방사선 방호용 계측기 성능평가 기술 개발 및 국제 표준

최길웅, 원성호, 김정호, 하석호, 이철영, 김현문, 이민기
한국표준과학연구원

2007년 10월 8일 접수 / 2008년 1월 21일 채택

최근 국제 표준은 글로벌 패권확보 수단으로, 또 국제 무역의 중요 수단으로 여겨질 정도로 중요성이 커지고 있다. 특히 표준과 규제정책을 연계하며 국제 표준의 구속력을 강화하고 있는 추세에 있어, 나라마다 국제표준 선점을 두고 치열한 경쟁을 벌이고 있다. 세계 각국은 점차 규격을 IEC에 부응하는 방향으로 바꾸고 있으며 국내에서는 원자력 분야의 국제전기위원회(International Electrotechnical Commission)기술위원회인 TC45(Nuclear instrumentation) 총회를 2005년에 유치하여 국제적 활동을 강화하고 있으며 수 년 전부터 IEC 규격을 적용한 국가규격으로 대체하고 있는 실정이다. 여기에서는 원자력 중장기사업의 일환으로 " 방사선계측기 성능평가 기술개발 "연구를 수행하여 물리적 및 전자기적 환경에서의 성능평가 기술 및 방사선장 특성 평가 기술 개발을 수행하였으며 IEC61526(Radiation protection instrumentation)의 규격을 적용하여 개발된 방사선 방호용 계측기의 성능평가 기술을 소개하고 이러한 성능시험에서 얻어진 결과를 분석하여 방사선계측기를 개발할 때 고려하여야 할 사항과 현재 국내에서 사용 중인 방사선계측기의 성능평가 결과를 분석하여 봄으로서 나타난 문제점 등을 토의하여 보았다.

중심어 : 표준규격, 국제전기위원회(IEC; International Electrotechnical Commission), 방사선 방호용 계측기(Radiation protection instrumentation), 물리적 및 전자기적 성능시험(Mechanical and Electromagnetical performance test)

1. 서론

에너지 부존자원 없는 우리나라는 전력의 45%를 원자력 발전에 의존하고 있으며 최근의 세계적 동향은 대체에너지 개발이 미미하고 지구 온난화가 매우 심각한 수준에 이르러 미국 정부에서도 원자력의 재개발이 추진되고 있다. 우리나라는 원자력에 의한 전력 생산량 규모가 세계 6위권에 있으며, 원자력 발전설비의 95%가 국내 기술로 제작 · 공급될 만큼 국내 원자력기술은 이미 선진국 수준에 도달해 있다. 원자력 발전소의 운전 및 방사선 방호, 환경 감시는 방사선 계측을 통해서 전적으로 수행되어지며, 방사선 계측 기술은 산업, 의료, 교육 및 연구 분야에 널리 활용되고 있지만 방사선 계측 기술의 핵심인 방사선계측기는 전적으로 수입에 의존하고 있다. 우리나라의 수출입 역조현상이 가장 심한 분야가 계측산업으로 이는 계측기에 대한 산 · 학 · 연 등 국내 기반이 매우 취약하기 때문이다. 더욱이 방사선계측기의 품질 및 성능평가를 위한 기술개발은 상대적으로 낙후되어 있는 실정으로 국내에서 개발되었거나 개발되고 있는 방사선계측기에 대한 특성 평가 및 인증체계의 확보가 시급한 시점에 있다. 따라서 방사선계측기 산업의 기술 종속국가로부터 탈피하고, 원자력 분야의 균형적인 발전을 위하여, 방사선계측기 활용이 가장 큰 방사선계측기 기반 기술의 개발은 매우 중요한 연구 분야이다. 또한 원자력 이용에 따른 방사선 재해로부터 국민을 보호하고 환경을 보전하기 위해서는 궁극적으로 방사선 안전성 확대의 중요성이 더욱 부각되고 있어서 이러한 사회적 · 경제적인 여건 및 활용도에서 보면 방사선 이용의 안전 및 방호는 방사선계측을 기반으로 하여야 달성할 수 있다는 근간에서 방사선계측기 기반기술을 확보하는 것은 시급한 국가적 과제이다. 방사선계측기의 개발 및 생산은 십수 년 전부터 국내의 연구기관, 학계 및 산업계에서 지속적으로 진행되어 오고 있으나 성능평가를 통한 신뢰성과 품질 보증이 체계적으로 뒷받침 되지 않아 낮은 국내 점유율과 수입대체 효과를 보이지 못하고 있는 실정이고 특히 최근에는 값이 저렴한 저급의 방사선계측기가 수입되어 사용되고 있어서 방사선 안전관리에 심각한 허점을 보이고 있으며 국내의 방사선계측기는 전적으로 수입에 의존하는 현실에서 이러한 심각성은 방사선계측기의 성능평가 시스템 및 인증체계의 확보가 더욱 절실한 국가적 사업으로 요구되고 있다. 국제적으로는 국제원자력기구의 IAEA SS RS-G-1.3(1999)의 Safety Series 규제안을 선진외국에서는 채용하고 Type test 및 Routine test를 의무규정으로 입법화하여 적용하고 있어[1] 방사선계측기에 대한 엄격한 품질관리 및 방사선 안전과 방어를 국가적으로 운영하고 있다.

본 연구는 위와 같은 관점에서 매우 중요한 역할과 필요성이 강조되고 있으며 본 연구에 대한 내용이 연속적으로 대한방사선방어학회에서 발표되었으며[2-4], 모든 시험방법

책임저자 : 최길웅, kochoi@kriss.re.kr, 한국표준과학연구원
대전광역시 유성구 도룡동 1번지 한국표준과학연구원 삶의질표준부

(routine & type test)에 국제 규격인 IEC61526[5]의 규격을 적용하기 위하여 물리적 환경에서의 방사선계측기 성능평가 시스템 개발하고 특성평가를 수행하여 외국의 자료수집 및 분석과 이를 기초로 온·습도 내성시험기, 진동 내성시험기, 충격 내성시험기, 누수 및 염분 내성시험기 등 시험장치 개발 및 특성평가와 방사선 안정성 평가기술로써 방사선계측기의 방사선에 대한 특성평가를 위하여 방향의존성, 에너지의존성, 방사선장 특성 등을 연구하였다. 또한 전자기적 환경에서의 방사선계측기 성능평가 기술개발을 연구 목표로 수행하였으며 이러한 모든 성능평가 규격은 현재 세계적인 추세인 IEC 규격을 채용하여 IEC61000-4-series를 본 과제에 맞게 응용하였으며 IEC61000-4series의 8 가지 항목[6]중에서 가장 많은 사용 요구가 있는 복사전자파와 자기장에서의 전자파 장해방어시험 및 정전기장 적합성 시험장치 개발 및 특성조사가 연구되었고 국내에 새로 수입된 방사선계측기 성능평가 시험에 임할 수 있게 되었다. 이러한 성능시험을 통한 결과로서 계측기 개발에 있어서 성능평가를 대비한 설계, 구조 및 재질에 대한 know-how가 언급되고 있으며 현재 국내에서 사용 중인 수입 방사선계측기의 문제점 등이 밝혀진다.

