확장된 SSD에 기인한 Electron beam의 Output 및 특성 변화에 관한 연구

아산재단 서울중앙병원 방사선종양학과

이 정 우·김 정 만

= Abstract =

A Study on clinical Considerations caused by inevitably Extended SSD for Electron beam therapy

We are often faced with the clinical situations that is inevitably extended SSD for electron beam therapy due to anatomical restriction or applicator structure. But there are some difficulties in accurately predicting output and properties. In electron beam treatment, unlike photon beam the decrease in output for extended SSD does not follow inverse-square law accurately because of a loss of side scatter equilibrium, which is particularly significant for small cone size and low energies.

The purpose of our study is to analyze the output in changing with the energy, cone size, air gap beyond the standard SSD and to compare inverse-square law factor derived from calculated effective SSD, mominal SSD with measured output factor.

In addition, we have analyzed the change of PDD for several cones with different SSDs which range from 100cm to 120cm with 5cm step and with different energies(6MeV, 9 MeV, 12MeV, 16MeV, 20MeV).

In accordance with our study, an extended SSD produces a significant change in beam output, negligible change in depth dose which range from 100cm to 120cm SSDs.

In order to deliver the more accurate dose to the neoplastic tissue, first of all we recommend inverse-square law using by the table of effective SSDs with cone sizes and energies respectively or simply to create a table of extended SSD air gap correction factor.

The second we need to have an insight into some change of dose distribution including PPD, penumbra caused by extended SSD for electron beam therapy.

Key Words :

서 론

Electron beam의 임상 적용이 medical betatron에 의해 사용된 1940년대 말 이후 1950년대에 Linac의 사용이 시작되었고 현재에 이르기까지 방사선 치료에서 photon beam과 더불어 중추적 역할을 하고 있는 것이 사실이다.

잘 알려진 바와 같이 electron beam은 극히 제한된 비정을 가지고 있어 심부의 normal tissue를 save하는데 큰 이점이 있는 반면 급격히 fall off 되는 심부 선량률에 따른 선량 비균등성, 불균질 매질에 따른 심한 선량 분포의 변화 등 많은 제한요소를 가지고 있다.

따라서 electron beam은 photon beam과 다르게 beam output이나 properties의 양상에서 많은 차이를 보이고 있으며 임상 적용에 있어서 각별한 주의가 요구된다. 임상적으로 Electron beam dose calculation에 고려되야 할 인자들은 각 energy, depth에 따른 PDD, cone size factor, irregular field의 모양과 위치에 따른 output factor, inhomogeneity correction, obliquity factor, Extended SSD에 따른 보정 등이 있으나 몇몇 factor들의 보정은 적용 방법이나 적절한 protocol을 만들어 사용하는데 어려운 점이 있는 것도 사실이다.

본 연구에서는 몇몇 난점이 있는 보정 인자 중 anatomical restriction이나 applicator structure 등에 의해 불가피하게 확장된 SSD에 기인한 Electron beam의 Clinical considerations를 몇 가지 실험을 통해 비교 분석하였다.

이에 따른 영향 인자로는 아래와 같이 크게 세가지로 분류할 수 있으며,

① 확장된 SSD에 따른 Output 감소
② 확장된 SSD에 따른 Energy 변화
③ 확장된 SSD에 따른 Field내에서의 Penumbera 증가

본 연구에서는 ①과 ②의 항목에 대해 몇 가지의 실험을 통해 임상적 고찰과 더불어 적절한 보정 방법을 제시해 보고자 한다.

실 험

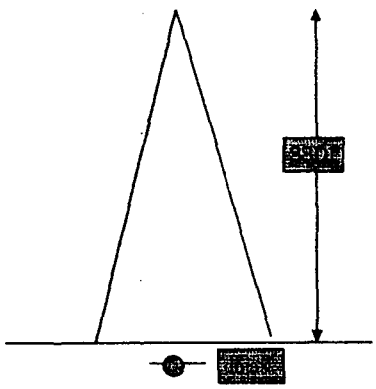
1. 확장된 SSD에 따른 Beam output 변화에 관한 실험

1) 실험 재료 및 방법

이 실험에서는 polystyrene phantom(밀도 1.03g/cm^3), Electrometer(Victoreen), ionization chamber (Farmer type), Linear accelerator(CL 2100C/D)을 사용했으며, 측정 방법은 〈그림 1〉에서 보는 바와 같이 SSD를 100cm에서 120cm까지 5cm step으로 couch를 vertical로 이동시키며 각 energy(6MeV, 9 MeV, 12MeV, 16MeV, 20MeV)별, cone size(4cone, 6cone, 10cone, 15cone, 20cone, 25cone)별로 측정했다.

