

전자선의 흡수선량과 output factor에 대한 field size의 효과

고신대학 의학부 의예과

김 수 길

The Field Size Effect on Electron Beam Depth Dose and Output Factors

Su Kil Kim

Department of Premedical Sciences, Kosin Medical College, Pusan, Korea

= Abstract =

Linac 18 medical linear accelerator produces electron beams of 6, 9, 12, 15, and 18 MeV. We measured electron beam depth dose and output factors for various fields using an ionization chamber. The electron fields were 5, 7, 10, 12, 15, and 20cm squares.

Several features common to all beam energies can be observed as the area of the treatment field becomes smaller. They are (1) the depth of maximum dose(d_{max}) shift towards the surface, (2) the depth of the 80% isodose line becomes smaller, (3) the fall-off region of the curve becomes less steep, (4) the practical range of the beam(R_p) remains constant.

Electron beam output factors as a function of field size are shown in the graphs and the tables generated from these measurements

I. 서론

Field size의 변화에 따르는 electron beam의 depth dose 변화량은 field의 크기가 electron의 practical range보다 아주 큰 경우에는 거의 무시할 정도이나 field의 크기가 practical range 정도의 크기이거나 그 보다 작을 경우에는 각 field size의 변화에 따르는 depth dose의 변화량은 매우 크다.¹⁾

Electron beam의 output factor는 reference field size의 중심축에서의 maximum dose에 대한 어떤 특

정한 field size의 중심축에서의 maximum dose의 비로써 정의된다. Field size의 변화에 따르는 output factor의 변화폭은 electron beam이 high energy의 photon beam보다 더 크다. Output factor의 변화량은 maximum dose, 즉 d_{max} 의 깊이에서 산란된 radiation의 상대적인 기여도에 의해서 결정된다. Photon beam의 경우 dose량은 primary scattered photon beam과 secondary scattered photon beam에 의한 것으로 구분할 수 있다. Output factor의 변화에 기여하는 성분은 주로 secondary scattered beam이다. Photon beam의 경우에 primary photon beam보다

secondary photon beam이 훨씬 작으므로 output factor의 field size에 대한 의존도는 매우 작다. Electron의 경우에 d_{max} 에서의 모든 dose는 multiply scattered electron에 의한 것이므로 dose량에 primary scattered electron 성분은 전혀 없다. 따라서 electron beam의 output factor의 field size에 대한 의존도는 photon beam보다 훨씬 크다.

Output factor의 변화는 주로 phantom surface와 electron source 사이에서 산란된 electron에 의해서 주어지게 된다. 반면에 depth dose 곡선의 모양은 secondary collimator와 phantom surface 사이에서 산란된 electron에 의해서 더 많이 결정된다. 따라서 field size에 의존하는 산란된 양은 collimator system의 구조에 따라서 아주 큰 영향을 받는다. 이에 관한 연구로는 Biggs, Goede, Choi 등이 Clinac 18을 가지고 한 것이 있으며 Almond¹⁾와 Almeida²⁾, Mills 등은 Sagittaire와 Therac 20을 가지고 연구하였다.

본 논문에서는 Linac 18을 이용하여 field size에 의존하는 depth dose와 output factor를 측정하였다.

II. 이론

d_{max} 에서의 electron flux는 먼저 source로부터 primary collimator까지 나아간 electron flux에 대해 계산하고 그 다음 primary collimator에서 secondary collimator까지 그리고 최종적으로 secondary collimator에서 d_{max} 까지의 electron flux를 계산함으로써 구할 수 있게 된다.

한 횡단면으로부터 다음 면까지 electron flux가 진행되는 동안 electron beam은 그 initial 면에서는 pencil beam의 다발로 이루어져 있다고 가정한다. Pencil beam은 그 평면 내의 특정한 지점에서 가상의 미소 직사각형 $\delta X \delta Y$ slit을 통과하는 electron으로 정의된다. 그러한 pencil beam의 lateral spreading은 Fermi Eyges의 Electron Multiple Coulomb Scattering (MCS) 이론에 의해서 계산되어진다.

Collimator는 실제의 collimator의 중심면에 위치하며 무한히 얇은 이상적인 것으로 가정한다. 따라서 collimator의 벽에 의한 산란은 무시되며 이것은 나중에 다시 고려되어야 한다.

