
ML-6M LINAC에 장착한 Radiosurgery Cone의 Beam 특성에 대한 고찰

원광대학교 의과대학병원 치료방사선과

문언철 · 김현진 · 김영석

Dose Characteristics of Stereotatic Radiosurgery CONE used for ML-6M Linear Accelerator

Unchull Moon, Hyunjin Kim, Youngsuk Kim.

Dept. of Radiation Oncology, Wonkwang University Hospital.

〈Abstract〉

The radiosurgery treatment is one time, non surgical approach to the treatment of patients with intracranial disorders whose conditions would be difficult or dangerous to treat with conventional sugical procedures. The LINAC based radiosurgery is based on the combination of multiple isocentric arc irradiation with small fields centered in the stereotactic target. The absorption of the beam in a tissue equivalent medium, such as water, as well as the uniformity, or profile, of the beam must be precisely documented.

The beam characteristics and dosimetric measurements of the 6MV X-ray beam from a ML-6 M linear accelerator are examined. The percent depth dose(PDD) and beam profile(including flatness, symmetry and penumbra) is calibrated with the radiosurgery cone in water phantom. The cone is made of lead which size is from $10 \times 10\text{mm} \phi$ to $30 \times 30\text{mm} \phi$ All of these dosimetric measurements sufficiently characterized the beam to permit safe clinical use.

Key words : Small field, Radiosurgery, percent Depth Dose, Beam profile.

1. 서 론

방사선 치료를 시행하고 있는 현대의학에서 소형의 뇌종양 치료를 위한 방사선 수술요법이 시행되고 있으며 외과적 수술이 곤란한 부위의병소 즉, 뇌혈관기형, 수막종, 청신경초종, 뇌하수체종양 등

을 대상으로 비수술적 수술방법중의 하나인 Stererotatic Radiosurgery를 시행하기 위해 본원에서는 Radiosurgery CONE을 자체 제작 하였다.

두부에 외과적 손상과 주변 뇌조직에 방사선에 대한 장애를 주지않고 병소에만 다량의 방사선을 조사하여 기존의 방사선치료에서 볼수 있었던 부작용을 극소화 시키고 1회 조사로 모든 치료를 끝낼수 있다는 큰 장점을 가진 Stererotatic Radiosurgery를 시행하기 위해서, 본원에서 자체 제작한 Radiosurgery Cone을 본원에서 가동중인 ML-6M LINAC에 장착하여 사용할 경우 ML-6M LINAC에 대한 특성은 물론 Radiosurgery Cone에 대한 모든 특성을 검증 및 고찰 해야만 한다.

이와같은 Stereotatic Radiosurgery을 시행하기 위해 소형 조사면으로 회전조사에 필요한 자료 및 Deta를 얻기 위해 본원에 설치 가동중인 ML-6M LINAC의 6MV X-ray로 본원에서 제작한 Radiosurgery Cone(즉, $10 \times 10\text{mm} \phi$, $15 \times 15\text{mm} \phi$, $20 \times 20\text{mm} \phi$, $25 \times 25\text{mm} \phi$, $30 \times 30\text{mm} \phi$)을 이용하여 Beam에 대한 선량 분포를 측정하였다.

II. 측정장비 및 방법

1. 측정장비 및 기기

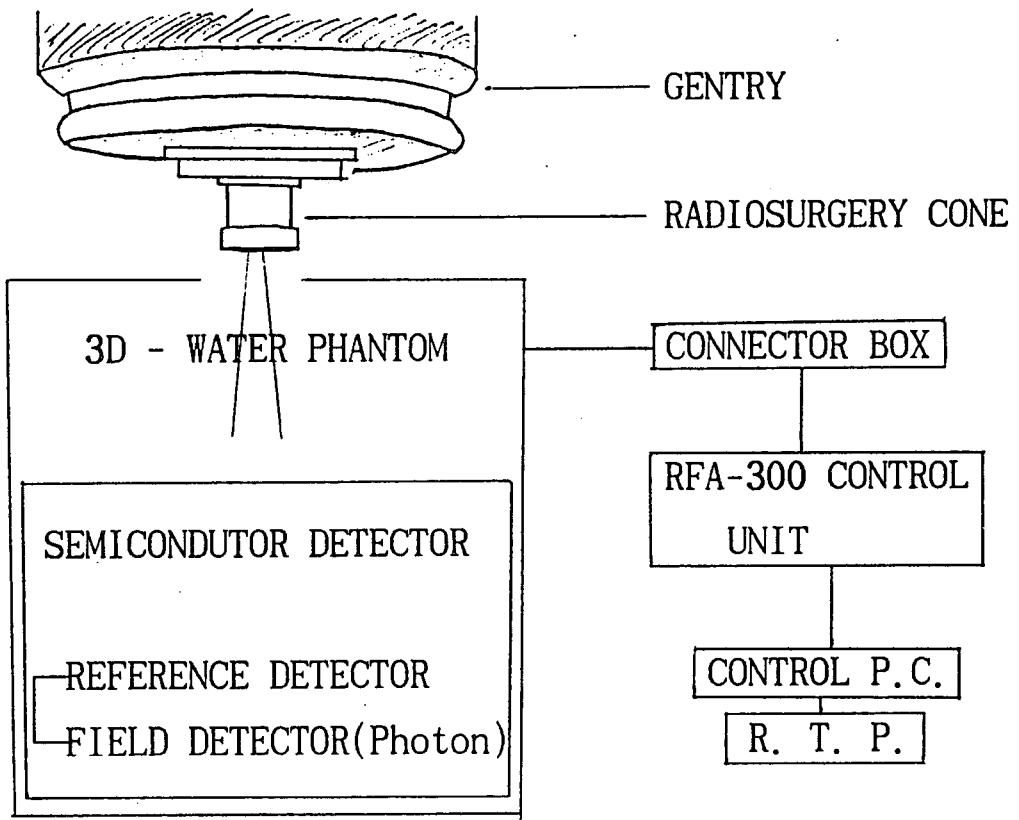
- * ML-6M LINAC.
- * Radiosurgery CONE. ($10 \times 10\text{mm} \phi$, $15 \times 15\text{mm} \phi$, $20 \times 20\text{mm} \phi$, $25 \times 25\text{mm} \phi$, $30 \times 30\text{mm} \phi$)
- * 3D-Water Phantom.
- * Semiconductor type Detector.(Photon용 Field Detector, Reference Detector.)
- * Local connector unit.
- * RFA-300 unit
- * Control P.C.

2. 측정방법

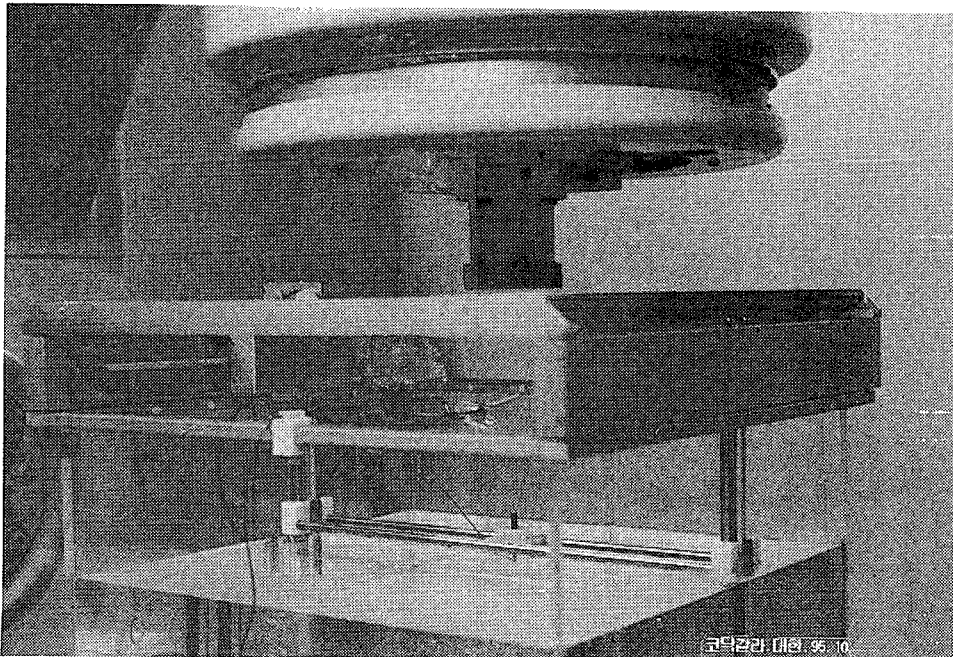
2-1. 측정장비 및 기기

그림 1은 ML-6M LINAC에 Radiosurgery Cone을 장착하여 Photon beam을 측정하기 위한 Block diagram이다.

