

전자선의 사조사 (obliquity incident) 에 의한 심부선량 분포 변화

서울대학교병원 치료방사선과

최병돈 · 김완선 · 박진홍 · 박흥득

I. 서 론

일반적으로 방사선치료시 선속 (beam) 과 인체의 표면이 수직을 이루게 하여 치료하고 있으나, 유방암 (breast cancer) 또는 두경부암 (head & neck cancer) 등을 치료할 경우에는 선속의 방향이 체표의 굴곡으로 인해 수직으로 조사되지 않고 사각으로 조사되는 경우가 있다.

치료계획에 의한 선량계산은 선속이 수직상태에서 측정된 심부선량에 의해 계산되기 때문에 굴곡면에서의 심부선량 평가에는 많은 문제점으로 제기되고 있다. 또한 이러한 사조사는 같은 조사야내에서 선원-피부간거리 및 체내에서의 산란계수가 변하게 되어 심부선량 분포를 입사각도 (incident angle), 에너지, 전자선 콘의 크기에 따라 실험측정한 결과를 보고하고자 한다.

II. 측정장비 및 방법

1. 측정장비

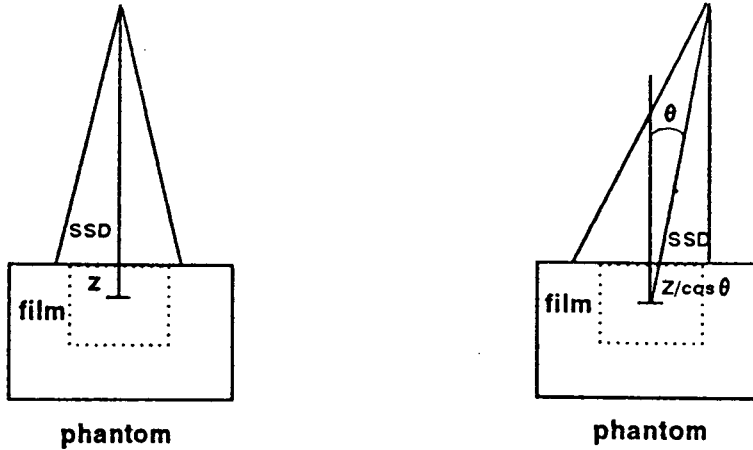
본 실험은 본원에 설치된 선형가속기 (Clinac 2100C/505, Varian, 미국)로서 전자선 에너지가 5종 (6, 9, 12, 16, 20 MeV) 이 방출되며, 사용된 전자선 콘 크기는 $6 \times 6\text{cm}$, $10 \times 10\text{cm}$ 이다. 측정에 사용된 film은 X-Omat V (Kodak, 미국)로 하였으며, 팬텀은 밀도가 1.05g/cm^3 인 polystyrene ($30 \times 30\text{cm}$)을 사용하였다. 또한 필름농도계는 film densitometer peripheral (9721, Multidata, 미국)로 하였다.

2. 측정방법

측정방법은 <그림 1>과 같이 팬텀과 팬텀 사이에 측정용 필름을 삽입하여 선원-팬텀간 거리를 110 cm로 하였고 Z는 수직 깊이를 나타내며 $Z/\cos \theta$ 는 선속의 입사각도의 θ 일 때 사조사 깊이로서 실험 측정의 방법은 아래와 같이 시행하였다.

1) 각 에너지의 심부선량 분포측정은 입사각도를 0° 20° 40° 60° 로 하였고 전자선의 에너지는

- 6, 9, 12, 16, 20MeV, 전자선 콘의 크기를 $6 \times 6\text{cm}$, $10 \times 10\text{cm}$ 로 하여 측정하였다.
- 2) 입사각도 변화에 의한 각 에너지의 최대비정 거리를 측정하였다.
 - 3) 보정계수(obliquity factor)는 입사각도 변화에 의해 측정된 심부선량의 깊이를 수직 조사시 측정된 깊이의 비로 산출하였다.



