

## 에너지 저하체로서 아크릴과 SSD가 9MeV 전자선의 측방 및 깊이선량분포에 미치는 효과\*

서울대학교 의과대학 치료방사선과학교실  
서울 종로구 연건동 28, 110-744

강 위 생

1 cm 아크릴 판과 SSD가 9MeV 전자선의 측방선량분포 및 깊이선량분포에 미치는 영향을 평가하여 아크릴 판을 전자선치료에서 에너지 저하체로 사용하는 타당성이 있는가를 분석하는 것이 목적이다. Varian Clinac-2100C에서 발생하는 9MeV 전자선을 7MeV로 저하시키기 위해 1cm 두께의 아크릴 판을 이용하였다. 아크릴 판은 엑스선 표적에서 65.4cm에 있는 전자선용장장치 상단에 두었으며, 조사면의 크기는 SSD 100cm에서 10×10cm로 하였다. 100cm, 105cm, 110cm의 세 가지 SSD에 대해 선축상 깊이선량분포와 최대선량점깊이(1.4cm)에서 가로방향과 세로방향의 측방선량분포를 3D 물뎀틀을 이용하여 측정하였다. 깊이선량분포에서는 최대선량점과 85% 선량점, 50%선량점 깊이와 표면에서 평균에너지, 실비정과 표면에서 최빈에너지를 비교하였다. 측방선량분포 측정으로부터 평탄도, 피넘브러폭, 실조사면크기를 비교하였다. 참조를 위한 목적에서 9MeV 전자선도 측정하였다. SSD가 100cm에서 110cm로 증가함에 따라 7MeV 전자의 표면선량율이 85.5%에서 82.2%로 감소하였고, 선량증가영역을 제외하고는 깊이선량분포는 SSD에 영향을 받지 않았다. 평탄도는 7MeV가 4.7%에서 10.4%로 변하여 9MeV의 1.4%에서 3.5%로 변한 것에 비하여 심하게 변하였다. 피넘브러폭은 7MeV가 1.52cm에서 3.03cm로 증대하여 9MeV의 1.14 cm에서 1.63cm로 증대된 것에 비해 심하게 변하였다. 7 MeV 전자선의 실조사면크기는 10.75cm에서 12.85 cm로 증대하여 9MeV 전자선의 10.32cm에서 11.46cm로 증대하는 것에 비해 심하게 변하였다. 가상선원표면거리는 7 MeV, 9MeV 각각에 대해 49.8cm, 88.5cm였다. 에너지 저하체를 이용하는 경우에도 그렇지 않은 경우와 마찬가지로 SSD가 멀어져도 선량증가영역을 제외하고는 깊이선량분포는 변하지 않았다. 에너지 저하체를 사용하면 그렇지 않은 경우에 비해 SSD가 증가하면 평탄도가 허용범위를 넘어 나빠지고, 피넘브러 폭은 넓어지며 조사면 크기가 더 심하게 커진다. 가상선원표면거리는 현저하게 짧아졌다. 결론적으로 전자선치료에서 특히 먼 SSD에서 에너지 저하체를 이용하지 않는 것이 바람직하다고 생각된다.

중심 단어: 전자선치료, 에너지 저하체, 깊이선량분포, 측방선량분포

### 서 론

피부영역의 암치료에 전자선이 활용된지는 오래 되었다. 전자선 치료가 가능한 선형 가속기가 다양하지만 전자선의 에너지는 몇 가지로 제한되어 있다.

전자선치료에서는 처방선량을 조사하기 위해 깊이선량을 이용하지 않고 치료대상에 최대선량의 90% 이상의 선량을 조사할 수 있는 에너지를 선택하는 것이 일반적인 방법이다. 종양에 인접한 정상

조직을 보호하고자 할 때는 80%를 적용하기도 한다. 그럴지라도 적합한 에너지가 없는 경우에는 종양보다 깊은 곳에 있는 정상조직을 보호하기 위한 어떤 방법을 모색하게 된다. 이와 같은 경우에 불러스를 이용하기도 하지만 피부 선량이 높아지는 단점이 있다.

