

방사선 측정용 전리함의 반응 함수 측정 및 이론적 고찰

울산대학교 의과대학 서울중앙병원 치료방사선과학교실
이 병 용 · 최 은 경 · 장 혜 숙

= Abstract =

The measurement and the theoretical evaluation of the response function of ionization chamber for radiation detection

Byong Yong Yi, Eun Kyung Choi, Hyesook Chang

Department of Therapeutic Radiology, University of Ulsan College of Medicine, Asan Medical Center

We have measured and theoretically analyzed the response function of ionization chamber for radiation detection. The response function of ionization chamber plays important role in small field size dosimetry. One has used simple 2-dim model in present, which is inaccurate. In this study, we could explain the experimental results of dose response function for ionization chamber, by applying the effects of chamber dimension, chamber wall, central electrode and the probability of compton scatter. We expect that we can get more precise results from convolution method by using the results from this study.

Key Words : Ionization chamber, Response function, Convolution

I. 서 론

정확한 선량의 평가는 방사선 치료에 있어서 중요한 요소이다. 방사선 선량 측정에는 주로 전리함을 이용하고 있다. 흔히 사용하는 큰 조사면에서는 전리함의 크기가 중요하지 않다. 그러나 brachytherapy나 radiosurgery 같이 선량이 급격히 변하는 지점에서 선량 측정이 필요하게 될 때는 전리함의 크기가 중요한 고려 사항이 된다.¹ 이런 이유로 인해서 측정기 크기와 측정값 평가에 관해 오래전부터 많은 연구가 진행되어 왔다.^{2,3,4,5,6} 방사선이 감쇄되거나 거리 역제곱 법칙으로 줄어들거나 하는 요

인들이 측정기의 크기로 인하여 측정기 내부에서 균일하지 않게 발생할 수 있다. 이런 요인들이 측정값을 평가하는데 있어서 오차를 야기시킬 수 있으므로 측정점 보정 방법^{5,7}으로 이 문제를 해결해 오곤 하였다. 통상의 방사선 치료에 있어서는 이 방법을 사용하는데 문제가 없으나 최근 관심을 끌고 있는 radiosurgery 등에서는 측정기 크기의 영향이 커지게 되며, 더구나 선량 분포를 평가하는 데에는 측정점보정 방법을 적용할 수가 없게 된다.^{1,8} 이런 문제를 해결하기 위하여 Sibata등이 1991년 convolution model을 사용하여 상대적으로 큰 전리함으로 작은 조사면을 측정한 값을 이론적으로 분석하여 실제 선량 분포를 평가하는 방법을 발표한 바 있다!

이 방법은 수학적으로 확실한 모형을 제시하고 있긴 하지만, 실제 실험과는 잘 일치하지 않았다. 그 이유는 측정기(전리함) 반응 함수를 simple 2-dim model로 가정하여 실제 측정에 사용하였기 때문이다. 본 연구에서는 전리함의 반응 함수를 직접 측정하고, 반응 함수에 대한 이론적인 고찰을 시행하여, 이 연구 결과를 바탕으로 convolution model을 적용할 수 있도록 하였다.

