

## $^{60}\text{Co}$ $\gamma$ 선과 10 MV X 선의 조사면 밖의 선량분포에 관한 연구

서울대학교 의과대학 방사선과학교실

강 위 생 · 허 승 재 · 하 성 환

=Abstract=

### A Study on Dose Distribution outside Co-60 $\gamma$ Ray and 10MV X Ray Fields

Wee Saing Kang, M.S., Seung Jae Huh, M.D., Sung Whan Ha., M.D.

Dept. of Radiology, College of Medicine, Seoul National University

The peripheral dose, defined as the dose outside therapeutic photon fields, which is responsible for the functional damage of the critical organs, fetus, and radiation-induced carcinogenesis, has been investigated for  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  ray and 10 MV Xray. It was measured by silicon diode controlled by semiautomated water phantom without any shielding or with lead plate of HVL thickness put horizontally or vertically to shield stray radiations. Authors could obtain following results.

1. The peripheral dose was larger than 0.7% of central axis maximum dose even at 20 cm distance from field margin. That is clinically significant, so it should be reduced.
2. Even for square fields of 10 MV Xray, radial peripheral dose distribution did not coincide with transverse distribution, because of the position of collimator jaws.
3. Between surface and  $d_m$ , the peripheral dose distributions show a pattern of the dose distribution of electron beams and the maximum dose was approximately proportional to the length of a side of square field.
4. The peripheral doses depended on radiation quality, field size, distance from field margin and depth in water. Distance from field margin was the most important factor.
5. Except for near surface, the peripheral dose from phantom was approximately equal to that from therapy unit.
6. To reduce the surface dose outside fields, therapist should shield stray radiations from therapy unit by lead plate of at least one HVL for 10 MV X-ray and by bolus equivalent to tissue of 0.5 cm thickness for  $^{60}\text{Co}$ .
7. To reduce the dose at depth deeper than  $d_m$ , it is desirable to shield stray radiations from therapy unit by lead.

### 서 론

100만 전자볼트 이상의 megavoltage 전리 방사선이

본 논문은 1984년 서울대학교병원 특진연구비에 의해 이루어진 것임.

암치료에 등장한 이후, 방사선치료에 의한 암환자의 치료성적의 향상에 크게 기여하여 왔다. 방사선치료로 인한 만성적인 장애가 점점 문제가 될 정도로 방사선으로 치료한 각종 암환자의 생존율이 크게 높아졌다. 주변선량(peripheral dose, 조사 범위 밖의 선량)은 부위에 따라서 백내장<sup>1,2</sup>, 폐섬유증<sup>5,6</sup> 생식기능

의 장애<sup>1,2,7~12</sup>)를 일으키는 등 임상적으로 중요하다. 주변선량은 또한 임신중에 있는 태아의 피폭<sup>13~15</sup>)에도, 관련이 있으며, 유방암<sup>1,2,16~18</sup>)이나 갑상선암<sup>1,2,19,20</sup>) 폐암<sup>1,2</sup>), 백혈병<sup>21</sup>)등의 암을 유발할 수도 있다.

임상적으로 중요한 선량은 보고된 바로는, 200 cGy 정도의 선량이 배내장을 일으킨다고 알려져 있으며<sup>3</sup>), 고환이 100 cGy 이상의 선량에 피폭되던 생식기능에 큰 장애를 받으며<sup>8</sup>) 400 cGy 이상의 선량에 피폭되던 영구적인 무정자증이 생길 수 있으며, <sup>8,10,11</sup>). 생식기관에 대한 400cGy의 선량은 젊은 여자의 30% 이상, 40세 이상의 여자의 100% 불임을 초래할 수 있다<sup>11</sup>). 10~100 cGy의 선량에 의해 태아가 장애를 받을 수 있다고 한다<sup>13</sup>). 방사선에 의한 유방암 발병율은 1 cGy 당 1년간에 1백만명 중 6.6명이며, 50 cGy 이하에서도 유방암이 일어날 수도 있다고 보고되었다<sup>17</sup>). 갑상선암<sup>19,20</sup>)이나 백혈병<sup>21</sup>)도 5 cGy 이상의 피폭선량에 대해 발병한다고 한다. 이와같이 임상적으로 중요한 의미를 갖는 정상 조직의 피폭선량은 환자의 치료를 위한 계획선량의 0.1~3%에 해당되므로 치료부위 밖의 주변선량의 분포와, 주변선량을 감소시키기 위한 실험적 연구는 중요하다.

본논문에서는 <sup>60</sup>Co  $\gamma$ 선과 10 MV X선의 주변선량분포를 물팬텀속에서 실리콘 다이오드 측정기로 측정된 결과와, 방사선에 대한 반가층 두께의 남판으로 산란선의 일부를 차폐하여 주변선량을 측정하여 결과를 분석하였다. 또한 Clarkson 방법에 의해 계산된 값과 측정된 주변 선량을 비교하였다.

### 측 정 방 법

주변선량(peripheral dose)를 측정할 방사선은 서울 대학교병원 치료방사선과에서 사용중인 선형가속장치(Clinac-18, Varian 사 제품)에서 발생되는 10 MV X선과 <sup>60</sup>Co 원격치료장치에서 방출되는  $\gamma$ 선이다. 주변선량은 물팬텀 내에서 실리콘 다이오드로 측정하였다. 실리콘 다이오드는 제어장치(LSC-2, Therados 사 제품)에 의하여 자동적으로 운동이 조절된다. SSD는 10 MV X선의 경우는 100 cm, <sup>60</sup>Co의 경우는 80 cm로 하였다.

선량분포 측정시에는 항상 두 개의 측정기(probe)-기준측정기(reference probe)와 스캔측정기(scanning probe)-를 사용하였다. 측정기는 모두 실리콘 다이오드로 되어있다. 기준측정기는 치료장치 바로 아래 조사범위내에 고정설치하고 스캔측정기는 제어장치에 의해 운동시킨다(Fig. 1).

