

6MV광자선에서 측정 조건의 변화와 측정법의 차이에 의한 절대 선량값의 비교

김희남, 박성용*, 서태석, 권수일**, 윤세철
강남성모병원 방사선종양학과
인하대학교병원 방사선종양학과*
경기대학교 의학물리학과**

초 록

목적 : 방사선량 측정시 에너지, 매질, 측정기 등의 측정 조건과 측정 프로토콜에 따라 절대 흡수선량값이 결정된다. 본 연구에서는 이러한 측정 조건의 변화와 측정 프로토콜의 차이에 따른 절대 선량 값을 구하여 비교 분석 하고자 한다.

방법 : 시멘스 선형가속기에서 발생하는 6MV 광자선을 이용하여 3개의 다른 매질(물, 고체 물팬텀, 폴리스틸렌팬텀)내에서 2개의 전리함(PTW ion chamber, NEL ion chamber) 과 2개의 전기계(Victoreen electrometer, Keithley electrometer)를 사용하여 흡수선량을 측정하였다. 매질, 전리함, 전기계등의 측정 조건을 달리하여 서로 다른 조합에 대한 측정값을 TG21, IAEA 프로토콜에 의해 각각 분석하였다.

결과 및 결론 : 2개의 전기계와 2개의 전리함 조합에 따른 TG21 및 IAEA의 N_{gas} , N_D 값의 비는 평균적으로 1%이내에서 일치 하였다. 3개의 서로 다른 매질, 4개의 서로 다른 전리함 및 전기계 조합에 따른 12가지 측정조건에 대한 흡수선량의 변화는 평균 0.6%의 차이를 보여 주었으며 임의의 전리함 및 전기계 조합에 대하여 물팬텀 및 고체물팬텀에 대한 TG21, IAEA 측정법에 의한 흡수선량비의 변화 양상이 같은 양상을 보여주고 있으나 그 차이가 평균 1.96%를 보임으로서 고체물팬텀이 절대 흡수선량 측정에는 적절치 않은 것으로 사료된다. TG21 측정법에 따른 물팬텀과 폴리스틸 렌팬텀을 이용한 절대 흡수선량값이 1.54%의 차이를 보임으로서 팬텀 매질에 대한 비교 factor가 필요할 것으로 사료된다. 측정매질, 전리함, 전기계 등의 여러 조건에 대한 흡수선량값의 차이가 TG21, IAEA 프로토콜에서 1%이내의 차이를 보여 주고 있으며 상대적인 변화 양상이 측정법에 상관없이 같은 경향으로 변함으로서 측정조건이 측정법에 영향을 주지 않았음을 알 수 있다. 다만 표준 측정법을 사용할 때 팬텀에 의한 차이는 많이 날 수 있으므로 측정 법에서 사용하는 표준 팬텀을 사용할 것을 권장하며 이것이 어려운 경우는 병원에서 사용하는 팬텀에 대한 보정값을 자체적으로 구하여 사용하는 것이 오차를 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

서 론

X선의 발견은 종양의 진단과 치료에 획기적인 수단으로 발전하여 왔으며 과학발전에 힘입어 개발된 의료용 고에너지 가속기에서 발생시킨 수십메가볼트의 고에너지 방사선은 현재 종양치료의 중추적인 역할을 하고 있다.

방사선에 의한 치료성과와 예후에 수반되는 합병증은 방사선의 선량에 매우 예민하고

6MV광자선에서 측정 조건의 변화와 측정법의 차이에 의한 절대 선량값의 비교

밀접한 관계가 있기 때문에 국제 방사선단위위원회(ICRU)에서는 중앙의 실제 투여선량과 계획된 선량의 오차가 $\pm 5\%$ 를 초과해서는 안된다고 권고하고 있다¹⁾.

그러므로 방사선량의 정확한 측정은 방사선치료의 기본이 되는 매우 중요한 요소이며 방사선의 종류, 에너지, 조사범위에 따른 정확한 선량측정이 요구되고 있다.

인체조직에 조사되는 방사선량은 전리함(ionization chamber), 반도체 등의 방사선 검출기를 이용한 간접 측정만이 가능하며 인체 조직내 깊이에 따른 선량분포는 조직등가 팬텀을 이용하여 계측되어야 하므로 팬텀과 인체 조직간의 구성 성분에 차이에 대한 보정인자가 정확히 적용된 계산이 흡수선량의 정확도를 가능하게 된다.

정확한 선량측정을 위한 측정법을 미국의학물리학회(AAPM)²⁾, 영국병원물리협회(HPA), 국제 방사선단위위원회(ICRU)¹⁾, 국제원자력기구(IAEA)³⁾, 북유럽 임상물리학회(NACP)⁴⁾ 등에서 규정하고 있다. 현재 세계적으로 가장 널리 사용되고 있는 선량측정법은 미국의학물리학회에서 제정한 TG21프로토콜(1983, 이하 TG21)과 국제원자력기구에서 제정한 IAEA프로토콜(Technical Reports series No.277.1987, 이하 IAEA)이 있으며 국내에서도 이 두가지 선량측정법을 많이 사용하고 있다. 이들 측정법에서는 에너지와 전리함의 구성물질, 모양에 따라 상호 작용값을 세분하고 측정 팬텀의 구성 물질에 따른 질량 저지능, 에너지흡수계수 등의 상호 작용값 및 보정계수를 적용하여 물에서의 흡수선량값으로 환산하여 방사선 선원(광자와전자선)을 교정하고 있다.(그림 1). TG21과 IAEA의 물리적인 기본은 매우 비슷하나 몇가지 관점에서 서로 다르다. 따라서 이러한 차이점을 분명하게 평가해 보는 것은 매우 의미있는 일일 것이다.

