

소조사면 광자선의 팬텀산란인수 결정

계명대학교 동산의료원 방사선종양학과, *의공학과

오영기 · 최태진* · 김진희 · 김옥배

본 연구에서는 얇은 엠엘씨 등을 사용하여 불규칙한 모양의 조사면으로 방사선수술을 시행하거나 필수적으로 소조사면을 포함할 수 밖에 없는 세기조절 방사선치료를 위해 중요한 요소인 소조사면의 출력인수 S_{cp} 를 측정하였고 동일한 위치의 공기중에서 물등가 재질로 만든 선량증가두껍을 이용하여 제한기산란인수 S_c 를 측정함으로써 이 결과를 이용하여 팬텀산란인수 S_p 를 계산하였다. S_{cp} 의 측정에서 기준 측정기인 0.125 cc 부피의 이온전리함과 이극소자측정기의 결과는 잘 일치하고 있으나 0.015 cc 부피의 소형 이온전리함의 결과는 $4.2 \times 4.2 \text{ cm}^2$ 이상의 조사면에서는 1~4% 정도 낮게 나타났고 $1.8 \times 1.8 \text{ cm}^2$ 이하의 소조사면에서는 이극소자측정기에 비해 8~16% 낮게 측정되었다. 물등가 재질로 만든 선량증가 두껍을 덮은 이극소자 측정기를 이용한 S_c 의 측정은 전자오염 등으로 인해 약간의 오차를 보여주고 있으나 전체적인 추세는 잘 일치하고 있음을 확인하였고 이 결과들을 이용하여 계산한 S_p 는 다른 연구결과들의 범주에 포함되는 결과를 얻었다.

중심단어: 소조사면, 출력인수, 제한기산란인수, 팬텀산란인수

서 론

최근에 얇은 엠엘씨(micro-MLC) 등을 사용하여 불규칙한 모양의 조사면으로 방사선수술(stereotactic radiosurgery: SRS)을 시행하거나 필수적으로 소조사면을 포함할 수 밖에 없는 세기조절 방사선치료(intensity modulated radiation therapy: IMRT)가 널리 시행되고 있다. 이러한 SRS나 IMRT에서는 방사선치료용 선형가속기(linear accelerator: LINAC)의 모니터단위(monitor unit: MU)이 일반적인 방사선치료에서 사용하던 값보다 매우 커지게 되기 때문에 보다 정확한 선량 및 MU 계산이 뒤따라야 한다. 따라서, 소조사면에 대한 출력인수(scatter factor: S_{cp})의 정확한 측정자료는 물론 선량계산을 위해 필수적인 팬텀산란인자(phantom scatter factor: S_p)와 제한기산란인자(head scatter factor: S_c)에 대한 정확한 자료가 필요하다. 이러한 인자들 사이의 관계식은 Holt 등¹⁾에 의해 다음 식 (1)과 같이 표현된다.

$$S_{cp} = S_c \times S_p \quad (1)$$

여기서 각 인자들은 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 의 기준 조사면으로 규격화 된 값들이다. S_{cp} 는 각 LINAC의 구조에 따라 달라지는 값으로 팬텀속에서 기준 조사면 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 에서의 선량에 대한 동일한 위치에서의 임의의 조사면의 선량의 비로서 측정을 통하여 얻을 수 있고, S_c 는 팬텀에 의한 산란을 없애기 위해 공기중에서 기준 조사면에서의 선량에 대한 동일한 위치에서의 임의의 조사면의 선량의 비로서 측정하여야 한다. 이 때, 측정체적 주위에는 전자평형을 이루기 위해서 충분한 산란물질이 둘러싸여 있어야 한다. S_p 는 LINAC의 구조와 상관없이 오직 방사선의 선질과 조사면적에 의존한다. 따라서 S_p 는 적절한 수식을 통해 표준화된 값을 사용할 수도 있고 측정을 통해 구한 S_{cp} 와 S_c 를 이용하여 식 (1)로부터 얻을 수도 있다.

