

Photon beam의 사조사(Obliguity incident)에 의한 Build-up 영역내의 선량분포 변화

서울대학교병원 치료방사선과

김완선, 최병돈, 유숙현, 유경열, 박진홍, 박홍득

I. 서 론

고에너지 방사선 치료시 조사(irradiation)되는 선속의 입사각(incidence angle)이 인체에 수직을 이루지 않고 조사되는 경우가 있다.

예를들면 유방암(breast cancer) 치료시 접선 조사(tangential irradiation)나 다른 일반적인 치료에 있어서도 환자의 체표(skin surface)가 평판하지 않은 부위에 선속이 조사되는 경우 그 예가 되겠다.

이러한 경우 환자 체표의 경사(slope)로 인해 같은 조사야(field)내에서도 선원-피부간 거리(source-skin distance)가 변하게 되고 체내에서는 후방산란계수(Back Scatter factor), 심부선량백분율(Percent depth dose), 조직최대선량비(Tissue Maximum Ratio)등의 변화로 인해서 선량분포는 달라지게 될 것이다.

특히 선속의 사조사(Obliguity incident)에 의한 최대선량지점(Build-up Region)내의 선량분포는 수직조사(normal incident)일때와는 현저한 차이를 나타내게 될 것으로 사료된다.

그러므로 이러한 경우 환자 치료계획을 위해서는 Bulid-up 영역내의 선량분포에 대한 정확한 지식이 요구된다고 하겠다.

따라서 본 측정실험에서는 사조사에 의한 Bulid-up 영역내의 선량분포가 선원-피부간거리(Source-skin distance), 조사야(Field), 입사선속의 각도(incidence angle), 입사에너지(beam energy)에 의해서 변화하는 것을 관찰 해보고

자 한다.

II. 측정장비 및 방법

1. 측정장비

- 1) CLINAC-18/100 Varian : 10Mv X-ray
- 2) CLINAC- 6/100 Varian; 6Mv X-ray
- 3) Dosimeter ; Keithley Electrometer 35616
- 4) Ionchamber : Thin window plane-parallel ionization chamber(Sensitive Volume : 0.1cc, Electrode separation;2.4mm
- 5) Polystyrene phantom : Density=1.05 g/cm³

2. 측정방법

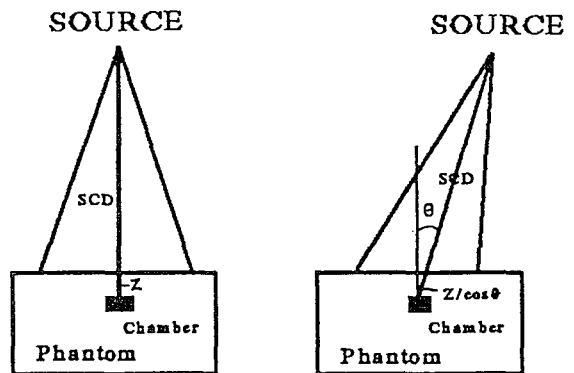


Fig 1. Schematic diagram showing experimental set up.

[Fig 1]에서 SCD는 Source-Chamber Distance를 나타내고 Z는 Phantom 표면에서부터 Inochamber가 위치해 있는 측정지점까지 수직을 이루는 수

직깊이(Vertical depth)가 된다.

$Z/\cos\theta$ 는 수직조사시의 측정지점에 대하여 θ 각도 만큼 선속을 사조사 시킬 때 선속의 중심축(central axis)에 대한 사조사 깊이(obliquity incident depth)가 되며 측정방법은 다음과 같다.

1) 입사각도 변화에 의한 Build-up 영역내의 선량분포 측정 : 6Mv X-ray와 10Mv X-ray를 이용하여 SCD 100cm, 조사야는 측정실험의 기준이 되는 $10 \times 10\text{cm}^2$ 로 하여 선속의 입사각도를 $0^\circ, 30^\circ, 50^\circ, 70^\circ$ 로 변화시켜 Build-Up 영역내의 선량분포를 TMR로서 비교하였다.

또한 입사각도 및 조사야 증가에 따른 선량의 변화정도를 OF(Obliguity Factor)로 나타냈었다.

2) 조사야 및 입사각도 변화에 의한 표면선량(Surface Dose) : 6Mv X-ray와 10MV X-ray를 이용하여 SCD 100cm, 조사야를 $5 \times 5, 10 \times 10, 15 \times 10\text{cm}^2$, 입사각도를 $0^\circ, 30^\circ, 50^\circ, 70^\circ$ 로 변화시켜 조사야와 입사각도에 따른 표면선량을 측정하였다.

3) SCD 및 입사각도 변화에 의한 표면선량의 실측치와 계산치(거리역자승 법칙)에 대한 비교 : 조사야를 측정실험의 기준이 되는 $10 \times 10\text{cm}^2$ 로 하여 6Mv X-ray에서는 SCD를 70, 80, 100, 110, 120cm로 하고 10Mv X-ray에서는 SCD를 80, 90, 100, 110, 120cm로 변화시켜 수직조사(0°)와 사조사(50°)일때 체표면(surface)에서의 실측치와 계산치(거리역자승법칙)에 대한 편차를 비교하였다.

