

# 전자선 에너지 및 조사야에 따른 유효선원 피부 간 거리 변화

고신의대 치료방사선과

양 칠 용 · 엄 하 용 · 정 태 식

— Abstract —

## Variation of Effective SSD According to Electron Energies and Irradiated Field Sizes

Chil Yong Yang, M.S., Ha Yong Yum, M.D. and Tae Sik Jung, M.D.

Department of Radiation Oncology and Physics, Kosin Medical College and Medical Center

It is known that fixed source to skin distance (SSD) cannot be used when the treatment field is sloped or larger than the size of second collimator in electron beam irradiation and inverse square law using effective SSD should be adopted. Effective SSDs were measured in different field sizes in each 6, 9, 12, 15 and 18 MeV electron energy by using NELAC 1018D linear accelerator of Kosin Medical Center.

We found important parameters of effective SSD.

1. Minimum effective SSD was 58.8 cm in small field size of 6×6 cm and maximum effective SSD was 94.9 cm in large field size of 25×25 cm, with 6 MeV energy. It's difference was 36.1 cm. The dose rate at measuring point was quite different even with a small difference of SSD in small field (6×6 cm) and low energy (6 MeV).

2. Effective SSD increased with field size in same electron energy.

3. Effective SSDs gradually increased with the electron energies and reached maximum at 12 or 15 MeV electron energy and decreased again at 18 MeV electron energy in each identical field size.

And so the effective SSD should be measured in each energy and field size for practical radiotherapy.

Key Words: SSD Field size, Electron energy

### 서 론

전자선 치료시 electron applicator에 의해 치료 부위의 조사야가 한정되어 진다. 광자선의 경우 일차 코리메타(Jaw)에 의해 조사부위의 조사야가 결정되지만 전자선의 경우 보조 코리메타(electron applicator)에 의해 결정된다<sup>1)</sup>. 이 보조 코리메타를 사용하여 전자선을 조사할 경우 일정한 거리 즉 정해진 선원 피부 거리(SSD)에서 피부면에서의 조사야가 4×4, 6×6, 10×10, 15×15, 20×20, 25×25 등과 같이 몇가지 조사야에만 가능하도록 한정된 갯수의 보조 코리메타만 구비된다.

그러나 실제 전자선 치료에서는 다양한 조사야가 요구되기 때문에 정해진 피부간 거리를 변화 시킴으로써 실제 다양한 조사야에 맞도록 선원 피부간 거리를 조정할 필요가 있으며 조사면이 코리메타 하단면에 대해서 심히 경사진 경우 등에서는 조사야내에서 선원 피부간 거리는 일정하지 못하다. 이런 경우 광자선(X 또는 r) 선량 계산에서는 기계적으로 정해진 선원 피부간 거리를 이용한 거리 역자승 법칙이 그대로 적용되지만 전자선 선량 계산은 정해진 피부간 거리를 그대로 적용할 수 없다<sup>2)</sup>.

이와 같은 이유는 전자선의 조사중 산란막(scattering foils)과 코리메타 표면으로부터의 산란 때문에 전자선이 가상 선원으로부터 퍼지는 것 같은 현상 때문이다<sup>2,3)</sup>.

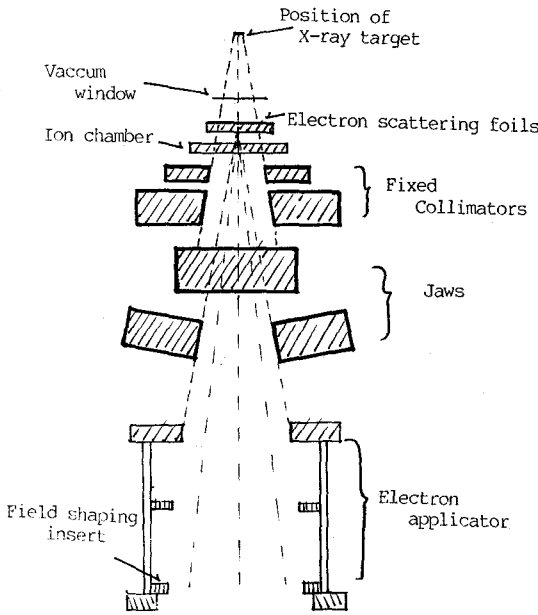


Fig. 1. Collimator system.

