

<원저>

형광유리 선량계와 광자극 발광선량계를 이용한 핵의학과 선량 측정비교

박정규¹⁾·손상준²⁾·박명환¹⁾¹⁾대구보건대학교 방사선과·²⁾대구파티마병원 핵의학과

Comparison on the Dosimetry of OSLD and PLD Used in Nuclear Medicine

Park Jeong-kyu¹⁾·Son Sang-Joon²⁾·Park Myeong-Hwan¹⁾¹⁾Department of Radiological Technology, Daegu Health College²⁾Department of Nuclear Medicine, Daegu Patima Hospital

Abstract This study was conducted from July 1 to September 30, 2018 using Optically Stimulated Luminescence Dosimeter(OSLD) and photoluminescent glass dosimeter(PLD) to measure the 3-month exposure dose and the cumulative dose in the active working area of the nuclear medicine worker. Respectively. As a result, the cumulative dose for three months in the worker and work area was measured as 1.97 mSv and 2.02 mSv in the PLD. The mean surface dose and the mean depth dose of the OSLD were measured to be 2.04 mSv. The difference in the total surface dose measured by the PLD and the OSLD was 0.66mSv and the total mean surface dose was 0.07mSv. The difference between the total depth dose and the total depth dose was 0.1mSv and 0.02mSv, respectively. It was found that the dose value of the OSLD was higher than that of the PLD. In addition, it was found that the maximum difference of 0.01mSv was observed between the PLD and the OSLD of the worker. For the dose measurement of the two dosimetry systems, there was no significant difference between the PLD and the OSLD in the surface dose of 0.239 ($p>0.05$). Also, the significance of PLD and OSLD in the deep dose was 0.109, which was not statistically significant ($p>0.05$).

Key Words : Nuclear medicine, Radiation worker, PLD, OSLD

중심 단어 : 핵의학과, 방사선 작업종사자, 형광 유리선량계, 광자극발광선량계

I. 서 론

최근 삶의 질 향상과 더불어 건강증진에 대한 국민적 관심이 높아지고 각종 진료에 방사선 검사가 빈번히 적용됨에 따라 방사선의 위해성에 대한 우려가 증대되고 있다 [1,2]. 또한 후쿠시마 원전사고 이후 실외는 물론 실내의 방사선 측정기에 대한 관심이 증가하고 있다. 실내 방사선 구역 내의 공간선량은 작업종사자는 물론이고 환자에 대한 피폭선량의 증가를 좌우하는 중요인자의 하나이다. 의학의 발전에 따라 방호시설이 잘 되어 있더라도 환자 및 보호자, 의료 종사자들의 실내 노출 기회는 점점 늘어나고 있는 실정이다[3].

개인피폭을 관리하기 위한 방사선 측정기로는 장시간의 피폭선량 집적이 가능하고, 폭넓은 선량 측정범위가 가능해야 한다. 또한 자연방사선에 의한 피폭선량의 변화와 절연체를 통한 누설, 퇴행 현상은 판독전의 정상적인 경과시간보다 작아야 하며 판독시스템이 간단하고 쉬워야 한다[4]. 방사선량 측정에는 전리함, 필름, 열형광선량계(Thermoluminescence Dosimeter; TLD), 형광유리선량계(photoluminescent glass dosimeter; PLD), 광자극발광선량계(Optically Stimulated Luminescence Dosimeter; OSLD), 반도체 검출기 등이 사용된다. 우리나라에서는 1990년도 이전엔 필름벤티를 주고 사용하였다. 그 이후에는 열형광선량계를 병용해서 사용하였고, 2010년 이후부터는 열형광선량계, 형광유리선량계, 광자

Corresponding author: Jeong-Kyu Park, Department of Radiological Technology, Daegu Health College, 15, Youngsong-ro, Buk-Gu, Daegu, 41453, Republic of Korea / E-mail: pj7407@hanmail.net

Received 26 December 2018; Revised 22 February 2019; Accepted 26 February 2019

Copyright ©2019 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

극 발광선량계 순으로 사용이 증가하는 추세이다[5].

