

'95 춘계 학술발표회 논문집

한국원자력학회

개인선량계의 국제상호비교연구

윤석철, 김장열, 하정우*

한국원자력연구소

*한국원자력안전기술원

요 약

원자력연구소는 국제원자력기구(IAEA/RCA) 주관하에 1990년부터 1993년 사이 3차에 걸쳐 실시한 개인선량계에 대한 국제상호비교에 참여하였다. 국제상호비교에 참여하여 사용된 개인선량계는 방사선작업종사자에 대한 외부방사선으로 부터 피폭관리를 위하여 기사용중인 Tdedyne Isotope사의 PB-3타입의 열형광선량계이며 선량계판독용으로 Tdedyne 9150자동판독기를 사용하였다. 본논문에는 3차에 걸쳐 국제상호비교결과를 요약하였으며 저에너지의 엑스선에 경우를 제외하고 모든 조사방사선에 대해 0.78에서 1.07 사이에 상대비율로 결과를 나타내었다. 또한 미국기준 ANSI N13.11에 의해 성능을 시험한 결과 모든 조사방사선장에 대해서 허용기준 0.5이하를 나타내었다.

1. 서론

국내에서 연간 총발전량의 반이상을 원자력발전이 차지하고 있으며, 또한 급속한 산업의 발전으로 방사선동위원소의 이용업체수는 지속적으로 증가하고 있는 추세이다. 이와같이 원자력발전과 방사선의 이용은 국가의 중요한 역할을 담당하게 되었으며 원자력의 이용에 따른 위해의 가능성이 점차 증대되고 있는 실정이다. 따라서 방사선으로 인한 장애를 최소한으로 줄이기 위하여 방사선작업종사자의 피폭선량을 정확히 평가하여야 하며 평가자료의 신뢰성을 높일수 있는 보다 정확한 평가체제의 확립이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

이러한 국내 원자력산업체의 기술실정을 반영하여 원자력사업자중 자체 판독기관과 판독용역업체가 준수해야할 기준으로서 과학기술처에서는 1992년에 개인 피폭선량 판독에 관한 기술기준을 고시하였다[1]. 한국원자력연구소에서는 이러한 고시에 대비하여 1990년부터 2년간 관련연구과제를 수행하였으며[2,3,4], 동시에 국제원자력기구(IAEA/RCA)주관하에 1990년부터 1993년 사이 3차에 걸쳐 실시하는 개인선량계의 국제상호비교에 참여하였다.

국제상호비교에 참여한 개인선량계는 Teledyne Isotope사의 PB-3타입의 열형광선량계이며 선량계판독용으로 Teledyne 9150자동판독기를 사용하였다[5]. 국제상호비교시 사용된 선량계와 판독기는 방사능계측 및 방사선계측기의 국가 2차 표준 검교정기관으로 지정된 한국원자력연구소의 교정실에 있는 선원을 사용하여 교정하였다. 이번에 참여한 감마선과 엑스선에 대한 개인선량계상호비교는 아시아지역에서 첫번째의 체계적인 상호비교로서, 개인선량계의 품질보증시 요구하는 미국기준ANSI N13.11의 성능평가기준[6]에 따라 평가하였다.

2. 국제원자력기구(IAEA/RCA) 개인선량계 상호비교프로그램

국제원자력기구(IAEA/RCA)주관하에 실시한 개인선량계에 대한 국제상호비교는 1990년부터 1992년까지 3년간 수행되었으며 1991년에는 참가국에서 사용중인 감마선원에 대한 참고값(Reference Value)의 상호비교도 제2차상호비교와 함께 수행되었다. 이 상호비교에 14국가, 15기관들이 참여하였으며 참여국들은 그들의 개인선량계를 일본원자력연구소 보내어 동연구소 방사선조사시설에서 방사선조사를 수행하였으며 그결과를 평가하였다.

