

미국 규제지침에 기반한 월성1호기 사고해석 방사선량 평가

이 갑 복

한국전력공사 전력연구원
E-mail: gblee@kepco.co.kr

중심어 : 월성1호기, 안전해석, 사고해석, 선량평가, 대기확산

서 론

본 연구는 중수로 원전 사고해석 전산코드를 이용한 월성1호기 사고해석 선량평가 결과가 교육과학기술부 고시 제2009-37호 “원자로시설의 위치에 관한 기술기준”을 만족한다는 것을 보이기 위하여 수행되었다. 동 교육과학기술부 고시에서는 선량한도를 미국 10 CFR 100.11에 제시된 기준을 준용하고 있다. 미국 10CFR 100.11은 가압경수로 설계를 위해 제시된 기준이다.

본 연구에서는 미국의 규제요건에 근거하여 대기확산인자와 선량을 평가하여 10CFR 100.11에 제시된 선량기준과 비교하였으며, 각 사고별 방사능 누출량은 캐나다의 중수로 안전해석 방법론에 근거하여 계산된 값을 이용하였다.

본 연구를 수행한 목적은 월성 1호기 최종안전성분석보고서의 중수로 원전 대기확산 및 선량평가 방법론을 대체하려는 의도가 아니다. 다만, 중수로 대기확산 및 선량평가 코드(ADDAM)에 의해 계산된 선량이 안정대기 조건에서 2.0m/s 풍속을 기준으로 급격하게 변화하도록 설계되어 있고, 또한 2.0m/s 이하의 저풍속에서 미국 규제지침 1.145에 제시된 방법에 비해 낮게 평가하는 경향이 있기 때문에, 이러한 것을 보완코자 중수로 기준 뿐만 아니라 국내 기준의 근거가 되는 미국 10 CFR 100.11에 제시된 기준에도 만족하는지 여부를 검증하려는 것이다.

분석방법 및 가정

교육과학기술부 고시 제2009-37호 “원자로시설의 위

치에 관한 기술기준”의 적용에 따른 가상사고 이후 개인선량 계산은 몇 단계로 나누어져 있다. 첫 번째 단계는 방사선원항의 결정, 즉 환경으로 누출되는 방사능량, Q [Bq] 이다. 다음 단계는 방사능 유출물(plume)의 확산을 모사하는 것이다. 이것은 보통 가우시안 확산모델로서 수행된다. 방사능 유출물의 상대적 농도는 희석(또는 확산) 인자, χ/Q [s/m^3] 으로 표시된다. 방사선원항과 대기확산인자를 곱한 값은 시간-적분 농도, TIC [$Bq.s/m^3$] 라고 알려져 있다.

본 연구에서는 노심에서 원자로 건물로 가장 많은 양의 핵분열생성물을 누출하는 비상노심냉각상실을 동반한 대형냉각재상실사고(LLOCA + LOECC)를 대상으로 방출 방사능량을 가정하였다. 방출량은 SMART 전산코드로 계산되었다.

호흡률, 거주기간 등과 같은 부지경계에서의 개인특성은 적절한 선량환산인자를 결정하는데 필요하다. 각각의 방사성핵종에 대해 시간-적분농도와 선량환산인자(DCF)를 곱한 값이 선량을 나타내게 된다.

부지경계에서의 2시간 대기확산인자 및 저인구지대 경계에서의 사고 전 기간에 대한 대기확산인자를 계산하기 위해 전산코드 PAVAN이 사용된다. PAVAN 코드는 미국 NRC에 의해서 보증된 코드로 제한구역경계거리(EAB)계산을 위해 10 CFR 100에 약속된 일반지침을 준수하며, 미국 NRC 규제지침 Regulatory Guide 1.145에 제시된 방법론을 따르고 있다. 2005년 1월부터 2007년 12월까지의 기간동안 풍속, 풍향 그리고 안정도등급을 포함하는 기상자료들이 PAVAN 코드의 입력자료로 사용되었다.

