

원통형 전리함을 이용한 Ir-192 선원에 대한 공기커마세기 측정 시 선질보정에 관한 연구

*원광대학교 의과대학병원 방사선종양학과, †전북대학교 임상의학연구소, ‡충남대학교병원 방사선종양학과,
§계명대학교 동산병원 방사선종양학과, ||강원대학교병원 방사선종양학과, ¶원광의과학연구소

정동혁* · 김진기[†] · 김기환[‡] · 오영기[§] · 김수곤^{||} · 이강규^{*¶} · 문성록^{*¶}

Co-60 선원에 대해 교정된 원통형 전리함 이용하여 Ir-192 선원에 대한 공기커마세기를 측정하는 경우에 선질 차이에 대한 보정이 필요하다. 본 연구에서는 측정학적 방법을 적용하여 PTW-N30001과 N23333 전리함에 대하여 Ir-192 감마선에 대한 선질 인자를 결정하였다. Ir-192 선원(microSelectron)의 에너지스펙트럼을 적용할 경우에 선질인자($k_{u,v}$)는 두 전리함에 대해 각각 $k_{u,v}=1.016$ (N30001)과 $k_{u,v}=1.017$ (N23333)으로 계산되었다. 치료용 microSelectron 선원에 대해 선질 인자를 적용하여 공기커마 세기를 측정하였으며 결과를 기준값과 비교하였다. 결과적으로 선질인자를 적용하는 경우에 기준 공기커마율과 약 -0.5% 이내의 차이를 보였으며 적용하지 않는 경우에는 약 -2.0%의 차이를 보였다.

중심단어: 선질인자, 이리듐 선원, 공기커마 측정

서 론

식품의약품안전청 보고서 8-1에 의하면 국내 43개 병원 에서 근접치료를 시행하고 있으며 이 중 40여개 병원에서 고선량을 치료를 시행하고 있는 것으로 조사되었다.¹⁾ 치료에 사용되는 선원중 Ir-192는 전체의 70% (31개)로서 국내에서 가장 많이 사용되는 치료용 동위원소로 나타났다.¹⁾ Ir-192 선원은 반감기(half life)가 73.831 days로 짧기 때문에 일반적으로 연간 2~4회 선원을 교체하여 사용하고 있다. 이러한 근접치료 선원의 사용에 있어 중요한 것은 선원 교체시 측정을 통하여 제작사에서 제공한 겔보기 활성화(apparent activity) 또는 공기커마세기(air-kerma strength)를 확인하는 것과 이 값을 정기적인 측정을 통하여 재확인하는 것이다.

근접치료 선원의 일반적 측정방법은 우물형 전리함(well type chamber)을 이용한 겔보기 활성화도의 측정 방법과 원통형 전리함(Cylindrical chamber)에 의한 공기커마세기 측정

방법이 있다. 원통형 전리함에 의한 방법은 지그(jig) 팬텀에 전리함을 장착하여 공기커마세기를 측정하고, 이를 기준거리(1 m)의 공기커마세기 값으로 환산하는 방법이다. 국제적 프로토콜에서 겔보기 활성화도의 측정시 우물형 전리함 사용을 권고하고 있지만, 국내의 경우에 이차표준기관에서 우물형 전리함에 대한 교정 체계를 갖추고 있지 않기 때문에 주기적인 교정이 불가능하다.^{1,2)}

원통형 전리함을 이용한 측정의 경우에는 선원과 근거리(10~20 cm)에 전리함이 위치하기 때문에 측정거리와 전리함의 종류 및 형태 등에 의존하는 각종 보정인자의 결정이 필요하다. 원통형 전리함인 경우 Co-60 선원에 대해서는 보정인자들이 잘 알려져 있으나 Ir-192 선원의 감마선 선질에 대한 공기커마 교정 정수(N_A^{Ir-192})는 아직 국내에서 보고된 바가 없다. IAEA TECDOC-1274 보고에 의하면 현재 Ir-192에 대한 일차표준이 없는 관계로 직접 측정에 의하여 교정정수를 결정할 수 없다.³⁾ 따라서 250 kV x-선과 Co-60 (또는 Cs-137) 선원에 대하여 각각 공기커마 교정 정수를 구하고 Ir-192의 감마선 평균에너지를 변수로 교정정수를 내삽하여 구하는 방법이 제시되고 있다.³⁾ 국내의 경우에 이 방법을 이용한 실험이나 연구결과는 아직 보고되고 있지 않고 있다. 이는 Ir-192 선원뿐만 아니라 각종 근접치료 선원에 대한 검교정을 위한 수직적 기준절차서가 전문가 단체인 의학물리학회 차원에서 마련되어 있지 않기 때문으

