

# 1D 방법에 의한 6MeV 전자선의 output 인자 결정

고신대학교 의예과

유 명 진

6MeV 전자선의 output 인자를 결정하기 위해 간편하게 output 인자를 예측하는 수단인 1D(Dimension) 방법을 이용하였으며 그리고 1D 방법으로 결정된 output 인자를 개별적 beam cutout 하에서 직접 측정 한 output 인자와 비교하여 1D 방법의 정확성을 분석하였다. 1D 방법은 정방형 field의 한 변과 항상 동일한 한 변을 갖는 사각형 field의 output 인자로서 규정되며, 임의의 사각형 field (X,Y)의 output은 1D output 인자의 곱으로 주어진다. 6MeV 전자선의 대단히 큰 정방형 field의 output은 1D 방법을 사용하면 실제보다 높은 값을 나타내지만 교정인자  $CF = C \cdot [(X-10)(Y-10) / |(X-10)(Y-10)|^{1/2}]$ 를 적용하면 개별적 cutout하에 직접 측정된 output 인자와 잘 일치하였으며 그 오차 범위는 1% 이내였다.

**중심단어** : output 인자, 1D 방법, 전자선

## 서 론

중양 치료에 전자선 사용이 급속히 증가함에 따라 전자선 field 특성에 관한 중요성이 부각되었다. 전자의 복합 산란 이론<sup>1-2)</sup>에 의하면 산란 된 전자들에 기인하는 전자선에서의 모든 선량은 beam cutout 즉 field 크기에 따라 변하는 machine output의 변화에 영향을 미치며 이런 변화를 통상 output 인자라 표현한다.

의료용 선형 가속기에 대한 전자선 output의 결정은 여러 연구자들<sup>3-6)</sup>에 의해 보고되었으며 최대선량깊이( $d_{max}$ )에서 전자선 output은 에너지뿐만 아니라 collimation 체계에 강하게 의존하는 것을 위 보고에서 언급하고 있다.

Holmes등<sup>7)</sup>, Shiu등<sup>8)</sup> 그리고 Sutcliffe등<sup>9)</sup>은 output 인자 변화에 따른 심부선량 백분율, field 평탄도, 그리고 등 선량 곡선의 영향을 보고하였다.

그들은 또한 최대선량깊이에서 흡수선량은 beam cutout의 크기에 의존하여 심각하게 변하므로 종종 선량 측정은 개개 모양의 field에 대해 직접적인 교정이 요구된다고 하였다.

Jette등<sup>10)</sup>, Bruinvis등<sup>11)</sup>은 전자선 cone에 cutout block을 사용할 때 전자선의 행동을 이론적으로 분석했는데, 전자선에 의해 치료 점에 도달되는 선량은 cone 및 cutout의 크기와 모양, 광자 jaw 크기 그리고 cone

의 끝에서 피부 표면까지 거리 등에 의존한다고 하였으며 부가하여 선량분포는 산란벽편의 두께, 모양, 재질, 전자선 에너지 등에 의존한다고 보고하였다.

전자선 산란은 콜리메이션 체계의 배열에 크게 의존할 것인데, 이것은 같은 에너지에서 작동되지만 콜리메이션 체계가 다른 방법으로 설계되었다면 machine의 output은 다른 성질을 갖는다는 것을 의미한다. 그래서 전자선 측정은 각각의 cone, 전자선 에너지 및 개개 machine 별로 조심스럽게 연구되어질 필요가 있다.

그러나 바쁜 임상 상황에서는 기본적인 machine의 교정을 정확하고, 신속히 그리고 가능한 단순하게 할 수 있어야 하므로, 그런 요구에 부응하여 선택된 field의 측정으로부터 일반적인 field의 output을 결정한다는 것은 상당한 잇점이 있다.

따라서 이 논문의 목적은 선택된 field의 측정 정보로부터 어떤 field에 대해서도 output 인자를 예측할 수 있는 수단인 1D 방법<sup>12)</sup>으로 6MeV 전자선의 output 인자를 결정하고 이 인자를 개별적 cutout 하에서 직접 측정된 output 인자와 비교하여 1D 방법의 정확성을 평가하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 개별적 beam cutout에 의한 output 인자의 직접 측정

전자선형 가속기 NELAC1018(NEC, 일본)에서 방출하는 6MeV 에너지의 전자선을 각 cone에 대한 개별적

이 논문은 2001년 10월 19일 접수하여 2001년 12월 5일 채택되었음.

