

Piranha 657의 Internal Detector를 이용한 저에너지에서 유리선량계의 선량 특성에 관한 연구

— Experimental Study with Respect to Dose Characteristic of Glass Dosimeter for Low-Energy by Using Internal Detector of Piranha 657 —

신구 대학교 방사선과 · 충남 대학교 의과대학 의공학 교실¹⁾
고려대학교 보건과학대학 방사선과²⁾ · 백석문화대학교 방사선과³⁾
손진현 · 민정환 · 김현수 · 유광열 · 임현수¹⁾ · 김정민²⁾ · 정희원³⁾

— 국문초록 —

최근 유리선량계는 Thermoluminescent Dosimeter (TLD)와 더불어 진단영역부터 치료영역에까지 즉, 저에너지영역에서부터 고에너지 영역에 걸쳐 광범위하게 흡수선량 측정에 이용되고 있다. 그러나, 유리선량계의 재현성과 에너지 의존성 등 선량특성에 관한 연구 보고는 주로 고에너지 영역에서 이루어진 결과 값들이다. 이는 방사선 선량 측정소자나 측정기들의 특성연구를 137Cs 이나 60Co를 이용하기 때문으로 사료되며 이들은 모두 치료영역에서 사용되는 고에너지 방출 방사선 선원들이다. 따라서, 본 연구에서는 Glass Dosimeter (GD)를 이용하여 진단 영역의 저에너지 방사선 특성을 50 kV, 80 kV, 100 kV 관전압 변화를 주어 측정된 Piranha 선량에 대한 유리선량계의 선형성, 재현성, 시간에 따른 재현성을 실험 평가하였다.

실험 기기 및 방법으로는 진단용 발생장치에서 발생하는 방사선선량 측정은 다기능 QA 측정기(RTI Electronic, Sweden)인 Piranha 657의 internal detector로 측정 하였으며 측정조건은 25 mA, 0.02 sec, 2.5 mAs 그리고 SSD가 100 cm일 때 조사면 10×10 cm²로 하였다. 유리선량계 총 60개를 50 kV, 80 kV, 100 kV 세 그룹으로 나누고 동일한 조건으로 유리선량계에 조사하였다.

본 실험결과에서 유리선량계의 선형성은 기존 보고된 고에너지 고선량 영역과 같이 저에너지, 저선량에서도 선량에 따른 선형성을 나타냈다. 재현성과 시간에 따른 재현성도 양호하였다. 본 실험결과와 같이 유리선량계는 고에너지영역에서의 선량측정 뿐만 아니라 저에너지의 선량측정도 가능한 선량계임을 알 수 있었다.

중심 단어 : 열형광선량계, 유리선량계, 선형성, 재현성

I. 서 론

최근에는 첨단 의료공학 기술이 도입된 Multi-Detector Computed Tomography (MDCT), PET-CT 장치 등 첨단 방사선의료기기 등이 개발되어 임상에 크게 기여하고 있으나 이에 따른 방사선 피폭환경이 변화하고 있다. 국내에서도 국민의 삶의 질 향상과 더불어 건강 증진에 대한 관심이 높아짐에 따라 진단 방사선분야에서도 건강검진 등 X-

* 접수일(2012년 5월 10일), 1차 심사일(2012년 5월 10일), 2차 심사일(2012년 6월 5일), 확정일(2012년 6월 19일)

* 이 논문은 2011년도 신구대학교 교내연구비 지원에 의한 것임.

교신저자: 손진현, (462-743) 경기도 성남시 광명로 377
신구대학교 방사선과
TEL: 031-740-1629, FAX: 031-740-1589
E-mail: rtsjh@shingu.ac.kr

선 검사의 횟수가 증가 추세에 있다. 그러나 European Communities (EC)나 Organization for Economic Cooperation and Development (OECD)국가에서도 동일한 방사선 검사를 받는 경우 환자가 받는 피폭선량은 의료기관에 따라 10~20배의 큰 차이를 나타내고 있다. 환자에 대한 피폭관리 개선을 위하여 임상에서 엑스선 검사 시 환자가 받는 피폭선량의 측정 및 평가가 필요함에 따라 저에너지 특성평가에 대해서 필요성을 느끼고 있다.

