

# 방사선 전신 조사 : 기본 자료 측정 및 생체내에서의 선량 측정

가톨릭대학교 의과대학 방사선과학교실, 내과학교실\*

최동락 · 최일봉 · 강기문 · 신경섭 · 김춘추

=Abstract=

## Total Body Irradiation Technique : Basic Data Measurements and In Vivo Dosimetry

Dong-Rak Choi, Ph. D., Ihl Bohng Choi, M.D., Ki Mun Kang, M.D.  
Kyung Sub Shinn, M.D. and Choon Choo Kim, M.D.\*

*Department of Therapeutic Radiology and Internal Medicine\*  
Catholic University Medical College, Seoul, Korea*

This paper describes the basic data measurements for total body irradiation with 6 Mv photon beam including compensators design. The technique uses bilateral opposing fields with tissue compensators for the head, neck, lungs, and legs from the hip to toes.

In vivo dosimetry was carried out for determining absorbed dose at various regions in 7 patients using diode detectors(MULTIDOSE, Model 9310, MULTIDATA Co., USA). As a results, the dose uniformity of  $\pm 3.5\%$ (generally, within  $\pm 10\%$ ) can be achieved with our total body irradiation technique.

**Key Words :** Total body irradiation, Tissue compensator, In vivo dosimetry

### 서 론

본원에서는 골수이식 이후의 방사선 전신조사의 치료예가 이미 90건이 넘었으며(1987년 8월-1993년 12월 현재), 최근에 이러한 치료법이 더욱 활발히 이루어지고 있다.

방사선 전신조사는 일반적인 방사선 치료와는 달리 큰 조사면에서 행하여지기 때문에 치료기계의 선원으로부터 치료기점까지의 거리가 매우 길어야 하며(300cm 내지 600cm) 전신에 고른 선량분포를 얻기 위해서는 피부선량을 높이기 위한 빔 산란장치 및 조직불균질성과 몸 윤곽의 불규칙성을 보완하기 위한 보상장치의 고안이 필요하다.

이러한 방사선 전신조사법에 관한 연구가 1980년

대에 들어오면서 활발히 진행되고 있으며 명목선량, 선량을, 에너지, 환자의 위치 및 자세, 보상장치의 사용여부 등에 따른 수 많은 방법이 보고되고 있다<sup>15)</sup>.

본 연구에는 6MV 광자선을 이용한 선량계산을 위한 기본 자료의 측정법과 고른 선량분포를 얻기 위한 물리적인 방법을 소개하고 환자의 여러부위에 부착된 다이오우드 측정기를 사용하여 실제로 주어지는 선량을 확인하고자 한다.

### 재료 및 방법

#### 기본 자료 측정

방사선 전신조사를 수행하기 위한 기본 측정자료로는 TMR(Tissue Maximum Ratio), 출력인자, OAR(Off-Axis Ratio)등이 필요하다. 이 때, 선원에서 측

정점까지의 거리는 실제 치료지점으로 정해야하지만 표준 SAD에서 측정한 기본자료로부터 거리 역자승 법칙과 산란인자들을 고려하여 계산하여도 별 차이가 없는 것으로 알려져 있다<sup>1)</sup>(식 1).

$$M. U. = \frac{D_T \times (f'/f)^2}{TMR(r_d, d) \times S_c(r_c) \times S_p(r_d)} \quad (1)$$

여기서,  $S_c(r_c)$ 는 표준거리에서의 조사면  $r_c$ 에 대한  $S_c$ 인자이고  $S_p(r_d)$ 는 환자의 중심깊이에서의 유효 조사면  $r_d$ 에 대한  $S_p$ 인자이다. 그리고  $f'$ 와  $f$ 는 각각 선원에서 환자 중심깊이까지의 거리와 표준 선량보정점까지의 거리이다(Fig. 1).

