

## 전리함 반응 함수의 직접 측정과 이를 이용한 방사선의 실제선량 분포측정

울산대학교 의과대학, 서울 중앙병원 방사선종양학교실\*, 경기대학교 이과대학 물리학과†  
한림대학교 의과대학‡, 강동성심병원 치료방사선학교실

이병용\* · 이상훈\*† · 조병철† · 김종훈\* · 최은경\* · 권수일† · 장혜숙\*

= Abstract =

### Direct Measurement of Chamber Response Function and Its Application to Radiation Dose Distribution Dosimetry

Byong Yong Yi, Ph.D.\* , Sang Hoon Lee, M.S.\*† , Byung Chul Cho, Ph.D.†  
Jong Hoon Kim, M.D.\* , Eun Kyung Choi, M.D.\* , Soo Il Kwon, Ph.D.†  
and Hyesook Chang, M.D.\*

\*Department of Radiation Oncology, Asan Medical Center, College of Medicine, University of Ulsan, Seoul

†Department of Physics, Kyonggi University, Suwon

‡Department of Radiation Oncology, Kang Dong Sacred Heart Hospital, College of Medicine  
Hallym University, Seoul

**Purpose** : To obtain the actual dose distribution from measured data by deconvolution method using the measured ion chamber response function.

**Materials and Methods** : The chamber response functions for 2 ionization chambers (diameter 5mm, 6.4mm) were measured, and dose profiles were measured for 10×20cm<sup>2</sup> field size using two different detectors. The deconvolution of chamber response function from the measured data were performed for these profiles. The same procedures were repeated for 4MV, 6MV and 15MV photon energies.

**Results** : Different dose profiles were obtained for the same field with the chambers which have the different response functions. Nearly the same results could be obtained with deconvolution for the profiles from various detectors.

**Conclusion** : The effect of the chamber response function can be extracted by deconvolution method. Deconvolved dose profile using various ionization chambers gave better dose distributions. Technical improvements are needed for practical application.

**Key Words** : Deconvolution, Chamber response function

본 논문은 1997년 1월 28일 접수하여 1997년 3월 3일 채택되었음.

본 연구는 한국과학재단 1995년 일반목적기초(핵심전문) 연구비(과제번호 KOSEF 951-0702-0661-1)의 지원을 받았음.

통신저자: 이병용 서울시 송파구 풍납 2동 388-1 서울중앙병원 방사선종양학과

## 서 론

치료 부위에 대한 정확한 선량의 전달과 정상 조직에 대한 올바른 선량의 평가는 매우 중요한 과제이다. 일반적으로 방사선 측정에서 전리함이 가장 우수한 특성을 보이는 것으로 알려져 있으나, 작은 조사면( $\varnothing$  1-2cm 이내)을 측정하고자 하거나 선량이 급격히 변하는 지점에 대한 선량 측정이 필요하게 될 때는 전리함의 크기로 인해 분해능 문제가 제기될 수 있다<sup>1,2,3)</sup>. 이 문제를 해결하기 위하여 깊이에 따르는 선량 분포 측정을 위하여는 측정점 보정 방법을 적용하고 있으나<sup>4)</sup>, 선량 프로파일 측정에는 적용할 수 없으며, 특히 소 조사면의 경우에는 전리함 크기의 영향이 커져서 측정점 보정 방법을 적용할 수 없게 된다. 이러한 이유로 인해서 '작은 조사면에 대한 선량 측정법'이 중요한 과제로 인식되어 연구되고 있다.

Sibata 등이 1991년<sup>5)</sup>과 1995년<sup>6)</sup>에 deconvolution 방법으로 선량 프로파일을 평가하려고 시도한 바 있다. Sibata는 전리함 반응함수가 전리함 내경에 비례하는 값을 갖는 다는 가정을 하였다. 이 연구는 수학적으로 설득력 있는 전리함 반응 함수 모형을 제시하고 있지만, 실제 deconvolution에서의 결과는 실용적으로 사용할 수 있을 만큼 개선되지 않았다. 이 연구 결과는 실험적으로 전리함 반응함수를 구하여야 한다는 것을 강하게 시사하고 있다. 이병용 등은<sup>7)</sup> 1992년 공기 중에서 전리함 반응 함수를 직접 측정하고자 하였으나 실험오차 이상의 측정값 편차를 관찰한 바 있다.

