2000 춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

ICRP-60의 제도화에 따른 유출물감시기의 경보설정 방안 1단계 연구[1)]

Preliminary Study for Establishing the Set-points of Effluent Monitors based on the ICRP-60 Recommendations

장시영, 이병수
한국원자력안전기술원
대전광역시 유성구 구성동 19번지

요 약

ICRP-60의 제도화에 따라, 방사성유출물감시기의 경보설정과 관련한 주요 현안사항을 도출하였다. ICRP-60에 근거한 연령군별 선량환산계수를 적용하여 울진 3,4호기 격납건물 배기구 감시기의 WARN 및 ALARM 설정치를 계산한 결과, 선량환산계수가 보수적으로 증가한 방사성요오드를 제외하고 불활성기체 및 방사성입자 채널의 경보치는 울진 3,4호기의 설정치 보다 1.47배 정도 상향 조정되었다. 각각의 현안사항에 대한 최종 방안도출은 2단계 1차년도(2000. 4.1 - 2001. 3. 31)에서 수행할 것이다.

Abstracts

Open items, which are related with the set-points of effluent continuous monitors were found out and reviewed to fully implement the ICRP-60 Recommendations in the source monitoring of nuclear power plants. For the containment purge monitor of Uljin unit 3&4, sep-points such as WARN and ALARM were calculated using newly recommended dose coefficients by IAEA and ICRP. These results showed that set-points for noble and particulate channels were approximately a magnitude in the factor of 1.47 higher than those of Uljin 3&4, except iodine channel. Positions on each open item will be clarified and presented through the 2nd phase of this study in 2000 year.

1) 이 글은 과학기술부에서 시행한 원자력연구개발사업의 연구결과입니다.

1. 서론

일반인의 선량한도 및 선량환산계수의 변동은 원자력시설에서 소외로 방출되는 방사성유출물의 농도제한치에 영향을 미치게 되고, 결과적으로 각 시설의 방출지점에 설치된 유출물감시기의 경보설정치에도 영향을 주게 된다. 현재 가동 원전에 설치된 유출물 감시기들은 WARN과 ALARM이 설정되어 있으며, WARN은 과기부 고시 제98-12호의 제19조에 기술된 선량기준치[1]에 근거하고 ALARM은 일반인에 대한 선량한도인 전신선량 5 mSv/yr, 기타 장기선량 15mSv/yr(현재는 유효선량 1mSv/yr)에 근거한다. 이러한 선량평가에 적용된 선량환산계수는 US-NRC의 규제지침 1.109[2]의 값이다.

ALARM은 일반인의 선량한도가 하향 조정됨에 따라 설정치의 재조정 필요성이 대두되었으며, WARN도 과기부 고시 제98-12호의 제19조가 유효선량 개념에 근거하여 변경되었으므로 설정치의 재조정이 필요하다. 선량기준치의 변경과 함께 선량환산계수도 ICRP-60 체계에 근거한 값을 적용할 필요성이 있다.

본 연구는 원자력중장기연구(대과제명: 방사선안전규제 기술개발) 1단계 3차년도에서 2단계 1차년도(1999. 4. 1 - 2001. 3. 31)에 걸쳐 방사성유출물감시기의 경보설정을 위한 기반연구 수행결과의 일부로서, 1단계 3차년도에는 일반인의 선량한도 및 선량환산계수의 변동에 따라 현안사항을 도출하는데 주요 연구방향을 설정하였고, 2단계 1차년도에서는 각 현안에 대한 해결책을 검토하는 것으로 구성되어 있다. 본 연구에서는 주요 현안사항으로서 일반인의 선량한도 하향조정에 따른 경보치의 조정필요성 대두, 결정장기 개념 대신에 유효선량 개념을 도입함에 따른 불활성기체/방사성요오드/입자 채널별 경보치 설정문제, 선량환산계수 변경에 따른 경보치 변경문제, 다수기 가동에 따른 추가 안전여유도 고려문제, 방사선조건에 따른 경보설정치 조정 등을 도출하였다.

