

## 근접조사 치료에 사용되는 $^{60}\text{Co}$ source의 조직내에서 선량분포

유명진

부산대학교 의과대학 방사선과학교실

### 1. 서론

근접치료용  $^{60}\text{Co}$  source는 tube 형태이나 보통 치료계획용 컴퓨터의 프로그램에는 point source로 취급하여 선량분포를 계산한다. 본 논문은 point source일때 이론적인 방법으로 선량분포를 계산한 다음 그 값을 측정값과 비교하고자 한다. 이론적인 선량분포 계산법에 있어서 Webb<sup>1)</sup> 등은 Monte Carlo 법을 사용하였고 선량추적인자<sup>2)</sup>를 구하는데 있어서 Meisberger<sup>3)</sup> 등은 third order 다항근사식을 사용하였다. Krishnaswamy<sup>4-6)</sup>는 LiF TLD 와 Film을 사용하여 선량분포를 측정하였다. 본 논문에서는 Berger<sup>7)</sup> 식으로 선량분포를 계산하였고 선량추적인자를 구하기 위해선 Taylor 근사법을 사용하였다. 선량분포의 측정은 이온전리함으로 하였다.

### 2. 재료 및 방법

$^{60}\text{Co}$  source는 두께 1mm의 stainless-steel로 둘러싸여 있으며 source의 제원은 그림1과 같다. 선량분포 계산은 source의 중심으로부터 계산점까지 거리 r을 변화시켜가며 2차원 평면상에서

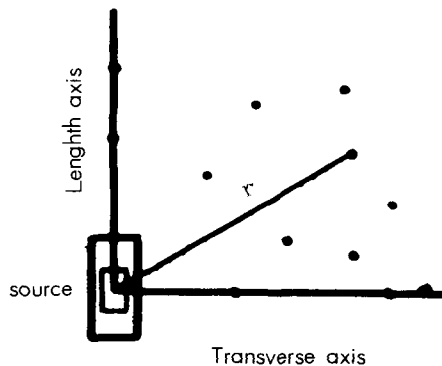
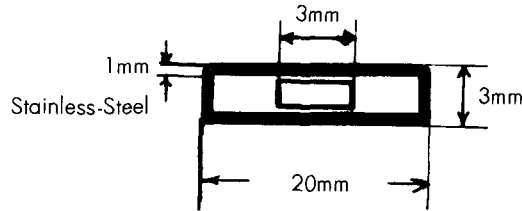


Table 1. Values of the distance from the center of the source

		Transverse distance from the center of the source (cm)										
		0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
	0	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
	0.8	0.8	0.94	1.28	1.7	2.15	2.62	3.1	3.59	4.08	4.57	5.06
	1.6	1.6	1.68	1.89	2.19	2.56	2.97	3.4	3.85	4.31	4.78	5.25
	2.4	2.4	2.45	2.6	2.93	3.12	3.47	3.84	4.24	4.67	5.1	5.55
	3.2	3.2	3.24	3.35	3.53	3.77	4.06	4.39	4.74	5.12	5.52	5.94
	4	4	4.03	4.12	4.27	4.47	4.72	5	5.32	5.66	6.02	6.4
	4.8	4.8	4.83	4.9	5.03	5.2	5.41	5.66	5.94	6.25	6.58	6.93
	5.6	5.6	5.62	5.69	5.8	5.95	6.13	6.35	6.6	6.88	7.18	7.51
	6.4	6.4	6.42	6.48	6.57	6.71	6.87	7.07	7.29	7.5	7.82	8.12
	7.2	7.2	7.22	7.27	7.35	7.47	7.62	7.8	8.01	8.24	8.49	8.77
	8	8	8.02	8.06	8.14	8.25	8.38	8.54	8.73	8.94	9.18	9.43

Length distance from the center of the source (cm)

계산하였다. Table 1은 선량계산점까지 거리 r을 나타내고 있다. 측정은 폴리스티렌 팬텀 내에서 행하였다. 거리 r을 맞추기 위해 폴리스티렌 팬텀과 bolus물질을 적절히 사용하였다. 이온 전리함은 CAPINTEC 제품의 PR-05P(volume 0.07ml)을 사용하였다. 폴리스티렌 팬텀은 두께가 여러 종류(2" 6개, 1" 2개, 1/2" 3개, 1/4" 3개, 1/16" 4개) 있으며 bolus도 수mm 두께로 여러 종류를 만들었다. source 중심으로부터 가로축(횡축)의 거리에 대한 측정에서는 우선 폴리스티렌 팬텀을 깔고 그 위에 source와 이온 전리함을 위치시켰다. 이때 이온 전리함은 가로축상의 측정하고자 하는 거리 r에 놓여 있다. 그런 후에 source와 이온 전리함 주위의 빈 공간을 bolus물질로 균일하게 채웠다. source 중심으로부터 세로축(종축) 및 경사진 경로의 거리에 대한 측정도 위와 같은 방법으로 하였다.