2. 재료 및 방법

2.1 규격의 선택

국제원자력기구(IAEA)에서는 1999년 방사선 안전지침서(S.S No. RS-G-1.3, >Equivalent to IEC)를 권고하고 있으며 국내에서는 KS를 IEC Standards로 대체하는 과정에 있고 현행 원자력법(시행령 제196조)에 의하면 방사선원 취급허가 사용자는 방사선측정기 1대 이상을 구비할 것을 규정하고 있다. 그러나 선진외국에서는 방사선 안전관리 장비의 형식시험(Type test), 정규적 시험(Routine test), 성능시험(Performance test)을 법제화하여 국가적인 방사선 안전 관리를 하고 있을 뿐 만 아니라 자국의 방사선계측기 산업 및 기술 보호, 무역 장벽으로의 이용을 꾀하고 있는 실정이다. 국제표준 규격을 세계 각 국의 국내위원회가 국가 규격으로 채택을 하게 되면 비로써 강제성을 띠는 국가규격이 되는 것이다. 이 때 국내위원회가 국제표준화 규격을 그대로 국가규격으로 수용할 수도 있지만 대부분의 국내위원회에서는 자국의 현실을 충분히 반영하여 규격의 발효시기, 강제력 부여 여부, 적용대상 등을 규정하게 된다. 본 연구에서는 국제규격으로 IEC61526을 기준으로 채택하여 시험 장치를 개발하고 특성시험을 수행하였으며 실질적인 방사선계측기에 대한 성능 평가를 위한 시험을 실시하였다. 다음 Table 1, 2, 3에 IEC61526의 성능시험 규격이 보여 지고 있으며 본 연구에서는 물리적 환경시험 및 방사선에 대한 반응 특성시험, 전자기적 환경에서는 성능시험 규격 중 복사전자파, 자기장, 정전기장 장해 방어 시험장치가 개발되어 있다.

앞의 Table 1, 2, 3에서와 같이 국내에서도 최근에 세계적 추세에 부응하기 위하여 IEC 국제 규격을 국가 규격으로 도입하고 있으며 여기에서는 국내 환경에 적합하게 IEC61526을 채택하여 연구 내용에 적용하게 되었다. 이러한 물리적 환경에서의 방사선계측기 성능평가 시스템을 개발하고자 온·습도 시험기, 온도충격 시험기, 진동 시험기, 낙하 시험기, 미세진동 시험기, 누수 및 내염분 시험장치 개발 및 특성평가와 선정된 방사선계측기의 방사선에 대한 특성평가로서 IEC61526에서 제시한 시험 방법인 방향의존성, 에너지의존성, 방사선장 반응 특성 등을 연구하였다. 또한 전자기적 내성시험은 앞 Table 2의 항목 중에서 복사전자파, 자기장, 정전기장 내성시험(Immunity test)을 개발하고 특성 평가하였으며 이 모든 시험은 대외 서비스를 수행하고 있다.

Table 1. Electric and environmental characteristics of dosemeters.

Line	Characteristic under test or influence quantity	Minimum rated range of influence quantity	Maximum permitted value for correction interval half width, a_q	Sub-clause
1	Total effect of electrical and environmental influence quantities as given in line 2 to 7	As in line 2 to 7	$15\% \geq \sqrt{\sum_{line\,2\,to\,7} aq^2}$	10.1
2	Power supplies	100 h continuous use for primary battery [a] or 24 h continuous use for secondary battery[b]	10%	10.2
3	Ambient temperature	a) Indoor use +5°C to 40°C	15%	10.3
4	Relative humidity	10 % to 90 % relative humidity at 35°C	10%	10.4
5	Atmospheric pressure	86.0 kPa to 106.6 kPa[c]	10%	10.5
6	Sealing		precaution to be stated	10.6
7	Storage	-25°C to +50°C for three months	To operate within specification	10.7

[a] Additional 8 h measurement after the indication “operational life is going to end”is available.
[b] The display of the dosemeter may be frozen, read out at room temperature must be possible
[c] A lower limit of pressure of 70 kPa may be required at high altitudes

Table 2. Electromagnetic disturbance characteristics of dosemeters.

Line	Influence quantity or instrument parameter	Minimum rated range of influence quantity	Test according to	Fre-quency	Maximum permitted value for correction interval half width $a_q(10H_0)$ [a]	Crite-rion[b]	Sub-clause
1	total effect of all electromagnetic disturbance as given in line 9	As in line 2 to 9	as in line 2 to 9		$10\% \geq \sqrt{\sum_{line\,2\,to\,9} aq^2}$	-	11.1
2	Electrostatic discharge, charging Voltage	0kV to 8kV air discharge 0 kV to 4 kV contact discharge	IEC 61000-4-2	10 distur-bance per hour	7%	B	11.3.1
3	Radiated Electromagnetic fields, field strength and modulation	80MHz to 1GHz; 0V/m to 10V/m (rms,unmodulated) 80%AM(1kHz)	IEC 61000-4-3	10% of time	7%	A	11.3.2
4	Radiated electro -magnetic field,of mobile phones,field strength and modulation	800MHz to 960MHz; 0V/m to 20V/m 1.4GHz to 2GHz; 0V/m to 15V/m(rms, unmodul.) 80% AM(1kHz)	IED 61000-4-3	10% of time	7%	A	11.3.3
5	Conducted disturbance induced by fast transient/burst peak voltage	0 kV to ±2kV 5/50 ns(t_r/t_h)	IEC 61000-4-4	10 distur-bance per hour	7%	B	11.3.4
6	Conducted disturbance induced by surges, peak voltage and rise time	0kV to ±2kV non-sym. 0kV to ±1kV sym. 1.2/50(8/20)μs	IEC 61000-4-5	10 disturbance per hour	7%	B	11.3.5
7	Conducted disturbance induced by radio-frequency and voltage	150kHz to 80MHz 0 to 10V(rms, unmodulated) 80% AM(1kHz)	IEC 61000-4-6	10% of time	7%	A	11.3.6
8	50Hz(or 60Hz as appropriate) magnetic field, field strength	0 to 30A/m	IEC 61000-4-8	10% of time	7%	A	11.3.7
9	Voltage dips/short interruptions,duration	10ms(30% reduction) 100ms(60% reduction)	IEC61000-4 -11	10 disturbance per hour	7%	B	11.3.8

2.2 방사선 반응특성평가

2.2.1 X선 에너지 의존성 특성평가

방사선계측기 측정 결과의 실험적 검증을 위하여 상용으로 개발된 수입제품 ADR(개인선량계, Alarm Digital Radiation monitor)을 대상으로 에너지, 방향 의존성을 평가하였으며 모든 측정은 ISO의 요구조건[7]에 따라 30 cm x 30 cm x 15 cm의 PMMA slab phantom에 선량계를 부착하였으며 이때 기준점은 선량계 센서의 중심점으로 하였다. Figure 1에 ADR 측정 장면을 나타내었다.