III. 결 과

1. 입사각도 변화에 의한 Build-up 영역내의 선량분포 변화 : 입사각의 변화에 따른 Build-up 영역내의 선량분포를 TMR로 비교하여 Build-up depth의 변화를 관찰하였고 그 변화정도를 OF(Obliguity factor)로서 나타내었다.

1) 6Mv X-ray에 대한 Build-up depth의 변화

수직조사를 기준으로 했을 때 입사각도가 증가함에 따라서 Build-up depth는 체표면으로 근접하게 이동하는 것을 볼 수 있다.[참조 Fig2]

Table 1 The tissue maximum ratio in buildup region for 6MV X-ray as a function of $Z/\cos\theta$ and various angle of beam. Z represents the perpendicular depth. SCD=100cm, F.S=10X10cm².

Z/cos θ (mm)	Obliquity incident(degree)			
	0	30	50	70
Surface	.198	.230	.309	.440
1.5	.562	.607	.679	.815
3	.733	.770	.836	.902
4.5	.840	.874	.916	.941
6	.904	.931	.958	.976
8	.957	.976	.986	.995
10	.984	.992	.999	.999
12.1	.986	.996	.987	.997
13.6	.999	.998	.979	.999
15.5	1.000	.990	.970	.990

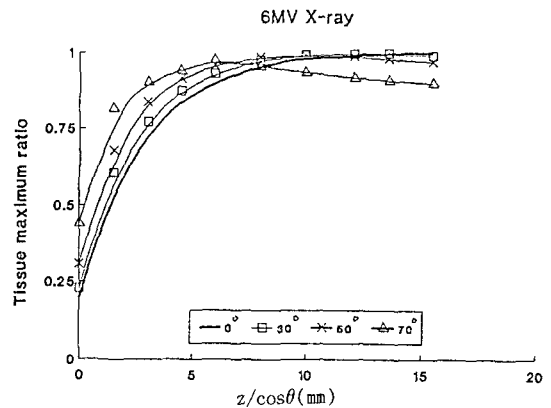


Fig 2 Variation of build-up depth according to the various obliquely incident beam. SCD=100cm, F.S 10X10cm²

각각의 입사각도에 대해서 Build-up이 형성되는 깊이를 관찰해 보면 0° (수직조사)는 15mm, $30^\circ \approx 14\text{mm}$, $50^\circ \approx 11\text{mm}$, $70^\circ \approx 7\text{mm}$ 에서 Build-up이 형성 되는 것을 볼 수 있다.[참조 Table 1]

이는 수직조사에서의 조사야가 사조사에서는 기하학적 외곡(Geometrical distortion)으로 인해서 실제 조사야($10 \times 10\text{cm}^2$)보다 더 커지고 또한 입사각도가 증가함에 따라서 사조사 깊이가 증가해 선속의 통로를 따라 더 많은 산란선(주로, 산란전자)이 발생되어 선량분포에 영향을 주는 것으로 사료된다.

2) 10Mv X-ray에 대한 Build-up depth의 변화

10Mv X-ray에서도 선속의 입사각도가 증가함에 따라 Build-up이 형성되는 깊이가 체표면으로 근접하게 이동하는 것을 볼 수 있다.[참조

Table 2 The maximum ratio in buildup region for 10Mv X-ray as a function of $Z/\cos\theta$ and various angle of beam.

Z represents the perpendicular depth.
SCD= 100cm, F.S= $10 \times 10\text{cm}^2$

Z/cos θ (mm)	Obliquity incident(degree)			
	0	30	50	70
Surface	.157	.182	.250	.396
1.5	.410	.455	.549	.713
3	.579	.625	.718	.840
4.5	.684	.732	.814	.896
6	.753	.791	.866	.926
8	.838	.872	.922	.947
10	.892	.917	.954	.972
13.6	.951	.970	.980	.940
17.2	.979	.989	.999	.920
20.3	.995	.993	.985	
23.6	.998	.995	.978	
25.6	1.000	.990	.970	

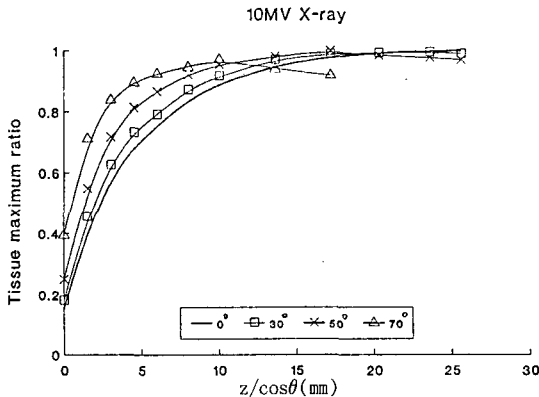


Fig 3 Variation of build up depth according to the various obliquely incident beam. SCD= 100cm F.S= $10 \times 10\text{cm}^2$

Fig3]

입사각 증가에 의한 Build-up depth의 변화는 $0^\circ \approx 25\text{mm}$, $30^\circ \approx 24\text{mm}$, $50^\circ \approx 20\text{mm}$, $70^\circ \approx 12\text{mm}$ 에서 Build-up이 형성 되는 것을 알 수 있다.[참조 Table 2]

예를 들어 유방암 치료의 집선조사와 같이 피부의 경사도가 상당히 심한 경우 Build-up 영역 내의 선량분포는 불규칙하게 되므로 피부를 보호하고 종양에 충분한 목적선량을 조사하기 위해서는 위와같은 자료를 참고로 하여 치료계획에 임하는 것이 바람직하다 하겠다.

