저준위 감마선 조사장치 조사시간 오차 감소방안

원유호, 조문형, 고종현
한수원(주) 원자력발전기술원, 대전광역시 유성구 금병로 508
won8387@khnp.co.kr

1. 서론

원자력발전기술원은 방사선 분야의 국제공인 교정기관(KOLAS)[1]으로 인정받아 원전 방사선계측장비에 대한 교정을 수행하고 있으며 개인자동선량계 및 TLD 등의 기준 조사를 위하여 ^{137}Cs 선원이 장착된 감마선 조사장치를 사용하고 있다.

이러한 조사장치는 셔터 개폐와 타이머 개시, 종료 시간 등의 불일치에서 기인한 오차가 발생할 수 있어 개인선량계의 교정 및 TLD 기준조사 시 이러한 시간 오차에 대하여 적절한 보정을 하여야 한다.

본 실험에서는 ^{137}Cs 185 MBq 이 장착된 저준위 조사장치에 대하여 이온 전리함을 이용하여 서로 다른 시간 동안 감마선 조사 시 발생하는 전위차를 측정하고 이를 비교하여 조사 시간 보정 값을 산출하였다.

2. 본론

감마선 조사장치에 장착된 185 MBq 선원을 대상으로 조사시간 오차를 다음과 같이 측정하였다

첫째, 이온 전리함을 교정대에 위치시킨 후 이온 전리함의 중심점을 감마선 조사장치의 레이저와 정렬하였다.

둘째, 전위 측정 프로그램을 이용하여 선원을 인출하지 않은 상태로 5회 측정 평균하여 배경값을 산출하였다.

셋째, 선원을 인출하여 100 초간 5회 조사하여 측정된 값을 평균하였다.

넷째, 선원을 50초 인출하여 조사한 후 다시 50초를 인출하는 방법으로 합계 100 초를 인출하여 각각 5회 조사, 측정된 값을 평균하였다. 이 때 최종 측정 값은 배경값을 보정하여 얻어진 값으로 하였다.

측정에 사용된 챔버는 Exradin 사의 A7(3ℓ)이며, -500 V 의 고전압을 챔버 벽에 인가하여 측정하였다[1]. 측정 시간은 챔버의 체적, 축전기 용량 및 측정 전압 등에 의하여 결정되며, 전압 측정장치의 측정범위(2 V) 중 일반적으로 정확도가 가장 좋은 1 V 근방에서 측정을 수행할 수 있도록 축전기 용량(47.995 pF)을 고려하여 100 초를 산출하였다.

전리함에 의하여 측정된 전류 즉 시간에 따른 전위의 변화는 동일한 전리함 및 축전기를 사용할 경우 측정 시간과 무관한 일정한 값을 나타내게 된다. 즉 식 (1)의 관계가 성립된다[2].

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

여기서 t_1 및 t_2 는 측정 시간이며, V_1 및 V_2 는 각각 t_1 및 t_2 시간 동안 발생된 전위차이다.

본 실험에서는 t_1 및 t_2 를 각각 100 초 및 50 초 2회로 설정하여 동일한 100 초를 조사하는 것으로 설정하였으나 실제로 t_1과 t_2에는 각각 1 회와 2 회의 Δt(보정해야 할 시간오차)가 포함되어 있다. 이러한 관계를 식으로 표시하면 아래와 같다.

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

위 식을 Δt 에 대하여 정리하면 아래 식과 같으며, 측정에서 얻어진 V_1과 V_2를 대입하여 보정하여야 할 조사시간 오차 Δt 를 구할 수 있다.

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

185 MBq 에 대하여 100 초간 측정한 결과를 Table 1에 나타내었으며, 1회의 Δt 가 포함되어 있다.

Table 1. Measured Values (185 MBq 100 s)

측정전압$V_{1(i)}$ (V)	인출시간(초)	환경보정인자	측정전류(A)
1.020 21	100	1.009 34	2.43E-13
1.024 14	100	1.009 47	2.44E-13
1.025 89	100	1.009 51	2.45E-13
1.029 20	100	1.009 58	2.46E-13
1.027 47	100	1.009 70	2.45E-13
평균(V)		1.025 38	
표준불확도(V)		0.003 45	
상대표준불확도(%)		0.3	

1) KOLAS : Korea Laboratory Accreditation Scheme

상기와 같은 방법으로 연속 2 회 50 초를 측정한 결과를 Table 2에 나타내었으며, 실제 전하가 수집된 시간은 50 초 + 50 초 + 2Δt 이다.

