

고 에너지 전자선에서 물등가 고체팬텀을 이용한 물 흡수선량 측정에 관한 연구

경희대학교 의과대학 *방사선종양학교실, †의학과, ‡해부학교실,
§한양대학병원 방사선종양학과, ||국립암센터 양성자치료센터, #원자력의학원 방사선종양학과

신동호*|| · 신동오*† · 김성훈§ · 박성용|| · 지영훈# · 안희경† · 강진오* · 홍성언*

IAEA의 TRS-398 물 흡수선량 표준 프로토콜에서 고 에너지 전자선의 물 흡수선량 결정에 있어서 10 MeV 이하의 에너지에서만 사용하길 권고하고 있다. Plastic Water™ 와 Virtual Water™ 고체 팬텀을 이용하여 전자선에 대한 hpl값을 측정하였다. 측정결과 Plastic Water™의 경우 6 MeV에서 20 MeV까지의 전자선에 대해 평균 0.9964의 값을 나타냈고, Virtual Water™의 경우 1.0156의 값을 나타냈다.

중심단어: 고체팬텀, IAEA TRS-398, 전자선

서 론

현재 국내에서 사용하고 있는 방사선량 표준 측정법의 경우 물 흡수선량을 결정하기 위하여 공기 중에서 이온함에 대한 공기커마(Air Kerma) 혹은 조사선량(Exposure) 교정인수를 토대로 한 표준측정법이 사용되고 있다.¹⁻³⁾ 그러나 이 표준측정법은 공기중에서의 물리량을 물속에서의 물리량으로 변환해야 하므로 수식체계가 복잡하고, 각각의 변환 및 보정계수의 물리량에 대한 불확정도가 커서 정확성을 개선하는데 한계가 있다.

이러한 이유로 물 흡수선량 표준에 토대를 두고 있는 표준측정법이 미국의 핵물리학회(American Association of Physicist in Medicine, AAPM)와 국제원자력기구(International Atomic Energy Agency, IAEA)에서 발표되었다.^{4,5)} IAEA의 TRS-398의 경우 전자선에 대한 선질 결정은 물속의 선량분포의 50% 깊이로 결정하고 있다. 흡수선량측정에서 기준 팬텀 물질은 물이며, 일반적으로 고체팬텀(plastic phantom)의 경우 물속에서의 깊이를 정확히 할 수 없고, 이온함이 방수가 아닌 경우 $R_{50} < 4 \text{ g/cm}^2$ 의 선질에서 사용하도록 권고하고 있으며, 물에서와 같은 기준 깊이를 고려하도록 깊이척도계수(depth-scaling factor: c_p)과 플루언스척도계수(fluence-scaling factor: h_p)를 고려하도록 하고 있다. 본 연구는 임상에서 선형 가속기 출력선량 교정시 일상적으로 사용하고 있는 2종류의 고체팬텀(Virtual Water™와 Plastic Water™)에 대해 명목상의 전자선 에너지 6 MeV에서 20 MeV까지의 전자선에 대해 h_p 를 측정하여 물등가성을 측정하였다.

재료 및 방법

IAEA의 TRS-398 물 흡수선량 표준측정법에서 기준선질 Q 에서 물에 대한 기준 깊이 $z_{ref,w}$ 에서 고 에너지 전자선에 대한 물 흡수선량 $D_{w,Q}(z_{ref,w})$ 의 계산은 다음과 같이 주어진다.

$$D_{w,Q}(z_{ref,w}) = M_Q N_{D,IV,Q_0} k_{Q,Q_0} \quad (1)$$

M_Q 는 전기계의 지시값에 측정대상은 아니지만 물리적으로 영향을 줄 수 있는 물리량인 온도, 기압, 극성효과 및 재결합보정계수가 보정된 값이다. N_{D,IV,Q_0} 는 ^{60}Co 에서 물에 대한 이온함의 교정정수이다. k_{Q,Q_0} 는 기준선질 Q_0 와 사용자 선질 Q 사이의 선질보정계수이다.