S_c 측정의 경우 전자평형을 유지하기 위해 일반적으로 알려진 선량증가(build-up) 두께인 6 MV 광자선의 경우 1.5 cm 이상의 물등가 산란물질로 둘러싸여야 하므로 정상적인 방사선치료거리와 동일한 FSD (focus-to-phantom surface distance)가 100 cm에서 $4 \times 4 \text{ cm}^2$ 이하의 조사면의 S_c 측정은 brass 등과 같은 고밀도 물질로 만든 선량증가두껍(build-up cap)을 사용하거나²⁻⁴⁾ FSD를 3~4 m로 늘여서 얻을 수 있다.⁵⁻⁷⁾ 고밀도 물질을 사용하면 조사면의 크기를 줄일 수

이 논문은 원자력기술개발사업 고유강점기술육성(2007-01036)의 지원으로 수행되었음.

이 논문은 2009년 5월 29일 접수하여 2009년 6월 12일 채택되었음.

책임저자 : 오영기, (700-712) 대구시 중구 동산동 194

계명대학교 동산의료원 방사선종양학과

Tel: 053)250-7683, Fax: 053)250-7984

E-mail: ykoh@dsmc.or.kr

있으나 방사선질의 경화(*beam hardening*)가 일어나고 다량의 2차전자가 발생되어 S_c 값을 증가시킨다고 보고되고 있으며⁸⁾ FSD를 3~4 m로 늘리는 경우 측정 위치에서 조사면적이 커지게 되어 소조사면 측정이 가능하지만 측정기의 정렬 등에서 오는 오차가 더욱 커지게 되어 측정의 신뢰성에 문제가 있는 것으로 알려지고 있다.^{5-7,9)} 따라서 정상조건(FSD=100 cm)에서 S_c 를 측정하는 것이 보다 정확하고 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있으나 조사면적이 작아짐에 따라 산란물질의 측방향 폭도 줄어들어야하고 이는 측방향 전자평형(*lateral electron equilibrium: LEE*)을 이룰 수 없게 된다. 그러나 1995년 Li 등¹⁰⁾에 의한 보고에서 조사면 폭이 4 cm 이상인 경우의 S_c 측정에서 LEE가 보존될 필요가 없고, 단지 LEE 영역보다 작은 두께를 갖는 산란물질에서 전자오염(*electron contamination*)이 문제가 될 뿐이라고 밝혔다. 전자오염에 따른 S_c 의 변화는 소조사면에서는 중요한 문제가 되지 않으며 따라서 매우 좁은 선량증가두겹을 이용하여 S_c 를 측정하는 것이 아무런 문제가 없음을 여러 연구자들에 의해 계속 보고되고 있고,¹¹⁾ 2007년에 McKerracher 등¹²⁾은 이극소자측정기(*diode detector*)를 이용하여 5 cm 길이와 d_{max} 길이의 선량증가두겹을 사용하여 S_c 를 측정한 결과 0.2% 정도로 그 차이가 크지 않음을 보고하였다.

본 연구에서는 IMRT는 물론 SRS에서도 중요한 요소인 $4 \times 4 \text{ cm}^2$ 이하의 소조사면에서 S_{cp} 를 측정하고 또한 S_c 를 측정하기 위하여 이극소자측정기에 부착할 수 있는 물등가 재질로 만든 소형 선량증가두겹을 제작하고 이를 이용하여 직접 S_c 를 측정하여 그 결과를 미리 측정한 S_{cp} 값에 나눔으로써 S_p 를 구하여 다른 연구자들의 결과들과 비교함으로써 소형 선량증가두겹의 타당성과 소조사면에서의 S_p 결정 방법을 제시하였다.

재료 및 방법

1. 측정기

소조사면의 방사선에 대한 선량을 측정하는 데는 이극소자측정기, 소형 이온전리함 등이 주로 사용되며 EBT 필름 등을 써서 비교하기도 한다. Wilcox 등¹³⁾에 의하면 EBT 필름이 몬테칼로 계산 결과에 가장 잘 부합하며 이극소자측정기는 밀도가 물에 비해 상대적으로 높아 1~3% 정도 높게 측정된다고 보고하고 있다. 그러나, 본 연구에서와 같이 S_c 를 측정하기 위해서는 필름은 공기중에 정확히 설치하기가 거의 불가능하고 buildup 조건을 맞추기 어렵다. 따라서, S_c 의 측정과 이를 이용한 S_p 의 결정 및 TMR 등의 계산을