3) 조사야 및 입사각도 증가에 의한 OF (Obliquity factor)의 변화 : 수직조사시와 비교하여 조사야 및 입사각 증가에 의한 선량분포의 변화정도를 나타낸 것이 OF이다.

$$OF = \frac{\text{사조사시의 흡수선량}}{\text{수직조사시의 흡수선량}}$$

① 6Mv X-ray에서 입사각 증가에 의한 OF의 변화

Table 3 The obliquity factor for 6MV X-ray as a function of $Z/\cos\theta$ and various angle of beam. Z represent the perpendicular depth. SCD= 100cm, F.S= $10 \times 10\text{cm}^2$

Z/cos θ (mm)	Obliquity incident(degree)		
	30	50	70
surface	1.16	1.56	2.22
1.5	1.08	1.24	1.45
3	1.05	1.14	1.23
4.5	1.04	1.09	1.12
6	1.03	1.06	1.08
8	1.02	1.03	.99
10	1.008	1.006	.95
12.1	1.01	1.001	.93
13.6	1.001	.98	.91
15.5	.99	.97	.90

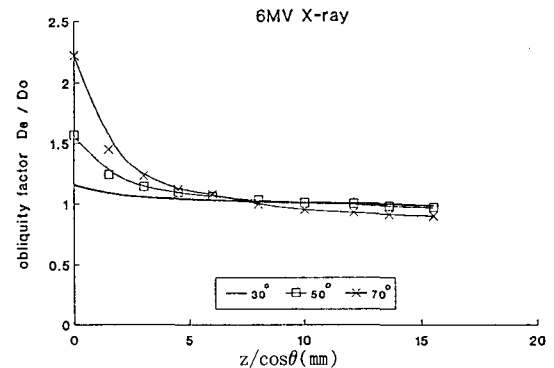


Fig 4 A plot of the obliquity factor as a function of $Z/\cos\theta$ and various angle of beam. SCD 100cm. F.S $10 \times 10\text{cm}^2$.

수직조사와 비교하여 입사각 증가(30° , 50° , 70°)에 따른 Build-up 영역내의 선량분포 변화를 OF에 의해 관찰해 본 결과 입사각이 증가함에 따라 OF가 증가하였고 또한 Build-up 영역 내의 깊이가 증가함에 따라 OF가 감소하였다.

OF가 증가했다 함은 사조사에 의한 영향을 많이 받은 것을 말하고, OF가 감소했다 함은 사조사에 의한 영향이 감소됨을 의미한다 하겠다.

입사각 증가에 따른 선량분포 변화를 구체적으로 살펴보면 입사각 30° 에서는 깊이에 따른 OF의 변화가 극히 작았지만 입사각이 50° , 70° 로 증가함에 따라서 그 변화 폭이 상당히 커짐

을 볼 수 있다. 특히 Build-up 영역의 약 1/3깊이 내에서 그 변화 정도가 더욱 심하였다.

이것은 6Mv X-ray의 Bulid-up depth을 약 1.5cm라고 할 때 표면에서부터 피하 5mm 깊이 사이에서 사조사에 의한 영향을 가장 많이 받음을 말한다.[참조 Fig4]

[Table 3]에서 입사각 50°, 깊이 30mm의 OF가 1.24라 함은 수직조사와 비교하여 약 24%의 선량이 사조사로 인해 증가된 것으로 볼 수 있다.

② 6Mv X-ray에서 조사야 증가에 의한 OF의 변화

조사야 증가에 의한 OF의 변화를 입사각 30°, 50°, 70°에서 관찰해 본 결과 조사야가 증가함에 따라서 OF는 전반적으로 감소하였다. 입사각 30°에서는 조사야 증가에 따른 OF의 감소폭이 작았으나 50°, 70°로 입사각이 증가함에 따라서는 OF가 감소되는 정도가 크게 증가 되는 것을 볼 수 있다.[참조 Fig5]

이는 입사각이 증가함에 따라서 사조사에 의한 영향을 많이 받지만, 조사야가 증가하면 사조사에 의한 영향이 감소되는 것을 의미한다 하겠다. 조사야 증가에 따른 OF의 감소폭을 입사