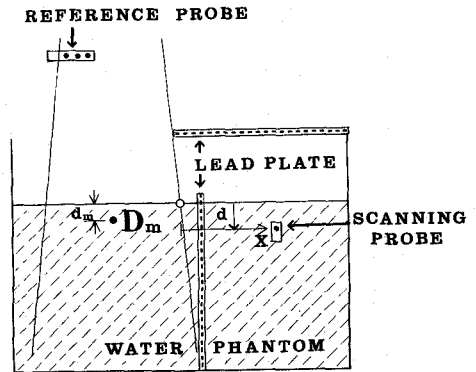


Fig. 1. Schematic diagram showing experimental setup.

측정치는 기준측정기의 측정치에 대한 스캔측정기의 측정치의 비율로 X-Y 기록제로 기록하였으며 모든 측정치는 선축상 최대치(D<sub>m</sub>)에 대한 백분율로 표시하였다. 여기서 선축상 최대치란 치료장치나 물팬텀 또는 측정에 필요한 장치를 제외하고는 선량분포에 영향을 줄 수 있는 어느 것도 없이 측정된 선량이다. 기준 측정치와 선축상 최대치의 각각에 대하여 LSC-2의 계기의 바늘이 60을 가리키도록 게인(gain)을 조정하였으며, 한 조사면의 크기에 대한 측정이 끝날 때까지 게인을 변경시키지 않았다. 주변선량분포의 측정은 조사면의 크기 5×5 cm, 10×10 cm, 15×15 cm, 20×20 cm에 대해 조사면의 대칭면에서만, 깊이 15 cm 까지, 물표면상 조사면의 경계에서 조사면 밖 20 cm 까지 수평과 수직방향으로 스캔하여 행하였다.

개조사면(open field)으로 치료할 때의 주변선량분포를 얻기 위해 주변선량을 감소시킬 어떤 차폐물도 사용하지 않고 선량을 측정하였다. 특히 10 MV X선의 경우 주변선량분포가 두 쌍의 두꺼운 콜리메이터(두께 8 cm)의 영향으로 인해 방향성이 있는지를 파악하기 위해 전자가속방향(radial direction)과 측면방향(transverse direction)의 주변선량을 측정·비교하였다. 이때 콜리메이터 장치는 정상적인 위치(180°)에 두었다.

두 방향의 주변선량분포가 차이가 있는 경우 높은 쪽의 주변 선량에 대해 후속실험을 하기로 하였다. 널리 이용되고 있는 Clarkson 근사방법에 의하여 얻은 주변선량과 측정된 선량을 비교하였다.

주변선량은 조사범위내 환자의 조직에서 기원하는 방사선에 의한 선량(D<sub>F</sub>)과 그 외 나머지(D<sub>r</sub>)로 나눌 수 있다. 여기서 나머지(D<sub>r</sub>)란 치료장치 및 공기에 의한 산란선과 반발전자(recoil electron)에 의한 선량은 물

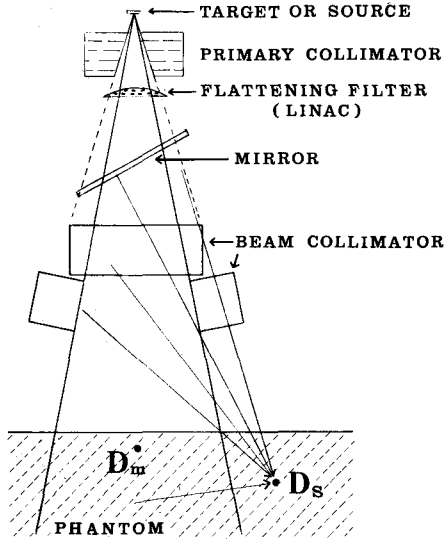


Fig. 2. Diagram showing origins of radiations that contribute to the peripheral dose.

론 콜리메이터를 투과한 방사선에 의한 선량을 말한다 (Fig. 2). 그러나  $D_P$ 와  $D_T$ 가 각각 얼마인지 구분하여 측정할 수는 없다. 다만 중요한 점의 선량에  $D_P$ 와  $D_T$  중 어느 것이 더 크게 기여하는지는 평가할 수 있을 것이다.  $D_P$ 와  $D_T$ 의 기여도를 측정하기 위하여 치료 장치로부터 오는 산란선의 일부 또는 물팬텀으로부터 오는 산란선의 일부를 방사선의 반가층에 대응하는 납판으로 차폐하여 주변선량을 측정하였다. 치료장치에서 오는 산란선동의 일부를 차폐하기 위한 납판은 물에서 13~15 cm 위에 두고, 그 위치에서 조사면의 경계와 납판의 모서리에 일치되게 하였다 (Fig. 1). 팬텀에서 오는 산란선동의 일부를 차폐하기 위해 납판을 선축과 조사면의 경계에 평행하게 세워 두었다. 조사면의 경계에서 납판까지의 거리는 수면에서 1.5 cm로 하였으며 3~5 cm 폭의 납판을 물위로 올라오게 하여 납판을 고정시키는데 이용하였다. 납판의 두께는 각 방사선의 반가층에 대응하는 두께로서 10 MV X선에 대해서는 1.5 cm,  $^{60}\text{Co}$ 에 대해서는 1.0 cm였다.

