

배출관리기준의 개정에 따른 RMS 경보설정치 예비계산

The RMS Setpoint Calculation based on the New Effluent Concentration Limits

김형진, 김희근, 서장수*

한국전력공사 전력연구원
대전시 유성구 문지동 103-16

* 한국전력공사 원자력교육원
울산시 울주군 서생면 신암리 991

요 약

ICRP-60의 후속조치에 따라 국내법령에도 최대허용농도(Maximum Permissible Concentration)를 대체하여 배출관리기준(Effluent Concentration Limits)이 새로이 도입되었다. 이에 따라 방사선감시계통(RMS) 경보값 설정에 미치는 영향을 검토하였다. 국내 원전은 약 30여개 이내의 방사선감시기가 설치되어 있는데 경보설정은 발전소 별로 약간씩 서로 상이하게 운용되고 있다. 따라서 각 원전별 경보설정 방법론을 상호비교 하였으며, 새로운 유도한도를 적용하여 방사선 감시계통 경보 설정치를 계산하였다. 계속하여 보다 상세한 검토를 통해 원전 방사선감시계통에 적용할 경보설정 표준 지침(안)을 도출할 예정이다.

Abstract

According to ICRP-60 legislation, MPC(Maximum Permissible Concentration) was revised to ECL(Effluent Concentration Limit). Therefore the effect on the setpoint of radiation monitoring system was studied to implement the new regulatory. There are about thirty or less RMS in nuclear plant, but they are being operated a little bit differently. So the methodology of RMS setpoint was reviewed and calculated based on three types of criterion. From now on, the intensive review and calculation on RMS setpoint will be prepared for applicable guidance to NPPs.

1. 서론

국제 방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection : ICRP)는 1990년 ICRP-26을 대체하여 ICRP-60으로 방사선 방호 신개념을 권고하였다. 이에 우리나라

라에서도 1992년부터 1997년까지 한국원자력안전기술원에서 ICRP-60의 방사선 방호 신개념 도입의 타당성을 검토하였고, 이를 기반으로 98년 과기부 고시 제98-12호 “방사선량 등을 정하는 기준”으로 방사선 방호 신개념이 일부 법제화되었다¹⁾. 또한 이러한 후속조치로 원자력안전기술원에서는 기존의 최대허용농도 (Maximum Permissible Concentration : MPC)를 연간섭취한도 (Annual Limit on Intake : ALI), 유도공기중농도 (Derived Air Concentration : DAC) 및 배출관리기준 (Effluent Concentration Limit : ECL)으로 변경하는 것을 검토하여 2001년 1월 고시 2001-2호 “방사선 방호 등에 관한 기준”으로 완전히 법제화하였다²⁾.

따라서 현재 국내 원자력발전소 방사선 감시계통(RMS : Radiation Monitor System) 경보설정의 기준이 되고 있는 선량한도 및 최대허용농도가 바뀌게 됨에 따라 방사선 감시계통의 경보설정치에도 영향을 받게 된다.

본 논문에서는 이러한 점을 고려하여 새로운 배출관리기준을 적용하여 원전 경보설정치를 예비적으로 계산해 보았다.

2. 국내 원전의 방사선 감시계통 설치현황

원자력발전소는 정상 운영중 불가피하게 방사성물질이 작업공간이나 환경중으로 방출하게 된다. 이러한 방사성 물질로부터 발전소 종사자뿐만 아니라 소외에 거주하고 있는 주변주민들을 보호하기 위하여 방사선 감시계통을 운영하고 있다. 이러한 소내 방사선 감시계통은 크게 유출물 방사선 감시기, 계통 방사선 감시기, 지역 방사선 감시기로 나눌 수가 있다. 유출물 방사선 감시기는 원자력발전소로부터 환경으로 누설되는 기체 및 액체 방사성 폐기물을 감시하여 원전 주변 주민의 안전을 보장하기 위해 운영되고 있으며 계통 방사선 감시기는 발전소내에 설치하여 방사성 물질의 누설여부를 감시하며, 지역 방사선 감시기는 작업자가 빈번히 출입하는 공간의 방사선량을 주기적으로 감시하는 역할을 하며 또한 사고후 방사선 준위를 감시하는 역할을 하기도 한다.

국내 원전 방사선 감시계통의 감시기 개수 및 특성³⁾ 각 원전별로 상이하며, 표 1과 같이 요약할 수 있다.