전자가 물질을 통과할 때 에너지를 잃기 때문에 물질 켜가 두꺼울수록 통과한 전자의 에너지는 감소된다<sup>1)</sup>. 전자선의 에너지를 감소시켜 사용하는 것이 종양보다 깊은 곳에 있는 정상조직을 보호할 수 있는 한 가지 방법이 될 수 있다.

전자선의 에너지를 감소시키기 위한 에너지 저하

\* 이 연구는 1990년도 서울대학교병원 임상진료연구비의 지원에 의해 이루어진 것임.

체로 아크릴 판을 이용하였다. 이 아크릴 판을 전자선 응용장치의 상단에 둘 때 SSD가 100cm, 105cm, 110cm인 경우에 대해 측방선량분포와 깊이선량분포를 측정하여 여러 가지 선량분포 변수를 비교하였다.

**자료 및 방법**

전자선의 에너지를 감소시키기 위하여 사용될 수 있는 물질은 다양할지라도 물질의 구성이나 밀도, 두께가 균일해야 한다. 필자들은 투명하면서 값싸게 구할 수 있는 아크릴 판을 전자선의 에너지 저하체로 이용하였다.

Clinac-2100C(Varian, 미국)에서 발생하는 9MeV 전자선을 7MeV로 저하시키기 위해 1cm 두께의 아크릴 판을 이용하였다. 명목상 엑스선 선원에서 전자선의 에너지 저하체로 이용하고자 하는 아크릴 판까지 거리를 64.4cm로 하였다. Clinac-2100C의 전자선 치료용 응용장치를 설치하면 엑스선 선원에서 가장 가까운 부위인 상단까지의 거리가 65.4cm이고 전자선 응용장치의 상단 위에 아크릴 판을 얹어 두었기 때문이다. 전자선의 에너지 저하체로 이용하고자 하는 아크릴 판을 응용장치 상단에 두었다. SSD 100 cm에서 10×10cm<sup>2</sup>인 전자선 응용장치를 사용하였다.

100cm, 105cm, 110cm(각각의 gap은 0cm, 5cm, 10cm이다)의 세 가지 SSD에 대해 선축상 깊이선량분포와 최대선량점깊이에서 가로방향(crossplane)과 세로방향(inplane)의 측방선량분포를 측정하였다. 선량분포 측정을 위해 3차원 물팬텀(Blue Phantom, Wellhöfer, 도이칠란트)과 이온함(IC-15)을 사용하였

다.

깊이선량분포에서는 최대선량점과 85% 선량점, 50%선량점 깊이와 표면에서 평균에너지, 실비정과 표면에서 최빈에너지, 표면선량율을 측정하였다. 측방선량분포 측정에서 평탄도, 피넘브리폭, 실조사면 크기를 비교하였다. 최대선량점 깊이의 실조사면 크기를 이용하여 가상선원표면거리(virtual SSD)를 계산하였다<sup>1)</sup>.

실조사면크기는 최대선량점 깊이에서 선축 선량의 50%선량점 사이의 거리로 표현된다. 평탄도는 실조사면크기의 80%범위내에서 정의되며, 피넘브리 폭은 최대선량점 깊이에서 80%와 20%점 사이의 거리이다.

표면에서 평균에너지  $\bar{E}_0$ 와 최빈에너지  $E_{p0}$ 는 각각 아래 식에 의해 산출하였다<sup>2-3)</sup>.

$$\bar{E}_0 = 2.33d_{50} \tag{1}$$

$$E_{p0} = 0.22 + 1.98R_p + 0.0025R_p^2 \tag{2}$$

여기서  $d_{50}$ 과  $R_p$ 는 각각 물에서 전자선의 50% 선

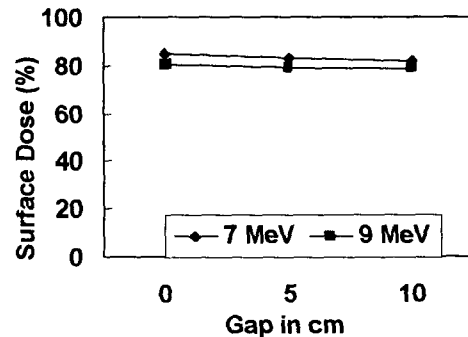


Figure 1. Surface dose of 7 and 9 MeV electron beams.

