

고리 1호기 냉각재방사능과 최신방사선원항(ANSI/ANS-18.1-1999)과의 비교

성기똥, 이대환, 강기두

한국수력원자력(주) 원자력발전기술원, 대전광역시 유성구 장동 25-1

kbsung@khnp.co.kr

1977년 6월 최초입계후 1978년 4월 상업운전을 개시한 고리 1호기는 운영허가 기간이 30년으로서 계속운전을 위해 관련법에 따라 주기적인안전성평가(PSR)를 수행하였다. 방사성폐기물분야의 평가결과는 방사성폐기물의 배출량도 감소추세를 보이는 등 관련 과기부고시인 2002-23호에 규정된 원전의 운영으로 인한 환경상의 위해방지 관련 기술기준을 충족한 것으로 나타났다. 이 논문에서는 고리 1호기 FSAR(ANSI-N237-1976 선원항)로 평가한 냉각재핵종농도 평가결과에 대해 소개하고, 최신 경수로원전의 냉각재방사선원항(ANSI/ANS-18.1-1999)과의 비교결과를 제시하였다.

경수로원전 방사성유출물 계산지침인 Reg. Guide 1.112는 2007년 3월 개정되었으며, 계산지침에서 제시한 선원항 ANSI/ANS-18.1-1999는 미국원전의 최근 운영실적을 반영하여 일부 핵종의 RCS 및 2차측 방사능농도를 대폭 하향조정하여 해당 핵종의 배출량도 감소되었고 주민 선량도 액체인 경우 유효선량의 30% 정도, 장기선량의 90% 정도 감소되며, 기체인 경우 외부피폭에 의한 유효선량은 50% 정도 감소되며 장기선량은 약 20%로 감소되는 것으로 나타났다.(참고문헌 1)

고리 1호기 계속운전 PSR평가 결과, 냉각재 방사능 준위는 평가기준인 FSAR의 기준값보다 수십에서 수백 배 낮아서 설계당시 고려된 방사성물질의 환경배출량보다 낮은 것으로 나타났다.(본 논문에서는 X-133, Cs-134, 137 핵종데이터에 대해 표 1에 제시)

국내 원전 건설시 방사선원항 평가에 적용하고 있는 유효한 선원항은 ANSI/ANS-18.1-1984 이다. 그러나 ANSI/ANS-18.1-1999의 선원항이 2000년 초에 제시되었을 때 국내 건설예정인 원전의 설계에 적용하고자 그 적용가능성을 검토한 적이 있다.(참고문헌 2)

검토결과는 국내 원전에서 가동 중인 원전으로부터 취득한 냉각재 핵종농도가 대부분 ANSI/ANS-18.1-1999 기준값의 평균 이하인 것으로 나타났으나, 표 2 에서와 같이 핵분열 시 생성되는 Xe-133, Cs-134 및 Cs-137 핵종은 ANSI/ANS-18.1-1999의 농도보다 2.7배에서 13배 정도 높은 것으로 나타났다. 즉, 모든 핵종을 고려한 전체적인 방사능준위는 최신 선원항을 만족하지만 몇몇 개별적인 핵종의 방사능준위는 비보수적인 것으로 나타나서 좀더 검토가 필요한 상황이었다. 이 논문에서는 냉각재중 방사성핵종 측정데이터가 수많은 핵종들이 혼재된 핵종을 분석할 때 많은 오차가 포함될 수 있고, 최근에는 원전의 냉각재 방사능 분석 기기들이 매우 우수한 장비인 고순도 게르마늄 핵종분석장비(HPGE)를 이용하기 때문에 냉각재핵종데이터를 재검토해 보았다. 검토한 결과, PSR 평가시 원자로의 출력변화 등을 고려하지 않았고, 이로 인해 출력변화시 크게 증가하는 Xe-133인 경우 실제 냉각재 핵종농도보다 높게 평가할 수 있고, Cs-134 및 Cs-137의 경우 단반감기 핵종의 영향으로 인해 냉각재에서 잘 검출되지 않지만 검출될 경우 타 핵종의 높은 방사능 영향으로 인해 실제보다 높게 평가될 수 있는 것이다. 과대평가요소를 줄이기 위해 고리 1호기의 노심 19주기((00.11.22~01.11.8부터 23주기(05.5.13~05.9.20)의 냉각재 방사능 측정자료에서 Cs 핵종의 경우 매일 측정하는 냉각재시료 데이터의 분석값과 핵연료 건전성을 평가하기 위해 냉각재 시료를 며칠 정도 저장하였다가 단반감기 핵종들이 감소된 후 측정된 분석값에서 취한 Cs의 농도값을 검토해 표 3.[100% Rx. 출력시 고리 1호기 냉각재 평균 방사능 및 측정도수]를 얻었으며, 이 표 3으로부터 다음의 결론을 도출하였다.

