

## 평행평판형이온함을 이용한 전자선 흡수선량결정에 대한 연구

\*가톨릭의대 의공학교실, †경희의대 방사선종양학교실

라정은\* · 서태석\* · 신동오†

물 흡수선량 표준에 토대를 두고 있는 프로토콜에서는 저에너지 전자선의 경우 평행평판형이온함의 사용과 기준 선질  $^{60}\text{Co}$  감마선의 물 흡수선량 교정정수를 받은 원통형이온함을 사용하여 고에너지 전자선에서 평행평판형이온함을 교차교정하도록 권고하고 있다. 따라서 본 연구에서는 국제원자력기구의 프로토콜(IAEA TRS-398)에서 권고하고 있는 절차에 따라 저에너지 전자선에 대한 원통형이온함의 선질보정정수를 계산하고, 원통형이온함과 평행평판형이온함의 교정방법에 따른 흡수선량을 상호 비교하였다. 그 결과 전자선에너지 10 MeV 이상에서는 두 이온함간의 선량이 잘 일치하였으나 전자선에너지 6, 9 MeV에서 최대 3.3%까지 선량 차이를 보여 저에너지 전자선에서는 반드시 평행평판형이온함의 사용하여 선량측정 할 것을 권고한다. 교정방법 차이에 의한 평행평판형이온함의 선량은 서로 잘 일치하는 것으로 나타나 표준기관에서 직접 교정 받은  $^{60}\text{Co}$  감마선의 물 흡수선량교정정수를 사용하여 전자선 물 흡수선량을 결정해도 큰 영향은 없을 듯하다. 또한 평행평판형이온함을 교차 교정하기 위한 전자선 에너지에 따른 흡수선량을 상호 비교한 결과 20 MeV이외 12, 16 MeV의 전자선 에너지에서도 잘 일치하여 교차교정을 위한 전자선의 기준 선질에 대한 연구가 더 진행되어야 한다고 사료된다.

중심단어: 전자선 선량측정, 평행평판형이온함, IAEA TRS-398

### 서 론

물 흡수선량을 표준으로 하는 새로운 프로토콜 IAEA(International Atomic Energy Agency) TRS-398은 모든 전자선 에너지에 대해 평행평판형이온함을 사용하여 선량측정 할 것을 권고하고 있으며 특히 10 MeV( $R_{50} \leq 4 \text{ g/cm}^2$ ) 이하 저에너지 전자선에서는 평행평판형이온함을 필수적으로 사용할 것을 명시하고 있다. 또한 위 프로토콜에서는 평행평판형이온함에 대한 교정방법으로  $^{60}\text{Co}$  감마선에서 직접 교정정수를 받아 사용하는 것을 제안하고 있다. 하지만 이 방법은 평행평판형이온함들간의 선량편차 및  $^{60}\text{Co}$  감마선에서 평행평판형이온함에 대한 비교관보정정수의 불확도가 크다는 이유를 들어 가능한 한 고에너지 전자선에서 원통형이온함을 이용하여 교차교정 할 것을 권고하고 있다. 그러나 교차교정방법을 이용한 평행평판형이온함의 사용은 복잡한 측정단계와 계산방법으로 인하여 측정 시 오차가 발생할 가능성이 매우 커 현재 임상에서는 선량측정에 많이 이용되지 못하고 있다. 평행평판형이온함의 교차교정 선질에 대해 16 MeV 이상( $R_{50} \leq 7 \text{ g/cm}^2$ )의 고에너지 전자선에서 교정할 것을 권고하고 있지만 방사선 치료기관의 선형가속기 중 위에서 언급하고 있는 전자선 에너지를 갖고 있지 않은 경우도 있어 전자선 선량측정 시 프로토콜에서 권고하고 있는 모든 사항을 따르기는 쉽지 않다. 본 연구에서는 TRS-398의 프로토콜을 사용하여 평행평판형이온함을 이용한 두 가지 교정방법과 원통형이온함을 이용한 선량측정 결과를 상호 비교하였으며 평행평판형이온함의 교차교정 시 20 MeV의 고 에너지 전자선뿐 아니라 6~16 MeV의 전자선 에너지에서 얻은 평행평판형이온함의 교정정수를 이용하여 선량결과를 각각 비교하였다. 위의 결과를 바탕으로 전자선에 대한 선량측정절차가 간단하고 실제 임상에서 쉽게 이용할 수 있는 전자선 선량측정방법을 제시해 본다.