2.1 개인선량계(PB-3)의 특성

국제방사선단위측정위원회(ICRU)는 개인모니터링 목적으로 심부선량당량 $H_d(10)$ 과 피부선량당량 $H_p(0.07)$ 을 제안하였으며[8], 이에 따라 개인선량계는 조사선량의 단위를 갖는 선량계의 판독값에 에너지에 의존하는 환산계수를 곱한 값이 0.07 mm 및 10 mm깊이에서 인체조직이 받는 선량당량으로 직접 전환될 수 있도록 설계되어야 한다. 이는 개인선량계가 측정하고자 하는 방사선의 종류에 따라 각기 다른 재질과 두께의 필터를 사용한 여러 영역들로 구성되어야 한다는 것을 의미한다.

국제상호비교에 사용된 개인선량계(PB-3)는 열형광선량계 타입으로써 4개의 영역으로 구성되어 있으며, 각 영역은 선량계케이스내에 각 영역에 존재하는 필터의 재질 및 두께에 따라 서로 다른 방사선을 구분할수있는 특성을 갖는다[5]. 사용된 필터의 재질 및 두께는 표 1에 나타나 있으

며, A1영역은 0.07 mm 깊이에서 베타입자에 의해 인체조직이 받는 선량당량을 평가하는데 사용된다. A2영역은 베타입자와 감마선이 동시에 존재하는 혼합방사선장에서 베타선량만을 평가하는데 사용되며, A3영역은 감마선과 엑스선이 혼합된 방사선장에서 엑스선에너지를 평가하기 위한 보조적인 역할을 하는데 사용된다. 4개중 마지막 영역인 A4영역은 10 mm 깊이에서 인체조직이 받는 선량당량을 평가하는데 사용된다.

2.2 선량평가방법

국제상호비교에서 사용된 선량당량의 일반적인 계산식은 다음과 같다[7].

$$H_d = C_d \cdot X \quad (1)$$

$$H_s = C_s \cdot X \quad (2)$$

여기서 C_d 와 C_s 는 광자에 대한 심부선량당량 환산계수와 피부선량당량 환산계수를 각각 나타내며, X 는 조사선량의 단위를 갖는 개인선량계의 판독값을 말한다. 특히 자유공기내에서 조사된 개인선량계의 선량평가는 식 1과 2를 사용하여 조사선량값을 산정하였다. 국제상호비교참여중에 개발된 선량평가코드 KAERITLD[3]는 엑스선에 조사된 선량계에 경우 에너지의 결정이 가능하도록 하였기 때문에 알려지지 않은 엑스선에 조사된 경우 먼저 KAERITLD코드를 사용하여 엑스선 에너지를 구한후 식 1을 이용하여 조사선량을 구하였다. 그러나 개인선량계를 팬텀표면에 부착하여 조사한 경우는 전절에 언급한대로 0.07 mm 및 10 mm 깊이에서 인체조직이 받는 선량당량, 즉 심부선량당량과 피부선량당량을 구하여야 하는데 이들은 KAERITLD코드를 사용하여 구하였다.

3. 결과 및 논의

3.1 제1차 상호비교

1990년에 실시한 제1차 상호비교결과는 표 2에 나타나 있으며 2개의 감마선과 4개의 엑스선에 대해 자유공기내에서의 조사된값과 평가한 값이 조사선량의 단위(mR)로 나타나 있다. 표 2는 일본원자력연구소에서 조사한 값(Delivered value)에 대한 평가하여 보고한 값(Reported value)의 비율이 열거되어 있으며 저에너지엑스선(32.1 keV)에서의 1.46을 제외하고는 0.78에서 0.94까지의 비율들이 나타나 있다. 제1차 상호비교에서 보고한 모든값들은 1992년에 새로 알고리즘을 개발하여 전산화한 KAERITLD코드를 사용하지 않고 기존코드를 사용하여 평가한것으로 35 keV 이하의 저에너지엑스선에 경우 정확한 평가를 하기가 어려웠다. 그러나 35 keV 이상의 엑스선에 경우와 감마선에 경우는 모든값이 1.0 이하로 Cs-137에 경우 0.88임을 고려하여 볼때 판독기의 교정시 각

영역의 지시값과 Cs-137에 조사선량을 기준값을 고려하여 보정하여 줄때 보정값을 정확하게 주어야하며 주기적으로 교정하여야 함을 알수있다.

