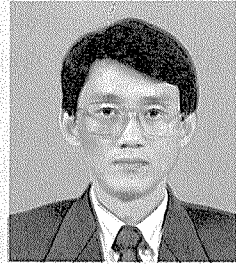


국가 교정검사기관의 측정능력 평가



하 석 호
한국표준과학연구원 화학방사선연구부
방사선그룹 책임연구원

1. 서 론

1895년 X-선이 발견된 이후 우리나라에서도 1910년경 진단용 X-선 발생장치를 사용하기 시작한 이래 1975년 원자력발전소의 상업적 건설을 기점으로 방사선의 이용이 본격적으로 활성화되기 시작하여 현재는 이용기관의 업체수가 근 1000여 업체를 넘어서는 시점에 와있다.

이와같은 방사선 이용분야의 증가에 따라 방사선량 측정의 중요성에 대한 인식은 대단히 높은 것 또한 현실이다. 한편 방사선 측정기는 제작 특성상 방사선의 종류, 에너지 및 선량에 따라 그 반응도가 달리 나타나게 되며 사용방법 및 사용이력의 변화 역시 반응도의 변화에 대한 원인으로 작용될 수 있으므로 일정한 절대값을 기준으로 측정기의 반응도 변화를 주기적으로 점검하여야 하며 이와같은 일련의 과정을 일반적인 교정이라 한다.

국가에서는 측정장비의 교정검사를 원활히 수행하기 위하여 “계량 및 측정에 관한

법률”(법률 제4529호)에 근거하여 59개 분야에 대한 교정검사기관을 지정하여 교정 수요에 응하고 있으며 방사선 분야의 경우 조사선량, 흡수선량 및 방사능 등 3개 분야로 구분하여 각 교정검사기관을 지정하고 있다. 교정검사기관으로 지정된 기관은 일반 산업체가 보유하고 있는 각종 방사선 측정기의 반응도를 국가표준에 근거한 측정값을 기준으로 측정하게 되는데 이와같은 과정을 통하여 국가표준이 일반 산업현장에 보급되며 이러한 일련의 과정을 소급체계가 확립되었다라고 하며 또한 확립된 소급체계가 항상 정확히 유지되고 있는가를 검증하여 소급체계를 관리하고 있다.

본 글은 한국표준과학연구원이 방사선 분야의 소급체계 검증을 위하여 한국측정기기 교정 협회의 수탁과제로서 수행한 “국가교정검사기관 측정능력평가” 연구의 결과로서 방사선 안전관리에 광범위하게 이용되고 있는 조사선량 분야를 살펴 봄으로서 동분야의 소급체계가 정확히 이루어지고 있는가를 논하여 보고자 한다.

2. 순회평가

방사선 측정분야는 원자력 발전, 방사선의학 등 국민생활에 밀접한 연관을 갖는 분야로서 특정한 원기가 존재하는 것은 아니나 재현성이 우수한 측정기는 동일 방사선, 동일 에너지에 대한 반응이 항상 일정하게 유지되므로 이와같은 점을 이용하여 특정한 기준기를 선정하여 각 기관이 동일조건에서의 반응도를 측정후 이를 비교하면 각 기관이 보유하고 있는 기준값의 차이를 알수있게 되어 소급성을 검증할 수 있게 되는 것이다.

2.1 순회평가조건 및 비교용 기준기

조사선량 분야의 측정능력 검증은 국내의 조사선량 분야 교정검사기관인 한국원자력연구소, 국립보건의원을 대상으로 수행되었으며 비교용 기준기의 교정인자 값의 비교를 통하여 확인하는 간접 비교 방법을 사용하였으며 광자의 에너지는 현재 방사선 측정분야의 관심의 초점이 되고있는 개인피폭선량계 평가기준으로 적용되는 ANSI N 13.11-1993 기준에서 제시한 X-선 선질중 3개 선질과 ^{137}Cs γ -선을 선정하였고 각 선질의 특성은 표 1과 같다.

표 1. 순회 평가에 이용된 광자선의 선질

Beam code	Tube Voltage(kV)	HVL	Homogeneity coefficient
M60	60	1.68 mmAl (0.052mmCu)	68
M100	100	5.0 mmAl (0.2 mmCu)	72
M150	150	10.2 mmAl (0.67 mmCu)	87
Cs-137	-	10.8 mmCU	-

비교용 기준기로서는 평가 에너지 범위에서 반응도의 변화가 $\pm 2\%$ 이내에 있는 전리함을 기준으로 미국 Exradin 사의 Spokas 전리함(Model A-4)을 선정하였으며 X-선 에너지에서는 0.5 mm의 공기 프라스티크를 관벽물질로 사용하며 γ -선의 경우 2.5 mm의

부과관벽물질을 추가하여 사용한다. 기준기의 제반특성은 표 2 및 그림 1에 표시하였다.