II. 이 론

전리함의 반응 함수는 Fig. 1과 같이 simple 2-dim model로 생각할 수 있다.¹ 즉,

$$f(X) = 2A(R^2 - X^2)^{0.5} \text{ for } -R < X < +R$$

$$= 0 \text{ for } |X| \geq R \dots\dots(1)$$

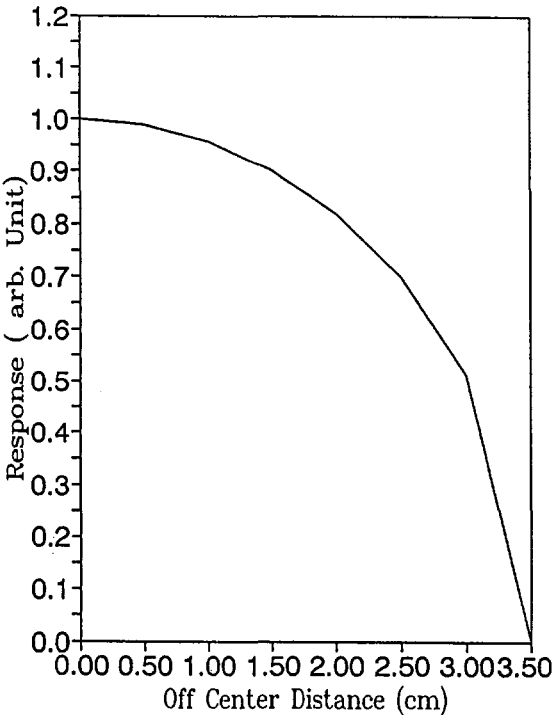


Fig. 1 Simple 2-dim model from Sibata.¹

그러나 이 식은 전리함 벽의 구성 물질, 중심 전극의 효과, 콤프턴 산란에 있어서 공간적인 고려를 하지 않고 있다. (1)식에서 A는 비례 상수, R은 전리함의 반지름, f(x)는 반응 함수이다. 중심 전극

과 전리함 벽의 효과를 고려하면 (1)식의 $-R < X < +R$ 영역을 다음과 같이 수정할 수 있다.

$$f(X) = 2A(R^2 - X^2)^{0.5} + 2B[\{(R+d)^2 - X^2\}^{0.5} - (R^2 - X^2)^{0.5}] \rho_w + C(X) \dots\dots(2)$$

$$\text{단, } C(X) = 2C(Rc^2 - X^2)^{0.5} \rho_c \text{ for } -Rc < X < +Rc$$

$$= 0 \text{ for } |X| \geq Rc$$

d는 전리함 벽의 두께, ρ_w 와 ρ_c 는 전리함 벽과 중심 전극 물질의 밀도, Rc는 중심 전극의 반경이다. A, B, C는 비례 상수로 f(X)를 적분할 때 그 적분값이 1이 되도록 하여야 한다. B와 C는 전리함 관독값에서 전리함 벽과 중심 전극의 효과를 나타내 주는 의미를 갖는다. (2)식에서는 모든 물질의 질량 감쇄 계수가 같다고 가정하였으며, 실제로 megavoltage 영역에서 이 가정은 잘 성립된다.⁸ 전리함으로 입사한 방사선의 위치에 따라서 콤프턴 산란으로 생성된 전자가 전리함 속에서 정지하게 되는 전자의 에너지가 결정된다. 전리함 중심에서 생성된 콤프턴 전자는 허용 비정인 R이 되지만 전리함 벽에서 생성된 전자는 허용 비정이 2R이 된다. 전자의 허용 비정을 Re 라고 할 때, 비정이 Re가 되는 최대 전자 에너지 E는

$$EeI \approx S(E)/Re \dots\dots(3)$$

가 된다. 이때 S(E)는 전자의 물질에 대한 저지능이며 S(E)가 에너지에 따라 변화하는 함수이므로 (3)식을 적분식으로 바꾸어야 한다. 간략한 계산을 위하여 몇개의 구간으로 나누어 근사적으로 계산하는 방식을 취할 수 있다. S(E)값은 ICRU 35에 발표된바 있다.⁹ 에너지 Eph를 갖는 광자선에서 EeI 에너지의 콤프턴 전자가 생성될 확률은 Klein-Nishina 계수로 표현할 수 있다.¹⁰

$$\frac{d\tau}{d\Omega} = \frac{d\tau_0}{d\Omega} \cdot F_{Kn} = \frac{r_0^2}{2} (1 + \text{Cos}^2\theta) F_{Kn} \dots\dots(4)$$

$$F_{Kn} = \left\{ \frac{1}{1 + \alpha(1 - \text{Cos}\theta)} \right\}^2 \left\{ 1 + \frac{\alpha^2(1 - \text{Cos}\theta)^2}{[1 + \alpha(1 - \text{Cos}\theta)](1 + \text{Cos}^2\theta)} \right\}$$

