

6 MV 광자선조사면내 투과성필터에 의한 조직선량

최 태진, 김 옥배

계명대학교 의과대학 치료방사선학교실

1. 서 론

방사선치료에서 선량분포작성은 치료부위내 종양에 충분한 치료선량이 도달되는 반면에 주위 장기에는 내용선량 이하의 선량이 도달되며 병소내 균등한 선량이 분포하는지 확인할 수 있는 중요한 작업이다.

특히 내용선량이 낮은 치명장기와 인접한 종양치료에서는 조사면과 조사방향에 따른 3차원적인 선량분포평가가 필요하며, 종양에 집중된 균등선량분포는 정상조직내 선량과다 부위가 적어 상대적으로 치료선량을 높이고 방사선에 의한 부작용을 줄일 수 있게 된다.

그러나 종양위치와 조사방향에 따라 정상조직에 대한 차폐는 기하학적으로 종양에 도달되어야 할 방사선마저도 차폐하게 되는 경우가 있어 기존 차폐방식이나 다엽형 콜리메터에서 환형종양 부위에 대해 종양일치형 선량분포를 작성하기 어렵다.

El-Khatib 등¹⁾은 조사면이 부분적으로 차폐되었을 때 차폐물의 두께와 위치에 따라 심부 선량백분율의 증가를 발표한 바 있다.

최 등²⁾은 상악동 및 사골동에 침윤된 종양치료계획에서 조사면내 차폐두께가 다른 투과성 필터를 이용하여 치료부위에 균등한 선량분포를 얻을 수 있음을 발표한 바 있다.

일반적으로 연속스펙트럼의 방사선은 조사면내 차폐물질에 따라 일차선량은 지수함수적으로 감소하고 평균에너지가 높아지는 선질경화 효과를 일으키는 것으로 알려져 있으며, 방사선치료 조사면과 정상조직의 보호를 위한 차폐크기는 치료대상에 따라 다양하고 출력선량과 유효조사면에 따른 심부선량의 변화를 일으키는 것으로 알려져 있다.³⁾

투과성필터는 차폐두께를 1 내지 2 반가층의 차폐를 이용하는 투과성필터는 전조사면의 차폐와 일부차폐 또는 두께가 다른 투과성필터를 이용하여 정상조직의 내용선량 범위내에서 종양에 균등한 선량을 도달시킬 수 있다.

본 연구에서는 투과성필터사용에 대한 일차선량과 조직내산란선량의 변화를 조사하고, 조사면내 임의의 깊이에서 조직에 흡수될 선량계산에 이용할 수 있는 TMR, SMR, Surface Dose 등의 선량특성 기초자료를 발표하고자 한다.

2. 방법 및 재료

조직흡수선량

방사선조사면의 선량은 대개 수조 펜텀을 이용한 기준자료에 근거를 두고 평가되고 있으며, 조사면의 모양이 불규칙적이고 균등선량계획을 위해 부분적으로 투과성필터를 사용하는 경우

6 MV 광자선조사면내 투과성필터에 의한 조직선량

또는 굴곡진 조사면의 심부선량은 보정이 필요하다.

조사면(r)에 대한 임의 한점(x,y,z) 의 조직선량 (D) 은 투과필터를 통과한 일차선과 산란선의 합으로 아래와 같이 근사적으로 구할 수 있다.

$$D(x,y,d,t) = K_p(x,y) D_0(r_0) e^{-\mu(d-d_m)-\mu't} + 1/n \sum D_{scatter}(x,y,d,t) \quad (1)$$

상기식에서 $e^{-\mu(d-d_m)}$ 는 TMR(0,d,t) 와 같으며, 실험으로 구해질 수 있으며, μ 와 μ' 는 각각 조직 및 필터의 선흡수계수이며 t 는 필터두께이다. K_p 는 선속축을 중심으로 한 평가지점의 이탈계수이며 확산선속에 대한 기하학적 보정항으로 평가지점의 선원-거리에 따른 역자승함수로 주어진다.³⁾ $D_0(r_0)$ 는 개방조사면의 중심선속하에서 출력선량율이다.

투과성필터와 산란계수

산란선은 투과성필터두께와 차폐위치 또는 차폐면적에 따라 달라지며, 동일조사면내다른 두께의 필터를 사용할 수 있으므로 선량계산점에 도달하는 산란선은 아래와 같이평가될 수 있다.

조사면과 조직깊이별 산란선은 실험측정에서 구한 심부선량백분률과 후방산란계수를 이용하여 조직-최대선량비 (Tissue-Maximum Ratio) 를 구하고, TMR(0,d,t) 로 부터 산란-최대선량비 (Scatter-Maximum Ratio) 를 아래와 같이 구하였다.⁴⁾

$$SMR(r,d,t) = TMR(r,d,t) \frac{S_p(r_d)}{S_p(0,t)} - TMR(0,d,t) \quad (2)$$

상기에서 $S_p(0,t)$ 와 $S_p(r_d)$ 는 각각 조사면 "0×0" 과 깊이 d 에서 면적의 조직산란계수를 나타낸다.

조직내 선량계산은 평가깊이의 조사면내 계산점을 중심으로 등간격 sector r 로 나누고,각 투과성필터의 경계까지의 반경을 r1, r2 .. 등으로 두고 각 필터하의 산란선계수를합하여 구한다.

$$D_{scatter}(x,y,d,t_i) = \sum_{n=1}^n SMR(r_2)_{t_2} - SMR(r_1)_{t_2} - SMR(r_1)_{t_2} + SMR(r_1)_{t_1} \quad (3)$$

상기식에서 t_1, t_2 는 각각 필터의 두께를 나타내며, 전조사면내 동일 두께의 필터인경우 t_1 항만 이용한다.

또한 N 은 불규칙조사면의 최대-산란선량비를 얻기위해 분할조사면의 수를 나타낸다.

굴곡진 면의 심부선량은 유효깊이 또는 심부선량보정법을 이용하여 근사적으로 구할 수 있다.

