

## 방사선 강내치료를 위한 소조사면 전자선cone의 선량분포 특성

경기대학교 의학물리학과

나 수 경, 권 수 일

방사선치료용 고 에너지 전자선의 조직내 선량분포는 매우 다양하게 나타나고 있으며 조직내에서 일정 깊이까지만 선량이 집중적으로 부여되고 그 이후에는 선량이 급감하는 특징으로 인하여 피부 및 피부에서 깊지않은 종양과 구강, 질강 등 강내조사에 존재하는 종양치료에 널리 이용되고 있다. 하지만 의료용 선형가속기에는 강내조사용 조사통(cone)이 제공되지 않고 있다.

본 실험은 2.5, 3.0, 3.5 cm  $\phi$  크기의 강내조사용 소조사면 조사통을 수직형과 30° 경사형으로 6가지를 직접 제작하여 에너지별, 조사통 크기별로 조직내 선량분포 특성을 실험하여 임상적 선량계획에 필요한 자료를 제공하는데 목적을 두고 실험하였다.

심부선량은 조사통 크기, 에너지 크기, 조사통 각도에 따라 다르게 나타나고 있으며 유효선량 깊이는 전자선 에너지 및 조사통이 커질수록 약간 증가하였고, X선 오염정도는 1.2% 이하로 나타났으며, 출력흡수선량율은 약 15-86 %로 나타났다.

고 에너지 전자선은 강내치료에 매우 유용하게 이용될 수 있으며, 조직내 선량분포 특성이 매우 다양한 양상을 나타내고 있음을 확인하였고 이러한 결과를 자료화하여 임상적 치료와 새로운 선량분포 모형 연구에 필요한 자료를 제공할 수 있으리라 생각한다.

**Key word :** 강내치료, 조사통, 전자선, 선량분포

### 서 론

인체의 강내에 있는 종양을 치료하기 위해서는 강내치료용 소조사면 조사통을 이용하여 고에너지 전자선으로 치료하게 되며, 이때 다양한 선량분포 특성을 가진 전자선 치료를 위해 stainless steel을 재질로 하여 강내 조사용 소조사면 전자선 조사통을 제작하였다. 조사통의 내부에는 전자선에 대한 산란선을 최소화하기 위하여 가는 홈을 나선형으로 만들었고, 선형가속기에 전자선 조사통을 부착할 수 있도록 별도의 장착기(periscope)를 사용하였으며, 환자와 조사통의 끝면이 유연하게 접촉할 수 있도록 하기 위해 치료거리를 유동적으로 조절할 수 있도록 제작하였다. 조사통 끝면이 수직형인 타입과 30° 각도로 된 2가지 타입으로 제작하였으며, 강내조사용 조사통의 직경은 각각 2.5cm, 3.0cm, 3.5 cm  $\phi$  까지 3가지 크기로 총 6개를 제작하였다.

선량측정은 6~20MeV 전자선에 대하여 제작된 조사통을 이용하여 측정하였으며, 등선량분포곡선은 모든 에너지와 각 각의 조사통에 대하여 측정하였다. 출력은 임상에 이용할 수 있도록 SSD 113 cm에서 에너지의 종류와 조사통의 크기에 따라 조직내 최대 선량 깊이에서 국제원자력기구 TRS 277 protocol에 의해서 각 에너지별로 계산하여 측정하였다.

선량분포 측정을 위해 필름을 팬텀 내에 고정할 수 있도록 phantom vise를 제작하여 필름 끝이 팬텀 표면과 정확하게 일치할 수 있도록 하였고, 필름의 광학적 밀도의 데이터는 Wellhofer 700i photo-densitometer를 이용하였다.

출력흡수선량은 15cm $\times$ 15 cm  $\phi$  수직형 외부조사통에 의한 출력을 1MU당 1cGy의 흡수선량이 되도록 조정하였으며 이를 기준으로 강내치료용 조사통의 출력선량율을 계산하였으며 이러한 결과에 의한 선량분포 특성을 평가하여 실제치료에 필요한 자료를 제공하는데 목적을 두고 있다.