2) 결과 및 고찰

Electron beam은 photon beam과 다르게 (−)하전을 띠고 있으므로 인하여 흔히 photon beam에 적용



〈그림 1〉 Drawing of measurement set up for beam output under various extended SSDs conditions.

하는 Inverse-square law가 잘 맞지 않는 가정하에 extended SSD 발생시 nominal SSD를 적용시킨 inverse-square law factor와 각각의 energy, cone size, SSD별 output을 측정 data를 구하고 이 data를 기초로 하여 effective SSD를 추정하고 이것을 적용시켜 얻은 inverse-square law factor와 SSD 100cm에서의 측정값의 상대치인 extended SSD에서의 air gap correction factor(output factor)의 차이를 비교 분석하였다.

① Effective SSD 산출 방법

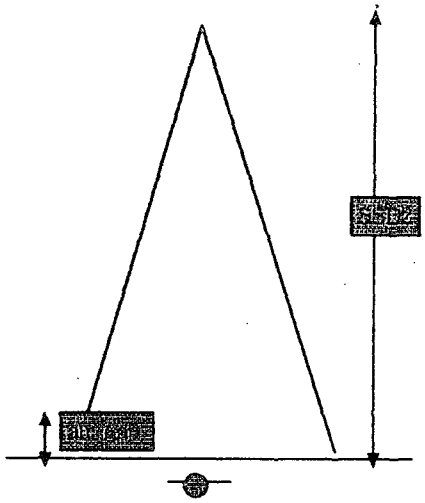
$$\frac{DOSE1}{DOSE2} = \left(\frac{SSDeff + dmax + g}{SSDeff + dmax}\right)^2$$

$$\Rightarrow \sqrt{\frac{DOSE1}{DOSE2}} = \frac{SSDeff + dmax + g}{SSDeff + dmax}$$

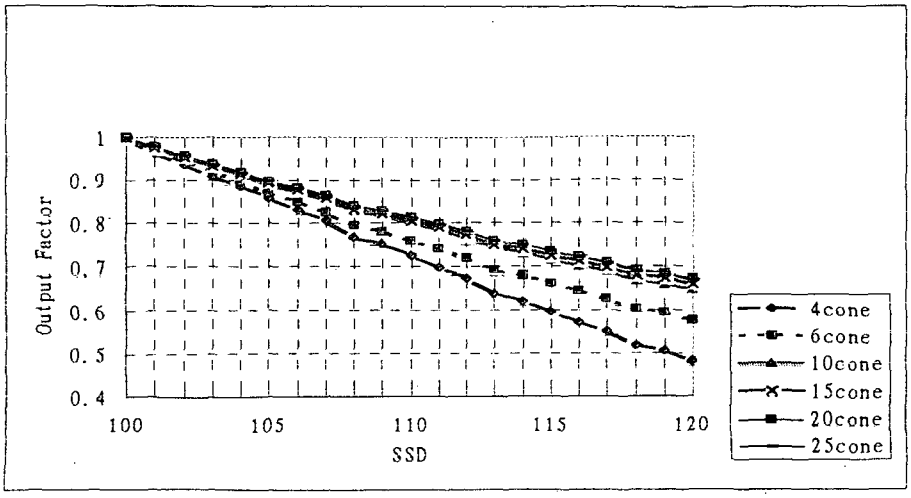
$$\Rightarrow \sqrt{\frac{DOSE1}{DOSE2}} \times (SSDeff + dmax) = SSDeff + dmax + g$$

$$\Rightarrow \sqrt{\left(\frac{DOSE1}{DOSE2} - 1\right)} \times (SSDeff + dmax) = g$$