본 실험에서는 6 MV X-선을 이용하여 투과성필터에 대한 심부선량백분률과 TMR, SMR 및 표면선량률을 조사하였다.

재 료

투과성필터는 두경부조사시 주위 치명장기의 손상을 줄이고 환부에 비교적 균등한선량을 조사하는 데 효과적으로 사용할 수 있어, 방사선에너지는 두경부조사에 많이이용되는 6 MV

광자선(Mevatron KD8067, Siemens) 에 대해 선량특성을 조사하였다.

투과성필터의 재질은 방사선조사면 차폐에 이용하는 Lipowitz Metal (밀도 9.4 g/ml)을 사용하였으며, 두께는 10, 20, 30, 50 mm 이며, 조사면은 $25 \times 25 \text{ cm}^2$ 를 포함할 수 있는 크기로 하였으며, 선원-피부간 거리는 100 cm 이며, 투과성필터의 끝위치는수면에서 44 cm 떨어진 차폐판에 올려 놓고 조사면의 크기와 투과성필터의 두께에따른 선량특성을 조사하였다.

심부선량은 WP-600 (WELLOHP) 수조펜텀($49 \times 29 \times 29 \text{ cm}^3$) 과 전위계 (Capintec Electrometer Model 192A) 및 IC-10 이온전리함을 이용하여 조사면 $2 \times 2 \text{ cm}^2$ 부터 $32 \times 32 \text{ cm}^2$ 까지 깊이 28 cm 까지 측정하였으며, 각 조사면의 심부선량백분율은 각각 최대선량을 기준으로 구하였다.

조직-최대선량비 (TMR) 은 심부선량백분율과 후방산란계수를 이용하여 계산하였으며,투과성필터에 대한 유효선흡수계수를 구하여 $0 \times 0 \text{ cm}^2$ 의 조직-최대선량비를 구한 다음 산란-최대선량비를 구하였다.

투과성필터의 사용에 따라 피부에 도달될 피부선량은 평판형이온전리함 (PS-033, 20mm 직경, 2.4 mm 간격) 과 폴리스탈린펜텀을 이용하였다.

3. 결 과

심부선량백분율

심부선량은 방사선조사면내 최대선량에 대한 임의의 깊이의 선량 백분율을 나타내는심부선량백분율로 부터 산출된다. 심부선량백분율은 선원-피부간 거리를 일정하게 두고, 이온전리함을 이동하여 선량신호를 얻게되며 조직-최대선량비와 산란-최대선량비등의 산출의 기본자료로 많이 이용되어진다.

이 심부선량백분율은 방사선 에너지크기, 선원-검출기간 거리(Source-Skin Distance)와 조사면의 크기 등에 따라 달라진다. Table 1 은 선형가속기(Mevatron KD8067,Siemens) 6 MV X-선의 SSD 100 cm 에서 필터를 사용하지 않은 기준 심부선량백분율이다. 본 연구에서 투과성필터의 두께가 두꺼워짐에 따라 Fig. 1 과 같이 동일 조사면 ($10 \times 10 \text{ cm}^2$) 에서 심부선량백분율의 증가를 얻을 수있었으며, 필터를 쓰지 않은 조사면에 비해 5 cm 두께의 필터를 사용한 경우, 5cm 깊이에서 0.7%, 10cm 4.9% 20cm 깊이에서는 9.2% 증가함을 보여 투과성필터에 의해 수조펜텀에 조사된 광자선의 평균에너지가 증가했음을 알수 있었다.

광자선의 에너지증가는 최대심부선량깊이의 변화를 가져오므로 투과성필터하의 최대선량깊이를 구한 바 Table 2 와 같다.

최대선량깊이는 전 조사면에서 필터의 두께가 두꺼울수록 커졌으며, 필터를 쓰지않은 조사면에 비해 약 2 내지 3mm 의 이동이 있었으며, 조사면이 커질 수록 표면쪽으로 이동됨을 알 수 있었다.

Tissue-Maximum Ratio

TMR(r,d) 은 선원과 검출기의 거리를 고정한 상태에서 조사면(r) 의 최대선량률에 대한 조직두께에 의한 선량률의 비로 정의된다. 이 변수는 병소중심과 선속중심을 일치시켜회전조사를 시행할 때 조직두께의 변화에 대해 조직선량을 계산하는 데 유용하다.

조사면내 투과성필터의 사용은 조직선량에 영향을 주게 되므로 조직흡수선량을 계산하기

6 MV 광자선조사면내 투과성필터에 의한 조직선량

위해서는 심부선량 또는 조직-최대선량비, 산란-최대선량비, 콜리메터 및 조직산란계수가 필요하게 된다.

특히 종양에 집중된 균등한 선량을 주기 위해 조사면전체를 포함하거나 일부계층필터형태를 갖는 투과성필터의 사용은 일차선량과 산란선을 분리 평가해야 비교적 정확한선량을 계산할 수 있다. 특히 동일조사면내 투과성필터의 두께가 다른경우 필터에 의한 산란선량계수도 다르게 된다.

Table 1. Percent Depth Dose as Function of Field Size in 6 MV X-ray in Mevatron KD 867 Linear Accelerator