ML-6M LINAC은 일본의 Mitsubishi electric사에서 제작한 것이며, Tray 및 Radiosurgery Cone은 본원에서 각 Size별로 제작하였으며, 또한 측정장비인 Water Phantom은 스웨덴의 Scanditronix사 제품으로 규격은 $495 \times 495 \times 495\text{mm}$ 로써, Semiconductor Detector Type의 Field Detector가 Water Phantom내에서 3차원적으로 이동이 가능하다. 이들 Detector를 수동으로 이동 시키기 위한 Local control unit가 부착되어 있으며 이는 Cable을 통해 Control room에 설치된 RFA-300과 연결이 되어 있다. Semiconductor Detector Type인 Reference Detector와 Field Detector를 동시에 사용하였으며, 측정되는 Signal은 스웨덴의 Scanditronix사 제품인 RFA-300을 이용하여 컴퓨터에 입력하여 저장 및 계산하였다.

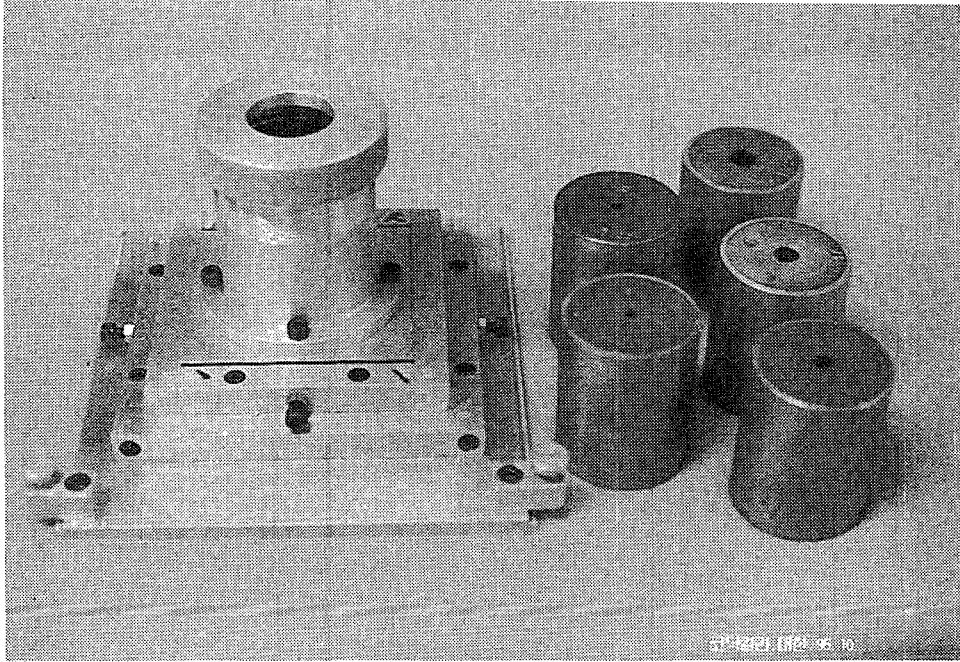


〈그림 1〉 Block diagram of Detection



〈그림 2〉 Radiosurgery Cone used for ML-6M LINAC.

그림 2는 본원에서 제작한 Radiosurgery Cone을 ML-6M LINAC Gantry에 장착한 그림이며, Cone Tray는 Lock 장치에 의해 고정시키고 Cone center를 미세 조정하기 위해 전후(X축), 좌우(Y축)를 5mm 정도의 유격을 두어 제작하여 조정할 수 있게 하였다. 그림 3은 본원에서 제작한 Radiosurgery Cone 및 Tray의 그림이다. Cone은 길이가 100mm이고, 직경이 70mm인 Lead을 5mm의 Copper로 coating하여 Cone에 대해 견고함을 주었고, 방사 각도에 맞추어 각 Cone size별로 중앙에 Hall을 뚫어 제작하였다.



〈그림 3〉 Small field circular Cones and Tray.

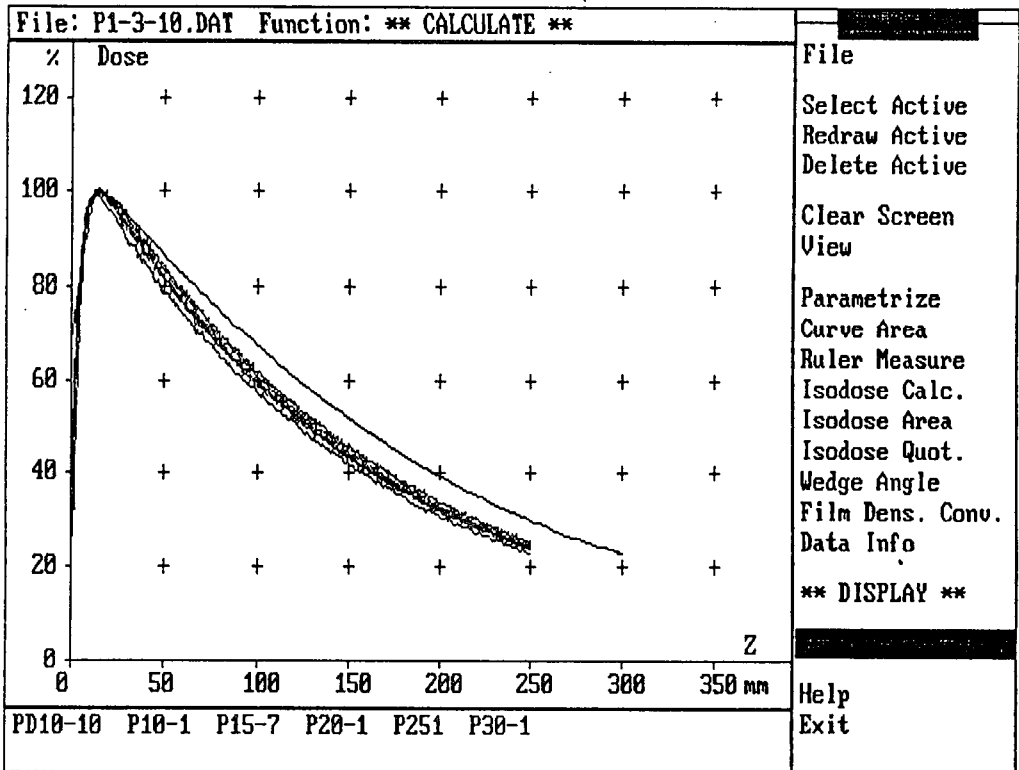
2-2. 심부선량백분율(PDD) 및 Beam profile 측정방법

심부선량 백분율(PDD)은 Water Phantom내에서 3차원적으로 움직이는 Detector를 이용하여 측정된 Signal을 RFA-300을 통해 컴퓨터에 기록하며 측정하였다. ML-6M LINAC의 SAD는 1000mm이므로 선원과 물표면과의 거리를 1000mm로 고정시키고, 물표면으로부터 250mm 깊이까지 Detector를 이동시켜 측정하였다. ML-6M LINAC의 조사야는 기본조사야인 100×100mm로 고정시키고, Radiosurgery Cone을 각 Size별로 장착, 교환하며 측정하였다. 선축상최대치(D_{max})를 결정하기 위해 Detector를 1mm/sec의 속도로 이동시키며 수회씩 반복 측정하였다.