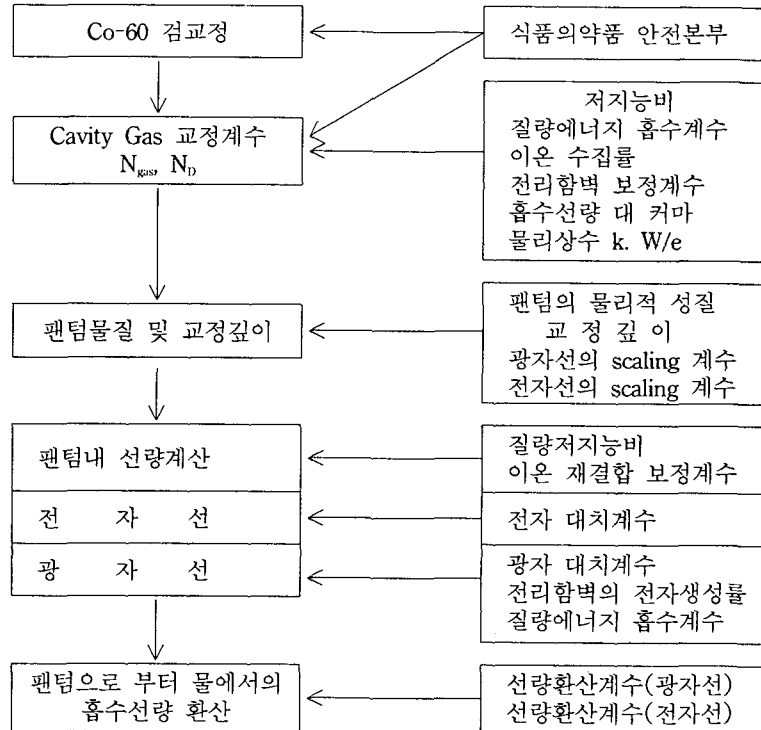


그림 1. 흡수선량 교정 과정

본 연구에서는 6MV 광자선에서 상이한 전리함과 전기계, 팬텀을 서로 조합으로 묶어 각 조합에서 TG21, IAEA 두 측정법의 차이에 대한 선량값 변화를 살펴봄으로서 측정조건과 측정법의 차이에 의한 상관관계를 알아보고 상대적 흡수선량값을 상호비교 분석함으로써 측정매질(팬텀), 전리함간의 오차를 알아 보고자 한다.

재료 및 방법

1. 재 료

본 연구를 위해 사용된 전리함은 0.6cc Farmer-type으로서

- i) PTW N30001(Wall : PMMA, Buildup cap : PMMA, 중심전극 : Aluminum 1.0φ, wall thickness : 0.053 g/cm²)
- ii) NEL2571(Wall : Graphite, Buildup cap : Delrin, 중심전극 : Aluminum 1.0φ, wall thickness : 0.065 g/cm²) 이었으며

전리전하값을 측정하기 위한 전기계로는 Keithley Electrometer(Model : MK 614)와 Victoreen Electrometer(Model : 500)를 이용하였다.

이들 전리함과 전기계는 다음과 같은 조합을 이루어 측정되었다.

- (1) PTW ion chamber + Keithley Electrometer (이하 PTW + Keith)
- (2) PTW ion chamber + Victoreen Electrometer(이하 PTW + Vict)
- (3) NEL ion chamber + Keithley Electrometer(이하 NEL + Keith)
- (4) NEL ion chamber + Victoreen Electrometer(이하 NEL + Vict)

선형가속기 (MEVATRON KD, Siemens, USA)에서 발생되는 6MV광자선을 이용하여 상기의 조합에 대해 물팬텀, 고체물팬텀, 폴리스티렌팬텀에서의 흡수선량값을 TG21 및 IAEA측정법에 따라 측정하였다.

그림2는 사용된 전리함, 전기계, 팬텀을 나타내고 있다.

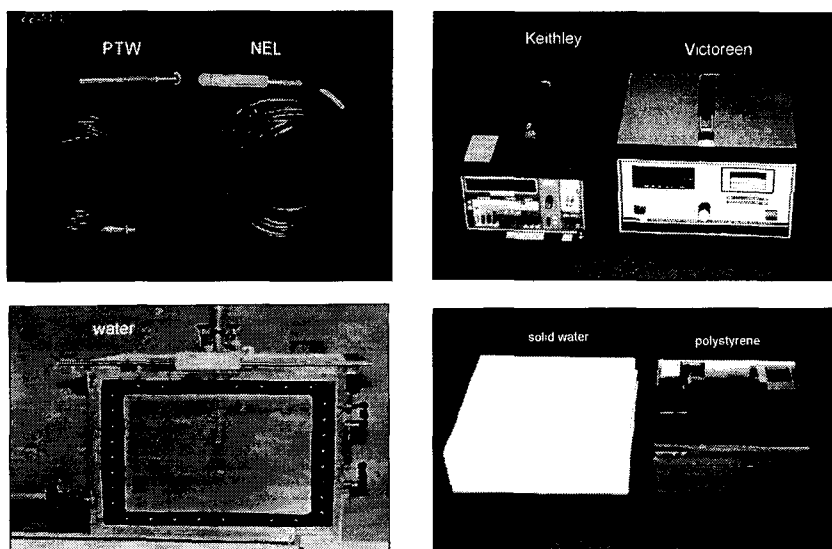


그림 2. 측정기구 및 측정팬텀

2. 방 법

2차 표준 측정기관인 식품의약품 안전본부로부터 각 조합의 전리함 및 전기계의 교정 상수를 얻었으며 두 측정법 비교를 위하여 측정점은 TG21의 권고 깊이를 따랐다(표 1).

광자선에서의 교정깊이는 TPR_{20} 또는 명목 가속전압 (nominal accelerating potential, NAP)의 함수이므로 선원 표면간거리를 100cm로 하고 팬텀표면에서의 조사야가 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ 가 되도록하여 팬텀에서 10cm 와 20cm에서의 최대조직선량을(TPR)값을 측정하였다. (그림3)

표1. 선량측정 조건

Energy (MV)	Depth d_0 (cm)	SSD (cm)
6	5	100

사용된 조사면의 크기는 팬텀표면에서 $10 \times 10\text{cm}^2$ 이다.

이온 수집효율 보정은 두 전압방법(two-voltage technique)에 의하여 전기계 전압 300V에서 측정된 값과 150V에서 측정된 값의 비를 통하여 얻었다. 단, Victoreen 전기계는 40% 전압강하에서 측정하였다.

