

## 교정정수 변화에 의한 원통형이온함의 안정성 평가

가톨릭대학교 의과대학 의공학교실\*, 식품의약품안전청 방사선표준과<sup>†</sup>, 경희대학교 의과대학 방사선종양학교실<sup>‡</sup>

라정은\* · 홍주영\* · 김귀야<sup>†</sup> · 임천일<sup>†</sup> · 정희교<sup>†</sup> · 신동오<sup>‡</sup> · 서태석\*

**목적:** 식품의약품안전청(Korea Food Drug Administration, KFDA)의 도움을 받아 1998년부터 2004년까지 장기간에 걸친 교정정수의 분석을 통해 원통형이온함의 모델별 안정성을 확인하고자 한다.

**대상 및 방법:** 치료방사선기관에서 교정을 의뢰한 이온함 중 Farmer형의 원통형이온함만을 대상으로 하였으며 모델은 PTW사의 30001 (30006), 30013, 30002, 30004, 23333과 Capintec사의 PR06C, NE사의 2571, Exradin사의 A12 그리고 Wellhofer사의 FC65G (IC70) 등 총 9개 종류의 이온함에 대해 에어커마 교정정수 및 물흡수선량 교정정수를 분석하였으며 에어커마 교정정수를 이용하여 계산한 물흡수선량 교정정수(cal.  $N_{D,w}$ )와 실제 측정에 의해 결정된 물흡수선량 교정정수(meas.  $N_{D,w}$ )를 상호 비교하였다.

**결과:** 교정정수 변화를 분석해 본 결과, PTW사의 30013 (30006), Wellhofer사의 FC65G (IC70) 그리고 NE사의 2571 이온함의 경우 측정 표준편차 0.2% 이내에서 잘 일치하여 다른 모델의 이온함에 비해 안정된 값을 가지는 것으로 나타났으며 계산에 의한 물흡수선량 교정정수와 실제 측정에 의해 결정된 물흡수선량 교정정수를 비교 분석한 결과는 모든 이온함에서 측정에 의한 물흡수선량 교정정수가 약 1.0% 큰 것으로 나타났다.

**결론:** 본 연구에서는 원통형이온함의 교정정수 값들에 대하여 장기간의 안정성 평가를 토대로 임상에서 요구되는 이온함의 선택 기준을 제시함으로써 표준체계에 따른 이온함의 선택 및 선량측정의 정확성을 향상시킬 것으로 기대한다.

**핵심용어:** 에어커마 교정정수, 물흡수선량 교정정수, 원통형이온함, 장기적 안정성

### 서 론

방사선치료기관에서 선량측정을 위해 사용되고 있는 이온함은 정밀·정확도가 높은 기기이므로 안정성(stability)에 대해 충분한 시험을 거친 모델을 선택하여야 하며 특히 사용자 기관에서 측정 장비의 기준으로 사용하고 있는 이온함에 대해서는 반드시 소급성(traceability)을 검증 받을 수 있는 표준기관에서 적절한 주기를 가지고 교정되어야 한다. 현재 국내 방사선치료기관에서 이온함을 이용한 선량측정 시 사용되는 표준체계는 대부분 조사선량(exposure) 또는 에어커마(air kerma)를 토대로 하고 있다. 그러나 2000년 이후부터는 물흡수선량을 표준으로 하는 IAEA TRS-398<sup>1)</sup>과 AAPM TG-51<sup>2)</sup>의 절차서가 발표되어 국제적으로

사용할 것을 권고하고 있다. 국내에서는 식품의약품안전청이 국가 2차 표준기관으로 방사선 측정기의 교정을 실시하고 있으며 2001년부터는 물흡수선량에 대한 표준체계를 확립하여 이온함에 대한 물흡수선량 교정정수( $N_{D,w}$  calibration factor)를 보급하고 있다. 본 연구에서는 식품의약품안전청의 도움을 받아 1998년부터 2004년까지 방사선치료기관에서 의뢰한 원통형이온함의 에어커마 교정정수( $N_k$  calibration factor)에 대한 변화를 분석하였으며 2001년부터 2004년까지 제공된 물흡수선량 교정정수와 에어커마 교정정수를 상호 비교를 하여 장기간에 걸친 교정정수의 분석을 통한 원통형이온함의 모델 별 안정성을 평가하고자 하였다. 또한 원통형이온함의 물흡수선량 결정 시 불확도(uncertainty)를 분석하여 물흡수선량 표준체계의 변화에 따른 정확도를 확인하였다.