Beam Profile은 물속깊이 15mm와 물표면으로부터 50mm 간격으로 200mm까지 중심선축을 지나선량율의 변화를 측정하였다. Radiosurgery Cone의 편평도(Flatness) 및 대칭성(Symmetry)을 측정하기 위해 ML-6M LINAC의 조사야는 100×100mm로 고정시키고, Cone Size내의 선량최대 및 최소점에서, 대칭성(Symmetry)은 Beam 중심과 Cone Size내의 선량최대 및 최소점에서, 대칭성(Symmetry)은 Beam 중심과 Cone Size내의 크기 80%지점에서의 값으로 각각 계산하였다.

III. 결 과

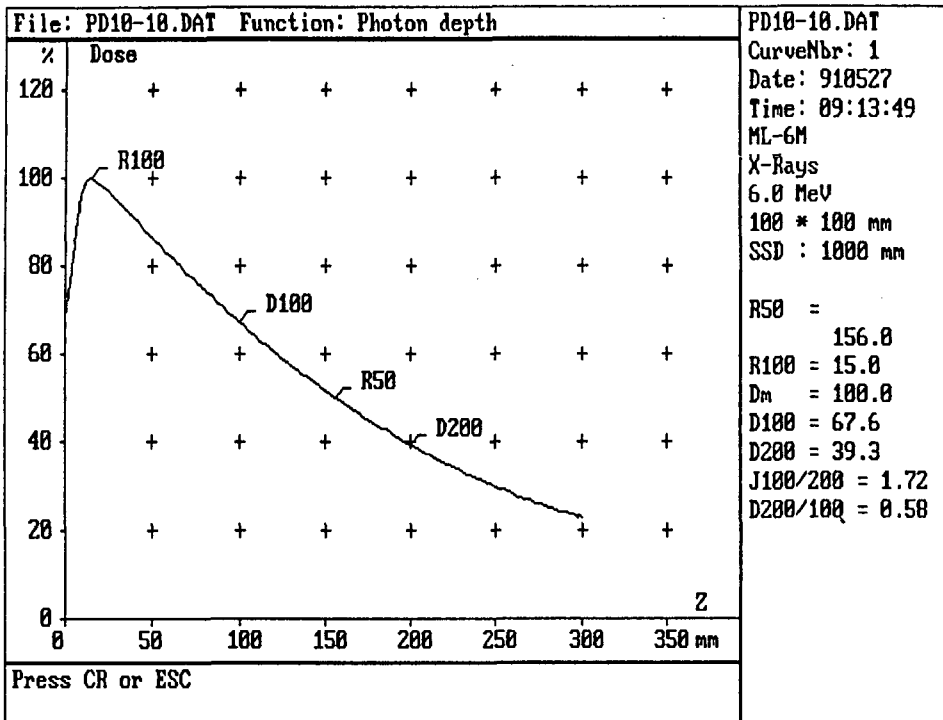
ML-6M LINAC의 6MV X-ray에 장착한 Radiosurgery Cone Size가 $10 \times 10\text{mm}\phi$, $15 \times 15\text{mm}\phi$, $20 \times 20\text{mm}\phi$, $25 \times 25\text{mm}\phi$, $30 \times 30\text{mm}\phi$ 일때의 PDD와 Cone을 장착하지 않은 Open Field $100 \times 100\text{mm}$ 에 서의 PDD를 그림 4에 표시하였다. 이 그래프에서 나타난 것처럼 선축상 최대치는 거의 변화가 없이 일정하지만, Cone Size에 따라 선량의 변화를 알수 있으며, 특히 Open Field($100 \times 100\text{mm}$)에서는 많은 변화를 보여주고 있다. 하지만 전반적인 선량은 완만하게 감소하는 경향도 그래프상에는 나타내 주고 있다.



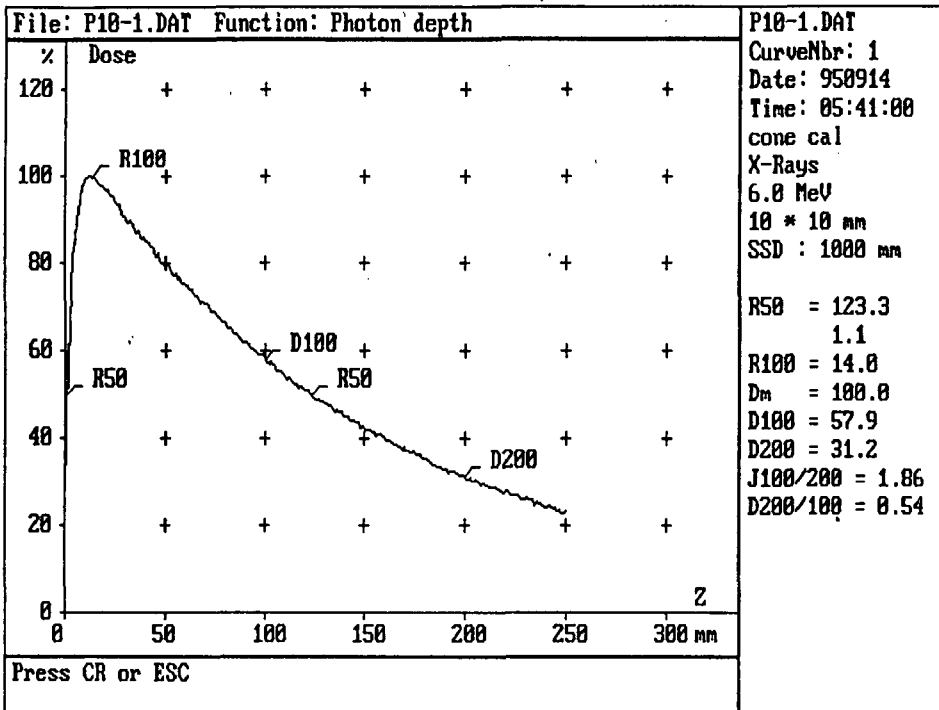
〈그림 4〉 The PDD curves for various Cone sizes and Open field.

그림 5는 Open Field ($100 \times 100\text{mm}$)로 선축상 최대치는 15mm이고, 50%지점은 156mm로 측정 되었다.

