

전자선의 조사면과 선량분포

서울대학교 의과대학 방사선과학교실

강 위 생

— Abstract —

Field Size and Dose Distribution of Electron Beam

Wee Saing, Kang

Department of Radiology, College of Medicine Seoul National University

The author concerns some relations between the field size and dose distribution of electron beams. The doses of electron beams are measured by either an ion chamber with an electrometer or by film for dosimetry. We analyzes qualitatively some relations; the energy of incident electron beams and depths of maximum dose, field sizes of electron beams and depth of maximum dose, field size and scatter factor, electron energy and scatter factor, collimator shape and scatter factor, electron energy and surface dose, field size and surface dose, field size and central axis depth dose, and field size and practical range. He meets with some results. They are that the field size of electron beam has influence on the depth of maximum dose, scatter factor, surface dose and central axis depth dose, scatter factor depends on the field size and energy of electron beam, and the shape of the collimator, and the depth of maximum dose and the surface dose depend on the energy of electron beam, but the practical range of electron beam is independent of field size.

1. 서 론

방사선 치료에 있어서 치료의 성패와 부작용의 빈도와 범위는 계획된 선량을 어느 정도 정확히 조사하느냐에 따라서 좌우된다. 계획된 선량을 정확히 조사하기 위해서는 주어진 선원에 의한 선량분포와 단위 시간당 선량을(Co-60)이나 표준조사면에 대한 비선량을(선형가속기)을 정확히 아는 것이 선행되어야 한다.

X-선과 γ -선에 의한 선량분포는 SSD와 조사면의 크기와 모양, 콜리메이터 장치, 조사부위의 굴곡, 조직의 비균질성등에 의하여 영향을 받는다는 사실은 잘 알려져 있다^{1,2,3,4)}. X-선과 γ -선의 조사면의 크기는 콜리메이터에 의하여 결정되지만 콜리메이터의 구조가 선량분포에 미치는 영향은 고려되지 않을 정도로 미미하다^{1,2,5,6)}.

전자선도 X-선, γ -선과 마찬가지로 선량분포에 영향을 주는 요인들을 가지고 있다. 그러나 조직의 비균질

성과 조사부위의 굴곡이 전자선 선량분포에 영향을 미치는 정도는 X-선, γ -선에 비하여 크며^{7,8,9,10,11)} 무시될 수 없다.

전자선을 시준하기 위한 콜리메이터 장치로서 X-선을 시준하기 위한 일차 콜리메이터 이외에 보조 콜리메이터를 가지고 있다⁷⁾. 전자선의 조사면의 크기는 보조콜리메이터에 의해 결정되며, Clinac-18은 보조 콜리메이터에 종속적으로 일차콜리메이터의 시준범위가 결정되는 특징을 가지고 있다. 일차 콜리메이터는 일차 산란된 전자들을 다시 산란시켜 전자선의 선량분포와 비선량율에 영향을 준다⁷⁾. 마찬가지로 보조 콜리메이터도 선량분포와 비선량율에 영향을 줄 것이 확실하다. 따라서 보조 콜리메이터가 고안된 모양에 따라 선량분포에 영향을 주는 정도도 달라질 것이고 비선량율에도 변화가 있을 것이다.

이 같은 가정을 출발점으로 하여 필자는 서울대학교 병원이 소유하고 있는 Clinac-18에서 방출되는 전자선의 선량분포와 비선량율을 측정하여 다른 가속기에서

발생되는 전자선의 선량분포 비선량율과 비교하고자 한다. 이 논문에서 필자는 조사면의 크기에 따른 비선량율의 변화와 중심축상의 선량분포, 표피에 흡수되는 선량율에 주안점을 두며, 최대비정에 의한 전자선의 에너지를 결정하는데 조사면의 크기가 영향을 미치는 가에도 관심을 기울이려 한다.

2. 재료 및 방법

전자선의 선원으로, 서울대학교 병원에서 가동 중인 Clinac-18을 이용하였다. Clinac-18의 보조 콜리메이터의 특징은 그림 1에서 보는 바와 같이 그 하단이 환자의 피부에서 5cm 떨어지게 고안되어 있다는 점과 하단의 알루미늄 차폐물에 의하여 조사면의 크기가 결정된다는 점, 전자선이 확산되는 방향과는 무관하게 4각 통으로 만들어져 있다는 점이다. 일차 콜리메이터는 X-선의 SSD가 100cm인 위치(피부)에서 전자선의 조사면의 크기보다 각 변이 5cm 더 큰 조사면이 되도록 열게 되어 있다.

