



계량법에 의거한 방사능표준의 트랜스퍼

1 머리말

일본 아이소토포협회(이하, 협회로 약기)는, 2002년 3월에 국내서 처음으로 방사능에 대한 인정사업자의 인정을 받아, 같은해 6월에는 방사능의 인정교정업무를 개시하였다. 이것으로 협회가 공급하는 많은 표준선원에 대하여, 국가계량표준(1차표준 : 특정표준기 등)과 계량법에 의거한 트레이서빌리티(Traceability)가 있는 것을 증명하는 JCSS (Japan Calibration Service System) 계량법트레이서빌리티 표장에 붙은 교정증명서를 붙여서 공급할 수 있는 체제로 되었다.(産總研)

계량법에 대한 교정사법자의 인정을 받기까지는, 현재의 독립행정법인 산업기술총합연구소(이하, 산총연으로 약기)의 전신인 공업 기술원 전자기술총합연구소의 의뢰시험제도를 이용하여, 여러가지 핵종의 표준시료공급을 동연연구소에서 받아서, 이것을 조제 또는 동시료를 기준삼아 값매김함으로써 국가기준과의 트레이서빌리티를 유지하여 왔다. 1992년에 계량법이 대폭적으로 개정되어 JCSS(계량법 트레이서 빌리티제

도)가 발족한 이래, 방사선 관련량에 대해서도 먼저 방호레벨의 방사선표준 공급이 개시되었다. 그후 방사능 표준 트레이서빌리티 체계의 정비도 진행되어, 겨우 계량법에 의거한 방사능 표준을 공급하게 되었다.

여기에 계량법에 의거한 방사능표준 트레이서빌리티체계에 대하여, 국가계량표준에서 실용표준선원에 이르는 방사능 표준의 구체적인 트랜스퍼 (Transfer)방법을 소개한다.

2. 방사능에 대한 국가계량표준

JCSS는 1992년 5월의 계량법개정에 따라 도입되었다.

계량법 제134조 제1항의 규정에 의거, 경제산업장관에 의하여 방사능에 관계되는 국가계량표준인 특정표준기로서 『방사능절대측정장치 그룹』 ($4\pi\beta(\alpha)-\gamma$ 동시측정장치, 가압형전리함, 액체신틸레이션 카운터, 2π 가스플로식 비례 계수 장치)이 지정되었다.

또, 동조2항의 규정에 따라 산총연이 특정표준기를 사용하여 교정하는 것으로 지정되었다.



3. 특정표준기

방사능에 대한 특정표준기는 $4\pi\beta(\alpha)-\gamma$ 동시측정장치, 가압형전리함, 액체신틸레이션 카운터, 2π 가스플로식비례계수장치로 구성되는데, 그 중에서 주간이 되는 것은 $4\pi\beta(\alpha)-\gamma$ 동시측정장치이다. 많은 핵종의 방사능은, 이 장치에 의하여 핵데이터를 의존하지 않은 절대측정이 가능하다. 장치의 개념도를 그림 1에 나타낸다. 많은 핵종의 방사능은 이 장치에 의하여 핵데이터에 의존하지 않고 절대측정이 가능하다. 측정에는 통상, 약 $20\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 의 박막(VINS막)에 방사능용액을 소량 떨어뜨려 증발건고시켜 작성한 측정의료를 사용한다. 가스플로식 $4\pi\beta$ 비례계수관으로 β 선의 계수를 $N\beta$ 를 측정하고, γ 선의 계수를 $N\gamma$ 를 그 바깥쪽에 배치한 NaI(Tl) 신틸레이션 검출 등의 γ 선검출기로 측정한다. 그리고 β 선과 γ 선이 1~2 μs 정도의 시간내에 동시에 검출되는 계수율 N_c 를 측정한다. β 선 및 γ 선에 대한 검출기의 효율을 각각 $\epsilon\beta$, $\epsilon\gamma$ 라 하면, 다음식이 성립한다.

$$N\beta = N_0 \epsilon\beta$$

$$N\gamma = N_0 \epsilon\gamma$$

$$N_c = N_0 \epsilon\beta \epsilon\gamma$$

단, N_0 는 선원의 붕괴율, 즉 방사능 (Bq)이다. 상식의 연립방정식을 풀면, 구할수 있는 방사능 N_0 는

$$N_0 = N\beta N\gamma / N_c$$

로 되어, 계수효율등 다른 정보에 의존하지 않고 방사능의 절대치를 구할수 있다. $4\pi\beta(\alpha)-\gamma$ 동시측정장치를 이용한 이 방법은 방사능 절대측정법의 대표적인 것이다. 또 γ 선을 방출하지 않는 순 β 핵종은, ^{60}Co 이나 ^{134}Cs 등 혼합한 시료를 $4\pi\beta(\alpha)-\gamma$ 동시측정장치에 의한 효율트레이서법으로 측정한다. ^3H 이나 ^{14}C 와 같이 그 화학형이 증발건고에 부적합한 핵종은 액체신틸레이션 카운터를 이용한 효율트레이서법으로 측정한다. 그 외에 하전입자선 방출율의 측정에는 2π 가스플로식 멀티와이어 비례계수관을 사용한다. 이것은 먼선원으로 부터의 α 선 또는 β 선 방출률의 측정에 주로 사용된다.