(3),(4)식을 종합하여 볼 때 전리함에 입사한 광자선에 의해 생성된 전자가 전리함에 수집될 확률이 위치 x에 따라 변화하는 함수이며 이 함수는 전

자의 저지능, Klein-Nishina 계수와 관계가 있게 된다. 이 관계를 정리하여 (2)식에 대입하면,

$$F(x) = f(x) KN(x) \dots \dots \dots (5)$$

로 쓸 수 있다. $F(x)$ 는 전자 포획 확률까지 고려한 전리함 반응 함수이며 $KN(x)$ 는 전리함 위치에 따라 콤프턴 전자가 생겨날 수 있는 확률을 나타내는 함수이다. (5)식은 Sibata가 제안했던 (1)식과 비교할 때 그 모양새가 현저히 달라진 것을 알 수 있다.

III. 대상 및 방법

전리함으로는 체적 550cc, 직경 7cm인 Capintec PM 550을 사용하였다. 4MV 광자선(Varian, USA)을 조사면 크기 $0.1 \times 20 \text{cm}^2$ 로 열어 이 조사면에 대한 측정을 시행하였으며, 측정용 장비로는 컴퓨터로 3차원적 움직임을 제어할 수 있는 Multidata 물론편통계를 이용하였다. 선량 분포 측정을 공기 중에서 시행하였다. 이런 방법으로 측정된 결과와 이론적으로 계산된 값과의 차이를 비교하였다. 실험에 사용한 광자선의 선량 프로파일은 δ -function 모양으로 가정하였다. (3), (4), (5)식에 대한 계산은 0.5cm씩 끊어서 근사 계산으로 시행하였다.

IV. 결과 및 고찰

공기 중에서 측정된 전리함의 반응 함수를 Fig. 2에 표시하였다. (5)식을 이용하여 이론적인 값과 실험값인 Fig. 2의 결과를 Fig.3에 나타내었다. Fig.3의 결과에서 알 수 있듯이 Sibata가 제안한 simple 2-dim model은 실험 결과와 다른 양상을 보이고 있으며 (5)식의 결과는 실험과 비슷한 결과를 보여준다. 실험 값과 정확하게 일치하지 않는 것은 0.5cm 구간으로 나누어 근사적으로 계산한 때문인 것으로 좀 더 정밀한 계산을 통해 실험값과 오차 범위내에서 정확히 일치하는 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 선량이 급격히 변화하는 곳에 대한 선량 분포를 얻는 것은 일반적으로 대단히 어려운 일로 알려져 있다. 측정기를 무한히 작게 할 수 없으므로 측정기 크기 만큼의 오차가 항상 있게 마련인 때문이다. Sibata가 이론을 완벽하게 수학적으로