측정은 박막이온화과 필름, 두 가지에 의하여 이루어진다.

먼저, 주어진 에너지의 전자선의 한 조사면에 대하여 중심축상에서 최대흡수선량깊이 d_m 을 측정한다. 박막이온화를 고체팬텀(믹스 DP와 폴리스티렌 팬텀)에

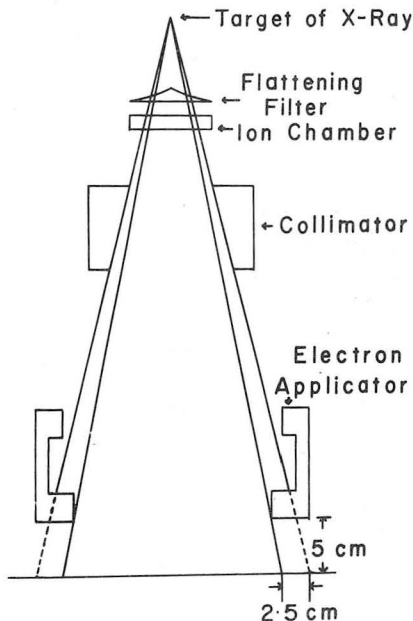


Fig. 1. Schematic diagram of the collimating system of Clinac-18 for electron beam.

끼우고 동축케이블로 연결된 전위계에 의하여 선량을 측정한다. 1.5cm의 깊이에서 d_m 을 얻을 수 있는 충분한 깊이까지 이온함의 위치를 바꾸면서 측정을 반복하며, 측정 깊이에 해당하는 전자선의 평균에너지 \bar{E} 를

$$\bar{E} = E_0(1 - d/R_P)$$

에 의하여 구하고 (여기서 E_0 는 표면에서 전자에너지, d 는 측정 깊이, R_P 는 물질속에서 전자의 최대 비정), E 에 대응하는 흡수선량 환산계수 C_E 를

$$C_E = 0.869 \times 0.985 \times \frac{(S/e)_{col, \bar{E}, P}}{(S/e)_{col, \bar{E}, a}}$$

에 의하여 구하거나¹²⁾ ICRU-21 표 6-2에 의하여 구한다. 주어진 이온함과 전위계의 교정계수가 Co-60에 대하여 C_{in} 전위계에 의하여 집적된 선량이 R 일 때 R 에 대응하는 흡수선량은

$$D = C \times R \times C_E \times C_{TP}$$

이다. 여기에서 C_{TP} 는 온도와 기압에 대한 교정계수이다. 측정 깊이와 측정된 흡수 선량을 각각 횡축과 종축으로 하여 그래프를 그려서 최대흡수선량깊이 d_m 을 결정한다. 크기와 다른 조사면과 다른 에너지의 전자선에 대해서도 같은 방법에 따라서 d_m 을 구한다.

주어진 에너지의 전자선에 대하여 최대흡수선량깊이가 조사면의 크기에 따라 변한다고 할지라도 여기서는 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 를 표준조사면으로 하고, 표준조사면의 최대흡수선량깊이 d_m 에서 각 조사면에 대한 흡수선량을 측정하여 표준조사면의 흡수선량으로 나눈다. 이 때 얻어진 비를 비선량율(scatter factor, 혹은 scatter correction factor)이라고 한다. 조사면의 크기의 변화에 따른 비선량율의 변화와 다른 과속기에서 발생되는 전자선의 비선량율의 차이점이 분석될 것이다.

한 에너지의 전자선의 주어진 조사면에서, 이미 측정된 최대흡수선량깊이 d_m 에서 얻어진 선량에 대한 2.7mm 깊이의 심부선량백분율을 구하고 이 깊이에서 조사면의 크기에 따른 변화를 고찰한다. 전자선에 의한 피부 표면의 흡수선량이 $d < d_m$ 인 깊이 d 에서의 흡수선량보다 작다는 점(그림 3)과 측정에 사용된 박막이온함의 평행한 두 전극간의 거리가 2.4mm이고 이온함 위의 팬텀의 두께가 1.5mm이라는 사실 때문에 깊이 d 를 2.7mm로 선택하였다.