<그림 1> Experimental Setup

III. 결 과

1. 각 에너지의 최대 선량지점(100 %)의 비교

표 1,2는 입사각도 변화에 의한 각 에너지별 전자선콘의 크기에 따라 심부선량 깊이를 나타낸 것이다. 입사각도 0° , 20° , 40° , 60° 에 대한 각 에너지별 전자선의 최대선량 깊이는 6MeV에서 1.2, 0.8, 0.4, 0cm, 9MeV에서 2.0, 1.3, 0.8, 0.3cm, 12MeV에서 2.8, 1.6, 1.0, 0.5cm, 20MeV에서 1.9, 1.2, 0.6, 0.3cm로 측정되어 입사각도 20° 에서 각 에너지별 최대선량 지점을 입사각도와 비교하면 6MeV가 0.4cm(33%), 9MeV가 0.7cm(35%), 12MeV가 1.2cm(42%), 16MeV가 1.1cm(36%), 20MeV가 1.2cm(37%)로 나타났으며, 한편 입사각도 60° 에서는 6MeV가 1.2cm(100%), 9MeV가 1.7cm(85%), 12MeV가 1.3cm(46%), 16MeV가 2.4cm(80%), 20MeV가 1.6cm(84%)로 나타났다. 이를 표면으로서 상승율로 비교하면 입사각도 20° 에서 약 37%, 60° 에서 약 87%로 나타났다. 또한 에너지 증가에 따른 변화는 입사각도 20° 에서는 약 9%, 60° 에서 약 20%로 나타났다. 따라서 최대선량 지점은 입사각도의 변화에 의해 약 87%가 표면으로 상승되었으며, 또한 에너지에 의한 변화는 9~20%로 나타남을 알 수 있었다. 12MeV는 측정오차가 있어 평균값 산정에서 제외하였다.

energy & angle % DD	6 MeV				9 MeV				12 MeV				16 MeV				20 MeV			
	0°	20°	40°	60°	0°	20°	40°	60°	0°	20°	40°	60°	0°	20°	40°	60°	0°	20°	40°	60°
100 %	1.2	0.8	0.4	0	2.0	1.3	0.8	0.3	2.8	1.6	1.0	0.5	3.0	1.9	1.3	0.6	1.9	1.2	0.6	0.3
90 %	1.7	1.3	0.9	0.4	2.6	2.3	1.65	0.6	3.7	3.0	2.2	0.7	4.3	3.7	2.8	0.8	4.8	3.9	2.8	1.4
80 %	1.8	1.6	1.3	0.7	3.0	2.7	2.1	0.8	4.0	3.5	2.7	0.9	5.1	4.6	3.3	1.0	5.8	5.15	3.7	2.1
70 %	2.0	1.7	1.6	1.0	3.2	3.0	2.3	1.0	4.4	4.0	3.0	1.2	5.5	5.1	3.7	1.3	6.5	6.0	4.3	2.7
60 %	2.1	2.0	1.8	1.2	3.5	3.2	2.5	1.25	4.6	4.3	3.3	1.5	6.0	5.6	4.1	1.6	7.1	6.5	4.75	3.1
50 %	2.2	2.1	2.0	1.4	3.7	3.4	2.8	1.45	4.95	4.65	3.6	1.7	6.5	5.95	4.5	1.9	7.7	7.2	5.25	3.6
40 %	2.3	2.25	2.2	1.6	3.9	3.6	3.0	1.7	5.2	4.9	3.9	2.0	6.8	6.3	4.9	2.3	8.2	7.7	5.8	4.0
30 %	2.5	2.4	2.35	1.85	4.1	3.8	3.2	1.9	5.4	5.15	4.2	2.3	7.2	6.7	5.45	2.8	8.7	8.4	6.3	4.6
20 %	2.7	2.6	2.4	2.2	4.25	4.0	3.5	2.3	5.7	5.4	4.5	2.65	7.6	7.2	6.0	3.3	9.3	9.1	7.0	5.35
10 %	2.9	2.8	2.7	2.6	4.6	4.3	3.85	2.7	6	5.8	5.0	3.0	8.1	7.8	6.6	4.0	10.0	9.7	8.3	6.0

〈표 1〉 입사각도에 따른 흡수선량의 분포(6×6cm cone)

