

Mevatron KD 선형 가속기에서의 10MV X-선 특성

한양대학교 의과대학 치료방사선과학교실

이 병 용 · 이 명 자

== Abstract ==

Charateristics of 10MV X-ray Beam from a Mevatron KD Linear Accelerator

Byong Yong Yi, M.S. and Myung Za Lee, M.D.

Department of Radiation Therapy, Hanyang University Hospital, Seoul, Korea

The beam characteristics and dosimetric measurements of the 10MV X-ray beam from a Mevatron KD 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.

Key Words: 10 MV X-ray, TMR, PDD

서 론

치료용 선형 가속기에서 발생하는 X-선은 에너지에 따라 선질의 특성이 다르고 제작 회사에 따라 조금씩 성질이 변하므로 기계마다 그 특성을 조사하여 치료시에 이용할 필요가 있다. 이런 이유로 그간 몇가지의 에너지에 대한 특성이 보고된 바 있다¹⁻³⁾. 본원의 Mevatron KD 선형 가속기 (Siemens Co. W. Germany)는 6MV와 10MV의 X-선 및 전자선 7,10,12,15,18,21 MeV 등 다양한 방사선 종류와 에너지를 동시에 사용할 수 있는 가속기로서, 기계의 출력(output)은 선원 표면간 거리(SSD) 100cm일 때 Dmax에서 6MV일 경우 200 cGy/min, 그 외의 에너지에서는 300 cGy/min의 출력을 내도록 조정되어 유지되고 있다.

치료에 필요한 10 MV X-선의 정확한 특성을 알기 위해서는 심부량 백분율(Percent Depth Dose, PDD), 최대 조직 비율(Tissue Maximum Ratio, TMR) 등의 측정과 함께 beam profile, wedge profile 및 wedge factor 등의 측정이 필수적이라 하겠다⁴⁾. 치료 계획이 컴퓨터에 의해 이루어지고 있는 현재의 추세를 고려할 때 위의 기본 측정치들도 전산화 장치를 이용하여 측정

할 필요가 있다. 이렇게 측정된 값이 그대로 치료 계획용 컴퓨터에 읽혀져 치료 계획용 자료로써 사용될 수 있기 때문이다. 본원이 보유하고 있는 측정 장치인 WP-600 (Wellhoefer Co. W. Germany)을 사용하여 위에 열거한 자료를 측정할 수 있었다.

재료 및 방법

1. 측정 장비

10MV X-선의 측정을 위한 장비로는 전리함(Ionization Chamber), 물판통, 미소 전류계(Electrometer)와 물판통 속에서 전리함의 이동을 위한 조절부가 필요하다. 이 측정에서 얻어진 자료들을 곧장 치료 계획용 컴퓨터로 입력시키기 위하여 자료 전송 장치가 적절한 프로그램과 함께 갖추어져야 한다. 본원이 보유한 WP-600 dosimetry system은 이런 목적에 맞게 제작된 것으로, 측정용 컴퓨터인 16 bit personal computer로 제어되는 2 channel 미소전류계와 IC-10형인 0.417 cc의 원통형 전리함 및 480×480×290(mm) 크기의 물통으로 이루어지며, 물통 속에는 전리함을 제어할 수 있는 3개의 servo motor가 부착되어 측정용 컴퓨터에서 명령하는 대로 자동적인 측정이 가능하도록 되어

있고, 측정된 자료는 프린터를 통해 출력해 내거나 치료 계획용 컴퓨터로 자료가 전송되도록 구성되어 있다. X-선의 흡수 선량은 Exposure/Exposure Rate Meter (Capintec Co, USA)를 사용하여 측정하였다.