다음엔 한 장씩 포장된 산업용 X-선 필름을 폴리스티렌 팬텀 사이에 끼우고 전자선을 조사하여, 각 에너지, 각 조사면의 크기에 대하여 선원의 중심축상에서 깊이에 대한 선량분포를 보기 위하여 그래프를 그리고 선정된 몇 개의 심부선량백분율이 전해지는 깊이를 측정하고 동일한 심부선량백분율이 전해지는 깊이가 조사면의 크기에 따라 변화하는가를 고찰한다. 일회 조

사에 의하여 한 조사면의 선량분포를 구할 수 있다는 점과 작업량이 적어 시간을 절약할 수 있어서 필름을 선택하였다.

3. 결과 및 토론

조사면의 크기와 최대흡수선량깊이 d_m 의 관계가 표 1에 주어져 있다. 표 1에서 볼 수 있는 것처럼 동일한 에너지의 전자선에 대해서 조사면의 크기가 바뀔 때 d_m 이 변하지만 그 최대 차이가 불과 1mm이다. 1mm 정도는 측정오차로서 나타날 수 있는 양이므로 최대흡수선량깊이 d_m 은 조사면의 크기에 무관하다고 말할 수 있다. 따라서 주어진 에너지의 전자선의 최대흡수선량깊이로서 표준조사면의 d_m 을 선택해도 좋을 것이다.

표 1에서 보는 바와 같이 최대흡수선량깊이 d_m 은 에너지가 변함에 따라 변한다. Clinac-18에서 방출되는 5가지 전자선 중에서 에너지가 12MeV일 때 d_m 이 최대값을 가지고 있다. 12MeV보다 낮은 에너지에서는 에너지가 증가함에 따라 d_m 이 증가하고 높은 에너지에서는 반대로 감소한다. 그러나 d_m 이 최대인 전자선의 에너지가 얼마인가 정확히 말하기는 어렵다. 이 보다 낮은 에너지에서 에너지가 낮아짐에 따라 전자선의 비정 이 짧아지기 때문에 짧아지지만, 높은 에너지에서 에너지가 증가함에 따라 d_m 이 짧아진다는 사실은 보이지만 이 사실을 설명하기 위해서 더욱 깊은 연구가 요구 된다.

조사면의 크기가 변함에 따라 비선량율이 변한다는 사실은 그림 2에 잘 나타나 있다. 에너지가 6MeV와 9MeV인 전자선에 대해서는 조사면의 크기가 증가할 때 비선량율이 단순히 증가하며, 표준조사면 보다 작은 조사면에 대해서는 비선량율이 1보다 작고 큰 조사면에 대해서는 1보다 크다. 대조적으로 에너지가 12, 15, 18MeV인 전자선에 대해서는 비선량율이 1보다 큰 최대값을 갖는 조사면을 가지고 있으며, 그것보다 작은 조사면에 대해서는 조사면의 크기가 커짐에 따라 증가하지만, 큰 조사면에 대해서는 반대로 감소한다.

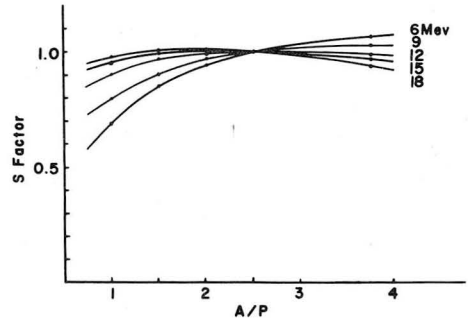


Fig. 2. Graph showing the relations that the scatter factors of electron beams have to the energy and field size. A side of a square is equal to 4 times of A/P.

