

## 6 MeV 전자 빔의 교정에 원통형 이온함의 사용에 관한 연구

\*한양대학교 의과대학 방사선종양학교실, †인하대학교 의과대학 방사선종양학교실,  
 ‡가천의과대학대학교 길병원 방사선종양학과, §한국식품의약품안전평가원 방사선안전과,  
 ||경희대학교 의과대학 방사선종양학교실

김성훈\* · 허현도† · 최상현† · 최진호‡ · 김혁주§ · 임천일§ · 신동오||

6 MeV 전자빔과 같은 저메가전압 전자빔 교정 시에 물흡수선량에 기반한 선량측정 체계에선 평행평판형 이온함을 사용하도록 하고 있다. 이러한 전자 에너지 범위에선 원통형 이온함을 정기적 기준 선량측정으로서 사용되어서는 안되지만, 사용자 편의상 임시적 사용 가능성에 대해 살펴보고자 하였다. 본 연구에선 빔 선질  $R_{50}=2.25 \text{ g/cm}^2$ 인 명목 에너지 6 MeV 전자빔의 경우에 원통형 이온함인 PTW30013 이온함의 사용가능성에 대해 조사하였다. 2차 표준기관인 식품의약품안전청(KFDA)으로부터 10개 이온함에 대해 물흡수선량 교정인자  $N_{D,w,Q_0}$ 를 받았다. 교차교정된 평행평판형 ROOS 이온함으로 6 MeV 전자빔에 대해 측정된 선량값을 사용하여 "임시적"  $k_{Q,Q_0}$  값을 구하였다. 10개의 이온함에 대해 평균한 값인 "0.9352"를 해당 선질에 대한 이온함의  $k_{Q,Q_0}$ 로 간주하여 흡수선량을 계산하였다. ROOS 이온함으로 측정된 선량값과 최대 2% 범위 안에서 일치하였다. 사용자 편의상 원통형 이온함을 사용해야 하는 경우에 이 "0.9352" 값을 본 연구의 빔 선질과 이온함에 대한 빔선질보정인자로서 임시적으로 사용할 수 있으리라고 본다.

**중심단어:** 물흡수선량 교정인자, 빔선질 보정인자, 원통형 이온함, 저-메가전압 전자 빔

### 서 론

1999년 AAPM의 TG-51,<sup>1)</sup> 2000년 IAEA의 TRS-398<sup>2)</sup> 등 물 흡수선량 표준에 기반한 표준 선량 측정법이 발표된 지 10여 년이 지난 지금, 표준 선량 측정법은 공기-커마 기반에서 물 흡수선량 기반으로 급속히 바뀌어 가고 있다. 국내에서도 많은 기관들이 표준 선량 측정을 공기 커마에서 물 흡수선량으로 바꾸어 사용하고 있다. 국내에서도 물 흡수선량 표준과 관련한 원격치료장비 및 근접치료 분야에서 여러 논문들이 발표 되었다.<sup>3-5)</sup>

공기-커마 기반 표준 선량 측정(예를 들어 TRS-277 Code of Practice, TG-21 Protocol 등)에선 전자 빔의 교정 시에 에너지에 따른 이온함 선택에 제약을 두지 아니하였다. 즉, 에너지 범위에 상관없이 원통형이든 평행 평판형이든 사용

할 수가 있었다. 하지만, 물 흡수선량 기반 표준 측정법에선 전자 빔 에너지의 크기에 따라 이온함 유형의 사용에 제약을 두고 있다. 즉, 전자 빔 교정 시에 TRS-398 Code of Practice에선 전자 빔 선질  $R_{50}<4 \text{ g/cm}^2$ 에선 평행 평판형 이온함만을, TG-51 Protocol에선 명목 에너지 10 MeV 이하에선 원통형 보다 평행 평판형을, 6 MeV 이하에선 평행 평판형만을 권고하고 있다. 따라서 이 저-메가전압 전자 빔 에너지 영역에선 원통형 이온함에 대한 빔 선질 변환 인자  $k_{Q,Q_0}$  값이 주어지지 않고 있다. 이러한 전자 에너지 범위에선 원통형 이온함을 정기적 기준 선량측정으로서 사용되어서는 안되지만, 사용자 편의상 임시적 사용 가능성에 대해 살펴보고자 하였다.

