

Evaluation of Dosimetric Characteristics of Reproducibility, Linearity and Dose Dependence of Optically Stimulated Luminescence Dosimeters in Co-60 Gamma-rays

Su Chul Han^{*†}, Sang Hyoun Choi^{†‡||}, Seungwoo Park[†], Chul Hang Kim[†], Haijo Jung^{*†},
Mi-Sook Kim^{*†‡}, Hyung Jun Yoo[‡], Chan Hyeong Kim^{||}, Young Hoon Ji^{*†},
Chul Young Yi[§], Kum Bae Kim^{*†‡}

*Radiological Cancer Medicine, University of Science and Technology, Daejeon,

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

‡Department of Radiation Oncology, Korea Institute of Radiological and Medical Sciences, Seoul,

§Division of Methodology for Quality of Life, Korea Research Institute of Standards and Sciences, Daejeon,

||Department of Nuclear Engineering, Hanyang University, Seoul, Korea

We aimed to evaluate the dosimetric characteristics of reproducibility, linearity and dose dependence of optical stimulated luminescence dosimeter (OSLD) in the Co-60 Gamma-rays and to analyze with a precedent study in field of the diagnostic radiography and radiotherapy. The reproducibility was 0.76% of the coefficient of variation, the homogeneity was within 1.5% of the coefficient of variation and OSLD had supra-linear response more than 3 Gy. So the correlation between dose and count was fitted by quadratic function. The count depletion by repeated reading was 0.04% per reading regardless of the irradiated dose. And the half time of decay curve according to the irradiated dose was 0.68 min. with 1 Gy, 1.04 min. with 5 Gy, and 1.10 min. with 10 Gy, respectively. In case of annealing for 30 min, the removal rate was 88% with 1 Gy, 90% with 5 Gy, and 92% with 10 Gy, respectively and 99% in case of annealing time for 4 hour. It is feasible to use OSLDs for dose evaluation in Co-60 Gamma-rays when considering the uncertainty on the procedure according to the irradiated dose.

Key Words: Optical stimulated luminescence dosimeters, Dosimetric characteristics, Co-60

서 론

최근 들어 광자극발광선량계(OSLD)의 사용은 증가하고 있는 추세이다. 지난 30년간 M.D. Anderson 암센터(Houston, USA)의 방사선물리센터(Radiological physics center)는 방사선 치료장비의 선량 교정 및 정도 관리 상태를 확인하기 위해 열발광선량계(TLD: thermoluminescent dosimeter)를 사용하였으며, 최근에는 광자극발광선량계(OSLD: optical stimulated luminescence dosimeter)로 대체하여 사용하고 있다.¹⁾

광자극발광선량계는 열발광선량계와 유사한 선량적 특성을 가지고 있지만 판독방식 및 재사용을 위한 어닐링방식에서 차이점을 보여 주고 있다. 광자극발광선량계의 경우 빛을 이용하여 어닐링 및 판독을 하고 있으며, 열발광선량계의 경우 열을 이용하여 판독을 하며, 어닐링을 한다. 그래서 열발광선량계의 경우 반복적인 판독이 불가능 하지만 광자극발광선량계의 경우 반복적인 판독이 가능하다. 열발광선량계는 고열을 이용하여 1시간 동안²⁾ 어닐링을 하며 어닐링 후 소자를 냉각하는 시간이 많이 소요되는 반면, 광자극발광선량계는 빛을 이용하여 30분간 어닐링 후 곧바로 사용이 가능하다는 장점이 있다. 또한 광자극발광선량계는 환경 방사선 및 의료 방사선 등 방사선을 사용하는 여러 방면에서 방사선 측정 및 평가를 위해 편리하게 사용되고 있으며, 이미 의료 방사선을 사용하는 방사선 치료 및 진단에서는 광자극발광선량계의 선량 특성 평가에 관한 연구 결과가 나와 있다. Jursinic³⁾은 광자선 및 전자선 그리고 Ir-192에서 광자극발광선량계의 재현성 및 배치의 균질성,

This project was supported by Ministry of Sciencr, ICT and Future Planning.