Field Depth	Area/perimeter											
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
1.0	967	967	967	968	978	974	984	985	988	991	991	991
1.5	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
2.0	988	992	993	994	995	996	996	990	992	991	991	986
3.0	935	944	949	953	955	956	957	956	956	956	956	950
4.0	881	894	901	909	910	912	915	918	919	920	920	918
5.0	828	846	850	865	868	872	876	880	881	883	884	884
6.0	779	798	811	823	827	833	839	843	845	846	848	849
7.0	733	752	768	783	787	795	802	808	810	813	815	809
8.0	689	709	725	741	748	757	766	770	775	778	781	781
9.0	649	669	687	706	710	721	732	739	743	746	749	748
10.0	612	633	651	669	674	686	705	710	710	714	717	717
11.0	576	596	616	635	640	653	667	673	681	684	686	684
12.0	542	561	580	599	607	621	635	644	649	653	657	657
13.0	510	530	549	568	576	590	603	613	620	625	629	629
14.0	481	500	518	537	549	562	575	586	592	597	601	600
15.0	454	473	492	511	519	534	548	559	566	571	575	572
16.0	429	445	464	483	491	506	521	532	540	545	550	546
17.0	404	421	439	458	466	481	497	507	515	520	524	523
18.0	383	398	416	434	442	458	473	483	492	501	501	500
19.0	361	376	393	410	420	435	451	461	470	475	480	477
20.0	343	356	373	389	399	414	429	440	449	453	458	455
21.0	324	336	353	369	377	393	409	419	427	433	438	434
22.0	30-5	319	334	350	358	374	389	398	407	412	417	415
23.0	288	300	316	332	341	355	370	380	389	394	399	395
24.0	273	285	300	315	324	338	353	361	371	376	380	375
25.0	256	270	285	299	308	322	336	344	353	358	362	358
25.0	224	256	269	282	289	304	318	328	336	341	346	341
27.0	232	241	255	269	275	290	304	312	321	325	329	325
28.0	220	230	242	254	261	276	291	298	305	310	315	310

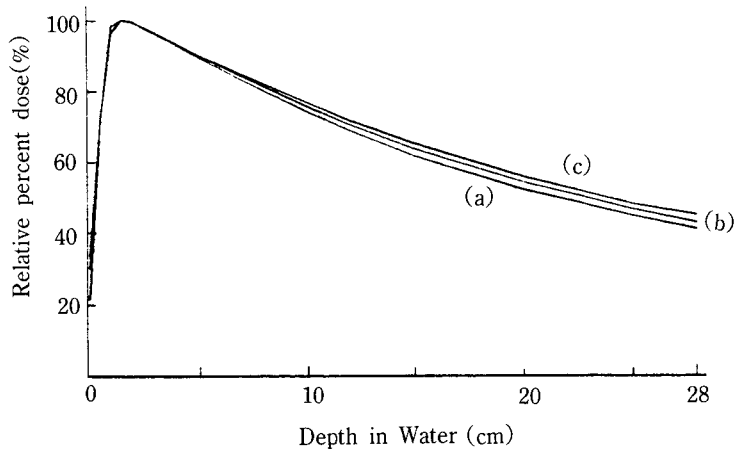


Fig. 1 Percent Depth Dose as a function of Depths and Filter Thickness of (a) Open (b) 30 mm and (c) 50 mm.

Table 2. Variation of dose-maximum depth (mm) with different partially attenuated beam and field size in 6 MV linear accelerator photon beams.

Block Thickness (mm)	Field size(cm ²)					
	4×4	8×8	10×10	16×16	20×20	24×24
0	15.5	15.5	15.0	14.0	14.0	14.0
10	16.5	16.0	15.5	15.5	15.5	15.0
20	17.0	16.5	16.5	16.0	16.0	15.5
30	18.0	18.0	17.5	17.0	16.0	16.0
50	18.0	18.0	17.5	17.0	16.0	16.0

본 실험에서 필터두께에 의한 조직의 선흡수계수는 조직-최대선량비가 지수함수로 감소되는 부분인 10cm 와 20cm 깊이의 최대-조직선량비의 차이로 부터 구한 결과 Table 3과 같이 구하였다.

TMR 의 실험 곡선중 얇은 깊이에서는 콜리메터산란에 의해 정확히 지수함수적으로 감소되지 않으므로 깊이 10cm 와 20cm 의 TMR 로 아래와 같이 유효선흡수계수를 구하였다.

$$\mu^* = \frac{1}{T} \ln (TMR^{20}_{10}) \quad (4)$$

T 여기서 T 는 깊이차를 의미 하며 10 이 된다. 0×0 조사면의 TMR 은 각조사면의 유효 선흡수계수를 상기 식으로 얻고 최소자승법을 통해 외삽하여 구해졌다.

임의의 필터두께 T 에 의한 6 MV 광자선의 조직내 유효선흡수계수는 지수함수와 다항식 보정항을 이용하여 식 5 와 같이 구할 수 있으며 보정항의 계수는 Table 4 와 같다.

필터두께에 대하여 실험식에 의한 Table 2 의 B 열의 값과 TMR(r,d²⁰₁₀) 의 A 열의 값은 오차 1.0% 이내에 일치함을 알 수 있었다.

Table 3. Computation of the linear attenuation coefficient for Soft Tissue against to block thickness in 6 MV photon beam

thickness of block (T mm)	A $\mu(\text{cm}^{-1})$	B $\mu(\text{cm}^{-1})$	discrepancy
0	0.04880	0.04877	-0.0003
10	0.04418	0.04430	+0.0012
20	0.04094	0.04078	-0.0016
30	0.03792	0.03800	+0.0008
50	0.03379	0.03378	-0.0001

Table 4. Constants of Polynomial Regression equation for optimization of the effective linear attenuation coefficient

a = -0.00003230
b = -0.00014341
c = 0.00034669
d = -0.00002988

$$\mu_e = 0.04877 \cdot e^{T/10} + a + bT + cT^2 + dT^3 \quad (5)$$

여기서 T 는 Lipowitz metal 의 두께 (cm) 를, μ_f 는 6 MV 광자선의 필터에 의한조직의 선흡수계수를 의미한다.

식 5 에서 필터두께 (T) 가 “0” 이면 개방조사면의 조직의 선흡수계수를 얻게된다.

산란선 평가에 필요한 TMR(0,d) 은 선흡수계수로 부터 구한 결과 각 필터두께에 대해식 1 의 지수항으로 구하였다.

각 필터에 대한 조사면 “0×0” 의 TMR(0,d,t) 은 Table 5 와 같으며, 필터의 두께가 증가함에 따라 동일 깊이에서 증가함을 알 수 있으며, 10cm깊이의 경우 개방조사면에 비해 20mm, 50mm의 투과성필터를 사용 할 때 각각 7.1%와 13.6%의 증가를 보였으며, 깊은 위치에서는 증가폭이 더 크게 나타났다.