12MeV이상의 에너지를 갖는 전자선의 비선량율이 최대값을 가지고 있다는 사실은, 6MeV, 9MeV의 전자선도 비선량율의 최대값을 가질 수 있을 것이라고 추측할 수 있지만 얻어진 자료만으로는 속단하기 어렵다. 전자선이 비선량율의 최대값을 가질 수 있다는 것은 X-선이 가지고 있지 않은 전자선의 특성이다. 전자선의 에너지가 12MeV보다 클 때 에너지가 증가하는 것과는 반대로 비선량율의 최대값을 갖는 조사면의 크기는 줄어든다는 것도 그림 2는 보여 주고 있다. 6MeV와 9MeV의 전자선이 비선량율의 최대값을 가지고 있다면 위의 논리를 따를 때 6, 9MeV 둘 다 표준 조사면 보다 더 큰 조사면에서, 또 6MeV는 9MeV보다 더 큰 조사면에서 비선량율의 최대값을 가질 것이다. 6MeV, 9MeV의 전자선이 비선량율의 최대값을 가지고 있다고 할지라도 전자선의 에너지에 따라서 비선량율의 최대값이 증가한다든가 감소한다는 말을 할 수 없다. 그 이유는 표준조사면의 크기를 어떤 것으로 선택하느냐에 따라 비선량율의 최대값과, 또 에너지와 비선량율의 최대값의 관계가 달라질 수 있다는 것 때문이다. 그러나 표준 조사면이 선정되었을 때는 비선량율의 최대값에 대응하는 조사면의 크기가 표준조사면의 크기

Table 1. Dependence of depth of dose maximum of electron beam on electron energy and field size.

energy	field size	4×4cm ²	6×6cm ²	8×8cm ²	10×10cm	15×15cm ²
6MeV		1.28cm	1.30cm	1.31cm	1.32cm	1.33m
9MeV		1.92	1.95	1.97	1.98	2.00
12MeV		2.00	1.98	2.01	2.04	2.07
15MeV		1.66	1.66	1.67	1.68	1.68
18MeV		1.32	1.33	1.31	1.32	1.33

보다 작은 조사면과 큰 조사면을 갖는 에너지를 양분해서 비선량율의 최대값의 변화를 말할 수는 있다. 즉 '비선량율의 최대값에 대응하는 조사면이 표준조사면보다 클 때는 전자선의 에너지가 증가함에 따라 최대 비선량율이 증가하며 반대로 작을 때는 에너지가 증가함에 따라 감소한다'는 것이다.

각 에너지에 따라 비선량율의 변화의 폭도 다르다는 것을 그림 2로부터 알 수 있다. 전자선의 에너지가 증가함에 따라 비선량율의 변화의 폭은 감소한다고 단정 지을 수 있다. 조사면의 크기에 따른 비선량율의 변화는 표준조사면의 비선량율을 기준으로 할 때 15MeV 전자선의 경우는 불과 4% 정도로 작지만 6MeV의 경우에는 31%로서 매우 크다(그림 2와 그림 3. 참조). 그러므로 계획된 선량을 정확히 조사하기 위해서는 비선량율을 반드시 고려하여 모니터 선량을 계산해야 한다.

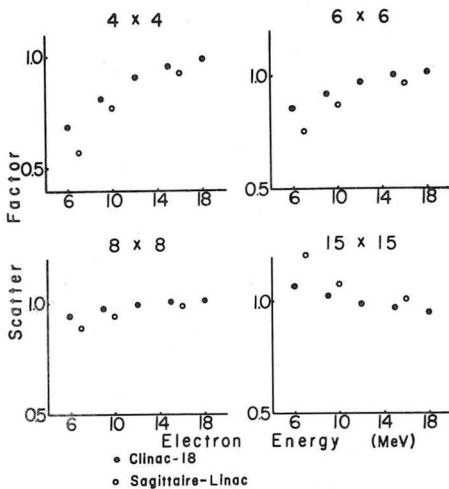


Fig. 3. Graphs showing the relations that the scatter factors of electron beams have to the energy and field size, and the comparison of scatter factors from two different accelerators. The data on Sagittaire-Linac are cited from Ref. 7)

그림 2와 그림 3에서 볼 수 있는 것처럼 동일한 조사면에 대하여 전자선의 에너지가 증가함에 따라 비선량율의 변화는 그 조사면의 크기가 표준조사면의 크기에 비하여 작을수록 더 크게 다르다. 표준조사면보다 작은 조사면에 대해서는 에너지가 증가할 때 비선량율도 증가하지만 큰 조사면에 대해서는 그것과는 반대이다. 여기서 표준조사면의 크기는 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 이다.