Table 1. Comparison of some ranges of doses of 7 and 9 MeV electron beams by gap.

Nominal energy	Gap (cm)	$D_{0.05}$ (%)	$d_{max}$ (cm)	$d_{85}$ (cm)	$d_{50}$ (cm)	$E_0$ (MeV)	$R_p$ (cm)	$E_{p0}$ (MeV)
7MeV	0	85.3	1.39	2.11	2.72	6.338	3.42	7.021
	5	83.1	1.41	2.13	2.73	6.361	3.44	7.061
	10	81.9	1.43	2.14	2.73	6.361	3.44	7.061
9MeV	0	80.8	2.10	2.87	3.54	8.248	4.38	8.940
	5	79.4	2.08	2.88	3.55	8.272	4.37	8.920
	10	78.7	2.10	2.89	3.56	8.295	4.38	8.940

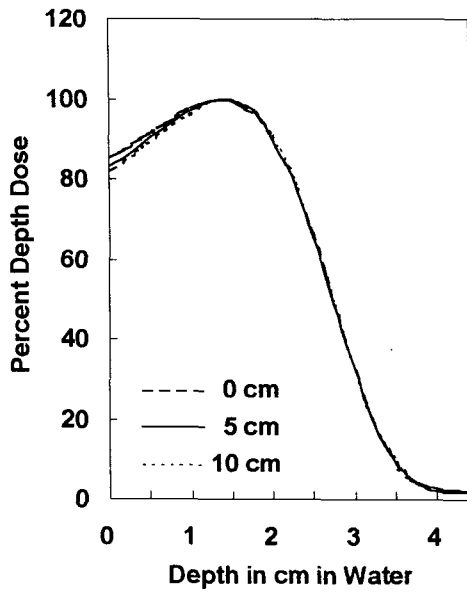


Figure 2. Percent depth dose of 7 MeV electron reduced from 9 MeV by 1 cm acrylic plate for three different gap.

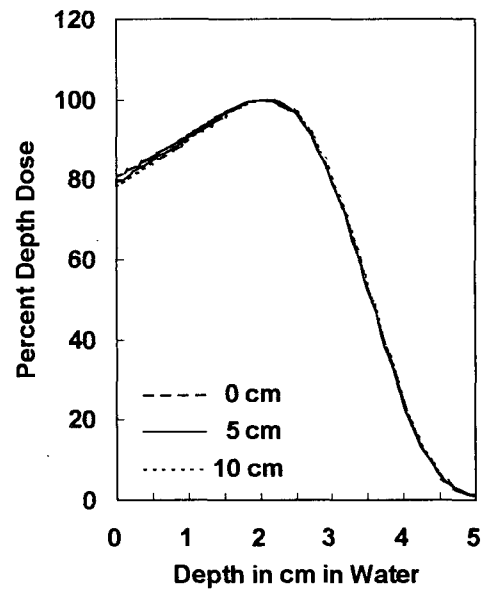


Figure 3. Percent depth dose of 9 MeV electron beam for three different gap.

량점 깊이와 실비정이다.

에너지 저하체의 영향을 확인하기 위하여 에너지 저하체를 사용하지 않은 9MeV 전자선에 대해서도 여러 가지 변수를 구하여 에너지 저하체를 이용하여 얻은 7MeV 전자선과 비교하였다.

### 결 과

9 MeV 전자선을 1cm 아크릴 판으로 에너지를 감소시켜 얻은 7 MeV 전자선의 표면선량률이 Figure. 1

과 Table 1에 제시되어 있다. gap이 0cm에서 10cm로 증가함에 따라 7MeV 전자선의 표면선량률( $D_{0.05}$ )이 85.3%에서 81.9%로 감소하였으며, 같은 조건의 gap에 대하여 9 MeV 전자선의 표면선량률은 80.8%에서 78.7%로 감소하였다.

