

# 6MV X-선 선축중심선상에서의 BEAM 특성 - Siemens MEVATRON KD 선형가속기에서 P. D. D와 TMR을 중심으로 -

한양대학병원 치료방사선과

정 칠 · 김병욱

## The Central Beam Characteristics of 6 MV X-Ray - The PDD and TMR for Siemens Linear Accelerator K.D. -

Chil Chung R.T. and Byong Wook Kim R.T.

*Dept. of Radiation Therapy Han Yang Univ. HOSP.*

### - Abstract -

The central beam characteristics of 6 MV X-ray from a Mevatron KD linear Accelerator are examined at various depths.

The PDD (Percent Depth Dose) values and the TMR (Tissue Maximum Ratio) values are evaluated from measurement as a function of the depths and the field sizes. The calculated TMR values from the PDD are compared to those from measurement. The average differences between calculated TMR and measured one are within 1% and we have concluded that calculated TMR values are acceptable for practical use.

### I. 서 론

치료용 선형가속기에서 발생하는 X-선은 에너지에 따라 선질의 특성이 다르고 또한 제작 회사에 따라 조금씩 선질이 변함으로 기계마다 그 특성을 조사하여 임상치료에 임할 필요가 있다.

우선, 치료에 필요한 6MV X-선의 정확한 특성을 알기 위해서는 심부선량분율(Percent Depth Dose, PDD) 최대조직비율(Tissue Maximum Ratio, TMR) 등의 측정과 함께 beam profile, Wedge profile 및 Wedge factor 등의 측정은 필수적이다. 본원에서 수개월에 걸쳐 6MV X-선을 측정하여 얻어낸 TMR 값을 치료계획용 자료로 이용하고 있는데 본 연구에서는 Khan이 제시한 TMR 값 구하기 공식에서 얻어지는 TMR 값과 본원에서 직접 측정하여 얻어

낸 TMR 값을 비교 검토하여 보았다.

### II. 재료 및 방법

#### 1. 측정장비

본원의 Mevatron KD 선형가속기(Siemens Co. W. Germany)는 6 MV와 10 MV의 X-선 및 전자선 7, 10, 12, 15, 18, 21 MeV 등 다양한 방사선의 종류와 에너지를 동시에 사용할 수 있는 가속기로서 기계의 출력(Output)은 선원표면간 거리(SSD) 100 cm일 때 D max에서 6 MV일 경우 200 CGy/min 그외에 에너지에서는 300 CGy/min의 출력을 내도록 조정 유지되고 있다.

6MV X-선의 측정을 위한 장비로는 전리함(Ionization chamber), 물팬텀, 미소전류계(Electrometer)와 물팬텀 속에서 전리함의

이동을 위한 조절부가 필요하다. 이 측정에서 얻어진 자료들을 곧장 치료계획용 컴퓨터로 입력시키기 위하여 자료 전송장치가 적절한 프로그램과 함께 갖추어져야 한다. 본원이 보유한 WP - 600 dosimetry system은 이러한 목적에 맞게 제작된 것으로, 측정용 컴퓨터인 16 bit personal computer로 제어되는 2channel 미소전류계와 Ic - 10형인 0.417cc 원동형 전리함 및 480×480×290 mm 크기의 물통으로 이루어지며, 물통 속에는 전리함을 제어할 수 있는 3개의 Servo motor가 부착되어 측정용 컴퓨터에서 명령하는대로 자동적인 측정이 가능하도록 되어 있고, 측정된 자료는 프린터를 통하여 출력하여 내거나 치료계획용 컴퓨터로 자료가 전송되도록 구성되어 있다. X-선의 흡수선량은 EXPOSURE/EXPOSURE Rate meter (Capintec Co. USA)를 사용하여 측정하였다.

