

원자력시설 사고시 지표면 방출물 산출 방법론 적용

이관엽 · 강병위 · 김종수
한국원자력연구원
E-mail: gylee@kaeri.re.kr

중심어 (keyword) : 방사선비상, 원자력시설, 방사선원항, 지표면방출

서론

원자력시설에서의 방사선비상시 환경방출 방사성 물질에 의한 환경영향을 평가하기 위해서는 먼저 방사선원항이 결정되어야 한다. 방사선원항은 핵종별 환경방출율로서, 원자로의 경우 핵종의 노심재고량, 노심상태에 따른 노심 밖 방출분율, 1차 계통 배관 과단 등에 따른 격납건물까지의 방출분율, 건물누설 또는 격리기능 손상부위 등을 통한 환경방출율에 의해 결정된다. 일반적으로 원자력연구시설도 방사선원항을 고려함에 있어 발전소와 유사하다. 그러나 노심재고량에 해당하는 방사선원항과 건물 밖 환경방출 특성은 다르다. 원자력연구시설은 공기중 방사성물질의 직접적 환경방출을 억제하기 위해 환기계통으로 부압을 유지한다. 그러나 사고시는 시설내 방사성물질 농도 증가로 환기계통을 지속적으로 가동할 경우, 유도방출 한도를 초과할 수 있으며 이를 방지하기 위해 환기계통 정지를 고려해야 한다. 이 경우 부압유지가 불가능하며 건물특성에 따른 지표면 방출이 지배적 환경방출 경로가 된다.

방사선비상시는 신속한 직원 및 주민보호조치 의사결정이 이루어져야 하는데 이를 위해서는 환경영향평가 결과가 신속히 도출되어야만 하며, 이를 가능하게 하기 위해서는 방사선원항이 신속히 결정되어야 한다. 따라서 원자력연구시설의 경우 건물 누설특성을 사전에 정의하는 것이 방사능재난대책 수립 및 이행에 있어 매우 중요하다. 본 논문에서는 한국원자력연구원이 운영하고 있는 '하나로' 연구용원자로시설의 건물누설에 따른 방사선원항 산출 방법론을 기술하였다.

원자로실 방사선원

하나로시설에 대한 방사선원의 주요 근원은 하나로 노심핵연료와 노내조사시험설비(FTL)의 시험핵연료이다. 원자로실 방사선원은 하나로 및 FTL에 대한 안전성분석보고서 및 설계계산서의 설계기준사고(DBA)에서 산출된 방사선원을 적용하였다. 이들 자료는 최대 운전이력에 기초하여 생성된 환경방출 가능 핵종의 노심재고량, TID-14844 및 에어로졸 거동특성 연구결과에 따른 원자로실까지의 방출분율을 적용하여 산출되었다.

지표면 방출물 산출

원자로실로 방출된 방사성물질이 굴뚝으로 방출될 경우에는 필터효율 및 환기계통의 방출풍량 만을 고려하면 방사선원 산출로 이어진다. 그러나 건물누설에 의한 지표면 방출은 방출풍량이 따로 존재하지 않아 별도의 방사선원 산출 방법론이 필요하였다. 따라서 다음과 같이 지표면방출을 산출방법을 정립하였다.

1) 하나로에서 과거에 활용한 원자로실 누설을 시험결과를 활용하였다. 과거에 하나로시설에 대한 건물 누설율은 다음 식에 근거하여 환기계통으로 원자로실에 양압을 걸고 압력이 떨어지는 시간을 측정하여 산출하였다.

$$L = \frac{V}{\Delta T} \left(\frac{P_1}{P_2} - 1 \right)$$

여기서, L은 단위시간당 누설율(m^3/hr), P_1, P_2 는 절대압력, ΔT 는 측정 시간간격, V는 시험체적이다. 이

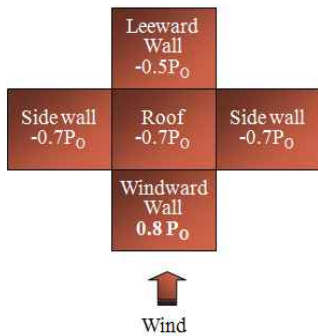
시험결과에서 건물 외부의 압력을 대기압으로 일정하게 고려하여 산출한 건물 내외 압력차(차압)에 따른 건물 누설율 값들을 사용하였다.