3.2 제2차 상호비교

1991년에 실시한 제2차 상호비교의 경우에는 참가국에서 사용중인 감마선원에 대한 참고값(Reference value)의 상호비교를 함께 실시하였다. 일본원자력연구소에서 보내온 3개의 유리선량계를 한국원자력연구소에서 판독기교정용으로 사용중인 Cs-137감마선원으로 요청한대로 300 mR값으로 조사하여 송부하였다. 그결과 한국원자력연구소에서 조사한 값 300 mR에 대해 일본원자력연구소에서 유리선량계로 평가한 값은 300.8, 303.5, 298.9 mR였으며, 이 조사한값과 평가한 값을 비교하여 볼때 1.2%이내의 오차범위에서 잘 일치하였다.

제2차 개인선량계에 대한 상호비교결과는 표 3에 보는 바와 같이 2가지의 감마선과 3가지의 엑스선에 대한 평가된 조사선량의 결과가 나타나 있다. 조사된 값과 평가하여 보고한 값의 비율이 0.89부터 1.05사이에 분포되었으며 0.89를 제외하고는 모든비율이 10%이내의 오차범위내에서 잘 일치 하였다. 개인선량계상호비교에 참가하기전에 참가할 선량계선정시 Cs-137감마선원을 사용하여 감응도가 정확한 선량계를 선별하여 사용하였으며 판독기를 교정각선량계에 대해 소자보정인자(ECF)를 결정하여 사용하였다[3]. 제2차상호비교결과를 비교하여볼때 표준기관에 소급성이 유지되는 감마선원을 사용하여 철저한 선량계관리를 해야하며, 또한 적어도 6개월에 한번은 주기적으로 판독기를 교정해야할 필요가 있다.

3.3 제3차 상호비교

1993년에 실시한 제3차 상호비교결과는 표 4에 나타나 있으며, 2개의 감마선과 2개의 엑스선에 대해서는 자유공기내에서의 조사선량의 단위(mR)로 평가하도록 하였으며, 또한 1개의 감마선과 1개의 엑스선에 대해서는 개인선량계를 팬텀표면에 부착하여 조사시켜 심부선량당량(H_d)을 평가하도록 하였다. 표 4에 보는 바와 같이 조사된값과 평가하여 보고한 값의 비율이 0.82 부터 1.07 사이에 분포되어 있으며 모든비율이 0.82와 0.83의 경우를 제외하고 10%이내의 오차범위내에서 잘일치 하였다. 특히 제3차 상호비교에서는 팬텀위에 조사된 개인선량계에 대하여 심부선량당량을 평가하도록 되어 있었으며 Cs-137감마선원에 조사된 경우 조사된값과 평가하여 보고한 값의 비율이 1.03으로 예상대로 아주 우수한 결과를 나타냈다. 그러나 저에너지엑스선(60.4 keV)에 경우 선량평가시 팬텀에 의한 후방산란효과를 고려해야 하므로 본계산에서는 Grosswendt[8]에 의해

계산된 ICRU tissue slab 팬텀과 PMMA slab 팬텀에 대한 후방산란인자가 사용되었고, 조사된 값과 평가하여 보고한 값의 비율이 0.83로 감마선에 조사된 경우와 비교할때 비교적 낮은 값을 얻었다. 이러한 차이점의 중요한 이유는 개인선량계를 조사할때 사용된 ICRU water slab 팬텀에 대한 후방산란인자를 구할수 없어 ICRU tissue slab 팬텀에 대한 후방산란인자를 대신 사용하였기 때문으로 사료된다. 따라서 엑스선에 경우 팬텀표면에 조사된 개인선량계의 선량평가지에는 사용된 팬텀을 이용하여 정확히 계산된 후방산란인자를 사용해야 할 필요가 있다.