Table 2. Measured Values (185 MBq 50 s + 50 s)

측정전압$V_{2(i)}$ (V)	인출시간(초)	환경보정인자	측정전류(A)
1.033 57	50 + 50	1.009 77	2.47E-13
1.031 05	50 + 50	1.009 83	2.46E-13
1.034 43	50 + 50	1.009 97	2.47E-13
1.027 63	50 + 50	1.010 02	2.45E-13
1.032 86	50 + 50	1.009 99	2.46E-13
평균(V)		1.031 90	
표준불확도(V)		0.002 70	
상대표준불확도(%)		0.3	

선원을 인출하지 않은 상태에서 동일한 용량의 축전기를 사용하여 배경값을 측정하였으며, 측정된 결과를 Table 3에 나타내었다.

환경보정인자는 측정 시의 대기압 및 온도에 의한 밀도 변화를 보정하기 위하여 사용되는데 온도 및 기압 측정값을 전위 측정 프로그램에 입력하여 계산하였다.

Table 3. Measured Values (BKG 100 s)

측정전압$V_{(b)}$ (V)	인출시간(초)	환경보정인자	측정전류(A)
0.005 25	100	1.010 11	1.24060E-15
0.005 76	100	1.010 19	1.35967E-15
0.005 66	100	1.010 25	1.33592E-15
0.005 10	100	1.010 26	1.20453E-15
0.005 56	100	1.010 23	1.31207E-15
평균(V)		0.005 46	
표준불확도(V)		0.000 28	
상대표준불확도(%)		5.1	

최종 측정값(V_1 및 V_2)은 최초 측정값(표 1의 $V_{1(i)}$ 및 표 2의 $V_{2(i)}$)에 배경값(표3의 $V_{(b)}$)을 보정하여 산출하였다.

위에서 측정된 값을 식 (3)에 대입하여 다음과 같이 조사시간 보정값(Δt)을 산출하였다.

$$\Delta t = 100 \times \frac{1.019\ 92 - 1.026\ 44}{1.026\ 44 - 2 \times 1.019\ 92} = 0.6\ s$$

측정에서 고려하여야 하는 불확도 요인을 Table 4에 나타내었으며 자유도 4에 해당하는 t 값(2.78)을 상대합성 표준 불확도에 곱하여 확장 불확도를 산출하였다.

측정전압에 대한 불확도는 전압 값에 대한 표준편차를 평균값으로 나누어 상대표준 불확도로 표시하였다.

전압 측정 장치의 불확도는 제작사가 제시한 값을 인용하여 산출하였으며, 환경보정인자에 대한 불확도는 측정에 사용된 기압계 및 온도계의 성적서 상에 표기된 불확도를 합성하여 산출하였다.

Table 4. Estimated Uncertainty

불확도 요인	추정값	상대표준 불확도(%)	확률분포	자유도
측정전압	1.020 21 ~ 1.034 43	0.3	t	4
전압 측정장치	1.0	0.03	직사각형	∞
환경보정인자	1.009 34 ~1.010 26	0.01	직사각형	∞
상대합성표준 불확도 (%)	-	0.3	-	4
확장불확도 (%)	-	0.8	-	-

측정결과 조사시간 보정값은 0.6 초로 산출되었으며 이는 100 초를 조사하고자 할 경우 0.6 초를 보정하여 99.4 초를 설정하여야 함을 의미한다.

측정 결과 산출된 보정시간(Δt)이 조사장치 타이머의 최소 표시단위인 1초보다 작으므로 실제로 -1 초를 보정하여야 하며, 나머지 0.4 초를 아래의 식 (4)에 따라 불확도로 평가하여야 한다.

$$\frac{0.4\ s}{200\ s \times \sqrt{3}} \times 100 = 0.1\ \%\ ^{[3]} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

3. 결론

산출된 보정 시간은 개인선량계 교정 및 TLD 기준 조사 시 보정하여야 하며, 조사시간 보정으로 인한 불확도 값은 약 0.1 % 로 전체 불확도에 미치는 영향은 매우 작은 것으로 판단된다.

4. 참고문헌

[1] Standard imaging, Exradin Ionization Chamber User's manual, pp 5-8.

[2] Glenn F. Knoll, Wiley, 2000, Radiation detecton and measurement 3rd, pp 138-140.

[3] KASTO 02-26-1030-042, 이온전리함형 선량계의 표준교정절차 pp 16.