최근에 상용화된 PLD는 TLD와 그 쓰임과 특성이 유사하나 선질에 대한 균일성, 시간에 따른 퇴행현상(fading), 재판독 등 여러 특성 측면에서 유용한 방사선량계로 활용되고 있다[6]. 은 이온으로 활성화된 유리에 방사선을 조사하면 흡수된 선량에 비례하여 안정된 형광중심이 형성되고, 이 유리소자에 365 nm의 자외선을 쬐면 오렌지색의 형광(500~700 nm)이 방출된다. 형광중심의 생성은 조사선량에 비례하고 또한 형광중심의 수는 발광량에 비례하기 때문에 이 오렌지색의 빛을 필터를 이용하여 선택적으로 수집하여 광전자증배관에서 전기신호로 변환하여 기록한다[7]. 열자극(TL)과 광자극(OSL)에 의한 발광과정을 기술하기 위하여 널리 인정되고 있는 물리적인 단일트랩재결합(one trap one recombination center model; OTOC) 모델을 보여준다. 이 모델은 하나의 트랩과 하나의 재결합 준위를 순환하는 전자의 이동방정식으로 정의하였다[8]. 방사선 등 외부의 에너지 공급에 의해 가전자대(valence band)의 전자가 트랩 준위로 여기 한다. 이 상태는 외부의 자극이 없으면 상당히 오랜 동안 지속되는 준안정상상태(meta-stable state)에 있게 되지만 외부에서 가해지는 적절한 자극에 의해 트랩의 전자들을 전도대(conduction band)로 여기 시키고 이 전자들은 다시 금지대(forbidden band)에 존재하는 물질의 결합에 의해 유도된 재결합 준위와 결합함으로써 빛을 방출한다. 여기서 열 자극에 의한 발광을 TL이라 하고 광자극에 의한 발광을 OSL이라 한다. 이 때 방출되는 광량을 측정하면 방사선량을 평가할 수 있으며 또한 입사광의 조건을 다르게 하여 결정의 상태도 분석할 수 있다[9].

본 연구에서는 핵의학과 방사선 작업종사자가 상시 착용하고 있는 OSLD의 분기 피폭선량과 동일한 기간 내 PLD를 이용하여 3개월간 방사선 작업종사자와 작업구역에서 측정하여 그 선량을 비교하고자 하였다.

II. 대상 및 방법

1. 조사대상

2018년 7월 1일부터 9월 30일까지 P종합병원의 핵의학과에서 근무하는 방사선 작업종사자 6인과 작업종사자들이 가장 많이 활동하는 방사선 작업구역인 SPECT(Single Photon Emission Computed Tomography)촬영실 2곳, 분배실, PET/CT(Positron Emission Tomography/Computed Tomography)촬영실 1곳을 대상으로 하였다.

2. 방 법

작업종사자의 측정은 가슴부위에 OSLD와 PLD를 함께 착용한 뒤 3개월 동안 누적선량을 측정하였다[Fig. 1]. 측정 위치는 관련 문헌[10]을 참조하여 감마 SPECT촬영실은 SPECT에서 1m, 바닥에서 높이 1m에서, 분배실은 동위원소를 분주하는 위치에서 거리 1m, 바닥에서 높이 1.5m에서, PET/CT 촬영실은 PET/CT에서 거리 1m, 바닥에서 높이 1m에 각각 OSLD와 PLD를 3개월간 위치해 놓고, 선량계에 측정된 누적선량을 비교하였다.



Fig. 1. Wearing PLD and OSLD

3. 실험재료

사용된 형광유리소자는 GD-450을, 선량판독은 FGD650 System을 사용하였고(ASAHI GLASS CO.LTD, JAPAN), 광자극 발광선량소자는 XA를 선량판독은 Auto 200 Reader를 사용하였다(LANDAEUR CO.LTD, Germany), [Fig. 2, 3].



Fig. 2. GD 450 model and FDG 650 reader



Fig. 3. XA Model and Auto 200 Inspection System

4. 자료 분석

통계분석은 SPSS(Statistical Package for the Social Science, SPSS ver.22 Inc. USA)를 이용하였으며 선량계를 비교하기 위하여 대응표본 t-검정을 실시하였으며, 유의수준은 $p < 0.05$ 이하인 경우 유의한 차이가 있는 것으로 간주하였다.