한편 출력선량감쇄에 영향을 주는 Lipowitz 필터의 선흡수계수 μ_f 는 0.44489 0.00006cm⁻¹ 을 실험으로 얻었다.⁵⁾

표면선량과 산란보정계수

방사선조사시 선원과 검출기사이의 필터삽입은 산란선을 발생하는 요인이 되는 것으로알려져 본 실험에 이용되는 필터의 두께에 따른 표면선량 증가유무를 확인한 결과 개방조사면 10×10 일 때 최대심부선량율의 16.9%였고, 50mm필터를 사용한 경우 12.3%로 표면선량률의 감소를 보였다. 조사면 5×5cm²에서 20×20cm²에서 필터두께에 따른 표면선량률은 Table 6 과 같았으며 필터의 두께가 두꺼워질 수록 표면선량률은 감소함을 나타내었으며, 일반적으로 조사면이 증가하면 표면선량이 증가하는 현상은 필터의 사용에서도 동일하게 나타났다.⁶⁾

콜리메이터는 방사선조사부위를 결정하고 정상부위는 납브록으로 차폐하게 되어, 콜리메이터 개방면적과 실제조사면적이 달라지게 되므로 각각의 산란보정계수를 필요로 한다.

투과성필터의 사용에 따라 콜리메이터에 의한 산란교정계수(S_c)는 공기중 실측량으로부터 콜리메이터의 기준 조사면적 ($10 \times 10 \text{cm}^2$)에 대한 선량의 비로 나타내었으며, Fig.2 와 같이 얻어졌으며, 콜리메이터산란보정계수는 동일한 필터두께에서 조사면적의 증가에 따라 증가함을 보였으며, 필터의 두께가 두꺼울 수록 기준조사면보다 큰 조사면에서산란보정계수는 크게 증가함을 알 수 있었다.

조직에 의한 산란교정계수 (S_p)는 최대심부선량을 위치에서 기준조사면에 대한 선량율비로 나타낸 결과 Table 7 과 같이 나타났다. S_p 는 필터사용에 의한 평균에너지 증가로조직내산란은 미미한 감소를 보였다.

Table 5. TMR(0×0) data as a function of depth for various Lipowitz block thickness

Block(mm)	0	10	20	30	50
Depth(cm)	(TMR $\times 1000$)				
1.5	1000	1000	1000	1000	1000
2.0	976	978	980	982	983
3.0	929	936	941	945	951
4.0	885	895	903	909	919
5.0	843	856	867	875	888
6.0	803	819	832	843	859
7.0	765	784	799	811	830
8.0	728	750	767	781	803
9.0	694	717	736	752	776
10.0	660	686	707	724	750
11.0	629	656	678	697	725
12.0	599	628	652	646	678
13.0	571	601	626	646	687
15.0	517	550	577	599	634
18.0	447	481	510	534	573
18.0	447	481	510	534	573
20.0	405	441	470	495	535
22.0	368	403	433	459	500
24.0	334	369	399	425	468
26.0	303	338	368	394	437
28.0	274	309	339	365	409

Table 6. Relative Surface dose of dose maximum with different block thickness in 6 MV photon beams.

Field size(cm^2)				
Block thickness	5 \times 5	10 \times 10	15 \times 15	20 \times 20
0 (mm)	11.8	16.9	21.5	25.9
10	9.7	13.8	17.8	21.8
20	8.9	13.0	16.9	20.7
30	8.8	12.7	16.6	20.6
50	8.3	12.3	16.3	20.5

6 MV 광자선조사면내 투과성필터에 의한 조직선량

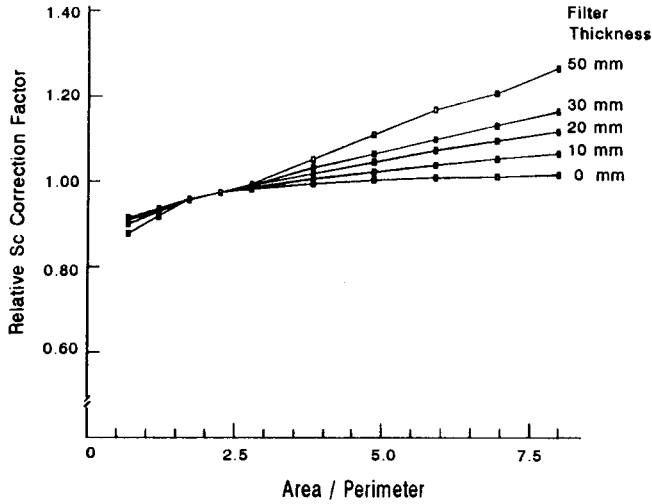


Fig 2. Collimator Scatter Correction Factors (S_c) as Function of Filter Thickness and Field Size in 6 MV X-ray of Mevatron KD8067 Linear Accelerator

Table 7. Phantom Scatter Correction Factor $S_p(r)$ as a function of Filter Thickness and field size in 6 MV X-ray of Mevatron KD8067 linear accelerator

Field Block	Area/Perimeter										
	0	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
0	0.974	0.980	0.989	0.995	1.000	1.006	1.016	1.018	1.022	1.026	1.027
10	0.975	0.981	0.990	0.996	1.000	1.006	1.014	1.017	1.020	1.022	1.025
20	0.978	0.985	0.991	0.996	1.000	1.006	1.011	1.017	1.019	1.022	1.024
30	0.979	0.986	0.991	0.995	1.000	1.007	1.010	1.015	1.018	1.021	1.024
50	0.980	0.988	0.994	0.996	1.000	1.007	1.009	1.015	1.018	1.020	1.022

Scatter-Maximum Ratio

일차선량에 의한 감쇄를 나타내는 $TMR(0,d)$ 과 조사면의 크기에 따른 산란선을 분리함은 방사선조사시 콜리메이터 열림과 차폐에 의한 유효조사면적의 크기에 따라 조직에 도달되는 흡수선량의 보정이 가능하게 되어 불규칙조사면과 불규칙투과성필터하의 선량 계산이 용이하게 된다.