표 1. 원전 RMS 설치현황

호기	계통 및 유출물 감시기					지역감시기	
	개수/ unit	검출기 유형				개수/ unit	검출기 유형
		N	P	I	액체		
고리 1호기	12	β Scin.	β Scin.	γ Scin.	γ Scin.	13	GM
고리 2호기	11	β Scin.	β Scin./NaI	γ Scin./NaI	γ Scin.	12	GM
고리 3,4호기	18(6)	β Scin.	β Scin.	γ Scin.	γ Scin.	14(6)	GM
영광 1,2호기	18(6)	β Scin.	β Scin.	γ Scin.	γ Scin.	14(6)	GM
영광 3,4호기	29(6)	β Scin.	β Scin.	γ Scin.	γ Scin.	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 Scin.	β Scin.	γ Scin.	γ Scin.	28(11)	GM

※ 괄호 내의 수는 호기 상호간 공유하는 RMS의 갯수

RMS의 구성은, 먼저 배관이나 혹은 Sampler를 통해 시료를 모으는 포집/채취부, 시료를 측정하는 감시기, 이러한 검출기 신호를 Digital로 변환하여 보건물리실 및 주제어실 전산기로 신호를 전달하는 현장제어반 (LCU : Local Control Unit), 그리고 보건물리실 및 주제어실에서 이러한 Digital신호를 수신하여 방사선량 및 방사능 농도의 이상유무를 점검할 수 있는 전산기로 구성이 된다⁴⁾.

3. 방사선 감시계통 경보설정 현황

모든 국내의 가압경수형 원전의 방사선 감시계통의 경보설정은 고경보 및 경보예고 값을 설정/운영하고 있다. 유출물 감시기의 경우 1991년도 이전의 10 CFR part 20⁵⁾에 제시된 일반인의 선량한도(5 mSv/yr) 또는 환경중 방사능 농도 제한치(즉, 일반인의 MPC_{air or water})를 초과하지 않음을 보증하기 위하여 고경보 값을 설정하여 운영하고 있다. 또한, US-NRC의 10 CFR part 50, Appendix I⁶⁾에 제시된 선량목표치에 근거하여 경보예고 값을 설정하여 운영하고 있다. 고리 2발, 영광 1발 및 울진 1발의 경우 환경중 방사능 농도 제한치를 영광 2발 및 울진 2발은 일반인의 선량한도를 기준하고 있으며, 고리 1발의 경우는 두 가지 기준 중 보수적인 값을 고경보 값으로 설정하여 운영하고 있으며, 경보예고 값의 경우는 앞서 설명한 바와 같이 10 CFR 50 App. I의 호기별 선량목표치에 근거하여 전 원전이 운영중에 있다. 반면에 지역 방사선감시기는 설치 위치에 따른 선량을 즉, 감시기가 설치되어 있는 방사선구역에 따라 경보예고 값을 설정하고 있으며, 고경보 설정값은 지역에 따라 경보예고 값의 2배에서 5배정도 높은 값으로 설정 운영중에 있다^{3,7)}.

1993년 미국에서는 일반인의 선량한도를 1 mSv/yr로 하향 조정된 이후에 유출물감시기에 대한 조정의 필요성이 대두되었다. US-NRC는 원자력발전소의 기체유출물 감시기의 경우, 경보치가 순간 방출제한치이고 다소간의 가변성을 고려한다는 취지에 근거하여 현행과 같이 전신 5 mSv/yr, 갑상선을 포함한 인체 내부장기 15 mSv/yr에 근거한 Alarm을 그대로 사용할 수 있다고 밝히고 있다. 지역감시기의 경우 방사선준위의 변화를 감시하는 것을 주요 목적이므로, 통상적으로 Warn 경보치는 정상준위의 1.5 배로 설정하여 작업자에게 사소한 방사선준위 변동도 즉시 알려줄 수 있도록 설정하고 있으며, Alarm 경보치는 정상준위의 2배로 설정하여 의미 있는 방사선조건의 변화가 있다는 것을 알려줄 수 있도록 설정⁸⁾하고 있다. 이처럼 배경준위의 변화에 따라 수시로 보건물리원이 개입하여 경보치를 재조정하도록 규정하고 있다.

4. 국내 원전의 경보설정치 계산방법

가. 기체유출물 감시기

1) 최대허용농도(MPC)에 근거한 고경보 설정치

정상운전중 배기구를 통한 방사성 핵종별(주로 불활성 기체, 요오드, 미립자로 구분) 예상 방출량(Ci/yr), 일반인에 대한 최대허용농도(μ Ci/yr) 및 비율(예상방출량/최대허용농도)을 기준으로 계산한다. MPC에 근거한 고 경보설정은 아래식에 의해서 계산할 수 있다.

$$\text{고경보설정치}(\mu\text{Ci/cc}) = \frac{\text{타배기구 동시방출 보정계수} \times \text{부지경계선에서의 혼합최대허용농도}(\mu\text{Ci/cc})}{\text{유량률}(\text{m}^3/\text{sec}) \times \text{대기확산계수}(\text{sec}/\text{m}^3)}$$