이상과 같이 선원 피부간 거리의 변화가 요구되는 선량 계산시의 문제점을 해결하기 위하여 거리 역자승법이 적용될 수 있는 가상 선원과 피부와 거리인 유효 선원 피부간 거리( $F_{eff}$ )를 찾아야 한다<sup>2-6)</sup>.

그러나 전자선 에너지에 따른 유효 SSD의 변화, 조사야에 따른 유효 SSD의 변화관계 그리고 각 변수에 따른 유효 SSD의 변화정도에 관한 자료가 있으나 부분적인 것이어서 실제 문제에 있어서는 활용이 어렵고 전체적인 이해가 필요하다. 이에 저자들은 선형 가속기 18 MeV에서 발생되는 전자선 에너지 6-18 MeV에 대하여 유효선원 피부간 거리를 측정 조사하고, 전자선 에너지와 유효선원 피부간 거리관계 그리고 조사야와 유효선원 피부간 거리의 관계를 알아보하고자 본 실험을 시행하였다.

재료 및 방법

측정에 이용된 선형 가속기는 고신 의료원에서 사용 중인 NELAC 1018D로서 6, 9, 12, 15, 18 MeV의 5개의 에너지를 가진 장비이다. 보조 코리메타는 강화 합성지수로 된 각주 비슷한 형태로서 내측 양단과 중간에 금속 테가 둘러져 있고 피부 쪽 하단에는 금속의 field

Table 1. Depth of Reference Point (dm)

Energy of electron	Depth (mm)
6 MeV	12.0
9 MeV	18.0
12 MeV	18.5
15 MeV	18.0
18 MeV	17.0

shaping insert가 있어서 이 금속 테들에 의해 조사야 따른 장비의 출력변화를 최소화 시키고 있다(Fig. 1).

NELAC 1018 D 선형 가속기는 선원에서 보조 코리메타 하단까지 거리가 95 cm이고 선원 피부간 거리 100 cm로서 보조 코리메타 하단과 피부면의 공간이 5 cm 유지하도록 하여 사용되도록 설계된 장비이기 때문에 각 에너지마다 6×6, 10×10, 15×15, 20×20, 25×25의 조사야로 설정하여 각 조사야마다 아프리카타 하단과 피부면 간 거리를 5, 7, 10, 15, 20 cm 변화시키면서 각각의 선량율을 측정하여 유효 선원 피부간 거리를 조사하였다.

40×50×50 cm의 팬텀(water phantom)을 사용하였고, 물 팬텀내에 0.6 ml이온 챔바를 넣어 Ionex 2500/3 방사선량 측정기에 연결하여 선량을 측정하였다.

각 에너지 및 조사야의 측정점 깊이는 최대선량 깊이(dm)에서 측정하였으며 Table 1과 Fig. 2와 같다<sup>6,7)</sup>.

1. 유효 선원 피부 간 거리 측정

유효 선원피부 간 거리( $F_{eff}$ )를 구하기 위해 물 팬텀내 각 에너지의 최대 선량 깊이(dm)에 이온 챔바를 두고 보조 코리메타 하단 5 cm 점에서 피부까지 거리(Gap g)를 0 cm에서 15 cm까지 (5+0 cm에서 5+15 cm) 달리하면서 측정했다.

$I_0$ 를 Gap 0 측정치,  $I$ 를 Gap g 때의 측정치라 하고 전자선이 거리 역자승 법칙이 성립한다면

$$\frac{I_0}{I} = \left( \frac{F_{eff} + dm + g}{F_{eff} + dm} \right)^2 \text{ 혹은 } \sqrt{\frac{I_0}{I}} = 1 + \left[ \frac{1}{F_{eff} + dm} \right] \times g \dots \dots \dots (1)$$

식이 성립된다.