이 논문은 2007년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 수행됨.
이 논문은 2009년 2월 25일 접수하여 2009년 3월 14일 채택되었음.
책임저자 : 문성록, (570-711) 전북 익산시 신용동 344-2
원광대학교병원 방사선종양학과
Tel: 063)859-1876, Fax: 063)859-1889
E-mail: sunmoon@wonkwang.ac.kr

로 보인다. 이러한 국내 실정으로 CO-60 표준선원에 대한 공기커마 교정 정수를 적용하여 Ir-192 선원에 대한 측정이 수행되어 왔다.^{4,6)}

이러한 배경과 함께 본 연구에서는 원통형 전리함을 이용한 Ir-192 선원의 공기커마 세기 측정시 정확성 향상을 위하여 측정 절차서(TRS-277 등)로부터 Ir-192 선질에 대한 보정인자(선질인자; quality factor, k_u)를 도입하고 이 인자를 계산하였다.⁷⁾ 선질 인자의 역할은 Co-60 선원에 대하여 결정된 N_K^{Co60} 를 Ir-192 선원에 대한 N_K^{Ir192} 로 변환한다. 본 연구에서는 원통형 전리함(PTW-N30001 and N23333)에 대하여 알려진 자료와 상호작용 자료들을 적용하여 고선량을 치료용 Ir-192 선원(microSelectron source)에 대한 선질 인자를 결정하였다. 또한 동일한 선원에 대하여 공기커마세기를 측정하고 선질인자 적용에 따른 차이를 기준값 및 우물형 전리함을 이용한 측정결과와 비교 하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 선질인자

광자선이 균일하게 조사되는 공기중 기준 거리에 전리함이 놓일 때 공기커마교정정수는 다음과 같이 정의 된다.⁷⁾

$$N_K = \frac{K}{M} \quad (1)$$

여기서 K 는 전리함이 없을 때 전리함 위치에서의 공기커마 세기이며, M 은 측정된 공동의 전하(C)이다. N_K 는 특정 선질에 대해 정의되므로 N_K 는 선질의 함수이다. Ir-192 선원과 Co-60 선원에 대한 공기커마교정정수를 각각 N_K^{Ir} 와 N_K^{Co} 로 놓고 이들의 비를 k_u 로 정의하면, 두 교정정수 간의 관계는 다음과 같이 표현된다.

$$N_K^{Ir192} = k_u N_K^{Co60} \quad (2)$$

여기서 k_u 는 Co-60 선원으로부터 결정한 N_K^{Co} 를 Ir-192 선원에 대한 값으로 변환하는 인자로서 Ir-192 선원에 대한 선질 인자로 정의된다.

본 연구에서는 N30001 (PTW, Germany)와 N23333 (PTW, Germany) 전리함에 대하여 k_u 를 결정하였는데, 이 두 전리함을 대상으로 한 이유는 벽 물질과 선량증가두껍(build-up cap) 물질이 서로 동일한 PMMA를 사용하고 있으므로 단순한 계산 체계를 가지기 때문이다.

먼저 전리함 공동의 흡수선량은 다음과 같이 주어진다.⁷⁾

$$D_{cav} = \frac{M}{\rho V} \left(\frac{\bar{W}}{e} \right) \quad (3)$$

여기서 ρ 는 공기의 밀도($\rho=1.1966 \text{ kg/m}^3$ at 101.325 kPa and 22°C)이며 V 는 공동의 체적으로서 ρV 는 공동의 질량(kg)과 같다. (\bar{W}/e) 는 단위 이온쌍생성 생성에 필요한 평균적 에너지로서 공기에 대하여 $(\bar{W}/e) = 33.97 \text{ J/C}$ 이며 선질에 거의 의존하지 않는다.⁷⁾

IAEA TRS-277 프로토콜에 의하면 D_{cav} 는 다음과 같이 표현할 수 있다.^{7,8)}

$$D_{cav} = N_K M (1-g) k_m k_{att} \quad (4)$$

여기서 g 는 전자의 상호작용시 제동복사로 방출되는 에너지율이다. 그리고 k_m 은 전리함 벽물질이 공기와 다른 점을 보정하며, k_{att} 는 전리함 벽에 의한 광자의 산란과 감쇠를 보정하는 인자이다. (4)식을 Co-60과 Ir-192 선질에 대하여 정의하고 (2)식에 적용하면 k_u 는 다음과 같이 표현된다.

$$k_u = \frac{[(1-g)k_m k_{att}]_{Co}}{[(1-g)k_m k_{att}]_{Ir}} \quad (5)$$

(5)식에서 Co-60 선원에 대한 인자들은 TRS-277 프로토콜 등의 자료로부터 구할 수 있다.⁸⁾ 따라서 Ir-192 감마선 선질에 대한 보정인자를 구함으로써 k_u 를 결정할 수 있다.

