

Correction of Dose Distribution at Total Body Irradiation using Compensator

삼성서울병원 치료방사선과

김종식 · 조현상 · 김영곤 · 조정근 · 주상규 · 박영환

Correction of Dose Distribution at Total Body Irradiation using Compensator

Jong Sik Kim · Hyun Sang Cho · Young Kon Kim ·
Jung Keun Cho · Sang Kyu Ju · Young Hwan Park

Dept. of Radiation Oncology, Samsung Medical Center

The using of compensator is required to adjust the irregular dose distribution due to irregular thickness of the body in Total Body Irradiation. Aluminum, copper or lead is generally used as compensator. In our study, we would like to introduce a result of the attenuation and compensation effect of radiation use compensator made by duralumin and its clinical use.

The thickness of compensator was calculated by the attenuation of radiation, which was measured by polystyrene phantom and ionization chamber(farmer). The compensation effect of radiation was measured by diode detector. All of conditions were set as in real treatment, and the distanc from source to detector was 446 cm. We also made fixation of device to easily attach the compensator to LINAC. Beam spoiler was manufactured and placed on the patient to irradiate sufficient dose to the skin, diode detector were placed on head, neck, chest, umbilicus, pelvis and knee with each their entranced exit points, and datas of dose distribution were evaluated and compared in each points for eleven patients(Feb. 96—Feb. 97).

The attenuation rate of irradiation by duralumin compensator was measured as 1.4% in 2 mm thickness. The mean attenuation rate was 1.3% per 2 mm as increasing the thickness gradually to 50 mm.

By using duralunim compensator, dose distribution in each points of body was mea-

sured within $\pm 2.8\%$ by diode detector.

We could easily calculate the thickness of compensator by measuring the attenuation rate of radiation, remarkably reduce the irregularity of dose distribution due to the thickness of body and magnify the effect of radiation therapy.

Key Word : Compensator, TBI, Duralumin, Dose distribution.

I. 서 론

1905년 Dessaur에 의해 처음 시작된 방사선 전신 조사(total body irradiation)는 1927년 Werner Teschendorf에 의해 백혈병 환자의 골수 이식시 이상 백혈구의 면역 억제를 위한 목적으로 시행되었다. 특히, 최근에는 CT scan으로 얻어진 각 조직의 CT number를 이용하여 불균등한 체내조직의 정확한 보상과 균등한 선량분포를 얻기 위한 3-D compensator 사용 등으로 치료 방법의 발전이 지속적으로 이루어져 왔다.

백혈병 환자의 골수이식을 위한 방사선 전신 조사는 일반적인 치료와는 달리 전신을 포함할 수 있는 큰 조사야가 요구되어 확장된 선원-체표까지의 거리가 사용되며, 환자 전신에 균등한 선량분포를 얻기 위해서는 피부선량을 증가시키기 위한 beam spoiler, 조직의 불균등성과 체표의 불규칙성을 보정하기 위한 compensator 등의 사용이 반드시 필요하다. 이러한 방사선 전신조사 방법에 관한 연구는 1980년대 들어서면서 활발히 진행되고 있으며 특히 에너지, 선량을, 환자의 자세, compensator 사용여부 등에 따른 많은 방법이 보고되고 있다. 본 연구는 방사선 전신 조사시 체표면 굴곡에 대한 선량보정을 위해 duralumin으로 compensator를 제작하였고, 제작된 duralumin compensator의 사용에 따른 환자 각 부위의 선량분포를 diode detector를 사용하여 평가하였으며 현재 본원에서 사용 중인 방사선 전신 조사 방법을 소개하고자 한다.

II. 재료 및 방법

본 원에서는 방사선 전신 조사시 출력을 고려하여 고에너지 10 MV X-ray(LINAC, Clinac 2100 C, VARIAN, USA)를 사용하였고 이로 인한 체표선량 감소를 극복하기 위해 beam spoiler ($220 \times 100 \times 0.7$ cm, acryl)를 제작하였다. 또한 ion chamber(Farmer type chamber, NE), polystyrene phantom, electrometer(MK614-dosimeter, Keithly, USA)를 이용하여 선량계산을 위한 기본 data인 beam out-put과 넓은 조사야의 사용에 따른 off-axis-ratio를 측정하였다. 방사선 전신 조사시 체표면 굴곡에 대한 선량 보정을 위해 두께 2 mm의 duralumin compensator와 이를 고정하기 위한 compensator tray를 제작 하였으며, 환자의 각 부위에 적절한 보상두께를 결정하기 위해 조직보상체의 방사선 감쇄도를 측정하였다. 그리고 자체 제작한 duralumin compensator의 선량 보정 효과를 평가하기 위하여 11명의 환자를 선택하여 1명당 5회씩 100 cGy를 dose rate 160 MU/min으로 조사하여 각 부위에 대한 선량 분포를 diode detector를 이용하여 분석 하였다.