선량분포의 계산값은 rad/Ci-sec 단위로 구하였고 측정값은 rad 단위로 구하였다. 측정시 조사시간은 60 sec로 하였고 계산값과 측정값을 비교하기 위해 계산값을 rad 단위로 바꾸었다. 그것은 측정당시의 source activity와 조사시간을 계산값에 곱하여 구할 수 있다.

### 3. 조직속에서 선량분포계산

조직속에서 point source로 부터 거리 rcm 떨어진 지점의 흡수선량율은

$$\text{Berger 식 } \dot{D}(r) = \frac{KNE}{100 \ 4\pi r^2} \frac{\mu_{en}}{\rho} e^{-\mu r} B(\mu r) \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

에 의하여 주어진다. <sup>60</sup>Co은 붕괴시에 에너지가 1.17MeV, 1.33MeV인 두개의 γ선을 방출하므로 ① 식은 다음과 같이 된다.

$$D(r) = \frac{KN}{100 \ 4\pi r^2} \frac{\mu_{en}}{\rho} [ \{Ee^{-\mu r} B(\mu r)\}_{1.17\text{MeV}} + \{Ee^{-\mu r} B(\mu r)\}_{1.33\text{MeV}} ]$$

여기서  $D(r)$ 의 단위는 rad/Ci-sec이다.  $K$ 는 MeV를 erg로 변환시키는 인자,  $N$ 은 Ci당 방출되는 광자수,  $E$ 는 방출되는 광자의 MeV 단위의 에너지,  $(\frac{\mu_{en}}{\rho})_{iron} = 0.0249 \text{cm}^2/\text{g}$ , 은 source를 둘러싸고 있는 stainless-steel(iron)의 질량 에너지 흡수계수( $\text{cm}^2/\text{g}$ ),  $\mu$ 는 조직에 대한 선형감쇠계수(1/cm)이다.  $B(\mu r)$ 을 구하기 위해선 Taylor 근사법을 적용하였다. Taylor 근사법은 다음과 같다.  $B(\mu r) = A e^{\alpha_1 \mu r} + (1-A)e^{-\alpha_2 \mu r}$  여기서  $A, \alpha_1, \alpha_2$ 는 광자의 에너지에 의존하는 상수이다.  $(\frac{\mu_{en}}{\rho})_{iron}, \mu, B(\mu r)$  자료들은 참고문헌 7에서 인용하였다. 각각의 상수값은 다음과 같다.

$$K = 1.6 \times 10^6 \text{erg/MeV.}$$

$$N = 3.7 \times 10^{10} \text{dps/Ci.}$$

$$(\mu)_{1.17\text{MeV}} = 0.0655/\text{cm.}$$

$$(\mu)_{1.33\text{MeV}} = 0.0614/\text{cm.}$$

$$A_{1.17\text{MeV}} = 18.412,$$

$$(-\alpha_1)_{1.17\text{MeV}} = 0.08405$$

$$(\alpha_2)_{1.17\text{MeV}} = -0.01765$$

$$A_{1.33\text{MeV}} = 17.295,$$

$$(-\alpha_1)_{1.33\text{MeV}} = 0.0781$$

$$(\alpha_2)_{1.33\text{MeV}} = -0.01052$$

$B(\mu r)$ 은 위의 상수값과 거리  $r$ 을 대입하면 구할 수 있다.

한편, ① 식은 경사진 경로의 거리에 대해서 stainless-steel tube의 효과를 고려하고 있지 않은데 이것은 ①식이 point source일때 성립하는 식이고 또 point source를 둘러싸고 있는 stainless-steel의 두께가 일정하다고 하는 Approximation을 쓰고 있기 때문이다.

#### 4. 결 과

깊이선량분포를 계산한 값들을 Table 2에 나타내었다.

Table 3은 source 중심으로부터 가로축의 거리에 대한 선량분포의 계산값과 측정값을 비교한 것이다. 계산값과 측정값 사이의 오차는  $\pm 4-7\%$ 를 보였다. Table 4는 source의 중심으로부터 세로축의 거리에 대한 선량분포의 계산값과 측정값을 비교한 것이다. 계산값과 측정값 사이의 오차는  $\pm 6-9\%$ 를 보였다.