하기 위해서는 이극소자측정기나 소형 이온전리함들을 이용할 수 밖에 없다. 또한 $4 \times 4 \text{ cm}^2$ 이상의 조사면에 대한 출력선량과 S_c 측정값에 대한 기준값을 비교하기 위해서는 일반적으로 절대선량측정에 사용하고 있는 이온전리함을 이용하여야 한다. 본 실험에 사용한 기준 이온전리함인 0.125 cc 부피의 이온전리함, 0.015 cc 부피의 소형 이온전리함, 이극소자측정기들의 상세한 제원은 Table 1에 나타내었다.

2. 선량증가두겹

S_c 를 얻기 위해서는 전자평형조건이 갖추어진 공기중에서 측정하여야 한다. 일반적으로 전자평형조건은 선량증가 깊이에 해당하는 두께를 가진 물질로 측정기 주위를 감싸도록 하고 있다. 그러나 본 연구와 같이 6 MV 광자선에서 소조사면의 제한기산란인수를 측정하기 위해서는 1.5 cm의 두께를 갖는 두겹을 사용하면 폭이 3 cm 이하의 조사면에서는 측정에 심각한 오차가 발생한다. 따라서 소조사면에서

Table 1. Specifications of radiation dose detectors used in this measurement.

Detector	Manu- facture	Active volume	Outer diameter	Length
Semiflex Chamber	PTW	0.125 cc	6.9 mm	7.2 mm
Pinpoint Chamber	PTW	0.015 cc	3.4 mm	5.7 mm
Diode	PTW	Detection area 1 mm ²	7 mm	Thickness 2.5 μm

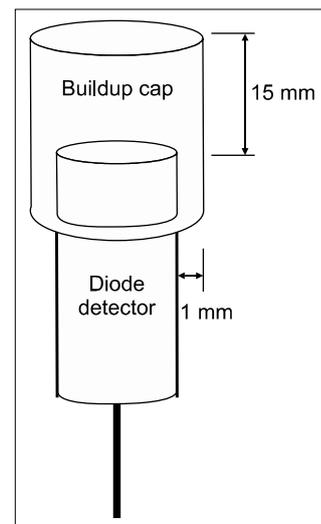


Fig. 1. Solid water build-up cap with 15 mm-thickness for diode detector.

서 측방으로의 산란에 의한 측정값의 기여가 무시할 정도임을 감안하여 오직 빔의 방향으로만 전자평형조건을 이루도록 두께를 1.5 cm으로 하고 측방은 최소한으로 줄이는 것이 큰 부피의 선량증가두겹을 이용하는 것 보다는 훨씬 정확한 측정값을 얻을 수 있다. 따라서 본 연구에서 사용한 선량증가두겹은 Fig. 1에 나타난 것과 같이 두께는 6 MV 광자선의 선량증가 깊이와 같은 1.5 cm로 하였고, 약간의 흠을 파서 이극소자 측정기 위에 안정되게 놓여 있게 하였다. 이 때, 가능한한 조사면을 벗어나지 않도록 하기 위해 측방으로는 1 mm가 되도록 하여 전체 지름이 9 mm인 물 등가 재질로 제작하여 이극소자 측정기에 덮을 수 있도록 하였다. 지름 9 mm는 측정하고자하는 최소조사면의 크기 6 mm 보다 크다고 할 수 있으나 이는 이극소자 측정기의 외경이 7 mm이기 때문에 그 위에 덮을 수 있도록 만들기 위해 어쩔수 없이 소조사면보다 커지게 되었으나 이극소자 측정기의 실제 측정센서의 면적이 1 mm²이므로 측방향의 선량증가 두께를 갖는 것으로 생각할 수 있다.