2. 국내의 경보설정치 설정 방법

국내의 경우, 모든 가압경수형 원전은 1991년도 이전의 10 CFR part 20[3]에 제시된 일반인의 선량한도 또는 환경중 방사능농도 제한치(즉, 일반인의 MPC)를 초과하지 않음을 보증하기 위하여 ALARM을 설정하였다. 또한, US-NRC의 10 CFR part 50, Appendix I[4]에 제시된 선량목표치에 근거하여 WARN을 설정하였다. 월성원전을 제외하고는 지역방사선감시기 및 방사성유출물 감시기의 경보설정치를 방사선조건에 따라 조정하지 않고 있다. 발전소내 방사선조건의 변동을 체계적이고 적극적으로 관리하기 위하여는 경보설정치에 이르기 전에 방사선관리 차원에서 개입할 필요성이

있으나, 이러한 측면에서의 검토는 충분히 수행된 바가 없다.

특히, 방사성유출물 연속감시기들은 안전심사지침(KINS-G-019) 제 11.5절[5]에 기술된 바와 같이 방사성유출물의 배출감시 뿐만 아니라 작업장내 공기중 방사능농도 감시를 위하여 각 건물의 공기조화계통 공기정화기(ACU) 전단에 설치되어 있다. 또한, 유속이 최소인 특정 지점에서의 방사능농도가 1MPC 일 경우 10시간 이내에 이를 감시할 수 있어야 한다는 안전심사지침(KINS-G-019) 제 11.5절의 요건에 따라 공기조화계통 주요 덕트 주변에 시료채취 tab이 설치되어 있어 방사성유출물 감시기의 지시치에 유의한 변동이 발생한 경우에는 즉시 시료채취·분석을 통해 해당 지역을 확인·조치토록 설계되어 있다. 따라서, 유출물감시기의 경보설정치에 이르기 전이라도 유의할 만한 방사능 준위의 변동이 확인되면 즉시 방사선관리조직의 개입이 요구되므로 경보설정치의 초과유무 뿐만 아니라 현시점에서의 방사능조건의 변동추이도 적극적으로 감시하는 것이 필요하다.

국내의 경우, 유도한도(MPC)의 적용시점에 있어서도 미국과는 차이점이 있다. 고시 제98-12호에 규정된 제한구역경계에서의 MPC 만족여부는 8시간 평균치 또는 부득이한 경우에 3개월 평균치를 만족하여야 한다고 기술하고 있다. 따라서, 미국의 경우, 순간 피폭방사선량률에 근거한 경보설정치는 10 CFR part 20의 연평균 환경중 배출관리기준의 준수요건에 비추어볼 때 보수성이 있지만 국내의 경우에는 보수성이 있다고 할 수 없다.

울진 3,4호기에 적용된 경보설정 방법[6]은 다수기에 따른 추가적인 안전여유도를 반영한 것이고, 선량환산계수에 있어서는 US-NRC의 규제지침 1.109의 값에 근거하여 설정되었기 때문에 현재 국내의 원자력법령의 유효선량 체계와 상이점이 있다. 울진 3,4호기의 경보설정치는 표 1 및 표 2에 제시되어 있으며, 계산에 적용된 방법론은 다음에 제시되어 있다.

가. 기체상 방사성유출물감시기의 경보설정 개념

(1) ALARM 경보치 설정방법

○ 불활성기체 채널의 ALARM 경보치 설정

불활성기체에 의한 제한구역에서의 외부피폭선량률이 5mSv/yr 또는 피부선량이 30mSv/yr를 초과하지 않도록 경보치가 설정되었다. 또한, 이 값에다 1/8을 곱하여 추가적인 안전여유도를 고려하였다. Q_t (최대 불활성기체 배출률(μCi/sec))은 다음과 같이 구단위에 근거하여 계산되었다(외부전신선량: 500mrem/yr, 피부선량: 3000mrem/yr).

