

## 차폐면적의 변화에 따르는 전자선 출력인자의 변화

이병용, 김정만, 김정화, 권경태, 이두현, 이강현, 최은경, 장혜숙  
아산재단 서울중앙병원 치료방사선과, 울산대학교 의과대학 치료방사선과학 교실.

### 서 론

전자선이 갖는 여러 종류의 장점으로 인해 방사선 치료에서 그 사용이 점차 늘어가고 있다. 일반적으로 환자의 치료부위는 틀에 짜여진 정사각형 모양이 아니고 부정형이다.

환자에게 조사되는 부정형 조사면의 선량계산에 대한 방법은 광자선(X선,  $\gamma$ 선)에 대해서는 비교적 많은 연구가 진행되어 몇가지의 안이 제시되고 있기는 하지만, 전자선에 있어서는 거의 알려진 바가 없다. 광자선의 경우 임의의 직사각형 조사면에 대해서 등가 조사면평가(A/P방법)방법 또는 이미 만들어진 표를 흔히 사용하기도 하지만 그 결과는 큰 차이가 없는 것으로 알려져 있다.<sup>1,2,3)</sup>

전자선에 있어서 조사면 크기의 변화에 따라서 유효 조사면 크기의 평가를 1차원적으로 고려하는 방법이 Mills<sup>4)</sup> 등에 의해 발표된 바가 있고 그 후에 Shen<sup>5)</sup>이 다항식 전개에 의한 상수 결정방법으로 더욱 정확한 모형을 제시한 바가 있다. 그 이외에도 Monte Carlo Simulation<sup>6,7)</sup>이나 McParland<sup>8)</sup> 등의 최적화 방법등이 직사각형 전자선 조사면의 출력인자 예상방법으로 제시되었다. 그러나 Mills, Shen, McParland 등의 방법은 본원에서 보유하고 있는 가속기와 같이 전자선 콘이 환자에게 거의 밀착되는 형태가 아닌 콜리메이터를 변화시키는 것에 대한 이론들이므로 흔히 사용하는 전자선 콘등에는 적용할 수 없으며,<sup>5)</sup> Monte Carlo Simulation은 방법의 난이성과 긴시간 소요등의 실질적인 문제가 있으므로 임상에 적용하는데 많은 어려움이 있다.

이에 저자들은 임상적으로 쉽게 적용할 수 있는 모형을 찾기 위하여 차폐면적의 변화에 따르는 전자선 출력인자의 변화에 관한 실험과 분석을 시행하였다.

### 방 법

전자선 발생장치로는 6, 9, 12, 15, 18MeV 에너지의 전자선을 발생할 수 있는 C/L1800(Varian, USA) 선형가속기를 사용하였으며, 측정장치로는 Multidata 물관로계, Victoreen 500 미소 전류계(Victoreen, 미국)등을 사용하였다. 이때 사용된 전리함을 방수가 가능한 0.125cc (PTW 233641)이었다. 사용된 전자선 콘은 전원-전자선콘까지의 거리가 95cm로 설계되어 SSD 100cm 측정할때 팬텀 표면에서 콘의 끝까지 간격은 5cm가 된다. SSD 100cm일때 20×20cm<sup>2</sup>, 10×10의 조사면을 갖는 콘에 대하여 여러 크기의 정사각형, 직사각형 블럭을 제작하여 측정에 이용하였다.

모든 측정은 dmax에서 이루어졌으며, 블럭의 크기가 변함에 따라 dmax의 위치도 이동하므로 그때마다 측정점을 바꾸어 가며 측정하였다(그림 2). 차폐블럭에 의한 산란선의 영향 변화를 보기위하여 공기중에서 선량율의 변화를 측정하였다(그림 1). 전하축적두껍(build up cap)은 에너지에 따라 바꾸었으며 이때 차폐 블럭으로 인한 미세한 dmax의 변화는 무

시하였다.

### 이론(모형)

팬텀내 임의의 점에서의 선량은 1차 전자선에 의한 요인 외에 콜리메이터 및 콘에서의 산란선 영향과 팬텀속에서의 산란선 영향 2가지 인자가 기여한다고 가정하였다(그림 3).

따라서 전자선의 선량을 예측하려면 공기중 산란인자와 팬텀산란인자를 구하면 된다.

$$D_{EPS} = D_{phantom}D_{air} \dots\dots\dots (1),$$

이며 이때  $D_{EPS}$ 는 팬텀속에서의 산란인자,  $D_{phantom}$ 은 팬텀속에서의 선량,  $D_{EPS}$ 는 팬텀이 없을때의 선량이다. 이식은 광자선에서의 BSF(Back Scatter Factor)의 동일한 개념이다.