불규칙조사면의 불규칙 투과성필터하의 일차선량은 출력선량의 감쇄와 $TMR(0)$ 및 산란선 기여량을 나타내는 $SMR(r,d)$ 로 얻을 수 있다.

실험에서 조직내 최대-산란선량비는 조사면적과 깊이의 증가에 따라 증가함을 보였으나 조사면의 반경크기가 15cm 이상에서는 증가가 둔화됨을 알 수 있었으며, 깊이가 깊어짐에 따라 Table 8(a~e) 과 같이 증가함을 보였으나 필터를 쓰지 않은 경우와 필터를 사용한 경우 각각 약 20cm와 25cm 이상에서 오히려 감소함을 알 수 있었다.

Table 8a. Scatter Maximum Ratio(scaled by 1000) of 6 MV X-ray for Omm Filter in Mevatron
KD8067 Linear Accelerator

depth (cm)	Radius(cm)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	15	16	18	
1	0	2	9	16	26	35	39	47	56	57	61	68	71	73	74	
1.5	1	2	9	16	21	25	31	35	40	41	43	47	49	50	51	
2	11	25	36	43	49	55	61	65	70	69	69	73	74	75	76	
3	19	41	56	66	73	79	85	90	95	96	98	101	104	105	106	
4	24	50	68	81	89	95	102	108	114	116	120	125	128	130	130	
5	27	57	74	91	103	111	119	125	131	134	139	144	147	149	150	
6	30	63	87	104	116	125	135	141	148	151	157	163	165	167	168	
7	32	66	92	112	126	136	147	155	162	166	172	178	182	185	187	
8	34	70	97	118	134	146	157	165	173	177	184	192	195	199	202	
9	35	73	102	125	141	153	166	175	184	189	197	204	208	212	214	
10	38	79	109	131	148	161	175	185	195	199	208	216	220	224	227	
11	39	80	112	136	153	167	182	192	202	207	217	226	229	232	234	
12	39	81	112	136	156	172	186	197	208	218	223	232	237	240	244	
13	40	82	114	138	158	174	188	199	210	216	228	239	243	247	250	
14	41	84	116	142	163	180	194	205	216	222	234	244	249	253	255	
15	43	88	121	145	165	183	197	209	221	227	239	250	254	258	258	
16	42	86	119	144	165	183	198	209	221	228	241	252	257	261	260	
17	43	88	122	146	167	186	201	213	224	231	244	255	259	262	265	
18	44	89	123	146	168	188	202	213	224	232	248	261	263	264	267	
19	44	89	122	146	168	188	203	215	227	234	248	259	263	266	267	
20	45	91	124	147	170	190	204	216	228	236	250	259	263	266	267	
21	44	90	123	146	168	189	204	215	227	235	249	260	263	265	266	
22	45	91	123	146	168	189	203	214	224	232	247	257	261	264	266	
23	44	90	123	147	168	189	203	214	226	234	248	258	260	262	264	
24	45	91	123	146	167	187	202	212	222	230	245	255	256	257	259	
25	45	92	124	146	167	187	200	211	221	229	243	253	254	256	257	
26	45	91	121	141	161	182	196	208	220	227	240	251	251	252	254	
27	44	90	121	142	162	183	197	208	218	226	239	248	248	249	252	
28	45	91	120	141	162	183	198	202	217	224	237	246	247	248	249	

6 MV 광자선조사면내 투과성필터에 의한 조직선량

Table 8b. Scatter Maximum Ratio(scaled by 1000) of 6 MV X-ray for Omm Filter in Mevatron
KD8067 Linear Accelerator

depth (cm)	Radius(cm)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	15	16	18
1	6	11	21	29	35	40	46	50	54	56	60	64	66	68	76
1.5	3	5	12	19	23	28	33	36	40	41	44	47	47	48	50
2	13	27	37	44	49	54	60	63	67	69	74	77	78	79	83
3	20	40	54	63	70	76	82	86	90	92	96	101	102	104	110
4	25	50	66	77	86	92	100	105	111	113	118	123	126	129	136
5	28	57	76	89	99	108	115	121	127	129	135	140	144	147	158
6	30	61	82	98	111	121	131	137	143	146	152	159	164	169	182
7	32	64	87	104	117	129	139	146	154	158	165	174	179	185	200
8	34	68	92	111	125	137	147	155	163	167	176	186	193	200	219
9	36	72	97	116	132	145	156	165	174	179	189	200	207	215	234
10	37	74	101	122	138	152	164	174	183	189	201	213	219	227	248
11	38	77	104	126	143	157	170	180	190	197	210	224	233	241	263
12	38	77	105	127	145	160	173	184	194	202	217	232	240	250	275
13	39	77	107	129	147	163	177	188	199	207	222	237	247	257	284
14	39	79	108	130	149	165	179	191	203	211	228	246	256	267	295
15	40	81	109	132	151	167	182	195	207	216	234	252	263	274	301
16	40	81	110	132	152	169	185	197	210	219	237	256	267	278	311
17	41	81	111	134	153	171	186	200	213	223	241	261	272	284	315
18	41	83	112	135	155	172	188	202	215	226	246	266	276	287	318
19	41	83	112	134	154	172	188	202	216	227	248	269	280	292	324
20	42	85	113	136	155	173	189	203	217	228	250	270	282	294	327
21	41	83	112	134	154	172	189	203	217	228	250	271	282	294	329
22	42	84	113	135	156	173	189	203	217	229	251	274	287	301	338
23	41	83	111	133	153	170	187	202	218	229	252	276	288	302	340
24	42	83	111	134	153	171	187	202	217	229	252	276	288	302	340
25	42	84	113	135	154	171	187	202	217	228	250	273	287	301	340
26	41	82	110	130	149	166	182	198	213	224	247	271	284	299	341
27	42	84	111	132	151	167	183	197	211	223	246	270	284	299	342
28	41	82	110	130	149	167	183	198	213	225	248	271	285	300	344