$$Q_t = \frac{500}{(X/Q)\sum_i DCF1_i \times S_i} \qquad (1)$$

또는

$$Q_t = \frac{3000}{(X/Q)\sum_i (DCF2_i + 1.1DCF3_i)S_i}$$

여기서, S_i = **배출되는 불활성기체 총방사능에 대한 핵종 i의 분율**

$$(S_i = A_i / \sum_i A_i)$$

A_i = **방사성유출물중 불활성기체 i의 방사능량**

(S_i **계산시**, GALE **코드에서 계산한 연간 예상방출량을 근거로 핵종별 방출분율을 계산**)

$DCF1_i$, $DCF2_i$, $DCF3_i$: **불활성기체 관련 선량환산계수**(US-NRC **규제지침** 1.109) (**표** 3 **참조**)

500 = **일반인의 외부 전신선량 한도** (mrem/yr)

3000 = **일반인의 피부선량 한도** (mrem/yr)

X/Q = **제한구역경계에서의 최대 대기확산인자** (sec/m^3) = 7.716×10^{-6}

상기 식으로부터 계산한 Q_t**를 이용하여 다음과 같이 불활성기체에 대한** ALARM **경보치** (SP_{ALARM})**를 계산한다**.

$$SP_{ALARM} = \frac{1}{8} \times \frac{Q_t}{F} \qquad (2)$$

여기서, F = **배출지점에서의 최대 공기 배출유량** (cc/sec)

Q_t = **최대 소외 방사성물질 배출율**(μCi/sec)

(**외부전신선량 및 피부선량에 근거한 값중 작은 값 적용**)

1/8 = **부지내 기타 시설로부터의 동시 배출을 고려한 추가여유도**

○ 방사성요오드, 입자상 핵종 채널의 ALARM 경보치 설정

방사성요오드 또는 입자상 핵종에 의한 제한구역에서의 모든 인체 내부장기의 선량률이 15mSv/yr**를 초과하지 않도록 경보치가 설정되었다. 또한, 이 값에다** 1/8**을 곱하여 추가적인 안전여유도를 고려하였다.** Q_t (**최대 방사성요오드 또는 입자상 핵종 배출률**(μCi/sec))**은 다음과 같이 구단위에 근거하여 계산되었다**(**모든 장기선량**: 1500 mrem/yr).

$$Q_t = \frac{1500}{(X/Q)\sum_i P_i \times S_i} \qquad (3)$$

여기서 : P_i = NUREG-0133**에서 정의된 장기별 환산계수** ($mrem/yr/\mu Ci/m^3$)

= 1.4×10^9 DFAi (**표** 4 **참조**)

1,500 = 방사성요오드 또는 입자 핵종에 의한 모든 내부장기의 선량한도

DFA_i = US-NRC의 규제지침 1.109에 제시된 유아의 흡입 선량환산계수

상기 식으로부터 계산한 Q_t를 이용하여 다음과 같이 방사성요오드 또는 입자상 핵종에 대한 ALARM 경보치(SP_{ALARM})를 계산한다.

$$SP_{ALARM} = \frac{1}{8} \times \frac{Q_t}{F} \qquad (4)$$

여기서: F = 배출지점에서의 최대 공기 배출유량 (cc/sec)

Q_t = 최대 소외 방사성물질 배출율 (μCi/sec)

1/8 = 부지내 기타 시설로부터의 동시 배출을 고려한 추가여유도

(2) WARN 경보치 설정방법

울진 3,4호기의 WARN 설정치는 US-NRC의 10 CFR part 50, Appendix I에 제시된 선량목표치에 근거하여 설정되었다. 불활성기체에 의한 제한구역에서의 외부피폭선량률이 0.05mSv/yr를 초과하지 않도록 경보치가 설정되었다. 10 CFR part 50 부록 I의 선량목표치는 호기별 기준치이므로 부지내 기타 원자력시설에 의한 추가적인 안전여유도를 고려하지 않았다.

