

6MV 선형가속기에서 Al/Cu에 관한 여과판 사용시 전자오염 감소에 관한 연구

고신외과대학 복음병원

이 철 수

= Abstract =

Reduction of Electron Contamination in Photon Beam by electron Filter in 6MV Linear Accelerator

The secondary electrons developed by interaction between primary beam and a tray mounted for blocks in Megavoltage irradiation result in excess soft radiation dose to the surface layer.

To reduce this electron contamination, electron filters have been used to be attached under a tray.

Various filters with Cu and Al plates in six different thickness and Cu/Al combined plates in 3 different thickness were tested to measure the reduction rate of secondary electron contamination to the surface layer.

The measurement to find optimal filter was performed on 6MV linear accelerator in 10 cm×10cm field size and fixed 78.5cm source to measurement points distance from surface to maximum build up point in 2mm intervals.

The result was analyzed as the ratio of measured doses with using filters, to standard doses of measured open beam.

The result of this study was following :

1. The contaminated low energy radiation were mainly produced by blocking tray.
2. The surface absorbed dose was slowly increased by increasing irradiation field size but rapidly increased at field size above 15cm×15cm.
3. Al plate upto 2.5mm thickness used as a filter was found to be inadequate due to the failure of reduction of the surface absorbed dose below doses of the under surface upto the maximal build up.

Cu 0.5mm plate and Cu 0.28mm/Al 1.5mm compound plate were found to be optimal filters.

4. By using these 2 filters, the absorbed dose to the surface were effectively reduced 5.5% in field size 4cm×4cm, 11.3% in field size 10cm×10cm, 22.3% in field size 25cm×25cm.

5. In field size 10cm×10cm, the absorbed dose to the surface of irradiation was reduced by setting TSD 20cm at least, but effective and enough dose reduction could be achieved by setting TSD 30cm as 2 optimal filters used.
6. More surface dose absorbed at TSD less than 7.4cm with a tray and filters together indicated that soft radiation was also developed by filters.
7. The variation of PDD by the different size of irradiation field was minimal as 2 optimal filters used. There was also not different in variation of PDD according to using any of two different filters.
8. PDD was not effected either by various TSD or by using the different filter among two.

서 론

수백 킬로볼트(KV) 에너지를 갖는 광자선(photon)에 비해서 고에너지 광자선이 표면에 조사되면, 피부 표면 근처의 손상은 현저하게 적은 반면에 최대 선량점은 심부 영역에서 형성되기 때문에 상대적으로 표피에는 적은 선량을 받게 된다.

이와 같이 광자선의 에너지가 높을수록 최대 선량점¹⁾은 더욱 깊은 심부에서 형성되고 표면에 집적되는 선량은 점점 줄어들므로 고에너지 광자선에 의한 이런 특징을 피부 보호 효과(skin sparing effect)라고 한다.

방사선 조사를 하면 악성종양 조직에는 충분한 방사선이 조사되고, 주위 정상조직 및 표피에는 가능한 적은 양의 방사선을 조사할 수 있도록 하여야 한다.

그러나 방사선 조사시 광자선이 표면에 입사되기 전에 2차 전자에 의해서 심하게 오염되거나 또한 드물게는 낮은 에너지의 광자선이 생성이 되면 피부보호 효과가 감소되거나 상실되어 피부 손상을 초래하게 된다²⁻¹⁰⁾. 전자 오염은 조사 면적내에 포함되는 공기, 조리개턱(collimator jaws), 선속 평탄 여과판(flattening filter), 특히 차폐 블록(shielding block)을 이용할 때 필요한 트레이(tray)에 의해서 많이 생기게 된다. ⁶⁰Co 원격 치료장치^{2,4-6,8-10,12)}와 2MV¹⁴⁾, 4MV^{13,16)}, 6MV⁷⁾, 10MV¹⁷⁾, X-선 발생장치를 사용할 때 생성되는 전자 오염에 대한 연구는 많이 보고되고 있으나 6MV 사용할 때 발생하는 전자 오염과 표면 선량 및 최대 선량점(build up region)과의 상관적

인 비교 측정에 대한 연구 보고는 단순히 1.5mm 두께의 구리(Cu) 여과판을 사용한 보고였다⁷⁾.

피부 표면 근처의 과도한 선량을 일으키게 되는 전자 오염을 줄이기 위해서는 2차 전자를 차단할 수 있는 방법이 강구되어야 한다. 이를 위해 2차 전자를 차단할 수 있도록 각 치료장치에 알맞는 여과판 두께(filter)를 찾아내어 tray 아래에 여과판을 설치하거나 조사면내의 tray와 피부 표면까지의 거리를 적절하게 유지하는 것 등의 방법이 있다. 전자선 여과판의 재질로서 유효한 물질은 중원자번호의 금속으로 알려져 있다⁹⁾. 알루미늄(Al)과 구리 그리고 구리알루미늄(Cu/Al) 복합 재료가 적합하다고 생각되어 많은 연구에 사용되어 왔다.

본 연구에서도 6MV 선형가속기에서 발생하는 전자 오염을 줄이고 최대 선량점의 선량 감소가 없는 최적의 여과판을 얻기 위해서 Al, Cu 및 Cu/Al 복합판 재료의 다양한 두께에 대한 연구를 시행하고 그 결과를 보고하는 바이다.

실험장치 및 방법

1. 실험장치

본 연구에 사용된 방사선 조사장치는 6MV X선 발생장치(6MV linear accelerator, NELAC 1006, NEC)를 사용하였다. 표면 및 최대 선량점 영역 선량을 측정하기 위한 선량계는 victoreen electrometer를 사용하였고 전리함은 전리함창이 0.5ml/cm² aluminized polyester film인 PTW(Tin Window Parallel-plate) 전리함을 사용하였다. 사용된 phantom(조직등가물질)

은 polyethylene 재질로서 크기는 25cm×25cm×20cm이고, 그 중앙에 PTW 전리함이 적합하게 위치하도록 하였다. tray는 lucite 재질로서 평판 형태이고 두께는 0.5cm이다.

이상에서 설명한 실험의 개략도는 Fig. 1과 같다.