1. 기본 Data 측정

방사선 전신 조사를 위한 기본 자료로는 TMR(tissue-maximum-ratio), 출력인자, OAR(off-axis-ratio) 등이 필요하며, 확장된 SAD에서 TMR값을 얻기 위해서는 미세한 팬텀 산란인자를 고려하여야 한다. 그러나 이를 정확하게 측정하기는 매우 어렵고 TMR값은 거리에 무관한 양이기 때문에 미소한 산란효과를 무시할

경우 표준 SAD에서 측정된 TMR값을 사용하여도 무방한 것으로 알려져 있다. 따라서 본 실험에서는 표준 SAD에서 측정된 TMR값을 사용하였다.

1) Out-put 측정

Out-put 측정은 방사선 전신 조사시 선량 계산 및 보상체의 보상정도를 결정하기 위하여 치료시와 동일한 조건(SAD : 446 cm, 조사야

: $178 \times 178 \text{ cm}^2$)하에 Fig. 1같이 polystyrene phantom과 표준전리함을 이용하여 측정하였다. 측정시 phantom 전방에 beam spoiler를 위치시킨 후 phantom의 두께(t)를 10 cm에서 50 cm까지 2 cm 간격으로 단계적으로 증가시키면서 측정하였다.

2) Off-axis-ratio 측정

균등한 조사면 내에 환자를 위치 시키기 위

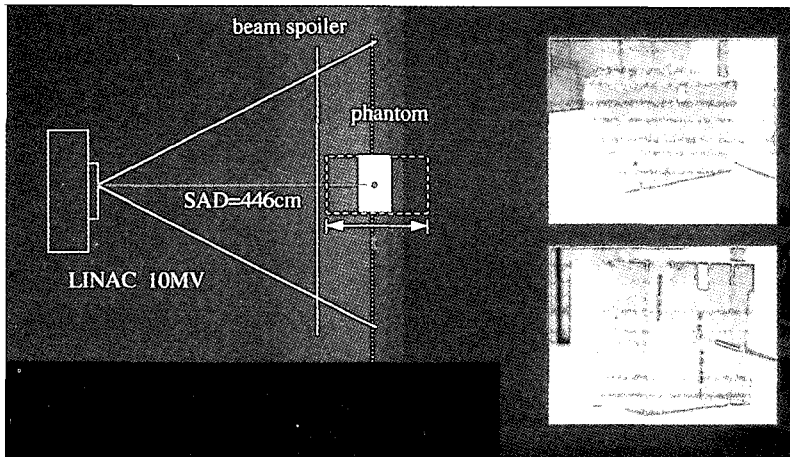


Fig. 1. Schematic illustration of out-put factor measurement.
Measured phantom thickness : $t=10 \text{ cm}$ to 50 cm .

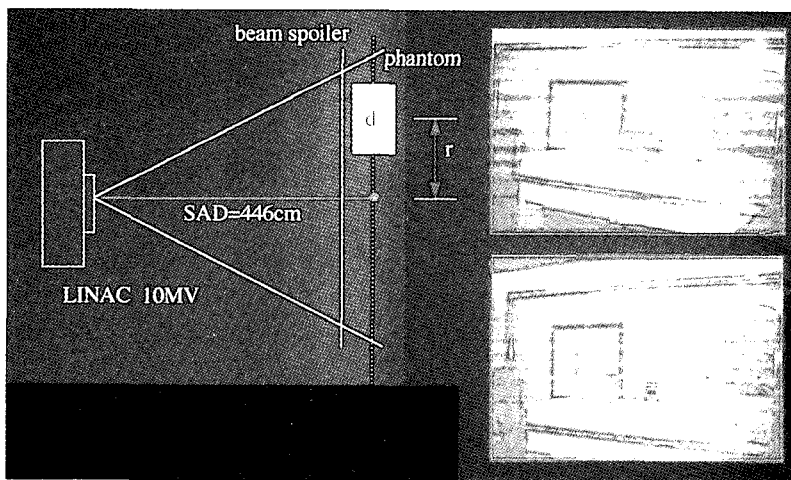


Fig. 2 Schematic illustration of off-axis-ratio measurement
Measured phantom depth : $d = 10 \text{ cm}$ & off-axis distance : $r = 0 \text{ cm}$ to 90 cm

하여 Fig. 2와 같이 실제 치료시와 동일한 조건하에 beam의 중심축상에서 90 cm되는 지점까지 10 cm간격으로 polystyrene phantom을 이동시켜가며 깊이(d) 10 cm 되는 지점에서의 조사면에 대한 OAR를 표준 전리함을 이용하여 측정하였다.