표 2. 비교용 기준기의 특성

구 분	제 원
제작 회사	Exradin A-4
전리함의 수집 체적	30 cm ³
전리함의 단면적	11 cm ²
전리함의 벽의 두께	0.5 mm 공기 등가 플라스틱
전리함의 부가 벽	2.5 mm 공기 등가 플라스틱
누설 전류	10 ⁻¹⁵ A 이하
전리함의 반경	0.75 inch

CHAMBER GEOMETRY

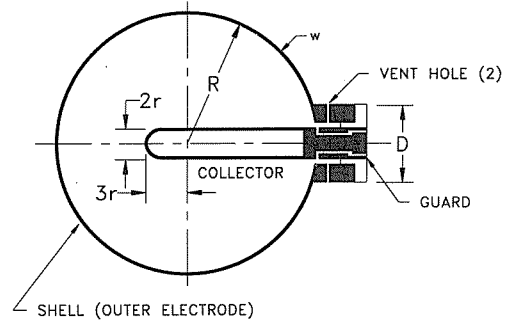


그림 1. 비교용 기준기의 개략도

한편, 전리 전류 측정은 콘덴서를 이용한 전하 측정 방법에 따라 $I = \frac{C \cdot \Delta V}{\Delta t}$ 의 식에 의해 측정하며 측정 장치의 구성도는 그림 2와 같다.

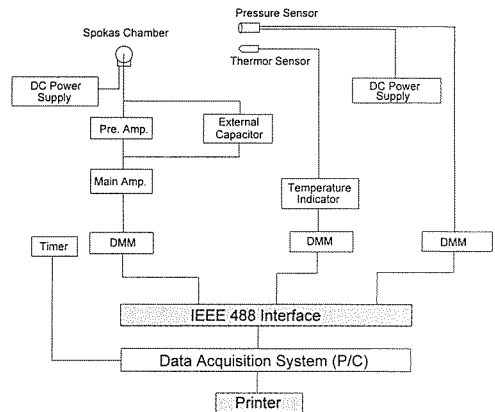


그림 2. 전리전류 측정장치 구성도

측정 결과의 오차 분석은 우연 오차와 계통 오차로 구분하여 전체 오차를 평가하며 이때 신뢰도 한계는 95%를 적용하며 각 산출 방법은 다음과 같다.

1) 우연 오차(random uncertainty)

$L(n, p) = \pm tv$ 로 표시한다.

이때 L: 평균값에 대한 신뢰도 한계

P: 신뢰도(95% 적용),

n: 측정 회수

$$v: \frac{100s(\bar{x})}{x} = \frac{100}{x} \cdot \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum(x_i - \bar{x})^2}$$

여기서 t는 측정 회수에 따라 변하는 값으로 표 3에 주어진다.

표 3. 측정 회수에 따른 t값

측정 회수	t 값	
	p = 95 %	p = 99 %
3	4.3	9.9
4	3.2	5.8
5	2.8	4.6
6	2.6	4.0
8	2.4	3.5
10	2.3	3.2
20	2.1	2.9
∞	2.0	2.6

2) 계통 오차(systematic uncertainty)

결과에 영향을 미칠 것으로 예견되는 모든 물리적 현상을 고려하여 추정되며 실험 및 평가에 따라 결정된다.

3) 전체 오차(overall uncertainty)

우연 및 계통 오차를 고려한 측정값이 갖는 95% 신뢰도에 의한 오차로서 다음과 같이 나타낸다.

$$u = \sqrt{(tv)^2 + 1.13 \cdot \sum(x_i)^2}$$

이때 x_i 는 계통 오차의 측정 한도이다.

2.2. 비교용 기준기의 KRISS 측정 결과

비교용 기준기의 측정은 산란선의 영향이 동일하게 유지하도록 beam의 크기를 통일하였으며 교정 인자는 20°C, 101.325kPa인 조건에서 산출하였고 그 결과는 표 4와 같다.

