

## 원전주변 방사성물질 해양확산 평가요건 적용에 관한 고찰

양양희, 손순환, 이갑복

한수원중앙연구원, 대전시 유성구 유성대로 1312번길 70

yyhyang@khnp.co.kr

### 1. 서론

원자력안전위원회고시 제2011-20호에 신규원전 건설 및 운영허가를 위한 방사선환경영향 평가시 해양으로 유입되는 방사성물질의 해양확산 평가에 관한 기술요건을 정하고 있다. 이와 같은 규제요건에 따라 한국수력원자력(주)는 신규원전 건설이 계획 또는 추진되고 있는 동해안을 대상으로 부지별 입지 특성을 반영한 해양확산 평가기술을 개발한 바 있다. 월성1호기 및 울진3,4호기 주기적 안전성평가 심사시 규제기관에 의해 가동원전으로부터 해수로 유입되는 방사성물질에 대해 해양회석인자의 유효성을 검증하고 주기적 변경절차를 수립할 것을 안전성 증진사항으로 제기하였다. 본 연구에서는 원전에서 방출되어 해수로 유입되는 방사성물질의 해양확산에 대한 적절한 평가방법을 모색하고자 국내·외의 관련 규제요건을 분석하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 국내 요건

우리나라의 원자력발전소의 건설 및 운영허가를 위한 해양환경영향 평가에 대한 규제요건은 원자력안전위원회고시 제2011-04호 “원자력이용시설 방사선환경영향평가서 작성 등에 관한 고시”와 원자력안전위원회고시 제2011-20호 “원자로시설 부지 수문 및 해양특성 조사 평가 기준”에 제시되어 있다.

상기 고시 제2011-04호에서는 해양확산 평가요건을 발전소 정상 및 비정상 운영 시 배출되는 액체상 유출물의 농도평가에 사용된 컴퓨터 코드 및 계산 방법 등의 평가모델링에 관한 사항과 연안을 따라 반경 80km 이내에서의 해양 회석 및 침적인자를 계절별로 평가할 것을 제시하고 있다. 또한 연안 반경 80km 이내의 거주민의 활동시간 등을 조사하여 기술할 것을 제시하고 있다. 고시 제2011-20호에서는 방사선 환경영향 평가 시 해양환경에 대한 조사 및 평가기준을 제시하고 있다. 동 고시에서 해양확산 평가와 관련된 부분은

제14조(해수로의 유입평가)에서 해수유동특성 및 수온, 염분 등에 대해 수층별, 계절별로 조사할 것과 방사성 액체 방류물이 해양에 미치는 영향과 해양환경과 지형특성을 고려한 방사성물질의 이동을 분석할 것, 방사성물질의 이동 분석 시 확산, 회석 계수 등을 안전성 측면에서 보수적으로 고려할 것, 그리고 방사성 액체 방류물의 해수유입을 원천적으로 봉쇄하거나 발생된 위험을 감소시킬 수 있는 공학적 해결이 가능할 경우 방사성물질 이동 평가를 생략할 수 있도록 규정하고 있다. 이와 같이 제시된 역학적 요소와 관련 매개변수를 고려하고, 부지주변의 해양환경, 지형특성에 적합한 모델을 이용한 방사성물질의 해양확산을 평가하기 위해서는 삼차원 모델이 필요하다고 판단된다. 또한 규제요건을 충족하기 위해서는 수층별, 계절별로 원전 주변 해역의 해양관측이 요구된다. 또한 규제요건에 따라 부지특성에 적합한 모델을 이용하여 해수유동과 해양확산을 보수적으로 평가하기 위해서는 해수가 평형된 상태에서 이루어져야 하므로 80km 이내와 15km 이내의 평가영역에서 단계적으로 모델링할 필요가 있다.

#### 2.2 국외 요건

국제원자력기구(IAEA: International Atomic Energy Agency)의 원전 건설 및 운영을 위한 해수를 포함한 지표수계에서의 방사성물질 확산평가는 IAEA Safety Series No. 50-SG-S6(IAEA, 1985)에 제시되어 있다. 미국의 관련지침은 미국 원자력규제위원회(NRC: Nuclear Regulatory Commission)의 규제지침인 Regulatory Guide 1.113(US NRC, 1977)에 제시되어 있다.

일반적으로 방사성물질의 해양확산은 유동장의 복잡성과 경계에서의 상호작용에 때문에 수치적 기법을 통해서만 풀 수 있다. 해석적인 해를 얻기 위해서는 일직선상의 해안선, 일정한 유동장, 단순한 수괴 바닥의 경계 등과 같은 가정을 통해 방정식을 단순화하는 과정이 필요하다. 이렇게 단순화된 해석적 모델은 실제적인 상황을 적절히 대표하는 경우에만 타당성을 인정받을 수 있을

것이다. 단순화된 해석적 모델이나 수치적 모델 중 어느 것을 선택하느냐 하는 기준은 부지의 특성과 요구되는 정확도에 따라 결정될 것이다.

