

희유기체선장에서의 선량계 특성에 따른 보정인자 산출
Calculation of the Correction Factors Considering the Characteristics
of the Dosimeters in Noble gas areas

이의동, 정용식, 곽호중
하나검사기술주식회사
울산시 남구 삼산동 1377-19

요 약

원자로 건물내 희유기체선장의 대부분은 Xe-133이 차지하며 Xe-133은 저에너지광자(γ : 4.3~81keV)를 방출한다. 그러나 일반적으로 감마선량율측정기의 최저반응에너지는 50keV로 일부의 감마선에 대하여 반응하지 않는다. 이에 Xe-133의 붕괴특성과 측정기의 특성을 고려하여 검출 가능한 81keV(36.6%) 감마선 방출 정보로부터 보정인자를 구하고 적용의 타당성을 다음과 같이 검증하였다. 개인선량계 판독 기술기준 및 성능시험에 만족된 열형광선량계(TLD) 판독선량을 기준으로 보조선량계(ADR) 및 선량율측정기선량에 반응도를 조사하여 검토하였으며, 희유기체선장에서의 종사자 집적선량 자료를 비교 검토한 결과 보정인자 적용의 타당성을 입증하였다.

Abstract

The majority of the nuclides of noble gases is Xe-133 at reactor building in nuclear power plant, and it emit 4.3~81keV low energy gamma photons. But generally, responding energy of gamma survey-meters is about 50keV, most of the survey-meters don't respond to gamma-rays emitted by noble gases. therefore, correction factor is obtained and propriety of it is verified by the information of 81keV gamma-rays with considering decay characteristics of the Xe-133 and characteristics of the survey-meters. And correction factor is investigated to apply the gamma-rays to the dosimeters(ADR) and the survey-meters based on a technical standard of reading of dosimeters and the TLD dose which is satisfied with the performance test, and it's propriety is verified by comparing the accumulated dose of the employee in noble gas areas.

1. 서 론

원자로 건물내 희유기체농도가 작업자의 유도공기중농도의 수십내지 수백배의 농도에 이르기도 하는데, 희유기체선장에서 방사선작업은 농도측정에 필요한 시간과 현장의 복잡한 공간 및 구조물로 작업자 피폭선량을 정확히 예측하기 어렵다. 이에 희유기체 의 대부분을 차지하는 Xe-133의 감마선 붕괴특성과 개인선량계 및 선량율 측정기의 반응에너지 범위를 고려 검출 가능한 81keV(36.6%)의 감마선 방출 정보로부터 선량 및 선량율을 이용하여 종사자 과 피폭 및 방사선 작업관리의 위험적 요인을 방지할 수 는 방법이 모색하고자 한다.

2. 희유기체 생성 및 특성

희유기체의 생성

희유기체는 핵분열시 발생되며 화학적으로 불활성이기 때문에 손상핵연료에서 생긴 균열이나 미세공을 통하여 쉽게 누출된다. 핵연료로부터 원자로 속으로 누출되어 열전달계통에서 순환하는 희유기체가 공기중에 존재한다는 것은 방사성옥소나 입자에 대해서도 신중을 기하여야 한다는 의미이며, 손상연료가 존재하거나 열전달계통으로부터 누출이 있다는 증거이다. 핵분열생성물과 방사화생성물로 발생된 희유기체는 알곤(Ar), 크립톤(Kr), 제논(Xe) 동위원소들로 단 반감기 핵종들이며 Kr-85 만이 긴 반감기를 갖고 있다.

원자로 건물내 희유기체의 대부분이 Xe-133이며 이는 5.3일의 반감기를 가지며 낮은 에너지의 베타선과 감마선을 방출하면서 안정한 원소인 Ce-133으로 변한다. 주요 희유기체의 유도공기중농도 및 감마방출에너지는 다음과 같다.

