Journal of the KIMST, Vol. 20, No. 2, pp. 300-305, 2017
ISSN 1598-9127
DOI http://dx.doi.org/10.9766/KIMST.2017.20.2.300

Research Paper 화생방 · 환경 부문

군사용 방사선 계측기 PDR-1K 반응도 평가 : 방향 및 에너지 의존성을 중심으로

박원석[1] · 최준혁[2] · 정도영[2] · 김장오[2] · 민병인[*,2]

[1] 공군 85정밀표준정비창
[2] 인제대학교 재난관리학과

Evaluation for Performance of a Military Radiation Detecter PDR-1K : Focused on Dependence of Angular and Energy

Wonseok Park[1] · Junhyuk Choi[2] · Doyoung Jung[2] · Jango Kim[2] · Byungin Min[*,2]

[1] *The 85 Precision Standard Maintenance Depot, Air Force, Korea*
[2] *Department of Emergency Management, Inje University, Korea*

(Received 11 October 2016 / Revised 16 December 2016 / Accepted 24 March 2017)

ABSTRACT

In this paper, we performed a evaluation for angular and energy dependence of military radiation detector PDR-1K. Its measuring range is divided into two section, low and high, and each range has a GM tube separately owing to broad scale. We observed a change in relative angular reactivity within 0.928 ~ 1.188 in low range and within 0.743 ~ 1.000 in high range from -90° to +90°. The evaluation for energy dependence appeared a relative reactivity within 0.892 ~ 1.000 above 83 keV. This means PDR-1K isn't possible to use below 83 keV of radiation energy. It is possible to provide response information to user and to increase reliability of radiation measurement through this paper.

Key Words : X/Gamma Surveymeter(엑스/감마서베이미터), Angular Dependence(방향 의존성), Energy Dependence(에너지 의존성), Radiation Measurement(방사선 계측)

1. 서 론

한국군의 화생방무기에 대한 정찰능력은 6.25전쟁 직후부터 현재까지 발전을 거듭하여 우수한 수준으로 평가되고 있다. 최근에는 북한의 반복되는 핵실험으로 화생방분야 중에서도 방사선정찰 및 계측에 대한 관심이 높아지며 한국군은 국내기술로 개발한 휴대용 방사선 계측기 PDR-1K를 양산 보급하여 화생방 정찰에 대비하여 운용하고 있다.

군사용 방사선 계측기 PDR-1K는 핵폭발과 방사성 물질을 사용한 테러, 사고 등에 대비하여 개발했기 때

* Corresponding author, E-mail: rimbi@inje.ac.kr
Copyright ⓒ The Korea Institute of Military Science and Technology

문에 국내에서 일반적인 방사선안전관리에 사용하는 계측기에 비해 넓은 1 uGy/h ~ 1,000 cGy/h의 감마선 측정 범위를 보유하고 있다. 방사성물질 누출지역 또는 누출이 예상되는 환경에서 개인이 휴대하여 인원, 장비, 물자 등에 조사되는 감마선을 계측하여 선량과 선율정보를 제공함으로써 방사선 피폭을 저감시켜 전투력 손실을 최소화 하는데 목적이 있다.

PDR-1K를 포함한 일반적인 방사선계측기의 방사선 측정결과는 동일한 방사선량율의 환경에서도 방사선 에너지, 입사방향등 다양한 변수에 의존하여 반응도가 변화하는 특성을 가진다[1,2]. 방사선계측기의 검출부를 기준으로 방사선의 입사방향에 따라 지시치가 변화하는 특성을 방향의존성이라고 하며 입사방사선의 에너지에 따라 지시치가 변화하는 특성을 에너지 의존성으로 정의한다.

방사선 측정결과에 영향을 미치는 다양한 인자에 따라 계측기의 지시값이 변화하는 특성 때문에 IAEA SS RS-G-1.3(1999)의 Safety Series 규제를 선진국에서는 채용하고 방사선 측정기의 형식시험, 정기적 시험 및 성능 평가를 법제화하여 의무규정으로 적용함으로써 방사선 측정기에 대한 엄격한 품질관리를 국가적으로 시행하고 있다[3]. 국내의 경우 IEC 60846을 KS A IEC 60846으로 채용하여[4] 방사선측정기의 형식 및 정기시험 평가기준을 한국산업규격으로 제시하여 방향 및 에너지 의존성을 포함한 다양한 정보를 사용자에게 제공하도록 규정하고 있다.