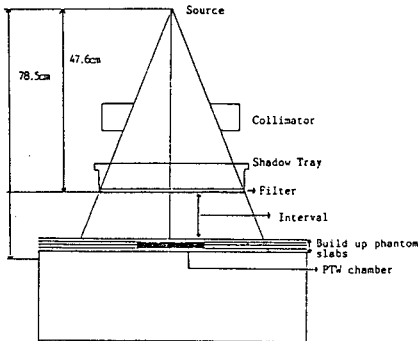


Fig. 1. Schematic diagram of irradiated system utilized in this study

2. 실험방법

1) 각종 여과판의 특성 및 최적 여과판의 선택

방사선 측정조건은 조사 면적이 10cm×10cm이고 SCD(Source Chamber Distance)는 78.5cm이며 선량율은 2Gy/min.로 하였다. 그리고 여과판의 크기는 23cm×23cm였고, 순도 99%인 6종류의 구리판(thickness of Cu plate : 두께 ; 0.28mm, 0.5mm, 0.8mm, 1.0mm, 1.23mm, 1.5mm)과 6종류의 알루미늄판(thickness of Al plate : 두께 ; 0.3mm, 0.5mm, 1.0mm, 1.5mm, 2.0mm, 2.5mm) 및 3종류의 복합 여과판(thickness of Cu/Al compound plate : 두께 ; 0.28mm Cu/2.0mm Al, 0.28mm Cu/1.5mm Al, 0.5mm Cu/2.0mm Al)을 사용하였다. tray 때문에 발생하는 전자 오염 제거율을 알기 위하여 여과판을 tray 아래에 부착하였으며 흡수 선량을 측정하기 위해 phantom 표면에서부터 최대 선량점(15mm)까지 2mm 깊이의 간격으로 전리함을 이동하면서 open beam(phantom 표면과 조리개택 사이에 흡수체인 여과판이나 tray가 없을 때) 경우와, 1종류씩의 여과판을 부착했을 때의 경우에서 각각 3회 이상 방사선을 조사하여 측정된 값을 평균값으로 하였다. 또한 tray를 사용한 경우와 tray 밑에 각종 여과판을 부착 사용한 경우에서

의 평균 측정값을 open beam에 대한 상대적인 선량(relative dose)으로 나타내었다(기준점은 open beam의 측정 선량값을 1.00으로 함). 측정 결과 가장 최적 여과판 두 종류를 선택할 수 있었다. 이들 측정으로부터 얻은 평균 선량값은 Sigma plot 4.0 프로그램으로 처리하여 비교 분석하였다.

2) 최적 여과판의 조사 면적 의존성

실험 측정 결과 가장 효과적인 2종류의 여과판을 선택한후 그 여과판을 tray 아래에 1종류씩 부착하여 조사 면적 변화(various field sizes)에 대한 선량 측정을 하였다. 조사 면적 의존성 측정 조건은 선원(radiation source)에서 전리함까지 거리를 78.5cm로 하고 조사 면적은 4cm×4cm, 6cm×6cm, 8cm×8cm, 10cm×10cm, 15cm×15cm, 20cm×20cm, 25cm×25cm 등 7종류로 변화하여 phantom 표면과 최대 선량점까지 2mm 간격의 깊이로 선량을 측정하여 비교 분석하였다.

3) 최적 여과판의 TSD(Tray to Surface Distance) 의존성

전자 오염 제거율의 TSD 의존성을 측정하기 위하여 실험 결과 가장 효과적인 여과판을 선택한후 그 여과판을 tray 아래에 두종류중 한종류씩 각각 부착하여 phantom 표면과 최대 선량점까지 2mm 깊이의 간격으로 전리함을 이동하면서 위치하게 하여 선량을 측정하였다. 선량 측정 조건은 조사 면적이 10cm×10cm였고 선원과 tray까지 거리는 47.6cm로 고정하였다. tray 표면간 거리(TSD : Tray to Surface Distance)는 7.4cm, 17.4cm, 27.4cm, 37.4cm, 47.4cm, 57.4cm, 62.4cm로 변화시키고 TSD 이동에 따른 선량을 비교 분석하였다.

결 과

1. 각종 여과판의 특성 및 최적 여과판의 선택

1) Al 여과판

Table 1은 tray와 0.3mm, 0.5mm, 1.0mm, 1.5mm, 2.0mm, 2.5mm 두께의 Al 여과판을 사용한 경우 phantom 표면에서 최대 선량점까지 2mm 간격

의 깊이로 측정된 것이다. 각 측정점에서의 open beam 선량을 100으로 했을 때 이에 대한 상대적 값으로 나타낸 것이다. Fig. 2에서 그래프로 보는 바와 같이 표면 선량은 tray만 사용하면 open beam 경우보다 약 103.0%로 증가되었고, 측정점이 2mm 깊이로 깊어지면 측정 선량이 97.6%로 급격히 감소한다. 그 이상의 깊이인 4mm, 6mm, 10mm, 15mm에서 측정 선량값은 98.0%, 96.9%, 96.7%, 97.0%로 감소폭은 거의 일정하였다. Al 여과판은 tray 아래에 부착하면 여과판의 두께가 2.5mm로 증가하여도 선량은 소폭 감소되었다. 대표적으로 2.5mm Al 여과판을 사용했을 경우를 보면 표면에서의 선량은 98.8% 감소되었지만 2mm 깊이에서는 94.3%로 급

격한 감소 현상을 보였고 그 이상의 깊이에서는 최대 선량점까지 94.4%로서 변화가 없었다.

2) Cu 여과판

Table 2는 tray와 0.28mm, 0.5mm, 0.8mm, 1.0mm, 1.23mm, 1.5mm 두께의 Cu 여과판을 사용한 경우 phantom 표면에서 최대 선량점까지 2mm 간격의 깊이로 측정하여 각 측정점에서의 open beam 선량을 100으로 했을 때 이에 대한 상대적 선량으로 나타낸 것이다. 최대 선량점까지의 각 측정 선량은 여과판 두께를 점차로 증가시키면 phantom 표면에서 측정 선량은 두께가 증가할수록 선량 감소폭이 크지만 측정점의 깊이가 깊어질수록 각 여과판의 두께별

Table 1. Relative dose with the Al plate filters at the surface, different depth to the standard doses of open beam (단위 : %)

Depth (mm)	Filter thickness						
	Tray	0.3mm	0.5mm	1.0mm	1.5mm	2.0mm	2.5mm
0	102.9	101.9	102.6	100.6	100.2	100.1	98.7
2	97.6	96.8	96.9	96.4	95.1	95.0	94.3
4	98.0	97.2	96.2	95.5	89.3	87.2	86.0
6	96.9	96.5	96.5	95.9	94.4	93.9	92.8
8	97.1	96.7	96.4	95.8	95.0	94.1	93.6
10	96.7	94.5	96.8	92.7	94.7	94.7	93.7
12	96.4	95.8	95.6	95.2	95.2	94.9	94.4
14	96.6	96.4	96.0	95.2	95.3	94.4	93.9
15	97.0	95.7	95.6	95.1	95.3	95.0	94.4

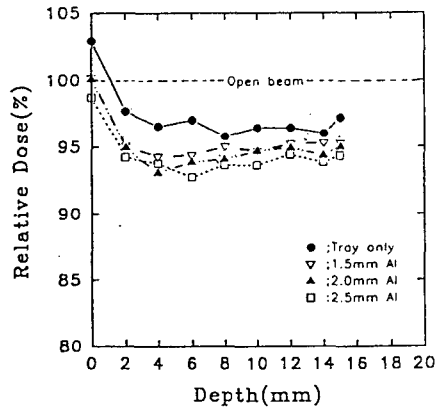


Fig. 2. Graphic plotting of relative doses with a tray and Al plate filters at the surface, and different depth to standard doses of open beam