PLD와 OSLD의 측정된 총 표층선량의 차이는 0.66 mSv, 총 평균 표층선량의 차이는 0.07 mSv이었다. 총 심부선량의 차이는 0.1 mSv, 총 평균 심부선량의 차이는 0.02 mSv이었다. PLD보다 OSLD가 선량값이 높게 측정되었음을 알 수 있었다. 또한, 작업종사자의 PLD와 OSLD의 경우 최대 0.01 mSv 차이가 있음을 알 수 있었다. 작업 구역에서 표층선량은 감마촬영실은 0.06 mSv로 차이가 없었으며, PET/CT 실에서는 0.53 mSv의 차이가 나타났으며, 분배실에서는 0.08 mSv의 차이가 나타났다.

III. 결 과

1. OSLD와 PLD의 선량측정 비교

작업종사자 및 작업구역의 3개월간 누적선량은 PLD에서 총 표층선량이 17.73 mSv, 평균 표층선량은 1.97 mSv로 측정되었다. 총 심부선량은 18.21 mSv, 총 평균 심부선량은 2.02 mSv로 측정되었다. OSLD의 총 표층선량은 18.39 mSv, 평균 표층선량은 2.04 mSv로 측정되었다. 총 심부선량은 18.41 mSv, 총 평균 심부선량은 2.04 mSv로 측정되었다.

2. OSLD와 PLD의 대응표본 t-검정

대응표본 검정결과 표층선량에서 PLD와 OSLD는 유의확률이 0.239로 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다($p > 0.05$). 또한 심부선량에서 PLD와 OSLD의 유의확률은 0.109로 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다($p > 0.05$). 따라서 핵의학과에서 측정한 PLD와 OSLD의 피폭선량 차이는 유의하지 않음을 알 수 있다.

Table 1. Dose Comparison of PLD and OSLD

(unit : mSv)

	shallow dose			deep dose		
	PLD	OSLD	Difference	PLD	OSLD	Difference
Radiation worker	0.37	0.39	0.02	0.38	0.39	0.01
	0.36	0.37	0.01	0.38	0.39	0.01
	0.39	0.39	0.00	0.34	0.35	0.01
	0.66	0.66	0.01	0.65	0.66	0.01
	0.54	0.55	0.01	0.51	0.52	0.01
Gamma imaging room	1.37	1.38	0.01	1.28	1.29	0.01
PET/CT room	0.06	0.06	0.00	0.06	0.06	0.00
Distribution room	11.58	12.11	0.53	12.11	12.23	0.02
Average±SD	2.40	2.48	0.08	2.50	2.52	0.02
total	1.97±3.67	2.04±3.98	0.07±1.32	2.02±3.85	2.04±3.88	0.02±1.29
	17.73	18.39	0.66	18.21	18.41	0.10

Table 2. PLD와 OSLD의 Corresponding sample verification

	Corresponding difference					t	Degree of freedom	Probability of significance
	Average	Standard Deviation	Standard error of mean	95% confidence interval of difference				
				Lower limit	maximum			
Corresponding shallow dose PLD-OSLD	-.07333	.17306	.05769	-.20636	.05969	-1.271	8	.239
Corresponding deep dose PLD-OSLD	-.02222	.03701	.01234	-.05067	.00622	-1.802	8	.109

IV. 고 찰

OSLD는 열을 이용하지 않고도 간편하게 선량측정이 가능하다는 장점을 가지고 있으며, 플라스틱 홀더로 싸여 있어 쉽게 소자를 다루거나 보관할 수 있는 특성을 가지고 있다. 뿐만 아니라 칩 형태를 가지고 있어 막대형태의 PLD에 비해 피부선량측정이 용이하고, 작은 사이즈는 정위조사면(stereotactic field)이나 세기 조절방사선 치료(Intensity-Modulated Radiation Therapy)와 같은 매우 작은 조사면에서 선량측정이 용이하다[12].