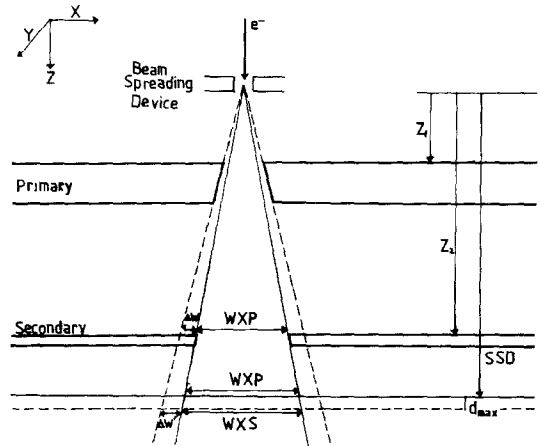


Fig. 1. Schematic of the variable collimation system of Linac 18.

Fig.1에 그려진 monoenergetic electron beam은 가속기의 진공 속을 통과한 뒤 얇은 exit window와 scanning magnetic field 혹은 scattering foil과 같은 electron spreading device와 공기층을 거쳐서 primary collimator에 도달하게 된다. Primary collimator에서의 flux는 균일하고 field size에는 무관하다. Primary collimator에 도달한 electron beam은 pencil beam의 다발 형태로서 다시 secondary collimator로 나아가게 된다. Primary collimator Z_1 면에서 나온 pencil beam 다발의 secondary collimator(Z_2)에서의 flux distribution은 Fermi Eyges theory에 의해 다음과 같이 주어진다. 즉, 만약 (X', Y') 에 있는 미소면적 $\delta X \delta Y$ 을 통과하는 electron이 모두 parallel하고 또 Z_1 평면에 수직하다면 Z_2 면에서의 flux distribution은 다음과 같다.

$$(1) F(X, Y, Z_2) =$$

$$\frac{1}{2\pi\sigma_p^2} \exp \left[-\frac{(X-X')^2 + (Y-Y')^2}{2\sigma_p^2} \right]$$

여기서 σ_p 는 Z_2 면에 사영된 Gaussian distribution의 rms이다. 즉,

$$(2) \sigma_p^2 = \sigma_x^2 = \frac{1}{2} \int_{Z_1}^{Z_2} (Z_2 - Z)^2 \left(\frac{d\sigma_{MCS}^2}{dZ} \right) dZ$$

여기서 $\frac{d\sigma_{mcs}}{dZ}$ 은 Z지점에서의 mean electron energy와 투과물질(여기서는 공기)에 의해서 계산되어지는 angular scattering power이다. electron이 primary collimator에 도달하기 전에 이미 산란이 실제적으로는 생기기 때문에 미소면적 $\delta X \delta Y$ 를 통과하는 electron의 실제적인 mean direction은 Gaussian 분산을 하게 된다. 이러한 pencil beam의 분산은 그들이 없다고 가정하고 앞서 구한 rms에 더해져야 한다. 따라서 $\sigma_p^2 = \sigma_x^2 + \sigma_{ex}^2 (Z_2 - Z_1)^2$ 로 수정된다. 여기서 σ_{ex} 는 pencil beam의 projected angular distribution에 대한 rms이다. 이 angular rms σ_{ex} 는 beam spreading device와 중간매질의 MCS에 기인한 것이다. Secondary collimator에서의 flux distribution은 primary collimator를 통과하는 모든 pencil beam으로부터의 기여가 전부 합해져서 이루어진다. Inverse square 형태의 입사를 고려하면 flux distribution은 다음과 같이 주어진다.

$$(3) \Phi_s(X, Y, Z_2) \propto \frac{1}{Z_2^2} \int_{-\left(\frac{WXP}{2} + \Delta W\right)}^{\left(\frac{WXP}{2} + \Delta W\right)} dX' \int_{-\left(\frac{WXP}{2} + \Delta W\right)}^{\left(\frac{WXP}{2} + \Delta W\right)} dY' \frac{1}{2\pi\sigma_p^2} \exp \left[-\frac{(X - X')^2 + (Y - Y')^2}{2\sigma_p^2} \right]$$

여기서 WXP, WYP는 SSD에서 field size가 WX, WY인 secondary collimator 윗면의 X, Y 방향으로의 넓이이다. Flux distribution function Φ_s 는 Standard Error Function ERF를 이용하여 다시 줄여서 다음과 같이 썻어진다.