2. 심부량 백분율 (PDD) 및 최대 조직 비율(TMR)

심부량 백분율(Percent Depth Dose, PDD)은 서보모터를 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 전류 변화 분포를 구하여 선축상 최대치 지점을 100%로 규격화한 값을 취하였다. 이때의 조사야는 물표면에서의 크기로 정의되며, 조사야의 변화에 따른 심부량 백분율의 변화를 알기 위해 2×2 cm에서 35×35 cm까지의 조사야에 걸쳐 측정하였다. 최대 조직 비율(TMR)은 심부량 백분율과는 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 최대 조직 비율 값들을 측정하였다. 깊이가 2.5 cm에서의 선량을 1로 규격화하여 심부량 백분율에서와 같이 조사야와 깊이에 따르는 값의 변화를 알아 보았다. 이렇게 측정된 최대 조직 비율 값을 아래 식을 이용하여 심부량 백분율 값으로부터 계산한 최대 조직 비율 값과 비교하였다^{4,5)}.

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

- d : 깊이,
- F : SSD (100 cm)
- to : Dmax (2.5 cm),
- R : SSD 100 cm에서의 조사야

$$Rd = R \left(\frac{F+d}{F} \right)$$

$$Rto = R \left(\frac{F+to}{F} \right)$$

Sp : 판통 산란 보정 인자

판통 산란 보정 인자는 collimator 크기를 고정시킨 후, 주어진 조사야에서 선축상 최대치 깊이에서의 선량율과 10×10 cm 기준 조사야에서의 선량율의 비로써 정의되지만, 이 값을 직접 측정하는 일은 기술적으로 어려우므로 collimator 산란 인자(Sc)와 전체 산란 인자(Sc,p)를 측정하여 아래와 같은 관계식으로 판통 산란 보정 인자를 구하였다⁴⁾.

$$Sp = \frac{Sc,p}{Sc} \quad (2)$$

3. Beam Profile과 썸기(Wedge)

Beam Profile은 심부 선량 백분율을 측정할 때와 동일한 장치로 측정하였으며, 조사야는 2×2 cm로부터 35×35 cm 사이를 2 cm 간격으로 선택하였고, 깊이가 각각 1 cm, 2.5 cm(Dmax), 7 cm, 10 cm, 25 cm에서 중심 선축을 지나는 종축 또는 횡축의 선량율의 변화로 측정하였다. 조사야의 편평도(flatness) 및 대칭도(symmetry)는 기준 조사야(10×10 cm), 기준 깊이에서 측정하였으며, 편평도는 조사야 내의 선량 최대 최소점을, 대칭도는 beam 중심과 조사야 크기 80% 지점에서의 값으로 각각 계산하였으며 기준 깊이를 10 cm로 택하였다. 썸기(wedge)는 15도, 30도, 45도, 60도인 보편 썸기(universal wedge)를 사용하였으며, beam profile과 같은 방법으로 선량율 변화 곡선을 구하였으며, 5 cm 깊이에서의 통과 인자(wedge

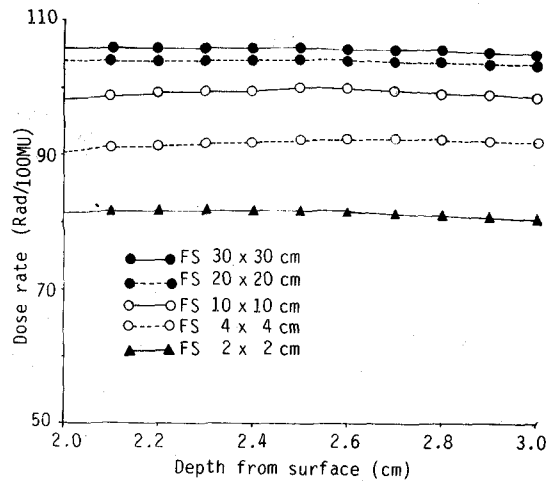


Fig. 1. The variation of build-up distance (dmax) as a function of field size.

transmission factor)를 구하였다.

4. 출력 인자(Output Factor), 기타

출력 인자(output factor)는 10×10 cm 기준 조사야에서의 흡수 선량을 1로 할 때 각 조사야에서의 흡수선량비로서 PDD, TMR의 경우에 대해 조사야에 대한 함수로 측정하였다. 표면 선량을 PDD 측정시의 방법으로 구하여 이미 보고된 값과 비교하였으며, 음영(penumbra) 영역을 조사하였다.