나. 액체상 방사성유출물감시기의 경보설정 개념

울진 3, 4호기에 설치된 액체유출물감시기의 경보치는 제한구역경계에서의 방사능농도가 1991년도 이전의 10 CFR part 20에 제시된 환경중 방사능농도 제한치(즉, 일반인의 MPC_{water})를 초과하지 않음을 보증하기 위하여 설정되었다. 기체방사성유출물감시기와 마찬가지로 WARN 및 ALARM 경보치를 설정하며, ALARM은 1991년도 이전의 10 CFR part 20에 제시된 환경중 방사능농도 제한치(즉, 일반인의 MPC_{water}), WARN은 10 CFR part 50 부록 I의 선량목표치(전신선량: 0.03mSv/yr, 기타 장기선량 : 0.1mSv/yr)에 근거한다. 그렇지만, 기체상 방사성유출물감시기와는 달리 부지내 기타 원자력시설에 의한 안전여유도를 추가적으로 고려하지는 않았다.

(1) ALARM 경보치 설정방법

울진 3,4호기에 설치된 액체상 방사성유출물을 감시하는 LRS Effluent Monitor의 경보설정 방법은 다음과 같다. 액체상 방사성유출물은 CVCS의 "Feed and Bleed" 운전방법에 따라 처리된 폐액, 화학폐기물 및 세탁폐액,기타 폐액(Clean/Dirty waste) 등으로 구분할 수 있으며, 울진 3,4호기에 적용된 예상방출량은 LRS 방출폐액을 대표할 수 있는 기타 폐액(Clean/Dirty waste)의 핵종분율

을 고려하여 경보설정치를 계산하였다.

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

여기서, χ_{ei}= 유출물내 핵종 i의 방사능농도($\mu Ci/cm^3$)

χ_{qi}= 냉각수에 의한 희석후 핵종 i의 방사능농도($\mu Ci/cm^3$)

MPC_i= 제한구역 경계에서의 핵종 i의 수중 최대허용농도($\mu Ci/cm^3$)

(2) WARN 경보치 설정방법

GALE 코드로부터 계산한 연간 방출예상량을 이용하여 주민피폭선량을 계산하고 이 값을 이용하여 각각의 선량기준치에 해당하는 년간 방사능 방출량을 계산한다. WARN 설정치는 이 값에다 희석수 유량을 곱하여 계산한다.

3. ICRP-60 체계 도입 및 일반인의 선량한도 조정에 따른 영향 고찰

본 연구는 방사선방호 안전규제 기술개발 과제의 1단계 3차년도에서 2단계 1차년도(1999. 4. 1 - 2001. 3. 31)에 걸쳐 방사성유출물감시기의 경보설정을 위한 기반연구를 수행하는 것이다. 1단계 3차년도에서 도출한 주요 현안사항으로는 일반인의 선량한도 하향조정에 따른 경보치의 조정필요성 대두, 결정장기 개념 대신에 유효선량 개념을 도입함에 따른 불활성기체/방사성요오드/입자 채널별 경보치 설정문제, 선량환산계수 변경에 따른 경보치 변경문제, 다수기 가동에 따른 추가 안전여유도 고려문제, 방사선조건에 따른 경보설정치 조정 등으로 요약된다. 각 항목에 대한 세부 검토사항은 다음과 같다.

(1) 일반인의 선량한도 하향조정에 따른 경보치의 조정 필요성

일반인의 선량한도를 전신선량 5mSv/yr, 장기선량 1.5mSv/yr에서 유효선량 1mSv/yr로 조정하면서 경보설정치의 순간 피폭선량률의 적용기준이 불일치되는 문제점이 발생하였다. 이러한 문제는 국내뿐만 아니라 미국도 갖고 있는 사항으로서 미국 NRC의 규제입장을 검토한 바에 따르면 기존 방법론을 그대로 인정해 주고 있다. 미국과 같은 방식을 채택할 것인가의 여부는 각 발전소의 현황파악, 미국 이외의 국가에 대한 현황분석 등을 2단계 1차년도에 수행한 후에 결정될 것이다.