Ir-192 감마선에 대한 g 는 Borg 등의 몬테칼로 계산 결과로부터 결정할 수 있다.⁹⁾ Borg 등은 Borg와 Rogers가 계산한 Ir-192 선원의 에너지 스펙트럼을 적용하여, Ir-192 에너지 영역에서 평균적으로 $\bar{g}=0.001$ 임을 보였다.^{9,10)}

Ferreira 등은 몬테칼로 계산을 이용하여 250 kV X-rays, Ir-192, Co-60의 세 선질에 대한 전리함벽 보정인자(A_W)를 보고한바 있으며,¹¹⁾ Marechal 등은 다양한 전리함 벽 두께에 대한 실험적 연구를 통하여 Ferreira 등의 결과를 재확인한바 있다.¹²⁾ 이 때 A_W 는 전리함 벽에 의한 광자의 감쇠와 산란을 보정하는 인자로서 TRS-277에서 k_{att} 와 동일한 보정인자이다.^{13,14)} 이들의 연구에 의하면 $k_{att} \approx 1 - \gamma t$ 로 표현할 수 있으며, 이 때 γ 는 물질의 종류와 선질에 의존하는 인자로서 단위 두께(g/cm^2)당의 감쇠율과 같다.¹¹⁻¹⁴⁾

본 연구에서는 k_{att} 의 계산에서 Marechal 등이 PMMA 물질에 대해 실험적으로 결정한 γ 값을 적용하였는데, 이는 Co-60에 대하여 $\gamma=0.0173 (\text{g/cm}^2)^{-1}$ 그리고 Ir-192 선원에 대하여 $\gamma=0.0277 (\text{g/cm}^2)^{-1}$ 와 같다.¹²⁾

k_m 은 전리함 벽 물질과 선질의 함수로서 Andro 등에 의하면 다음과 같이 표현된다.¹⁵⁾

$$k_m = s_{air,wall} (\mu_{en}/\rho)_{wall,air} \quad (6)$$

여기서 $s_{air,wall}$ 은 공기와 벽물질의 질량저지능비(mass stopping power ratio) 그리고 $(\mu_{en}/\rho)_{wall,air}$ 는 벽과 공기의 질량에너지흡수계수(mass energy absorption coefficient)의 비이다. Andro 등 및 TRS-277 절차서에 의하면 PMMA (perspex, lucite)로 제작된 전리함의 경우에 Co-60에서 $k_m = 0.982$ 이다.^{8,15)}

Ir-192 감마선에 대해서 k_m 은 알려진 자료가 없다. 따라서 본 연구에서는 상호작용 자료를 이용하여 (6)식을 직접 계산하였다. 이 때 Ir-192 감마선은 에너지스펙트럼을 가지기 때문에 k_m 을 다음과 같이 놓았다.

$$k_m = \int_0^{\epsilon_{max}} \left(\frac{S(\epsilon)}{\rho} \right)_{wall}^{air} \left(\frac{\mu_{en}(\epsilon)}{\rho} \right)_{air}^{wall} \frac{d\phi_{norm}}{d\epsilon} d\epsilon \quad (7)$$

여기서 $d\phi_{norm}(\epsilon)$ 는 광자 에너지 ϵ 과 $\epsilon + d\epsilon$ 사이를 가지는 광자의 방출 확률로서, $\int_0^{\epsilon_{max}} [d\phi_{norm}(\epsilon)/d\epsilon] d\epsilon = 1$ 로 규격화(normalized)되어 있다. 또한 ϵ_{max} 는 에너지스펙트럼에서 최대 에너지이다. 본 연구에서는 에너지스펙트럼을 적용하는 경우와 평균에너지만을 적용하는 경우에 대하여 각각 k_m 을 계산하여 상호 비교하였다. 이 때 Ir-192의 평균에너지는 일반적으로 380 keV로 알려져 있으나 IAEA TECDOC-1079에서는 397 keV로 명시하고 있다.²⁾ 본 연구에서는 두 값 모두에 대한 k_m 을 계산하여 에너지스펙트럼의 결과와 비교하였다.

