

# ML-6M선형 가속기에서의 BEAM 특성에 대한 고찰

원광대학교 의과대학 부속병원 치료방사선과

문언철·윤병운·오양환

## ABSTRACT

The beam characteristics and dosimetric measurements of the 6MV X-ray and 6MeV electron beam from a ML-6M linear accelerator are examined. The Percent Depth Dose(PDD) table and the tissue Maximum Ratio(TMR) table are taken from measurement as a function of the field size and the depth. The calculated TMR table from PDD table is compared with those from measurement. Other beam characteristics such as output factor, beam profile(including flatness, symmetry and penumbra), wedge, and the variation of Dmax are presented. All of these dosimetric measurements sufficiently characterized the beam to permit safe clinical use.

## 1. 서론

방사선 치료를 시행하기 위해서는 여러가지 과정들이 필요하다. 이런 여러가지 과정들 중에서도 가장 중요하다고 할 수 있는 것은 방사선 치료용 장비를 측정하여, 정확한 검증의 결과를 토대로 방사선 치료를 시행해야 된다고 할 수 있다.

방사선 치료기인 선형 가속기에서 발생하는 photon과 electron은 에너지에 따라 선질의 특성이 다르고 제작회사에 따라서도 성질이 다르므로, 기계마다의 특성을 알아야만 방사선치료에 이용할 수 있다.

본원에 설치 가동중인 ML-6M은 일본 미쓰비시전기사에서 제작한 선형 가속기로써 6MV의 photon beam과 6MeV의 electron beam을 발생한다. Photon beam의 출력은 선원 표면거리(SSD)가 100cm일때 60-300MU/min이고 electron beam은 200-1000MU/MIN이다.

실제로 방사선치료에 필요한 ML6M 선형가속기의 정확한 특성을 알기 위해 심부량백분율(PDD), 최대조직비율(TMR), beam profile, wedge factor등의 측정과 계산이 필수적이다. 이들 측정 및 계산값들을 전산화 장치에 의해 얻고, 치료계획에 이용하기 위하여 이 자료들을 치료계획용 컴퓨터에 입력시켰다.

## 2. 측정 장비 및 방법

### 2.1 측정장비

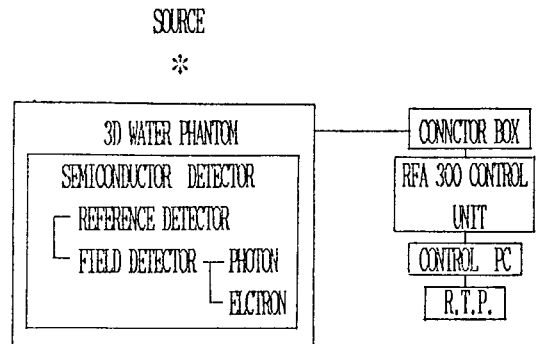


Figure 1. Block diagram of detection

ML-6M 선형가속기에서 출력되는 photon 및 electron beam을 측정하기 위한 block diagram

Figure 1에 나타냈다. 측정장비인 Water phantom(SCANDITRONIX사 제품)의 규격은 495×495×456mm이고, detector가 water Phantom내에서 3차원적 이동을 위하여 local control unit가 부착되어 있고, 이는 control 컴퓨터에서도 원격 제어가 가능하다. Detector는 semiconductro type을 이용하였는데 reference detector와 fiiedl detector를 동시에 사용하였다. 측정되는 signal은 RFA300(스웨덴의 SCANDITRONIX사 제품)을 이용하여 컴퓨터에 입력하여 저장 및 계산하였다. 치료계획에 이용하기 위해 R.T.P)(Radlation Treatment Planning) system에도 저장하였다. 그리도 Wedge filter(15, 30, 45, 60도)와 Electron Cone(50×50, 100×100, 150×150, 200×200mm)등도 사용되었다.