Received 28 January 2014, Accepted 16 March 2014

Correspondence: Kum Bae Kim (kbaekim@kirams.re.kr)

Tel: 82-2-970-2475, Fax: 82-2-970-2412

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

선형성에 대한 기본적인 선량 특성 평가를 하였으며, Via-monte⁴⁾은 광자선, Co-60에서 재현성 평가 및 조사면 크기, 선원-표면거리(SSD: source-surface distance)에 따른 의존성을 확인 하였다. Al-Senan⁵⁾과 Han⁶⁾은 저 에너지의 진단 방사선 영역에서 배치의 균질성 및 재현성, 선형성 그리고 입사각 의존성에 대하여 평가를 하였다. Kern⁷⁾은 양성자 빔에서 광자극발광선량계의 기본적인 특성인 선형성 및 재현성을 평가하였다.

본 연구는 동물 방사선 조사, 방사선 치료 등에 대한 정확한 측정을 위해 표준선원 인 Co-60 감마선을 이용하여 광자극발광선량계의 선량학적 특성에 대한 평가를 수행하였으며, 선행연구결과와 비교분석 하였다.

재료 및 방법

1. 광자극발광선량계 시스템

본 연구는 Co-60 조사기(Theratron 780, AECL, and Kanta, Canada)의 감마선을 이용하여 상업적으로 판매되는 광자극발광선량계(nanoDotTM Dosimeter, Landauer Inc, Glenwood, USA)와 판독장치(micro star system, Landauer Inc, Glenwood, USA)의 특성을 평가하였다. nanoDotTM 선량계에 내장된 방사선 민감 물질은 Al₂O₃: C이며, 형태는 디스크 형태로서 지름은 5 mm, 두께는 0.2 mm이다. 이 디스크형 선량계는 10×10×2 mm³의 얇은 플라스틱 케이스에 들어있는데, 이때 플라스틱의 밀도는 1.03 g/cm³이다.⁸⁾

2. 광자극발광선량계 사용 과정

Co-60 선원과 표면간의 거리는 80 cm이고 조사면 크기가 10 cm×10 cm에서 0.5 cm 볼러스(Bolus)를 이용하여 팬텀 속 최대선량지점에 선량계를 위치시켰으며, 이 때 후방산란물질의 두께는 10 cm이었다. 이와 같은 기하학적 배치에서 선량계 위치에 1 Gy를 조사하고 선량계의 민감도를 평가하였다. 그리고 이와 같은 조사 환경으로 광자극발광선량계의 선형성, 재현성 그리고 배치(batch)의 균질성을 평가하였다. 광자극발광선량계는 방사선 조사, 판독, 광학적 어닐링이라는 과정을 통해 사용되었으며, 각각의 과정 사이에서 생길 수 있는 불확도 및 선량에 대한 의존성을 확인하였다.

방사선 조사 후 광자극발광선량계의 카운트 값(판독장치에서 읽은 값)은 점차 감소하면서 안정화 된다. 광자극발광선량계의 조사 후 판독 시간을 결정하기 위하여 판독시간(t)과 카운트 값(S(t)) 간의 관계식을 식(1)을 이용하여 자료

를 맞추었다.

$$S(t)=A+B \cdot e^{-k \cdot t} \quad (1)$$

이때 시간에 따라 감소되는 카운트 값의 감소 계수(k)를 이용하여 반감기(Half time, T_{1/2})을 계산하였으며, 여기서 A, B는 상수이다.³⁾ 이 값을 이용하여 완전히 감소되어 안정화되는 시간을 계산하여 판독 시간으로 결정하였다.

방사선 조사 이후 감쇠 곡선의 반감기 및 반복적인 판독 횟수에 의한 카운트 값의 감소 비율(Count depletion), 마지막으로 어닐링 장비의 효율성에 대하여 선량에 대한 의존성을 평가하기 위하여 9개의 소자를 선택하였으며, 3개씩 3개의 그룹으로 나누어 각 그룹에 1, 5, 10 Gy를 조사하였다. 그리고 조사된 각 그룹에 대하여 판독시간에 따라 감소되는 카운트 값의 감소 계수를 이용하여 반감기를 계산하였다. 각 그룹의 카운트 값이 안정화 되었을 때, 반복적으로 판독함으로써 선량에 따른 카운트 값의 감소 비율을 확인 하였으며, 마지막으로 3개의 그룹에 대하여 어닐링 시간에 따라 카운트 값이 지워지는 비율에 대하여 평가함으로써 선량에 대한 의존성을 평가하였다.