표 4. 비교용 기준기의 교정 인자

Beam code	Tube Voltage(kV)	Calibration Factor($R \cdot h^{-1} \cdot A^{-1}$)
M60	60	4.415×10^{11}
M100	100	4.319×10^{11}
M150	150	4.354×10^{11}
Cs-137	-	4.512×10^{11}

각 측정값이 갖는 오차 한계의 평가는 우연 및 계통 오차를 분리하여 평가한 후 전체 오차로 평가하였다.

- 우연 오차
10회 측정에 95% 신뢰도를 적용한 경우 : 0.5%
- 계통 오차
기준선 량률 : 1.8 %
전하측정장치 : 0.5 %
온도 : 0.1 %
기압 : 0.1 %
측정 시간 : 0.1 %

$$u = \sqrt{\sum(x_j)^2} : 2.07\%$$

· 전체 오차

$$u = \sqrt{(tv)^2 + 1.13 \cdot \sum(x_i)^2} = 2.1\%$$

2.3. 기관별 측정방법

전리함형 선량계의 표준 교정 절차(KASTO-RA-4-88)에 의하여 측정하며 각 기관이 보유하고 있는 기준기를 사용하여 방사선장의 기준 조사선량률을 측정 후 동일 지점에 비교용 기준기를 위치시켜 전리 전류를 측정하여 교정 인자를 결정한다.

1) 기준선량

표 5. 측정결과와 오차요인 평가

구 분	A 기관				KRISS			
	M60	M100	M150	Cs-137	M60	M100	M150	Cs-137
1) 기준선량								
· 우연오차(tv)	0.39	0.32	0.16	-	좌 동	좌 동	좌 동	좌 동
· 계통오차								
- 교정인자	3.00	3.00	3.00	3.00	좌 동	좌 동	좌 동	좌 동
- 온 도	0.50	0.50	0.50	0.50	"	"	"	"
- 기 압	0.10	0.10	0.10	0.10	"	"	"	"
- 거 리	0.10	0.10	0.10	0.10	"	"	"	"
- 기 타	-	-	-	-	"	"	"	"
· 전체오차	3.26	3.25	3.24	3.24	"	"	"	"
2) 교정인자								
· 우연오차(tv)	0.15	0.18	0.14	0.95	좌 동	좌 동	좌 동	좌 동
· 계통오차								
- 기준선량	3.00	3.00	3.00	3.00	3.26	3.25	3.24	3.35
- 온 도	0.50	0.50	0.50	0.50	좌 동	좌 동	좌 동	좌 동
- 기 압	0.10	0.10	0.10	0.10	"	"	"	"
- 거 리	0.10	0.10	0.10	0.10	"	"	"	"
- 기 타	-	-	-	-	"	"	"	"
· 전체오차	3.24	3.24	3.24	3.37	3.51	3.50	3.49	3.73
	B 기관				KRISS			
1) 기준선량								
· 우연오차(tv)	0.27	0.38	0.20	-	좌 동	좌 동	좌 동	좌 동
· 계통오차								
- 교정인자	3.00	3.00	3.00	3.00	좌 동	좌 동	좌 동	좌 동
- 온 도	0.25	0.25	0.25	0.25	"	"	"	"
- 기 압	0.10	0.10	0.10	0.10	"	"	"	"
- 거 리	0.10	0.10	0.10	0.10	"	"	"	"
- 기 타	0.27	0.38	0.20	-	"	"	"	"
· 전체오차	3.21	3.23	3.21	3.20	3.23	3.25	3.22	"
2) 교정인자								
· 우연오차(tv)	0.18	0.34	0.11	0.29	좌 동	좌 동	좌 동	좌 동
· 계통오차								
- 기준선량	1.50	1.50	1.50	1.50	3.23	3.25	3.22	3.20
- 온 도	0.25	0.25	0.25	0.25	좌 동	좌 동	좌 동	좌 동
- 기 압	0.10	0.10	0.10	0.10	"	"	"	"
- 거 리	0.10	0.10	0.10	0.10	"	"	"	"
- 기 타	0.18	0.34	0.11	0.29	"	"	"	"
· 전체오차	1.63	1.66	1.63	1.65	3.46	3.50	3.44	3.44

기준 조사선량률은 다음 식에 의하여 결정한다.

$$\dot{X} = M \cdot \frac{C \cdot \Delta V}{\Delta t} \cdot k_{tp}$$

여기서 M: 기준기의 교정 인자($R \cdot h^{-1} \cdot A^{-1}$)

C: 충전기의 충전 용량(F)

ΔV : 충전기의 전압 변화(V)

Δt : 충전 시간(sec)

k_{tp} : 환경 보정인자

2) 환경보정인자

측정 수행시 온도 및 기압 변화에 따른 공기 밀도의 보정인자는 다음 식에 따라 산출한다.

$$k_{tp} = \frac{273.15 + t}{273.15 + t_0} \cdot \frac{p_0}{p}$$

여기서 t_0 : 기준온도($^{\circ}C$)

t: 측정시 온도 ($^{\circ}C$)

P_0 : 기준기압(kPa)

P: 측정시의 기압(kPa)

이때 기준 온도 및 기준 기압은 $20^{\circ}C$, $101.325kPa$ 로 한다.