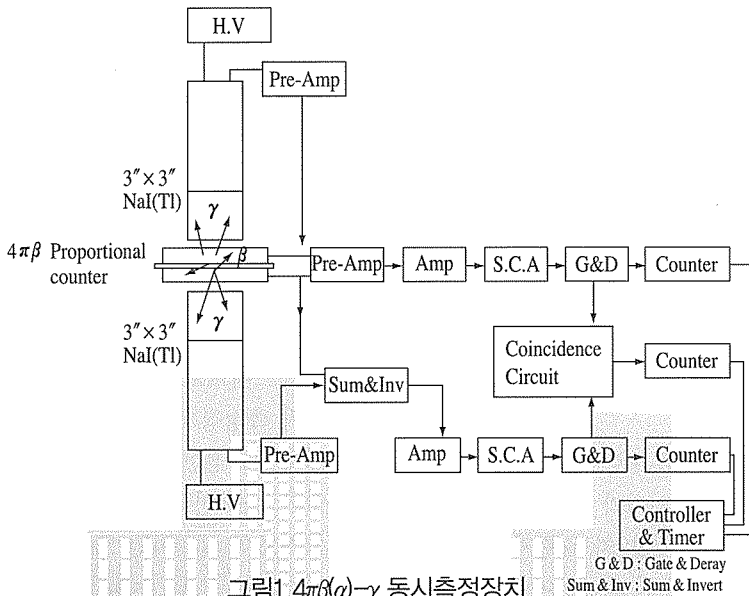


그림1 $4\pi\beta(\alpha)-\gamma$ 동시측정장치



각국의 표준연구기관은 여러가지 핵종의 절대 측정결과를 상호비교하여, 그 타당성을 확인하고 있다. 방사능표준으로는 프랑스에 있는 국제도량형국 (BIPM)이 중심으로 되어 국제비교를 실시하고 있다. 특히 γ 선 핵종에 대해서는, 국제 γ 선 방출핵종 방사능 참조시스템 (BIPM/SIR)에 의하여 각국 표준연구기관의 값이 가압형전리함의 응답값으로서 등록되어 있다.

일례로서, 2001년에 산출연이 수행한 ^{67}Ga 절대 측정의 결과와 각국의 표준연구소에 의한 값의 비교결과를 그림 2에 나타낸다. 여기서 Ae값이란 BIPM의 소유한 ^{226}Ra 밀봉선원을 가압형 전리함으로 측정하여 얻은 전리전류치와 같은 출력

전류를 주는 ^{67}Ga 의 방사능 (KBq)을 나타낸 것이다. 산출연에서는 지금까지 약 40핵종의 측정실적이 있으며, 그중에서 약 20핵종은 BIPM / SIR에 등록되어 그 국제 적합성이 확인되고 있다. 또한 β 핵종에 대해서도 국제비교가 시행되고 있지만, γ 핵종과 같은 방사능 참조시스템은 아직 확립되어 있지 않고, 현재 액체신틸레이션카운터를 사용한 것 같은 형태의 시스템이 검토되고 있다. 그 외에 먼선원으로 부터의 α 선 또는 β 선 방출률 등, BIPM을 중심으로 한 국제비교가 되어있지 않는 것에 대해서는 2국간 베이스나 아시아지역에서의 국제비교를 산출연이 독자적으로 실시하고 있다.

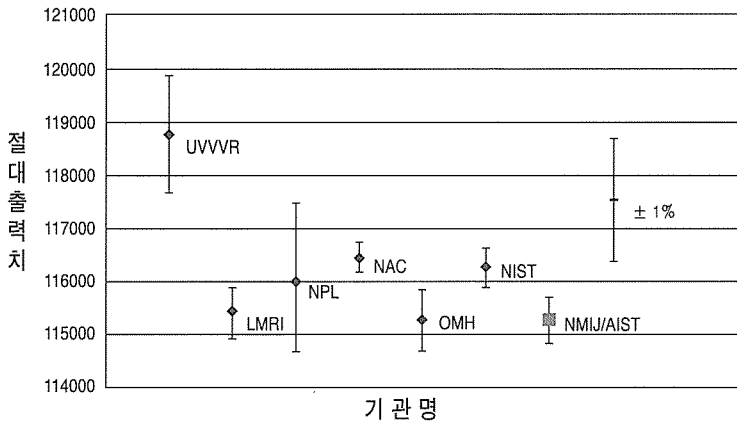


그림2 BIPM SIR 에 의한 ^{67}Ga 방사능표준 국제비교결과
체코(UVVVR) 프랑스(LMRI) 영국(NPL) 남아(NAC)
헝가리(OMH) 미국(NIST) 일본(NMIJ/AIST)

4. 특정표준기에 의한 특정2차 표준기의 교정

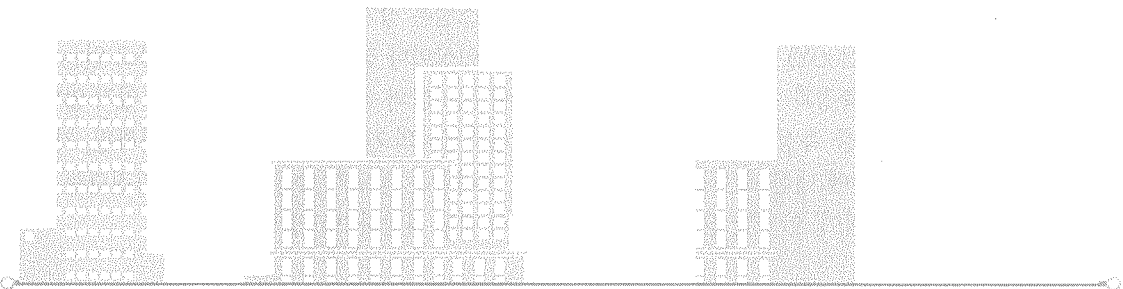
특정2차표준기관 특정표준기로 교정을 받은 계량기를 말하며, 인정사업자가 보유한 참조표준기이다. 방사능에 대한 특정2차 표준기는, 계량법 제 135조 제 2항 제 2호에 의거하여 가압형 전리

함, γ 선스펙트로미터, 액체신틸레이션카운터, 하전입자 측정장치가 고시에서 정하고 있다. 이들 중에서 피교정선원의 핵종, 선원형상 등에 의하여 적절한 것을 선택한다. 특정표준기에서 특정2차 표준기로의 실제적인 트랜스퍼는 특정표준기에 의하여 교정된 표준선원을 매개로 수행한다.