본 논문은 고신대 의학부 연구비 일부 지원에 의하여 이루어짐.

유명진 : 1D 방법에 의한 6MeV 전자선의 output 인자 결정

cutout을 시행하여 field 면적  $10\text{cm}^2 \sim 625\text{cm}^2$  에 대한 전자선 output 인자를 측정하였다.

cone 크기는  $6 \times 6$ ,  $10 \times 10$ ,  $15 \times 15$ ,  $20 \times 20$ , 그리고  $25 \times 25\text{cm}^2$  이고, 1.3cm 두께의 납으로 다양한 크기의 cutout 블록을 제작하여 각 cone에 삽입하여 원하는 field 크기를 형성하였다. NELAC 1018 cone의 특징은 무게는 다소 무거우나 cutout block을 삽입하기가 쉽고 cone과 지지체가 한 구성으로 되어있다. 광자 jaw의 크기는 자동적으로 조정되어지며 한 변의 크기는 정방형 cone의 한 변 보다 5cm 더 크다.

측정은 유효체적  $0.055\text{cm}^3$ , 내경 5.3mm인 Markus 전리함23343(PTW, 독일)을 사용하였고, 측정점은 6MeV 에너지 전자선의  $d_{\text{max}}$  점인 폴리스티렌 팬텀 속 1cm 깊이이다.

2. 1D 방법에 의한 output 인자 결정

X=10cm로 두고 Y를 변화 시키고 또 Y=10cm로 두고 X를 변화 시켜 형성된 각각 14개의 사각형 field에 대한 1D output 인자를 측정하였다. 다항식 fitting 방법을 사용하여 1D output 인자를 어떤 field에 대해서도 결정 되도록 한 후, 뒤에 기술할 방정식 (1)을 사용하여

임의의 사각형 field와 정방형 field에 대해 output 인자를 계산하였다. 계산된 인자의 정확도를 더 높이기 위해 수정된 방정식(2)와 (4)를 적용하였다. 끝으로 임의의 field에 대해 1D 방법으로 결정된 output 인자를 개별적으로 beam cutout 하여 직접 측정한 output 인자와 비교하였다.

결과 및 고찰

Fig. 1은 개별적 beam cutout에 의한 6MeV 전자선의 output 인자를 직접 측정한 것이다. field 크기 변화에 따른 output 인자를  $10 \times 10\text{cm}^2$  field에 대해 상대적으로 나타내었다.

Field 면적  $10\text{cm}^2 \sim 625\text{cm}^2$  까지 output 인자는 0.742~1.123 이었으며, field 면적 약  $200\text{cm}^2$  이상에서는 완만한 증가를 나타내고 있다. 곡선은 측정값을 다항식으로 fitting 한 값이다.

그림 2는 1D 방법을 위해 선택된 field의 output 인자를 측정된 것으로,  $10 \times 10\text{cm}^2$  field에 대해 상대적으로 나타내었다.

X 또는 Y 한 변의 길이만 변화시키며 측정한 output 인자 즉 1D output 인자 곡선은 정방형 field의 한 변

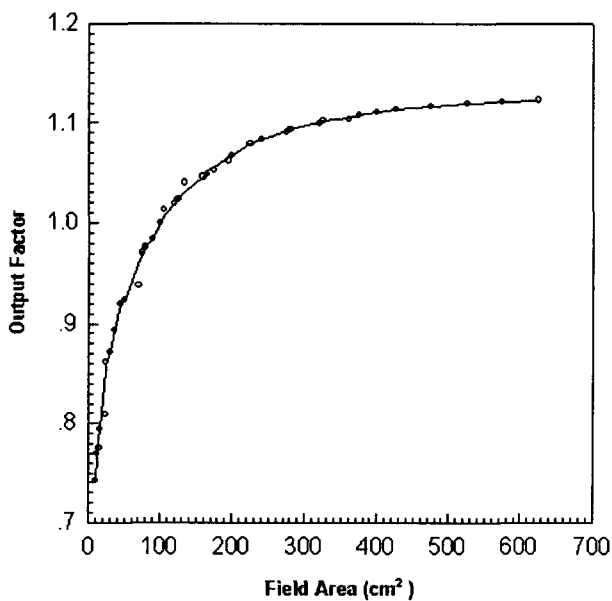


Fig. 1. Measured outputs under the individual cutouts for 6MeV electron from the NELAC1018, relative to a  $100\text{cm}^2$  field area vs each field area.