## 재료 및 방법

고 에너지 전자선을 발생시키는 CLINAC 2100C/D(Varian) 선형가속기와 제작한 스테인레스 스틸 소조사면 조사통, 또한 흡수선량측정에는 192X 전위계(Capintec), PR-06 원통형 이온함(Capintec), PS-033 평행평판형 이온함(Capintec) 그리고 선량분포 및 출력흡수선량 측정을 위해 IC 10/TNC 1607 원통형 이온함(Wellhofer), X-OmatV 필름(Kodak)과 이를 고정할 수 있는 고정용 팬통과 물 팬텀, 그리고 폴리스틸렌 팬텀을 이용하였다.

### 1. 흡수선량 측정

국제원자력기구(IAEA)의 방사선 측정방법 TRS 277으로서 대부분의 방사선 표준교정기관에서 기본적으로 사용되는 방법이다.

전자선의 명목 에너지에 대해 선원과 물 팬텀 표면 간의 거리 100 cm, 조사면의 크기  $15 \times 15 \text{ cm}^2$ 로 하여 원통형 전리함인 경우 기준 깊이까지의 측정거리에 이온함의 전극 중앙이 되도록 하고 측정점의 위치를 이온함의 내부 반경인  $0.5r$  만큼 이동하였으며, 평행평판형 이온함은 이온함 표면이 측정점이 되도록 하여 측정하였다.

### 2. 선량분포 측정

두개의 0.1cc 이온함 중 한 개는 조사면 내의 공기 중에 설치하여 교정 이온함으로 사용하고 한 개는 측정용으로 물 팬텀내에서 3차원으로 움직이면서 선량을 측정하며 분석용 컴퓨터 시스템을 이용하여 분석하였다.

심부선량 측정은 고 에너지 전자선의 명목 에너지 6, 9, 12, 16, 20 MeV를 조사통의 크기별로 대상으로 선원 물표면까지의 거리를 113 cm로 고정시키고 검출기를 물 표면에서 10 cm 깊이까지 이동시키면서 측정하였으며, 선축상 최대선량지점( $D_{max}$ )을 결정하기 위하여 검출기를 1 mm/sec의 속도로 물표면에서 심부로 이동시키면서 측정하였으며 신호 변화가 심한 영역에서는 1 mm 깊이마다 기록하고 그 외 영역에서는 2 mm 깊이마다 기록하였다.

물속에서 조사면의 측면도는 검출기를 전후(Y축), 좌우(X축)로 움직이면서 측정하였으며 좌·우측과 깊이를 기준하여 심부선량백분율, 선량측면도 및 오염 X선을 구하였다.

필름을 이용하는 경우 밀봉된 필름을 고정하기 위하여 팜통 vise를 제작하여 조사 하였으며, 등선량분포곡선을 구하기 위해 필름을 스캔하여 선량분석기를 이용하여 측정하였다.

### 3. 출력흡수선량을

$15 \times 15 \text{ cm}^2$ 의 전자선 조사통에 의한 출력선량을 중심축의 최대 선량지점을 기준(1 cGy/MU)으로 조사하여 각 에너지별, 조사통의 크기별로 출력 흡수선량비를 구하였다.

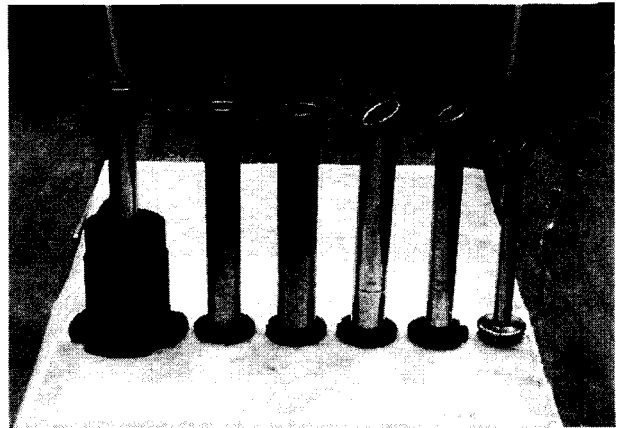


Figure 1. Photogram fabrication of the straight and 30°beveled cones for intracavity irradiation. (2.5, 3.0, 3.5 cm  $\phi$ )