$$(4) \Phi_s(X, Y, Z_2) \propto \frac{1}{Z_2^2} \left\{ \text{ERF} \left[\frac{\frac{WXP}{2} + \Delta W - X}{\sqrt{2}\sigma_p} \right] + \text{ERF} \left[\frac{\frac{WXP}{2} + \Delta W + X}{\sqrt{2}\sigma_p} \right] \right\} \times$$

$$\left\{ \text{ERF} \left[\frac{\frac{WYP}{2} + \Delta W - Y}{\sqrt{2}\sigma_p} \right] + \text{ERF} \left[\frac{\frac{WYP}{2} + \Delta W + Y}{\sqrt{2}\sigma_p} \right] \right\}$$

여기서 ERF는 다음과 같이 정의된다.

$$\text{ERF}(X) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^X e^{-t^2} dt$$

$d_{\max}$ 에서의 flux distribution은 secondary collimator에서의 개개의 pencil beam flux의 합으로 주어지는데 이때 각각의 pencil beam의 $d_{\max}$ 에서의 기여도는 relative strength $\Phi_s(X, Y, Z_2)$ 에 의해서 결정된다. 따라서 사각형의 collimator의 경우에는 중심축에서의 flux는 다음과 같다.

$$(5) \Phi(0, 0, d_{\max}) \propto \left(\frac{Z_2}{\text{SSD} + d_{\max}} \right)^2 \times \int_{-\frac{WXS}{2}}^{\frac{WXS}{2}} dX' \int_{-\frac{WYS}{2}}^{\frac{WYS}{2}} dY' \Phi_s(X', Y', Z_2) \frac{1}{2\pi\sigma_s^2} \exp \left[-\frac{(X'^2 + Y'^2)}{2\sigma_s^2} \right]$$

여기서 WXS, WYS는 secondary collimator의 $d_{\max}$ 깊이에서의 field size이고 σ_s 는 σ_p 와 유사한 projected gaussian distribution의 rms이다. Secondary collimator에 입사하는 flux는 거의 균일하므로 대체적으로 $\Phi_s(X, Y, Z_2) = \Phi_s(0, 0, Z_2)$ 로 쓸 수가 있다. 따라서 $d_{\max}$ 에서의 flux distribution은 다음과 같이 줄여서 쓴다.

$$(6) \Phi(0, 0, d_{\max}) \propto \frac{1}{(\text{SSD} + d_{\max})^2} \left\{ \text{ERF} \left[\frac{\frac{WXP}{2} + \Delta W}{\sqrt{2}\sigma_p} \right] \cdot \text{ERF} \left[\frac{\frac{WYP}{2} + \Delta W}{\sqrt{2}\sigma_p} \right] \right\}.$$

$$\times \left\{ \text{ERF} \left[\frac{WXS}{2\sqrt{2} \sigma_s} \right] \text{ERF} \left[\frac{WYS}{2\sqrt{2} \sigma_s} \right] \right\}$$

Field size에 따르는 depth dose curve의 변화는 electron의 energy가 클수록 더 크게 나타나며 field의 크기가 secondary collimator면으로부터 나오는 pencil beam의 rms보다 작을 때 더 뚜렷하게 나타난다. 또 field size가 대체적으로 작은 경우에는 field의 size가 작을수록 $d_{\max}$ 의 위치가 중심쪽으로 이동하게 된다. $d_{\max}$ 에서의 dose는 flux distribution Φ (O.O. $d_{\max}$)에 correction factor를 적용시켜서 구한다. Hogstrom과 Werner가 다음과 같이 유도하였다.

$$(7) CF = \left[\frac{D_0^{WXO}(O,O,d_{\max}^{WX,WY})}{D_0^{WXO}(O,O,d_{\max}^{WXO})} \right] \times \left[\frac{\text{ERF} \left(\frac{WXOS}{2\sqrt{2} \sigma_0(d_{\max}^{WX,WY})} \right)^{-2}}{\text{ERF} \left(\frac{WXOS}{2\sqrt{2} \sigma_0(d_{\max}^{WXO})} \right)^{-2}} \right] \times \left[\frac{(SSDO + d_{\max}^{WX,WY})^2}{(SSDO + d_{\max}^{WXO})^2} \right]$$

여기서 D_0^{WXO} 는 한 변의 넓이가 WXO 인 기준이 되는 reference square field 중심축에서의 depth dose이고 σ_0 는 reference field의 σ_s 이다. SSDO는 reference field의, source에서 water phantom의 표면까지의 거리이고 $d_{\max}$ 는 reference field의 maximum dose이다. Correction factor를 flux distribution에 적용시켜서 maximum dose를 구하면 다음과 같다.