2) 최대허용 피폭선량 기준에 의한 고경보설정치

대기중으로 방출된 기체유출물로 인한 부지경계선에서의 전신선량은 연간 5 mSv, 피부선량의 경우 연간 30 mSv 및 입자 형태의 방사성물질로 인한 장기선량은 연간 15 mSv 이하를 유지하도록 요구하고 있다. 현재 원전부지에는 다수의 원자로가 가동됨을 고려하여 호기당 선량을 제한치를 적절히 할당하여 설정한다. 정상운전중 대기중으로 방출되는 방사성물질의 방출원(격납건물, 보조건물 배기계통, 터빈건물 배기계통, 복수기 탈기계통, 증기누출경로 및 증기발생기 취출탱크 등)을 고려하고 이들 방출원별 방사성물질의 연간 예상 방출량을 기준으로 계산한다. 이 경우 피폭선량에 근거한 고경보설정치는 아래 식에 의해서 계산할 수 있다.

$$\text{최대허용 방출률}(\mu\text{Ci}/\text{sec}) = \frac{\text{주민 선량한도}(\text{mrem}/\text{yr})}{\text{대기확산계수}(\text{sec}/\text{m}^3) \times \sum \text{선량환산인자}(\text{mrem}/\text{yr})/(\mu\text{Ci}/\text{m}^3) \times \text{배기핵종의 비율}}$$

$$\text{고경보설정치}(\mu\text{Ci}/\text{cc}) = \text{타배기구 동시방출 보정계수} \times [\text{최대허용 방출률}(\mu\text{Ci}/\text{sec})/\text{유량률}(\text{cc}/\text{sec})]$$

3) 설계기준 선량율에 의한 경보예고 설정치

경보예고 설정치의 계산기준은 기체방사성폐기물 방출로 인한 전신선량의 경우 0.05 mSv/년·호기, 단일장기의 경우 0.15 mSv/년·호기이다. 이 경우 각 방출원별 허용선량은 예상선량을 비율로 가정하여 허용선량을 계산한다. 따라서 각 방출원별 방사성폐기물 방출시 허용선량을 이하로 제한하기 위한 연간 허용방출 방사능량(μCi/cc)을 계산할 수 있다.

나. 액체유출물 감시기

1) 고경보 설정치

액체 유출물 감시기의 경보치는 제한구역 경계에서의 방사능 농도가 환경중 방사능 농도 제한치(MPC_{water})를 초과하지 않음을 보증하기 위하여 설정되었다. ALARM 경보설정 방법은 아래와 같은 식으로 계산한다.

$$\text{고경보설정치}(\mu\text{Ci}/\text{cc}) = \text{혼합최대허용농도}(\mu\text{Ci}/\text{cc}) \times \frac{\text{회석수유량}(\text{GPM})}{\text{폐액방출유량}(\text{GPM})}$$

2) 경보예고 설정치

경보예고 설정치의 계산기준은 액체방사성폐기물 방출로 인한 전신선량의 경우 0.03 mSv/년·호기, 단일장기의 경우 0.1 mSv/년·호기이다. 이를 기준으로 연간 방사능 방출량을 계산하여 경보예고 설정치를 계산한다.

5. 선량한도 및 유도한도 변경에 따른 RMS 경보설정에 미치는 영향 검토

유출물 감시기의 고경보 값은 원전에 따라 일반인 선량한도 혹은 일반인에 대한 최대허용 농도를 기준으로 설정되어 있다. 유출물 감시기 고경보설정치의 근거가 되고 있는 일반인 선량한도가 하향조정 되었고 또한 최대허용농도는 유도공기중농도 및 배출관리기준으로 변

경됨에 따라 기존의 유출물 감시기는 일반인 선량한도 연간 5 mSv를 기준으로 설정되어 있기 때문에 새로운 법령에서 정하는 1 mSv의 만족여부를 검토하여야 한다. 단순히 선량한도의 하향만으로 볼 때는 분명하게 유출물 감시기의 경보설정이 기존에 비해 1/5로 줄여서 재설정을 하여야 하나, 좀더 세부적으로 살펴보면 일반인 선량한도의 하향조정으로 인해 줄어든 만큼, ICRP-60에 근거하여 권고되고 있는 선량환산계수는 오히려 증가되었다⁹⁾. 즉, 선량한도 하향 및 유도한도의 변경에도 불구하고 선량환산계수와 상쇄효과로 그 영향은 크지 않을 것으로 판단되나 좀더 상세한 검토가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

또한 기존에 일반인 전신선량한도 및 장기별 등가선량 등을 기준으로 경보치를 설정/운영하고 있는 영광 2발 및 울진 2발의 경우 유효선량의 개념이 도입되면서 고정보 설정방법에 조금의 혼선을 일으키게 된다. 따라서 기존의 선량한도를 기준으로 하기보다는 현행 고시에서 제시하고 있는 배출관리기준을 기준으로 경보를 설정하는 것이 바람직한 것으로 판단된다 하겠다.