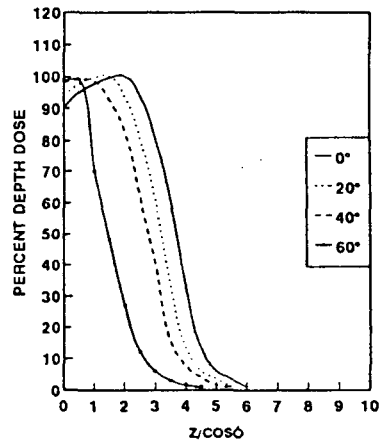
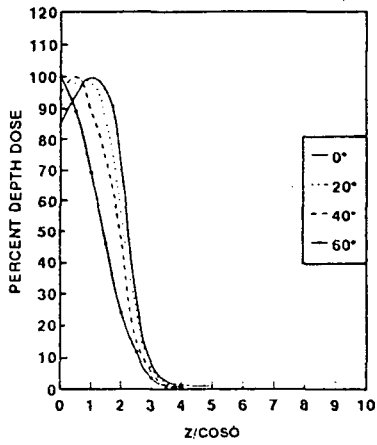
energy & angle % DD	6 MeV				9 MeV				12 MeV				16 MeV				20 MeV			
	0°	20°	40°	60°	0°	20°	40°	60°	0°	20°	40°	60°	0°	20°	40°	60°	0°	20°	40°	60°
100 %	1.1	0.7	0.3	0	1.9	1.4	0.7	0.3	2.7	1.7	1.1	0.5	2.9	1.9	1.3	0.6	1.8	1.3	0.6	0.3
90 %	1.8	1.5	1.2	0.5	2.9	2.35	1.7	0.7	3.8	3.2	2.25	0.8	5.0	4.05	3.0	1.0	5.3	4.3	3.3	1.6
80 %	2.0	1.8	1.5	0.9	3.1	2.75	1.9	1.0	4.2	3.8	2.7	1.2	5.5	4.9	3.85	1.35	6.6	5.4	4.3	2.4
70 %	2.2	2.0	1.7	1.1	3.3	2.95	2.1	1.2	4.6	4.2	3.1	1.5	5.9	5.4	4.45	1.7	7.2	6.3	5.0	3.0
60 %	2.3	2.1	1.85	1.3	3.5	3.2	2.7	1.4	4.9	4.5	3.4	1.7	6.4	5.8	4.9	2.05	7.8	6.9	5.7	3.6
50 %	2.4	2.2	2.0	1.5	3.75	3.4	2.9	1.7	5.1	4.75	3.7	2.0	6.7	6.2	5.3	2.35	8.3	7.5	6.2	4.1
40 %	2.5	2.3	2.15	1.7	3.95	3.6	3.05	1.9	5.4	5.0	4.0	2.3	7.0	6.5	5.65	2.75	8.8	8.1	6.5	4.65
30 %	2.7	2.5	2.45	2.0	4.15	3.8	3.3	2.1	5.6	5.25	4.3	2.65	7.4	6.9	6.1	3.4	9.2	8.65	7.4	5.2
20 %	2.9	2.7	2.6	2.3	4.3	4.0	3.6	2.5	5.9	5.5	4.6	3.0	7.7	7.35	6.75	3.75	9.7	9.35	8.1	5.8
10 %	3.1	3.0	2.8	2.7	4.65	4.4	4.0	3.0	6.3	5.95	5.1	3.7	8.3	8.0	7.4	5.0	10.5	10.1	9.0	6.5

〈표 2〉 입사각도에 따른 흡수선량의 분포(10×10cm cone)

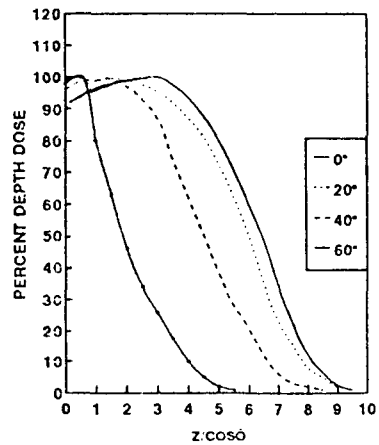
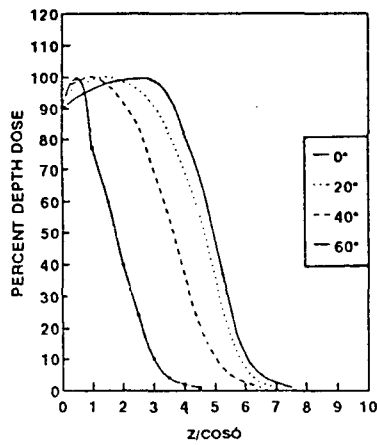
2. 입사각도 변화에 의한 각 에너지의 80% 심부선량 지점의 변화