다만, 국내의 경우에는 유도한도(MPC)의 적용시점에 있어서 미국과는 차이점이 있다. 고시 제 98-12호에 규정된 제한구역경계에서의 MPC 만족여부는 8시간 평균치 또는 부득이한 경우에 3개월 평균치를 만족하여야 한다고 기술하고 있다. 따라서, 미국의 경우, 순간 피폭방사선량률에 근거한 경보설정치는 10 CFR part 20의 연평균 환경중 배출관리기준의 준수요건에 비추어볼 때 보수성이 있지만 국내의 경우에는 보수성이 있다고 할 수 없다.

(2) 유효선량 도입에 따른 문제

현재 설정된 경보설정치는 결정장기(critical organ) 개념에 근거한 일반인의 선량한도로부터 설정함으로써 불활성기체, 방사성요오드, 입자상 핵종별로 선량한도를 고려하여 WARN 및 ALARM 설정치를 설정하였다. 그러나, ICRP-60 체계에 근거한 유효선량 개념을 도입하면서 장기별 선량한도는 폐지(주: 수정체, 피부 등 일부는 제한함)되었으며, 이에 따라 불활성기체, 방사성요오드 및 입자상 핵종별로 ALARM 경보치를 설정하기 위하여는 선량한도(1mSv/yr)를 어떻게 구분할 것인가라는 문제가 발생한다. 액체상 방사성유출물감시기는 방사능농도 개념에 근거하여 기설정되어 있으므로 방법론상의 문제점은 없다. 기체상 방사성유출물과 관련하여 상기 문제를 해결하기 위한 대안으로서 다음과 같은 계산식을 검토하였다.

(가) 공기중 방사능농도

다양한 방사성물질이 포함된 경우, 제한구역경계에서의 방사능농도는 다음 식을 만족하여야 한다.

$$\frac{C_1}{ECL_1} + \frac{C_2}{ECL_2} \cdots \leq 1 \qquad (6)$$

여기서, C_1 = 제한구역에서 방사성핵종의 농도(μCi/cc)

ECL_1 = BSS-96에 근거한 핵종별 배출관리기준(μCi/cc)

전방사능(gross activity) 농도는 $\sum_i C_i$로 나타낼 수 있으며, 이때의 전방사능 농도에 대한 농도제한치를 ϕ라고 하면 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\phi = \frac{\sum_i C_i}{\sum_i \frac{C_i}{ECL_i}} \qquad (7)$$

제한구역경계에서의 전방사능에 대한 농도제한치(ϕ)는 다음과 같은 상관식이 성립한다.

$$\phi = \chi / Q \times K \qquad (8)$$

여기서, X/Q= 제한구역경계에서의 최대 대기확산인자(sec/m^3)

K = 방출구에서의 방사성물질(전방사능)의 최대 허용방출량(Ci/sec)

따라서, 방출구에서의 방사성물질(전방사능)의 최대 허용방출량은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$K = \frac{\sum_i C_i}{\frac{\chi}{Q}\sum_i \frac{C_i}{ECL_i}} = \frac{\sum_i A_i}{\frac{\chi}{Q}\sum_i \frac{A_i}{ECL_i}} \quad (9)$$

여기서, A_i는 방출구에서의 핵종 i의 방출율(Ci/sec)

따라서, 경보설정치(SP_{ALARM})는 다음과 같이 계산한다.

$$SP_{ALARM} = \frac{1}{8} \times \frac{K}{F} \quad (10)$$

상기 계산식을 사용하여 울진 3,4호기 격납건물 배기구 감시기의 ALARM 설정치를 재계산하였다. 불활성기체, 방사성요오드 및 입자 핵종의 ALARM은 각각 4.69×10^{-3} μCi/cc, 5.46×10^{-6} μCi/cc, 2.67×10^{-6} μCi/cc 이었으며, 울진 3,4호기 FSAR에서는 Sr-89 및 Sr-90도 입자상핵종으로 고려하였기 때문에 입자상핵종의 ALARM 계산치가 보수적으로 설정되지만 상기 핵종을 제외하면 1.59×10^{-5} μCi/cc로 계산되었다. 계산에 적용된 격납건물 퍼지 배기율은 1,500cfm(저유량 배기)이었으며, 제한구역경계에서의 최대 대기확산인자는 7.716×10^{-6} sec/m^3 이었다.

