

# 다중 조사면 치료 시 기계적 입력치(MU)에 따른 선량적 안정성에 대한 연구

연세대학교 의과대학 암센터 방사선종양학과, <sup>1</sup>고려대학교병원 방사선종양학과  
<sup>2</sup>김천대학 방사선과

김주호, 이상규, 신현경, 이 석<sup>1</sup>, 나수경<sup>2</sup>, 조정희, 김동욱

**목적** : 전산화단층 모의치료조준(CT simulation)과 선량 계획 장비(RTP)의 발전으로 많은 저자들에 의해 종양부 위의 선량을 증가시키고 인접한 장기의 선량을 효과적으로 감소시킬 수 있는 3차원 입체 조형 치료(Conformal therapy)와 조사면내 선량 보강 기법(Field in field technique)이 자주 소개되어지고 있다. 이러한 치료 기법은 많은 수의 조사면을 사용함으로써 조사면이 증가할수록 10 MU 이하의 극히 적은 기계적 입력치(monitor unit, MU)를 사용하기도 한다. 통상 일반적으로 사용되어지는 선량에 대한 정보(beam data)는 이보다 훨씬 많은 100 MU 이상 혹은 그보다 높은 안정적인 출력을 기대할 수 있는 상태에서 측정되어지므로 극히 적은 기계적 입력치에서도 기준에 측정되어진 선량 정보와 동일한 선량분포를 구현할 수 있는지 반드시 확인하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 극히 적은 기계적 입력치(MU)에서의 선량적 안정성을 알아보고 향후 정도 관리지침에 활용코자 한다.

**대상 및 방법** : 본원에서 사용 중인 선형가속기 Varian 2100C/D의 6 MV, 10 MV (USA)와 Varian 600C의 4 MV (USA)의 에너지를 사용하여 10×10 cm<sup>2</sup> 조사면에서 90 MU를 90 MU, 45 MU, 30 MU, 18 MU, 9 MU, 6 MU로 각각 1, 2, 3, 5, 10, 15회씩 나누어 조사하였다. 전리함(pinpoint farmer type chamber, PTW, GERMANY)를 이용하여 4 MV, 6 MV는 5 cm, 10 MV는 10 cm 깊이, SAD 100 cm에서 물 팬텀을 이용하여 조사면내의 출력을 측정하였고, 측정용 필름(X-omat V, Kodak, USA)을 이용하여 높은 선량을 나타내는 90 MU, 30 MU에서의 편평도와, 대칭도를 비교하였고 일반적인 medical film (AGFA, USA)을 이용하여 낮은 선량을 보이는 9MU에서 조사면내 편평도와, 대칭도를 비교하여 선질의 특성 변화를 관찰하였다.

**결과** : 전리함을 이용한 측정에서 2100C/D는 90 MU와 9 MU에서 1 MU당 선량(cGy/MU)은 6 MV와 10 MV에서 90 MU를 1회에 조사한 것과 비교하여 약 1.6%정도 증가하였고 2100C는 0.5%, 1.3%가 각각 증가하였다. 600C 또한 1.6% 증가하였으나 6 MU에서 약 3%차이를 나타내었다. 편평도와 대칭도는 장비와 에너지에 따라 1%에 2.9%까지 차이가 있었으나 전체적으로 적은 MU에서 약간 더 균등하였고 극히 적은 MU로 인한 차이는 확인할 수 없었다.

**결론** : 각각의 실험에서 선량적 차이는 허용되어지는 범위 이하의(출력<3%, 편평도<± 3%, 대칭도<2%, ICRU report 50) 오차를 보임으로써 보유한 장비에 따라 정도에 차이는 있을 수 있으나 본원에서 사용 중인 장비에서 극히 적은 MU의 사용이 현저한 선량적 오차를 유발하진 않는 것으로 사료되어진다. 그러나 정도 관리 시 그 오차를 확인하는 과정은 장비의 사용과 수명에 따라 지속적으로 관리되어져야 할 것이다.

**핵심용어** : 기계적 입력치, 다중 조사면 치료, 정도관리

이 논문은 2005년 2월 3일 접수하여 2005년 9월 9일 채택되었음.