## 결 과

### 1. 차폐물이 없는 경우

10 MV X선의 경우 전자의 가속방향(radial direction)과 측면방향(transverse direction)에 있어서, 조사면의 크기  $10 \times 10$  cm과  $20 \times 20$  cm에 대하여 깊이  $d_m$ 과 10 cm에서 수평방향의 주변선량(peripheral dose)분포가 Fig. 3에 나타나 있다. 조사면의 크기가

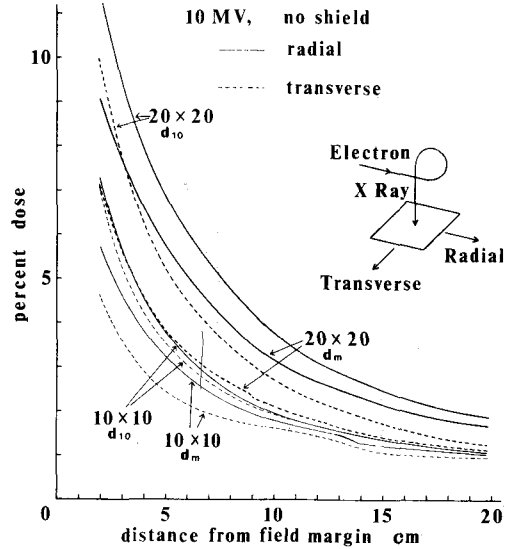


Fig. 3. Graph comparing radial and transverse peripheral dose of the square fields of 10 MV X-ray.

일정한 경우 조사면경계로부터 같은 거리에서 같은 길이의 점에 있어서 전자가속방향의 주변선량이 측면방향보다 높다는 것을 Fig. 3은 보여주고 있다. 주변선량이 높을수록 차폐효과도 클 것으로 판단되어 이후로는 전자가속방향만 고려하기로 한다.

주변선량에 영향을 주는 요인이 측정장치 이외에 없을 때 수평방향의 주변선량분포의 성질이 10 MV X선의 경우와  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ 선의 경우 대체로 유사하는 것을 Fig. 4가 보여주고 있는 바와 같이 (1) 조사면의 크기가 클수록 주변선량이 높았으며 (2) 조사면의 경계로부터 멀어질수록 주변선량은 감소하였다. 다만  $^{60}\text{Co}$ 의 경우 조사면의 크기가  $5 \times 5$  cm,  $10 \times 10$  cm인 때  $d_m$ 의 깊이에서는 예외였다. (3) 깊이가 10 cm에서 조사면내 최대선량점의 깊이인  $d_m$ 에서보다 주변선량이 높았다. 다만  $^{60}\text{Co}$ 의  $5 \times 5$  cm인 경우는 예외였다. (4) 10 cm 깊이에서  $^{60}\text{Co}$ 의 주변선량이 10 MV X선에 비해 높았다.

선축 방향의 주변선량분포의 양상은 10 MV X선의 경우와  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ 선의 경우 유사하다는 것을 Fig. 5가 보여주고 있다. (1) 표면에서  $d_m$ 사이의 주변선량분포는 전자선의 선량분포 양상과 흡사하다. 10 MV X선의 경우는 축적(build-up)현상까지 나타나 있다.  $^{60}\text{Co}$ 의 경우는 실리콘다이오드 측정기의 구조상 표면 근처의 선량을 측정할 수 없었기 때문에 축적현상이 있는지는 알 수 없었다. 10 MV X선의 경우, 조사면 경계 밖 5 cm 위치에서 축적현상에 의해 0.6 cm 정도의 깊이에서 최

대선량을 볼 수 있었다. 이 최대선량은 조사면의 크기 (여기서는 정사각형의 변의 길이)가 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm 일 때 각각 2.3%, 5.4%, 8.7%, 11.4%로서 조사면의 크기에 대체로 비례하고 있다. (2) 조사면내 최대선량점이 깊이( $d_m$ )정도에서 주변선량은 최소로 나타나 있으며, 깊이가 깊어짐에 따라 증가하고 있다. 조사면 경계 밖 20 cm에서 방사선이나 깊이에 관계없이 각조사면 크기에 대해 주변선량이 일정하다. 주변선량의 증가율(깊이의 증가에 따른 주변선량의 증가량)은 조사면의 크기가 클수록, 조사면의 경계에서 가까울수록 크다. (3) 방사선에 대해서 주변선량 증가율을 비교해 보면 10 MV X선의 경우는 동일 조사조

사조건에 대해서 거의 일정하며 반면에  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ 선의 경우는 점차로 감소하는 경향을 보여주고 있다. 그러나 10 MV X선보다  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ 선의 경우가 주변선량증가율이 대체로 높았다. (4) 물속의 깊이가 약 2 cm 보다 깊은 곳의 주변선량은  $^{60}\text{Co}$ 의 경우가 10 MV X선의 경우보다 높다. (5) 조사면 경계로부터 10 cm와 20 cm 떨어진 곳의 10 cm 깊이에서 선량율(조사면내 최대선량  $D_m$ 을 기준)은 Fig. 4와 Fig. 5로부터 10 MV X선의 경우는 각각 1.2~3.4%(10 cm), 0.7~1.6%(20 cm)였고,  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ 선의 경우는 각각 1.6~4.9%(10 cm), 1.3~2.3%(20 cm)였다.