일반적으로 방사선 선량특성에 대한 피폭방사선량을 측정하는데 이용되는 선량계로 Film배지와 열형광선량계 (Thermoluminescent Dosimeter, TLD), 유리선량계 (Glass Dosimeter, GD) 등이 있다¹⁾. 이들 선량계들은 저선량 특성에 대해서 일반적인 특성에 포함하고 있으므로 저선량 방사선에 대한 특성 및 측정 평가가 필요할 것으로 사료된다.

Film배지의 장점으로는 가격이 저렴하고, 방사선의 종류와 에너지의 관별이 가능하나 방향의존성이 크고, 반복사용이 불가능하며, 현상과정에서 불확실성(uncertainty)의 요인이 증가할 수 있는 단점이 있다²⁾. TLD는 반복사용이 가능하고, 방향의존성이 양호하며, 관독이 용이하나 한번 관독하면 측정치가 소멸되며 또한 방사선 조사 후 퇴행(fading)현상이 나타나는 단점이 있다³⁾. 유리선량계는 TLD에 비해 반복적으로 관독이 가능하며, 소자간 재현성이 우수하며 또한 퇴행현상이 거의 없고 주변 환경의 온도에도 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다^{4,5)}.

유리선량계는 유리의 은화성인산염에 방사선이 조사되면 전자 e와 정공 PO₄가 생성되고 전자는 유리구조내의 Ag⁺에 포획되어 Ag⁰가 되며 정공은 Ag⁺에 포획되거나 시간이 경과함에 따라 Ag⁺에 로 전환하여 보다 안정적인 Ag⁺⁺를 형성한다. 이를 radiophoto-luminescence (RPL) 중심이라고 한다⁶⁾(Figure. 1).

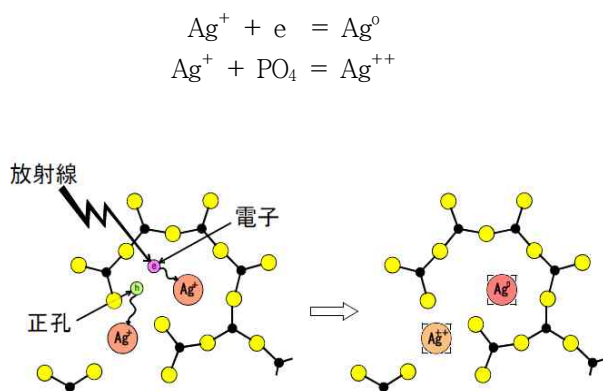


Fig. 1 Formation diagram of RPL

RPL 형광량은 방사선 조사 후 시간 경과와 함께 증가하고 안정화되는데 이를 빌드업 특성이라고 한다. 빌드업의 속도는 주위온도에 의존하여 높은 온도에서 빨라지는데 유리선량계 관독 전에 예비가열(preheat)을 행하여 빌드업 비율을 일정하게 하여, 반복적 선량 관독 시 선량을 안정화 시킬 수 있는 특징이 있다. 위와 같은 내용들은 저선량 방사선 특성에 대해서 포함하고 있으며, 진단용 방사선 발생장치의 선량에 대해서 조사해 볼 필요성을 느끼게 되었다. 따라서, 전국 진단용 방사선 발생장치의 연도별 설치 및 사용이 해마다 늘어나는 추세이기 때문에 환자가 받는 방사선량 평가와 아울러 피폭선량 감소를 위한 저감화 개선 대책이 시급한 실정이다⁷⁾. 이와 관련해서 피폭선량감소를 위해 정확한 선량치를 구하기 위해 최근 들어 TLD와 GD의 선량비교 논문들이 많이 발표되고 있다^{8,9)}. 이에 국내 실정에 맞는 진단용 방사선 저선량 특성에 대한 연구가 필요한 시점이며, 이에 본 연구에서는 GD를 이용하여 진단 영역의 저에너지 방사선 특성을 관전압 변화에 따른 유리선량계의 에너지 의존성과 재현성, 시간에 따른 선량변화를 실험 평가하였다.