$$(8) D_{\max}^{WX,WY}(O,O,d_{\max}^{WX,WY}) \propto \left(\frac{1}{SSD + d_{\max}^{WX,WY}} \right)^2 \left\{ \text{ERF} \left[\frac{\frac{WXP}{2} + \Delta W}{\sqrt{2} \sigma_p} \right] \cdot \text{ERF} \left[\frac{\frac{WXP}{2} + \Delta W}{\sqrt{2} \sigma_p} \right] \right\} \times \left\{ \text{ERF} \left[\frac{WXS}{2\sqrt{2} \sigma_s} \right] \text{ERF} \left[\frac{WYS}{2\sqrt{2} \sigma_s} \right] \right\} \times \left\{ D_0^{WXO}(O,O,d_{\max}^{WXO}) \left[\text{ERF} \left(\frac{WXOS}{2\sqrt{2} \sigma_0(d_{\max}^{WXO})} \right) \right]^{-2} (SSDO + d_{\max}^{WXO})^2 \right\}$$

첫째 항은 inverse square factor이고, 둘째 항은 중심축의 산란에 대한 primary collimator의 영향을 나타내고, 셋째 항은 secondary collimator의 중심축에 대한 산란효과를 나타낸다. 네번째 항은 $d_{\max}$ 의 이동에 따르는 maximum dose에 대한 영향을 나타낸다. Mills'에 의하면 output factor는 다음과 같이 주어진다.

$$(9) OF^{WX,WY} = \left\{ \frac{\text{ERF} \left(\frac{WXP/2 + \Delta W}{\sqrt{2} \sigma_p} \right) \text{ERF} \left(\frac{WYP/2 + \Delta W}{\sqrt{2} \sigma_p} \right)}{\left[\text{ERF} \left(\frac{WXOP/2 + \Delta W}{\sqrt{2} \sigma_p} \right) \right]^2} \right\} \times \left\{ \frac{\left[\text{ERF} \left(\frac{WXS}{2\sqrt{2} \sigma_s} \right) \text{ERF} \left(\frac{WYS}{2\sqrt{2} \sigma_s} \right) \right]}{\left[\text{ERF} \left(\frac{WXOS}{2\sqrt{2} \sigma_s} \right) \right]^2} \right\}$$

Secondary collimation의 항을 무시하면 식은 더욱 간단하게 다음과 같이 주어진다.

$$(10) OF^{WX,WY} = \frac{\left[\text{ERF} \left(\frac{WXS/2 + \Delta W'}{\sqrt{2} \sigma_p'} \right) \text{ERF} \left(\frac{WYS/2 + \Delta W'}{\sqrt{2} \sigma_p'} \right) \right]}{\left[\text{ERF} \left(\frac{WXOS/2 + \Delta W'}{\sqrt{2} \sigma_p'} \right) \right]}$$

III. 실험장치 및 방법

Linac 18 medical linear accelerator는 6, 9, 12, 15, 18MeV의 electron beam과 6MeV의 X선을 발생시키는 장치로써 본 실험에서는 이 장치로부터 나오는 6, 9, 12, 15, 18MeV의 electron beam을 사용하였다. Accelerator의 source로부터 나오는 electron beam은 두 개의 collimator에 의해서 그 field의 크기가 결정된다. Primary collimator는 source의 바로 아래 부분에 위치하며 machine head에 고정되어 있고 이것은 주로 X선의 field size를 결정하게 된다. Secondary collimator(trimmer)는 electron의 field size를 좀더 세분화시키는 역할을 한다. 본 실험에서는 SSD(Source-Skin Distance) 100cm에서 실제적인 electron field size를 갖도록 하기 위해서 isocenter

5cm 위에 secondary collimator를 장치하였다. 두 개의 collimator를 이용하여 모든 electron의 energy에 대해서 그 크기가 각각 5cm×5cm, 7cm×7cm, 10cm×10cm, 12cm×12cm, 15cm×15cm, 20cm×20cm인 square field를 만들어서 실험하였다.

본 실험에서 사용한 검출기는 "Thin-Wall End Window Ionization Chamber"—THERAD 1 Model 192, Exposure/Exposure—Rate Meter Model : PS—0.33C, PR—05PA Probe CAPINTEC INC.—이며 이 probe의 앞 표면은 0.5mg/cm²의 Aluminium함으로 되어 있고 sensitive부피는 2cm의 직경을 가진 원과 1.2mm의 두께를 가진 원통형이다.