Table 2. Relative dose with the Cu plate filters at the surface, different depth to the standard doses of open beam
(단위 : %)

Depth (mm)	Filter thickness						
	Tray	0.28mm	0.5mm	0.8mm	1.0mm	1.23mm	1.5mm
0	102.3	91.4	89.5	87.9	87.3	86.1	85.2
2	97.4	95.8	93.8	92.1	91.3	90.3	89.7
4	96.3	93.8	94.1	93.3	90.3	91.1	88.8
6	97.1	95.2	95.0	93.8	93.5	92.8	91.3
8	96.9	95.9	95.4	94.0	93.1	92.4	91.4
10	96.9	96.1	95.0	94.4	94.1	93.1	92.0
12	96.9	96.1	95.0	94.1	93.6	92.8	91.8
14	96.5	95.7	94.4	93.8	93.4	93.0	91.7
15	96.6	97.3	95.0	94.7	94.1	93.2	92.4

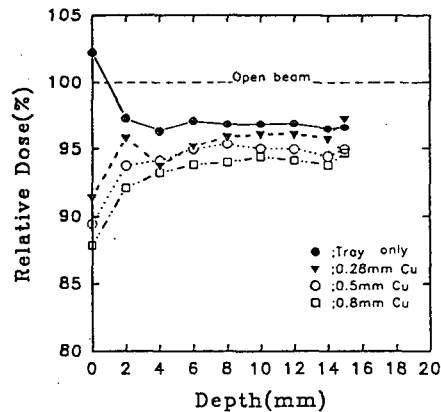


Fig. 3. Graphic plotting of relative doses with a tray and Cu plate filters at the surface, and different depth to standard doses of open beam

측정 선량은 2mm 깊이에서 증가하여 평편한 모양을 나타내고 4mm 깊이 이상에서는 거의 균일하였다. 0.5mm 두께의 Cu 여과판을 사용했을 때 표면에서의 선량 감소는 89.5%로 감소되었고 2mm 깊이에서는 93.8%, 4mm 깊이에서는 94.2%, 그리고 최대 선량점에서 선량 감소는 95.0%였다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 Cu 여과판 0.5mm 두께를 사용했을 때 표면 선량 감소폭은 크고 2mm 간격 깊이에는 선량 감소가 적었고 최대 선량점에서도 감소가 적기 때문에 여과판으로 선택하였다.

3) Cu/Al 복합 여과판

Table 3은 tray와 0.28mm Cu/2.0mm Al, 0.28mm

Cu/1.5mm Al, 0.5mm Cu/2.0mm Al 복합 여과판을 사용한 경우, phantom 표면에서 최대 선량점까지 2mm 간격의 깊이로 각 측정점에서의 open beam 선량을 100으로 했을 때 이에 대한 상대적 값으로 나타낸 것이다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 3종류의 복합 여과판을 사용했을 때 phantom 표면의 측정 선량의 감소값은 유사하였으며 Cu/Al 여과판의 종류에 따른 선량값의 깊이에 따른 곡선 변화는 동일하였다.

다만 Cu/Al 여과판의 Cu의 두께에 따라서 선량 감소가 변화되었다. 0.28mm Cu/1.5mm Al 복합 여과판을 사용했을 때는 표면에서 90.0%, 2mm 깊이에서 92.2%로 기준 선량값 open beam 선량에 비해서 적은 감소 현상을 나타냈었고 4mm 깊이에서 92.6%,

Table 3. Relative dose with a Cu/Al plate filters at the surface, different depth to the standard doses of open beam (단위 : %)

Depth (mm)	Filter thickness			
	Tray	0.28mm Cu/2.0mm Al	0.28mm Cu/1.5mm Al	0.5mm Cu/2.0mm Al
0	102.3	88.9	90.0	88.1
2	97.2	91.5	92.2	90.5
4	97.4	93.0	92.6	92.3
6	96.9	93.0	93.6	92.3
8	96.5	93.0	93.6	92.3
10	97.8	93.3	93.5	92.2
12	97.5	93.8	94.8	93.7
14	96.9	93.4	94.0	93.3
15	96.2	94.6	94.8	93.1

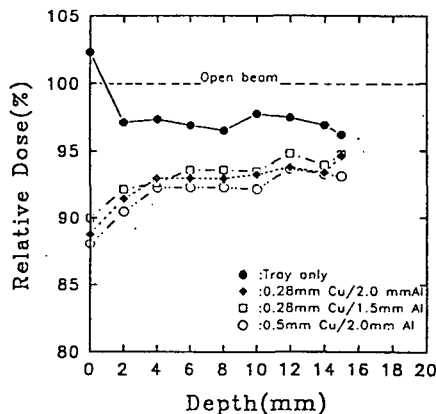


Fig. 4. Graphic plotting of relative doses with a tray and Cu/Al plate filters at the surface, and different depth to standard doses of open beam

8mm 깊이에서 93.6%, 10mm 깊이에서 93.5%, 12mm 깊이에서 94.8%, 14mm 깊이에서 94.0%, 15mm 깊이에서 94.8%로 12mm 깊이에서 최대 선량점 15mm까지의 선량은 일정하였다. 2mm 깊이에서 12mm 깊이까지는 완만한 곡선형으로 선량 증가를 나타내었다. 0.28mm Cu/1.5mm Al 복합 여과판중 표면 선량 감소와 최대 선량점에서의 선량 감소를 고려하여 0.28mm Cu/1.5mm Al 복합 여과판을 최적 여과판으로 선택하였다.

2. 최적 여과판의 조사 면적 의존성

1) 오염 방사선의 여과 효과

실험 측정 결과, Table 4에서 최적 여과판으로 0.5mm Cu판, 0.28mm Cu/1.5mm Al 복합 여과판을 선택한 후 phantom 표면부터 2mm 깊이 간격으로 최대 선량점까지의 각 측정점에서 조사 면적 변화에 따른 open beam의 측정 선량을 100으로 했을 때, 상대적으로 나타낸 것이다.

(1) Fig. 5는 Table 4에서 tray와 2종류의 최적 여과판을 사용했을 때 phantom 표면에서의 측정 선량값을 편의상 그래프로 나타낸 것이다. 표면 선량은 tray만 사용했을 때 조사 면적 4cm×4cm 경우에는 open beam보다 선량이 97.4%로 감소하였고 6cm×6cm일 때 100.8%, 10cm×10cm일 때 102.4%, 15cm×15cm일 때 104.1%로 증가하였다. 조사 면

적 6cm×6cm에서 15cm×15cm까지는 서서히 증가하였고 조사 면적 20cm×20cm에서는 선량이 109.8%, 25cm×25cm에서는 118.2%로 15cm×15cm 이상에서는 조사 면적의 증가에 따라서 급격한 상승을 보였다. 0.5mm Cu 여과판을 사용했을 때 표면 선량은 조사 면적 4cm×4cm에서 92.9%, 15cm×15cm에서는 88.6%로 점차 감소하였고, 20cm×20cm에서 90.8%, 25cm×25cm에서 95.9%로 15cm×15cm에서 최저로 되었다가 20cm×20cm 이상에서는 선량의 증가를 나타내었다. 0.28mm Cu/1.5mm Al 복합 여과판을 사용할 때 조사 면적 변화에 따른 표면 선량은 0.5mm 두께의 Cu 여과판을 사용했을 때와 동일했다. Fig. 6은 Table 4의 2mm 깊이, 4mm 깊이, 10mm 깊이, 15mm 깊이에서의 선량을 편의상 그래프로 나타낸 것이다.

