

The Study on Applicability of Manufactured Lead(II) Iodide Dosimeter for Dose Measurement in Brachytherapy

Seung-Woo Yang¹, Moo-Jae Han¹, Sung-Kwang Park^{2,*}

¹Department of Radiation Oncology, Collage of Medicine, Inje University

²Department of Radiation Oncology, Busan Paik Hospital, Inje University

Received: September 06, 2021. Revised: November 23, 2021. Accepted: November 30, 2021

ABSTRACT

Brachytherapy is a treatment in which radioactive isotopes are placed inside the body to intensively irradiate the tumor with radiation. Because brachytherapy uses a radioisotope source with a high dose rate, it is very important to know the exact location and dose of the source. However, in clinical practice, it is evaluated inaccurately with the naked eye through rulers and autoradiographs. Therefore, in this study, a dosimeter that can be used for brachytherapy was developed using a lead(II) iodide (PbI₂) material, and the applicability was evaluated by analyzing the reproducibility, linearity, and PID items. As a result of reproducibility evaluation, the RSD value was 1.41%, satisfying the evaluation criteria of 1.5%. As a result of the linearity evaluation, the R₂ value was 0.9993, which satisfies the evaluation criterion of 0.9990. As a result of PID evaluation, it showed only a difference of 0.06 cm compared with the theoretical value of the inverse square law of distance at the 50% dose reduction point. The dosimeter manufactured in this experiment shows results that satisfy the standard in all evaluations, so it is judged that the possibility of applying the dosimeter in the radiation brachytherapy area is sufficient.

Keywords: brachytherapy, dosimeter, quality assurance, lead(II) iodide

I. INTRODUCTION

근접방사선치료는 밀봉된 방사성 동위원소를 치료기구를 통하여 신체 내부에 삽입하고 암을 포함하는 표적용적(Target Volume:TV)에 방사선을 직접 조사시켜 암을 치료하는 방법이다. 이러한 근접방사선치료는 기술의 발전으로 인해 High Dose Rate(HDR, 1200 cGy/h) 치료가 가능하게 되었으며, 이로 인해 수분에서 수십 분 이내로 치료 시간이 짧아졌으며, 선량 계산이 간편하면서도 정밀하게 선량전달이 가능하여 환자 치료가 용이할 뿐만 아니라 선원의 원격 조작방법으로 의료진의 방사선 피폭을 줄일 수 있게 되었다. 그러나 HDR치료는 방사능이 매우 높은 선원을 사용하기 정확한 치료

계획과 이에 동일한 선량이 조사되어야 한다. 이를 위해서는 방사성동위원소의 정확한 선량 전달 정도, 선원 거주 시간, 선원 거주 위치 등을 정확히 파악해야 한다. 임상에서는 눈금자(ruler)나 방사선 사진(autoradiograph) 등을 활용하고 있지만, 이러한 방식은 film등을 통하여 간접적으로 이용되고 육안으로 평가하기에 부정확하며 과정이 복잡한 문제점이 있다^[1-5].

이에 본 연구에서는 위에 문제점을 해결하고자 높은 원자번호(Z_{Pb}:82,Z_I:56)와 밀도(6.2g/cm³)로 방사선에 대한 감도가 우수하여 직접방식 검출기 연구에 널리 적용되고 있는 Lead(II) Iodide(PbI₂)를 사용하여 직접방식의 디지털 검출기를 방사선근접 치료 선량계에 적용하고자 하였으며, 이를 통해 방

* Corresponding Author: SungKwang Park E-mail: Physicist@paik.ac.kr

Tel: *** - **** - ****

사정동위원소 실시간 위치 파악이 가능하면서도 정량적인 선량 산출이 가능한 검출기를 개발하고자 하였다. 그리고 제작된 digital relative PbI₂ 선량계는 재현성, 선형성, percentage interval distance (PID)를 분석하여 근접방사선치료기용 선량계에 적용가능한지 평가하였다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. Fabrication of PbI₂ Dosimeter

본 연구에서는 방사선근접치료용 digital relative PbI₂ 선량계를 개발하기 위하여 PbI₂(Kojundo Chemical Laboratory Inc., Japan, 99.999% purity)분말을 Particle In Binder(PIB) 증착 방식을 사용하여 선량계를 제작하였다.