핵종	FSAR 예상값	제19차 (00.11.22~01.11.8)	제20차 (01.12.14~03.1.28)	제21차 (03.3.3~04.2.20)	제22차 (04.3.24~05.2.28)	제23차 (05.5.13~05.9.20)
		평균 ¹⁾	평균	평균	평균	평균
H-3	1.0E+00	9.64E-01	1.09E+00	6.17E-01	7.15E-01	1.03E+00
Xe-133	2.7E+02	1.07E-02	1.81E-01	9.92E-03	1.00E-02	5.65E-03
Cs-134	2.6E-01	-	2.44E-05	-	-	-
Cs-137	1.3E+00	1.38E-05	5.28E-05	1.07E-05	-	-

표 1. 계속운전 PSR 평가범위의 냉각재 방사능 농도 (단위 : $\mu\text{Ci/g}$)

1) 핵종분석시 측정된 모든 값들의 평균임(원자로출력, 단반감기 핵종영향 등을 고려안함)

표 2. 국내원전 RCS 비방사능 측정치 및 ANSI/ANS-18.1-1999 비교 (단위 : $\mu\text{Ci/g}$)

핵종	고리1	고리2	고리3	고리4	영광1	영광2	영광3	영광4	울진1	울진2	평균	ANSI	평균/ ANSI
Xe-133	6.65E-2	3.13E-1	1.02E-2	1.01E-1	2.01E-1	1.51E-3	2.01E-4	2.04E-2	4.51E-3	7.74E-2	7.97E-2	2.90E-2	2.75
Cs-134	6.13E-6	1.18E-3	1.43E-3	5.48E-4	2.87E-4	5.03E-5	1.00E-6	4.14E-4	1.75E-4	7.22E-4	4.81E-4	3.70E-5	13.00
Cs-137	2.74E-5	1.27E-3	5.65E-4	5.20E-4	2.55E-4	2.31E-6	3.16E-6	4.82E-4	1.00E-4	6.92E-4	3.92E-4	5.30E-5	7.39

* 다른 핵종은 모두 ANSI/ANS-18.1-1999 기준값 이하임(평균 1/10 수준임)

표 3. 100% Rx. 출력시 고리 1호기 냉각재 평균 방사능 및 측정도수 (단위 : $\mu\text{Ci/g}$)

핵종	제19차 (00.11.22~01.11.8)		제20차 (01.12.14~03.1.28)		제21차 (03.3.3~04.2.20)		제22차 (04.3.24~05.2.28)		제23차 (05.5.13~05.9.20)		ANSI- 1984 (Rev.1)	ANSI- 1999 (Rev.2)
	평균 ¹⁾	도수	평균	도수	평균	도수	평균	도수	평균	도수		
H-3	0.98	153	1.1	147	0.88	141	1.1	160	1.1	56	1.0E+0	1.0E+0
Xe-133 ¹⁾	1.0E-2	155	1.8E-1	309	7.9E-3	185	7.0E-3	160	6.6E-3	59	2.6E+0	2.9E-2
Xe-135 ¹⁾	1.7E-2	155	1.8E-2	309	1.4E-2	185	1.2E-2	160	1.1E-2	59	8.5E-1	6.7E-2
Cs-134 ¹⁾	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	-
Cs-137 ¹⁾	1.5E-4	3	3.5E-4	1	-	0	-	0	-	0	-	-
Cs-134 ²⁾	-	0	1.7E-5	30	-	0	-	0	-	0	7.1E-3	3.7E-5
Cs-137 ²⁾	1.3E-5	34	3.7E-5	46	1.1E-5	4	4.9E-6	4	-	0	9.4E-3	5.3E-5

1) 100% Rx. 출력에서 얻은 냉각재 분석값으로부터 얻은 평균 농도

2) 단반감기 핵종들이 감쇠된 후 측정된 평균 농도값

- 냉각재 삼중수소는 0.88~1.1 $\mu\text{Ci/g}$ 를 나타내며 ANSI 평균값과 잘 일치한다.
- Xe-133은 핵종분석마다 검출되며 과거에는 분석오차가 컸으나 최근에는 분석오차가 적어졌고, 최신 선원항보다 낮은 수준이다. 다만 제 20 주기의 Xe-133 농도값은 Xe-135의 농도추이로 판단할 때 과대평가된 경우라고 판단된다.
- Cs-134 및 Cs-137 핵종의 경우 단반감기 핵종의 영향을 제거할 때 최신 선원항보다 낮은 수준이었다.

따라서 본 논문에서와 같이 최신 방사선원항과 냉각재 핵종준위를 비교하기 위해서는 출력변화 또는 단반감기 핵종의 영향을 고려하는 등의 보수적인 측면을 제외하여야 한다.

[참고문헌]

1. ANSI/ANS-18.1(1999) 적용에 따른 설계영향 평가, 메모, KOPEC
2. 예상방사선원항 및 소외방출량 평가 기술개발 최종보고서, 산업자원부, 2005. 2