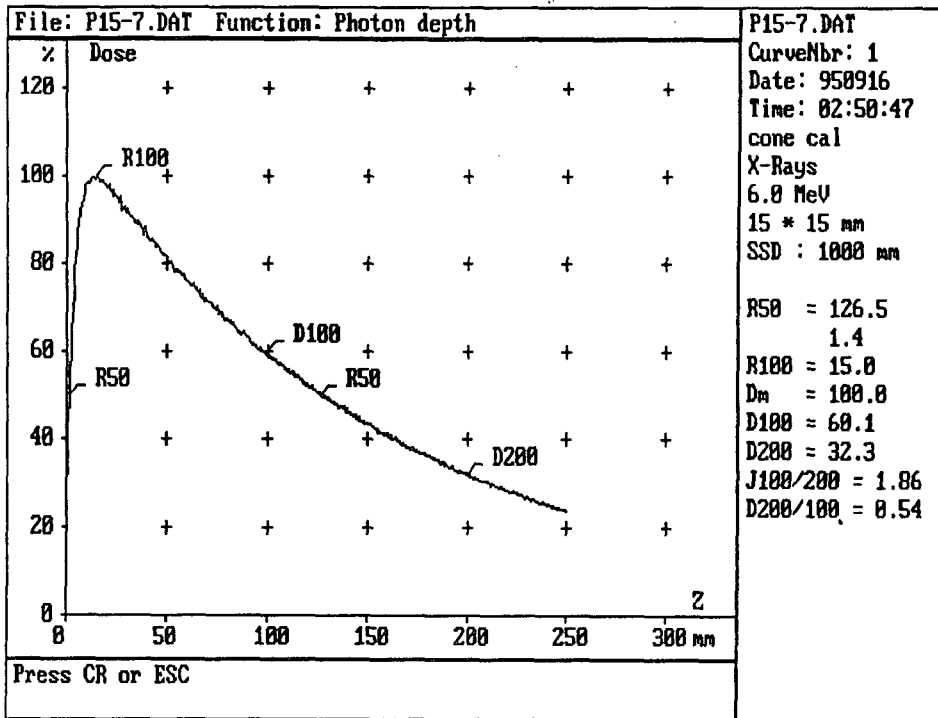
그림 6, 7, 8, 9, 10은 Rediosurgery Cone Size ($10 \times 10\text{mm}\phi$, $15 \times 15\text{mm}\phi$, $20 \times 20\text{mm}\phi$, $25 \times 25\text{mm}\phi$, $30 \times 30\text{mm}\phi$) 별로 측정한 그래프로써, 선축상 최대치는 14mm, 15mm, 15mm, 15mm, 15mm로 측정 되었고, 50%지점은 123.3mm, 126.5mm, 129.7mm, 131.7mm, 132.8mm로 측정 되었다.



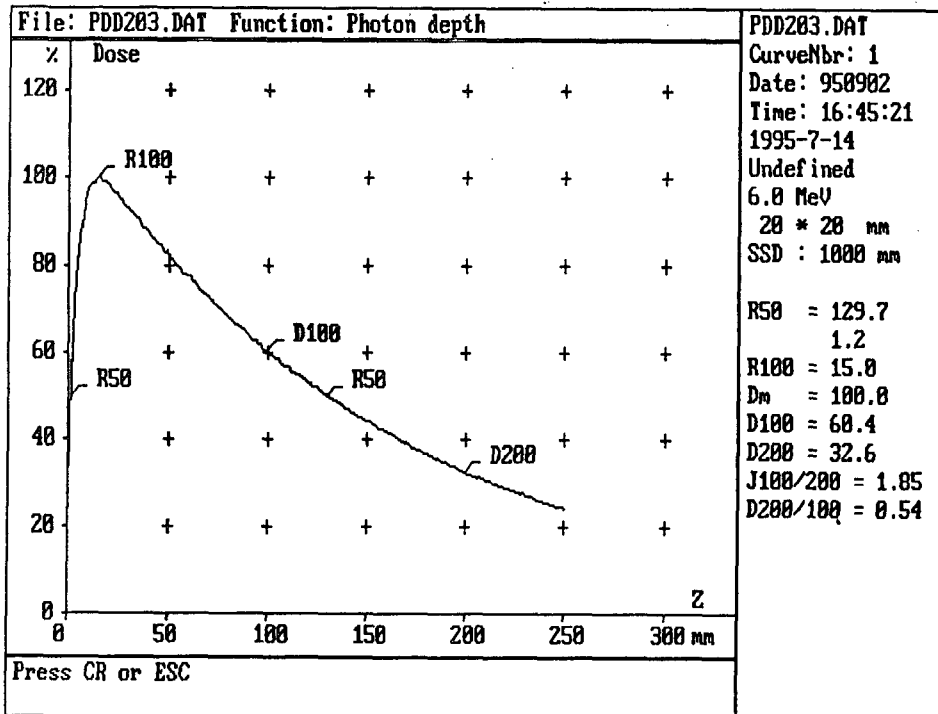
〈그림 5〉 The PDD curves of 6MV X-ray for 100×100mm field size.



〈그림 6〉 The PDD curves for Cone size 10×10mmφ.

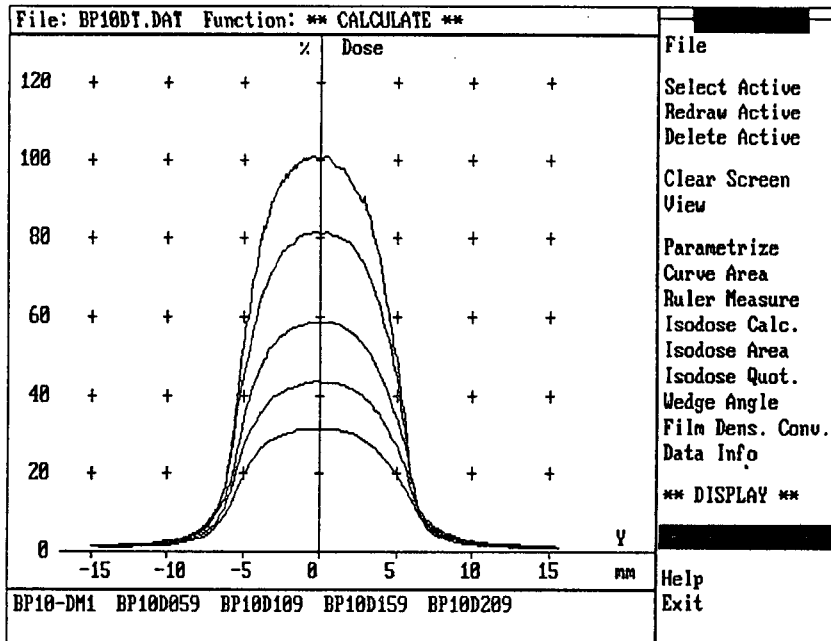


〈그림 7〉 The PDD curves for Cone size 15×15mmφ.

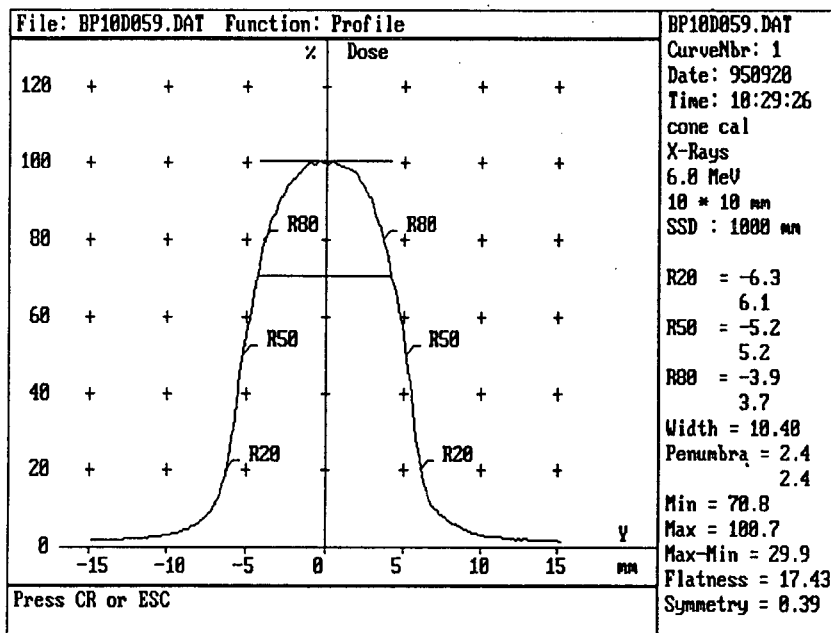


〈그림 8〉 The PDD curves for Cone size 20×20mmφ.

