

흡수선량 측정 시 동종 원통형 이온함에서 이온함 간 변화

*한양대학교 의과대학 방사선종양학교실, †인하대학교 의과대학 방사선종양학교실, ‡한국식품의약품안전평가원 방사선안전과, §경희대학교 의과대학 방사선종양학교실, ||가천의과학대학교 길병원 방사선종양학교실

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

물흡수선량에 기반한 표준 측정법을 사용하여 흡수선량을 측정 시에 여러 요인들이 크건, 작건, 미미하건 간에 선량 측정의 정확성에 영향을 미칠 수 있다. 이온함의 선질 보정 인자(the beam quality correction factor) k_{Q,Q_0} 값 또한 그 중 한 요인이 될 수 있다. 본 연구에서는 특정 이온함 유형(PTW30013, PTW, Germany)을 선정하여, 국내에서 사용하고 있는 기관들로부터 9개의 이온함을 수집하였다. 동일한 전위계와 전기선으로 9개 이온함을 국내 이차표준기관으로부터 교정을 받았다. 이렇게 교정받은 이온함들을 사용하여 Siemens ONCOR 장비의 광자 빔 6 MV와 10 MV 그리고 전자 빔 12 MeV에 대해 기준 조건하에서 흡수선량을 측정하였다. 이온함 간 선량 값의 최대 차이는 광자 빔 6 MV의 경우엔 2.4%, 10 MV의 경우엔 0.8%, 전자 빔 12 MeV의 경우엔 0.8%이었다. 6 MV에서의 큰 차이는 측정 과정에 문제가 없었다면, 동일한 k_{Q,Q_0} 값을 모든 이온함에 적용한 게 한 요인이 될 수 있다. 이는 또한 외부 독립검사가 왜 중요한지를 보여 주는 예라 하겠다.

중심단어: 원통형 이온함, 빔 선질 보정 인자, 선량측정, 물흡수선량 교정 인자

서 론

선량의 정확성을 평가하기 위한 많은 노력들이 이루어져 왔다. 이러한 일환의 하나로, 공기 커마에 기반하는 것 대신에, 10여 년 전부터 물 흡수선량에 기반한 표준 측정법이 개발되어 사용되고 있다.^{1,2)} 이 새로운 측정법은 공기 커마를 사용했을 때 따라오는 많은 불확도들을 줄일 수 있었다. 선량측정의 불확도를 줄이고자 하는 노력들은 앞으로도 계속해서 이어질 것이다. 국내 한 연구진은 열형광선량계를 사용하여 선량측정의 불확도를 1% 이내로 줄이고자 노력하고 있다.³⁾ 동종 이온함을 이용한 선량 측정 비교에 관한 연구들도 국내에서 발표되었고,^{4,5)} 공기 커마 대신 물 흡수선량에 기반한 표준 측정법에 관한 논문들도 국내에서 발표되고 있다.^{6,7)}

이온함으로 선량을 측정할 시에 여러 요인들이 크건, 작건, 미미하건 간에 선량 측정의 정확성에 영향을 미치겠지

만, 선질 보정 인자(the beam quality correction factor) k_{Q,Q_0} 값이 그 중 한 요인이 될 수 있다. 일반적으로 물 흡수선량 기반 표준 측정법에서 주어지고 있는 k_{Q,Q_0} 값은 개별 이온함에 대한 값이 아니다. 동종 이온함일 경우 이온함의 연번호와 상관없이 k_{Q,Q_0} 값은 같다. 개별 이온함에 대한 k_{Q,Q_0} 값을 제공하는 것이 현실적으로 불가능하기 때문에, 동종 이온함에 대한 단일 k_{Q,Q_0} 값만을 제공하고 있다.

