

물과 백색폴리스티렌 팬텀에 의한 10 MV X-선 빔 선량계측 — 10 MV X-ray Beam Dosimetry by Water and White Polystyrene Phantom —

인제대학교 의용공학과 · 대구보건대학 방사선과¹⁾ · 경상대학교 물리학과²⁾

김종언 · 차병열 · 강상식 · 박지균 · 신정욱 · 김소영 · 조성호
손대웅 · 최치원 · 박창희¹⁾ · 윤천실²⁾ · 이종덕²⁾ · 박병도²⁾ · 남상희

— 국문초록 —

본 연구의 목적은 고체물등가팬텀을 사용하여 절대흡수선량을 측정할 때 물등가값이에 비례되는 측정값을 보정하기 위한 보정인자를 구하는데 있다. 10 MV X-선 빔에 대하여 백색폴리스티렌팬텀과 물팬텀에서 측정의 조건들은 선원 대 전리조 중심까지의 거리를 SAD 100 cm로 고정하였고, 조사면 크기(field size)는 각각 10×10 cm², 20×20 cm²를 사용하였으며, 깊이는 각각 2.3 cm, 5 cm, 10 cm, 15 cm를 사용한 것이다. 두개의 팬텀에 대하여 분당 400 MU의 출력을 갖는 선형가속기로부터 100 MU의 전달로 각각의 조사면 크기와 깊이들에서 3번 측정으로 취득된 전리의 평균값을 측정값으로 얻었다. 이 실험으로부터 보정인자와 TPR에서 퍼센트 편차는 각각 0.97%, 0.53% 이하를 얻었다. 따라서, 고체물등가팬텀을 사용한 절대흡수선량 측정 시에는 보정인자와 TPR에서 퍼센트 편차를 사용하여 보정을 행하면 높은 정확도를 얻을 수 있다.

중심 단어 : 고체물등가팬텀, 물팬텀, 절대흡수선량

I. 서 론

선형가속기의 X-선 빔 선량계측에 사용되는 팬텀의 표준물질은 물이다. 강도변조방사선치료(IMRT)의 환자지정 품질보증¹⁾과 같은 측정들에서 물팬텀의 사용은 많은 시간이 소비되며 방수가 되지 않는 전리조의 취급에 더욱 주의가 요구된다. 이러한 이유로 물팬텀의 대체물로서 고체물등가팬텀(solid water equivalent phantom)들이 일상적인 품질보증에 많이 사용되고 있다. 물등가물질은 고에

너지 X-선 빔에 대하여 물과 같은 선감약계수와 질량에너지흡수계수를 가지는 흡수와 산란 특성들을 나타낸다. 그렇지만 고체물등가팬텀은 방사선 치료에 사용되는 전체 에너지 스펙트럼들에서 엄격히 물등가는 아니다²⁾.

고체물등가팬텀은 물팬텀에 비하여 질량에너지흡수계수와 선감약계수가 작다. 이 원인으로 같은 깊이에서 측정되는 전리 값은 물팬텀보다 작게 된다. 이 전리 값은 상대적인 TPR에도 물팬텀 보다 적게 기여된다. 절대흡수선량 측정의 비교는 최대선량깊이에서만 할 수 있다. 따라서 절대흡수선량 측정 시 물등가값이로 비례시키는 보정인자와 TPR에서 퍼센트 편차가 필요하다. 본 연구는 절대흡수선량 측정에서 물등가값이에 비례되는 측정값을 보정하기 위한 보정인자와 TPR에서 퍼센트 편차를 구하는데 목적이 있다. 보정인자는 빔 특성들, 전리조 종류, 고체물등가팬텀을 생산할 때 물질 조성의 변화 등에 의존한다²⁻³⁾.

* 이 논문은 2007년 11월 29일 접수되어 2008년 3월 1일 채택 됨.
- 이 논문은 2006년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R01-2006-000-11062-0).

