

조사면 경계밖의 주변선량분포 (6MV X선)

서울대학교병원 치료방사선과

박영환 · 안희용 · 박진홍 · 최계숙 · 박흥득

I. 서 론

현재 방사선 치료의 발달로 각종 악성 종양환자의 생존율이 높아져 방사선 치료시 조사야 주변의 방사선량에 의한 만성적 장애가 문제시 되고 있다.

방사선 조사시 조사면을 벗어나는 산란선, 반발 전자 및 2차 X-선 즉 주변선량은 방사선 감수성이 예민한 인접장기에 영향을 끼쳐 이로 인한 부작용 및 후유증의 유발로 백내장, 생식기능 장애, 백혈병, 유방암, 갑상선암, 폐암 등 방사선에 의한 만성적 장애등을 일으킬 수가 있다고 하겠다. 이러한 만성적인 방사선 장애를 일으킬 수 있는 정상 조직의 피폭선량은 치료를 위한 총계획 선량의 0.1 ~ 3%에 해당하므로 주변선량에 대한 재평가와 주변선량을 감소시키기 위한 연구는 만성적 장애를 감소시키는데 매우 중요한 의미를 갖는다 하겠다.

주변선량에 영향을 주는 요인 및 발생인자로는 방사선의 종류 및 에너지, 조사야의 크기, 치료기기의 부속물 등이 있다.

주변선량의 발생인자로는 크게 내부인자와 외부인자로 나누어 생각해 볼 수 있다.

(그림 1 참조)

내부인자로는 조사야내 피사체에서의 산란 선량이 있고 외부인자로는 치료기 장치의 조리개, flattening filter 와 공기층 (air column), 설상 필터 (Wedge filter) 사용시 설상필터에 의한 산란선 및 반발전자등이 있다. 이러한 6MV X-선의 주변선량을 측정하기 위하여 물팬텀 (Water phantom) 속에서 이차원 자동제어 장치

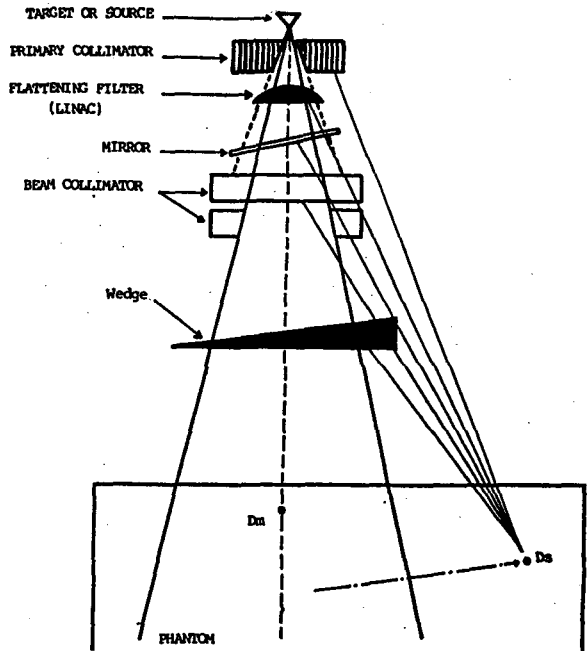


Fig1. Diagram showing origins of radiations that contribute to the peripheral dose

와 Silicon diode를 이용한 개조사야 (open field) 시와 설상필터를 사용했을 때를 비교 실험하였다.

II. 본 론

1) 측정장비

○선형가속장치 (clinac 6/100:varian) 6MV

X-ray

- 물팬텀 (Water phantom)
- 실리콘 다이오드 측정기 (Pn type: Therados)
- 이차원 자동제어 장치 (BDS-2 type: Therados)
- X-Y 기록계
- 설상필터 (Wedge filter) 15°, 30°, 45° 60°

2) 측정방법

①개조사야(open field)시 주변선량측정
 개조사야시의 주변선량을 측정하기 위하여 선원으로부터 물표면까지의 거리를 100 cm에 놓고 조사야 크기가 증가할수록 주변선량이 증가한다는 가정하에 조사야 크기를 (5×5 cm, 10cm×10cm, 15 cm×15 cm, 20 cm×20 cm) 증가시켜 가면서 조리개의 기하학적인 위치에 의한 주변선량을 비교하기 위하여 Y축인 상부조리개 (선원으로부터 27.5 cm 거리에 위치) 방향과 하부조리개 (선원으로부터 37.5 cm 거리에 위치) 방향에서의 주변선량 분포 차이를 알아보기 위하여 두방향 모두에 대하