결 과

조사야에 따르는 선축상 최대치 지점의 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 일반적으로 조사야의 증가에 따라 선축상 최대치 지점이 표면 쪽으로 이동하는 것으로 보고되고 있으나¹⁾, 본 장비에서는 그러한 경향을 찾아볼 수 없었다. Fig. 1의 결과로 2.5 cm 깊이에서의 선량을 100%로 규격화하여 각 깊이에서의 선량을 이에 대한 백분율로 나타낸 결과를 Table 1에 수록하였고, 조사야 4×

Table 1. PDD Table of 10 MV X-Ray

F.S. (cm) Depth (cm)	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25	30	35
0.0	25.5	29.7	31.2	32.1	34.9	36.4	38.7	40.6	42.2	43.3	44.5	46.4
1.0	80.0	83.6	84.4	82.8	85.5	85.9	86.8	87.8	88.9	85.4	86.0	86.5
2.0	98.6	98.7	98.8	98.7	99.7	99.7	99.7	100.0	99.8	99.3	99.4	99.5
2.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3.0	99.9	99.7	99.5	99.7	99.4	99.7	98.9	99.2	99.0	99.3	99.4	99.3
4.0	96.5	96.0	96.4	96.5	96.1	96.7	95.8	95.7	95.8	96.4	96.2	96.4
5.0	92.5	92.1	92.3	92.5	92.3	92.8	92.3	92.0	92.2	93.0	92.8	93.2
6.0	87.7	87.9	88.4	89.0	88.5	89.1	88.6	88.8	88.7	89.4	89.6	89.7
7.0	83.8	84.2	84.6	85.0	85.2	85.4	85.6	85.8	89.0	86.3	86.6	86.7
8.0	79.7	80.5	80.9	81.2	81.2	81.4	81.7	81.9	82.1	83.0	83.4	83.6
9.0	75.7	76.5	77.4	77.8	78.0	78.3	78.5	78.7	78.9	80.0	80.3	80.6
10.0	72.2	73.1	73.8	74.2	74.6	75.0	75.5	75.6	75.8	76.7	77.1	77.5
11.0	69.0	69.5	70.6	71.5	71.8	72.0	72.1	72.3	72.8	73.6	74.2	74.5
12.0	65.3	66.3	67.6	68.3	68.5	68.7	69.0	69.5	69.7	71.0	71.3	71.8
13.0	62.2	63.2	64.5	65.1	65.3	65.8	66.3	66.5	66.8	68.1	68.6	69.1
14.0	59.5	60.2	61.1	62.4	62.5	63.0	63.4	63.9	64.2	65.6	66.2	66.4
15.0	56.2	57.4	58.4	59.7	60.0	60.5	60.8	61.2	61.7	62.8	63.3	63.9
16.0	53.8	54.9	55.7	57.1	57.2	58.2	58.4	58.6	59.0	60.4	61.0	61.5
17.0	51.0	52.0	53.2	54.5	54.5	55.1	55.5	56.3	56.4	58.1	58.6	59.0
18.0	48.3	49.5	51.0	52.0	52.2	53.1	53.4	54.0	54.3	55.9	56.4	56.8
19.0	46.3	47.1	48.7	50.0	50.3	50.7	51.1	51.6	51.9	53.3	54.1	54.4
20.0	44.0	44.9	46.2	47.8	48.1	48.5	49.0	49.4	49.9	51.2	52.2	52.4
21.0	42.2	43.1	44.3	45.1	45.7	46.5	47.0	47.4	47.7	49.2	49.9	50.4
22.0	39.9	41.1	42.3	43.5	43.6	44.8	45.2	45.6	46.1	47.3	48.0	48.5
23.0	38.2	39.2	40.2	41.3	41.7	42.2	42.9	43.5	43.9	45.4	46.0	46.6
24.0	36.3	37.4	38.6	39.6	39.9	41.0	41.2	41.7	42.1	43.6	44.2	44.7
25.0	34.5	35.5	36.6	37.5	38.2	38.8	39.3	39.9	40.3	41.7	42.4	42.9
26.0	32.7	33.7	35.0	35.8	36.6	37.0	37.4	38.1	38.6	40.1	40.7	41.1
27.0	30.9	31.9	33.2	34.6	35.1	35.3	35.6	36.5	37.0	38.5	39.2	39.4

