

유리선량계를 이용한 Biobeam8000 감마선 조사장치의 선량평가

*한국원자력의학원 방사선치료연구센터, †과학기술연합대학원대학교 원자력암의학,
‡삼성서울병원 방사선종양학과, §연세대학교 방사선학과

신상훈* · 이성현*† · 손기홍‡ · 이현호*§ · 김금배* · 정해조* · 지영훈*

감마선조사장치는 세포실험, 동물실험, 혈액방사선 조사, 선량측정 실험 및 교육 등에 널리 사용되고 있다. 한국원자력의학원에서 보유하고 있는 Biobeam8000 (STS Steuerungstechnik & Strahlenschutz GmbH, Braunschweig, Germany, Cs-137, 81.4 TBq) 감마선 조사장치는 7.5 L의 대용량과 넓은 영역에 사용이 가능한 감마선 조사장치이다. 비커 내부에 균일한 방사선조사를 위해 Cs-137 선원이 위아래 24 cm 범위를 일정한 주기로 왕복 이동하며, 기존의 다른 감마선 조사기와 같이 시료를 넣는 비커는 방사선 조사동안 360도 회전한다. 기존의 감마선 조사기와 달리 비교적 균일한 선량이 조사되는 반면에 방사선원이 이동하므로 위치에 따른 구체적인 선량정보도 필요로 하게 된다. 본 연구에서는 유리 선량계를 이용하여 Biobeam8000 감마선 조사장치의 비커 내부 선량을 측정하였고, 측정결과를 바탕으로 선량선형성과 선량재현성에 대한 평가 및 선량분포의 정보를 도출하였다. 이 결과를 바탕으로 실험 및 방사선 조사 시 효율적인 조사장치 사용을 위한 가이드라인을 제시하고자 한다.

중심단어: 감마선 조사장치, Biobeam8000, 유리선량계, 선량선형성, 선량재현성, 선량분포

서 론

Cs-137을 사용한 다목적 방사선조사장치는 생물학에서 저선량 방사선에 대한 영향 연구, 세포 및 동물실험, 혈액 방사선 조사 혹은 TLD (Thermo Luminescent dosimeter)의 교정 등에 널리 사용되고 있다. 세포 및 동물실험의 경우 저선량에서 고선량까지 다양한 감마선을 조사하게 되며, 혈액 방사선 조사의 경우 약 15~50 Gy까지 비교적 고선량이 조사된다. 비커를 포함하고 있는 감마선 조사장치는 방사선 조사 시 조사하고자 하는 선량과 실제로 조사되는 선량에는 차이가 없어야 하는데 비커의 구조와 크기, 조사대상의 위치 등에 의해 조사선량에 영향을 받게 된다. 따라서 조사선량에 대해 실제로 조사되는 선량은 $\pm 35\%$ 이상 차이가 나는 것으로 보고되어 있다.¹⁾ 그러므로 소동물이나 작은 배양용기와 같이 조사영역이 매우 작은 경우에는 선량

에 대한 구체적인 정보가 필요하며 방사선 조사 시 각각의 환경에 대하여 고려한 후 조사를 진행해야 한다.

감마선 조사장치는 방사선 조사 시 비커 또는 컨테이너를 필요로 하게 된다. 따라서 비커 내부의 선량측정을 위해서는 단독으로 사용이 가능하고, 유효 체적이 작은 선량계가 필요하게 되며 이에 따라 열형광선량계(TLD) 또는 유리선량계, Gafchromic 필름이 가장 적합하다. 방사선 치료기의 선량평가에 주로 사용되는 이온 전리함의 경우 정확한 흡수 선량을 평가할 수 있지만 상대적으로 작은 신호와 큰 노이즈를 가지는 문제점이 있고, 셋업 시 상당한 시간이 소요된다. 다이오드의 경우 작은 체적으로 공간 분해능이 뛰어나며 방사선에 대한 감도가 우수한 반면에 방향 특성 및 에너지 특성을 가지는 문제점이 있다.^{2,3)} 또한 앞의 두 가지 선량계는 실시간 계측이 가능한 장점을 가지고 있지만 그로 인해 센서부와 계측기가 연결되어 사용되어야 하기 때문에 외부와 격리되어 선량계가 단독으로 쓰여야하는 감마선 조사장치의 경우에는 사용될 수 없다. 이에 반해 열형광선량계와 유리선량계의 경우는 선량계 단독으로 쓰일 수 있고, 방사선 조사가 종료된 이후에 선량을 측정할 수 있어 비커를 이용하는 감마선 조사장치의 선량평가에 사용이 가능하다. 또한 이온 전리함과 다이오드에 비해서도 작은 유효체적을 가지므로 고분해능의 측정이 가능하다. 하지만 열형광

이 연구는 교육과학기술부 재원으로 시행하는 한국연구재단의 방사선기술개발사업으로 지원받았습니다.

이 논문은 2011년 11월 24일 접수, 2011년 12월 13일 수정, 2011년 12월 19일 채택되었음.

