

Alcyon Co-60 감마선의 전자오염

부산대학교 의과대학 치료방사선과학교실

유 명 진 · 김 동 원

인제의대부속 부산백병원 치료방사선과학교실

김 철 수

부산대학교 자연과학대학 물리학과학교실

정 운 혁

= Abstract =

Contamination of an Alcyon Co-60 Gamma rays by Electrons

Meong-Jin Yoo, M.S. and Dong-Won Kim, M.D.

Department of Therapeutic Radiology, Pusan National University Hospital, Pusan, Korea

Chul-Soo Kim, M.D.

Department of Radiation Oncology, Pusan Paik Hospital, Pusan, Korea

Woon-Hyuk Chung, Ph.D.

Department of Physics, Pusan National University, Pusan, Korea

The Alcyon Co-60 gamma rays was studied for electron contamination. The surface dose, attributable almost entirely to contamination electrons, has a linear dependence on field width for square fields and an inverse square dependence on distance from the bottom of the fixed head assembly. Build-up and surface dose measurements were taken with and without an acrylic blocking tray in place. Further measurements were made with a copper filter designed to reduce secondary electrons emitted by photon interactions with the acrylic tray. The results are discussed in relation to skin sparing effect for radiation therapy patients. And to achieve the maximum skin sparing effect, the selection of the optimum SSD and TSD is needed.

Key Words: Electron contamination, Electron filter, SSD, TSD, Surface dose

서 론

심부에 위치하고 있는 종양을 치료할 때 사용되는 MV X-선과 γ -선의 장점들 중 하나는 피부보호 효과이다. 그러나 만약 광자선이 2차 전자로 심하게 오염된다면 피부보호효과는 감소되거나 상실될 수도 있다는 것이 알려져 왔다¹⁻³⁾.

⁶⁰Co이나 MV 에너지 영역에서 표면선량의 주된 원

인중의 하나는 전자 오염이라 할 수 있는데 그 오염의 정도는 source housing과 collimator assembly의 설계 그리고 blocking tray의 존재 유무에 달려있다. 광자선의 오염원은 2차 전자가 대부분이지만 저-에너지 광자도 포함시켜야 한다고 Scrimger등⁴⁾은 주장하였다. 코발트 원격치료 장치에서 선원으로부터 나오는 γ -선은 source capsule, collimator 등의 물체들과 Compton 상호작용을 하게된다. 이때 Compton 산란전자(2차 전자)가 생성된다. 선속내에 tray와 같은 부속물

이 존재할 때는 더 많은 2차 전자가 생성된다. 2차 전자들의 에너지는 1 MeV 이하이므로 2차 전자들은 피부 표면에서 조직의 몇 mm 이내로 흡수된다. 따라서 표면 선량은 증가하게 되어 피부보호효과는 감소될 것이다.

Leung과 Johns⁵⁾ 그리고 Smith와 Surtherland⁶⁾는 작은 조사야의 전자 오염은 무시할 수 있지만 큰 조사야에서는 피부표면과 collimator system 끝 사이의 거리가 15~20 cm 일 때는 상당한 전자 오염이 나타난다고 지적하였다. 전자 오염을 최소화 할 수 있는 방법들으로써 선원과 피부 표면 사이의 적절한 거리 유지와 전자 filter의 설치를 들 수 있다.

Hine^{7,8)}에 의하면 중간 영역 원자 번호의 물질로 된 전자 filter를 사용하면 표면 선량을 현저히 감소시킬 수 있고 또 투명 납유리나 납을 포함하는 acryl도 어떤 에너지에 대해서는 효과적인 전자 filter의 기능을 한다고 하였다. Petti⁹⁾은 표면선량을 결정하는 중요한 변수인 선원에서 표면까지 거리(Source-Surface Distance, SSD)와 tray에서 표면까지 거리(Tray-Surface Distance, TSD)에 대한 연구를 하였다.

본 연구는 Alcyon ⁶⁰Co 장치틀 이용하여 첫째, polystyrene phantom surface에서의 전자 오염을 조사야의 크기를 변화시켜가며 관찰하였다. 둘째, blocking tray가 선속 내에 존재할 때 표면선량의 변화를 관찰하였다. 셋째, 전자 오염을 차단하기 위해 중간 영역 원자 번호인 구리 filter를 tray 아래에 부착하여 전자 filter의 효과를 분석하였다. 넷째, 최대 선량 깊이(0.5 cm)에서 광자선속의 감쇠를 open beam (tray out), tray in, tray+filter의 조건에서 측정하여 감쇠 정도를 구하였다. 끝으로 SSD 또는 TSD에 의존하는 상대적인 표면선량의 변화를 구하였고 또 최고의 피부보호 효과를 유지할 수 있는 SSD 또는 TSD를 구하였다.