또한 국제표준화기구는 교정기관의 능력에 관한 일반적인 요구사항을 ISO/IEC 17025라는 국제표준규격으로 설정하였다. 이 규격의 인정을 받은 전리방사선분야 교정기관이 사용하는 엑스/감마 서베이미터 표준교정절차[5]는 방사선질, 방사선빔 균질도, 계측기의 분해능, 2차 방사선 등 다양한 인자를 포함시켜 교정인자에 대한 일반 적인 불확도로 평가하고 있으며 사용자 요구 시 방향 및 에너지 의존성 또한 불확도의 요인으로 판단하고 있다.

본 연구에서는 PDR-1K의 방향 및 에너지 의존성을 표준광자조사장치와 엑스선발생장치를 이용하여 평가하였다. 기존의 PDR-1K의 방향의존성 및 120 keV 이하의 에너지의존성에 대한 평가를 통하여 계측결과에 영향을 미치는 정도를 파악함으로써 방사선누출지역 정찰시 정확한 정보를 사용자에게 전달하여 한국군의 화생방 작전 운용에 있어서 방사선 방호 효율성을 극대화 하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 방향의존성

Fig. 1 Radiation detector PDR-1K

PDR-1K(Fig. 1)을 대상으로 방향의존성을 평가할 표준물질은 ISO에서 제시한 기준[6]에 따라 준비하였다. 선스펙트럼 에너지 분포를 나타내는 ^{137}Cs을 밀봉 표준선원으로 사용하였다. 표준선원은 광자조사장치(COMERCER社, DIR-101)에 내장하여 별도의 제어장치를 사용하여 조작 가능하도록 제작하였다.

텅스텐, 니켈, 구리 합금으로 제작된 12° 집속기를 사용하여 산란 광자를 차폐하였고, 방사선 조사장 균질도, 유효빔 면적, 산란선 평가, 교정 장착대의 직진도 등을 실험전에 측정하여[7] 국제기준에 적합한 것을 확인하였다. 공기커마율(Air kerma rate)은 광자조사장치의 표준 교정 절차[8]에 따라 이온전리함을 이용하여 내삽법으로 측정하였고 이 값을 방향의존성 평가의 기준선량율로 사용하였다.

PDR-1K는 저선량율과 고선량율 각각의 GM Tube를 별도로 사용하며 저범위는 1 uGy/h ~ 1 cGy/h를 계측하고, 고범위 GM Tube는 1 cGy/h ~ 1000 cGy/h 범위를 측정한다. 따라서 저,고범위를 측정하는 각각의 GM Tube의 방향의존성 평가를 실시하였다. PDR-1K의 교정기준선량을 나타낸 Table 1에 따라 저범위 기준선량은 400 uGy/h, 고선량율의 기준선량은 4 cGy/h을 조사하고 모든 측정값은 10초 간격으로 10회 측정하여 평균값으로 표시하였다.

Table 1. Calibration range and point of PDR-1K

Calibration range	Calibration point
0 ~ 34.8 uGy/h	20 uGy/h
34.8 ~ 870 uGy/h	400 uGy/h
870 uGy/h ~ 0.87 cGy/h	0.4 cGy/h
0.87 ~ 8.7 cGy/h	4 cGy/h
8.7 ~ 87 cGy/h	40 cGy/h
87 ~ 696 cGy/h	300 cGy/h
696 ~ 1044 cGy/h	800 cGy/h

방향의존성의 회전 중심점은 사용자 편의를 위해 PDR-1K 외부 케이스의 중심점으로 채택하고, 표준 조사선빔의 수직중심은 내장된 GM Tube의 중심을 기준으로 설정하였다. 회전각은 국제기준과 KS규격[4]이 제시한 기준을 적용하여 0°, ±45°, ±90° 지점에서 저선량율 및 고선량율의 응답의 의존성을 나타내었다.

2.2 에너지의존성

PDR-1K는 ^{137}Cs, ^{60}Co 등 600 keV ~ 1.3 MeV 에너지 범위에서 방사성 핵종에 의한 감마선 평가가 이루어졌기 때문에 본 연구에서는 120 keV 이하 저영역의 에너지 범위에서 응답성을 평가하였다. 50 ~ 120 keV 영역의 에너지스펙트럼을 가지는 기준 방사선장은 방사성동위원소로 구성하기 불가하므로 ISO4037-1에서 제시한 기준에 따라 방사선발생장치(YXLON社, MG325)를 표준물질로 선택하였다.