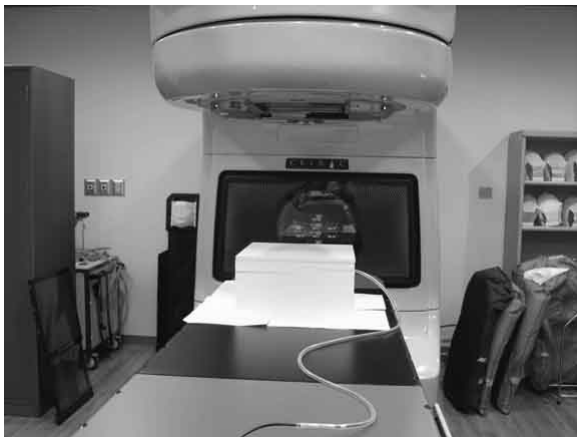
책임저자: 남상희, (621-749) 경남 김해시 어방동 607
인제대학교 의용공학과 방사선영상연구실
TEL: 055-320-3296, C.P.: 011-537-3281
E-mail: nsh@bme.inje.ac.kr

실험에 사용되는 고체물등가팬텀의 물질은 티타늄산화물(TiO_2)을 2% 함유하는 백색폴리스티렌으로서 혼합물이다. 이 혼합은 Harder 등에 의하여 고에너지 광자와 전자의 선량계측에서 최적의 혼합조건이라고 연구한 결과를 보고하였다²⁾. 그리고 고에너지 광자와 전자의 선량계측에서 물에 대한 대체물로서 많은 물질들이 이미 연구가 되어 있다⁴⁻⁹⁾. Christ는 4 MV, 6 MV, 15 MV, 25 MV 등의 X-선 빔으로 백색폴리스티렌팬텀에 조사되는 각각의 조사야 크기 $10 \times 10 \text{ cm}^2$, $25 \times 25 \text{ cm}^2$ 에 대하여 깊이 30 cm 까지 깊이의 함수로서 보정인자와 TPR에서 퍼센트 편차를 분석하였다. 이 분석에 의하면, 보정인자는 각각의 조사야 크기에 대하여 저에너지(4~6 MV)에서 증가하는 깊이와 함께 고에너지(15 MV)보다 더 큰 기울기로 증가하고, 반면에 25 MV에서는 증가하는 깊이와 함께 기울기가 감소함을 보여 준다. 또한 조사야 크기의 의존성을 보여 준다. 이 분석에서 전체 에너지에 대하여 얻은 보정인자는 3% 이하이고, TPR에서 퍼센트 편차는 0.7% 이하이다²⁾.

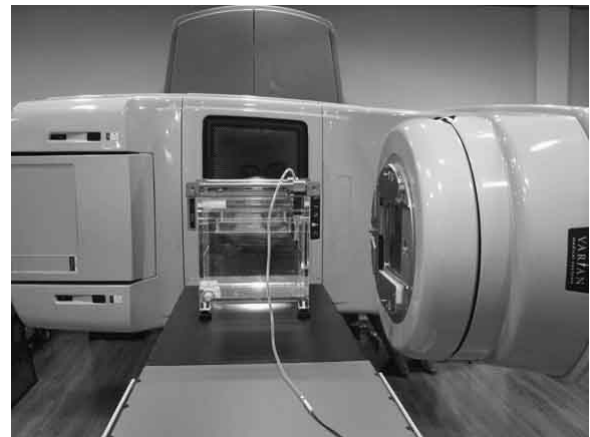
본 연구는 백색폴리스티렌팬텀에 대한 보정인자와 TPR에서 퍼센트 편차를 연구한 결과가 없는 10 MV X-선 빔, 전위계(electrometer)와 전리조, 백색폴리스티렌팬텀과 절대흡수선량 교정용 물팬텀을 사용한다. 선형가속기의 X-선 빔은 방향은 다르지만, 같은 조사조건을 갖는 두 팬텀으로 조사된다. 이때 물질의 전리로 생성된 전하를 검출하여 절대흡수선량의 물등가깊이로 비례시키는 보정인자를 구하고, 이 보정인자와 물팬텀의 표준 빔자료 (beam data)인 TPR를 사용하여 두 물질의 상대적인 TPR에서 퍼센트 편차를 구하여, 이 두 물질을 정량적으로 비교분석할 것이다.

II. 재료 및 방법

실험의 구성은 Fig. 1에서 보여주는 바와 같이 Varian medical systems사의 선형가속기 21EX의 빔 조사 방향에 수직되게 백색폴리스티렌팬텀, 교정용 물팬텀과 전리조



(a)



(b)



(c)

Fig. 1. Photographs of the measurement setup (a) white polystyrene phantom, (b) water phantom and CC13 ionization chamber, and (c) Dose1 electrometer

(ionization chamber)를 치료실에, 전위계는 조정실에 각각 배치하여 triaxial ion chamber cable로 연결하였다.