2.2.2 방향 의존성 특성평가

개인선량계의 에너지 의존성은 BIPM medium X-ray 4개 선질과 Cs-137 및 Co-60등 총 6개 에너지에 대하여 개인 심부선량을 기준으로 평가하였으며 제작사가 동 장비의 에너지 측정 영역을 60 keV ~ 3 MeV에서 ±20 %로 제시[8]하였으므

Table 3. Mechanical disturbances characteristics of dosemeters.

Line	Influence quantity or instrument parameter	Minimum rated of influence quantity	Maximum permitted value for correction interval half width, a_q	Sub-clause
1	Total effect of all mechanical disturbance as given in line 2 to 4	As in line 2 to 4	$10\% \geq \sqrt{\sum_{line2to4} aq^2}$	12.1
2	Drop on surface	1.5m onto hard wood surface(IEC60068-2-27)	7%	12.2
3	Vibration	20m/s^2 over frequencies 10Hz to 33Hz	7%	12.3
4	Microphony	60 times 0.1m onto hard wood surface(IEC60068-2-27)	7%	12.4

Table 4. Energy dependance of ADR.

Radiation	Energy	Actual	Reading	Response	Normalized Response
BIPM 100	53.3 keV	2 Sv/h	0.86 Sv/h	0.432	0.411
BIPM 135	63.4 keV	2.08 Sv/h	1.88 Sv/h	0.901	0.856
BIPM 180	80 keV	1.51 Sv/h	1.55 Sv/h	1.026	0.975
BIPM 250	123 keV	1.71 Sv/h	1.97 Sv/h	1.151	1.094
Cs-137	662 keV	0.5 Sv/h	0.526 Sv/h	1.052	1.000
Co-60	1.25 MeV	1.5 Sv/h	1.57 Sv/h	1.043	0.991

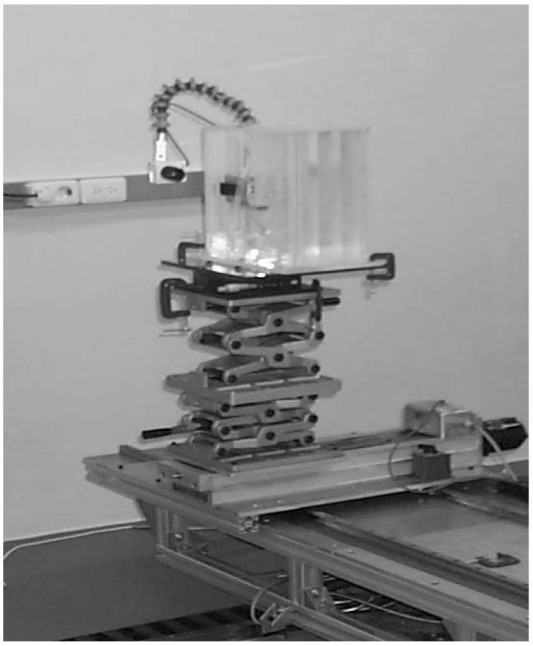

Fig. 1. Photograph of measurement of X, γ-personal dosemeter with ICRU-water phantom.

로 유효에너지 53.3 keV, 63.4 keV, 80 keV, 123 keV와 Cs-137의 662 keV 및 Co-60의 1.25 MeV를 사용하였다. 측정결과 662 keV를 기준으로 에너지에 따라 그 반응도가 0.411에서 1.094까지의 변화를 보이고 있으나 제작사가 제시한 60 keV 이상의 에너지 영역에서는 IEC의 조건인 ±30 %[5]를 만족하고 있음을 확인하였고 그 결과를 Table 4와 Figure 2에 표시하였다.

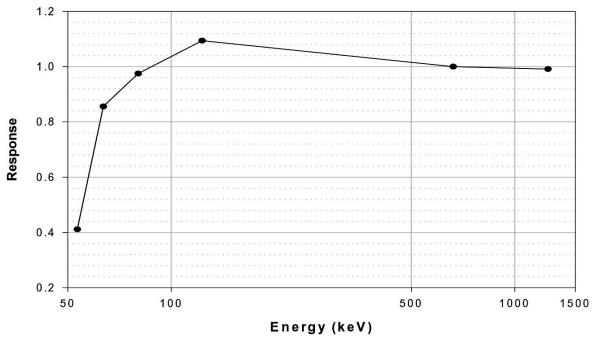

Fig. 2. Energy response curve of RAD-60.

개인선량계의 방향 의존성은 센서의 중심점을 기준으로 수평방향에 대하여는 BIPM medium X-ray 4개 선질과 Cs-137에서 평가 하였으며 수직방향에 대하여는 Cs-137에서 각각 0°, ±20°, ±40°및 ±60°대한 반응도 변화를 측정하였다. 측정결과 662 keV를 기준으로 에너지에 따라 그 반응도가 0.806에서 1.045까지의 변화를 보이고 있으나 IEC의 조건인 Am-241 : ±50 %, Cs-137 : ±30 %를 만족하고 있음을 확인하였고 그 결과를 Table 4와 Figure 3에 표시하였다.

Table 4. Response of angle of incidence(Horizontal direction).

Radiatio	Energy	Angle	Response(Normalized)
BIPM 100	53.3 keV	-60°	0.923
		-40°	0.810
		-20°	0.966
		0°	1.000
		20°	0.961
		40°	0.806
		60°	0.933
BIPM 135	63.4 keV	-60°	0.965
		-40°	0.854
		-20°	0.986
		0°	1.000
		20°	0.981
		40°	0.848
		60°	0.985
BIPM 180	80 keV	-60°	0.979
		-40°	0.892
		-20°	0.977
		0°	1.000
		20°	0.968
		40°	0.871
		60°	0.983
BIPM 250	123 keV	-60°	1.006
		-40°	0.943
		-20°	0.980
		0°	1.000
		20°	0.965
		40°	0.946
		60°	1.021
Cs-137	662 keV	-60°	1.030
		-40°	1.032
		-20°	0.953
		0°	1.000
		20°	1.028
		40°	1.045
		60°	1.037

(Vertical direction)

Radiation	Energy	Angle	Response(Normalized)
Cs-137	662 keV	-60°	1.030
		-40°	1.032
		-20°	0.953
		0°	1.000
		20°	1.028
		40°	1.045
		60°	1.037