필터는 Be과 Al을 각각 3 mm, 3.7 mm를 사용하고 기준거리 2 m에서 엑스선을 조사하였다. 엑스선은 좁은빔을 선택하였고 관전압(Tube potential)과 엑스선의 평균에너지(Mean Energy), 공기커마율은 ISO4037-1과 방사선발생장치의 교정성적서가 제시한 값을 적용하여 Table 4에 나타내었다.

엑스선 선질당 10초 간격으로 10회 측정후 평균값을 대푯값으로 결과를 표시하였다. 방사선 에너지 영역별로 상대적 응답성을 계산하기 위해 방향의존성 평가에 사용한 ^{137}Cs을 표준방사선원으로 Table 1에 따라 기준공기커마율 40 cGy/h를 조사하여 계측한 후 기준값을 지시하도록 PDR-1K를 조절하여 상대응답성 1.000으로 나타내었다.

3. 결과 및 논의

3.1 방향 의존성 평가

Table 2는 PDR-1K의 저범위 GM Tube의 방향의존성 평가결과이다. 400 uGy/h 공기커마율에 대한 반응도는 -90°부터 90°까지 5개 각도에서 0.961 ~ 1.231범위에 분포를 보이고 있다. 이 반응도를 다시 광자조사장치의 정면부 0°를 기준으로 상대적으로 나타낸 분포도는 0.928 ~ 1.188을 나타내었다.

-90°를 제외한 나머지 방향에서는 반응도가 증가하는 양상을 보이며 -90°에서 가장 낮은 반응도를 보이고 반대로 90°에서 가장 높은 반응도를 나타낸다. Fig. 2를 보면 -90°에서 약 7 % 낮게 나오지만 90°에서는 약 20 %가 높아지며 각도에 따른 다양한 반응도 결과가 도출되었다.

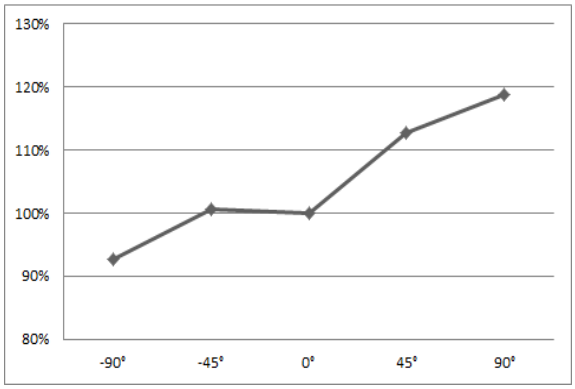

Fig. 2. Rate of response at low range

PDR-1K 고범위 GM Tube에 대한 방향의존성 평가결과는 Table 3에 표시하였다. 4 cGy/h 공기커마율에 대한 반응도는 -90° ~ 90°까지 0.775 ~ 1.043 범위로 분포하였고 이 계측값을 0°를 기준으로 상대적으로 나타낸 분포는 0.743 ~ 1.000을 보이고 있다.

Fig. 3을 보면 0°를 제외한 모든 방향에서 반응도의 하락이 나타나며 특히 90°에서는 약 26 %가 낮아진 결과를 보인다.

저범위와 고범위의 반응도 변화 측정결과 모두 IEC에서 제시하는 조건인 ± 30 %[8]를 만족하고 있음을 확인하였다. 저범위와 고범위 영역을 비교해보면 저범위 영역에서 -90°가 가장 낮은 반응도를 보인 것과 반대로 고범위 영역에서는 90°에서 가장 낮은 반응도를 나타내고 있다.

Table 2. Result of response of angle at low range

Angle of radiaion beam	Air kerma rate	Reading	Response	Normalized Response
- 90°	400 uGy/h	384.6 uGy/h	0.961	0.928
- 45°		417.0 uGy/h	1.042	1.006
0°		414.4 uGy/h	1.036	1.000
45°		467.2 uGy/h	1,168	1.127
90°		492.4 uGy/h	1.231	1.188

Table 3. Result of response of angle at high range

Angle of radiaion beam	Air kerma rate	Reading	Response	Normalized Response
- 90°	4 cGy/h	3.955 cGy/h	0.989	0.948
- 45°		3.959 cGy/h	0.990	0.949
0°		4.171 cGy/h	1.043	1.000
45°		3.666 cGy/h	0.917	0.879
90°		3.100 cGy/h	0.775	0.743