〈표 1〉의 입사각도 0° 20° 40° 60° 에 대한 각 에너지의 80%의 심부선량지점의 깊이는 6MeV가 1.8, 1.6, 1.3, 0.7cm, 9MeV가 3.0, 2.7, 2.1, 0.8cm, 12MeV가 4.0, 3.5, 2.7, 0.9cm, 16MeV가 5.1, 4.6, 3.3, 1.0cm, 20MeV가 5.8, 5.2, 3.7, 2.1cm로 나타나 입사각 20° 에서 각 에너지의 심부선량을 표면으로의 상승율로 나타내면, 6MeV가 0.2cm(11%), 9MeV 0.3cm(10%), 12MeV가 0.5cm(10%), 20MeV가 0.7cm(11%)가 되며, 또한 입사각도 60° 에서는 6MeV가 1.1cm(61%), 9MeV가 2.2cm(73%), 12MeV가 3.1cm(78%), 16MeV가 4.1cm(80%), 20MeV가 6.4cm(64%)이었다.

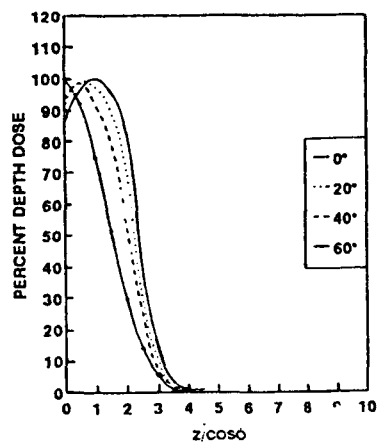
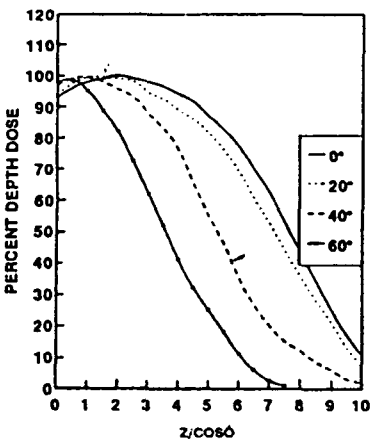
이를 다시 표면상승률로 비교하면 입사각도 20° 에서 약 11%, 60° 에서 약 71.2%로 나타나며, 또한 에너지 증가에 따른 변화는 입사각도 20° 에서 약 1.5%, 60° 에서 약 2~12%로 나타났다. 따라서 80% 심부선량 지점은 입사각도 증가에 따라 11~17%가 표면으로 증가됨을 알 수 있으며, 이는 각도 변화에 따른 편차가 큰 것을 알 수 있다(참조 그림 2~그림 11)



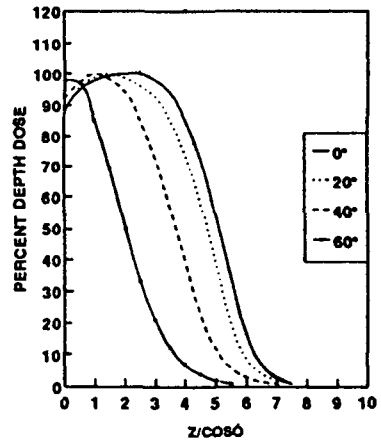
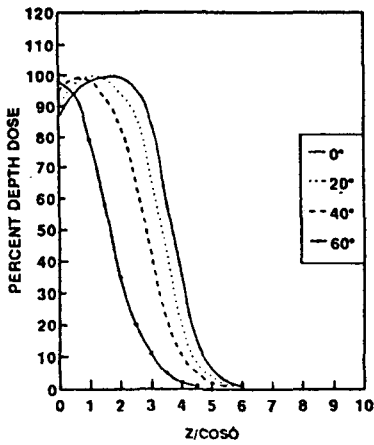
〈그림 2, 그림 3〉 Change depth dose curve with the angle of obliquity