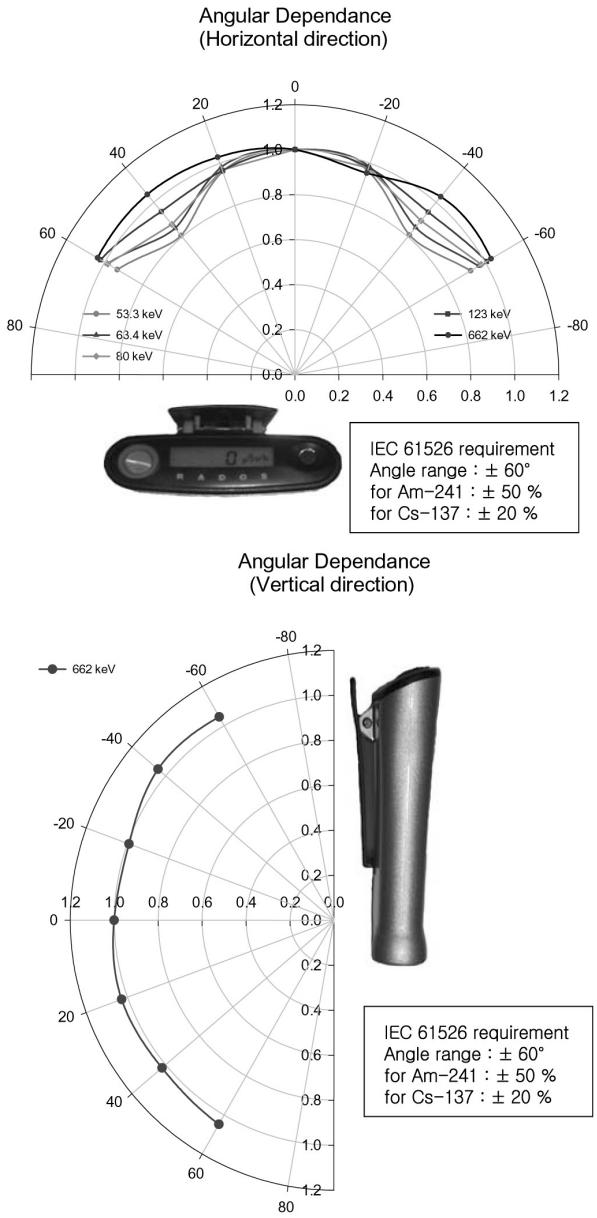

Fig. 3. Angular dependance of RAD-60.

미소요동시험: 피시험기기는 10 cm 높이로부터 단단한 목재표면[9]으로의 낙하충격에 대하여 보정간격반폭을 0.07 이하로 유지되어야한다. 피시험기기의 6면에 대해 10 cm 높이에서 자유낙하시험을 각각 10회씩 총 60회를 실시하되 30분 이내에 시험을 마무리한다. 시험은 선량률이 200 $nSv^{1}\cdot h$인 기저방사선하에서 실시한다.

진동시험: 피시험기기는 진동수 10 ~ 33 Hz, 부하 20 $m\cdot s^{-2}$ 인 조화진동에 대하여 보정간격반폭이 0.07 이하로 유지되어야한다. 기기의 물리적 상태(납땜 및 나사로 조인 부분 등)도 시험전과 마찬가지로 견고하게 유지되어야한다. 피시험기기를 시험장치에 고정하고 10 ~ 21 Hz 중 한 진동수를 택하여 부하 20 $m\cdot^{-2}s$인 조화진동시험을 15분 동안 실시하되 서로 직각인 세 방향(x-, y-, z-축 방향)에 대해 각각 실시한다. 동일한 방법으로 22 ~ 33 Hz 중 한 진동수를 택하여 시험을 실시한다. 본 연구에서는 낙하 및 미소요동 시험 장치를 이용하여 국내에서 유통 중인 종류가 다른 국내외의 감마선 선량계 총 4개를 선정하여 낙하 및 미소요동에 대한 성능평가를 실시하였다. 이 성능시험은 개발한 절차에 따라 피시험기기의 6면에 대해 미소요동시험을 실시하였다. 시험이 이루어지는 동안 기저방사선은 150±30 $nSv\cdot^{1}h$로서 시험절차에 적합하였다. 시험결과 평가된 보정인자를 Figure 4에 나타내었다. 그림에서 확인할 수 있듯이 D선량계의 경우 미소요동에 매우 민감하게 반응함을 확인하였다. 이를 제외한 나머지 기기들은 모두 요건을 만족하는 것으로 평가되었다.

다음은 피시험기기의 6면에 대해 1.5 m높이에서 자유낙하시험을 각각 실시하고 기기의 파손여부를 육안으로 확인하였으며 개인선량계의 경우 시험 전에 저장되었던 누적선량에 대한 정보가 유실되었는지의 여부도 검사하였다. 낙하시험결과, A선량계는 LCD 표시장치가 심하게 손상되었으며 C선량계는 전원접속부분이 느슨해져서 시험을 반복할 때마다 접속을 복구해야했다. 낙하시험 후 평가된 보정인자를 Figure 5에 나타내었다.

Figure 6에는 진동시험 결과를 나타내었다. 선량계 A와 D는 동작불능상태가 되어 그림에 표시할 수 없었다.

2.3 방사선 계측장치 성능시험 장치 개발 및 특성조사

2.3.1 낙하시험(Drop test) 및 미소요동(Microphony)과 진동(Vibration) 영향평가 시험

기계적 충격시험은 낙하 및 미소요동시험으로 구분된다. 각 시험에 대한 절차와 요건을 간단히 기술하면 다음과 같다.

낙하시험: 피시험기기는 1.5 m높이로부터 단단한 목재표면[9]으로의 자유낙하충격을 견뎌야한다. 이때 보정간격반폭은 0.07 이하로 유지되어야한다. 이 시험은 피시험기기의 각 6면에 대해 실시한다. 낙하시험 전에 저장된 누적선량에 대한 정보를 유지해야한다. 피시험기기의 6면에 대해 1.5 m 높이에서 자유낙하시험을 각각 실시한다.

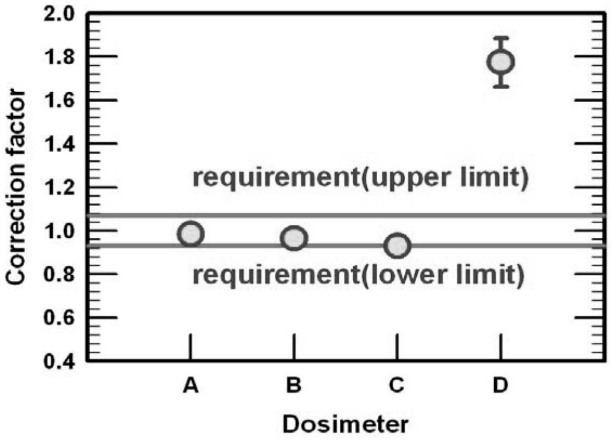

Fig. 4. Microphony test results.