k_{Q,Q_0} 값은 방사선 에너지와 이온함의 함수이다. 방사선 에너지가 작을수록 동종 이온함에 대한 k_{Q,Q_0} 의 편차가 커져 단일 값을 동종 이온함에 적용할 수가 없게 된다. 예를 들어, IAEA (International Atomic Energy Agency)의 기술 보고서 TRS-398에선 고 에너지 방사선의 경우엔 동종 이온함에 대한 단일 값인 포괄적(generic) k_{Q,Q_0} 값을 주지만, 중 에너지 및 저 에너지의 경우엔 k_{Q,Q_0} 값이 이온함 간 변화가 커져 동종 이온함에 대한 단일 값을 주지않고 개별 이온함에 대해 k_{Q,Q_0} 값을 직접 측정하여 사용하도록 하고 있다.

k_{Q,Q_0} 값은 앞서 언급함과 같이 이온함의 함수이기도 하다. 아래 Fig. 1은 동종 이온함일지라도, 이온함 유형에 따라 이온함 간 편차가 클 수 있음을 보여 준다.³⁾ 고 에너지 일 경우라도 이온함을 신뢰할 수 있는 근거가 없으면 동종 이온함에 대해서도 이온함 간 실제 k_{Q,Q_0} 값에 다소 차이가 있을 수 있고, 이는 결과적으로 선량측정의 정확도에 영향

본 연구는 식품의약품안전평가원 용역연구사업(10172방사선454)의 지원으로 수행되었음.

이 논문은 2010년 3월 5일 접수하여 2010년 3월 18일 채택되었음.

책임저자 : 최진호, (405-760) 인천시 남동구 구월동 1198

가천의과학대학교 길병원 방사선종양학교실

Tel: 032)460-3874, Fax: 032)460-3029

E-mail: jinhoc@ghil.com

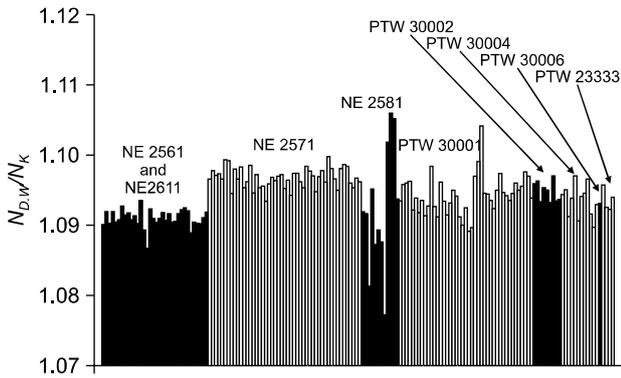


Fig. 1. Chamber to chamber variations, demonstrated by differences in the ratio of ⁶⁰Co calibration factors $N_{D,W}/N_k$ for chambers of a given type.³⁾

을 미칠 수 있다. 동종 이온함에 대해 포괄적 k_{Q,Q_0} 값을 사용한다는 자체가(비록 그 정도가 작을 지라도) 선량측정의 불확도를 만들어 내는 하나의 요인이 될 수 있는 것이다.

본 연구에서는 특정 이온함 유형(PTW30013, PTW, Germany)을 선정하여, 국내에서 사용하고 있는 기관들로부터 이 이온함을 수집하였다. 하나의 전위계(electrometer)와 전기선을 이온함들과 한 집합으로 하여 국내 이차 표준 기관(한국식품의약품안전평가원)으로부터 교정을 받았다. 이렇게 교정받은 동종 개별 이온함들을 사용하여 흡수선량을 측정 비교해 봄으로서 동종 이온함에서 개별 이온함 간 흡수선량이 얼마나 차이가 나는지 살펴보고자 하였다.

재료 및 방법

1. 이론

물 흡수선량 교정 인자에 기반한 물 속 측정 깊이에서의 흡수선량은 다음과 같은 수식에 의해 결정된다.^{1,2)}

$$D_w = M_Q \cdot C_{TP} \cdot C_{pol} \cdot N_{D,W,Q_0} \cdot k_{Q,Q_0} \quad (1)$$