평행 평판형 이온함으로 교체하지 않고도 저-메가전압 전자 빔을 수용할 수 있는 오차 범위 안에서 교정할 수 있다면 특수한 상황 속에선 임시적으로 평행평판형 이온함을 대신할 수 있을 것이다. 예를 들어, 선량측정 시스템을 설치하여 선형 가속기 출력(Output)을 교정할 시에, 광자 빔을 교정한 후에는 사용했던 원통형 이온함을 제거하고, 평행 평판형 이온함으로 교체해야 한다. 정기적 선량측정이 아닌 임시적 선량측정 상황에서 사용자가 그대로 원통형 이온함을 사용하고자 하거나, 혹은 한시적으로 평행평판형

본 연구는 2009년도 식품의약품안전청 용역연구개발사업(09142방사선502) 및 교육과학기술부 원자력기술개발사업(2009-0062480)의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

이 논문은 2009년 11월 19일 접수하여 2009년 12월 10일 채택되었음.  
 책임저자 : 신동오, (130-702) 서울시 동대문구 회기동 1

경희대학교 의과대학 방사선종양학교실

Tel: 02)958-8665, Fax: 02)958-8336

E-mail: ohsd32@naver.com

Table 1. The electron beam quality and the measurement conditions for the cross-calibration.

Nominal energy	Beam quality	SSD	Reference depth	Field size
21 MeV	$R_{50}=8.40$ cm	100 cm	4.94 cm	$10 \times 10$ cm <sup>2</sup>

이온함을 사용하지 못하는 상황이 있을 수 있다. 이와 같은 비정규적 상황 등에서 저 메가전압 전자 빔에서 원통형 이온함을 임시적으로 사용할 수 있다면, 사용자가 한시적으로 부딪치고 있는 선량측정 문제를 임시적으로 해결하는데 도움을 줄 것이다.

본 연구에선 빔 선질  $R_{50}=2.25$  g/cm<sup>2</sup>인 명목 에너지 6 MeV 전자 빔의 경우에 원통형 이온함인 PTW30013 이온함의 사용가능성에 대해 조사하였다. 교차교정된 평행 평판형 ROOS 이온함으로 측정된 선량 값을 기준 값으로 하여, 10개의 PTW30013 이온함의 “임시적” 평균 빔 선질 보정 인자(the beam quality correction factor)  $k_{Q,Q_0}$ 를 구하고자 하였다.

### 재료 및 방법

물 흡수선량 표준에 기반한 표준 측정법을 사용하여 선량을 계산시에 측정 깊이에서의 물 흡수선량은 다음처럼 계산된다.<sup>6)</sup>

$$D_w = M_Q \cdot N_{D,w,Q_0} \cdot k_{Q,Q_0} \quad (1)$$

여기에서  $M_Q$ 는 온도와 기압, 극성효과, 이온 재결합 효과 등에 대해 보정된 전하량이고,  $N_{D,w,Q_0}$ 는 교정 기관 선질  $Q_0$ 에서 측정된 해당 이온함의 물 흡수선량 교정 인자(the absorbed dose to water calibration factor)이고,  $k_{Q,Q_0}$ 는 교정 기관 선질  $Q_0$ 와 사용자 선질  $Q$ 의 차이를 보정해 주는 선질 보정 인자이다. (1) 식에서 흡수선량  $D_w$ 를 결정할 수 있다면,  $k_{Q,Q_0}$ 는 다음처럼 구할 수 있다.

$$k_{Q,Q_0} = \frac{D_w}{M_Q \cdot N_{D,w,Q_0}} \quad (2)$$

여기에서 분자  $D_w$ 는 교차교정된 평행평판형 ROOS 이온함을 사용하여 결정하고, 분모에서  $M_Q$ 는 원통형 이온함이 측정된 전하량이다. 평행평판형 ROOS 이온함은  $R_{50}=8.40$  cm인 전자 빔에서 식품의약품안전청(KFDA)으로부터 교정 받은 원통형 이온함을 사용하여 교차교정하였다. 교차교정

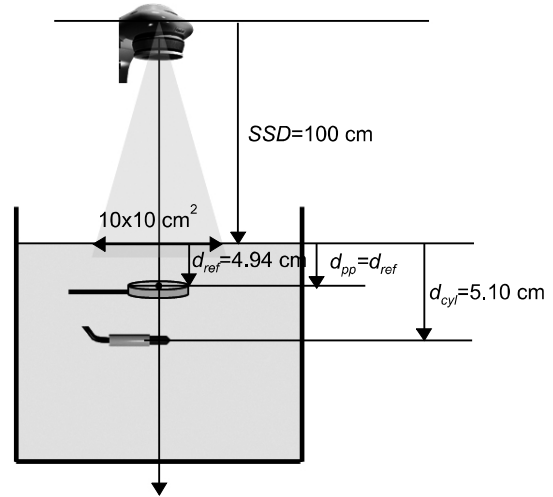


Fig. 1. Schematic overview of the reference conditions for the cross-calibration in the electron beam of a nominal energy 21 MeV with the beam quality of  $R_{50}=8.40$  cm. The  $d_{ref}$  represents the reference depth, the  $d_{pp}$  the position of a planeparallel ROOS chamber, and the  $d_{cyl}$  the position of a cylindrical PTW30013 chamber.