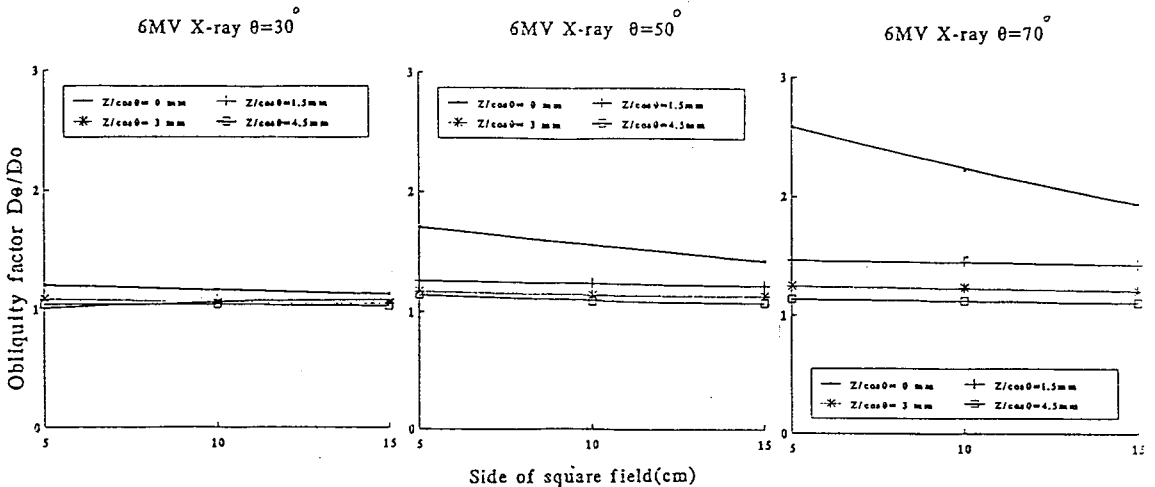


Fig 5 A plot of obliquity factor as a function of various field size and obliquely incident beam. SCD=100cm

Table 4 The obliquity factor for 6MV X-ray as a function of various field size and obliquely incident beam. SCD=100cm

Field size	5 X 5 cm			10 X 10 cm			15 X 15 cm		
	30°	50°	70°	30°	50°	70°	30°	50°	70°
Surface	1.20	1.70	2.59	1.16	1.56	2.22	1.13	1.43	1.93
1.5mm	1.10	1.26	1.46	1.08	1.24	1.45	1.08	1.22	1.42
3	1.08	1.17	1.24	1.05	1.14	1.23	1.05	1.13	1.20
4.5	1.04	1.10	1.13	1.04	1.09	1.12	1.03	1.07	1.10

각 70°, 깊이 1.5mm에서 구체적으로 살펴보면 5 × 5cm에서의 OF는 1.46이었지만 조사야를 15 × 15cm로 증가시켰을 때 OF가 1.42로 약 4% 감소된 것을 알 수 있다.[참조 Table 4]

③ 10Mv X-ray에서 입사각 증가에 의한 OF의 변화

10Mv X-ray에서도 입사각이 증가함에 따라 OF가 증가하였고, 깊이가 증가함에 따라서 OF

Table 5 The obliquity factor for 10MV X-ray as a function of Z/cosθ and various angle of beam. Z represent the perpendicular depth. SCD=100cm, F.S=10 × 10cm.

* Obliquity Factor = De/Do
De : Absorbed dose of obliquely incident beam
Do : Absorbed dose of normally incident beam

Z/cos θ (mm)	Obliquity incident(degree)		
	30	50	70
Surface	1.16	1.59	2.52
1.5	1.11	1.34	1.74
3	1.08	1.24	1.45
4.5	1.07	1.19	1.31
6	1.05	1.15	1.23
8	1.04	1.10	1.13
10	1.03	1.07	1.09
13.6	1.02	1.03	.99
17.2	1.01	1.02	.94
20.3	.998	.99	
23.6	.997	.98	
25.6	.99	.97	

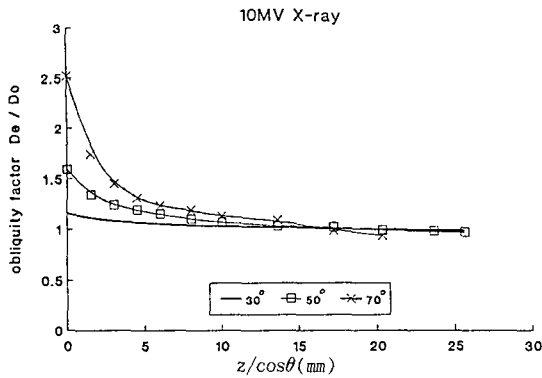


Fig 6 A plot of the obliquity factor as a function of $Z/\cos\theta$ and various angle of beam. SCD 100cm, F.S $10 \times 10\text{cm}^2$

는 감소하였다.

6Mv X-ray와 비교해서 10Mv X-ray에서는 입사각 증가에 따른 OF의 수치가 전반적으로 높았고, 특히 입사각 70° 에서 OF의 변화폭이 크게 나타나는 것을 볼 수 있다.[참조 Table 5]

이는 10Mv X-ray가 사조사에 의한 영향을 더 많이 받음을 의미한다.