3. 실험 방법

조사면의 크기가 작아질수록 조사면의 중심에서부터 측방으로의 선량분포는 급격히 줄어들기 때문에 소조사면의 출력선량을 측정하는데 있어 측정기의 위치에 대한 오차는 실험 결과에 매우 중요한 요인이 된다. 따라서 측정기를 정확히 조사면의 중심에 위치시키는 것이 무엇보다도 우선되어야 한다. 본 연구에서는 SRS에 이용되는 BrainLab사의 얇은 엠엘씨인 M3를 Varian사의 선형가속기 Clinac iX에 장착하고 Winston-Lootz 방법을 이용하여 정확히 축교점(isocenter)을 일치시킨후 PTW사의 3D 팬텀인 MP3를 설치하여 0.125 cc 부피의 기준 이온전리함을 이용하여 먼저 10×10 cm² 조사면의 대칭도(symmetry)와 평탄도(flatness)를 깊이별로 스캔하여 정확한 방사선의 중심축을 찾은 후 측정기를 Fig. 2와 같이 SSD=95 cm, 깊이 5 cm의 축교점에 위치시키고 방사선 조사면의 크기를 4×4 cm²에서 10×10 cm²까지 변화시키면서 각 조사면에 대한 출력선량을 측정하였다. 측정기를 0.015 cc 소형 이온전리함과 이극소자 측정기로 바꾸고 같은 방법으로 일치시킨 후 0.6×0.6 cm², 1.2×1.2 cm², 1.8×1.8 cm², 4.2×4.2 cm², 6.0×6.0 cm², 8.0×8.0 cm² 그리고 10×10 cm²의 조사면에 대한 출력선량을 측정하여 10×10 cm²의 값으로 규격화 함으로서 출력인수를 구하였다. 4.2×4.2 cm², 6.0×6.0 cm², 8.0×8.0 cm², 10×10 cm²의 조사면에 대한 측정은 앞서 측정한 기준 측정기의 결과와 비교하기 위한 것이다. 소형 이온전리함으로 측정한 출력

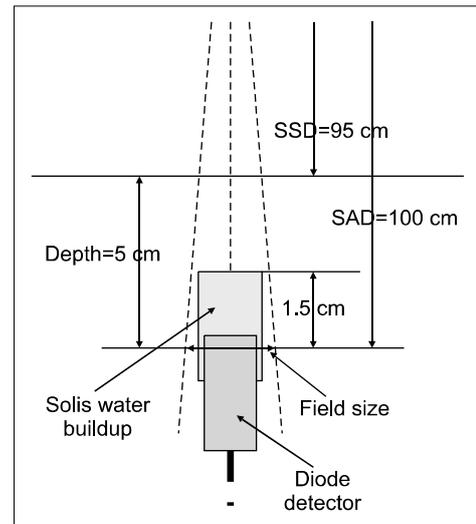


Fig. 2. Setup diagram for measurement of output factor and head scatter factor. The diode detector was positioned without build-up cap at isocenter of 5 cm-depth from water surface for output factor measurement and with build-up cap at same position in air for S_c measurement.

Table 2. The results of output factor measured at d_{max} with each detector and normalized to an 10×10 cm² field.

Field size (cm)	Semiflex chamber	Diode detector	Pinpoint chambet
0.6×0.6	—	0.686	0.530
1.2×1.2	—	0.857	0.752
1.8×1.8	—	0.886	0.813
4.2×4.2	0.928	0.931	0.893
6×6	0.957	0.956	0.933
8×8	0.981	0.981	0.97
10×10	1	1	1

선량의 결과가 Table 2에서 알 수 있는 것과 같이 2×2 cm² 이하의 소조사면에서 이극소자 측정기의 결과와 차이가 많고, 많은 논문에서 보고된 바와^{2,7,9-12)} 같이 전리함의 물리적 체적으로 인해 원천적인 불확도를 갖고 있어 임상에 적용하기 부적절하다고 판단되어 S_c 의 측정은 배제하였다. 그 위치에 이극소자 측정기를 고정된 상태에서 물을 뺀 공기 중에서 선량증가두겹을 장착하고 다시 0.6×0.6 cm², 1.2×1.2 cm², 1.8×1.8 cm², 4.2×4.2 cm², 6.0×6.0 cm², 8.0×8.0 cm² 그리고 10×10 cm²의 조사면에 대한 공기중에서의 선량을 측정정한 후 10×10 cm²의 값으로 규격화하여 제한기 산란인수 S_c 를 구하였다. 측정위치를 d_{max} 에 두면 전자오염 등에 의한 왜곡이 있을 수 있고 이를 보완하기 위해 5 cm 깊이에서 측정하는 것을 고려하였으나, 5 cm 길이의 팬텀을 이극

소자 측정기 위에 붙여야 하므로 셋업에 문제가 있을 수 있으며 1 cm 이하의 소조사면의 경우는 그 팬텀을 충분히 덮을 수 없어 오히려 더 오차가 크기 때문에 측정위치를 d_{max} 로 하는 것이 가장 적절하다고 판단하였다.