### 2.2 심부량 백분율(PDD) 측정방법

심부량 백분율(PDD)은 water phantom내에서 3차원적으로 움직일 수 있는 detector를 이용하여 측정된 signal을 RFA300을 통하여 컴퓨터에 기록하며 측정하였다. 선축상 최대치(Dmax)를 결정하기 위하여 detector를 1mm/sec의 속도로 이동시키며 반복 측정하였다. 심부량 백분율의 측정은 signal의 변화가 심한 영역에서는 1mm 구간마다 기록하고, 심하지 않은 영역에서는 2

mm 구간마다 기록하였다. ML-6M 선형가속기의 SAD는 100mm이므로 선원과 물표면과의 거리를 100mm로 고정시키고, 물표면에서부터 300mm 깊이까지 detector를 이동하면서 측정하였다. 조사야(Field Size)의 변화에 따른 PDD의 변화를 알기 위하여 조사야를 40×40mm에서 350×350mm까지 변화시키면서 측정하였다.

### 2.3 Beam profile 측정법

Beam profile은 물속 15mm에서부터 50mm 간격으로 265mm까지 중심선축을 지나는 선량율의 변화를 측정하였다. 조사야(Field Size)의 편평도(flatness) 및 대칭성(symmetry)은 기준조사야(100×100mm)에서 측정하였다. 편평도는 조사야 내의 선량최대 및 최소점에서, 대칭성은 beam 중심과 조사야 크기 80% 지점에서의 값으로 각각 계산하였다.

췌기(Wedge)는 15, 30, 45, 60도인것을 사용하였으며, beam profile과 같은 방법으로 선량을 변화 곡선을 측정하였다. 출력인자(output factor)는 100×100mm 기본조사야의 흡수선량을 1로 하여 각 조사야에서의 흡수선량비로서 PDD의 경우에 대해 조사야에 대한 함수로 계산하였다.

## 3. 결 과

Table 1. TMR table of 6MV X-ray.

TYPE: ML6M ML6M TEST		NUMBER DEPTHS/FIELD: 31									
NUMBER OF FIELD SIZES: 10		STARTING DEPTH(MM): 0									
D <sub>MAX</sub> (MM) LEVEL: 15		DEPTH INCREMENT(MM): UNEQUAL									
DATE ENTERED: 30 MAY 91											
DEPTH(MM)	FIELD SIZE(MM)										
	40.00	60.00	80.00	100.00	120.00	150.00	200.00	250.00	300.00	350.00	
BSF	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
0	0.6729	0.6455	0.6536	0.6615	0.5981	0.6758	0.6700	0.6880	0.6850	0.6815	
5	0.8893	0.8272	0.8697	0.8519	0.8402	0.8795	0.8132	0.8839	0.8780	0.8428	
10	0.9720	0.9559	0.9721	0.9638	0.9532	0.9747	0.9582	0.9774	0.9774	0.9579	
15	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
20	0.9930	1.0041	1.0017	1.0010	1.0005	0.9930	1.0025	0.9997	0.9969	0.9909	
25	0.9778	0.9954	0.9954	0.9981	0.9914	0.9904	0.9973	0.9929	0.9922	0.9857	
30	0.9620	0.9815	0.9853	0.9785	0.9833	0.9803	0.9871	0.9839	0.9851	0.9832	
40	0.9334	0.9503	0.9682	0.9543	0.9609	0.9600	0.9682	0.9698	0.9741	0.9744	
50	0.8960	0.9189	0.9350	0.9270	0.9310	0.9412	0.9463	0.9570	0.9603	0.9616	
60	0.8610	0.8868	0.9047	0.8909	0.9073	0.9210	0.9230	0.9416	0.9439	0.9464	
70	0.8276	0.8578	0.8761	0.8750	0.8897	0.8994	0.9081	0.9233	0.9239	0.9287	
80	0.7975	0.8304	0.8464	0.8497	0.8557	0.8704	0.8833	0.9034	0.9061	0.9100	
90	0.7517	0.7972	0.8146	0.8218	0.8329	0.8481	0.8596	0.8890	0.8956	0.9005	
100	0.7152	0.7618	0.7817	0.7926	0.8062	0.8212	0.8330	0.8664	0.8747	0.8809	
110	0.6855	0.7275	0.7496	0.7626	0.7700	0.7939	0.80973	0.8310	0.8435	0.8497	
120	0.6638	0.6950	0.7199	0.7341	0.7493	0.7686	0.7839	0.8065	0.8222	0.8307	
130	0.6350	0.6659	0.6937	0.7076	0.7193	0.7423	0.7609	0.7834	0.8000	0.8111	
140	0.6022	0.6366	0.6669	0.6814	0.6908	0.7137	0.7269	0.7600	0.7790	0.7905	
150	0.5718	0.6087	0.6402	0.6560	0.6647	0.6919	0.7134	0.7366	0.7586	0.7670	
160	0.5475	0.5850	0.6150	0.6316	0.6401	0.6703	0.6908	0.7133	0.7384	0.7467	
170	0.5250	0.5622	0.5923	0.6084	0.6160	0.6475	0.6672	0.6999	0.7170	0.7282	