실험장치 및 방법

γ -선 발생장치로써 Alcyon ⁶⁰Co을 사용하였다. 검출기로 exposure rate meter (CAPINTEC, 192X)와 더불어 0.6 ml 부피의 ionization chamber (CAPINTEC, PR-60C) 및 0.5 ml PTW (Thin Window Parallel-Plate) ionization chamber (CAPINTEC, PS-033)를 사용하였다. PTW의 window는 3.6 μ m (0.5 mg/cm²) aluminized polyester 필름으로 되어 있다. phantom

물질은 polystyrene이며 두께는 여러 종류(2" 6개, 1" 1개, 1/2" 1개, 1/4" 1개, 1/16" 2개)가 있는데 그중에서 2" 2개에 ionization chamber가 들어갈 수 있는 구멍이 뚫려 있다. tray는 두께 5 mm의 acryl 물질로 되어 있다. 사용한 전자 filter는 두께 0.75 mm(순도 99.9%) 구리이다. chamber는 보통 실온에서 사용되도록 제작 회사에서 조정된다. 그러나 실제로는 치료실내의 환경적 조건들이 제작회사의 그것과 꼭 같지 않으므로 chamber는 적절히 보정되지 않으면 안된다. ⁶⁰Co의 최대 선량 깊이 (0.5 cm)에서 광자선속의 감쇠 측정을 위해서 두 ionization chamber를 비교 사용하였다. phantom 표면으로부터 깊이 0.5 cm 지점에 chamber를 설치하고 SSD 80 cm으로 맞췄다. 조사야 크기를 5×5 cm²에서 30×30 cm²까지 변화시켜가며 open beam, 선원으로부터 59 cm 지점에 tray를 위치한 tray in, tray 밑에 filter를 부착한 tray+filter에서 각각 측정하였다. 선원에서 tray까지 거리(Source-Tray Distance, STD)는 59 cm이었다.

표면선량 측정을 하기 위해 PTW ionization chamber를 사용하였으며 chamber는 phantom 표면에 설치되고 SSD는 80 cm으로 하였다. 조사야 크기는 5×5 cm²내지 30×30 cm²로 하였고 open beam, tray in, tray+filter에서 각각 측정하였다. 후방산란비율 (Back Scatter Factor, BSF: 본문의 고찰 부분 참조)을 구하기 위해 build-up cap이 있는 ionization chamber (PR-06C)를 사용하여 공기중에서 측정하였다. 선원에서 chamber까지 거리(Source-Chamber Distance, SCD)를 80 cm으로 하였다. SSD 또는 TSD에 따른 선량 변화 측정은 SSD를 65 cm~100 cm까지 TSD를 6 cm~41 cm까지 5 cm 단위로 변화시켜가며 open beam과 tray in에서 각각 측정하였다. 조사야 크기는 5×5 cm², 20×20 cm², 35×35 cm² 세개를 선택하였다. 사용한 chamber는 PTW ionization chamber였다.

결 과

1. 최대선량깊이 (0.5 cm)에서 광자선의 감쇠

조사야 크기가 증가하면 선량도 점차 증가하는 것을 Fig. 1,2에 나타내었다. 두 그림을 비교하면 polystyrene phantom에서의 선량이 많은 것을 볼 수 있다.

조사야가 커질수록 선량 차이가 많은 것을 볼 수 있다. Fig. 3은 공기중과 phantom에서의 측정 결과를 토대로 BSF를 나타낸 것으로써 조사야가 커지면 BSF의 값도 커짐을 볼 수 있다. Fig. 4에 PTW ionization chamber

(PS-033)를 사용할 때 조사야 크기에 의존하는 선량을 나타내었다. (PR-06C) ionization chamber를 사용한 Fig. 2와 비교하면 두 chamber의 오차는 약 1~3rad 로써 큰 조사야에서 약간 더 많은 오차가 있다. Fig. 5에 tray in과 tray+filter의 결과를 open beam에 비교했을 때의 상대적인 광자선의 감쇠를 나타내었다. tray in/open beam 경우, 같은 chamber(PR-06C)를 사용했을 때 공기중과 phantom에서의 감쇠율은 조사야 크기 $15 \times 15 \text{ cm}^2 \sim 20 \times 20 \text{ cm}^2$ 일 때, 공기중에서 약간 많았지만 그 정도는 1%미만이었고 다른 크기의 조사야에서는 거의 같았다.