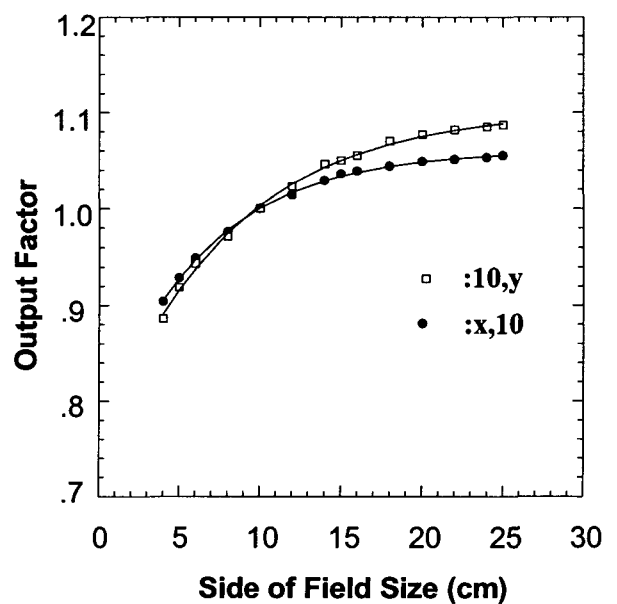


Fig. 2. Measured outputs on selected fields for 1D method, relative to a  $10 \times 10\text{cm}^2$  field size vs side of field. ---- : computer fit curve.

(10cm)에 동일한 한 축은 그대로 두고 다른 한 축을 변화시켜 측정된 정보로부터 얻게되는 것이다. output 인자의 측정치들은 다항식으로 fitting되었다. 그림에서 두 곡선이 일치하지 않는데 — 예를 들면 10×25cm<sup>2</sup> 와 25×10cm<sup>2</sup>의 output 인자의 차이는 약 3%— 그 이유는 X 및 Y의 기하학적 인자가 다르기 때문이다<sup>5)</sup>.

Table 1은 6MeV 전자선의 field 변화에 따른 output 인자를 10×10cm<sup>2</sup> field를 기준으로 나타낸 것으로, 개별적인 beam cutout 하여 직접 측정된 output 인자와 1D 방법으로 결정한 것과 비교하였다.

측정한 output 곡선으로부터 임의의 정방형 및 사각형 field의 output을 1D 방법으로 결정할 수 있으며, 임의의 field의 output은 다음과 같이 주어진다.

$$OF(X,Y) = OF(X,10) \cdot OF(10,Y) \quad \dots \quad (1)$$

X 및 Y 콜리메이터는 output에 동일한 영향을 미치지 않는데, 예를 들면 10×25cm<sup>2</sup> field는 25×10cm<sup>2</sup> field

**Table 1.** Comparison of measured with calculated output factors using 1D method for 6MeV electrons from the NELAC1018 at 100cm SSD.

Field Size	OF <sup>mea</sup>	OF <sup>cal</sup> 1D method
4×4	0.794	0.801
6×6	0.894	0.896
8×8	0.948	0.948
10×10	1.000	1.000
12×12	1.027	1.037
14×14	1.062	1.076
15×15	1.079	1.088
16×16	1.090	1.096
18×18	1.102	1.117
20×20	1.111	1.130
22×22	1.119	1.137
24×24	1.121	1.143
25×25	1.123	1.147
5×7	0.889	0.892
5×11	0.929	0.935
5×15	0.971	0.975
7×12	0.980	0.985
9×14	0.992	1.001
7×15	1.007	1.011
5×20	1.036	1.033
7×20	1.042	1.037
9×20	1.066	1.064

와 같은 output을 나타내지 않는다는 것을 이미 설명하였다. 1D 방법은 X 및 Y 콜리메이터 사이의 산란의 기하학적인 차이를 설명하고 있으므로 직접 측정된 output 인자와의 상호비교가 좋을 것으로 기대한다. 이런 기초 하에서, 전자선 output을 예측 할 때 1D 방법을 임상에서 적용하도록 결정하는데는 무리가 없다.

