

밀봉 알파, 베타 표준선원을 이용한 다중선 비례계수기 유효성 평가

고종현, 이영주, 강기두

한국수력원자력(주) 원자력발전기술원, 대전광역시 유성구 금병로 508

jhko@khnp.co.kr

1. 서론

다중선 비례계수기(multi-wire proportional counter, 이하 '계수기'라 한다)는 알파, 베타입자를 방출하는 면적선원의 교정을 위하여 선원의 계수율(count rates) 측정시 사용한다.

2005년 3월에 도입한 계수기의 건전성 및 유효성을 확인하고 궁극적으로 발전소 교정지원의 신뢰도를 확보하기 위하여 밀봉 알파, 베타 표준선원을 이용하여 계수효율을 산출하고 불확도 요인에 따른 계수율 편차를 점검하는 일련의 주기적인 활동이 필요하다. 이러한 활동을 '중간점검'이라 하며 교정 후 6개월마다 실시한다[1].

본 논문은 계수기에 대하여 2009년 12월에 실시한 중간점검 절차와 그 결과를 기술하였으며 측정 값의 상대편차와 상대확장불확도의 비율인 $|E_n|$ 값을 통하여 계수기의 유효성을 평가하였다.

2. 본론중간점검 절차 및 결과

중간점검 절차는 다음과 같은 순서에 따라 실시하였다. 첫째, 기저(background)방사선 계수율을 측정하고 측정선원의 계수율을 측정한다. 둘째, 측정선원의 실제수율을 계산 한 후 계수기의 측정효율을 산출한다. 셋째, 계수기에 대한 확장불확도를 구하여 $|E_n|$ 값을 산출하고 점검한다.

2.1 계수효율 산출

계수기의 기저방사선 계수율을 구하기 위해 500 초씩 50 회를 측정하였으며 23개 표준선원의 계수율은 각 선원마다 100초씩 30회를 측정하였다. 측정 결과 알파 기저방사선 계수율은 평균 1.76 cps이고 베타 기저방사선 계수율은 평균 26.17 cps 였다.

측정선원의 실제수율(M)은 식 (1)을 이용하여 구할 수 있다[2].

$$M = \frac{\overline{m_s}}{1 - \overline{m_s}\tau} - \frac{\overline{m_b}}{1 - \overline{m_b}\tau} \dots\dots\dots(1)$$

여기서

$\overline{m_s}$: 측정선원 평균 계수율
 $\overline{m_b}$: 기저방사선 평균 계수율
 τ : 분해시간 (1 μ s라 가정)

계수효율(ϵ)은 식 (2)와 같이 측정선원 실제수율(M)을 기준선원 표면방출률(S)로 나눠주면 구할 수 있으며[2] 그 값을 Table 1.에 정리하였다.

$$\epsilon = \frac{M}{S} \dots\dots\dots(2)$$

2.2 불확도 산출

불확도 전파법칙에 따라 계수효율의 합성표준불확도는 식 (3)과 같다[2].

$$u(\epsilon) = \sqrt{u^2(M) + u^2(S) + u^2(C_\alpha) + u^2(C_\beta) + u^2(C_\gamma) + u^2(C_w)} \dots\dots\dots(3)$$

여기서

- $u(\epsilon)$: 계수효율 합성표준불확도
- $u(M)$: 측정선원의 실제수율 불확도
- $u(S)$: 기준선원의 표면방출률 불확도
- $u(C_\alpha)$: 방사능 붕괴 보정인자의 불확도
- $u(C_\beta)$: 선원두께에 따른 보정인자의 불확도
- $u(C_\gamma)$: 선원면적에 따른 보정인자의 불확도
- $u(C_w)$: 에너지 범위 보정인자의 불확도

계수효율의 확률분포를 정규분포로 볼 수 있으므로 신뢰수준 약 95 %에서의 확장불확도 값은 포함인자 $k=2$ 를 합성표준불확도에 곱함으로써 얻을 수 있다[3].

2.3 $|E_n|$ 값 산출

$|E_n|$ 값은 아래 식 (4)를 이용하여 산출한다[4].

$$E_n = \frac{(\epsilon_m - \epsilon_r) \times 100}{\epsilon_r \sqrt{U_m^2 + U_r^2}} \dots\dots\dots(4)$$

여기서

- ϵ_m : 측정선원 계수효율
- ϵ_r : 기준선원 계수효율

U_m : 측정값의 확장불확도

U_f : 기준값의 확장불확도

산출결과는 Table 2.에 정리하였으며 $|E_n| \leq 1$ 을 만족하는지 확인한다[5].

2.4 중간점검 결과 값

기준선원 표면방출률, 기준선원 계수효율, 기준값의 확장불확도는 교정성적서에 기재된 값을 사용하였다. 23개 표준선원에 대한 실계수율과 계수효율은 Table 1.에, 측정값의 확장불확도, $|E_n|$ 값은 Table 2에 정리하였다.