책임저자 : 김주호, 연세의료원 암센터 방사선종양학과  
Tel: 02)2228-8091, Fax: 02)365-1792  
E-mail: kimjooho@yumc.yonsei.ac.kr

## I. 서론

전산화 단층 모의 치료조준(CT simulation)과 선량 계획 장비(RTP)의 발전으로 많은 저자들에 의해 종양

부위의 선량을 증가시키고 인접한 장기의 선량을 효과적으로 감소시킬 수 있는 3차원 입체 조형 치료(Conformal therapy)와 조사면내 선량 보강 기법(Field in field technique)이 자주 소개되어지고 있다. 이러한 치료 기법은 다중 조사 면을 사용하여 치료함으로써 치료 빔이 증가할수록 10 MU 이하의 극히 적은 기계적 입력치(Monitor unit, MU)를 사용하기도 한다. 그러나 통상 일반적으로 사용되어지는 빔 데이터(Beam data)는 이보다 훨씬 많은 100 MU 이상 혹은 그보다 높은 안정적인 출력을 기대할 수 있는 상태에서 측정되어지고 있으므로 이러한 10 MU 이하의 극히 적은 선량에 있어서 출력(Output)과 선질(Beam quality) 등은 안정적인 상태에서 측정된 빔 데이터(Beam data)와 비교하여 선량적 안정성을 확인한 후에 사용되어야 할 것이다.

물론 현재 대부분의 병원에서 사용되어지는 선형 가속기의 경우 장비내부에 전리함을 통해 선량의 안정적인 공급을 확인 할 수 있으나 10 MU 이하의 빔이 조사 되는 시간은 수초에 불과하고, 빔의 편평도(flatness), 대칭도(symmetry) 등에 대한 확인도 필요하다.

Das 등<sup>1</sup>은 이러한 적은 선량에서의 선량적 안정성에 대한 연구에서 아주 적은 MU의 사용은 대부분 5%의 선량적 오차를 유발하며, 특히 초기 수 초 내의 선량에서 20% 정도의 오차도 나타날 수 있다고 Barish RJ<sup>2</sup> 등도 보고한 바 있다. 그러나 적은 선량에서의 선량적 안정성에 대한 또 다른 연구인 Malet 등<sup>3</sup>의 연구에선 적은 MU의 사용이 1 MU당 선량 값(cGy/MU)을 약 2~3% 낮추긴 하지만 선량적 안정성은 유지한다고 보고한 바와 같이 적은 기계적 입력치(small MU)나 적은 빔 분할(small segments)을 사용하는 것은 사용되어지는 각각의 장비에 따라서 큰 차이를 나타나는 것으로 여겨진다.

따라서 본 연구에서는 현재 본원에서 사용되어지고 있는 선형가속기(VARIAN 600C, 2100C, 2100C/D)를 대상으로 적은 MU에서의 선량적 안정성을 조사하고 향후 정도관리(QA processer)의 지침으로 활용하고자 한다.

## II. 대상 및 방법

본원에서 사용 중인 Varian 2100C/D와 2100C (Varian, USA)의 6 MV, 10 MV, Varian 600C (Varian, USA)의 4 MV 에너지를 사용하여 10×10 cm<sup>2</sup> 조사면에서 90 MU를 1, 2, 3, 5, 10, 15로 분할하여 각각 90, 45, 30, 18, 9, 6 MU씩 조사하였다.

전리함(Pinpoint farmer type chamber, PTW 0.035 cc, GERMANY)를 이용하여 4 MV, 6 MV는 5 cm, 10 MV는 10 cm 깊이에서 물 팬텀(25×25×25 cm<sup>3</sup>, well-hofer, USA)을 이용하여 SAD 100 cm에서 측정하였고, 측정용 필름(X-omat V, Kodak, USA)을 이용하여 높은 선량을 나타내는 90, 30 MU에서의 편평도와, 대칭도를 비교하였고 일반적인 medical film (AGFA, USA)을 이용하여 낮은 선량을 보이는 9 MU에서 조사면내 편평도와, 대칭도를 비교하여 선질의 특성 변화를 관찰하였다.