차폐물이 있을 경우 유효 조사면 크기의 결정은 전자선 팬텀산란( $D_{EPS}$ )과 공기중 차폐물 산란( $D_{air}$ )에 대해 구별하여야 한다. 전자선 팬텀 산란은 광자선에서와 같이 전통적인 A/P방법으로 구하고,  $D_{air}$ 는 Mills, Shen등이 가변콜리메이터형 전자선가속기에서 제시했던 제곱 평방근 모형을 응용하여

$$D_{a,b} = (D_{a,R} \times D_{b,R})^{1/2}_{Air}, \dots\dots\dots (2)$$

로 정하였다.

이때  $D_{a,b}$ 는  $R \times R$  크기의 콘을 차폐물로 가려서  $a \times b$  조사면을 사용했을 때의 공기중 선량을 비이며(즉,  $a \times b$  조사면의 공기중 선량율과 차폐가 없는  $R \times R$  조사면의 공기중 선량율과의 비),  $D_a, R, D_b, R$ 은 각각  $a \times R, b \times R$  조사면에서의 공기중 선량율 비이다.

### 결과 및 논의

물팬텀 속에서 측정된 값과 공기중에서 같은 조건으로 측정된 값, 그리고 (1)식에 의해 구해진 전자선 팬텀 산란인자를 차폐면적의 변화에 따라 표시하였다(그림 4). 물팬텀속에서는 차폐블럭이 증가함에 따라 선량율이 증가하다가 감소하는 추세를 보여주고 있으며, 반면 전자선 팬텀 산란인자는 거의 일정한 값을 보여주다가 조사면이 감소하면서 급격히 줄어드는 추세를 보여준다. 전자선 콘에 차폐물이 있을때 선량이 증가하는 현상은 전적으로 차폐물에 의한 산란선의 영향임을 확인할 수 있었다.

(1)식과 (2)식을 이용하여 콘 크기  $20 \times 20cm^2$ 로부터 만들어진 여러 크기의 조사면에 대한 계산값과 실제 측정값과의 비교를 각각의 에너지에 대하여 구하였다. 유효 조사면 크기를 A/P방법으로 평가하였을 때와 Mills등의 방법으로 평가하였을때를 함께 비교하여보았다.

조사면이 큰 경우는 세가지 방법이 차이가 없이 작은 오차를 보여주고 있으나, 차폐면적이 늘어나고 조사면이 줄어들때 따라서 본 연구에서 제시한 모형(AMC방법)은 거의 오차가 없으나(1%이내) 다른 두 방법에 의한 것은 예상값(계산값)이 측정값에 비해 크게 평가되거나(A/P방법) 작게 평가되는 (Mills등의 방법)경향을 모든 에너지에 걸쳐서 보여주고 있다.

전자선 콘의 크기가  $10 \times 10cm^2$ 인 경우에도 이러한 일반적 추세는 동일하게 나타났다(그림 10).

직사각형 조사면에 대한 유효면적 평가방법은 광자선의 경우는 비교적 잘 확립되어 있으나, 전자선의 경우, 특히 환자와 거의 접촉할 정도까지 연장되는 전자선 콘을 사용하는 장치에 대해서는 연구가 거의 없는 실정이라서 실제 임상에서는 모든 환자마다 측정하여 선량을 계산하는 불편을 겪어 왔다.<sup>9)</sup>

그러나 본 연구에서 제안한 모형(AMC방법)을 적용한다면 계산값과 측정값이 대단히 잘 일치시킬 수 있다. 팬텀속에서의 선량은 광자선의 경우 팬텀속에서의 산란과 공기중에서의 산란선이 조사면 크기에 따른 출력인자의 변화에 기인한다는 사실은 이미 잘 확립되어진 이론이다. 이 모형을 전자선에 적용하였을 때 결과를 보면 전자선 팬텀산란은 차폐면적이 그리 크지 않을 때는 값이 별로 변화가 없었다(그림 5). 그 이유는 전자선의 특성에 기인하는 것으로 실험비정( $R_p$ )이 제한되어 있으므로 조사면이 커지더라도 팬텀산란은 증가하지 않는다. 반면 팬텀산란이 변하는 영역에서는 광자선과 같이 A/P방식을 적용할 수 있을것이다. 차폐물에 의한 산란, 혹은 콜리메이터에 의한 산란 인자는 Mills, Shen등의 방법인 제곱평방근 모형을 따랐다. 이들의 모형은 콘을 사용하지 않고, 콜리메이터를 변화시키며 조사면을 바꾼경우에 해당하기 때문이다. 그런 이유로 공기중 산란인자 평가를 위한 유효면적 평가를 (2)식과 같이 따르는 것이 타당성이 있다고 본다. 본 모형에서 제시된 방법이 다른 기종에서도 동일하게 적용될 수 있는지는 알 수 없으며, 이에 대한 세밀한 연구가 필요하다.