본 연구에서는 본 k_m 의 계산체계를 검증하기 위하여 EGSnrc 코드에 수록된 Co-60 에너지 스펙트럼을 (7)식에 적용하여 Co-60에 대한 k_m 을 계산하여 알려진 값과의 일치 여부를 확인하였다.^{15,16)} 위 (7)식의 실제 계산에서는 적분을 합으로 변환하고 포트란(Fortran) 언어로 전산코드를 작성하여 계산하였다. 이 때 저지능과 에너지흡수계수는 Johans와 Cunningham의 참고서 Appendix A-3에 수록된 자료를 사용하였다.¹⁷⁾

Ir-192의 경우에 Borg와 Rogers가 Monte Carlo 방법으로 계산한 microSelectron 선원의 스펙트럼을 적용하였다.¹⁰⁾ 이 선원의 자료를 적용한 이유는 본 연구에서 microSelectron 선원에 대한 공기커마를 측정하고 선질 인자의 적용여부에 따른 결과를 평가했기 때문이다.

MicroSelectron 선원의 스펙트럼은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 65 keV에서 885 keV 범위의 광자 분포로 주어지며 평균에너지는 363 keV로 평가된다. Ir-192의 평균에너지가 알

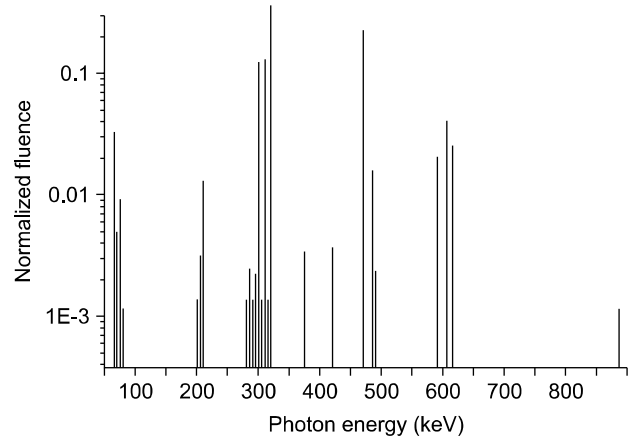


Fig. 1. Photon energy spectrum for a microSelectron source.

려진 값 보다 낮은 것은 에너지스펙트럼에 100 keV 이하의 저에너지 광자가 4.9% 비율로 존재하기 때문이다.

이 때 이처럼 낮은 에너지 영역의 존재는 k_m 의 계산에서 $(S/\rho)_{wall}^{air}$ 의 적용에 문제를 가진다. 왜냐하면 $(S/\rho)_{wall}^{air}$ 는 공동과 전리함 벽의 흡수선량의 비로서 Bragg-Gray 이론이 적용된 것인데, 이 이론은 낮은 에너지에서는 적용되지 않기 때문이다. 이와 관련하여 Borg 등은 MeV 이하의 영역에서 공기커마의 계산에 있어 공동이론의 보정에 대하여 논의한바 있다.⁹⁾ 그 결과 Ir-192 선질 영역(약 400 keV)에서 약 0.3%의 보정만이 필요한 것으로 나타났으나 광자에너지가 100 keV 이하가 되는 경우에는 공동이론을 적용할 수 없다고 언급하였다.⁹⁾ 이러한 이유로 인하여 본 연구에서는 k_m 의 계산에서 $(S/\rho)_{wall}^{air}$ 항에 대하여 microSelectron 에너지스펙트럼의 평균에너지인 363 keV만을 적용하였다.

2. 공기커마 측정

본 연구에서는 결정된 선질 인자를 실제 공기커마 측정에 적용하고 결과를 평가하기 위하여, 앞의 계산에 적용된 microSelectron 선원에 대하여 원통형 전리함과 우물형 전리함을 이용하여 기준거리에서의 공기커마 세기율을 측정하였다.

IAEA TECDOC-1274에 의하면 선원과 거리 d 에서 공기커마세기율은 다음과 같다.³⁾

$$K = N_K M k_{air} k_{scatt} k_n (d/d_{ref})^2 \times 60 \quad [\text{cGy m}^2/\text{h}] \quad (8)$$

여기서 N_K 는 Ir-192 표준선원에 대한 전리함의 공기커마교정정수, M 은 공기밀도를 보정한 전리함 공동의 전하, k_{air} 는 공기에서 감쇠보정, k_{scatt} 는 측정기 주변으로부터

산란의 보정, k_n 은 전리함 형태에 의한 플루언스 비균일성 (fluence nonuniformity)의 보정이다. 측정거리의 경우 $d=10$ cm이며, d_{ref} 는 공기커마세기울 또는 겔보기 활성도의 결정에 기준 거리로서 100 cm이다.