Table 1. Results of counting efficiency

표준선원	기준선원 표면 방출률 (s ⁻¹ in 2π sr)	측정선원 실계수율 (cps)	측정선원 계수효율
1 C-14(NV115)	300	292	0.971 7
2 C-14(NV121)	432	421	0.974 3
3 Tc-99(NV116)	557	534	0.958 2
4 Tc-99(NV122)	485	488	1.006 6
5 Tc-99(OP889)	1 194	1 170	0.979 8
6 Cl-36(NV117)	591	551	0.932 0
7 Cl-36(NV123)	553	534	0.966 4
8 Cl-36(MF111)	268	247	0.922 0
9 Sr-90(NV118)	1 369	1 325	0.967 6
10 Sr-90(NV124)	1 102	1 026	0.930 7
11 Sr-90(RW283)	1 140	1 086	0.952 8
12 Sr-90(111913)	702	670	0.954 3
13 Cs-137(LW923)	3 321	3 140	0.945 4
14 Cs-137(LW945)	580	541	0.933 6
15 Cs-137(RW282)	788	763	0.967 9
16 Cs-137(LW934)	340	320	0.942 4
17 Am-241(NV113)	335	328	0.977 8
18 Am-241(NV119)	511	487	0.953 9
19 Am-241(LW956)	274	266	0.972 5
20 Am-241(RW281)	515	481	0.934 0
21 Am-241(MF110)	171	169	0.986 9
22 Th-230(NV114)	414	391	0.944 9
23 Th-230(NV120)	584	573	0.981 4

Table 2. Results of $|E_n|$

표준선원	기준선원 계수효율	기준값의 확장 불확도 (%)	측정값의 확장 불확도 (%)	$ E_n $
1 C-14(NV115)	0.996 0	2.5	2.5	0.71
2 C-14(NV121)	0.947 4	2.5	2.1	0.85
3 Tc-99(NV116)	0.985 4	2.5	2.1	0.87
4 Tc-99(NV122)	1.038 8	2.4	2.1	1.00
5 Tc-99(OP889)	0.985 4	2.5	2.3	0.17
6 Cl-36(NV117)	0.947 5	2.4	2.1	0.52
7 Cl-36(NV123)	0.993 7	2.4	2.1	0.89
8 Cl-36(MF111)	0.947 5	2.4	5.4	0.47
9 Sr-90(NV118)	0.966 0	2.4	2.1	0.05

	표준선원	기준선원 계수효율	기준값의 확장 불확도 (%)	측정값의 확장 불확도 (%)	$ E_n $
10 Sr-90(NV124)	0.910 5	2.4	2.1	0.68	
11 Sr-90(RW283)	0.910 5	2.4	6.1	0.68	
12 Sr-90(111913)	0.966 0	2.4	2.1	0.38	
13 Cs-137(LW923)	0.916 6	2.4	2.1	0.95	
14 Cs-137(LW945)	0.916 8	2.4	2.1	0.56	
15 Cs-137(RW282)	0.916 8	2.4	6.1	0.80	
16 Cs-137(LW934)	0.916 6	2.4	2.1	0.86	
17 Am-241(NV113)	0.982 2	2.4	2.2	0.14	
18 Am-241(NV119)	0.934 8	2.6	2.2	0.59	
19 Am-241(LW956)	0.989 9	2.6	2.2	0.52	
20 Am-241(RW281)	0.934 8	2.6	3.1	0.02	
21 Am-241(MF110)	0.982 2	2.4	4.8	0.09	
22 Th-230(NV114)	0.967 0	2.4	2.2	0.72	
23 Th-230(NV120)	0.990 1	2.5	2.2	0.27	

3. 결론

표준선원의 기준값과 측정값의 상대편차가 기준값과 측정값의 합성표준불확도 범위 내에 있음을 확인하기 위하여 $|E_n|$ 값을 산출하는 중간점검을 실시하였다.

점검 결과 $|E_n|$ 값의 범위가 0.02~1.0으로 나타났다. 그 값이 1이하이므로 계수기를 교정용 기준기로 계속 사용 가능함을 입증하였다.

4. 참고문헌

- [1] 교정대상 및 주기 설정을 위한 지침, 기술표준원 고시 제2008-320호
- [2] 비례계수기의 표준교정절차, 한국계량측정협회 KASTO 04-26-3050-044
- [3] 측정결과의 불확도추정 및 표현을 위한 지침, 기술표준원 고시 제2007-134호
- [4] 장비 중간점검 절차서 : 비례계수기 및 밀봉 알파, 베타 표준선원, 한수원(주) 원자력발전기술원 교정기술 절차서 NETEC-CP-A06
- [5] 숙련도 시험 운영기준, 기술표준원 고시 제2009-860호