본 연구에서는 실제 환자 치료 위치의 최대선량 지점에서의 값을 주어진 조사면에서 대해서 측정하였다(Fig. 2). 이 때, SAD는 377cm, 조사면은 150.8cm × 150.8cm(표준 SAD에서 40cm × 40cm)이었다.

확장된 SAD에서 TMR을 측정하는데 있어서 팬텀 산란인자를 정확히 측정하기는 매우 어려운 반면 TMR 값은 거리에 무관한 양이기 때문에 미소한 산란 효과를 무시할 경우 표준 SAD에서 측정된 자료를 사용하여도 무방하다고 알려져 있다<sup>6,7)</sup>. OAR을 측정하기 위하여 빔의 중심축상으로 부터 벗어난 10cm간격으로 최대선량 지점에서 흡수선량을 측정하였다. 이 때, 사용한 팬텀은 25cm × 25cm × 30cm의 크기를 가진 폴리스티렌 팬텀이었다(Fig. 3).

**보상장치 고안**

방사선 전신조사를 수행하기 위하여 사용되는 보상

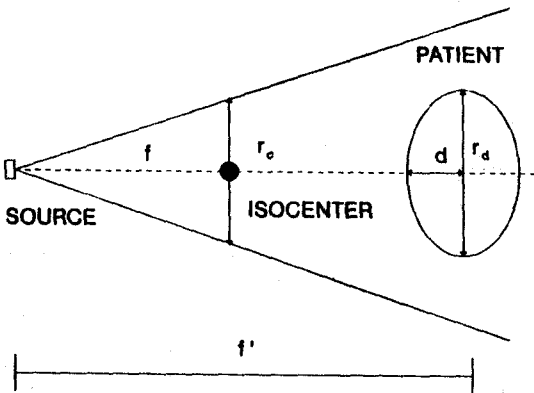


Fig. 1. Diagram showing various factors in determining monitor units.

장치를 고안하는데 있어서 필요한 정보로는 조직결손(tissue deficit), 조직 및 보상물질의 밀도, 그리고 두께비(thickness ratio)이다. 실제로 두께비는 빔 에너지, 조사면, 조직결손의 정도, 선량이 보상되어야 하는 지점의 깊이, 그리고 피부표면으로부터 선원까지의 거리에 따라 달라지는 값이지만 10MV 이하의 메가볼트 단위의 광자 에너지의 경우 두께비가 대략 0.7정도인 것으로 알려져 있다<sup>8)</sup>. 보상장치의 크기는 선원에서 보상장치가 놓인 지점까지의 거리와 선원에

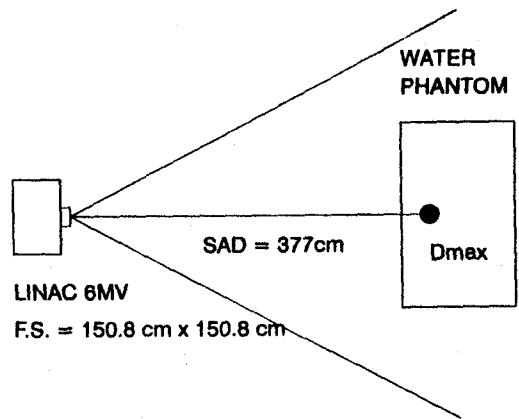


Fig. 2. Schematic illustration of absorbed dose measurement irradiated by 6MV X-ray. Field size at 377cm is 150.8cm × 150.8cm.