$\sqrt{\frac{I_0}{I}}$ 를 g의 함수로 하여 그래프를 그리면 Fig. 3과 같이 직선이 되며 함수의 기울기는

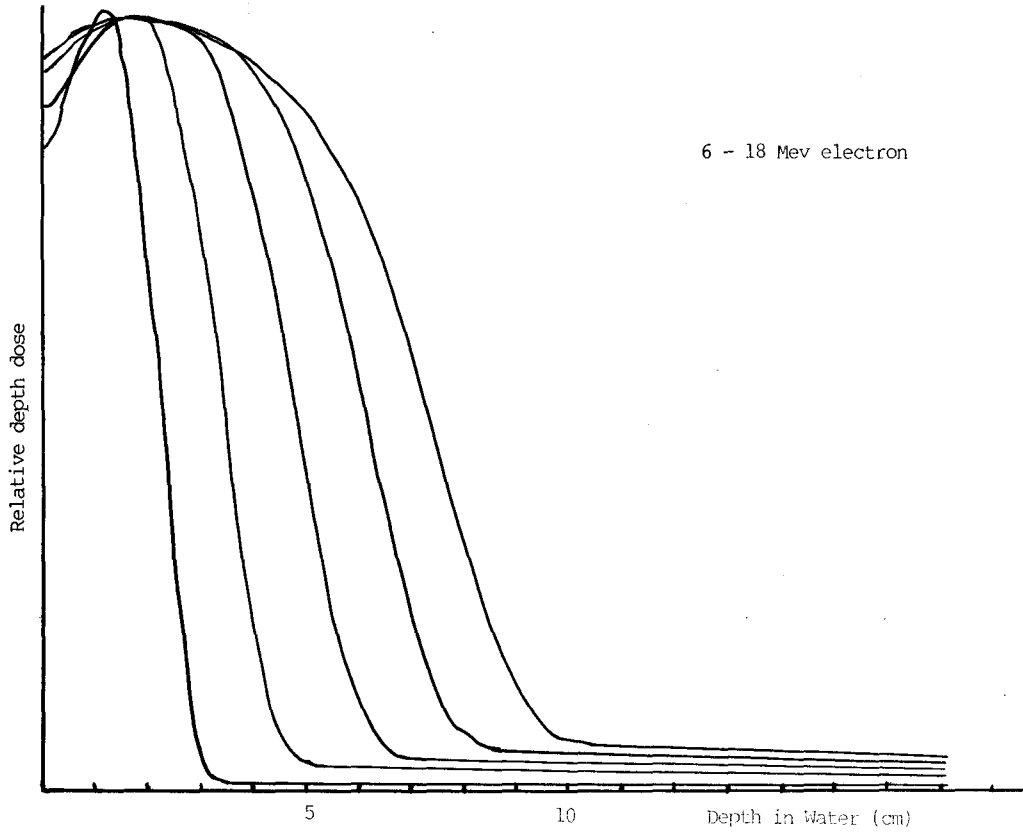


Fig. 2. Central axis depth dose distribution.

$$\frac{1}{F_{eff} + dm} \dots\dots\dots (2)$$

이 되어

$$F_{eff} = \frac{1}{\text{Slope}} - dm \dots\dots\dots (3)$$

으로 구해진다. Table 2-6 결과를 얻기 위해 M.U. (monitor unit) ; 100으로 조사하였다.

결과 및 고찰

전자선 에너지를 6 MeV로 선택하고 6×6, 10×10, 15×15, 20×20, 25×25 cm 각 조사야에 대하여 Gap g를 0, 2, 5, 10, 15 cm로 달리하면서 물 팬텀내 dm 깊이에서의 선량을 및 I<sub>0</sub>/I 제곱근 값을 얻은 결과는 Table 2와 같다. Table 2에 나타난 결과를 이용하여 Gap g를 횡축에 √I<sub>0</sub>/I 물 종축에 표시하여 그래프

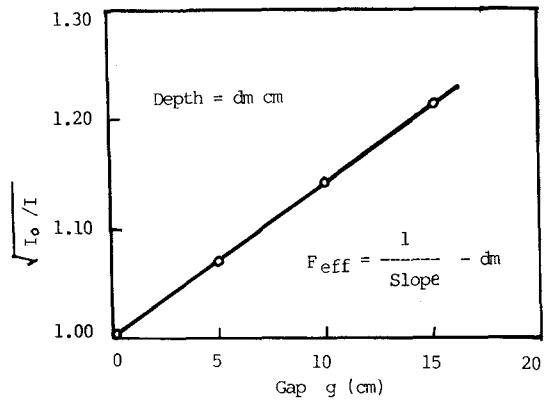


Fig. 3. Determination of effective SSD.