Depth dose의 측정은 water phantom 위에 electron beam을 수직으로 조사시키고, ionization chamber를 electron field의 중심축을 따라 그 위치를 변화시키면서 측정하였다.

Ionization chamber와 연결된 Exposure/Exposure Rate-Meter로 읽은 값(Reading Values)은 Roentgen 단위로 주어지는데, 이 양에 exposure conversion factor C_E를 곱하여 rad 단위로 환산하고 또 대기보정과 조사량에 대한 보정을 하여 depth dose값을 구하였다.

IV. 결과 및 분석

1) Percent depth dose curve

SSD 100cm에서의 percent depth dose curves가 Fig.2~6에 그려져 있고 water phantom 중심축에서의 depth of percentiles이 Table 1~5에 주어져 있다. Fig.2~6. 그리고 Table 1~5에 따르면 electron field의 size가 작아짐에 따라 모든 electron beam energy에 대해서 공통으로 나타나는 현상이 있는데 그것은 다음과 같다. 즉 depth of maximum dose(d_{max})는 점점 표면으로 이동하고 depth of 80% iso-dose line 즉 소위 말하는 therapeutic range는 점점 작아지며 depth dose curve 경사도는 점점 둔해진다.⁷⁾

그리고 electron beam의 practical range R_p는 field size에 관계없이 계속 동일한 값으로 주어진다. R_p는 accelerator의 beam energy의 함수로서 phantom

표면에서의 실제에너지와의 관계는 다음과 같다.⁵⁾

$$E_{po} = \frac{R_p + 0.376}{0.521}$$

여기서 E_{po}는 water phantom 표면에서의 most probable한 에너지이다. Fig.7에 field size 10cm×10cm에서 여러가지 electron beam energy에 대해서 측정한 R_p의 값과 E_{po}의 값이 주어져 있다. 여기서 R_p를 측정함으로써 얻은 most probable energy E_{po}, 즉 phantom 표면에서의 실제 에너지가 Linac 18의 nominal energy 6, 9, 12, 15, 18 MeV와 거의 일치함을 알 수 있다.

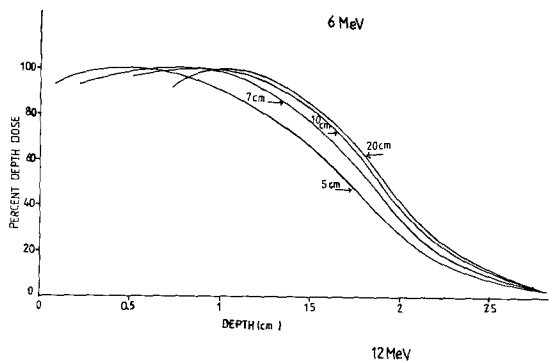


Fig. 2. Depth dose curves for 6MeV electrons from the Linac 18 square fields defined by collimator setting

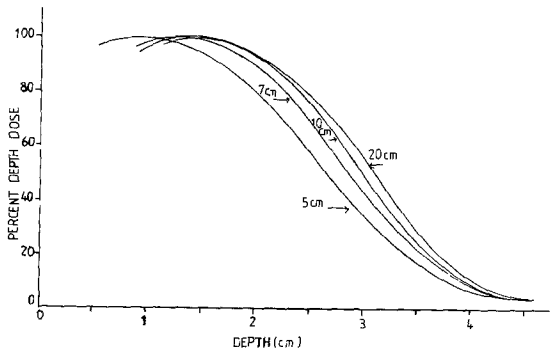


Fig. 3. Depth dose curves for 9MeV electrons from the Linac 18 square field defined by collimator setting.

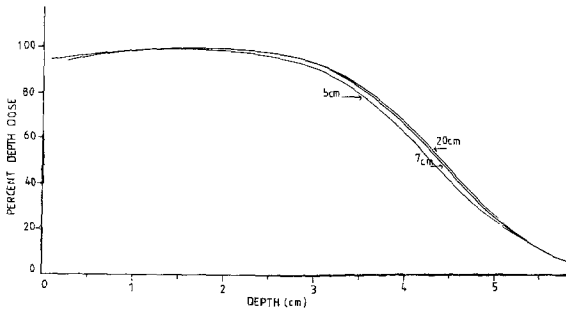


Fig. 4. Depth dose curves for 12MeV electrons from the Linac 18 square field size defined by collimator setting.