본 연구에서는 전리함의 반응 함수를 팬텀내에서 직접 측정하고 deconvolution 방법을 이용하여 선량이 급격히 변하는 지점, 즉 반그림자 영역에서의 선량 평가를 직경이 서로 다른 전리함으로 시도하여 그 결과를 비교 평가하고자 하였다.

## 대상 및 방법

### 1. 이 론

측정기의 크기가 '0'이고, 측정기의 반응이 에너지와는 무관하다면, 측정된 선량 프로파일  $M(x)$ 는 실제 선량 분포  $T(x)$ 와 동일하게 될 것이다. 그러나, 측정기는 일정한 크기를 갖고 있다. 측정기 각 지점에서의 선량에 대한 반응도를  $R(x)$ 로 표시하면, 측정값은 실제 선량 분포와 측정기 반응 함수가 convolution 되어

있는 결과로 표시할 수 있다<sup>5,6,8,9,10)</sup>.

$$M(x) = \int_{-\infty}^{\infty} T(u)R(u-x)du. \quad (1)$$

$M(x)$ 는 측정으로 구할 수 있으며, 측정기 반응 함수  $R(x)$ 를 알 수 있다면, convolution 이론에 의하여 deconvolution으로  $T(x)$ 를 구할 수 있다. 즉,

$$T(x) = F^{-1} [ M(x)/R(x) ] . \quad (2)$$

따라서, 전리함의 반응함수  $R(x)$ 를 구한 뒤 (1), (2)식을 이용하면, 실제 선량분포에  $T(x)$ 를 구할 수 있다. (1)식과 (2)식은 1차원적인 방사선 선량 분포에 대한 것으로서 방사선 조사면의 크기가 전리함 길이 방향으로 충분히 길어서 전리함의 길이에 의한 효과를 무시할 수 있을 때만 성립한다. 따라서, 이 논문에서는 이 조건을 만족시키기 위하여 전리함보다 충분히 긴 조사면 크기의 직사각형 조사면에 대해서만 고려하기로 한다. 측정된 반응함수는 측정값을 함수 형태로 변환시키지 않고 수치 형태 그대로 사용하였다.

Sibata는 전리함 반응 함수를 아래 (3)식과 같이 전리함 내경과 관련 있는 함수로 표현할 수 있다고 가정하였다<sup>5,6)</sup>. 즉,

$$S(x) = \frac{2}{\pi R^2} (R^2 - x^2)^{1/2} \quad \text{for } -R < x < R = 0 \\ \text{for } |x| \geq R \quad (3)$$

$S(x)$  : detector response function

$R(x)$  : effective sensing radius.

그러나, 앞서 밝힌 바 대로 실험 결과는 실용적으로 사용할 만큼 개선되는 효과를 볼 수 없었다. 본 연구에서는 반응함수를 수식의 형태로 표현하지 않고 직접 측정을 통하여 구하고자 하였다. (2)식의 deconvolution였으며, 이때 반응함수  $R(x)$ 는 '2. 실험'에서 밝힌 조건에서 구한 측정값을 직접 대입하여 사용하였다.

### 2. 실험

전리함으로는 0.125cc(내경 5mm), 0.6cc(내경 6.4mm)을 사용하였다. 실험에 사용한 전리함의 사양을 Table 1에 나타내었다. 측정에 사용한 방사선원으로는 최대 4MV

Table 1. Specification of Ionization Chambers

Model	PTW-233643	PTW-23333
Nominal Volume	0.125cc	0.6cc
Manufacturer	PTW Freiburg	PTW Freiburg
Internal Diameter	$\varnothing$ 5.5(mm)	$\varnothing$ 6.5(mm)
Length	13.8(mm)	22(mm)
Wall Material	PMMA	PMMA

광자선을 낼수 있는 선형가속기(Varian, USA)와 광자선최대에너지 6MV, 15MV 광자선을 동시에 낼수 있는 선형가속기(Varian, USA)를 이용하였다. 조사면 크기는 전리함 반응 함수를 구하기 위해서는 광자선의 선량 프로파일을 델타 함수 모양으로 가정하기 위하여  $0.2 \times 20 \text{cm}^2$ 로 하였으며, 선량 프로파일 측정을 위해  $10 \times 20 \text{cm}^2$ , 10cm깊이의 물 팬텀에서 측정하였다.

측정용 장비로서 전위계는 Victoreen 500, 자동화물팬텀계는 Multidata Water Phantom System을 이용하였다. 측정기로는 전리함 외에 다이오드와 필름(X-Omat V, Kodak, USA)을 비교 목적으로 사용하였으며, 측정된 전리함 반응 함수를 가지고 (2)식을 이용하여 선량 프로파일 값을 deconvolution하였다. 동일한 선량 프로파일에 대해서 전리함 크기에 따라 측정된 선량 프로파일의 변화를 살펴봄으로써 이 방법의 효과를 검증하였다.