3) 교정 인자

비교용 기준기의 교정 인자는 다음 식에 의하여 산출한다.

$$M = \frac{X}{\frac{C \cdot \Delta V}{\Delta t}} \cdot k_{tp}$$

표 6. 기관별 비교용 기준기 교정결과

구 분	기준선량률 (R/h)		측정거리 (m)		조사장의 직경(cm)		전리전류 (pA)		교정인자 ($\times 10^{11} R \cdot h^{-1} \cdot A^{-1}$)	
	A기관	B기관	A기관	B기관	A기관	B기관	A기관	B기관	A기관	B기관
M60	73.2	270.1	2	1	30	10	164.9	619.2	4.437	4.378
M100	71.2	285.8	2	1	30	10	165.8	672.3	4.353	4.458
M150	86.4	366.9	2	1	30	10	197.2	856	4.383	4.286
Cs-137	30.9	5.2	1	1	24	26	68.8	11.5	4.494	4.490

표 7. 교정인자의 전체 부정확도

구 분	교 정 인 자			정밀도(전체오차)		정 확 도		전체 부정확도	
	KRISS	A기관	B기관	A기관	B기관	A기관	B기관	A기관	B기관
M60	4.415 (1.000)	4.437 (1.005)	4.378 (0.992)	3.51%	3.46%	0.5%	0.8%	3.55%	3.55%
M100	4.319 (1.000)	4.353 (1.008)	4.258 (0.986)	3.50%	3.50%	0.8%	1.4%	3.59%	3.77%
M150	4.354 (1.000)	4.383 (1.007)	4.286 (0.984)	3.49%	3.44%	0.7%	1.6%	3.56%	3.79%
¹³⁷ Cs	4.500 (1.000)	4.494 (0.999)	4.490 (0.998)	3.73%	3.44%	0.1%	0.2%	3.73%	3.45%

3. 결과 및 분석

각 기관에서 제시된 측정결과의 오차분석

이 적절히 이루어졌는가를 알아보기 위하여 제출된 결과를 본 연구 그룹에서 재평가한

결과와 비교하여 표 5에 실었으며 이 표에서 나타난 바와 같이 두 기관이 교정인자의 오차요인 평가에서 기준 선량 값을 계통오차로 평가하는 대신 기준기의 교정인자의 오차를 계통오차로 평가 하므로서 전체오차가 과소 평가되는 결과가 확인되었다.

또한 측정된 기준선량 및 비교용 기준기의 교정결과는 표 6과 같다.

이와 같은 과정을 거쳐 평가된 최종 오차는 각 기관이 제시한 비교용 기준기 교정인자의 정밀도를 가늠하는 자료이며 각 교정인자가 KRISS의 값과 갖는 차이는 정확도의 개념으로 파악하여 KRISS 값과의 차이가 갖는 KRISS 값에 대한 백분율로 산출하여 두 값의 제공의 합에 제공근을 취하여 전체 부정확도를 평가하였으며 그 결과를 표 7 및 그림 3에 실었다.

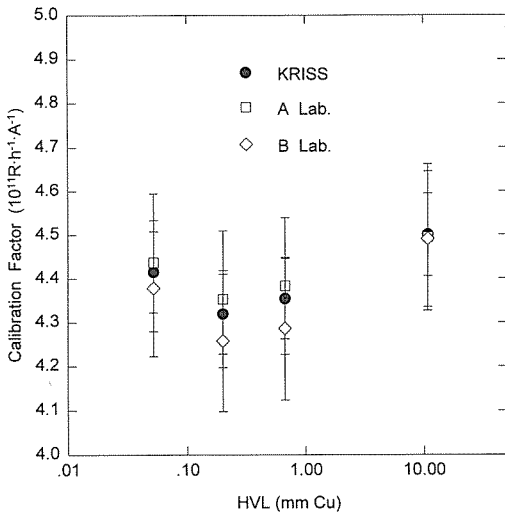


그림 3. 교정인자 비교도

4. 결 론

본 순회 평가에서는 비교용 기준기의 특정에너지에 대한 교정인자를 비교 분석하므로써 각 기관의 소급성을 확인하는 한편 교

정인자의 측정 방법을 검증하였다. 최종결과 두 기관의 정확도가 최대 1.6%이고 측정값의 전체 부정확도가 최대 3.8% 이하임이 확인되었으므로 조사선량 분야의 교정검사 기관에 요구되는 전체 부정확도가 5%인 점을 고려할 때 현재 동 분야에서의 표준에 대한 소급 체계는 적절한 수준에서 유지되고 있음을 알 수 있었다.