그러므로 공기중 과 phantom에서의 상대적인 감쇠율의 차이는 거의 없다고 할 수 있다. 같은 phantom에서 두 chamber를 사용했을 때 감쇠율을 비교하면 작은 조사야에서 1% 미만의 차이가 났지만 전체적으로 볼 때 거의 같다고 할 수 있다. tray+filter/open beam 경우의 감쇠는 같은 phantom과 같은 PTW ionization chamber (PS-033)를 사용했을 때의 tray in/open beam 경우보다 더 많다. 작은 조사야에서의 감쇠가 큰 조사야에서의 감쇠보다 많다.

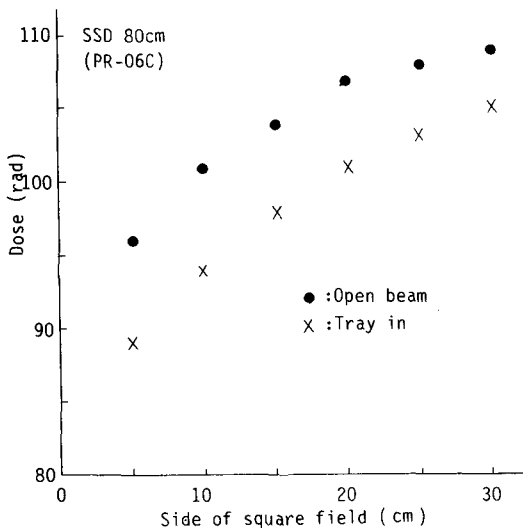


Fig. 1. Dose in air.

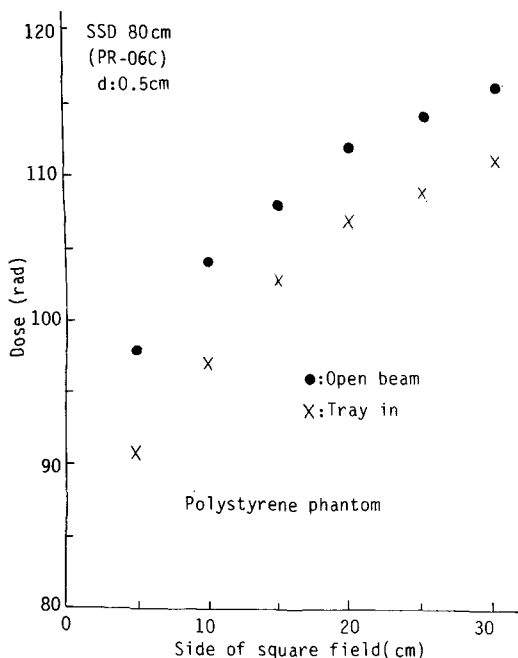


Fig. 2. Dose in medium.

2. 표면의 전자오염과 구리 Filter의 효과

Fig. 6은 표면의 심부선량백분율(Percentage Depth

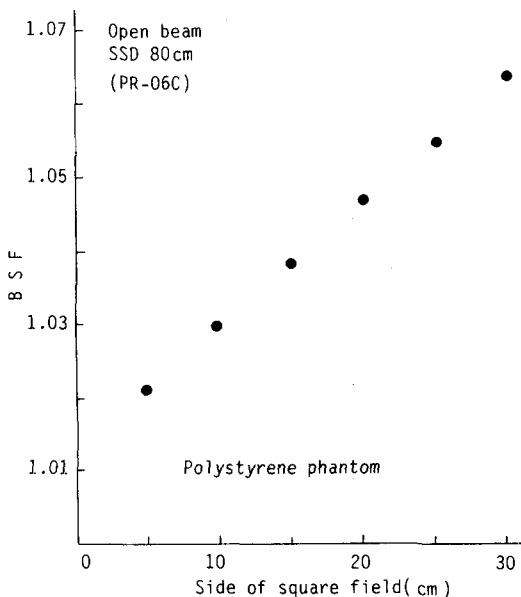


Fig. 3. Back scatter factor.