ITO(Indium Tin Iodide)가 도포된 glass를 하부전극으로는 사용하고 그 위에 광도전체층을 형성하였다. 광도전체층은 바인더와 파우더 형태인 PbI₂를 Three roll mill 공정으로 gel-paste 상태로 고르게 혼합하고 ITO glass 위에 1 cm × 1 cm로 도포하고 건조시켜 제작하였다. 이때, 오븐은 70°C 온도에서 8 시간동안 가동하였다. 마지막으로 상부전극은 물리적 증기 증착 방식으로 금(Sigma Aldrich Inc. U.S.A. 99.999% purity)을 광도전체층 상부에 0.8 × 0.8 cm² 형성하였다.

2. Experimental Set-up

방사선근접치료에서의 적용가능성을 평가하기 위하여 HDR Brachytherapy(micro Selectron, Nucletron) 장비 내의 ¹⁹²Ir 선원을 사용하여 실험을 진행하였다.

Fig 1는 실험 구성의 개략도이다. 선원에 대한 정보를 전기적신호로 획득하기 위하여 electrometers (6517A, Keithley, USA)와 oscilloscope (WaveSurfer 510, Teledyne LeCroy, USA)를 제작된 선량계와 연결시켰다. 그리고 electrometers를 통하여 μm 두께당 1V의 전압을 인가하고 oscilloscope를 통하여 방사선이 조사되었을 때의 파형 및 신호를 획득하였다. 획득한 신호는 ACQ software (Biopac, AcqKnowledge 4.2, Canada)을 사용하여 누적된 전하량으로 산출하였다.

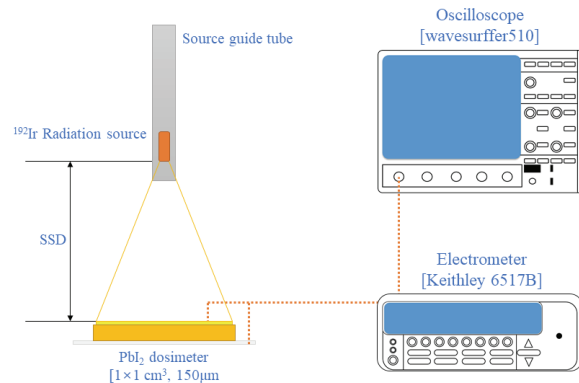


Fig. 1. Schematic of Experimental Set-up.

3. Dosimeter Parameter Evaluation

제작된 선량계의 정밀도를 분석하고 재형성을 평가하기 위하여 동일 선량에 대한 출력신호의 반응특성을 측정하였다. 선원으로부터 1 cm 지점에 제작된 선량계를 위치시키고 100 cGy 선량을 10회 반복 조사하였다. 이후 첫 조사에서 획득된 누적 전하량을 바탕으로 반응 특성값을 표준화하여 평가하였다. 평가는 상대표준편차(RSD)값을 활용하여 상대적인 산포도를 파악하고 이를 바탕으로 재현성을 평가하였다. 본 실험에서는 신뢰구간 95% 구간에 해당하는 RSD 1.5% 수치를 기준으로 재현성 평가를 진행하였다^[6-8]. 이때 RSD는 (1)식에 의해 산출되었다.

$$RSD(\%) = \frac{\sqrt{\sum(X_i - X_{ave})^2/n}}{X_{ave}} \times 100 \quad (1)$$

X_i : 측정 신호값

X_{ave} : 평균 신호값

n : 측정 횟수

선량계의 선량 측정에 대한 정확성 평가하기 위하여 조사된 선량에 따른 선량계 출력신호를 측정하고 선형성을 평가하였다. 선원으로부터 1 cm 거리에 선량계를 위치시키고 10 cGy 부터 1000 cGy 까지 점진적으로 증가시켜가며 측정을 진행하였다. 평가는 선형회귀분석으로 분석하였으며, coefficient of determination (R²)가 0.9990 이상이 되는지를 평가 기준으로 하였다^[9].