저인구지대 경계에서의 시간대별(0~8시간, 8~24시간, 1~4일, 4~30일) 대기확산인자는 PAVAN으로 구한 2시간 동안의 대기확산인자와 미국 규제지침 1.111

에 기술된 정상운전시 대기확산인자 값을 대수적으로 내삽하여 결정된다.

914m인 부지제한구역경계에서의 2시간 대기확산인자가 $4.22 \times 10^{-4} \text{ s/m}^3$ 로 계산되었으며, 저인구지대 경계에서의 시간대별 대기확산인자는 <표 1>과 같다.

<표 1> 저인구지대 경계(6,000m)에서의 시간대별 대기확산인자 계산결과 (단위 : s/m^3)

0<t≤8시간	8<t≤24시간	1<t≤4일	4<t≤30일	연간평균
3.50E-5	2.38E-5	1.02E-5	3.06E-6	6.96E-7

가상의 방사능 누출은 지표면 고도에서 발생된다고 가정하기 때문에 사고 후 2시간 동안의 선량평가에서 선택된 개인이 받는 최대선량은 가장 짧은 방사선원-피폭자 거리에서 발생한다. 즉, 914m 인 부지경계가 된다. 또한 사고 전 기간 동안에 저인구지대 경계는 풍하거리 6,000m에서 거주하는 개인을 고려하였다.

선량평가에 적용되는 개인은 성인 남자 (선량환산인자 및 호흡률) 라고 가정하였다. 호흡률은 <표 2>와 같이 미국규제지침(NRC Regulatory Guide 1.4)에 제시된 값을 적용하였고, 선량환산인자는 미국 EPA의 연방지침서(Federal Guidance No. 11과 12)에 수록된 값을 적용하였다.

<표 1> 시간대별 호흡률(단위 : m^3/s)

0<t≤8시간	8<t≤24시간	1<t≤4일	4<t≤30일
3.47E-4	1.75E-4	1.75E-4	2.32E-4

분석결과

미국의 평가기준에 따르면 갑상선 선량은 방사성요오드 흡입에 대해서 계산되며, 전신선량은 불활성기체 및 방사성요오드의 외부피폭으로부터 계산된다. 비상

노심냉각상실을 동반한 대형냉각재상실사고(LLOCA + LOECC)가 발생했을 때, 부지제한구역 경계에서의 2시간 동안의 선량과 저인구지대 경계에서의 사고 전 기간 동안의 선량을 종합하여 <표 3> 선량한도와 비교하여 제시하였다.

<표 3> 비상노심냉각상실을 동반한 대형냉각재상실사고의 부지경계 및 저인구지대경계에서의 개인 선량 및 선량한도 대비 분율

	갑상선 (mSv)	전신 (mSv)	한도 분율 (%)	한도 분율 (%)
부지경계	1156.0	11.9	38.5	4.8
저인구지대 경계	250.0	6.6	8.3	0.3
선량한도 (10CFR100.11)	3000.0	250.0	100	100

결론

2 시간 동안 914 m의 제한구역경계에서의 개인선량과 사고 전 기간 동안의 저인구지대 경계에서의 개인 선량을 전 절에서 설명한 원자로 건물로 부터의 누출량과 대기확산 및 선량계산에 대한 국내의 규제 기준을 적용하여 계산하였다.

원자로심으로부터 원자로건물로 가장 많은 방사능을 누출하는 비상노심냉각상실을 동반한 대형냉각재상실사고(LLOCA + LOECC)의 경우에 2시간 동안 914m의 제한구역경계에서의 갑상선 선량은 갑상선 선량한도의 38.5% 이며, 전신선량은 전신 선량한도의 4.8% 이다. 사고 전 기간 동안의 저인구지대 경계에서의 갑상선 선량은 갑상선 선량한도의 8.3%이며, 전신선량은 전신 선량한도의 0.3% 이다. 그러므로, 본 연구에서 대상사고로 삼은 비상노심냉각상실을 동반한 대형냉각재상실사고(LLOCA + LOECC)의 경우, 교육과학기술부 고시 제2009-37호 “원자로시설의 위치에 관한 기술 기준”을 만족함이 확인되었다.