Figure 2와 Figure 3, Table 1에는 각각 7 MeV와 9 MeV 전자선의 깊이선량분포가 세 가지 다른 gap에 대하여 비교되어 있다. 최대선량점깊이  $d_{max}$ 는 7 MeV와 9 MeV 각각에 대하여 1.4 cm, 2.1 cm이며 gap에 무관하였다. 표면선량률이 gap에 영향을

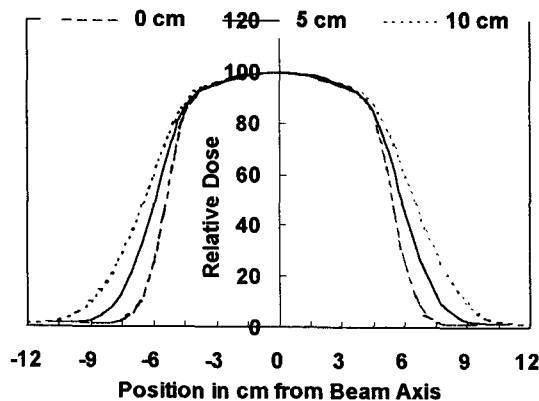


Figure 4. Dose profile of 7 MeV for 0, 5 and 10 cm gap.

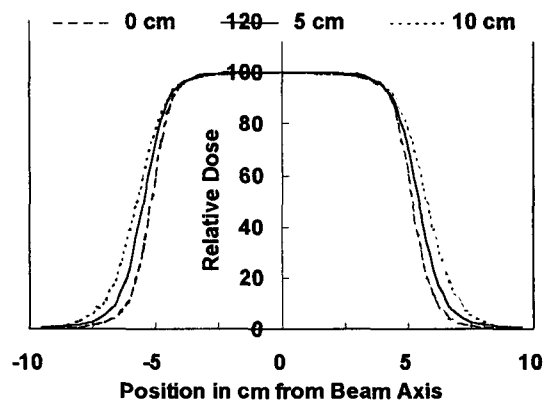


Figure 5. Dose profile of 9 MeV electrons for 0, 5 and 10 cm gaps.

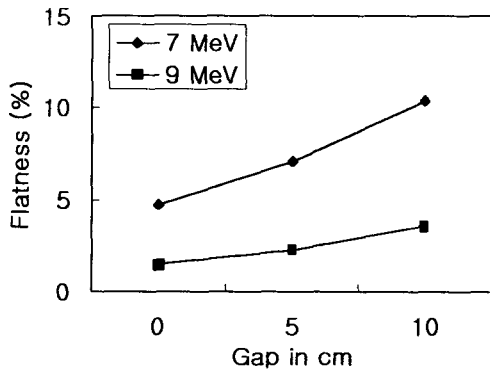


Figure 6. Flatness of 7 and 9 MeV electron beams by gap sizes

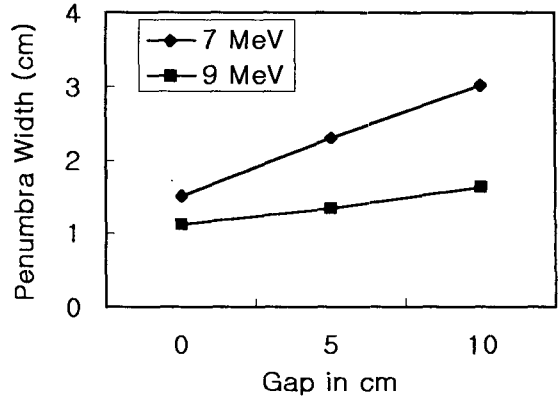


Figure 7. Penumbra width of electron beams.

받는 것과 마찬가지로 선량증가영역에서도 7 MeV와 9 MeV 둘 다 gap이 증가함에 따라 선량율이 감소하였다.  $d_{max}$ 보다 깊은 곳의 깊이선량분포는 에너지에 관계없이 gap(SSD)에 영향을 받지 않았다. 이와 더불어 식 (1)과 식 (2)에 의한 표면에서 평균에너지와 최빈에너지도 전자선의 에너지와 관계없이 gap(SSD)에 거의 무관하였다.