그림 3에 Clinac-18과 Sagittaire-Linac의 비선량율을 동일한 조사면에 대하여 비교하여 두었다. 같은 에

너지에 대한 비선량율이 비교되지는 않았지만, 콜리메이터가 다르게 고안된 두 가속기의 비선량율에 차이점이 있다는 것을 분명히 보여 주고 있다. 이 사실은 콜리메이터의 구조가 전자선의 비선량율에 크게 영향을 주고 있으며 X-선과 구별될 수 있는 주목할만한 현상이다.

플래팅 필터에 의하여 산란된 전자들 중 일부는 콜리메이터 벽에서 다시 산란되어 흡수선량에 기여하는데, 전자의 에너지가 증가함에 따라 전자의 평균산란각이 줄어들기 때문에 콜리메이터에 의하여 비선량율이 크게 영향을 받게 된다.

콜리메이터에 의한 산란을 무시할 때 콜리메이터의 열림이 커지면 주어진 위치의 선량에 기여하는 플래팅 필터의 범위가 넓어지기 때문에 조사면의 크기가 증가할 때 비선량율은 증가하거나 최대치에 이를 것이지만 결코 감소하지는 않을 것이다. 그러나 콜리메이터에 의한 산란선이 흡수선량에 기여하는 정도를 고려할 때는 상황이 달라진다. 콜리메이터가 작게 열려 있을 때는 콜리메이터 벽에서 처음 산란된 전자들은 다른 콜리메이터로 향해 나가서 다시 산란을 일으키기 쉽고 산란할 기회가 많아져서 많은 에너지를 상실하여 조사면내의 흡수선량에 기여하는 정도는 상대적으로 작을 것이다. 콜리메이터가 점점 크게 열려짐에 따라 콜리메이터에 의해 산란되는 회수도 줄어들어 조사부위의 흡수선량에 기여하는 양이 점점 증가하여 최대값에 이를 것이다. 콜리메이터가 계속해서 더 크게 열려지면 전자가 산란되는 각에 한계점이 있기 때문에 콜리메이터에 의한 산란선의 기여도는 떨어질 것이다. 이런 이유 때문에 주어진 에너지의 전자선에 대하여 비선량율이 최대값을 가질 수 있다. 전자선의 에너지가 증가함에 따라 전자가 산란되는 각이 작아지기 때문에 콜리메이터에 의한 산란선의 기여도는 감소할 것이며 또한 비선량율이 최대가 되는 조사면의 크기도 작아질 것이다. 또 비선량율의 변화의 폭도 줄어들 것이다.

콜리메이터에 의한 산란선이 흡수선량에 크게 기여한다는 사실은 콜리메이터의 구조에 따라 산란선의 기여도가 상당히 바뀔 수도 있다는 것을 암시하고 있다. 그림 1에서 보는 바와 같이 Clinac-18의 보조 콜리메이터의 벽이 전자선의 중심축에서 멀리 떨어져 있고 일차 콜리메이터에 의해 전자선이 차폐되어 있어서 전자와 충돌할 기회도 적고, 보조콜리메이터의 벽에서 산란된 전자도 보조 콜리메이터 하단의 차폐물에 차단될 확률이 높기 때문에, 흡수선량에 기여하는 콜리메이터의 산란 선량의 대부분은 일차 콜리메이터에 의한 것이라고 말할 수 있다. 따라서 Clinac-18은 조사면의

크기가 변해도 비선량율의 변화의 폭이 Sagittaire-Linac보다 작다고 말해도 좋을 것이다(그림 3. 참조). 바로 이 점이 서론에서 제시된 가정을 잘 입증해 주고 있다.

전자선의 최대흡수선량 깊이와 표면선량에 전자선의 에너지와 조사면의 크기가 어떤 영향을 주는가를 지금부터 살펴 보고자 한다. 에너지의 영향을 먼저 고려하는 것이 조사면의 크기에 의한 영향을 설명하는데 도움이 될 것이다.

단일 에너지의 전자선에 의한 최대흡수선량의 깊이가 최대값을 갖는 에너지가 존재하며, 전자선의 에너지가 그 에너지 보다 커질 때도 작아질 때도 그 깊이가 감소한다는 것을 표 1과 그림 4로부터 알 수 있다. 후자는 조직내에서 전자선의 비정이 유한하고 에너지가 낮아짐에 따라 비정도 짧아지기 때문이다. 여기서 얻어진 자료만으로는 최대흡수선량깊이가 최대값을 갖는 전자선의 에너지를 말하기는 어렵다.

