

## 6 MeV 전자선의 측정과 모의계산에 대한 연구

원광대학교 의과대학 방사선과학교실<sup>1)</sup>, 치료방사선과학교실<sup>2)</sup>, 전북대학교 물리학과<sup>3)</sup>

이성아<sup>1)</sup> · 이정옥<sup>2)</sup> · 문성록<sup>2)</sup> · 원종진<sup>1)</sup> · 강정구<sup>3)</sup> · 김승곤<sup>3)</sup>

= Abstract =

### A Study on the Simulation and the Measurement of 6 MeV Electron Beam

Sung Ah Lee, M.D.<sup>1)</sup>, Jeong Ok Lee, M.S.<sup>2)</sup>, Sun Rock Moon, M.D.<sup>2)</sup>  
Jong Jin Won, M.D.<sup>1)</sup>, Jeong Ku Kang, M.S.<sup>3)</sup> and Seung Kon Kim, Ph.D.<sup>3)</sup>

*Department of Radiology<sup>1)</sup> and Radiation Oncology<sup>2)</sup>, Wonkwang University, School of Medicine, Iri, Korea, Department of Physics<sup>3)</sup>, Jeonbuk National University, Jeonju, Korea*

**Purpose** : We compared the calculated percent depth dose curves of 6 MeV electron beam to that of measured to evaluate the usefulness of Monte-Carlo simulation method in radiation physics.

**Materials and Methods** : The radiation dose values of 6 MeV electron beam using EGS4 code with one million histories in water were compared values that were measured from the depth dose curve of electron beam irradiated by medical accelerator ML6M. The central axis dose values were calculated according to the changing field size, such as 5×5, 10×10, 15×15, 20×20cm<sup>2</sup>.

**Results** : The value calculated showed a very similar shape to depth dose curve. The calculated and measured value of D<sub>max</sub> at 10×10cm<sup>2</sup> cone is 15mm and 14mm respectively. The calculated value of the surface radiation dose rate is 65.52% and measured one is 76.94%. The surface radiation dose rate has varied from 64.43% to 66.99%. The calculated values of D<sub>max</sub> are in the range between 15mm and 18mm. The calculated value was fitted well with measured value around the D<sub>max</sub> area, excluding build up range and below the 90% depth dose area.

**Conclusion** : This result suggested that the calculation of dose value can be replace the direct measurement of the dose for radiation therapy. Also, EGS4 may be a very convenient program to assess the effect of radiation dose using by personal computers.

**Key Words** : 6 MeV electron beam, EGS4 code, Personal computer

## 서 론

방사선 치료에 고에너지 전자선을 이용하기 시작한

것은 1950년대 초이며<sup>1)</sup>, 1970년대에는 광자와 다중 에너지의 전자를 내는 선형가속기의 발달로 방사선 치료 분야에서 매우 유용하게 사용하고 있다. 대부분의 병원 및 연구소에서 방사선 치료에 이용하는 전자의

에너지 범위는 6-20 MeV 정도이다<sup>2)</sup>. 일반적으로 전자선으로 치료할 수 있는 적용 범위는 피부암이나 구순암, 유방암에서 흉벽조사, 임파절에 대한 부가선량의 부여, 그리고 두경부암의 치료 등이다. 이 범위의 에너지를 갖는 전자선의 특성을 정확히 알아야 소기의 방사선 치료에 적용할 수 있는데, 현재 가장 정확한 방법은 인체 조직등가체에다 측정장비를 설치하여 그들의 거동과 양태를 측정하는 것이다. 이들을 측정하는데 따른 정도 관리는 국제방사선 규정협회(ICRU)에 따르면<sup>3)</sup>, 방사선 투여선량의 5%증감은 방사선 치료의 성패에 직접 관계가 있기 때문에 투여 선량의 정확도는  $\pm 3\%$ 를 넘지 않아야 한다고 권고하고 있다.

본 논문에서는 6 MeV의 전자선을 측정하고 Monte-Carlo 기법을 이용한 모의계산(simulation)을 함으로써 측정값과 계산값을 서로 비교하고, 이러한 모의계산이 많은 노력을 필요로 하는 측정을 대신할 수 있을 만큼의 정확도가 있는지를 확인하고자 하였다. 또한 이러한 모의계산을 상용의 개인용 컴퓨터(Personal Computer)에서 수행하도록 함으로써 간편하게 이용할 수 있는지를 알아보려고 하였다.