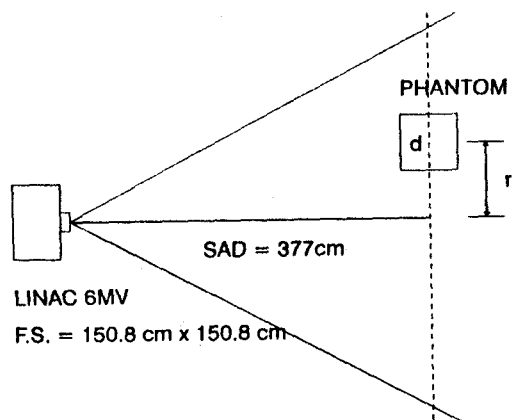


Fig. 3. Schematic illustration of off-axis ratio measurements. Measured depth:  $d = 10\text{cm}$  and off-axis distance:  $r = 0\text{cm}$  to  $90\text{cm}$ (interval =  $10\text{cm}$ ). Field size at 377cm is  $150.8\text{cm} \times 150.8\text{cm}$ .

서 선량이 보상되어야 하는 지점까지의 거리의 비로부터 쉽게 구할수 있다(식 2).

$$r = \frac{s}{f} R \quad (2)$$

여기서,  $f$ 은 선원에서 선량이 보상되어야하는 지점까지의 거리이고  $s$ 는 선원에서 보상장치가 놓인 지점까지의 거리이다. 그리고  $R$ 과  $r$ 은 각각 실제 보상부분의 길이와 축소된 보상장치의 길이이다.

각 부위에서의 보상장치의 두께  $L_c$ 는 아래 (3)식과 같다<sup>1)</sup>.

$$L_c = \frac{\tau}{\rho_{comp}} \times \frac{L_{max} - L + (1 - \rho_{lung}) L_{lung}}{2} \quad (3)$$

여기서,  $\tau$ 는 두께비이고  $\rho_{comp}$ 와  $\rho_{lung}$ 은 각각 보상물질의 밀도와 폐의 밀도이다.  $L$ ,  $L_{max}$ , 그리고  $L_{lung}$  각각 빔의 경로상에서의 실제두께, 최대 부위의 두께, 그리고 폐의 두께를 나타낸다.

#### 실제 치료시의 선량측정

8개의 다이오우드 측정기와 Multi-Channel Electrometer 그리고 컴퓨터 인터페이스로 구성된 MULTIDOSE를 이용하여 개개의 환자에 대하여 관심 있는 부위에 대한 흡수선량을 평가할 수 있다. 다이오우드 측정기(MULTIDATA MODEL NO.9731-6)는 센서 지름이 7mm, sensitive volume이 0.200mm<sup>3</sup>, sensitivity가  $3.3 \times 10^{-11}$  amperes/Gy/sec 이며 10°C 내지 40°C의 온도범위내에서 비교적 정확한 흡수선량을 평가할 수 있다. Multi-Channel Electrometer(MULTIDATA MODEL NO. 9310)는 8개의 동일한 채널로 구성되어 있으며 소프트웨어적으로 조절되며 옵션으로서 300V바이어스를 걸어 주는 ion chamber의 채널을 사용할 수도 있다. 이 electrometer의 직선성과 정밀도는 모두 0.1% 이내이다.

본 연구에서는 두부, 경부, 검상돌기부(xyphoid), 골반부(pelvis), 그리고 무릎부위(knee)에서의 선량을 측정하였으며 무릎부위를 제외하고는 환자의 중심 깊이에 다이오우드 측정기를 설치할 수 없기 때문에 빔이 입사되는 지점과 빠져나가는 지점에서 환자의 피부부위에 다이오우드 측정기를 설치하여 측정한 후 평균값을 구하였다.

#### 결과 및 고찰

그림 2에서 보는 바와 같은 실험 조건에서 측정된 흡수선량은 100M.U. 당 7.68cGy이며 이 값은 (1)식을 이용하여 구한 계산값과 3% 정도의 오차를 나타내었으며 그것은 선원으로부터 측정점까지의 거리가 증가함에 따른 광자선의 산란인자의 변화에 기인한다.