선질 및 측정 조건은 아래 Table 1과 Fig. 1에서 보여 준다. 교차교정에 사용된 평행평판형 ROOS 이온함의 기준 위치는 기준 깊이와 동일하고 원통형 PTW30013 이온함의 기준 깊이는 유효 측정점( $0.5 r_{cav}$ )을 적용하였다.

엄밀하게  $k_{Q,Q_0}$ 를 구하기 위해선 흑연 열량계와 같은 일차 표준 선량계를 사용해야 하지만,<sup>7)</sup> 임상에서 일차 표준 선량계 사용은 현실적으로 이용불가능하므로, “임시적”인 대안으로 평행 평판형 이온함인 ROOS 이온함을 사용하여 기준 선량값을 측정하였다. 교차교정한 평행평판형 이온함으로 선량 측정시 수식은 다음과 같다.

$$D_w = M_Q \cdot N_{N,w,Q_{cross}}^{pp} \cdot k_{Q,Q_{cross}}^{pp} \quad (3)$$

여기서  $N_{N,w,Q_{cross}}^{pp}$ 는 교차교정 전자 빔 선질에 대한 교차교정할 평행평판형 이온함의 물흡수선량 교정 인자이고,  $k_{Q,Q_{cross}}^{pp}$ 는 교차교정 선질로부터 임의 전자 빔 선질로의 빔 선질 변환 인자이다.

사용한 10개의 PTW30013 이온함에 대해 모두 교차교정

Table 2. The reference conditions of measurement in the electron beam whose nominal energy is 6 MeV and beam quality  $R_{50}=2.25$  cm.

$R_{50}^*$	$d_{ref}^\dagger$	$d_{cham}^\ddagger$	PDD ( $d_{ref}$ ) <sup>§</sup>	SSD <sup>  </sup>	Field size
2.25 cm	1.25 cm	1.41 cm	99.90	100.0 cm	10×10 cm <sup>2</sup>

\*The beam quality defined as the half-value depth in water, <sup>†</sup>the reference depth of measurement  $d_{ref}=0.6 R_{50}-0.1$  [g/cm<sup>2</sup>], <sup>‡</sup>the position of the reference point of the chamber  $d_{cham}=d_{ref}+0.5 r_{cav}$ , <sup>§</sup>the percentage depth dose at the reference depth, <sup>||</sup>the source-surface distance.

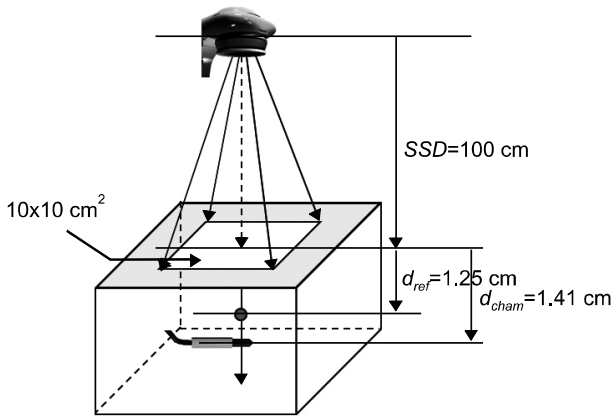


Fig. 2. Schematic overview of the reference conditions for the determination of an absorbed dose in the electron beam of a nominal energy 6 MeV. The cylindrical type of an ion chamber is not positioned at the depth  $d_{max}$  but the reference depth  $d_{ref}$ .

하여 이 이온함에 대해 교차교정한 ROOS 이온함의 불확도를 구해야 하지만, 주어진 실험 여건상 1개의 PTW30013 이온함에 대해서만 ROOS 이온함을 교차교정하였다. 따라서 이렇게 구해진 선질 보정 인자를 이 연구에선 “임시적” 선질 보정인자라고 칭하겠다.

교정에 사용된 전자 빔은 SIEMENS ONCOR 장비의 명목 에너지 6 MeV 전자 빔이고, 빔 선질(beam quality)은 물에서의 반가 깊이  $R_{50}=2.25$  cm이다. 원통형 PTW30013 이온함으로 측정시에 TRS-398 Code of Practice에 따라 유효 측정점(0.5  $r_{cav}$ )을 적용하였다. 측정 조건은 Table 2에서 주어지며, Fig. 2에서 도식적으로 보여 주고 있다.