TECDOC-1274에 의하면 원통형 전리함(Farmer type ion-chamber)에 대하여 선원과 전리함의 거리가 10 cm인 경우에 $k_{air}=1.001$ 그리고 $k_n=1.009$ 이다.³⁾ k_{scatt} 에 있어서 AAPM TG-41에서는 치료실의 크기에 의존하면서 산란선의 영향이 0.1~5.0% 정도로 언급하고 있다.¹⁸⁾ Salvam 등의 연구에 의하면 k_{scatt} 는 선원과 전리함 거리 13 cm인 경우 치료실의 크기에 따라 $k_{scatt}=0.994\sim 0.996$ 범위를 가지는 것으로 나타났다.¹⁹⁾ 본 연구에서는 선원과 10 cm 거리에서 측정이 수행되는 것을 고려하여 산란선의 영향이 약 0.1% 기여하는 것으로 가정하고 $k_{scatt}=0.999$ 를 적용하였다.

(8)식에서 N_K 는 (2)식에서 N_K^{Ir-192} 와 같으므로, 두 전리함에 대한 각각의 N_K^{Co-60} 에 앞의 방법으로 결정한 k_u 를 각각 곱하여 N_K^{Ir-192} 를 구한 후 (8)식에 적용하였다.

전하의 측정은 60초에 대한 값을 측정하였는데, 선원의 이동시간 동안의 효과를 제거하기 위하여 10초와 70초에 대한 전하를 측정 한 후 70초에 대한 전하에서 10초에 대한 전하를 감하는 방법으로 60초에 대한 전하를 결정하였다 (측정시간은 10 Ci 선원에 대해 환산된 시간임).

본 연구에서는 기준값의 확인을 위하여 동일한 선원에

Table 1. Correction factors prepared for calculating quality factor of Ir-192 gamma rays.

	Co-60		Ir-192	
	N30001	N23333	N30001	N23333
k_{att}	0.990	0.990	0.984	0.983
$1-g$	0.997		0.999	

Table 2. Wall correction factors (k_m) for various energies of gamma rays from Co-60 and Ir-192 sources.

		This calculation	Reference
		Co-60	Spectrum (1.07 MeV)
	1.25 MeV	0.983	
	MS-spectrum (363 keV)*	0.971	
Ir-192	380 keV	0.980	None
	397 keV	0.980	

*: photon spectrum of microSelectron Ir-192 source and mean energy.

대해 우물형 전리함(모델: 77091, PTW, Germany)을 이용하여 측정을 수행하였다. 우물형 전리함 측정은 선원가이드 카테터(catheter)를 통하여 선원을 주입시킨 후 2.5 mm 간격으로 선원을 이동시켜 전리전류가 최대가 되는 지점을 찾고, 최대 전리전류 값에 대기밀도의 보정을 취한 후 교정정수를 곱하여 공기커마를 구하는 방법으로 수행하였다. 이때 사용한 전기계는 UNIDOSE (PTW, Germany)이었다.

결 과

Table 1에 Ir-192 선원에 대한 선질인자(k_u)의 계산에 적용된 보정인자들을 나타냈다. 앞에서 언급한 바와 같이 k_{att} 의 계산은, $k_{att} \approx 1 - \gamma t$ 식을 사용하였는데, Co-60 선원의 경우에 TRS-277에 명시된 $k_{att}=0.990$ 과도 잘 일치하였다.⁸⁾ Ir-192 선원의 경우에 계산된 k_{att} 는 Marechal 등이 N30001 전리함에 대하여 측정한 결과($k_{att}=0.985$)와 약 0.1% 차이만을 가진다.¹²⁾

Fig. 2는 (6)식을 사용하여 계산한 단일에너지 광자 300 keV에서 600 keV 범위에 대한 전리함 벽 보정인자(k_m)의 계산결과를 보여준다. 이 그림의 결과를 분석하면 300 keV와 600 keV 범위에서 k_m 값은 약 0.4% 이내의 변동을 가진다.

Table 2은 (7)식과 (6)식을 사용하여 계산한 광자의 에너지 스펙트럼과 평균에너지에 대한 k_m 의 계산결과이다. 먼저 Co-60의 경우에 에너지 스펙트럼을 적용하여 계산한 k_m 의 결과가 알려진 값과 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. Ir-192의 경우에 k_m 의 계산값은 적용된 에너지 자료에 따라 $k_m=0.971\sim 0.980$ 범위를 가진다.