그리고 10Mv X-ray에서도 마찬가지로 Build-up 영역의 약 1/3 깊이에서 OF의 변화정도가 큰 것을 볼 수 있다.[참조 Fig6]

④ 10Mv X-ray에서 조사야 증가에 의한 OF의 변화

10Mv X-ray에서도 조사야가 증가함에 따라

Table 6 The obliquity factor for 10MV X-ray as a function of various field size and obliquely incident beam. SCD=100cm

Field size	5 X 5 cm			10 X 10 cm			15 X 15 cm		
	30°	50°	70°	30°	50°	70°	30°	50°	70°
Surface	1.23	1.83	3.15	1.16	1.59	2.52	1.13	1.45	2.11
1.5mm	1.13	1.40	1.86	1.11	1.34	1.74	1.10	1.30	1.60
3	1.10	1.29	1.57	1.08	1.24	1.45	1.08	1.23	1.42
4.5	1.08	1.22	1.39	1.07	1.19	1.31	1.07	1.18	1.30

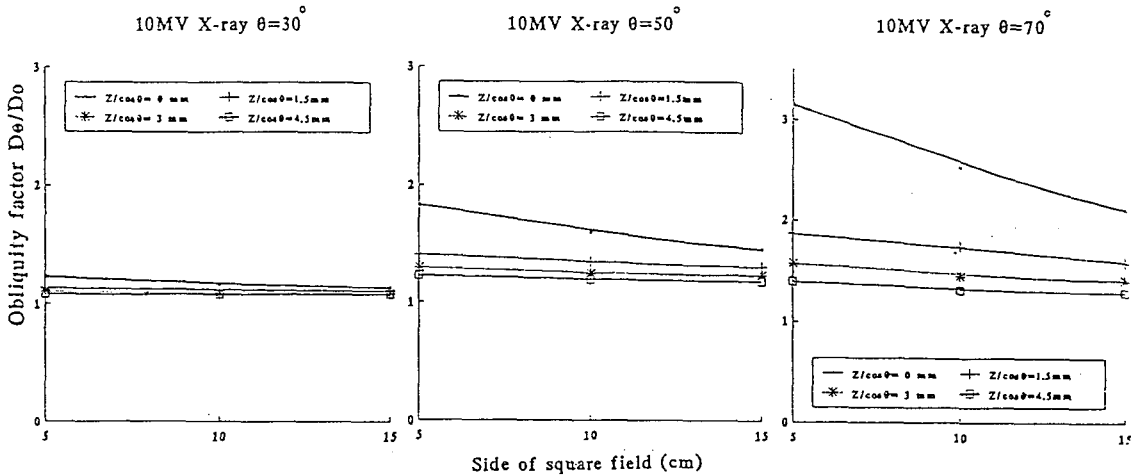


Fig 7 A plot of obliquity factor as a function of various field size and obliquely incident beam. SCD=100cm

OF가 감소하였다.[참조 Table6] 6Mv X-ray와 비교해서 10Mv X-ray에서는 조사야의 증가에 따른 OF의 감소폭이 더욱 커짐을 알 수 있다.[참조 Fig7]

2. 조사야 및 입사각도 변화에 의한 표면선량 (surface dose) 측정

1) 6Mv X-ray의 표면선량 변화

조사야 및 입사각도 증가에 따라서 표면선량

Table 7 Variation of Phantom surface dose for 6MV X-ray as a function of Various angle of beam and field size. SSD=100cm

Field size(cm^2)	Obliquity incident(degree)			
	0	30	50	70
5 X 5	15.1	18	26	41
10 X 10	19.8	23	31	44
15 X 15	24.8	28	36	50

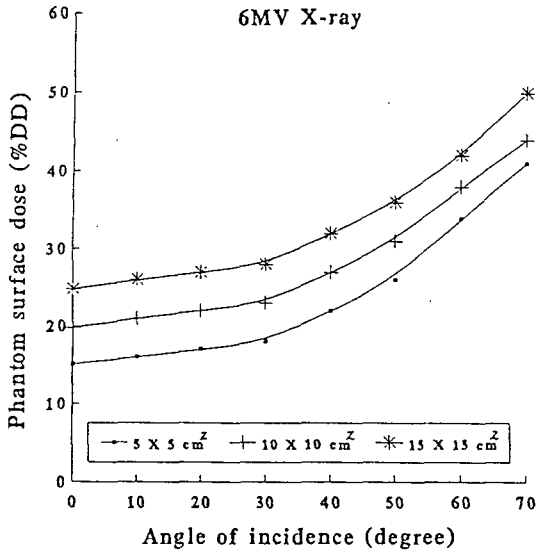


Fig 8 A plot of the phantom surface dose as a function of various angle of beam and field size. SSD=100cm

이 점차 증가하는 것을 볼 수 있다.[참조 Fig8]

조사야 5×5cm²에서 수직조사시의 표면선량이 15.1%였던 것이 입사각이 30°, 50°, 70°로 증가함에 따라 점차 증가하였는데 특히 입사각 70°에서는 35%로 약 2.3배의 표면선량의 증가가 있었다. 그리고 조사야를 15×15cm²로 증가시켜 관찰해 본 결과 수직조사시에는 표면선량이 24.8%이었지만, 입사각 70°에서는 50%로 약 2배의 표면선량이 증가된 것을 볼 수 있다.[참조 Table 7]

이것은 입사각이 증가함에 따라 사조사에 의한 영향이 커지고, 또한 조사야가 증가함에 따라 사조사에 의한 영향이 감소됨을 알 수 있다. 입사각 증가에 따른 표면선량의 증가요인은 입사각이 증가함에 따라 조사야의 기하학적 외곡으로 인해 더 많은 산란전자가 발생되어 표면에 기여하기 때문인 것으로 사료된다.