를 그리면 Fig. 4와 같이 나타나고 (3)식에 의해 6 MeV의 조사야 6×6 cm일때 유효 선원 피부간 거리는 58.8 cm, 10×10 cm일때 71.3 cm, 15×15 cm일때 79.0

cm, 20×20 cm일때 80.3 cm, 25×25 cm일때 94.9 cm 등으로 된다.

같은 방법으로 9 MeV 전자선에 대한 각 조사야 및 Gap에 따른  $\sqrt{I_0/I}$ 의 결과는 Table 3, 12 MeV 전자선에 대한 결과는 Table 4, 15 MeV에 대한 결과는 Table 5 그리고 18 MeV에 대한 결과는 Table 6에 나타난 바와 같다. 그리고 위의 Table 2-Table 6의 측정치를 (3)식으로 계산한 유효 선원 피부간 거리는 Table 7과 같다. Table 7에서 나타난 바와 같이 동일한 에너지라도 조사야가 커질때 유효 선원 피부간 거리는 증가

한다.

이런 현상은 Faiz M. Khan<sup>3)</sup>이 Toshiba linear accelerator (LMR 13)을 이용한 실험에서도 같은 결과를 나타내고 있어서 본 실험결과와 대체로 일치하는 것으로 생각되나 Khan의 실험은 단지 10 MeV 에너지 결과만 보고하고 있어서 전체적인 비교는 할 수 없다.

본 실험에서는 에너지가 12 MeV 이상 일때는 유효 선원 피부간 거리 증가폭이 비교적 작은데 비해 에너지가 낮을 수록 조사야 변화에 따른 유효 선원 피부간 거리의 변화가 큰 값으로 증가한다. 6 MeV 전자선의 경우

**Table 2.** Dependence of Dose Rate of 6 MeV Electron on Field Size and SSD

Gap (cm)	Field size				
	6 x 6	10 x 10	15 x 15	20 x 20	25 x 25
0	86 (1.000)	102 (1.000)	110 (1.000)	115 (1.100)	118 (1.000)
2	81 (1.030)	97 (1.025)	105 (1.023)	110 (1.022)	112 (1.026)
5	75 (1.070)	90 (1.065)	99 (1.054)	103 (1.056)	107 (1.050)
10	63 (1.168)	79 (1.136)	86 (1.130)	91 (1.120)	94 (1.106)
15	54 (1.261)	70 (1.207)	78 (1.187)	82 (1.184)	86 (1.156)

( ) :  $\sqrt{I_0/I}$

**Table 3.** Dependence of Dose Rate of 9 MeV Electron on Field Size and SSD

Gap (cm)	Field size				
	6 x 6	10 x 10	15 x 15	20 x 20	25 x 25
0	99 (1.000)	110 (1.000)	115 (1.000)	119 (1.000)	123 (1.000)
2	94 (1.025)	104 (1.028)	109 (1.021)	114 (1.021)	117 (1.025)
5	86 (1.072)	97 (1.064)	102 (1.061)	107 (1.054)	110 (1.057)
10	75 (1.148)	86 (1.130)	92 (1.118)	97 (1.107)	100 (1.109)
15	66 (1.224)	77 (1.195)	83 (1.177)	88 (1.162)	91 (1.162)

( ) :  $\sqrt{I_0/I}$

**Table 4.** Dependence of Dose Rate of 12 MeV Electron on Field Size and SSD

Gap (cm)	Field size				
	6 x 6	10 x 10	15 x 15	20 x 20	25 x 25
0	102 (1.000)	107 (1.000)	110 (1.000)	114 (1.000)	114 (1.000)
2	96 (1.029)	100 (1.032)	105 (1.022)	109 (1.022)	109 (1.021)
5	89 (1.071)	95 (1.063)	100 (1.051)	103 (1.054)	103 (1.049)
10	79 (1.133)	85 (1.120)	88 (1.117)	92 (1.112)	92 (1.113)
15	69 (1.216)	76 (1.188)	79 (1.182)	84 (1.167)	84 (1.161)