## 2. 이 론

심부선량백분율 (PDD) 및 최대조직비율 (TMR), 심부선량백분율 (Percent Depth Dose, PDD)은 서브모터를 통해 3차원적으로 움직일 수 있는 전리함에서 측정된 전류의 변화를 기록함으로써 얻을 수 있었으며, 선축상 최대치 지점 (Dmax)의 정확한 위치 결정을 위해 전리함을 5 mm/sec의 대단히 느린 속도로 이동하며 반복 측정하였고, 0.5 cm 구간으로 나누어 그 결과를 기록하였다. PDD는 선원과 물표면과의 거리를 100 cm로 고정시키고 물표면에서 깊이 27 cm까지 전리함을 움직여 전류변화분포를 구하여 선축상 최대치 지점을 100%로 규격화한 값을 취하였다.

이때의 조사야는 물표면에서의 크기로 정의되며, 조사야의 변화에 따른 심부선량백분율의 변화를 알기 위해 2×2 cm에서 35×35 cm까지의 조사야에 걸쳐 측정하였다. 최대조직비율 (TMR)은 심부선량백분율과는 달리 전리함과 선원간의 거리 (Source to Detector Distance, SDD)가 100 cm로 일정하게 유지되어야 하므로 물판통의 높이가 변할 수 있어야 한다. 본원에서는 이러한 목적에 맞게 물판통 받침대를 제작하여 최대조

조직비율 값들을 측정하였다. 깊이 1.5 cm에서의 선량을 1로 규격화하여 심부선량백분율에서와 같이 조사야와 깊이에 따르는 값의 변화를 알아 보았다. 이렇게 측정된 최대조직비율값을 아래 식을 이용하여 심부선량백분율 값으로부터 계산한 최대조직비율 값과 비교하였다.

$$TMR(d, Rd) = \frac{PDD(d, R, f)}{100} \times \left(\frac{F+d}{F+t_0}\right)^2 \times \frac{Sp(Rt_0)}{Sp(Rd)} \quad (1)$$

- d : 깊이
- F : SSD (100cm)
- t<sub>0</sub> : Dmax (1.5 cm)
- R : SSD 100 cm에서의 조사야
- Rd : R (  $\frac{F+d}{F}$  )
- Rt<sub>0</sub> : R (  $\frac{F+t_0}{F}$  )
- Sp : 판톰산란 보정인자

판톰산란 보정인자는 collimator 크기를 고정시킨 후, 주어진 조사야에서 선축상 최대치 깊이에서의 선량율과 10×10 cm 기준조사야에서의 선량율의 비로써 정의되지만, 이 값을 직접 측정하는 일은 기술적으로 어려우므로 collimator 산란인자 (Sc)와 전체 산란인자를 측정하여 아래와 같은 관계식으로 판톰산란 보정인자를 구하였다.

$$Sp = \frac{Sc \cdot p}{Sc} \dots\dots\dots (2)$$

## III. 결 과

6Mv PDD를 측정된 결과를 그림 1에 표시하였다.

조사야 4×4, 6×6, 10×10, 16×16, 20×20에 대하여 살펴보면 1.5 cm에서 최대치점 (Dmax)을 형성하고 깊이가 증가함에 따라 PDD 값이 감소하고 조사야가 커짐에 따라 PDD 값이 증가함을 알 수 있다. TMR 측정 결과를 그림 2에 표시하였으며 PDD, TMR 값들을 표 1, 2에 각각 나타내고 있다.

TMR 값 역시 깊이가 깊어짐에 따라 감소하였으며 조사야 증가에 따라 증가하는 경향을 알 수 있었다.