기준 깊이에서의 선량은 교차 교정된 평행 평판형 이온함인 ROOS 이온함을 사용하여 결정하였다. 이렇게 결정된 선량 값이 (2) 식의 분자 값으로 사용되었다. 측정에 사용된 원통형 이온함은 PTW30013 이온함으로 10개의 이온함을 수집하여 2차 표준기관인 식품의약품안전청(KFDA)으로부터 개개 이온함에 대한 물흡수선량 교정인자  $N_{D,W,Q_0}$ 를 받았다. 실험의 정확성을 위해 하나의 전위계(UNIDOS)

와 하나의 동선을 한 세트의 하여 각각의 이온함에 대해 교정받았다. 따라서 흡수선량 계산시에 전기계 보정이 필요하지 않다. ROOS 이온함으로 측정된 선량 값과 10개의 개개 이온함의 물 흡수선량 교정 인자 값 및 측정 전하량 값을 (2)식에 넣어 개개 이온함 별 선질 보정 인자를 구하고 이로부터 PTW30013 이온함 유형에 적용할 수 있는 평균 선질 보정 인자 값을 구하였다.

### 결과 및 토의

TRS-398 Code of Practice에선 교차교정에 대한 절차서를 따로 제공해 주지 않고 있다. 평행평판형 이온함을 교차교정하여 선량측정에 사용하기 위해선 두 가지 물리량이 결정되어야 한다. 즉, 교차교정 선질에 대한 평행평판형 이온함의 물흡수선량 교정인자  $N_{N,W,Q_{cross}}^{pp}$  와 교차교정 선질로부터 임의 선질의 선질 변환 인자  $k_{Q,Q_{cross}}^{pp}$  이다. 본 연구에선 이 두 물리량을 구하기 위한 각각의 절차서를 마련하였다. 따라서 아래 절차서는 교차교정을 처음 하고자 하는 사람들에게겐 부분 참고자료로 사용할 수 있을 것이다.

#### 1. 교차교정 작업서 01: 교차교정할 평행 평판형 이온함의 $N_{N,W,Q_{cross}}^{pp}$ 결정 작업서

$Q_0$ 는 표준기관 선질(<sup>60</sup>Co)을,  $Q_{cross}$ 는 교차 교정 기준 전자 빔 선질을,  $Q$ 는 임의 전자 빔 선질을, 첨자 “ref”는 기준 원통형 이온함을, 첨자 “pp”는 교차 교정할 평행 평판형 이온함을 각각 나타낸다.

측정일: 0000년 00월 00일 0요일

- 방사선 치료 장비(radiation treatment unit): (가속기 모델명) SIEMENS ONCOR
- 이온함(ionization chamber)과 전기계(electrometer)
- 전기계 모델명: UNIDOS 전기계 보정  $C_{elec}$ : 1.0 \*

· 이온함 정보

구분	기준 원통형 이온함	교차교정할 PP 이온함
이온함 모델명	PTW30013	ROOS
연 번호	2020	1023
내 반경 $r_{cav}$ (cm)	0.31	
$N_{N,W,Q_0}^{ref}$ 교정값	5.442 [cGy/nC]	

· 측정 기준 조건과 교차교정 빔 선질 정보:  $SSD=100$  cm,  $FS=10 \times 10$  cm<sup>2</sup>

전자 빔 교차교정 선질 명목 에너지: 21 MeV

$R_{50}$ (cm)	$d_{ref}$ (cm)	$d_{cham}$ (원통형)	$d_{cham}$ (pp)	$k_{Q_{cross}, Q_0}^{ref}$
8.40 cm	4.94 cm	5.10 cm	4.94 cm	0.8970

기준 길이:  $d_{ref}=0.6 R_{50}-0.1$  [g/cm<sup>2</sup>]  
 이온함 길이  $d_{cham}$ : (원통형)  $d_{cham}=d_{ref}+0.5 r_{cav}$ , (평행 평판형)  $d_{cham}=d_{ref}$   
 $k_{Q_{cross}, Q_0}^{ref}$ : 교차 기준선질  $Q_{cross}$ 에 대한 기준 원통형 이온함의 선질 변환 인자로서 TRS-398 Code of Practice의 Table 18에서 결정.

· 측정 값과 측정에 영향을 미치는 물리량(influence quantities)에 대한 보정

이온함	전압	평균 측정값
기준 원통 이온함	+V <sub>1</sub> =+400 V	(Q <sub>1</sub> =Q <sub>+</sub> )=18.19 nC
	-V <sub>1</sub> =-400 V	Q <sub>-</sub> =18.22 nC
	+V <sub>2</sub> =+200 V	Q <sub>2</sub> =18.07 nC
교차교정 이온함	+V <sub>1</sub> =+100 V	(Q <sub>1</sub> =Q <sub>+</sub> )=11.70 nC
	-V <sub>1</sub> =-100 V	Q <sub>-</sub> =11.75 nC
	+V <sub>2</sub> =+50 V	Q <sub>2</sub> =11.56 nC