재료들을 살펴보면, 선형가속기 출력선량 교정용 물팬텀은 Scanditronix wellhofer사의 WP34 팬텀; 백색폴리스티렌팬텀(상표: RW3)은 Scanditronix wellhofer사의 SP34 팬텀으로서 각각 1 mm, 2 mm, 5 mm, 10 mm 두께를 갖는 30×30 cm³ 면적 크기의 널빤지(slab)로 구성되며, 질량밀도가 1.045 g/cm³, 물에 대한 상대적인 전자밀도비는 1.012; 전위계는 Scanditronix wellhofer사의 Dose1; 디지털 온도계는 Cooper instrument사의 TM99A; 전리조는 Scanditronix wellhofer사의 CC13으로서 활성용적은 0.13 cm³이다.

1. 측정

10 MV X-선 빔에 대하여 백색폴리스티렌팬텀과 물팬텀에서 측정의 조건들은 다음과 같다. 선원 대 전리조 중심까지의 거리는 SAD(Source Axis Distance) 100 cm로 고정하였다. 조사면 크기(field size)는 각각 10×10 cm², 20×20 cm²이고, 깊이(depth)는 각각 2.3 cm, 5 cm, 10 cm, 15 cm이다. 각각의 조사면 크기에 대한 깊이의 함수로서 측정되는 상대적인 TPR(Tissue Phantom Ratio)의 기준 깊이(z_{ref})는 조사면 크기 10×10 cm²의 최대선량깊이(z_{max})인 2.3 cm를 사용하였다.

백색폴리스티렌팬텀의 사용 시에는 후방산란을 고려하기 위하여 전리조 중심으로부터 후방으로 두께 10 cm의 후방산란물질(backscatter material)을 놓았다. 물팬텀의 사용 시에는 치료실과 물의 열평형상태를 유지시키기 위하여 치료실 온도에 0.1°C 차이를 갖는 물 온도를 조절하였다. 측정들에서 각각의 깊이는 각각의 팬텀안의 전리조 중심으로부터 선원방향으로 부가하였다.

측정값은 분당 400 MU의 출력을 갖는 선형가속기로부터 100 MU의 전달로 각각의 조사면 크기와 깊이에서 3번 측정으로 취득된 전리의 평균값으로 얻었다.

2. 이론적 배경

1) 보정인자

백색폴리스티렌팬텀안의 깊이들에서 전리 측정값들은 임의의 깊이(z)에서 측정된 전리 측정값에 보정인자를 곱함으로써 물등가깊이로 비례된다. 이 보정인자($h_{w,p}$)는 식 (1)에서 계산된다²⁾.

$$h_{w,p}(z) = \frac{M_w(z)}{M_p(z)} \dots\dots\dots (1)$$

여기서 $M_w(z)$ 와 $M_p(z)$ 는 각각의 조사면 크기와 깊이 에 대한 각각 물과 백색폴리스티렌에서 측정되는 전리 측정값이다.

2) TPR에서 퍼센트 편차

물질 m 의 깊이 z 에서 TPR은 식 (2)로 정의된다.

$$TPR_m(z) = \frac{M_m(z)}{M_m(z_{ref})} \dots\dots\dots (2)$$

여기서 M 은 깊이 z 와 z_{ref} 에서 전리 측정값이다.

식 (1)로부터 얻은 보정인자를 사용하여, 물과 백색폴리스티렌 사이에서 TPR에서 퍼센트 편차 $\Delta(z)$ 는 식 (3)으로부터 얻어진다²⁾.

$$\Delta(z) = 100 \times \left(1 - \frac{h_{w,p}(z_{ref})}{h_{w,p}(z)} \right) TPR_w(z) \dots\dots\dots (3)$$

여기서 $TPR_w(z)$ 은 물에 대한 사용자의 표준 빔자료인 TPR 표에 들어있는 수치들을 사용하였다.

III. 결과 및 논의

실험으로부터 보정인자와 TPR에서 퍼센트 편차는 각각 0.97%, 0.53% 이하를 얻었다.