Dose, PDD)을 나타낸 것이다. Fig. 6을 보면 표면의 PDD는 조사야 크기가 증가하면 높아지는 것을 볼 수 있다. tray in 일 때의 PDD는 open beam보다 높다. 조사야 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 까지는 open beam과 거의 비슷하지만 조사야가 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 보다 커지면 open beam 보다 높은 것을 볼 수 있다. tray+filter를 사용했을 때 표면의 PDD는 현저하게 감소하는 것을 볼 수 있다. tray+

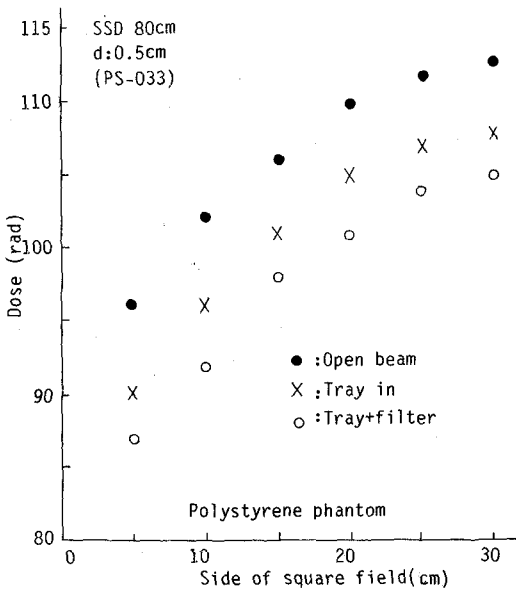


Fig. 4. Dose in medium.

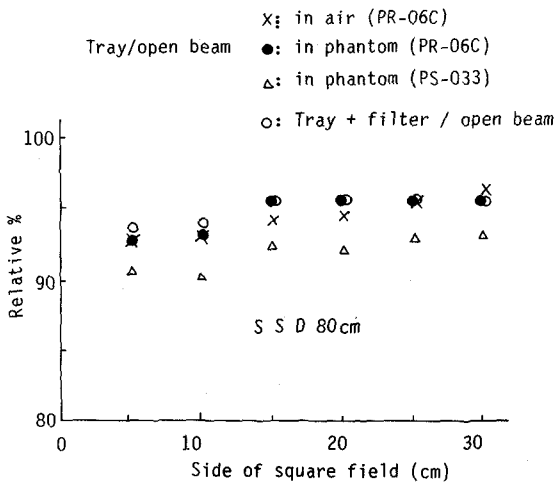


Fig. 5. Attenuation of photon beam at depth 0.5 cm.

filter와 tray in의 PDD 값을 비교하면, 조사야 $5 \times 5 \text{ cm}^2$

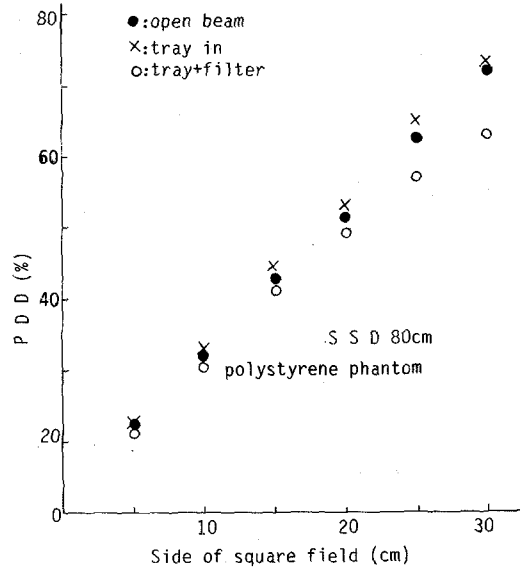


Fig. 6. PDD of surface.

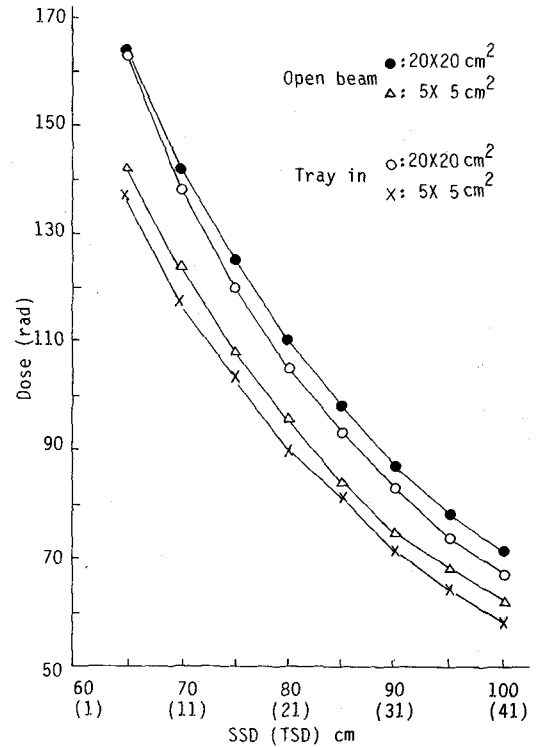


Fig. 7. Dose depending on SSD at depth 0.5 cm in polystyrene phantom. * ()는 TSD를 나타냄

일 때 두 값은 거의 비슷했지만 조사야가 5×5 cm² 보다 커지면 두 값은 점점 벌어짐을 볼 수 있다.