Table 1. The PDD Table of 6Mv X-Ray

Dep\F/S	4×4	6×6	8×8	10×10	12×12	14×14	16×16	18×18	20×20	25×25	30×30	35×35
0.0	44.9	44.2	47.6	49.9	50.6	52.2	53.5	54.2	55.9	58.9	60.7	62.0
1.0	96.3	95.6	96.7	97.2	96.9	97.6	98.2	97.3	97.4	98.4	98.4	97.9
1.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2.0	98.8	98.9	99.4	99.1	99.2	98.7	98.8	99.1	98.8	99.1	98.9	98.7
3.0	94.5	95.4	94.9	95.2	95.4	95.0	95.5	95.5	95.7	95.5	95.4	95.6
4.0	89.4	90.4	90.8	91.2	91.2	91.4	91.4	91.4	92.0	92.2	92.6	92.5
5.0	84.7	86.1	86.2	86.8	87.3	87.4	88.0	87.8	88.0	88.3	88.9	88.6
6.0	79.4	81.3	82.0	82.1	83.4	83.5	84.0	84.5	84.0	84.8	85.3	85.2
7.0	75.2	78.0	78.0	78.9	79.0	80.0	80.7	80.6	81.0	81.3	81.9	81.8
8.0	71.0	73.1	73.9	74.3	75.6	76.0	76.5	76.9	77.3	77.5	78.2	78.9
9.0	66.2	69.2	70.1	70.5	71.5	72.0	73.3	73.2	74.2	74.7	74.9	75.7
10.0	62.6	65.1	66.2	67.5	68.3	68.8	69.8	70.5	70.7	71.4	71.5	72.5
11.0	58.7	61.7	62.8	63.7	64.1	65.1	66.0	66.7	67.4	68.3	68.8	69.7
12.0	55.0	58.0	59.5	60.4	61.5	62.2	62.8	63.6	64.2	65.2	65.6	66.4
13.0	51.9	55.1	55.6	57.4	58.4	59.1	60.0	60.5	61.0	62.1	63.0	63.3
14.0	48.7	51.8	53.1	53.9	55.5	56.3	57.0	58.0	58.0	59.4	60.0	60.5
15.0	46.0	59.2	50.0	51.2	52.1	53.4	54.1	54.7	55.3	56.5	57.6	58.0
16.0	43.3	46.3	47.0	48.4	49.8	50.5	51.4	52.3	52.9	54.2	55.1	55.2
17.0	40.7	43.8	44.5	45.8	47.0	48.0	48.7	49.6	50.3	51.6	52.3	52.9
18.0	38.1	41.5	42.0	43.2	44.5	45.3	46.2	47.1	47.9	48.9	49.9	50.8
19.0	36.3	38.7	39.7	41.0	42.5	43.2	44.1	44.5	45.6	46.8	47.6	48.3
20.0	33.8	36.8	37.2	38.7	40.1	40.9	41.8	42.6	43.4	44.5	45.3	46.0
21.0	31.8	34.4	35.5	36.5	37.5	38.8	39.3	40.4	41.0	42.3	43.2	43.9
22.0	30.2	32.8	33.4	34.9	36.0	36.9	37.7	38.3	39.2	40.2	41.4	41.8
23.0	28.4	30.9	31.5	32.9	34.1	34.8	35.7	36.5	37.0	38.4	39.3	39.8
24.0	26.9	29.4	29.8	30.9	32.0	33.1	33.9	34.6	35.2	36.4	37.4	37.8
25.0	25.1	27.9	28.1	29.2	30.3	31.5	32.3	32.9	33.5	34.6	35.6	36.1
26.0	23.3	26.4	25.4	26.9	28.0	29.9	30.7	31.2	31.8	32.4	33.8	33.8
27.0	21.5	24.9	23.7	24.9	26.0	28.3	29.1	29.5	30.0	30.5	32.0	33.6

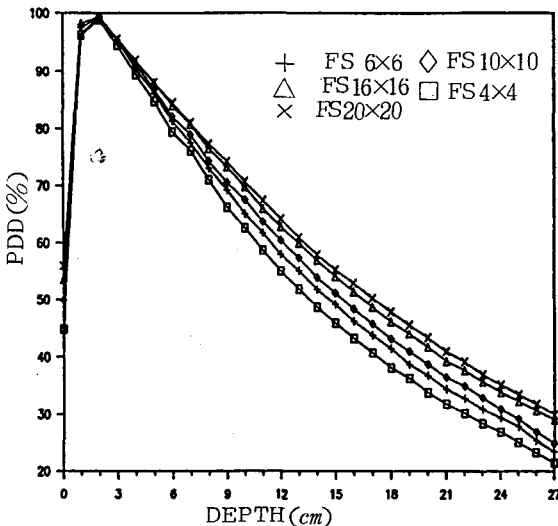


그림 1. 6 MV X-Ray의 PDD 조사야는 4×4, 20×20이며 조사야증가에 따르는 PDD 값의 증가를 볼수 있다.