책임저자 : 지영훈, (139-706) 서울시 노원구 노원길 75

한국원자력의학원 방사선치료연구센터

Tel: 02)970-1371, Fax: 02)970-2462

E-mail: jyh328@kirams.re.kr

선량계는 흡수선량의 정확한 측정을 위해 각각소자에 대한 복잡한 보정작업을 필요로 하며 조사 후 퇴행(fading) 현상이 나타나는 문제점이 있다.⁴⁾ Gafchromic 필름은 유효체적이 작아 단독으로 쓰일 수 있고, 사용이 간편하지만 절대선량을 측정하거나 고선량의 선량을 측정하는데 어려움이 따른다.^{5,6)} 따라서 작은 유효체적으로 비커 내부에서 단독으로 쓰일 수 있고, 배열을 통해 2차원적 선량분포의 측정이 가능하며 퇴행이 거의 없고 판독과정 및 취급방법이 비교적 간단한 유리선량계가 감마선 조사장치의 선량을 평가하는데 유용할 것이다.⁷⁻¹⁰⁾

본 연구에서는 유리선량계를 이용하여 한국원자력의학원에서 보유하고 있는 대용량의 사용이 가능한 Biobeam8000 (STS Steuerungstechnik & Strahlenschutz GmbH, Braunschweig, Germany, Cs-137, 81.4 TBq) 감마선 조사 장치에 대한 선량평가를 진행하였다. 조사 시 사용되는 비커 내부의 중심축과 가장자리 중심점에서 선량선형성 및 재현성을 평가하였고, 중심축과 가장자리의 위아래 선량분포를 측정하였다. Biobeam8000 비커 내부의 위치에 따른 선량오차를 계산하였으며, 실제적인 선량분포를 확인하였다. 그에 따른 결과를 바탕으로 Biobeam8000 감마선 조사장치의 유용성을 검증하였고, 방사선 조사 시 효율적인 방사선 조사가 가능하도록 가이드 라인을 제시하고자 한다.

재료 및 방법

1. 유리선량계 시스템

Biobeam8000 감마선 조사장치 비커 내부의 선량측정을 위하여 유리선량계를 사용하였다. 일반적으로 열형광선량계와 비슷한 용도로 사용되며, 취급사항 또한 비슷하다. 실험에 사용된 유리 선량계(GD-301, Asahi Techno Glass Corporation, Shizuoka, Japan)는 보호캡으로 둘러싸인 원통형이고, GD-302M의 소자식별이 가능한 유리선량계와 달리 소자자체에 식별번호가 없기 때문에 직경은 1.5 mm로 같지만 길이는 8.5 mm로 더 짧다(Fig. 1). 성분은 P 31.55%, O 51.16%, Al 6.12%, Na 11.0% 그리고 Ag 0.17%로 구성되어 있다.⁸⁾ 선량 측정범위는 10 μ Gy ~ 500 Gy까지로 넓은 선량 영역에서의 측정이 가능하며 3% 이내의 에너지 특성과 5% 이내의 방향 특성을 나타낸다.⁹⁾ 그리고 방사선에 조사된 유리소자가 자외선에 의한 여기(excitation)로 주황색 형광을 발하는 현상(Radio-Photo Luminescence, RPL)을 이용한 고체 선량계이며, 방사선조사로 만들어진 RPL 중심은 판독조작 등으로 소멸되지 않고 축적되므로 선량의 측정은

사용 전후의 측정치의 차로 구해진다.¹¹⁾ 이로 인해 열형광선량계와 달리 반복판독이 가능한 장점을 가진다.

또한 유리선량계는 측정할 수 있는 선량범위가 넓고, 선량률 의존성이 작으며, 형광량의 퇴행(fading)이 년당 1% 정도로 매우 적다. 따라서 상당한 횟수의 반복사용이 가능하다. 그리고 선량의 축적 및 보존이 가능하여 재측정이 가능하고 단기간과 장기간의 선량률을 동시에 측정할 수 있는 장점을 가진다. 하지만 형광의 증가를 안정시켜 정확한 측정을 위해서는 방사선 조사 후 약 1시간 이상의 예열(preheating) 과정을 거쳐야 하고, 데이터 값을 초기화하는 열처리(annealing)를 위해 보호캡 제거 과정을 거치므로 유리의 표면이 상하기 쉽고 취급에 주의하지 않으면 측정의 신뢰성이 떨어지는 단점이 있다.

유리선량계의 판독은 FGD-1000 판독기(Asahi Techno Glass Corporation, Shizuoka, Japan)를 사용하였다. 판독 시 사용하는 저선량 매거진(magazine)의 측정범위는 10 μ Gy ~ 10 Gy (Sv)이고, 고선량 매거진을 사용할 경우 500 Gy까지 판독이 가능하다. 한번에 20개의 유리선량계를 매거진에 장착하여 판독할 수 있으며, 최대 10번까지 반복 판독하여 평균값을 나타내게 된다. 판독기는 표준설정으로서 Cs-137 감마선으로 값이 매겨져 있는데 사용하는 선원에 대한 선량 값 판독을 위하여 표준조사소자를 작성, 사용함으로써 임의로 값을 매길 수도 있다.