### 재료 및 방법

선형가속기(Varian CL 2100C, USA)에서 방출되는 전자선 에너지 6, 9, 12, 16, 20 MeV에 대해 선량측정을 하였다. 전자선

의 물 흡수선량은 TRS-398의 프로토콜에 따라 Famer형의 PTW TN30013 원통형이온함과 Roos형의 PTW TN34001 평행평판형이온함을 사용하여 결정하였다. 두 이온함 모두 국내 이차표준기관인 식품의약품안전청(KFDA)으로부터  $^{60}\text{Co}$  감마선에서의 물 흡수선량교정정수를 받아 사용하였으며 모든 측정은 소형 몰렘텨(RPD 691-001)를 사용하여 SSD가 100 cm일 때 조사면의 크기 10 cm×10 cm에 대해 수행하였다.

기준깊이에서 전자선의 물 흡수선량은 아래 식에 의해 결정된다.

$$D_w = M_Q N_{D,w}^{60\text{Co}} k_{Q,Q_0} \quad (1)$$

여기서,  $M_Q$ 은 이온함의 측정치로 온도도와 기압, 극성효과, 그리고 이온재결합과 같은 물리량을 모두 보정한 값이다.  $N_{D,w}^{60\text{Co}}$ 은  $^{60}\text{Co}$  감마선에서 이온함의 물 흡수선량교정정수이며  $k_{Q,Q_0}$ 는 기준선질,  $Q_0$ 와 실제 사용자의 선질,  $Q$ 사이의 차이를 보정하는 정수이다. 이때 선질보정정수,  $k_{Q,Q_0}$ 는 다음과 같은 식에 의해 이론적으로 계산된다.

$$k_{Q,Q_0} = \frac{(s_{w,air})_Q}{(s_{w,air})_{Q_0}} \frac{P_Q}{P_{Q_0}} = \frac{(s_{w,air})_Q}{(s_{w,air})_{Q_0}} \frac{(P_{wall}P_{cav}P_{cel}P_{dis})_{Q_0}}{(P_{wall}P_{cav}P_{cel}P_{dis})_Q} \quad (2)$$

$s_{w,air}$ 는 물에 대한 공기의 저지능비이며, 교란보정정수,  $P$ 는 이온함의 벽물질과 측정매질에 대한 반응차이를 보정하는 정수,  $P_{wall}$ 과 공기공동(air cavity)과 측정매질 사이의 산란선 영향으로 인한 전자플루언스의 보정하는 정수,  $P_{cav}$ , 원통형 이온함의 중심전극의 영향에 대한 보정정수,  $P_{cel}$  그리고 이온함의 중심이 유효측정점이라고 간주할 때 물의 용적이 공동으로 대체되는 효과를 보정하는 정수,  $P_{dis}$ 로 나눌 수 있다. Table 1은 TRS-398에서 주어진 저지능비와 각각의 교란보정정수를 나타내었으며 이를 바탕으로 식(2)를 사용하여 10 MeV 이하의 저에너지 전자선에서 원통형이온함 PTW TN30013에 대한 선질보정정수,  $k_{Q,Q_0}$ 를 계산하였다.

사용자의 선질,  $Q$ 에서 기준 이온함에 대한 평행평판형이온함의 교차교정에서 평행평판형이온함의 교정정수는 다음의 식으로 나타낸다.

$$N_{D,w,Q}^{pp} = \frac{M_{Q_{cross}}^{cyl}}{M_{Q_{cross}}^{pp}} N_{D,w,60\text{Co}}^{cyl} k_{Q_{cross},Q_0}^{cyl} \quad (3)$$

여기서,  $M_{Q_{cross}}^{cyl}$ 와  $M_{Q_{cross}}^{pp}$ 는 교차교정선질  $Q_{cross}$ 에서 영향을 주는 모든 물리량을 보정한 원통형이온함과 평행평판형이온함의 측정치이다.  $N_{D,w,60\text{Co}}^{cyl}$ 는 기준이온함으로 사용되는 원통형이온함에 대한  $^{60}\text{Co}$  감마선에서의 물 흡수선량교정정수이며,  $k_{Q_{cross},Q_0}^{cyl}$ 는 원통형이온함에 대한 선질보정정수이다. 본 연구에서는 식(1)에 의해 TRS-398의 프로토콜에 따라 원통형이온함과 평행평판형이온함을 이용하여 전자선의 물 흡수선량을 결정하였으며, 이 결과를 식(3)에 따라 교차교정에 의한 평행평판형이온함의 교정정수를 산출한 후 물 흡수선량의 결과와 상호 비교하였다.

교차교정 시, TRS-398에서는 16 MeV이상의 고에너지 전자선에서 원통형이온함에 대해 평행평판형이온함을 교차교정할 것을 권고하고 있다. 그러나 방사선 치료기관 중 프로토콜에서 명시하고 있는 에너지보다 낮은 전자선 에너지를 갖고 있는 경우가 있다. 따라서 교차교정 에너지에 따라 평행평판형이온함의 교정정수 및 선량의 차이를 알아보기 위해 고에너지 전자선뿐만 아니라 다른 전자선에서도 교차교정을 실시하여 그 결과를 비교하였다.