고체물팬텀과 폴리스티렌팬텀은 측정 수 시간동안 치료실에 놓아둠으로서 치료실온도와 같아지도록 하였다.^{5,14)}

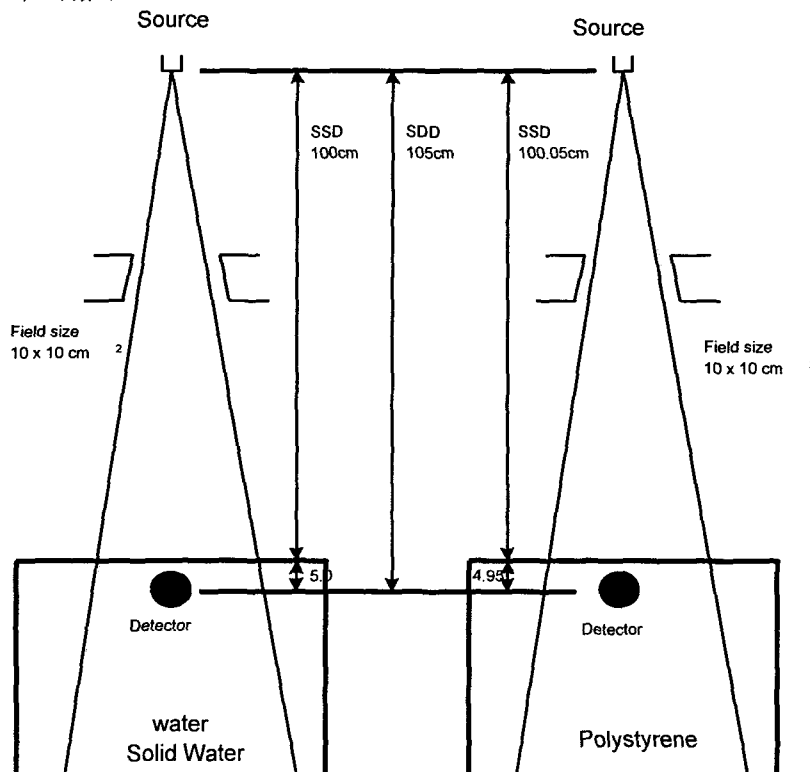


그림 3. 선량측정을 위한 기하학적 조건

TG21에서는 측정점이 전리함의 중심점에 오도록 하고 방사선원에 수직이 되도록 하였으며 IAEA에서는 유효측정점의 깊이³⁾를 적용하여 광자선에서는 $0.75r$ (전리함의 내반경)만큼 이동시켰다.(표2, 그림4) 측정매질이 폴리스틸렌인 경우 scaling factor를 이용하여 물의깊이로 환산하여 측정하였다. 각 측정점에서의 측정값은 최소 3회 측정치의 평균값을 구하였고 차이가 많이나는 값들에 대해서는 3회 이상의 측정치를 평균하여 얻었다.

표2. 측정깊이 및 전리함의 유효측정점

Energy (MV)	Reference depth (cm)	Effective point of measurement (r)
6	5	0.75

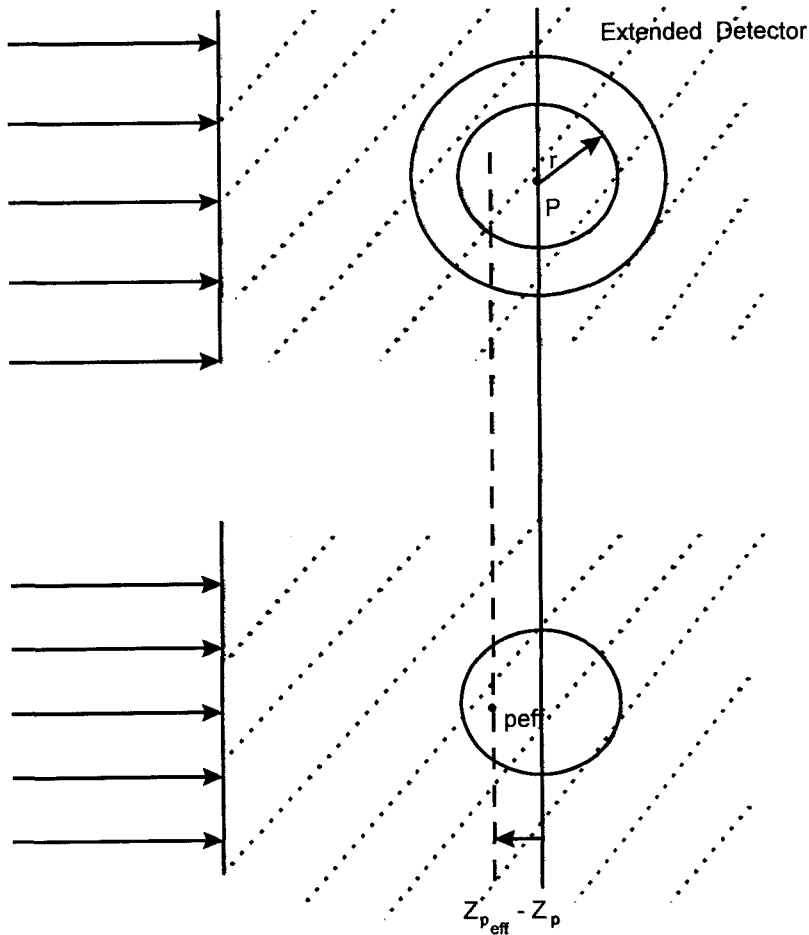


그림 4. 전리함 중심으로부터 유효측정점의 이동($Z_{p_{eff}} - Z_p = 0.75r$)

3. TG21, IAEA 수식체계의 비교

1) N_{gas} , N_D

Loevinger에 의해 개발된 식에 따라서 TG21에서는 온도, 기압, 이온수집 효율이 교정된 전기계값으로 나누어진 공기흡수선량 교정계수(cavity gas calibration factor)인 N_{gas} 의 개념을 소개하였다.

$$N_{gas} = D_{gas} \cdot A_{ion} \cdot M^{-1} \quad (1)$$

여기서 D_{gas} 는 공동가스에서의 평균 흡수선량, M 은 온도와 기압이 보정된 전기계 지시값, A_{ion} 은 교정선원의 이온 수집효율이다.

TG21의 N_{gas} 는 표준기관으로 부터 얻어진 조사선량 교정계수 N_x 값으로 부터 다음의 식에 의해 얻어질 수 있다.

$$N_{gas} = N_x \frac{k(W/e)A_{wall}A_{ion}\beta_{wall}}{\alpha(\bar{L}/\rho)_{gas}^{wall}(\bar{\mu}_{en}/\rho)_{wall}^{air}} \quad (2)$$

여기서 k 는 단위 조사당 단위 질량당 공기에서 생성된 전하량으로서 $2.58 \times 10^{-4} \text{ C} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{R}^{-1}$ 이다. W/e 는 공기에서 생성된 이온쌍당 전자전하당 소요된 평균에너지, A_{wall} 은 전리함벽과 선량증가두껍(buildup cap)에서 1차 광자선의 감소와 산란에 대한 교정계수, β_{wall} 은 흡수선량과 충돌커마와의 비, $(\bar{L}/\rho)_{gas}^{wall}$ 은 전리함의 공동에서의 가스와 전리함벽 물질과의 평균 충돌질량저지능의 비, $(\bar{\mu}_{en}/\rho)_{wall}^{air}$ 는 공기와 전리함벽 물질과의 평균 질량에너지 흡수계수의 비, α 는 전리함벽에서 발생하는 조사에 의한 전리비율이다.