주변선량측정치와 Clarkson 방버에 의한 주변선량의

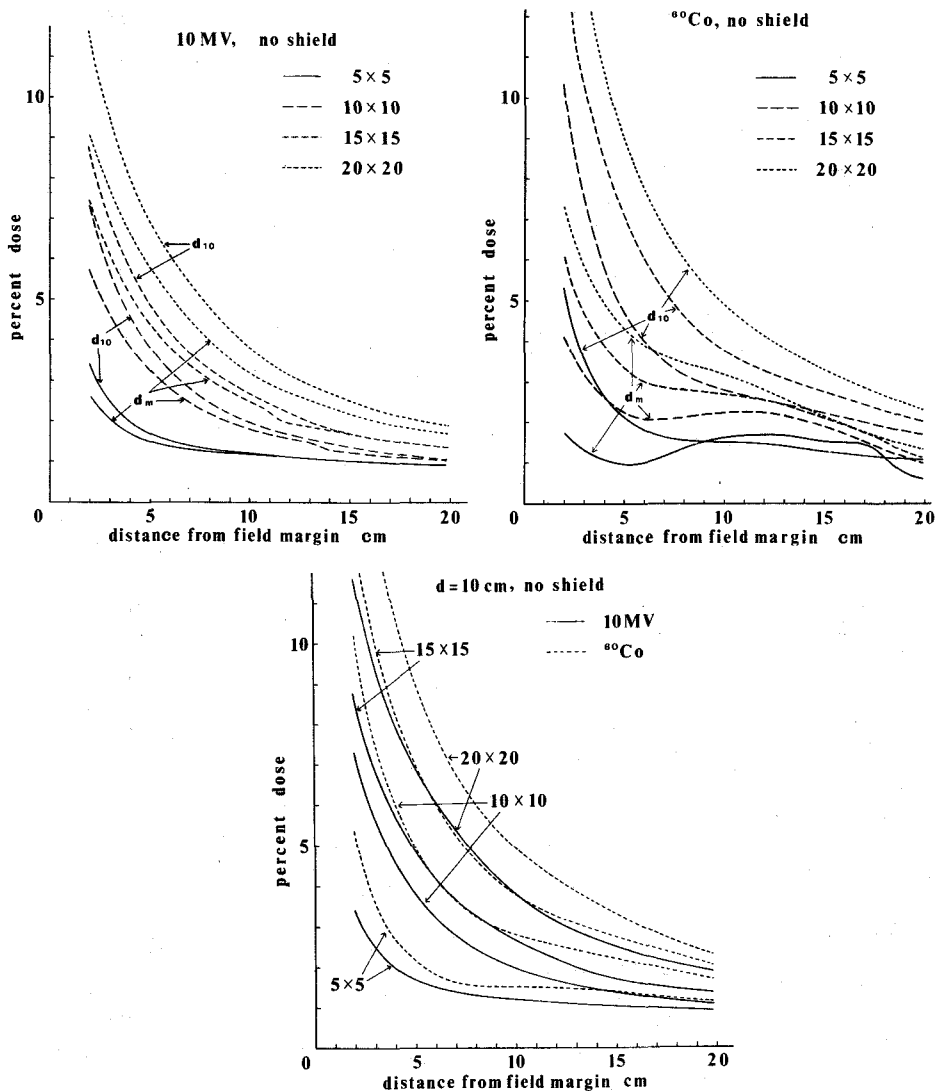


Fig. 4. Lateral peripheral dose distributions on principal plane.

Table 1. Comparison of Measured Scatter Dose and Calculated one by Clarkson Method

a. <sup>60</sup>CO  $\gamma$  ray

Field Size	Depth	Distance from Field Margin									
		2 cm		5 cm		10 cm		15 cm		20 cm	
		Meas V	CM	Meas V	CM	Meas V	CM	Meas V	CM	Meas V	CM
5× 5 cm	0.5 cm	2.8%	0.5%	1.5%	0.3%	1.8%	0.1%	1.7%	0.0%	1.5%	0.0%
	5	4.1	2.5	1.8	0.7	1.7	0.2	1.6	0.1	1.4	0.0
	10	4.9	3.8	2.1	1.4	1.6	0.5	1.4	0.2	1.3	0.1
	15	5.0	4.5	2.2	1.9	1.4	0.7	1.2	0.4	1.1	0.2
10×10	0.5	6.3	1.3	3.3	0.7	2.7	0.3	2.4	0.1	1.7	0.0
	5	8.2	4.6	4.0	1.0	2.9	0.7	2.4	0.3	1.8	0.1
	10	11.3	7.8	4.9	3.4	2.8	1.3	2.3	0.6	1.8	0.3
	15	17.2	10.0	5.1	4.9	2.8	2.0	2.1	1.0	1.6	0.4
15×15	0.5	7.9	1.8	4.7	1.1	3.3	0.4	2.7	0.2	1.8	0.1
	5	11.6	6.2	6.5	2.7	3.5	1.1	2.8	0.5	2.0	0.2
	10	18.4	10.9	7.4	5.3	3.9	2.1	2.8	1.0	2.1	0.4
	15	20.9	14.7	7.6	7.8	4.0	3.3	2.7	1.6	2.1	0.7
20×20	0.5	9.0	2.3	5.0	1.3	3.8	0.5	2.8	0.2	2.0	0.1
	5	13.1	7.3	7.2	3.3	4.3	1.4	3.1	0.6	2.2	0.3
	10	23.2	13.5	9.1	6.9	4.9	2.8	3.3	1.4	2.3	0.6
	15	29.5	19.1	9.6	10.1	5.2	4.4	3.3	2.2	2.3	1.0

