

방사선안전관리 실무: (I) 연간섭취한도와 유도공기중농도의 적용

김현기

한국원자력연구원 방사선방호팀

2013년 11월 19일 접수 / 2013년 12월 10일 1차 수정 / 2013년 12월 12일 채택

비밀봉 방사성물질을 취급하는 시설에서 이들 물질에 의한 작업환경의 다소간의 오염은 피할 수 없다. 오염의 우려가 있는 작업환경에서 오염관리의 일차적인 목적은 방사성물질의 잠재적 체내섭취로 인한 영향이다. 본 논문은 보수적 가정과 간단한 계산에 의거하여 공기오염에 따른 방사성물질의 공기중 농도와 흡입에 의한 연간 섭취량을 산출한 후, 관련 고시에서 정하는 유도공기중농도와 연간섭취한도와 비교함으로써 종사자의 내부피폭 정도를 평가하는 절차를 제공한다. 제시된 절차는 공기중 방사성물질 측정 및 내부피폭 감시의 필요성, 적합한 방호용구의 착용, 배기설비 설계를 위한 정보 획득 등 공기오염과 종사자의 내부피폭 감시를 위한 실무적 요건을 판단할 목적으로 활용될 수 있다.

중심어 : 방사선안전관리, 연간섭취한도, 유도공기중농도, 방사성오염, 내부피폭

1. 서론

비밀봉 방사성물질을 취급하는 시설에서 이들 물질에 의한 작업환경의 다소간의 오염은 피할 수 없다. 오염의 우려가 있는 작업환경에서 오염관리의 일차적인 목적은 방사성물질의 체내섭취로 인한 잠재적 영향이다.

국제방사선방호위원회는 작업장에서 방사성물질에 대한 방사선작업종사자(이하 “종사자”)의 체내섭취를 관리하기 위한 제한값으로 연간섭취한도(Annual Limit on Intake; ALI)와 유도공기 중농도(Derived Air Concentration; DAC)를 권고하고 있다[1]. 국내의 경우 원자력안전법 시행령 제2조에서 연간섭취한도와 유도공기중농도를 원자력안전위원회가 정하도록 규정하여 제도화하고 있다. 즉 원자력안전위원회 고시 제2013-49호 “방사선방호 등에 관한 기준”의 [별표 3]에서 방사성핵종 별로 흡입과 경구섭취에 대한 각각의 값을 제공하고, 그 적용방법을 제7조와 제8조에서 정하고 있다[2,3].

작업환경의 오염으로 인한 종사자의 내부피폭은 취급하는 방사성물질의 종류와 양, 물리적 상태, 화학적 형태, 취급 상태와 방법, 온도 등의 주변환경의 영향을 받으므로 정량적인 평가가 용이하지 않다. 본 논문은 보수적 가정과 간단한 계산에 의거하여 공기오염에 따른 방사성물질의 공기중 농도와 연간 섭취량을 산출한 후, 고시에서 정하는 각각의 제한값과 비교함으로써 종사자의 내부피폭 정도를 평가하는 절차를 제공한다. 여기서 경구섭취를 통한 피폭경로의 경우 섭취량을 사전에 평가하기가 곤란

하고, 선량평가 방법론에 따라 평가의 불확도가 매우 크므로 본 논문에서는 작업환경의 공기오염에 의한 흡입을 통한 피폭만을 고려한다.

2. 재료 및 방법

가상의 작업환경을 구성하기 위해 국내에서 산업, 의료, 교육 및 연구 목적으로 사용되는 대표적 비밀봉 방사성핵종인 ¹⁸F, ³²P, ^{99m}Tc, ¹³¹I, ¹⁸⁸Re 을 취급하는 사용시설을 가정한다. 각 핵종의 화학적 형태와 1일 평균 사용량은 표 1에 제시된 바와 같다. 본 사용시설은 2,000 m³ h⁻¹의 배기용량을 지닌 배기설비를 갖추고, 0.5의 가동률(배기설비의 보수적 가동률임)로 운전됨을 가정한다.

비밀봉 방사성핵종을 취급하는 과정에서 공기 중으로 비산하는 방사성핵종의 양은 방사성핵종의 종류, 물리적·화학적 상태, 취급방법 등에 따라 상이하지만, 여기서는 1일 평균 사용량의 1/1,000 이 비산하는 것으로 가정한다. 이에 대한 근거는 명확하지 않지만 현재까지 배기설

Table 1. Radioisotopes Used in the Hypothetical Workplace.

핵종	화학적 형태	1일 평균 사용량 (MBq)
¹⁸ F	S	1,850
³² P	M	1,850
^{99m} Tc	M	1,850
¹³¹ I	F	740
¹⁸⁸ Re	M	740

교신저자 : 김현기, hkkim0@kaeri.re.kr
대천시 유성구 대덕대로 1045 한국원자력연구원

Table 2. Calculation Results of Air Concentration and Annual Intake.