따라서 본 연구에서는 감마선 조사장치의 Cs-137 선원에 대한 유리선량계 선량값 판독을 위하여 먼저 Co-60 선원에서 이온전리함과 유리선량계를 이용하여 선량에 대한 보정

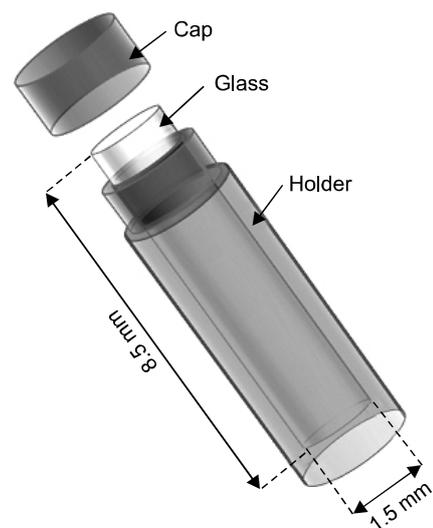


Fig. 1. A scheme of structure on Glass dosimeter.

계수(calibration factor)를 구하였다. 그리고 감마선이 조사된 유리선량계의 측정값에 구해진 보정계수를 대입하여 선량으로 환산하였다.

2. Biobeam8000 조사장치

Gammacell3000 Elan (Nordion International, Kanata, Ontario, Canada, Cs-137, 38.7 TBq)과 같은 기존의 감마선조사기의 경우 조사대상을 넣을 수 있는 비커의 크기와 용량이 작았으며, Cs-137 방사선원이 고정되어 감마선이 조사되기 때문에 비커 내부의 불균일한 방사선량 분포를 보였다. 또한 원하는 선량을 조사하기 위해서는 선량감쇄율에 따른 시간 테이블이 필요한 단점을 가진다.

한국원자력의학원의 Biobeam8000은 혈액, 소동물, 세포와 같은 대상에 최소 0.2 Gy 이상의 선량 설정이 가능한 고선량 감마선 조사장치이며, 2008년 도입 당시 분당 2.6 Gy의 선량을 방출하는 Cs-137 방사선원을 사용하고, 기존의 방사선조사기와 같이 방사선 조사동안 시료를 넣는 비커는 360도 회전한다. 그리고 넓은 영역에 균일한 방사선조사를 위해 Cs-137 선원이 위아래 24 cm 범위를 일정한 주기로 왕

복 이동하므로 기존의 감마선 조사장치에 비해 비커 내부의 균일한 방사선량 분포를 제공한다. 또한 선량감쇄율에 따른 시간 테이블이 필요하지 않으며, 조사하고자하는 선량을 컴퓨터 화면에 입력하면 자동으로 감마선이 조사된다.

Biobeam8000 조사 장치의 특성은 Table 1에 나와 있다.

3. Biobeam8000의 선량 측정실험

1) **선량선형성 평가:** Biobeam8000 감마선조사장치의 선량선형성 평가를 위하여 Fig. 2와 같이 BB75-4 비커 내부의 중심축 중심점과 가장자리의 중심점에 유리선량계를 고정시켜 측정하였다. 비커에 0.5 Gy에서 30 Gy 사이의 감마선을 조사하여 중심축과 가장자리 중심점에 대해 선량의 선형성을 평가하였고, 조사선량과 실제선량의 오차를 계산하였으며 각 위치에서 선형계수를 확인하였다.

2) **재현성 실험:** Biobeam8000 감마선 조사장치 비커 내부의 동일한 위치에서 선량에 대한 재현성을 확인하기 위하여 중심축 중심점과 가장자리 중심점에 유리선량계를 고

Table 1. Specifications of Biobeam8000 gamma irradiator.

Irradiation beaker	Biobeam8000
Volume	7.5 L
Diameter	190 mm
Height	265 mm
Dose rate at center of beaker (water equivalent)	2.6 Gy/min
Source	
Radionuclide	Cs-137
Number of sources	1
Activity	81.4 TBq±20%

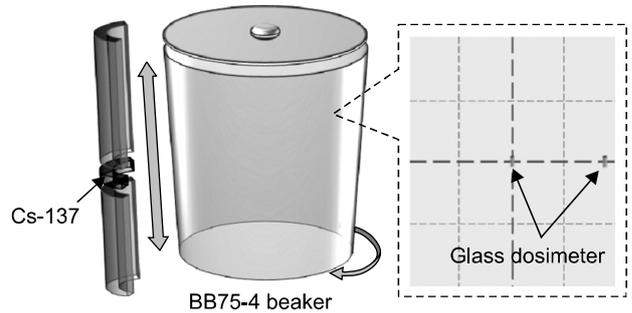


Fig. 2. Experimental setup for evaluation of dose linearity and reproducibility. Glass dosimeters were placed at the center and edge of beaker.