## 대상 및 방법

### 1. 측정

#### 1) 측정장비

전자선의 측정은 선형가속기(ML6M, Mitsubishi electric corp, Japan)에서 출력되는 전자선을 인체조직등가체의 하나인 물팬텀에 조사하여 반도체 검출기를 이용하여 Fig. 1에서와 같이 각 장비를 배열하여 측정하였다. 물팬텀(Scanditronics사, Sweden)의 규격은  $495 \times 495 \times 495 \text{mm}^3$ 이고 물팬텀 내에서 검출기의 3차원적인 이동을 위하여 local control unit가 부착되어 있고 또한 검출기의 위치는 개인용 컴퓨터에서도 제어 가능하다. 검출기는 반도체형(Scanditronics사, Sweden)을 이용하였는데, reference와 field type을 동

시에 사용하였다. 측정되는 신호(signal)는 전기계(RF A300, Scanditronics사, Sweden)을 이용하여 개인용 컴퓨터에 입력하고 계산 및 저장하였다.

#### 2) 측정

심부량 백분율(percentage depth dose)은 물팬텀 내에서 3차원적으로 움직일 수 있는 검출기를 이용하여 측정된 신호를 전기계를 통하여 개인용 컴퓨터에 기록함으로써 측정하였다. 선축상 최대치( $D_{\max}$ )를 결정하기 위하여 검출기를 1 mm/sec속도로 이동시키면서 측정하였다. 심부량 백분율의 측정은 신호의 변화가 심한 영역에서는 1 mm구간마다 기록하고, 심하지 않은 영역에서는 2 mm구간마다 기록하였다. 선원과 물 표면사이를 100 cm로 하여 검출기를 물표면으로부터 50 mm깊이까지 이동시키면서 측정하였다. 조사야(field size)에 따른 심부량 백분율의 변화를 알기위해 조사야를 최대로 열고 cone을 바꾸어서 측정하였다. cone의 크기는  $50 \times 50$ ,  $100 \times 100$ ,  $150 \times 150$ ,  $200 \times 200 \text{mm}^2$ 이었다.

#### 2. 계산

전자선에 대한 선량을 결정하기 위한 모의계산은 EGS4 프로그램을 사용하였다<sup>4)</sup>. 이 프로그램은 Fortran을 기초로하여 Mortran이라는 새로운 매크로를 도입하여 프로그램하였는데 상용의 개인용 컴퓨터에서는 메모리부족과 중앙연산처리장치(CPU)의 성능에 따라 많은 시간을 요구한다. 이 프로그램은 원래 전자뿐만 아니라 광자등이 어떤 매질속에서의 거동을 알기 위한 것인데, 하전 입자의 운동에너지의 사용범위는 수 keV에서 수천 GeV까지 모의계산이 가능하도록 고안되었다. 이 프로그램에서는 제동복사의 생성과 양전자 소멸, 물리에르 다중산란, 윌러와 바바산란, 하전입자의 불연속적 상호작용에서의 에너지의 연속적인 손실, 쌍생성, 콤프톤산란, 그리고 광전효과등 물리적인 과정을 거의 다 포함하고 있다<sup>5-7)</sup>. 또한 전자선이나 광자가 입사하는 매질의 기하학적인 모형이 복잡해도 거의

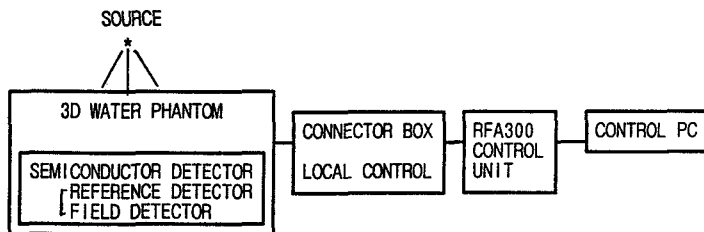


Fig. 1. Block diagram of detection.

모두 수행할 수 있게 프로그램되므로 매질의 단면적은 100여개의 물질에 대해서 거의 다 계산되어 있고, 또한 쉽게 어떤 매질의 단면적을 계산하게 되어 있다.

원래 이 프로그램은 대형기종의 컴퓨터에서 이용할 수 있게 하였던 데, 본연구에서는 상용의 개인용 컴퓨터를 이용하였다. 이를 위해 사용한 개인용 컴퓨터는 intel i486DX2-66 중앙연산처리장치와 8MB의 메모리를 갖춘 컴퓨터이다.

입사 에너지는 6MeV로, 매질은 인체조직등가체인 물로 정하였고 voxel의 크기는  $10 \times 10 \times 1 \text{ mm}^3$ 로 하였다. 에너지 손실율은 한 단계당 4%로 하였고 한번의 모의계산에서 백만개의 전자이력(history)을 계산하였다.