전리함벽 물질과 선량증가두껍 물질이 서로 다를 때

$$N_{gas} = N_x \frac{k(W/e)A_{ion}A_{wall}\beta_{wall}}{\alpha(\bar{L}/\rho)_{gas}^{wall}(\bar{\mu}_{en}/\rho)_{wall}^{air} + (1-\alpha)(\bar{L}/\rho)_{gas}^{cap}(\bar{\mu}_{en}/\rho)_{cap}^{air}} \quad (3)$$

으로 표현할 수 있다.

$(1-\alpha\beta)$ 는 선량증가두껍에서 발생하는 조사에 의한 전리비율이다.

IAEA는 TG21의 N_{gas} 와 같은 의미의 공기 흡수선량 교정계수인 N_D 개념을 다음과 같이 정의하였다.

$$N_D = N_k(1-g)k_{au} \cdot k_m \quad (4)$$

여기서 N_k 는 공기커마 교정계수이고 g 는 2차 하전입자의 에너지와 제동복사선으로 손실되는 손실율로서 ^{60}Co 에서 g 값은 0.003이다.

k_{au} 는 전리함벽과 선량증가두껍에서 검교정용 방사선의 감쇠에 대한 보정계수, k_m 은 검교정용 방사선에서 전리함벽과 선량증가두껍의 공기 비등가성에 대한 보정계수로서

$$k_m = \alpha S_{air,wall}(\bar{\mu}_{en}/\rho)_{wall,air} + (1-\alpha)S_{air,cap}(\bar{\mu}_{en}/\rho)_{cap,air} \quad (5)$$

여기서 $S_{air,wall}$ 은 전리함벽 물질과 공기와의 평균질량저지능비이고 $S_{air,cap}$ 은 전리함벽 물질이 선량증가두껍 물질로 대체된 $S_{air,wall}$ 과 같은 의미의 계수이다. $(\bar{\mu}_{en}/\rho)_{cap,air}$ 은 선량증가두껍

물질과 공기와의 질량에너지흡수계수의 비이다. $\alpha, (1-\alpha)$ 은 N_{gas} 에서의 $\alpha, (1-\alpha)$ 와 같은 의미이다.

IAEA에서는 TG21에서의 조사선량 교정계수 N_x 대신 공기커마 교정계수인 N_k 를 사용하고 있는데 N_x 와 N_k 의 관계는

$$(W/e)N_x = N_k(1-g) \quad (6)$$

$$\text{따라서 } N_k = N_x \cdot W/e \cdot \frac{1}{1-g} \quad (7)$$

로 나타낼 수 있다.

2) 물에서의 흡수선량

TG21 측정법에서는 고에너지 광자선과 전자선의 교정에서 팬텀물질로서 물 이외에도 PMMA, 폴리스틸렌 팬텀을 사용할 수 있다고 권고하고 있다.

플라스틱에서의 흡수선량 $D^{Plastic}$ 은

$$D^{Plastic}(d_0) = M N_{gas} \left(\bar{L}/\rho \right)_{gas}^{plastic} \cdot P_{ion} \cdot P_{wall} \cdot P_{repl} \quad (8)$$

이며 식(8)을 물에 대한 흡수선량으로 바꾸면

$$D_{water}(d_0) = D^{plastic}(d_0) \cdot \left(\bar{\mu}_{en}/\rho \right)_{plastic}^{water} \cdot ESC \quad (9)$$

식으로 나타낼 수 있다.

M : d_0 의 깊이에서 온도와 기압이 보정된 전기계값, P_{ion} : 이온 재결합 손실에 대한 보정계수, P_{wall} : 전리함벽 물질과 측정매질(팬텀)의 차이에 대한 보정계수, P_{repl} : 팬텀 물질이 전리함벽 및 공기로 대체됨에 따른 광자와 전자 플루언스 변화에 대한 보정계수, $(\bar{\mu}_{en}/\rho)_{plastic}^{water}$: 플라스틱에 대한 물의 평균질량에너지 흡수계수비, ESC : 물팬텀과 비교하여 폴리스틸렌 팬텀이나 PMMA팬텀에서 일어나는 산란광자의 증가에 대한 보정이다.

IAEA에서는 광자선에 대한 흡수선량 측정시 물팬텀만을 사용할 것을 권고하고 있다. 기준깊이 d_0 에서의 물의 흡수선량은

$$D_w(d_0) = M_u N_D(S_{W,air})_u P_u \cdot P_{cel} \quad (10)$$

식에 의하여 구할수 있다.

여기서 N_D 는 공기 흡수선량 교정계수로서 식(4),(7)에서

$$N_D = N_x(W/e)k_{att} \cdot k_m \quad (11)$$

로 표현할 수 있다. 식(10)에서 M_u 는 온도, 기압, 습도, 이온 재결합 손실이 보정된 전기계의 값으로서 기준깊이 d_0 에 전리함의 내반경(internal radius)의 계수 f 를 더한 지점에서 측정된 값이며 광자선에서의 $f=0.75$ 이다. $(S_{W,air})_u$ 는 공기에 대한 물의 평균 질량저지능 비이다.

P_u 는 브레그 그레이(Bragg-Gray)의 식에 대한 교정계수로서 전리함벽이 물과 같지않고 전리함벽과 공동에 의해서 전리함의 부피만큼 물이 전리함으로 대체됨에 따라 일어나는 전자 플루언스의 변화에 대한 교정계수이며, P_{cel} 은 중심전극 물질에 대한 교정계수이다.

결과 및 고찰

1. $N_D - N_{gas}$ 비교

먼저 TG21 IAEA에서 적용하는 N_{gas} 및 N_D 값을 비교하였다.

식(3),(4)에서 N_D , N_{gas} 의 비는

$$\frac{N_D}{N_{gas}} = \frac{N_K(1-g)}{k N_X(W/e)A_{ion}} \cdot \frac{k_{air}}{A_{wall}} \cdot \frac{k_m}{k_m^{TG21}} \cdot \frac{1}{\beta_{wall}} \quad (12)$$

으로 나타낼수 있다.