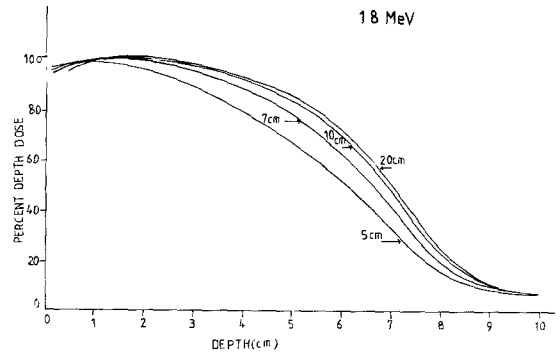


Fig. 6. Depth dose curves for 15MeV electrons from Linac 18 square field size defined by collimator setting.

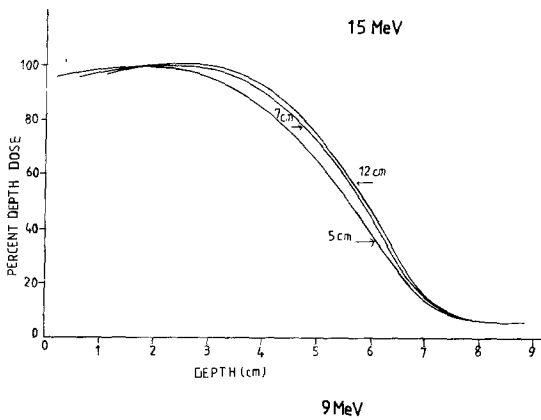


Fig. 5. Depth dose curves for 15MeV electrons from the Linac 18 square field size defined by collimator setting.

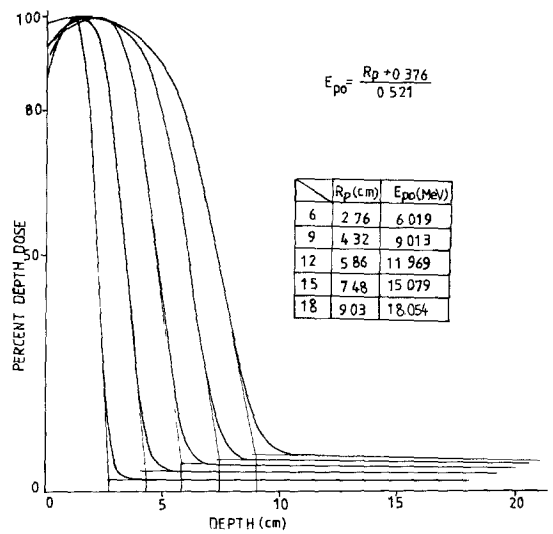


Fig. 7. Practical range and most probable energy at the water phantom surface for 10cm×10cm square field from the Linac 18.

Table 1. Linac 18, depth of percentiles on central axis in water phantom(cm), 6 MeV electron collimator settings, 100 cm SSD.

Percent depth dose	square field size (cm)					
	5 × 5	7 × 7	10 × 10	12 × 12	15 × 15	20 × 20
100	0.5	0.86	0.86	0.1	0.1	0.1
90	1.05	1.26	1.31	1.3	1.29	1.28
80	1.28	1.42	1.53	1.54	1.51	1.51
70	1.43	1.61	1.69	1.67	1.68	1.69
60	1.6	1.71	1.78	1.77	1.77	1.78
50	1.71	1.81	1.86	1.86	1.87	1.88
40	1.82	1.92	1.96	1.95	1.95	1.99
30	1.93	2.01	2.11	2.13	2.15	2.16
20	2.1	2.25	2.33	2.37	2.38	2.42
10	2.38	2.51	2.56	2.6	2.6	2.62

Table 2. Linac 18, depth of percentiles on central axis in water phantom(cm), 9 MeV electron collimator settings, 100 cm SSD.

Percent depth dose	Square field size (cm)					
	5 × 5	7 × 7	10 × 10	12 × 12	15 × 15	20 × 20
100	0.86	1.25	1.2	1.25	1.25	1.25
90	1.7	2	2.1	2.12	2.11	2.1
80	2.02	2.23	2.38	2.4	2.43	2.4
70	2.24	2.47	2.58	2.59	2.61	2.61
60	2.44	2.64	2.77	2.79	2.86	2.82
50	2.62	2.84	3.0	3.02	3.0	3.09
40	2.83	3.09	3.29	3.34	3.4	3.41
30	3.1	3.41	3.58	3.59	3.63	3.61
20	3.5	3.65	3.7	3.72	3.75	3.72
10	3.73	3.8	3.82	3.84	3.8	3.83

Table 3. Linac 18, depth of percentiles on central axis in water phantom (cm), 12 MeV electron collimator settings, 100 cm SSD.