b. 10 MV X-Ray

Field Size	Depth	Distance from Field Margin									
		2 cm		5 cm		10 cm		15 cm		20 cm	
		Meas V	CM	Meas V	CM	Meas V	CM	Meas V	CM	Meas V	CM
5× 5 cm	2.5 cm	2.8%	%	1.6%	%	1.2%	%	1.0%	%	0.8%	%
	5	2.9	0.3	1.6	0.1	1.2	0.0	1.0	0.0	0.8	0.0
	10	3.4	1.3	1.7	0.4	1.2	0.1	1.0	0.0	0.7	0.0
	15	3.4	2.4	1.7	0.7	1.1	0.2	1.0	0.1	0.7	0.0
10×10	2.5	5.7	—	3.2	—	1.8	—	1.2	—	1.0	—
	5	5.9	0.6	3.3	0.2	1.8	0.1	1.2	0.0	1.0	0.0
	10	6.8	2.5	3.6	0.9	1.9	0.2	1.3	0.1	1.0	0.0
	15	7.0	4.6	3.7	1.7	1.9	0.5	1.4	0.2	1.0	0.1
15×15	2.5	7.5	—	4.6	—	2.6	—	1.7	—	1.3	—
	5	7.6	0.8	4.5	0.3	2.6	0.1	1.7	0.1	1.3	0.0
	10	8.9	3.4	5.0	1.3	2.8	0.4	1.8	0.1	1.4	0.0
	15	9.7	6.7	5.4	2.5	2.9	0.9	1.8	0.4	1.4	0.2
20×20	2.5	9.1	—	7.5	—	3.0	—	2.0	—	1.5	—
	5	9.3	0.9	5.8	0.3	3.1	0.1	2.0	0.1	1.5	0.1
	10	10.6	4.1	6.7	1.6	3.4	0.5	2.2	0.2	1.6	0.1
	15	13.3	8.2	6.9	3.2	3.6	1.2	2.3	0.5	1.7	0.3

Mean V: measured value  
 CM: Clarkson Method.

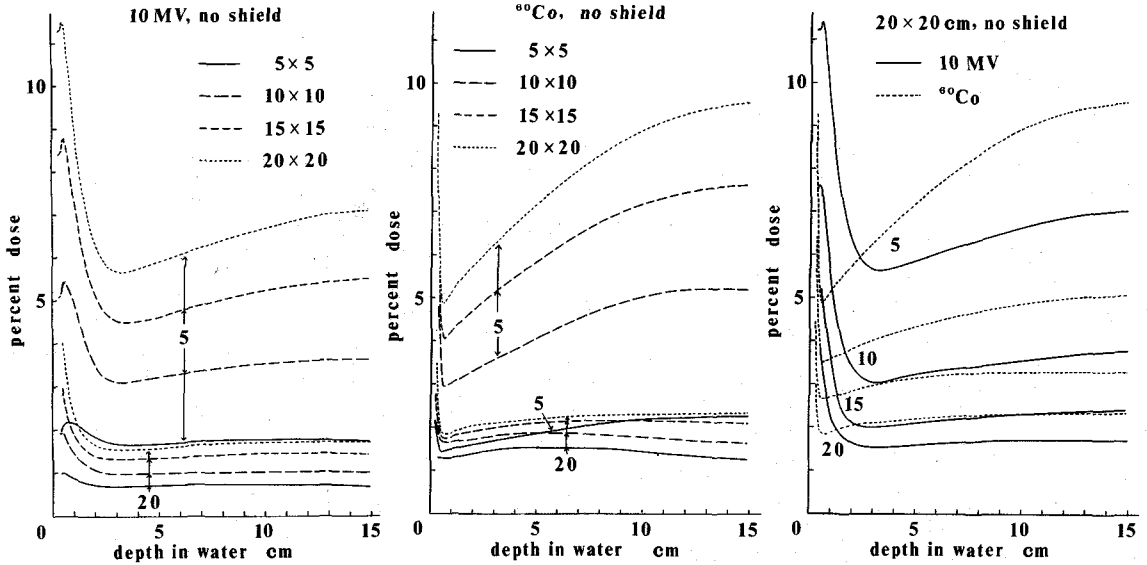


Fig. 5. The peripheral dose distributions on the lines parallel to the beam axis. Numbers in graphs are the distance in cm from field margin.

계산치를 Table 1에 비교해 두었다. Clarkson 방법을 의하여 10 MV X-선의 경우는 TMR,  $^{60}\text{Co}$ 의 경우에는 TAR 을 구하여 아래 식으로부터 심부선량을(percent depth dose, % DD)을 구하였다.

$$\%DD(d) = \text{TMR}(d) \times \left( \frac{\text{SSD} + d_m}{\text{SSD} + d} \right) \times 100$$

$$\%DD(d) = \frac{\text{TAR}(d)}{\text{BSF}(r_m)} \left( \frac{\text{SSD} + d_m}{\text{SSD} + d} \right)^2 \times 100$$

Clarkson 방법을 이용하여 계산한 주변선량이 주변선량측정치보다 작으며 그 차이는 1~10%였다.

## 2. 납판으로 차폐하는 경우

각 방사선에 대한 반가층의 두께의 납판(10 MV X선 : 1.5 cm,  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ 선 : 1.0 cm)으로 치료장치에서 오는 방사선의 일부를 차폐한 경우와 팬텀에서 오는 방사선의 일부를 차폐한 경우, 20×20 cm 크기의 조사면에 대해 수평방향의 주변선량분포가 Fig. C에 나타나 있다.

(1) 10 MV X-선의 깊이 2.5 cm, 5 cm 를 제외하고는 팬텀에서 오는 산란선등을 차폐한 경우가 치료장치에서 오는 산란선등을 차폐한 경우보다 차폐효과가 크다. (2) 팬텀에서 오는 산란선등의 차폐효과는 깊이가 깊을수록 크며, 그 결과로 남은 주변선량은 깊이가 깊을수록 작다. 특히 10 MV X-선의 경우 10 cm 또는 15 cm 깊이에서는 차폐물(납)로부터 멀어짐에 따라 주변선량이 처음에는 증가하는 경향을 보여주고 있지만,  $^{60}\text{Co}$ 의 경우는 대체로 감소하며 2~3%정도이다. (3) 치료장치에서 오는 방사선이 차폐된 양은 조사면에 가

까울수록 많다.