### 대상 및 방법

#### 1. 교정조건

기준 선질은 식품의약품안전청의 보유장비인 ELDORADO-

이 논문은 2006년 2월 28일 접수하여 2006년 5월 22일 채택되었음.  
본 연구는 서울시과제 첨단 의료영상기술 개발 혁신클러스터 사업의 연구비 지원으로 수행되었음.

책임저자: 서태석, 가톨릭대학교 의과대학 의공학교실

Tel: 02)590-2414, Fax: 02)532-1779

E-mail: suhsanta@catholic.ac.kr

6에서 방출되는  $^{60}\text{Co}$  감마선을 사용하였고, 기준 선량은 표준측정장비인 Keithley 6517 전기계와 NE 2561 이온함으로 결정하였으며 이때 표준이온함의 교정정수는 국제도량형국(Bureau International des Poids et Mesures, BIPM)의 소급성을 가진다. 기준환경은 101.325 kPa와 22°C이며 측정에 사용하는 기준 기압계(DPI145, DRUCK, Germany)와 온도계(F250, ASL, USA)는 국가 1차 표준기관인 표준과학연구원(Korea Research Institute of Standard and Science, KRISS)에서 주기적으로 교정을 받아 사용하였다. 에어커마 교정정수를 산출하기 위한 측정조건은 선원과 표면 간의 거리

(Source to surface, SSD)가 100 cm일 때 조사야  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 로 하였으며 물흡수선량 교정정수는 크기가  $30 \times 30 \times 30 \text{ cm}^3$ 인 소형 물팬텀(4322, PTW, Germany)을 사용하여 물 깊이가  $5 \text{ g/cm}^2$ 에서 결정하였고 방수 슬리브(sleeve)를 이용하여 이온함을 물팬텀 바닥에 고정시킨 후 측정하였다(Fig. 1). 이 방수 슬리브는 PMMA 재질로 되어 있으며 측정 시 물비등가성(non-water equivalent)에 대한 영향을 최소화시키기 위해서 수감부위의 두께는 1 mm로 가공되었다.

## 2. 원통형이온함

본 연구에서는 치료방사선기관에서 교정을 의뢰한 이온함 중 선량측정 시 기준 이온함으로 사용되는 Farmer형의 원통형이온함만을 대상으로 하였으며 모델은 PTW사의 30001, 30013, 30002, 30004, 23333과 Capintec사의 PR06C, NE사의 2571, Exradin사의 A12 그리고 Wellhofer사의 FC65G 등 총 9개 종류의 이온함에 대해 교정정수를 분석하였다. 이 중 PTW사의 30013과 Wellhofer사의 FC65G는 각각 30006과 IC 70이 개선된 모델로 다른 물리적 특성은 모두 같고 방수 처리에만 차이가 있어 동일한 이온함으로 취급하였다. Table 1에는 이들 이온함에 대한 물리적 특성을 나타내었다.

## 3. 교정정수의 비교

위 이온함 모델들에 대해서 1998년부터 2004년까지 에어커마 교정정수의 흐름을 분석하였으며 이 중 Exradin사의 A12를 제외한 8종류의 이온함에 대해서는 2001년부터 제공된 물흡수선량 교정정수를 함께 분석하였다. 본 연구에서는 TRS-398 절차서에 따라 다음 식을 이용하여 에어커마 교정정수로부터 물흡수선량 교정정수를 계산하였다.<sup>1)</sup>