그러나 1D방법으로 큰 field에 대한 data를 fitting하는 데는 어떤 문제점도 갖고 있다. 예를 들면, Table 1에서 25×25cm<sup>2</sup> 처럼 큰 정방형 field의 경우 (1)식의 1D 방법에 의해 계산된 output은 개별적인 beam cutout 하의 직접 측정 값 보다 높게 나타나는 경향을 볼 수 있다. 이런 차이는 Mills등<sup>12)</sup>은 광자 jaw 밖의 산란선의 차이에 기인한다고 보고하였다. 임상에 응용하기 위해서는 위의 문제점이 보완되어야 하고, 그 결과 1D 방법은 교정인자를 포함하도록 수정이 요구된다<sup>12)</sup>. 수정된 방정식의 형태는 다음과 같다.

$$OF(X,Y) = OF(X,10) \cdot OF(10,Y) + CF(X,Y) \quad \dots \quad (2)$$

여기서

$$CF(X, Y) = 0 \quad \Delta < 0 \quad \dots \quad (3a)$$

$$= C \cdot \Delta \quad \Delta > 0,$$

$$\Delta = (X-10)(Y-10) / |(X-10)(Y-10)|^{1/2} \quad \dots \quad (3b)$$

특히 1D output 인자의 input (X,Y)가 (10,Y or X,10)일 때 모든 field에 대해 Δ=0이고, 교정인자가 없다.

측정 data로부터 계산된 CF의 값은 그림 3에 Δ의 함수로 그렸다. Δ≤0 일 때 CF는 대략 0이고, Δ≥0에 대해서는 대략 Δ에 직선적으로 비례하는 형태이다. 정방형 field data 점을 통하여 fitting 된 직선은 다음과 같이 주어진다.

$$CF(X,Y) = OF^{meas} - OF_D^{calc} = -0.0016\Delta, \Delta > 0 \quad \dots \quad (4)$$

여기서 -0.0016은 직선의 기울기이며, 식 (3a)에서 비례상수 C의 값이기도 하다.

Table 2는 6MeV 전자선에 대해 직접 측정된 output 인자와 교정인자가 포함된 1D 방법으로 계산한 output 인자를 비교한 것이다. Table 2에서 보는 것처럼,

유명진 : 1D 방법에 의한 6MeV 전자선의 output 인자 결정

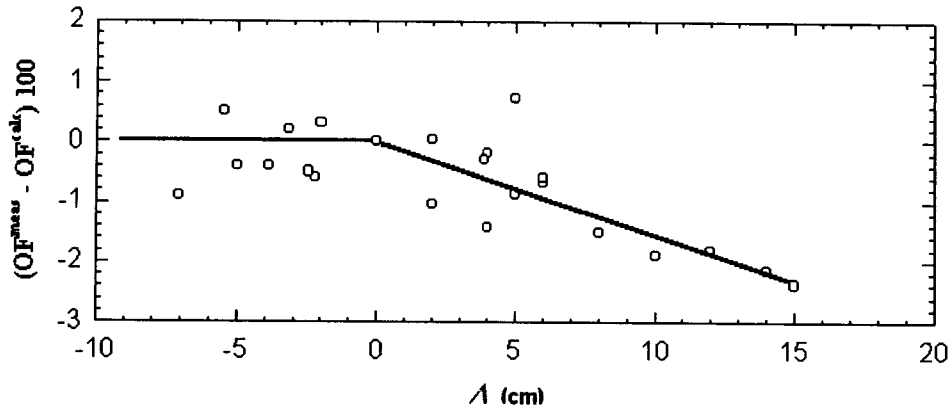


Fig. 3.  $A$  is graphed as a linear function of correction factor CF for 6MeV electron.

Table 2. Comparison of measured with calculated output factors using a 1D correction factor for 6MeV electrons from the NELAC1018 at 100cm SSD.

Field Size	$OF^{mea}$	$OF^{cal}$ 1D <sup>corr</sup> method
4×4	0.794	0.792
6×6	0.894	0.890
8×8	0.948	0.945
10×10	1.000	1.000
12×12	1.027	1.034
14×14	1.062	1.070
15×15	1.079	1.080
16×16	1.090	1.087
18×18	1.102	1.105
20×20	1.111	1.114
22×22	1.119	1.119
24×24	1.121	1.121
25×25	1.123	1.123
5×7	0.889	0.886
5×11	0.929	0.929
5×15	0.971	0.971
7×12	0.980	0.980
9×14	0.992	0.992
7×15	1.007	1.007
5×20	1.036	1.036
7×20	1.042	1.042
9×20	1.066	1.066

6MeV 전자선의 임의의 정방형 field와 사각형 field에 대해서 1D 방법에 의한 교정인자를 사용하면, 개별적 beam cutout 하의 직접 측정된 output 인자와 비교하여 오차가  $\pm 1\%$  이내로 임상적으로 받아들일 수 있는 output 인자를 결정할 수 있었다.