(2) 2mm 깊이에서의 선량은 tray만 사용했을 때는 조사 면적 4cm×4cm에서 96.4%, 15cm×15cm에서 97.9%로 open beam 값보다 감소하였고, 조사 면적 20cm×20cm에서는 100.5%, 25cm×25cm에서는 103.7%로 open beam 값보다 증가하였다. 그러나 0.5mm Cu 여과판과 0.28mm Cu/1.5mm Al 복합 여과판을 사용했을 때는 조사 면적 4cm×4cm에서 0.5mm Cu 여과판의 경우 94.2%, 0.28mm Cu/1.5mm Al 복합 여과판의 경우 93.6%, 15cm×15cm에서 0.5mm Cu 여과판을 사용했을 때 92.6%, 0.28mm Cu/1.5mm Al 복합 여과판을 사용했을 때 91.3%이었다. 25cm×25cm에서는 0.5mm Cu 여과판과 0.28mm Cu/1.5mm Al 복합 여과판을 사용했을 때의 측정값은 모두 94.5%로 나타났다.

(3) 4mm 깊이에서의 측정 선량은 tray만 사용했을 때 조사 면적 4cm×4cm에서 97.0%, 20cm×20cm에서는 98.2%로서 감소되었으며 20cm×20cm까지는 조사 면적 크기에 따른 선량의 변화는 없었다. 그러나 조사 면적 25cm×25cm에서는 102.0%로서 open beam 선량보다 증가하기 시작하였다. 0.5mm Cu 여과판을 사용할 때는 조사 면적 4cm×4cm에서 측정 선량값은 94.6%, 10cm×10cm에서는 94.1%, 20cm×20cm에서는 95.2%, 25cm×25cm에서는 95.9%로 open beam의 값보다 감소하였으나 25cm×25cm에서는 95.9%로 open beam의 값보다 감소하였으나 25cm×25cm에서는 선량이 소폭 증가

하는 추세를 보였다.

0.28mm Cu/1.5mm Al 복합 여과판 사용할 때와 0.5mm Cu 여과판 사용했을 때의 선량을 비교하면 Fig. 6에서 보는 바와 같이 조사 면적 6cm×6cm, 8cm×8cm에서 약간의 선량 증가가 있었으나 10cm×10cm 이상에서는 차이는 없었다.

(4) 10mm 깊이에서의 선량은 tray만 사용한 경우는 조사 면적 4cm×4cm에서는 97.1%, 8cm×8cm에서는 96.6%로 조사 면적 크기에 대한 차이가 없었고 15cm×15cm에서는 98.3%, 25cm×25cm에서는 97.6%로 조사 면적이 15cm×15cm 이상에서 소폭 증가되었고 그 이상 조사 면적이 커져도 선량의 증가는 없었다. 0.5mm Cu 여과판 사용할 때 조사 면적 4cm×4cm에서의 선량은 95.2%, 25cm×25cm에서의 선량은 95.0%로서 조사 면적 증가에 따른 측정 선량값의 변화는 없었다. 0.28mm Cu/1.5mm Al 복합 여과판을 사용할 때도 조사 면적 4cm×4cm에서 선량은 94.0%, 25cm×25cm에서의 선량은 94.1%로 조사 면적의 증가에 따른 측정값의 변화는 없었다.

(5) 최대 선량점인 15mm 깊이에서의 선량은 tray만 사용했을 때 조사 면적 4cm×4cm에서는 96.8%, 20cm×20cm에서는 96.5%로 조사 면적의 크기에 따른 선량의 변화는 없었고 25cm×25cm에서는 98.1%로 조사 면적 크기에 따라서 소폭 증가하였다. 0.5mm Cu 여과판을 사용했을 때 조사 면적 4cm×4cm에서의 선량은 94.7%, 10cm×10cm에서 95.5%로 조사 면적 크기에 따른 차이는 없었으나 조사 면적 25cm×25cm에서 96.9%로 소폭 증가하였다. Cu 0.28mm/Al 1.5mm 복합 여과판을 사용할 때는 0.5mm Cu 여과판을 사용할 때와 같이 조사 면적의 크기에 따른 선량의 변화는 없었고 조사 면적 25cm×25cm에서 0.5mm Cu 여과판과 같이 소폭 증가하였으며 선량은 0.5mm Cu 여과판 사용할 때에 동일하였다.

2) 최적 여과판의 원천 방사선이 PDD에 미치는 영향

Fig. 7은 0.5mm Cu 여과판(A)과 0.28mm Cu/1.5mm Al 복합 여과판(B)을 사용했을 때 조사 면적에 따른 PDD(percentage depth dose)을 측정된 것이다.

PDD는 최대 선량점 15mm에서 측정 선량값을 100으로 했을 때 각 측정점에서의 선량값을 이에 대한 상대적인 비율로 표시한 것이다. 여과판으로 0.28mm Cu/1.5mm Al 복합 여과판을 사용했을 때 표면의 PDD는 조사면적 4cm×4cm에서 7.6%, 15cm×15cm에서 9.7%, 8cm×8cm에서 12.2%, 10cm×10cm에서 14.6%, 15cm×15cm에서 19.9%, 20cm×20cm에서 26.8%, 25cm×25cm에서 31.0%로 조사면적이 커질수록 점차 증가하였다. 2mm 깊이에서 PDD는 조사 면적 4cm×4cm에서 59.2%, 15cm×15cm에서 67.6%, 20cm×20cm에서 75.1%, 25cm×25cm에서 75.5%로 측정점이 2mm 깊이로 되면 PDD는 급격히 증가하였다. 4mm 깊이에서의 PDD는 조사 면적 4cm×4cm에서 81.5%, 15cm×15cm에서

85.1%, 20cm×20cm에서 89.3%, 25cm×25cm에서 91.0%이었다. 10mm 깊이에서의 PDD는 조사 면적 4cm×4cm, 15cm×15cm, 20cm×20cm, 25cm×25cm에서 모두 100%였다. 조사 면적이 4cm×4cm 일 때는 10mm 깊이에서 선량은 평평한 모양을 나타냈고 20cm×20cm 이상에서 깊이 4mm부터 평평한 모양이었고 그 이상의 선량 증가는 없었다.