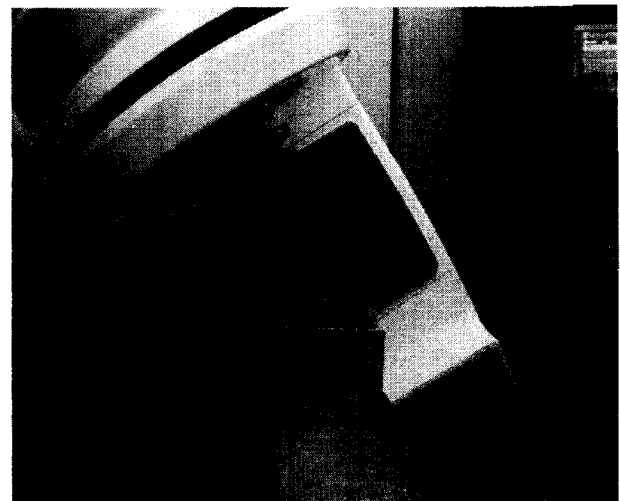


Figure 2. Phography film dosimetry for electron dose by intracavity cone

결 과

측정결과에 의하여 흡수선량분포, 심부선량백분율, 선량측면도, 오염 X선, 출력흡수선량을 구하였다. 필름의 흑화도를 선량에 대한 광밀도로 표시한 것으로 그림 3은 X-OmatV 필름에 전자선을 조사하여 얻은 흑화도로 5cGy 조사하였을 때 광학 밀도는 0.4 이고, 70cGy일 때는 3.6으로 측정되었다.

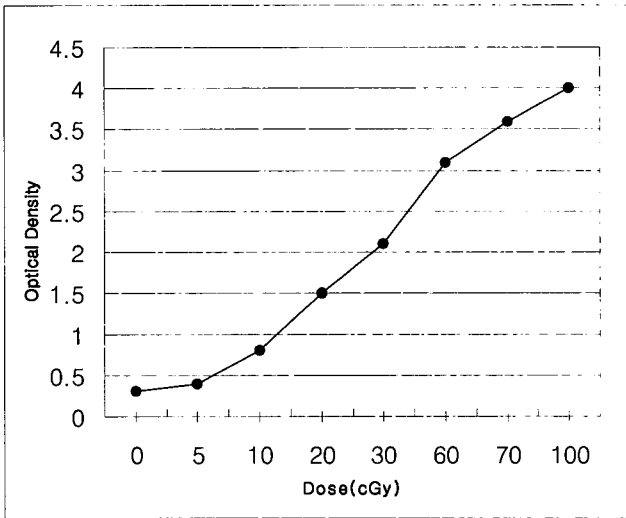


Figure 3. H-D curve for verification film(X-OmatV) and sensitivity as a function of 12 MeV electron beam

1. 흡수선량분포

선원표면간 거리 113 cm에서 3cm  $\phi$  조사통에 의한 6, 12 MeV 전자선으로 조사하여 얻은 흡수선량에 대한 흑화도로 각 각 수직형과 30° 각도를 가진 조사 통에 의하여 얻은 것이며 (그림 4), 그림 5는 필름의 흑화도를 선량으로 환산하여 최대선량을 100%로 하여 10% 간격으로 표시한 등선량곡선으로서 어떤 깊이에서 선량이 급감하며, 수직형이 경사형보다 거의 약간 깊게 나타나지만 거의 비슷하고, 에너지가 증가할 수록 표면선량이 증가 하였으며, 경사형에서 수직형 보다 약간 높게 나타났다.