여기서 Q 는 사용자 기관의 선질을, Q_0 는 교정 기관의 선질을 나타내며, M_Q 는 보정되지 아니한 전하 측정값이다. C_{TP} 는 온도와 기압에 대한, C_{IR} 는 이온 재결합에 대한, C_{pol} 은 극성 효과에 대한 보정 인자이다. N_{D,W,Q_0} 는 물흡수선량 교정 인자(the absorbed dose to water calibration factor)이고, k_{Q,Q_0} 는 코발트 교정 선질로부터 사용자 선질로의 빔 선질 보정 인자(the beam quality correction factor)로서 다음처럼 정의된다.^{8,9)}

$$k_{Q,Q_0} = \frac{N_{D,W,Q}}{N_{D,W,Q_0}} = \frac{D_{W,Q}/M_Q}{D_{W,Q_0}/M_{Q_0}} \quad (2)$$

빔 선질 보정 인자 k_{Q,Q_0} 는 사용하는 이온함 유형과 빔 선질의 함수이다. k_{Q,Q_0} 값은 원칙적으로 사용하는 이온함 별로 값이 주어져야 하지만, 현실적으로 불가능하기 때문에 연번호가 다를지라도 이온함 유형이 같으면 k_{Q,Q_0} 값은 같다. 이러한 동일한 유형의 이온함일 경우에 이온함 간 변화를 무시한 k_{Q,Q_0} 값을 IAEA (International Atomic Energy Agency)의 기술 보고서 TRS-398에선 "포괄적(generic)" 값이라고 부르고 있다.²⁾ 이온함 간 변화를 무시하는 이러한 값을 사용하는 정당성은 동일 유형의 이온함일 경우에 제조 공장에서 만들어 질 때 이온함 간 변화가 크지 않다는 신뢰에 바탕을 두고 있다. 하지만, 서론의 Fig. 1에서 보듯이 특정 이온함의 유형에선 이온함 간 변화가 클 수도 있다.

동일한 k_{Q,Q_0} 값이 적용되는 동일한 유형의 이온함들을 사용하여 물흡수선량을 결정하였을 때, 이온함 간 변화가 크다면 측정값들에서도 차이를 보일 것이다. (1)식에서 보듯이 동종 이온함들을 사용했을 때 실험의 정확도를 신뢰할 수 있다면, 결과적인 선량 값들에서의 차이의 주요인은 k_{Q,Q_0} 값에 의한 것일 수 있다. 실험이 정확하다고 가정했을 때, 이온함 간 선량측정에 차이가 발생한다면 이론에 의한 오차의 가능성도 배제할 수 없다.

2. 실험 설정

Siemens ONCOR 장비에서 나오는 명목 전압 광자 빔 6 MV와 10 MV, 그리고 전자 빔 12 MeV를 측정에 사용하였다. 전자 빔 12 MeV의 경우, 물 흡수선량에 기반한 모든 표준 측정법들에서 원통형 이온함을 사용할 수 있는 에너지의 크기이다. 사용된 빔 정보에 대한 더 자세한 내용 및 측정 기준 조건들은 아래 Table 1에서 보여 주고 있다. Table 1에서 빔 선질 보정 인자 k_{Q,Q_0} 값은 본 연구에서 사용된 PTW30013 이온함 유형에 대한 값이다.

국내에서 선량 측정에 많이 사용되고 있는 원통형 이온함 중 하나가 PTW 사의 30013 이온함 유형이다. 많을수록 좋겠지만, 현실 여건 상 9개의 방수용 PTW30013 이온함을 수집하였다. 실험의 정확성을 기하기 위해, 하나의 전위계(UNIDOS10001, PTW, Germany)와 전기선(cable)을 한 집합으로 하여, 2차 표준 기관인 한국식품의약품안전평가원에서 9개 이온함을 교정받았다. Fig. 2는 광자 빔과 전자 빔에서의 측정 조건을 보여 준다. 광자 빔의 경우엔 명목 에너

Table 1. The specifications of the beams used in this study and the reference conditions for the measurements.

| Nominal energy | Photon beam | | Electron beam |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | 6 MV | 10 MV | 12 MeV |
| Beam quality | $TMR_{20,10}=0.67$ | $TMR_{20,10}=0.74$ | $R_{50}=4.63$ cm |
| k_{Q,Q_0} * | 0.9914 | 0.9812 | 0.9085 |
| Field size | 10×10 cm ² | 10×10 cm ² | 10×10 cm ² |
| Reference depth | 10 cm | 10 cm | 2.68 cm |
| Chamber position | 10 cm | 10 cm | 2.84 cm [†] |
| SSD | 100 cm | 100 cm | 100 cm |

*This is for the PTW30013 chamber, [†]the effective point of measurements was applied to the electron beam, while it was not to the photon beams.