Table 1. Calculated values of the beam quality conversion factor( $k_{Q,Q_0}$ ) for PTW 30013\*. Water/air stopping power ratios and perturbation correction factors are given from the TRS-398 protocol.

Nominal energy (MeV)	$S_{w,air}$	$P_{dis}$	$P_{wall}$	$P_{cel}$	$P_{cav}$	$k_{Q,Q_0}$
6	1.076	1.000	1.000	0.998	0.952	0.919
9	1.059	1.000	1.000	0.998	0.960	0.912
12	1.045	1.000	1.000	0.998	0.968	0.907
16	1.031	1.000	1.000	0.998	0.975	0.902
20	1.020	1.000	1.000	0.998	0.981	0.897
$^{60}\text{Co}$	1.133	0.988	1.001	0.993		

\* The type of construction is identical with type 30001; however type 30013 are waterproof.

## 결 과

Table 2는 원통형이온함에 대한 평행평판형이온함의 물 흡수선량비와 교정방법차이에 따른 평행평판형이온함의 물 흡수선량비를 나타내었으며, 각각의 물 흡수선량은 Fig.1에 나타내었다. PTW 30013/ Roos의 비는 저에너지 전자선에서 최대 3.3%까지 큰 차이를 보였으나 고에너지 전자선으로 갈수록 최소 0.1%까지 줄어 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다. 따라서 프로토콜에서 권고하고 있는 대로 10 MeV 이하의 저에너지 전자선에서는 반드시 평행평판형이온함을 이용하여 선량측정을 해야 함을 알 수 있었다. 또한  $^{60}\text{Co}$  감마선에서 직접 교정정수를 받아 평행평판형이온함으로 측정 한 물 흡수선량과 교차교정에 의해 측정 한 선량의 차이는 0.1~0.3%정도로 두 교정방법간의 선량의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 따라서 표준기관에서  $^{60}\text{Co}$  감마선으로 직접 교정정수를 받아 사용한다면 선량측정에 번거로움이나 선량계산 상의 복잡함이 감소되어 그동안 교차교정으로 인해 평행평판형이온함을 이용하여 선량측정에 불편함이 다소 줄어들 것으로 생각된다. 그러나 본 연구에서는 TRS-398의 프로토콜에서 제시하고 있는 교란보정정수 및 선질보정정수를 적용하여 Roos형의 평행평판형이온함을 사용하여 선량 측정 한 결과이므로 다른 프로토콜에서 제시하는 보정정수를 적용하거나 보호전극이 충분하지 않은 Markus형 평행평판형이온함을 사용하여 선량측정을 한다면 다른 결과를 얻을 수 있음을 주의해야한다.

Table 3는 원통형이온함에 대한 평행평판형이온함의 교차교정 시 전자선에너지에 따른 각각의 교정정수 및 선질보정정수를 나타낸 것이며 이 정수들을 적용하여 결정된 물 흡수선량의 결과는 Fig. 2에 나타내었다. 20 MeV에서 결정된 교정정수를 사용한 물 흡수선량과 전자선에너지 6, 9 MeV에서 결정된 교정정수로 산출한 물 흡수선량간의 차이는 각각 2.8%, 1.3%로 에너지가 낮아짐에 따라 그 차이는 커짐을 알 수 있었다. 하지만 교차 선질 20 MeV이외에 12, 16 MeV 전자선에너지에서도 물 흡수선량간의 차이는 약 0.01% 이내로 일치하였다. 따라서 방사선치료기관의 선형가속기 중 프로토콜에서 권고하고 있는 20 MeV이상의 전자선에너지를 갖고 있지 않은 경우, 그 보다 낮은 전자선에너지를 사용해 평행평판형이온함을 교차교정하더라도 저에너지 전자선만 아니라면 물 흡수선량에는 큰 차이가 없을 것으로 보인다.

Table 2. Ratio of absorbed dose to water at reference depth. comparison between cylindrical chamber and the recommendations of IAEA TRS-398 protocol for electron beam dosimetry using plane-parallel chambers cross-calibrated against an PTW 30013 reference chamber in high-energy electron beam of quality  $Q_0 = 20$  MeV.

Nominal energy (MeV)	Ratio of PTW 30013 /Roos		Roos type plane-parallel chamber
	$^{60}\text{Co}$ calibration	Cross calibration	Ratio of $^{60}\text{Co}$ /Cross calib.
6	1.033	1.024	1.002
9	1.016	1.009	1.001
12	1.000	0.999	1.003
16	0.997	0.997	1.001
20	1.001	0.998	1.002

Table 3. Comparison results of electron beam dosimetry using plane-parallel chambers cross-calibrated in electron beam of quality 20, 16, 12, 9 MeV and 6 MeV.