**Table 1. Percent Depth Dose for Rectangular Field in Simulation**

Depth(mm)	Field Size (mm <sup>2</sup> )			
	50×50	100×100	150×150	200×200
0	66.99	65.52	64.43	65.31
1	70.63	68.31	68.33	69.4
2	73.05	71.68	68.84	71.36
3	74.58	72.6	72.21	74.57
4	76.68	75.44	75.78	73.84
5	79.5	76.19	76.51	73.58
6	81.42	77.6	79.92	77.04
7	83.44	81.12	81.99	84.97
8	86.88	82.87	84.68	86
9	89.16	85.69	89.59	87.16
10	92.88	88.72	93.24	92.56
11	96.31	92.27	94.84	94.19
12	97.95	93.08	94.52	96.25
13	99.55	99.4	96.23	94.95
14	100	100	94.77	93.9
15	100.12	97.9	100	93.52
16	97.23	95.89	94.34	90.84
17	96.71	90.91	96.95	100
18	92.05	86.89	96.69	97.14
19	86.6	85.26	88.33	84.1
20	79.78	77.2	80.53	71.97
21	70.8	75.99	70.32	71.41
22	63.2	61.7	63.54	64.78
23	53.73	50.92	56.23	61.05
24	43.36	42.01	47.19	47.62
25	32.58	33.81	33.29	34.58
26	24.05	21.13	23.26	23.34
27	15.51	13.4	14.23	10.87
28	9.37	7.83	8.42	6.1
29	4.68	4.68	4.77	3.66
30	2.16	2	1.8	1.96
31	0.8	0.8	0.85	1.26
32	0.23	0.28	0.32	0.52
33	0.15	0.23	0.24	0.2
34	0.19	0.15	0.3	0.25
35	0.12	0.2	0.09	0.06

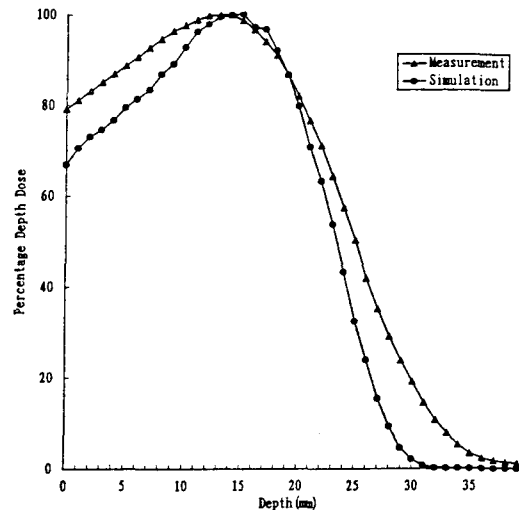
**결 과**

**1. ML6M에서 출력되는 전자선에 대한 심부선량의 측정**

조사야를  $50 \times 50$ ,  $100 \times 100$ ,  $150 \times 150$ ,  $200 \times 200 \text{ mm}^2$ 로 변화하면서 측정된 결과 조사야에 따른 선축상 최대선량은 13-14 mm 깊이에서 나타났으며 표면선량율은 75.92-79.16%로 나타났다(Fig. 2-5). 또한 유효치료범위인 90% 이상의 영역은 12-13 mm로 표면에서부터의 깊이 6-7 mm에서 18-19 mm 사이에 존재하는 것으로 나타났다. 깊이 33 mm 이상인 지점에서는 전자선에 의한 선량의 기여가 거의 없는 것으로 측정되었다. 측정결과 ML6M에서 출력되는 6MeV의 에너지를 갖는 전자선으로 치료가능한 깊이는 20 mm까지인 것으로 나타났다.

**2. 6MeV 전자선에 대한 심부선량의 계산**

측정값과 비교할 수 있도록 조사야를  $50 \times 50 \text{ mm}^2$ 에서 50 mm씩 증가시키면서 200 mm까지 계산한 결과를 Table 1과 Fig. 2-5에 나타냈다. 조사야에 따른 선축상 최대선량은 15-18 mm 깊이에서 나타났고, 표면선량율은 64.43-66.99%로 계산되었다. 유효치료범위인 90% 이상의 영역은 8-10 mm로 표면에서부터 깊이 9-10 mm에서 19 mm 사이에 존재하는 것으로 계산되었다. 깊이 29 mm 이상인 지점에서는 6 MeV