$$N_{D,w} = N_K (1-g) k_m k_{att} (S_{w,air}) P_Q \quad (1)$$

$$P_Q = P_{cav} P_{dis} P_{wall} P_{cel} \quad (2)$$

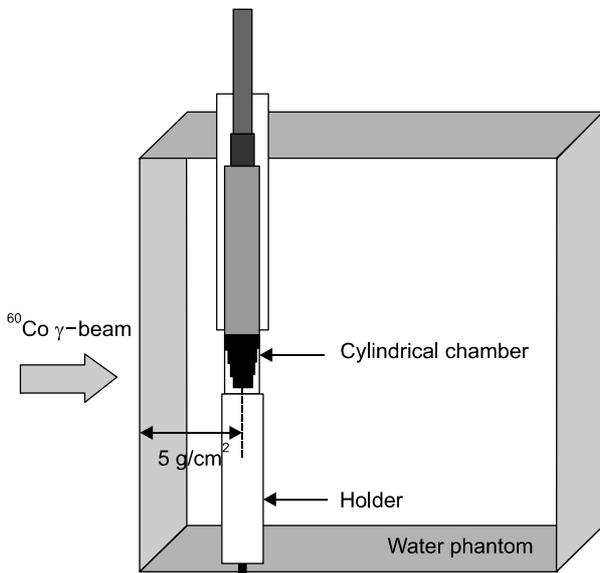


Fig. 1. The Experimental set-up for the determination of the  $N_{D,w}$  calibration factor. The absorbed doses at depth  $5 \text{ g/cm}^2$  in water phantom measured with a constant SSD of 100 cm and a field size of  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ .

Table 1. Characteristics of the Cylindrical Ionization Chambers

Model of ionization chambers	Cavity volume (cm <sup>3</sup> )	Cavity length (mm)	Cavity radius (mm)	Wall material	Wall thickness (g/cm <sup>2</sup> )	Central electrode material	Waterproof
PTW 30001	0.60	23.0	3.1	PMMA	0.045	Al	N
PTW 30013 (previously 30006)	0.60	23.0	3.1	PMMA	0.057	Al	Y
PTW 30002	0.60	23.0	3.1	Graphite	0.079	Graphite	N
PTW 30004	0.60	23.0	3.1	Graphite	0.079	Al	N
PTW 23333	0.60	21.9	3.1	PMMA	0.053	Al	N
Capintec PR-06C	0.65	22.0	3.2	PMMA	0.050	C-552	N
NE 2571	0.60	24.0	3.2	Graphite	0.065	Al	N
Exradin A12	0.65	24.2	3.1	C-552	0.088	C-552	Y
Wellhofer FC65G (previously IC70)	0.67	23.0	3.1	Graphite	0.068	Al	Y

여기서,  $N_{D,w}$ 와  $N_k$ 는 각각 이온함의 물흡수선량 교정정수와 에어커마 교정정수이며  $g$ 는 제동방사선으로 손실되는 에너지 분율으로  $^{60}\text{Co}$  감마선의 경우 0.003이다.  $k_m$ 은 이온함의 벽(wall)물질이 공기비등가(non-air equivalent)인 것을 보정하는 정수이고  $k_{at}$ 는 이온함 벽에서 감쇠에 대한 보정정수(correction factor)이다.  $(s_{w,air})$ 은 물에 대한 공기의 저지능비이며  $P_Q$ 는  $^{60}\text{Co}$  감마선에 대한 총괄적인 교란보정정수로 이온함의 벽물질과 측정 매질에 대한 반응차이를 보정하는 정수  $P_{wall}$ 과 공기 공동(air cavity)과 측정 매질 사이의 산란선 영향으로 인한 전자 플루언스의 보정하는

정수  $P_{cav}$ , 원통형이온함의 중심 전극의 영향에 대한 보정정수인  $P_{cel}$  그리고 이온함의 중심이 유효측정점(effective point of measurement)이라고 간주할 때 물의 용적이 공동으로 대체되는 효과를 보정하는 정수  $P_{dis}$ 로 나뉜다. 위 식으로 계산된 물흡수선량 교정정수는 실제 측정에 의해 결정된 물흡수선량 교정정수와 상호 비교하였고  $^{60}\text{Co}$  감마선에서 두 교정정수에 대해 불확도를 평가하여 물흡수선량을 표준으로 하는 프로토콜 사용 시 정확도 향상을 확인해 보았다.