### 1. MU 분할에 따른 선량 출력에 대한 영향

Varian 2100C/D와 2100C (Varian, USA)의 6MV, 10MV, Varian 600C (Varian, USA)의 4MV 에너지를 사용하여 10×10 cm<sup>2</sup> 조사면에서 동일한 조사량 90 MU를 1, 2, 3, 5, 10, 15회로 분할하여 90 MU를 1회에 조사하고 45 MU를 2회에 나누어 조사 했으며, 각각 분할한 횟수에 따라 MU를 조정하여 조사된 총 MU의 합이 90 MU가 되도록 조사하였다[식 1]

$$n \times m = 90 \text{ MU} \dots\dots\dots[\text{식 1}]$$

(n은 분할 횟수, m은 Monitor Unit)

각각의 경우에서 4 MV와 6 MV에선 선량 측정점 깊이를 5 cm로 하였고 10 MV에선 10 cm로 SAD 100 측정하였다. 또한 측정기(dosimeter, PTW, GERMANY)와 선형가속기로 인해 유발될 수 있는 기계적, 선량적 편향성을 없애기 위해 각각의 실험에 번호를 부여하고 난수표를 이용하여 각각의 실험이 일정한 패턴을 이루지 못하도록 무작위 순서로 3회씩 반복 측정하였다.

[Table 1] Does delivered by 1 MU depending on the segment size (cGy)

Number of segments	Segment size	600C 4MV	2100C/D 6MV	2100C/D 10MV	2100C 6MV	2100C 10MV
1	90 MU	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	45 MU	1.005	1.004	1.001	1.002	1.001
3	30 MU	1.006	1.007	1.006	1.001	1.002
5	18 MU	1.012	1.010	1.008	1.001	1.001
10	9 MU	1.016	1.016	1.007	1.006	1.014
15	6 MU	1.029	1.020	1.022	1.012	1.015
Maximum difference between the three sets of measurements		0.0027	0.0015	0.0016	0.0014	0.0016

## 2. MU 분할에 따른 편평도와 대칭도에 대한 영향

X-omat V 필름과 일반적인 L-gram 촬영 시 사용되는 일반적인 medical film을 이용하여 90 MU, 30 MU 등 비교적 흑화 농도가 높은 선량의 분석은 X-omat V 필름에서 측정하였다.

9 MU의 경우 X-omat V 필름을 사용하면 흑화 농도가 낮아 분석이 난해 하므로 감도가 우수한 medical film을 이용하여 각각 편평도(flatness)와, 대칭도(symmetry)를 비교하였다.

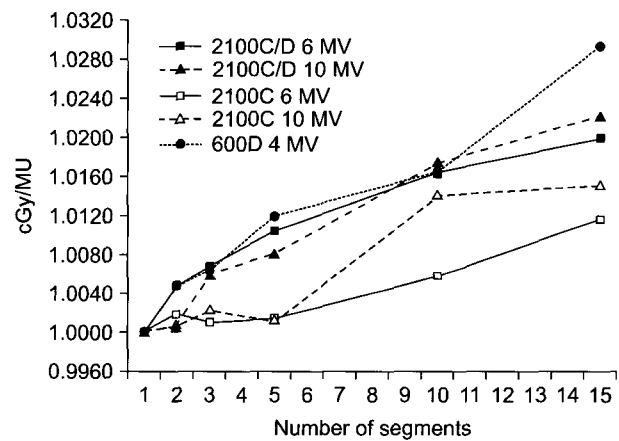
필름은 아크릴 5 cm 밑에 위치하고 SAD 100 cm에서 조사되었으며 Densitometer (VIDAR scan, USA) 의해서 결과를 분석하였다.

편평도는 빔 축을 중심으로 조사면의 80% 내에서 가장 높은 지점과 가장 낮은 지점의 비율  $\{(D_{max}/D_{min}) \times 100\}$ 로 정의하였으며, 대칭도는 조사면내의 임의의 대칭적인 두지점간의 비율  $\{(D_{maxsym}/D_{minsym}) \times 100\}$ 로써 정의하였다<sup>4</sup>. 조사면의 중심축을 기준으로 gun-target 방향은 Y축으로 표시 하였으며 좌-우 방향은 X-축으로 표시하여 각기 네 방향에서의 편평도와 대칭도를 비교하였다.

