

## 고준위 감마선 조사장치 조사시간 오차 측정

원유호, 조문형, 강기두

한수원(주) 원자력발전기술원, 대전광역시 유성구 장동 25-1

[won8387@khnp.co.kr](mailto:won8387@khnp.co.kr)

### 1. 서론

감마선 조사장치는 전자개인선량계(ADR), 감마선 서베이미터 및 이온전리함 등의 방사선계측장비를 교정하기 위한 기준기로서  $^{137}\text{Cs}$  등의 선원을 인출하여 기준 선량을 조사하는 장비이다.

전자개인선량계(ADR) 교정 및 열형광선량계(TLD) 등의 조사(照射)를 위해서는 선원의 인출시간을 조절할 수 있어야 하는데 조사장치의 기계적인 특성 및 타이머의 최소 표시 시간 등에 따라 세팅된 조사 시간과 실제 조사되는 시간과의 오차가 발생할 수 있으며, 정확한 조사를 위해서는 타이머를 적절히 보정하여야 한다.

본 실험에서는 서로 다른 두개 이상의 시간 조합으로 측정된 전위차(V)를 비교하는 방법을 이용하여 원자력발전기술원에서 사용하는 고준위 감마선 조사장치의 조사시간 오차를 측정하였다.

### 2. 본론

측정은 감마선 조사장치에 내장된 4개의 선원 중 7.4 TBq 선원을 사용하여 다음의 방법으로 수행하였다. 선원의 기하학적 구조 및 구동 시스템이 동일하므로 나머지 3개의 선원에 대한 조사시간 오차는 따로 측정하지 않았다.

첫째, 이온 전리함을 감마선 조사장치로부터 1 000 mm의 거리에 위치시킨 후 이온 전리함의 중심점을 감마선 조사장치의 레이저와 수직이 되도록 정렬시켜 중심점으로 설정하였다.

둘째, 이온화 전류 측정 프로그램을 이용하여 BKG를 200 초간 5회 측정하여 평균하였다.

셋째, 이온화 전류 측정 프로그램에 200 초 5회 측정을 설정한 후 조사장치의 타이머를 이용하여 7.4 TBq 선원을 100 초간 인출하여 5회 조사, 측정된 값을 평균하였다. 이 때 100초는 임의로 설정한 시간이다.

넷째, 이온화 전류 측정 프로그램에 200 초 5회 측정을 설정한 후 조사장치의 타이머를 이용하여

7.4 TBq 선원을 50초 인출한 후 다시 50초를 인출하는 방법으로 100초를 인출하여 각각 5회 조사, 측정된 값을 평균하였다. 이 때 50 초간 2회로 설정한 것은 조사시간 설정의 편의를 위한 것이며, 합이 100초인 경우 어떠한 설정(30 초 + 70 초 등)도 최종 결과에 영향을 미치지 않는다.

이 때 측정된 값은 캐패시터에 축적된 전하에 의한 전위차이며, BKG를 보정하여 최종 측정값을 산출하였다.

측정에 사용된 챔버는 체적 30 ml의 구형 챔버이며, -300 V의 고전압을 챔버 벽에 인가하여 측정하였다<sup>[1]</sup>. 또한 조사 빔의 세기 및 챔버 체적을 감안하여 100 초 측정에 적당한 10.147 nF 용량의 캐패시터를 사용하였다.

이온화 전류는 전리함의 종류, 사용된 캐패시터에 따라 달라지며, 같은 전리함 및 캐패시터를 사용할 경우 측정 시간에 관계없이 이온화 전류는 같아지게 된다. 즉 아래의 식이 성립하게 된다<sup>[2]</sup>.

$$I_1 = I_2 = \frac{CV_1}{t_1} = \frac{CV_2}{t_2} \dots\dots\dots (1)$$

여기서  $t_1$  및  $t_2$  는 측정 시간을 나타내며,  $V_1$  및  $V_2$  는 각각  $t_1$  및  $t_2$  시간 동안 캐패시터에 축적된 전하에 의하여 형성된 전위차이다.

본 실험에서 설정된  $t_1$  및  $t_2$ 는 이론상으로는 100 초이나 실제로  $t_1$ 에는 1회의 조사시간 오차( $\Delta t$ )가 포함되어 있으며,  $t_2$ 에는 2회의 조사시간 오차( $2\Delta t$ )가 포함되어 있다. 즉 아래의 식이 성립하게 된다.

$$\frac{CV_1}{100 + \Delta t} = \frac{CV_2}{50 + 50 + 2\Delta t} \dots\dots\dots (2)$$

위 식을  $\Delta t$  에 대하여 풀면 아래 식과 같으며, 측정을 통하여 구한  $V_1$  과  $V_2$ 를 대입하여  $\Delta t$  를 구할 수 있다.

$$\Delta t = 100 \times \frac{V_1 - V_2}{V_2 - 2V_1} \dots\dots\dots (3)$$

7.4 TBq 에 대한 100초 5회 측정된 결과들

Table 1에 나타내었다. 표에 나타난 측정 시간은 전류측정 프로그램 상의 설정 시간이며, 실제 조사는 조사장치 타이머에 세팅한 100초 동안 각각 수행되었다.