① 온도와 기압 보정

- 물 온도: 25.60°C, 실내 기압: 998 mbar
- 온도 기압 보정 인자  $C_{TP}$

$$C_{TP} = \frac{1.013}{998} \times \frac{273.2 + 25.6}{295.2} = 1.0171$$

② 극성 효과:  $C_{pol} = \frac{|Q_+| + |Q_-|}{2Q_+}$

③ 이온 재결합 보정인자:

$$C_{IR} = 2.337 - 3.636 \left( \frac{Q_1}{Q_2} \right) + 2.299 \left( \frac{Q_1}{Q_2} \right)^2 \cong \frac{Q_1}{Q_2}$$

이온함	극성 효과 $C_{pol}$	이온재결합 $C_{IR}$	보정된 측정 값 $M_Q$
기준 원통 이온함	1.0008	1.0065	$M_{Q_{cross}}^{ref} = 18.64$ [nC]
교차교정 pp 이온함	1.0021	1.012	$M_{Q_{cross}}^{pp} = 12.07$ [nC]

$$\text{보정된 측정 값 } M_Q = Q + C_{TP} C_{pol} C_{IR} C_{elec}$$

· 교차교정받는 평행 평판형 이온함의 물 흡수선량 교정 인자  $N_{D,W,Q_{cross}}^{pp}$

$$N_{D,W,Q_{cross}}^{pp} = \frac{M_{Q_{cross}}^{ref}}{M_{Q_{cross}}^{pp}} N_{D,W,Q_0}^{ref} k_{Q_{cross}, Q_0}^{ref} [cGy/nC] = 7.5386 [cGy/nC]$$

2. 교차교정 작업서 02: 평행 평판형 이온함의 선질 변환 인자  $k_{Q,Q_{cross}}^{pp}$  계산 작업서

$Q_0$ 는 표준기관 선질(코발트-60)을,  $Q_{cross}$ 는 교차 교정 기준 전자빔 선질을,  $Q$ 는 임의의 전자빔 선질을, 첨자 “ref”는 기준 원통형 이온함을, 첨자 “pp”는 교차 교정할 평행평판형 이온함을 각각 나타낸다.

계산일: 0000년 00월 00일 0요일

· 방사선 치료 장비(radiation treatment unit): (가속기 모델명) SIEMENS ONCOR

· 이온함(ionization chamber)

· 기준 원통형 이온함: (모델명) PTW30013, (연번호) 2020

· 교차교정할 평판형 이온함: (모델명) ROOS, (연번호) 1023

· 교차교정 평행 평판형 이온함의 선질 변환 인자  $k_{Q,Q_{cross}}^{pp}$

$$k_{Q,Q_{cross}}^{pp} = \frac{k_{Q,Q_{int}}^{pp}}{k_{Q_{cross},Q_{int}}^{pp}}, \text{ 여기서 } k_{Q_{cross},Q_{int}}^{pp} \text{ 와 } k_{Q,Q_{int}}^{pp} \text{ 는}$$

TRS-398 Code of Practice의 Table 19에서 결정.

예를 들어, 21 MeV가 교차교정할 전자 빔 기준 선질  $Q_{cross}$ 이라면 21 MeV에 대한  $k_{Q,Q_{int}}^{pp}$  값이  $k_{Q_{cross},Q_{int}}^{pp}$  값이 된다.

에너지(MeV)	선질 $R_{50}$	$k_{Q,Q_{int}}^{pp}$	$k_{Q_{cross},Q_{int}}^{pp}$	$k_{Q,Q_{cross}}^{pp}$
6 MeV	2.25 cm	1.0510	0.9948	1.0565
21 MeV	8.40 cm	0.9948		1.0000