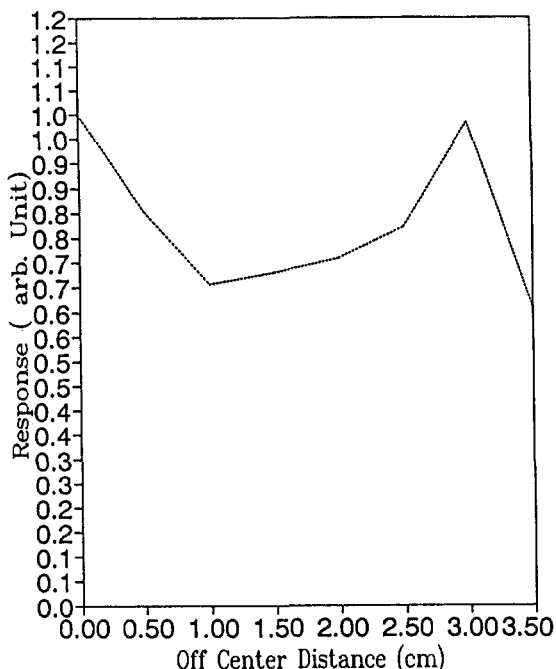


Fig. 2 Experimental result of dose response curve for ionization chamber

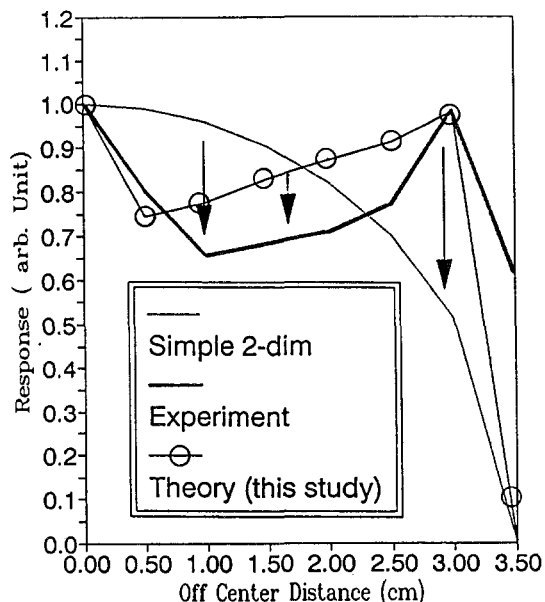


fig. 3 The comparison of the experiment and the theory.

Dotted line represents for simple 2-dim model from Sibata, heavy solid line represents for the results from experiment, and

solid line with open circle from this study. Arrows show deviation between the results from simple 2-dim model and from experiment. Simple 2-dim model shows large deviation from experiment, while the theoretical result in this study shows good agreement between the experiment and the theory.

로 전개했음에도 불구하고 실험 결과와 이론 분석이 전혀 일치하지 않은 것은 전리함의 반응 함수에 대한 그릇된 가정 때문인 것이 본 연구를 통해 밝혀졌다. 이 결과를 이용하여 convolution 방법에 대한 재적용을 시도할 필요가 있다고 본다.

V. 결 론

작은 방사선 조사면에 대한 정확한 선량 분포를 얻기 위하여 convolution 방법이 제안된 바 있다. 이 방법을 사용하려면 전리함의 반응 함수를 알아야 하는데 전리함 반응 함수가 전리함의 규격 즉 전리함 내경, 전리함 벽, 전리함 중심 전극에 중요하게 변화되는 것임을 이론 및 실험적으로 밝혀 내었다. 이 결과를 이용하여 더욱 정확한 선량 분포에 대한 convolution 분석 결과를 기대할 수 있게 되었다.

참 고 문 헌

1. Sibata CH, Mota HC, Beddar AS *et al*: Influence of detector size in photon beam profile measurements. *Phys.Med. Biol.* 1991 ; 36(5) : 621-631.
2. Dove DB: Effect of dosimeter size on measurements close to radioactive source. *Br. J. Radiol.* 1959 ; 32 : 202-204.
3. Kondo S. and Randolph ML: Effect of finite size of ionization chambers on measurements of small photon sources. *Rad. Res.* 1960 ; 13 : 37-60.
4. Brahme A: Correction of a measured distribution for the finite extension of the detector. *Strahlentherapie* 1981 ; 157 : 258-259.
5. Awschalom M, Rosenberg I. and Haken R: A new look at displacement factor and point of measurement corrections in ionization chamber dosimetry. *Med. Phys.* 1983 ; 10, 307-313.
6. Dawson DJ, Schroeder NH and Hoya JD: Penumbral measurements in water for high energy x-rays. *Med.Phys.* 1986 ; 13 : 1011-1014.
7. Attix FH: Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry. New York, Wiley, 1986 ; 282-285.
8. Johns HE and Cunningham JR: The Physics of Radiology, 4th Ed. Springfield, Charles C Thomas Publisher, 1983 ; 723-739.
9. International Commission on Radiation Units and Measurements: Stopping powers for electrons and positrons. ICRU report 37, Bethesda, ICRU, 1984 ; 55-259.
10. Johns HE and Cunningham JR: The Physics of Radiology, 4th Ed. Springfield, Charles C Thomas Publisher, 1983 ; 176-179.