180	0.5024	0.5380	0.5606	0.5851	0.5923	0.6242	0.6447	0.6608	0.6901	0.7897
190	0.4816	0.5166	0.5459	0.5620	0.5682	0.5985	0.6231	0.6473	0.6702	0.6896
200	0.4634	0.4941	0.5228	0.5425	0.5454	0.5752	0.6017	0.6265	0.6579	0.6605
220	0.4222	0.4496	0.4783	0.5032	0.5094	0.5317	0.5630	0.5842	0.6193	0.6274
240	0.3875	0.4124	0.4390	0.4655	0.4595	0.4918	0.5279	0.5466	0.5822	0.5904
260	0.3636	0.3833	0.4050	0.4317	0.4274	0.4498	0.4911	0.5100	0.5432	0.5530
280	0.3204	0.3521	0.3752	0.3973	0.3973	0.4047	0.4559	0.4710	0.5039	0.5165
300	0.3036	0.3254	0.3477	0.3724	0.3726	0.3647	0.4137	0.4345	0.4671	0.4827
320	0.2741	0.2961	0.3189	0.3503	0.3513	0.3345	0.3885	0.3957	0.4347	0.4533
350	0.2347	0.2565	0.2793	0.3173	0.3226	0.2966	0.3501	0.3417	0.3870	0.4132

Table 1.에 수록된 것은 15mm 깊이에서의 선량을 100%로 규격화하여 각 깊이에서의 선량을 이에 대한 백분율로 나타낸 것이다.

라는 선측상 최대치는 거의 변화가 없었고, 선량은 완만하게 감소하는 경향을 보였다. 100×100mm의 조사야에서 물속 깊이에 따른 변화를 Figure 3.에 나타냈다. 이때 100×100mm의 조사야에서 선측상 최대치준 15mm이고, 50%의 지점은 156mm로 측정되었다.

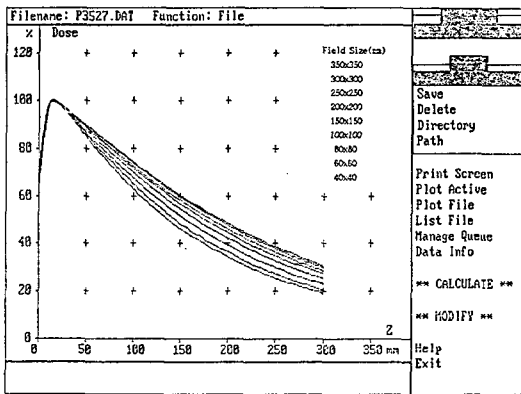


Figure 2. The PDD curves of 6MV X-ray for various field sizes

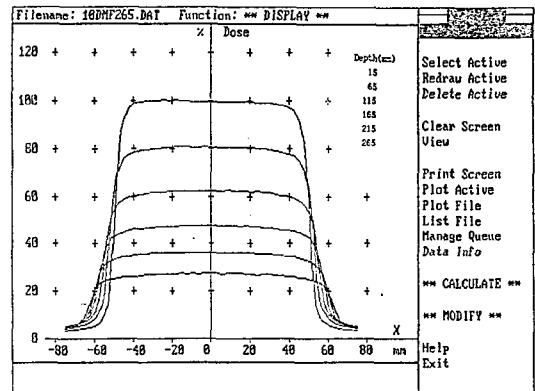


Figure 4. The beam profile of 6MV X-ray for depth(100×100mm field size)