한편 유출물 감시기 경보설정에 영향을 미치는 또 한가지 중요한 것은 다수호기 및 다중방출지점에 따른 안전여유도를 고려하는 것이다. 다수호기 및 다중방출지점을 고려하여 실질적이고 정량적인 안전여유도를 제시하는 것은 매우 어려운 것이 사실이다. 각 원전 부지마다 운영하고 있는 호기수도 다를 뿐만 아니라 배수구 및 감시기의 수도 매우 다양한 차이를 보이고 있기 때문이다. 따라서 다수호기 및 다중방출지점에 따른 안전여유도의 정량적인 값은 좀더 상세한 검토를 수행할 예정이다.

반면에 유출물 감시기의 경보예고 설정치는 10 CFR part 50, Appendix I의 선량한도 즉 설계시의 호기별 선량목표치(기체 : 0.05 mSv/yr, 액체 : 0.03 mSv/yr)에 근거하여 설정되어 있기 때문에 영향이 없다고 말할 수 있다. 각각의 방법에 따른 기체 및 액체 유출물 감시기에 대한 경보설정치 비율은 다음과 같다.

표 3. 기체 및 액체 유출물 감시기 경보설정치

(단위 : $\mu\text{Ci/cc}$)

대상감시기	경보설정기준	최대허용농도 (MPC)	일반인선량한도 (5 mSv)	배출관리기준 (ECL)	비교
기체유출물 감시기 (고리 3,4 격납용기배기감시기)		1.756E-02	6.192E-02	1.686E-02	1.04:3.67:1
액체유출물감시기 (고리 3, 4 폐액방출감시기)		1.02E-03	-	2.45E-03	1:0.41

* 본 계산은 다수호기 및 다중방출에 따른 안전여유도를 고려하지 않았음.

6. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 ICRP-60 법제화에 따른 2차한도 변경이 원자력발전소 방사선 감시계통 경보설정에 미치는 영향을 현재 원전에 적용중인 경보치 설정 방법을 기준으로 정량적으로 살펴보았다. 기존원전의 선량한도 및 최대허용농도를 기준으로 한 설정방법은 설정치 면에서는 크게 차이가 없으나 유효선량 개념을 도입함에 따라 선량한도를 기준으로 설정하는 값은 조금의 혼선이 있을 수 있어 과기부 고시 2001-2호 “방사선 방호 등에 관한 기준”에서 제시

하고 있는 배출관리기준 값을 이용하여 재 설정하는 것이 바람직하다고 판단된다. 또한 다수호기 및 다중방출에 따른 안전여유도 설정은 동시방출 상황 등에 대한 확실적인 검토를 거친 후 안전여유도에 대한 정량적인 값을 제시하고자 한다.

본 연구는 원자력중장기 과제(원전 주기적 안전성평가)의 일환으로 수행된 연구결과의 일부이며, 향후에도 계속하여 지금까지 수행한 결과를 바탕으로 실질적으로 원전에 적용할 수 있는 최적의 경보설정 방법을 제시하고 설정할 수 있는 표준(안)을 제시하고자 한다

감사의 글

본 연구는 과학기술부가 시행한 원전 주기적안전성평가 중장기과제의 결과입니다.

참고문헌

- 1) 과학기술부 고시 제98-12호 “방사선량 등을 정하는 기준,” 1998, 과기부
- 2) 과학기술부 고시 제2001-2호 “방사선 방어 등에 관한 기준,” 2001, 과기부
- 3) 고리, 영광, 울진 최종안전성분석보고서, 한국전력공사
- 4) 김희근, 대한방사선방어학회 ‘99 추계학술발표회 논문집 “원전 방사성기체 유출물 감시계통의 경보설정치 계산,” 1999
- 5) 10 CFR part 20, “Standards for Protection Against Radiation,” 1991
- 6) 10 CFR part 50 Appendix I, “Numerical Guides for Design Objectives and Limiting Conditions of Operation to meet the Criterion ALARA for Radioactive Material in LWR Effluents,” US-NRC
- 7) “소내방사선 감시기의 경보설정치 연구조사,” 한국전력공사, 1990
- 8) “방사선방호 규제기술 개발,” 과학기술부, 2000
- 9) “선량환산계수의 변경과 규제영향,” 한국원자력안전기술원, 1999