4, 6×6, 10×10, 16×16, 20×20 cm일 때의 PDD를 Fig. 2에 표시하였다. 2.5 cm 깊이에서의 선량을 1로 규격화하여 측정된 TMR 값을 Table 2에 나타내었으며, 조사야 4×4, 6×6, 10×10, 16×16, 20×20 cm에서의 TMR 곡선을 Fig. 3에 나타내었다. PDD 값으로부터 TMR 값을 구하기 위해 (2)식으로 Sp 값을 구하였으며,

그 결과를 Sc, Sc,p 값과 함께 Fig. 4에 표시하였고, Table 1의 값들을 (1)식에 대입하여 TMR 값을 구하였다(Table 3). 이때의 측정값과의 오차는 10×10 cm 조사야에서 평균 ±1% 이내이며 최대 오차는 1.8%였다. 측정값과의 오차는 Fig. 5에 표시하였다.

SSD 100 cm, 10×10 cm 조사야, 10 cm 깊이에서의

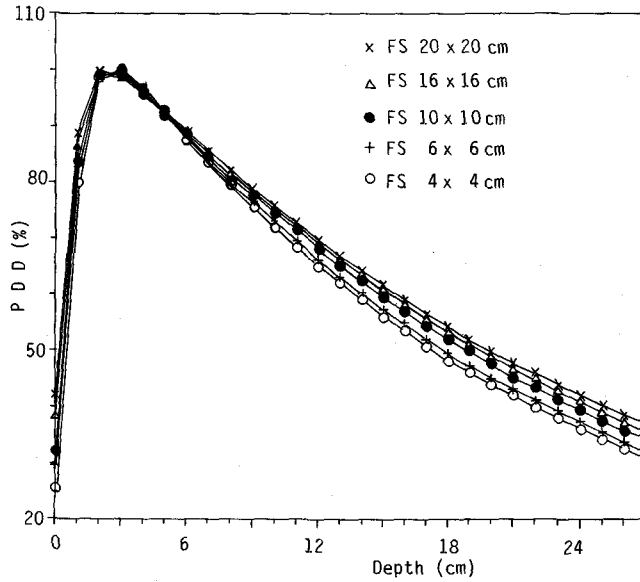


Fig. 2. The PDD curves of 10MV X-ray for various field sizes.

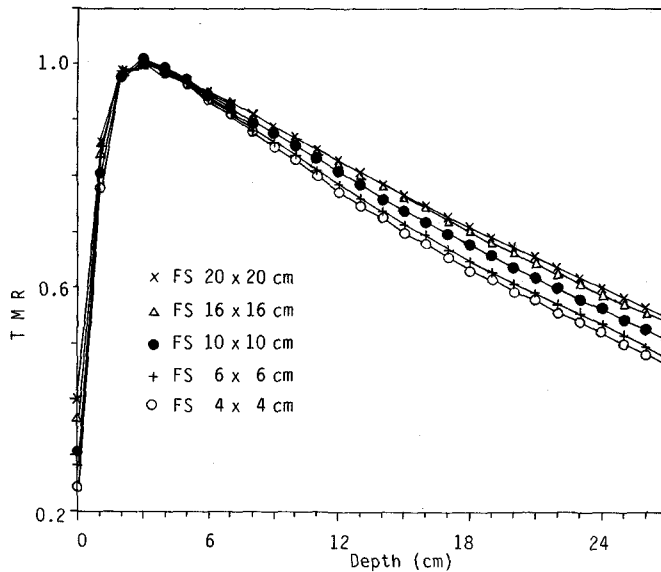


Fig. 3. The TMR curves of 10MV X-ray for various field sizes.