Percent depth dose	Square field size (cm)					
	5 × 5	7 × 7	10 × 10	12 × 12	15 × 15	20 × 20
100	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.25
90	3.14	3.2	3.22	3.21	3.21	3.2
80	3.55	3.61	3.62	3.61	3.62	3.63
70	3.83	3.9	3.9	3.9	3.9	3.93
60	4.1	4.16	4.18	4.16	4.18	4.19
50	4.32	4.4	4.4	4.4	4.45	4.43
40	4.57	4.63	4.66	4.65	4.66	4.69
30	4.83	4.9	4.95	4.94	4.95	4.96
20	5.19	5.25	5.3	5.29	5.3	5.3
10	5.53	5.57	5.56	5.57	5.6	5.6

Table 4. Linac 18, depth of percentiles on central axis in water phantom (cm), 15 MeV electron collimator settings, 100cm SSD.

Percent depth dose	Square field size (cm)					
	5 × 5	7 × 7	10 × 10	12 × 12	15 × 15	20 × 20
100	1.62	1.62	1.25	1.25	1.25	1.25
90	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
80	4.55	4.56	4.59	4.57	4.59	4.6
70	4.95	4.98	5	5.01	5	5
60	5.3	5.32	5.36	5.34	5.34	5.38
50	5.64	5.68	5.76	5.69	5.69	5.7
40	5.97	6.0	6.02	6	6	6
30	6.3	6.3	6.32	6.31	6.3	6.3
20	6.58	6.59	6.6	6.6	6.6	6.62
10	6.87	6.87	6.86	6.88	6.87	6.89

Table 5. Linac 18, depth of percentiles on central axis in water phantom (cm), 18 MeV electron collimator settings, 100 cm SSD.

Percent depth dose	Square field size (cm)					
	5 × 5	7 × 7	10 × 10	12 × 12	15 × 15	20 × 20
100	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86
90	2.84	3.87	4.3	4.37	4.37	4.33
80	4.02	4.94	5.4	5.46	5.5	5.45
70	4.86	5.7	6.05	6.1	6.12	6.12
60	5.57	6.2	6.5	6.58	6.6	6.61
50	6.14	6.66	6.9	7.0	7.0	7.0
40	6.65	7.08	7.3	7.35	7.35	7.35
30	7.13	7.5	7.65	7.7	7.71	7.73
20	7.02	7.98	8.2	8.4	8.47	8.46
10	9.0	9.07	9.08	9.12	9.1	9.1

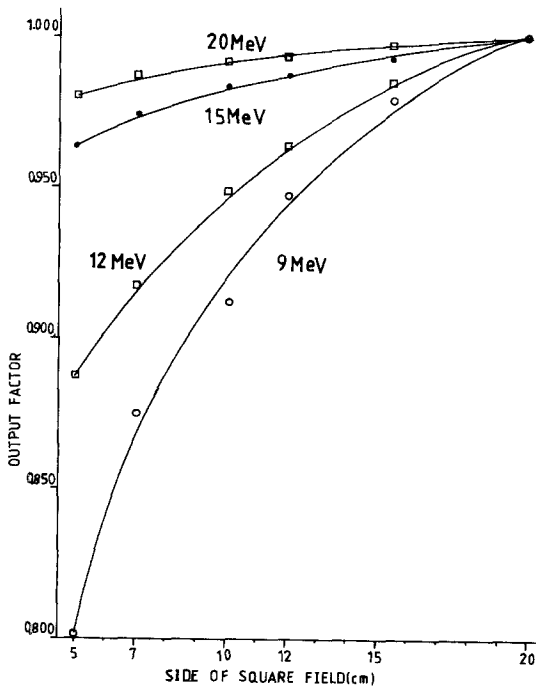


Fig. 8. Field size dependence of 9, 12, 15, 18 MeV electron beams from the Linac 18 square fields defined by collimator setting.

2) Output factor

9, 12, 15, 18 MeV의 electron에 대해서 electron

beam의 output factor가 field size의 함수로써 주어지는 것을 Fig 8과 Table 6으로부터 알 수 있다. 그것은 식(9)로부터 output factor는, field의 size를 결정하는 두개의 collimator에서의 electron scattering에 의존하기 때문이다. Output factor의 reference field size는 9, 12, 15, 18 MeV의 electron energy에 대해서는 20cm×20cm square field로 하였으며 6 MeV의 electron energy에 대해서는 10cm×10cm의 square field로 하였다.