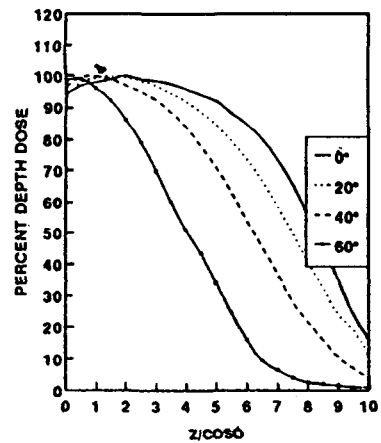
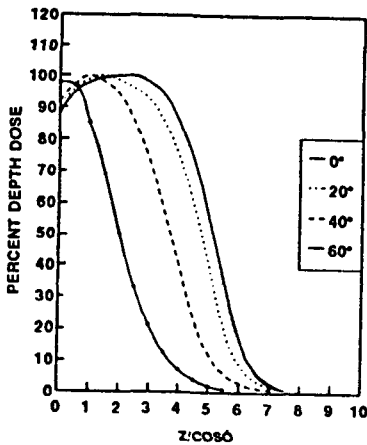
〈그림 4, 그림 5〉 Change depth dose curve with the angle of obliquity



〈그림 6, 그림 7〉 Change depth dose curve with the angle of obliquity



〈그림 8, 그림 9〉 Change depth dose curve with the angle of obliquity



〈그림 10, 그림 11〉 Change depth dose curve with the angle of obliquity

3. 전자선콘(electron cone)의 크기에 따른 심부선량(80%) 깊이의 비교

전자선콘의 크기 $6 \times 6\text{cm}$ 와 $10 \times 10\text{cm}$ 로 에너지에 따라 비교하면, $6 \times 6\text{cm}$ 콘이 6MeV의 80%는 0° , 20° , 40° , 60° 에서 1.8, 1.6, 1.3, 0.7cm, $10 \times 10\text{cm}$ 는 2.0, 1.8, 1.5, 0.9cm로 나타나며, 또한 20MeV의 $6 \times 6\text{cm}$ 콘은 5.8, 5.2, 3.7, 2.1cm, $10 \times 10\text{cm}$ 는 6.6, 5.4, 4.3, 2.4cm로 나타나 6MeV에서는 전자선콘의 크기에 따른 변화는 약 11%(0.2cm), 20MeV에서는 약 8%(0.48cm)로 약 3%의 차이를 나타냄으로서 에너지가 낮을수록 콘의 크기에 영향이 크게 나타남을 알 수 있다(참조 그림 2~그림 11)

4. 입사각도 변화 및 전자선콘의 크기에 따른 최대비정의 비교

입사각도와 전자선 콘의 변화에 따른 최대비정의 측정치는 표 3과 같다.

1) 입사각도 변화에 따른 최대비정 비교

입사각도 20° 40° 60° 에 대한 콘의 크기 6×6cm에 최대비정 차이는 6MeV가 3%(0.1cm), 8%(0.25cm), 17%(0.5cm), 20MeV가 2.9%(0.3cm), 24.5(2.5cm), 40%(4.1cm)로 나타나 입사각도 증가에 따른 최대비정은 6MeV가 3~40%, 20MeV가 2.9~40%로 감소함(표면으로 상승)을 알 수 있으며, 또한 에너지가 증가함에 따라 감소율은 증가하였다.

2) 전자선콘의 크기에 따른 최대비정 비교

6MeV의 콘의 크기 6×6cm와 10×10cm를 비교하면 0° 에서 차이는 0.1cm, 20° 에서 0.1cm, 40° 에서 0.05cm, 60° 에서 0.1cm로 나타났으며, 또한 20MeV에서의 차이는 0° 에서 0.3cm, 20° 에서 0.4cm, 40° 에서 1.2cm, 60° 에서 0.8cm로 나타나 6MeV에서는 각도 변화에 의한 콘의 크기의 차이에 대한 최대비정은 약 0.1cm로 나타났으나, 20MeV에서는 0.3~1.2cm로 나타나 전자선 콘의 크기에 따른 변화는 에너지의 증가에 따라 감소율이 증가(표면으로 상승)함을 알 수 있다.