여기서 k_m^{TG21} 은 식 (3)에서 분모의 역수로서 IAEA의 k_m 과 같은 의미이다.

식(12)에 나타난 N_D , N_{gas} , k_m , 그 외 물리적인 파라미터들에 대한 계산값의 비교치를 표 3에 나타내었다.

PTW+Keith에서는 0.3%, PTW+Vict에서는 0.2% N_D 값이 낮게 나타났으며, NEL+Keith, NEL+Vict에서는 0.4% N_D 값이 높게 나타났다.

N_D 와 N_{gas} 값의 차이에 대한 주요 원인은 두 프로토콜간에 사용된 W/e값의 차이와 전리함벽과 선량증가두겹의 공기 비등가성에 대한 보정계수, k_m 에 의한 것으로 생각되어진다.

또한 두 측정법이 정한 기준온도의 차이(TG21 : 22°C, IAEA : 20°C)로 인하여 교정기관에서 전리함 교정시에 적용된 온도에 대하여 N_X 값을 보정해 주어야 한다.

표3. N_{gas} , N_D 값의 비교

Chamber	Protocol	W/e	k_{air}	k_m	β_{wall}	N_{gas} or N_D ($\times 10^7$ Gy/C)
PTW + Keith	IAEA	33.97	0.990	0.982	1.000	4.761
	TG21	33.7	0.990	0.982	1.005	4.773
	Ratio	1.008	1.000	1.000	0.995	0.997
PTW + Vict	IAEA	33.97	0.990	0.982	1.000	4.745
	TG21	33.7	0.990	0.982	1.005	4.754
	Ratio	1.008	1.000	1.000	0.995	0.998
NEL + Keith	IAEA	33.97	0.990	0.994	1.000	4.008
	TG21	33.7	0.990	0.987	1.005	3.993
	Ratio	1.008	1.000	1.007	0.995	1.004
NEL + Vict	IAEA	33.93	0.990	0.994	1.000	4.054
	TG21	33.7	0.990	0.987	1.005	4.039
	Ratio	1.008	1.000	1.007	0.995	1.004

TG21에서 사용한 W/e값은 건조한 공기(dry air)대신 순환공기(ambient air or humid air)에서 얻어진 것으로 IAEA에서 사용한 건조한 공기에서의 값보다 0.8% 낮은 값이다.

질량저지능비와 질량에너지 흡수계수비가 포함된 k_m 의 값의 차이는 TG21에서는 Berger와 Seltzer에 의해 이론식에 대해 계산된 저지능값을 사용하고 있는데에 반해 IAEA에서는

Andreo등⁶⁾에 의한 몬테칼로 방법에 의해 측정된 값을 사용하는데 있다.

또한 전리함벽이 얇고 전리함벽 물질과 선량증가두겹 물질이 서로 같은 PTW chamber에서 k_m 의 차이가 작은 것으로 나타나 전리함벽의 두께와 물질, 선량증가두겹물질이 N_{gas} , N_D 에 영향을 주는 것을 알 수 있다.

실제 전리함 및 전기계의 조합에 따른 N_{gas} 및 N_D 값의 차이는 0.5% 이내로서 차이가 날 수 있는 여러 요소를 고려할 때 작은 오차를 나타내고 있다.

2. 흡수선량의 비교

플래시의 흡수선량값을 쉽게 비교하기 위해 식(8)과 식(10)은

$$\frac{D_w^{IAEA}(d_0)}{D_w^{TG21}(d_0)} = \frac{M_u}{MP_{ion}} \frac{N_D}{N_{gas}} \frac{(S_{w,air})_u}{(L/\rho)_{gas}^{water}} \frac{P_u}{P_{wall}} \frac{1}{P_{repl}} \frac{P_{cel}}{1} \quad (13)$$

으로 비슷한 의미의 계수끼리 묶을 수 있다.

팬텀물질이 물이므로 식(8)에서의 Plastic과 식(10)에서 물이 대치 되었다.

TG21에서는 측정점이 전리함의 중심축에 일치하도록 하고 있으며 IAEA에서는 전리함의 유효위치를 전리함 내반경의 3/4만큼 방사선 선원쪽으로 이동시킨 유효 측정점의 개념을 도입하여 그 깊이에서 물의 흡수선량을 결정하고 있다. 즉, TG21에서는 기준깊이 d_0 에서 전리함의 중심이 놓이도록 하고 IAEA에서는 d_0 에 전리함 내반경(r)의 0.75만큼을 더한 위치에 전리함의 중심이 오도록 하였다. 따라서 전리수집효율이 보정된 전기계의 값은 $d_0 + 0.75r$ 과 d_0 에서의 심부선량 백분율(percentage depth dose, PDD)과 같다.

$$\text{즉} \quad \frac{M_u}{M \cdot P_{ion}} = \frac{\%DD(d_0 + 0.75r)}{\%DD(d_0)} \quad (14)$$

두 프로토콜에서 측정깊이의 차이는 교란보정계수인 P_{repl} 와 P_u 에 영향을 미친다.

TG21의 P_{repl} 는 경사 보정계수 P_{gr} 와 전자 플루언스 교정계수 P_n 로 구분할 수 있으며 P_{gr} 의 효과는 전리함 공동내에서 전자 플루언스를 보정하기 위해서 전리함 중심에서 유효 측정점 만큼 전리함 중심앞으로 이동하는 것과 같다. 플루언스 교정은 전리함의 위치가 하전입자 평행이 이루어지지않는 곳(광자선에서 build up영역과 전자선에서는 모든 영역)에 있을때 필요하다. 따라서 광자선에서 최대선량지점(d_{max}) 이후의 지점에서 선량 측정시 플루언스 교정이 필요하지 않으며 광자선의 경우에는 $P_{repl} = P_{gr}$ 이라 할 수 있다.

IAEA에서는 측정점을 기준깊이(d_0)에 0.75r만큼을 더한 곳에서 선량 측정을 함으로서 P_{gr} 에 대한 보정을 해주는 것과 같다. IAEA에서의 P_u 는 전리함벽이 비 물등가성이고 물 팬텀에서 전리함 부피 만큼 전리함으로 대체됨으로 인해 발생하는 전자 플루언스에 대한 교란 보정계수이다. 광자선에서 최대선량 지점 이후에는 플루언스 교정이 필요하지 않으므로 P_u 는 TG21의 P_{wall} 과 같은 의미가 될 수있다.