Table 8c. Scatter Maximum Ratio(scaled by 1000) of 6 MV X-ray for 20mm Filter in Mevatron
KD8067 Linear Accelerator

depth (cm)	Radius(cm)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	15	16	18
1	6	11	17	23	28	33	39	44	48	51	58	64	66	68	72
1.5	3	6	11	16	20	24	29	33	37	38	41	42	43	44	47
2	15	29	37	42	46	51	56	59	63	64	67	69	70	71	73
3	20	40	52	58	64	69	74	78	81	83	86	89	90	91	92
4	23	46	60	70	77	84	91	95	99	101	105	107	109	110	114
5	26	53	68	78	86	93	100	105	110	112	115	117	119	120	122
6	29	57	75	87	97	107	116	121	127	129	132	133	134	135	136
7	29	59	79	94	105	115	124	129	135	137	140	142	144	145	148
8	30	60	81	97	109	120	128	135	141	143	147	150	151	153	156
9	32	65	87	103	116	128	138	145	151	154	158	161	162	163	165
10	32	64	87	104	119	132	143	151	159	162	167	169	169	170	172
11	34	69	91	109	124	136	148	156	165	168	173	176	176	177	178
12	33	67	91	109	125	138	149	157	166	170	176	179	179	180	182
13	34	68	92	111	128	141	153	162	172	176	183	185	186	186	188
14	36	72	96	115	132	146	157	167	176	181	189	193	195	196	197
15	36	72	97	117	133	147	160	169	179	183	190	194	195	197	200
16	36	72	98	118	136	151	164	174	184	188	195	197	198	199	200
17	36	73	99	119	136	151	163	173	183	188	196	200	202	204	209
18	36	71	97	118	136	152	165	176	187	193	201	204	204	204	205
19	36	72	99	122	140	155	169	179	189	194	201	205	206	207	209
20	36	73	99	121	139	156	169	180	190	196	204	205	205	205	206
21	35	71	97	118	137	153	167	178	189	195	202	205	206	206	206
22	34	69	95	117	135	151	166	177	188	193	202	207	208	208	208
23	35	71	96	116	135	151	166	176	187	193	202	206	206	206	207
24	35	70	96	116	134	151	165	176	186	192	201	203	203	203	203
25	35	70	96	116	134	150	164	174	185	190	198	201	201	202	201
26	35	70	95	114	132	148	161	172	183	188	196	198	198	198	197
27	36	73	96	113	129	145	160	182	188	188	197	200	201	201	201
28	34	68	93	112	129	144	159	171	183	189	198	203	203	204	202

6 MV 광자선조사면내 투과성필터에 의한 조직선량

Table 8d. Scatter Maximum Ratio(scaled by 1000) of 6 MV X-ray for 30mm Filter in Mevatron
KD8067 Linear Accelerator

depth (cm)	Radius(cm)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	15	16	18
1	6	11	17	21	26	32	39	41	42	47	55	62	65	68	71
1.5	3	6	11	14	19	24	29	30	31	33	38	41	42	44	46
2	13	26	33	37	41	46	51	52	54	56	61	63	65	66	66
3	20	40	50	56	62	67	72	73	73	75	78	81	82	83	85
4	22	44	57	65	72	80	86	86	87	89	92	93	94	96	98
5	24	48	62	72	81	88	94	96	97	100	106	110	112	114	116
6	26	52	69	82	93	102	110	112	113	116	121	124	126	128	131
7	27	53	71	84	95	105	113	116	119	122	126	130	131	133	136
8	28	56	76	90	103	113	121	123	126	129	135	139	141	142	145
9	28	56	77	93	107	118	127	130	133	136	140	143	146	148	154
10	30	59	81	97	110	122	132	136	141	143	148	150	152	154	157
11	29	58	81	99	114	126	136	141	145	148	153	155	156	158	162
12	29	58	81	100	116	129	140	144	149	153	158	160	162	163	165
13	29	59	82	100	115	129	139	144	150	154	160	166	170	173	176
14	28	57	81	102	118	132	144	149	155	158	164	168	171	173	176
15	28	57	81	102	119	134	146	152	157	161	167	171	173	176	179
16	28	56	81	102	120	135	147	153	160	164	171	174	175	177	178
17	29	59	83	103	119	133	145	151	157	161	168	174	177	180	183
18	28	57	81	101	120	135	146	153	161	166	176	182	185	188	190
19	28	57	81	101	120	135	146	153	161	166	176	182	185	188	190
20	28	56	79	99	117	133	145	154	162	168	176	178	179	180	184
21	27	55	76	94	111	128	143	153	163	171	181	184	185	186	186
22	27	55	77	96	113	127	141	150	159	165	175	180	181	182	182
23	29	58	81	99	115	129	141	149	157	162	172	178	181	184	185
24	29	59	81	99	115	129	141	148	156	162	171	177	178	180	180
25	30	61	82	100	116	130	141	149	157	162	171	174	176	177	177
26	29	59	81	99	114	128	140	148	156	161	168	171	171	172	172
27	30	61	82	101	117	130	141	150	158	162	168	171	172	172	171
28	30	60	82	99	114	128	140	147	154	159	167	170	170	171	171

Table 8e. Scatter Maximum Ratio(scaled by 1000) of 6 MV X-ray for 0mm Filter in Mevatron KD8067 Linear Accelerator