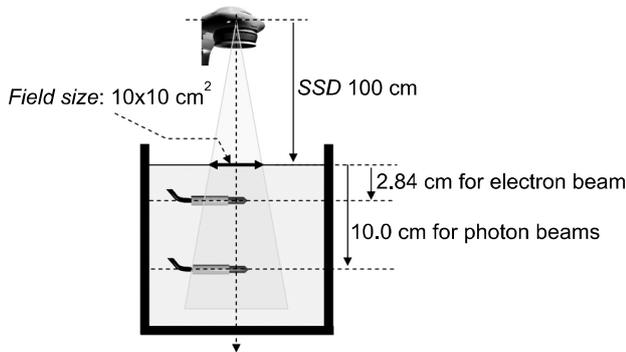


Fig. 2. Schematic overview of the setup for the measurements in the photon beam and electron beam. The chamber position for the electron beam is the depth to which the effective point of measurements is applied.

지 6 MV와 10 MV 모두 기준 권고 측정 깊이인 10.0 cm 깊이에 이온함을 위치시켰고(Table 1), 전자 빔의 경우엔 기준 측정 깊이는 2.68 cm이지만 유효 측정점(the effective point of measurements)을 적용하여 이온함을 2.84 cm에 위치시켰다(Table 1).

측정이 하루에 이루어지는 것이 아니라 여러 날에 걸쳐 이루어지므로, 실험의 정확성을 위해서 Table 2에 있는 “1”번 이온함을 기준 이온함으로 삼아 상대적인 값을 구하였다. 즉, “1”번 이온함은 측정이 새로이 이루어질 때마다 측정값을 새롭게 구하여 다른 이온함의 측정값과 비교하는데 사용되었다. 물론, “1”번 이온함을 비교 기준 이온함으로 사용하지 않고, 온도 및 기압 보정으로 측정값들을 보정함으로써 이러한 문제를 피할 수 있었지만 이로 인한 불확도를 최소화하기 위해 기준 “1”번 이온함에 대한 상대적인

값을 구하였다.

하나의 측정값을 얻기 위해서 최소 5회 이상 반복 측정하였고, 모든 이온함에 대해 이온 재결합 보정(ion recombination correction)과 극성 효과(polarity effect)를 측정하였다. 물 팬텀에서 이온함을 교체시킬 때, 설치(setup)와 관련한 불확도가 발생할 수 있다. 모든 이온함들은 동종 이온함이므로 외견상 기하학적 치수는 같다. 따라서 물 팬텀에 이온함을 설치할 때 발생할 수 있는 이온함 간 위치 설정의 오차를 0.1 mm 이내로 최소화할 수 있었다. 동일한 전위계와 동일한 전기선을 사용한다고 할지라도, 이온함 자체의 누설이 이온함마다 다를 수 있다. 따라서, 측정 전에 모든 이온함을 전위계에 연결한 후에 이온함 별로 누설 문제를 점검하였다.

결과 및 토의

1. 물흡수선량 교정 인자 N_{D,W,Q_0}

국내 여러 기관에서 모은 9개의 PTW30013 원통형 이온함을 국내 이차 표준기관인 한국식품의약품안전평가원에서 교정받은 물흡수선량 교정 인자(the absorbed dose to water calibration factor) N_{D,W,Q_0} 값들은 Table 2와 같다. (서론에서 잠시 언급한 것과 같이)같은 전위계와 전기선으로 동종 이온함을 교정받아도 공장에서 완벽하게 물리적으로 동일하게 만들 수 없고 또한 관리상의 문제등으로 인해 Table 2에서 보는 바와 같이, 연번호에 따라 물흡수선량 교정 인자 N_{D,W,Q_0} 값들은 달라진다. 실험에 사용한 9개의 이온함의 경우엔, N_{D,W,Q_0} 값의 이온함 간 최대 차이는 3%에 이르고 있다(Table 2).