또한 공기중의 선량을 변화를 전하 축적 두껍(build up cap)을 사용하여 측정하였는데 여기에는 2가지 문제가 따른다.

첫째, 전하축적 두껍이 다양하게 확보되어야 한다. 즉, 에너지에 따라서  $d_{max}$ 가 다르기 때문이다 또한 조사면에 따라  $d_{max}$ 가 변하는 것도 고려할 수 있다면 더욱 정확한 측정을 할 수 있을 것이다. 둘째, 측정이 반복되면서 측정값이 변화해가는 문제가 있다. 그 이유는 일반적으로 전하 축적 두껍이 전기 절연물로 되어 있으므로 여기에 쌓여진 전하가 정밀한 측정을 방해하는 것으로 보인다. 본 연구에서는 여러 차례에 걸쳐서 나누어 측정을 함으로 이 문제를 피해 나갈 수 있었다.

전자선에서 전하축적두껍을 통해 얻어진 값에 대한 선량평가에 있어서는 몇가지 고려해야할 문제가 제기된다. 전자선의 공기에 대한 저지능비 및 전자선 섭동 보정인자(또는 전자선 플루언스 보정인자)등 평가의 어려움 때문이다.<sup>10)</sup> 그러나 본 모형에서 요구한 값은 동일한 조건에서의 단순한 상대적 값들이므로(단순히 측정기 지지값의 상대적인 비율만을 계산에 이용하는 것이므로)이에 따르는 문제는 무시할 수 있다고 본다.

전자선의 팬텀 산란인자를 팬텀내에서 직접 측정할 수 있는 방법이 있다면 본 모형은 더욱 확실한 물리적 기반을 갖게 될 것이다.

## 결 론

전자선 차폐면적의 변화에 따르는 선량율의 변화에 대한 규칙을 찾아 보았다. 팬텀속에서 전자선 선량에 기여하는 것을 1차선 이외에 콘과 차폐물에 의한 산란(공기중의 산란)과 팬텀에서의 산란으로 나누어 전자의 경우는 Mills, Shen등이 제안한 대로 가변 콜리메이터에서의 모형인 제곱 평방근을 적용하였으며, 후자의 경우는 A/P방법을 따른다고 가정하였다. 이 모형에 따른 계산값과 측정값의 차이는 에너지와 콘 크기에 관계없이 1%이내의 오차를 보여주어서 이 모형을 실제 임상에 적용할 수 있음을 알았다.

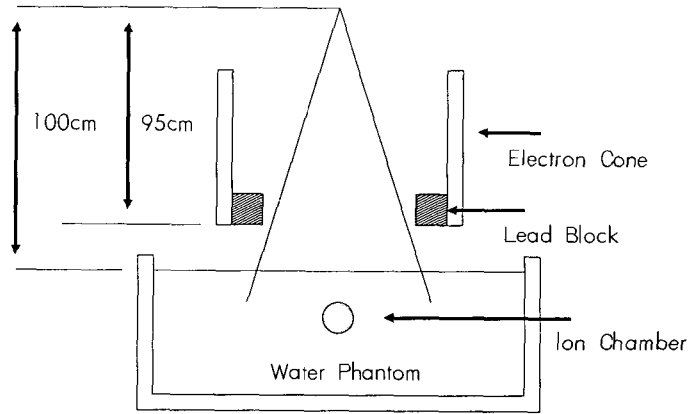


Fig. 1. Experimental setup in the water phantom. Measurement position( $d_{max}$ ) changes according to block area.