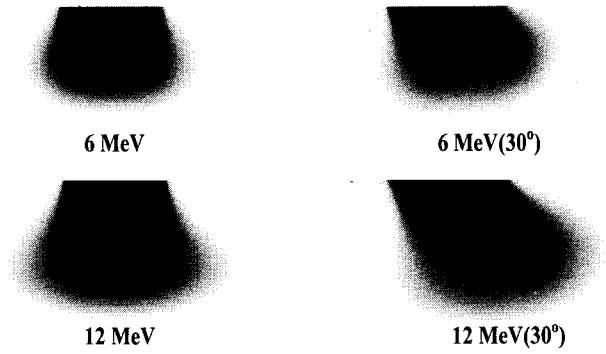


Figure 4. Optical density for 6, 12 MeV electron energies by intracavitary electron cones of 3 cmø straight and 30° beveled type at SSD 113 cm.

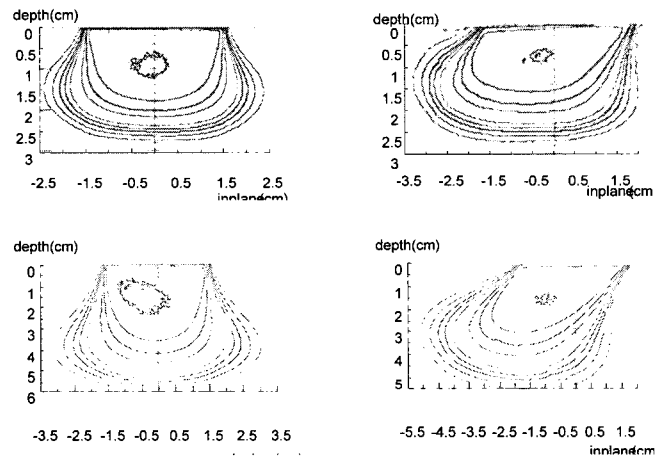


Figure 5. Isodose curves for 6, 12 MeV electron energies by intracavitary electron cones of 3 cmø straight and 30° beveled type at SSD 113 cm.

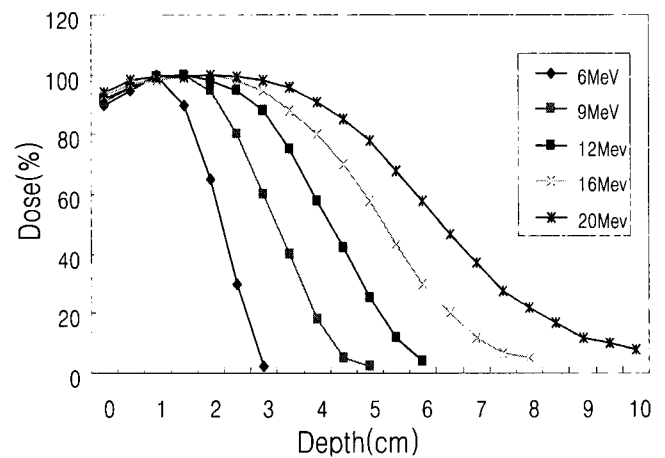


Figure 6. Percentage depth dose for various electron beam of 3 cmø straight and beveled cones at 113cm SSD.

Table 1. Parameters for various electron beam of 3 cm  $\phi$  straight and beveled cones at 113cm SSD.