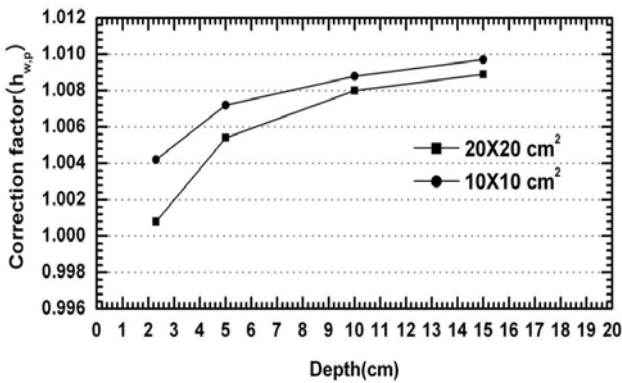
전리 측정값으로부터 계산된 보정인자들은 Table 1과 Fig. 2에서 보여주며, 이 인자들은 깊이와 조사면의 크기에 의존하여 증가하는 양상을 보여준다. 그리고 조사면 크기가 10×10 cm²인 최대선량깊이에서 두 물질로부터 수집된 전리 측정값은 일치하였다.

TPR에서 퍼센트 편차는 Table 1의 보정인자들과 Table 2의 $TPR_w(z)$ 수치들을 사용하여 계산되었고, Table 3에서 보여준다. 이 편차들은 깊이의 함수로서 조사면 크기가 작을수록 편차가 증가하는 양상을 나타내며, 또한 물의 TPR 수치가 백색폴리스티렌보다 큰 것을 알 수 있다.

본 실험으로부터 수집된 전리 측정값들은 물에 비하여 백색폴리스티렌에서 작았다. 이것에 대한 이유는 물보다 작은 백색폴리스티렌의 선감약계수와 질량에너지흡수계수 등이 결과에 기여된 것으로 추정된다.

Table 1. The correction factor($h_{w,p}$) as a function of depth for the field sizes

Depth (cm)	Field size ($10 \times 10 \text{ cm}^2$) $h_{w,p}(z)$	Depth (cm)	Field size ($20 \times 20 \text{ cm}^2$) $h_{w,p}(z)$
2.3	1.0008	2.3	1.0042
5	1.0054	5	1.0072
10	1.0080	10	1.0088
15	1.0089	15	1.0097

**Fig. 2.** The correction factor($h_{w,p}$) as a function of depth for the field sizes**Table 2.** Tissue Phantom Ratio($TPR_w(z)$) as a function of depth in water for the field sizes

Depth (cm)	Field size ($10 \times 10 \text{ cm}^2$) $TPR_w(z)$	Depth (cm)	Field size ($20 \times 20 \text{ cm}^2$) $TPR_w(z)$
5	0.917	5	0.918
10	0.737	10	0.754
15	0.586	15	0.612

Table 3. The percentage deviation in $TPR(\Delta(z))$ between measurement in water and white polystyrene as a function of depth for the field sizes

Depth (cm)	Field size ($10 \times 10 \text{ cm}^2$) $\Delta(z)(\%)$	Depth (cm)	Field size ($20 \times 20 \text{ cm}^2$) $\Delta(z)(\%)$
5	0.42	5	0.27
10	0.53	10	0.34
15	0.47	15	0.33

물과 백색폴리스티렌을 사용한 물의 절대흡수선량 측정들에서 동일한 보정인자들을 사용한다고 가정하면, 물에 대한 백색폴리스티렌에서의 전리 측정값의 차이는 물의 절대흡수선량에 비례적으로 기여하게 된다. 그러므로 백색폴리스티렌팬텀을 사용하여 물의 절대흡수선량을 측정할 때, 물등가깊이로 비례시키기 위하여 백색폴리스티렌팬텀에서 측정된 전리 측정값에 보정인자를 곱하여 구한 계산 값과 TPR 에서 퍼센트 편차를 보정한 TPR 을 사용하여야만 정확성을 높일 수 있다. 여기서 TPR 의 보정을 하는 이유는 절대흡수선량은 최대선량깊이에서만 비교될 수 있기 때문이다.

측정의 방법이 아닌 물등가깊이를 보정하는 방법은 물에 대한 상대적인 전자밀도비를 사용하여 물 깊이에 대한 고체물등가팬텀의 깊이를 계산하는 것이다. SAD치료기법에서 선형가속기로부터 출력되는 흡수선량을 측정하기 위한 기준조건들은 조사면 크기는 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 이고, 물팬텀의 깊이는 10 cm이다. 이 기준깊이에 대한 백색폴리스티렌팬텀의 물등가깊이는 9.88 cm으로 계산되고, 9.88 cm의 깊이를 널빤지로 정확하게 맞출 수 없으므로 9.9 cm로 근사시켰다. 물팬텀의 깊이와 백색폴리스티렌팬텀의 물등가깊이 등에서 측정된 이온화는 물팬텀의 깊이에서 오히려 0.39%로 더 낮게 측정되었다. 따라서 고체물등가팬텀에서 절대흡수선량 측정 시에 물에 대한 상대적인 전자밀도비로 물등가깊이를 보정하는 방법보다 측정으로부터 보정인자를 구하여 보정을 행하여야 될 것으로 생각된다.