3. SSD와 TSD에 의존하는 선량

Fig. 7에 최대선량 깊이(0.5 cm)에서 SSD에 따라 변하는 선량을 나타내었다. 같은 조사야 일때 tray in 경우는 open beam보다 적은 선량을 기록하고 있다. 이는 tray에 의한 감쇠 때문이다. 그리고 어떤 크기의 조사야에서도 선량 곡선의 기울기는 거의 균일하다고 할 수 있다. Fig. 8에 SSD에 의한 표면선량 변화를 나타내었다. 같은 조사야 일때 SSD가 80 cm보다 짧으면 tray in이 open beam보다 많은 선량을 나타내고 있고 SSD가 80 cm보다 길면 open beam이 tray in 보다 약간 많은 선량을 나타내고 있다. open beam, tray in 두 경우 모두 SSD가 길어지면 선량은 감소한다. 두 곡선의 경사도는 조사야가 클때 가파르다. 같은 조사야일 때 tray in 곡선의 경사도가 open beam 곡선보다 가파르다. 그

리고 선량 곡선의 경사가 급할 때는 SSD가 짧을 때이다.

4. SSD와 TSD에 의존하는 표면의 PDD

Fig. 9 및 10에 SSD와 TSD에 의존하는 표면의 PDD를 나타내었다. Fig. 9는 open beam 일때를 나타낸다. 조사야 크기 20×20 cm² 일때 표면의 PDD는 SSD가 길어지면 낮아지는 것을 볼 수 있는데 SSD 80 cm 이후부터는 완만하게 낮아지는 것을 볼 수 있다. 이보다 길거나 짧은 SSD에서는 높은 것을 볼 수 있다. Fig. 10은 tray in 일때를 나타낸다. 조사야 크기 20×20 cm² 일 때 표면의 PDD는 TSD가 길어지면 낮아지는데 그 낮아지는 폭은 open beam 때보다 크다. TSD 26 cm 이후부터는 완만하게 낮아지는 것을 볼 수 있다. 조사야 크기 5×5 cm² 일때 표면의 PDD는 TSD 21 cm~26 cm에서 가장 낮고 이보다 길거나 짧은 TSD에선 높은 것을 볼 수 있다.

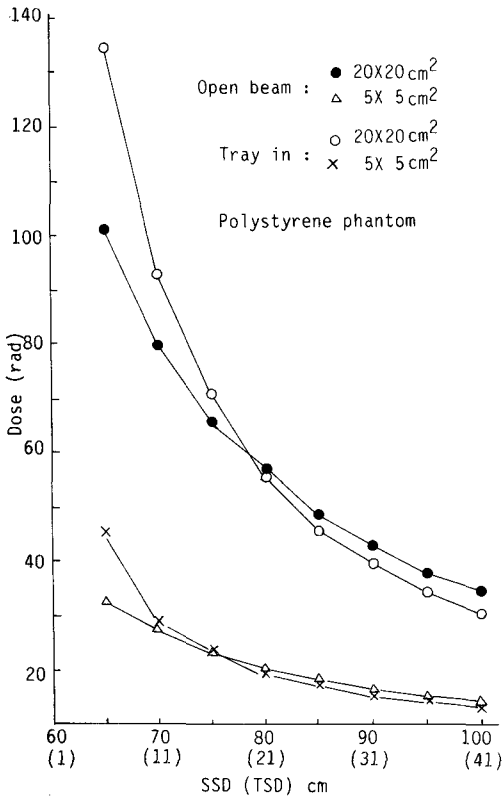


Fig. 8. Dose depending on SSD at surface.