3. 광자극발광선량계의 표본추출

OSLD (145개)를 방사선 민감도 레벨에 따라 45개씩 3개의 그룹으로 나누었으며, 소자들에 대하여 1 Gy의 방사선을 조사하여 방사선 민감도를 확인 하였다. 각 그룹의 방사선 민감도 평균값을 기준으로 그룹 내 소자들에 대하여 상대적 방사선 민감도를 계산 하였으며, 계산된 상대적 방사선 민감도가 각 그룹의 평균값을 기준으로 ±1.5% 이내의 소자들로 표본 추출하였다.

이때 그룹 별 카운트 값의 평균 및 표준편차는 A 그룹(61499±635), B 그룹(64508±895), C 그룹(72649±841)이었다. 3개의 그룹 중 하나의 그룹을 선택하여 광자극발광선량계의 표본추출 전과 후의 카운트 값 빈도 분포를 비교하였으며, 소자 표본추출 전(45개)의 평균 및 표준편차는 72648±

Table 1. Comparison of batch homogeneity before and after sampling measurement.

	Before sampling	After sampling
Average±S.D	72648±3400	72648±841
Range	From 63721 to 79336	From 70889 to 74760
Coefficient of variation (%)	4.68	0.92

3400이고 표본추출 후(15개)의 평균 및 표준편차는 72648 ± 841 이었다. 또한 표본추출 전후의 변동계수(Coefficient of variation: 표준편차의 평균치에 대한 비율)를 확인한 결과 Table 1과 같이 0.92%으로 감소하였다.

4. 광자극발광선량계의 선형성, 재현성, 배치의 균질성 평가

표본 추출된 소자를 이용하여 광자극발광선량계의 선형성, 재현성, 배치의 균질성에 대하여 평가 하였다. 광자극 발광선량계의 선형성 평가를 위해 동일한 그룹 내의 3개 소자를 이용하여 광학적 어닐링 없이 추가적인 선량 조사로 1 Gy부터 15 Gy까지 조사하였다. 광자극발광선량계는 선형 연구결과에 따라 3 Gy 이상의 선량부터 상선형성(supralinearity)을 나타내므로 조사된 선량(X)와 카운트 값(Y)의 관계를 식(2)을 이용하여 자료를 맞추었으며, 여기서 A, B, C는 상수이다.³⁾

$$Y = A \cdot X^2 + B \cdot X + C \tag{2}$$

재현성 평가를 위해 한 개의 그룹을 선택하여 1 Gy의 방사선을 조사하였으며, 방사선 조사 이후 11분간 암실에서 보관 후 4회 반복 판독하여 평균값을 판독 값으로 결정하였다. 판독 이후 재사용을 위하여 어닐링 장비를 이용하여 30분간 어닐링 하였으며, 어닐링 이후 남아 있는 양을 판독 후 다시 1 Gy을 조사하여 앞의 과정을 5회 반복 시행하여 재현성을 평가하였다.

배치의 균질성 평가를 위하여 표본 추출된 하나의 그룹을 선택하여 1 Gy 조사하였으며, 조사된 각 소자들의 카운트 값들에 대한 평균값 및 표준 편차를 이용하여 변동계수를 계산하였다.

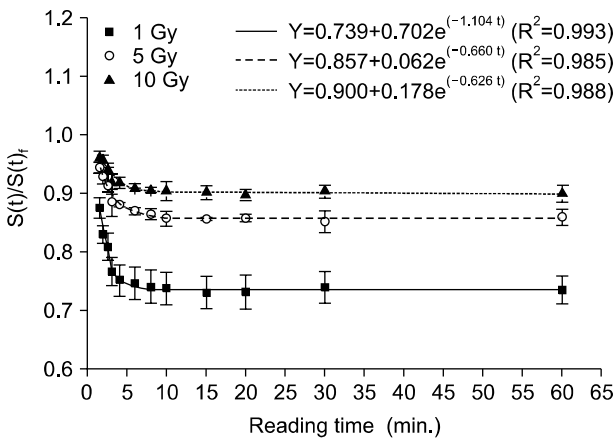


Fig. 1. Decay time of the OSLD count rate $S(t)/S(t)_1$ as a function of reading time after irradiating dose (1, 5, and 10 Gy). $S(t)$ is the OSLD count at time t . $S(t)_1$ is the OSLDs count at 1 min., after the irradiation. Each data point is the average response of three individual dosimeters.