전자선의 에너지가 증가함에 따라 표면선량이 증가한다는 것을 표 2와 그림 4로부터 알 수 있다. 6MeV 보다 낮은 에너지의 전자선에 대해서는 자료가 얻어지

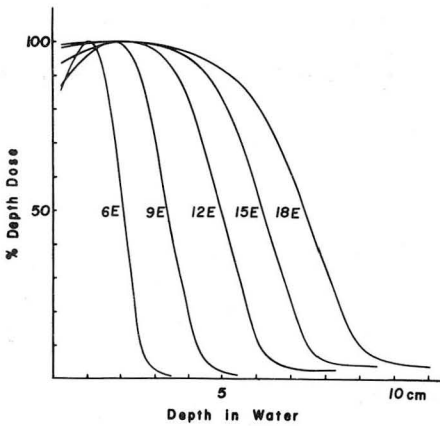


Fig. 4. Central axis depth dose curve of electron beams from Clinac-18 for 10×10 cm² field size at 100 cm from the X-ray target.

지 않았지만 에너지가 낮아짐에 따라 전자선의 비정이 짧아지므로 전자선의 에너지가 어떤 에너지보다 낮아지면 표면선량이 반대로 증가할 것이다. 매우 낮은 에너지에서는 전자선의 비정이 0에 가까워지고 표면선량이 100%가 될 것이기 때문에 직관적으로 그렇게 말할 수 있다.

플래트닝 필터에서 직접 조직에 도달하는 전자선의 스펙트럼 분포는 조사면의 크기와 무관하다고 말할 수 있겠지만 콜리메이터에 의해서 산란되는 전자들은 산란각에 따라, 또 입사 전자들의 에너지에 따라 에너지 분포가 달라지기 때문에 조사면의 크기가 변하면 콜리메이터가 열려지는 정도도 변하므로 조직에 도달하는 전자선의 스펙트럼 분포도 바뀔 것은 명백하다. 따라서 최대흡수선량깊이도 표면선량도 조사면의 크기가 변하면 함께 변한다. 그러나 한 마디로 증가한다든가 감소한다고 말할 수는 없다(표 1, 2. 참조).

표 2에 의하면 전자선의 모든 에너지에 대해서 조사면의 크기가 6×6cm²일 때 보다 4×4cm²일 때가 표면선량율이 더 클 것이라는 것을 직감할 수 있다. 두 조사면에 대한 표면선량율의 차이는 에너지가 낮을수록 크다는 것도 알 수 있다. 이와 같은 현상은 콜리메이터가 작게 열린 경우가 크게 열린 경우에 비해서 콜리메이터벽과의 잦은 충돌로 인해서 전자가 에너지의 대부분을 상실하여 최소표면선량율을 갖는 에너지보다 낮은 에너지를 갖는 전자들의 상대적인 분포가 증가하기 때문에 일어난다. 반대로 조사면의 크기가 증가함에 따라 표면선량율이 증가하는 것은 콜리메이터에 의한 산란회수가 줄어들어 산란선이 흡수선량에 기여하는 정도도 줄어들어서 높은 에너지의 전자의 상대적인 분포가 증가하기 때문이다.

전자선의 조사면의 크기가 변할 때 중심축상의 심부선량분율의 분포에 변화가 있다는 것을 표 3이 보여주고 있다. 주어진 심부선량분율에 대해서도 조사면의 크기가 바뀌면 그 깊이가 바뀌기는 하지만 규칙성을 찾기에는 자료가 불충분하다. 조사면의 크기에 따라 심부선량분율이 바뀌는 것은 콜리메이터에 의한 산

Table 2. Change of percent depth dose at d=2.7mm with the electron energy and the field size.

energy	field size	4×4cm ²	6×6cm ²	8×8cm ²	10×10cm ²	15×15cm ²
6MeV		83.2%	79.4%	80.7%	82.5%	83.7%
9MeV		83.9	83.0	83.7	84.4	85.6
12MeV		85.7	85.5	86.3	86.7	87.9
15MeV		94.1	93.9	94.5	95.6	95.8
18MeV		96.6	96.8	97.1	97.5	97.9