2) 10Mv X-ray의 표면선량 변화

작은 조사야(5×5cm²)에서 수직조사시 표면선량은 10%, 입사각 70°의 사조사에서는 35%로 약 3.5배 표면선량의 증가가 있었고, 큰 조사야(15×15cm²)에서는 수직조사 22%, 사조사(70°)에서 45%로 약 2배의 표면선량 증가가 있었다.

Table 8 Variation of phantom surface dose for 10MV X-ray as a function of various angle of beam and field size. SSD=100cm

Field size (Cm ²)	Obliquity incident(degree)			
	0	30	50	70
5 X 5	10	13	19	35
10 X 10	16	18	25	40
15 X 15	22	24	30	45

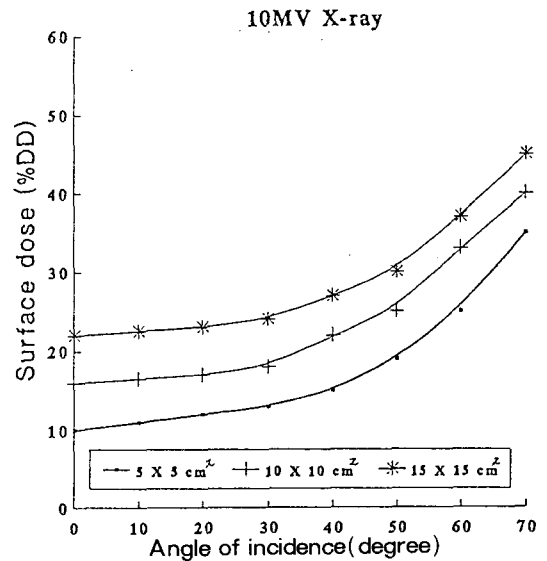


Fig 9 A plot of the phantom surface dose as a function of various angle of beam and field size. SSD=100cm

[참조 Table 8]

이것은 6Mv X-ray와 비교해서 10Mv X-ray에서는 조사야가 작을수록 사조사에 의한 영향을 더 많이 받음을 의미한다. 그리고 6Mv X-ray에서 보다 표면선량이 전반적으로 낮은 것을 관찰할 수 있었다.

3. SCD 및 입사각도 변화에 의한 표면선량의 실측치와 계산치(거리역자승 법칙)에 대한 비교 : 방사선 치료에 있어서 선원과 환자 체표면간의 거리변화에 따른 선량계산은 일반적으로 거리역자승법칙(Inverse Square law)에 의해서 계산한다.

그러나 본 측정실험 결과 Build-up 영역내의 선량계산에 이를 그대로 적용했을 경우 많은 오

차가 발생하므로 거리변화(source-chamber distance)에 따른 실측치와 계산치를 표면선량에 의해 비교하였다.

1) 6Mv X-ray에서의 편차

Deviation from inverse square law for 6MV X-ray

S.C.D(cm)	70		80		100		110		120	
	0°	50°	0°	50°	0°	50°	0°	50°	0°	50°
Measure (10 coul)	.437	.640	.309	.461	.178	.277	.141	.222	.119	.187
Inverse square	.363	.565	.278	.433	.178	.277	.147	.229	.124	.192

Table 9-1 deviation from inverse square law for collected ionization at surface for the F.S=10X10cm².

S.C.D(cm)	70		80		100		110		120	
	0°	50°	0°	50°	0°	50°	0°	50°	0°	50°
correction factor	1.21	1.13	1.11	1.06	1	1	.959	.969	.96	.974

Table 9-2 Correction factor for deviation from the inverse square law.

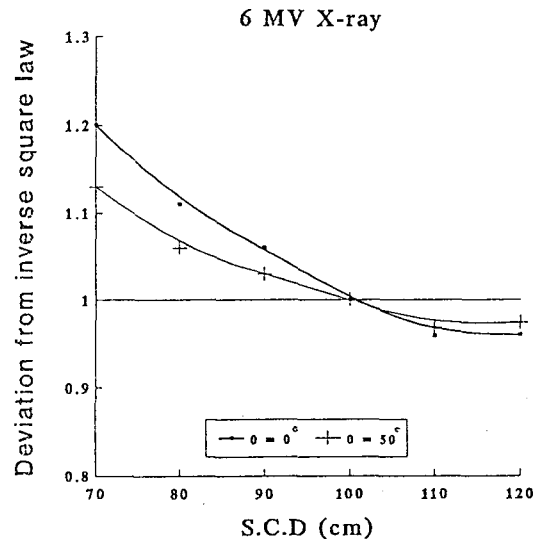


Fig 10 A plot of deviation from inverse square law as a function of various S.C.D

먼저 SCD 100cm에서 수직조사(0°)와 사조사(50°) 시켰을 때 Ionchamber에 수집된 전리전하(Ionization Charge)를 기준으로 하여 거리 변화에 따른 계산치(거리역자승법칙)를 비교해 본 결과 기준거리(SCD=100cm)에서 선원과 표면이 가까울수록 편차와 심했고, 멀수록 편차는 감소하였다.