희유기체의 특성

[표 1]

구 분		Xe-133	Xe-135	Kr-85m
유도공기중농도		2×10^6 Bq/m ³	3×10^5 Bq/m ³	4×10^4 Bq/m ³
γ선에너지	평균	30 KeV	246 KeV	200 KeV
	방출에너지	4.3 KeV(8%) 31 KeV(38.8%) 35 KeV(9%) 81 KeV(36.4%)	250 KeV(89.9%)	305 KeV(13.9%) 151 KeV(75.3%)

주) 방출에너지는 핵종별로 수종이 더 있으나 감마선방출을 낮은 에너지는 기술하지 않았음.

인체와의 작용

희유기체들은 물리·화학적으로 안정하여 화학반응을 잘 일으키지 않는 핵종으로 인체를 구성하고 있는 성분과 화합물을 형성하지 않으며, 또 인체도 희유기체의 핵종들이 필요하지 않아 숨을 쉴 때 폐 속으로 들어간 핵종들을 숨을 내쉴 때 바로 배출하게 되므로 감마선원 영향은 인체 내·외에 상관없이 인체를 싸고 있는 것처럼 가정한, 방사성원자 구름속 상태하의 체외선량으로 평가한다.

3. 방사선계측기 및 선량계의 특성

희유기체의 농도측정

방사능농도의 측정은 마리넬리 비이커를 통하여 기체를 포집하여 감마핵종분석기를 통하여 핵종을 분석하며, 분석된 자료로 공기중 농도를 구한다.

선량평가 방법

- 1) 감마선량율측정기에 의해 측정된 작업장 선량율에 작업시간을 고려하여 작업예상 선량을 평가한다.
- 2) 작업자가 작업중 착용한 보조선량계(ADR)의 누적선량으로 주선량계의 판독전까지 개인선량한도를 관리한다.
- 3) 작업자가 작업중 착용한 주선량계(TLD)로 개인선량계 판독에 관한 기술기준 및 ANSI N13.11-1993 기준요건을 만족한 값으로 개인선량한도 및 개인선량을 평가 보고 한다.

계측기 및 선량계의 특성

[표2]

구 분		주 선량계(TLD)	보조선량계(ADR)	감마선량율측정기
측정 방사선		β, γ, n, x	γ, x	γ, x
반응에너지	최저에너지	10 KeV	60 KeV	48 KeV
	사용에너지	10 KeV ~ 10 MeV	60 KeV ~ 3 MeV	48 KeV ~ 3 MeV
측정선량범위		1mrem ~ 10^4 rem	1mrem ~ 10^3 rem	1mrem ~ 10^3 rem
검교정 오차		$\pm 3\%$	$\pm 5\%$ (Cs-137, 200 mR/hr)	

4. 보정인자 산출 및 검증방법

보정인자 산출방법

- 1) 개인선량계 판독에 관한 기술기준 및 ANSI N13.11-1993 근거한 “성능검사범주 III 저에너지광자” 기준에 만족된 주선량계(TLD) 판독자료를 기준으로 한다.
- 2) 기준으로 하는 주선량계의 판독자료를 검증하기 위하여 희유기체선장의 농도를 분석하고, 이 선장에서 조사된 주선량계를 판독 값과 유도공기중농도(DAC : 과학기술부 고시 2002-23 별표3 의 3란)로 기준선량이 되는 주선량계의 선량값을 검증한다.
- 3) 동일 조건의 희유기체선장에서 주선량계(TLD)와 보조선량계(ADR)의 판독 및 측정값을 이용하여 반응도 차와 보정인자를 구한다.
- 4) 상기 3)의 조사선장의 선량율을 감마선량율측정기로 측정하여 측정기의 반응도 차와 보정인자를 구한다.

보정인자 검증방법

- 1) 희유기체의 붕괴특성을 기준으로 주선량계, 보조선량계 및 감마선량율측정기의 반응에너지특성을 비교하여 보정인자를 검증한다.
- 2) 희유기체 선장에서의 작업종사자가 착용한 개인선량계의 집적선량을 비교하고 보정인자 적용 타당성을 확인한다.