**결과 및 고찰**

Fig. 1은 6MV에 대해 2종류의 전리함과 필름, 다이오드의 반응 함수를 측정한 결과이고, Fig. 2는 각각 이 측정기를 사용하여 4MV, 15MV에 대해 선량 프로파일의 측정 결과이다. 측정기 반응함수는 측정기 크기에 따라 변하며, 동일한 방사선 조사면을 측정하더라도 측정기에 따라 측정된 결과가 다르게 나올 수 있다. 특히, 선량의 변화가 심한 반 그림자 영역에

서는 이런 추세가 뚜렷하게 보인다.

Fig. 3은 측정에서 얻은 전리함 반응 함수를 이용하여 (1)식과 (2)식으로 deconvolution한 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 동일한 방사선 조사면에 대하여 다른 크기의 측정기로 측정할 때 다른 모양을 보였으나(Fig. 2) 측정기 반응 함수의 효과를 제거하는 deconvolution기법을 사용하였을때, 여러 측정기

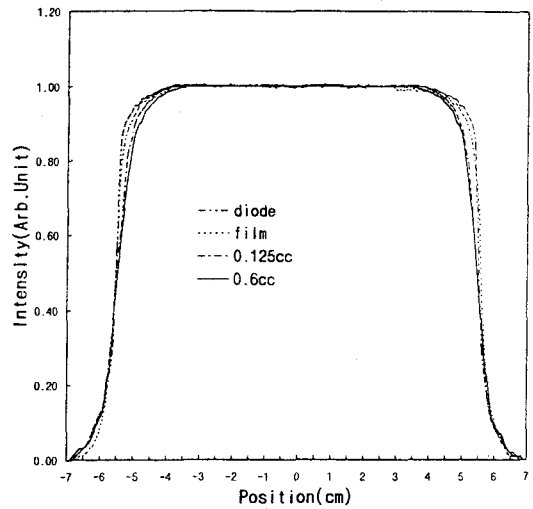


Fig. 2. 15MV dose profile at depth 10cm ( $10 \times 20 \text{cm}^2$ ) from various detectors.

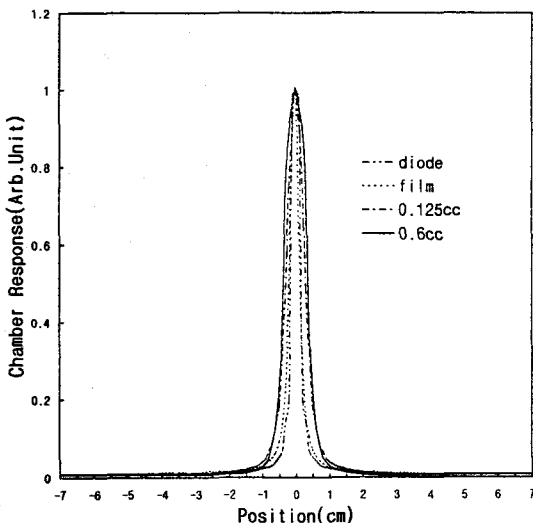


Fig. 1. Chamber response function for 6MV X-ray ( $0.2 \times 20 \text{cm}^2$  Field size).

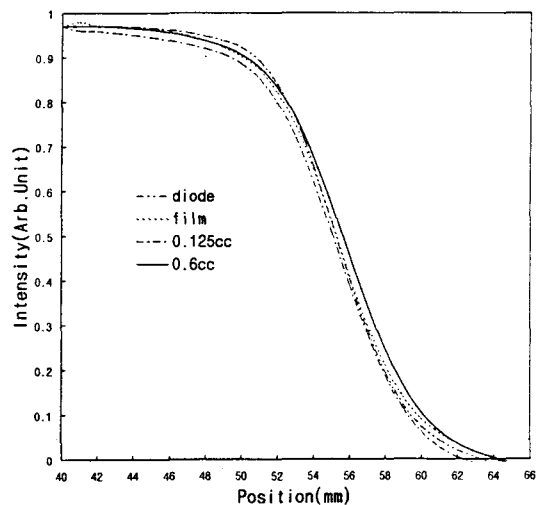


Fig. 3. Deconvolved dose profile of various detectors for 6MV.