표1 산중연이 특정표준기로 교정가능한 1차 표준핵종과 교정방법

방사선의 종류	물리 화학형	핵종	측정방법	확장불확정성 (k=2)(%)
즉발 γ 선을 수반하는 α 방출체	수용액	^{241}Am	$4\pi\alpha-\gamma$ 동시계수법	0.2
α 방출체	수용액	^{226}Ra	헤니슈밋트 표준선원과의 비교	2.0
순 β 방출체	전착선원	^{210}Po (^{210}Pb), ^{241}Am , ^{244}Cm	$2\pi\alpha$ 비례계수관	0.5
	수용액	^{32}P , ^{35}S , ^{63}Ni , ^{90}Sr , ^{147}Pm , ^{204}Tl	효율트레이서법(PPC)	1.0
	유기용매	^3H (T), ^{14}C	효율트레이서법(LSC) 또는 TDCR법	3.0~5.0
	물	T_2O	상동	3.0~5.0
	기체	T_2 , CT_4 , $^{14}\text{CH}_4$, $^{14}\text{CO}_2$, ^{85}Kr , ^{133}Xe	가스카운팅법	3.0~5.0
즉발 γ 선을 수반하는 β 방출체	수용액	^{22}Na , ^{24}Na , ^{42}K , ^{46}Sc , ^{59}Fe , ^{60}Co , ^{95}Zr ^{99}Mo - ^{99m}Tc , ^{103}Ru - ^{103}Rh , ^{106}Ru - ^{106}Rh ^{110m}Ag , ^{131}I , ^{134}Cs , ^{141}Ce , ^{144}Ce - ^{144}Pr ^{181}Hf , ^{192}Ir , ^{198}Au , ^{203}Hg	$4\pi\beta-\gamma$ 동시계수법	0.2~0.7
즉발 γ 선을 수반하는 EC	수용액	^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{57}Co , ^{65}Zn , ^{67}Ga , ^{75}Se , ^{85}Sr ^{88}Y , ^{133}Ba , ^{139}Ce , ^{153}Gd , ^{201}Tl	$4\pi \times (e)-\gamma$ 동시측정법	0.2~0.7
	수용액	^{125}I	섬피크법	1.0
캐스케이드멀치	수용액	^{152}Eu	$4\pi\gamma$ 계수법	1.0
지연 γ 선을 수반하는 β 방출체	수용액	^{137}Cs	효율트레이서법(^{134}Cs)	1.0
지연 γ 선을 수반하는 EC	수용액	^{109}Cd	내부 전환전자계수법	0.5
순EC	수용액	^{55}Fe	^{54}Mn , ^{51}Cr 표준과의 비교 (LEPS)	2.0
순 γ (IT)	수용액	^{99m}Tc	^{99}Mo 측정 또는 광자스펙트로미터	1.0~2.0





4.1 가압형 전리함

가압형전리함은 중공(中空) 원통형의 용기에 질소나 알곤과 같은 전자의 부착이 적은 안정가스가 1~2MPa로 가압되고 밀봉되어 있다. 측정 시스템은 전리함 본체의 중심부에 γ 선원을 삽입하여 봉입가스를 전리시켜 발생하는 미소전류를 정밀측정하는 장치이다. 시스템의 개략도를 그

림 3에 표시한다. 가압으로 응답이 현격하게 높아지기 때문에, 광범위한 방사능레벨의 γ 선방출 핵종을 매우 좋은 재현성으로 교정할 수 있다. 협회에서는 알곤가스 8기압봉입의 가압형 전리함 및 질소가스 10기압봉입의 가압형 전리함(모드 Aloka사레) 두대를 특정 2차표준기로서 소유하고 있다.

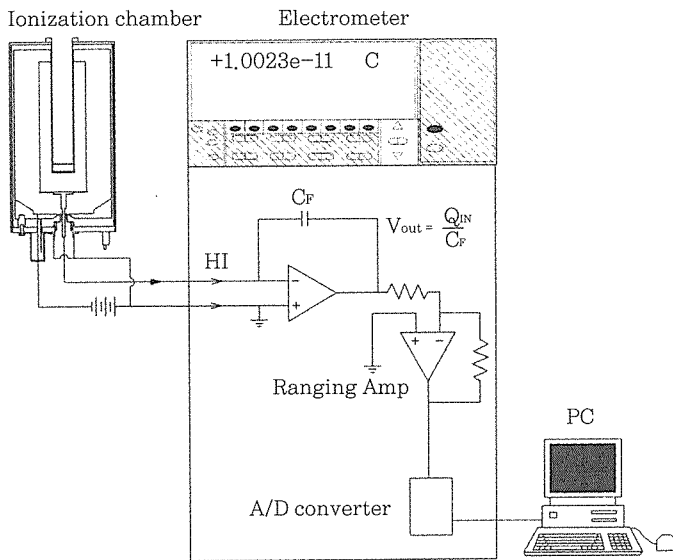


그림3 가압형 전리함 시스템의 구성도

가압형전리함의 교정은, $4\pi\beta(\alpha)-\gamma$ 동위원소 측정장치를 위시한 특정표준기로 교정된 방사능 표준 용액을 유리앰플에 밀폐하여 측정하고, 단위방사능 당 얻어지는 전리전류치 I_γ (A/MBq)로 한다. 또, 본 시스템에서는 이 전리함에 장반감기핵종인 ^{166m}Ho ($T_{1/2} = 1,200\text{Y}$) 밀봉선원을 조합하고 있다. 표준용액의 측정과 동시에 ^{166m}Ho 선원에 의한 전리전류 I_{Ho} 를 측정하여 이에 대한 비 (I_γ / I_{Ho})로서 각 핵종에 대한 교정정수를 구한다. 이와 같이 선원출력이 안정한 장반감기핵종

의 밀봉선원을 이용하여 교정하면, 온도, 기압의 영향이나 에лект्रो미터의 판독치 변동 등의 불가피한 변동을 피교정선원 교정시의 ^{166m}Ho 선원에 의한 출력치로 보정할 수가 있다. 가압형 전리함 시스템은 장기간 동안 안정되어 있고, 협회가 15년 이상이나 참조표준으로서 유지하고 있는 가압형 전리함의 응답도 거의 변화하고 있지 않다. 절대측정법의 기술적인 곤란성을 고려하면, 가압형 전리함은 정도가 좋은 재현성을 가진다는 점에서 매우 적절하다고 말할 수 있다.



이 간편한 측정법과 안정성이 좋은 특징은 특정표준기로서도 $4\pi\beta(\alpha)-\gamma$ 동시측정장치와 조합하여 응용되어 있고, 산출연에서는 지금까지의 절대측정에 의한 값을 가압형전리함 시스템으로 옮겨 유지하고 있다. 또, 전술한 바와 같이 국제도량형국에서도 동일한 시스템이 채용되어, ^{166m}Ho 대신에 ^{226}Ra 기준선원을 이용하여, 그 선원출력에 대한 응답으로서 각국의 표준연구기간의 절대치가 유지되고 있다.