그림 11은 Rediosurgery Cone Size $10 \times 10\text{mm}\phi$ 을 물속 깊이 (Depth) 15mm, 100mm, 150mm, 200mm에 따라 변화를 나타낸 X-ray Beam Profile곡선이며 그림 12는 Cone Size $10 \times 10\text{mm}\phi$ 의 Depth 50mm에서 측정된 X-ray Beam Profile 곡선으로 편평도(Flatness)는 17.43%이고, Small Field에서 중요시되는 Beam Symmetry(대칭성)는 0.39%로 측정되었다.

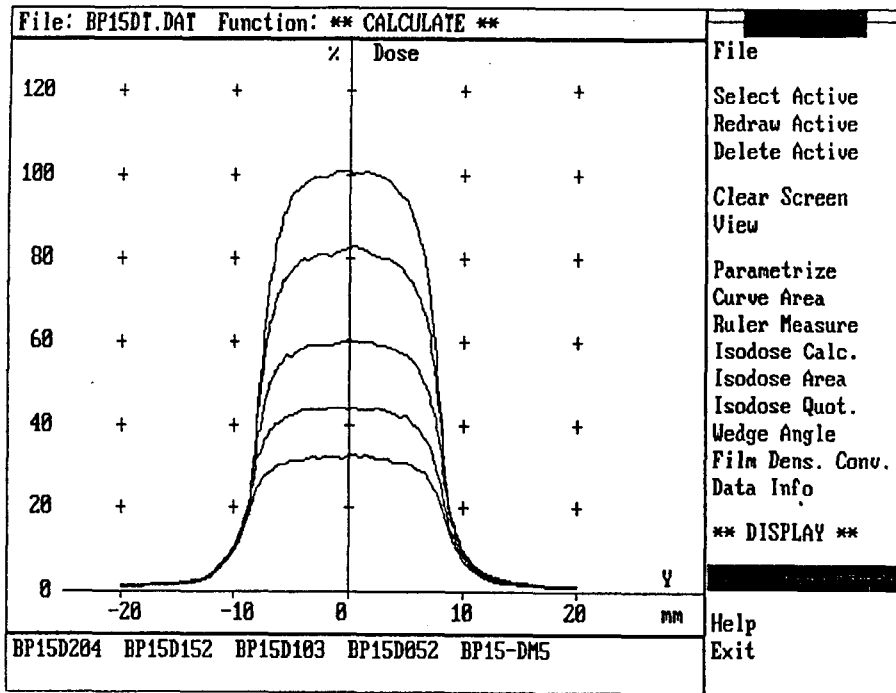


〈그림 11〉 The Beam Profile of Cone $10 \times 10\text{mm}\phi$ for depths.

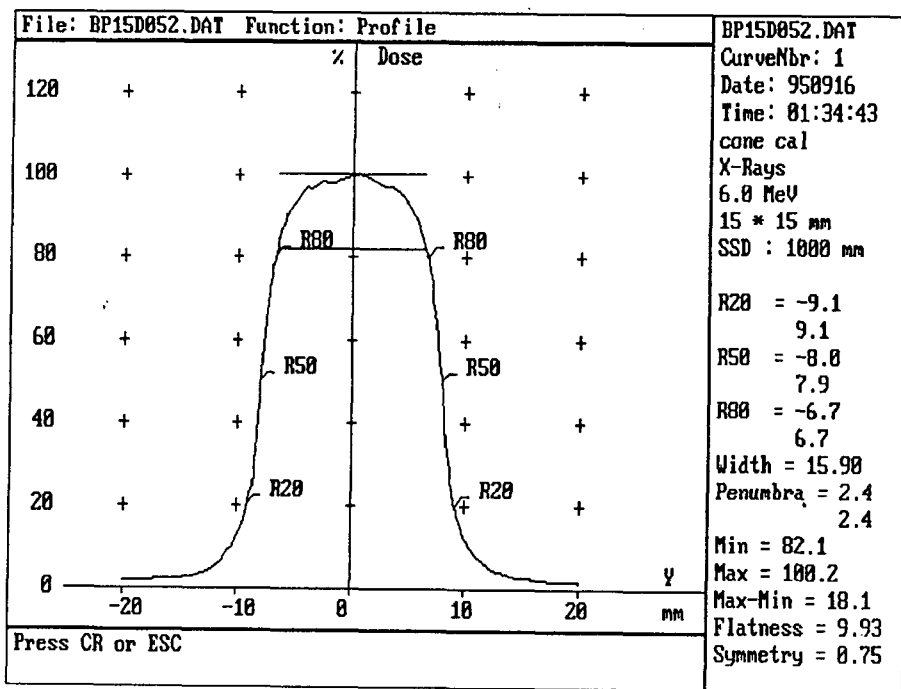


〈그림 12〉 The Beam Profile of Cone $10 \times 10\text{mm}\phi$ for 50mm depths.

그림 13,14는 Cone Size 15×15mm ϕ 을 물속 깊이에서 측정된 X-ray Beam Profile곡선이며 Depth 50mm에서 Flatness는 8.26%이고, Symmetry는 0.43%로 측정된 그래프이다.

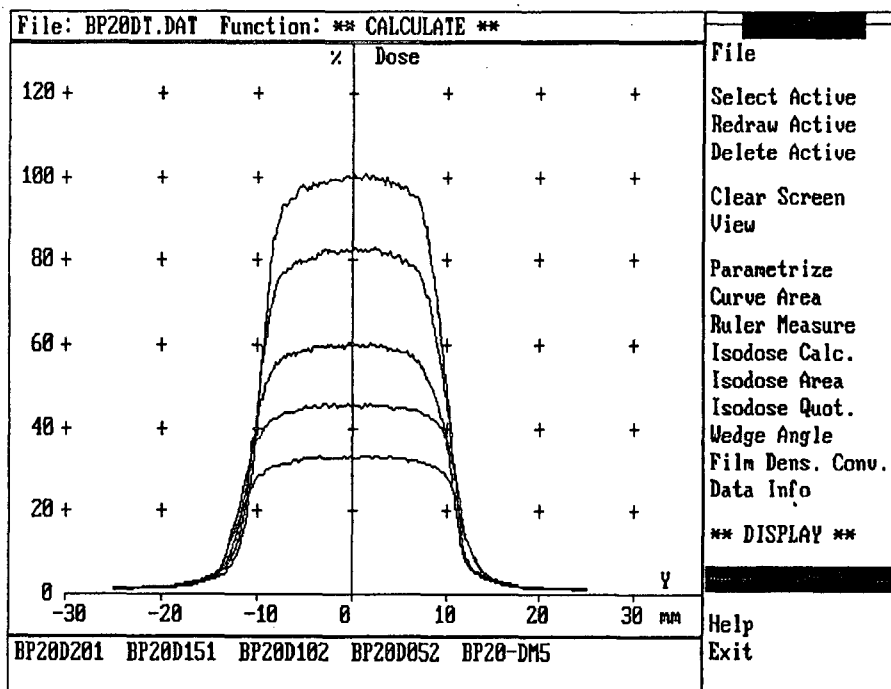


<그림 13> The Beam Profile of Cone 15×15mm ϕ for depths.