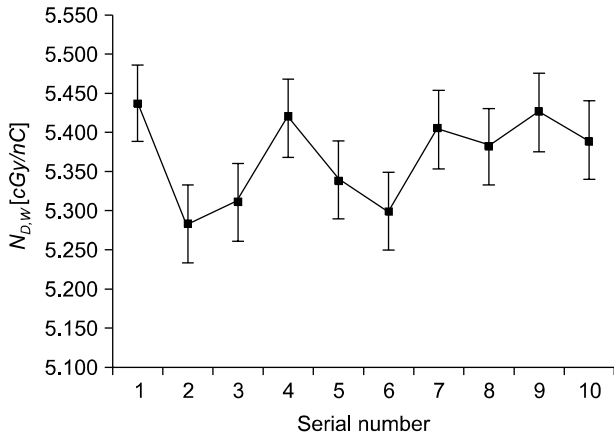
3. “임시적”  $k_{Q,Q_0}$  결정 및 흡수선량 계산

2차 표준기관인 식품의약품안전청(KFDA)으로부터 교정 받은 10개 이온함의 물 흡수선량 교정 인자  $N_{D,W,Q_0}$  값들은

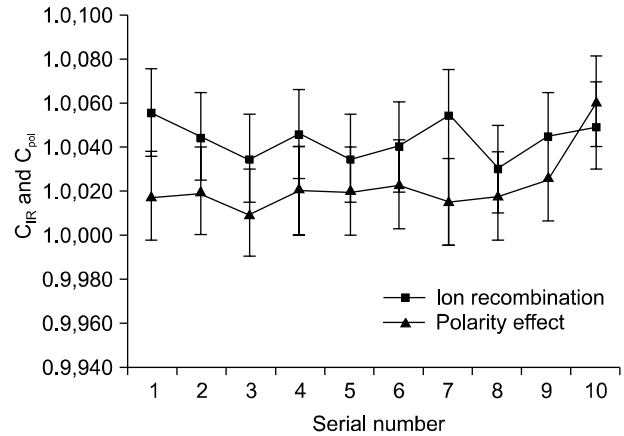
**Table 3.** The absorbed dose to water correction factors  $N_{D,w,Q_0}$  in units of  $[cGy/nC]$  for the 10 PTW30013 ion chambers.

serial number*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$N_{D,w,Q_0}$	5.438	5.283	5.311	5.419	5.340	5.299	5.405	5.382	5.427	5.390

\*The serial number is not the real one, but the one numbered for convenience.



**Fig. 3.** The variations of the absorbed dose to water correction factors  $N_{D,w,Q_0}$  for the 10 PTW30013 ion chambers calibrated from KFDA. The error bars represents the uncertainty of 1.3% from the calibration certificate given by KFDA. The abscissa represents the serial numbers given arbitrarily for convenience.



**Fig. 4.** The correction factors of the polarity effects and those of the ion recombination effects for the 10 PTW30013 ion chambers.  $C_{IR}$  and  $C_{pol}$  in the ordinate represent ion recombination and polarity effect, respectively. The error bar represents the uncertainty of 10 times measurements for each chamber. The abscissa shows the serial numbers given arbitrarily for convenience.

**Table 4.** The “temporary” beam quality correction factors calculated from the equation (2).

serial number*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$k_{Q,Q_0}$	0.9349	0.9284	0.9327	0.9328	0.9395	0.9552	0.9268	0.9359	0.9341	0.9319
Average	0.9352									

\*The serial number is not the real one, but the one numbered for convenience.

아래 Table 3와 Fig. 3에서 보여 준다. 값들 간의 최대 차이는 3%에 이르고 있다. 이는 동일 제작사가 만들어 낸 동일한 유형의 이온함일지라도, 기술의 한계상 물리적 특성을 똑같이 만들어 내는 것이 매우 어려움을 단적으로 보여주는 것이다. 현재 프로토콜들에선 하나의 이온함 유형이 주어졌을 때, 연번호와 무관하게 동일한  $k_{Q,Q_0}$  값이 사용된다. 이 값을 “포괄적(generic)”  $k_{Q,Q_0}$  값이라고 한다.<sup>2)</sup> 주어진 물리적 상황에 따라 연번호와 무관하게 포괄적  $k_{Q,Q_0}$  값을 사용할 수 있을 것인가에 대해서 점검해 보아야 한다(예들 들어, 킬로-전압 범위의 X-선의 경우엔 동일한 이온함 유형

일지라도, 연번호에 따라 다른  $k_{Q,Q_0}$  값을 사용해야 한다).

Fig. 4는 10개 이온함 별 이온 재결합 및 극성 효과 보정 인자 값들을 보여 주고 있다. 한 이온함이 극성 효과에서 다소 차이를 보이지만(Fig. 4의 마지막 이온함으로서 값이 1.006) 전체적으로 이온 재결합 및 극성 효과 모두 안정적인 모습을 보이고 있다. 오차 막대는 10번의 측정에 대한 측정 불확도로서  $\pm 0.2\%$ 이다.

“재료 및 방법”에서 언급한 “임시적” 선질 보정 인자들, (2)식을 사용하여 10개의 각각의 이온함에 대해 구하였다(결과 Table 4 및 Fig. 5). 교차교정된 ROOS 이온함을 사용

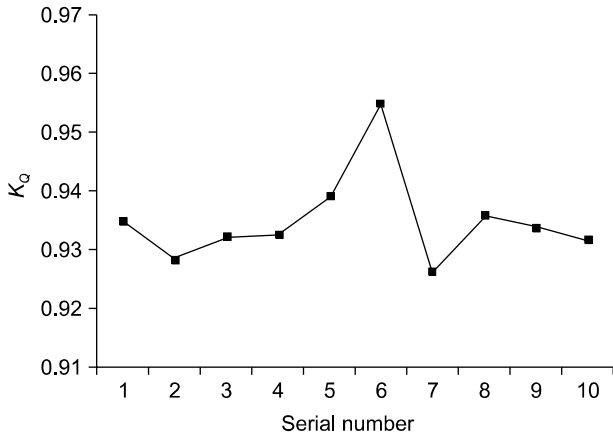


Fig. 5. The “temporary” beam quality correction factors  $k_Q$  calculated from the equation (2) for each chamber. The abscissa represents the serial numbers given arbitrarily for convenience.