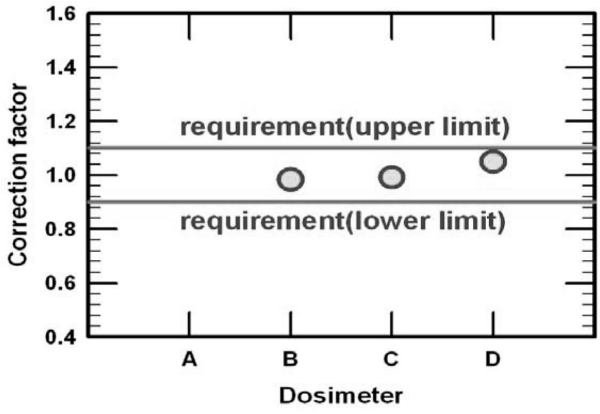

Fig. 5. Drop test results.

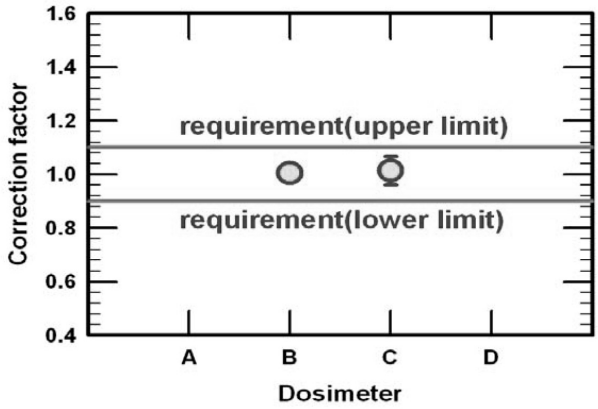

Fig. 6. Vibration test results.

2.3.2 전자파 영향평가 시험장치 제작 및 특성조사

전자파가 주변에 영향을 주는 것을 전자파 장해(EMI), 악영향을 견디는 것을 전자파 내성(EMS)이라고 하며 두 가지를 합해 전자파 적합성(EMC)이라고 한다. IEC61526에 준하여 방사선계측기 성능평가 규격을 IEC61000-4-3(Radiated electromagnetic field) 시리즈로 채택하고 전자기파 장해 내성시험 장치를 설계 하였다. 관련 자료 및 규격을 수집, 분석하여 본 시험에 가장 적합한 GTEM(GigaHelz Transverse ElectroMagnetic) cell을 선정하고 방사선계측 장비가 30cm X 30cm X 30cm의 크기를 벗어나지 않다는 판단으로 미국

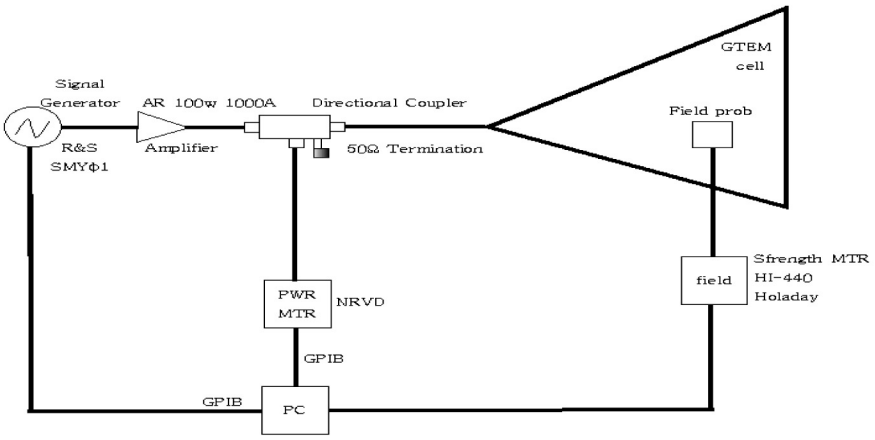

Fig. 7. GTEM system and it's circuit diagram for electromagnetic field immunity test.

LINDGREN사의 GTEM 5405를 도입하여 GTEM의 가장 중요한 요소인 균일도 및 VSWR(Voltage Standing Wave Radio)를 측정하였다. 균일도는 10 MHz에서 1 GHz까지 인가하여 4, 5 point 및 중심점에서 측정한 결과 4dB-6dB를 나타내고 있으며 VSWR은 2 GHz까지 측정한 결과 1.6:1을 잘 유지하고 있음으로 이 장치의 적합함을 보여주고 있다. 본 장치에서 디지털 개인선량계의 전자기파 내성시험을 수행하여 보았다. x- & Gamma용 개인선량계는 수입 제품으로 앞의 낙하시험에서 사용한 피시험기와 동일한 personal dosimeter이고 중성자용은 영국회사 제품으로 dosimeter를 선정하여 IEC 61000-4-3규격에 의거 전자기파 내성시험을 수행한 결과 X, γ-선용 선량계는 10%가 IEC61526 규격에 벗어난 오동작을 보이고 있으며 중성자선량계의 경우에는 거의 85%의 선량계가 전자기파내에서 IEC61526 규격인 ±7%를 초과한 방사선량을 나타내고 있어서 전자파 내성시험의 중요성을 보이고 있다. 이러한 결과로부터 방사선계측기를 제작할 때 설계에서부터 성능시험에 대비한 요건을 고려하여야 함이 증명되고 있으며 특히 재질의 종류에 따라 전자기 환경의 영향이 매우 달라질 수 있음을 유의하여야 함을 알 수 있다.

2.3.3 자기장 영향평가 시험장치 제작 및 특성조사

자기장 내성에 대한 국제규격은 주거 및 상업지역, 산업설비 및 발전소, 중 · 고압 송전소와 관련된 전원주파수에서의 자기적 장해에 대한 동작중인 장비의 내성 요건에 관한 내용으로 케이블이나 자기장 장치의 다른 부분에서의 용량 또는 유도성 결합에 의한 장해는 고려하지 않는다. 이 규격의 목적은 전원주파수의 자기장(연속적, 단속적 자기장)이 인가될 때 가정용, 상업용 및 산업용 전기 · 전자제품의 성능평가를 위한 공통적이고 재현성 있는 기초를 마련하는데 있다. 자기장 내성 시스템 구성은 Figure 8과 같이 전원주파수 파형을 생성하는 파형발생기, 파형발생기에서 생성된 파형의 전력을 증폭시켜야 유도코일에 규격에서 요구하는 자기장을 생성시킬 수 있는데 이를 위한 전력증폭기, 전류에 의해 자기장을 생성시키는 유도코일과 자기장을 측정하기 위한 자속계 및 탐지코일로 구성되어 진다. 파형발생기는 Hewlett Packard사의 Model No. Hp3325B, 전력증폭기는 2대의 Tecron사의 Model No.7560을 병렬로 연결하여 사용하였고, 자기장 측정에는 자속계 RFL916과 NA=1.0×10^{1}m^{2}인 제작한 탐지코일을 사용하였다. 그리고 유도코일에 흐르는 전류를 모니터 하기위해 Leeds & Northrup CO.에서 제작한 100A용 0.1Ω shunt와 Digital Voltage Meter(Model No.: Hp3458A)을 사용하였다.