OSLD의 민감도(radiation sensitivity)는 PLD에 비하여 누적선량에 대하여 의존성을 가지고 있어, 재사용에 대하여 제한적이며, 짧은 수명을 가지는 단점을 가지고 있다. 임상에서 사용되고 있는 OS LD의 제조사는 누적선량이 10Gy까지 사용할 것을 권고하고 있으며, 그 이상의 선량에 대하여 사용할 경우 측정에 대한 불확도가 증가하게 되는 것을 보고하고 있다[13]. 25개의 OS LD 재현성은 0.03의 표준편차 이내에서 일치하는 것을 알 수 있었으며, 선량계의 균일성 또한 0.025의 표준편차 이내에서 일치하는 것을 알 수 있었다. OS LD의 선형성은 0.999의 R-Square값을 확인하였으며, 퇴행 현상은 1개월 동안 3일 간격으로 판독한 결과 시간이 지남에 따라 OS LD의 측정값은 계속적으로 감소하는 것을 확인 하였다. 수평방향에 따른 방향 의존성은 최대 0.6%까지 확인하였으나, 실험에 대한 재현성과 소자간의 균일성 편차보다 작은 것을 확인할 수 있다고 보고하고 있으며[14], OS LD가 다른 소자에 비해 화학적, 기계적으로 안정된 특성이 있기에 방사선 치료에서 발생하는 광중성자 측정에도 활용되고 있다[15].

3개월 동안의 단일한 기간을 설정하였는데 누적 선량 측정 시 세분화하여 통계적으로 유의한 결과를 얻어내고 측정 기간을 늘려서 추가적인 연구가 필요할 것이라 사료된다.

하지만 핵의학과에서 근무하고 있는 방사선 작업종사자가 동일한 조건 내에서 OS LD와 PLD를 비교한 연구가 기존에 연구되지 않은 결과라 의미가 있다고 판단된다. PLD의 경우 조사야 $10 \times 10 \text{cm}^2$ 내의 방향의존성과 균일성 측정에서는 $\pm 10\%$ 이내로 매우 양호함을 확인하였으며, 온도 변화에 따른 냉동상태, 냉장상태, 실온 상태에서의 유리소자에 대한 선량비교에서 유의미한 차이가 나타나지 않았다고 보고되고 있다[16]. 엑스선 조사에 따른 형광유리선량계의 빌드업 특성은 관전압, 관전압 및 조사시간의 증가에 따라 방사선 선량 및 포화율이 증가하였고, 유리소자의 퇴행은 거의 나타나지 않았다. 엑스선 발생장치의 변동계수의 재현성은 오차범위 내에 포함 되었고, 방사선선량의 재현성은 우수하

였다. 엑스선 발생장치의 변동계수의 재현성은 오차범위 내에 모두 포함되어 엑스선 발생장치의 방사선선량의 재현성은 우수하다고 보고되었다[17]. 유리선량계는 고에너지, 고선량 영역에서의 측정뿐만 아니라 저에너지, 저선량에서도 단독기에 따른 측정 변수의 영향은 크지 않다고 하였다[18]. PLD의 특성으로 선량계가 지속적인 기술적 발전을 거듭하고 있으며 환자 흡수선량의 측정, 방사선 치료 시 투여선량을 입사출력 면에서 확인, 치료계획 선량의 확인, IMRT의 QA, 진단 X선장치의 QA, 누설선량 등 저선량 측정, 시술자의 손가락 피폭선량 측정 등 많은 용도로 의료 및 산업에서 수요는 계속 증가할 것으로 기대되나 고가인 가격이 단점으로 생각된다.

본 연구에서 핵의학과 방사선 작업종사자의 PLD와 OS LD를 이용하여 누적선량을 측정할 결과 통계적인 차이는 없었다. 따라서 각 선량계가 가지고 있는 특성을 활용하여 추후 지속적인 개인선량계로 자리매김할 것이라 판단된다.

V. 결 론

작업종사자 및 작업구역의 3개월간 누적선량은 PLD에서 총 표층선량 17.73 mSv , 평균 표층선량은 1.97 mSv 로 측정되었다. 총 심부선량은 18.21 mSv , 총 평균 심부선량은 2.02 mSv 로 측정되었다. OS LD의 총 표층선량은 18.39 mSv , 평균 표층선량은 2.04 mSv 로 측정되었다. 총 심부선량은 18.41 mSv , 총 평균 심부선량은 2.04 mSv 로 측정되었다. PLD와 OS LD의 측정된 총 표층선량의 차이는 0.66 mSv , 총 평균 표층선량의 차이는 0.07 mSv 이었다. 총 심부선량의 차이는 0.1 mSv , 총 평균 심부선량의 차이는 0.02 mSv 이었다. PLD보다 OS LD가 선량값이 높게 측정되었음을 알 수 있었다. 또한, 작업종사자의 PLD와 OS LD의 경우 최대 0.01 mSv 차이가 있음을 알 수 있었다. 작업 구역에서 표층선량은 감마촬영실은 0.06 mSv 로 차이가 없었으며, PET/CT실에서는 0.53 mSv 의 차이가 나타났으며, 분배실에서는 0.08 mSv 의 차이가 나타났다. 하지만 대응표본 검정결과, 표층선량에서 PLD와 OS LD는 유의확률이 0.239 로 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다($p > 0.05$). 또한 심부선량에서 PLD와 OS LD의 유의확률은 0.109 로 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다($p > 0.05$). 따라서 핵의학과에서 측정된 PLD와 OS LD의 피폭선량 차이는 유의하지 않았다.