를 이용하여 측정된 선량 프로파일의 결과가 거의 일치하는 경향을 보였다. 이는 본 연구에서 시행한 측정된 전리함 반응함수를 이용하여 deconvolution을 시행하며 측정기 크기에 의한 측정값 왜곡 효과를 유용하게 보상할 수 있음을 나타낸 것이라 할 수 있다.

Sibata의 전리함 반응함수 모델을 이용한 측정값의 보정효과와 본 연구에서 실시한 측정된 전리함 반응함수로 deconvolution 비교를 Fig. 4에 보였다. Fig. 2에서 보듯이 diode 검출기는 공간분해능이 전리함에 비해서 우수하여 반 그림자 영역에서 전리함을 이용하여 측정된 선량 프로파일이 diode에 의한 것보다 높은 경향이 있는 것을 알 수 있다. 전리함의 직경이 클수록 이 현상은 더 나타나게 되는데 Fig. 4.에서는 전리함 측정치를 Sibata 전리함 반응함수 모델로 deconvolution하였을 때 diode 측정치와 비슷해지는 모양으로 보정된 것을 보여주고 있다. 그러나, 본 연구에서 측정된 전리함 반응함수를 사용하면 Sibata 모델을 이용한 것보다 더욱 diode 측정값에 근접한 결과를 보여

주는 것을 알 수 있어서 Sibata의 모델을 사용하는 것보다 직접 측정하는 것이 더 우수한 방법임을 알 수 있다. (3)식에 표현한 Sibata의 모델은 전리함의 반응은 방사선이 전리함을 통과하는 길이에 비례한다는 가정으로 부터 유도된 것이다. 그러나, 실제 상황은 측면에서도 선량의 기여가 있을 수 있으므로 이 효과가 무시되었기 때문에 보정된 결과도 기대에 미흡하게 되는 것이다.

반응 함수 측정을 위하여는 델타 함수 모양의 선량 프로파일을 얻어야 한다. 이를 위하여 이병용 등이<sup>7)</sup> 공기중에서 측정을 실시한 바 있다. 그러나, 높은 에너지 광자선의 특징인 선량 증가 현상(build-up)으로 인해 정확한 평가가 이루어 질 수 없었다. 본 연구는 팬텀내에서 실시함으로써 반응함 수를 측정할 수 있었다. 전리함의 직경이 0.55cm, 0.65cm임을 감안하면  $0.2 \times 20\text{cm}^2$ 의 조사면은 이론적으로 충분히 작은 폭의 조사면 즉, delta 함수 모양으로 볼 수는 없다. 그러나, 가속기의 상태, 즉 최소 조사면의 제한이 있고, 더구나 Collimator Jaw의 정밀도를 고려한다면 0.2cm 크기의 조사면이 실험으로 구현할 수 있는 최소 조사면이라 할 수 있겠다. 본 연구에서와 같이 팬텀내에서 측정을 하기 위해서는 방사선 조사면을 좁게 만드는 것 뿐 아니라, 방사선 조사면에서 생긴 산란선 등의 효과 역시 보완하여야 한다. 좁은 조사면 효과와 산란선 보정을 위하여 Monte Carlo Simulation을 시행하는 연구도 필요할 것이다<sup>11)</sup>. 이를 통하여 더욱 정확한 반응함수를 얻을 수 있고, 정확한 실제 선량분포를 기대할 수 있을 것이다.

## 결론

측정으로 얻어진 전리함의 반응 함수는 전리함의 크기와 관련이 있었고, 전리함 반응 함수가 측정된 프로파일 내에서 실제 선량 프로파일과 convolved되어 있음을 확인할 수 있었다.

선량이 급격히 변하는 지점에서의 선량 분포 평가를 반 그림자 영역에 대하여 실시하였을 때, 서로 다른 측정기로 측정된 값들이 deconvolution에 의해 동일한 선량 프로파일로 변환되는 것을 볼 수 있어서 이 연구의 결과를 실제 선량 평가에 임상적으로 응용할 수 있음을 알았다. Sibata의 방법에 의한 전리함 반응 함수 보다는 측정 방법에 의한 전리함 반응 함수가 선량 평가 보정에 더 우수한 효과를 보였다.