결 과

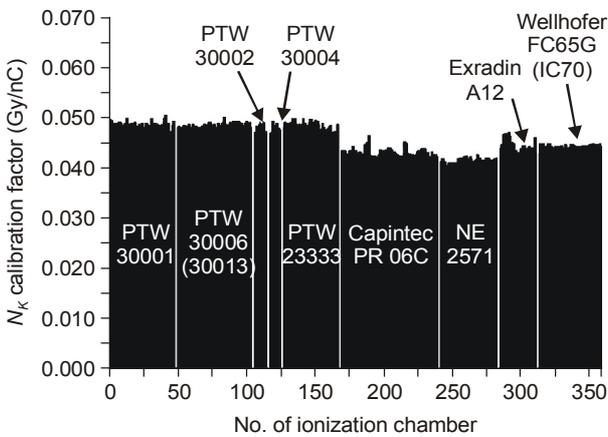


Fig. 2. The  $N_k$  calibration factor in  $^{60}\text{Co}$  beam is a useful indicator of the uniformity within a given type a chambers. Chamber to chamber variations, demonstrated by differences in the  $N_k$  calibration factor for chambers of a given type are shown for a larger number of cylindrical chambers commonly used in radiotherapy dosimetry.

Fig. 2와 Table 2는 1998년부터 식품의약품안전청에 교정을 의뢰한 Farmer형 원통형이온함에 대해 각각의 모델별 에어커마 교정정수를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 동일한 모델의 이온함인 경우 유사한 교정정수의 값을 가짐을 알 수 있었다. 그러나 PTW사의 30013과 NE사의 2571의 경우 0.6 cm<sup>3</sup>의 동일한 부피를 가지는 Farmer형의 이온함일지라도 이온함의 공기공동 반경과 길이 그리고 이온함 벽물질과 두께에 따라 평균 교정정수는 최대 1.6%까지 차이를 보였다. 이 중 에어커마 교정정수가 가장 균일한 이온함은 Table 2에서 보는 바와 같이 Wellhofer사의 FC65G (IC70)과 PTW사의 30013 (30006)로 평균에 대한 표준편차가 각각 0.10%와 0.11%로 나타났고 PTW사의 30001과 NE사의 2571이 0.20~0.23%의 수준을 보였다. 2001년부터 2004년까지 제공된 물흡수선량 교정정수를 비교한 결과 또한 Wellhofer사의 FC65G (IC70)와 PTW사의 30013 (30006) 이온함이 모두 0.10%로 다른 모델에 비해 안정한

Table 2. The Ratio of Max. Value/Min. Value about  $N_k$  Calibration Factors of the Cylindrical Ionization Chambers (1998~2004)

Model of ionization chambers	Average of $N_k$ calibration factor (Gy/nC)	Max. val./ Min. val.	Difference* (%)
PTW 30001	4.850E-02	1.07	0.23
PTW 30013 (previously 30006)	4.833E-02	1.06	0.11
PTW 30002	4.747E-02	1.02	0.51
PTW 30004	4.754E-02	1.15	0.58
PTW 23333	4.846E-02	1.10	0.41
Capintec PR-06C	4.295E-02	1.12	0.26
NE 2571	4.154E-02	1.08	0.20
Exradin A12	4.433E-02	1.10	0.59
Wellhofer FC65G (previously IC70)	4.413E-02	1.03	0.10

\*Difference is defined as (STDEV/Mean)/( $\sqrt{n}$ )×100 (%)

Table 3. The Ratio of Max. Value/ Min. Value about  $N_{D,w}$  Calibration Factors of the Cylindrical Ionization Chambers (2001~2004)

Model of ionization chambers	Average of $N_{D,w}$ calibration factor (Gy/nC)	Max. val./ Min. val.	Difference* (%)
PTW 30001	5.304E-02	1.06	0.20
PTW 30013 (previously 30006)	5.300E-02	1.04	0.10
PTW 30002	5.209E-02	1.02	0.40
PTW 30004	5.196E-02	1.09	0.49
PTW 23333	5.218E-02	1.05	0.28
Capintec PR-06C	4.640E-02	1.04	0.23
NE 2571	4.543E-02	1.05	0.19
Wellhofer FC65G (previously IC70)	4.839E-02	1.02	0.10

\*Difference is defined as (STDEV/Mean)/( $\sqrt{n}$ )×100 (%)

라정은 외 6인: 교정정수 변화에 의한 원통형이온함의 안정성 평가

것으로 나타났다(Table 3).