REFERENCES

- [1] National Council on Radiation Protection and Measurements: NCRP Report; 1988.No.93.
- [2] ICRP. Recommendation of the International Commission on Radiological Protection. Oxford: ICRP Publication 26 Pergamon Press, New York; 1997.
- [3] Han SK, Jeon SK, Jeong JS, Song SY. Comparison of air dose rates and personal exposure doses in the nuclear medicine department. The 43rd Conference on Radiation Radiology. 2008;446.
- [4] Park MH. Radiometry. Nationwide Culture History. 2017;323-68.
- [5] Jin KH. Personal exposure dosimetry for dosimetry Quality control. Korea Food & Drug Administration; 2007.
- [6] Son KH, Shin SH, Lee CY. High dose linearity, cumulative dose, energy dependence of glass dosimeter. Korea Radiation Protection Society; 2009.
- [7] Kang BS, GO SJ, Kook JS, Kwon DC, Kim GJ, Kim KH, et al. Radiation detection & Measurement, 4th ed. Seoul: Chung-gu publishing; 2012.
- [8] Jursinic PA. Characterization of optically stimulated luminescent dosimeters, OSLDs, for clinical dosimetric measurements. Med. Phys. 2007;34(12); 4594-604.
- [9] Im IC, Yoo YS, Lee JS. Measurement of Skin Dose for Rectal Cancer Patients in Radiotherapy using Optically Stimulated Luminescence Detectors (OSLDs). Korean Journal of Radiation Protection. 2011;36(2):86-92.
- [10] Lee WH, Kim SC, An SM. Comparison on the Dosimetry of TLD and OSLD Used in Nuclear Medicine. Journal of the Korea Contents Association. 2012; 12(12);329-34.
- [11] Moon YM. A Study on Effective Dose Measurement for Cone Beam Computed Tomography using Glass Dosimeter [Master' thesis]. Busan: University of Donga-A Korea; 2013.
- [12] Jursinic PA. Characterization of optically stimulated luminescent dosimeters, OSLDs for clinical dosimetric measurements. Med. Phys. 2007;34(12): 4594-604.
- [13] Jursinic PA. Changes in optically stimulated luminescent dosimeter (OSLD) dosimetric characteristics with accumulated dose. Med. Phys. 2010; 37(1):132-40.
- [14] Hwang JH. Study on the Characteristic and Correction Factor Calculation of Optically stimulated Luminescence Dosimeter Using Co⁶⁰ gamma-ray [master's Thesis]. Busan: Dong-A University Korea; 2016.
- [15] Lee JA, Back KM, Kim YS, Son SR, Choi KW, Yoo BK, et al. Evaluation of Photoneutron Dose for Prostate Cancer Radiation Therapy by Using Optically Stimulated Luminescence Dosimeter (OSLD). Korean Society of Radiology. 2014;37(2): 125-34.
- [16] Park JG, Park MH. Characteristics of fluorescent glass dosimeter (PLD) in diagnostic area. Daegu Health College Papers, 2016;36.
- [17] Kwon DC. Buildup Characteristics of Radiophotoluminescent Glass Dosimeters with Exposure Time of X-ray. Biomedical Engineering Letters. 2017; 38(5):256-63.
- [18] Son JH, Min JH, Kim HS, Yoo KR, Lim HS, Kim JM, et al. Experimental Study with Respect to Dose Characteristic of Glass Dosimeter for Low-Energy by Using Internal Detector of Piranha 657. Korean Society of Radiology. 2012;35(2):119-24.