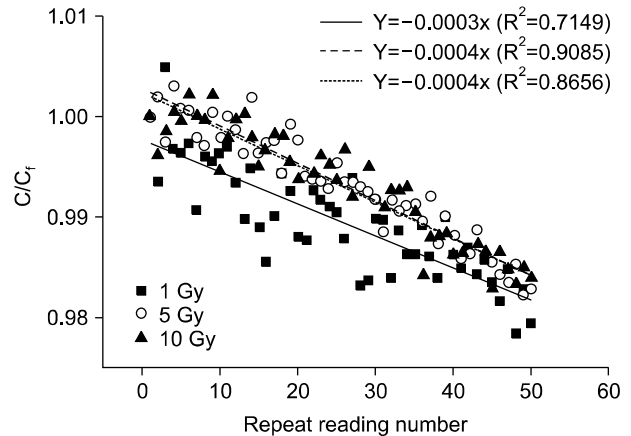


Fig. 2. The depletion of OSLD count when given sequential readings after irradiating dose (1, 5, and 10 Gy) OSLDs were irradiated to 1, 5, and 10 Gy of ^{60}Co Gamma- ray and Kept in the dark for 11 min, After the dark period, the OSLDs was read 50 times. The OSLD counts were normalized to value of the first reading (C_1).

Table 2. Analysis of the decay of the OSLD count after irradiating with dose (1, 5, and 10 Gy).

Delivery dose	Factor about fitting equation (95% confidence bounds)				
	A*	B*	K*	$T_{1/2}:0.693/k$ (min)	R^2
1 Gy	0.739 (0.733~0.745)	0.702 (0.592~0.825)	1.014 (0.886~1.140)	0.683 (0.607~0.781)	0.993
5 Gy	0.857 (0.851~0.863)	0.262 (0.207~0.317)	0.660 (0.507~0.813)	1.048 (0.851~1.344)	0.985
10 Gy	0.900 (0.896~0.903)	0.178 (0.145~0.210)	0.626 (0.495~0.757)	1.105 (0.914~1.390)	0.988

*The data were analyzed using equation (1).

결 과

1. 광자극발광선량계 사용 과정

Fig. 1은 선량에 따라 조사 후 카운트 값이 감소하는 결과를 식 (1)에 적합하여 비교한 것을 나타내고 있으며, 결정 계수 (R^2)는 모두 0.980 이상 이었다. 이때 $S(t)_r$ 은 조사 후 1분이 되었을 때 관독한 값이며, $S(t)$ 는 조사 후 t 시간에서 관독한 값이다. 또한 감쇠곡선의 k값으로부터 계산한 반감기는 선량에 따라 차이가 있었다(Table 2). 완전히 감쇠되고 안정화 되었을 때 시간은 11분이었으며, 안정화 이후 카운트 값의 변동계수는 선량에 관계없이 평균적으로 0.4%이였다.

Fig. 2은 조사된 선량에 따라 소자를 반복적으로 측정하였을 때 감소되는 카운트 값을 나타내고 있다. 이때 C_r 는 조사 후 소자가 안정화 되었을 때 처음 관독한 카운트 값을 나타내며, C_n 는 관독 반복 횟수에 따른 카운트 값이다.

반복적으로 관독하였을 때 한 회당 0.03%에서 0.04%로 감소하였으며, 반복 횟수와 카운트 값의 적합 곡선을 비교하였을 때 선량에 따른 차이는 확인 할 수 없었다.

광자극발광선량계의 관독 후 30분간 광학적 어닐링 하였을 때 1 Gy 조사된 소자의 경우 88%가 지워졌으며, 5 Gy 조사된 소자는 90%, 마지막으로 10 Gy가 조사된 조사는 92%가 지워졌다. 그리고 4시간 동안 광학적 어닐링 하였을 때, 선량에 관계없이 카운트 값의 99%가 지워지는 것을 확인하였다.