P_u 에서 α 는 전리함벽에서 나온 전자에 의해 공동내 공기에서 생긴 총 전리의 비율로서 TG21에서는 전리함벽 두께에 따른 명목가속전압(NAP)의 함수로서 IAEA에서는 전리함벽 두께에 따른 TPR^{20}_{10} 의 함수로서 규정하고 있다.

전리함의 중심전극에 대한 효과는 Rogers⁷⁾, Kristensen⁸⁾등에 의하면 중심전극의 물질이

6MV광자선에서 측정 조건의 변화와 측정법의 차이에 의한 절대 선량값의 비교

공기 비등가성이기 때문에 보정해 주어야 한다고 밝히고 있다. 이들에 의하면 중심전극을 알루미늄으로 만들 경우 전리함의 출력은 공기등가 물질로 된것보다 약 0.8% 증가 한다고 보고하고 있으며 방사선의 에너지와 중심전극의 두께에 따라 이들 Factor값은 변하게 된다.

본 연구에서는 에너지와 중심전극의 두께(25MV이하, 중심전극의 반경 0.5mm)에 따라 P_{ce} 이 1이므로 고려하지 않았다.

전리함과 팬텀물질에 따른 측정 비교치를 표4에 나타내었다.

두 프로토콜간의 비교에서 물팬텀에서는 평균 0.6%, 고체물팬텀에서는 0.9%의 차이로 1% 이내의 차이를 보여주고 있다.

물팬텀과 고체물팬텀의 흡수선량을 비교해 보면 6MV에서 1.96%의 차이를 보이고 있다. 흡수선량값 차이의 원인으로서는 첫째, 고체물팬텀의 흡수선량 결정에 적용된 질량저지능, 질량에너지 흡수계수등의 값들이 물팬텀에서의 값을 적용하였고 둘째, 고체물팬텀 판(slab) 사이에 공기간격(air gap)과 고체물팬텀내에 공기방울이 형성되어 있을 수 있고 셋째, 방사선을 조사함으로써 인해 고체물팬텀 물질의 물리 화학적 변화가 생길 수 있기 때문이다³⁾. 실제 IAEA, TG21에서는 고체물팬텀을 채택하지 않고 있으나 물로 가정하여 IAEA, TG21 프로토콜을 따지는 경우 차이점을 알아보기 위한 것인데 6MV에서 -2.6% ~ -0.7%의 차이를 보여줌으로서 물팬텀과 고체물팬텀의 차별성을 고려해야 할 것으로 사료된다.

V.M. Tello등은 이러한 차이를 줄일 수 있는 방안으로 고체물팬텀에서의 선량 측정점을 최대선량 깊이(D_{max})나 등가질량 깊이(g/cm^2)로 할 것을 권하고 있다.

표4. 6MV 광자선의 IAEA과 TG21 흡수선량의 비교

Chamber	Phantom	M_u $M \cdot P_{ion}$	M_D N_{gas}	$S_{w,air}$ $(L/\rho)^{water}_{air}$	P_u P_{wall}	1 P_{npl}	D_{IAEA} D_{TG21}
PTW+ Keith	Water	0.998	0.997	0.991	1.0006	1.008	0.995
	Solid	0.993	0.997	0.991	1.0001	1.007	0.988
PTW+ Vict	Water	0.999	0.998	0.991	1.0008	1.008	0.998
	Solid	0.991	0.998	0.991	1	1.007	0.987
NEL+ Keith	Water	0.991	1.004	0.991	0.999	1.008	0.993
	Solid	0.992	1.004	0.991	0.999	1.007	0.993
NEL+ Vict	Water	0.991	1.004	0.991	0.996	1.008	0.990
	Solid	0.995	1.004	0.991	0.998	1.007	0.995
평균	Water					0.994 ± 0.003	
	Solid					0.991 ± 0.003	

표5는 6MV 광자선에 대한 물팬텀, 고체물팬텀, 폴리스틸렌팬텀에 대한 흡수선량을 나타내고 있다. 폴리스틸렌팬텀은 IAEA 프로토콜에서는 인정하지 않기 때문에 TG21 프로토콜에서만 사용되었다.

물팬텀과 폴리스틸렌 팬텀의 선량값은 이론상 일치해야하나 본 연구에서는 1.54%의 차이를 보이고 있으며 최대 2.35%의 차이를 보이고 있다. 이는 폴리스틸렌팬텀에 적용하는 질량저지능비, 질량에너지흡수계수등의 값들을 사용하는 팬텀에 일률적으로 적용하는 것이 이러한 차이를 가져올 수 있다. 즉, 측정법에서 권고하는 계수값들이 실제 각 기관에서 사용하고 있는 팬텀에서 얻어진 값이 아니라는 것이다. 또한 고체물팬텀에서의 선량차이

원인도 관계가 될 수 있다.

따라서 물팬텀을 제외한 플라스틱팬텀을 절대선량 측정에 이용할 경우에는 항상 물에서의 값과 비교해 보아야 하고 팬텀 물질의 구성 성분이 방사선조사로 인해 변할 수 있으므로 정기적인 측정이 필요할 것으로 생각된다.

한가지 분명한 것은 폴리스틸렌에서의 흡수선량값이 에너지에 상관없이 고체물팬텀과 물팬텀에서의 흡수선량값의 중간값을 항상 보여줌으로서 측정값의 신뢰성 및 경향을 뚜렷이 보여줌을 알 수 있다(그림6).

또한 플라스틱 팬텀을 물팬텀 대신 사용할 경우 물에서의 선량값과 플라스틱에서의 선량값을 측정하여 이들값의 비를 Factor값으로 하여 사용하는 것도 차이를 줄일 수 있는 방법이 될 것이다.

기준깊이 d₀에서 MU당 흡수선량값을 NEL+Keith의 물팬텀에 정규화한 값을 표5에 나타내었다. 또한 표5에 나타난 경향을 측정법 또는 팬텀간 비교한 것을 그림6에 나타내고 있다.

이미 예측한 바와 같이 에너지에 상관없이 측정법간 차이는 작게 나타났으며(그림5) 이는 절대 흡수선량 결정시 TG21 및 IAEA 측정법에 의한 의존성이 크지 않음을 보여주고 있다. 그러나 TG21 및 IAEA 측정법을 사용할 때 팬텀사용에 따른 흡수선량의 차이가 예측한 것보다 크게 나타났는데 이는 TG21 측정법에서 채택하고 있는 폴리스틸렌의 성분이 병원에서 사용하는 것과 일치하지 않은데 있으며 그 외 고체물팬텀 역시 물과의 성분상 차이로 흡수선량의 차이를 보였다.