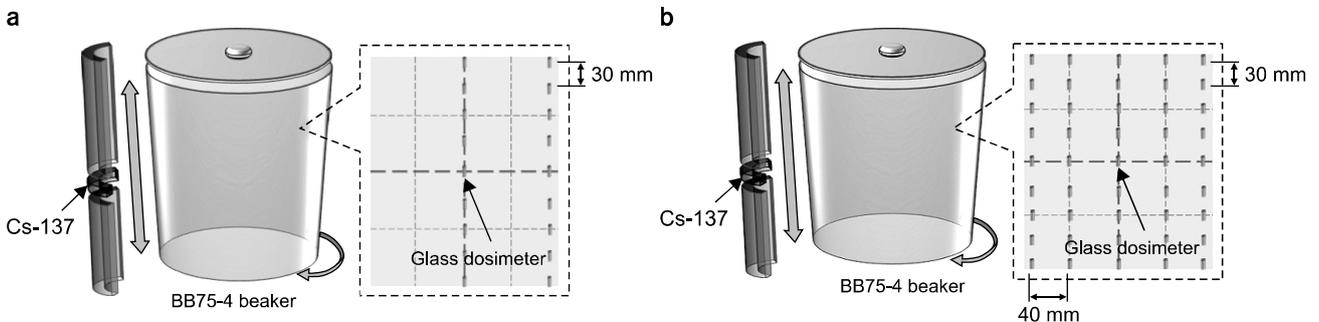


Fig. 3. The position of glass dosimeter fixed on plate located in beaker for evaluation of dose distribution. (a) vertical axis of dose distribution. (b) total dose distribution.

정시켰다(Fig. 2). 두 지점 각각 10개의 유리선량계에 대하여 선량 2 Gy와 25 Gy를 조사하였고, 오차율 및 편차를 계산하여 재현성을 평가하였다.

3) 방사선량분포 측정 실험: 비커 내부의 위아래 방사선량 분포를 측정하기 위해서 Fig. 3a와 같이 중심축과 가장자리에 유리선량계를 배치하였다. 중심축과 가장자리에 9 개씩 총 18개의 유리선량계를 사용하였으며, 비커의 가장 아래에서 윗부분까지 3 cm 간격으로 배치하였다. 25 Gy 선량을 조사하여 비커 내부의 방사선량분포를 측정하였으며 중심축과 가장자리의 위아래 선량분포를 비교, 분석하였다. 또한 비커 내부의 전체 선량 분포를 확인하기 위해 Fig. 3b와 같이 4 cm 간격으로 가로 5개, 3 cm 간격으로 세로 9

개, 총 45개의 유리선량계를 배치하고 25 Gy의 선량을 조사하였다.

결과 및 고찰

Fig. 4는 유리선량계를 비커 내부의 중심축 중심점과 가장자리 중심점에 위치시켜 선량을 측정된 결과이다. 0.5 Gy부터 30 Gy까지 선량을 측정된 결과 중심축의 경우 조사선량에 비해 평균 0.23 Gy 더 많은 선량이 조사되었고, 1에 가까운 0.9999의 선형계수를 가지고 선형성을 보이는 것을 확인하였다. 백분율로 환산한 결과 중심축 중심점에서 측정되는 선량은 조사하고자 하는 선량에 대해 평균 4.30% 높게 측정되었다. 비커 가장자리의 경우 0.9996의 선형계수를 가지고 선형성을 보였으며, 0.5 Gy부터 30 Gy까지 각각의 조사선량에 대하여 평균 1.26 Gy, 낮은 선량이 조사되었고, 백분율로 환산한 결과 평균 14% 낮게 측정되는 것을 확인하였다. 비커의 중심축과 가장자리 중심점의 선량은 중심축의 선량이 가장자리에 비해 1.49 Gy 높게 나타났으며, 위의 결과를 토대로 중심축 중심점의 선량이 조사선량에 더 근접한 것을 확인하였다.

Fig. 5의 (a)와 (b)는 비커 중심축 중심점과 가장자리 중심점에 각각 유리선량계를 배치하여 Biobeam8000 감마선 조사장치의 2 Gy와 25 Gy 선량에 대한 재현성을 평가한 결과이다. 중심축과 가장자리 중심점에 각각 유리선량계를 위치시킨 후 15번에 걸쳐 실험을 반복하였다. 동일한 lot 안의 유리선량계를 사용하였고, 유리선량계의 균일성은 ±1.2%이다. 선량값의 판독기에 대한 오차를 줄이기 위하여 조사된 15개의 유리선량계를 매거진의 첫 번째 위치에서

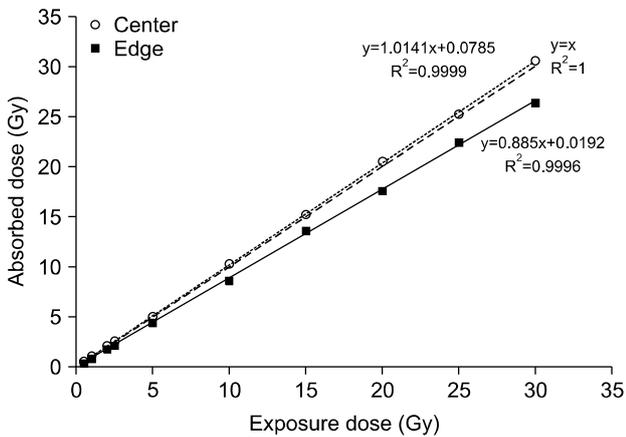


Fig. 4. A graph of evaluation at the center and edge of the beaker for dose linearity using glass dosimeter. Doses were irradiated ranging from 0.5 to 30 Gy.