II. 실험기기 및 방법

1. 실험기기

실험에 사용된 유리선량계(AGC Techno Glass Co, Japan)는 SC-1 모델로 30 mm×40 mm×9 mm 크기이며 사각모형으로 측정이 가능한 에너지는 γ 선과 X선이며 범위는 30 keV~3 MeV 이고 측정 선량 범위는 10 μ Gy~10 Gy / 10 μ Sv~10 Sv이다. 또한 선량계 간의 감도 차이 변동계수는 137 CS- γ 일 경우에 4.5%이하이며 에너지의 특성은 32 keV~1.25 MeV일 때 $\pm 20\%$ 이내이다 (Figure 2 (a)). 정확한 측정을 위해 실험 전 사용될 GD 소자를 전기로NEW-3C (Hayashi Denko Co, LTD, Japan)를 이용하여 열처리과정(400°C, 1시간)에 의해 혹시 남아있을 선량을 제거하였다. 예비가열기로 DKN402 (Yamato Scientific, LTD, Japan)를 사용하였다. 관독장치로는 FGD-202(AGC Techno Glass Co, Japan)를 사용하였다(Figure 2(b)).

방사선조사 장치로는 AccuRay-650R(Dong Kang, Korea)을 이용하였는데 이는 진단용 방사선 발생장치로 고주파 인버터 (High Frequency Inverter Type) 3상 방식으로 초점의 크기는 0.6 mm이고 양극의 target 재질은 텅스텐(W)이며 고유여과 (inherent filtration)는 0.9 mmAl

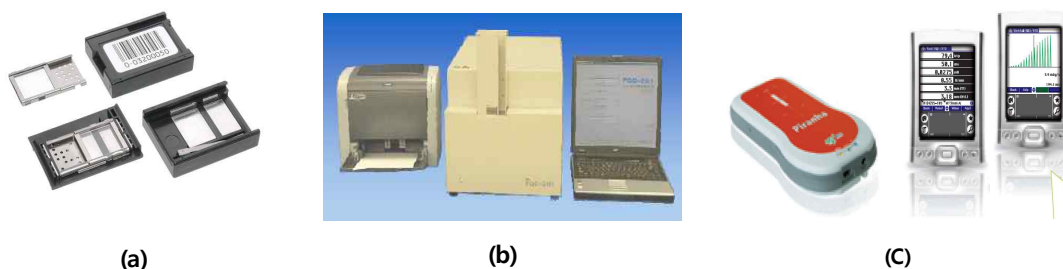


Fig. 2 Experiment equipments (a) GD SC-1, (b) GD reader FGD-202, (c) Piranha 657

이고 부과여과 (additional filtration)는 1.5 mmAl를 갖는다. 방사선선량측정은 다기능 QA 측정기(RTI Electronic, Sweden)인 Piranha 657의 internal detector로 측정하였고, 이는 반도체를 이용한 검출기로 오차범위가 $\pm 5\%$ 이내이며 각각의 관전압에 따른 보정계수를 가진 지금까지 나와 있는 다른 선량계보다 정확한 선량 값을 나타내준다 (Figure 2(c)).

2. 실험방법

2-1. 방사선 선량측정

진단용 발생장치 AccuRay-650R (Dong Kang, Korea)을 이용하여 50 kV, 80 kV, 100 kV으로 관전압에 변화를 주고 각각 3회 조사하여 나온 선량의 평균값을 구하였다. 진단용 발생장치에서 발생하는 X-선 광자의 선량은 다기능 QA 측정기(RTI Electronic, Sweden)인 Piranha 657의 internal detector로 측정 하였으며 측정조건은 25 mA, 0.02 sec, 2.5 mAs 그리고 SSD가 100 cm일 때 조사면 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 로 하였다.

2-2. 선형성 실험

유리선량계의 선량변화에 따른 선형성을 평가하기 위해서 방사선 선량측정조건과 동일(25 mA, 0.02 sec, 2.5 mAs 고정)하게하고 각 세 그룹(50 kV, 80 kV, 100 kV)으로 나뉜 총 60개(각각 20개)의 유리선량계를 조사시키고 선량을 판독하였다. 이때 판독 선량 값은 각각 10번씩 동일한 판독과정을 거치고 평균하여 Piranha의 선량측정값에 대한 선형성을 평가하였다.

2-3. 재현성 실험

선량 재현성을 위해 세 그룹(50 kV, 80 kV, 100 kV)의 각각 유리선량계 20개를 동일한 절차에 따라 유리선량계

의 판독과정을 10회 반복하여 재현성 평가를 실시하였다.