5. 실측에 의한 산출된 보정계수(obliquity factor)

보정계수는 표 1, 2에 나타난 입사각도 변화에 따른 깊이를 수직조사의 깊이의 비로서 다음과 같다.

$$OF(\text{ovliquity factor}) = \frac{\text{사조사시의 depth}}{\text{수직조사시의 depth}}$$

$$\text{Shife depth} = \text{Depth at perpendicular depth} \times OF$$

표 4, 5는 임상에 가장 많이 적용되는 80%, 90%의 OF를 입사각도 20° 40° 60° 에서 6×6cm콘의 6MeV는 80%가 0.889, 0.722, 0.389, 90%가 0.765, 0.529, 0.235를 나타냄으로서 입사 각도가 증가함에 따라 보정계수도 작아짐을 알 수 있다. 또한 콘의 크기에 따른 보정계수는 80%가 6×6cm에서 0.889, 10×10cm가 0.765, 10×10cm가 0.833 등으로 콘의 크기에 따른 차이는 약 0.001-0.098로 나타났다.

energy & angle	6 MeV		9 MeV		12 MeV		16 MeV		20 MeV	
	6×6	10×10	6×6	10×10	6×6	10×10	6×6	10×10	6×6	10×10
0	3.0	3.1	4.7	4.75	6.2	6.4	8.3	8.4	10.3	10.6
20	2.9	3.0	4.4	4.45	6.0	6.1	7.8	8.0	10.0	10.4
40	2.75	2.8	3.90	3.95	5.1	5.2	6.45	7.2	7.8	9.0
60	2.5	2.6	2.6	2.7	3.1	3.4	3.7	4.2	6.2	6.8

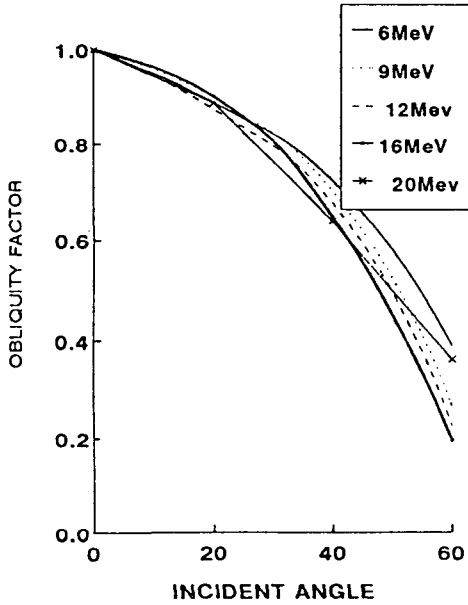
〈표 3〉 입사각도 및 에너지별 최대비정거리(6×6cm, 10×10cm cone)

energy & angle	6 MeV			9 MeV			12 MeV			16 MeV			20 MeV		
	20°	40°	60°	20°	40°	60°	20°	40°	60°	20°	40°	60°	20°	40°	60°
90 %	0.765	0.529	0.235	0.831	0.569	0.231	0.811	0.631	0.189	0.860	0.651	0.186	0.813	0.583	0.292
80 %	0.889	0.722	0.389	0.900	0.700	0.267	0.875	0.683	0.225	0.902	0.688	0.196	0.888	0.638	0.362

〈표 4〉 Obliquity factor(6×6cm cone)

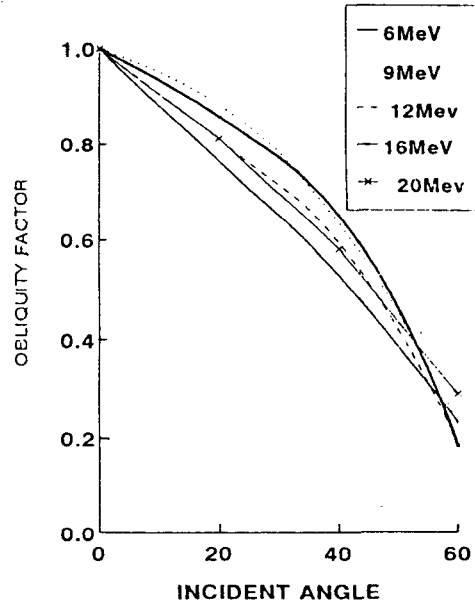
energy & angle	6 MeV			9 MeV			12 MeV			16 MeV			20 MeV		
	20°	40°	60°	20°	40°	60°	20°	40°	60°	20°	40°	60°	20°	40°	60°
90 %	0.833	0.611	0.310	0.835	0.601	0.241	0.842	0.648	0.211	0.863	0.662	0.200	0.827	0.623	0.321
80 %	0.900	0.750	0.450	0.902	0.731	0.323	0.905	0.712	0.286	0.906	0.662	0.245	0.898	0.652	0.364