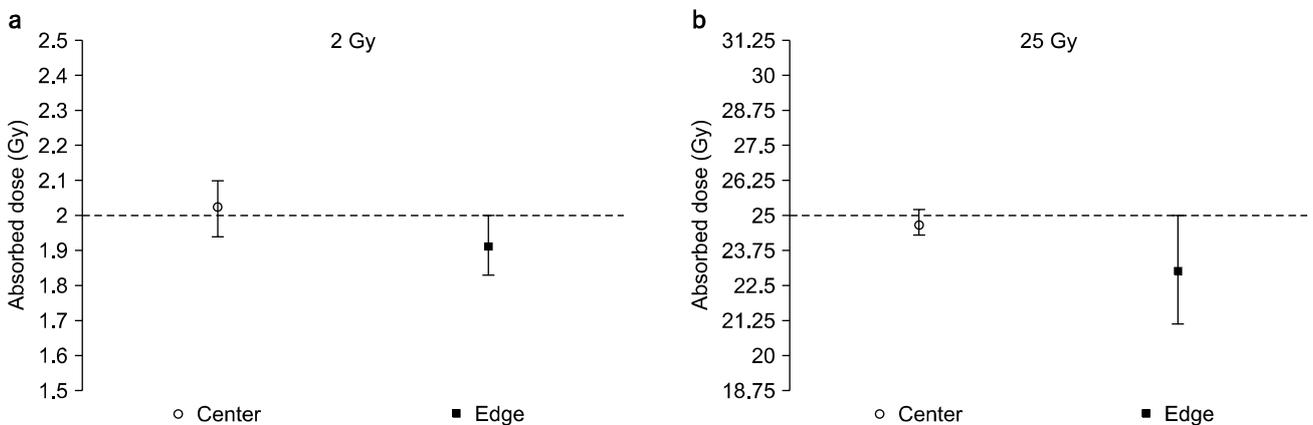


Fig. 5. Reproducibility of gamma irradiation at the center and edge on 2 Gy and 25 Gy using glass dosimeter. The error bars represent each standard deviation of 15 times irradiated. (a) 2 Gy irradiated, (b) 25 Gy irradiated.

동일하게 판독하였으며, 각각의 초기 값을 뺀 후 10번 판독에 대한 평균값을 비교, 분석하였다. 에러바는 15번 측정된 값에 대한 표준편차(standard deviation)를 나타낸 것이다. 2 Gy 조사선량에 대하여 중심축 중심점의 경우 평균 $0.96 \pm 0.081\%$ 의 오차율을 보였고, 가장자리 중심점의 경우 $-4.22 \pm 0.085\%$ 의 평균오차율을 보였다. 25 Gy 조사선량의 경우 중심축 중심점은 평균 $-0.99 \pm 0.46\%$ 의 오차율을 보였고, 가장자리 중심점은 $-7.72 \pm 1.95\%$ 의 평균오차율을 보였다. 2 Gy와 25 Gy 두 경우 모두 비커 가장자리에 비해 중심축에서 조사선량에 대한 재현성이 더 좋은 결과를 나타내었다.

비커 내부에서 중심축과 가장자리의 선량분포를 확인하기 위하여 25 Gy 조사선량에 대한 위아래 방사선량 분포를 측정하였다. 유리선량계는 동일한 lot 안의 것을 사용하였고, 위아래 3 cm 간격으로 중심축 9개, 가장자리 9개 총 18개를 사용하였다. Fig. 6은 25 Gy 선량에 대해 중심축과 가장자리의 위아래 선량분포를 측정한 결과이다. 에러바는 3번 반복한 실험에 대한 표준편차를 나타낸 것이다. 중심축의 경우 중심점을 기준으로 위아래 35 mm 이내에서 2%미만의 오차를 가지고 정확한 선량을 나타내었다. 비커의 위아래로 갈수록 선량이 감소하는 것을 확인하였고, 비커의 가장아래에서 20.12 Gy의 최저선량을 나타냈다. 또한 최고선량과 최저선량의 차이가 평균 18% 이상 나타났으며, 25 Gy 선량에 가장 근접하게 나타난 중심점 선량에 대해 위선량은 평균 17.15%, 아래선량은 평균 18.88% 차이가 나타났다.

비커 내부의 가장자리 선량분포의 경우 중심축에 비해

비교적 불균일한 선량분포를 보였으며, 중심점 부근 선량은 조사선량 25 Gy에 대해 평균 1.7 Gy 이상 낮은 결과를 보였다. 또한 조사선량 25 Gy와 가장 근접한 선량은 중심점에서 65 mm 떨어진 곳에서 24.82 Gy로 측정되었으며, 중심점을 기준으로 위아래로 갈수록 선량이 증가하다가 다시 감소하는 경향을 보였다.

Fig. 7은 비커 내부의 전체 선량분포를 확인하기 위하여 45개의 유리선량계를 일정한 간격으로 배치하고 선량을 측정된 결과이다. 위치에 따른 유리선량계 각각의 선량값을 3차원 그래프로 나타내었다. 전체적으로 비커내부에서 조사선량 25 Gy에 대하여 중심부의 경우 비교적 균일한 선량분포를 보였으나 비커의 가장 윗부분과 아랫부분에서는 약 15% 이상 선량이 적게 들어가는 것을 확인할 수 있었다.