Table 4에서는 에어커마 교정정수를 가지고 식(1)에 따라 TRS-398에서 제시하고 있는 보정정수 및 저지능비를 적용하여 계산된 물흡수선량 교정정수와 직접 측정에 의해 결정된 물흡수선량 교정정수를 비교하여 두 값의 대한 차이를 나타냈으며 그 결과는 모든 이온함 모델에서 실제 측정된 물흡수선량 교정정수가 계산값인 물흡수선량 교정정수 보다 1.0% 정도 큰 것을 알 수 있었다.

Table 5는 <sup>60</sup>Co 감마선에서 두 교정정수에 대한 불확도를 나타내었다. 여기서 에어커마 교정정수 및 물흡수선량 교정정수에 대한 불확도는 교정기관인 식품의약품안전청의 표준체계 및 조사장비 그리고 표준기기들에 대한 불확도가 모두 포함되기 때문에 이온함 교정의뢰 시 발급되는 교

정 성적서(certification)에 기재되어 있는 내용대로 신뢰구간 95%에서 포함인자(k)가 2인 확장 불확도(expanded uncertainty)로 나타내었다. 식(1)과 (2)에 의해 계산된 물흡수선량 교정정수의 불확도는 TRS-398에 따라 각각의 보정정수들의 합성 불확도(combined uncertainty)로 계산하였고 실제 측정된 물흡수선량 교정정수와 비교하기 위해 역시 포함인자(k)가 2인 확장 불확도로 표현하였으며 결과에서 확인할 수 있듯이 각 보정정수들의 불확도 기여로 인하여 계산에 의한 물흡수선량 교정정수의 불확도는 실제 측정에 의해 결정된 물흡수선량 교정정수의 불확도 0.9%에 약 두 배인 2.0%로 높아짐을 알 수 있었다.<sup>1,3)</sup>

### 고안 및 결론

현재 국내 방사선치료기관에서 사용하고 있는 원통형이온함에 대한 에어커마 교정정수 및 물흡수선량 교정정수의 변화를 분석해 본 결과, PTW사의 30013 (30006), Wellhofer사의 FC65G (IC70) 그리고 NE사의 2571 이온함이 모두 측정 표준편차 0.2% 이내에서 잘 일치하여 다른 모델의 이온함에 비해 안정된 값을 가지는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 흑연(graphite)으로 된 벽물질의 이온함이 플라스틱 재질의 이온함에 비해 장기적 안정성이 뛰어나다고 알려진 기존의 자료<sup>1,4)</sup>와는 차이가 나는 것으로 PMMA의 벽물질을 가지는 PTW사의 30013 (30006) 이온함이 흑연 재질의 이온함인 Wellhofer사의 FC65G (IC70)와 비교했을 때 거의 동일한 수준의 교정정수 변화를 보여 장기적인 안정성 측면에서도 우수한 것으로 나타났다. 또한 PMMA의 벽

Table 4. Comparison between Measurement Value about Calibration factors and Calculation Value of Calibration factors

Model of ionization chambers	Average of Mea. $N_{D,W}$ /Cal. $N_{D,W}$
PTW 30001	1.009
PTW 30013 (previously 30006)	1.010
PTW 30002	1.009
PTW 30004	1.007
PTW 23333	1.010
Capintec PR-06C	1.010
NE 2571	1.009
Wellhofer FC65 (previously IC70)	1.007

Table 5. Estimated Relative Standard Uncertainty in the Determination of  $N_{D,W}$  Calibration Factor in <sup>60</sup>Co Beam using the Formalism Equation (1), (2)