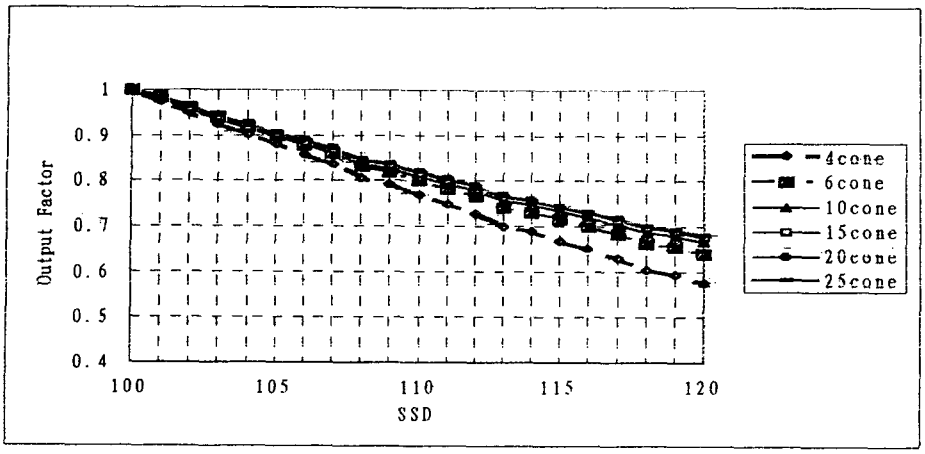
$$\Rightarrow SSDeff = g / \sqrt{\frac{DOSE1}{DOSE2} - 1} - dmax$$



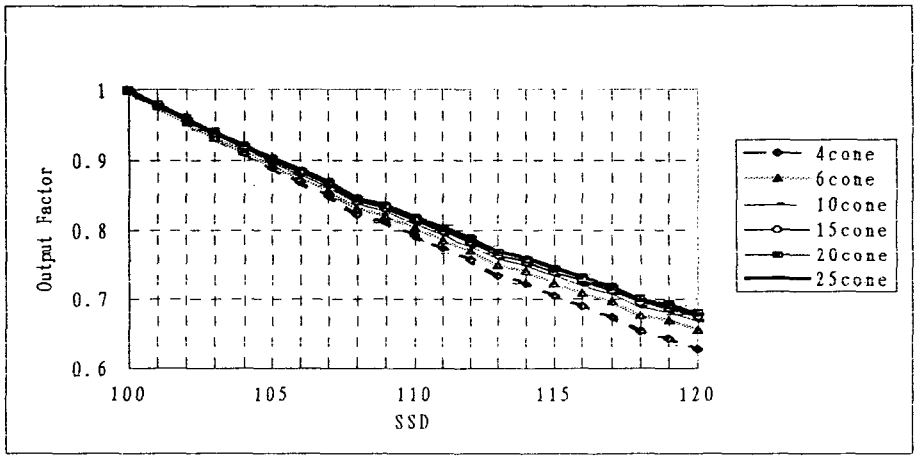
〈그림 2〉 Schematic Diagrams for Effective SSD calculation.



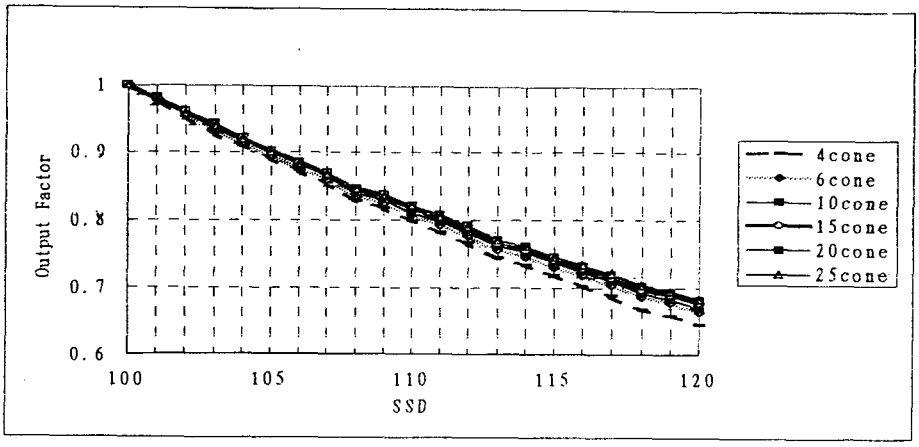
〈그림 3〉 6MeV Air gap correction output factor