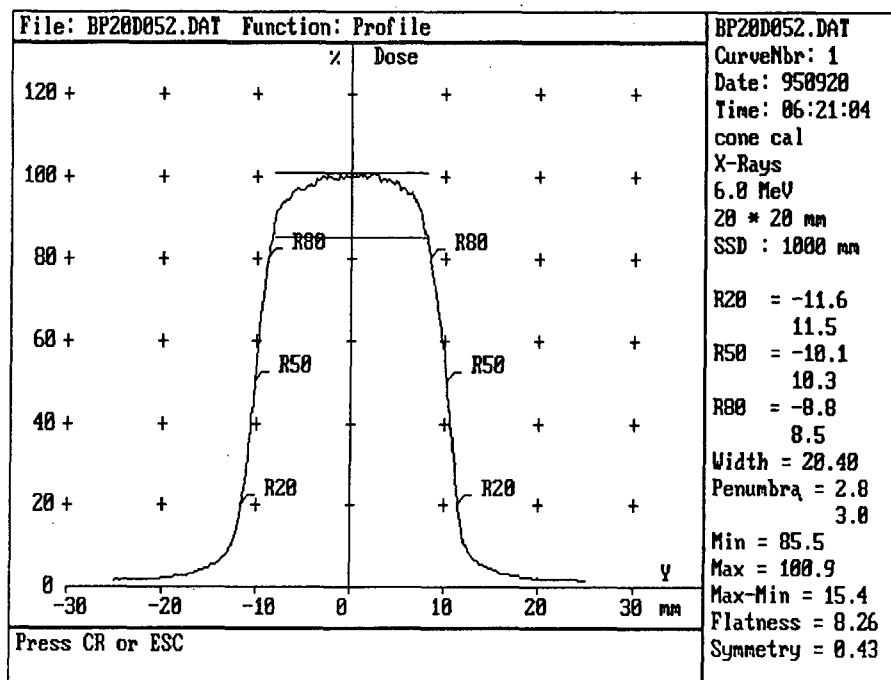


<그림 14> The Beam Profile of Cone 15×15mm ϕ for 50mm depths.

그림 15,16는 Cone Size 20×20mmφ을 물속 깊이에 따라 측정한 X-ray Beam Profile곡선이며 Depth 50mm에서 Flatness는 5.11%이고, Symmetry는 0.43%로 측정된 그래프이다.

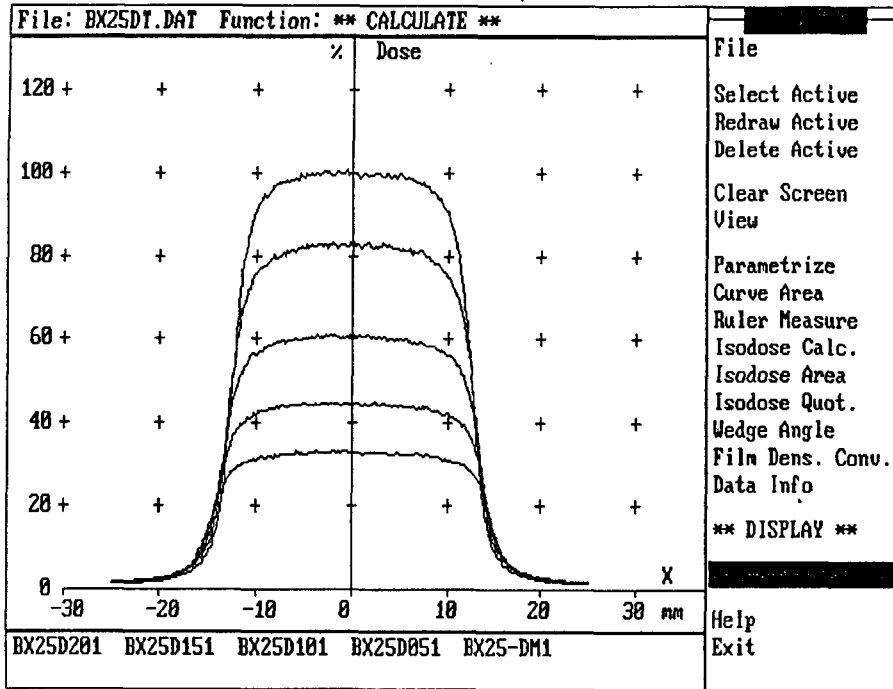


〈그림 15〉 The Beam Profile of Cone 20×20mmφ for depths.

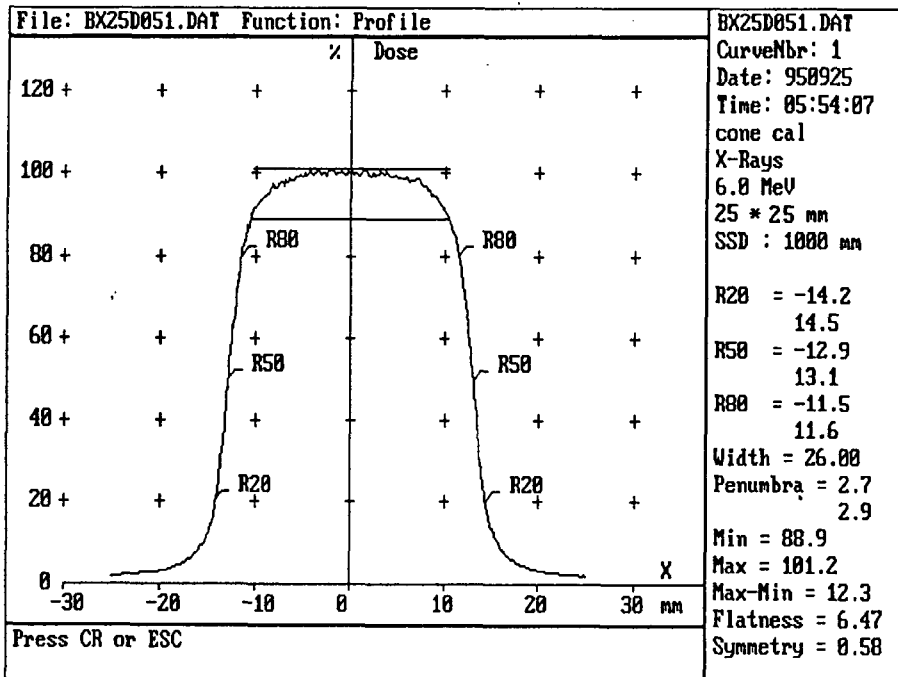


〈그림 16〉 The Beam Profile of Cone 20×20mmφ for 50mm depths.

그림 17,18는 Cone Size 25×25mmφ을 물속 깊이에 따라 측정 한 X-ray Beam Profile곡선이며 Depth 50mm에서 Flatness는 6.47%이고, Symmetry는 0.58%로 측정된 그래프이다.

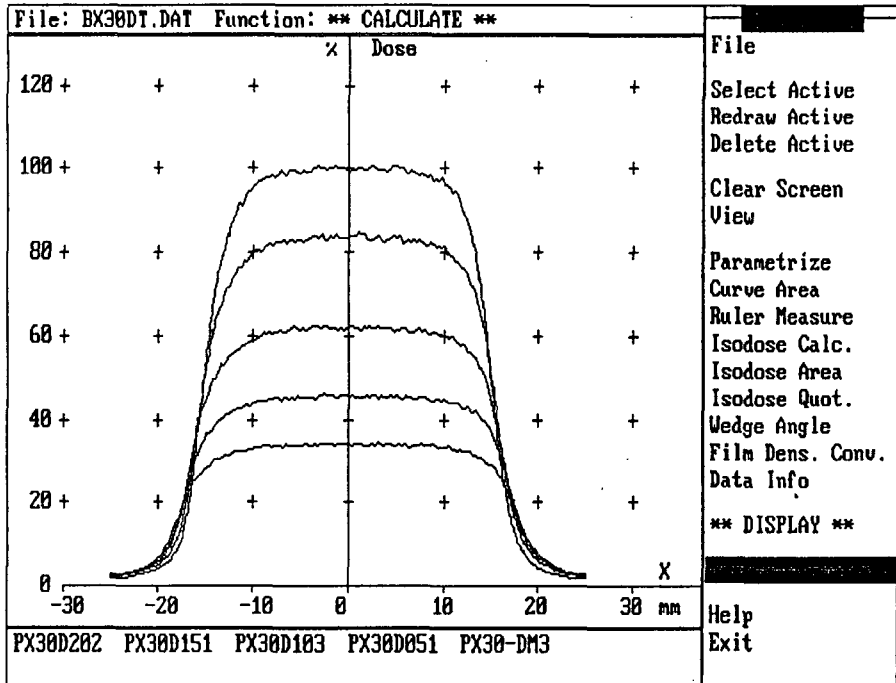


<그림 17> The Beam Profile of Cone 25×25mmφ for depths.