편평도는 0.7%, 대칭도는 0.9%이며, SCD 100 cm에서의 음영은 9 mm였다. wedge를 사용하였을 때의 등선량 분포 변화는 기준 조사야의 2/3되는 깊이(6.7 cm)에서 wedge 각도 값을 나타내었다. Fig. 6은 10×10 cm 조사야, 6.7 cm 깊이에서의 open, 15도, 30도, 45도, 60도 wedge의 등선량 분포 곡선을 나타낸 것이며, 분포 각도가 각각 15도, 30도, 45도, 60도임을 알 수 있다. Table 4에 5 cm 깊이에서의 wedge 통과 인자를 나타내었다.

표면선량은 PDD, TMR 모두 조사야 증가에 따라 증

가하였으며(Fig. 1,2), 출력인자(Sc,p 인자)도 증가함을 알 수 있다(Fig. 4).

고 찰

표면 선량이 10×10 cm 조사야에서 32.1%로 나와 이미 보고된 12.5%와는 현저한 차이를 보인다²⁾. 이는 원통형 전리함이 물표면으로 접근함에 따라 물의 표면 장력으로 인해 전리함 표면에 물이 점착하게 되어 전리함 표면의 물이 선량 증가 효과를 일으키기 때문에 발생하

Table 2. TMR Table of 10 MV X-Ray (Measured)

F. S. (cm) Depth (cm)	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25	30	35
0	0.243	0.260	0.279	0.300	0.315	0.336	0.354	0.372	0.389	0.419	0.443	0.458
1.0	0.766	0.775	0.790	0.802	0.813	0.824	0.833	0.846	0.847	0.863	0.870	0.874
2.0	0.972	0.974	0.979	0.983	0.983	0.984	0.988	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992
2.5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
3.0	1.008	1.007	1.005	1.005	1.004	1.004	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
4.0	0.986	0.988	0.988	0.988	0.988	0.988	0.988	0.988	0.988	0.988	0.988	0.988
5.0	0.959	0.965	0.967	0.969	0.972	0.972	0.972	0.972	0.972	0.973	0.973	0.973
6.0	0.928	0.935	0.937	0.941	0.943	0.944	0.947	0.948	0.949	0.949	0.953	0.953
7.0	0.905	0.913	0.916	0.920	0.923	0.926	0.929	0.931	0.933	0.938	0.938	0.942
8.0	0.873	0.887	0.895	0.900	0.902	0.908	0.908	0.909	0.913	0.918	0.922	0.923
9.0	0.847	0.862	0.870	0.880	0.883	0.886	0.889	0.890	0.895	0.904	0.904	0.908
10.0	0.823	0.843	0.852	0.856	0.866	0.868	0.869	0.874	0.874	0.884	0.888	0.892
11.0	0.795	0.816	0.826	0.831	0.840	0.843	0.848	0.850	0.854	0.864	0.869	0.876
12.0	0.772	0.794	0.800	0.809	0.819	0.822	0.828	0.829	0.834	0.844	0.849	0.857
13.0	0.740	0.762	0.773	0.782	0.789	0.796	0.802	0.807	0.812	0.820	0.831	0.835
14.0	0.712	0.736	0.751	0.761	0.769	0.771	0.781	0.787	0.788	0.798	0.807	0.815
15.0	0.689	0.714	0.730	0.739	0.718	0.751	0.757	0.763	0.772	0.779	0.787	0.795
16.0	0.631	0.692	0.708	0.718	0.727	0.735	0.741	0.747	0.752	0.763	0.772	0.780
17.0	0.644	0.665	0.682	0.693	0.702	0.710	0.717	0.723	0.728	0.739	0.752	0.760
18.0	0.626	0.648	0.661	0.672	0.686	0.694	0.700	0.707	0.712	0.725	0.736	0.744
19.0	0.603	0.626	0.644	0.655	0.665	0.673	0.680	0.687	0.692	0.704	0.717	0.724
20.0	0.580	0.604	0.618	0.630	0.640	0.649	0.660	0.667	0.672	0.684	0.697	0.703
21.0	0.563	0.584	0.598	0.611	0.621	0.630	0.639	0.649	0.654	0.666	0.679	0.686
22.0	0.546	0.564	0.579	0.592	0.603	0.612	0.619	0.631	0.636	0.648	0.661	0.669
23.0	0.527	0.546	0.562	0.573	0.584	0.594	0.603	0.612	0.620	0.631	0.643	0.651
24.0	0.509	0.529	0.545	0.555	0.566	0.576	0.587	0.594	0.604	0.615	0.626	0.634
25.0	0.493	0.511	0.528	0.538	0.549	0.559	0.569	0.576	0.586	0.598	0.610	0.618
26.0	0.477	0.493	0.511	0.521	0.533	0.543	0.551	0.558	0.568	0.581	0.594	0.602
27.0	0.461	0.478	0.491	0.504	0.516	0.526	0.534	0.542	0.550	0.565	0.576	0.586