고 찰

광자선의 감쇠는 조사야가 클때 작다. 이는 조사야가 커지면 산란 성분이 증가하기 때문이다. 평판 tray보다

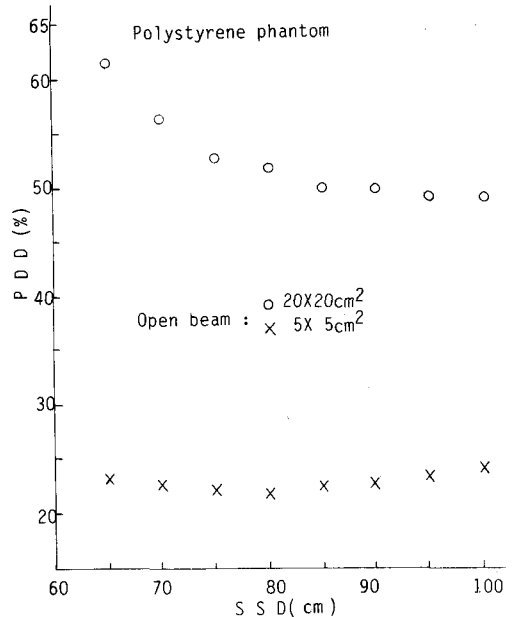


Fig. 9. PDD of surface depending on SSD.

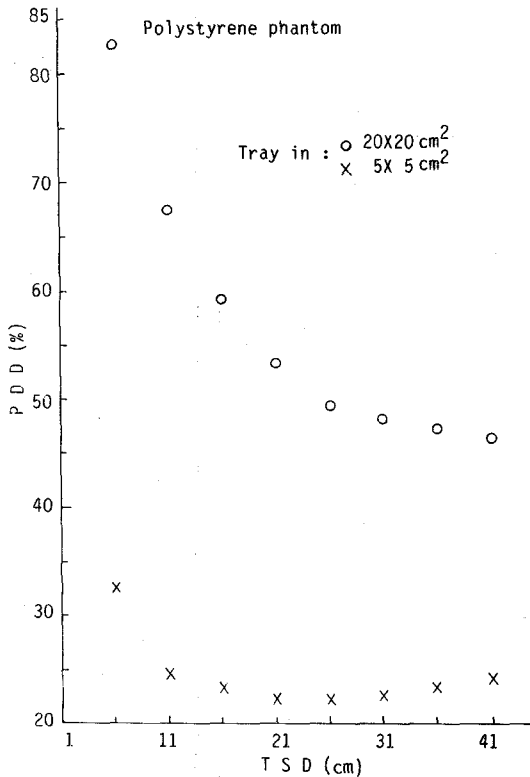


Fig. 10. PDD of surface depending on TSD.

구멍이 뚫려 있는 tray를 사용하면 광자선의 감쇠는 덜 일어날 것이다. BSF는 다음과 같이 주어진다.

$$BSF = D_{max}/D_{fs} \text{ 또는 } BSF = TAR(d_m, r_{dm})$$

여기서 D_{max} 는 phantom내의 최대선량 깊이에서 선량을 나타내고 D_{fs} 는 free space(공기중)에서의 선량을 나타낸다. 이때 SCD는 D_{max} 경우와 같다. r_{dm} 은 최대선량 깊이에서 조사야, d_m 은 최대선량 깊이를 나타낸다. BSF는 선원으로부터의 거리에 독립이고 단지 선질과 조사야 크기에만 의존한다. 표면의 PDD는 tray in 일때가 open beam보다 높다. 이는 광자선의 tray에서의 Compton 산란으로 2차 전자가 생성되어 이 2차 전자들이 광자와 함께 표면에 도달하기 때문이다. Hine^{7,8)}에 의하면 중간영역 원자번호의 물질이 원자번호가 낮거나 높은 물질보다 전자들을 전방 방향으로 덜 산란시키므로 표면 선량을 감소시키기 위해서는 tin, copper, lead, leaded glass, leaded acryl 같은 중간영역 원자번호의 물질이 전자 filter로써 유용하다고 하였다. Huang¹⁰⁾은 STD 47.5 cm인 Theratron 80 Co-60 장