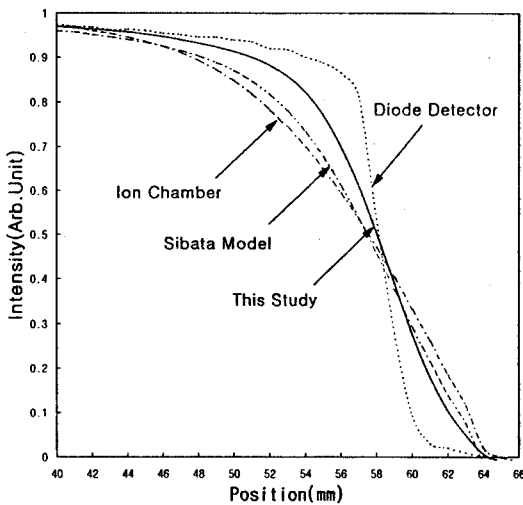


Fig. 4. Comparison of deconvolution effects between the Sibata ion chamber response model and this study. Dose profile was obtained by the ion chamber(single dotted line), the diode detector(broken line). Two results show difference because of spatial resolutions of each detectors. Deconvolved ion chamber dose profile using the Sibata model(two dotted line) shows similar shape to diode measurement, but deconvolved dose profile using the measured chamber response function(solid line) shows superior correction effect to the Sibata model.

### 참 고 문 헌

1. Chui CC, Mohan R. Extraction of pencil beam kernels by the convolution method. Med Phys 1988; 15:134-144
2. Boyer A, Mok E. A photon dose distribution model employing convolution calculation. Med Phys 1985; 12:169-177
3. Zhu Y, Dyk JV. Accuracy requirements of the primary x-ray spectrum in dose calculations using FFT convolution techniques. Med Phys 1995; 22:421-426
4. 한국 의학 물리 학회. 방사선량의 표준 측정법. 의학 물리 1991; 2:37-88
5. Sibata CH, Mota HC, Beddar AS, et al. Phy Med Biol 1991; 36:621-631
6. Higgins PD, Sibata CH, Siskind L, et al. Med Phys 1995; 22:1663-1666
7. 이병용, 최은경, 장혜숙. 방사선 측정용 전리함의 반응함수 측정 및 이론 적 고찰. 울산의대 학술지 1992; 1:184-187
8. Brahme A. Correction of a measured distribution for the finite extension of the detector. Strahlentherapie 1981; 157:258-259
9. Parker JA. Image Reconstruction in Radiology. Florida: CRC press, 1990:29-42
10. Ifeachor EC, Jervis BW. Digital Signal Processing. New York; Addison-Wesley, 1993:47-102
11. 김미화, 이병용, 조병철 등. 측정된 원통형 전리함 반응 함수의 몬테카를로 시뮬레이션 보정. 한국물리학회 초록집 1996; 14:56

= 국문초록 =

### 전리함 반응 함수의 직접 측정과 이를 이용한 방사선의 실제 선량 분포 측정

울산대학교 의과대학, 서울 중앙병원 방사선종양학교실\*, 경기대학교 이과대학 물리학과†, 한림대학교 의과대학, 강동 성심병원 치료방사선학교실‡,

이병용\* · 이상훈\*<sup>†</sup> · 조병철<sup>‡</sup> · 김종훈\* · 최은경\* · 권수일<sup>†</sup> · 장혜숙\*

**목 적 :** 전리함의 크기로 인한 공간 분해능의 문제로 나타나는 전리함 반응함수를 제거하여 실제 선량분포를 얻고자 하였다.

**대상 및 방법 :** 내경 5mm, 6.4mm 등 2개의 서로 다른 크기를 갖는 전리함들과 다이오드, 필름의 반응함수를 구하고, 동일한 방사선 조사면(10×20cm<sup>2</sup>)의 선량분포 프로파일을 측정하여, 각각 deconvolution 기법으로 보정한 후, 보정된 결과가 일치하는지 비교하였다.

**결 과 :** 원통형 전리함의 반응함수와 선량분포를 측정하였고, 측정한 선량분포에서 반응 함수의 효과를 deconvolution 방법으로 제거하여 실제 선량분포를 찾아내었다. 사용한 에너지는 최대 광자선 에너지 4MV, 6MV, 15MV였으며, 전 에너지 영역에 걸쳐 보정 된 결과가 일치하는 방향으로 변화하였으며, 분해능 증가 효과가 있었다.

**결 론 :** deconvolution 방법으로 전리함 반응 함수의 효과를 제거했을 때, 여러 측정기를 이용하여 측정한 선량 프로파일의 결과가 일치하는 경향을 볼 수 있어서 deconvolution 방법을 통해 얻은 선량 프로파일을 임상적으로 응용할 수 있음을 알았다.