표5. PTW+Keithley, water에 정규화한 6MV 광자선의 상대 흡수선량 비교

Chamber	Phantom	D _{IAEA} (cGy/mu)	D _{TG21} (cGy/mu)
PTW + Keith	Water	1.012	1.009
	Solid	0.992	0.997
	Polystyrene		1.001
PTW + Vict.	Water	1.009	1.004
	Solid	0.984	0.988
	Polystyrene		0.989
NEL + Keith	Water	1	1
	Solid	0.975	0.975
	Polystyrene		0.977
NEL + Keith.	Water	0.994	1.008
	Solid	0.987	0.984
	Polystyrene		0.993
평 균		0.994±0.011	0.994±0.010

선형가속기 6MVX는 NEL 전리함과 Keithley 전기계를 이용하여 물에서 1cGy/ 1Mu로 교정 되었음.

6MV광자선에서 측정 조건의 변화와 측정법의 차이에 의한 절대 선량값의 비교

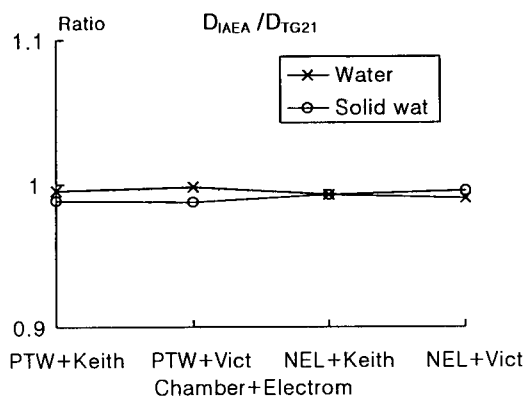
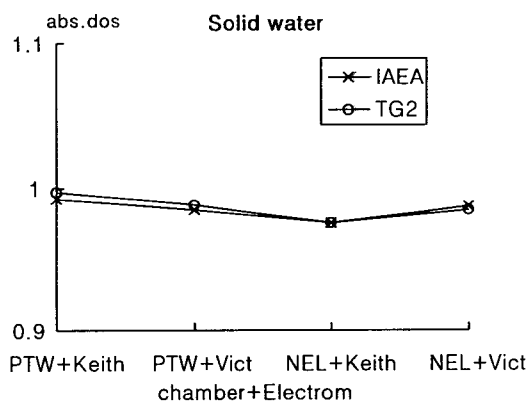
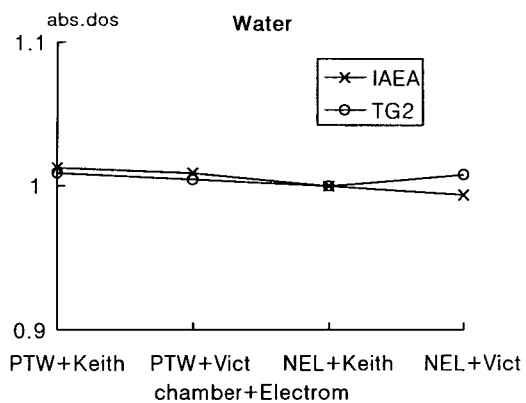


그림 5. 물팬텀, 고체물팬텀에서 6MV 광자선의 흡수선량 비교

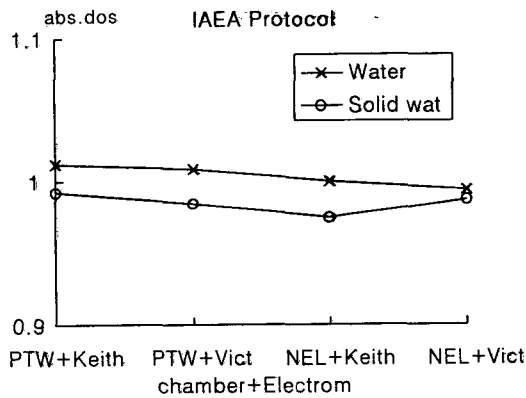
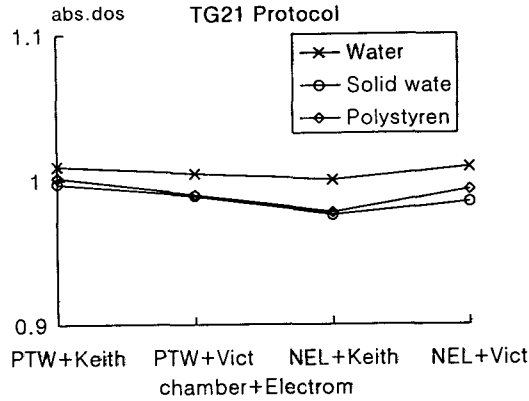


그림 6. PTW+Keithley, water에 정규화한 6MV 광자선의 상대 흡수선량 비교

결 론

6MV 광자선에서 상이한 전리함과 팬텀, 전기계를 서로 조합으로 묶어 각 조합에서 TG21과 IAEA 측정법에서의 선량값 변화와 상대적 흡수선량값을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

1. 2개의 전기계와 2개의 전리함 조합에 따른 TG21 및 IAEA의 N_{gas} , N_D 값의 비는 평균적으로 1%이내에서 일치 하였다.
2. 3개의 서로 다른 매질, 4개의 서로 다른 전리함 및 전기계 조합에 따른 12가지 측정조건에 대한 흡수선량의 변화는 평균 0.6%의 차이를 보여주고 있다.
3. 임의의 전리함 및 전기계 조합에 대하여 물팬텀 및 고체물팬텀에 대한 TG21, IAEA 측정법에 의한 흡수선량비의 변화양상이 같은 양상을 보여 주고 있으나 그 차이가 평균 1.96%를 보임으로서 고체물팬텀이 절대 흡수선량 측정에는 적절치 않는 것으로 사료된다.
4. TG21 측정법에 따른 물팬텀과 폴리스티렌팬텀을 이용한 절대 흡수선량값이 1.54 %의

차 이를 보임으로써 팬텀매질에 대한 비교 Factor가 필요할 것으로 사료된다.