납판으로 산란선의 일부를 차폐한 경우 20×20 cm의 조사면에 대한 선축방향의 주변선량분포가 Fig. 7에 나타나 있다. (1) 치료장치에서 오는 산란선등을 일부 차폐했을 때 표면에서  $d_m$  사이의 차폐효과는 10 MV X-선의 경우 전자선분포양상이 없어질 정도로 현저하게 낮아져 1/4로 줄었지만,  $^{60}\text{Co}$ 의 경우는 조사면 밖 5 cm 위치에서 전자선분포양상이 뚜렷이 남아 있다.  $d_m$ 보다 깊은 곳에서는 조사면에서 같은 거리에서는 깊이와 거의 관계없이 일정량씩 주변선량이 감소되었다. (2) 팬텀에서 오는 산란선등의 일부를 차폐한 경우 깊이가 깊어질수록 조사면에 가까울수록 차폐효과가 컸다. 그 결과로 여분의 주변선량은 깊이가 깊어짐에 따라 감소하였다. 10 MV X-선에 비해  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ 선의 경우가 훨씬 차폐효과가 크며, 경제면으로부터 5 cm 지점에서 조차 여분의 주변선량이 3%이하로 되었다.

## 토 론

10 MV X-선의 경우 전자의 진행방향의 주변선량이 측면방향보다 높았으며 Fraass 등<sup>22)</sup>의 결과와 정성적으로 일치하였다. 방향에 따라 주변선량이 다른 이유는 전자진행방향에 있는 콜리메이터가 타겟에 가깝게 있다는 점과 이에 따라서 타겟을 대하는 각이 커서 X-선과 상부콜리메이터의 충돌이 하부콜리메이터보다 많기 때문이다.

표면과  $d_m$ (선축최대선량점의 깊이)사이의 주변선량

은 깊이가 깊어짐에 따라 감소하여  $d_m$  근처에서 최소가 되었으며, 감소율은 10 MV X선에 비해  $^{60}\text{Co}$ 이 더 컸다. 10 MV X선의 경우는 표면근처에서 축적현상도 보여주었으며 최대선량은 조사면의 크기(변의 길이)에 대체로 비례하였다. 이 결과는 다른 저자들<sup>22~26)</sup>의 결과와 잘 일치한다. Fraass와 van de Geijn<sup>22)</sup>는 10 MV, Mackie와 Scrimger<sup>24)</sup>는 15 MV, Horton<sup>26)</sup>은 18 MV, Bhatnagar<sup>23)</sup>는 42 MV, Starkschall 등<sup>25)</sup>은 고에너지의 X선의 주변선량분포에는 축적현상이 있음을 보고하였다. Fraass 등<sup>22)</sup>과 Horton<sup>26)</sup>, Starkschall<sup>25)</sup> 등은 조사면의 크기에 최대선량이 대체로 비례함을 보여주었으며, 빔 모디파이어 (beam modifier)를 이용했던 Scrimger와 Kolitsi<sup>27)</sup>도 같은 결과를 보고하였다.

깊이 15 cm 이내,  $d_m$  보다 깊은 부위에서 주변선량은 깊이가 깊어질수록 증가하는 정도가, 조사면 경계에서 멀수록 감소하는 정도가 점점 작아졌으며, 경계로부터 약 15 cm 이상 떨어진 곳에서는 깊이에 무관하게 거의 일정한 것을 Fig. 4와 Fig. 5로부터 볼 수 있다. Fraass와 Geijn<sup>22)</sup>과 Kase 등<sup>28)</sup>도 같은 결과를 보고했으며 Keller 등<sup>2)</sup>도 조사면 경계로부터 멀어질수록 주변선량이 감소한다는 것을 보여주었다.

주변선량의 측정치에 비해 Clarkson 방법에 의한 계산치가 낮았다. 다른 저자들<sup>30~34)</sup>의 것과는 차이가 있는 결과이다. 이와 같이 차이가 나는 이유는 Clarkson 방법으로 주변선량을 구할 때 치료장치로부터 온 산란선등을 완전히 제외하였기 때문이다. 예로서  $^{60}\text{Co}$ 의  $10 \times 10$  cm 조사면의 중앙에 5 cm 두께의 납으로  $4 \times 4$

cm 크기의 조사면이 차폐된 경우 선축장  $d_m$ 에서 선량을 구해 보자 차폐물의 투과율이 5% 정도이므로 선량은 적어도 5%는 되어야 할 것이다. 그러나 BSF를 고려하면 선량은

$$\frac{\text{BSF}(10) - \text{BSF}(5)}{\text{BSF}(10)} \times 100 = \frac{1.035 - 1.015}{1.035} \times 100 = 1.9\%$$

로서 투과율 보다도 오히려 작다.

팬텀에서 나온 산란선등에 의한 주변선량과 치료장 치등에서 나온 산란선등에 의한 주변선량의 정확한 관계를 보여주는 않지만 Fig. 6과 Fig. 7이 정성적인 관계는 보여주고 있다. 표면과  $d_m$  사이 선축과 평행한 선상의 최대선량깊이에서 주변선량은 약 3:1 정도로 치료장치에서 온 방사선에 의한 선량이 팬텀에서 온 산란선등에 의한 선량보다 많다. 그러나 깊이가 깊어짐에 따라 팬텀내 산란선등의 기여도가 점점 증가하여 오히려 치료장치등에서 온 산란선등에 의한 주변선량 보다 많아진다. 조사면으로부터 멀어짐에 따라 치료장 치등에서 온 산란선등에 의한 기여도는 증가하지만 팬텀에서 온 산란선등에 의한 기여도는 감소된다. 그러나 조사면의 경계로부터 충분히 먼 곳일지라도 치료장 치등에서 오는 선량이 팬텀에서 오는 선량과 비슷하다. 이와 같은 결과는 Fraass 등<sup>22)</sup>과 Svensson 등<sup>35)</sup>의 결과와 잘 일치한다.