0.5mm Cu판을 사용했을 때 표면에서 측정된 PDD는 0.28mm Cu/1.5mm Al 복합 여과판을 사용할 때와 비슷했으며, 2mm 깊이, 4mm 깊이에서도 조사면적의 크기에 관계없이 급격히 증가하였으며 10mm 깊이까지 서서히 증가하여 그 이상의 깊이에서는 일정했다. 2mm 깊이와 4mm 깊이에서만 조사면적의 크기에 따른 PDD 증가의 폭에 차이가 있었다.

Table 4. Relative dose table with a tray and 2 optimal filter to the standard doses of open beam in the various field size (단위 : %)

Field Size(cm)	Tray/Open					0.5mm Cu/Open					0.8mm Cu+1.5mm Al/Open				
	0mm	2mm	4mm	10mm	15mm	0mm	2mm	4mm	10mm	15mm	0mm	2mm	4mm	10mm	15mm
4×4	98.4	96.4	97.0	97.1	96.8	92.9	94.0	94.6	95.2	94.7	92.5	94.0	93.7	94.0	94.3
6×6	100.8	99.8	97.0	96.3	97.2	91.6	97.1	95.6	94.7	96.2	91.8	97.1	93.5	93.9	94.4
8×8	101.2	97.3	97.3	96.6	96.9	90.3	94.2	95.3	94.5	95.1	90.3	94.2	93.4	94.1	94.2
10×10	102.4	97.6	96.9	95.5	96.9	90.9	93.4	94.1	94.7	95.5	89.0	93.4	93.5	94.0	93.6
15×15	104.1	97.9	97.1	98.3	96.9	88.6	92.6	92.4	95.5	96.7	88.6	92.6	92.6	94.1	96.1
20×20	109.8	100.5	98.2	97.4	96.5	90.8	93.6	93.2	95.3	94.6	90.8	93.6	93.4	94.5	93.7
25×25	118.2	103.7	102.2	97.6	98.1	95.9	95.9	95.9	95.0	96.6	97.0	94.3	96.2	94.1	96.5

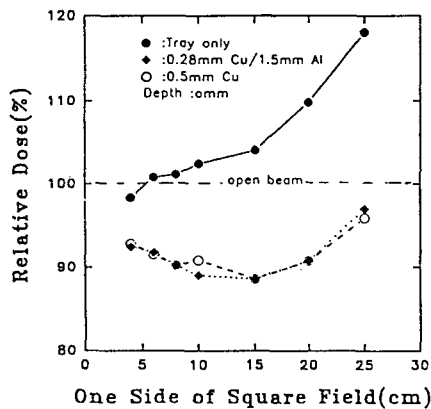


Fig. 5. Graphic plotting of relative dose with a tray and 2 optimal filters at the surface to the standard dose of open beam in various field size

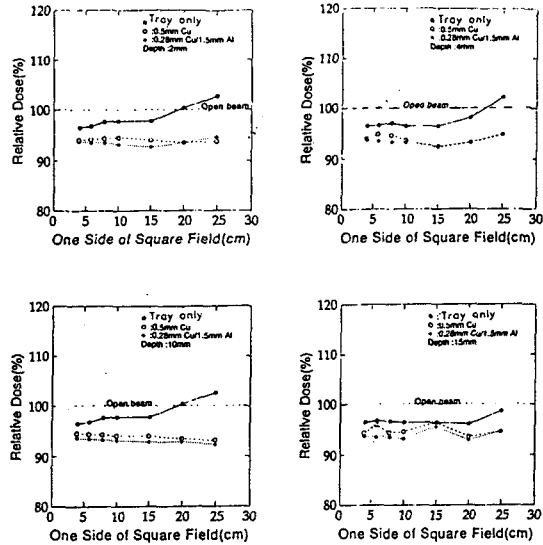


Fig. 6. Graphic plotting of relative doses at various depth, with using a tray and 2 optimal to the standard doses of the open beam in various field size

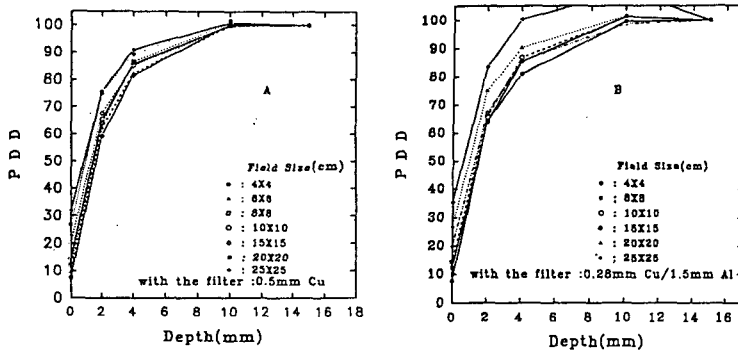


Fig. 7. PDD for various field size with using filters

3. 최적 여과판의 TSD 의존성

Table 5는 최적 여과판으로 0.5mm Cu 여과판과 0.28mm Cu/1.5mm Al 복합 여과판을 사용했을 때 조사 면적 10cm×10cm에서 TSD 변화에 따른 open beam 선량값 100에 대한 상대적 비율로 나타낸 것이다. Tray만 사용했을 때 phantom 표면 선량은 TSD 7.4cm에서 139.1%, TSD 17.4cm에서 114.3%, TSD 27.4cm에서 103.6%로 급격히 감소하고 TSD 37.4cm에서 100.7%, TSD 47.4cm에서 97.5%, TSD 57.4cm에서 97.3%로 서서히 소폭 감소하여 더 이상의 감소는 없었다. TSD 7.4cm에서 Cu 여과

판을 사용했을 때는 151.0%, 0.28mm Cu/1.5mm Al 복합 여과판의 경우 158.7%이었고 TSD 17.4cm에서는 Cu 여과판이나 0.28mm Cu/1.5mm Al 복합 여과판이나 다 같이 측정 선량값은 103.0%로 급격히 감소하였다. 또한 두 여과판의 경우 모두 TSD 27.4cm에서 91.3%, TSD 37.4cm에서 88.8%, TSD 47.4cm에서 87.0%, TSD 57.4cm에서 89.0%로 더 이상 선량의 감소가 없고 일정했다.

Fig. 8은 Table 5에서 TSD의 변화에 따라서 깊이 2mm, 4mm, 10mm, 15mm에서의 선량의 변화를 알기 쉽게 그래프로 표시하였다. 2mm 깊이에서 tray만 사용했을 때의 측정값은 TSD 7.4cm에서 96.6%,

TSD 17.4cm에서 100%, TSD 37.4cm에서 98.1%, TSD 57.4cm에서 98.9%로서 TSD 증가에 따른 변화는 없었다. 0.5mm Cu 여과판이나 0.28mm Cu/1.5mm Al 복합 여과판을 사용할 때 모두 선량은 동일하였고 TSD 7.4cm에서 92.0%, TSD 17.4cm에서 96.0%, TSD 37.4cm에서 94.0%, TSD 57.4cm에서 94.0%로 TSD 변화에 따른 측정 선량의 변화는 없었다. 깊이 4mm, 10mm, 15mm에서도 TSD의 변화에 따른 선량의 변화는 없었다.