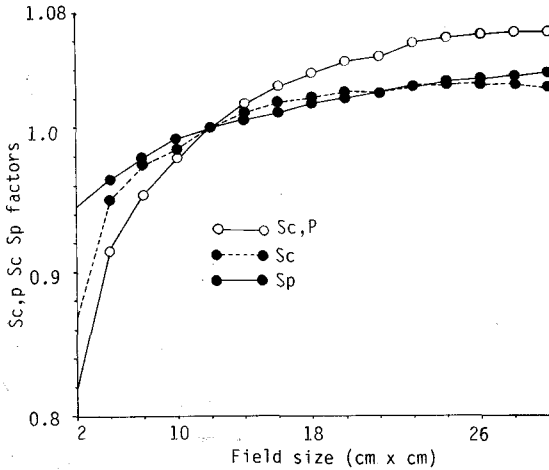


Fig. 4. Sp factors derived from Sc, p and Sc.

는 오차라고 생각된다. 다른 보고에서와 같이^{1,6)} 표면 선량 측정에 적합한 것으로 알려진 평행판 전리함 (Parallel Plate Ionization Chamber), 혹은 TLD를 사용하면 이러한 오차를 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

조사야 증가에 따른 최대 선량치 지점의 현저한 변화를 관측할 수 없었으며, 최대 선량치 지점이 Fig. 1에서 나타난 것처럼 조사야의 크기에 따라 불규칙한 변화를 보이며, 그 차이도 미세하므로 조사야에 관계없이 최대 선량치 지점을 2.5 cm로 고정시켜 측정하여도 측정에는 큰 영향을 주지 않았다.

PDD 표로부터 계산된 TMR 값이 측정값과 평균 1% 이내의 오차 내에서 잘 일치하므로 필요에 따라 계산에 의해 구해진 TMR 값도 사용이 가능함을 알 수 있다.