Fig. 6과 Fig. 7은 임상적으로 의미있는 결론을 끌어낼 수 있게 한다. 조사면 밖의 표면선량을 줄이기 위해서는 10 MV X선의 경우는 반가층 이상의 두께의

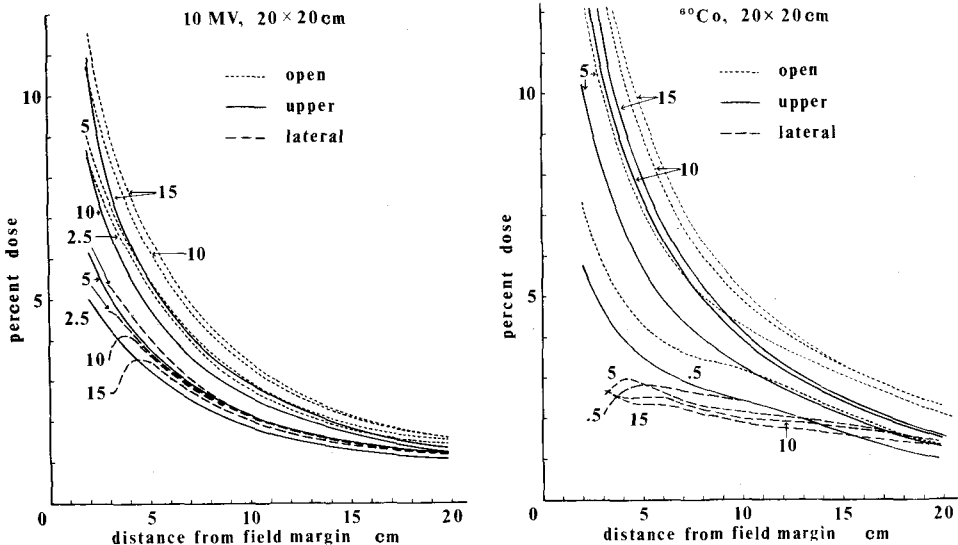


Fig. 6. Graphs comparing shielding effects by the lead plate of HVL thickness in lateral direction. Numbers near the lines are the depth in cm in water.

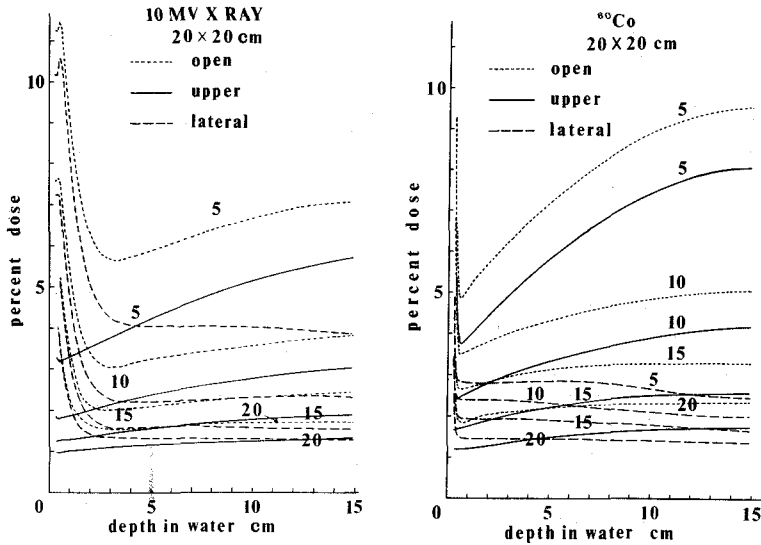


Fig. 7. Graphs comparing shielding effects by the lead plate of HVL thickness in the direction parallel to the beam axis. Numbers near the lines are the distance in from field margin.

남으로 치료장치 등에서 오는 산란선을 차폐하고  $^{60}\text{Co}$ 의 경우는 0.5 cm 두께의 bolus 를 덮어주는 것이 바람직하다. 조사면 밖에 있는 여성의 생식기관이나 태아의 피복을 줄이기 위해서는 남으로 차폐하는 것이 꼭 필요하다.

### 결 론

10 MV X선과  $^{60}\text{Co}$  7선 조사면 밖 주변선량을 실리콘 다이오드로 물팬텀속에서 반자동으로 측정하였다. 측정장치를 제외한 선량분포에 영향을 줄 어떤 것도 없는 경우와 치료장치등에서 오는 산란선 또는 팬텀에서 오는 산란선을 일부 차폐한 경우에 대해서 측정을 시행하였다. 측정으로부터 다음 결론을 얻었다.

1. 조사면의 경계로부터 20 cm 떨어진 곳에서 조사 주변선량이 0.7% 이상으로서 차폐가 필요하다.
2. 10MV X선의 정사각형 조사면의 경우 콜리메이터 때문에 전자가 속방향과 직각인 방향에서 주변선량 분포가 같지 않다.
3. 표면과  $d_m$  사이에서는 전자에 의한 선량분포를 볼 수 있는데 그 전자는 치료장치에서 발생된 것이다. 조사면 경계에서 5 cm 떨어진 곳에서 최대선량은 조사면의 변의 길이에 대체로 비례한다.  $d_m$ 의 깊이에서 주변선량은 대략 최소치이거나 최소치에 가깝다.
4. 주변선량은 방사선의 선질, 조사면의 크기, 조사면 경계로부터 거리, 깊이등에 의하여 영향을 받는데 그 중 조사면 경계로부터 거리가 가장 중요한 인자다.

5. 표면근처를 제외하고는 팬텀에서 온 방사선에 의한 선량과 그 외에서 온 방사선에 의한 선량은 주변선량에 거의 비슷하게 기여한다.

6. 조사면 밖의 표면선량을 감소시키기 위해서는 10 MV X선의 경우는 반가층 두께의 납으로,  $^{60}\text{Co}$ 의 경우는 0.5 cm에 상응하는 bolus 를 조사면 밖에 두는 것이 바람직하다.