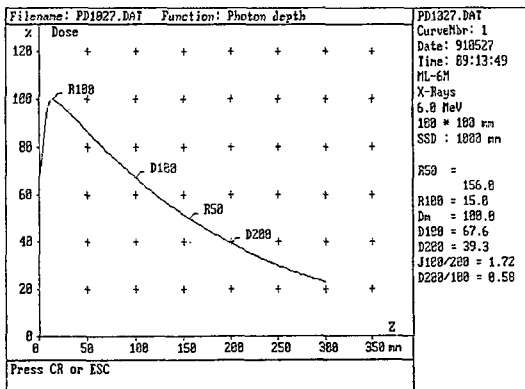


Figure 3. The PDD curve of 6MV X-ray for 100×100mm field size

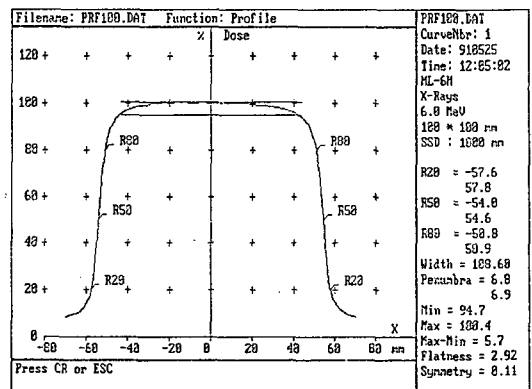


Figure 5. The normalized beam profile of 6MV X-ray for 100mm depth

ML-6M 선형가속기의 6MV X-ray를 Field Size 40×40, 60×60, 80×80, 100×100, 150×150, 200×200, 250×250, 300×300, 350×350mm 일 때의 PDD를 Figure 2.3에 표시하였다. 이 그래프에서 나타난 것처럼 조사야가 증가함에 따

Field Size가 100×100mm에서 물속 깊이 (Depth) 15, 65, 115, 165, 215, 265mm에 따른 변화를 나타낸 X-ray의 beam profile을 Figure

4.에 나타냈다. Figure 5.의 곡선은 Field Size가 100×100mm 일때 물속 깊이 100mm에서 측정된 것으로, 선축상 최대치에서의 편평도(Flatness)는 2.92%이고, 대칭성(Symmetry)은 0.11mm이며, 음영(Penumbra)은 6.8mm이었다. 또한 표면선량은 PDD 서 조사야의 증가에 따라 증가하였으며, 출력인자도 증가하는 경향을 보였다.

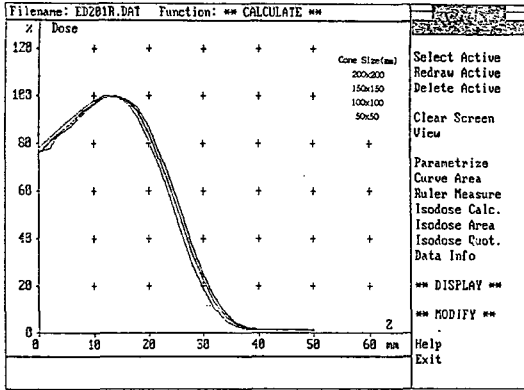


Figure 6. The PDD curves of 6MeV Electron for various field sizes.