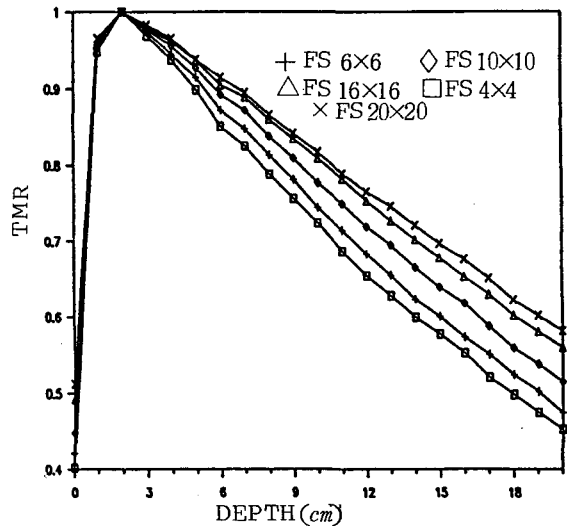


그림 2. 6 MV X-Ray의 TMR(PDD에서와 같은 경향을 보이고 있다.)

Table 2. The TMR Table of 6 MV X-Ray (Measured)

Dep\FS	4×4	6×6	8×8	10×10	12×12	14×14	16×16	18×18	20×20	25×25	30×30	35×35
0	0.402	0.421	0.432	0.448	0.462	0.475	0.492	0.502	0.512	0.542	0.565	0.578
1	0.949	0.955	0.956	0.957	0.958	0.962	0.962	0.963	0.967	0.972	0.972	0.976
1.5	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.004
3	0.957	0.96	0.965	0.966	0.966	0.971	0.971	0.971	0.971	0.972	0.972	0.976
4	0.939	0.946	0.952	0.957	0.958	0.962	0.963	0.967	0.967	0.967	0.968	0.972
5	0.899	0.915	0.922	0.928	0.929	0.938	0.938	0.939	0.939	0.944	0.948	0.952
6	0.848	0.866	0.874	0.881	0.887	0.896	0.897	0.898	0.899	0.908	0.912	0.913
7	0.825	0.848	0.857	0.872	0.874	0.884	0.889	0.899	0.895	0.9	0.908	0.909
8	0.788	0.813	0.823	0.838	0.845	0.855	0.86	0.865	0.866	0.876	0.884	0.889
9	0.756	0.781	0.792	0.809	0.822	0.826	0.835	0.841	0.842	0.853	0.865	0.865
10	0.724	0.744	0.764	0.777	0.793	0.803	0.809	0.818	0.824	0.860	0.843	0.851
11	0.687	0.714	0.732	0.749	0.762	0.772	0.782	0.788	0.789	0.805	0.817	0.821
12	0.654	0.683	0.701	0.719	0.732	0.743	0.753	0.759	0.765	0.781	0.793	0.798
13	0.628	0.655	0.672	0.695	0.705	0.722	0.727	0.737	0.746	0.759	0.771	0.78
14	0.6	0.623	0.646	0.665	0.679	0.695	0.702	0.712	0.721	0.733	0.747	0.756
15	0.672	0.601	0.622	0.632	0.654	0.669	0.678	0.687	0.697	0.711	0.723	0.732
16	0.553	0.574	0.598	0.618	0.629	0.644	0.653	0.667	0.676	0.691	0.707	0.712
17	0.521	0.551	0.571	0.588	0.603	0.621	0.633	0.64	0.651	0.667	0.681	0.693
18	0.498	0.524	0.545	0.559	0.574	0.597	0.602	0.615	0.622	0.643	0.657	0.669
19	0.475	0.502	0.519	0.538	0.554	0.572	0.581	0.595	0.602	0.621	0.638	0.65
20	0.453	0.475	0.498	0.515	0.532	0.548	0.566	0.57	0.582	0.600	0.614	0.627
21	0.434	0.455	0.478	0.495	0.5	0.527	0.538	0.55	0.56	0.58	0.594	0.607
22	0.416	0.436	0.459	0.475	0.488	0.502	0.516	0.53	0.538	0.559	0.575	0.587
23	0.397	0.418	0.437	0.456	0.469	0.488	0.495	0.509	0.518	0.539	0.555	0.567
24	0.379	0.401	0.416	0.437	0.455	0.467	0.474	0.488	0.498	0.519	0.535	0.547
25	0.363	0.383	0.401	0.418	0.431	0.446	0.457	0.47	0.48	0.5	0.515	0.529
26	0.347	0.366	0.386	0.399	0.413	0.426	0.441	0.452	0.462	0.481	0.496	0.512
27	0.333	0.350	0.369	0.384	0.396	0.412	0.423	0.433	0.446	0.464	0.480	0.494