depth (cm)	Radius(cm)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1.5	5	8	12	16	19	23	26	30	34	37	41	45	48	52	56	59	63	67
2	13	25	32	37	40	44	50	49	49	52	56	59	62	64	67	69	69	69
3	18	35	44	50	54	59	65	65	64	68	71	74	77	80	84	88	91	93
4	21	41	50	56	61	65	69	69	69	73	76	80	83	86	90	93	96	100
5	21	41	52	60	66	70	76	75	75	79	82	86	90	93	97	101	106	111
6	25	49	61	69	74	79	84	84	84	88	92	94	97	99	103	107	110	113
7	22	43	60	72	80	87	94	94	95	98	101	104	107	111	114	117	119	121
8	22	44	62	76	85	93	100	101	102	105	108	110	113	115	118	120	122	124
9	21	42	62	78	89	97	105	106	107	111	115	118	120	123	126	129	131	133
10	24	47	67	81	91	99	107	108	110	113	116	119	121	124	126	129	130	131
11	25	49	67	81	91	99	106	107	108	111	115	118	121	124	128	131	133	135
12	27	53	70	81	90	97	104	106	108	112	116	119	120	123	125	128	130	133
13	26	51	68	80	89	98	106	109	113	117	121	124	126	129	132	134	134	135
14	22	43	64	81	94	104	114	116	119	124	128	131	134	138	141	145	146	147
15	22	44	62	78	90	101	111	115	120	124	129	132	135	137	139	141	142	143
16	18	36	54	71	84	96	106	111	116	122	128	132	135	138	141	143	144	145
17	22	43	60	75	86	97	107	112	116	122	127	132	136	139	142	145	147	150
18	21	41	60	77	91	103	113	118	122	127	132	136	138	141	143	145	145	146
19	18	36	53	69	82	94	106	112	118	125	132	137	141	145	148	151	152	153
20	16	32	49	66	80	93	105	112	118	125	133	138	141	144	147	150	151	153
21	22	43	58	71	82	94	105	110	116	123	130	135	140	145	148	151	152	154
22	20	40	55	69	81	92	103	108	113	119	126	131	136	140	144	147	149	152
23	22	44	58	70	80	89	98	104	111	118	124	130	136	140	144	147	150	152
24	17	33	50	65	78	90	100	106	113	119	126	131	135	140	143	147	149	152
25	20	40	68	70	66	74	85	92	99	107	116	124	132	139	145	151	154	157
26	21	42	54	64	71	80	89	95	100	108	115	122	128	134	139	144	148	152
27	20	40	55	67	78	87	97	102	108	115	122	127	132	136	140	144	147	150
28	19	38	53	67	79	89	98	104	110	115	121	126	130	134	137	141	143	145

4. 고 찰

최근 컴퓨터연산속도의 괄목할 만한 증가에 힘입어 종전에 수작업 또는 2차원선량계획에 불과하던 방사선치료계획은 더욱더 발전하여 보다 정확하고 신속하게 선량평가를 할 수 있게 되었으며, 입체선량분포작성에 이르고 있다. 특히 최 등⁷⁾ 은종양의 모양과 비교적 일치되는 선량계획과 눈의 수정체를 보호하는 부비강치료계획등의 조사면내 1 내지 2 반가층의 두께의 입체차폐브록을 사용하여 표적병소에 충분한 치료선량을 도달시키고 주위의 정상조직보호를 할 수 있는 방법을 고안 발표한 바 있으며 선량계획에 필요한 선량특성을 부분적으로 제시한 바 있다.¹⁾

특히 투과성필터에 의한 치료계획은 방사선치료 전기간중 큰조사면에 의한 일차조사면에 이어 조사면을 줄여 원발부위에 부가조사하는 치료방법에 비해 선속중심을 이동하지 않고, 부가조사가 필요치 않으며, 분할조사시 병발부위의 선량률은 정상조직보다 높이 조사할 수 있어 방사선 생물학적 분할선량효과가 더 높은 장점이 있다.

본 연구이용된 투과성필터 재질은 Lipowitz 금속체로 중금속독성은 높으나 밀도가 높고, 용융점이 낮아 모형 제작이 용이하여 방사선치료부위의 정상조직 차폐에 많이 이용되고 있으므로 투과성필터재질로 선택되었다. 단 Lipowitz 금속체는 조형중 기포생성이 자주 발생하는 단점이 있으므로 필터제작시 유의할 필요가 있다. 본 실험에서는 80도 수온속에서 압착시켜 기포를 줄였다.

실험에 이용된 필터의 두께는 투과성필터의 사용목적이 병소주위의 병발우려부위에 정상조직의 내용선량 이하의 방사선을 균등조사하며 표적모양과 비교적 일치 하는 선량계획을 세우는 것이므로 6 MVX 선에 대한 3 반가층 이내에서 선량변화를 조사하였다.

일반적으로 조사면내 투과성필터의 삽입은 선형가속기의 방사선에너지를 경화시켜심부선량 백분률의 변화를 가져오는 것으로 알려진바, 본 실험에서 투과성필터를 사용한 경우 개방조사면에 비해 심부선량백분률의 증가를 얻었으며, 50mm 필터두께의 경우 10cm 깊이에서 4.2%, 20cm 깊이에서 9.3% 증가를 보였다. 이 자료는 투과성필터를 사용하는 경우 비교적 정확한 선량평가를 위해서는 평가지점의 필터두께에 따라 심부선량백분률의 적용을 달리하는 것이 바람직함을 의미한다.

조직선량계산에 필요한 TMR(r,d,t) 는 각 필터에 대한 TMR(0,d,t) 와 SMR(r,d,t)을 이용하여 구할 수 있다. 김 및 최 등은 선형가속기의 광자선에너지를 비교분석하기 위해 반가층측정에 의한 선흡수계수와 TMR(r,d,t) 의 최소자승법에 의한 선흡수계수의 최적화가 잘 일치함을 비교 발표한바 있다.

본 실험에서 TMR(0,d,t) 는 심부선량백분률로 부터 구한 각 조사면 의 TMR(r,d,t) 곡선의 지수영역을 최소자승법을 이용하여 최적화하고 필터두께에 따른 투과방사선의 조직에 대한 유효선흡수계수를 구하였다. 필터를 사용하지 않은 6 MV X 선의 조직 유효선흡수계수는 0.0488 cm⁻¹, 20mm, 50mm 두께의 필터를 사용한 경우 각각 0.04094 ± 0.00005⁻¹, 과 0.03379 ± 0.00003 cm⁻¹ 을 얻었으며, 임의의 필터두께에 대한 조직 유효선흡수계수는 식 5 와 같이 실험식을 통해 최적화오차는 0.00007 cm⁻¹ 이내로 매우 근사한 값을 얻을 수 있었다.