핵종 [A]	화학적 형태 [B]	공기중 평균농도 (Bq m ⁻³) [C]	연간 섭취량 (Bq) [D]	유도공기중 농도 (Bq m ⁻³) [E]	연간섭취 한도 (Bq) [F]	공기중 농도비 [G (C/E)]	연간 섭취량비 [H (D/F)]
¹⁸ F	S	2.31×10 ²	5.55×10 ⁵	9.0×10 ⁴	2.0×10 ⁸	0.00	0.00
³² P	M	2.31×10 ²	5.55×10 ⁵	3.0×10 ³	7.0×10 ⁶	0.08	0.08
^{99m} Tc	M	2.31×10 ²	5.55×10 ⁵	3.0×10 ⁵	7.0×10 ⁸	0.00	0.00
¹³¹ I	F	9.25×10 ¹	2.22×10 ⁵	8.0×10 ²	2.0×10 ⁶	0.12	0.11
¹⁸⁸ Re	M	9.25×10 ¹	2.22×10 ⁵	1.0×10 ⁴	3.0×10 ⁷	0.01	0.01
분류의 합						0.21	0.20

비 등의 설계단계에서 방사성핵종의 습식조작 시에 일반적으로 적용되는 비산율의 보수적인 값이다[4].

앞서 언급한 조건에서 작업환경의 공기중 방사성핵종의 평균농도와 종사자의 연간 섭취량은 다음의 식으로 산출된다.

- 공기중 평균농도 (Bq m⁻³)
= (1일 평균 사용량) × (비산율) / [(배기용량) × (1일 작업시간) × (가동률)]
- 연간 섭취량 (Bq) = (공기중 평균농도) × (표준 호흡률) × (연간 작업시간)

위의 식에서 1일 작업시간은 8시간, 표준 호흡률은 1.2 m³ h⁻¹ 그리고 연간 작업시간은 2,000 시간이다.

3. 결과 및 고찰

본 사용시설에서 취급하는 각 방사성핵종에 대하여 1일 평균 사용량, 비산율, 1일 배기량 등을 이용하여 방사성핵종의 취급과정에서 비산으로 인한 작업환경내 공기중 평균농도와 종사자의 연간 섭취량 산출 결과를 표 2의 C열과 D열에 각각 나타내었다. 표에서 E열과 F열은 각각 원자력안전위원회 고시 “방사선방호 등에 관한 기준”에서 정하는 방사성핵종을 흡입할 경우의 유도공기중농도와 연간섭취한도이다. 또한 표의 G열은 공기중 평균농도를 유도공기중농도로 나눈 값이고, H열은 연간섭취량을 연간섭취한도로 나눈 값이다.

이와 같이 방사성물질의 종류를 알고 있는 2종 이상의 방사성핵종을 사용할 경우, 제한값은 각 분류의 합의 법칙을 적용한다. 즉 표 2에서 보듯이 5개 핵종을 사용하는 본 사용시설의 취급조건에서 작업환경의 공기중농도비의 합은 0.21, 연간섭취량비의 합은 0.20 으로 본 시설 종사자의 연간 내부피폭 정도는 약 4 mSv (20 mSv × 0.2) 로

예상할 수 있다. 여기서 공기중농도비와 연간섭취량비 간에 차이는 각 방사성핵종의 연간섭취한도로부터 유도공기중농도를 유도할 때 유효자릿수 처리과정에서 발생한 다.

4. 결론

비밀봉 방사성물질을 취급하는 시설에서 오염된 공기를 흡입할 우려가 있는 종사자의 내부피폭 정도를 평가하는 간단한 절차를 제시하였다. 평가절차가 단순한 만큼 내부피폭에 영향을 미치는 주요한 인자로 본 논문에서 적용한 비산율, 배기설비의 가동률 등은 상당히 보수적인 수치임을 이해할 필요가 있다. 예를들어 금속성 방사성핵종의 비산율은 약 10⁻⁷ 정도로 낮은 것으로 알려져 있다 [4]. 따라서 이들 인자들에 대한 실질적인 자료가 가용하다면 보다 현실적인 결과를 획득할 수 있다.

본 논문에서 제시하는 절차는 공기중 방사성물질 측정 및 내부피폭 감시의 필요성, 적합한 방호용구의 착용, 배기설비 설계를 위한 정보 획득 등 공기오염과 종사자의 내부피폭 감시를 위한 실무적 요건을 판단할 목적으로 활용될 수 있다.

참고문헌

1. ICRP. Annual limits on intake of radionuclides by workers based on the 1990 recommendations, International Commission on Radiological Protection Publication 61, Pergamon Press, 1991.
2. 대한민국정부. 원자력안전법 시행령, 2013.
3. 대한민국정부. 원자력안전위원회 고시 제2013-49호. 방사선방호 등에 관한 기준, 2013.
4. 高田 茂 他. 방사능물질의 종류와 취급조건에 따른 비산율 계산법. Radioisotopes, 1983;32(5):260-269.

Practical Radiation Safety Control: (I) Application of Annual Limit on Intake and Derived Air Concentration

Hyun Kee Kim

Korea Atomic Energy Research Institute, Department of Radiation Protection

Abstract - Some of radioactive contamination is unavoidable in the facilities using the unsealed radioactive material. The primary purpose of radioactive contamination control in the workplace with contamination concern is the effects from the potential intake of radioactive material into the body. This paper provides procedures to estimate the level of internal exposure for the worker based on the conservative assumptions and simple calculations. They consist of two processes; to calculate air concentration of radioactive material and annual intake by inhalation with contaminated air and to compare each of them to Derived Air Concentration and Annual Limit on Intake mentioned in the related notification. The procedures are applicable to make a decision on practical requirements for monitoring air contamination and internal exposure of worker as follows; needs for measurement of air contamination and internal exposure and acquisition of information on the design of the ventilation system.

Keywords : Radiation safety management, Annual limit on intake, Derived air concentration, Radioactive contamination, Internal exposure