4.2 γ 선스펙트로미터

4.2.1 Ge 반도체 검출기

Ge 반도체검출기는 전리함으로서는 측정 불가능한 저준위방사능의 선원이나, 복수핵종을 혼합한 선원등을 교정할 수 있다. 단, Ge 반도체검출기인 경우, 피크해석을 해야하고 전리함에 비하여 교정조건등이 복잡하기 때문에 불확실성의 요인이 많고 전리함만큼의 재현성은 기대할 수 없다. 그러나 대부분의 핵종, 형상의 선원을 교정용선원으로 요구되는 범위의 불확실성에서 교정할 수 있다. Ge 반도체검출기는 검출기에서 일정한 거리에 떨어진 지점에 대한 γ 선 에너지효율로 교정 되어있고, 주로 3.7MBq이하의 γ 선방출 핵종의 점상표준선원, 또는 면상표준선원의 교정에 사용된다. Ge 반도체검출기의 교정은, $4\pi\beta(\alpha)-\gamma$ 동시측정장치를 위시한 특정표준기로 값매김된 방사능 용액을 칭량적하(稱量滴下)시켜 제작한 표준선원에 의하여 수행된다. 단, 자기흡수 등의 영향도 고려하여 적하량은 수 mg이라는 소량이기 때문에 적하량의 칭량은 피크노미터법을 이용한다. 피크노미터는 그림 4와 같이 폴리에틸렌제 용기의 입구를 가열시켜 가늘게 잡아늘인 것을 사용한다. 이렇게 함으로써 증발에 의한 영향을 무시할 수가 있어서, 수 mg정도의 적은 용액량일지라도 전하전과 적하후의 질량차로부터

적하량을 정확하게 칭량할 수 있다.

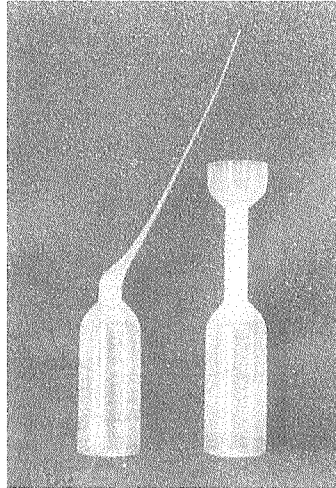


그림4 피크노미터

교정시에는, 먼저 검출기로부터 일정한 거리 떨어진 교정점을 결정한다. 교정점은 재현성이 좋고 자리매김 할 수 있도록 선원고정지그(jig)를 설비한다. Ge반도체검출기의 교정은, γ 선에 너지에 대한 계수효율로서 구한다. 교정은 넓은 에너지 범위를 망라할 수 있도록, 저에너지용의 평판형 Ge반도체검출기(CANBERR사제)와 상대효율 10%의 동축형 Ge반도체검출기(ORTEC 사제)의 두종류에 대하여, ^{55}Fe , ^{241}Am , ^{109}Cd , ^{57}Co , ^{139}Ce , ^{51}Cr , ^{85}Sr , ^{137}Cs , ^{54}Mn , ^{88}Y , ^{60}Co 의 11핵종 선원을 사용하여 수행하여 각각의 에너지 효율 곡선을 얻고 있다. 각 γ 선의 에너지 효율은 MCA로 γ 선스펙트럼을 측정하고, 전 에너지피크에 대해서는 피크면적을 고벨법으로 산출하여 계수율을 구하고 있다.

또, 이중에서 동축형 Ge반도체검출기의 교정에 있어서도, 10핵종(전술의 11핵종에서 ^{55}Fe 를 제외)이외에 ^{166m}Ho 선원도 사용하고 있다. ^{166m}Ho 의 Ge반도체검출기에 의한 γ 선스펙트럼을 그림5



에, 또 방출되는 γ 선의 데이터를 표2에 나타낸다. ^{166m}Ho 선원은 다중 γ 선핵종으로서, 방출되는 γ 선은 80keV에서 810keV에 이른다. 따라서 얻은

에너지 효율곡선이 경시 변화하고 있지 않음을, 교정범위의 주요한 에너지 범위를 망라하고 ^{166m}Ho 을 사용함으로써 확인할 수 있다.

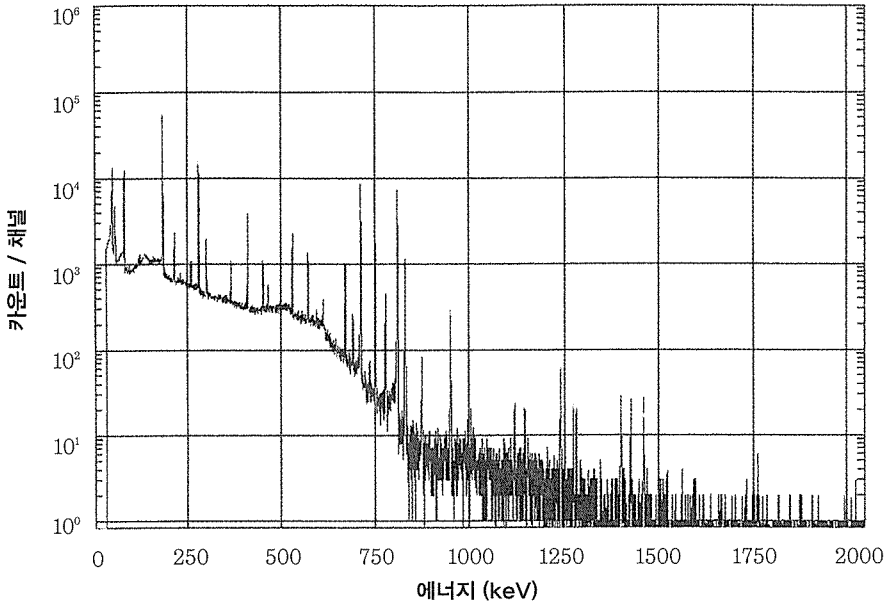


그림5 Ge반도체 검출기에 의한 ^{166m}Ho 의 γ 선스펙트럼

표2 ^{166m}Ho 의 붕괴에 따라 방출되는 주요 γ 선의 에너지와 방출률

E_γ (keV)	Intensity (%)
80.6	11.84
184.4	72.4
280.5	29.7
410.9	11.39
529.8	9.63
571	5.54
670.5	5.65
711.7	56.0
752.3	12.27
810.3	58.2
830.6	9.77

