

원전 방사선 유출물 감시계통의 경보설정 개선방안 및 적용 Reform and Application of the Setpoint of Effluent RMS in NPP

박규준, 양양희, 김희근, 김위수
전력연구원
대전광역시 유성구 문지동 103-16

요 약

원전에서는 원자력법령에 따라 방사선유출물에 대해 배출관리기준을 초과하지 않도록 계속적으로 감시해야 한다. 이러한 감시에는 여러 가지 방안이 있으나 통상 기체유출물 감시계통의 경보설정방법을 이용하고 있다. 본 논문에서는 과기부고시 제2002-23호에 따라 여러 가지 안전여유도 등의 여러 인자를 고려하여 기체유출물 감시계통의 경보를 개선하였다.

Abstract

The atomic laws require assurance that radioactive materials within gaseous effluent of NPP do not exceed effluent concentration limits (ECL). This simply means that any effluent that would possibly contain radioactivity must be monitored. There are various methods to monitor the radioactivity of effluent monitor to satisfy the ECL for gaseous effluent. The many factor (safety margin) should be considered in determining of the setpoint of effluent monitor, following the new MOST Notice 2002-23.

1. 서 론

원전 방사선감시계통(Radiation Monitoring System, RMS)은 원전 주변 환경으로 방출되는 유출물을 감시하는 시스템으로서 원전의 노후와 주변주민에 대한 안전성 확보 차원에서 그 중요성이 더욱 증가하고 있다. 국제방사선방호위원회(ICRP) ICRP-60의 후속조치로서 최대허용농도(MPC)가 연간섭취한도(ALI)와 유도공기중농도(DAC), 배출관리기준으로 개정되어[1] 과학기술부고시 제2002-23호 『방사선방호 등에 관한 기준』에서 법제화되었다. 이에 따라 RMS 경보설정치는 이를 근거로 변경이 필요한 상황이다.

RMS는 원전 주변의 환경상 위해방지와 일반대중 및 원전 작업종사자에 대한 방사선방호를 목적으로 방사성유출물 관리의 건전성 확보 차원에서 운용되고 있다. RMS는 환경(Environmental) RMS와 유출물(Effluent) RMS와 공정(Process) RMS, 지역(Area) RMS 등으로 나뉜다. 또한 RMS의 검출기를 설치하는 형태에 따라 On-line Monitor와 Off-line Monitor, In-line Monitor 등으로 구분한다. 현재 국내 원전의 대부분 RMS는 Off-line Monitor로 설치 및 운용되고 있으며 포집/채집부와 감시부, 현장제어반(Local Control Unit, LCU), 전산기 등으로 구성되어 있다[2].

원전의 RMS는 원전으로부터 방출되는 방사성유출물을 감시하여 사전 경보 발생 및 경보치 이상의 방사성유출물의 방출을 차단하기 위해 경보설정치(Setpoint)를 정하여 운영하고 있다. RMS 경보설정치는 고경보설정치(Alarm Setpoint)와 경보예고 설정치 (Warn Setpoint)로 구분된다. 공정 RMS는 공기 중 농도를 감시하여 계통의 건전성을 감시하기 위해 경보치를 적절히 설정하여 운영하고 있으며 지역 RMS는 검출기가 설치되어 있는 방사선구역의 선량률을 기준으로 경보 설정치를 설정하고 있다. 유출물 RMS는 일반인에 대한 선량한도 또는 MPC 기준으로 원전별로 경

보설정치를 설정하여 운영하고 있다. 대부분 원전의 RMS 경보설정치는 Vendor의 설계방식에 따라 설정하는 경향을 보이며 원전내의 다수 호기나 다수 방출구 등을 고려함에 있어 약간씩 다르게 운영하고 있는 상황이다[3]. 국내 원전의 RMS의 감시기 개수 및 종류는 각 원전별로 약간씩 상이하며 그 내용은 표 1과 같다.

국내 기존원전 RMS 경보설정치는 구 선량한도와 최대허용농도에 근거하여 산정되었고, 울진 5, 6호기와 같은 신규원전에서는 ICRP-60의 선량한도에 근거하여 산정되었다[4]. 이러한 배경에서 국내 고시를 적용하여 원전 RMS 경보설정 개선방안을 검토하고 국내 다수 원전에 적용한 결과를 분석하여 공통적인 개선방안을 도출하였다.