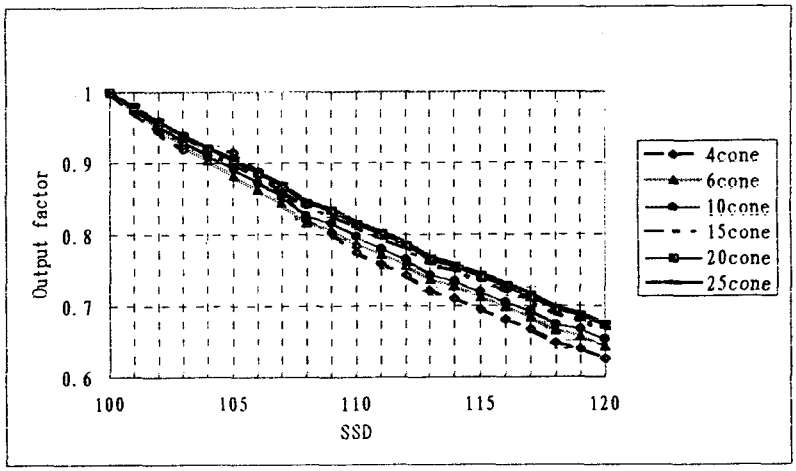
〈그림 4〉 9MeV Air gap correction output factor



〈그림 5〉 12MeV Air gap correction output factor



〈그림 6〉 16MeV Air gap correction output factor



〈그림 7〉 20MeV Air gap correction output factor

〈표 1〉 The table of inverse-square law factors by effective SSDs

cone / energy	4cone	6cone	10cone	15cone
6MeV	SSDeff = 55cm factor = 0.716	SSDeff = 67cm factor = 0.757	SSDeff = 83cm factor = 0.797	SSDeff = 86cm factor = 0.803
9MeV	SSDeff = 71cm factor = 0.768	SSDeff = 85cm factor = 0.801	SSDeff = 89cm factor = 0.808	SSDeff = 94cm factor = 0.817
12MeV	SSDeff = 81cm factor = 0.792	SSDeff = 85cm factor = 0.801	SSDeff = 90cm factor = 0.810	SSDeff = 92cm factor = 0.814

〈표 2〉 The table of Measured output factors

cone / energy	4cone	6cone	10cone	15cone
6MeV	0.726	0.759	0.799	0.803
9MeV	0.770	0.801	0.808	0.818
12MeV	0.792	0.803	0.809	0.814

② Clinical application

Anatomical restriction이나 applicator structure 등에 의해 nominal SSD 100cm이 SSD 110cm으로 연장된 경우 6MeV, 9MeV, 12MeV의 energy에 대한 4cone, 6cone, 10cone, 15cone에서의 extended SSD correction factor 비교(단, 편의상 dmax값은 무시하고 계산).

㉮ photon bema과 마찬가지로 nominal SSD로 inverse-square law 적용시

$$(\frac{100}{110})^2 = 0.826$$

㉯ effective SSD 적용시(표 1)

㉰ Measured air gap correction factor(표 2)

위 예시에서 보는 바와 같이 nominal SSD로 inverse-square law 적용시와 effective SSD 적용시, 실측 output factor는 6MeV에서 2%-10%, 9MeV에서 1%-

6%, 12MeV에서 1%-4% 정도의 편차를 보이고 있으며 이 차이는 SSD가 증가할수록, low energy, small cone에서 더욱 큰 차이를 보이고 있는 것을 알 수 있다.

2. 확장된 SSD에 따른 electron beam의 energy 변화에 관한 실험

1) 실험 재료 및 방법

이 실험에서는 water phantom(multidata), electrometer(victoreen), ionization chamber(thimble type), multidata dosimetry system, C/L 2100C/D(Varian)이 사용되었으며 SSD를 100cm에서 120cm까지 5cm 간격으로 각 energy(6MeV, 9MeV, 12MeV, 16MeV, 20MeV)별, cone size(6cone, 10cone, 15cone, 20cone, 25cone)별로 PDD(percent depth dose)를 측정하였다.

Linac에서 산출되는 photon beam은 가속관을 통해 가속된 고속전자가 target에 collision하여 다양한 spectrum의 bremstrahlung X-ray가 산출되므로 SSD가 증가함에 따라 low energy의 X-ray는 흡수되므로 평균 energy는 증가하게 된다.