4.2.2 우물형 NaI(Tl)신틸레이션검출기

우물형 NaI(Tl)신틸레이션검출기는 ^{125}I 의 교정에 사용한다. ^{125}I 의 절대측정은 국제적으로 우물형 NaI(Tl)신틸레이션검출기를 사용한 섬피크법이 채용되고 있다. ^{125}I 는 EC에 수반하는 X선 및 γ 선과 K각 전환전자의 방출에 수반하는 X선의 동시계수로 섬피크가 생기는데, 이들 X선과 γ 선은 거의 같은 에너지이기 때문에 우물형 NaI(Tl)신틸레이션 검출기로 측정하면 싱글피크와 섬피크의 두개의 큰 피크가 검출된다. 섬피크법은 이 피크비를 구함으로써 방사능을 얻는 절대측정법이다. 협회가 소유하는 특정2차표준기



는 산층연의 특정표준기와 같은형 같은치수의 검출기이며 특정표준기로 교정한 ^{125}I 선원을 같은 섬피크법으로 측정하여 특정표준기에 의한 교정의 불확실성의 범위내에서 값이 일치하고 있다.

4.3 하전입자측정장치

하전입자측정장치는 선원으로 부터 2π 방향에 출력되고 α 선 및 β 선의 표면방출률의 교정에 사용한다. 협회에서는 특정표준기와 같은 형의 대면적 2π 가스플로식 멀티와이어 비례계수관을 특정2차표준기로 채용하고 있다. 이 비례계수관은 앞에서 기술한 $4\pi\beta(\alpha)-\gamma$ 동시측정장치에 사용되고 있는 비례계수관과 같은 원리인 것으로서 선원내삽형으로 2π 방향에 출력되는 α 선 및 β 선 전

표면방출률의 절대치 측정이 가능하다. 산층연과 협회가 소유하고 있는 비례계수관은 같은형이며 그 시스템구성도를 그림 6에 나타낸다. 이 비례계수관은 최대 $100\text{mm}\times 150\text{mm}$ 의 대면적선원을 측정할수 있도록 집전극와이어(Au 코팅W와이어 $50\mu\text{m}\Phi$)가 약15mm 간격으로 전면에 덮여 있다. 특정 2차 표준기의 교정에서는 ^{241}Am 의 선원으로부터의 α 선 및 ^{147}Pm , $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$, ^{204}Tl , ^{99}Tc , ^{60}Co , ^{137}Cs 으로 부터의 β 선 표면 방출률을 특정 표준기로 교정하여 동 선원을 특정 2차 표준기로 측정하고 응답을 구하고 있다. 이와 같이 β 선 최대에너지가 다른 핵종을 선택함으로써 넓은 에너지 범위에 대하여 하전입자 방출률의 측정이 가능함을 확인하고 있다.

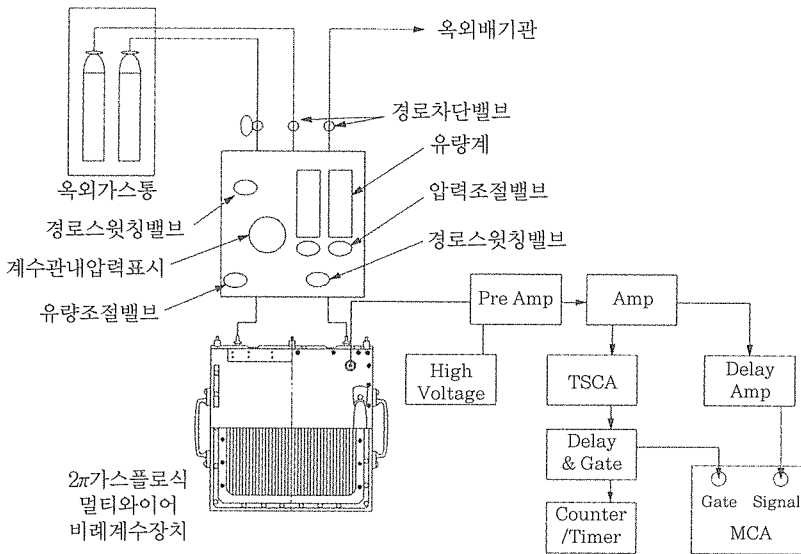


그림6 2π 가스플로식 멀티와이어 비례계수관 시스템 구성도



4.4 액체신틸레이션 카운터

순 β 핵종이라 불리는 β 선만을 방출하고, γ 선 방출을 수반하지 않는 핵종의 방사능 교정에는 액체신틸레이션 카운터를 사용한다. 액체신틸레이션 카운터를 사용한 방사능표준측정은 내부표준법 및 효율트레이서법이 일반적이다. 산총연에서 순 β 핵종의 절대측정은 ^{60}Co , ^{134}Cs 와 혼합한 $4\pi\beta(\alpha)-\gamma$ 동시측정장치에 의한 효율트레이서법으로 시행하고 화학형이 증발건조에 부적합한 ^3H 와 ^{14}C 는 액체신틸레이션 카운터에 의한 효율트레이서법이나 TDCR법 (the triple to double coincidences ratio method)으로 한다. 특정2차표준기의 교정에는 ^{14}C 선원을 특정표준기인 액체신틸레이션 카운터로 교정하여 그후 동선원을 특정2차표준기로 효율트레이서법에 의하여 측정하고, 교정의 불확실성 범위내에서 값이 일치하고 있음을 확인하였다.

특정2차표준기인 액체신틸레이션검출기에는 특정표준기에서 교정된 ^3H 및 ^{14}C 의 내부표준시료가 조합되어 있다. 이들 내부표준시료의 화학형은 normal hexadecane이며, 증발에 의한 농도변화가 없고 반감기도 길기 때문에 특정2차 표준기의 액체신틸레이션 검출기의 교정주기인 2년이내이면, 교정치의 변화는 충분히 무시할 수 있는 것이다. 또 내부표준법의 경

우 쿼칭효과에 의한 표준시료첨가전후의 효율 변화를 무시할 수 있는 것이 전제로 되지만, normal hexadecane은 쿼칭효과에 우려도 없다. ^3H 및 ^{14}C 를 교정하는 경우 이 내부표준시료를 사용하여 액체신틸레이션 카운터로 교정한다.