실험의 정확도를 높이기 위해선 각 이온함 별로 동일한 집합(동일한 전위계와 전기선 사용)에 대해 다년간 교정 값을 받아, 교정값의 변화에 대한 불확도를 평가해야 할 것이다. 하지만, 현실적으로 가능하지 않는 문제이어서 한 개 이온함에 대해서만 대표적으로 평가하였다. 즉, 실험에서 9개의 이온함 중 기준 이온함으로 사용한 Table 2의 연번호 “1”번의 이온함은 실험에 사용한 전위계와 전기선으로 최근 4년간 한국식품의약품안전평가원으로부터 교정을 받아왔다. 교정 받은 4년간 교정 기관에서의 기준 온도와 기압은 각각 22°C와 101.325 kPa로 동일하였다. Table 3에서 보듯이 4년 간 교정 인자 값의 최대 차이는 0.3% 이내이었다. 4년 간의 자료만으로 평가하기엔 다소 부족한 면이 있지만, 이 4개 자료만으로 평가했을 때 Table 2에 있는 “1”번 이온함의 연간 교정값 변화에 대한 불확도는 $\pm 0.1\%$ 이다. 나

Table 2. The absorbed dose to water correction factors N_{D,w,Q_0} in units of [cGy/nC] for the 9 PTW30013 ion chambers calibrated in KFDA, the Korean secondary standard dosimetry laboratory.

| Serial number* | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| N_{D,w,Q_0} | 5.438 | 5.283 | 5.311 | 5.419 | 5.340 | 5.405 | 5.382 | 5.427 | 5.390 |

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

Table 3. The absorbed dose to water calibration factors since 2006 of the chamber "1" in the Table 2.

| Year | 2009 | 2008 | 2007 | 2006 |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| Calibration factors* | 5.438 | 5.427 | 5.437 | 5.442 |

*The chamber "1" in the Table 2 has been calibrated since 2006 in the same SSDL in Korea with the same electrometer and cable.

머지 8개 이온함도 동종 이온함이므로, 공장에서 모두 정상적으로 만들어졌고 판리가 양호하게 되어왔다면, 연 간 교정값의 변화에 대한 불확도도 "1"번 이온함과 유사할 것이라고 추정하였다.

2. 이온 재결합 및 극성 보정

각 이온함에 의한 정확한 선량 평가를 위해서, 각각의 이온함에 대한 이온 재결합 및 극성 효과를 측정하였다. 이는 동종 이온함에서 이온 재결합 및 극성효과들이 얼마나 차이가 나는지 살펴볼 수 있었다. 이들 보정 값들의 경우에 광자 빔 6 MV와 10 MV와의 차이는 0.1% 이내이어서 Fig. 3과 Fig. 4에선 광자 빔 6 MV와 전자 빔 12 MeV에 대한 그래프만을 보여 준다. Fig. 3과 Fig. 4 모두에서 오차 막대는 10번의 측정에 대한 산술 평균값으로부터 벗어난 정도를 나타낸다(광자 빔 6 MV의 경우엔 $\pm 0.1\%$, 전자 빔 12 MeV 경우엔 $\pm 0.15\%$).

이온 재결합의 경우에, 광자 빔에선 이온함 간 최대 차이는 0.3%이었으며, 전자 빔의 경우엔 0.4%이었다(Fig. 3). 극성 효과의 경우에, 광자 빔에선 이온함 간 최대 차이는 0.15%이었고 전자 빔에선 0.2%이었다(Fig. 4). 이는 9개 이온함 모두 이온 재결합과 극성 효과에 대해 특별한 문제점 없이 정상적인 이온함의 물리적 특성을 보여 주고 있음을 말한다. 실험에 사용한 9개 PTW30013 이온함에서 이온 재결합 및 극성 효과에 대해 특이사항은 없었다.

