

방사선방호용 측정기 성능시험 체계 구축을 위한 이동식 감마선 조사 시스템 연구

이승규^{1*}, 유형준², 장인수¹, 이정일¹, 김형택¹, 김민채^{1,3}, 김장렬¹

¹한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

²한국원자력안전기술원, 대전광역시 유성구 과학로 62

³한양대학교, 서울특별시 성동구 왕십리로 222

*sklee11@kaeri.re.kr

1. 서론

후쿠시마 원전사고 이후 방사선과 보건영향에 대한 국민들의 관심이 높아졌으며 이에 따라 다양한 방사선/능 측정기들의 사용이 증가하였다. 원자력 관련 시설의 비상 상황 시 방사선/능의 수치의 감시를 통해 사고를 조기에 발견하고 대처하기 위한 감마선 지역감시기가 운영되고 있다. 또한 해외로부터 수입되는 화물 및 고철을 포함한 재활용 산업용재 등의 방사성물질 오염 여부를 감시하는 방사선/능 감시기가 전국 공·항만에 설치되어 운영 중이다. 이와 같은 방사선 방호/방재/보안을 목적으로 하는 측정기들의 신뢰성은 적절한 교정과 반응도시험 결과를 바탕으로 확보할 수 있으나 시설에 고정되어 운영되는 감시기의 경우, 교정을 위한 이동이 바람직하지 않고 원천적으로 어려운 상황도 있으므로 설치된 상태에서 적합한 방법으로 그 성능을 확인할 수 있는 체계를 구축할 필요성이 증가되고 있다. 기존의 반응도 시험 절차는 거리에 따른 선량률 측정값을 바탕으로 하여 얻은 선량률-거리 관계식에 선원의 붕괴일수를 적용하고 기준 선량률과 비교하여 반응도 보정값을 도출하였다. 하지만 현장 여건에 따라 공간적 제약 등이 발생할 수 있어 현장의 다양한 상황에 대응하는 선량률을 제공하는 데 한계가 있었다. 본 연구에서는 기존의 이동식 감마선 조사기의 한계를 보완하기 위하여, 공간적인 제약이 있는 교정 환경에서 다양한 선량률 범위에서 기기의 반응도를 확인할 수 있도록 감쇠 필터를 사용하는 방식으로 설계를 보완하여 제작하였으며, 실험과 시뮬레이션을 통하여 이에 대한 반응도를 확인하였다.

2. 본론

2.1 이동식 감마선 조사장치의 구성 및 실험

본 연구에서 사용한 이동식 감마선 조사기는 Victoreen의 848-8 모델이며, Cs-137 감마선원을 내장한 장치로서 Fig. 1에서 보는 바와 같이 사용자가 휴대하여 교정 장소로 이동할 수 있다 [1].

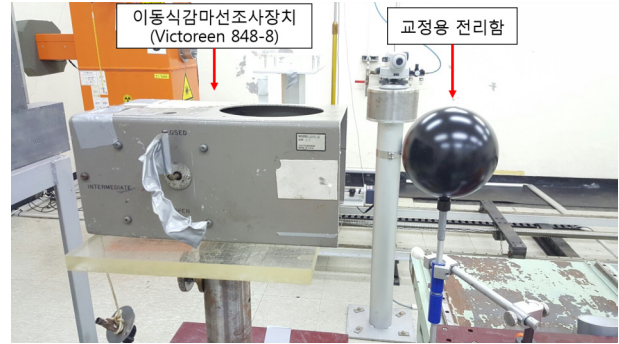


Fig. 1. Portable gamma-ray irradiator.

이동식 감마선 조사장치와 감쇠필터를 이용한 선량률 측정은 감마선장과 엑스선장에서 Fig. 1에서와 같은 교정된 전리함선량계 PTW LS01과 Fig. 2와 같은 KEITHLEY 35617 일렉트로미터, 그리고 KEITHLEY 248 high-voltage supply로 구성된 시스템으로 수행하였다.



Fig. 2. Electrometer and high-voltage supply.

선량률 감쇠필터는 넓은 범위의 선량률에 대응할 수 있도록 물질의 밀도가 다른 알루미늄, 구리, 주석으로 제작된 금속 평판을 사용하였다. 조사기 빔

포트 전면에 각각의 필터를 부착하여 선량률이 필터에 따라 감소하도록 하였으며 빔 포트로부터 각각 50, 100, 150 cm 떨어진 위치에서 감쇠필터 종류별, 두께별로 전하량을 측정하고 이를 공기커마율 (Air kerma rate, $\mu\text{Gy/h}$)로 환산하였다. Fig. 3은 Al 필터를 사용하였을 때의 필터의 두께별, 거리별 선량률의 관계를 보여주고 있다.