선속조사면내 필터삽입에 의해 표면선량은 필터를 사용하지 않은 경우보다 작은값을 보였다. 이것은 콜리메이터에서 발생된 산란선 및 산란전자가 필터에 의해 차폐된 것으로 추정되며,

필터에서 발생된 산란전자는 필터와 펜텀공간에 흡수되는 것으로 생각되며, Khan 은 중원자 번호물질의 필터를 사용하는 경우 표면선량이 감소된다고 발표한 바 있으며, Purdy⁸⁾ 는 본 실험과 동일한 방사선에너지 (Mevatron 6, Siemens) 을 이용하여 표면선량이 개방조사면 $10 \times 10 \text{cm}^2$ 에서 12.1%, $20 \times 20 \text{cm}^2$ 에서 22.1% 였으며 차폐판위치에 2mm 납을 삽입한 경우 표면선량이 감소하며 차폐납이 두꺼울 수록 표면선량은 효과적으로 감소될 수 있다고 발표한 것과 본 실험결과와 잘 일치함을 알 수 있었다.

콜리메이터산란보정계수는 개방조사면보다 필터를 사용한 경우 조사면의 크기에 따라 크게 증가하여 50mm 두께의 필터 $20 \times 20 \text{cm}^2$ 에서 27% 증가함을 보였으며, 펜텀산란보정계수는 큰 변화를 보이지 않았다.

콜리메이터산란보정계수는 조사면이 커짐에 따라 필터에 의해 산란선이 크게 증가함을 의미하며, 펜텀산란보정계수는 평균에너지의 증가가 펜텀내 산란을 감소시키는 경향은 있으나 그 기여는 작은 것으로 생각된다.

한편, 필터에 의해 산란선이 조사면이 증가함에 따라 크게 증가되는 것으로 나타나 표면선량률의 감소와 대조적이었으나 표면선량률의 기준은 각각의 조사면의 최대심부선량률을 기준으로 얻어지기 때문이다.

선형가속기 6 MV X-선에 대한 조직-최대산란비는 조사면이 클수록, 평가지점 약 20cm 깊이까지는 증가함을 보였으며, 필터를 사용한 경우 약 25cm 깊이까지 증가하고 그 이상의 깊이에서는 완만히 감소됨을 보여 에너지 증가에 따라 조직여과가 다소 작아진 것으로 생각된다. Brown 등⁹⁾ 은 4 MVX선에 Wedge 필터를 사용한 경우 조사면크기와 깊이 따라 SPR (일차선량에 대한 산란선량비) 이 증가함을 발표한 바 있어 조직내산란선량비의 증가현상은 일치하나 본 실험과는 방사선에너지 및 필터의 종류가 다르므로 직접비교하는 것은 의미가 없을 것 같다.

5. 결 론

방사선조사면의 일부차폐 또는 조사면내 1 내지 3 반가층이내의 입체브록을 설정하는 경우 투과성필터를 통과한 방사선에너지의 경화에 따라 심부선량백분율, TMR(0,d,t) 와 SMR(r,d,t), 콜리메이터산란보정계수, 펜텀산란보정계수 및 표면선량 등의 변화를 분석하였다.

임의의 필터두께와 조사면에 대한 TMR(0,d,t) 는 실험식으로 구할 수 있었으며, SMR(r,d,t) 는 주어진 표를 이용하여 내삽으로 구할 수 있다.

TMR(0,d,t) 은 투과성필터 50mm일 때 개방조사면에 비해 13.6% 증가하였으며, SMR(r,d,t) 은 동일 조사면과 깊이에서 감소하였으며, 표면선량도 감소함을 보였다.

방사선조사시 병소에 균등한 선량을 조사하기 위해 투과성필터를 사용하는 경우, 비교적 정확한 조직선량분포를 얻기 위해서는 각 필터의 차폐면적에 따른 선량보정을 적용할 필요가 있다.

Reference

1. El-Khabit E, Podgosak EE, Pla C : Calculation of dose in homogeneous phantom for partially attenuated photon beams. *Med Phys* 15(2) : 145-150 (1990)
2. Choi TJ, Lee HJ, Kim OB : Homogeneous dose planning to paranasal sinus with the partial attenuation filters and wedged beams in 6 MV photon Beam. *J.KSTR* 11(1)183~191 (1993)
3. Kepka AG, Johnson PM, David J : The effect of off-axis quality changes on zero area TAR for megavoltage beam. *Phys Med Biol* 30(6) : 589~595 (1985)
4. Khan FM : *The Physics of Radiation Therapy; Dose distribution and scatter analysis*; Baltimore/London, Williams & Wilkins 1984, pp 157~204
5. 최태진, 김옥배 : The application of step filter in high energy photon beams. *계명대의논문집* 9권 1호, 131~137 (1990)
6. ICRU 23 :
7. Choi TJ : Development of a new radiotherapy technique using the quasi-conformation method. *J.KSTR* 9(2)343~350 (1991)
8. Purdy JA : Buildup/surface dose and exit dose measurements for a 6 MV linear accelerator. *Med Phys* 13(2) : 259~262 (1986)
9. Brown LH, Siddon RL, Bjarngard BE : Scatter Dose for Wedge Filter; *PMB* 32(10)1321~1326 (1988)

Scatter Dose in soft tissue using the partial attenuation filter for 6 MV X-ray of linear accelerator

Tae Jin Choi, Ph.D., Ok Bae Kim, M.D.

Therapeutic Radiology, School of Medicine Keimyung University, Taegu 700-310

Abstract

Measured and calculated the TMR and SMR factors from percent depth dose under partial attenuators which cover the whole part of the radiation beam with various filter thickness from 0 to 50 mm.

This study was performed for x-ray beams generated with a 6 MV linear accelerator at source to surface distance of 100 cm in a water phantom for Lipowitz metal.

TMR(0,d,t) was derived from non-linear polynomial regression with field size differences and a given filter thickness.

In this experiments, the TMR(0,10,50) of 50 mm of filter thickness was showed 13.6 % higher than that of open field and SMR(5,10,50) was 38.5 % smaller than that of open field in same depth.

Keywords : Partial Attenuation Filter, TMR, SMR