2.3.4 정전기 방전 내성시험 장치 개발 및 특성조사

IEC61000-4-2(Electrostatic discharge) 내성(immunity)시험 규격은 0 kV to ±8 kV air discharge, 0 kV to ±4 kV contact discharge이다. 정전기 방전은 시험 대상 물체가 사람을 가정하여 EUT(Equipment Under Test)가 방전에 대한 내성을 갖느냐하는 것으로서 특히 정전기장을 이용하는 Direct reading ionization chamber와 같은 방사선계측기는 매우 중요한 시험이 된다. 다음 Figure 9에 ESD(Electrostatic Discharge)에 대한 설명이 잘 보여 지고 있다.

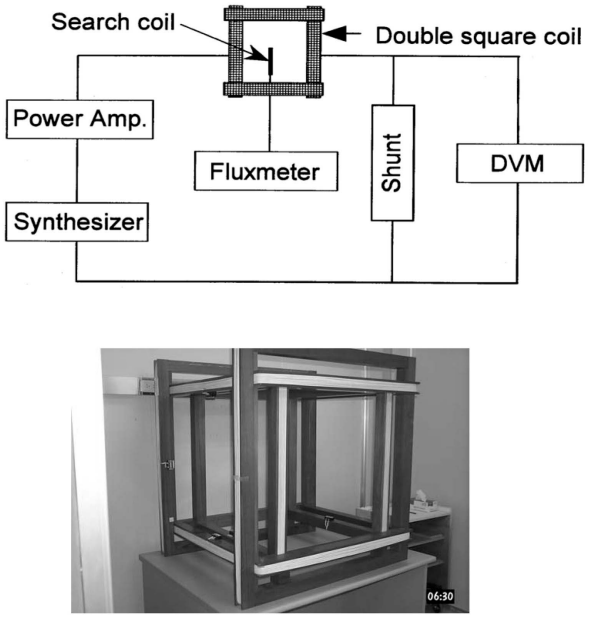

Fig. 8. Magnetic immunity test system and it's circuit diagram.

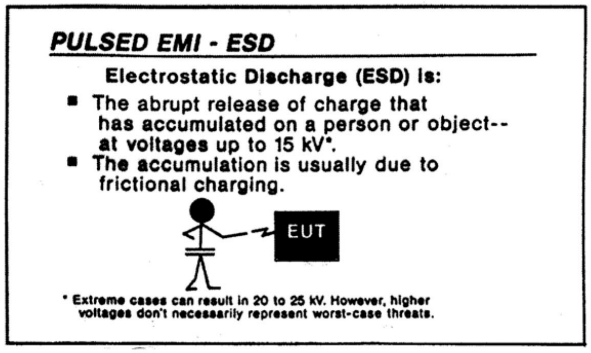

Fig. 9. Concept of an electrostatic discharge.

Fig. 10. Electrostatic discharge test of a Neutron personal dosimeter.

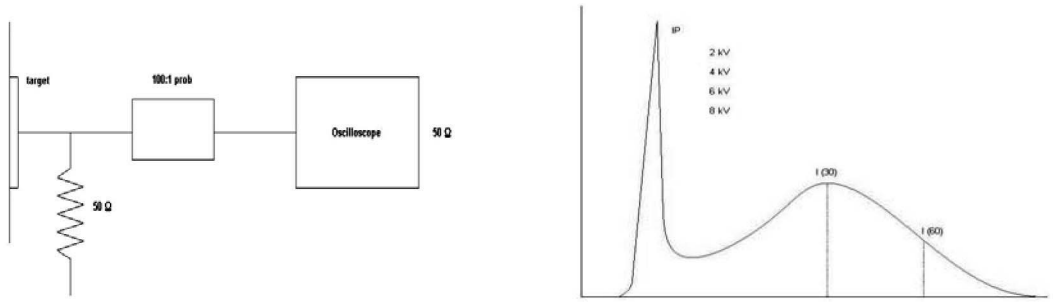

Fig. 11. ESD generator calibration circuit(left) and it's IP peak configuration.

(1) 정전기 방전에 대한 내성시험

정전기 방전에 대한 내성 시험(Electrostatic discharge immunity test)은 두 가지로 나누어진다. 즉 정전기 방전은 앞에서도 설명한 대로 simulator가 사람이므로 예를 들어 방사선 개인선량계를 인체에 부착하고 있다가 손으로 잡았을 때 사람이 가지고 있는 대전전위가 EUT(개인선량계)에 방전되며 일으키는 전기적 장해를 측정하는 것이다. 따라서 인체를 simulator로 가정하고 ESD simulator로 시험하는 방법이 사용되므로 EUT의 casing 재질에 따라 측정 방법이 다르다. 만약 EUT가 전도성 물질이면 air discharge 방법이 사용되고 비전도성 물질이면 contact discharge 방법이 사용되며 시험 방법은 다음과 같다[6].

(가) Air discharge 방법

EUT의 casing이 전도성 물질로 만들어졌다면 공기 중에서의 정전기 방전을 시험하게 되며 EUT에 ESD simulator를 빠르게 근접시켜 접촉하면서 접촉된 순간에 simulator에 나타난 계측값을 기록한다.

(나) Contact discharge 방법

EUT가 비전도성 물질의 casing으로 되어 있으면 contact discharge 방법이 사용되고 ESD simulator tip을 EUT 표면에 접촉한 상태에서 switch-on하여 voltage 값을 읽는다. 다음 Figure 10에 ESD simulator로서 Neutron personal dosimeter의 contact discharge 내성시험 장면이 보여 지고 있다.

(2) ESD simulator의 특성조사

IEC61000-4-2의 정전기 방전 내성시험 장치인 ESD simulator 성능 평가는 두 가지 조건을 만족하여야 한다. 첫 번째는 IP 가 IEC 기준값에 만족하느냐를 시험하게 되며 두 번째는 IP peak가 IEC 기준에서 정해진 시간 내에 형성되느냐를 시험하여야 한다. Peak의 모양에서 10% 지점에서부터 90% 지점까지 도달되는 pulse 형성시간이 0.7 ~ 1 nano sec에 포함되어야 한다[6]. 다음 Figure 11에 ESD simulator의 회로도와 IEC61000-4-2 에서 제시한 IP peak graph를 보여 주고 있으며 이러한 시험 장치를 Figure 12에 사진으로 나타내었다.

(3) ESD Simulator의 측정결과의 신뢰수준 약 95 %(k=2)

다음 Table 5에 EDS Simulator의 교정을 위한 출력전압 대비 Ip peak를 보여주고 있으며 네 가지의 출력 전압 중 4 kV에 대한 측정 그라프를 나타내었다. 이 시험은 KRISS C-14-8-0010-2000교정절차서와 IEC61000-4-2(1992)에 의거하여 실시되었다[10].

Fig. 12. Calibration system for verification of ESD simulator(Haefely PESD 1610).

Table 5. Calibration results of the EDS simulator.