Nominal Energy(MeV)	6	9	12	16	20
$E_{p0}$ (MeV)	5.2	8.3	11.2	15.3	18.5
	Stralght cone ( $\theta = 0^\circ$ )				
$D_s$ (%)	84	85	87	88	90
$R_{100}$ (cm)	0.9	1.2	1.4	1.6	1.9
$R_{80}$ (cm)	1.4	2.1	3.1	3.8	4.3
$R_{50}$ (cm)	2	2.4	3.6	5.4	6.3
$R_{10}$ (cm)	2.5	4	5.4	7.5	9.1
$D_x$ (%)	0.2	0.4	0.7	1.1	1.2
	Beveled cone ( $\theta = 30^\circ$ )				
$D_s$ (%)	86	87	89	90	92
$R_{100}$ (cm)	0.8	1.1	1.2	1.4	1.6
$R_{80}$ (cm)	1.3	2	2.9	3.6	4.1
$R_{50}$ (cm)	1.8	2.2	3.3	5.1	6
$R_{10}$ (cm)	2.2	3.8	5.2	7.2	8.7
$R_x$ (%)	0.1	0.4	0.6	1	1.1

Table 2 . Dose distribution of electron intracavitary cone

(unit : cm)

cone energy	region	2.5cm $\phi$	3.0cm $\phi$	3.5cm $\phi$
6 MeV	$d_{max}$	0.8	0.9	1.2
	$d_{80}$	1.2	1.4	1.6
	$w_{80}$	2	2.3	2.8
9 MeV	$d_{max}$	1	1.2	1.3
	$d_{80}$	1.9	2.1	2.4
	$w_{80}$	2.1	2.5	2.9
12 MeV	$d_{max}$	1.2	1.4	1.5
	$d_{80}$	2.8	3.1	3.3
	$w_{80}$	2.2	2.6	3
16 MeV	$d_{max}$	1.3	1.6	2
	$d_{80}$	3.4	3.8	4.2
	$w_{80}$	2.3	2.7	3.1
20 MeV	$d_{max}$	1.8	1.9	2.2
	$d_{80}$	4	4.3	4.7
	$w_{80}$	2.4	2.9	3.3

2. 심부선량백분율

명목상의 에너지 6, 9, 12, 16, 20 MeV 전자선을 이용하여 직경 2.5, 3.0, 3.5 cm  $\phi$ 의 수직형과 30°각도 경사형 조사통에 대해 물팬텀의 중심축을 따라 심부선량백분율을 구하였으며 (그림 6), 표 1은 각 에너지에 대한 3 cm  $\phi$  조사통의 물리적인 인자를 표시하고 있다.

수직형 조사통 3 cm  $\phi$ 의 경우 명목 에너지에 대한 표면에서의 최대 에너지는 각각 5.2, 8.3, 11.2, 15.3, 18.5 MeV로 측정되었다.

전자선 12 MeV에 대한 3 cm  $\phi$  수직형 조사통의 경우 100%, 80%, 50%, 10% 심부선량백분율 깊이는 각각 1.4, 3.1, 3.6, 5.4 cm 이었고 경사형 조사통은 각각 1.2, 2.9, 3.3, 5.2 cm로 수직형 조사통에서 약간 증가하였다.

X선 오염도는 수직형과 30°각도 경사형 모두에 있어 0.2~1.2%와 0.1~1.1%로 에너지가 증가할 수록 많이 발생하였으며, 미미하지만 수직형에서 약간 많이 발생하였다.

12 MeV 전자선에서 수직형 조사통 2.5, 3.0, 3.5 cm  $\phi$ 에 대한 심부선량 백분율을 나타낸 것이며 최대선량지점은 각각 1.2, 1.4, 1.5 cm 이었고, 유효선량 깊이는 2.8, 3.1, 3.3 cm로 두 경우 모두 전자선 에너지가 증가할수록, 그리고 조사통의 크기가 클수록 증가하였다(그림 7). 그림 8은 12 MeV 전자선에 대한 수직형 3 cm  $\phi$  조사통에 대한 각 심부선량 깊이에서의 선량 측면도를 나타낸 것으로 최대선량 깊이에서 측면선량이 줄어 드는 것으로 나타나고 있다. 또한 유효선량영역은 에너지가 증가할수록 조사통의 크기가 커질수록 증가하였다.