〈표 5〉 Obliquity factor (10×10cm cone)



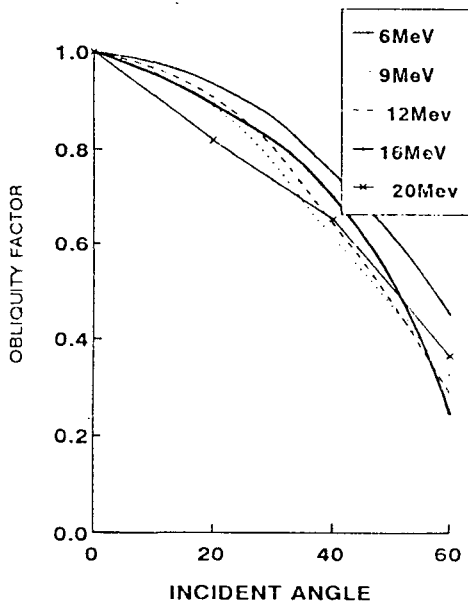
〈그림 12〉

Variation of obliquity factor (6×6cm)%DD (80%)



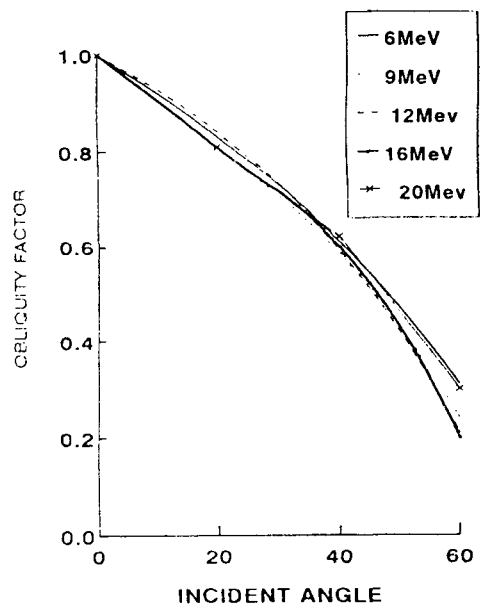
〈그림 13〉

Variation of obliquity factor (6×6cm)%DD (90%)



〈그림 14〉

Variation of obliquity factor (6×6cm)%DD (80%)



〈그림 15〉

Variation of obliquity factor (6×6cm)%DD (90%)

IV. 결 론

이상의 실험측정 결과에 의해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 선속의 입사각도가 증가함에 따라 최대선량지점 및 최대비정이 표면으로 근접됨을 알 수 있었다.
2. 전자선콘 크기에 의한 심부선량의 변화는 에너지가 낮을수록 영향이 크게 나타났다.
3. 사조사의 심부선량 계산시는 보정계수(obliquity factor)를 실측하여 적용함이 권장된다.

참 고 문 헌

1. Attrix FH, Lopex F, Qwalabi S & Paliwal BR: Med. Phys., 10, 301, 1983
2. Blggs PJ, Russel WD: Med. Biol., 28, 1033, 1986.
3. Swensson GK, Bjarngard BE, G.T.Y. Chen & R.R. Weichselbaum: Int. J. Radiat, Oncol. Biol. Phys. 2705, 1977
4. International Commission on Radiation Units & Measurements Report No. 24, 1976.
5. AAPM, Radiation Therapy Committee, Med. Phys., 10, 741, 1983
6. Khan, FM Gerbi BJ & Deibel FC: Med. Phys., 13, 936 1986
7. 김완선, 최병돈, 유숙현: Photon beam의 사조사에 의한 Build-up 영역내의 선량분포변화, 대한방사선 치료기술학회지 5(1), 21-29, 1982.