Fig. 10은 최적 여과판으로 0.5mm Cu 여과판(A)와 0.28mm Cu/1.5mm Al 복합 여과판(B)을 사용했을 때 조사 면적 10cm×10cm에서 TSD의 변화에 따른 PDD를 측정 한 것이다. TSD 변화에 따른 PDD 값의 차이는 없었다.

고 찰

방사선 치료용으로 고에너지지 광자선을 사용할 때는 tray와 차폐 block을 필수적으로 설치하게 된다. 이때 tray와 block, 조리개턱 등에서 발생하는 오염 전자는 저에너지 방사선이므로 표면인 피부에 흡수되어 예상외의 방사선을 많이 받게 되므로 방사선 손상을 초래하게 된다¹⁻¹⁰⁾. 이러한 전자 오염을 감소 시키거나 없애기 위하여 오염 발생체인 collimator, tray 및 block과 조사 표면인 피부 사이에서 오염된 전자를 흡수하는 여과판을 사용해야만 한다. 그리고 여과판 자체에서 발생하는 2차 전자 오염을 줄이기 위해서 전자 오염 발생체와 표면(피부)과의 간격을 일정거리 이상으로 유지시켜 주어야 한다는 것은 잘

Table 5. Relative dose table with a tray and 2 optimal filter to the standard doses of open beam in the various TSD (단위 : %)

TSD (cm)	Tray/Open					0.5mm Cu/Open					0.8mm Cu+1.5mm Al/Open				
	0mm	2mm	4mm	10mm	15mm	0mm	2mm	4mm	10mm	15mm	0mm	2mm	4mm	10mm	15mm
7.4	139.1	96.6	101.3	97.9	97.4	151.0	93.0	99.7	96.3	95.6	158.7	91.9	100.1	95.2	94.6
17.4	114.3	100.4	98.8	97.2	96.7	103.0	96.1	96.4	95.2	95.1	103.7	95.5	95.7	93.9	93.9
27.4	103.6	97.4	97.3	97.3	96.2	91.3	93.7	93.9	95.6	94.9	91.3	93.0	93.3	94.5	92.6
37.4	100.7	98.1	97.3	96.9	97.1	88.8	98.1	94.3	94.6	95.3	88.8	93.6	93.1	93.7	94.5
47.4	97.5	95.5	97.4	96.7	96.6	87.7	91.6	94.3	94.8	94.1	86.9	91.6	92.6	93.2	93.1
57.4	97.3	98.9	96.1	96.5	97.7	89.2	94.0	93.4	93.5	96.1	88.3	93.1	92.0	93.8	94.6
67.4	97.9	96.6	96.8	97.1	96.1	88.5	93.0	93.8	94.5	94.6	88.5	91.9	93.0	93.6	93.8

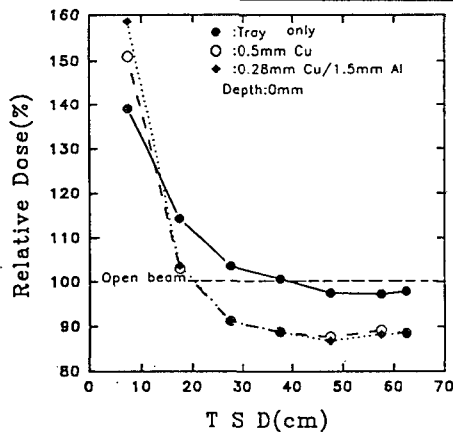


Fig. 8. Graphic plotting of relative dose with a tray and 2 optimal filters at the surface to the standard dose of open beam in various TSD

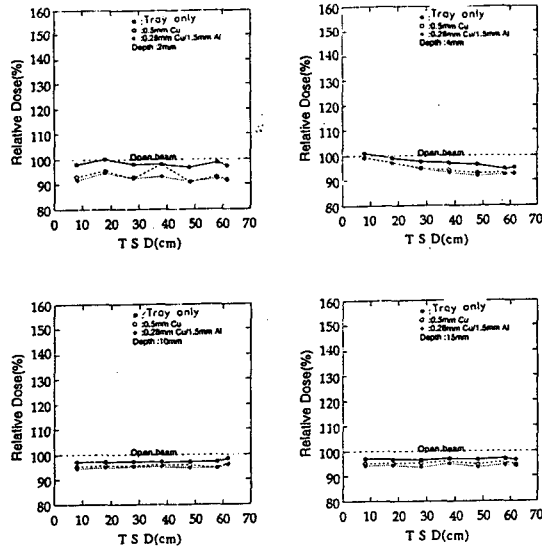


Fig. 9. Graphic plotting of relative doses at various depth, with using a tray and 2 optimal to the standard doses of the open beam in various TSD

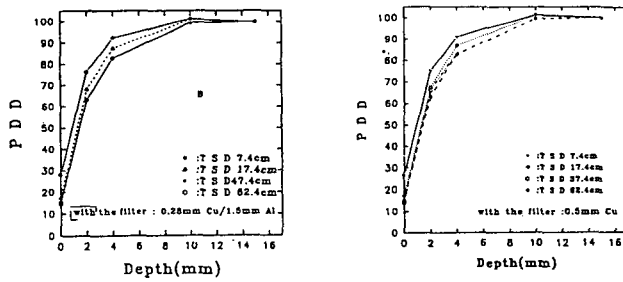


Fig. 10. PDD for various TSD with using filters

알려진 사실이다^{3,7)}.

본 연구에서는 최적 여과판을 선택하기 위하여 중원자 번호로 된 금속인 Al판, Cu판, Cu/Al 복합판을 두께별로 측정 실험하였다.

연구 결과에서 Cu 여과판이 Al 여과판보다 전자 오염 여과 효과가 우수하다는 것이 증명되었다.

1. Tray에 의한 오염 방사선의 발생 및 여과판의 효과

Fig. 2에서 보는 바와 같이 조사 면적 10cm×10 cm로 6MV X-ray을 tray만 사용하여 조사(exposure)했을 때 phantom 표면에서 선량이 높게 측정되어

tray에 의해서 전자 오염이 발생한다는 것을 알 수 있었다. Al판의 오염 방사선 제거율은 적절하지 못했다. Fig. 3, Fig. 4에서 보는 바와 같이 조사 면적 10cm×10cm, 0.5mm Cu과 0.28mm Cu/1.5mm Al 복합 여과판 phantom 표면에서의 선량이 open beam 선량에 비해서 가장 많이 감소되었다. 이는 collimator 및 tray에서 발생된 오염 방사선을 효과적으로 흡수하였다고 증명한 것이다. 그러나 2mm 깊이에서 측정된 선량은 급격한 상승을 보였고 2mm 깊이와 6mm 깊이 사이에서는 완만한 곡선형으로 선량이 상승되었으며 8mm 이상의 깊이에서는 선량의 증가없이 일정하게 나타났다.