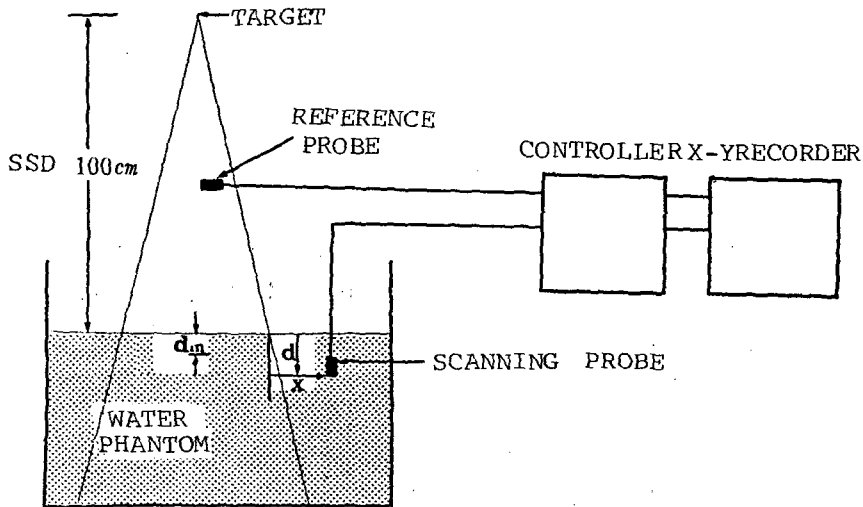
여 측정하였다.

그리고 조사야 경계면으로부터의 거리에 따른 변화를 관찰하기 위하여 물표면하 1.5 cm, 5 cm, 10 cm 깊이에서 수평으로 15 cm까지 측정하였고 물 표면으로부터 깊이에 따른 선량분포의 변화를 관찰하기 위하여 조사야 경계면으로부터 5 cm, 15 cm 거리에서 수직으로 15 cm 깊이까지 측정하였다.

②설상필터 (Wedge filter) 사용시 주변선량 측정

설상필터를 이용하여 조사했을 때의 주변선량 분포를 측정하기 위하여 선원-물표면간 거리를 100 cm에 놓고 조사야 크기를 5×5 cm, 10×10cm 15×15 cm으로 증가시켜 가면서 조리개 방향성에 의하여 주변선량분포가 큰 상부조리개방향에서 설상필터의 두꺼운 방향과 얇은 방향에서의 주변선량을 비교하기 위하여 개조사야시의 측정방법과 동일하게 수평으로 거리에 따른 변화와 수직으로 깊이에 따른 변화를 측정하였다.

이상과 같은 방법으로 주변선량을 측정하는 과정을 그림 2에서 보여 주고 있다.



SSD: source to surface distance
 dm: depth of maximum dose on beam axis
 d: depth from water surface
 x: distance from field margin

Fig2. Schematic diagram showing experimental set up

물팬통내에 실리콘다이오드(Silicon diode)를 물표면과 수직되게 설치하여 이것을 스캐닝(Scanning)함에 따라 실리콘 다이오드에 들어오는 선량을 조사범위내에 고정시켜 놓은 기준 측정기(reference probe)의 선량에 대한 비(比)로써 X-Y 기록계에 그려지도록 장치한 것으로 X-Y 기록계에 의해 얻어진 모든 측정치는 선측상 최대치에 대한 백분율로써 나타내었다.

3) 결과

① 조리개의 위치에 따른 주변선량의 변화 (그림 3)

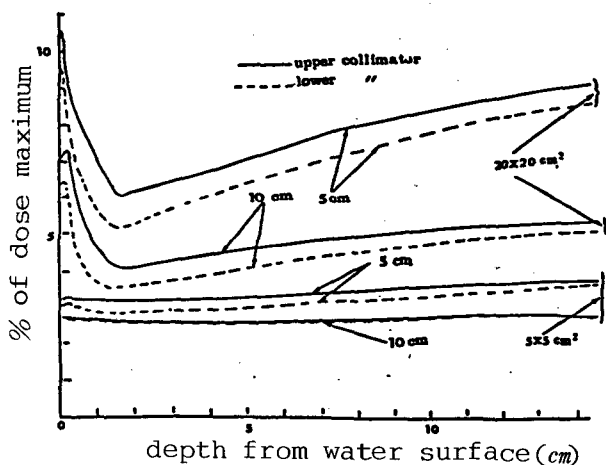


Fig3. Peripheral doses between upper and lower collimator positions for $20 \times 20 \text{ cm}^2$, $5 \times 5 \text{ cm}^2$ field size at 5, 10 cm distance from field margin