5. 희유기체선장의 조사 및 측정결과

원자로 건물내 종사자 출입이 빈번하고 희유기체 농도 상승 전 감마선량율이 낮아 희유기체만의 반응도 평가가 가능한 지역을 선정하여 조사 및 측정하였고, 원전현장의 희유기체농도가 수내지 수십배가 유지되던 3개월간의 종사자의 집적선량을 개인선량계간 반응도를 조사하였다.

조사 및 측정절차

- 1) 희유기체선장의 공기시료를 Grab Sample 한 후 감마핵종분석기로 분석하여 희유기체의 농도를 구한다.
- 2) 개인선량계간 반응도를 검토하기 위하여, 상기 선장에서 선량계를 조사시켜 측정 및 분석한다.
- 3) 감마선량율 측정기의 반응도를 검토하기 위하여 희유기체선장의 감마선량율을 측정한다
- 4) 분석된 희유기체농도를 유도공기중농도에 의해 유도한 선량과 저 에너지광자에 대한 성능기준을 만족한 주선량계(열형광선량계) 판독선량과 검토한다.
- 5) 원전의 희유기체 선장에서의 작업종사자의 개인선량계간 집적선량 산출한다.

측정 및 조사 자료

1) 희유기체농도 분석결과

[표3]

구 분	Xe-133	Xe-135	Kr-85m
측정 농도	3.16×10^7 Bq/m ³	6.36×10^4 Bq/m ³	3.82×10^4 Bq/m ³
유도공기중농도 ^{주1)}	2×10^6 Bq/m ³	3×10^5 Bq/m ³	4×10^5 Bq/m ³
DAC	15.8	0.2	0.1

주1) 고시 2002-23 “방사선방호등에 관한기준” 별표3의 4란(유도공기중농도) 자료임.

2) 감마선량을 측정결과

[표4]

구 분		평 상 준 위	희유기체농도 상승중 준위	선량을 차
선량을 [mrem/hr]	선량구역1	0.6	5.1	4.5
	선량구역2	15.3	19.6	4.3

3) 개인선량계간 반응도 차이에 따른 측정실험 결과

[표5]

구 분	주 선량계 (TLD)	보조선량계 (ADR)	TLD/ADR 비
1	178 mrem	58 mrem	3.06
2	164 mrem	54 mrem	3.04
3	164 mrem	56 mrem	2.93
4	184 mrem	57 mrem	3.23
5	165 mrem	58 mrem	2.84
평 균	171 mrem	57 mrem	3.02

주) 상기 희유기체농도 측정장소에서 11시간 조사하여 측정 및 판독한 선량임.

4) 희유기체 선장에서 개인선량계간 종사자 집적선량의 비교

[표6]

구 분	주 선량계 (TLD)	보조선량계 (ADR)	TLD/ADR 비
1	5.789 man · rem	2.597 man · rem	2.23
2	7.214 man · rem	3.313 man · rem	2.18
3	12.268 man · rem	4.589 man · rem	2.67
계	25.271 man · rem	10.499 man · rem	2.41

주) 본 자료는 3개월간의 전 종사자의 집적선량으로 희유기체농도의 영향이 거의 없는 지역의 선량도 포함되어 있음.

보정인자 산출 자료

[표7]

구 분	선 량	반응율	비 고
유도공기중농도에 의한 선량	174 mrem ^{주1)}	기준검증	장소: 원자로내 저감마선량구역 희유기체농도 : 3.7×10 ⁵ Bq/m ³ 개인선량계 조사시간 : 11시간
주선량계 (TLD)	171 mrem^{주2)}	기준	
감마선량율측정기	50 mrem ^{주3)}	29.2%	
보조선량계 (ADR)	57 mrem ^{주4)}	33.3%	

주1) 유도공기중농도에 의한 유도선량 산출.