Table 3. Depths where certain percent dose on the central axis of the central axis of the electron beam is delivered are changed with the field sizes of 9MeV electron, and electron energies obtained by the practical range method.

percent dose	field size	4×4cm ²	6×6cm ²	8×8cm ²	10×10cm ²	15×15cm ²
100%		1.9cm	2.0cm	2.0cm	2.0cm	2.0cm
90%		2.4	2.4	2.5	2.5	2.6
80%		2.7	2.7	2.8	2.8	2.9
70%		2.9	3.0	3.0	3.0	3.1
50%		3.3	3.3	3.4	3.4	3.4
30%		3.7	3.7	3.8	3.8	3.8
10%		4.4	4.4	4.4	4.4	4.4
5%		4.8	4.8	4.8	4.8	4.8
measured energy (MeV)		9.06	9.05	9.03	9.02	9.02

란선이 흡수선량에 기여하는 정도에 좌우된다.

여기서 필자는 9MeV의 전자선을 예로들어 심부선량백분율의 특정한 값에 대응하는 깊이의 변화를 설명하려고 한다. 실제로 임상에서 선택되는 전자선의 심부선량백분율은 대체로 90%이지만, 경우에 따라서는 80%가 선택되기도 한다. 그래서 여기서는 90%와 80%만을 고려하고자 한다. 같은 선량이 들어 가는 깊이의 최대값과 최소값의 차가 90%나 80% 양쪽 다 1mm정도이다. 1mm정도는 측정에서 나타날 수 있는 오차이기 때문에 중요한 의미를 갖지는 못한다. 그렇기 때문에 표준조사면의 크기에 대한 전자선의 심부선

량백분율을 모든 조사면에 적용해도 좋을 것이다.

가속기에서 방출되는 전자선의 에너지를 측정하는 방법으로서 물질내에서 전자의 최대 비정을 구하는 방법이 있다. 물질에서 전자의 최대 비정을 구하는 방법이 그림 5에 나타나 있는데, 선량이 급격히 떨어지는 부분의 접선과 꼬리 부분의 접선이 만나는 점의 깊이가 물질에서 전자의 최대 비정(R_p)이다. R_p 를 알면 임상 전자선의 에너지 E_0 는

$${}_PRP=k_1E_0-k_2$$

에 의해서 구해진다. P 는 측정에 사용된 팬텀의 밀도(비중)이고 k_1 과 k_2 는 팬텀에 따라 정해지는 상수들이다. R_p 의 단 단위는 cm이고, P 의 단위는 없으며 E_0 의 단위는 MeV이다. 표 3에서 보는 바와 같이 크기가 다른 조사면에 대해서 구해진 에너지들이 아주 잘 일치한다. 전자선의 에너지는 조사면의 크기에 무관하기 때문에 이론적으로도 전자의 최대 비정은 조사면의 크기와 무관하다. 즉 최대 비정을 측정하여 전자선의 에너지를 검교정할 때 조사면의 크기에 구애 받을 것 없이 어느 크기를 선택해도 좋다.

4. 결 론

실험의 결과와 그 논의 과정에서 추출해낼 수 있는 결론들은 다음과 같이 요약될 수 있다.

첫째, 전자선의 최대흡수선량깊이는 조사면의 크기와 무관하다.

둘째, 최대흡수선량깊이 d_m 이 최대가 되는 전자선의 에너지가 존재하며, 그 에너지보다 낮은 에너지에서는 에너지가 증가할 때 d_m 이 증가하고 높은 에너지에서는 감소한다.

세째, 조사면의 크기가 변하면 비선량율도 변하며

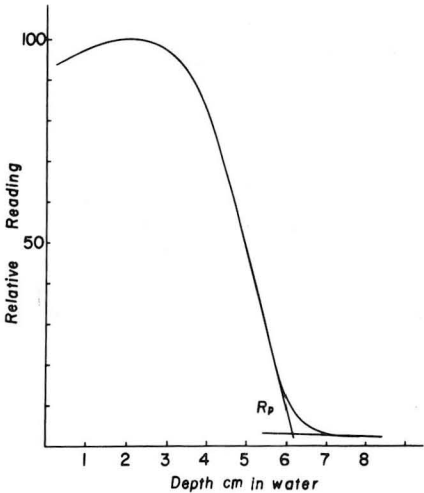


Fig. 5. Graph showing the method to obtain the practical range(R_p). R_p is the depth of the intersection of two lines tangent on sharply dropping part and tail of the central axis depth dose curve of the electron beam.