피교정 장비 출력 전압(kV)	I_P (A)	$I_{30\,ns}$ (A)	$I_{60\,ns}$ (A)	입상시간 (ns)
2	7.56±0.53	3.48±0.38	1.44±0.32	0.88±0.06
4	15.30±1.07	7.88±0.87	2.88±0.63	0.86±0.06
6	23.00±1.61	12.20±1.34	5.00±1.10	0.85±0.06
8	30.00±2.10	17.20±1.89	6.00±1.32	0.91±0.06

3. 결과 및 논의

물리적 환경의 시험 장치인 온·습도, 진동, 낙하, 미세진동, 내염분, 내방수 시험 장치와 전자기파, 정전기장, 자계 장 내성 시험장치가 set-up 되었고 이러한 장치는 표준절차서 확립을 위한 국제적 규격의 수집 및 분석을 수행하여 이루어졌고 이것을 토대로 세계적 추세인 IEC 규격을 채용하여 IEC61526를 선택하게 되었다. 물리적 환경에서의 내성시험 중에서 가장 민감한 시험 항목으로서 특별한 결과를 보이고 있는 낙하시험(Drop test)과 미세진동시험(Microphony test) 결과를 위의 2.3절에서 인용하여 그 결과를 table 6에서 정리하였다. 본 연구에서 선정한 국산 개인선량계는 시험결과 모두 부적합으로 판정되었으며 외국산 개인선량계 만이 미소요동시험과 낙하시험에 모두 적합한 것으로 판명되었다.

위와 같은 시험 결과에서 보면 국내 I사의 제품은 미세요동시험은 적합하였고 낙하시험에서 표시부인 Digit가 작동되지 않았으나 분해하여 확인한 결과 제어부와 표시부 사이의 연결 전선 핀의 접속 불량이 판명되어 문제점이 해결되었으며 외국산의 경우에는 R사의 제품만이 모든 시험에서 적합하게 구성되어 있음을 알 수 있어 국내의 방사선계측기 개발자에게 좋은 Know-How를 제공할 수 있게 되었다.

또한 현재 국내의 방사선계측기 교정을 담당하면서 얻어진 경험으로 비추어 볼 때 서베이미터 뿐 만 아니라 개인선량계도 시험이 가능한 크기의 복사전자파 내성 시험 장치인 GTEM을설계, 개발하였으며 측정회로 구성과 함께 특성 조사를 하여 본 결과 TEM의 특성을 나타내는 VSWR와 균일도 측정값 매우 양호한 결과를 얻었다. 전자파 장해방어의 실질적인 내성시험을 하여 본 결과, Gamma & X-선용 개인선량계에서는 10개 중 한 개에서 내성시험 판독치가 불합격하는 결과를 보여주고 있다. 이 기기에 대해서는 3축 방향으로 재측정하여 보았으나 모두 동일한 결과를 보이고 있어 기기에 결함이 있음을 알 수 있다. 중성자 개인선량계의 경우에는 전자파가 가해지는 상태에서 90개의 실험 대상기기의 65%에 달하는 선량계에서 IEC61526의 기준치(앞의 Table2)인 7%범위에 벗어나는 결과를 나타내고 있어 심각한 장해를 받고 있다고 판명되며 이는 참고자료[11]에서 언급한 바와 같다. 두 종류의 시험 결과를 분석하면 외국의 R사 제품은 선량계 외부가 금속성 재질로 되어 있으며 전자파 차폐성 페인트가 도포되어 있어 비교적 전자파 내성이 강한 특성이 있으나 외국 T사의 중성자 개인선량계는 plastic 재질로 되어있어 전자파 장해에 약점을 보이는 단점이 파악된다. 이러한 현상은 또 다른 외국 S사의 디지털 중성자 개인선량계에서도 동일하게 나타나고 있는 것으로 이는 디지털화 되어 가고 있는 방사선계측기의 형태에서 볼 때 설계에서부터 고려하여야 할 사항임

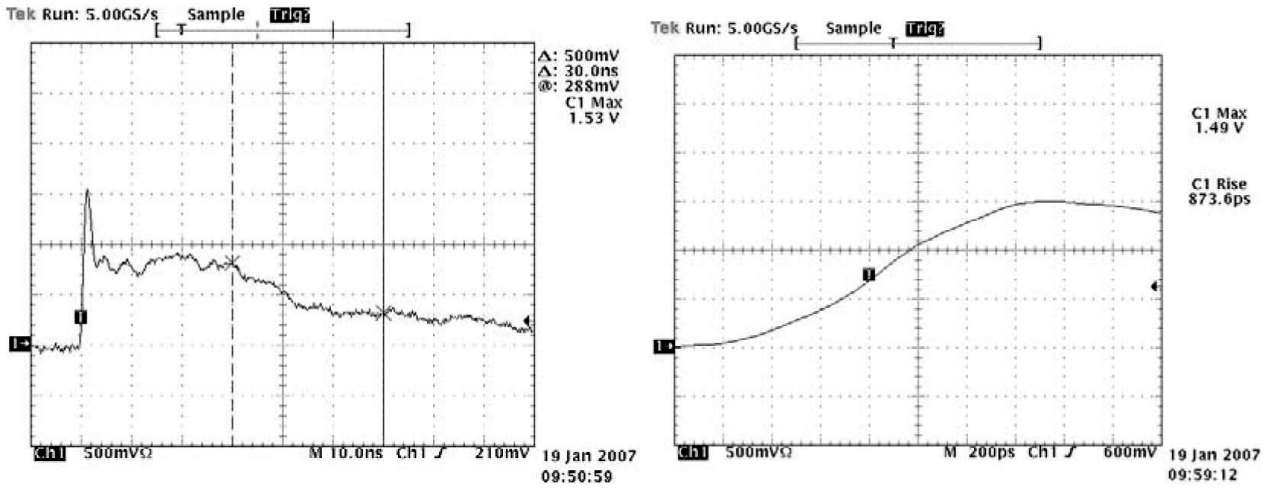

Fig. 13. Graph of the calibration results of the EDS simulator.

Table 6. 미소요동 및 낙하시험결과

피시험기기	미소요동시험	낙하시험
외국산 선량측정기(A)	적합	부적합(LCD 파손)
외국산 개인선량계(B)	적합	적합
국산 선량측정기(C)	적합	부적합(접촉불량)
국산 개인선량계(D)	부적합(보정간격반폭>0.07)	부적합(보정간격반폭>0.1)

이 분명하다. 또한 자기장 영향평가 장치 개발을 위하여 미국의 ANSI 규격을 적용한 800A/m의 인가전압을 갖는 자기장 영향평가 시험 장치를 개발하였으며 성능 및 특성 조사하였으며 IEC61000-4-2의 기준에 의한 교정을 실시하였다. 정전기장 내성시험 장치인 ESD Simulator를 구입하고 특성조사를 위한 교정을 수행하였다.