결 론

본 연구에서는 선량선형성 및 재현성 평가와 선량분포 측정을 통하여 감마선 조사장치 Biobeam8000의 효율적인 사용을 위한 가이드라인을 제시하고자 하였다. Biobeam 8000의 선량을 평가하기 위하여 단독으로 사용이 가능하고 취급방법 및 사용방법이 비교적 간단한 유리선량계를 이용하였고, 방사선 조사 시 사용하는 비커 내부에 유리선량계를 배치하여 선량을 측정하였다. 0.5 Gy에서 30 Gy까지의 선량을 조사한 후 유리선량계의 측정값을 분석한 결과 중심부와 가장자리 두 지점 모두 선량 선형성을 나타내었으며, 중심부의 선량은 조사선량에 대하여 5% 미만의 오차를 가지고 비교적 정확한 결과를 나타냈으나 가장자리에서는

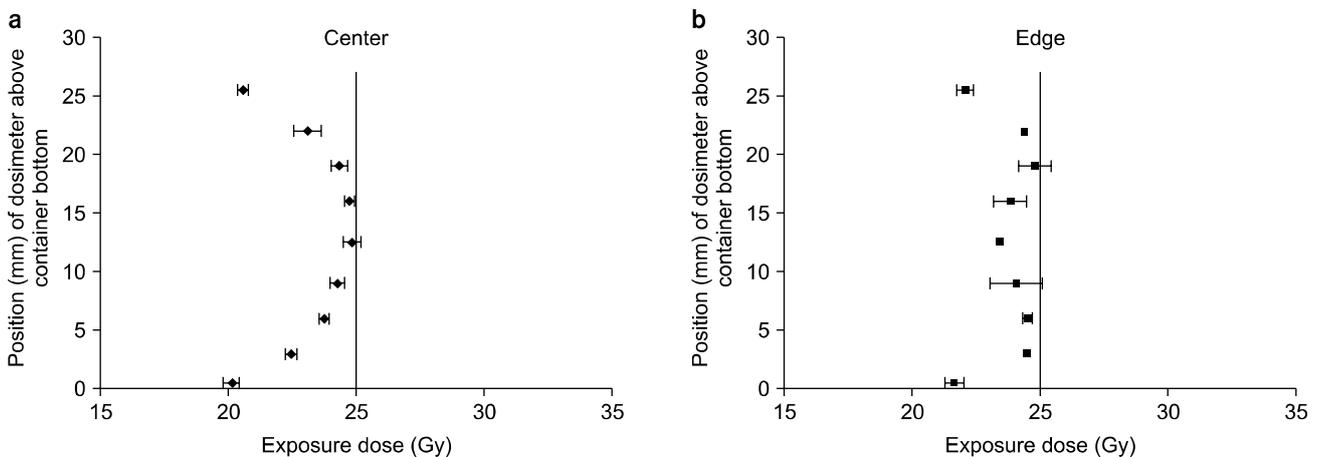


Fig. 6. Dose distribution of vertical axis in the Biobeam8000 irradiation device using the glass dosimeter. (a) At the center of Biobeam8000 irradiation device. (b) At the edge of Biobeam8000 irradiation device.

