

불활성기체 핵종분율측정 방법론

김동균, 김군열, 장영대, 신성규
 (주)한국원자력엔지니어링, 경기도 성남시 분당구 야탑동 145번지
 kdk5109@hanmail.net

1. 서론

불활성기체(Noble Gas)는 화학적으로 비활성의 성질을 가지므로 원칙적으로 완전 처리하는 것이 곤란하다. 원전 운전중 발생하는 대표적인 핵종으로 ⁴⁰Ar이 중성자와 반응하여 생성후 주로 환형기체계통 퍼지시 유출되는 ⁴⁰Ar 및 핵분열에 의해 생성되어 손상연료로부터 냉각재로 누설되어 냉각재누설에 의해 유출되는 ¹³³Xe, ¹³⁵Xe, ^{85m}Kr 등이 있다

중수로형 발전소에서 발생하는 불활성기체는 폐기체처리계통(Off Gas Management System)에서 자연·붕괴처리 또는 환배기계통(HEPA 필터 및 활성탄 필터 설치)을 통하여 직접 배출이 되며 배기구(Stack) 종단에 설치된 기체 유출물감시기(Gaseous Effluent Monitor)에 의하여 감시되고 배출량(기체유출물감시기에 따라 Bq 또는 Bq-MeV 단위)로 측정이 되어지고 있음이 평가 되어진다.

$$* \text{일일배출량(Bq-MeV)} = \sum [\text{배출량(Bq)} \times \text{단위변환상수}(C_i) \times \text{핵종분율}(f_i)]$$

여기서,

- 배출량(Bq) : 24시간동안 배기구를 통하여 배출된 Bq 단위의 방사능
- 단위변환상수(C_i) : 핵종 i를 Bq → Bq-MeV로 변환하기 위한 변환상수
- 핵종분율(f_i) : 전체 방사능에 대한 i 핵종의 분율

표1. 불활성기체 핵종별 Bq ↔ Bq-MeV 단위 환산표

핵 종	반 감 기	감마선에너지(MeV)	방 출 율	변환상수 (Bq-MeV/Bq)
Ar-41	1.83h	1.294	0.992	1.2836
Xe-133	5.24d	0.031	0.253	0.0453
		0.081	0.365	
Xe-135	9.10h	0.250	0.899	0.2479
Kr-85	10.7y	0.514	0.004	0.0022
Kr-85m	4.48h	0.151	0.753	0.1577
		0.305	0.140	
Kr-88	2.84h	0.196	0.260	1.9546
		2.196	0.132	

과기부고시 제2002-23호 “방사선방호등에 관한 기준”에서는 일반인의 선량한도를 기준으로 각각의 핵종에 따라 배기중 배출관리기준을 설정하고 있으나 배기구를 통하여 연속적으로 배출되는 핵종은 다핵종 이므로 측정되어지는 핵종분율에 의해 평가되어지는 선량평가의 값도 크게 변할 것이다.

따라서, 본 방법론은 현재 기체유출물감시기에 설치된 샘플라인으로 부터 1회/일, 1000ml 마르넬레비이커(Marinelli Beak)를 이용 수동으로 시료를 채취하여 핵종분율을 구하는 방법은 핵연료교체, 관련계통의 퍼지(Purge), 계통상태변화에 따라 유동적인 관리구역내의 핵종별 농도 변화를 반영하기에는 미흡한 점이 있다고 판단하여 시간에 따라 유동적인 관리구역내의 핵종농도 변화를 실질적으로 반영할수 있는 핵종분율 측정방법을 제시하여 시료의 대표성 확보 및 핵종별 배출량을 얻기 위함이다.

2. 핵종분율 측정법 개선방안

핵종분율 측정법에 있어 시간의 변화에 따른 핵종농도 변화를 반영하기 위해서는 연속적인 시료측정을 기초로한 데이터를 이용하는 것이 바람직하다고 판단하여 본 방법론에서는 시료의 연속공급 및 연속되어 공급되는 시료를 측정하기 위한 방법을 구축하였다.

