

미소선원법을 이용한 Ir-192 microSelectron HDR 선원의 기하학적 인수, 비등방성함수, 방사상선량함수 평가

장 원 우 · 김 영 석 · 박 성 호* · 안 승 도

울산의대 서울아산병원 방사선 종양학과

E-mail * : michael@amc.seoul.kr

중심어 : 기하학적 인수, 미소선원, 비등방성함수, 방사상선량함수, Ir-192 microSelectron HDR, R-RMSE

서 론

고선량을 근접치료에 사용되는 상업용 선원과 치료 계획 시스템들은 AAPM TG 43[1]에서 권고하는 점 및 선 선원에 의해 선량분포를 계산한다. 하지만, 부피를 가진 선원과 인체 내의 정확한 선량계산을 위해서 MC 기반의 선량계산 방법이 연구[2] 되어왔다. 본 연구에서는, 미소선원법을 이용하여 기하학적 인수를 계산하였다. 또한, 범용 방사선 수송코드인 MCNP를 사용하여 비등방성함수와 방사상선량함수를 계산하고, MC 기반 광자 수송코드인 MCPT를 사용하여 계산한 Williamson[2]의 결과와 비교, 분석을 수행하였다.

재료 및 방법

Ir-192 microSelectron HDR 선원 ($\rho = 22.42 \text{ gcm}^{-3}$)과 선원을 감싸는 스테인리스강(AISI 316L) 캡슐용기($\rho = 8.00 \text{ gcm}^{-3}$)의 직경은 각각 0.6 mm, 1.1 mm 이며, 길이는 3.5 mm, 5.5 mm 이다. 스테인리스강 케이블(AISI 304, $\rho = 8.02 \text{ gcm}^{-3}$)의 길이는 2 mm 이다.

부피를 가지고 있는 선원의 기하학적 인수 계산을 위해, microSelectron의 HDR 선원의 길이와 반경을 각각 10 등분하고 각도를 10° 씩 36 등분하여 3,600 개의 분할 된 미소선원으로부터 기하학적 인수를 아래와 같이 계산하였다.

$$G(r, \theta) = \frac{1}{N} \sum_i \frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}_i|^2} = \frac{1}{N} \sum_i \frac{1}{r_i^2}$$

Fig. 1. 에서 보듯이 (r, θ) 는 선원을 중심으로 한 극좌표계의 임의의 좌표이며, 선원의 도식도를 Fig. 1.에 나타내었다. 계산된 미소선원으로 구성된 부피를 가진 선원의 기하학적 인수를 점 과 선으로 근사하여 계산된 기하학적 인수들과의 비 ($\theta = \pi/2$ 일 때)를 구하여 차이를 평가하였다.

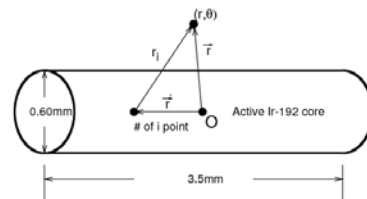


Fig. 1. Schematic diagram of Active Ir-192 core and the determination of the geometry factor at a point (r, θ) .

Ir-192 microSelectron HDR 선원의 기하학적 구조와 에너지를 전산모사(7 keV ~ 885 keV, 0.1% 이상의 에너지[3])하고, MCNP 계산을 통해 흡수 선량률(Dose rate, $\dot{D}(r, \theta)$)을 계산하였다. 앞서 구한 기하학적 인수와 아래의 식을 이용하여, MC 기반의 비등방성함수, 방사상선량함수를 계산하였다.

$$F(r, \theta) = \frac{\dot{D}(r, \theta) G(r, \pi/2)}{\dot{D}(r, \pi/2) G(r, \theta)}$$

$$g(r) = \frac{\dot{D}(r, \pi/2) G(1, \pi/2)}{\dot{D}(1, \pi/2) G(r, \pi/2)}$$

측정위치는 선원의 중심으로부터 수직 방향으로 $r = 0.25 \text{ cm}, 0.5 \text{ cm}, 1.0 \text{ cm}, 2.0 \text{ cm}, 3.0 \text{ cm}, 5.0 \text{ cm}$ 이며, $\theta (0^\circ \sim 180^\circ)$ 의 간격은 수직축근방에서는 15° 수평축근방에서는 1° 이다. 방사상선량함수의 경우는 $r = 0.1 \sim 14.0 \text{ cm}$ 에서 계산하였다. 30 cm 직경의 구형 물탱크내 에너지 흡수를 F6 측정기를 이용하

여 계산하였다. 이와 같이 계산 된 비등방성함수와 방사상선량함수의 값들을 Williamson의 결과와 비교하기 위해 다음과 같이 상대적 평균 제곱근 오차(Relative Root Mean Square Error, $R-RMSE$)를 계산하였다.