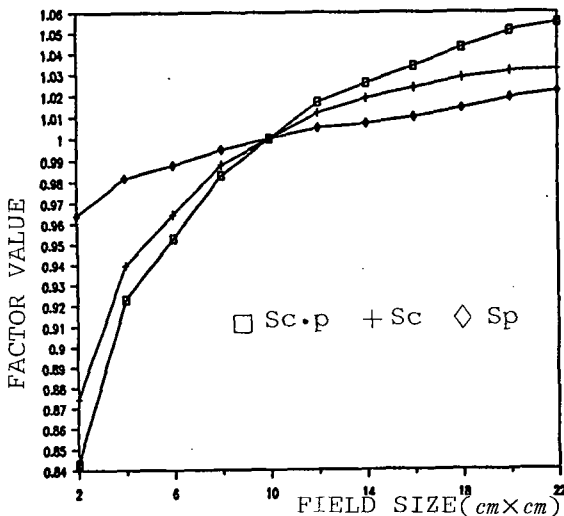


그림 3. 6 Mv X-Ray 의 Sc.p, Sc, Sp 를 나타내는 도표 Sp 의 변화가 완만함을 알 수 있다.

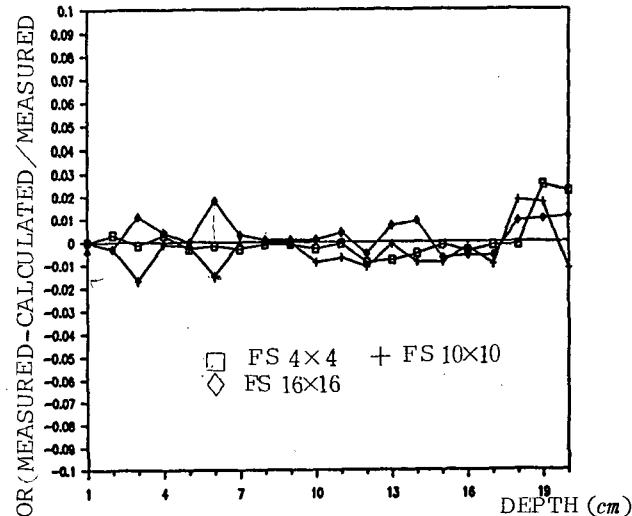


그림 4. 6 Mv TMR 의 측정값과 계산값 비교 거의 대부분 깊이에서 1% 이내 값을 보이는 것을 알 수 있다.