물에서의 기준깊이 $z_{ref,w}$ 의 결정은 $z_{ref,w} = 0.6R_{50} - 0.1 \text{ g/cm}^2$ 로 결정한다. 고체팬텀을 이용해 선질을 결정하기 위해 $R_{50,ion} = R_{50,ion,pl} c_{pl} \text{ g/cm}^2$ 같이 고체팬텀에서의 이온화 분포가 50%가 되는 깊이 $R_{50,ion,pl}$ 에서 물에 대한 이온화 반

가 깊이 $R_{50, ion}$ 을 구한다. 여기서 c_{pl} 은 깊이척도계수이다. 위에서 얻은 $R_{50, ion}$ 은 아래 식 (2)와 같이 물에서의 선량 반가 깊이로 계산하여 기준 측정 깊이를 결정한다.

$$R_{50} = 1.029 R_{50, ion} - 0.06 \text{ g/cm}^2 \quad (R_{50, ion} \leq 10 \text{ g/cm}^2) \quad (2)$$

$$R_{50} = 1.059 R_{50, ion} - 0.37 \text{ g/cm}^2 \quad (R_{50, ion} > 10 \text{ g/cm}^2)$$

또 고체팬텀을 이용하여 물에서의 물 흡수선량을 측정하기 위해서는 물에서의 기준 깊이 z_{ref} 에 대해 식 (3)과 같이 깊이 척도계수를 고려하여야 한다.

$$z_{ref, pl} = z_{ref} / c_{pl} \text{ g/cm}^2 \quad (z_{ref} \text{ in g/cm}^2) \quad (3)$$

또한 물에서 얻은 전기계의 측정값 M_Q 와 고체팬텀에서 얻은 측정값 $M_{Q, pl}$ 은 h_{pl} 에 의해 다음과 같은 상관 관계식을 갖는다.

$$M_Q = M_{Q, pl} \cdot h_{pl} \quad (4)$$

물과 고체팬텀에서의 고 에너지 전자선에 대한 기준 깊이를 알아보기 위해 임상에서 널리 사용되고 있는 Virtual WaterTM(MED-TEC, USA)과 Plastic WaterTM(cream colored : Nuclear Associates, Inc. USA)를 사용하였다. 고체팬텀에서의 기준 측정 깊이는 물에서 얻은 기준 깊이에 IAEA TRS-398에서 권고하는 c_{pl} (Virtual WaterTM=0.946과 Plastic WaterTM=0.982) 값을 사용하였다. 고체팬텀을 선원과 팬텀 표면간의 거리 SSD 100 cm, 조사면의 크기 10×10 cm²에서 이온함은 교정 기관에서 ⁶⁰Co으로 교정한 원통형 이온함(PTW 30013, Germany)에 대해 20 MeV의 고 에너지 전자선에서 교차 교정한 평행평판형 이온함(Roos, PTW 34001-0545, Germany)과 전기계(UNIDOS, PTW, Germany)를 사용하여 측정하였다. 물에 대한 고 에너지 전자선의 선질은 Blue phantom 48 × 48 × 41 cm³, CU500E (Wellhofer, Germany)으로 측정하였다. 선형 가속기는 Clinac 21EX(Varian, USA)로 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV, 16 MeV, 20 MeV 에너지에 대해 각 에너지에 따른 기준 깊이를 구하고, 온도, 기압, 중심전극의 극성 및 이온재결합효과를 보정한 값을 구하여, h_{pl} 값을 구하였다. 또 고체팬텀에서의 깊이는 고체 팬텀의 특성상 1 mm 이하 소수점은 반올림한 측정 깊이에서 실시하였다.

결과 및 검토

물에서 결정된 기준 측정 깊이에 대해 고체 팬텀에서 깊이척도계수를 고려하여 고체 팬텀에서의 기준 깊이를 계산한 결과 Table 1.에서와 같이 Plastic water의 경우 물과 유사한 결과를 보이고 있었다.

Table 1. Reference depth in Plastic WaterTM and Virtual WaterTM of the effective measurement point of the chamber according to TRS-398 obtained from formula expression (3)

	6 MeV	9 MeV	12 MeV	16 MeV	20 MeV
$z_{ref, w}$ [cm]	1.3	2	2.9	3.8	4.8
$z_{ref, Vir}$ [cm]	1.37	2.11	3.07	4.02	5.07
$z_{ref, Pla}$ [cm]	1.32	2.04	2.95	3.85	4.89

각각의 기준 측정 깊이에서 얻은 전기계의 측정값을 온도 및 기압과 극성 효과, 이온재결합에 대한 보정을 고려한 값에서부터 식(4)에 의해 table 2와 같이 h_{pl} 값을 구할 수 있었다.