조리개의 기하학적인 위치에 의해 상부조리개 방향과 하부조리개 방향의 선량분포가 어떠한 차이를 나타내는가를 알아본 것으로서 조사야가 $5 \times 5 \text{ cm}$ 과 $20 \times 20 \text{ cm}$ 인 것에 대하여 조사면 경계로부터 5 cm, 10 cm 거리에서 수직으로 깊이에 따른 변화를 관찰한 것이다.

조사야 범위가 큰 $20 \times 20 \text{ cm}$ 에선 조사면 경계밖 5 cm 되는 곳에서 수직으로 5 cm 깊이에서의 선량은 상부조리개 방향이 6.9%, 하부조리개 방향에선 6.1%, 10 cm 깊이에선 각각 8.2%, 7.4%

로써 상부조리개 방향에서의 주변선량 분포가 약 0.8% 크다는 것을 알 수 있고 조사면 경계밖 10 cm 되는 곳에서 수직으로 5 cm 깊이에선 4.6%, 3.9%이고 10 cm 깊이에선 5.1%, 4.6%로 상부조리개 방향이 약 0.5% 정도 크고 조사야 범위가 작은 $5 \times 5 \text{ cm}$ 에선 선량분포 차이가 0.5% 이내로 그 차이가 작아짐을 알 수 있다.

이와같이 조리개의 기하학적인 위치에 따라 주변선량분포 차이가 있는 것은 선형가속기(Linear accelerator)의 경우 조리개가 정상적인 위치에 있을 때 상부조리개가 하부조리개 보다 약 10 cm 정도 상부에 위치하여 그만큼 쏠점(target)과의 거리가 가까울 뿐만 아니라 쏠점(Target)과의 대하는 각도가 커져 X-선과의 충돌이 많아짐으로써 이로 인해 발생하는 반발 전자 및 산란선이 증가하고 보다 넓은 각으로 퍼짐으로써 상부조리개 방향의 주변선량분포가 비록 1% 이내의 근소한 차이지만 더 증가하여 나타난 것으로 사료된다.

② 거리에 따른 주변선량과 조사야 크기와의 관계 (그림 4)

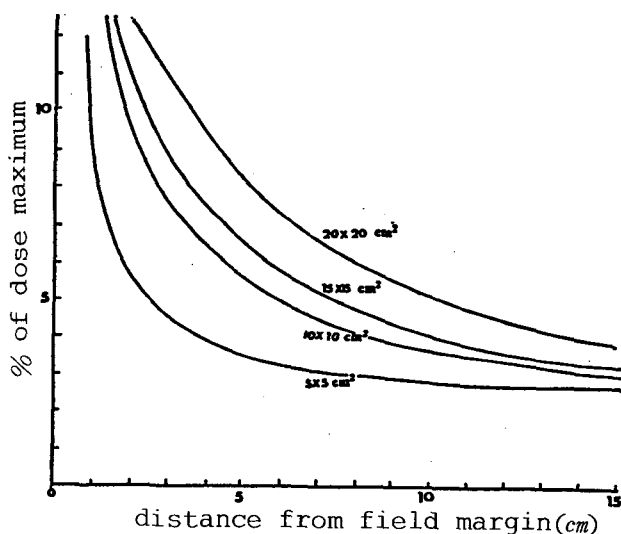


Fig4. Comparison of peripheral doses for 4 different field sizes at 10 cm depth from water surface

개조사야시 수표면 10 cm 깊이에서 조사면 경계로부터 수평으로 거리에 따른 주변선량분포를 각 조사야에 따라 비교하여 본 것이다. 조사야가 커질수록 Compton 단면적이 커지고 또한 총 Compton 계수와 산란계수가 증가하므로 조사야내에서 밖으로 튀어나가는 반발전자 및 산란선 그리고 2차 X-선 등이 증가하기 때문인 것으로 생각된다.

다. 그리고 조사면경계에서 멀어질수록 주변선량 분포가 작아지기 때문인 것으로 생각된다.