주지하여야 할 사항은 ALARM 설정치는 유효선량에 근거한 BSS-96의 유도한도(안)[7]을 이용하여 계산하였고, WARN 설정치는 KINS가 개발한 주민피폭선량 평가지침(안)[8]에 제시된 유아의 장기별 선량환산계수중 가장 큰 값을 이용하여 인체 내부장기별 선량기준치 0.15mSv/yr에 해당하는 값을 계산한 것이다. 따라서, 표 5에 제시된 입자상 핵종의 WARN 설정치가 상기에 기술된 입자상 핵종의 ALARM 설정치 보다 더 큰 현상이 발생하였다.

이것은 유효선량에 근거한 값과 장기별 선량에 근거한 계산치를 단순 비교함으로써 발생한 것으로 2단계 1차년도 연구를 통하여 최적방안을 도출하고자 한다. 또한, 주지할 사항은 울진 3,4호기의 WARN 경보치 계산시 일반인의 호흡에 의한 영향만을 고려하였고 섭취 및 지표면침적과 같은 피폭경로를 고려하지 않았는데 이러한 피폭경로를 추가한다면 WARN 설정치는 표 5에 제시된 값보다도 상당히 작은 값을 보일 것이다. 흡입경로 이외의 피폭경로를 고려한 WARN 경보치의 계산은 2단계 1차년도에서 수행할 것이다.

(3) 선량환산계수 변경에 따른 경보치 변경문제

US-NRC는 1991년에 방사선방호를 위한 법령인 10 CFR 20을 대폭 개정하였다. 그러나, 원자력시설에서 소외로 방출되는 방사성물질을 ALARA로 유지하여야 한다는 10 CFR 50의 요건과 연계된 10 CFR 50 부록 I의 선량 목표치는 그대로 유지되고 있다. 또한, 10 CFR 50 부록 I의 선량 목

표치를 계산하는데 적용되는 US-NRC의 규제지침인 1.109도 그대로 유지되고 있다. US-NRC는 규제지침 1.109에 제시된 선량환산계수를 특별한 문제점이 없이 사업자 및 규제자가 사용하고 있는 현실을 감안하여 동 규제지침에 대한 개정계획은 현재까지 마련하고 있지 않다. 이것은 지침의 개정에 따른 추가비용의 부담에 비하여 개정이 가져올 이득이 많지 않음을 반증하는 것이라고 볼 수 있으나, 10 CFR part 20에 적용된 선량환산계수와 불일치하는 등 일관성 있는 체계를 구성하고 있다고 볼 수는 없다.

반면에 국내의 경우, 고시 98-12호의 제19조에 유효선량 개념에 근거한 피폭선량 설계기준치를 정한 바 있다. 따라서, 기존 NRC 규제지침 1.109의 선량환산계수에 근거하여 설정된 경보치를 재계산하여 변경할 필요가 있다. 미국의 경우, 이러한 경보설정치 계산방법은 ODCM에 제시되어 있으며, ODCM 평가방법론의 변경 또는 변수값의 변경은 경보설정치의 변경을 가져오게 된다.

KINS가 방사선안전규제 기술개발 중장기 연구과제의 일환으로 개발한 주민피폭선량 평가지침(안)에 제시된 ICRP-60 에 근거한 연령군별 선량환산계수를 적용하여 울진 3,4호기 격납건물 배기구 감시기의 WARN 및 ALARM 설정치를 계산하였다. 주의할 것은 계산방법에 있어서는 현행 울진 3,4 호기에 적용된 계산방법(적용된 선량치도 동일)을 그대로 적용하였고, 단순히 선량환산계수만을 변경하여 계산한 것이다. 계산결과는 표 5와 같으며, 방사성요오드를 제외하고는 경보치가 오히려 상향조정됨을 알 수 있다.