## III. 결 과

### 1. MU 분할에 따른 선량 출력에 대한 영향

각각의 장비를 대상으로 MU 분할에 따른 선량출력

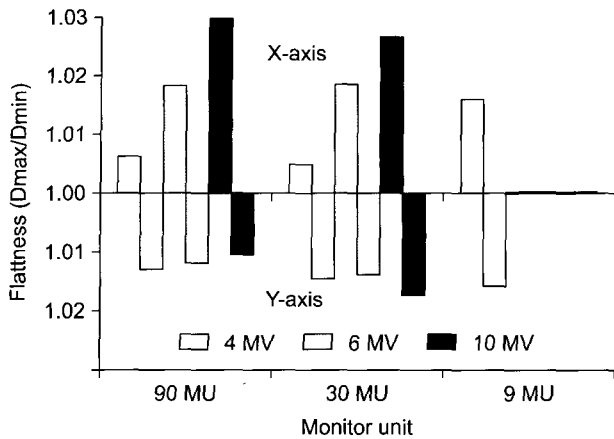


[Fig. 1] The dose per monitor unit (MU) as a function of the number of segments, as measured using ionization chamber

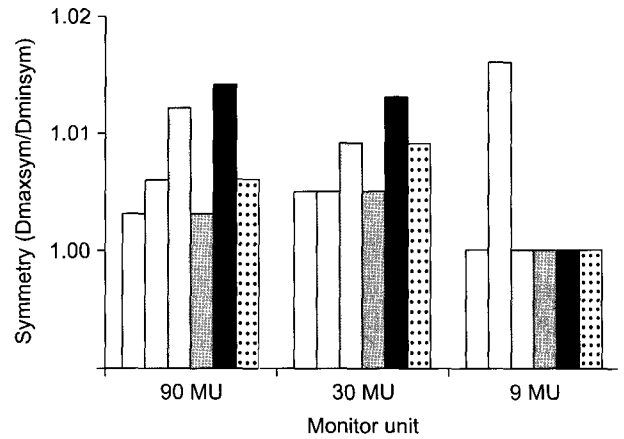
(Output)의 영향을 비교하기 위한 실험에서 안정적인 빔 출력을 기대할 수 있는 90 MU를 기준으로 1 MU 당 선량(cGy/MU)을 비교한 것은 Table 1과 같다.

3회 반복 측정한 결과 값의 평균 차이를 확인한 결과 600C의 경우 6 MU의 선량을 주었을 경우 2.9%의 선량 증가를 나타내었으며 2100C/D에선 2.0~2.2%의 선량증가를, 2100C는 1.2~1.5%의 선량 증가를 나타냄으로써 적은 MU를 사용할 경우 동일한 MU에 대해 분할 횟수가 증가할수록 1 MU당 선량(cGy/MU)이 다소 증가하는 것으로 측정되었다[Fig. 1].

3회 반복 측정한 결과 전리함의 측정오차를 나타내



[Fig. 2] Flatness in X-axis and Y-axis as a function of small MU of 600C 4 MV and 2100C/D 6 MV, 10 MV



[Fig. 3] Symmetry in X-axis and Y-axis as a function of small MU of 600C 4 MV and 2100C/D 6 MV, 10 MV

는 측정값간의 차이는 0.14~0.27%로 나타났다.

## 2. MU 분할에 따른 편평도와 대칭도에 대한 영향

MU 분할에 따른 빔 선질(Quality)의 변화를 평가하기 위해 90, 30, 9 MU에서의 편평도(flatness)와 대칭도(symmetry)를 비교하였다.

조사면의 크기는 10×10 cm<sup>2</sup>로 하였고 필름은 아크릴 5 cm의 깊이에서 조사되어지도록 한 결과는 Fig. 2, Fig. 3과 같다.

편평도와 대칭도는 X축과 Y축, 모두에 대해서 측정 하였으며 그 차이는 1~2.9%까지 다양하게 나타났으나 적은 MU에 의한 의미 있는 차이는 보이지 않으며 3% 미만의 균등한 선량 분포를 나타내었다.

## IV. 결론 및 고찰

3차원 입체 조형 치료 혹은 조사면내 선량 보강 기법을 사용하는 치료 시 사용되는 10 MU 이하의 적은 MU에서의 선량적 안정성을 조사하고자 한 본 연구에서 적은 MU의 사용으로 인한 빔 출력은 약 2% 내외로 증가하였고, 편평도나 대칭도와 같은 빔 선질(Quality)에는 큰 영향은 주지 않는 것으로 사료된다.