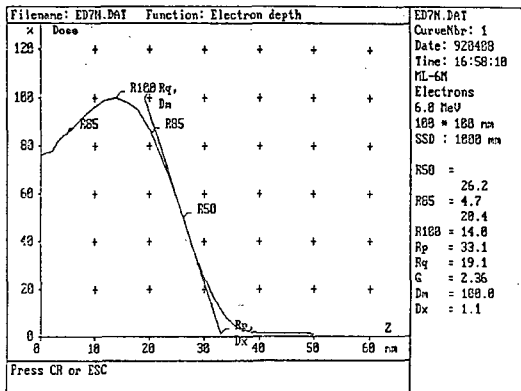


Figure 7. The PDD curve of 6MeV electron for 100×100mm beam applicator

6MeV의 Electron beam을 Cone Size별로 나타낸 PDD곡선을 Figure 6.에 나타냈다. 사용한 cone의 크기는 50×50mm, 100×100mm, 150×150mm, 200×200mm이었는데 15mm 이하에서는 급격히 선량이 감소하는 경향을 보이고, 30mm 이하에서는 거의 측정되지 않았다. Figure 7.은 100×100mm Cone에서 측정된 것으로, 선축상 최대치는 14mm이며, 50% 지점은 26.2mm로 측정

되었다. 100×100mm의 Cone을 사용하여 14mm의 깊이에서의 편평도는 2.6%로 측정되었다.

Table 2. The wedge transmission factors of 6MV photon.

Wedge factor	Angle			
	15°	30°	45°	60°
원 광 의 료 원	0.74	0.49	0.48	0.49
제 작 회 사	0.75	0.50	0.50	0.50

Table 2.는 Wedge의 통과인자(transmittance factor)를 나타낸 것이다. 제작회사에서 제시한 것과 본원에서 측정된 것을 비교해 본 것으로써 거의 일치됨을 볼 수 있다.

#### 4. 고찰 및 결론

Table 3. ML-6M BEAM의 특성비교

	Photon (PDD 100%)	Electron (PDD 100%)	표면선량
원 광 의 료 원	15MM	14MM	65%
제 작 회 사	15MM	15MM	64%

	Field flatness		field symmetry (Photon)	
	Photon	Electron	(100× 100MM)	(350× 350MM)
원 광 의 료 원	±1.6%	±2.6%	±0.45%	±0.52%
제 작 회 사	±3%이하	±3%	±3%	±3%

Table 3.에서처럼 표면선량이 100×100mm 조사야에서 65%로 측정되어 이미 보고된 64%와 거의 일치됨을 보였다. Field Size의 증가에 따른 최대 선량치 지점의 현저한 변화는 관측하지 않았으므로, 조사야에 관계없이 Photon beam의 최대선량치 지점은 15mm로, electron beam의 최대선량치 지점은 14mm로 고정시켜서 측정하여도 측정에는 큰 영향을 주지 않았다. 선형가속기 ML-6M의 photon과 electron의 특성을 알기

위하여 심부량 백분율(PDD), beam profile, 편평도, 대칭성, 음영, wedge factor를 측정하였는데, 이의 정확한 검증은 선량 측정에 적합한 것으로 알려진 전리함(ionization chamber)을 이용하여야 할 것으로 생각된다. 또한 열형광 선량계(TLD)를 사용하여도 될 것으로 생각되며, 측정기기의 미비로 인해 검증은 하지 못했지만, 측정결과 제작 회사에서 조사한 특성과 거의 일치하고 있으므로 실제로 방사선 치료에 이용함에 있어 큰 문제는 따르지 않은 것으로 사료된다.

## REFERENCES

1. Johns HE, Cunningham JR : The physics of radiology. 4th edition. Illinois, Charles C.Thomas, 1983, pp.336
2. Khan FM : The physics of radiation therapy. Baltimore, Williams & Wilkins, 1984, pp. 182
3. Khan FM, Moore VC, Sato S : Letter to editor. Radiology. 106:662, 1973
4. Johns HE, Cunningham JR : The physics of radiology. 4th edition. Illinois, Charles C.Thomas, 1983, pp.310