2) 1)항에서 얻은 값들은 그래프로 도식화하면 임의의 차압에 대한 누설율을 얻을 수 있으나, 이를 수식화하여야 프로그래밍 화하거나 쉽게 값을 얻을 수 있다. 따라서 이를 가능하게 하기 위해 실험에 의한 건물 누설특성을 정의하는 다음 식을 사용하였다.

$$Q = C \Delta P^n$$

여기서, Q는 차압에 의해 유발되는 누설율($m^3/h \cdot m^2$), ΔP 는 건물 내외 차압, C 및 n 값은 각 건물별 누설특성 상수이다. 이 식에서 산출되는 Q의 값에 건물의 외부 총면적을 곱하면 누설율이 산출된다. 하나로시설의 경우 1)항에서 시험을 통해 얻은 값들을 적용하고 하나로시설의 설계자료를 검토하여 C는 3.3933, n은 0.911, 하나로시설의 외부 면적은 7,566 m^2 임을 알 수 있었다.

3) 원자로실 건물 내외의 차압을 산출하는 방법은 일차적으로 제어실에서 확인 가능한 차압계 지시치를 사용하도록 하였다. 또한, 제어실 거주성 상실 또는 부득이한 경우로 차압을 확인할 수 없는 경우에 대비하여 외부 풍속에 근거한 차압을 산출할 수 있는 방법을 고려하였다. 다음 그림에서와 같이 건물 밖에서 바람이 불게 되면 풍압에 의해 건물에 차압이 발생한다.



위의 그림은 바람이 한쪽 벽에 정면으로 불어오는 경우이며, 측면에서 불어오는 경우는 건물에 미치는 풍압이 위의 그림과 달라진다. 그러나 보수적으로 정면에서 불어오는 경우만을 고려하였다. 외부 풍속과 건물에 미치는 압력과의 관계는 다음 식과 같다.

$$P_0 = \frac{\rho V^2}{2}$$

여기서, P₀는 외부 풍속에 따라 건물에 미치는 기본 풍압, ρ는 공기밀도, V는 외부풍속이다.

이상에서 고려한 세 가지 사항을 하나로시설에 대해 정립함에 따라, 시설 내 사고조건 또는 외부 풍속에 따라 유발된 건물내외 차압에 의한 방사성물질의 환경방출율을 산출할 수 있었다.

결 론

하나로시설의 원자로 및 FTL의 설계기준사고에 따른 원자로실 방사선원과 건물내외 차압으로 발생하는 건물누설율을 적용하여 환경방출 방사선원을 산출하는 방법을 정립하였다. 본 논문에서는 다루지는 않았지만 하나로시설에 대한 방재대책 이행을 위해 원자로실에서 확인할 수 있는 회유기체 및 방사성옥소의 원자로실 농도 지시치로 핵종별 원자로실 분포를 산출할 수 있는 방법도 도출하였으며, 이 방법과 본 논문에서 기술한 방법론을 적용하여, 원자로실의 방사능 농도와 차압지시치만으로 지표면방출에 의한 방사선원량을 산출할 수 있는 엑셀파일을 제작하여, 하나로시설 방재대책에 활용하고 있다. 추후 상기의 엑셀파일에서 적용한 산출수식은 프로그래밍화 하여 현재 연구원에서 활용하고 있는 환경영향평가프로그램에 연계시킬 예정이다.

참 고 문 헌

1. 한국원자력연구원, 하나로 및 부대시설 안전성분석 보고서 (1996).
2. 한국원자력연구원, FTL 설계계산서 (2006)