

저선량 측정시 GM tube의 상대오차 및 분산계수 평가

조문형, 원유호, 맹성준

한수원(주) 원자력발전기술원, 대전광역시 유성구 장동 25-1

02190559@khnp.co.kr

1. 서론

감마선 서베이미터는 공간 방사선량을 측정하는 계측기로 GM tube, 이온전리함 및 섬광물질 등을 검출기로 사용한다.

이중 가장 일반적으로 사용되는 검출기는 GM tube와 섬광물질인데 GM tube는 Ne, Xe 등 내부가 불활성가스로 채워져 있어 방사선과 상호작용할 확률이 고체인 섬광물질에 비해 낮으며 저선량 측정시에는 자연방사선 준위의 영향으로 정확한 측정값을 얻기 어렵다. 따라서, GM tube로 제작된 검출기는 주로 고준위, 중준위 측정용으로, 섬광물질로 제작된 검출기는 10 uSv/h 이하의 저선량 측정용으로 사용된다.

본 논문에서는 GM tube로 제작된 감마서베이미터에 대하여 관련 국제 규격인 IEC 60846에서 제시하는 10 uSv/h 이하의 저선량 범위에서의 상대오차와 분산계수를 정량적으로 산출하여 기준 만족여부를 평가하고 섬광물질과의 측정값을 비교함으로써 저선량측정시 보다 신뢰성 있는 측정 결과를 얻을 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

2. 본론

2.1 실험 대상

실험에는 국내 원전에서 가장 많이 사용되고 있는 Teletector 타입 감마서베이미터(Fig 1.(a))와 저준위 감마서베이미터(Fig 1.(b))를 사용하였으며 각각의 검출기 체원은 Table.1과 같다.

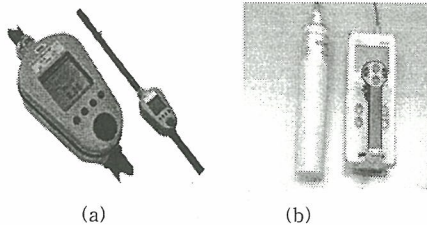


Fig. 1. Pictures of gamma survey meters; (a) Teletector, (b) Low-range survey meter

Table 1. Specifications of detectors

Specification	GM tube	Scintillator
Detector Material	Ne Gas	NaI(Tl)
Sensitivity	18 cps/mR/hr	20,000 cps/mR/hr
Diameter	15.1 mm	51 mm

2.2 상대오차 및 분산계수 산출

감마선 서베이미터에 저선량의 방사선을 조사시키기 위하여 ¹³⁷Cs 선원 185 MBq이 내장된 조사장치를 사용하였다.

조사장치의 교정성적서에 명시된 공기커마울에 ¹³⁷Cs선원의 붕괴보정상수를 적용하여 실험을 수행한 날짜에서의 공기커마울을 산출하였으며, 이 값에 ISO 4037-3에서 제시하는 ¹³⁷Cs에 해당하는 선량환산인자 1.2 Sv/Gy를 적용하여 공기커마울(Gy/h)을 주변선량당량률(Ambient dose equivalent, Sv/h)로 환산하여 기준값으로 정하였다[2].

각각의 서베이미터에 0.8 uSv/h ~ 10 uSv/h를 조사시켰으며 저선량에서의 상대오차를 세부적으로 산출하기 위해 2 uSv/h 이하에서는 0.1 uSv/h ~ 0.3 uSv/h 단위로 선량률을 감소시켜가며 측정했다.

각각의 선량률에서 10회의 측정값을 구하였으며 상대오차는 기준값에 대한 측정값의 평균을 비율로 산출하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

Table 2. Relative error of detectors

Reference Dose rate (uSv/h)	Relative error(%)		Limits (%)
	GM tube	Scintillator	
7	2.74	-3.46	±20
5	0.32	-2.58	±20
3	9.10	-1.84	±20
2	4.44	-6.36	±20
1.8	-14.29	-6.17	±20
1.5	14.72	-5.25	±20
1.2	4.82	-4.71	±20
1.0	5.29	-4.79	±20
0.9	16.21	-3.26	±20
0.8	-18.64	-2.91	±20

또한, 각각의 측정 지점에서 측정값의 통계적인 변화량을 알아보기 위해 다음의 식으로 분산계수를 산출하였으며 그 결과를 Table 3에 나타내었다[1].