## 결론

NELAC 1018 machine의 6MeV 전자선에 대한 임의의 field의 output 인자를 1D 방법으로 결정하였다. 1D 방법으로 결정한 output은 개별적 beam cutout 하에 직접 측정된 output 인자와 비교하여 그 오차는  $\pm 1\%$  이내로 임상적으로 받아들일 수 있는 결과를 얻을 수 있었다. 그 결과 1D 방법은 시간적으로 제약이 많은 임상에서 손쉽고 정확하게 output 인자를 결정하는 수단이 될 수 있는 것으로 생각된다.

## 참고문헌

1. Jette D., Walker S.: Electron dose calculation using multiple-scattering theory: Evaluation of a new model for inhomogeneities. *Med. Phys.* 19:1241-1254 (1992)
2. Verhaegen F., Symonds-Taylor R., Liu H.H., Nahum A.E.: Backscatter towards the monitor ion chamber in high-energy photon and electron beams: charge integration versus Monte Carlo simulation. *Phys. Med. Biol.* 45(11):3159-3170 (2000)
3. Khan F.M., Dopke K.P., Hogstrom K.R.: Clinical electron-beam dosimetry: Report of the AAPM radiation therapy committee task group 25. *Med. Phys.* 18:73-109 (1991)
4. Purdy J.A., Abratle F.G., Bello J.E.: Electron dosimetry for shaped fields on the Clinac-20. *The Symposium on Electron Dosimetry and Arc Therapy.* 1982, Paliwal, pp. 38
5. Mills M.D., Hogstrom K.R., Almond P.R.: Prediction

- of electron beam output factors. *Med. Phys.* 9:60-69 (1982)
6. Choi D.R., Wolters J., Mason D., Baillie A.: Modified sector-integration method for predicting the output factors of electron beams including extended source to surface distance. *Phys. Med. Biol.* 45(11): 3367-3372 (2000)
  7. Holmes M.A., Mackie T.R., Sohn W.: The application of correlated sampling to the computation of electron beam dose distributions in heterogeneous phantoms using the Monte Carlo method. *Phys. Med. Biol.* 38:675-688 (1993)
  8. Shiu A.S., Tung S.S., Nyerick G.: Comprehensive analysis of electron-beam central-axis dose for a radiotherapy linear accelerator. *Med. Phys.* 21:559-566 (1994)
  9. Sutcliffe J.F., O'Brien T.M., Croft K.W.: An empirical model for megavoltage x-ray output factors. *Phys. Med. Biol.* 45(4):897-911 (2000)
  10. Jette D.: *Electron Beam Dose Calculations in Radiation Therapy Physics*. 2nd ed., Springer-Verlag, Berlin, (1995), pp. 95-121
  11. Bruinvis I.A.D., Van Amstel A., Elevelt A.J., Van der Larse R.: Calculation of electron beam dose distributions for arbitrarily shaped field. *Phys. Med. Biol.* 28:667-675 (1983)
  12. Mills M.D., Hogstrom K.R., Fields R.S.: Determination of electron beam output factors for a 20-MeV linear accelerator. *Med. Phys.* 12:473-482 (1985)

## Determination of output factors by 1D method for 6MeV electron

Myung Jin Yoo

*Department of Premedical Science, Kosin University, Pusan, 602-702, Korea*

Output factors for 6MeV electron were directly measured under the condition of an individual beam cutout and these factors were compared with the output factors by 1D method which is an easy means to predict the output factors of electron beam.

Output factors by 1D method are defined as output factors of rectangular fields where one side is always equal to the side of the square reference field, and the output of an arbitrary rectangular field X,Y is given by the product of the 1D output factors.

The output of very large square fields is overestimated using 1D method for the 6MeV electron, but it results in agreement with measured data under the condition of an individual cutout within 1% error adopting a correction factor  $CF=C \times [(X-10)(Y-10) / |(X-10)(Y-10)|^{1/2}]$ .

**Keyword :** output factor, 1D method, electron