하여 측정된(수식 (3) 이용) 최대 선량 깊이에서의 흡수선량 값은 100.2 [cGy/100 MU]이었다. 이 값이 (2) 식의 분자 값인  $D_w$ 로 사용되었다. 10개의 PTW30013 이온함 모두에 대해 ROOS 이온함을 교차교정하여 그에 대한 불확도를 구해야 하지만, 실험 여건상 1개의 PTW30013 이온함에 대해서만 ROOS 이온함을 교차교정하였다.

한 이온함이 산술 평균 값으로부터 벗어난 정도가 2%이 고(Table 4의 6번째 이온함으로서 0.9552), 나머지는 산술 평균 값으로부터 1% 범위 내에 분포하고 있다. 이는 이렇게 구한  $k_{Q,Q_0}$  값(0.9552)이 비록 임시적 값일지라도, 한시적으로 선량측정에 사용할 수 있는 가능성을 보여주는 것으로 사료된다.

이렇게 해서(Table 4의 결과) 구해진 “임시적” 평균 선질 보정 인자 값 “0.9352”을 PTW30013 원통형 이온함으로 선량 결정시에 사용하였다. (1) 식을 사용하여 10개의 각 이온함 별로 흡수선량을 구하였다. Fig. 6는 이들 값들을 평행 평판형 ROOS 이온함으로 구한 선량 값으로 규격화한 결과를 보여 주고 있다. 한 이온함의 값이 다소 차이를 보여도(Fig. 6의 6번째 이온함으로서 0.979), 전체적으로 2% 범위 안에 들어오고 있다. 한 이온함 값이 다소 차이를 보인다는 것은 동일한 이온함 유형에 대해 “포괄적(generic)” 선질 보정 인자 값을 사용하는 것에 다소 주의를 기울여야 함을 말한다. 좋은 검출기라면 동일한 이온함 유형 시에 검출기 간 흡수선량 측정 결과 값이 1% 이내 범주에 들어와야 한다고 생각한다. 이러한 결과는 본 연구와 같은 방법으로 구해진  $k_{Q,Q_0}$  값을 6 MeV 전자 빔의 정기적 흡수선량 측정에 사용하기엔 권고할 순 없지만, 평행평판형 이온함

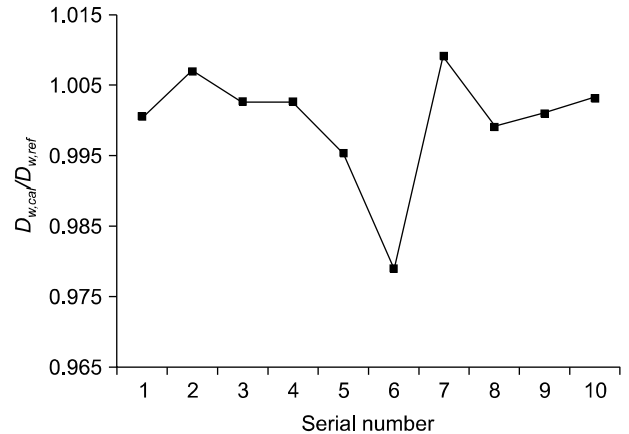


Fig. 6. The ratio  $D_{w,cal}/D_{w,ref}$  of the absorbed dose  $D_{w,cal}$  measured by PTW30013 chambers using the “temporary” beam quality correction factors to the absorbed dose  $D_{w,ref}$  measured by a ROOS chamber, a planeparallel chamber. Only one chamber of PTW30013 chambers shows the difference of 2% and the others are in good agreements within 1%. The abscissa represents the serial numbers given arbitrarily for convenience.

을 쓰는 데 어려움이 있는 현실적 상황속에선 평행평판형 이온함의 임시적 대안으로서 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

### 고찰 및 결론

선량측정을 해야하는 상황속에선 정상적이고 일상적인 과정을 통해 수행하기가 어려운 상황들이 상존할 수 있다. 광자 빔 교정에 사용하기 위해 설치해 놓은 원통형 이온함을 전자 빔 교정에 그대로 사용하는 것이 주어진 실제 상황에 한시적으로 더 유익하다거나, 평행평판형 이온함을 사용하는 것이 어려운 상황이 있을 수 있다. 이러한 특수한 상황들속에선 원통형 이온함을 수용가능한 오차범위 안에서 적절히 사용할 수 있다면, 그러한 상황을 임시적으로 해결하는 데 매우 유익할 수 있을 것이다.