2-4. 시간에 따른 재현성 실험

시간에 따른 재현성을 파악하기 위해 세 그룹(50 kV, 80 kV, 100 kV)의 각각 유리선량계 20개를 6, 12, 24, 48, 72 시간의 간격을 두고 동일한 절차에 따라 유리선량계의 반응도 변화를 선량 판독과정을 10회 반복하여 평균값으로 선량 변화를 평가하였다.

III. 결과

3-1. 선형성 실험

유리선량계의 선량변화에 따른 선형성 실험결과를 Table 1에 게재 하였다. 이는 라정은 등이 실험한 60 Co 감마선을 이용한 0.5 Gy에서 50 Gy까지 유리선량계의 선형성에 대한 실험과도 일치하였다¹⁰⁾(Figure 3).

Table 1 Experiment results of energy dependency in 50 kV, 80 kV, 100 kV (125 mA, 0.02 sec, 2.5 mAs, SSD= 100 cm)

kV	50 kV	80 kV	100 kV	R2 Value
Dose (μGy)	114.4	299.9	452	0.9962

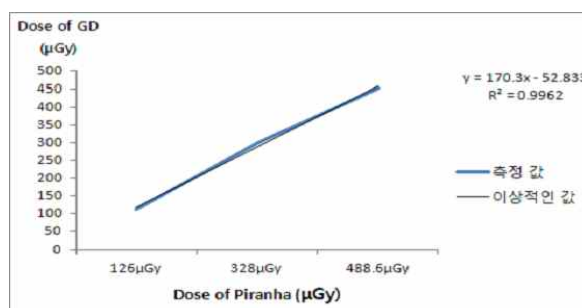


Fig. 3 Linearity of GD according to Dose of Piranha

3-2. 재현성 실험

Figure. 4는 세 그룹(50 kV, 80 kV, 100 kV)의 각 20개의 유리선량계의 선량 값들을 그래프로 나타내었다. 각각의 유리선량계는 10번에 걸쳐 판독하였다. 50 kV에서 표준편차는 1.0 으로 가장 우수한 재현성을 보이며 80 kV에서는 1.1 이며 100 kV에서 표준편차는 1.7 로 나타났다.

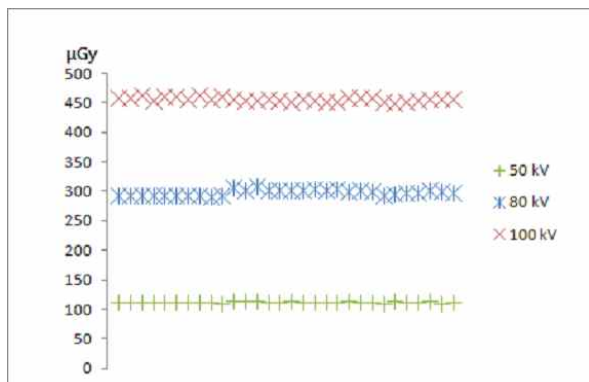


Fig. 4 Reproducibility of preheat GD in 50 kV, 80 kV and 100 kV

3-3. 시간에 따른 재현성 실험

Table 2는 세 그룹(50 kV, 80 kV, 100 kV)의 유리선량계를 10회 조사하여 시간에 따른 판독 선량 값의 평균을 게재 하였으며 Figure. 5에서와 같이 각각 세 그룹(50 kV, 80 kV, 100 kV)으로 나뉜 유리선량계를 임의적 시간 간격(6 hr, 12 hr, 24 hr, 72 hr)을 두고 동일한 절차로 유리선량계를 판독한 결과 유리선량계의 시간에 따른 재현성은 평균에 대한 표준 편차가 각각 50 kV에서는 ± 1.0 %, 80 kV에서는 ±1.3 %, 100 kV에서는 ±1.7 % 나타내었다.

Table 2 Dose rate (μGy) averages according to delay time of preheat GD in 50 kV, 80 kV, 100 kV (125 mA, 0.02 sec, 2.5 mAs, SSD= 100 cm).