또한, 이와 같은 수준이 국제적인 기준에 합당함을 평가하기 위하여 표준 소급 체계가 가장 우수하다고 판단되는 미국 NIST의 요구 조건과 비교하여 보았으며 NIST가 자국내 개인피폭 선량 분야의 교정기관에 요구하고 있는 정확도 및 정밀도와의 비교결과를 표 8에 나타내었으며 두 기고나 모두 NIST가 요구하고 있는 조건에 합당함을 확인하였다.

표 8. 순회 평가의 오차와 NIST에서 규정하는 교정기관의 오차 한계

구분	정밀도 (%)			정확도 (%)		
	A기관	B기관	NIST	A기관	B기관	NIST
X-ray			3.0			5.00
M60	+0.5	-0.8		3.51	3.46	
M100	+0.8	-1.4		3.50	3.50	
M150	+0.7	-1.6		3.49	3.44	
γ-ray			3.0			5.00
Cs-137	-0.1	-0.2		3.73	3.44	

한편, 본 순회 평가에서 나타난 문제점 및 해결방안으로는 첫째, 전리전류의 측정에 사용한 전리전류 측정장치의 전기적인 교정결과가 제시되어 있지 않아 본 순회 평가에서 전류 값이 수백 pA 정도 것을 고려할 때 오차요인으로 크게 나타나지 않았으나 저선량을 측정대상으로 하는 경우 전리전류 측정값에 오차가 보다 크게 작용할 수 있음이 예상되고 생각되며, 둘째, 오차요인의 분석 방법에 있어 기준 선량을 기준으로 교정인자를 측정할 때 기준 선량값의 오차가 비교용 기준기 교정인자의 계통오차로

평가되어야 하나 기준기의 오차를 계통오차로 분석하고 있음이 확인되어 소급 체계를 통한 오차 전과과정이 과소 평가 되었으므로 이와 같은 점은 본 순회 평가과정을 통하여 개선될 것으로 기대된다. 기타 측정점의 재현성을 확인할 수 있는 방법으로 보다 정확한 결과를 얻을 수 있는 시설을 구비하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

Standards and Calibration of Transfer Chambers Used for Measuring Exposure", CCEMRI(1)/79-2 (1979).

2. ANSI, "Personnel Dosimetry Performance-Criteria for Testing", ANSI N 13.11-1993.
3. KASTO, "전리함형 선량계의 표준교정절차", KASTO-RA-4-88(1988).
4. NIST, "Criteria for the Operation of Federally-Owned Secondary Calibration Laboratories(Ionizing Radiation)", NIST SP 812 (1991).

참고문헌

1. BIPM, "Comparison of Exposure

祝



'95. 11. 5(일)에 시행한 제44회 RI특수 및 감독 면허시험 합격자를 다음과 같이 공고합니다.

♣ 특수면허 합격자 명단 (계 : 18명)

응시번호	성명	비고	응시번호	성명	비고	응시번호	성명	비고
6002	현정애		6021	안병철		6510	윤미진	
6003	김문희		6022	오봉현		6511	신주원	
6005	이호준		6501	윤종길		6512	현인영	
6007	소용선		6502	김호정		6515	김선욱	
6009	이혁		6505	박현영		6523	오영택	
6013	이상훈		6508	김종호		6532	이홍재	

♣ 감독면허 합격자 명단 (계 : 24명)

응시번호	성명	비고	응시번호	성명	비고	응시번호	성명	비고
7002	송병철		7096	임영재		7513	차경휘	
7031	김서열		7102	윤정현		7555	구자근	
7046	김예중		7113	윤용일		7573	김팔렬	
7048	신희성		7133	이양구		7599	주정호	
7049	이병관		7152	김용재		7607	김숙경	
7051	이동국		7502	김선하		7643	최종현	
7073	고영우		7506	심상범		7657	김성곤	
7081	서광식		7507	이명우		7675	장재권	