3) Attenuation rate of duralumin compensator

방사선 전신 조사시 조직보상체의 적절한 두께를 결정하기 위하여 치료시와 동일한 조건하에 duralumin 보상체의 두께를 2 mm에서 50 mm까지 2 mm 간격으로 증가 시키면서 두께 변화에 따른 방사선 감쇄도를 측정하였다(Fig. 3).

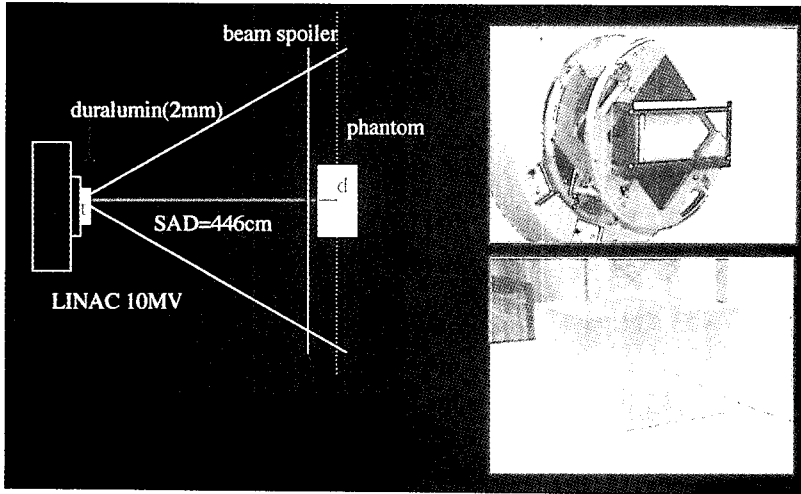


Fig. 3. Schematic illustration of attenuation rate of duralumin compensator of measurement. Measured phantom depth : $d = 10$ cm & increase duralumin compensator thickness : $t = 2$ mm to 50 mm(interval 2 mm)

2. 환자 각 부위에 대한 선량 분포 측정

본 원에서는 환자 전신을 포함하는 넓은 조사야를 얻기 위하여 선원에서 치료점까지 거리를 446 cm으로 하여 178×178 cm²의 조사야를 얻었다. 또한 환자를 편안히 바로 누운 자세로 위치시켜 좌우 대향 2분 조사를 하였으며 측면 치료시 폐에 조사되는 방사선량을 감약시키기 위해 두 손을 가슴에 모으고 어깨를 폐 부위에 밀착시켰다. 골수이식을 목적으로 전신 방사선 치료를 받는 환자에게 있어 감염은 매우 위험한 문제를 야기할 수 있으므로 본 원에서는 대향 2분 조사시 환자의 자세 보정을 위한 움직임과 병실에서 치료실까지의 이동경로에서의 감염 위험성을 줄이고자 밀폐된 전용

침대를 제작하여 환자의 외부 공기에 대한 노출을 최소화하였다. Duralumin compensator의 선량보정효과를 평가하기 위해 diode detector를 환자의 head, neck, chest, umbilicus, pelvis, knee의 입사점과 출사점에 부착하였으며 각 부위에서 측정된 선량값을 이용하여 환자 중심에서의 선량을 계산하였다. 그리고 입사점과 출사점 선량을 이용하여 계산한 중심선량 값의 정확성을 평가하기 위해 polystyrene phantom을 이용하여 phantom두께별 입사점과 출사점 그리고 phantom 중심에서의 선량을 측정하여 계산치와 측정치를 비교 분석하였다. 이와같은 방법으로 산출한 실측치와 계산치의 phantom 두께별 보정율을 환자에서 측정된 선량에 적용하여 duralumin compensator에 대한 선량 보