	0 hr	6 hr	12 hr	24 hr	48 hr	72 hr
50 kV	111.4	111.5	111.9	111.4	112.3	112.2
80 kV	299.9	299.6	300.4	299.5	300.6	300.6
100 kV	452	453.4	451.4	451.6	450.7	452.4

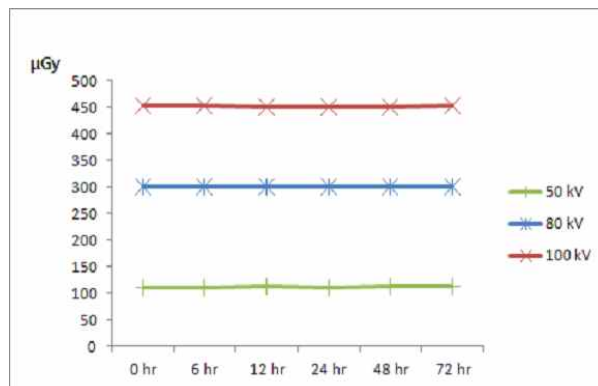


Fig. 5 Reproducibility of preheat GD according to delay time in 50 kV, 80 kV and 100 kV

3-4. Piranha 657의 internal detector 선량값과 유리선량계 판독선량 비교

Piranha 657의 internal detector 선량값과 GD 판독 선량을 비교하였을 때 Piranha 657의 판독 선량이 50 kV에선 126.9 μGy, 80 kV에선 332 μGy, 100 kV에선 488.6 μGy로 유리선량계의 판독선량인 111.4 μGy, 299.9 μGy, 452 μGy 보다 높은 수치를 보여주었다 (Table 3). 이는 Piranha 657의 internal detector 선량값은 air kerma 값을 나타내고 유리선량계는 흡수선량 값을 나타내는 차이로 생각할 수 있으며 실제 흡수선량을 측정, 평가할 목적이라면 선량측정기보다는 유리선량계를 이용하여 흡수선량을 평가하는 것이 이번 연구를 통하여 재확인 된 결과로 사료된다.

Table 3 Comparison between internal detector dose of piranha and GD dose (units : μ Gy)

	50 kV	80 kV	100 kV
Piranha 657 internal detector (air kerma dose)	126.9	332	488.6
GD (absorbed dose)	111.4	299.9	452

IV. 고찰 및 결론

앞서 보고된 치료방사선영역에서 사용되는 코발트나 세슘 등 표준조사선원으로 유리선량계의 특성들은 유리선량계의 재현성 및 선량의 선형성 그리고 에너지 의존성 등

에 의하여 치료영역의 소조사면에 대한 선량평가의 기준이 되었다. 진단영역에서는 치료방사선영역에서와 달리 상대적으로 매우 작은 에너지를 이용하여 검사를 하며 그에 따른 피폭선량을 측정함에 따라 진단영역에서 사용되는 저에너지 표준조사선원을 이용한 직접적인 선량특성을 파악하고자 하였지만 작은 선량의 표준 측정이 어려워 Piranha 657의 internal detector를 이용하였다. 그러므로 표준선원을 기준 한 이들의 편차를 파악하기는 어려웠고 각 유리선량계들의 상대적 특징들을 보고하였다.

Figure 3의 결과로 라정은 등 실험결과에서는 고에너지 고선량 영역에서의 선형계수(linearity coefficient)가 0.999810이었는데 이번 실험을 통한 저에너지 저선량에서의 선형계수는 0.9962를 얻었다. Figure 4는 각각 세 그룹(50 kV, 80 kV, 100 kV)의 각 20개의 유리선량계의 재현성을 나타내었다. 50 kV에서 표준편차는 1.0, 80 kV에서는 1.1, 100 kV에서 표준편차는 1.7로 나타났다. Figure 5는 유리선량계를 임의적 시간 간격(6 hr, 12 hr, 24 hr, 72 hr)을 두고 동일한 절차로 유리선량계를 판독한 결과 유리선량계의 시간에 따른 재현성은 평균에 대한 표준 편차가 각각 50 kV에서는 $\pm 1.0\%$, 80 kV에서는 $\pm 1.3\%$, 100 kV에서는 $\pm 1.7\%$ 나타내었다. 따라서, 저 에너지에서 또한 판독기에 따른 측정변수의 영향은 크지 않는 것으로 나타났다.

본 실험결과와 같이 유리선량계는 고에너지, 고선량 영역에서의 선량측정 뿐만 아니라 저에너지, 저선량의 선량 측정도 가능한 선량계임을 알 수 있었고 최근 들어 저 에너지영역인 진단영역에서 유방촬영, 일반촬영, 투시 및 인터벤션, 컴퓨터단층촬영 등 환자의 피폭선량 등을 측정하는데 광범위하게 이용되므로 저 에너지영역에서의 특성연구도 보다 활발히 진행되어야 한다고 사료되며 또한, 본 실험에서는 관전압변화에 따른 선량변화에 대한 유리선량의 선량특성을 실험하였는데 추후 조사선량(mA, sec)에 따른 유리선량의 특성연구도 필요하리라 사료된다.