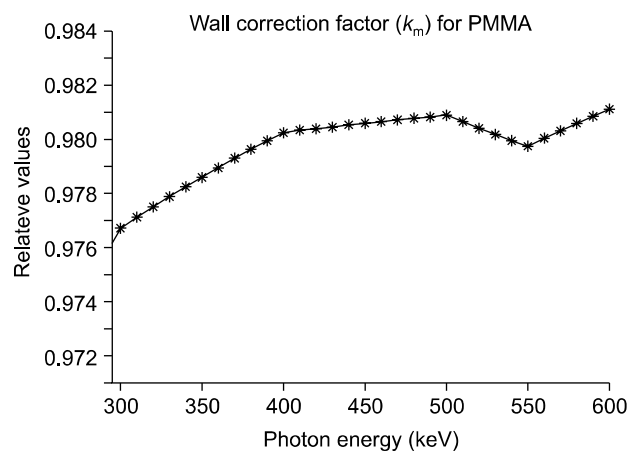


Fig. 2. Calculated wall correction factor.

Fig. 3은 대상 전리함에 대해 앞에서 결정한 보정인자들을 (5)식에 적용하여 계산한 선질 인자인데, 이 그림은 단일에너지(300~450 keV 영역) 광자에 대한 결과이다. 선질 인자는 300 keV에서 $k_u=1.010$ 을 가지다가 서서히 감소하는데 400 keV 이후부터 $k_u=1.006$ 근처에서 평탄한 값을 보이고 있다. Table 3은 Ir-192 선원의 에너지스펙트럼과 평균 에너지에 대하여 계산한 선질인자이다. 이 표에서 에너지스펙트럼을 적용하는 경우에 $k_u=1.016$ 으로서 380 keV 또는 397 keV에 대한 값보다 약 1.0% 높은 값을 보였다.

에너지스펙트럼을 적용하는 경우에 k_u 가 보다 높은 값을 가지는 이유는 에너지스펙트럼에서 약 5% 비율로 존재하는 200 keV 이하의 저에너지 광자들의 기여로서, 낮은 에너지영역에서 k_m 의 계산에 적용된 $(\mu_{en}/\rho)_{wall,air}$ 가 급격한 감소를 보이며, 이 영향이 (5)식의 분모항에 작용하여 k_u 가 증가하게 된다.

본 연구에서 대상의 두 전리함은 벽 두께에 있어서 서로

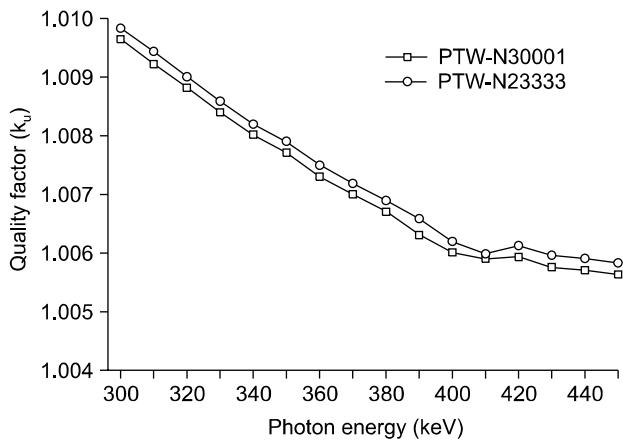


Fig. 3. Quality correction factor (k_u) as a function of photon energy for PTW-N30001 and PTW-N23333 ionization chambers.

약간의 차이를 보일 뿐 구성 물질이 서로 동일하기 때문에 최종 k_u 는 거의 동일한 값을 가진다.

Table 4는 원통형 전리함과 우물형 전리함으로 측정된 microSelectron 선원 1 m에서의 공기커마율(cGy m²/h)이며 선질인자의 적용 유무에 따른 결과를 보여준다. 이 표에는 기준값은 치료계획장치에서 사용하는 값으로서 방사능 10 Ci 선원에 대한 공기커마율을 의미한다. 이 표에서 측정값과 함께 나타낸 차이(%)는 기준값과의 차이를 나타낸다. 이 때 선원교체 시점에 치료계획장치에 입력하는 방사능은 선원 검정서(certificate)의 값이다. 따라서 표에 나타낸 비교는 선원 확인서의 값과 비교하는 것과 같다. 우물형 전리함의 측정결과는 기준값과 단지 +0.1%의 차이를 보였다. 이 표에서 N30001 전리함의 경우에 선질보정을 적용하지 않는 경우에 기준값과의 차이가 -1.9%를 가지지만, Ir-192 스펙트럼으로 계산한 선질인자를 적용한 경우에 -0.3%로서 기준값과 매우 가까운 결과가 얻어지는 것을 알 수 있다. 이 때 380 keV와 397 keV에 대한 선질인자를 적용할 경우에는 기준값과 각각 -1.2%와 -1.3%의 차이를 보였다. 이러한 차이는 N23333 전리함의 경우에도 유사한 결과를 보임을 알 수 있다.