(4) 다수기 가동에 따른 추가 안전여유도 고려

울진 3,4호기의 경우, 다수기에 따른 영향을 고려하기 위해 기체상 방사성유출물감시기에 한해서 1/8을 추가적인 안전여유도로 고려하였다. 그렇지만, 이러한 안전여유도를 정형화하여 규정하기는 매우 어려우며, 울진 3,4호기에 적용된 방법이 설계자의 보수적 계산체계의 일환으로 고려된 것인 바, 규제차원에서 각 호기별, 방출원별 안전여유도 고려방법을 정형화하여 제시하기에는 설계특성 인자 등 현실적으로 어려운 점이 많다. 따라서, 규제기관은 다수기의 가동에 따른 추가 안전여유도를 경보설정치 계산과정에서 고려하여야 한다는 정성적인 측면을 강조하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다. 최적 방안의 제시는 2단계 1차년도 연구를 통하여 수행할 것이다.

(5) 방사선조건에 따른 경보설정치 조정

방사선조건에 따른 경보치의 조정은 작업자 보호 및 환경상의 위해방지라는 차원에서 볼 때 바람직한 방법이라고 볼 수 있으며, 매우 유연한(flexible) 작업자 피폭 감시 및 환경 방출감시를 수행할 수 있다. 따라서, 운영기술지침서의 수치를 최대허용 경보치로 설정(특히, WARN은 특별한 운전상의 action을 요구하지 않으므로 쉽게 적용 가능)하고 이 보다 작은 값에서 사업장의 운전조건에 따라 수

시로 조정하여 운영하는 방안을 추가적으로 검토하여야 한다. 이러한 조치는 방사성물질의 환경배출과 작업장내 방사능농도의 변동을 신속히 파악할 수 있어 추가적인 비용의 지출이 없이도 작업자 및 일반인의 피폭을 ALARA로 유지할 수 있을 것이다.

4. 결론

ICRP-60의 제도화에 따른 방사성유출물감시기의 주요 현안사항을 도출하였다. 주요사항으로서 일반인의 선량한도 하향조정에 따른 경보치의 조정필요성 대두, 결정장기 개념 대신에 유효선량 개념을 도입함에 따른 불활성기체/방사성요오드/입자 채널별 경보치 설정문제, 선량환산계수 변경에 따른 경보치 변경문제, 다수기 가동에 따른 추가 안전여유도 고려문제, 방사선조건에 따른 경보설정치 조정 등을 설정하였다.

ICRP-60에 근거한 연령군별 선량환산계수를 적용하여 울진 3,4호기 격납건물 배기구 감시기의 WARN 및 ALARM 설정치를 계산한 결과, 방사성요오드를 제외하고는 경보치가 오히려 상향 조정되었다. 각각의 현안사항에 대한 최종 방안도출은 2단계 1차년도(2000. 4.1 - 2001. 3. 31)에 수행할 것이다.

표 1. 울진 3, 4 호기 주요 기체유출물감시기의 경보설정치

감시기 구분		핵종 구분	ALARM 경보치 (μCi/cc)	WARN 경보치 (μCi/cc)	예상농도 (μCi/cc)
번호	감시기명				
RE-037	Containment Purge Effluent Monitor	G	1.65E-2	1.35E-3	7.62E-4
		I	5.49E-6	4.39E-7	3.00E-9
		P	9.50E-6	7.58E-7	8.23E-11
RE-017 018	Primary Aux Bldg HVAC ACU Filter Inlet Monitors	G	4.19E-4	3.35E-5	1.58E-7
		I	4.23E-7	3.30E-8	8.90E-11
		P	8.36E-7	6.60E-8	1.13E-13
RE-003	Secondary Aux Bldg HVAC ACU Filter Inlet Monitor	G	2.78E-4	2.23E-5	2.10E-7
		I	2.81E-6	2.24E-7	1.19E-11
		P	5.55E-6	4.44E-7	1.50E-13