이는 tray를 사용했을 때 발생하는 오염 전자 방사선의 spectrum에 의한다고 생각되며 tray만 사용했을 때의 선량 그래프와 0.5mm Cu 여과판과 0.28mm Cu/1.5mm Al 복합 여과판을 사용했을 때의 선량이 서로 대칭적인 형태를 나타내는 것을 보아서 알 수 있었다. 이는 심부 방사선 치료시 0.5mm Cu 및 0.28mm Cu/1.5mm Al 여과판을 사용함으로써 충분한 전자 오염의 감소 효과를 얻을 수 있었고 open beam 때보다 표면 선량이 낮기 때문에 피부 보호 효과가 크다고 할 수 있다.

또한 치료 목적으로 방사선이 조사되어야 할 심부 방사선량에는 여과판의 영향이 적어서 심부에 도달하는 방사선량은 감소되지 않는 특성을 알 수 있다. 그리고 원발 방사선(primary beam)에 포함된 저에너지 X-선(soft X-ray)도 여과된다고 생각되었다.

따라서 위의 특성들을 고려하여 0.5mm Cu판과 0.28mm Cu/1.5mm Al 복합판을 사용함으로써 전자 오염을 줄일 수 있는 최적의 여과판으로 선택하였다.

2. 여과판의 조사면적 의존 효과

실험 결과 선택된 0.5mm Cu 여과판과 0.28mm Cu/1.5mm Al 복합 여과판의 조사 면적의 의존도를 고찰하고자 한다. 표면에서 여과판 없이 tray만 사용했을 때 조사 면적이 4cm×4cm에서는 open beam에서보다 선량이 낮았다. 조사 면적이 6cm×6cm 이상에서 선량이 open beam에서 보다 높은 것은 tray에 의해서 발생된 오염 전자가 충분히 조사 표면까지 도달하므로 영향을 미칠 수 있다는 것을 뒷받침해 주며 조사 면적이 4cm×4cm 이하의 적은 면적에서는 tray에서 발생한 오염 전자가 영향을 미칠 수 없다는 것을 나타내고 있다.

조사 면적 6cm×6cm에서 15cm×15cm까지는 tray에서 발생한 오염 전자가 영향을 미쳐서 조사 면적 증가에 따라서 서서히 선량이 증가하였다. 조사 면적 15cm×15cm 이상에서는 급격히 선량이 증가되어 많은 양의 오염 전자가 표면에 조사되어 예상외의 방사선량을 받게 되는 것으로 나타났다. 특히 조사 면적 20cm×20cm에서는 약 10.0%, 조사 면적 25cm×25cm에서는 약 18.0%의 더 많은 양의 방사선량을 받게 되었다. 선택된 0.5mm Cu 여과판이나 0.28mm Cu/1.5mm Al 복합 여과판을 사용했을 때

는 표면 선량 감소 효과는 조사 면적 4cm×4cm에서 5.5%, 6cm×6cm에서는 9.1%, 8cm×8cm에서는 10.9%, 10cm×10cm에서 11.3%, 15cm×15cm에서는 15.5%, 20cm×20cm에서 19.1%, 25cm×25cm에서 22.3%의 표면 선량을 줄일 수 있었다. 그러므로 위 여과판의 표면 선량 감소 효과는 조사 면적이 크면 클수록 증대되는 것을 알 수 있었다(Fig. 5, Table 4).

2mm 간격의 깊이에서 오염 방사선의 영향과 그 여과 효과를 고찰하면 Table 4와 Fig. 6에 잘 나타나 있다. 오염 방사선은 저에너지 방사선이므로 심부 투과력이 약하기 때문에 대부분 조사 면적 표면에 영향을 주었고 심부에는 투과하지 못하지만 조사 면적이 큰 경우에는 결과에서 처럼 조사 면적이 20cm×20cm 이상에서는 2mm 깊이까지 오염 방사선이 투과하여 측정 선량의 증가를 나타내었다.

4mm 깊이에서는 조사 면적 25cm×25cm 이상에서 투과되어 선량의 증가를 보였다. 이때 0.5mm Cu 여과판이나 0.28mm Cu/1.5mm Al 복합 여과판을 사용하면 조사 면적이 25cm×25cm 이상에서도 오염된 방사선량을 적절히 여과할 수 있었다.

3. 여과판의 조사면적에 따른 PDD에 미치는 영향

선택된 최적 여과판을 사용하여 최대 선량점의 선량값을 기준으로 했을 때, 각 조사 면적의 크기에 따라 조사 표면과 2mm 깊이 간격으로 선량을 측정함으로써 원천 방사선의 측방 산란 효과(lateral scattering)에 대한 영향을 평가하고자 하였다. 측방 산란 방사선량은 조사 면적이 클수록 증가되는 것으로 알고 있으나 본 실험 측정 결과에 의하면 여과판을 사용함으로써 조사 면적의 영향은 적은 것으로 생각되었다. 오염 방사선인 저에너지 방사선을 여과판이 흡수하는 효과를 가지고 있는 것이라 생각되었다.

0.5mm Cu 여과판 사용할 때 조사 면적 4cm×4cm에서 표면의 PDD는 최대 선량점의 선량값의 8.0%, 10cm×10cm에서는 15.0%, 20cm×20cm에서는 27.0%, 25cm×25cm에서 32.0%였고, 2mm 깊이에서의 PDD는 조사 면적 4cm×4cm에서 58.0%, 25cm×25cm에서 75.0%였다. 0.5mm Cu 여과판과 0.28mm Cu/1.5mm Al 여과판을 사용했을 때의 PDD의 차이는 없었다.

4. 최적 여과판의 TSD 의존성

Fig. 8에서 보는 바와 같이 조사 면적 10cm×10cm에서 표면 선량은 TSD가 짧은 거리에서 tray만 사용했을 때나 2종류의 여과판을 사용했을 때 선량이 open beam에 대해서 높게 측정되었다. 여과판을 사용했을 때 선량이 오히려 더 높게 나타나는 것은 여과판 자체에 의해서 발생한 2차 오염 방사선도 TSD가 짧은 거리인 10cm 정도에서 표면 선량을 높이는 역할을 한다는 것을 알 수 있었다(beam spoiler로서 작용)^{19,20)}. TSD 17.4cm에서 tray를 사용하면 표면 선량이 open beam 보다 오염 전자 때문에 높게 측정되었고 여과판을 부착하면 tray만 사용했을 때보다 낮게 선량값이 측정되었다. 이는 중원자번호인 여과판에 의한 오염 방사선은 저원자번호인 tray에 의해서 발생한 오염 방사선보다 수적으로 더 많은 2차 전자 때문이라는 것을 알 수 있었다. 여과판을 사용했을 때 측정 선량이 open beam 이하로 감소되는 TSD는 20cm 정도라는 것을 알 수 있었다⁹⁾. tray만 사용했을 때는 측정 선량이 open beam 이하로 감소하는 TSD는 38cm인 것을 알 수 있었다. 이와 같이 여과판을 사용했을 때는 현재 병원의 방사선 치료와 같이 TSD를 30cm로 유지하면 충분히 전자 오염에 의해서 발생한 저에너지 방사선이 표면의 영향을 미치는 것을 방지할 수 있다고 생각된다.