PID는 선원과 선량계 표면까지의 거리(SSD)를 1 cm - 11 cm까지 0.25 cm간격으로 100 cGy씩 조사 해가며 출력신호의 크기를 측정하였다. 평가는 1 cm에서의 신호값을 기준으로 표준화한 결과값과 거리 역자승 법칙에 따른 이론 적인 수치를 비교하여 분석하였다⁹⁾.

Table 1은 각 실험에서 사용된 조건을 보여주고 있다.

Table 1. Experimental Conditions

Material	PbI ₂
Source	¹⁹² Ir
dose	100 cGy
SSD	1 cm
Reproducibility count	10 times
Linearity dose	10, 30 50, 100, 300, 500, 1000 cGy
PID distance	1 ~ 11 cm (0.25 step)

III. RESULT

1. Reproducibility

Fig. 2은 동일선량에 대한 방사선근접치료용 digital relative PbI₂ 선량계의 출력신호 그래프로 재현성을 보여주고 있다.

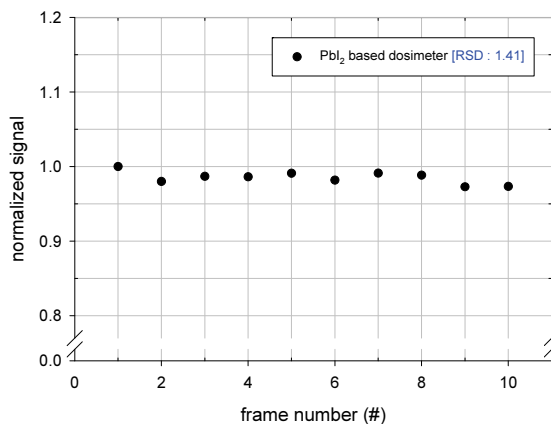


Fig. 2. Reproducibility Graph of PbI₂ Dosimeter at ¹⁹²Ir

100 cGy의 동일한 선량으로 10회 조사하였을 때, 제작된 선량계의 RSD 수치는 1.41%로 나타났다.

2. Linearity

Fig. 3은 선량 증가에 따른 방사선근접치료용 digital relative PbI₂ 선량계의 선형회귀분석에 따른 출력 신호를 나타내고 있다.

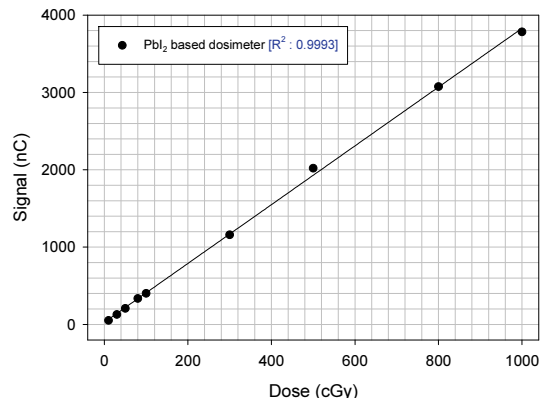


Fig. 3. Linearity Graph of PbI₂ Dosimeter at ¹⁹²Ir

선형성 평가 결과, 선형회귀분석에 따른 R²값은 0.9993으로 제시되었다.

3. Position Dependence

Fig. 4는 거리 역자승 법칙에 따른 신호의 감약과 방사선근접치료용 digital relative PbI₂ 선량계에서 거리 변화에 따라 획득한 신호의 변화추세를 비교한 그래프이다.