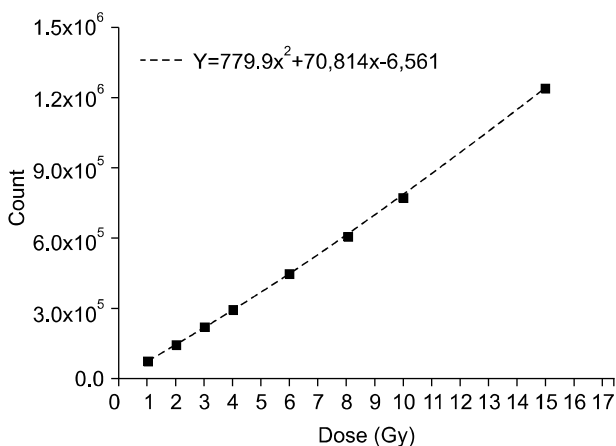


Fig. 3. OSLD response (count) Vs dose. The dose response of the OSLD with the absorbed dose was measured using three dosimeters that was same group. The nanodot was not optically annealed between irradiation.

2. 광자극발광선량계의 선형성, 재현성, 배치의 균질성 평가

Fig. 3은 광자극발광선량계의 선형성 평가에 대한 결과이며 선량과 카운트 값은 2차 함수에 적합하였으며, 이때 광자극발광선량계의 적합모델은 동일 그룹 내에 3개 소자를 선택하여 그 소자들의 평균값을 이용하여 선량과의 적합관계를 계산하였다. 동일 그룹 내의 3개의 소자들은 조사된 선량 대하여 카운트 값이 유사한 경향을 보여주고 있으며, 각각의 선량에서 소자 간의 카운트 값 차이는 ±3% 이내였다. 재현성 평가의 경우 0.76%이였으며, 배치의 균질성 평가는 1.5% 이내에 들어가는 것을 확인하였다.

고 찰

본 연구는 광자극발광선량계를 이용하여 Co-60 감마선에서 방사선의학연구를 위해 사용되는 선량 평가를 위한 선형 연구로써, 선량에 따라 방사선 조사 후 카운트 값의 감쇠곡선 및 반복적인 관독 횟수에 따른 카운트 값의 감소 비율을 평가하였으며, 소자의 기본적인 특성인 배치(batch)의 균질성, 재현성, 선형성을 선형 연구결과 비교분석 하였다.

방사선 조사 후 관독기에서 읽은 값(count)은 시간에 따라 지수함수적으로 감소한다. 이때 조사 후 카운트 값의 감쇠 곡선은 식(1)의 반감기로 표현하였으며, 선량에 따라 비교 분석하였다. 1 Gy 조사 후 반감기는 0.68분이었으며, 10 Gy 조사가 되었을 때 1.10분으로 선량에 따른 차이를 확인할 수 있었다 그리고 방사선 조사 후 카운트가 완전히 감쇠되고 안정화되었을 때 변동 계수는 0.4%이였다. 선형 연구결과에서 반감기는 0.48분부터 1.88분까지로 본 연구와 유사한 결과를 보였다.^{3,4,13)}

안정화된 카운트를 여러 차례 반복적으로 관독할 때 카운트 값의 감소 비율은 평균적으로 한 회당 0.04%의 감소율을 보여 주었으며, 방사선 치료영역에서 수행된 Jursinic와 Viamonte의 연구결과(한 회당 0.03~0.04%)^{3,4)}와 비교하였을 때, 본 결과와 큰 차이를 보이지 않았다. 본 연구에서는 반복적인 관독횟수에 의한 카운트 값의 감소 비율에서 선량의 의존성을 확인 할 수 없었지만, 본 연구보다 더 작은 선량인 0.1 Gy와 10 Gy을 비교한 Omotayo의 연구 결과⁹⁾에서는 0.1 Gy 조사에 비해 10 Gy 조사 시 더 많은 감소가 나타난다고 보고하고 있다.