**Fig. 2. Percentage depth dose curves for  $50 \times 50 \text{ mm}^2$  field in measurement and simulation.**

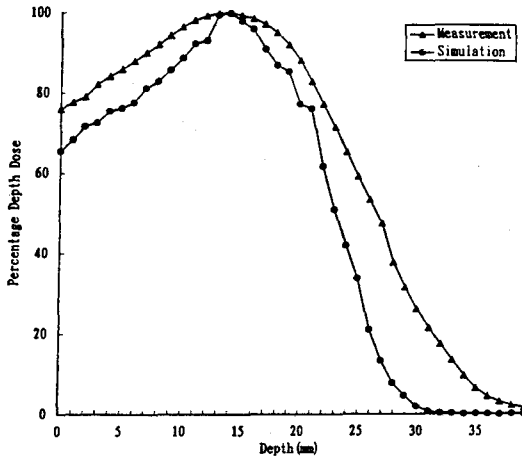


Fig. 3. Percentage depth dose curves for  $100 \times 100$  mm<sup>2</sup> field in measurement and simulation.

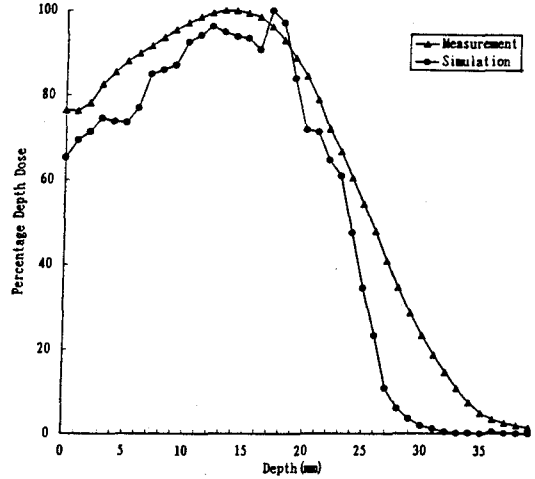


Fig. 5. Percentage depth dose curves for  $200 \times 200$  mm<sup>2</sup> field in measurement and simulation.

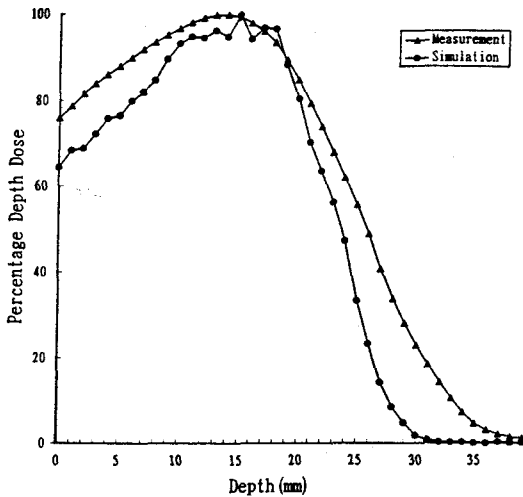


Fig. 4. Percentage depth dose curves for  $150 \times 150$  mm<sup>2</sup> field in measurement and simulation.

의 단일 에너지를 갖는 전자선의 선량에 대한 기여가 거의 없는 것으로 계산되었다. 즉 6 MeV의 단일 에너지를 갖는 전자선으로 치료가 가능한 깊이는 20 mm 까지인 것으로 계산되었다.

**고 찰**

ML6M에서 출력되는 6 MeV의 전자선을 측정할 결과와 6 MeV의 단일 에너지를 갖는 전자선을 이용한

계산결과와는 Fig. 2-5에서와 같이 선축상최대선량 부근을 제외한 모든 부분에서 계산값이 측정값보다 작게 나타났다. 특히 표면선량에서의 차이점은 다음과 같이 설명할 수 있다. ML6M에서 출력되는 전자선의 에너지분포를 고려하면, 6 MeV의 전자선이 주위의 물질과 상호작용이 전혀 없이 그대로 입사하는 것과 주위의 콜리메이터 등과 상호작용을 하여 에너지의 감소를 동반한 전자선이 동시에 입사하여 표면에 도달한다<sup>8)</sup>. 즉 후자의 경우와 같이 산란된 전자선이 표면선량에 거의 기여하여 표면선량이 증가한다. 그러나 6 MeV의 단일 에너지를 갖는 전자선의 계산에서는 이와같은 산란된 전자선을 고려하지 않기 때문에 측정값이 계산값보다 크게 나타나는 것이다. 측정 영역에서의 90% 지점은 측정값이 계산값보다 먼저 나타나는 결과도 산란선의 영향인 것으로 사료된다. 그러나 산란선의 영향이 거의 없는 선축상최대치를 지나서 나타나는 90% 지점은 측정과 계산값이 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 또한 선축상최대치도 측정값과 계산값이 비교적 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 그러나 측정에서는 33 mm 깊이, 계산에서는 29 mm 깊이 이상에서는 선량의 기여가 거의 없는 것으로 나타났는데, 이것은 측정에서는 X선 오염의 효과가 있는데 반하여 계산에서는 X선 오염을 고려하지 않은 결과인 것으로 사료된다. 이들의 차이점은 보다 나은 장비를 이용하여 정밀한 측정을 하면 해결할 수 있을 것으로 사료된다.