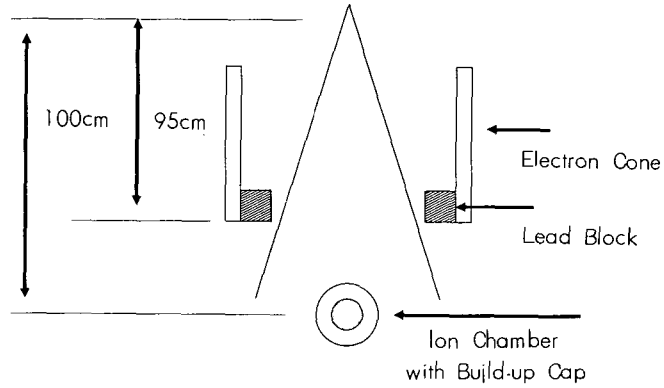


Fig. 2. Experimental setup in the air with build-up cap.  $d_{max}$  variation was ignored.

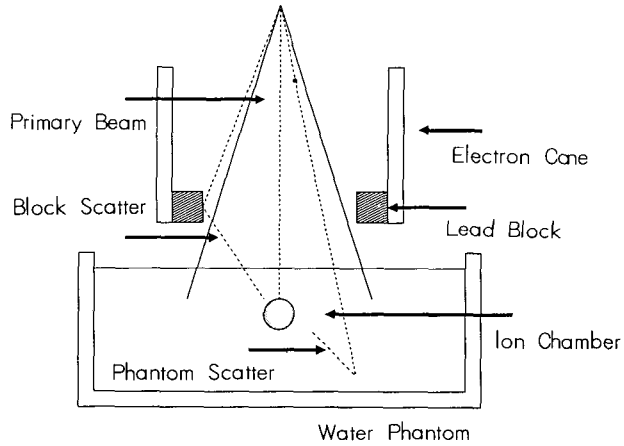


Fig. 3. Scatter Contribution of measured dose. 1. from collimator and block, 2. from phantom.

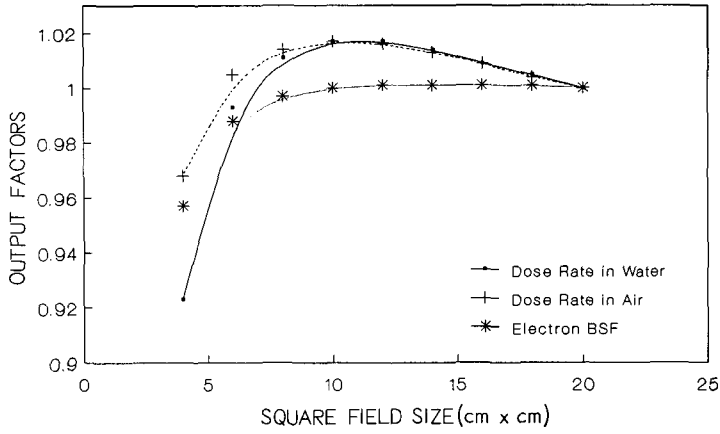


Fig. 4. Calculated Phantom scatter factor from total dose and collimator block scatter, using eq.(1) (for 9MeV, 20 × 20cm cone)

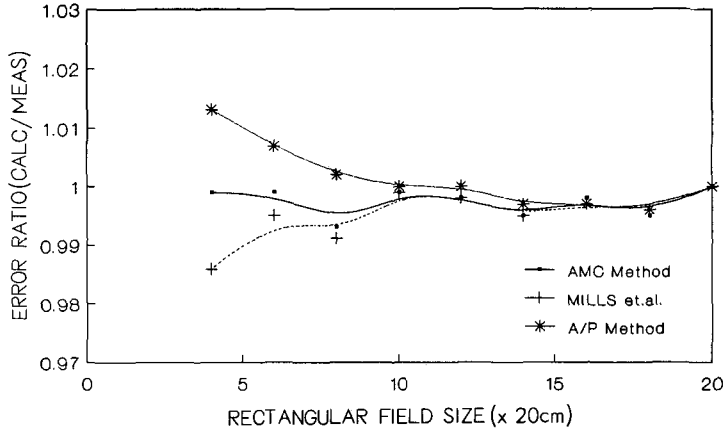


Fig. 5. The ratio between measured value and caculated value, for 6MeV 20 × 20cm cone, AMC method shows the errors within 1%.