3. 이온함 간 물 흡수선량 평가

9 개의 이온함에 의한 물 흡수선량 값들은 (1)식에 의해

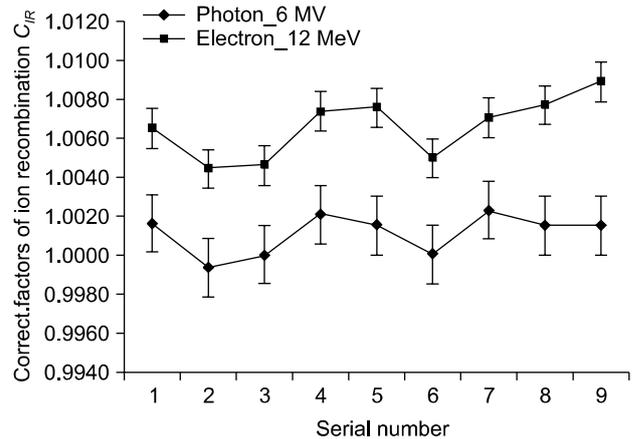


Fig. 3. The correction factors of ion recombination C_{IR} for the 9 ion chambers. The abscissa represents the serial numbers given arbitrarily for convenience.

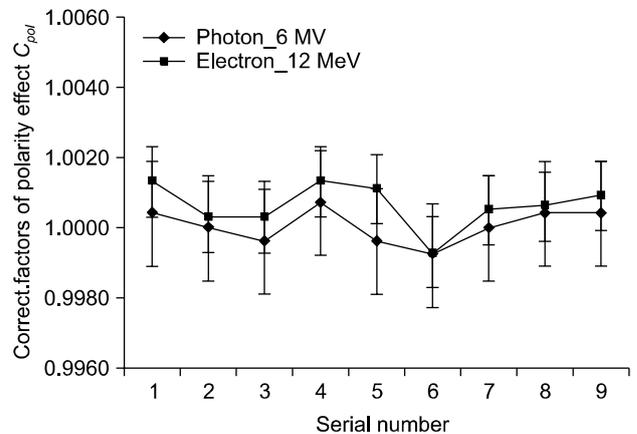


Fig. 4. The correction factors of polarity effects C_{pol} for the 9 ion chambers. The abscissa represents the serial numbers given arbitrarily for convenience.

결정되었다. (1)식에서 전하량, 온도 기압 보정, 극성 효과, 이온 재결합, 그리고 교정기관으로부터의 물흡수선량 보정 인자 등이 정상적으로, 허용 오차 및 불확도 내에서 측정 및 결정이 이루어졌다면, 이온함 간 선량 값의 변화는 (1) 식으로부터 동종 이온함에 대해 동일한 선질 보정 인자

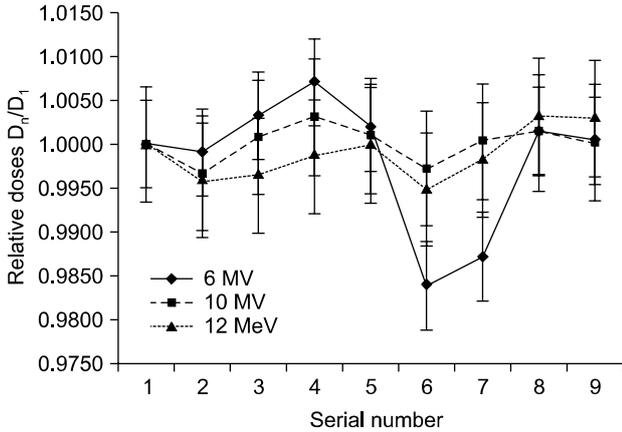


Fig. 5. Absorbed doses determined by each chamber. Y-axis shows relative doses in which absorbed doses by each chamber were divided by the absorbed dose by the chamber “1” in the Table 2. The abscissa represents the serial numbers given arbitrarily for convenience. D_1 and D_n in the ordinate represents the absorbed dose by the chamber “1” and the one by an arbitrary chamber in the Table 2, respectively.

k_{Q,Q_0} 값을 적용했기 때문으로 유추할 수 있다.