Table 3. Calculated quality conversion factors (k_u) for various energies evaluated as a gamma ray quality for an Ir-192 source.

Energy/Chamber model	N30001	N23333
MS-spectrum (363 keV)*	1.016	1.016
380 keV	1.007	1.007
397 keV	1.006	1.006

*: photon spectrum of microSelectron Ir-192 source and mean energy.

Table 4. Calculated quality conversion factors (k_u) for various energies evaluated as a gamma ray quality for an Ir-192 source.

	Measured Air Kerma (unit: cGy m ² /h) (Reference: 4.084 cGy m ² /h)		
	N30001	N23333	Well-Chamber
No quality correction	4.008 (-1.9%)	4.003 (-2.0%)	
MS-spectrum (363 keV)*	4.072 (-0.3%)	4.069 (-0.4%)	4.087 (+0.1%)
Correction			
380 keV	4.035 (-1.2%)	4.031 (-1.3%)	
397 keV	4.032 (-1.3%)	4.027 (-1.4%)	

*: photon spectrum of microSelectron Ir-192 source and mean energy.

고찰 및 결론

Co-60에 대해 교정된 원통형 전리함을 이용하여 Ir-192 감마선의 공기커마를 측정하는 경우에 선질의 차이에 따른 교정정수의 변화를 보정하기 위하여 측정학적 방법을 써서 선질인자를 결정하였다. 결과적으로 원통형 전리함을 이용한 공기커마 측정에서 선질인자를 적용하지 않은 경우 기준값 약 -2%의 차이를 보인 반면 적용하는 경우에 약 -0.5% 이내의 차이를 보였다.

비록 선질인자의 계산에서 microSelectron의 에너지스펙트럼을 적용한 값이 측정과 잘 일치하지만, 에너지스펙트럼은 선원의 캡슐 물질과 형태마다 조금씩 다르기 때문에 선원마다 선질인자를 결정하는 것은 복잡하며 실용적이지 못하다. 그렇지만 Ir-192의 평균적 에너지가 300 keV에서 400 keV 사이에 있다고 가정하고 Fig. 3의 결과를 이용하여 이 에너지 범위에서 평균을 취하면 $k_u = 1.008 \pm 0.0012$ 로 평가된다. 따라서 대상의 두 전리함(PTW-N30001 and N23333)에 대해 Ir-192 선원에 대한 선질인자는 근사적으로 $k_u \approx 1.01$ 로 놓을 수 있다. 이를 측정결과에 적용하면 두 전리함에 의한 공기커마 측정 결과는 모두 기준값과 약 -1%의 차이를 가진다.

최근 국내에서도 허 등에 의하여 보고한 5개 기관에 대한 측정자료에 의하면 원통형 전리함(PTW-N30001)을 사용한 경우 방사능 오차가 -0.9%에서 -2.8%로서 모두 음의 오차로 나타났는데,⁴⁾ 이 경우에도 선질보정을 취하면 $\pm 2\%$ 이내로 줄어들 것으로 예상된다.

본 연구는 벽과 선량증가두겹 물질이 동일한 PMMA 물질로 구성된 전리함을 대상으로 했기 때문에 다른 구성 물질을 사용하는 전리함에 대해서도 추가적 연구가 수행되어야 할 것이다. 비록 한 가지 벽물질로 구성된 전리함에 대한 연구였지만, Ir-192 선원에 대한 선질인자를 정의하고 이를 다양한 에너지 조건에 대해 고찰할 수 있었다. 본 연구방법과 결과는 근접치료 선원에 대한 표준 측정법을 개발하거나 동일한 벽물질과 선량증가두겹으로 구성된 원통형 전리함에 대해서 Ir-192 선원을 검교정하는데 적용할 수 있다고 생각한다.

참 고 문 헌

1. 식품의약품안전청연구보고서 8-1: 근접방사선치료기 및 선원에 대한 성능평가 기준 개발, 식품의약품안전청, 서울 (2004)
2. IAEA TECDOC-1079: Calibration of brachytherapy source.