결 과

먼저 측정기별 출력인수 S_{cp} 를 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 의 값으로 규격화 한 값으로 Table 2에 나타내었다. 기준 측정기의 $4.2 \times 4.2 \text{ cm}^2$, $6.0 \times 6.0 \text{ cm}^2$, $8.0 \times 8.0 \text{ cm}^2$ 의 값 0.928, 0.957, 0.981에 비교하면 이극소자 측정기의 경우 각각 0.931, 0.956, 0.981로 매우 잘 일치하고 있으나 소형 이온전리함의 경우 조사면이 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 에서 $4.2 \times 4.2 \text{ cm}^2$ 로 줄어들면서 1~4% 정도 출력인수가 낮게 나타나고, $0.6 \times 0.6 \text{ cm}^2$, $1.2 \times 1.2 \text{ cm}^2$, $1.8 \times 1.8 \text{ cm}^2$ 의 소조사면에서는 이극소자 측정기에 비해 8~16% 더 큰 차이를 보여주고 있음을 Fig. 3에서 확인할 수 있다. 이 결과는 소조사면의 선량분포 면에서 보면 중심에서부터 측방으로 선량의 감소가 나타나는데 특히 $6 \times 6 \text{ cm}^2$ 과 같이 극히 작은 조사면에서는 그 차이가 더욱 두드러지게 나타나 소형 이온전리함의 5 mm 길이로는 정확한 선량을 측정할 수 없기 때문이다. 따라서 소형 이온전리함의 소조사면에 대한 결과를 신뢰할 수 없어 출력인수는 이극소자 측정기로 측정된 결과를 사용하였다. 물론 이극소자 측정기의 경우 여러 연구자들에²⁻⁵⁾ 의해 1~3% 정도 선량을 높게 평가한다고 알려져 있으나 본 연구의 목적이 팬텀산란인수를 구하기 위해 제한기산란인수를 측정하는 것이기 때문에 제한기산란인수를 측정할 때도 동일한 특성을 보인다면 서로 상쇄되어질 것으로 판단하여 S_c 를 측정함에 있어 본 연구에서는 이극소자 측정기를 이용하기로 하였다.

Table 3. Head scatter factor (S_c) measured at d_{max} with diode detector and phantom scatter factor (S_p) calculated from S_{cp} and S_c results.

Field size (cm)	S_{cp}	S_c	S_p
0.6×0.6	0.686	0.883	0.777
1.2×1.2	0.857	0.952	0.900
1.8×1.8	0.886	0.972	0.912
2.4×2.4	—	0.987	—
3×3	—	0.994	—
3.6×3.6	—	0.998	—
4.2×4.2	0.931	0.9997	0.9313
6×6	0.956	1.001	0.955
8×8	0.981	1.002	0.979
10×10	1	1	1

본 연구에서 측정된 S_c 값을 Table 3에 나타내었고 Fig. 4에 조사면의 크기에 따른 S_c 값을 그래프로 표현하였다. 각 조사면에 대해 5회측정을 수행하였으며 모든 조사면에서 0.3% 이내의 재현성을 갖고 있었다. $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 의 값에 비해 $8 \times 8 \text{ cm}^2$ 과 $6 \times 6 \text{ cm}^2$ 의 값이 0.1~0.2% 더 높게 측정되었는데 이는 다른 연구자들에⁹⁻¹²⁾ 의해 제기된 전자오염 때문인 것으로 생각된다. 따라서, 정확한 S_c 의 측정을 위해서는 전자오염을 제거할 수 있는 방법이 중요하다. 또한 $0.6 \times 0.6 \text{ cm}^2$ 에서 측정된 S_c 값 0.883은 detector의 크기와 그에 따른 선량증가두점의 크기에 대해 상대적으로 조사면이 작기 때문에 정확한 값으로 보기는 어렵다. 그러나 전자오염에 의