Figure 4와 5는 각각 7MeV와 9MeV의 전자선에 대해 0cm, 5cm, 10cm의 세가지 gap에 의한 선량최대점 깊이에서 측방선량분포를 보여주고 있다. Figure 4나 5에서 평탄도와 피넨브러 폭, 실조사면 크기를 평가할 수 있지만 간단하지는 않을 것이다. Table 2와 Figure 6에서 갭에 따른 평탄도가 에너지 저하체와 무관한 9 MeV 전자선에 비해 에너지 저하체를이용해 얻어진 7 MeV 전자선의 평탄도가 악화되어 있고 갭이 0cm에서 5cm, 10cm로 커질수록 평탄도가 4.7%에서 7.1%, 10.4%로 악화되었음을 보여주고 있다. 에너지 저하체로 아크릴 1 cm를 이용하

면 갭이 큰 경우는 물론이고 갭이 0인 경우에서조차 전자선의 평탄도 허용범위를 넘어섰다. 에너지 저하체가 없는 9 MeV 전자선의 경우도 SSD(갭)가 멀어짐에 따라 평탄도가 1.4%에서 3.5%로 나빠지는 했다.

최대선량점깊이에서 측정된 피넨브러의 폭은 Figure 7과 Table 2에 제시되어 있다. 에너지 저하체로 에너지를 감소시킨 7 MeV 전자선의 피넨브러 폭은 갭 0cm, 5cm, 10cm에 대하여 각각 1.51cm, 2.30cm, 3.02cm로서 갭이 클수록 피넨브러폭이 증가하였다. 9 MeV 전자선도 갭 0cm, 5cm, 10cm에 대하여 각각 1.13cm, 1.34cm, 1.63cm로서 갭이 클수록 피넨브러폭이 증가하였다. 7MeV와 9MeV 전자선을 비교하면 에너지 저하체가 이용된 7MeV 전자선의 피넨브러폭이 훨씬 넓고 갭에 대한 의존성도 현저하였다. Figure 4와 5에서도 이 특성을 확인할 수 있다.

Figure 8과 Table 2에는 전자선의 실조사면크기

Table 2. Comparison of dose profiles of 7 and 9 MeV electron beams by gap.

Gap (cm)	Scan direction	7 MeV			9 MeV		
		Flatness (%)	Penumbra width (cm)	Actual field size (cm)	Flatness (%)	Penumbra width (cm)	Actual field size (cm)
0	Inplane	4.9	1.53	10.75	1.5	1.15	10.33
	Crossplane	4.6	1.50	10.75	1.4	1.12	10.31
5	Inplane	7.0	2.29	11.81	2.4	1.36	10.88
	Crossplane	7.2	2.31	11.80	2.1	1.33	10.88
10	Inplane	10.4	3.02	12.86	3.8	1.64	11.46
	Crossplane	10.3	3.03	12.83	3.3	1.62	11.46

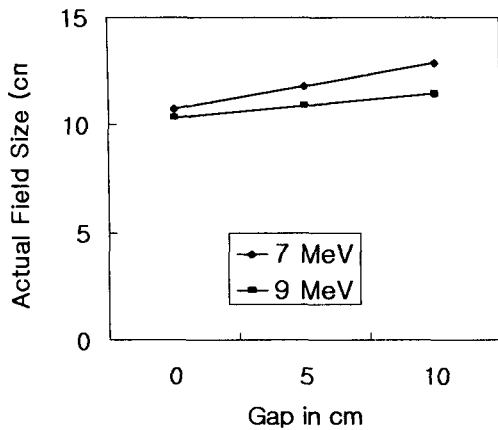


Figure 8. Actual field size of 7 and 9 MeV electron beams by gap.

가 제시되어 있다. 7MeV 전자선의 실조사면크기는 0cm, 5cm, 10cm의 갭에 대하여 각각 10.75cm, 11.80 cm, 12.85cm로 갭에 따라 증가하였다. 9MeV 전자선도 갭이 0cm에서 10cm까지 커짐에 따라 실조사면크기가 10.32cm에서 11.46cm로 증가하였다. 에너지 저하체가 이용된 7 MeV 전자선의 실조사면크기가 그렇지 않은 9 MeV 전자선에 비해 갭에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. Figure 4와 5에서도 갭이 커짐에 따라 실조사면크기가 증가함을 확인할 수 있다.