$$\begin{aligned}
 \text{선량[mrem]} &= \frac{\text{측정농도[Bq/m}^3\text{]}}{\text{유도공기중농도[Bq/m}^3\text{]}} \times \frac{\text{유효선량[mrem]}}{\text{년간작업시간[hr]}} \times \text{작업시간} \\
 &= \frac{3.16 \times 10^5 \text{ Bq/m}^3}{2 \times 10^6 \text{ Bq/m}^3} \times \frac{2000[\text{mrem}]}{2000[\text{hr}]} \times 11 \text{ hr} \\
 &= \mathbf{174 \text{ mrem}}
 \end{aligned}$$

주2) 종사자의 주 선량계인 열형광선량계(TLD) 선량은 개인선량계 판독에 관한 기술 기준 및 ANSI N13.11-1993 근거한 “성능검사범주 III 저에너지광자 기준”에 만족된 자료로 평가의 기준으로 하였음.

주3) 감마선량율측정기 선량은 희유기체농도 상승전후의 선량차로 산출

$$\text{선량[mrem]} = 4.5 \text{ mR/hr} \times 11 \text{ hr} = 49.5 \text{ mrem}$$

주4) 보조선량계(ADR) 선량은 주선량계(TLD) 조사시 동일조건으로 조사하여 측정된 자료임

6. 결과 및 논의

국내·외 개인선량계 판독에 관한 기술기준의 요건을 만족한 주선량계(TLD)의 판독결과가 기준이 될 수 있음을 유도공기중농도에 의해 검증[표7] 되었으며, 원자로 건물내 희유기체선장의 농도를 분석한 결과[표3] 대부분이 Xe-133 이며 희유기체의 특성 [표1]에서 보여주는 바와 같이 81 keV(36.4%)를 제외하고는 대부분 50 keV 이하의 저에너지 감마방출핵종이다. 이는 주선량계(TLD)를 제외한 측정기(ADR, 감마선량률측정기)의 반응에너지 이하로 측정되지 않음을 알 수 있다. 측정 및 분석결과에서도 보조선량계의 경우 기준선량계인 주선량계의 33.3% 수준으로 이는 선량계가 검출 가능한 50keV 이상의 Xe-133 핵종의 81 keV (36.4%)에 해당되는 선량으로 1/3 정도 밖에 측정되지 않음을 알 수 있다. 이러한 문제점은 희유기체선장에서의 방사선작업관리의 위험적 요인이 되며

종사자의 선량 규제치를 초과할 가능성이 있다. 따라서 희유기체의 붕괴특성이나, 선량계 및 측정기의 반응도 비[표5]를 보더라도 희유기체선장에서의 보조선량계(ADR) 및 감마선량율측정기의 측정치는 3배하여 운영되어야 함을 알 수 있다.

이는 희유기체농도가 수내지 수십 배가 유지되던 3개월간의 원전 현장의 종사자의 집적 선량조사 결과[표6]에서도 나타내고 있다.

5. 결 론

희유기체선장은 농도측정의 소요시간과 방사성원자 구름운 상태로 피폭되어지므로 선장의 핵종 및 농도를 알고 있다 할지라도 복잡한 공간 및 구조물하에서의 정확한 선량평가를 기하기는 어려워 방사선작업관리의 위험적 요인이 되며 종사자의 선량 규제치를 초과할 가능성이 있다.

이에 직접 측정 가능한 보조선량계 및 감마선량측정기를 이용하기 위하여 반응에너지 이하의 검출되지 않는 일부 감마선에너지 영향을 보정한다. 이는 희유기체의 대부분을 차지하고 있는 Xe-133의 감마선 붕괴특성을 이용, 검출 가능한 81keV(36.6%)의 감마선 정보로부터 보조선량 및 감마선량율의 측정치에 3배 보정하여 운영되어야 함을 알 수 있다.

6. 참고자료

- 가. Table of Isotopes, Lawrence Berkdoy Laboratory.
- 나. ANSI, American National Standard for dosimetry - Personnel Dosimetry Performance - Criteria for Testing, New York. ANSI N13.11-1993
- 다. 원자력발전소내 제논가스에 의한 피부방사선량 평가.
- 라. Panasonic Industrial Company User's Manual for The Panasonic UD-710 and UD-716 TLD Readers. 1993.