표 2. 울진 3, 4 호기 액체유출물감시기의 경보설정치

감시기 구분		ALARM 경보치 (μCi/cc)	WARN 경보치 (μCi/cc)	예상농도 (μCi/cc)
번호	감시기명			
RE-183, 184	LRS Effluent Monitors	5.20E-2	1.10E-5	1.74E-6
RE-104	S/G Blowdown Monitor	1.22E-2	6.48E-6	2.20E-7

표 3. 불활성기체 관련 외부전신 또는 유효 선량환산 인자 (mrem/yr/μCi/m^3)

핵 종	US-NRC 규제지침 1.109	주민피폭선량 평가지침(안)
Ar-41	8.87E+3	7.17E+3
Kr-85m	1.17E+3	8.02E+2
Kr-85	1.61E+1	2.80E+1
Kr-87	5.90E+3	4.64E+3
Kr-88	1.47E+4	1.13E+4
Xe-131m	9.15E+1	4.07E+1
Xe-133m	2.51E+2	1.50E+2
Xe-133	2.94E+2	1.56E+2
Xe-135m	3.12E+3	2.22E+3
Xe-135	1.81E+3	1.29E+3
Xe-137	-	-
Xe-138	8.83E+3	6.40E+3

표 4. 방사성요오드 및 입자 관련 계산인자(mrem/yr/μCi/m^3)

핵 종	US-NRC 규제지침 1.109 (P_i^{**})	주민피폭선량 평가지침(안) (P_i^{**})
I-131	1.48E+7	1.71E+7
I-133	3.56E+6	4.61E+6
Cr-51	1.28E+4	1.28E+4
Mn-54	1.00E+6	1.00E+6
Co-57	-	-
Co-58	7.77E+5	1.76E+5
Co-60	4.51E+6	9.84e+5
Fe-59	1.02E+6	4.46E+5
Sr-89	2.03E+6	4.71E+5
Sr-90	4.09E+7	6.73E+6
Zr-95	1.75E+6	5.70E+5
Nb-95	4.79E+5	1.86E+5
Ru-103	5.52E+5	3.57E+5
Ru-106	1.16E+7	4.35E+6
Sb-125	-	6.22E+5
Cs-134	7.03E+5	3.00E+5
Cs-136	1.35E+5	3.47E+5
Cs-137	6.12E+5	1.66E+5
Ba-140	1.60E+6	7.25E+5
Ce-141	5.17E+5	4.51E+5

주: $P_i = (1.40E+9)DFA_i$

DFA_i = US-NRC 1.109에 제시된 유아의 흡입선량환산계수 (장기별 값중 제일 큰 값 적용)

표 5. 울진3,4호기 FSAR 및 ICRP-60 방호체계에 근거한 경보설정치 비교(μCi/cc)

경보 및 채널 구분		울진 3,4 FSAR	ICRP-60 체계	울진3,4FSAR/ICRP-60 체계간의 비율
WARN	불활성기체	1.35×10^{-3}	1.98×10^{-3}	0.68
	방사성요오드	4.39×10^{-7}	3.61×10^{-7}	1.21
	입자	7.58×10^{-7}	3.69×10^{-6}	0.21
ALARM	불활성기체	1.65×10^{-2}	2.47×10^{-2}	0.68
	방사성요오드	5.49×10^{-6}	4.52×10^{-6}	1.21
	입자	9.50×10^{-6}	4.61×10^{-5}	0.21

【참 고 문 헌】

1.과학기술부 고시 제98-12호 '방사선량 등을 정하는 기준', 1998, 과기부

2.Reg. 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, Rev. 1, 1977, US-NRC

3.10 CFR part 20, 'Standards for Protection Against Radiation', 1991

4.10 CFR part 50 부록 I, 'Numerical Guides for Design Objectives and Limiting Conditions of Operation to meet the Criterion "AS LOW AS IS REASONABLY ACHIEVABLE" for Radioactive Material in LWR Effluents', US-NRC

5.KINS/G-019, 경수형 원전 안전심사지침, 1999, KINS

6.울진 3,4호기 FSAR

7.선량환산계수의 변동과 BSS-96에 근거한 유도한도(안), 1999, KINS

8.주민피폭선량 평가지침(안), 2000, KINS