Factors in calculated $N_{D,W}$	Uncertainty (%)	Measured $N_{D,W}$ in KFDA
G	0.02	
$k_m$	0.7	
$k_{att}$	0.2	
$S_{w,air}$	0.5	
$P_{acv}$	0.1	
$P_{dis}$	0.3	
$P_{wall}$	0.5	
Expanded uncertainty in $N_k$ (k=2) *	0.9	
Combined uncertainty in calculated $N_{D,W}$	1.0	
Expanded uncertainty in calculated $N_{D,W}$ (k=2)	2.0%	Expanded uncertainty in measured $N_{D,W}$ (k=2)* 0.9%

\*Uncertainty of KFDA certification used in this study

물질은 흑연에 비해 견고하고 사용상의 편리함 등 경제적 측면에서도 효율적이므로 정기적인 선량측정에 이용하기에 매우 적절하다고 볼 수 있다. 이에 반해 PTW사의 30004는 교정정수의 변동이 0.49~0.58%로 비교적 크게 나타났으며 이는 2000년에 발표된 PTW 기술보고서(D165.200.0/2)에서 언급한 것<sup>5)</sup>과 같이 다른 이온함과 비해 누설 선량이 많아 선량을 의존도가 높게 나타나 교정정수의 산출에 영향을 주는 것으로 분석되었다. 또한 1999년의 IAEA newsletter (ISSN 1011-2669)에서는 1998년 이전에 생산된 PTW사의 30001 이온함에 대해 동일한 문제를 지적하면서 교정정수가 1.4% 이상의 편차를 나타내었다고 보고<sup>6)</sup>하였으나 본 연구에서는 교정을 의뢰한 이온함을 제작 연도에 따라 구분하지 못하였고 PTW사의 30001 이온함의 교정정수를 분석한 결과 0.20~0.23%로 비교적 안정된 값을 보였다. 그러나 본 연구의 결과를 통해 안정성이 확인된 이온함일지라도 치료방사선기관에서 실제 선량측정에 사용함에 있어 측정값의 안정 및 재현성이 확보될 때까지는 표준기관에서 재교정을 받을 것과 기존의 안정성이 검증된 다른 기준 이온함과 비교 측정을 할 것을 권고한다.

에어커마 교정정수를 이용하여 계산된 물흡수선량 교정정수와 실제 측정에 결정된 물흡수선량 교정정수를 비교 분석한 결과는 모든 이온함에서 측정에 의해 결정된 물흡수선량 교정정수가 1.0% 정도 큰 것으로 나타났다. 이는 km과 Pwall 보정정수가 갖는 부정확도 때문이라고 하겠다.<sup>7-9)</sup> Table 5에서 나타냈듯이 두 보정정수에 대한 불확도가 각각 0.7%과 0.5%로 다른 보정정수의 불확도와 비교했을 때 큰 것을 알 수 있으며<sup>3,9)</sup> 이로 인해 계산에 의한 물흡수선량 교정정수의 불확도가 실제 측정으로 결정되는 물흡수선량 교정정수의 불확도에 약 두 배가 넘는 것을 확인할 수 있었다. 이 보정정수에 대한 논란은 현재도 여전히 남아 있으며 Andero 등<sup>10)</sup>과 Rogers 등<sup>11)</sup>이 계속해서 새로운 값을 제시하고 있다. 따라서 에어커마 교정정수에 기존의 복잡한 수식체계를 이용하여 물흡수선량을 결정하기보다는 상대적으로 수식이 간단하고 여러 보정정수들의 적용이 필요없는 물흡수선량 표준체계를 이용하는 것이 계산에 의한 잠재적 오차 및 불확도를 줄이는 방법이라고 할 수 있겠다.