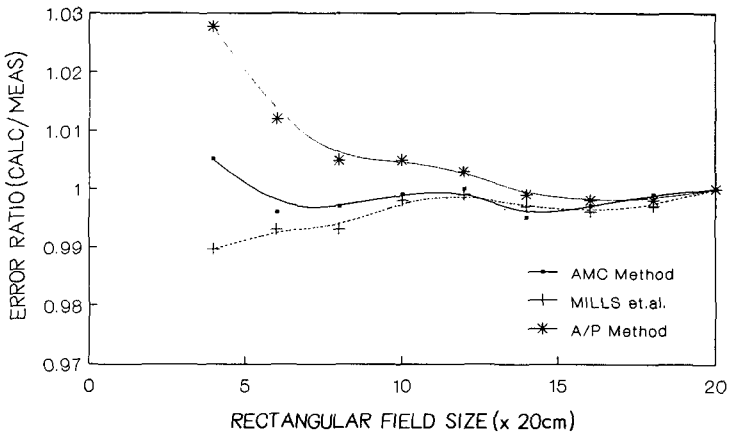


Fig. 6. The ratio between measured value and caculated value, for 9MeV 20 × 20cm cone, AMC method shows the errors within 1%.

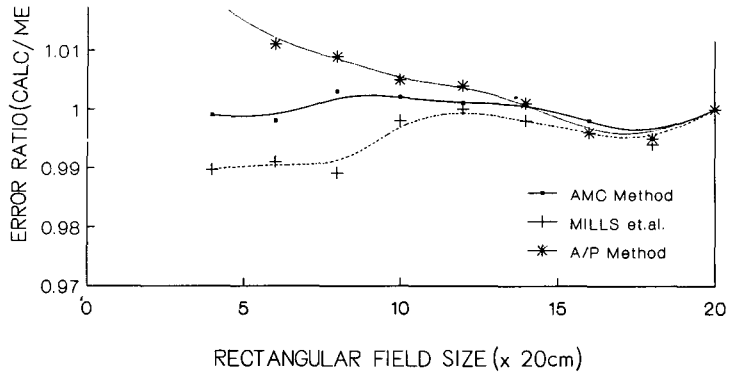


Fig. 7. The ratio between measured value and caculated value, for 12MeV  $20 \times 20\text{cm}^2$  cone, AMC method shows the errors within 1%.

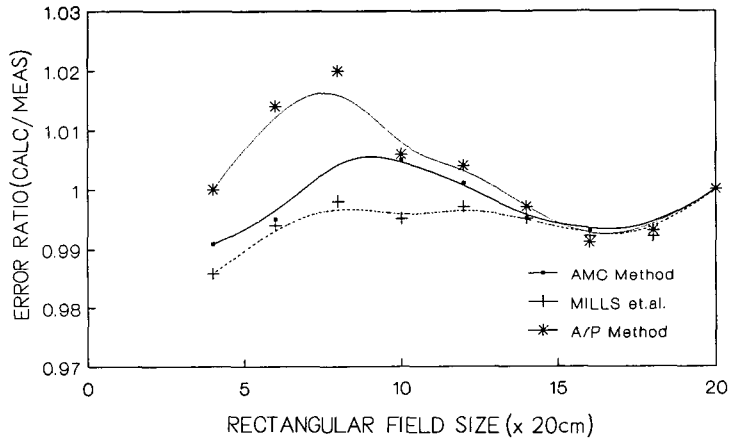


Fig. 8. The ratio between measured value and caculated value, for 15MeV  $20 \times 20\text{cm}^2$  cone, AMC method shows the errors within 1%.

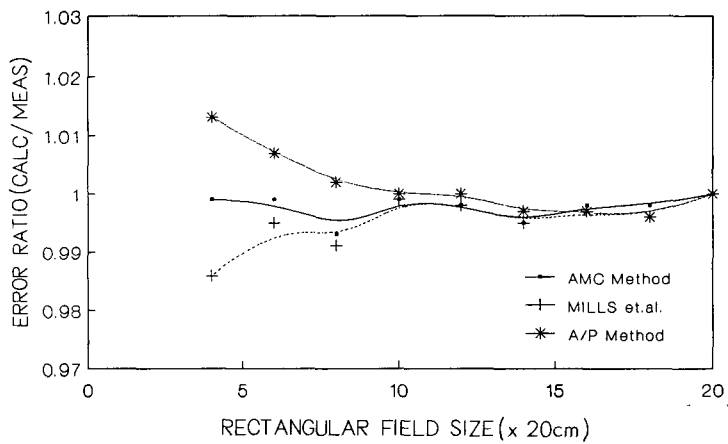


Fig. 9. The ratio between measured value and caculated value, for 18MeV  $20 \times 20\text{cm}^2$  cone, AMC method shows the errors within 1%.