가상선원표면거리는 7MeV, 9MeV 각각에 대해 49.8 cm, 88.5cm였다.

### 토 론

gap이 0cm에서 10cm로 증가함에 따라 7MeV 전자의 표면선량율( $D_{0.05}$ )이 85.3%에서 81.9%로 감소하였지만 의미 있는 변화는 아니었다. 같은 조건의 gap에 대하여 표면선량율이 80.8%에서 78.7%로 감소한 9 MeV 전자선과 비교할 때 9 MeV보다 표면선량율이 4% 정도 높다는 외에는 별다른 차이가 없다. 7MeV나 9MeV 전자선의 선량증가영역에서 선량이 갭이 커지면서 감소하는 것은 콜리메이터에서 산란된 전자의 기여도가 감소하는데 그 이유가 있을 것으로 생각된다.

선축상 선량분포에서 최대선량점깊이보다 깊은 부위의 선량분포는 갭에 영향을 받지 않았다. 따라서 50% 선량점과 실비정에 의해 결정되는 표면평균 에너지와 표면최빈에너지도 갭에 영향을 받지 않았

다. 특히 에너지 저하체로 이용된 아크릴 판에서 산란된 전자까지 포함하고 있기 때문에  $10 \times 10 \text{cm}^2$ 의 전자용용체에 대해 측방 전자평형이 충분히 형성되었다고 보기 어려우므로 표면평균에너지가 정확히 평가되었다고 하기도 어렵다.<sup>1)</sup> 그렇지만 측정에서 얻어진 자료만으로도 표면평균에너지는 10cm 범위 내에서는 갭에 무관하다고 말할 수 있을 것이다.

에너지 저하체를 이용하여 얻어진 7MeV 전자선의 평탄도는 갭이 증가함에 따라 나빠지고, 피넘브러폭이 넓어지고, 실조사면크기가 커지는 것은 에너지 변화물이 전혀 개재되지 않은 민조사면의 9 MeV 전자선의 측방선량분포에 비추어 볼 때 예상될 수는 있지만 7MeV 전자선이 정도가 훨씬 심했다.

아크릴 판이 전자선의 에너지를 저하시키기 위한 목적으로 사용하였기 때문에 팬텀표면에서 평균에너지와 최빈에너지는 기대한 대로 저하되었다. 하지만 전자가 아크릴 판을 통과하는 중에 아크릴과 서로작용한 전자의 진로가 영향을 받았을 것<sup>4)</sup>이라고 이해된다. 따라서 민조사면에 비해 에너지 저하체가 개재된 경우 입사각이 큰 전자가 차지하는 비율이 높아졌을 것이다. 이 현상이 전자선 용구 끝에서 크게 멀지 않은 위치에서는 적용될 수 있을 것이다. 전자선 용구 끝에서 거리가 멀어지면 입사각이 큰 전자가 조사면 밖으로 빠져나가기 때문에 앞에서 제시한 현상이 적용되지 않을 수 있을 것이다. 전자선 용구 끝에서 입사각이 큰 전자는 용구에서 멀어질수록 측방으로 확산이 점차 심해질 것이다. 그 결과로 갭이 클수록 평탄도가 나빠지고, 피넘브러폭이 넓어지고 실조사면크기가 민조사면에 비해 빠르게 증가되는 것이라고 볼 수 있을 것이다. 가상선원 표면간 거리가 민조사면에 비해 짧아지는 것도 에너지 저하체에서 산란된 전자의 선량기여도가 증가하기 때문이라고 설명될 수 있다.

에너지 저하체를 쓰는 대신 같은 두께의 물체를 보울러스로 쓸 수도 있을 것이다. 두 가지 경우의 선량분포를 비교해 보면 측방선량분포에 있어서는 보울러스를 쓰는 경우가 이점이 있고, 깊이선량분포에 있어서는 에너지 저하체를 쓰는 경우가 유리하다. 보울러스를 쓰는 경우 평탄도나 피넘브러폭, 실조사면크기는 에너지 저하체를 쓰지 않은 9 MeV 전자선의 해당 사항과 동일하며, 피부의 선량은 에너지 저하체를 쓰지 않은 9 MeV 전자선의 1cm 깊이에서

선량율과 같으며, 1cm 깊이의 선량율은 Figure 3에서 볼 수 있는 바와 같이 90% 내외로서 에너지 저하체를 쓴 경우의 83% 내외에 비해 높다.