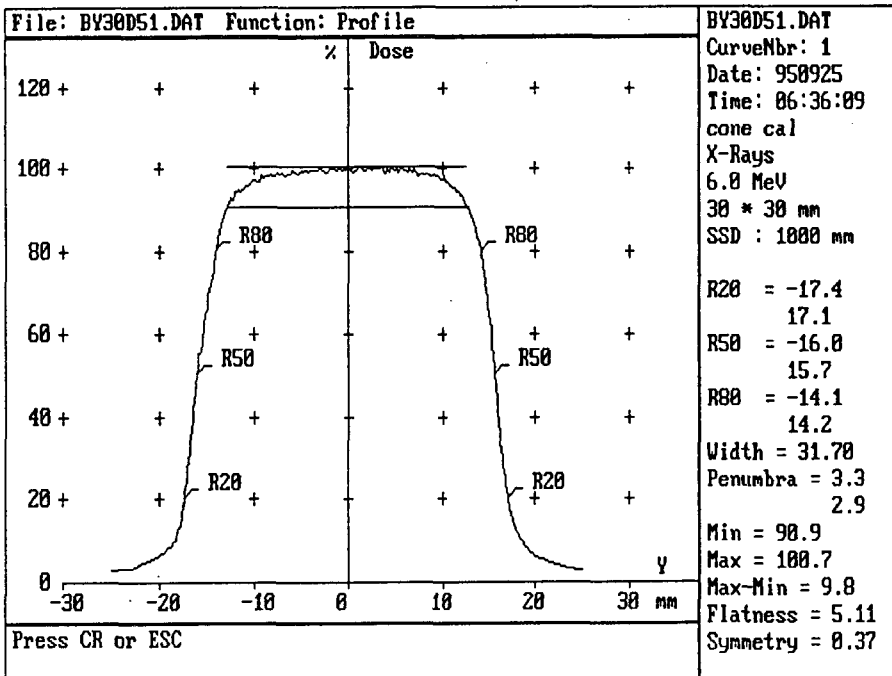


<그림 18> The Beam Profile of Cone 25×25mmφ for 50mm depths.

그림 19,20는 Cone Size 30×30mmφ을 물속 깊이에서 측정된 X-ray Beam Profile곡선이며 Depth 50mm에서 Flatness는 5.11%이고, Symmetry는 0.37%로 측정된 그래프이다.

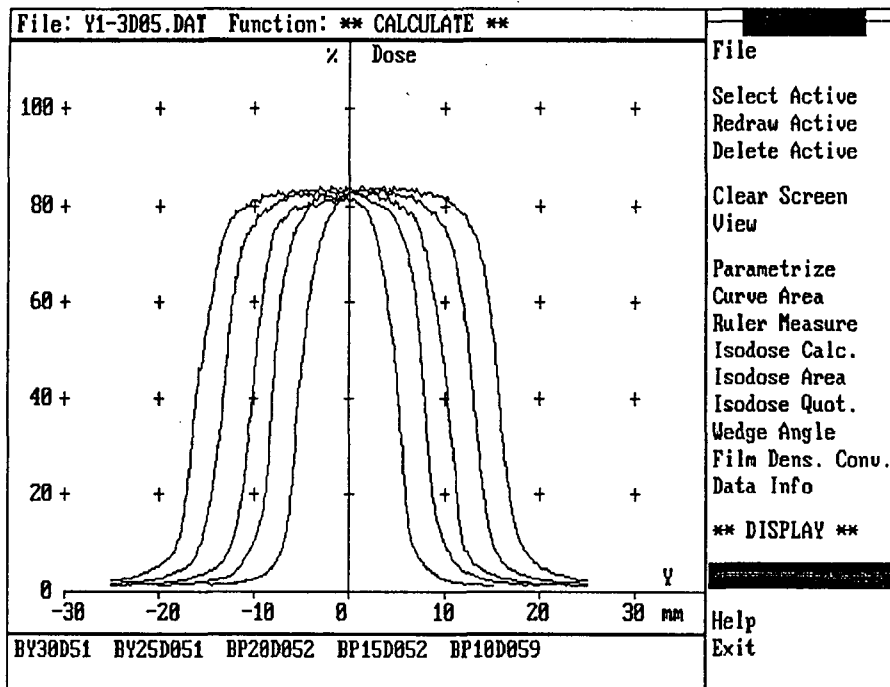


〈그림 19〉 The Beam Profile of Cone 30×30mmφ for depths,

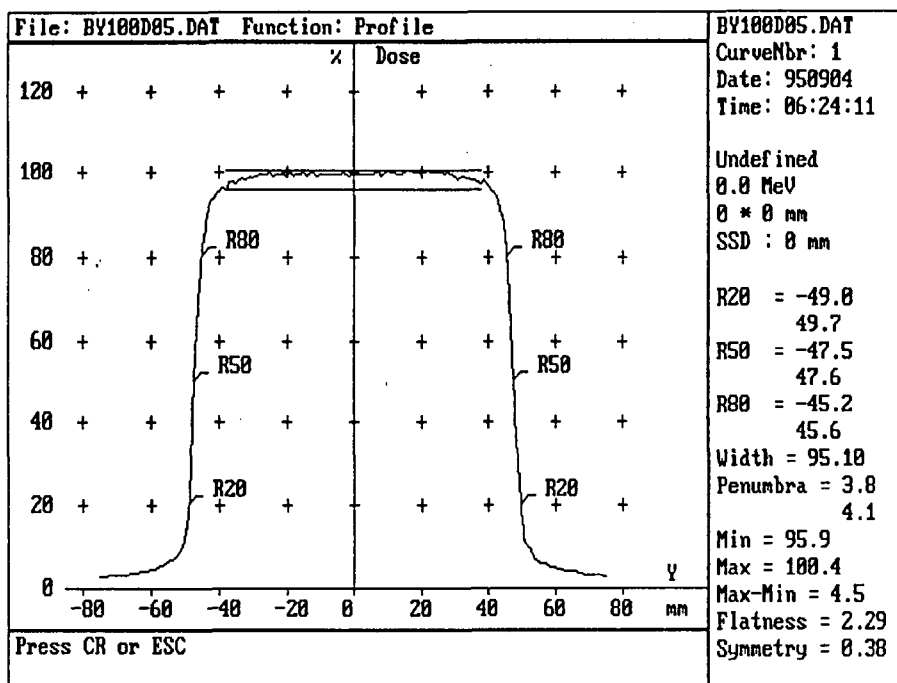


〈그림 20〉 The Beam Profile of Cone 30×30mmφ for 50mm depths,

그림 21은 Rediosurgery Cone Size Depth 50mm에서 측정된 X-ray Beam Profile 곡선을 조합한 그림이며, 그림 22는 Rediosurgery Cone을 장착하지 않은 Open Field(100×100mm)의 물속깊이 50mm에서 측정된 곡선으로, Flatness는 2.29%이며 Symmetry는 0.38%로 측정되었다.