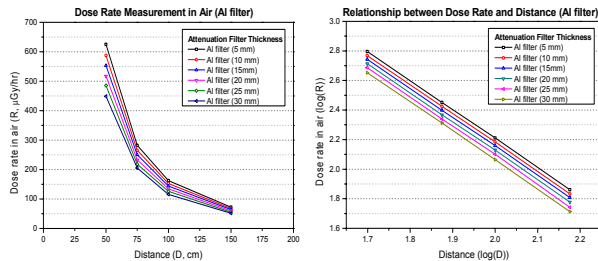


Fig. 3. Relationship between dose rate and distance.

필터의 종류 및 두께에 따라 거리-선량률 관계를 linear fitting 하여 식 1을 사용하여 상관계수의 계수를 산출하였다 [1].

$$R = 10^A \cdot D^B \cdot e^{-\lambda t} \quad (\mu\text{Gy/h}) \quad (1)$$

2.2 몬테칼로 전산모사

다양한 감쇠필터를 적용하였을 때 선량률의 변화, 공간에서의 선량률 분포 등에 대한 정보를 얻기 위해서는 실험만을 통한 결과만으로는 한계가 있으므로, 보다 다양한 상황에 대해 용이하게 접근 가능한 전산모사를 이용하여 계산을 수행하였다. 전산모사에 이용한 코드는 MCNPX를 사용하였으며, flux mesh tally를 사용하여 3차원 공간의 감마선속 분포를 계산하였다. 이동식 감마선 조사기의 내부 구조에 대한 설계 자료의 부재로 인해 조사기 내부 구조를 정확히 모사하는데 한계가 있었으며 이에 따른 전산모사 결과의 신뢰성을 보완하기 위해 실측값과 전산모사 결과를 비교하고 보정함수를 도출하였다. 선량률-거리 관계에서 거리가 증가할수록 실측값과 전산모사 결과 사이에 차이가 발생하는데 이들 사이의 보정함수를 결정하기 위해 해당 데이터를 바탕으로 선형 근사식을 구하였다. 식 1을 이용하여 전산모사와 실측값 간의 보정함수는 식 2와 같이 도출할 수 있다.

$$R_{\text{exp}} = \left(\frac{R_{\text{cal}}}{10^{B_{\text{cal}}}} \right)^{A_{\text{cal}}} \times 10^{B_{\text{exp}}} \quad (\mu\text{Gy/h}) \quad (2)$$

R_{exp} 는 실험을 통해 측정된 값, 즉 참값이며 R_{cal}

은 전산모사를 이용하여 계산한 값이다. 다양한 상황과 조건을 전산모사를 통해 간단히 계산하고 위 보정함수를 적용하면 실험값에 근사한 결과를 얻을 수 있다.

Fig. 4와 같이 조사기로부터의 거리에 따른 조사 반경과 선량률을 확인하기 위해 시뮬레이션을 통하여 감마선 조사 축방향의 법선면에 해당 선량률 분포를 계산하였다. 이 결과에 따라 교정 작업을 수행할 때 유효빔의 크기를 예측하여 조사거리를 선정할 수 있으며, 조사빔의 퍼짐을 고려한 작업자의 방사선 방호 계획을 수립하는 데에도 참고 자료로서 이용될 수 있다.

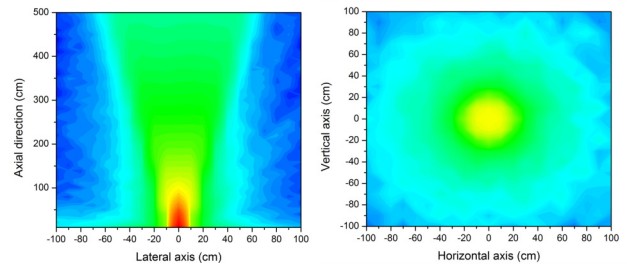


Fig. 4. Distribution of gamma-ray for distance.

3. 결론

본 연구를 통하여 조사거리별, 감쇠필터 종류 및 두께별로 산출한 선량률 계산 근사식을 바탕으로 다양한 조건에서 해당 선량률을 제공할 수 있도록 하는 데이터 베이스를 구축하였다. 이를 이용하여 교정시 참조 선량률과 주위환경여건에 적합한 조사거리를 선정하면 이에 적합한 필터의 종류와 두께를 결정할 수 있으며, 여러 선량률에 대한 교정이 가능하다. 향후 연구를 통하여, 새롭게 구축한 교정체제에 대하여 추가적인 실험 및 시뮬레이션 등을 통하여 실제 교정에 사용할 수 있는 절차서 등을 개발할 계획이다.

4. 참고문헌

- [1] www.flukebiomedical.com/biomedical/user/products/victoreen/calibration-equipment
- [2] 하석호, "감마선 조사장치의 표준교정절차", 한국계량 측정협회 (2002).