7.  $d_m$  이상의 깊은 부위의 주변선량을 줄이기 위해서는 조사면 밖일지라도 납으로 차폐하는 것이 바람직하다.

### REFERENCES

1. Hall EJ: *Radiobiology for the Radiologist*. 2nd ed. Harper & Row. Hagerstown, Maryland, 1978:357-382
2. Pizzarello DJ, Witcofski RL: *Medical Radiation Biology*. 2nd ed. Lea & Febiger, Philadelphia, 1982:52-62
3. Meriam GR, Focht EF: *A clinical study of radiation cataracts and the relationship to dose*. *Am J Roentgenol* 77:759-785, 1957
4. Parsons JT, Fitzgerald CR, Ian Hood C, et al: *The effects of radiation on the eye and optic nerve*. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 9:609-622, 1983
5. Hill RP: *Response of mouse lung to irradiation*



- at different dose rates. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 9:1043-1047, 1983
6. Deeg HJ: *Acute and delayed toxicities of total body irradiation. Int J Radiat Oncol Biol Phys* 9:1933-1939, 1983
  7. Sandeman TF: *The effects of x irradiation on male human fertility. Br J Radiol* 39:901-907, 1966
  8. Lushbaugh CC, Casarett GW: *The effects of gonadal irradiation in clinical radiation therapy: A review. Cancer* 37:1111-1120, 1976
  9. Shalet SM, Beardwell CG, Morris Jones PH, et al: *Ovarian failure following abdominal irradiation in childhood. Br J Cancer* 33:655-658, 1976
  10. Hahn EW, Feingold SM, Nisce L: *Aspermia and recovery of spermatogenesis in cancer patients following incidental gonadal irradiation during treatment: A progress report. Radiology* 119:223-225, 1976
  11. Ash P: *The influence of radiation on fertility in man. Br J Radiol* 53:271-278, 1980
  12. Horning SJ, Hoppe RT, Kaplan HS, et al: *Female reproductive potential after treatment for Hodgkin's disease. N Engl J Med* 304:1377-1382, 1981
  13. Griem ML, Meier P, Dobben GD: *Analysis of the morbidity and mortality of children irradiated in fetal life. Radiology* 88:347-349, 1967
  14. Wrede DE, Dunn WL, El-Akkad S: *Dose to the fetus and ovaries during tangential irradiation of the breast. Appl Radiol*:76-77, 1980
  15. Totter JR, MacPherson HG: *Do childhood cancers result from prenatal X-rays? Health Phys* 40:511-524, 1981
  16. Mole RH: *The sensitivity of the human breast to cancer induction by ionizing radiation. Br J Radiol* 51:401-405, 1978
  17. Boice JD, Land CE, Shore RE, et al: *Risk of breast cancer following low-dose radiation exposure. Radiology* 131:589-597, 1979
  18. Land CE: *Low-dose radiation-A cause of breast cancer? Cancer* 46:868-873, 1980
  19. Favus MJ, Schneider AB, Stachura ME, et al: *Thyroid cancer occurring as a late consequence of head-and-neck irradiation. N Engl J Med* 294:1019-1025, 1976
  20. Modan B, Ron E, Werner A: *Thyroid cancer following scalp irradiation. Radiology* 123:741-744, 1977
  21. Linos A, Gray JE, Orvis AL, et al: *Low-dose radiation and leukemia. N Engl J Med* 302:1101-1105, 1980
  22. Fraass BA, vande Geijn J: *Peripheral dose from megavolt beams. Med Phys* 10:809-818, 1983
  23. Bhatnagar JP: *Secondary radiation from supervoltage accelerators its implications in patient protection. Br J Radiol* 50:449-450, 1977
  24. Mackie TR, Scrimger JW: *Contamination of a 15-MV photon beam by electrons and scattered photons. Radiology* 144:403-409, 1982
  25. Starkschall G, St George FJ, Zellmer DL: *Surface dose for megavoltage photon beams outside the treatment field(Abstract). Med Phys* 9:632, 1982
  26. Horton JL: *Dose in the buildup region outside the primary beam. Med Phys* 11:331-334, 1984
  27. Scrimger J, Kolitsi Z: *Scattered radiation from beam modifiers used with megavoltage therapy units. Radiology* 130:233-236, 1979
  28. Kase KR, Svensson GK, Wolbast AB, et al: *Measurements of dose from secondary radiation outside a treatment field. Int J Radiat Oncol Biol Phys* 9:1177-1183, 1983
  29. Keller B, Mathewson C, Rubin P: *Scattered radiation dosage as a function of X-Ray energy. Radiology* 111:447-449, 1974
  30. Johns HE, Cunningham JR: *The Physics of Radiology. 4th ed. Charles C Thomas, Springfield, Ill: 198:341-358*
  31. Khan FM, Levitt, SH, Moore VC, et al: *Computer and approximation method of calculating depth dose in irregularly shaped fields. Radiology* 106:433-436, 1973
  32. Cundiff JH, Cunningham JR, Golden R, et al: *A method for the calculation of dose in the radiation treatment of Hodgkin's disease. Am J Roentgenol* 117:30-44, 1973

33. Sharma SC, Williamson JF, Khan FM, et al: *Measurement and calculation of ovary and fetus dose in extended field radiotherapy for 10MV x rays. Int J Radiat Oncol Biol Phys* 7:843-846, 1981
34. Capone T, Karzmark CJ: *Measurement of 6MV x rays. III. Characteristics of leakage radiation. Br J Radiol* 41:227-230, 1968
35. Svensson GK, Kase KR, Chin LM, et al: *Dose to the opposite breast as a result of primary radiation therapy for carcinoma of the breast (Abstract). Int J Radiat Oncol Biol Phys* 7:1209, 1981
-