Table 3. TMR Table Calculated from PDD

F.S. (cm)	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25	30
Depth (cm)											
0	0.243	0.282	0.297	0.305	0.332	0.346	0.368	0.386	0.401	0.412	0.424
1.0	0.778	0.811	0.819	0.805	0.828	0.834	0.842	0.852	0.862	0.831	0.835
2.0	0.977	0.977	0.978	0.977	0.986	0.987	0.987	0.984	0.984	0.984	0.984
3.0	1.008	1.006	1.004	1.006	1.004	1.005	1.000	1.000	1.000	1.002	1.003
4.0	0.992	0.988	0.990	0.992	0.989	0.993	0.988	0.985	0.985	0.991	0.990
5.0	0.967	0.966	0.966	0.969	0.968	0.971	0.969	0.965	0.965	0.973	0.973
6.0	0.935	0.938	0.942	0.948	0.947	0.949	0.948	0.947	0.947	0.953	0.955
7.0	0.909	0.914	0.918	0.923	0.926	0.928	0.929	0.932	0.945	0.949	0.940
8.0	0.881	0.889	0.894	0.898	0.899	0.900	0.902	0.906	0.908	0.917	0.921
9.0	0.850	0.860	0.868	0.876	0.879	0.881	0.883	0.886	0.888	0.898	0.903
10.0	0.827	0.836	0.843	0.850	0.854	0.858	0.862	0.867	0.868	0.877	0.881
11.0	0.801	0.810	0.819	0.831	0.837	0.840	0.841	0.843	0.845	0.857	0.862
12.0	0.773	0.784	0.796	0.808	0.813	0.816	0.817	0.821	0.826	0.838	0.844
13.0	0.748	0.760	0.772	0.784	0.789	0.792	0.796	0.802	0.804	0.817	0.825
14.0	0.727	0.738	0.746	0.759	0.769	0.771	0.775	0.780	0.785	0.799	0.808
15.0	0.698	0.713	0.724	0.737	0.749	0.752	0.757	0.761	0.765	0.780	0.786
16.0	0.680	0.693	0.703	0.716	0.728	0.730	0.739	0.744	0.746	0.759	0.769
17.0	0.655	0.668	0.679	0.694	0.706	0.707	0.712	0.718	0.725	0.739	0.752
18.0	0.632	0.644	0.658	0.675	0.686	0.688	0.696	0.702	0.707	0.723	0.735
19.0	0.614	0.625	0.637	0.656	0.670	0.674	0.677	0.682	0.687	0.701	0.713
20.0	0.593	0.605	0.616	0.633	0.651	0.655	0.658	0.664	0.669	0.685	0.695
21.0	0.577	0.589	0.600	0.615	0.624	0.631	0.639	0.647	0.652	0.665	0.678
22.0	0.555	0.568	0.581	0.597	0.611	0.613	0.622	0.632	0.637	0.653	0.662
23.0	0.539	0.552	0.562	0.576	0.589	0.595	0.599	0.606	0.614	0.632	0.644
24.0	0.521	0.533	0.545	0.561	0.573	0.578	0.586	0.596	0.599	0.615	0.628
25.0	0.501	0.514	0.525	0.540	0.551	0.560	0.567	0.574	0.580	0.597	0.609
26.0	0.482	0.495	0.507	0.524	0.534	0.543	0.550	0.555	0.560	0.581	0.594
27.0	0.461	0.475	0.487	0.504	0.521	0.531	0.535	0.537	0.541	0.565	0.578

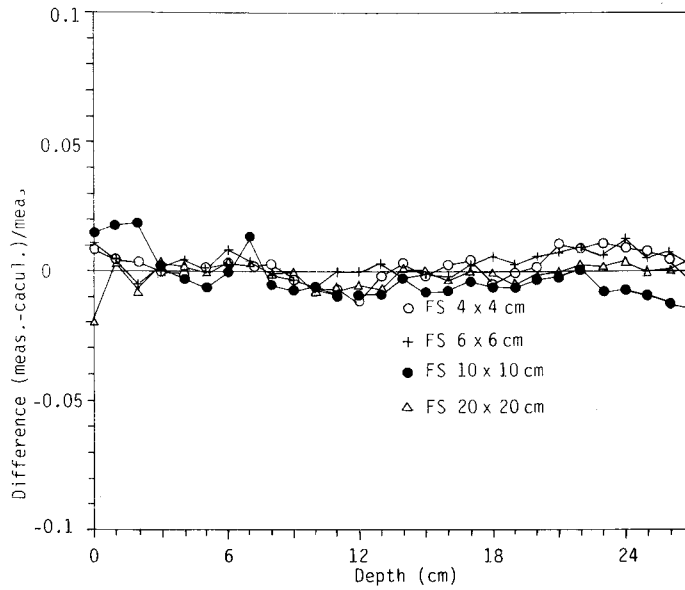


Fig. 5. The differences between the calculated and measured TMR data.