표 1. 원전 RMS 설치현황

호기	계통 및 유출물 감시기					지역감시기	
	개수/ unit	검출기 유형 (Scin.)				개수/ unit	검출기 유형
		G	P	I	액체		
고리 1호기	12	β	β	v	v	13	GM
고리 2호기	11	β	β / NaI	v / NaI	v	12	GM
고리 3,4호기	18(6)	β	β	v	v	14(6)	GM
영광 1,2호기	18(6)	β	β	v	v	14(6)	GM
영광 3,4호기	29(6)	β	β	v	v	28(11)	GM
영광 5,6호기	29(6)	β	β	v	v	28(11)	GM
울진 1,2호기	12(6)	위치에 따라 다름/주로 Scin. 와 Ion chamber				10(4)	GM
울진 3,4호기	29(6)	β	β	v	v	28(11)	GM
울진 5,6호기	29(6)	β	β	v	v	28(11)	GM

※ 괄호 내의 수는 호기 상호간 공유하는 RMS의 개수

2. RMS 경보설정 개선방안

기체 유출물 RMS에 대한 기존 경보설정치는 다음과 같이 요약할 수 있다. 일반인에 대한 MPC에 근거한 고경보설정치 SP_{ALARM} ($\mu\text{Ci}/\text{cc}$)는 다음 식으로 계산하였다.

$$SP_{ALARM_j} = \sum_i \frac{A_i}{\frac{x}{Q} \sum_i \frac{A_i}{MPC_i}} \times \frac{C}{F_j} \quad (1)$$

위 식에서 F_j 는 방출구 j에서의 평균 공기 방출유량(cc/sec)이며 A_i 는 방출구에서의 핵종 i의 방출율(Ci/yr), x/Q 는 제한구역 경계에서의 최대 대기확산인자(sec/m^3), MPC_i 는 일반인에 대한 공기 중 최대허용농도($\mu\text{Ci}/\text{cc}$), C는 단위환산과정에서 유도되는 상수이다. 일반인에 대한 선량한도에 근거한 SP_{ALARM} 는 다음 식으로 계산하였다.

$$SP_{ALARM_j} = \frac{1}{n} \times \frac{500}{F_j \cdot (x/Q) \cdot \sum_i DCF1_i \cdot S_{j,i}} \quad (;\text{NobleGas}) \quad (2)$$

또는

$$SP_{ALARM_j} = \frac{1}{n} \times \frac{3000}{F_j \cdot (x/Q) \cdot \sum_i (DCF2_i + DCF3_i) \cdot S_{j,i}} \quad (;\text{NobleGas}) \quad (3)$$

$$SP_{ALARM_j} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{F_j \times (\chi/Q)} \times \frac{1500}{\sum_i P_i S_{j,i}} \quad (; Particle, Iodine) \quad (4)$$

여기서, $1/n$ 은 부지내 기타 시설로부터의 동시 방출을 고려한 추가 안전여유도 (Safety Factor)이며 $S_{j,i}(=A_{j,i}/\Sigma A_{j,i})$ 는 방출구 j 에서 연간 예상 방출량 중 방사성 핵종 i 의 방출분율, DCF_i 는 Reg. Guide 1.109[5]에서 정의된 선량환산계수(mSv/yr)($\mu Ci/m^3$), P_j 는 NUREG-0133[6]에서 정의된 장기별 선량환산계수(mSv/yr)($\mu Ci/m^3$), 500은 일반인의 외부 전신 선량한도(mSv/yr), 3000은 일반인의 피부 선량한도(mSv/yr), χ/Q 는 제한구역 경계에서의 최대 대기확산인자(sec/m^3), $1/2$ 은 동시방출을 고려한 안전여유도이다[7].