3.4 미국기준 ANSI N13.11의 성능기준에 의한 평가결과 및 논의

미국기준 ANSI N13.11 "개인선량계에 대한 성능시험시 평가기준"에 의거하여 상호비교한 결과들을 평가하였다. ANSI N13.11에서는 선량계의 성능평가지 방사선방어선량범위(0.03-10 mrem)에서 아래와 같은 허용기준을 만족하도록 요구하고 있다[6].

$$B + S < 0.5 \quad (3)$$

여기서, B는 선량계에 대한 성능지수를 말하며 S는 성능지수에 대한 표준편차를 말한다.

상호비교를 위한 선량계를 대상으로 ANSI N13.11에서 요구하는 허용기준에 만족하는지를 알아보기 위해 식 3을 사용하여 계산한 결과 표 5와 같은 결과를 얻었다. 표 5는 3차에 걸쳐 평가된 값들을 조사된 값과 비교하여 성능평가 한 값들이 나타나 있으며 제1차 상호비교에서 0.48 11에 경우를 제외하고는 모든 값들이 0.23이내로 허용기준인 0.5 이내에 들어갔다. 제1차 상호비교에서 성능평가후 얻어진 값인 0.5178의 경우에는 이미 앞절에서 언급하였듯이 35 keV의 저에너지엑스선에 조사되어 기존평가방법으로는 정확한 선량평가가 어려웠기 때문이다.

4. 결론

3차에 걸쳐 국제상호비교를 한 결과를 종합하여 볼때 Tekdync 9150 열형광개인선량계시스템은 저에너지의 엑스선에 경우를 제외하고 모든 조사방사선장에 대해 0.78에서 1.07사이에 상대비율로 만족스러운 결과를 나타냈으며, 미국기준 ANSI N13.11에 의해 성능을 시험한 결과 모든 조사방사선장에 대해서는 허용기준 0.5이하를 나타내었다. 또한 2차 상호비교때 부터 선량보정인자(ECF)방법을 적용함으로써 각소자에 의해 발생할수 있는 상대오차를 감소시킬수 있었다. 이러한 국제상호비교프로그램에 참여하여 다른국가의 개인선량계시스템과 비교해 봄으로써 우리의 개인피폭선량평가방법을 개선하는데 유익했으며 평가된 선량값의 정확성과 신뢰도를 증진시키는 좋은 기회가 되었다.

참고문헌

1. 과학기술처, 개인방사선피폭선량에 관한 기술기준, 과기처고시 1992-15, 과학기술처(1992).
2. 윤석철, 연구보고서, "개인방사선 평가체제 확립" 한국원자력연구소, KAERI/RR-1070/91(1991).
3. 윤석철, 연구보고서, "개인방사선 평가체제 확립" 한국원자력연구소, KAERI/RR-1199/92(1992).
4. Yoon, S. C. and Lee, T. Y., "Development of TL Dosimeter Evaluation Algorithm for Personnel Dosimetry at KAERI", Asia Congress on Radiation Protection, Beijing, China, Oct. 18-22(1992).
5. Teledyne Isotopes, TLD 9150 Users Manual(1985).
6. ANSI, American National Standard for Dosimetry-Personnel Dosimetry Performance Criteria for Testing, ANSI N13.11, New York, ANSI(1983).
7. International Commission on Radiation Units and Measurements, "Determination of Dose Equivalents Resulting from External Radiation Sources", ICRU Report 39, Washington, D. C.(1985)
8. Grosswendt B., Conversion Coefficients for Calibrating Individual Photon Dosimeters in terms of Dose Equivalents defined in an ICRU tissue cube and PMMA slab, Radiat. Prot. Dosim. 32, 219-231(1990).