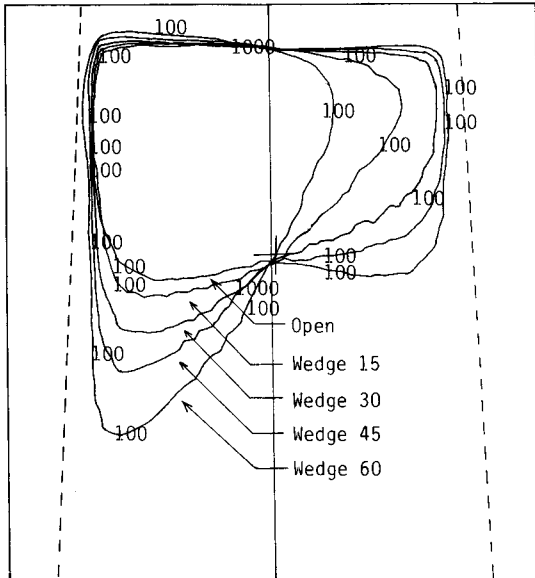


Fig. 6. Isodose curves with field size 10 x 10 cm at the depth of 6.7 cm for open and each wedge.

심부량 백분율은 조사야 10×10 cm, 깊이 10 cm에서 74.7%이며 Khan등²⁾은 73.0%로 보고한 바 있다. 편평도와 대칭도는 기준 깊이를 5 cm로 택하도록 하는 경우와^{2,7)}, 10 cm 이상으로 택하여 보고한 경우^{1,6)} 등이 있

Table 4. The Wedge Transmission Factors for 10MV X-Ray

Angle	15°	30°	45°	60°
Wedge factor	0.780	0.757	0.622	0.589

는데 KD 가속기는 제작사의 사양에서 후자를 요구하므로¹⁾ 10 cm 깊이를 기준 깊이로 택하였으며, 실제 측정에서는 음영에서 2 mm의 차이를 보일 뿐 두 경우의 값이 큰 차이가 없었다.

결 론

선형 가속기 KD의 10 MV X-선의 특성을 알기 위해 심부량 백분율(PDD), 최대조직 비율(TMR), beam profile, 편평도, 대칭도, 음영, wedge 인자 등을 측정하였고, 선량 계산을 위하여 출력 인자를 구하였다. 또한 심부량 백분율로부터 최대 조직 비율 값을 계산하여 측정된 값과 비교하여 보았다.

1. 심부량 백분율, 최대 조직 비율 등은 표면 선량을 제외하고는 이미 보고된 값과 거의 일치하는 것을 알 수 있었다.

2. 최대 조직 비율의 계산값과 측정값과의 차이는 10×10 cm 조사야에서 평균 1% 이내의 오차를 가지므로 TMR이 측정되어 있지 않은 기기에서는 계산된 값을 사용할 수 있음을 알았다.

3. 편평도, 대칭도, 음영 등은 각각 0.7%, 0.9%, 9 mm로 나타나 제작사에서 요구하는 허용 범위인 3%, 2%, 8 ± 2 mm 안에 있음을 알 수 있었다.

4. wedge는 기준 조사야의 2/3 깊이인 6.7 cm에서 선량 분포 곡선이 각각 15도, 30도, 45도, 60도로 나타났으며 wedge factor는 각각 0.780, 0.757, 0.622, 0.589였다.

REFERENCES

1. Charles WC, Beach JL, Thompson DJ, et al: X-ray beam characteristics of the Varian Clinac 6-100 linear accelerator. Med Phys 7:716-722, 1980
2. Khan FM, Moore VC, Sato S: Depth dose and scatter analysis of the 10 MV X-rays. Radiology 102:165-169, 1972
3. Khan FM, Moore VC, Sato S: Letter to editor. Radiology 106:662, 1973
4. Khan FM: The physics of Radiation Therapy. Baltimore, Williams & Wilkins, 1984 pp182-204
5. Hoit JG, Laughlin JS, Moroney JP: The extension of the concept of tissue-air-ratios (TAR) to high energy X-ray beams. Radiology 96:437-446, 1970
6. Horton, JL: Dosimetry of the Siemens Mevatron 67 linear accelerator. Int J Radiat Oncol Biol Phys 9: 1217-1223, 1983
7. 岡島俊三: 醫學放射線物理學, 東京, 南山堂, 1980 pp299-327
8. Siemens Medical Laboratories Inc: Mevatron Performance Specification, 1986