Table 1. Measured Values (7.4 TBq 100 s)

측정횟수	V <sub>IG</sub> (V)	측정시간(초)	측정전류(A)
1	1.486 90	201.156	7.60E-11
2	1.476 73	201.156	7.54E-11
3	1.482 89	201.156	7.57E-11
4	1.488 02	201.156	7.60E-11
5	1.476 85	201.156	7.54E-11
평균(V)		1.482 28	
표준불확도(V)		0.002 40	
상대표준불확도(%)		0.2	

마찬가지로 50 초 + 50 초에 대한 측정 결과를 Table 2에 나타내었으며, 실제 조사시간은 200 초 설정 시간 중 50 초 + 50 초이다.

Table 2. Measured Values (7.4 TBq 50 s + 50 s)

측정횟수	V <sub>20</sub> (V)	측정시간(초)	측정전류(A)
1	1.420 98	201.156	7.26E-11
2	1.409 52	201.156	7.20E-11
3	1.426 32	201.156	7.29E-11
4	1.426 92	201.152	7.29E-11
5	1.426 84	201.152	7.29E-11
평균(V)		1.422 12	
표준불확도(V)		0.003 34	
상대표준불확도(%)		0.2	

일반적으로 BKG 측정 시에는 저 용량의 캐패시터를 사용하나, 본 실험에서는 동일한 조건을 갖추기 위하여 같은 용량의 캐패시터를 사용하여 측정하였으며, 측정된 결과를 Table 3에 나타내었다.

최종 측정값(V<sub>1</sub> 및 V<sub>2</sub>)은 최초 측정값(V<sub>1(i)</sub> 및 V<sub>2(i)</sub>)에서 BKG 값(V<sub>(b)</sub>)을 보정하여 산출한다.

Table 3. Measured Values ( BKG 10.147 nF 200 s)

측정횟수	V <sub>(b)</sub> (V)	측정시간(초)	측정전류(A)
1	0.000 55	201.156	2.81E-14
2	0.000 55	201.156	2.81E-14
3	0.000 53	201.156	2.71E-14
4	0.000 46	201.156	2.35E-14
5	0.000 51	201.156	2.60E-14
평균(V)		0.000 52	
표준불확도(V)		0.000 02	
상대표준불확도(%)		3.2	

상기 측정값에 따라 산출한 조사시간 오차(Δt)는 다음과

같다.

$$\Delta t = 100 \times \frac{1.482\ 28 - 1.422\ 12}{1.422\ 12 - 2 \times 1.482\ 28} = -3.9\ \text{초}$$

측정결과 7.4 TBq 선원에 대한 조사시간 오차는 -3.9 초로 판명되었으며 100 초를 조사하고자 할 경우 103.9 초를 설정하여야 함을 의미한다.

본 측정에서 고려된 불확도 요인을 Table 4에 나타내었으며 이 때 자유도 4에 해당하는 t 값(2.78)을 상대합성 표준불확도에 곱하여 확장 불확도를 산출하였다.

Table 4. Estimated Uncertainty

불확도 요인	추정값	상대표준 불확도(%)	확률분포	자유도
측정전압	1.409 52 ~ 1.488 02	0.2	t	4
전압 측정장치	1.0	0.03	직사각형	∞
상대합성표준 불확도 (%)		0.2		4
확장불확도 (%)		0.5		

측정전압에 대한 불확도는 BKG를 보정한 전압 값의 표준 불확도를 해당 전압의 평균값으로 나누어 상대표준 불확도로 표시하였으며, 전압 측정 장치의 불확도는 매뉴얼에 제시된 값을 사용하였다.

### 3. 결론

측정 결과 산출된 조사시간 오차는 감마선 조사 장치 타이머의 최소 분해능이 1초인 점을 감안할 때 실제로 +4초를 보정하여야 하며, 나머지 0.1 초를 집적선량 측정 장비(ADR 등)의 교정 또는 열형광선량계 조사 시 불확도 요인으로 평가하여야 한다.

이 때 200초 이상으로 조사시간을 설정한다는 가정 하에 0.1 % 미만으로 산출되어 전체 불확도에 미치는 영향은 미미한 것으로 판단된다.

### 4. 참고문헌

- [1] Standard imaging, Exradin Ionization Chamber User's manual, pp 5-8
- [2] Glenn F. Knoll, Wiley, 2000, Radiation detector and measurement 3rd, pp 138-140