협회가 소유하고 있는 특정2차표준기인 액체신틸레이션 카운터는 미국 패카드사제인데, 그 측정기에 짜넣은 방사능 산출기능은 해석 알고리즘이 명확하지 않기 때문에 그 출력에 의하여는 교정할 수 없다. 따라서 단순히 스펙트럼데이터 출력만을 이용하고 그 후의 해석은 산총연 및 협회에서 개발한 독자적인 해석소프트를 이용하여 교정하고 있다.

5. 특정2차표준기에 의한 실용표준선원의 교정

특정2차표준기에 의한 여러가지 모양의 표준선원 교정이 가능하다. 교정에 이용하는 특정2차표준기나 측정조건은, 피교정선원의 핵종, 방사능, 선원형상등에 의하여 결정한다. 표3에 협회에서 교정가능한 표준선원을 나타낸다. 이것들은 협회제품의 표준선원으로서 JCSS표장을 붙인 교정증명서를 발부할 수 있다.

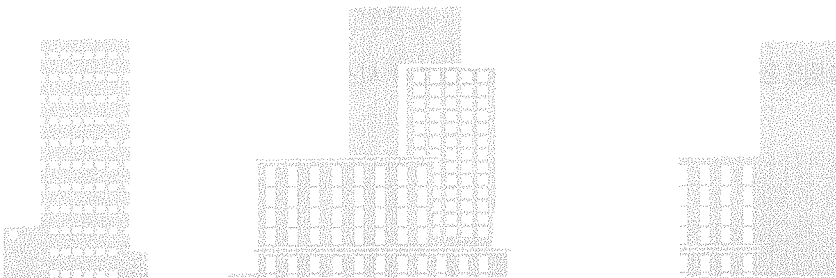




표3 특정2차표준기에 의한 교정 가능한 2차 표준핵종

핵 종	방사능 표준용액	방사능 표준 $\gamma(x)$ 선원			방출률표준 α/β 선원	방출률표준 α 선원
		접선원	면선원	용적선원	면선원	전착선원
H-3	○					
C-14	○					
Na-22	○	○				
P-32	○					
S-35	○					
Cl-36	○				○	
Ca-45	○				○	
Cr-51	○	○	○	○		
Mn-54	○	○	○	○		
Fe-55		○				
Fe-59	○	○		○		
Co-57	○	○	○	○		
Co-58	○	○				
Co-60	○	○	○	○	○	
Zn-65	○	○				
Ga-67	○					
Sr-85	○	○	○	○		
Sr-89	○					
Sr-90	○				○	
(Y-90)	○					
Y-88	○	○	○	○		
Mo-99	○					
Tc-99m	○					
Tc-99	○				○	
Ru-106	○	○			○	
Cd-109	○	○	○	○		
In-111	○					
I-123	○					
I-125	○	○				
I-131	○					
Cs-134	○	○		○		
Cs-137	○	○	○	○	○	
Ba-133	○	○	○			
Ce-139	○	○	○	○		
Ce-144	○	○		○		
Pm-147	○				○	
Eu-152	○	○				
Ho-166m	○	○				
Ir-192	○	○				
Tl-201	○					
Tl-204	○				○	
Am-241	○	○				○

핵외소식



5.1 방사능 표준용액

방사능 표준용액은 유리앰플에 용봉한 수용액으로 방사능농도 (Bq/g)에 대하여 교정되고 있다. 방사능표준용액은 기본이 되는 방사능 표준체로서 여러가지 교정용시료의 제작에 이용된다. 또 각종 시료분석이나 방사능의약품 등의 방사능

내용량의 표준으로서도 이용된다. 시료분석은 환경시료등 여러갈래에 걸쳐서 화학회수율의 결정이나 비교표준으로서 이용된다. 방사능의약품에 대해서는 의약품 제조회사의 측정기를 방사능 표준용액으로 교정함으로써 적절한 방사능량이 되도록 체크된다.

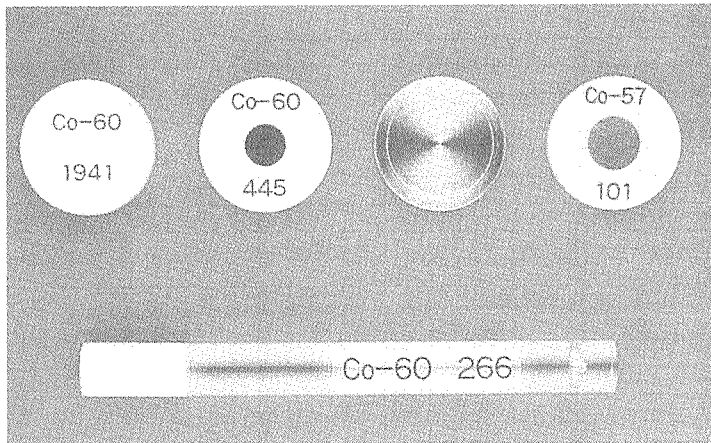


그림7 각종 방사능 표준 γ 선원

5.1.1 γ 선 방출핵종

γ 선방출핵종의 방사능표준용액에 대해서는 어느정도의 전리전류를 얻을 수 있고 방사능이라면 가압형전리함에 의한 교정이 가장 정도가 좋다. 단, 단핵종용액이라야 한다. 가압형전리함의 백그라운드 전류치는 수 10fA로 매우 낮고, 백그라운드 전류치의 변동을 가미하더라도 피교정선원의 측정에서 수10pA 얻을 수 있으면, 그다지 불확실성의 요동없이 교정이 가능하다. 예를 들면 ^{60}Co 이라면 특정2차표준기로 하고 있는 전리함에서 40pA/MBq 정도 얻는다. 따라서 1MBq의 선원에는 1.0% ($k=2$) 정도의 교정불확실성으로 국가표준 (0.4% ($k=2$)) 에 트레이서블한 교정을 할수 있다. 용액은 규격화된 용기에 밀폐하여 측

정한다. 이것은 용기의 재질, 벽두께 등의 상위로 인한 전리함의 응답이 미묘하게 변화하는 것을 막기 위해서이다. 또 동일 용기일지라도 액량이 다르면 자기흡수, 선원위치 등의 조건이 변하기 때문에 역시 응답은 변화한다. 따라서 여러가지 액량의 용액을 정도 좋게 측정하기 위해서는 규정용기에 대하여 그 응답변화를 용액량의 함수로서 미리 구해놓을 필요가 있다. 교정의 불확실성의 요동범위에는 이와 같은 보정의 불확실성이나 피교정선원의 칭량 불확실성, 또는 측정시의 지시치 변동등이 포함된다.