$$u = \frac{1}{x} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

여기서, x : 측정값
 x_i : 측정값의 평균
 n : 측정횟수

Table 3. Coefficients of variation of detectors

Reference Dose rate (uSv/h)	Coefficients of variation(%)		Limits (%)
	GM tube	Scintillator	
7	1.49	0.08	9
5	2.01	0.06	11
3	2.99	0.14	13
2	7.69	0.19	14
1.8	5.85	0.22	14.2
1.5	5.46	0.17	14.5
1.2	8.74	0.26	14.8
1.0	7.44	0.46	15
0.9	9.69	0.36	15
0.8	12.13	0.44	15
Background	19.59	0.54	-

2.3 결과 및 고찰

실험을 통해 얻은 GM tube와 섬광물질 각각의 상대오차를 그래프로 도식하여 비교하면 다음과 같다.

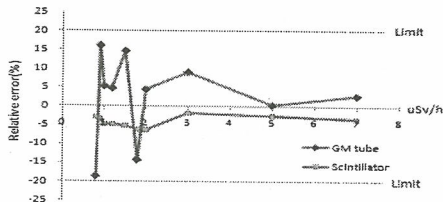


Fig. 2. Relative error of detectors

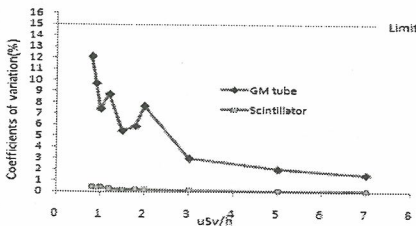


Fig. 3. Coefficients of variation of detectors

Table 2, 3을 통해 GM tube와 섬광물질의 상대오차와 분산계수 모두 IEC 60846의 기준을 만족함을 알 수 있었다.

Table 2에서 GM tube의 경우 3 uSv/h 이상에서는 상대오차의 크기에 큰 변화가 없었으나 3 uSv/h 미만에서는 최대 18.6% 까지 변화하였으며, 섬광검출기는 실험이 이루어진 전체 범위에서 7% 미만으로 상대오차가 산출되었다. 또한, Table 3에서 두 서베이미터 모두 선량률이 낮아질수록 분산계수가 커지는 경향을 보였으며 GM tube는 1.49%~12.13%, 섬광검출기는 0.08%~0.44%로 GM tube가 섬광검출기에 비해 최대 11% 가량 분산계수가 높게 산출되었다.

3 uSv/h 미만에서 GM tube의 상대오차와 분산계수가 커지는 이유는 기준 선량률이 낮아질수록 자연방사선 준위의 분산계수가 측정값에 미치는 영향이 섬광검출기보다 커지기 때문으로 판단된다.

실험 결과를 토대로 GM tube로 제작된 서베이미터로 저선량을 측정할 경우 3 uSv/h 이상에서는 상대오차와 분산계수의 영향이 적지만 3 uSv/h 미만의 범위에서는 서베이미터의 지시값에 상대오차와 분산계수의 영향을 고려하여야 보다 신뢰성 있는 측정결과를 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

3. 결론

저선량 측정시 GM tube와 섬광검출기의 상대오차 및 분산계수를 평가한 결과 실험이 이루어진 전체 범위에서 국제규격 IEC 60846의 기준을 만족하지만 GM tube는 3 uSv/hr 미만에서 섬광검출기에 비해 상대오차와 분산계수가 큰 것으로 나타났다. 따라서 GM tube로 제작된 서베이미터로 3 uSv/h 미만을 측정할 경우 보다 신뢰성 있는 결과를 얻기 위해서는 상대오차와 분산계수를 고려해야 하며 보다 정확한 측정결과를 얻기 위해서는 측정특성이 상대적으로 우수한 섬광물질로 제작된 계측기를 사용하는 것이 바람직하다.

4. 참고문헌

[1] IEC 60846 Radiation Protection instrumentation - Ambient and/or directional does equivalent (rate) meters and/or monitors for beta, X and gamma radiation, pp.21, 81, 2002.
 [2] ISO 4037-3 Calibration of area and personal dosimeters and measurement of their response as function of energy and angle of incidence, pp. 22, 1999.