〈그림 21〉 The Beam Profile of Cone sizes for 50mm depths.



〈그림 22〉 The Beam Profile of 6MV X-ray for 50mm depths.

IV. 고 찰

방사선 치료기술은 현대 의학에서 날로 발전하여, 신경외과적 수술이 어려운 일부 심부 뇌종양 및 뇌부정맥 기형등에 방사선수술법으로 치유가 가능하게 하고 있다.

최근에는 고해상력의 뇌전산화 단층촬영 장비의 등장으로 두개강내 병소의 정확한 위치선정이 가능해 짐으로, 주변 뇌조직에 부여되는 방사선량을 극소화함은 물론 병소에만 다량의 방사선을 조사하여 기존 방사선 치료에서 볼수 있는 부작용을 극소화 시키며, 하루에 모든 치료를 끝낼수 있는 장점이 있다.

타 방사선 절제술(Gamma Knife, 양성자선 방사선 절제술등)은 많은 장비와 비용이 요구되는데 비해 LINAC을 이용한 Radiosurgery는 비용 및 치료 시간이 짧기 때문에 임상적 실용성이 우수하다고 보고 되고 있다.

따라서, 본원에서도 기존 ML-6M LINAC에 Radiosurgery Cone을 장착하여 Radiosurgery를 시행하기 위해 Radiosurgery Cone을 제작한 후, 완성된 Cone을 검증 하였다.

Cone Size	OPEN FIELD (100×100mm)	CONE SIZE (10×10mm)	CONE SIZE (15×15mm)	CONE SIZE (20×20mm)	CONE SIZE (25×25mm)	CONE SIZE (30×30mm)
선축상 최대치	15mm	14mm	15mm	15mm	15mm	15mm
50% 지점	156mm	123.3mm	126.3mm	129.7mm	131.7mm	132.8mm

〈표 1〉 Calibration of Cone size and Open Field.

표 1은 본원에 설치된 ML-6M LINAC에 Radiosurgery Cone을 Size 별로 장착한 상태와 Cone을 장착하지 않은 Open Field(100×100mm) 상태에서 측정된 Data들이다. 표에 나타난 것처럼 선축상 최대치는 14-15mm로써 거의 변화가 없이 측정 되었으며, 50%지점의 거리는 Cone Size(10×10mm ϕ , 15×15mm ϕ , 20×20mm ϕ , 25×25mm ϕ , 30×30mm ϕ) 별로 123.3mm, 126.5mm, 129.7mm, 131.7mm, 132.8mm로 Cone Size가 커짐에 따라 서서히 증가 되어감을 볼수 있다.

FLATNESS(ML-6M LINAC X-RAY)

Cone Size	OPEN FIELD (100×100mm)	CONE SIZE (10×10mm)	CONE SIZE (15×15mm)	CONE SIZE (20×20mm)	CONE SIZE (25×25mm)	CONE SIZE (30×30mm)
15mm	1.66%	17.03%	9.52%	8.63%	6.11%	4.60%
50mm	2.29%	17.43%	9.93%	8.26%	6.47%	5.11%
100mm	2.20%	16.33%	9.59%	7.57%	6.01%	5.09%
150mm	2.44%	17.61%	9.48%	7.36%	6.14%	5.41%
200mm	2.66%	16.69%	8.93%	7.92%	5.89%	5.97%

SYMMETRY (ML-6M LINAC X-RAY)

Cone Size	OPEN FIELD (100×100mm)	CONE SIZE (10×10mm)	CONE SIZE (15×15mm)	CONE SIZE (20×20mm)	CONE SIZE (25×25mm)	CONE SIZE (30×30mm)
15mm	0.02%	0.28%	0.29%	0.05%	0.51%	0.37%
50mm	0.38%	0.39%	0.75%	0.43%	0.58%	0.37%
100mm	0.39%	0.57%	0.99%	0.90%	0.46%	0.54%
150mm	0.34%	0.95%	0.78%	0.15%	0.48%	0.97%
200mm	0.24%	0.91%	0.90%	0.20%	0.78%	0.55%

〈표 2〉 Dose Characteristics of Flatness and Symmetry.

표 2는 Flatness 및 Symmetry를 측정된 Date로써, Flatness는 Cone Size가 동일할 경우 물속 깊이 에 따라 약간의 변화가 상승, 하강하게 나타나지만, Cone Size가 커짐에 따라 서서히 감소되어 지는 것을 볼수 있다.

그리고, Symmetry는 Cone Size가 다르거나, 물속 깊이가 변화하여도 어느 기준점 이상 변화하지 않는 것을 보여주고 있다.

따라서, Flatness는 Small Field에서는 높은 수치를 보여주고 있지만 서서히 Field가 커짐에 따라 감소되어 지고, Symmetry는 Small Field에서도 어느 일정한 기준점 이상은 변화하지 않음을 나타내 주고 있다.

V. 결 론

두개강내 위치하고 있는 적은병소, 또는 수술이 불가능한 병소등을 수술과 같은 효과를 얻기위해 ML-6M LINAC의 X-선을 이용하여 Radiosurgery를 시행하고자 제작한 Radiosurgery Cone을 측정된 결과, Cone Size에 따라 선축상 최대치 지점은 거의 변화가 없었으며, Beam Symmetry 또한 Cone Size나 물속 깊이에 따라 약간의 차이만 있을 뿐 1% 이내로 유지되고 있어 매우 양호하다고 할 수 있겠다. 물론 측정방법이 Semiconductor Detector Type의 한 방법에 의한 결과이긴 하지만, 이와같은 측정결과 라면 실제 임상에 이용해도 큰무리가 따르지 않을 것으로 사료된다.

따라서, 타 측정방법 즉, X-OMAT V Film 계측이나, TLD 계측, Ion chamber 계측 등은 현재 시 행중에 있으므로 이들 측정이 완료되면, 새로운 장을 이용하여 기술하고자 하며, 이와같은 모든 측정이 완료된후, 임상 적용 여부를 판정하고 임상에 이용할 계획임을 더불어 밝히고자 한다.

참 고 문 헌

1. Heifetz MD, Wexlex M, Thompson R : Single-beam radiotherapy Knife. J Neurosurgery 60, 1984.
2. Colombo F, Benedetti A, Pozza ZF, Avanzo RC, Marchetti Chierago G, Zanardo A : External Stereotatic irradiation by linear accelerator. Neurosurgery 16, 1985.
3. Siddon RL, Barth NH : Stereotactic localization of intracranial targets. Int J Radiation Oncology Biol. Phys. 13, 1987.
4. Noren G, Arndt J, Hindmarsh T : Stereotactic radiosurgery in casses of acoustic neurinoma furrher experieneces. Neurosurgery 13, 1983.
5. Colombo F, BHenedetti A, Pozza ZF, Avanzo RC, Marchetti Chiergo G, Zanardo A : Stereotatic radiosurgery utilizing as linear accelerator. Appl, Neurophysiol 48, 1985.
6. Leksell L : Stereotatic Radiosurgery. J Neurology Neurowurgery Psychiatry 46, 1985.
7. 추성실, 서창욱, 노준규, 정상섭 : Stereotatic radiosurgery를 위한 소형 조사면의 선량측정, 대한 치료방사선과학회지 제7권 제1호, 1989.
8. 최태진, 김옥배, 김영훈, 손은익, 김인홍 : 선형가속기의 6MV X선에 대한 소형조사면의 선량측정, 대한치료방사선과학회지 제7권 제2호, 1989.
9. 나수경, 박재일 : Linear Accelerator를 이용한 Stereotatic radiosurgery 방법, 대한치료기술학회지 제6권 제1호, 1994.