액체 유출물 RMS의 고경보설정치는 수중 MPC에 근거하여 설정한다. 정상 운전 중 방사성핵종별 예상방출량(Ci/yr)과 수중 최대허용농도($\mu Ci/cc$), 비율(예상방출량/최대허용농도)을 기준으로 냉각수에 의한 희석후 방출구에서의 방사능농도를 고려하여 고경보설정치를 다음과 같이 계산하였다.

$$SP_{ALARM} = \sum_i \frac{X_{ei}}{\sum_i \frac{X_{ei}}{MPC_i}} \quad (5)$$

여기서, X_{ei} 는 유출물내 핵종 i 의 방사능 농도($\mu Ci/cc$), MPC_i 는 제한구역 경계에서의 핵종 i 의 수중 최대허용농도($\mu Ci/cc$)이다[7].

ICRP-60의 범제화에 따라 일반인에 대한 방사선 선량한도가 $5 mSv/yr$ 에서 $1 mSv/yr$ 로 하향 조정되었고, 기존 등가선량 개념에서 인체 각 조직의 조직가중치를 고려한 유효선량 개념과 기존의 MPC에서 ALI와 DAC, 배출관리기준 등으로 변경되었다. 한편 국내 원전의 동일부지 내에 다수호기의 원자로를 가동함에 따라 발생하는 다수방출구에 의한 추가 안전여유도를 고려할 수 있도록 검토 중에 있다[3].

유출물 RMS의 경보설정치는 ICRP-60의 방사선방호 신개념에 따른 배출관리기준에 따라 영향을 받기 때문에 일반인과 규제기관의 주요한 관심대상이 되고 있다. 동일부지 내에 다수호기의 원자로를 가동하는 원전의 경우에는 그에 따른 영향을 정형화하여 나타내기 위해 체계적인 경보설정이 필요한 실정이다.

ICRP-60의 범제화에 따라 변경된 일반인에 대한 선량한도와 배출관리기준, DAC, ALI, 유효선량, 선량환산계수 등을 고려한 기체방사성 유출물의 경보치를 개선하여 산정하기 위해서는 동일부지내 각각의 원전의 최종안전성분석보고서(Final Safety Analysis Report: FSAR)의 부지경계에서의 공기 중 방사능농도(Bq/m^3)와 배출관리기준 농도(Bq/m^3)의 비의 총합이 1을 초과하지 않아야 한다.

$$\sum_j \left(\sum_i \frac{C_{j,i}}{ECL_{j,i}} \right) \leq 1 \quad (6)$$

여기서 i 는 핵종을 의미하며 j 는 방출구를 의미한다. 이러한 조건을 만족하는 경우에 단일 배기구에 의한 방출량이 배기중 배출관리기준을 만족하도록 방출구 지점과 필터전단 지점을 분리하여 모든 핵종들에 대한 고경보설정치(SP_{ALARM})를 설정하였다. 방출구 지점의 경우에는 제한구역 경계 거리에서의 일반인 연간 허용한도를 적용하였다.

$$SP_{ALARM_j} = \frac{1}{F_j \times (\chi/Q)} \times \frac{\sum_i Q_{j,i}}{\sum_i (Q_{j,i}/ECL_i)} \quad (7)$$

또한, 필터전단 지점의 경우에는 제한구역 경계거리에서 작업종사자 연간 허용한도를 적용하였다.

$$SP_{ALARM_j} = \frac{1}{F_j \times (\chi/Q)} \times \frac{\sum_i Q_{j,i}}{\sum_i (Q_{j,i}/ECL_i)} \quad (G) \quad (8)$$

$$SP_{ALARM_j} = \frac{\sum_i Q_{j,i}}{\sum_i (Q_{j,i}/ECL_i)} \times 120 \quad (I) \quad (9)$$

$$SP_{ALARM_j} = \frac{\sum_i Q_{j,i}}{\sum_i (Q_{j,i}/DAC_i)} \quad (P) \quad (10)$$

위식에서 희유기체(G)는 필터링 영향이 없다고 가정하여 방출구 지점의 식을 그대로 적용하고, Iodine(I)은 작업자와 일반인의 선량한도 차이(1/20), 호흡율과 활동시간의 차이(1/3), 연령군별 선량환산계수의 차이(1/2)를 고려한 가중인자 120을 사용하며, 입자(P)는 작업자와 일반인의 차이에 기인한 선량환산계수의 차이로 유도공기중농도 DAC_i (Bq/m^3)를 적용하였다[7].