Fig. 5는 9개 이온함으로 결정된 광자 빔 6 MV 및 10 MV 그리고 전자 빔 12 MeV에 대한 결과이다. 그래프에서 오차 막대는 교정 기관의 교정 성적서에서 주어지는 불확도와 Table 3으로부터 계산된 불확도로부터 계산된 합성 표준 불확도로서 $\pm 0.66\%$ 이다. Fig. 5의 세로축 설명에서 D_1 은 Table 2에서의 “1”번 이온함에 의한 선량값을, D_n 은 임의의 이온함에 의한 선량값을 나타낸다. 광자 빔 10 MV의 경우에 이온함 간 선량 값의 최대 차이는 0.8%이다. 전자 빔 12 MeV의 경우도 이온함 간 선량 값의 최대 차이는 0.8%이다. 이는 광자 빔 10 MV와 전자 빔 12 MeV 경우엔 9개 이온함들이 좋은 일치를 보여 주고 있음을 알 수 있다.

광자 빔 6 MV의 경우엔 이온함 간 선량 값의 최대 차이는 2.4%이다. 왜 이러한 큰 차이가 발생하는 지 다양한 분석이 필요할 것이다. 앞서 잠시 언급한 것처럼, 측정과 관련한 실수가 없다면, 즉 허용 불확도 내에서 모든 측정이 정상적으로 이루어졌다면, 6 MV에서의 이러한 차이는 (1) 식에 의한 이론적인 차이일 가능성이 있다. 다시 말해, (1) 식에서 계산에 사용된 포괄적(generic) k_{Q,Q_0} 값이 6 MV의 경우에 실제로 실험에 사용한 이온함들 간에서 차이가 있을 수 있다. 이 양을 본 연구에선 정량적으로 평가할 수 없지만, 동종 이온함에서 이온함 간 선량값들이 허용 불확도 범위 밖으로 차이가 날 수 있다는 가능성을 보여 주는 것이라 하겠다.

Fig. 5에서 광자 빔 6 MV의 경우는 외부 독립검사(external audit)가 왜 소중한 지를 보여 주는 일례라 하겠다. 그러한 차이는 외부 독립검사가 수행되기까지는 발견할 수 없기 때문이다. 외부 독립검사 시에 허용범위 외로 차이가 난다면, 왜 차이가 나는지 다양한 조사가 이루어져야 할 것이다. 측정이 정확히 이루어졌는지, 누설에 문제가 있지 않는지, 전위계에 문제는 없는지, 사용한 이온함에 문제는 없는지, 교정 기관으로부터 받은 물흡수선량 교정 인자 값에 문제가 없는지, 가속기에 문제는 없는지, 치료실 내 온도, 기압, 습도가 적절히 유지되는지, 계산 과정에 잘못된 없는지 등등 다양한 가능성 있는 요소들을 점검해 보아야 할 것이다. 분석해야 할 가능성 있는 원인 중에 하나로서, 사용자 이온함 유형에 대해 사용하고 있는 “포괄적(generic)” k_{Q,Q_0} 값이 선량측정에 사용한 사용자의 (개별)이온함의 경우에 편차가 클 수도 있다는 것이다.

고찰 및 결론

동일한 장비 집합으로 교정 받은 9개의 동종 이온함들을 사용하여 물흡수선량을 측정하여 보았다. 동종 이온함이라는 것은 한 가지 빔 선질에 대해서 빔 선질 보정 인자 k_{Q,Q_0} 값이 이온함 연번호에 상관없이 같다는 것을 말한다. 광자 빔 6 MV에서 보여준 결과는 동종 이온함 간에도 허용 범위 외의 상당한 차이를 보일 수 있다는 것이다. 장비와 측정 과정에서 문제가 없다면, 이론적인 내용도 점검 대상이 되어야 한다.