### 결 론

전자선의 측정이 매우 힘들고 고도의 숙련기술을 요구하기 때문에 간편한 방법으로 측정과 같은 효과를 얻기 위하여 모의계산을 한 결과, 계산값이 측정값과 비교적 잘 일치한다는 것을 알았다. 표면 선량율의 차이만을 제거하고 결과를 살펴보면 선축상 최대치등 방사선 치료에 주로 이용되는 부근의 선량율에서는 모의계산이 측정을 대신할 수 있을 만큼의 정확도가 있다는 것을 확인하였다. 또한 이러한 모의계산을 상용의 개인용 컴퓨터에서 수행함으로써 간편하게 이용할 수 있다는 것을 알게되었다. 따라서 방사선 치료분야에서 치료 형식별로 치료계획 컴퓨터를 이용하여 손쉽게 모의계산해 볼 수 있을 것으로 사료된다.

### REFERENCES

1. Kahn FM. The physics of radiation therapy. Balti-

more: Williams & Wilkins. 1984; 299-353

2. Klevenhagen SC. Physics of electron beam therapy. Bristol: Adam hilger Ltd. 1985; 67-70

3. ICRU Report No. 21; Radiation dosimetry. Electrons with initial energy between 1 and 50 MeV. Washington D.C: International Commission on Radiation Units and Measurements. 1972; 16-21

4. Nelson WR, Hirayama H, Rogers DWO. The EGS4 code system. SLAC-256, 1985; 1-14

5. Koch HW, Mortz JW. Bremsstrahlung cross-section formulas and related data. Rev Mod Phys 1959; 31:920-955

6. Möller C. Passage of hard beta rays through matter. Ann Physik 1932; 14:521-536

7. Bhabha HJ. Scattering of positrons by electron with exchange on Dirac's theory of the positron. London: Proc Roy Soc 1936; A154:195-209

8. Werner BL, Kahn FM, Deibel FC. Model for calculating depth dose distributions for broad electron beam. Med Phys 1983; 10:582-588

= 국문초록 =

### 6 MeV 전자선의 측정과 모의계산에 대한 연구

원광대학교 의과대학 방사선과학교실<sup>1)</sup>, 치료방사선과학교실<sup>2)</sup>, 전북대학교 물리학과<sup>3)</sup>

이성아<sup>1)</sup> · 이정옥<sup>2)</sup> · 문성록<sup>2)</sup> · 원종진<sup>1)</sup> · 강정구<sup>3)</sup> · 김승곤<sup>3)</sup>

**목적 :** 6 MeV의 전자선에 대하여 Monte-Carlo기법을 이용한 모의계산(simulation)과 측정을 함으로써 측정값과 계산값을 서로 비교하고, 이러한 모의계산이 측정을 대신할 수 있을 만큼의 정확도가 있는지를 확인하고자 하였다.

**방법 :** 선형가속기에서 출력되는 전자선의 심부량 백분율(percent depth dose)을 물팬텀에서 반도체 검출기를 이용하여 조사야 50×50, 100×100, 150×150, 200×200 mm<sup>2</sup>에 대하여 측정하였다. 전자선에 대한 선량을 결정하기 위한 모의계산은 EGS4 프로그램을 사용하였다.

**결과 :** 측정값과 계산값은 유사한 형태로 나타났는데 100×100 mm<sup>2</sup> 조사야 에서 선축상 최대선량은 측정값과 계산값이 각각 14 mm 와 15 mm, 표면선량율은 각각 76.94% 와 65.52% 였다. 모의계산에서 표면선량율의 조사야에 따른 변화는 64.43%-66.99%이고 선축상 최대선량은 15 mm-18 mm 였다.

**결론 :** 모의계산을 한 결과, 계산값이 측정값과 비교적 잘 일치한다는 것을 알았다. 표면선량율의 차이만을 제거하고 결과를 살펴보면 선축상 최대치등 방사선 치료에 주로 이용되는 부근의 선량율에서는 모의계산이 측정을 대신할 수 있을 만큼의 정확도가 있다는 것을 확인하였다.