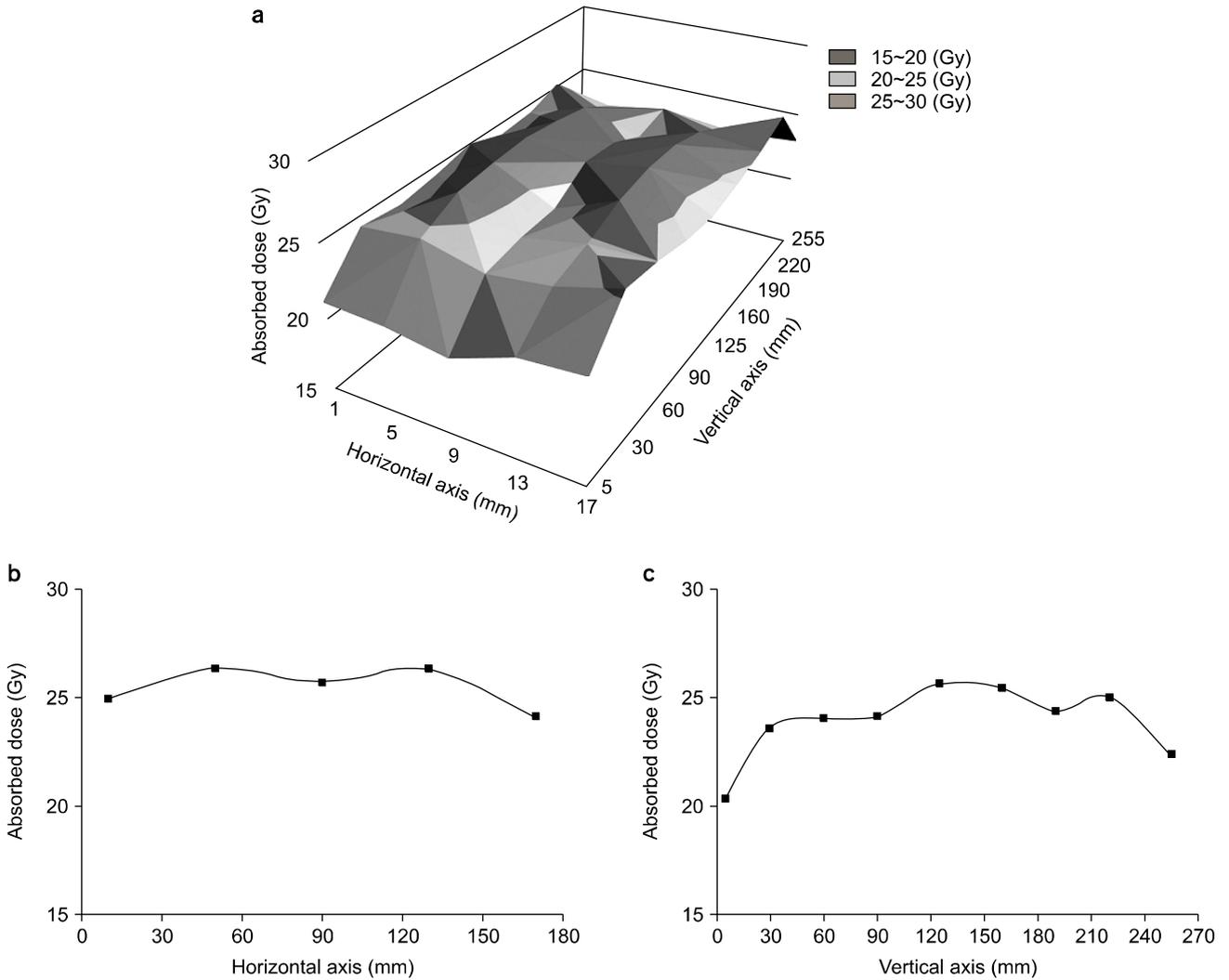


Fig. 7. A graph of the result for total dose distribution regarding 25 Gy irradiated. (a) Total dose distribution of beaker (b) dose distribution of the beaker at the horizontal axis (c) dose distribution of the beaker at the vertical axis.

조사선량에 대해 10% 이상 큰 오차를 가지는 것을 확인하였다. 동일한 선량에 대한 재현성을 측정된 결과 중심점의 경우 선량에 상관없이 1% 미만의 오차를 보였으나, 비커 가장자리의 경우 중심점에 비해 상당히 큰 오차를 보인 것을 확인할 수 있었다. 또한 상대적으로 고선량이 조사되었을 때 가장자리의 재현성은 더 나빠지는 것을 확인하였다. 따라서 동일한 선량을 이용한 반복 실험 시 조사대상을 반드시 비커 내부의 중심부에 위치시켜야 정확한 방사선 조사가 가능할 것이다. 비커 내부의 중심축과 가장자리의 방사선량분포에 대한 결과 역시 중심축과 가장자리의 차이가 나는 것을 확인하였고 선량이 높아질수록 중심점 선량에 대한 위아래 선량차이는 심하게 나타났다. 비커내부의 전

체 선량 분포는 중심부에서 비교적 균일한 결과를 보였으나 가장 윗부분과 아랫부분은 조사선량에 대하여 선량이 적게 들어가는 것을 알 수 있었다. Biobeam8000 감마선 조사장치는 균일한 방사선조사를 위해 Cs-137 방사선원이 위아래 일정한 주기로 왕복 이동하고, 비커는 360도 회전하므로 위치별로 방사선원이 머무는 시간(dwelling time)에 따라 비커 내부의 가장자리와 위아래 선량분포의 오차가 발생하는 것으로 사료된다. 그러므로 효과적인 실험 및 방사선 조사를 위해서는 조사하고자 하는 선량이 대상에 정확하게 조사될 수 있도록 가장아랫면과 윗면에서 각각 30 mm 이상의 간격을 두고 조사대상을 위치시켜야 할 것이며, 그에 따라 비커내부에서는 10% 미만의 선량변화(dose variation)

를 보이게 되므로 실제 생물분야의 적용에 큰 어려움은 없을 것으로 생각된다. 기존의 연구결과에서는 조사시간에 대한 선량변화의 내용이었으므로 본 연구와 비교하는 것에 는 약간의 어려움이 따르나 10초(약 0.5 Gy)에서 $\pm 25\%$, 20 초(약 1 Gy)에서 $\pm 10\%$, 40초(약 2 Gy)에서 $\pm 7.5\%$ 의 선량변 화 차이를 나타내었고, 유리선량계를 이용한 선량분포 측정 결과 위치에 따른 선량변화는 최대 22% 차이를 보였다¹²⁾. 따라서 가능한 비커의 가장자리보다는 중심부에 조사대상 을 위치시킨 후 방사선 조사가 시행되는 것이 바람직할 것 이다. 또한 기존의 연구 결과에 따르면 20초 이하의 선량을 조사할 경우 비커내부 선량분포는 10% 이상의 선량변화를 보이기 때문에 가급적 1 Gy (20초) 이상의 선량을 조사하 는 것도 효율적인 조사장치 사용을 위한 방법이 될 것이다.