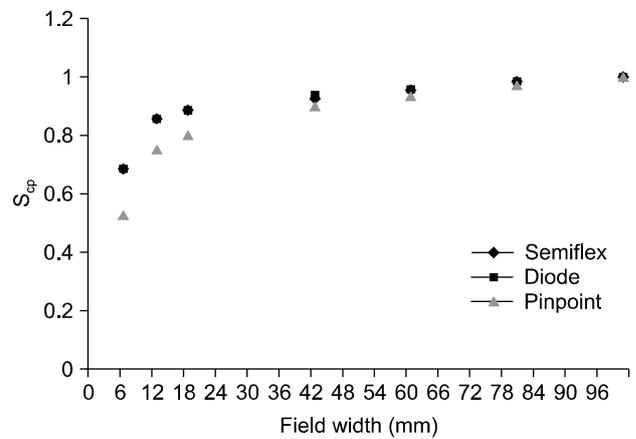


Fig. 3. Graph of output factor (S_{cp}) measured at d_{max} with each detector and normalized to an $10 \times 10 \text{ cm}^2$ field. The uncertainty at one standard deviation was 0.3% for all detectors.

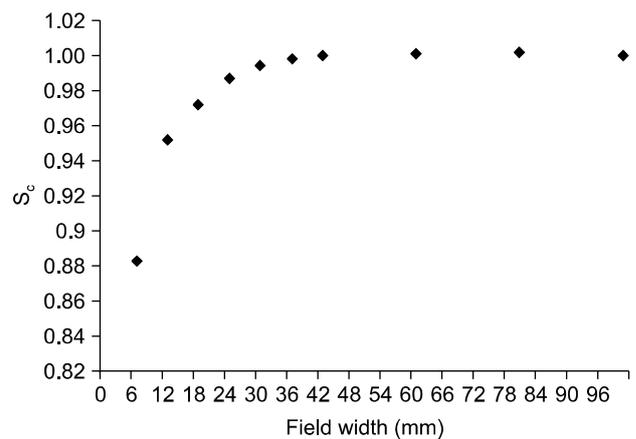


Fig. 4. Graph of head scatter factor (S_c) measured at d_{max} with diode detector and normalized to an $10 \times 10 \text{ cm}^2$ field. The uncertainty at one standard deviation was 0.1% for all detectors.

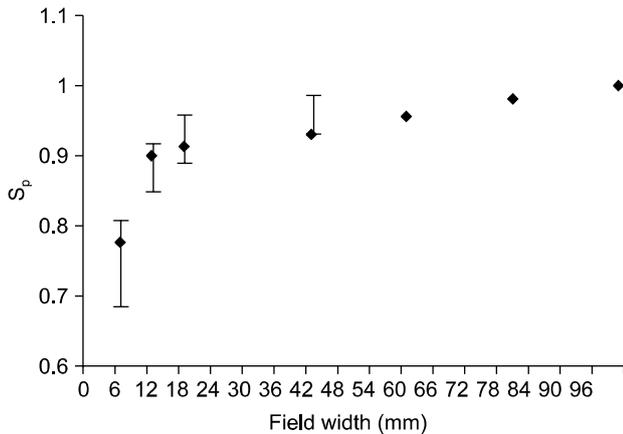


Fig. 5. Graph of phantom scatter factor (S_p) calculated from S_{cp} and S_c results, compared with those of other authors represented as upper and lower limits at small fields.

한 오차를 약 1~3% 정도 고려한 전체적인 S_c 값의 추세는 이론에 잘 부합하는 것으로 생각된다. 보다 정확한 제한기산란인수를 측정하기 위해서는 추후 연구를 계속해야 할 것이나 출력인수 측정과 동일한 자세(setup)에서 제한기산란인수를 측정할 수 있는 것 자체로도 큰 의미를 갖는다고 볼 수 있고 동일한 자세이므로 전자오염 등의 오차를 함께 갖고 있어 여기서 얻어진 결과를 이용하여 팬텀산란인수를 계산할 때 상쇄될 수 있다고 판단된다.