이와 같이 어떤 일정한 조건을 만족시키는 선원이라면 가압형 전리함에 의하여 정도 좋게 교정할 수 있지만 충분한 전리전류를 얻을 수 없는



방사능의 경우 수단계로 나누어 전리함에 의한 교정액을 희석시켜 정확한 희석액에서 교정결과를 산출한다.

물론 용액의 균일성 및 칭량에 기인하는 불확실성을 고려해야 한다. 그러나 균일성에 관해서는 대부분의 용액은 0.1mg/g 정도의 캐리어를 함유하며 또 화학형을 고려하여 산성용액이나 알칼리성용액으로 조정하고 있기 때문에 충분히 균일함이 확인되어 있다. 또 칭량에 의한 불확실성은 채취량을 일정량 이상으로 하여 희석을 수단계로 나눔으로써 경감할 수 있다. 또 혼합핵종의 용액인 경우는 단일 핵종의 용액을 교정하여 칭량에 의하여 혼합하고, 교정결과를 산출하거나 또는 혼합용액으로 한 후에 Ge반도체검출기로 직접 측정하여 교정하는 것도 가능하다.

5.1.2 순 β 핵종

순 β 핵종에 대해서는 액체신틸레이션카운터를 사용한다. ^{14}C 보다 β 선의 에너지가 높은 핵종의 대부분 효율트레이서법을 이용한 교정이 가능하다.

효율트레이서법의 경우 ^{14}C 나 ^{60}Co 등을 트레이서로 사용하면 3~5% ($k=2$)의 불확실성의 범위에서 어느 정도 간편하게 교정할 수 있다. 단, ^3H 은 β 선 에너지가 낮고 계수효율이 낮기 때문에 효율트레이서법에서의 간편한 측정으로는 교정의 불확실성도 커져버린다. 절대측정된 1차표준치를 트랜스퍼하는 데는 오히려 내부표준법이 적합하다. 내부표준법에서는 특정2차 표준기에 조합된 내부표준시료를 사용한다.

5.2 γ 선 표준선원

5.2.1 점선원

γ 선 방출핵종의 점선원은 수 100Bq에서 수 MBq의 범위까지 Ge반도체검출기에 의한 교정이 가능하다. Ge반도체검출기는 에너지분해능

력이 우수하기 때문에, 몇가지 핵종이 혼합되어 있는 선원에서도 교정가능하다. 협회 소유의 Ge반도체검출기는 검출기 표면에서 25cm 떨어진 위치에 대한 에너지 효율을 기준적인 교정점으로 하고 있는데 이 한점에서의 교정으로는 적절한 조건에서 교정할 수 있는 방사능의 범위가 좁기 때문에, 더 가까운거리 및 먼거리에 대한 교정을 할수있게 해야 한다. 특정2차표준기의 교정핵종에 대하여 동일 선원을 교정점인 25cm와 새로 설정하고 싶은 교정점 양쪽에서 측정하여 그 효율비를 미리 구해놓는다. 이렇게하여 그 비를 구해놓으면 25cm에 대한 효율과 이 비로부터 방사능을 구할 수 있다. 이와 같이 Ge반도체검출기에 의한 교정은 범용성이 높고 이용가치는 높지만 한편 스펙트럼분석에 수반하는 불확실성이나 측정효율의 낮음으로 계수의 통계적변동, 교정위치의 재현성등에 의한 영향으로 불확실성의 요인은 기압형전리함의 측정에 비하면 많다. 가장 교정의 불확실성이 작아지는 ^{60}Co 의 100KBq인 점선원에서도 약 2% ($k=2$) 정도의 교정이 불확실하게 된다.

5.2.2 면선원

γ 선방출핵종의 면선원은 직경 25mm ϕ 에서 90mm ϕ 까지의 것이며, 에어샘플러시료의 Ge반도체검출기 등에 의한 방사능측정의 표준시료로서 사용된다. 이런 종류의 γ 선표준면시료는 1개의 선원에 의하여 교정범위 전체의 에너지효율을 얻을수 있도록 몇가지 핵종을 혼합한 선원을 표준품으로서 공급하고 있다. 따라서 Ge반도체검출기를 사용하여 표준면선원을 교정하는 것이 일반적이다. 그러나 전술한 바와같이 Ge반도체검출기의 에너지효율은 점선원에 의한 것이 기준이며 25mm ϕ ~90mm ϕ 의 수평방향의 퍼짐을 가지고 있으면 당연히 검출기와 선원간의 기하학적 관계가 달라지기 때문에 점선원과는 효율이 변화한다.

핵심소식



미리 표준용액의 첨가법에 의하여 방사능이 이미 알려져 있는 직경이 다른 수종류의 면선원을 이용하여 각각의 크기에 대한 효율과 점선원의 효율비를 구해 놓는다. 일단 이 factor를 결정하면 검출기와 선원간의 기하학적 조건을 유지함으로

써 이 값을 교정의 조정에 사용할 수가 있어서 점선원의 효율만을 정기적으로 확인하면 된다.

이 factor를 이용하여 교정한 면선원의 교정 불확실성은 factor의 불확실성을 고려하여 3~4%(k=2)정도가 된다.