치를 이용한 연구에서 전자 filter로써 S-type leaded acryl을 사용했을 때의 전자 오염 감소 효과를 분석하였는데, 조사야 크기 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 경우 1.1% 감소 효과가 있었으며 $25 \times 25 \text{ cm}^2$ 경우 약 8.5% 감소를 보였다고 하였다. 본 연구에서 사용한 γ -선 발생장치인 Alcyon ⁶⁰Co 은 STD가 59 cm이고 통상 SSD 80 cm 일때 TSD는 21 cm이다. 저자가 사용한 전자 filter는 두께 0.75 mm 구리였다. 본 연구에서 구리 filter를 사용했을 때 전자오염 감소 효과 혹은 표면의 PDD 감소 효과를 보면 조사야 $5 \times 5 \text{ cm}^2 \sim 30 \times 30 \text{ cm}^2$ 에서 1.9% ~ 10.3%까지 PDD가 감소하는 것을 볼 수 있었다. Zwicker¹¹⁾은 45 MV photon beam에서 높은 원자번호인 납을 전자 filter로 사용했을 때 납은 surface의 전자오염을 전혀 감소시키지 못하고 오히려 표면 PDD는 증가한다는 것을 보여 주었다. 그러므로 전자 filter 물질을 사용함에 있어서 적절한 원자번호의 선택과 두께에 대한 연구는 앞으로 계속되어야 할 것으로 본다. 한편 전자 filter의 두께는 2차 전자의 비정에 따라 달라진다. 그러나 두께가 두꺼우면 광자선의 감쇠가 증가한다는 것에 유의해야 된다. 본 연구에서, tray+filter/open beam 경우의 감쇠는 작은 조사야에서 9.4%이고, 큰 조사야에서 6.9%를 보이고 있다. tray in/open beam 경우의 감쇠는 작은 조사야에서 6.5%이고, 큰 조사야에서 4.4%를 보이고 있다. SSD와 TSD에 의존하는 PDD를 살펴보면, open beam, tray in 두 경우 모두 조사야가 클때는 SSD 또는 TSD가 길어질수록 표면의 PDD는 낮아지고 조사야가 작을 때는 어떤 특정한 SSD 또는 TSD에서 가장 낮은 PDD를 보이고 있다. 그 이유는 Fig. 7 및 8을 보면, 큰 조사야 $20 \times 20 \text{ cm}^2$ 일때 최대선량 깊이에서 선량 곡선의 기울기는 SSD 또는 TSD에 따라 일정한 것에 비해 표면 선량 곡선의 기울기는 짧은 SSD 또는 TSD에서 급한 경사를 이루고 있기 때문에 표면의 PDD는 짧은 SSD 또는 TSD에서 가장 높다. 그러나 작은 조사야 $5 \times 5 \text{ cm}^2$ 일때는, 최대선량 깊이에서 선량 곡선의 기울기는 SSD 또는 TSD에 따라 일정한 것에 비해 표면선량 곡선의 기울기는 조사야 $20 \times 20 \text{ cm}^2$ 때 보다 훨씬 완만한 경사를 나타내고 있어 SSD 또는 TSD가 길때의 선량은 짧은 때에 비교하여 크게 떨어지지 않기 때문이라고 생각된다. 따라서 작은 조사야 $5 \times 5 \text{ cm}^2$ 일때, 상대적인 PDD는 SSD 또는 TSD가 짧거나 길 때의 값이 중간거리때 보다 높다. 표

면의 PDD가 높다는 것은 전자오염이 많다고 말할 수 있다. 표면의 PDD가 급속히 증가하는 때는 조사야가 크고 TSD가 21 cm 보다 짧을 때이다. 이때는 표면의 PDD를 감소시키기 위해서 전자 filter를 부착해야 함을 알 수 있다. 또 최대의 피부보호 효과를 유지할 수 있는 SSD와 TSD는 표면의 PDD가 제일 낮은 지점을 말한다. 그래서 최대의 피부보호 효과를 내기 위한 SSD와 TSD는 첫째, tray in 일때, 조사야 5×5 cm² 경우 TSD 21 cm 부근이고 조사야 20×20 cm² 경우는 TSD 41 cm 부근이었다. 조사야가 20×20 cm²보다 클 때는 TSD가 더 길면 더 좋은 피부보호 효과를 유지할 수 있을 것으로 생각되지만 TSD 50 cm 이상은 현재의 치료 기법상 불가능 할 것으로 판단된다. 둘째, open beam 일 때 조사야 5×5 cm² 경우는 SSD 80 cm 부근이고, 조사야 20×20 cm² 경우는 SSD 100 cm이었다. Saylor와 Quillin¹²⁾은 ⁶⁰Co γ-선에 대해 조사야 크기와 TSD 사이의 상대적인 중요성을 강조했다. 그들은 최적의 피부보호 효과는 h/r 값이 약 4일때 일어난다고 했다. 여기서 h는 TSD이고 r은 동일 원형 조사야의 반경이다. 위 이론에 의하면 조사야 5×5 cm² 경우, 최대의 피부보호 효과를 유지할 수 있는 TSD는 11.28 cm이고 조사야 20×20 cm² 경우, TSD는 45 cm이다. 본 연구에서는 조사야 5×5 cm² 경우, 최적의 TSD는 21 cm 이었고 조사야 20×20 cm² 경우, 41 cm이었다. Saylor와 Quillin의 이론과 차이가 있는 이유는 각 ⁶⁰Co 장치마다 STD가 다르고 사용한 tray의 재질과 두께가 Saylor와 Quillin이 사용한 것과 다르기 때문이라고 생각할 수 있다. 그러나 field size 20×20 cm² 일때 본 연구에서는 TSD 41 cm까지만 측정했으나 TSD가 더 길면 더 좋은 피부보호 효과를 유지할 수 있을 것으로 사료된다.