한편, 기체방사성 유출물 RMS 경보치를 설정할 때 다수호기 영향을 일괄적으로 반영하는 단일 호기 개념은 부지개념의 배출기준 초과 검토가 필요하지 않다. 이 개념에 의한 고경보치는 다음과 같이 설정하였다.

$$SP_{ALARM_j} = \frac{1}{N_u} \times \frac{1}{F_j \times (\chi/Q)} \times \frac{\sum_i Q_{j,i}}{\sum_i (Q_{j,i}/ECL_i)} \quad (11)$$

여기서 N_u 는 부지내 발전소 개수이다[7].

액체 유출물 RMS의 고경보설정치는 기존 RMS 경보설정의 (5)식에서 수중 최대허용농도인 MPC_i 를 배수중 배출관리기준인 ECL_i 에 근거하여 설정하였다[7].

3. 원전 적용성 분석

기존 RMS 경보설정치와 RMS 경보설정 개선방안을 표본(Sample) 원전들에 적용한 결과, 보조 건물 공기조화계통(HVAC) 여과기 입구측 감시기는 그림 1~3과 같이 불활성기체의 경우에는 6개의 대상 표본원전 중 2개의 표본원전에서 감소하였으며 나머지는 같거나 증가하였다. 입자의 경우에는 5개의 대상 표본원전 중 1개 원전만이 감소하였고, 옥소의 경우는 4개의 대상 표본원전 중 1개 원전만이 감소하였다. 액체유출물 RMS 경보설정 개선방안을 6개의 표본원전에 적용한 결과는 그림 4, 5와 같이 증기발생기 취출구 시료감시기의 고경보설정치는 1개의 표본원전만이 감소하였고, 액체폐기물 배출구 감시기의 경우에는 2개의 표본 원전에서 감소하였다.

4. 결 론

원전 RMS 경보설정은 방사선방호 신개념인 ICRP-60을 국내 원자력 관계법령에서 2003년부터 시행함에 따라 구 법령에 기초한 기존 원전 RMS 경보설정에 대한 변경이 필요한 시점이다. 본 논문에서는 국내 원자력 관계법령의 시행에 따른 원전 RMS 경보설정에 미치는 영향을 평가하고 향후 RMS 경보설정의 표준 방법론을 개발하고자 원전 유출물 RMS 경보설정 개선방안을 원전에 적용한 결과를 분석하였다.

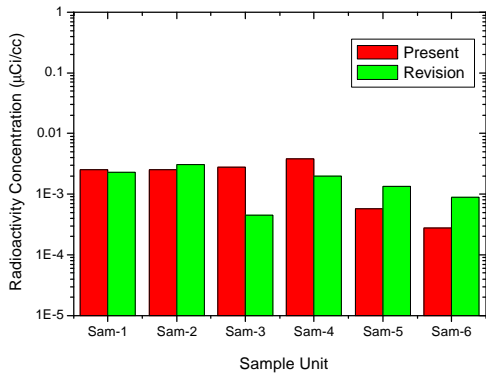


그림 1. 보조건물 HVAC 여과기 입구측 감시기(G)

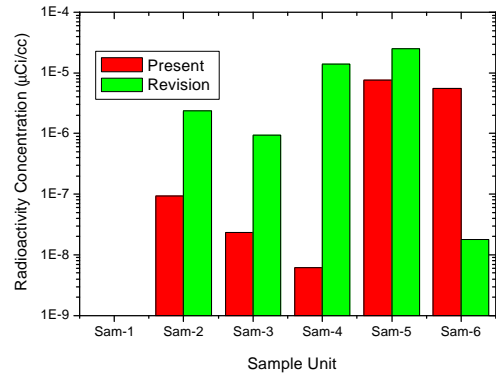


그림 2. 보조건물 HVAC 여과기 입구측 감시기(P)