식 (1)로부터 S_p 를 계산하여 Table 3에 함께 나타내었는데 $4.2 \times 4.2 \text{ cm}^2$ 에서의 S_p 값은 0.9313, $1.8 \times 1.8 \text{ cm}^2$ 은 0.912, $1.2 \times 1.2 \text{ cm}^2$ 은 0.90, $0.6 \times 0.6 \text{ cm}^2$ 은 0.777로 계산되었다. 본 실험에서 사용한 방사선의 선질은 $\text{TPR}_{20/10}$ 의 값이 0.666인 Varian Clinac 6 MV이었다. McKerracher 등¹⁴⁾은 선질이 0.663인 Varian 600CD LINAC으로 방사선수술용 구형 제한기(collimator)의 S_p 를 구하여 이를 사각형 조사면에 대한 값으로 변환하여 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 의 값으로 규격화였고 선질이 0.678, 0.992 등인 기존의 다른 연구자들의 결과¹⁵⁻¹⁷⁾도 함께 보여주었다. $4 \times 4 \text{ cm}^2$ 의 S_p 값은 측정기와 LINAC에 따라 0.93~0.98, $1.75 \times 1.75 \text{ cm}^2$ 은 0.89~0.96, $1.25 \times 1.25 \text{ cm}^2$ 은 0.85~0.92, $0.5 \times 0.5 \text{ cm}^2$ 은 0.69~0.81으로 본 연구에서의 결과와의 비교를 위해 Fig. 5에 나타내었는데 $0.6 \times 0.6 \text{ cm}^2$ 에서 $4.2 \times 4.2 \text{ cm}^2$ 까지의 소조사면에서 다른 연구자들의 값들의 범주에 포함됨을 알 수 있다. 일반적으로 S_p 는 선형가속기의 구조나 디자인 등에는 무관하고 오직 방사선의 선질 및 조사면의 크기, 측정위치 등에만 의존하는 것으로 알려져 있으나 S_{cp} 및 S_c 의 측정에 있어 각 연구자들에 따라 사용하는 팬텀 및 측정기의 종류가 달라 이를 이용한 S_p 의 결과

가 선형가속기의 종류에 따라 달라지는 것으로 나타난다. 따라서 동일한 조사면에 대한 S_p 의 정확성을 비교한다는 것 자체가 다양한 변수를 포함하고 있고 본 연구 결과의 S_c 값이 전자오염에 의한 오차를 포함하고 있기 때문에 비교가 큰 의미는 없는 것으로 생각할 수 있다. 그러나, IMRT, SRS 등 소조사면을 사용하는 방사선치료가 점점 확대되고 있는 실정에서 치료의 정확성을 기하기 위해서는 S_p 를 구하고 이를 임상에 적용하는 것이 무엇보다 중요하다.

결론

본 연구에서는 IMRT나 SRS 치료에서 중요한 요소인 소조사면의 출력인수를 측정하였고 동일한 위치의 공기중에서 물등가 재질로 만든 선량증가두검을 이용하여 제한기산란인수를 측정함으로써 이 결과를 이용하여 팬텀산란인수를 계산하였다. 소조사면 측정에 사용되는 소형 이온전리함파 이극소자 측정기의 결과를 기준 측정기의 값과 비교하여 소형 이온전리함은 $2 \times 2 \text{ cm}^2$ 의 소조사면에서는 적절하지 않음을 확인하였고 따라서 제한기산란인수의 측정에는 이극소자 측정기를 이용하였다. 제한기산란인수의 결과는 전자오염 등에 따른 오차가 있었으나 전체적으로는 이론에 잘 부합되었다 이를 이용하여 계산된 팬텀산란인수는 다른 연구결과들과 유사한 값을 얻을 수 있었으나 선질과 조사면의 크기 등이 달라 정확한 비교가 이루어지지 않았다. 따라서 소조사면의 방사선 선질에 대한 표준화된 S_p 를 얻기 위해서는 다양한 연구와 측정이 뒤따라야 한다.