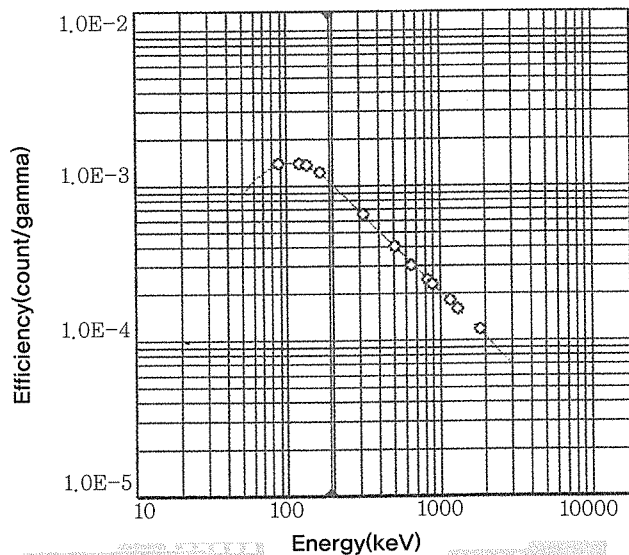
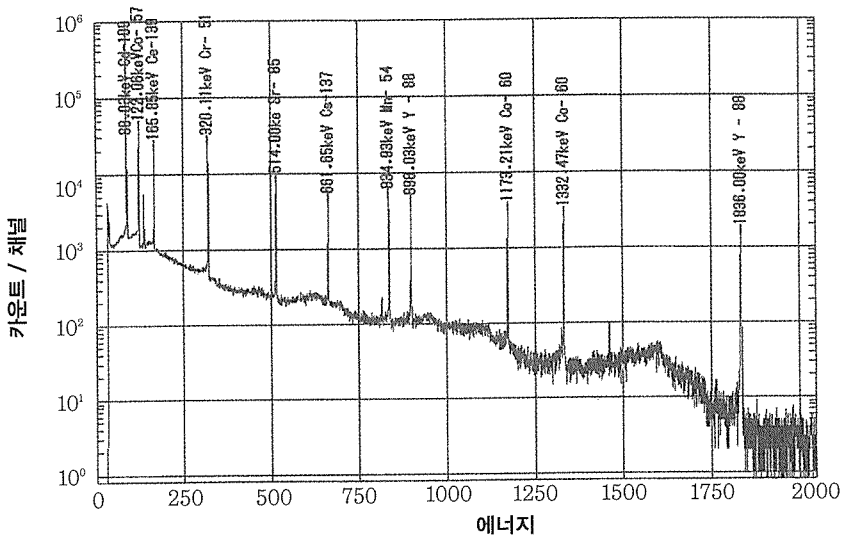


그림8 9핵종혼합표준선원으로부터의 Ge반도체검출기에 의한 γ 선스펙트럼(상)과, 그선원에 의한 Ge반도체검출기의 효율곡선(하)



5.2.3 체적선원

체적선원은 Ge반도체검출기에 의한 환경방사능분석을 하기 위한 표준선원이다. 환경방사능분석의 대상은 회화물(灰化物), 토양, 물 등 여러가지이며 각각의 matrix에 대응하고 표준선원의 공급이 요망되는데 품질높은 밀봉선원으로 만들 수 있는 것은 제한된다. 즉 단지 용기내의 방사능이 이미 알려져 있어야 할 뿐만 아니라 방사능이 균일하게 밀봉용기내의 matrix에 분포하고 있어야 한다. 실제의 표준체적선원은 표준용액을 matrix에 참가시켜 잘 휘저어 섞어서 균일하게 한 후에 matrix의 중량에서 산출한 방사능 농도와 용기로의 충전중량에서 각 선원에 함유된 방사능을 교정치로서 구한다. 시료의 균일성은 동용기에 거의 같은 양의 matrix를 충전한 복수개의 선원을 Ge반도체검출기로 측정함으로써 확인할 수 있다.

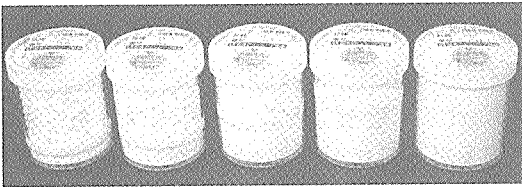


그림9 방사능표준 γ 체적선원 (U8용기)

5.3 입자선 방출률 표준면선원

입자선 방출률 표준면선원은 α 선이나 β 선의 측정을 목적으로 한 표면오염계의 교정에 사용한다. 이 표준선원에 대해서는 국제적으로는 ISO8769, 국내에서는 JIS Z 4334에서 규격이 규정되어 있다. 선원은 방사능 면밀도가 균일하며 크기는 작은 것은 25mm ϕ 부터 큰것은 100mm \times 150mm 정도의 방사능면을 가지며 그선원에서 방출되는 α 선 및 β 선의 표면방출률을 교정한다.

표면방출률의 교정은 선원내삽형의 2 π 가스플로식 비례계수관으로 시행하는데 β 선에 대해서는 연속에너지이기 때문에 590eV이상의 β 선방출률을 교정한다. 590eV의 문턱값은 ^{55}Fe 의 붕괴에 수반하는 Mn선의 1/10에너지를 설정한다.

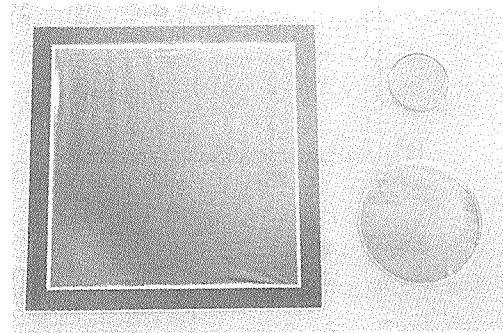


그림10 각종 입자선방출률 표준면선원결과

6. 맺음말

지금까지 일본국내의 연구기관, 원자력발전소, 방사성의약품메이커 등에서 RI관리용 방사능측정기등의 교정이 표준선원에 의하여 수행되어 왔지만, 앞으로 방사능트레이서빌리티 체계가 일본의 계량법에 의하여 보증됨으로써 품질관리상 국제적으로도 신뢰성이 높아지게 되었다.

또, 국내의 트레이서빌리티제도로 현재는 계층화도 인정되고 있다. 따라서 인정사업자인 협회가 교정한 표준선원을 사용하여 각종 방사능 측정기를 교정하고 새로운 인정교정사업을 하게 될 것이다.

또 이 분야에 대한 방사능 트레이서빌리티 제도가 정비될 것으로 기대된다. **KRIA**

〈일본 아이소톱 협회 Takahiro YAMADA, Yoshio HINO : RADIOISOTOPES, Vol.52, No.2(2003)〉