kV 영역의 저 에너지 광자선을 사용하는 진단 방사선의 경우 방사선 치료영역과 다르게 한 회당 0.5%의 높은 감소율을 보여주고 있다.⁵⁾

이 차이는 광자극발광선량계의 판독모드의 차이에서 그 원인이 있으며, Strong - Weak stimulation의 두 가지 판독모드가 있어 에너지 및 선량에 따라 다르게 적용되기 때문이다.¹⁰⁾

또한 광자극발광선량계의 기본적인 특성인 배치의 균질성, 재현성, 선형성을 선행연구결과와 비교분석 하였을 때, 배치의 균질성에 대한 평가 결과의 경우, 표본추출 전 배치의 균질성은 4.68%이었으며, 소자의 표본추출을 통하여 1.5% 이내로 감소하였다. 소자의 표본추출 방식은 4%의 차이를 가진 소자로부터 1% 이내의 방사선 민감도 차이가 나는 소자를 선택하여 특성 평가를 한 Reft의 연구결과¹¹⁾와 유사하였다. 배치의 균질성에 대한 선행 연구 결과는 0.9%에서 4.2%까지 나타나는 것을 확인 하였으며, 이때 Viamonte의 결과는 4.2%로 165개의 소자에 대한 배치의 균질성을 평가하여, 본 연구결과와 샘플링 전 결과와 동일하였다. 소자의 배치 균질성에 대한 평가에 있어 샘플링 전과 후는 많은 차이를 보여주고 있다. 이는 현재 제공되는 OSLD는 소자 간의 방사선 민감도 차이가 있으므로 사용하기 전 표본추출을 통하여 각각의 소자에 대한 민감도를 확인 후 사용해야 소자간의 차이에서 오는 불확도를 최대한 감소시킬 수 있음을 의미한다.

광자극발광선량계에 대한 재현성을 평가하였을 때 0.76%로 나타났으며, 이 결과는 Jursinic의 결과(0.63%)³⁾와 유사하게 나왔다. 반면에 Jursinic과 본 연구의 결과는 Viamonte의 결과(2.50%)보다 낮음을 확인 할 수 있었다. Viamonte는 본 연구와 Jursinic의 연구 방법과 다르게 평가의 소자수가 165개로 많은 소자에 대하여 재현성을 평가 후 평균값을 계산하여 제시하였다.

광자극발광선량계의 경우 3 Gy 이상부터 상선형성을 나타났으며, 이는 기존의 연구결과와 일치함을 확인 할 수 있었다.^{3,4,12)}

광자극발광선량계는 고 에너지영역의 방사선 치료 영역과 저 에너지의 방사선 진단 영역까지 다양한 에너지 범위 내에서 사용이 가능하다.¹³⁾

하지만 특정 에너지 영역에서 사용하기 위해서는 광자극발광선량계가 가지는 선량적 특성 평가를 선행적으로 수행되어야만 한다.

결 론

본 연구는 Co-60 감마선을 이용하여 광자극발광선량계(nanoDot™)의 재현성, 선형성에 대한 특성 평가 및 소자를

사용하는 과정에서 발생하는 불확도에 대하여 선량의존성을 평가하였으며, 기존의 선행 연구 결과와 비교 분석하였다. 본 연구 결과를 바탕으로 광자극발광선량계를 사용하는 과정 사이에서 나타나는 불확도를 조사된 선량에 따라 고려 하다면, Co-60 조사기에서 광자극발광선량계를 이용한 정확한 선량평가가 가능할 것이다. 향후 고선량에 대한 방사선 특성 평가 및 소조사면에 대한 이용 가능성에 대한 연구를 진행 할 예정이다.