Table 2는 조사통에 의한 전자선의 최대선량점과 유효깊이 및 유효영역을 표시한 것으로서 선량 최대점은 전자선 에너지가 증가할수록, 그리고 조사통의 크기가 클수록 증가하였으며 16 MeV 전자선에서 조사통의 직경이 각각 2.5, 3.0, 3.5 cm  $\phi$ 일 때 최대선량지점은 각각 1.3, 1.6, 2.0 cm 이었다

유효선량깊이는 전자선 에너지가 증가할수록 그리고 조사통의 크기가 클수록 증가하였으며 20 MeV 전자선에서 조사통의 직경이 각각 2.5, 3.0, 3.5 cm 일 때 유효선량깊이는 각각 4.0, 4.3, 4.7cm 이었다.

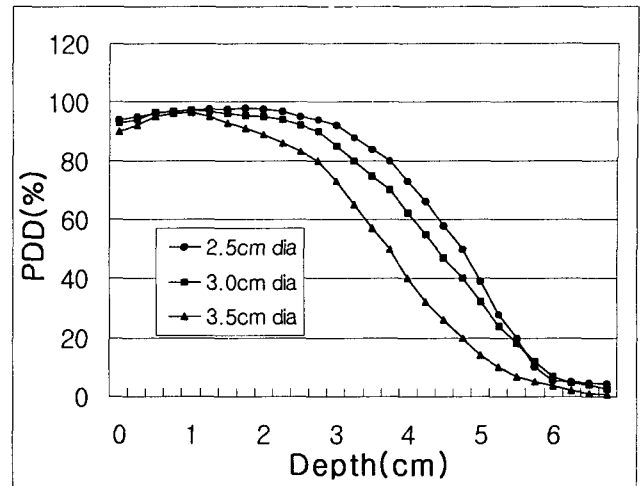


Figure 7. Percentage depth dose for 12 MeV electron beam by 2.5, 3.0, 3.5 cm  $\phi$  straight electron cones.

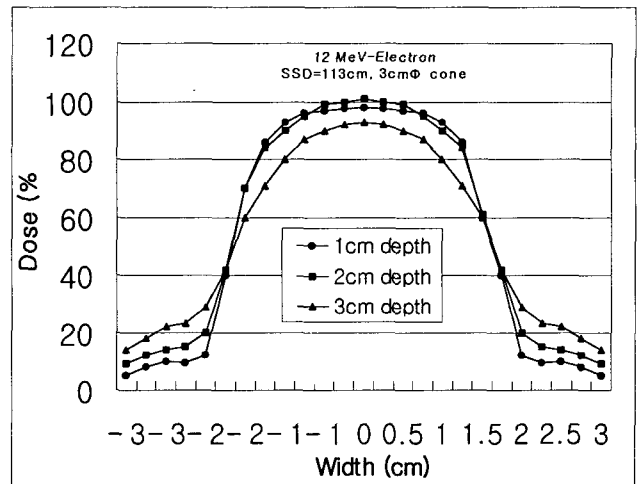


Figure 8. Dose profiles of 3 cm  $\phi$  straight small field cone for 12 MeV electron beam at SSD 113 cm.

최대선량 깊이에서 유효선량영역은 전자선 에너지가 증가할수록 그리고 조사통의 크기가 클수록 증가하였으며 9 MeV 전자선에서 조사통의 직경이 각각 2.5, 3.0, 3.5cm 일 때 유효선량 영역은 각각 2.1, 2.5, 2.9 cm 이었다.

또한 금속으로 제작된 조사통의 내벽 산란선이 조직에 접촉되고 있는 금속 끝 부분에 대량으로 발생되어 dose horn 현상이 나타나게 되는데 이는 전자선 에너지가 12 MeV 이상에서 그리고 조사통의 크기가 3 cm  $\phi$  이상에서 유효하게 나타나며, 그 값은 약 105%였고 경사형 조사통이 수직형 조사통보다 약간 더 증가하였다.