### 결 론

에너지 저하체를 이용하는 경우에도 그렇지 않은 경우와 마찬가지로 SSD가 멀어져도 표면선량만 약간 감소할 뿐 깊이선량분포는 변하지 않는다. 에너지 저하체를 사용하면 그렇지 않은 경우에 비해 평탄도가 허용범위를 넘어 나빠지고 피넘브러폭이 넓어지며 겹이 증가하면 더 심해진다. 가상선원표면거리는 9MeV의 88.5cm에서 49.8cm로 현저하게 짧아졌다. 결론적으로 전자선치료에서 에너지 저하체를 이용하지 말아야 한다고 생각된다.

### 참고 문헌

1. Khan F.M.: *The Physics of Radiation Therapy*. Williams & Wilkins, Baltimore, 299-305 (1995)
2. 한국의학물리학회: 방사선량의 표준측정법; 방사선치료용 광자선 및 전자선. 의학물리 2:37 (1991)
3. American Association of Physicists in Medicine, RTC Task Group 25: Clinical electron dosimetry: Report of AAPM radiation therapy committee Task Group 25. Med. Phys. 18:73 (1991)
4. Klevenhagen S.C.: *Physics of Electron Beam Therapy*. Medical Physics Handbooks 13. Adam Hilger, Bristol, pp37 (1985)

## Effect of an Acrylic Plate and SSD on Dose Profile and Depth Dose Distribution of 9 MeV Electron Beams

Wee-Saing Kang, Ph.D.

*Dept. of Therapeutic Radiology, College of Medicine, Seoul National University,  
28 Yeongeon-dong, Chongno-gu, Seoul 110-744, Korea*

The aims are to evaluate the effects of an 1.0 cm acrylic plate and SSD on the dose profile and depth dose distribution of 9 MeV electron beam and to analyse adequacy for using an acrylic plate to reduce energy of electron beams. An acrylic plate of 1.0 cm thickness was used to reduce energy of 9 MeV electron beam to 7 MeV. The plate was put on an electron applicator at 65.4 cm distance from x-ray target. The size of the applicator was 10×10cm at 100 cm SSD. For 100cm, 105cm and 110cm SSD, depth dose on beam axis and dose profiles at  $d_{max}$  on two principal axes were measured using a 3D water phantom. From depth dose distributions,  $d_{max}$ ,  $d_{85}$ ,  $d_{50}$  and  $R_p$ , surface dose, and mean energy and peak energy at surface were compared. From dose profiles flatness, penumbra width and actual field size were compared. For comparison, 9 MeV electron beams were measured. Surface dose of 7 MeV electron beams was changed from 85.5% to 82.2% increasing SSD from 100 cm to 110 cm, and except for dose buildup region, depth dose distributions were independent of SSD. Flatness of 7 MeV ranged from 4.7% to 10.4% increasing SSD, comparing 1.4% to 3.5% for 9 MeV. Penumbra width of 7 MeV ranged from 1.52 cm to 3.03 cm, comparing 1.14 cm to 1.63 cm for 9 MeV. Actual field size increased from 10.75 cm to 12.85 cm with SSD, comparing 10.32 cm to 11.46 cm for 9 MeV. Virtual SSD's of 7 and 9 MeV were respectively 49.8 cm and 88.5cm. In using energy reducer in electron therapy, depth dose distribution were independent of SSD except for buildup region as well as open field. In case of using energy reducer, increasing SSD made flatness to deteriorate more severely, penumbra width more wide, field size to increase more rapidly and virtual SSD more short comparing with original electron beam. In conclusion, it is desirable to use no energy reducer for electron beam, especially for long SSD.

**Keyword:** energy reducer, dose profile, depth dose distribution