Table 2. Ratio D^p/D^w of absorbed dose measured in Plastic waterTM, Virtual WaterTM and in water for five high energy electron beams

		6 MeV	9 MeV	12 MeV	16 MeV	20 MeV
Plastic Water TM	hpl	0.998	0.994	0.997	0.997	0.996
	Dpl/Dw	1.001	1.006	1.003	1.003	1.003
Virtual Water TM	hpl	0.999	1.005	1.035	1.018	1.021
	Dpl/Dw	1.001	0.995	0.971	0.983	0.975

위의 결과에서 Virtual WaterTM의 경우 IAEA TRS-398에서 권고하는 hpl값이 제시되어 않아 비교할 수 없었으나 6 MeV에서 20 MeV까지의 평균 h_{pl} 값이 1.0156으로 나타났다. Plastic WaterTM의 경우 Virtual WaterTM 보다 더 물에 가까운 것으로 나타났으며, 6 MeV에서 20 MeV까지의 평균 h_{pl} 값이 0.9964로 나타나 IAEA TRS-398에서 권고하는 0.998 값과 Bozidar casar 등⁶⁾이 제시한 0.9975 값과 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. 고체팬텀의 특성상 깊이 측정의 정확성에 따른 불확도와 각 고체팬텀에 따라 제작사에서 권고하고 있는 밀도등의 편차에 의한 오차로 인해 발생한 것으로 생각된다. 또 IAEA TRS-398에서 권고하는 보정 계수의 경우 10 MeV이하의 에너지에서 사용하도록 권고하는 있는 만큼 10 MeV이상의 고 에너지에서 사용할 경우 충분한 검토와 각 사용자들의 충분한 실험이 이루어질 필요가 있다.

결 론

IAEA TRS-398 물 흡수선량 표준측정법에서 권고하는 계수의 경우 10 MeV이하에서만 적용하도록 권고하고 있다. 따라서 10 MeV 이상의 전자선에너지에 대해 일상적인 출력선량을 측정하기위해 고체 팬텀을 사용할 경우 IAEA TRS-398에서 권고하는 계수 값보다는 충분한 검토와 실험으로 측정 한 값을 사용하는 것이 바람직 할 것으로 생각되며 주기적으로 물과의 상호비교가 있어야 할 것으로 본다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부가 주관하는 원자력중장기 연구개발사업 (M20330010001-03A0724-00110)의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 한국과학기술학회: 방사선량 표준측정법. 의학물리 2:37-105 (1991)
2. AAPM Task Group 21: A Protocol for the determination of absorbed dose from high-energy photon and electron beams. Med Phys 10:741-771 (1983)
3. IAEA Technical Report 277: Absorbed dose Determination in Photon and Electron beams. An International Code of Practice. Vienna, Austria, International Atomic Energy Agency (1987)
4. AAPM Task Group 51: Protocol for Clinical Reference Dosimetry the determination of High-Energy Photon and Electron Beams. Med Phys 26:1847-1870 (1999)
5. IAEA Technical Report 398: Absorbed dose Determination in External Beam Therapy. An International Code of Practice for Dosimetry based on Standards of Absorbed Dose to Water. Vienna, Austria, International Atomic Energy Agency (1987)
6. Bozidar Casar, Urban Zdesar, Vlado Robar: Evaluation of water equivalency of Plastic Water for high-energy electron beams using IAEA TRS-398 code of Practice. Radiol. Oncol. 38(1):55-60 (2004)

A Study on the absorbed dose to water for high energy electron beams using water equivalency of plastic phantom

Dong Ho Shin^{*||}, Dong Oh Shin^{*†}, Sung Hoon Kim[§], Sung Yong Park^{||}, Young Hoon Ji[#]
Hee Kyung Ahn[‡], Jin Oh Kang^{*}, Seong Eon Hong^{*}

*Department of *Radiation Oncology, †Medicine, ‡Anatomy College of Medicine, KyungHee University,
§Department of Radiation Oncology, College of Medicine, Hanyang University,
||Proton Therapy Center, National Cancer Center,
#Department of Radiation Oncology, Korea Cancer Center Hospital*

In the International Code of Practice for dosimetry TRS-398 published by International Atomic Energy Agency(IAEA), water equivalency plastic phantom may be used under certain circumstances for electron beam dosimetry for beam quality $E_0 \leq 10$ MeV. In this study, Palstic WaterTM and Virtual WaterTM were evaluated in order to determine fluence scaling factor hpl. Plastic phantom was evaluated for five electron energy from 6 MeV to 20 MeV. From the measured data of Palstic WaterTM, the fluence scaling factor hpl was found to be average 0.9964 and Virtual WaterTM fluence scaling factor was 1.0156.

Key Words: plastic phantom, IAEA TRS-398, electron energy