Fig.9의 곡선은 Mills가 식(10)를 이용하여 이론

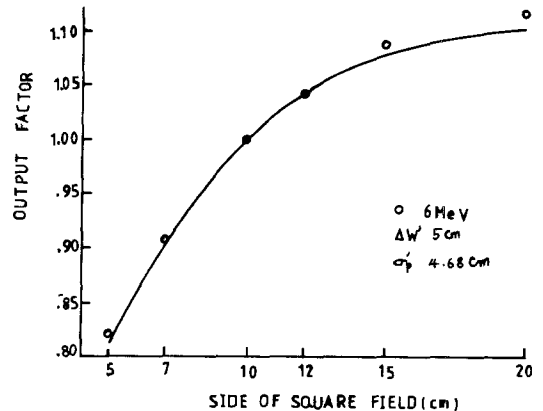


Fig. 9. Fitting of output factor data for 6 MeV electrons from Linac 18. $\Delta W'$ was required to be 5.0 cm, its physical value. The resulting σ_p' is computer generated to give the best curve to fit to the data.

Table 6. Linac 18, output factors using ion chamber measured at various electron energies and field sizes.

Field size (cm)	Electron energy (MeV)				
	6	9	12	15	18
5 × 5	0.824	0.802	0.888	0.936	0.980
7 × 7	0.902	0.875	0.917	0.974	0.986
10 × 10	1	0.912	0.949	0.983	0.991
12 × 12	1.040	0.948	0.964	0.987	0.993
15 × 15	1.086	0.980	0.984	0.992	0.996
20 × 20	1.116	1	1	1	1

적으로 구한 6MeV electron의 field size 변화에 따른 output factor이다. 식(10)의 $\Delta W'$ 는 그 물리적 수치를 5cm로 하였고 σ_p' 는 가장 실험data와 일치하는 값인 4.68cm로 하였다. 식(2)으로부터 구한 σ_p' 는 4.62cm로 주어진다. Fig.9로부터 알 수 있는 것처럼 이론적으로 구한 곡선과 σ_p' 가 실제의 값과 약간의 차이가 나는 것은 output factor의 이론을 유도할 때 collimator벽에 의한 electron scattering을 무시하였기 때문이다. 이와 같이 무시하여도 이론값과 실제 실험data가 매우 근접하는 것을 알 수 있다.

V. 결론

Electron beam의 percent depth dose와 output factor의 field size 변화에 따른 효과를 Linac 18 medical linear accelerator를 가지고 측정한 결과는 다음과 같다.

1) Field size가 작아짐에 따라 maximum dose의 깊이는 점점 알아지고 therapeutic range 역시 점점 작아진다.

2) 동일한 electron beam energy에 대해서는 field size의 변화에 관계없이 practical range는 동일하게 주어진다.

3) Electron beam의 output factor의 size가 작아짐에 따라 역시 줄어 들기는 하지만 electron beam의 energy가 아주 큰 경우에는 output factor에 대한 field size의 효과는 그다지 크지 않다.

4) 6MeV electron의 field size에 따라서 구한 output factor의 실험data와 scattering의 효과를 무시하

고 구한 output factor의 이론치가 매우 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

참고문헌

1. Almond PR : In Clinical Applications of the Electron Beam. New York, Wiley, 1976, pp 7~80
2. De Almedia CEV : M.S Thesis. Texas. University of Texas at Houston Graduate School of Biomedical Sciences, 1973, pp.110
3. International Commission on Radiation Units and Measurements Report No.21, 1972
4. Mills MD, Hogstrom KD, Almond PR : Prediction of electron beam output factors Med Phys 9(1) : 60, 1982
5. The Nordic Association of Clinical Physics : Procedures in External Radiation Therapy Dosimetry with electron and photon beams with maximum energies between 1 and 50MeV. Acta Radiologica Oncology 19 : 55, 1980
6. Seltzer SM, Hubbell JH, Berger MJ : Some theoretical aspects of electron and photon dosimetry in : International Symposium on national and international standardization of radiation dosimetry Atlanta, 1977(IAEA-SM-222/05)
7. Sharma SC, Wilson DL, Jose B : Dosimetry of small fields for Therac 20 electron beams. Med Phys 11(5) : 697, 1984