- International Atomic Energy Agency, Vienna, MD (1999)
3. IAEA TECDOC-1274: Calibration of photon and beta ray sources used in brachytherapy. International Atomic Energy Agency, Vienna, MD (2002)
4. 허현도, 최진호, 최상현 등: 측정용 전리함에 따른 고 선량을 근접치료용 방사성 선원의 겔보기 활성도의 정확도 비교분석. 의학물리 19:305-311 (2008)
5. 최동락, 허승재, 안용찬, 임도훈, 김대용, 우홍균: 고 선량을 근접치료시 사용되는 Ir-192선원의 방사능 평가. 의학물리 8:25-29 (1997)
6. 허현도, 박성용, 이레나 등: 고선량을 근접조사치료용 이리듐-192 방사성동위원소의 교정방법 비교연구. 의학물리 15:192-196 (2004)
7. Attix FH: Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry. JOHN WILEY & SONS, New York (1986)
8. IAEA TRS-277: Absorbed Dose Determination in Photon and Electron Beams: An International Code of Practice. Technical Report Series No. 277. 2nd ed IAEA Vienna (1997)
9. Borg J, Kawrakow I, Rogers DWO, Seuntjens JP: Monte Carlo study of correction factors for Spencer-Attix cavity theory at photon energies at or above 100 keV. Med Phys 27:1804-1813 (2000)
10. NRCC Report PIRS-629r: Monte Carlo Calculations of Photon Spectra in Air from 192Ir Sources. National Research Council Canada, Ottawa, Canada (1999)
11. Ferreira IH, de Almeida CE, Marre D, Marechal MH, Bridier A, Chavaudra J: Monte Carlo calculations of the ionization chamber wall correction factors for 192Ir and 60Co gamma rays and 250 kV x-rays for use in calibration of 192Ir HDR brachytherapy sources. Phys Med Biol 44:1897-1904 (1999)
12. Marechal MH, de Almeida CE, Ferreira IH, Sibata CH: Experimental derivation of wall correction factors for ionization chambers used in high dose rate 192Ir source calibration. Med Phys 29:1-5 (2002)
13. AAPM TG-21: A Protocol for the determination of absorbed dose from high-energy photon and electron beams. Med Phys 10:741-769 (1983)
14. Rocha MPO, Rodriguest LN, Cecatti ER, de Almeida CE: The Effect of build-up cap materials on the response of an ionization chamber to 60Co gamma rays. Phys Med Biol 38:739-804 (1993)
15. Andreo P, Nahum A, Brahme A: Chamber-dependent wall correction factors in dosimetry. Phys Med Bio 31:1189-1199 (1986)
16. NRCC Report PIRS-701: The EGSnrc Code System: Monte Carlo Simulation of Electron and Photon Transport. National Research Council Canada, Ottawa, Canada (2003)
17. Johns HE, Cunningham JR: The Physics of Radiology. 4th ed. Charles C Thomas, Springfield, USA (1983)
18. AAPM Report-41: Remote Afterloading Technology. American Association of Medical Physicist in Medicine, New York (1993)
19. Selvam TP, Rajan KNG, Nagarajan PS, Sethulakshmi P, Bhatt BC: Monte Carlo aided room scatter studies in the primary air kerma strength standardization of a remote afterloading 192Ir HDR source. Phys Med Biol 46:2299-2315 (2001)

Quality Correction for Ir-192 Gamma Rays in Air Kerma Strength Dosimetry Using Cylindrical Ionization Chambers

Dong Hyeok Jeong*, Jhin Kee Kim[†], Ki Hwan Kim[‡], Young Kee Oh[§], Soo Kon Kim^{||},
Kang Kyoo Lee^{*¶}, Sun Rock Moon^{*¶}

*Department of Radiation Oncology, School of Medicine, Wonkwang University, Iksan, [†]Research Institute of Clinical Medicine, Chonbuk National University, Jeonju, [‡]Department of Radiation Oncology, Chungnam National University Hospital, Daejeon, [§]Department of Radiation Oncology, Keimyung University Dongsan Medical Center, Daegu, ^{||}Department of Radiation Oncology, Kangwon University Hospital, Chuncheon, [¶]Institute of Wonkwang Medical Science, Iksan, Korea

The quality correction in the air kerma dosimetry for Ir-192 using farmer type ionization chambers calibrated by Co-60 quality is required. In this study we determined quality factor (k_{u}) of two ionization chambers of PTW-N30001 and N23333 for Ir-192 source using dosimetric method. The quality factors for energy spectrum of microSelectron were determined as $k_{u}=1.016$ and 1.017 for PTW-N30001 and N23333 ionization chambers respectively. We applied quality factors in air kerma dosimetry for microSelectron source and compared with reference values. As a results we found that the differences between reference air kerma rate and measured it with and without quality correction were about -0.5% and -2.0% respectively.

Key Words: Quality factor, Ir-192 source, Air kerma dosimetry