각 실험에서 나타나는 결과 값에서 1 MU당 선량 값에 가장 큰 영향을 주는 인자를 구별하기 위해 에너

지, 선량률(Dose rate, PRF: pulse repetition frequency), 조사면 크기 등에 따라 추가적으로 비교하여 보았으나 에너지와 조사면 크기에 따른 차이는 전리함의 측정오차와 유사한 약 0.3%의 차이를 나타냄으로써, 유의한 차이가 없는 것으로 사료되어 별도의 결과 값을 도출하지 아니하였다. 다만 선량률에 따른 차이는 약 0.75%의 차이를 나타냄으로써 적은 MU값 사용 시 장비의 선량률은 빔 출력(output)과 무관하지 않을 것으로 추정된다.

결론적으로 서론에서 밝힌 바와 같이 5% 내외의 급격한 선량 차이는 본원에서 사용 중인 선형가속기(Varian 600C, 2100C, 2100C/D)에서는 다행히 확인할 수 없었지만 검색한 논문들<sup>1-3,5</sup>에서 보는바와 같이 사용 중인 장비와 다른 기종으로 측정되어진 결과 값은 서로 상이할 수 으며 또한 본원에서 사용하고 있는 장비와 같은 기종이라 할지라도 사용 중인 장비와 사용 연한에 따라서 다소간의 차이를 보일 수 있음을 간과 할 수 없다.

치료 계획 장비(RTP)의 지속적인 개발로 인해 앞서 언급한 입체조형 치료 혹은 선량 보강 기법은 더욱 활발해 질 것으로 예상 되는 시점에서 장비가 갖고 있는 적은 MU에서 안정적인 선량을 조사 할 수 있는 능력을 확인하는 작업은 현재의 정도 관리(Quality assu-

rance), 혹은 장비 인수 검사(Acceptance testing) 시 반드시 지속적으로 실행되어야 할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

1. Das IJ, Harrington JC, Akber SF, et al. : Dosimetric problems at low monitor unit settings for scanned and scattering foil electron beams, Med Phys 1994 ; 21 : 821
2. Barish RJ, Fleicchman RC, Pipman YM : Teletherapy beam characteristics : the first second, Med Phys 1987 ; 14 : 657
3. Claude Malet, Chantal Ginestet, Keith Hall : A study of dose delivery in small segment, Int J Radiation Oncology Biol Phys 2000 ; 48 : 535-539
4. International Commission of Radiation Units. ICRU Report No. 50. Prescribing, recording and reporting photon beam therapy. Washington, DC : International Commission of Radiation Units ; 1994
5. Hansen VN, Evans PM, Budgell GJ, et al. : Quality assurance of the dose delivered by small radiation segments, Phys Med Biol 1998 ; 43 : 2665-2675

Abstract

**A Study of Dose Stability at Low Monitor Unit Setting  
for Multiple Irradiated Field**

Joo Ho Kim, Sang Gyu Lee, Hyun Kyung Shin, Suk Lee<sup>1</sup>, Soo Kyung Na<sup>2</sup>, Jung Hee Cho, Dong Wook Kim

Department of Radiation Oncology, Yonsei Cancer Center,  
<sup>1</sup>Korea University Medical College, <sup>2</sup>Kimcheon College

**Purpose** : Many authors have been introduced field in field technique and 3-D conformal radiotherapy that increased the tumor dose as well as decreased the dose of abutting critical organ. These technique have multiple beam direction and small beam segments even below 10 MU (monitor unit) for each field. we have confirmed the influence of low MU on dose output and beam stability

**Materials and Methods** : To study the dose output, the dose for each field was always 90MU, but it divided into different segment size: 1, 2, 3, 5, 10, 15 segments, 90, 45, 30, 18, 9, 6 MU the measurements were carried out for X-ray energy 4 MV, 6 MV, 10 MV of three LINAC (Varian 600C, 2100C, 2100C/D), in addition each measurement was randomly repeated three times for each energy. To study the field symmetry and flatness, X-omat V films were irradiated. After being developed, films were scanned and analyzed using densitometer.

**Results** : Influence of low MU on dose is slightly more increase output about 1.2~2.9% in cGy/mu than 90MU, but may not changed beam quality (flatness or symmetry), Output stability depends on dose rate (PRF) rather than beam energy, field size.

**Conclusion** : Presented result are under the limits (out put<3%, flatness<±3%, symmetry<2%). The 3 accelerators are safe to use and to perform conformal radiotherapy treatments in small segments, small MU around 10MU. but Even if the result presented here under the limits, continuous adjustments and periodic QA should be done for use of small MU

---

**Key words** : monitor unit, multiple beam irradiation, quality assurance