반면 electron beam은 monoenergetic하므로 약간의 SSD(100cm-120cm)의 변화로 beam energy의 변화를 기대하기는 어렵지만 negative charged particle이라는 점에서 cone으로 collimation되지 않는 air gap이 증가할수록 공기중이나 medium내에서의 electron 변화를 예측하기가 어려우므로 각 energy(6MeV, 9MeV, 12MeV, 16MeV, 20MeV)별, cone size(6cone, 10cone, 15cone, 20cone, 25cone)별, SSD(100cm-120cm)별로 beam 중심 축선상의 PDD(percent depth dose)를 측정하고 이것을 비교 분석하였다.

2) 실험 결과 및 분석

SSD를 100-120cm으로 변화시켜 Energy, Cone size별로 PDD를 측정한 결과, 임상적으로 고려할 만큼의 변화는 없었으나 high energy, large cone으로 갈수록 대체적으로 unstable한 양상을 보였다.

〈표 3〉에서 보여주는 바와 같이 측정 오차를 감안할 때, PDD에 따른 Depth의 변화는 거의 없는 것으로 나타났으며, 따라서 Extended SSD로 인한 air gap의 증가는 beam 특성에 많은 영향을 주지 못하는 것으로 평가되었다.

〈표 3〉 6MeV Electron Depth/PDD under various SSDs

PDD/SSD	100cm	150cm	110cm	115cm	120cm
Dmax	12	12	12	12	12
90%	17.06	16.44	16.56	16.56	17.06
80%	18.94	18.50	18.38	18.31	18.25
70%	19.75	19.50	20.06	20.31	20.19
50%	22.63	22.50	22.50	22.63	22.56
30%	25.13	25.25	24.94	25.25	25.25

〈표 4〉 9MeV Electron Depth/PDD under various SSDs

PDD/SSD	100cm	150cm	110cm	115cm	120cm
Dmax	20	19	20	19	19
90%	16.44	26.19	26.5	26.63	26.81
80%	29.13	28.63	29	28.69	28.94
70%	30	30.44	31	29.81	30.31
50%	33.81	33.63	34.19	34.75	33.69
30%	37.56	37.75	37.56	38.31	37.75

〈표 5〉 12MeV Electron Depth/PDD under various SSDs

PDD/SSD	100cm	150cm	110cm	115cm	120cm
Dmax	26	25	26	26	26
90%	35.5	36	36	36.56	35.63
80%	38.88	40.05	39	39.94	40.31
70%	42.25	43.69	42.88	42.63	42.69
50%	47.75	48.69	47.88	47.56	47.94
30%	52.63	52.75	52.25	52.63	53.06

결 론

Electron beam 치료시 불가피하게 확장된 SSD에 기인한 임상적 보정 방법은 energy, cone size별로 계산된 effective SSD 적용 방법 또는 nominal SSD (100cm)와 extended SSD의 비를 energy, cone size별로 tabulation한 air gap correction factor 적용 방법 등이 권장되며, energy와 cone size에 따라서 약

1%~10%의 큰 차이를 보이고 있는 것이 본 연구를 통해 나타났다.

Energy 변화에 따른 차이는 high energy, large cone에서 low energy, small cone보다 크게 나타났지만 측정 오차를 고려할 때 임상적으로 고려할 만큼(2%미만)의 변화는 없는 것으로 나타났다.

REFERENCE

1. Francis J. Bova, Clinical Electron Beam Physics, Radiation Therapy Physics, p.123-138.
2. Faiz M. Khan, Karen P. Doppke, Kenneth R. Hogstrom et al. Clinical electron-beam dosimetry : Report of AAPM Radiation Therapy Commitee Task Group No.25.
3. International Commission on Radiation Units and Measurements : ICRU Report 21(1972) Radiation dosimetry : electrons with initial energies between 1~50 MeV. Washington DC.
4. Faiz M. Khan, The Physics of Radiation Therapy, 2nd edition, p.375-377.
5. 권경태, 윤화룡, 박광호, 김정만, 전자선에서 Virtual Source Distance의 위치 결정, 대한 방사선사 협회지 제20권 제1호.