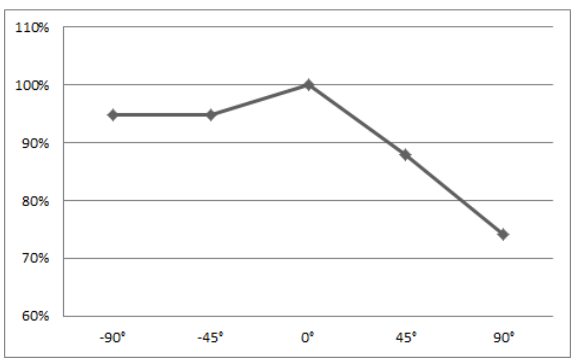

Fig. 3. Rate of response at high range

또한 저범위는 0°를 기준으로 시계 방향으로 회전할수록 반응도가 급격히 높아지는 양상을 보이는 반면 고범위는 동일 방향으로 회전시켰을 때 반응도가 급격히 낮아지는 양상을 보이고 있다. 저범위와 고범위 모두 0°를 기준으로 반시계 방향에서의 반응도가 각각 5 %와 7 %로 하향되는 것으로 유사한 경향을 보이나 시계 방향에서는 저범위는 약 20 %까지 증가하나 고범위는 26 %까지 하락하는 결과를 보인다.

따라서 PDR-1K를 이용한 측정결과는 저, 고범위 각각의 선량율 구간을 확인하고 방사선 입사방향에 따라 방사선 계측 정확도를 더욱 향상 시킬 수 있음을 확인하였다. 특히 모든 구간에서 ± 90° 입사방향, 즉 사용자가 측정하는 방향의 측면에서 방사선이 입사할 경우 반응도변화에 의해 PDR-1K의 지시값 오차가 20 % 이상 커질 수 있음을 유의하여야 함을 알 수 있다.

3.2 에너지 의존성 평가

방사선발생장치를 사용한 에너지의존성 평가결과는 Table 4로 나타내었다. 에너지 의존성 평가의 기준 에너지는 ^{137}Cs을 사용하여 662 keV를 반응도 1.000을 적용하여 나머지 에너지 영역의 상대 반응도를 계산하였다. 방사성 동위원소 ^{137}Cs을 이용하여 40 mGy/h를 조사한 후 가장 근접한 값을 나타내도록 조절한 결과 39.95 mGy/h 지시값을 계측했다. 엑스선 에너지 48 keV 영역에서는 10회 측정결과 측정값이 최대 10배 이상의 편차가 발생하여 측정불가 영역으로 표시하였다.

65 keV부터 엑스선 측정이 가능한 것으로 평가되었으며 기준공기커마율 18.33 mGy/h에 대한 지시값이 7.586 mGy/h으로 측정되어 이 기준값에 대한 반응도는

Table 4. Result of response of low energy(Narrow spectrum)

Tube potential	Mean energy	Air kerma rate	Reading	Normalized Response
60 kV	48 keV	30.86 mGy/h	-	-
80 kV	65 keV	18.33 mGy/h	7.586 mGy/h	0.414
100 kV	83 keV	7.950 mGy/h	7.081 mGy/h	0.892
120 kV	100 keV	9.500 mGy/h	9.202 mGy/h	0.970
150 kV	118 keV	63.45 mGy/h	57.28 mGy/h	0.904
^{137}Cs	662 keV	40.00 mGy/h	39.95 mGy/h	1.000

0.414로 나타났다. Fig. 4를 보면 실제 방사선량율에 대하여 약 40 %로 측정되는 것을 표시하였다. 83 keV 이상의 엑스선 평균에너지 영역에서부터 반응도가 90 % 수준으로 회복되기 시작하여 100 keV에서 100 %에 근접하고 118 keV에서는 다시 83 keV 영역과 유사하게 90 %로 하락하는 것을 볼 수 있다.

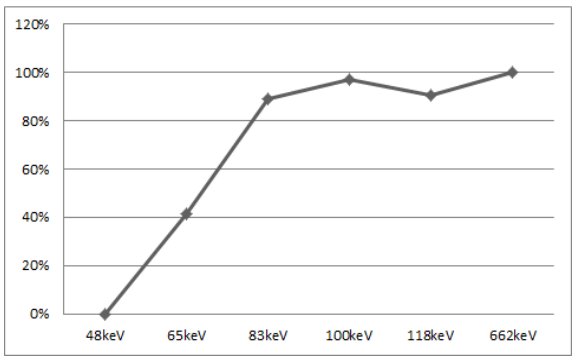

Fig. 4. Rate of energy response

IEC가 제시하는 기준은 ± 30 %를 벗어나지 않도록 규정[8]하고 국내기준 또한 국제기준을 준용하고 있으므로 83 keV 이상의 영역에서 에너지 의존성 조건을 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 48 keV와 65 keV 구간은 방사선계측이 적합하지 않으며 83 keV 이상의 에너지 영역에서 사용이 가능한 것임을 확인하였다.