4. 결 론

국제표준기구는 발행하는 기술 문서를 통하여 권고(recommendation) 형식의 국제표준 규격을 제시하게 되며, 이러한 국제표준 규격을 세계 각 국의 국내위원회가 국가 규격으로 채택을 하게 되면 비로써 강제성을 띠는 국가규격이 되는 것이다. 이 때 국내위원회가 국제표준화 규격을 그대로 국가규격으로 수용할 수도 있지만 대부분의 국내위원회에서는 자국의 현실을 충분히 반영하여 규격의 발효시기, 강제력 부여 여부, 적용대상 등을 규정하게 된다.

방사선계측기의 개발 및 생산은 십 수 년 전부터 국내의 학계 및 산업계에서 계속적으로 진행되어 오고 있으나 성능평가를 통한 신뢰성 및 품질 보증의 미비로 낮은 국내점유율과 수입대체 효과를 보이지 못하고 있는 실정이고 특히 최근에는 값이 저렴한 저급의 방사선계측기가 수입되어 사용되고 있어서 방사선 안전관리에 심각한 허점을 보이고 있으며 국내의 방사선계측기는 전적으로 수입에 의존하는 현실에서 이러한 심각성은 방사선계측기의 성능평가 시스템 및 인증체계의 확보가 더욱 절실한 국가적 사업으로 요구되고 있다. 국제적 상황으로는 국제원자력기구의 IAEA SS RS-G-1.3(1999) Safety Series[12] 규제안을 서구 유럽에서는 수년전부터 채용하고 Type test 및 Routine test를 의무규정의 입법화하여 적용하고 있어 방사선계측기에 대한 엄격한 품질관리 및 방사선 안전과 방어를 국가적으로 운영하고 있다. 일본에서도 JAERI KAWASAKI에서 방사선계측기 성능평가 센터를 설립하여 현재 입법화를 추진 중에 있어 세계적으로 법제화한 type test와 routine test를 적용하고 있는 추세로서 이는 자국의 방사선계측기 산업의 보호 및 육성 뿐 만이 아니라 무역보호 장벽 역할도 하고 있다. 본 연구과제는 위와 같은 관점에서 매우 중요한 국가적 과제로써 역할과 필요성이 강조되고 있으며 **물리적 환경**에서의 방사선계측기 성능평가 시스템 개발 및 특성평가를 수행한 데 이어 **전자기적 환경**에서의 방사선계측기 성능평가 기술 개발 및 특성조사를 수행하였으며 이 과제를 수행함에 있어 연차적으로 확립된 성능평가 시험을 곧바로 사회에 지원하기 위하여 방사선 종류별로 가장 사용빈도가 높은 선정된 방사선계측기로서 성능시험을 실시하고 시험성적서를 제작함으로서 활용성을 높이도록 하였다. 국제적 전망 및 국내의 방사선 관련 산업 현황에 비추어 볼 때“ 방사선계측기 성능평가 ”의 체계 확립이 조속히 실현되어야 하므로 전자기적 환경에서의 방사선계측기 성능평가 시스템 구축이 완료되고“ 방사선계측기 성능평가법 ”이 구체화되어 나아가 방사선계측기 성능평가 제도화를 목표로 진행되어야 한다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단을 통하여 과학기술부가 시행한 원자력연구개발사업 연구비 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 한국전자파기술학회. 국내 전자파 내성에 관한 시험방법 개발연구. 한국무선국관리사업단 KORA 94-1, 1995;1-2.
2. 하석호, 이철영, 전국진, 김현문, 최길웅. 방사선안전관리장비의 성능시험-감마선선량계에 대한 방사선시험을 중심으로. 2004년도 춘계학술발표회논문집, 대한방사선방어학회, 2004;193-197.
3. 이철영, 하석호, 김현문, 최길웅, 전국진, 안길훈. 방사선안전관리장비의 성능시험-기계적 충격시험을 중심으로. 2005년도 춘계학술발표회 논문요약집, 대한방사선방어학회, 2005;158-159.
4. 최길웅, 김정호, 이민기. 방사선계측기 성능평가기술에 대한 최근 동향 및 복사전자파 영향평가 기술개발. 2006년도 추계학술발표회 논문요약집. 대한방사선방어학회, 2006;162-163.
5. IEC61526 Ed.2,0 Radiation protection instrumentation-Measurement of personal dose equivalents Hp(10) and Hp(0.07) for x, gamma, neutron and beta radiations-Direct reading personal dose equivalent meters and monitors and personal warning devices. 2002.
6. IEC61000-4-2(Electrostatic discharge, charging voltage), IEC61000-4-3(Radiated electromagnetic fields, field strength and modulation), IEC61000-4-3(Radiated electromagnetic fields of mobile phones, field strength and modulation), IEC61000-4-4(Conducted disturbances induced by fast transients/burst, peak voltage), IEC61000-4-5(Conducted disturbances induced by surges, peak voltage and rise time), IEC61000-4-6(Conducted disturbances induced by Radiofrequencies, frequency and voltage), IEC61000-4-8(50Hz(or 60Hz as appropriate) magnetic field, field strength), IEC61000-4-11(Voltage dips/short interruptions, duration)
7. ISO. International Organization for Standardization(ISO), X and gamma reference radiation for calibrating dosemeters and doserate meters and for determinining their response as a function of photon energy - Part 3: Calibration of area and personal dosemeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence. ISO-4037-3. Geneva. 1999
8. Private communication
9. International Electrotechnical Commission, International Standard IEC60068-2-27. 1987.
10. Standard procedure of calibration for a Pulsed Electrostatic Discharge Simulator : KRISS C-14-8-0010-2000. 2000
11. M. Luszik-Bhadra. Electronic personal dosemeter: The solution to problem of individual monitoring in mixed neutron/Photon fields. J. Radiation Protection Dosimetry. 2004;110(1-4):747-752.
12. International Atomic Energy Agency, Safety Standards Series No. RS-G-1.3. 1999.

Development of a Techniques of the Performance Test for a Radiation Protection Devices and it's International Standards

Kil Oung Choi*, Sung Ho Won, Jung Ho Kim, Suck-Ho Hah, Chul-Young Yi, Hyun-Moon Kim, Min Kee Lee
Korea Research Institute of Standards and Science

Abstract - International Standardization in all technical area is gaining its momentum as its impact and implication over global trade is directly linked. The worldwide competition to secure a dominant position in the standardization process is ever growing over the years. In 2005, the International Technical Committee on Nuclear Instrumentation, which is a subunit of International Electro-technical Commission (IEC), was held in Korea under the auspices of MOST (Ministry of Science and Technology). Korea has adopted its Rule and Regulation as the National Standard. As a part of a link to National Mid-and Long-term Atomic Energy R&D Program of MOST, the technical development of a performance test for the radiation monitors was carried out under mechanical environment and electromagnetic immunity conditions. The characteristics of the radiation fields were also evaluated under the conditions and introduced to a techniques of performance test for the radiation protection instrumentation adopted IEC61526 standards and it's results was analyzed. We would like to share the experience gained in these efforts, failure as well as success, and to discuss the problems encountered and serious consideration to be taken into account in the future endeavor.

Keywords : International Standardization, International Electro-technical Commission (IEC), Performance test for nuclear instrumentation