측정매질, 전리함, 전기계등의 여러 조건에 대한 흡수선량값의 차이가 TG21 및 IAEA 프로토콜에서 1%이내의 오차를 보여주고 있으며 상대적인 변화 양상이 측정법에 상관없이 같은 경향으로 변함으로서 측정조건이 측정법에 영향을 주지 않았음을 알 수 있다. 다만 표준 측정법을 사용할 때 팬텀에 의한 차이는 크게 나타날 수 있으므로 측정법에서 사용하는 표준 팬텀을 사용할 것을 권장하며 이것이 어려운 경우는 병원에서 사용하는 팬텀에 대한 보정값을 자체적으로 구하여 사용하는 것이 오차를 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. International Commission On Radiation Units and Measurements. "Determination of absorbed dose in a patient irradiated by beams of X or Gamma rays in Radiotherapy procedures". ICRU Report NO. 24.(1976)
2. Task Group 21, AAPM Radiation Therapy Committee, "A Protocol for the determination of absorbed dose from high energy photon and electron beams", Med.Phys. 10, 741-771(1983)
3. IAEA(International Atomic Energy Agency), "Absorbed Dose Determination in Photon and Electron beams. An International Code of Practice, Technical Report Series No. 277(IAEA, Vienna), 1-98(1987)
4. Nordic Association of Clinical Physics, "Procedures in External Radiation Therapy Dosimetry with Electron and Photon Beams with Maximum Energies Between 1 and 50 MeV", Acta Radiol.Oncol.Radiat.Phys.Biol. 19, 55-79(1980)
5. V. M. Tello, R. C. Taylor, and W. F. Hanson. "How water equivalent are water-equivalent solid materials for output calibration of photon and electron beams?" Med.Phys. 22(7), 1177-1189 July (1995)
6. P. Andreo, A. E. Nahum, and A. Brahme, "Chamber-dependent wall correction factors in dosimetry", Phys. Med. Biol. 31, 1189-1199(1986)
7. D. W. O. Rogers and A. F. Bielajew, and A. E. Nahum, "Ion chamber response and A_{wall} correction factors in Co beam by Monte Carlo simulation", Phys. Med. Biol. 30, 429-443 (1985)
8. M. Kristensen, Measured influence of the central electrode diameter and material on the response of graphite ionization chamber to Co-60 gamma-rays", Phys. Med. Biol. 28, 1269-1278(1983)
9. M. Saiful Huq and Ravinder Nath, "Comparison of IAEA 1987 and AAPM 1983 Protocols for dosimetry calibration of radiotherapy beams", Med.Phys.18(1), 26-35 (1991)
10. M. Saiful Huq, "Calibration of high energy photon and electron beams for radiotherapy using AAPM 1983 and IAEA 1987 dosimetry protocols", Med.Phys. 20(2), 293-298(1993)
11. B. J. Mijnheer and J. R. Williams, "Comments on air or humid air values for physical parameters used in the AAPM protocol for photon and electron dosimetry", Med. Phys. 12(5), 656-658(1985)
12. R. J. Schulz, "Reply to comments of Mijnheer and Williams", Med. Phys. 12(5), 658(1985)
13. J. M. Paul, Richard F. Koch, and P. C. Philip, "AAPM Task Group 21 Protocol : Dosimetric evaluation", Med. Phys. 12(4) 424-430(1985)
14. Gunter Christ, "White polystyrene as a substitute for water in high energy photon dosimetry",

- Med. Phys. 22(12), 2097–2099(1985)
15. F. H. Attix, “A simple derivation of N_{gas} , a correction in A_{wall} , and other comments on the AAPM Task Group 21 protocol”, Med.Phys. 11(5), 725–728(1984)
 16. B. Y. Lee, E. K. Choi, H. S. Chang, “The comparison of the KAPM dosimetric protocol(1990) with the TG21 and $C\lambda/C_E$ method”, J Korean Soc Ther Radiol. 9(2), 337–342(1991)
 17. Robert Loevinger, “A formalism for calculation of absorbed dose to a medium from photon and electron beams”, Med. Phys. 8(1), 1–12(1981)
 18. G. D. Lempert, R. Nath, and R. J. Schulz, “Fraction of ionization from electrons arising in the wall of an ionization chamber”, Med. Phys. 10(1), 1–3(1983)
 19. R. J. Schulz, P. R. Almond, G. Kutcher, R. Nath, D. W. O. Rogers, N. Suntharalingam, and K. A. Wright, “Clarification of the AAPM Task Group 21 protocol”, Med. Phys. 13(5), 755–759(1986)

The Comparison of Absolute Dose due to Differences of Measurement Condition and Calibration Protocols for Photon Beams

H.N. Kim, S.Y. Park*, T.S. Suh, S.I. Kwon**, S.C. Yoon

Dept. of Radiation oncology, Kangnam st. mary' Hospital.

Dept. of Radiation oncology, Inha University Hospital*.

Dept. of Physics, Gyunggi University**.

Abstract

The absolute absorbed dose can be determined according to the measurement conditions ; measurement material, detector, energy and calibration protocols. The purpose of this study is to compare the absolute absorbed dose due to the differences of measurement condition and calibration protocols for photon beams. Dosimetric measurements were performed with a farmer type PTW and NEL ionization chambers in water, solid water, and polystyrene phantoms using 6MV photon beams from Siemens linear accelerator. Measurements were made along the central axis of 10cm × 10cm field size for constant target to surface distance of 100cm for water, solid water and polystyrene phantom. Theoretical absorbed dose intercomparisons between TG21 and IAEA protocol were performed for various measurement combinations of phantom, ion chamber, and electrometer. There were no significant differences of absorbed dose value between TG21 and IAEA protocol. The differences between two protocols are within 1% while the average value of IAEA protocol was 0.5% smaller than TG21 protocol. For the purpose of comparison, all the relative absorbed dose were normalized to NEL ion chamber with Keithley electrometer and water phantom, The average differences are within 1%, but individual discrepancies are in the range of -2.5% to 1.2% depending upon the choice of measurement combination. The largest discrepancy of -2.5% was observed when NEL ion chamber with Keithley electrometer is used in solid water phantom. The main cause for this discrepancy is due to the use of same parameters of stopping power, absorption coefficient, etc. as used in water phantom. It should be mentioned that the solid water phantom is not recommended for absolute dose calibration as the alternative of water, since absorbed dose show some dependency on phantom material other than water. In conclusion, the trend of variation was not much dependent on calibration protocol. However, it shows that absorbed dose could be affected by phantom material other than water.