4. 결 론

방사선을 방출하는 동위원소는 300종류에 이르고 동위원소마다 방출하는 방사선의 종류 및 에너지는 각각 상이하여 핵종에 대한 정보부재시 방사선계측에 대한 각별한 주의가 필요하다. 특히 미지의 방사성물질을 계측해야 하는 전시·테러 또는 그에 준하는 상황에서는 사용자에게 더욱 정확한 정보를 제공하여야 하므로 계측기의 반응도를 고려하여야 한다.

국내외 방사선 계측기관련 규제, 규격을 검토해보면 방사선계측기를 사용하여 측정된 지시는 계측기의 반응도에 영향을 미치는 요인들을 고려하여 사용 전 성능평가가 필요함을 알 수 있다. 사용자가 보유한 계측기의 성능정보를 확인하여 계측값에 값을 분석 할 때 대한 신뢰도를 보장하는데 목적이 있기 때문이다.

PDR-1K는 군의 화생방 장비 운용 특성상 다양한 에너지와 불특정 위치에 존재하는 방사선을 측정하는 환경에서 사용할 가능성이 크다

따라서 본 연구는 PDR-1K 사용자의 계측값에 대한 신뢰도를 더욱 향상시키기 위해 두 가지 반응도를 평가하였다. 방향 의존성 평가결과로부터 계측값에 대한 반응도는 90°에서 최대오차가 발생하며 0°를 기준으로 저범위 GM Tube는 20 % 고범위 GM Tube는 약 30 %의 오차범위를 확인하였다. 반면에 -90° ~ 45° 방향에서는 0°를 기준으로 저,고범위 GM Tube 모두 약 ± 10 % 이내의 반응도를 나타내어 90° 방향의 반응도와 대비되는 것을 확인하였다. 에너지 의존성 평가에서는 83 keV 영역이상에서 반응도가 90 %에 근접하여 PDR-1K의 측정가능한 방사선에너지 영역이 83 keV 이상으로 판명되었다. 이러한 실험 결과에 따라 사용자에게 PDR-1K의 방향 및 에너지에 따른 반응도 정보를 제공할 수 있게 되었다.

PDR-1K의 경우 넓은 측정범위와 방사선 검출기 2개를 내장하고 교정포인트가 8개인 특성을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서 평가한 2가지 요인 외에도 향후

방사선검출기종류와 8개 교정포인트의 개별적인 성능에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

References

[1] Choi, G. W. et al., “Development of a Techniques of the Performance Test for a Radiation Protection Devices and it's International Standards,” Journal of Radiation Protection and Research, Vol. 33, No. 1, pp. 1-12, 2008.

[2] Glenn F. Knoll, “Radiation Detection and Measurement,” John Wiley & Sons, Inc. Newyork, pp. 201-216, 1999.

[3] Choi, G. W. et al., “Development of Characteristic Evaluation Technics for Radiation Detectors,” KRISS, Korea, pp. 1-3, 2005.

[4] KATS, “Radiation Protection Instrumentation - Ambient and/or Directional Dose Equivalent(Rate) Meters and/or Monitors for Beta, X and Gamma Radiation - Part 1 : Portable Workplace and Environmental Meters and Monitors,” KS C IEC 60846-1, Korea, 2014.

[5] Korea Association of Standards & Testing Organization (KASTO), “Standard Calibration Procedure of X and Gamma Radiation Survey Meters,” KASTO 02-26-4030-034, Korea, 2002.

[6] International Organization for Standardization(ISO), “X and Gamma Reference Radiation for Calibrating Dosemeters and Doserate Meters and for Determining Their Response as a Function of Photon Energy - Part 1: Radiation Characteristics and Production Methods,” ISO 4037-1, Geneva, 1996.

[7] Ha, S. H., “Evaluation for Stanadard Gamma Irradiator Performence of 85 PSMD,” KRISS, Korea, pp. 1-9, 2015.

[8] International Electronical Committee(IEC), “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,” IEC61526, Geneva, 2002.