IV. 결 론

고체물등가팬텀은 물팬텀의 대체물로서 일상적인 품질 보증에 많이 사용되고 있다. 이 물질은 방사선 치료에 사용되는 전체 에너지 스펙트럼들에서 엄격히 물등가는 아니다. 따라서 두 물질에서 얻은 전리 측정값의 차이를 보정하여야 한다.

실험으로부터 보정인자와 TPR 에서 퍼센트 편차는 각각 0.97%, 0.53% 이하를 얻었다.

따라서, 고체물등가팬텀을 사용한 절대흡수선량 측정 시에는 보정인자와 TPR 에서 퍼센트 편차를 사용하여 보정을 행하면 높은 정확도를 얻을 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. Venencia CD, Besa Pelayo.: Commissioning and quality assurance for intensity modulated radiotherapy with dynamic multileaf collimator: Experience of the Pontificia Universidad Catolica de Chile, *Am Coll Med Phys*, 5(3), 2004
2. Christ G. : White polystyrene as a substitute for water in high energy photon dosimetry, *Med Phys*, 22(12), 1995
3. Scanditronix Wellhofer.: User's guide to the SP34 QA phantom, Manual, 12, 2003
4. Constantinou C, Attix FH, Paliwal BR.: a Solid water material for radiotherapy X-ray and γ -ray beam calibrations, *Med Phys*, 9(3), 1982
5. Tello VM, Tailor RC, Hanson WF.: How water equivalent are solid materials for output calibration of photon and electron beams?, *Med Phys*, 22(7), 1995
6. Reft CS.: Output calibration in solid water for high energy photon beams, *Med Phys*, 16(2), 1989
7. Thwaites DI.: Measurements of ionization in water, polystyrene and a "solid water" phantom material for electron beams, *Phys Med Biol*, 30(1), 1985
8. Randall K, Haken T, Fraass BA.: Relative electron beam measurements: Scaling depths in clear polystyrene to equivalent depths in water, *Med Phys*, 16(2), 1989
9. Bruinvis IAD, Heukelom S, Mijnheer BJ.: Comparison of ionization measurements in water and polystyrene for electron beam dosimetry, *Phys Med Biol*, 30(10), 1985

• Abstract

10 MV X-ray Beam Dosimetry by Water and White Polystyrene Phantom

Jong-Eon Kim · Byung-Youl Cha · Sang-Sik Kang · Ji-Koon Park · Jeong-Wook Sin
So-Yeong Kim · Seong-Ho Jo · Dae-Woong Son · Chi-Won Choi · Chang-Hee Park¹⁾
Chun-Sil Yoon²⁾ · Jong-Duk Lee²⁾ · Byung-Do Park²⁾ · Sang-Hee Nam

Department of Biomedical Engineering, Inje University

¹⁾*Department of Radiation, Daegu Health College*

²⁾*Department of Physics, Gyeongsang National University*

The purpose of this study is to get the correction factor to correct the measured values of the absolute absorbed dose proportional to the water equivalent depth. The measurement conditions in white polystyrene and water phantoms for 10 MV X-ray beam are that the distance of source to center of ionization chamber is fixed at SAD 100 cm, the field sizes are $10 \times 10 \text{ cm}^2$, $20 \times 20 \text{ cm}^2$ and the depths are 2.3 cm, 5 cm, 10 cm, and 15 cm, respectively. The mean value of ionization was obtained by three times measurements in each field size and depths after delivering 100 MU from linear accelerator with output of 400 MU per min to the two phantoms. The correction factor and the percentage deviation in *TPR* were obtained below 0.97% and 0.53%, respectively. Therefore, we can get high accuracy by using the correction factor and the percentage deviation in *TPR* in measuring the absolute absorbed dose with the solid water equivalent phantom.

Key Words : Solid water equivalent phantom, Water phantom, Absolute absorbed dose