References

1. Aguirre J, Alvarez P, Amador C, Taylor A, Followill D: WE-D-BRB-08: Validation of the commissioning of the optically stimulated luminescence (OSL) system for remote dosimetry audits. *Med Phys* 37(6):3428 (2010)
2. Yu C, Luxton G: TLD dose measurement: a simplified accurate technique for the dose range from 0.5 cGy to 1000 cGy. *Med Phys* 26(6):1010-1016 (1999)
3. Jursinic PA: Characterization of optically stimulated luminescent dosimeters, OSLDs for clinical dosimetric measurements. *Med Phys* 34(12):4594-4604 (2007)
4. Viamonte A, da Rosa LA, Buckley LA, A Cherpak A, Cygler JE: Radiotherapy dosimetry using a commercial OSL system. *Med Phys* 35(4):1261-1266 (2008)
5. Al-Senan RM, Hatab MR: Characteristics of an OSLD in the diagnostics energy range. *Med Phys* 38(7):4396-4405 (2011)
6. Han S, Kim K, Park S, Lee S, Yi C, Kim H, Jung H, Kim M, Ji Y: SU-E-T-31: The evaluation of Dosimetric characteristics of OSLDs based on output correction factor in low energy. *Med Phys* 40(6):210 (2013)
7. Kerns JR, Kry SF, Sahoo N: Characteristics of optically stimulated luminescence dosimeters in the spread-out Bragg peak region of clinical proton beam. *Med Phys* 39(4):1854-1863(2012)
8. Jursinic PA: changes in optically stimulated luminescent dosimeter (OSLD) dosimetric characteristics with accumulated dose. *Med Phys* 37(1):132-140 (2010)
9. Omotayo AA, Cygler JE, Sawakuchi GO: The effect for different bleaching wavelengths on the sensitivity of Al2O3:C optically stimulated luminescence detectors (OSLDs) exposed to 6MV photon beams. *Med Phys* 39(9):5457-5468 (2012)
10. Yahnke CJ: Calibrating the microStar (2009)
11. Reft CS: The energy dependence and dose response of a commercial optically stimulated luminescent detector for kilovoltage photon, megavoltage photon, and electron, proton, and carbon beams. *Med Phys* 36(5):1690-169 (2009)
12. Kim DW, Chung WK, Shin DO, Yoon M: Dose response of commercially available optically stimulated luminescent detector, A2O3:C for megavoltage photons and electrons. *Radiat Prot Dosim* 149(2):101-108 (2012)
13. Landauer Corporation. http://www.landauer.com/Industry/Products/Dosimeters/nanoDot_OSLD.aspx

Co-60 감마선을 이용한 광자극발광선량계의 재현성, 선형성, 선량의존성에 대한 특성평가

*과학기술연합대학원대학교 원자력암의학, †한국원자력의학원 방사선치료연구부,
‡한국원자력의학원 방사선종양학과, §한국표준과학연구원 삶의질측정표준부, ||한양대학교 원자력공학과

한수철*† · 최상현†‡|| · 박승우† · 김철항† · 정해조*† · 김미숙*†‡
유형준‡ · 김찬형|| · 지영훈*† · 이철영§ · 김금배*†‡

본 연구는 Co-60 감마선에서 광자극발광선량계(OSLD)의 재현성, 선형성 그리고 선량 의존성에 대한 특성평가를 수행하였으며, 기존의 방사선 치료 및 진단에서의 특성연구결과와 비교분석 하였다. 재현성에 대한 평가는 0.76%이며, 배치의 균질성은 1.5% 이내였다. 광자극발광선량계의 선형성 평가에서 3 Gy 이상의 선량에서는 상선형성이 나타나므로 조사된 선량과 카운트 값의 관계를 2차 함수에 적합하여 관계 모델을 만들었다. 반복적인 판독 횟수에 따른 카운트 값의 감소 비율은 선량에 관계없이 1회당 0.04% 감소하였다. 방사선 조사 후 광자극발광선량계의 판독시간에 따른 카운트 값의 감소 곡선에서 반감기는 선량에 따라 0.68분(1 Gy), 1.04분(5 Gy), 1.10분(10 Gy)이었다. 소자를 30분간 광학적 어닐링 하였을 때 선량에 따라 지워진 정도는 88% (1 Gy), 90% (5 Gy), 92% (10 Gy)가 지워졌으며, 4시간 동안 어닐링 하였을 경우 선량에 관계없이 99%가 지워지는 것을 확인하였다. 광자극발광선량계를 사용하는 과정 사이에서 나타나는 불확도를 조사된 선량에 따라 고려한다면 Co-60 감마선에서 광자극발광선량계를 이용한 정확한 선량 평가가 가능할 것이다.

중심단어: 광자극발광선량계, 선량특성, 60-Co