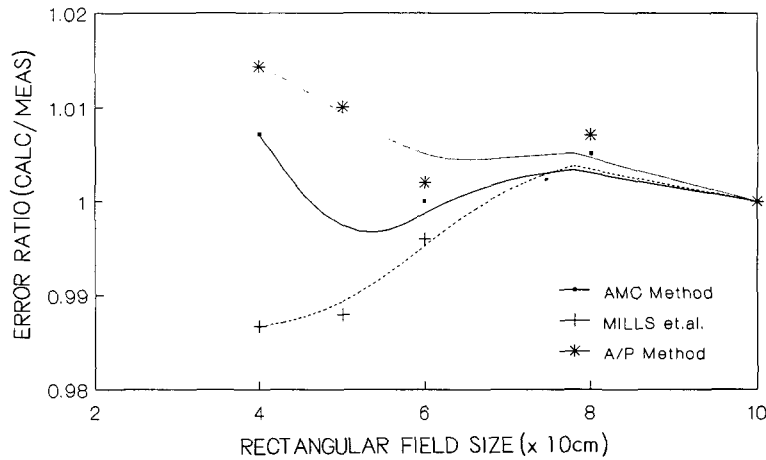


Fig. 10. The ratio between measured value and calculated value, for 9MeV  $10 \times 10\text{cm}^2$  cone, AMC method shows the errors within 1%.

## References

1. T. D. Sterling, H. Perry, L. Katz, "Automation of radiation therapy-IV. Derivation of a mathematical expression for the percent depth dose surface of Cobalt-60 beams and visualization of multiple field dose distribution." Br. J. Radiol., 37, 544~550, 1964.
2. Hospital Physicists' Association, "Central Axis depth dose data for use in radiotherapy.", Br. J. Radiol. Supplement 17, 112~113, 1983.
3. F. S. Chen, "Applying a polynomial Formula to photon beam output and equivalent square field.", Med. Phys., 17(3), 464~469, 1990.
4. M. D. Mills, K. R. Hogstrom, and R. S. Fielde, "Determination of electron beam output factor for a 20MeV linear accelerator.", Med. Phys., 12(3), 473~476, 1985.
5. F. S. Chen "An empirical formula for calculating the output factors of electron beams from a Therac 20 Linear accelerator" Med. Phys., 15(3), 348~350, 1988.
6. I. A. D. Bruinvis, A. V% Amstel, A. J. Elevelt, and R. V. der Laarse, "Calculation of electron beam dose distribution for arbitrarily shaped fields", Phys. Med. Biol., 28, 667~683, 1983.
7. R. Mohan, C. S. Chui, D. Fontenla, K. Han, and D. Ballon, "The effect of angular spread on the intensity distribution of arbitrarily shaped electron beams" Med. Phys., 15, 204~210, 1988.
8. B. J. Mcparland, "A parameterization of the electron beam output factors of a 25 MeV linear accelerator", Med. Phys., 14, 665~669, 1987.
9. J. R. Pali, I. K. Daffari, K. M. Ayyangar., and N. Suntharalingam "Electron beam characteristics on philips SL 25" Med. Phys., 17(1), 27~34, 1990.

## The Calculation Model of Electron Output for the Cut-out Fields, in Consideration of Shielding Area.

B. Y. Yi, M. S., J. M. Kim, R. T. T., J. H. Kim, R. T. T., K. T. Kwon, R. T. T., D. H. Lee, R. T. T., K. H. Lee, R. T. T., E. K. Choi, M. D., H. S. Chang, M. D.

Department of Therapeutic Radiology, College of Medicine, Ulsan Univ.  
ASAN MEDICAL CENTER

### Abstract.

We have designed the calculation model(AMC method) of electron output for the cut-out fields and studied the influence of shielding block size. The output of electron was measured in the water phantom at  $d_{max}$ , for  $20 \times 20\text{cm}^2$  cone size electron beams from CL/1800 linear accelerator(Varian, USA), which generates the energy of 6, 9, 12, 15 and 18MeV electron beams. The shielding blocks were rectangular or square shaped, low melting point alloy. We can predict the output from the arbitrarily rectangular shaped block within 1% error, by using the AMC method, which considers the contribution of the collimator(block) scatter and the phantom scatter.

---

Key words: Electron, Dosimetry, Block, Effective field size