광자 빔 6 MV에서의 이온함 간 최대 차이가 2.4%에 이른다는 것은 외부 독립검사(external audit)가 왜 소중한지를 보여주는 것이다. 독립적인 기관으로부터 독립검사를 받거나 주기적인 병원 상호 간 상호비교 측정을 통해 선량측정의 정확성을 기해야 한다. 허용한계 외로 차이가 났을 때, 그 원인을 다양하게 분석할 수 있어야 한다. 가능하다면, 위와 같은 실험을 통해 불확도가 적다고 검증된 이온함을 상호비교 기준 이온함으로 사용하기를 권한다.

감사의 글

본 연구를 위한 실험을 위해 적극적으로 도와주신 삼성의료원 방사선 종양학과 한영이 교수님과 한양대학교 원자력 공학과 조성구 박사과정에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Almond PR, Biggs PJ, 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. 최태진, 이호준, 예지원 등: LiF:Mg,Cu,P 열형광선량계의 선량 특성을 이용한 눈가림법에 의한 출력선량 평가. *의학물리* 20: 308-316 (2009)
4. 김성훈, 허현도, 최상현 등: Chamber to chamber variations of a cylindrical ionization chamber for the calibration of an ^{192}Ir brachytherapy source based on an absorbed dose to water standards. *의학물리* 20:7-13 (2009)
5. 김성훈, 허현도, 최상현 등: 6 MeV 전자 빔의 교정에 원통형 이온함의 사용에 관한 연구. *의학물리* 20:317-323 (2009)
6. 라정은, 신동오, 박소현 등: 평행평판형 이온함의 교차교정 시 전자선 선질에 따른 흡수선량 결정에 대한 연구. *의학물리* 20: 97-104 (2009)
7. 허현도, 김우철, 노준규 등: 기준점에서의 물 흡수선량을 이용한 Ir-192 선원의 공기커마 세기 계산을 위한 알고리즘 개발. *의학물리* 17:232-237 (2006)
8. Pedro Andreo: Absorbed dose beam quality factors for the dosimetry of high-energy photon beams. *Phys Med Biol* 37: 2189-2211 (1992)
9. Pedro Andreo: A comparison between calculated and experimental K_Q photon beam quality correction factors. *Phys Med Biol* 45:L25-L38 (2000)

Chamber-to-chamber Variations in the Same Type of a Cylindrical Chamber for the Measurements of Absorbed Doses

Seong Hoon Kim*, Hyundo Huh[†], Sang Hyun Choi[†], Hyeog Ju Kim[†],
Chunil Lim[‡], Dong Oh Shin[§], Jinho Choi^{||}

*Department of Radiation Oncology, College of Medicine, Hanyang University, Seoul,
[†]Department of Radiation Oncology, College of Medicine, Inha University, Incheon,
[‡]National Institute of Food and Drug Safety Evaluation, [§]Department of Radiation Oncology,
College of Medicine, Kyung Hee University, Seoul, ^{||}Department of Radiation Oncology, Gachon
Medical School, Gil Medical Center, Incheon, Korea

For the measurements of an absorbed dose using the standard dosimetry based on an absorbed dose to water the variety of factors, whether big, small, or tiny, may influence the accuracy of dosimetry. The beam quality correction factor k_{Q,Q_0} of an ionization chamber might also be one of them. The cylindrical type of ionization chamber, the PTW30013 chamber, was chosen for this work and 9 chambers of the same type were collected from several institutes where the chamber types are used for the reference dosimetry. They were calibrated from the domestic Secondary Standard Dosimetry Laboratory with the same electrometer and cable. These calibrated chambers were used to measure absorbed doses to water in the reference condition for the photon beam of 6 MV and 10 MV and the electron beam of 12 MeV from Siemens ONCOR. The biggest difference among chambers amounts to 2.4% for the 6 MV photon beam, 0.8% for the 10 MV photon beam, and 2.4% for the 12 MeV electron beam. The big deviation in the photon of 6 MV demonstrates that if there had been no problems with the process of measurements application of the same k_{Q,Q_0} to the chambers used in this study might have influenced the deviation in the photon 6 MV and that how important an external audit is.

Key Words: Cylindrical ionization chamber, Beam quality correction factor, Dosimetry, Absorbed dose to water calibration factor