즉, 기준거리 이하에서는 사조사보다 수직조사에서 편차가 심했고, 기준거리 이상에서는 수직조사보다는 사조사에서 편차가 심한 것을 볼

수 있다.[참조 Fig10]

계산치(거리역자승법칙)에 의한 편차를 구체적으로 살펴보면 수직조사(0°)에서 SCD=100cm을 기준으로 했을 때, SCD=70cm에서의 계산치가 0.363(10⁻⁸coul)이었지만 표면선량을 측정된 결과 실측치는 0.437(10⁻⁸coul)로 약 20%의 오차가 있었고, 또한 SCD=120cm에서는 계산치가 0.192(10⁻⁸coul), 실측치가 0.187(10⁻⁸coul)로 약 2.6%의 오차가 있었으며 사조사에서도 마찬가지로 많은 오차가 생기는 것을 볼 수 있다.[참조 Table 9-1]

이와같이 선원과 표면이 근접될수록 Build-up 영역내에서 계산치에 의한 편차가 생기는 것은 1차X-선(Primary beam)보다 X-과 물질과의 상호작용에 의해 발생하는 선량인자 중에서 주로 산란인자(Scatter electron)가 표면에 많은 기여를 하게 되므로 이것을 실측한 실측치에 비해서 거리역자승법칙에 의한 계산치는 편차가 생기는 것으로 사료된다.

그리고 Build-up 영역내의 선량계산을 거리역자승법칙에 의해 계산했을 경우 발생하는 오차를 보정 해주기 위해서 다음과 같은 등식에 의해 교정계수(correction factor)를 구하였다.[참조 Table 9-2]

$$* \text{ correction factor} = \frac{D_M}{D_{INV}}$$

여기서 D_M은 실측치이고, D_{INV}는 계산치(거리역자승법칙)을 나타낸다.

2) 10Mv X-ray에서의 편차

2)Deviation from inverse square law for 10MV X-ray

S.C.D(cm)	80		90		100		110		120	
	0°	50°	0°	50°	0°	50°	0°	50°	0°	50°
Measure (10 coul)	.278	.420	.193	.301	.137	.218	.109	.171	.085	.145
Inverse square	.214	.341	.169	.269	.137	.218	.113	.180	.095	.151

Table 10-1 The deviation from inverse square law for collected ionization at surface for the F.S 10x10cm².

S.C.D(cm)	80		90		100		110		120	
	0°	50°	0°	50°	0°	50°	0°	50°	0°	50°
correction factor	1.30	1.23	1.14	1.12	1	1	.96	.96	.89	.96

Table 10-2 Correction factor for deviation from the inverse square law

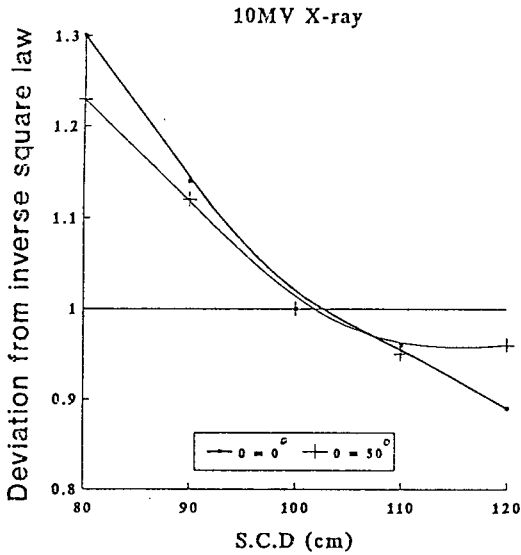


Fig 11 A plot of deviation from inverse square law as a function of various S.C.D

10Mv X-ray에서도 마찬가지로 선원과 표면의 거리가 가까울수록 실측치와 계산치의 편차가 심하였고 그 편차정도는 6Mv X-ray에서보다 증가되었다.[참조 Fig11]

수직조사(0°)에서 SCD=100cm을 기준으로 한 SCD=80cm에서의 계산치가 0.214(10⁻⁸coul)이었고, 실측치는 0.278(10⁻⁸coul)로서 편차가 컸으며 SCD=120cm에서도 계산치가 0.151(10⁻⁸coul), 실측치는 0.145(10⁻⁸coul)로서 선원과 표면의 거리가 가까울때 보다는 편차가 작았다. 사조사(50°)에 있어서도 실측치와 계산치에 많은 오차가 있었는데, 수직조사에 비해서 그 편차정도가 감소하는 것을 볼 수 있다.[참조 Table 10-1]