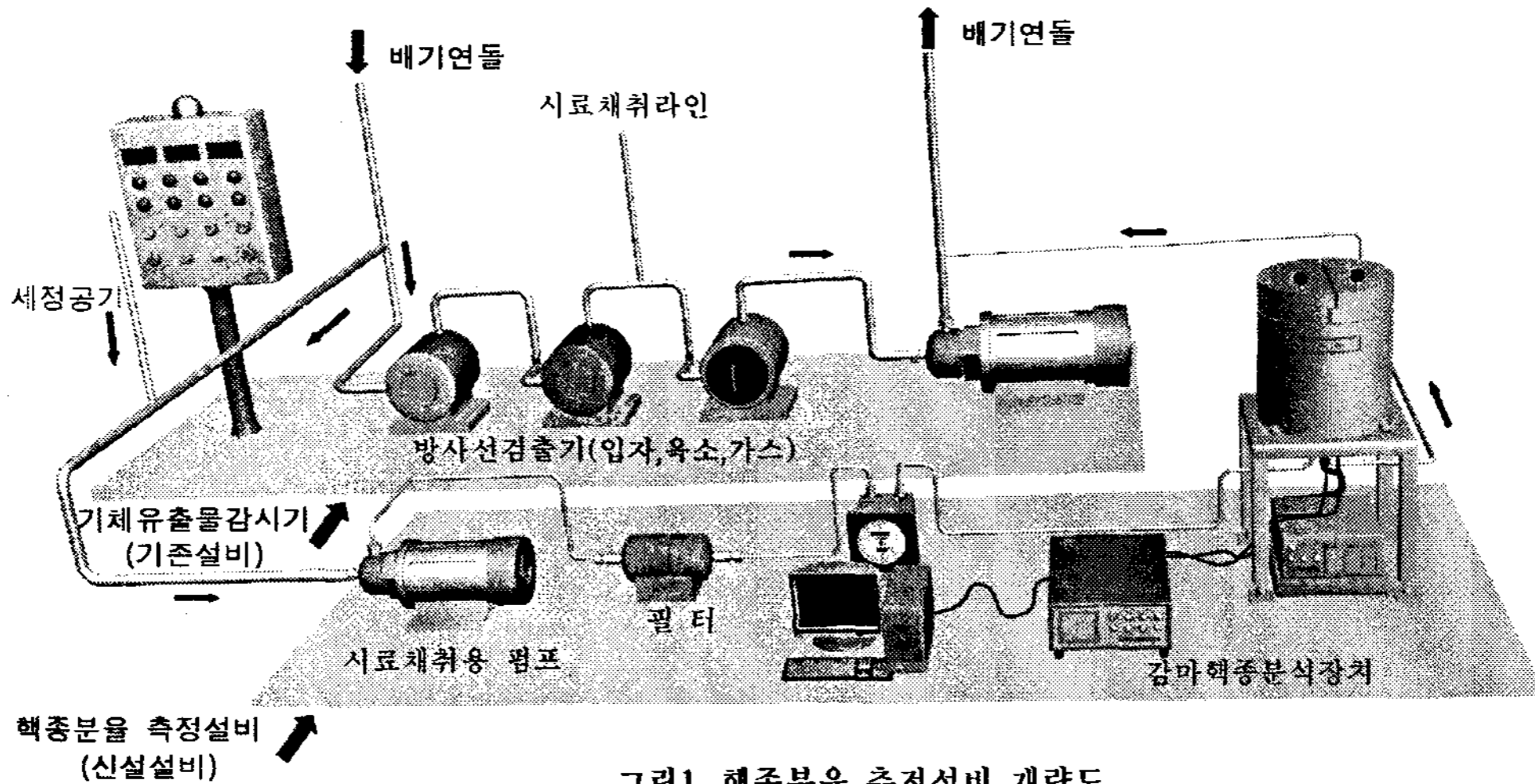
연속측정 설비의 기본 시스템은 기존의 기체유출물감시기 전단에 신설배관을 연결하고 진공펌프 및 유량계 설치하여 일정한 유량으로 감마핵종분석기 검출기 상부에 위치한 시료포집용기에 공기시료를 공급하게 되며 연속적으로 공급되는 공기시료는 감마핵종분석기에 의하여 측정되어지고 측정이 완료된 시료는 시료회수 라인을 통하여 기체유출물감시기 후단으로 회수된다. 이 과정에서 배치파일(Batch file)을 통한 임의의 시간 단위로 측정된 핵종데이터를 가지고 핵종분율을 구하게 된다. 또한 사용되는 시료포집용기는 마리넬리비커의 하부에 시료의 입·출이 가능한 관을 설치하고 용기의 한 공간에 시료가 정제하지 않고 전체를 순환하기 위한 구조를 만들기 위하여 감마선흡수가 작은 재질로 얇게 약간의 격자를 만들며 연속적으로 공급되는 시료를 측정하여야 하므로 계측시간 동안 반감기에 의한 붕괴는 보정을 하지 않는다. 즉, 보정식에서 측정시간 동안 붕괴하는 값에 대한 보정항 $\frac{1}{1 - e^{-\lambda t_m}}$ 을 수행하지 않는다.

$$A_0 = \frac{\lambda \cdot N_\gamma}{f \cdot \epsilon_P} \cdot \frac{1}{1 - e^{-\lambda t_m}}$$

여기서,

- | | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|
| A_0 : 측정초기 시료의 방사능 | λ : 붕괴상수 |
| N_γ : 측정된 γ -선 Peak의 면적 | t_m : 계측시간 |
| f : 붕괴당 γ -선의 방출비율 | ϵ_P : 전에너지 흡수 Peak의 검출효율 |

본 시스템에 사용되어지는 설비는 현장상황(위치 및 작업공간)을 고려하여 공간의 최소화와 유지관리의 편의성에 중점을 두어 일체형 모듈(Module)의 사용, 검출기의 전기적·기계적 냉각방식을 채택하며 펌프의 후단에 필터를 설치하여 입자에 의한 계통오염을 방지하고 오염시 계통의 세척을 위한 압축공기를 공급할수 있는 라인을 신설하며 주변기기의 원활한 작동을 위한 항온·습을 유지하기 위한 설비와 밀폐된 공간으로 구성된다.



3. 결 론

배기구조로 배출되는 불활성기체의 핵종분율 측정에 있어 연속측정 시스템을 구축하여 임의의 시간 단위로 측정이 될 경우 얻을 수 있는 기대효과는 다음과 같다

- 핵연료교체, 관련계통의 퍼지(Purge), 계통상태변화에 따라 유동적인 관리구역내의 핵종별 농도변화에 따른 시료측정의 신뢰성을 높일수 있고
- 주관이 배제된 시료를 얻을수 있으므로 보다 객관적인 배출량 및 선량평가가 이루어 질수 있으며
- 모니터 또는 페이지를 통한 특정 핵종의 변화를 확인할 수 있으므로 계통 이상 유·무의 판단 및 신속한 조치를 할수 있으며
- 운전변수 및 방사선작업에 따른 핵종 데이터의 수집이 쉬워지므로 적절한 작업방법의 선택 및 방사선안전관리를 통한 피폭선량의 감소 및 폐기물저감화를 이룰수 있을 것이다