Table 3. The TMR Table of 6Mv X-Ray(Calculated)

Dep\Fs	4×4	6×6	8×8	10×10	12×12	14×14	16×16	18×18	20×20	22×22
0	0.435	0.429	0.462	0.484	0.491	0.506	0.519	0.526	0.542	0.556
1	0.953	0.956	0.957	0.952	0.959	0.965	0.972	0.964	0.964	0.968
1.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	0.997	0.998	1.003	1.003	1.003	1.003	1.003	1.003	1.003	1.003
3	0.971	0.981	0.981	0.982	0.981	0.982	0.982	0.982	0.984	0.985
4	0.936	0.947	0.951	0.956	0.956	0.958	0.959	0.958	0.962	0.965
5	0.902	0.919	0.92	0.926	0.931	0.934	0.938	0.944	0.944	0.941
6	0.862	0.882	0.89	0.894	0.903	0.909	0.913	0.917	0.919	0.92
7	0.85	0.864	0.864	0.872	0.876	0.883	0.892	0.895	0.896	0.899
8	0.796	0.822	0.831	0.838	0.847	0.857	0.861	0.865	0.869	0.873
9	0.757	0.789	0.802	0.809	0.817	0.826	0.834	0.842	0.843	0.853
10	0.726	0.756	0.77	0.784	0.795	0.803	0.881	0.818	0.825	0.828
11	0.692	0.726	0.743	0.754	0.761	0.769	0.779	0.787	0.794	0.803
12	0.66	0.694	0.713	0.727	0.738	0.749	0.757	0.761	0.77	0.777
13	0.633	0.668	0.683	0.696	0.713	0.724	0.732	0.739	0.745	0.751
14	0.603	0.638	0.658	0.671	0.683	0.7	0.709	0.714	0.724	0.728
15	0.579	0.615	0.633	0.645	0.657	0.669	0.683	0.689	0.695	0.703
16	0.555	0.588	0.605	0.617	0.632	0.649	0.657	0.665	0.674	0.683
17	0.529	0.563	0.582	0.594	0.608	0.623	0.634	0.64	0.649	0.659
18	0.504	0.539	0.563	0.569	0.582	0.599	0.608	0.616	0.625	0.636
19	0.487	0.515	0.533	0.547	0.561	0.58	0.589	0.597	0.604	0.611
20	0.463	0.492	0.512	0.521	0.538	0.555	0.566	0.574	0.583	0.593
21	0.443	0.469	0.49	0.504	0.515	0.538	0.542	0.551	0.558	0.571
22	0.424	0.453	0.472	0.482	0.499	0.514	0.525	0.534	0.541	0.549
23	0.406	0.432	0.452	0.461	0.478	0.493	0.504	0.512	0.521	0.531
24	0.388	0.416	0.436	0.443	0.456	0.47	0.483	0.494	0.502	0.511
25	0.37	0.397	0.42	0.424	0.437	0.451	0.465	0.477	0.485	0.493
26	0.35	0.376	0.403	0.407	0.411	0.422	0.444	0.459	0.467	0.474
27	0.329	0.341	0.351	0.367	0.382	0.397	0.416	0.441	0.449	0.455

식(1)에 의하여 표 1의 PDD 값에서 TMR 값들을 계산하려면 Sp factor 값들의 측정이 필요하므로 식(2)를 이용하여 Sc·p, Sc 값들에서 Sp 값을 계산해 내었다.

Sc·p, Sc, Sp의 관계가 그림 3에 나타내어져 있고 그림 3의 결과와 식(1) 표 1을 이용하여 그림 4, 표 3의 결과를 얻을 수 있었으며 표 2, 그림 2의 결과와 비교할 때 평균 1% 이내, 최대 2% 이내였다. 즉 계산값과 측정값의 차이가 1%를 넘지 않았다.

#### IV. 결론 및 논의

6 Mv X-선의 중심축 선상의 PDD, TMR 값을 측정하였고 TMR 값을 계산하여 측정값과 비교하였다. PDD 값은 10 cm, 20 cm일 때 각각 67.5%, 38.7%로 제작사 사양에 부합되었다. 계산된 TMR 값은 측정값과 비교할 때 평균 1%이내의 오차를 보였으며 최대 2%를 넘지 않았다. 따라서 TMR 값을 직접 측정하지 않고 PDD 값으로부터 계산하여 임상에 적용할 수 있음을 알았다.