또한 10Mv X-ray에서도 마찬가지로 Build-up 영역내의 선량계산을 거리역자승법칙을 적용해서 계산할 경우 발생하는 오차를 보정해 주기 위해서 앞에서 언급한 등식에 의해 교정계수를 구하였다.[참조 Table 10-2]

4. Build-up 영역내 임의의 한 지점에서의 선량계산

지금까지 서술한 측정결과를 이용하여 사조사 하였을 때 Build-up 영역내 임의의 한 지점에서의 선량을 실제 측정에 의하지 않고 계산할 수

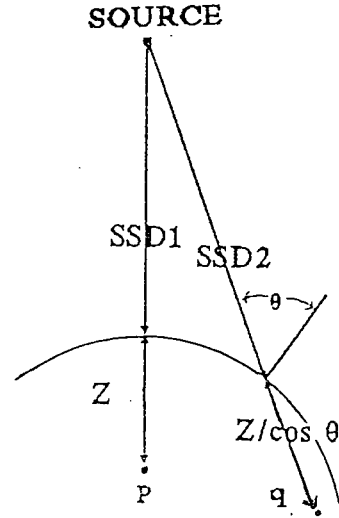


Fig 12 Diagram illustrating the parameters used in Eq

있도록 등식화 하였다.

[Fig12]에서처럼 환자의 체표면이 심하게 경사졌을 경우에 선속 중심축의 P지점에 조사되는 선량에 의해서 사조사의 효과와 같은 'q'지점에서의 선량을 다음과 같은 등식을 이용하여 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 & * D_q \cdot \theta(E, Z/\cos\theta, SSD_2, A) \\
 & = D_p \cdot 0^0(E, Z/\cos\theta, SSD_1, A) \\
 & \quad \times [(SSD_1 + Z/\cos\theta)/(SSD_2 + Z/\cos\theta)]^2 \\
 & \quad \times CD(E, Z/\cos\theta, A, SSD_2) \\
 & \quad \times OF(E, Z/\cos\theta, A, \theta) \\
 & \odot D_q \cdot \theta(E, Z/\cos\theta, SSD_2, A) \\
 & \quad \textcircled{1} D_q \cdot \theta : \text{계산하고자 하는 } q\text{지점에} \\
 & \quad \text{서의 선량(사조사)} \\
 & \quad \textcircled{2} E : \text{선속의 Energy} \\
 & \quad \textcircled{3} Z/\cos\theta : \text{depth} \\
 & \quad \textcircled{4} A : \text{조사야} \\
 & \quad \textcircled{5} SSD_2 : \text{선원} \sim q\text{지점까지의 거리} \\
 & \quad \quad \quad (\text{즉, 사조사에 따른 거리}) \\
 & \odot D_p \cdot 0^0(E, Z/\cos\theta, SSD_1, A) \\
 & \quad \textcircled{1} D_p \cdot 0^0 : P\text{지점에서의 선량(수직조사)} \\
 & \quad \textcircled{2} SSD_1 : \text{선원} \sim P\text{지점까지의 거리} \\
 & \odot \text{거리역자승법칙(Inverse square Law)} \\
 & \quad [(SSD_1 + Z/\cos\theta)/(SSD_2 + Z/\cos\theta)]^2
 \end{aligned}$$

- ⊙ CD : 거리역자승법칙에 의한 편차를 보정하기 위한 교정계수(correction factor)
- ⊙ OF : obliquity factor

않고 수직조사시의 선량에 OF와 교정계수를 적용해 줌으로써 앞에서 언급한 등식에 의해 선량계산을 할 수 있었다.

IV. 결 론

본 측정실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째 : 선속의 입사각도가 증가함에 따라 Build-up depth는 체표면으로 근접하게 이동하였다.

둘째 : 사조사에 의한 Build-up 영역내의 선량변화를 OF로 나타내어 관찰해 본 결과 입사각이 증가함에 따라 OF는 증가하였지만, 조사야가 증가함에 따라서는 OF가 감소하였다.

셋째 : 조사야 및 입사각이 증가함에 따라서 표면선량이 증가하였다.

넷째 : 사조사 시켰을 때 Build-up 영역내 임의의 깊이에서의 선량계산을 실제측정에 의하지

참고문헌

- 1) F.H.Attix, F.Lopex, S.Owalabi and B.R. Paliwal, Med. Phys, 10, 301(1983).
- 2) P.J.Biggs and W.D.Russell, Med. Biol. 28, 1033(1986).
- 3) G.K.Swensson, B.E.Björngard, G.T.Y.Chen, and R.R. Weichselbaum, Int. j. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 2, 705(1977).
- 4) International Commission on Radiation Units and Measurements Report No.24(1976).
- 5) AAPM, Radiation Therapy Committee, Med. Phys, 10, 741(1983).
- 6) F.M.Khan, B.J.Gerbi and F.C.Deibel, Med. Phys. 13, 936(1986).