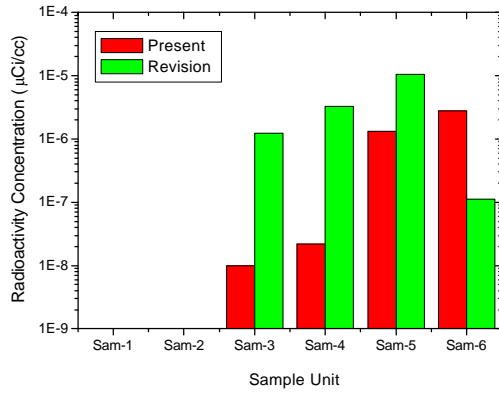


그림 3. 보조건물 HVAC 여과기 입구측 감시기(I)

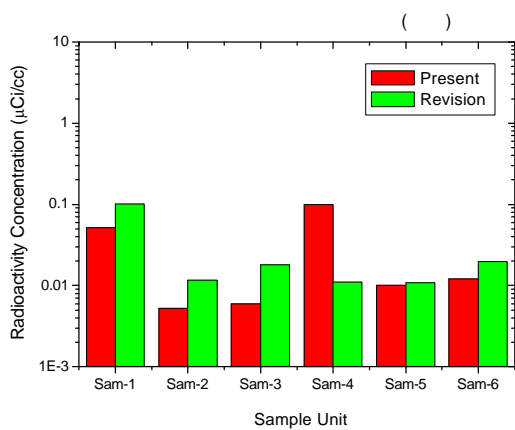


그림 4. 증기방생기 취출수 시료감시기(액체)

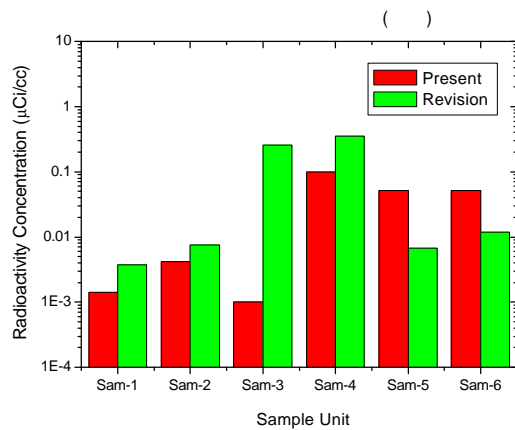


그림 5. 액체폐기물 배출구 감시기(액체)

향후 본 유출물 RMS 경보설정 개선방안은 발전소의 검토의견을 충분히 반영하여 원전에 적용할 수 있는 최적의 경보설정 방법을 제시하고자 한다.

참고문헌

1. 김희근, 홍승열, 김형진, 김예중, 이병일. 원전 방사선 감시계통의 경보설정 방법론개발. 한국원자력학회 춘계학술발표회 논문집, 1999.
2. 김희근, 이승수, 김형진, 김위수. 원전 방사선감시계통의 경보설정 방법론에 관한 현황조사. KEPRI, 2002.
3. 김희근, 김위수. 원전 방사선감시계통 경보설정 개선 방안 (한수원 방사성폐기물 관리 실무회의 발표자료). KEPRI, 2002.
4. 배영직, 이승중, 이경희. 방사선감시기 경보설정치 산정에의 ICRP-60 권고안 적용. 한국원자력학회 춘계학술발표회 논문집, pp. 683~690, 1998.
5. Regulatory Guide 1.109. Calculation of Annual Doses to Man from Routine Releases of Reactor Effluents for the Purpose of Evaluating Compliance with 10 CFR Part 50, Appendix I. U. S. Nuclear Regulatory Commission, 1977.
6. Boegli, J.S., R.R. Bellamy, W.L. Britz and R.L. Waterfield. Preparation of Radiological Effluent Technical Specifications for Nuclear Power Plants. NUREG-0133, Office of Nuclear Reactor Regulation, U. S. Nuclear Regulatory Commission, 1978.
7. 박규준, 양양희, 김희근, 김위수. 원전 RMS의 경보설정치와 연계한 유출물 관리(차단)방법론 검토보고서(Rev.0). KEPRI, 2003.
8. 이승수, 양양희, 김희근, 이상래. 원전 방사성 기체 유출물 감시계통의 경보설정치 계산. 대한방사선방어학회 춘계학술발표회 논문집, 2002.