Table 5는 source의 중심으로부터 경사진 경로의 거리에 대한 선량분포의 계산값과 측정값을 비교한 것이다. 계산값과 측정값 사이의 오차는  $\pm 9-13\%$ 를 보이고 있다.

#### 5. 고 찰

$^{60}\text{Co}$  source의 조직내에서 선량분포의 계산값과 이온 전리함으로 측정된 측정값과의 비교

결과는 Table 3, 4, 5에서 보는 바와 같이 source 중심으로부터 거리가 가까운 지점 혹은 먼 지점 중에서 어느 쪽이 오차가 적은지는 분명하게 알 수 없었다. 다만, source 중심으로부터 선량분포의 계산점 혹은 측정점 까지의 경로가 가로축이나 세로축 보다는 경사진 경로에서 더 많은 오차를 나타내었는데 크게는 오차가 13%나 되었다. 이러한 이유는 경사진 경로일때 source를 통과하는 거리가 크게되고 아울러 source를 둘러싸고 있는 stainless-steel 벽 두께를 통과하는 거리도 크게 되므로 point source로 취급하면 오차가 크지나 않나 생각된다.

또한, 본 측정에서 사용한 이온 전리함은 그 지름이 5mm나 되는데서 생기는 오차와 source와

Table 2. Values of Calculated depth-dose distribution (unit : rad/Ci-sec)

		Transverse distance from the center of the source (cm)										
		0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
			11.8	2.963	1.322	0.745	0.478	0.332	0.244	0.186	0.147	0.119
	0.8	4.623	3.352	1.812	1.03	0.645	0.435	0.311	0.232	0.179	0.142	0.106
	1.6	1.162	1.055	0.834	0.622	0.456	0.339	0.258	0.201	0.16	0.13	0.107
	2.4	0.518	0.497	0.442	0.328	0.307	0.248	0.202	0.166	0.136	0.114	0.096
	3.2	0.292	0.284	0.266	0.24	0.21	0.181	0.154	0.132	0.113	0.097	0.083
	4	0.186	0.184	0.176	0.163	0.149	0.133	0.119	0.105	0.092	0.081	0.072
	4.8	0.129	0.127	0.124	0.117	0.11	0.101	0.092	0.083	0.075	0.068	0.061
	5.6	0.094	0.093	0.091	0.088	0.083	0.078	0.073	0.067	0.062	0.056	0.051
	6.4	0.072	0.071	0.07	0.068	0.065	0.062	0.058	0.055	0.051	0.047	0.044
	7.2	0.056	0.056	0.055	0.054	0.052	0.05	0.047	0.044	0.042	0.04	0.037
	8	0.045	0.045	0.044	0.043	0.042	0.041	0.039	0.037	0.035	0.033	0.032

Length distance from the center of the source (cm)

Table 3. Comparison of calculated and measured depth-dose in rads for the transverse distance.

	Transverse distance from the center of the source (cm)					
	0.5	1	2	3	4	5
calculated	1040	261	65.64	29.25	16.39	10.48
measured	1079	273.2	68.59	27.73	15.28	9.79
measured/calculated	1.038	1.047	1.045	0.948	0.932	0.934

Table 4. Comparison of calculated and measured depth-dose in rads for the length distance.

	Length distance from the center of the source (cm)					
	0.8	1.6	3.2	6.4	7.2	8
calculated	407.3	102.4	25.73	6.34	4.93	3.96
measured	382	94.61	23.62	6.85	5.37	3.62
measured/calculated	0.938	0.924	0.918	1.08	1.089	0.914

Table 5. Comparison of calculated and measured depth-dose in rads for oblique path distance.

		Transverse distance from the center of the source (cm)			
		1		2	
0.8	calculated	159.6	calculated	56.83	
	measured	143.5	measured	62.06	
	measured/calculated	0.899	measured/calculated	1.092	
2.4	calculated	38.94	calculated	27.05	
	measured	35.2	measured	29.3	
	measured/calculated	0.904	measured/calculated	1.083	
4.8	calculated	10.92	calculated	9.69	
	measured	11.88	measured	8.78	
	measured/calculated	1.088	measured/calculated	0.906	
6.4	calculated	6.17	calculated	5.73	
	measured	5.45	measured	5.18	
	measured/calculated	0.883	measured/calculated	0.904	
8	calculated	3.88	calculated	3.7	
	measured	3.39	measured	3.25	
	measured/calculated	0.874	measured/calculated	0.878	