앞으로 더 수행해야 할 연구 방향은 감마선 조사장치 사 용 시 정확한 선량정보 제공을 위해 비커 내부의 위치에 따른 선량 값의 세밀하고 구체적인 정보에 대한 연구이다. 연구결과 방사선원이 위치별로 머무는 시간에 따른 비커내 부의 선량차이가 많이 발생하는 것을 확인하였기 때문에 각 위치별 방사선원의 지속시간에 따른 선량측정 실험이 추가되어야 할 것이다. 그리고 방사선 조사 시 사용되는 여 러 가지 실험용 용기와 실제 조사대상에 대해 직접 선량계 를 적용하여 각각의 용기와 대상에 대한 구체적인 선량정 보를 제공할 것이다.

참 고 문 헌

1. BCSH Blood Transfusion Task Force: Guidelines on gamma irradiation of blood components for prevention of trans-

fusion-associated graft-versus-host disease. *Transfus Med* 6:261-271 (1996)

2. Rickner G, Grusell E: Selective shielding of a p-Si detector for quality independence. *Acta Radiol Oncol* 24:65-69 (1985)

3. Rickner G: Characteristic of a selectively shielded p-Si detector in 60Co and 8 and 16 MV x-ray radiation. *Acta Radiol Oncol* 24:205-208 (1985)

4. Mobit PN, Nahum AE, Mayles P: A MonteCarlo study of quality dependence factors of common TLD materials in photon and electron beams. *Phys Med Biol* 43:2015-2032 (1998)

5. Sankar A, Ayyangar KM, Nehru M, et al: Comparison of kodak EDR2 and gafchromic EBT film for intensity-modulated radiation therapy dose distribution verification. *Med Dosim* 31:273-282 (2006)

6. Sankar A, Goplakrishna Kurup PG, Murali V, et al: Evaluation of gafchromic EBT film for intensity modulated radiation therapy dosedistribution verification. *Med Phys* 31:78-82 (2006)

7. Piesch E, Burgkhardt B, Vilgis M: Photoluminescence dosimetry: progress and present state of art. *Radiat Prot Dosim* 33:215-216 (1990)

8. Tsuda M: A few remarks on photoluminescence dosimetry with high energy x-ray. *Jpn J Med* 20:131-139 (2000)

9. Technical Report: Explanation material of RPL glass dosimeter. Small Element System. Asahi Techno Glass Corporation, Tokyo, Japan (2000)

10. Hoshi Y, Nomura T, Oda T, et al: Application of a newly developed photoluminescence glass dosimeter for measuring the absorbed dose in individual mice exposed to low-dose rate ¹³⁷Cs γ -rays. *J Radiat Res* 41:129-137 (2000)

11. 라정은, 서원섭, 신동오 등: 유리선량계를 이용한 감마나이프의 출력인자 결정. *의학물리* 18:13-19 (2007)

12. Park SW, Jung HJ, Kim KB, et al: Evaluation of dose distribution using a glass dosimeter and a gafchromic EBT film in gamma irradiation devices. *Transactions of the Korean Nuclear Society*, 2009, Gyeongju, pp. 595-596

Evaluation of Dose Distribution Using a Radiophotoluminescence Glass Dosimeter in Biobeam8000 Gamma Irradiation Device

Sang Hun Shin*, Sunghyun Lee*[†], Kihong Son[‡], Hyun-Ho Lee*[§],
Kum Bae Kim*, Haijo Jung*, Young Hoon Ji*

*Research Center for Radiotherapy, Korea Institute of Radiological and Medical Sciences, Seoul,

[†]Radiological Cancer Medicine, University of Science & Technology, Daejeon,

[‡]Department of Radiation Oncology, Samsung Medical Center, Seoul,

[§]Department of Radiological Science, Yonsei University, Wonju, Korea

Gamma irradiator is widely used for cell, animal experiment, irradiation for blood, dose measurement, and education. Biobeam8000 gamma irradiator (STS Steuerungstechnik & Strahlenschutz GmbH, Braunschweig, Germany, Cs137, 81.4 TBq) that KIRAMS (Korea Institute of Radiological and Medical Science) has is a irradiation device that enables to be used in large-capacity of 7.5 L and extensive area. Cs-137 source moves range of 24 cm back-and-forth in a regular cycle in beaker for uniform irradiation and a beaker that puts a specimen like existing radiation irradiator such as Gammacell3000 rotates 360° during irradiation. Precise dose information according to the location of radiation source would be needed because of the movement of radiation source, whereas radiation could be uniformly irradiated in comparison with existing gamma irradiator. In this study, dose distribution of the inside beaker located in Biobeam8000 gamma irradiator was measured using glass dosimeter, and dose evaluation and distribution regarding dose linearity and dose reproducibility were implemented based on measurement results. This aims to show guideline for efficient use of irradiator based on measurement result when doing experiment or radiation exposure.

Key Words: Gamma irradiator, Biobeam8000, Glass dosimeter, Dose linearity, Dose reproducibility, Dose distribution