결 론

1. 최대선량 깊이에서 광자선의 상대적인 감쇠율은 tray in의 경우, 측정된 전체 조사야 크기에 대해 평균 5.1%였고 tray+filter의 경우, 평균 8.2%를 보였다. 조사야가 클수록 감쇠율은 적었다.

2. 표면의 전자오염은 조사야가 클 때 많았다. open beam 일때 표면의 PDD는 조사야 5×5 cm²~30×30 cm²까지 21.9~72.6%를 나타내었다. 5 mm 두께 acryl tray를 사용했을 때 표면의 전자오염은 더 증가하였다.

tray in 경우의 PDD는 open beam보다 최고 3.1%까지 증가하였다. 표면의 전자오염을 감소시키기 위해서 0.75 mm 두께의 구리 filter를 부착하였다. 이때 구리 filter는 표면의 PDD를 1.9~10.3%까지 감소시키는 효과를 보였다. 구리 filter의 효과는 큰 조사야에서 컷음을 알 수 있었다.

3. SSD와 TSD에 의존하는 표면의 PDD를 살펴보면, 조사야가 클 때는 SSD 또는 TSD가 길어질수록 PDD는 낮아지는 것을 볼 수 있었고, 조사야가 작아지면 가장 낮은 PDD를 나타내는 SSD와 TSD는 짧은 거리 쪽으로 이동함을 볼 수 있었다. tray in일 때가 open beam 일 때보다 높았고, tray in에서 PDD가 높을 때는 조사야가 크고 TSD가 짧을 때였다. 조사야가 20×20 cm²보다 크고 동시에 TSD가 21 cm보다 짧을 때는 표면의 PDD가 급속히 증가하였다.

4. 최대의 피부보호 효과를 유지할 수 있는 SSD와 TSD는 표면의 PDD가 가장 낮은 지점을 말한다. 첫째, open beam일 경우, 조사야 5×5 cm² 일때 최적의 SSD는 80 cm이었고 조사야가 20×20 cm²일 때는 100 cm이었다. 둘째, tray in일 경우, 조사야가 5×5 cm²일 때 최적의 TSD는 21 cm이었고 조사야 20×20 cm²일 때는 41 cm이었다.

REFERENCES

1. McGovern JM, Keyes WI, Brown LD: Reducing electron contamination of cobalt-60 teletherapy beams. Br J Radiol 52:748-749, 1979
2. Padikal TN, Deye JA: Electron contamination of a high-energy X-ray beam. Phys Med Biol 23:1086-1092, 1978
3. Velkely DE, Manson DJ, Purdy JA, Oliver GE: Build-up region of megavoltage photon radiation sources. Med Phys 2:14-19, 1975
4. Mackie TR, Scrimger JW: Contamination of a 15-MV photon beam by electrons and scattered photons. Radiology 144:403-409, 1982
5. Leung PMK, Johns HE: Use of electron filters to improve the build-up characteristics of large fields from cobalt-60 beams. Med Phys 4:441-444, 1977
6. Smith CW, Sutherland WH: Electron contamination of telecobalt beams. Br J Radiol 49:562-563, 1976
7. Hine GD: Scattering of secondary electrons produced by gamma rays in materials of various atomic numbers. Phys Rev 82:755, 1951
8. Hine GD: Secondary electron emission and effec-

- tive atomic numbers. *Nucleonics* 10:9, 1952
9. **Petti PL, Goodman MS, Sisterson JM:** Source of electron contamination from the Clinac-35 25-MV photon beam. *Med Phys* 10:856-860, 1983
 10. **Huang D, Williams S, Chaney E, Long F:** Evaluation of lead acrylic as a filter for contaminant electrons in megavoltage photon beam. *Med Phys* 10:93-95, 1983
 11. **Zwicker RD, Wu A, Curran BH, Sternick ES:** Electron contamination due to Lucite in a 45-MV photon beam. *Med Phys* 11:534-538, 1984
 12. **Saylor WL, Quillin RM:** Methods for the enhancement of skin sparing in cobalt 60 teletherapy. *Am J Roentgenol* 111:174, 1971
-