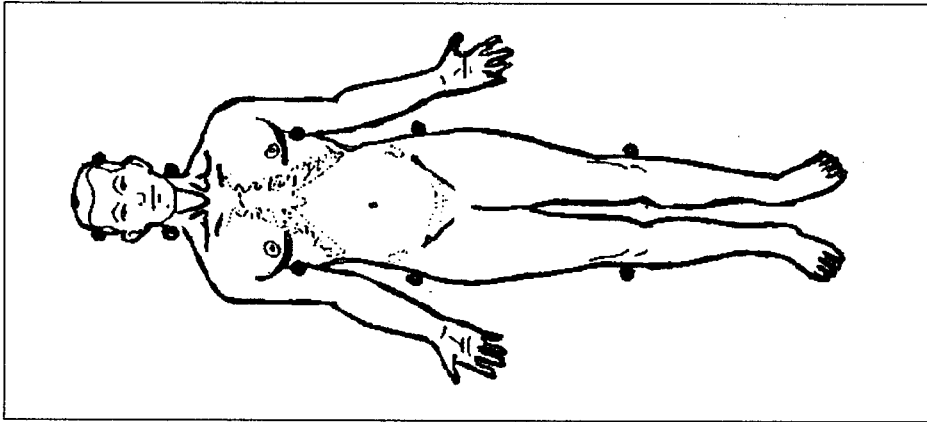


Fig. 4. dose measured points with diode detector

정 효과를 평가하였다.

IV. 결 과

선량 계산을 위해 측정한 out-put은 Table 1과 Fig. 5로 표현되며, polystyrene phantom의 두께가 10 cm일 때 out-put factor 0.0557로 측정되었고, 40 cm에서 0.0358이었다. 특히 Fig. 5에서 알 수 있듯이 polystyrene phantom의 두께가 증가함에 따라 out-put factor는 정량적으로 감소 함을 알 수 있었다.

Output measurement

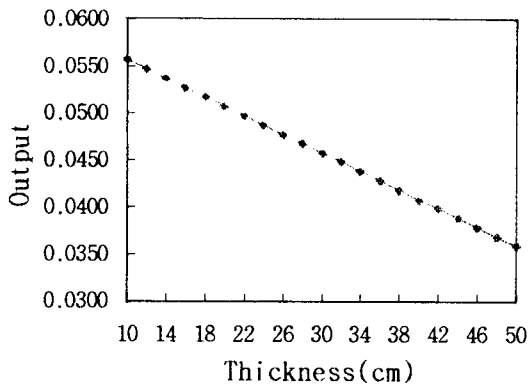


Fig. 5. A plot of out-put factor for various phantom thickness

Table 1. Values of out-put factor for various phantom thickness

Thick(cm)	Output
10	0.0557
20	0.0507
30	0.0457
40	0.0407
50	0.0358

또한 off-axis-ratio 값은 beam의 중심축으로부터 10 cm 이동한 지점에서 1.010, 80 cm에서 0.97, 90 cm에서 0.145로 측정되었으며, Fig 6에서 보는 바와 같이 beam의 중심축에서 80 cm

OAR measurement

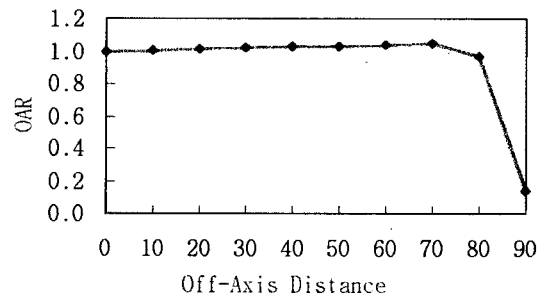


Fig. 6. A plot of off-axis ratio for various off-axis distance

이동한 지점까지는 95% 이상의 균등한 선량 분포를 보이고 있으나 80 cm를 넘어선 지점에서는 급격히 감소함을 알 수 있었다. 따라서 실제 환자 치료시 환자를 beam의 중심축에서 ± 80 cm 되는 지점 내에 위치시켜야 함을 알 수 있다.

Table 2. Values of off-axis-ratio for various off-axis distance

Off-Axis distance(cm)	OAR
0	1.000
20	1.013
40	1.029
60	1.039
80	0.970
90	0.145

조직보상체의 적절한 두께를 결정하기 위하여 측정된 duralumin 보상체의 방사선 감쇄도는 Table 3과 Fig. 7과 같았으며 두께가 2 mm 일 때 방사선 감쇄도(%)는 1.4%, 10 mm에서