좀더 구체적으로 모든 측정치의 표준이 되는 10 × 10 cm 에서 살펴보면 조사면 경계로부터 5 cm, 10 cm, 15 cm 떨어진 곳에서 최대선량지점 (Dmax) 에 대한 주변선량은 5.4 %, 3.6 %, 2.9 % (Table 1 참조)로써 경계면으로부터 15 cm 떨

Table 1. Peripheral dose of 6MV X-ray, open field with upper and lower collimator position

Field size	Depth (cm)	Distance from Field Margin					
		5 cm		10 cm		15 cm	
		upper*	lower**	upper	lower	upper	lower
5.5 × 5 cm ²	1.5	3.0 %	2.8 %	2.6 %	2.5 %	2.5 %	2.4 %
	5	3.2	2.9	2.7	2.6	2.6	2.5
	10	3.5	3.3	2.8	2.7	2.7	2.6
10 × 10 cm ²	1.5	4.3	3.7	3.1	2.9	2.6	2.5
	5	4.7	4.3	3.3	3.1	2.8	2.7
	10	5.4	4.9	3.6	3.3	2.9	2.8
15 × 15 cm ²	1.5	4.8	4.2	3.3	3.0	2.7	2.6
	5	5.6	5.0	3.6	3.3	2.8	2.7
	10	6.5	5.9	3.9	3.6	3.0	2.9
20 × 20 cm ²	1.5	6.0	5.2	4.0	3.4	3.1	2.7
	5	6.9	6.1	4.6	3.9	3.4	3.0
	10	8.2	7.4	5.1	4.6	3.7	3.4

* : upper collimator position

** : lower collimator position

어진 곳에서의 주변선량도 약 3 % 안밖으로 만일 그 부위에 방사선 감수성이 예민한 장기가 있다면 치료를 위한 총계획 선량이 6000 rad 라 할때 주변선량이 3 %인 약 200 rad 정도가 피폭되어 앞에 언급한 방사선의 만성적 장애를 유발할수 있는 선량이므로 치료계획시 고려하여야 하겠다.

③ 깊이에 따른 주변선량의 변화

(그림 5)

개조사야시 조사면 경계로부터 5 cm 떨어진 곳에서 각 조사야에 대해 깊이에 따른 주변선량분포의 변화를 알아 본 것으로서 조사야 5 × 5 cm,

20 × 20 cm에서 10 cm 깊이에 해당하는 점의 주변선량분포는 3.5 %, 8.2 %로 조사야가 증가함에 따라 주변선량 분포가 증가함을 알 수 있다. 이 그림에서 특이한 것은 각 조사야마다 깊이에 따른 변화를 보면 수표면에서 수 mm 사이에서는 주변선량이 최대가 되고 최대선량지점 (Dmax) 깊이에서 작아진 후 다시 심부로 갈수록 주변선량이 증가하는 것을 관찰할 수가 있다.

예를들어 조사야 20 × 20 cm를 보면 수표면에서 수 mm 사이에는 주변선량분포가 약 0.5 %로 최대가 되는데 이는 주변선량에 기여하는 인자 중 조리개

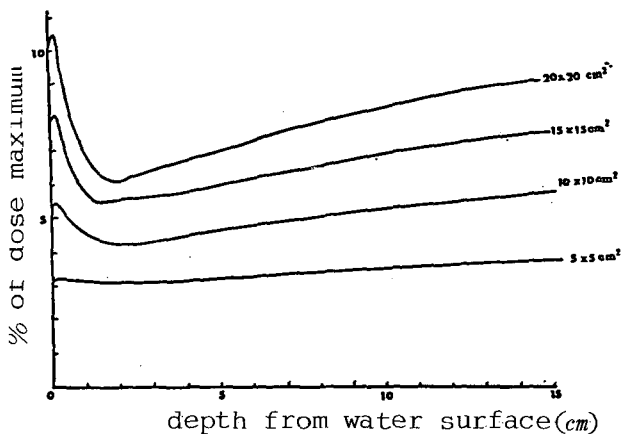


Fig5. Comparison of peripheral doses for 4 different field sizes at 5 cm distance from field margin

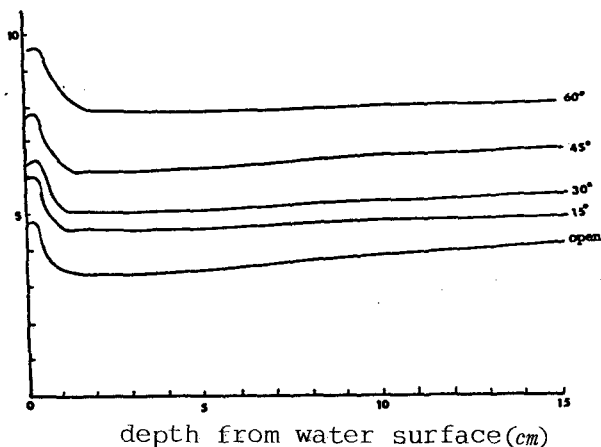


Fig6. Peripheral doses for open and 4 different wedge filter angles for 15x15 cm field size (blade side) at 10 cm distance from field margin