여전히 저-메가전압 전자 빔의 “정기적” 교정은 평행평판형 이온함을 사용하여야 한다. 원통형 이온함을 써야 되는 “일시적인” 상황속에서만, 본 연구와 같은 방법을 사용하여 얻은 PTW 30013 이온함의  $k_{Q,Q_0}$  값(0.9352)을 해당 전자 빔 선질( $R_{50}=2.25$  cm)에 대해 적용하여 흡수선량을 결정하는 것도 주어진 상황을 임시적으로 해결할 수 있는 한 방법이라고 생각한다.

## 감사의 글

본 연구의 실험을 위해 도움을 주신, 삼성의료원 한영이 선생님, 원자력 의학원 김금배 선생님께 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. Peter R. Almond, Peter J. Biggs, Coursey BM, et al: AAPM's TG-51 Protocol for clinical reference dosimetry of high energy photon and electron beams. Med Phys 26:1847-1870 (1999)
2. IAEA Technical Reports No. 398: Absorbed dose Determination in External Beam Radiotherapy. IAEA, VIENNA (2000)
3. 라정은, 신동오, 박소현 등: 평행평판형 이온함의 교차교정 시 전자선 선질에 따른 흡수선량 결정에 대한 연구. 의학물리 20:97-104 (2009)
4. 김성훈, 허현도, 최상현 등: Chamber to chamber variations of a cylindrical ionization chamber for the calibration of an  $^{192}\text{Ir}$  brachytherapy source based on an absorbed dose to water standards. 의학물리 20:7-13 (2009)
5. 허현도, 김우철, 노준규 등: 기준점에서의 물 흡수선량을 이용한 Ir-192 선원의 공기커마 세기 계산을 위한 알고리즘 개발. 의학물리 17:232-237 (2006)
6. Pedro Andreo: Absorbed dose beam quality factors for the dosimetry of high-energy photon beams. Phys Med Biol 37: 2189-2211 (1992)
7. Stanislav M. Vatnitsky, Jeffrey V. Siebers, Daniel W. Miller: Calorimetric determination of the absorbed dose to water beam quality correction factor  $k_Q$  for high-energy photon beams. Med Phys 22:1749-1752 (1995)

## The Study on the Use of a Cylindrical Ionization Chamber for the Calibration of a 6 MeV Electron Beam

Seong Hoon Kim\*, Hyundo Huh<sup>†</sup>, Sang Hyun Choi<sup>†</sup>, Jinho Choi<sup>†</sup>,  
Hyeog Ju Kim<sup>§</sup>, Chunil Lim<sup>§</sup>, Dong Oh Shin<sup>||</sup>

\*Department of Radiation Oncology, College of Medicine, Hanyang University, Seoul,

<sup>†</sup>Department of Radiation Oncology, College of Medicine, Inha University,

<sup>‡</sup>Department of Radiation Oncology, Gachon University Gil Hospital, Incheon,

<sup>§</sup>National Institute of Food and Drug Safety Evaluation,

<sup>||</sup>Department of Radiation Oncology, College of Medicine, Kyung Hee University, Seoul, Korea

The standard dosimetry systems based on an absorbed dose to water recommend to use a planeparallel chamber for the calibration of such a low-megavoltage electron beam as a nominal energy of 6 MeV. For this energy ranges of an electron beam a cylindrical chamber should not be used for the routinely regular beam calibration, but the feasibility of the temporary use of a cylindrical chamber was studied to give temporary solutions for special situations users meet. The PTW30013 chambers and the electron beam quality of  $R_{50}=2.25 \text{ g/cm}^2$  were selected for this study. 10 PTW30013 chambers, a cylindrical type of chamber, were calibrated in KFDA, the secondary standards dosimetry laboratories, and given the absorbed dose-to-water calibration factors, respectively. A "temporary"  $k_{Q,Q_0}$  for each chamber were calculated using the absorbed dose determined by a cross-calibrated planeparallel chamber, with the result of an average 0.9352 for 10 chambers. This value for PTW30013 chamber was used to determine an absorbed dose to water at the reference depth. The absorbed doses determined by PTW30013 chambers were in an agreement within 2% with that by ROOS chamber. In a certain situation where a cylindrical chamber be used instead of a planeparallel chamber, the value of 0.9352 might be useful to determine an absorbed dose to water in the same beam quality of electron beam as this study.

**Key Words:** Absorbed dose to water calibration factor, Beam quality correction factor, Cylindrical chamber, Low-megavoltage electron beam