참 고 문 헌

1. 손기홍, 신상훈, 이창열, et al.: 유리선량계의 고선량 직선성, 누적선량, 에너지의존성 특성평가, 대한방사선방어학회, 66-67, 2009
2. M. Heydarian, P. W. Hoban, A. H. Beddoe: A Comparison of Dosimetry Techniques in Stereotactic Radiosurgery, Phys. Med. Biol. 41, 93-110, 1996
3. P. N. Mobit, A. E. Nahum, P. A. Mayles: Monte Carlo Study of the Quality Dependence Factors of Common TLD Materials in Photon and Electron Beams, Phys. Med. Biol. 43, 2015-2032, 1998
4. F. Araki, T. Ikegami, T. Ishidoya, D. H. Kubo: Measurements of Gamma-Knife Helmet Output Factors Using a Radiophotoluminescent Glass Rod Dosimeter and a Diode Detector, Med. Phys. 30, 1976-1981, 2003
5. M. Tsuda: A Few Remarks on Photoluminescence Dosimetry with High Energy X-rays, Jpn. J. Med. 20, 131-139, 2000
6. Asahi Techno Glass Corporation: Explanation Material of RPL Glass Dosimeter: Small Element System. Tokyo, Japan, 2000
7. Food & Drug Administration: 환자선량 측정 가이드라인, Seoul, Korea. 14, 5, 2007
8. 동경래: 파노라마 촬영시 눈과 갑상선에 미치는 표면선량에 관한 연구: TLD, GD 중심으로, 한국콘텐츠학회, 7(1), 1118-1123, 2009
9. 최재호, 강구준, 장서구: DAP(Dose Area Product)를 이용한 TLD와 GD의 선량 측정비교, 한국콘텐츠학회, 12(3), 244-250, 2012
10. J. E. Rah, D. O. Shin, J. Y. Hong, et al.: Study on Dosimetric Properties of Radiophotoluminescent Glass Rod Detector. J. Korea Asso. Radiat. Prot. 31(4), 181-186, 2006

• Abstract

Experimental Study with Respect to Dose Characteristic of Glass Dosimeter for Low-Energy by Using Internal Detector of Piranha 657

Jin-Hyun Son · Jung-Whan Min · Hyun-soo Kim · Kwang-Yeul Lyu · Hyun-Soo Lim¹⁾
Jung-Min Kim²⁾, Hoi-Woun Jeong³⁾

Department of Radiological Science, The Shingu University College

¹⁾*Department of Bio-Medical Engineering, Chungnam University*

²⁾*College of Health Science, Department of Radiological Science, The Korea University*

³⁾*Department of Radiological Science, The Baekseok Culture University College*

Recently, Glass Dosimeter (GD) with thermoluminescent Dosimeter (TLD) are comprehensively used to measure absorbed dose from diagnostic field to therapy field that means from low energy field to high energy field. However, such studies about dose characteristics of GD, such as reproducibility and energy dependency, are mostly results in high energy field. Because characteristic study for measurement devices of radiation dose and radiation detector is performed using ¹³⁷Cs and ⁶⁰Co which emit high energy radiations. Thus, this study was evaluated the linearity according to Piranha dose which measured by changing tube voltage (50 kV, 80 kV and 100 kV which are low energy radiations), reproducibility and reproducibility according to delay time using GD.

Measurement of radiation dose is performed using internal detector of Piranha 657 which is multi-function QA device (RTI Electronic, Sweden). Condition of measurement was 25 mA, 0.02 sec, 2.5 mAs, SSD of 100 cm and exposure area with 10×10 cm². As above method, GD was exposed to radiation. Sixty GDs were divided into three groups (50 kV, 80 kV, 100 kV), then measured.

In this study, GD was indicated the linearity in low energy field as high energy existing reported results. The reproducibility and reproducibility according to delay time were acceptable. In this study, we could know that GD can be used to not only measure the high energy field but also low energy field.

Key Words : Thermoluminescent Dosimeter(TLD), Glass dosimeter(GD), Linearity, Reproducibility