및 flattening filter 등과 같은 외부인자중 반조전자 (recoil electron)가 추가 되는 것으로 이러한 전자는 공기중에서의 비정이가 크지만 인체와 등가물질인 팬텀내의 물에서는 비정이가 불과 수mm 밖에 안돼 그림과 같이 수mm 깊이에서 h-one 모양으로 최대가 되고 그 이하의 깊이에는 도달하지 않아 최대선량지점 (Dmax) 깊이에서 6%로 적어진 후 다시 깊이가 증가함에 따라 전리 밀도의 증가로 팬텀내부에서의 산란선량이 증가함으로 주변선량분포가 증가되는 것으로 사료된다.

④설상필터의 각도와 주변선량의 관계 (그림 6)

설상필터를 사용했을 때 개조사야의 주변선량을 비교하기 위하여 조사야 경계면으로부터 10 cm 거리에서 조사야를 15x15 cm으로 열고 개조사야와 설상필터의 얇은 방향에서 4가지 각도에 대하여 측정 한 것이다. 개조사야 보다는 설상필터를 사용했을 때 주변선량이 증가하고 설상필터의 각도가 클수록 주변선량도 증가함을 볼 수 있으며 설상필터를 사용했을때가 개조사야 보다 깊이에 따른 변화가 적게 나타났다.

60° 설상필터 사용시 거리와 깊이에 따라 설상필터의 두꺼운 방향과 얇은 방향에서의 주변선량을 비교하여 보면 (그림 7 참조) 조사야 경계로 5 cm, 10 cm, 15 cm 거리에서 조사야를 15x15 cm

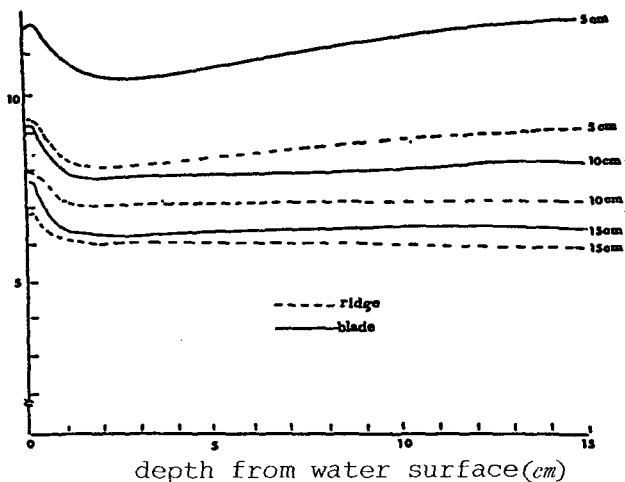


Fig7. Peripheral doses between blade and ridge side of wedge filter (60°) for 15x15 cm size at 5, 10, 15 cm distance from field margin

로 열고 깊이에 따른 변화를 관찰해 보면 조사야 경계로부터 가까운 거리에서 설상필터의 얇은 방향이 두꺼운 방향보다 주변선량이 크게 나타났으며 먼거리에서 보면 주변선량이 일정 깊이 이후에는 심부로 갈수록 깊이에 따른 변화가 근소하게 나타남을 알 수 있다.

45° 설상필터 사용시 각 조사야에서 설상필터의 두꺼운 방향과 얇은 방향의 주변선량을 비교한 그림 8을 보면 수표면으로부터 1.5 cm 깊이에서 각 조사야에 대하여 수평으로 15 cm 까지 측정 한 것으로 설상필터의 얇은 방향이 두꺼운 방향보다 주변선량이 증가하였으며 조사야가 클수록 선량분포 차이가 크게 나타났다.