Length distance from the center of the source (cm)

전리함 사이의 기하학적 배열에서 생기는 오차도 기여할 수 있을 것이다. Krishnaswamy는 비록  $^{60}\text{Co}$  source는 아니지만  $^{125}\text{I}$  source에 대한 선량분포의 계산값과 LiF TLD로 측정된 측정값과의 비교에서 source 중심으로부터 3cm 이내의 거리에서는  $\pm 5\%$  이내의 오차를 보였고, 보다 먼 거리에서는  $\pm 10\%$  이내의 오차를 보였다고 하였다. tube 형태의 source를 point source로 취급한 선량분포 계산 결과를 실제 임상에 응용할 때 경사진 경로의 거리에 대해서는 상당한 주의가 필요할 것으로 본다. tube 형태의 source에 대한 선량분포의 계산에서 오차를 줄일 수 있는 가장 좋은 방법은 point source의 선량분포 계산으로부터 수학적 적분을 통한 선량분포를 얻는 것일 것이다. 본 병원에서 사용되고 있는 치료계획용 컴퓨터로는 G. E 회사제품의 main 컴퓨터와 main 컴퓨터가 고장났을 경우에 사용하는 개인용 컴퓨터가 있다. main 컴퓨터의 선량분포 프로그램의 연산방식은 Sievert 적분을 통해서 tube 형태 source의 선량을 계산하고 등선량 곡선을 그려내므로 선량분포 계산에 별 문제점이 없다. 그러나 개인용 컴퓨터에는 source를 point source로 가정하고 Berger식을 사용하는 연산방식을 프로그래밍 해 놓았다. 물론 tube 형태의 source에 대한 선량 분포 계산에 있어서 Sievert 적분 방법이 적절할 줄 알지만 Sievert 적분방법에 대한 프로그램을 설계할 수 없었다. 이 작업은 계속하고 있으므로 만약 프로그램이 완성되면 Sievert 적분 방법에 의한 계산값과 측정값을 비교 연구할 것이다. 본 연구에서는 개인용 컴퓨터를 사용할때 Berger 식에 의한 계산값을 측정값과 비교하고자 했다. 본 연구 결과 계산값과 측정값 사이에는 비교적 큰 오차가 났지만, 본 병원에서는 거의 main 컴퓨터를 사용하기 때문에 선량분포 계산에는 문제점이 없다. 그러나 main 컴퓨터의 고장에 의해 불가피하게 개인용 컴퓨터로 선량 분포 계산을 해야 할 경우에, Berger 식은 여러가지 approximation을 사용하고 있기 때문에 계산값 보다는 측정값을

적용하는 것이 더 바람직하다. 측정값을 거리 대 선량율의 그래프로 그려서 선량분포 계산에 이용하면 문제점이 없을 것 같다.

## References

1. S. Webb, D. I. C and R. A. Fox : The dose in water surrounding point isotropic gamma-ray emitters : Brit. J. Radiol., 37, 385-390 (1964)
2. 방사선 방어원리 : pp. 246-256, 479-494  
한국 에너지 연구소 (1989)
3. L. L. Meisberger, R. H. Keller and R. J. Shalek : The effective attenuation in water of the gamma rays of gold 198, iridium 192, cesium 137, radium 226 and cobalt 60 : Radiology, 90, 953-957 (1968)
4. V. Krishnaswamy : Dose distributions about  $^{137}\text{Cs}$  sources in tissue : Radiology, 105, 181-184 (1972)
5. V. Krishnaswamy : Dose distribution around an  $^{125}\text{I}$  seed sources in tissue : Radiology, 126, 489-491 (1978)
6. V. Krishnaswamy : Calculated depth dose tables about californium-252 needle sources Phys. Med. Biol., 17, 56-63 (1972)
7. M. J. Berger : Energy deposition in water by photons from point isotropic sources : J. Nucl. Med. Suppl., 1, 15-25 (1968)

## Dose Distribution of $^{60}\text{Co}$ Source as Brachytherapy in Tissue

M. J. Yoo, M. S.

Department of Radiology, Busan University College of Medicine, Busan, Korea

### Abstract.

Berger formulation was used to calculate the dose distribution of  $^{60}\text{Co}$  source in tissue.  $^{60}\text{Co}$  source was supposed as point source. The effect of the stainless-steel around the source was considered and Taylor Approximation Method was used for calculating exposure build-up factor. Calculated depth dose data was compared with measured data which was measured by the ionization chamber.