표 1. 필터의 재질 및 두께

Area	Front	Back
1	7 mg/cm mylar	Plastic badge case
2	Plastic badge case 3.2 mm fo Teflon Plastic badge case	Plastic badge case
3	Plastic badge case 2.64 mm of slotted Cu 0.81 mm of Al Plastic badge case	Plastic badge case 0.81 mm of Al 1.02 mm of Cu Plastic badge case
4	Plastic badge case 2.54 mm of slotted Cu 0.81 mm Of Al Plastic badge case	Plastic badge case 0.81 mm of Al 0.13 mm of Cu 0.81 mm of Cd Plastic badge case

표 2. 제1차 개인선량계 상호비교결과

Dosimeter no.	Energy (keV)	Delivered Dose(mR)	Reported Dose(mR)	Ratio(R/D)	Average Ratio	Remark
1-1 1-2 1-3	662	90	79 77 81	0.88 0.86 0.90	0.88	Cs-137
2-1 2-2 2-3	32.1	129	185 195 192	1.40 1.51 1.48	1.46	X-ray
3-1 3-2 3-3	161	297	251 245 253	0.85 0.82 0.85	0.84	X-ray
4-1 4-2 4-3	1250	2500	1981 2040 1980	0.79 0.82 0.72	0.78	Co-60
5-1 5-2 5-3	95.5	70	65 65 62	0.93 0.93 0.89	0.92	X-ray
6-1 6-2 6-3	64.1	58	55 54 55	0.95 0.93 0.95	0.94	X-ray

표 3. 제2차 개인선량계 상호비교결과

Dosimeter no.	Irrad. E(keV)	Est. E(keV)	Delivered Dose(mR)	Reported Dose(mR)	Ratio(R/D)	Average Ratio	Remark
1-1 1-2 1-3	70.5	65	1754	1560 1626 1609	0.89 0.93 0.92	0.91	X-ray
2-1 2-2 2-3	1250	Cs or Co	330	307 312 310	0.93 0.95 0.94	0.94	Co-60
3-1 3-2 3-3	662	Cs or Co	45	47 49 46	1.04 1.08 1.02	1.05	Cs-137
4-1 4-2 4-3	36.5	35	640	570 565 574	0.89 0.88 0.90	0.89	X-ray
5-1 5-2 5-3	119	90	140	125 132 124	0.89 0.94 0.89	0.91	X-ray

표 4. 제3차 개인선량계 상호비교결과

Dosimeter no.	Energy (keV)	Delivered Dose	Reported Dose	Ratio(R/D)	Average Ratio	Remark
1-1 1-2 1-3	60.4	6.27	5.39 5.20 5.02	0.86 0.83 0.80	0.83	H _p (10) in mSv (X-ray)
2-1 2-2 2-3	662	0.8	0.84 0.84 0.80	1.05 1.05 1.00	1.03	H _p (10) in mSv (Cs-137)
3-1 3-2 3-3	1250	900	831 815 807	0.92 0.91 0.90	0.91	mR (Co-60)
4-1 4-2 4-3	203	144	158 153 155	1.09 1.06 1.07	1.07	mR (X-ray)
5-1 5-2 5-3	60.4	380	370 336 328	0.97 0.88 0.86	0.90	mR (X-ray)
6-1 6-2 6-3	830	65	50 55 53	0.77 0.85 0.82	0.82	mR (Ra-226)

표 5. ANSI N13.11에 의거한 성능평가결과

Phase	Radiation Type	Radiation	Tolerance Level	Remark
Phase 1	1-1	Cs-137	0.1444	
	1-2	X-ray	0.4811	
	1-3	X-ray	0.1734	
	1-4	Co-60	0.2136	
	1-5	X-ray	0.1105	
	1-6	X-ray	0.0674	
Phase 2	2-1	X-ray	0.1083	
	2-2	Co-60	0.0692	
	2-3	Cs-137	0.0858	
	2-4	X-ray	0.1169	
	2-5	X-ray	0.1240	
Phase 3	3-1*	X-ray	0.2118	
	3-2*	Cs-137	0.0622	
	3-3	Co-60	0.1051	
	3-4	X-ray	0.0962	
	3-5	X-ray	0.1517	
	3-6	Ra-226	0.2285	

* Exposed on phantom(30 cm x 30 cm x 15 cm)