참고 문헌

- Holt JG, Laughlin JS, Moroney JP: The extension of the concept of tissue-air-ratios (TAR) to high-energy X-ray beams. *Radiology* 96:437-446 (1970)
- Heydarian M, Hoban PW, Beddoe AH: A comparison of dosimetry techniques in stereotactic radiosurgery. *Phys Med Biol* 41:93-110 (1996)
- Rice RK, Hansen JL, Svensson GK, Siddon RL: Measurements of dose distributions in small beams of 6 MV X-rays. *Phys Med Biol* 32:1087-1099 (1987)
- Sixel KE, Podgorsak EB: Build up region of high-energy X-ray beams in radiosurgery. *Med Phys* 20:761-764 (1994)
- Argovito G, Piermattei A, D'Abramo G, Bassi FA: Dose measurements and calculations of small radiation fields for 9-MV X rays. *Med Phys* 12:779-784 (1985)
- Houdek PV, VanBuren JM, Fayos JV: Dosimetry of small radiation fields for 10-MV X rays. *Med Phys* 10:333-336 (1983)
- Zhu TC, Bjarngard BE: The head scatter factor for small field

- sizes. *Med Phys* 21:65-68 (1994)
8. **Jursinic PA, Thomadsen BR**: Measurement of head scatter factors with cylindrical build-up caps and columnar mini-phantoms. *Med Phys* 26:512-517 (1999)
 9. **오영기, 최태진, 김진희, 김옥배**: The experience in small field dosimetry for IMRT and SRS technique. *대한방사선수술물리연구회 제6차 정기학술대회*. 서울 (2008), pp. 19
 10. **Li AX, Soubra M, Szanto J, Gerig LH**: Lateral electron equilibrium and electronic contamination in measurements of head scatter factors using mini-phantoms and brass caps. *Med Phys* 22:1167-1170 (1995)
 11. **Venselaar JL, Heukelom S, Jager N, et al**: Effect of electron contamination on scatter correction factors for photon beam dosimetry. *Med Phys* 26:2099-2106 (1999)
 12. **McKerracher C, Thwaites DI**: Head scatter factors for small fields. Part II: The effects of source size and detector MV photon. *Radiother Oncol* 85:286-291 (2007)
 13. **Wilcox EE, Daskalov GM**: Evaluation of GAFCHROMIC EBT film for CyberKnife dosimetry. *Med Phys* 34:1967-1974 (2007)
 14. **McKerracher C, Thwaites DI**: Phantom scatter factors for small MV photon fields. *Radiother Oncol* 86:272-275 (2008)
 15. **Chierago G, Francescon P, Colombo F, Pozza F**: From radiotherapy to stereotactic radiosurgery: physical and dosimetric considerations. *Radiother Oncol* 29:214-218 (1993)
 16. **Rice RK, Hansen JL, Svensson GK, Siddon RL**: Measurements of dose distributions in small beams of 6 MV X-rays. *Phys Med Biol* 32:1087-1099 (1987)
 17. **McKerracher C, Thwaites DI**: Head scatter factors for small MV photon fields. Part I: A comparison of phantom types and methodologies. *Radiother Oncol* 85:277-285 (2007)

Determination of Phantom Scatter Factors for Small Photon Fields

Young-Kee Oh, Tae-Jin Choi*, Jin-Hee Kim, Ok-Bae Kim

Departments of Radiation Oncology, *Medical Engineering,
Keimyung University Dongsan Medical Center, Deagu, Korea

Total scatter factor (S_{cp}), head scatter factor (S_c) and phantom scatter factor (S_p) are very important for accurate radiation therapy at stereotactic radiosurgery (SRS) with irregular field shape using micro-MLC and intensity modulated radiation therapy (IMRT) including many small field sizes. In this study we measured and compared S_{cp} with reference ion chamber, pinpoint chamber and diode detector and adapted the results from diode detector. Head scatter factors for small field sizes were also measured with diode detector covered 1.5 cm-thick solid water build-up cap. Some errors like as electron contamination of 1~3% were included in the values of S_c but trend of total results of S_c was coincided with basic theory. Phantom scatter factors for small field sizes were calculated from S_{cp} and S_c . The results of S_p were compared and were well-agreed with those of other authors.

Key Words: Small field size, Output factor, Head scatter factor, Phantom scatter factor