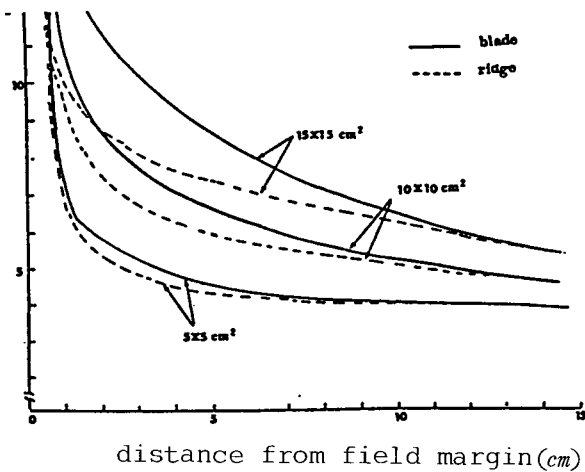


Fig8. Peripheral doses between blade and ridge side of wedge filter (45°) at 1.5 cm depth for 15x15 cm², 10x10 cm², 5x5 cm² field size

Table 2를 보면 개조사야 보다는 설상필터를 사용했을 때의 주변선량이 증가하고 설상필터의 각도가 증가할수록 주변선량도 증가하여 나타났다.

III. 결론 및 개선방안

1) 결 론

본 실험을 통하여 얻을 수 있는 것은

1. 조사면적이 증가할수록 주변선량도 증가한다.

Table 2. Comparison of peripheral dose between open and wedge filter (blade side) at 5 cm depth, upper collimator position

Field size	Wedge filter angle	Distance from Field Margin		
		5 cm	10 cm	15 cm
5x5 cm ²	open	3.2 %	2.7 %	2.6 %
	15°	3.7	3.3	3.1
	30°	3.9	3.5	3.2
	45°	4.8	4.0	3.9
	60°	5.7	5.0	4.7
10x10 cm ²	open	4.7	3.3	2.8
	15°	5.5	4.0	3.5
	30°	5.7	4.3	3.7
	45°	7.1	5.3	4.6
	60°	8.2	6.3	5.6
15x15 cm ²	open	5.6	3.6	2.8
	15°	7.0	4.9	4.0
	30°	7.3	5.2	4.2
	45°	9.3	6.4	5.4
	60°	10.5	7.7	6.2

2. 조사면 경계로부터의 거리가 멀어질수록 주변선량은 감소한다.

3. 깊이에 따른 변화를 보면 수표면에서 2 ~ 3 mm 사이에서 주변선량이 증가하고 최대선량 깊이에서 최소가 된 후 깊이가 깊어질수록 주변선량이 증가한다.

4. 하부조리개 보다는 상부조리개에서 주변선량이 증가한다.

5. 개조사야보다 설상필터 사용시 주변선량이 증가한다.

6. 설상필터의 각도가 증가할수록 주변선량도 증가한다.

7. 설상필터의 두꺼운 방향보다 얇은 방향에서 주변선량이 증가한다.

2) 주변선량 감소방안

먼저 조사면 경계부분을 납블럭 (Pb)으로 차폐하는 방법으로 Custom block 제작시 조사야

경계면의 주변선량을 감안하여 제작함으로써 외부인자를 차단하는 방법과 주변의 표면선량을 감소하기 위하여 조사면 경계밖에 최대 선량 깊이에 해당하는 bolus 나 반가층 두께의 납을 둔다.

References

1. 강위생, 허승재, 하성환, Co⁶⁰γ - 선과 10 MV X - 선의 조사면 밖의 선량분포에 관한 연구. 대한 치료방사선과 학회지 1984, 2: 271-280.
2. Bhatnagar JP. Secondary radiation from supervoltage accelerators—its implication in patient protection. Br J Radiol. 1977, 50: 449-450.
3. Capone J, Karzmark CJ. Measurement of 6 MV X-ray III. Br J Radiol. 1968, 41: 227-230.
4. Fraass BA, Vande Geijn J. Peripheral dose from megavolt beams. Med Phys. 1983, 10: 809-818.
5. Green D, Chu GL, Thomas DW. Dose levels outside radiotherapy beams. Br J Radiol. 1983, 56: 543-550.
6. Horton JL, Dose in the build-up region outside the primary beam. Med Phys. 1984, 11: 331-334.
7. Kang WS, Kim IH, Park CI. A Study on the effects of wedge filter in peripheral dose distribution. J Korean Soc Ther Radiol. 1985, 3: 145-151.
8. Kase KR, Svensson GK, Wolbast AB, et al. Measurements of dose from secondary radiation outside a treatment field. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 1983, 9: 1177-1183.
9. Scrimger J, Kolitsi, B. Scattered radiation from beam modifiers used with megavoltage therapy units. Radiology. 1979, 130: 233-236.