0.5mm Cu 여과판과 0.28mm Cu/1.5mm Al 여과판 사용에 따른 TSD의 영향은 동일하였다. Fig. 9는 표면에서부터 최대 선량점까지의 깊이에서 TSD는 짧게 하나 또는 크게 하거나 여과판의 사용 유무에 관계없이 오염 방사선의 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있었다. Fig. 10에서는 Fig. 9에서 보는 바와 같이 TSD를 7.4cm로 짧게 하여도 PDD에 대한 영향은 없었으며 0.5mm Cu 여과판이나 0.28mm Cu/1.5mm Al 복합 여과판을 사용하여도 차이는 없었다.

1. 2차 전자 오염에 의한 저에너지 방사선의 생성은 차폐체를 설치할 때 tray에서 주로 발생하였다.

2. 2차 전자 오염에 의한 저에너지 방사선은 대부분 조사 면적 표면에서 흡수되었고 표면 선량의 증가는 조사 면적이 15cm×15cm 이상에서는 급격히 증가하였다.

3. Al 여과판은 2.5mm 두께까지 표면 선량이 심부 선량 이하로 감소시킬 수 없었기 때문에 여과판으로서는 부적당하였다. Cu 여과판은 두께 0.5mm에서 적합하였고 복합 여과판은 3가지 여과판이 모두 효과적이었지만 0.28mm Cu/1.5mm Al판이 최적 여과판이었다.

4. 0.5mm Cu 여과판과 0.28mm Cu/1.5mm Al 복합 여과판을 사용함으로써 조사 면적 4cm×4cm에서는 5.5%, 10cm×10cm에서는 11.3%, 25cm×25cm에서는 22.3%의 표면 선량 감소 효과를 얻을 수 있었다.

5. 0.5mm Cu 여과판과 0.28mm Cu/1.5mm Al 복합 여과판을 사용할 때 표면 선량을 open beam 이하로 감소시키기 위해서는 TSD는 최소 20cm 이상 되어야 하고 표면 선량을 충분히 감소시키기 위한 TSD는 30cm 정도이어야 한다.

6. TSD가 7.4cm 이하로 짧으면 최적 여과판을 사용했을 경우에 tray만 사용할 때보다 오히려 더 많은 2차 전자가 발생되므로 Spoiler 역할로서 이용할 수 있다.

7. 0.5mm Cu 여과판과 0.28mm Cu/1.5mm Al 복합 여과판을 사용했을 때 조사 면적의 크기에 따른 PDD의 변화는 적었고, 두 여과판의 사용에 따른 PDD의 차이는 없었다.

8. 0.5mm Cu 여과판과 0.28mm Cu/1.5mm Al 복합 여과판 사용할 때 TSD 변화에 따른 PDD의 영향도 없었고 또 두 여과판의 차이가 없었다.

결 론

6MV X-선 방사선 치료에 흔히 사용하는 차폐블록을 얹는 tray에 의하여 발생하는 2차 오염 전자에 의한 저에너지 방사선을 감소시키기 위하여 Al 여과판, Cu 여과판, Cu/Al 복합 여과판 특성에 대해서 연구하여 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

REFERENCE

1. Saylor WL, Ames TE : Dosage calculations in radiation therapy, p.5-6, Urban. Schwarzenberg, Baltimore-Munich, 1979.
2. Ibbot GS, Hendee WR : Beam-shaping platforms and the skin sparing advantage of Co-60 radia-

- tion. Am. J. Roentgenol. 108 : 193-196, 1970.
3. Kahn FM, Moore VC, Levitt SH : Effects of various atomic number absorbers on skin dose for 10MeV Xrays. Radiol. 109 : 209-212, 1973.
 4. Liegner LM, Michaud NJ : Skin and subcutaneous reactions induced by supervoltage irradiation. Am. J. Roentgenol. 85 : 533-549, 1961.
 5. Richardson JE, Kerman HD, Brucer M : Skin dose from a cobalt-60 teletherapy unit. Radiol. 63 : 25-36, 1954.
 6. Saylor WL, Quillin RM : Methods for the enhancement of skin sparing in cobalt-60 teletherapy. Am. J. Roentgenol. 111 : 174, 1971.
 7. 유명진 : 6MV 전자선형가속기 광자선의 전자오염에 관한 연구. 이학박사 논문, 부산대학교, 1988.
 8. Gagnon WF, Grant W : Surface dose from megavoltage therapy machines. Radiol. 117 : 705-708, 1975.
 9. Kahn FM : Use of electron filter to reduce skin dose in cobalt therapy. Am. J. Roentgenol. 111 : 180-181, 1971.
 10. Orton CG, Seibert JB : Depth dose in skin for obliquely incident Co-60 radiation. Br. J. Radiol. 45 : 271-275, 1972.
 11. Rao PS, Pillai K, Gregg EC : Effect of shadow trays on surface dose and build-up for megavoltage radiation. Am. J. Roentgenol. 117 : 168-174, 1973.
 12. Saylor WL, Quillin RM : Methods for the enhancement of skin sparing in cobalt-60 teletherapy. Am. J. Roentgenol. 111 : 174-179, 1971.
 13. Gray L : Relative Surface doses from supervoltage radiation. Radiol. 109 : 437-442, 1973.
 14. Hughes HA : Measurements of superficial absorbed dose with 2MV X-rays used at glancing angles. Br. J. Radiol. 2 : 255-258, 1959.
 15. Jackson W : Surface effects of high-energy Xrays at oblique incidence. Br. J. Radiol. 44 : 109-115, 1971.
 16. Jacobsen A, Birkhead BM, Scott RM : Correlation of Physical characteristics of 4MV X-ray beams with skin reactions of patients undergoing radiation therapy. Radiol. 112 : 203-207, 1974.
 17. Andrew WU : Effect of an acrylic resin tray on relative surface doses for 10MV X-ray beams, Int. J. Radiation Oncology Biol phys, Vol. 6, 1257-1260.
 18. Hine GD : Scattering of secondary electrons produced by gamma rays in materials of various atomic numbers. Phys Rev. 82 : 755, 1951.
 19. Doppke K, Novack D, Wang CC : Physical considerations in the treatment of advanced carcinomas of the larynx and pyriform sinuses using 10MV X-rays. Int. J. Radiat Oncol Biol Phys. 6 : 1251, 1980.
 20. 이호수, 이종걸, 이병준 : 두경부암 치료를 위한 6MV X선 산란판의 제작과 산란분포 측정. 대한방사선기술학회지, 7(1), 176-184, 1995.