물, 누설위험도, 지하수오염, SSC(System, Structure, Component), PI(Priority Index)

서론

원전 운영 중에 발생하는 방사성물질은 극히 일부지만 외부환경으로 유출되어 주변주민과 환경에 영향을 줄 수 있다. 원전 사업자는 이를 최소화하기 위한 노력을 기울여야 한다. 원전에서는 방출되는 유출물을 감시 통제 하에 방출시키는 계획적 유출물과 기기의 결함 및 조작 실수 등에 의해 비정상 경로를 통해 방출되는 비계획적 유출물로 구분한다. 2005년 전후에 미국의 일부 원전에서 방사성 액체가 비계획적으로 유출되어 부지 내 지하수가 오염된 사례가 있다. 이에 따라 미국의 EPRI에서는 비계획적 유출물 발생을 방지하기 위해 계통, 구조물 및 기기(SSC, System, Structure, Component)에 대해 누설위험도 순위를 정하여 관리하는 우선순위(Priority Index, PI) 평가기법을 개발하였다. 이 PI 평가기법은 SSC의 누설위험도를 누설 가능성(Likelihood)과 누설시 중대성(Consequence)으로 평가한다. 여기서 평가대상이 되는 SSC는 액상의 방사성 물질이 내부에 존재하거나 존재할 수 있으며, 방사성 물질이 지하수로 유입될 가능성이 있는 SSC이다. 이와 같이 PI 평가 값을 통해 SSC에 대해 우선관리 순위를 정할 수 있으며, 나아가 방사성 물질의 비계획적 방출을 줄여 부지 내 지하수 오염을 최소화 할 수 있다고 본다. 본 논문은 SSC에 대한 PI 평가기법과 실제 적용사례를 소개하여 국내 원전부지 지하수 오염방지에 기여하는데 있다.

PI 산정 및 평가대상 SSC

PI 값은 지하수 오염을 야기할 가능성과 야기된 오염의 중대성의 곱으로 산정한다. 즉 누설위험도를 다음과 같이 누설 가능성(Likelihood)과 누설 시 중대성(Consequence)의 두 요소로 평가한다.

$$PI = \text{Likelihood} \times \text{Consequence} \times N$$

여기서 N은 PI 값을 백분율로 표현하기 위한 상수로 100/9의 값을 갖는데, 이는 PI의 최대치가 9이기 때문이다. 즉,

$$N = 100 \div 9 = 11.11$$

누설 가능성과 누설 시 중대성은 다시 세부 항목으로 구성된다. 누설 가능성은 해당 SSC에서 누설이 일어날 가능성을 누설이력(H_L), 상태(C_L) 및 설계 (D_L) 측면에서 세분화한다. 누설 시 중대성은 해당 SSC의 재고량(I_C), 핵종의 위해도(H_C) 및 이동성(M_C) 그리고 누설 후 검출 가능 여부(P_C)에 따라 평가한다. 각 요소에 대한 계산식은 다음과 같다.

$$\text{Likelihood} = \frac{[H_L + C_L + D_L]}{3}$$

$$\text{Consequence} = \frac{[I_C + H_C + M_C + P_C]}{4}$$

최종적으로 평가된 PI 값은 그 값이 클수록 지하수 오염위험도가 크다는 것을 의미한다. 그러나 PI 값의 계산에 필요한 평가항목 중 일부는 평가 수행자 및 해당 발전소 상황에 의존하기 때문에, 특정 발전소에서 계산된 PI 값을 다른 발전소의 PI 값과 비교하는 것은 무리가 있다고 할 수 있다.

평가대상이 되는 SSC는, 방사성 액체가 저장되어 있거나 또는 통과 가능성이 있으면서, 동시에 방사성 액체가 토양 및 지하수로 누설될 가능성이 있는 계통, 구조물 및 기기이다. EPRI는 평가대상을 System의 경우 Pipe Sleeves between Buildings 외 49개, 구조물은 Spent Fuel Pool 외 15개, 그리고 기기는 Primary Water Tank 외 24개를 선정하고 평가하도록 제시하였다. 하지만 PI 기법을 처음으로 적용하는 발전소는 EPRI에서 제시한 모든 SSC에 대해 평가를 할 경우 많은 인력 및 예산이 수반되어야 하는 등 어려움이 따를 수 있다. 평가 대상 SSC의 개수는 발전소 상황에 따라 적절히 조정할 필요가 있다고 할 수 있다. 실제 미국 St. Lucie 원전의 경우, 모든 SSC에 대한 평가를 하지 않았으며 Condensate Polishing 외 19개 SSC에 대해서 PI 평가를 수행하였다.

PI 평가 사례

특정 부지의 Containment Sump Re-circulation Line에 대해 PI 값으로 83점을 책정한 예이다.

• **Likelihood Priority Factors:** History의 경우, Containment Sump Re-circulation Line 주변 토양에서 오염물질이 검출되어, History의 값이 3으로 결정되었다. Condition은 압력시험 결과, 누설은 없었으나, 유지보수 문제가 반복해서 발생했다. 이러한 상황에 따라 Condition 요소를 3으로 결정되었다. Design은 단일 벽의 지하 배관으로, 근처에서 오염물질이 검출되어 Design 요소의 값을 3으로 결정하였다.

• **Consequence Priority Factors:** Inventory의 경우, Seal Ring Leak로 인해 삼중수소 농도가 약 7.4 E+5 Bq/L로 증가하는 등 심각한 지하수 오염을 초래할 수 있다. 따라서 Inventory 요소의 값을 3으로 결정되었다. Hazard는 이전에 누설된 계통수에 의해 배관의 잔류수 외에 다른 방사화물질(Cs-137, Sr-90)이 있을 가능성이 있다. 이에 따라 Hazard 요소 값이 2로 결정되었다. Mobility는 부지작업 시, 폭파작업으로 모암 균열이 발생되었으며, 잠재적 오염물질이 균열된 모암에 들어갈 수 있어 Mobility 요소의 값은 3으로 결정되었다. Post-Release Detection은 부지 내 감시 우물이 본 배관의 하류방향 약 91 m 지점에 위치하고 있다. 따라서 잠재적 누설이 부지 내에서 감지될 수 있기 때문에 Post-Release Detection 요소의 값은 2로 결정되었다.

결론

원전 사업자는 발전소의 운영 중에 발생하는 방사성물질의 외부 유출을 방지하여 주변주민과 환경에 대한 영향을 최소화해야 한다. 원전부지 지하수 오염을 방지하고자 EPRI에서 개발한 누설위험도 우선순위(Priority Index, PI) 평가관리기법을 살펴보았다. 본 기법은 계통, 구조물 및 기기에 대한 누설위험도를 평가하여 관리함으로써 지하수 오염 방지에 기여할 수 있다고 본다. 향후 국내 원전에 대해 평가대상 SSC를 선정하여 PI 기법에 의한 누설위험도를 평가할 예정이다.

참고 문헌

1. Groundwater Protection Guidelines for Nuclear Power Plants, 1016099, EPRI, 2008.
2. 손 옥 외, 원전부지 지하수 오염 해외사례 조사, 보고서, 한전전력연구원, 2010.