그림 4는 조사면이 40cm×40cm인 경우(SAD=100cm), 확장된 SAD에서 측정된 TMR값을 나타낸 것이며 그림 5는 확장된 SAD에서 측정된 TMR값과

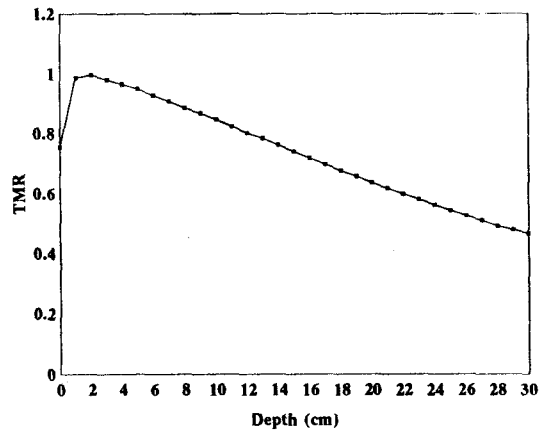


Fig. 4. A plot of measured TMR vs. depth with 6Mv X-rays. Source-to-chamber distance is 377cm. Dmax is 1.5cm.

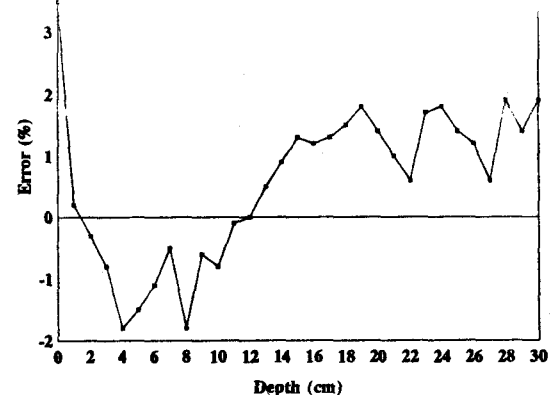


Fig. 5. A plot of deviation of calculated and measured TMR vs. depth.

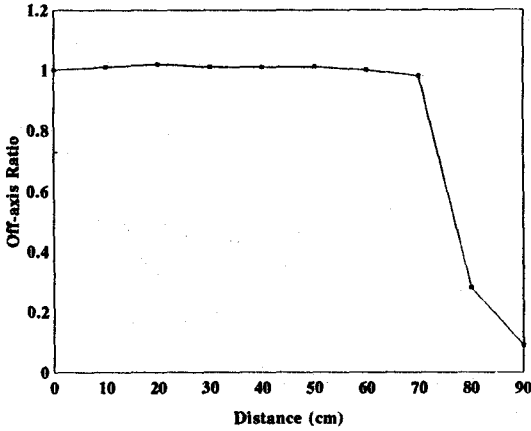


Fig. 6. A plot of off-axis ratio vs. lateral distance at 377cm. Field size at 377cm is 150.8cm × 150.8cm. Depth is 10cm at water.

Table 1. TBI in vivo dosimetry bilateral fields by using compensator: 6MV X-rays

Section	Mid-point dose calculated (cGy)	Mid-point dose measured (cGy)
Head	165	163.5 ± 9.8
Neck	165	168.1 ± 11.4
Xiphoid	165	164.0 ± 3.9
Pelvis	165	170.6 ± 4.9
Knee	165	160.4 ± 9.3

표준 SAD에서 측정된 값을 비교한 것이다. 그림 5에서 보는 바와 같이 측정된 TMR값들이 오차는 ±2% 이내였으며 이로부터 TMR값은 선원으로부터 측정점까지의 거리에 무관함을 확인할 수 있었다.

그림 6은 조사면이 40cm × 40cm인 경우(SAD=100cm), SAD가 377cm인 지점에서의 OAR을 깊이 10cm에서 측정된 것이다. 중심축상에서 20cm정도 벗어난 지점에서 최대선량을 나타내고 있으며 중심축상에서 70cm정도 벗어난 지점까지는 95% 이상의 균일한 선량분포를 나타낸다. 따라서, 실제 치료시에는 중심축상에서 ±70cm이내에 환자를 위치시켜야 하며 치료실의 공간부족으로 인해 선원에서 환자까지의 거리가 충분치 못할 경우에는 콜리메이터를 45° 회전시키거나 OAR을 고려하여 보상하여야 한다<sup>1)</sup>.