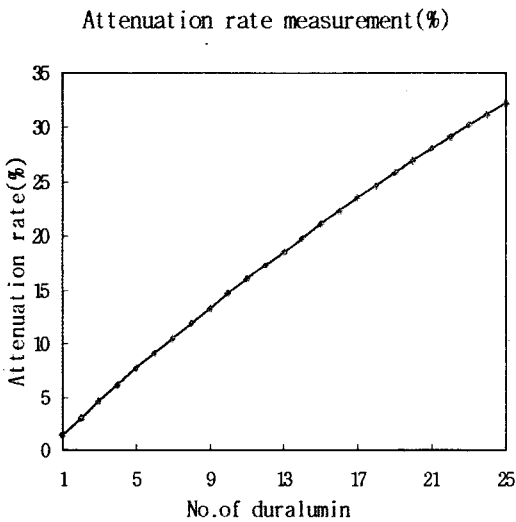


Fig. 7. A plot of attenuation rate of duralumin compensator for various duralumin compensator thickness

는 7.7%, 20 mm에서 14.7%, 30 mm에서 21.1%, 40 mm에서 27.0%, 50 mm에서 32.3%로 측정되었다. 2 mm 당 평균 1.3%로 방사선이 감쇄되는 것으로 나타났으며 Fig. 7에서와 같이 duralumin 보상체의 두께에 따른 방사선 감쇄도(%)는 비례적으로 증가함을 알 수 있었다. 또한 duralumin 보상체의 두께 증가에 따른 감쇄도가 정량적으로 증가 하지 못함은 beam

Table 3. Values of attenuation rate of duralumin compensator for various duralumin compensator thickness

No.	Attenuation rate(%)
1	1.4
2	3.0
3	4.6
4	6.2
5	7.7
6	9.1
∴	∴
22	29.2
23	30.3
24	31.3
25	32.3

* Aver. : 1.3%

Table 4. Dose distribution at the each points of patient

Section	Mid-point dose calculated (cGy)	Mid-point dose measured (cGy)
Head	100	98.3 \pm 1.2
Neck	100	99.5 \pm 2.4
Chest	100	98.0 \pm 0.5
Umbilicus	100	101.3 \pm 1.6
Pelvis	100	99.7 \pm 2.5
Knee	100	100.5 \pm 2.1

* Khan's study by using TLD : $\pm 4\%$

hardening effect의 영향으로 사료된다. 그리고 실제 환자 치료시 diode detector를 이용하여 신체의 각 부위에 대한 흡수선량을 측정하여 Table 4와 같은 결과를 얻었다. 모든 부위에서 $\pm 2.8\%$ 이내로 매우 균등한 선량분포를 나타내고 있으며 이는 Khan 등¹⁾에 의해 발표된 바 있는 TLD를 이용한 phantom 측정 결과($\pm 4\%$)와 비교해 볼 때 매우 만족할만한 값이라고 볼 수 있다.

V. 결 론

정확한 방사선 전신 조사를 위해서는 많은 인자가 고려되어야 한다. 특히 환자의 불규칙한 체형 및 불균등한 체내조직으로 인해 발생하는 선량 불균등 현상의 정확한 보정은 매우 중요하게 대두되고 있다. 이에 본 실험에서는 보정체를, 납(밀도 11.3 g/cm^3)에 비해 두께에 따른 보상 정도가 현저히 변하지 않고 임상적으로 적용함에 있어 보다 실용적인 알루미늄 합금(duralumin)으로 제작하였다. 또한 duralumin compensator의 방사선 감쇄도를 측정하여 방사선 전신 조사시 각 환자에 대한 적절한 보상체의 두께를 쉽게 산출하여 적용할 수 있었으며 두께 차이에 의한 선량 불균등 현상을 현저히 감소시킴으로써 균등한 선량분포를 얻을 수

있었다.

참 고 문 헌

1. Khan FM, Williamson JF, Sewchand W et al: Basic data for dosage calculation, & compensation. *Int J Radiation Oncology biology physics* 1980; 6: 745-751
2. Breneman JC, Elson HR, Little R, Lamba M, Foster AE: A technique for delivery of total body irradiation for bone marrow transplantation in adults & adolescents *Int J Radiation Oncology biology physics*. 1990 May; 18(5): 1233-6
3. De sapio E, Piermattei A, Azario L et al: Optimization of a dosimetric procedure in total body irradiation (Italian) *Radiologia Medica*. 1990 Jun; 79(6): 624-7
4. Leitner H.: Standardized setup and dosimetry in total body irradiation using 3-dimensional compensators. (German) *Strahlentherapie und Onkologie*. 1987 Sep; 163(9): 12
5. Engler MJ.: A practical approach to uniform total body photon irradiation *Int J Radiation Oncology biology physics*. 1986 Nov; 12(11): 2033-9