( ) :  $\sqrt{I_0/I}$

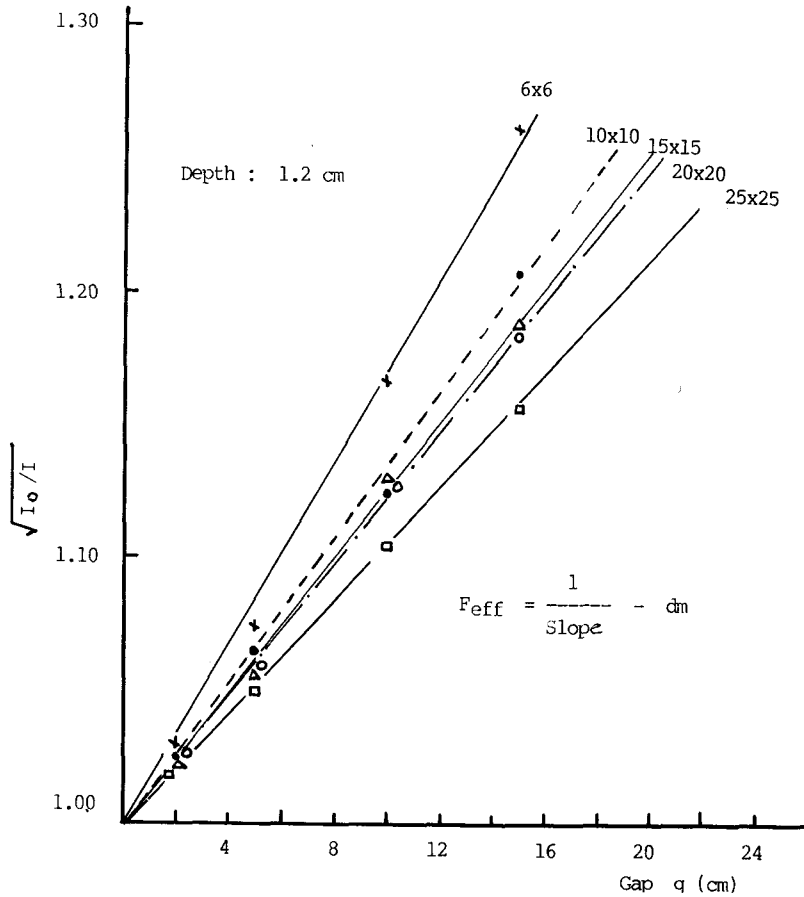


Fig. 4. Determination of effective SSD of 6 MeV electron.

Table 5. Dependence of Dose Rate of 15 MeV Electron on Field Size and SSD

Gap (cm)	Field size				
	6 x 6	10 x 10	15 x 15	20 x 20	25 x 25
0	118 (1.000)	122 (1.000)	118 (1.000)	119 (1.000)	118 (1.000)
2	110 (1.035)	111 (1.048)	112 (1.026)	113 (1.025)	112 (1.025)
5	102 (1.075)	104 (1.083)	106 (1.055)	108 (1.051)	105 (1.061)
10	90 (1.145)	93 (1.145)	95 (1.114)	97 (1.107)	96 (1.102)
15	78 (1.229)	85 (1.198)	86 (1.171)	88 (1.165)	88 (1.160)

( ):  $\sqrt{I_0/I}$

조사야 6×6 cm때 값 58.8 cm에 비해 25×25 cm일때는 94.9 cm로서 36.1 cm 차이를 나타내어 가장 심한 변화를 보여주고 있다.

이 결과는 에너지가 낮은 전자선을 사용하고 조사야

가 작은 경우는 적은 SSD변화에도 측정점에서 큰 선량을 변화를 가져와 선량 계산에 중요한 요인으로 취급되어야 한다. 조사야가 일정하고 에너지가 변할 경우 유효 선원 피부간 거리 변화는 중간 에너지 값에서 증가