본 연구에서는 보상물질로써 알루미늄(밀도: 2.7g/cm<sup>3</sup>)을 사용하였는데 그 이유는 납(밀도 11.3g/cm<sup>3</sup>)에 비해 두께에 따른 보상 정도가 현저히 변하지 않으므로 임상에 적용함에 있어서 보다 실용적이다.

두께비는 <sup>60</sup>Co γ-ray에서 10MV 광자선까지의 에너지에 적용되는 값인 0.7을 그대로 사용하였다. 그 결과, 부위에 따른 보상물질의 두께는 (3)식에 의하여 결정할 수 있었다.

이와 같이, 실측된 최대선량 지점에서의 흡수선량(단위: cGy/M. U.)과 깊이에 따른 TMR 그리고 측정자를 이용하여 측정된 조직결손의 정도와 같은 기본 자료를 이용하여 기준점에 주어야 할 흡수선량에 따른 M. U.와 보상장치를 결정할 수 있다.

본 연구에서는 실제로 환자를 치료할 때 다이오우드 측정기를 이용하여 신체의 각 부위에 들어가는 흡수선량을 측정하였으며 부위에 따른 흡수선량은 표 1에서 보는 바와 같다. 전반적으로 볼 때 모든 부위에서 ±3.5%이내의 비교적 고른 선량분포를 나타내고 있으며 이는 Khan등<sup>1)</sup>에 의해 발표된 바 있는 TLD를 이용한 팬텀 측정 결과(<±4%)와 비교해 볼 때 만족할만 하다고 볼 수 있다. 특히, 검상돌기부에서 측정된 경우에는 ±1%이내의 정확한 결과를 얻을 수 있었다.

결 론

본 연구에서는 본원에서 활발히 시행되고 있는 골수 이식에 따른 방사선 전진조사를 성공적으로 수행하기 위한 기본자료 측정과 보상장치 고안 그리고 치료의 정확성을 확인하기 위한 환자내에서의 선량측정을 소개하였다.

피부선량을 높이기 위하여 150cm × 150cm 정도의 0.5cm 두께의 아크릴 판이 환자로부터 10cm 정도 떨어진 거리에 설치되었으며 환자의 각 부위에 따른 선량을 균일하게 만들기 위하여 보상장치가 고안되었다.

방사선 치료시 다이오우드 측정기를 이용하여 환자의 각 부위에서 측정해본 결과 ±3.5%이내의 균일한 선량분포를 얻을 수 있었다.

REFERENCES

1. Khan FM, Williamson JF, Sewchand W, Kim TH: Basic data for dosage calculation and com-

- pensation. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 6 : 745–751, 1980
2. **Galvin JM, D'angio GJ, Walsh G**: Use of tissue compensators to improve the dose uniformity for total body irradiation. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 6 : 767–771, 1980
  3. **Aget H, Van DJ, Leung PMK**: Utilization of a high energy photon beam for whole body irradiation. *Radiol* 123 : 747–751, 1977
  4. **Kang WS**: Dose distribution of Co-60 photon beam in total body irradiation. *J Korean Aso Phy Med* 2(2) : 109–119, 1991
  5. **Engler MJ**: A practical approach to uniform total body photon irradiation. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 60 : 269–279, 1987
  6. **Khan FM**: *The Physics of Radiation Therapy*. Williams & Wilkins, 182–204, 1984
  7. **Cunningham JR**: *The Physics of Radiology*. Charles C Thomas, 336–381, 1983
  8. **Khan FM, Moore VC, Burns DJ**: The construction of compensators for cobalt teletherapy. *radiol* 96 : 187–192, 1970