최대값을 가질 수 있다. 비선량율의 최대값과 최대값에 대응하는 조사면의 크기는 에너지에 따라 변한다.

네째, 비선량율은 콜리메이터에 의한 산란선에 의하여 거의 영향을 받기 때문에 콜리메이터의 구조가 다르면 비선량율도 바뀌게 된다. 비선량율은 반드시 측정되어 계산에 고려되어야 한다.

다섯째, 전자선의 에너지가 바뀌면 표면선량율도 바뀌며 표면선량율이 표면선량율이 최소값을 갖는 에너지가 존재한다.

여섯째, 조사면의 크기가 변할 때 표면선량율도 변하며, 표면선량율이 최소값을 갖는 조사면이 존재한다. 일곱째, 조사면의 크기가 바뀌면 중심축상의 선량분포가 바뀌지만 그 변화는 임상적으로 중요한 의미를 가지고 있지는 않다.

여덟째, 전자선의 최대비정이 조사면의 크기에 무관하기 때문에 최대 비정 측정에 의하여 전자선의 에너지를 결정할 때 조사면의 크기는 무시해도 된다.

5. 감사의 말

본 논문의 작성에 필요한 자료를 얻기 위한 측정에 협조를 아끼지 않으셨던 서울대학교병원 치료방사선과 최태진씨에게 깊은 감사의 뜻을 보내고 싶다.

REFERENCES

1. Johns, H.E. and Cunningham, J.R. : *The Physics of Radiology*. Springfield, Ill., Charles C. Thomas, 3rd Ed. 1969, p. 341-372.
2. Hendee, W.R. : *Medical Radiation Physics*, Chicago, Ill., Year Book Medical Publishers, 1970, p. 224-256.
3. Khan, F.M., Sewchand, W. and Lee, J. : *Revision of tissue-maximum ratio concept for cobalt 60 and higher energy X-ray beams. To be published.*
4. Johns, H.E. : *Use of x and r rays in radiotherapy*. In *Radiation Dosimetry*. Vol. III, Attix, F.H., Roesch, W.C. and Tochilin, E., New York, Academic Press, 2nd Ed. 1969, p. 677-741.
5. British Journal of Radiology, Supplement No. 11 : *Central Axis Depth Dose Data for Use in Radio therapy*. The British Institute of Radiology, London, 1972.
6. Saylor, W.L. and Ames, T.E. : *Dosage calculations in Radiation Therapy*. Baltimore, Md, Urban & Schwarzenberg. 1979. p. 1-52.
7. Almond, D.R. : *Radiation Physics of Electron Beam*. Tapley, N. duV., New York, John Wiley & Sons, Inc., 1976, p. 7-80.
8. Ho, J.H.C., Lam, C.M. and Lai, K.C. : *The value of and need for hing-energy electrons*. In *High Energy Photons and Electrons*. Kramer, S., Suntharalingam, N, and Zinninger, G.F., New York, John Wiley & Sons, Inc., 1976, p. 51-76.
9. Laughlin, J.S. : *Electron Beams*. In *Radiation Dosimetry*, Vol. III, Attix, F.H., Roesch W.C. and Tochilin, E., New York, Academic Press, 2nd Ed. 1969, p. 91-149.
10. 秋成實, 崔炳肅 : 高에너지 電子線の 傾斜照射로 인한 線量分布의 補償, 大韓放射線醫學會誌. 第12卷 第1號, 1976, p. 92-96.
11. Paliwal, B.R., et. al. : *A technique to improve the homogeneity of electron dose distribution in chest wall irradiation*. Int. Journ. of Rad. Onc., Biol, Phys. 5:1979, p. 1889-1892.
12. ICRU Report 21, *Radiation Dosimetry : Electrons with Initial Energies Between 1 and 50 Mev*. International Commission on Radiation Units and Measurements. 1974, p. 42-49.