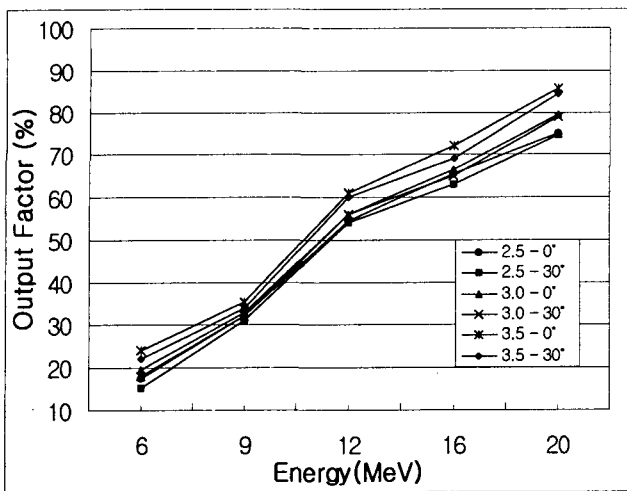


Figure 9. Dose output factor of intracavitary small filed electron cones for various electron beam at SSD 113 cm.

강내치료용 조사통에 의한 전자선의 출력은 두가지 요소에 의해 영향을 받고 있는데, 1차 전자선의 중심축 선량에 따라 영향을 받으며, cone의 내부벽에서 발생하는 산란선에 의해 달라지게 된다.

그림 9는 5가지 전자선 에너지 영역에 대해서 수직형과 경사형 조사통 크기별로 각각 측정하여 얻은 출력흡수선량을로서 수직형 조사통의 출력인자 비율의 영역은 0.175~0.856 이었고, 경사형 조사통의 출력인자는 0.153~0.843 이었다.

## 결론

전자선은 입자 방사선이기 때문에 조직의 일정한 깊이에서 거의 소멸되며 유효선량 깊이와 영역에서 집중 조사됨으로 강내 방사선치료에서 매우 유익한 방사선으로 선택된다.

심부선량과 오염 X선 및 출력흡수선량은 에너지, 조사통의 크기, 조사통의 형태에 따라 다르게 나타나고 있으며, 조직내에서 선량분포 특성은 매우 다양한 양상을 나타내고 있는 것을 확인하였다. 또한 금속 내면의 산란선에 의한 dose horn 현상의 발생은 강내 입자치료장치에서 피할 수 없지만 평균 105%이 내이고 분포체적이 작기 때문에 임상적으로 큰 문제 없이 이용할 수 있다. 따라서 이러한 결과를 자료화 함으로서 임상적으로 치료계획을 세우는데 정확한 자료를 제공할 수 있으며, 새로운 수학적 모델연구에 필요한 자료를 제공할 수 있으리라 생각한다.

## 참고 문헌

1. Biggs Pj, Epp ER, Ling CC, Novack DH, Michaels HB> Dosimetry, field shaping and other considerations for intra-operative electron beam applicators. *Med Phys.* 16, 130-131, 1989.
2. Hogstrom KR, Boyer AL, Shiu AS, etc. Design of metallic electron beam cones for an intraoperative therapy linear accelerator. *Int J Rad Oncol Biol Phys.* 18, 1223-1232, 1990.
3. Palta JR, Suntharalingam N. A non docking intraoperative electron beam applicator system. *Int J Rad Oncol Biol Phys.* 17, 411-417, 1989.
4. Jones D, Taylor E, Travaglini J, Vermeulen S. A noncontacting intraoperative electron cone apparatus. *Int J Rad Oncol Biol Phys.* 16, 1643-1647, 1989.
5. Mills MD, Almond PR, Boyer AL, etc. Shielding considerations for an operating room based intraoperative electron radiotherapy unit. *Int J Rad Oncol Biol Phys.* 18, 1215-1221, 1990.
6. McCullough EC, Anderson JA. The dosimetric properties of an applicator system for intraoperative electron beam therapy utilizing a Clinac-18 accelerator. *Med Phys.* 9, 261-268, 1982.
7. Meyer JA, Palta JR, Hogstrom KR. Demonstration of relatively new electron dosimetry measurement techniques on the Mevatron 80. *Med Phys.* 11, 670-677, 1984.
8. Mills MD, Hogstrom KR, Fields RS. Determination of electron beam output factors for a 20 MeV linear accelerator. *Med Phys.* 12, 473-476, 1985.
9. Khatib EE, Antolak J, Scrimger J. Evaluation of film and thermoluminescent dosimetry of high energy electron beams in heterogeneous phantoms. *Med phys.* 19, 317-323, 1992.
10. Shiu AS, Otte VA, Hogstrom KR. Measurement of dose distributions using film in therapeutic electron beams. *Med Phys.* 16, 911-915, 1989.
11. Harms WB, Low DA, Purdy JA. A quantitative dose calculation evaluation tools. *Int J Rad Oncol Biol Phys.* 30, 187-190, 1994.
12. Task group 21: A protocol for the determination