Nominal energy (MeV)	Calibration quality( $Q_0$ )									
	20 MeV		16 MeV		12 MeV		9 MeV		6 MeV	
	$N_{D,w,00}$	$k_{Q,00}$	$N_{D,w,00}$	$k_{Q,00}$	$N_{D,w,00}$	$k_{Q,00}$	$N_{D,w,00}$	$k_{Q,00}$	$N_{D,w,00}$	$k_{Q,00}$
6		1.055		1.043		1.029		1.016		1.000
9		1.039		1.027		1.013		1.000		0.984
12	0.0774	1.023	0.0783	1.013	0.0793	1.000	0.0813	0.987	0.0838	0.971
16		1.012		1.000		0.987		0.974		0.959
20		1.000		0.988		0.975		0.963		0.947

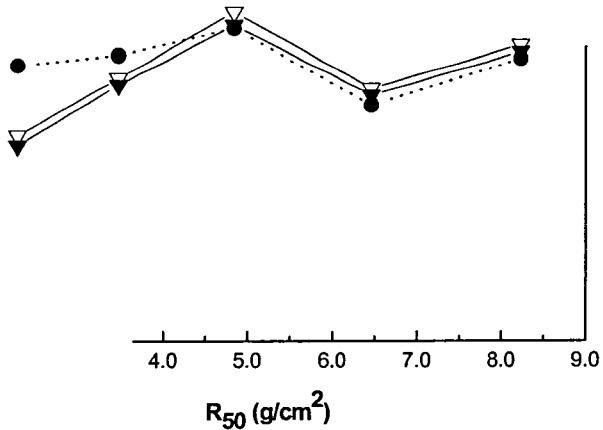


Fig. 1. Absorbed dose to water values obtained with IAEA TRS-398 using  $^{60}\text{Co}$  calibration factor & cross calibration factors for the plane-parallel chamber and cylindrical chamber

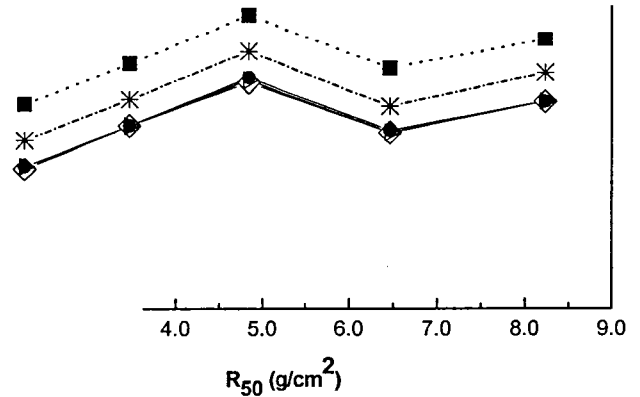


Fig. 2. Absorbed dose to water values obtained using plane-parallel chambers cross-calibrated in electron beam of quality 20, 16, 12, 9, 6 MeV.

## 결 론

원통형이온함과 평행평판형이온함을 사용해서 물 흡수선량을 측정된 결과 전자선에너지 10 MeV이하에서 두 이온함 간의 선량차이가 뚜렷하게 보여 저에너지 전자선에서는 반드시 평행평판형이온함을 사용하여 선량측정을 해야 함을 알 수 있었다. 교정방법 차이에 따른 평행평판형이온함의 선량은 서로 잘 일치하는 것으로 나타나 표준기관에서 직접 교정 받은  $^{60}\text{Co}$  감마선의 물 흡수선량교정정수를 사용해 전자선의 물 흡수선량을 결정해도 큰 영향은 없을 듯하다. 또한 평행평판형 이온함을 교차 교정하기 위한 전자선 에너지에 따른 흡수선량을 상호 비교한 결과 20 MeV 이외의 12, 16 MeV의 전자선 에너지에서도 잘 일치하여 향후 교차교정을 위한 전자선의 기준 선질에 대한 연구가 더 진행되어야 한다고 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. IAEA: IAEA Technical Report Series, No.398(2001)
2. G.Christ, O.S.Dohm, G.Brugger, E.Schule, "The use of plane-parallel chambers in electron dosimetry without any cross-calibration," Phys. Med. Biol., 47, N121-N126 (2002)
3. K.J.Stewart, J.P.Seuntjens, "Comparing calibration methods of electron beams using plane-parallel chambers with absorbed-dose to water based protocols," Med. Phys. 29, 284-289 (2002)