본 연구 결과를 바탕으로 교정정수의 분석을 통한 원통형이온함의 안정성을 확인하고 보다 효율적인 이온함의 선택으로 방사선치료기관의 선량측정체계에 정확성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

1. Andreo P, Burns DT, Hohlfield K, et al. Absorbed dose determination in external beam radiotherapy. IAEA Technical Report Series No.398. 2001
2. Almond PP, Biggs PJ, Coursey BM, Hanson WF, Huq MS, Rogers DWO. AAPM's TG-51 protocol for clinical reference dosimetry of high-energy photon and electrons beams. *Med Phys* 1999;26:1847-1870
3. Huq MS, Rogers DWO. Advances in the determination of absorbed dose to water in clinical high-energy photon and electron beams using ionization chambers. *Phys Med Biol* 2004;49:R49-R104
4. Plamans H, Nafaa L, Jans JD, et al. Absorbed dose to water based dosimetry versus air kerma based dosimetry for high-photon beams: an experimental study. *Phys Med Biol* 2002;47:421-440
5. PTW 2000. Long-term stability of the PTW Farmer type ionization chambers. PTW Technical Note D165.200.0/2
6. IAEA 1999. IAEA/WHO network of secondary standard dosimetry laboratories. IAEA newsletter ISSN 1011.2669
7. Cho SH, Lowenstein JR, Balter PA, Wells NH, Hanson WF. Comparison between TG-51 and TG-21: calibration of photon and electron beams in water using cylindrical chambers. *J Applied Clinical Med Phy* 2001;1:108-115
8. Ding GX, Cygler JE, Kwok CB. Clinical reference dosimetry; comparison between AAPM TG-21 and TG-51 protocols. *Med Phys* 2000;21:1217-1225
9. Huq MS, Song HJ, Andreo P, Houser CJ. Reference dosimetry in clinical high-energy electron beams; comparison of the AAPM TG-51 and AAPM TG-21 dosimetry protocols. *Med Phys* 2001;28:2077-2087
10. Andreo P, Huq MS, Westermark M, et al. Protocols for the dosimetry of high-energy photon and electron beams; a comparison of the IAEA TRS-398 and previous international codes of practice. *Phys Med Biol* 2002;47:3033-3053
11. Buckley LA, Rogers DWO. Wall correction factors Pwall for thimble ionization chambers. *Med Phys* 2006;33:455-464

---

**Abstract**

## **Evaluation of the Long-Term Stability for the Cylindrical Ionization Chambers**

Jeong Eun Rah, M.S.\* , Ju Young Hong, B.S.\* , Gwe Ya Kim, Ph.D.<sup>†</sup> , Chun il Lim, M.S.<sup>†</sup> ,  
Hee Kyo Jeong, Ph.D.<sup>†</sup> , Dong Oh Shin, Ph.D.<sup>‡</sup> and Tea Suk Suh, Ph.D.\*

\*Department of Biomedical Engineering, College of Medicine, The Catholic University of Korea,

<sup>†</sup>Radiation Standards Division, Korea Food & Drug Administration,

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

Purpose: To analyze the long-term stability of Farmer-type cylindrical ionization chambers by calibration factor provided from the KFDA (Korea Food Drug Administration)

Materials and Methods: The cylindrical ionization chambers used in this study were the PTW 30001 (30006), 30013, 30002, 30004, 23333, the Capintec PR06C, the NE 2571, the Exradin A12 and the Wellhofer FC65G (IC70). We were analyzed that the  $N_k$  and  $N_{D,W}$  calibration factor for the cylindrical chambers and compared between the measured  $N_{D,W}$  and calculated  $N_{D,W}$  calibration factor.

Results: We have observed that the long-term stability of the PTW 30013 (30006), the Wellhofer FC65G (IC70) and the NE 2571 has varied within 0.2%. The measured  $N_{D,W}$  calibration factor was about 1.0% higher than the calculated  $N_{D,W}$  that determined by the  $N_k$  calibration factor.

Conclusion: The study has evaluated that the long-term stability of the cylindrical chambers through analysis for the  $N_k$  and  $N_{D,W}$  calibration factor. It has contributed to the improvement of clinical electron dosimetry in radiotherapy centers.

---

Key Words:  $N_k$  calibration factor,  $N_{D,W}$  calibration factor, Farmer type cylindrical chamber, Long-term stability