**Table 6.** Dependence of Dose Rate of 15 MeV Electron on Field Size and SSD

Gap (cm)	Field size				
	6 x 6	10 x 10	15 x 15	20 x 20	25 x 25
0	117 (1.000)	119 (1.000)	115 (1.000)	109 (1.000)	106 (1.000)
2	109 (1.036)	111 (1.035)	106 (1.041)	101 (1.022)	100 (1.031)
5	102 (1.071)	104 (1.069)	100 (1.072)	98 (1.055)	97 (1.046)
10	89 (1.146)	93 (1.131)	91 (1.124)	90 (1.103)	85 (1.118)
15	79 (1.216)	81 (1.212)	83 (1.177)	80 (1.164)	79 (1.156)

$$(\quad): \sqrt{I_0/I}$$

**Table 7.** Dependence of Feff on Field Size (NELAC - 1018 D)

Field size (cm)	Energy (MeV)				
	6	9	12	15	18
6 x 6	58.8	65.2	71.8	66.3	67.7
10 x 10	71.3	75.1	77.0	74.1	69.1
15 x 15	79.0	82.9	84.8	86.0	75.0
20 x 20	80.3	90.8	87.6	89.0	82.0
25 x 25	94.9	90.8	89.0	91.0	82.3

**Table 8.** Dependence of Feff of Incidence Energy (NELAC - 1018 D)

Energy (MeV)	Field size (cm)				
	6 x 6	10 x 10	15 x 15	20 x 20	25 x 25
6	58.8	71.3	79.0	80.3	94.9
9	65.2	75.1	82.9	90.8	90.8
12	71.8	77.0	84.8	87.6	89.0
15	66.3	74.1	86.0	89.0	91.0
18	67.7	69.1	75.0	82.5	82.3

하다가 다시 감소함을 보여주고 있는데, Khan은 8 MeV, 10 MeV, 13 MeV, 3종류에너지에 대하여 10 cm 직경조사야만 측정하여 점진적으로 약간씩 증가한다고 하였다(Table 8).

그러나 특별히 설계된 코리메타의 형태는 전자선 특성에 영향을 크게 미치므로<sup>15)</sup> 이상의 결과를 다른 장비에도 얻을 수 있을 것인지는 실제로 실험을 시행하여야 할 것이다.

## 결 론

전자선 치료시 치료 표면 경사시 경우와 2차 코리메

타 규격 외 조사야 치료시 정해진 SSD가 변화게 되고 이때 계산상 유효선원 피부간 거리로써 거리 역자승 법칙을 적용하여야 한다. 이 유효선원 피부간 거리를 실험하여 얻기 위해 고신 의료원에서 사용중인 NELAC 1018 D 선형 가속기의 에너지 및 조사야별 각각의 유효선원 피부간 거리를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 전자선 에너지 6, 9, 12, 15, 18 MeV의 각 에너지의 조사야 6×6, 10×10, 15×15, 20×20, 25×25 cm를 각각 달리하여 측정된 유효선원 피부간 거리는 Table 7과 같다.

2. 각 유효선원 피부간 거리의 최대치는 94.9 cm 최

저치는 58.8 cm로서 36.1 cm 차이까지 차이가 컸다. 따라서 전자선 선량 계산시 유효 SSD은 매우 중요한 인자로 취급되어져야 함을 나타냈다.

3. 동일 에너지인 경우 조사야가 커지면 유효선원 피부간 거리는 커진다.

4. 동일한 조사야인 경우 유효선원 피부간 거리는 중간 에너지에서 증가하고 에너지가 커지면 다시 감소한다.

5. 유효 SSD는 각각의 전자선 에너지, 조사야마다 실측하여 사용되어야 한다.

#### REFERENCES

1. 강위생 : 전자선 조사면과 선량분포. 대한방사선의학회지 16:678-684, 1980
2. Khan FM: Electron Beam Therapy. "In" Physics of radiation Therapy. G.S. Williams & Wilkins, 1984, pp 299-350
3. Khan FM, Sewchand W, Levitt SH: Effect of air space on depth dose in electron beam therapy. Radiology 126:249-251, 1978
4. Okumura Y: Correction of dose distribution for air space in high-energy electron beam therapy. Radiology 103:183-186, 1972
5. Biggs PJ, Boger AL, Doppke KP: Electron dosimetry of irregular fields on the clinac 18. Int J Rad Oncol Biol Phys 5:433-440, 1979
6. 추성실, 최병숙 : 고 에너지 전자선의 경사 조사로 인한 선량분포의 보상. 대한방사선의학회지 Vol 12, 1976, pp 92-96
7. ACTA Radiologica: Procedures in external radiation therapy dosimetry with electron and photon beam with maximum energies between 1 and 50 MeV. Acta Radiologica Oncology Radiation Physics 1979