- of absorbed dose from high energy photon and electron beams. *Med Phys.* 10, 741-771, 1983.
13. Ten HR, Fraass BA, Jost RJ. Practical methods of electron depth dose measurement compared to use of the NACP design chamber in water. *Med Phys.* 14, 1060-677, 1987.
  14. Nyerick CE, Ochransky TG, Boyer AL, Hogstrom KR. Dosimetry characteristic of metallic cones for intraoperative radiotherapy. *Int J Rad Oncol Biol Phys.* 21, 501-510, 1991.
  15. Dahl RA, McCullough EC. Determination of accurate dosimetric parameters for beveled intraoperative electron beam applicators. *Med Phys.* 16, 130-131, 1989.
  16. Ekstrand KE, Dixon RL. The problem of obliquely incident beams in electron beam treatment planning. *Med Phys.* 9, 276-278, 1982.
  17. Fraass BA, Miller RW, Kinsella TJ. etc. Intraoperative radiation therapy at the National Cancer Center Institute, technical innovations and dosimetry. *Int J Rad Oncol Biol Phys.* 11, 1299-1311, 1985.
  18. Rashid H, Islam MK, Gaballa UF. Small field electron dosimetry for the Philips SL25 for a 20 MeV linear accelerator. *Med Phys.* 12, 473-476, 1985.
  19. Bagnard FR, Samsami N, Dobeles RR. Radiation contamination and leakage assessment of intraoperative electron applicators. *Med Phys.* 15, 530-537, 1988.
  20. Hogstrom KR, Otte VA, Ewton JR. MDAH dosimetry and data acquisition system. *Med Phys.* 9, 611-620, 1982.

## Fabrication and Dosimetry Characteristics of Intracavitary Cones for Radiotherapy

Soo-Kyung Na, Soo-Il Kwon

*Dept. of Medical Physics, Kyunggi University*

The intracavitary cones were designed which were made of stainless steel and have scratched inside cone to be generated electron scatter and designed to be attached easily to the LINAC collimator and controlled cones length to be contacted smoothly between the patient and the cone tip.

Two types of intracavitary cones were designed. One is the straight end cones with circular opening on the distal end and the other is 30 degree beveled end cones with elliptical opening on the distal end. Each type of intracavitary cone ranged in diameter from 2.5 cm to 3.5 cm and required a separate set of lower trimmer annulias cone diameter.

The film phantom was designed with an internal cassette that accurately aligned the film edge with the film phantom surface. Film optical density data were measured by photodensitometer(Wellhofer 700i)

Dosimetry measurements were made to commission the LINAC for 6 - 20 MeV electron using the intracavitary cones. Isodose curves were measured for all energy and cones combinations. Output is defined as the maximum dose per MU along the clinical central axis in water at 113 cm SSD. Calibration output, defined to be the output for the 15cm×15cm diameter straight cone, was adjusted to 1.00 cGy/MU at each energy according to the TG-21 protocol.

**Key word : Intracavitary, Cone, Electron, Dosimetry, Output**