$$R-RMSE(f_{this\ work}, f_{Williamson}) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i \left(\frac{f_{Williamson}(x_i) - f_{this\ work}(x_i)}{f_{Williamson}(x_i)} \right)^2}$$

결과 및 고찰

미소선원법과 선 선원 근사법에 따른 기하학적 인수는 $r = 2.0$ cm 이상에서는 0.2% 이내에서 일치하였고, $r = 0.1$ cm 일 때 39.11%의 차이를 보였다. 선 선원 근사법의 경우는 $r = 0.5$ cm 이상에서는 0.2% 이내에서 일치하였고 $r = 0.1$ cm 일 때 1.33%의 차이를 보였다.

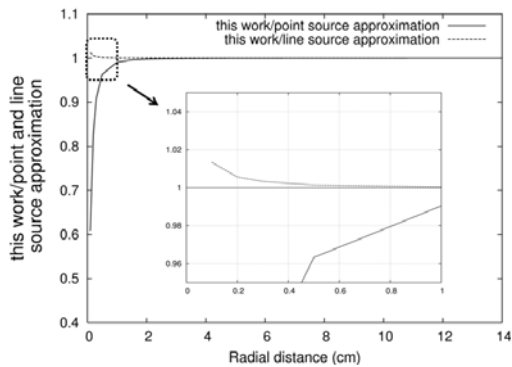


Fig. 2. Ratios, this work/point source approximation and this work/line source approximation along the transverse bisectors of the active source.

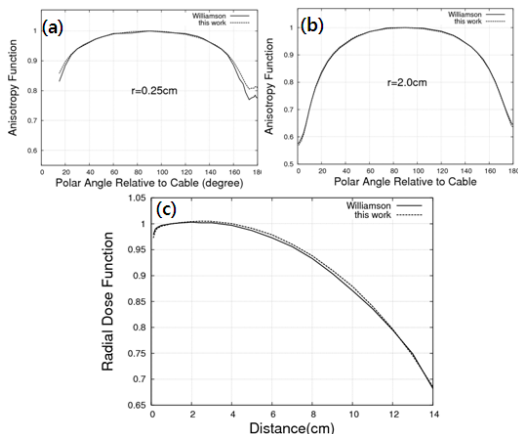


Fig. 3. The difference between this work and Williamson a) The anisotropy function in the distance of 0.25 cm and b) 2.0 cm c) The radial dose function

Fig.3 과 Table 1 에서 보는 바와 같이 본 연구에서 계산된 비등방성함수와 방사상선량함수가 Williamson의 계산된 결과의 차이는 비등방성함수의 경우 $r = 0.25$ cm 에서 2.331%의 가장 큰 R-RMSE를 보였고 $r = 0.5$ cm 이상에서는 1% 미만의 R-RMSE를 보였다. 방사상선량함수의 경우는 $r = 0.1 \sim 14.0$ cm 에서 0.457%의 R-RMSE를 보였다.

Table 1. Relative Root Mean Square Error (R-RMSE), the Williamson against the this work

R-RMSE (%)		
$(F_{this\ work}, F_{Williamson})$	$(g_{this\ work}, g_{Williamson})$	
r=0.25cm	2.331	0.458
r=0.5cm	0.948	
r=1.0cm	0.513	
r=2.0cm	0.692	
r=3.0cm	0.572	
r=5.0cm	0.591	

결론

본 연구에서는 Ir-192 microSelectron HDR 선원을 미소선원법으로 가정하며, 선량률은 MCNP 전산모사를 통해 계산하였고 이 값들을 이용해 비등방성함수와 방사상선량함수를 구하였다. Williamson은 HDR 선원을 선 선원으로 근사하였고, MCPT 전산모사를 통해 선량률을 계산하였다. 계산 방법에 대한 차이는 있었으나 기하학적 인수가 잘 일치 하였으며, 비등방성함수와 방사상선량함수도 잘 일치함을 확인하였다. 본 연구의 결과를 토대로 근접치료 환자의 선량계산에 적용 가능할 것이다.

참고 문헌

- Nath R, Anderson LL, Luxton G, et al, "Dosimetry of Interstitial Brachytherapy Sources: Recommendations of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 43," Med. Phys. vol. 22, 809, June 1995
- J. F. Williamson, Z. Li, "Monte Carlo aided dosimetry of the microselectron pulsed and high dose-rate Ir-192 sources" Med. Phys. vol. 22, 809, June 1995
- PIRS-629r: Monte Carlo Calculations of Photon Spectra in Air from Ir-192 Sources, Institute for National Measurement Standards National Research Council