IAEA와 미국의 규제지침에서는 해석적 모델과 수치적 모델 모두 부지에서의 타당성이 입증되면 사용될 수 있다는 입장이다. 수중에서의 방사성물질 확산은 크게 두 가지 특징이 있다. 첫째, 복잡한 경계조건과 일반적으로 적용할 수 있는 확산 계수가 없기 때문에 정확하게 모델링하기 어렵다. 둘째는, 정상 운전시 및 사고시 방출된 방사성물질의 농도가 너무 낮아 좀처럼 국가 또는 국제적인 제한치를 초과하는 경우가 발생하지 않는다는 것이다. 따라서 문제가 예상되지 않는 경우에는 복잡한 계산모델을 적용하기 위해 많은 인력과 비용을 투입하는 것이 적절하지 않을 수도 있다. 이러한 이유로 보수적인 가정에 근거를 둔 간단한 해석적 모델들이 많이 개발되었다. 그러나 이러한 모델들이 지나치게 보수적일 경우에는 좀더 실제적인 모델을 사용할 수 있을 것이다.

모델링 결과는 지배적 물리적 파라메타와 입력자료의 정확도를 결정하기 위해, 사용된 모델에 대해 민감도 분석을 수행할 필요가 있다. 특히 신뢰성 있는 결과를 얻기 위해서는 정확한 입력자료를 선택하여야 한다. 입력자료는 대표성과 정확성을 담보하기 위해 최소한 1년 이상 관측한 결과를 활용하는 것이 필요하다고 본다. 만약 기준에 적절한 관측자료가 존재하지 않을 경우에는 최소 1년 이상의 관측을 수행하고 historical data로 보충하여야 한다.

IAEA에서는 효율적인 모델링을 위해 방사성물질의 확산을 3 단계로 나누어 구분한다.

1단계는 방사성유출물의 초기혼합(initial mixing)이다. 이 단계에서는 초기 모델링과 유출물과 수괴의 온도차에 의한 부력이 확산에 가장 많이 기여한다. 초기 혼합은 열적 플룸을 위해 유도된 방정식이 적절할 것이며, 문헌 조사를 통해 정보를 얻을 수 있을 것이다. 초기 혼합 단계는 단시간에 일어나기 때문에 방사성핵종은 유출물 속에서 수동적으로 움직여, 열적 모델로 희석인자를 계산한다. 2단계는 완전혼합(full mixing) 단계로 1단계 종단에서 수괴의 전체 cross-section 또는 수온경사대 위의 지역에서 혼합이 일어나는 지점까지 해당된다. 3단계는 원거리 확산(dispersion over a long distance) 보다 더 먼 거리 및 장시간에 걸쳐 일어나는 확산을 다룬다. 방

사성핵종과 침전물의 상호작용 등도 고려할 수 있다. 어떤 경우에는 2단계와 3단계는 같이 일어날 수 있다.

미국 지침에서는 초기혼합과 원거리 혼합으로 구분한다. 이는 IAEA의 1~2단계는 초기혼합 영역으로 하면 거의 동일한 단계 구분으로 고려할 수 있다. 실제로 IAEA에서도 2단계에 대한 평가 방법론을 구체적으로 제시하지 않고 있다.

### 3. 결론

원자력발전소 주변 해역에 대한 해양확산 평가요건을 적용하기 위해 국내·외 규제요건을 검토하였다. 국내 규제요건을 충족하기 위해서는 부지 주변의 해양환경, 지형특성에 적합한 삼차원 모델을 이용한 방사성물질의 해양확산에 대한 평가가 필요하다. 또한 해수 유동특성 및 수온, 염분 등에 대해 수층별, 계절별로 원전 주변 해역의 해양관측이 요구된다고 할 수 있다. 80km 이내의 광역의 경우 시간적 의존성을 갖는 모델을 근간으로 해수순환과 이를 초기 및 경계조건으로 하는 원전 주변의 삼차원 수치모델을 적용할 필요가 있다. 최근의 수치해석 기법 및 컴퓨터의 발달로 규제지침에서 제시된 것 보다 정교한 모델링이 가능할 것으로 판단된다.

### 4. 참고문헌

- [1] Hydrological Dispersion of Radioactive Material in Relation to Nuclear Power Plant Siting, Safety Series No. 50-SG-S6, IAEA, 1985.
- [2] Estimating Aquatic Dispersion of Effluents from Accidental and Routine Reactor Releases for the Purpose of Implementing Appendix I, RG 1.113, US NRC, 1977.