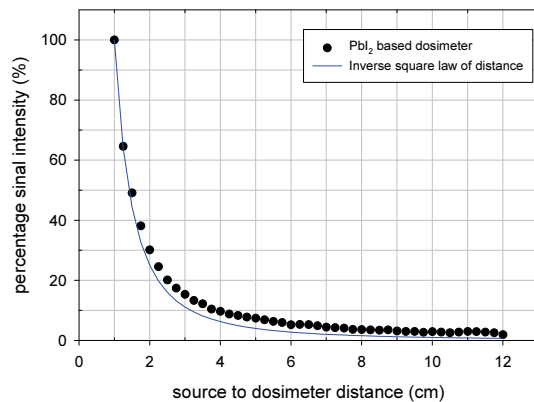


Fig. 4. PID Graph at ¹⁹²IR Source of PbI₂ Dosimeter

선원과의 거리증가에 따라 방사선근접치료용 digital relative PbI₂ 선량계의 출력신호는 거리의 역자승 법칙에 따라 감소하였다. 제작된 선량계에서는 약 1.47 cm에서 최댓값의 50%로 신호가 감소하

여 나타났다. 거리 역자승 법칙에 따른 이론값에서는 약 1.41 cm거리에서 최댓값에 50%로 감소하는 것으로 나타나 제작된 선량계와 비교 시 약 0.06 cm의 차이를 나타내었다^[2].

IV. DISCUSSION

재현성 평가 결과 1.41%의 RSD로 나타나 da Rosa, L.A.R.등의 연구에서도 제시한 평가기준 1.5%를 만족하는 결과를 보여주었다^[7]. 이러한 재현성 결과는 제조된 선량계의 출력신호가 정밀성이 높고 신호가 안정적인 것을 나타낸다. M. J, Han논문 등에서 제시한 결과와 같이 조사된 선량에 따라 균일한 신호를 제시하기 때문에 신호에 따른 선량 산출 시 정밀한 재현성을 가지는 것으로 판단된다^[6-8].

선형성은 K. T. Kim등의 연구에서 제시된 기준 0.9990 이상의 R²값을 만족하는 수치로 제시되었다. 이는 조사되는 선량의 증가만큼 출력신호가 비례적으로 증가하였음을 나타내며, 제작된 선량계로 선량 측정 시, 선량에 비례한 정확한 출력신호를 바탕으로 선량을 정확하게 산출 할 수 있다^[9].

PID측정결과에서 2 cm 이상에 거리에서는 출력신호가 이론값보다 높게 측정된 이유는 실험 하드웨어 적인 측면에서 발생하는 전기적인 noise가 감약되어 낮아진 신호에 영향을 주어 나타난 결과로 보여진다. 또한, 최댓값에서 50% 감약된 지점을 기준으로 분석하였을 때, 결과값과 이론값이 약 0.06 cm의 차이를 나타내었다. 이러한 결과는 선원의 위치 변화에 따른 신호 변화 바탕으로 선원의 위치에 대한 근사치를 계산할 수 있음을 나타낸다.

V. CONCLUSION

본 연구에서는 광도전체 PbI₂를 사용하여 방사선 근접치료용 digital relative PbI₂ 선량계를 제작하였고 제작된 선량계에 대하여 재현성, 선형성, PID를 평가하여 방사선근접치료 영역에 적용가능한지 평가하였다.

제작된 선량계는 재현성, 선형성, 위치의존성 평가에서 기준이상의 성능을 나타내었으며, 본 연구에서 제작한 PbI₂기반 근접방사선치료기 QA용

digital relative 선량계는 추후 개선을 통하여 근접방사선치료기 QA용 digital relative 선량계로 활용이 가능한 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korean government (MSIP) (NRF-2021R1F1A106350011).

Reference

- [1] G. P. Glasgow, J. D. Bourland, P. W. Grigsby, J. A. Meil, K. A. Weaver, "Remote afterloading technology, a report of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 41.", New York: American Institute of Physics, 1993. <https://doi.org/10.37206/40>
- [2] F. M. Khan, J. P. Gibbons, *Khan's the physics of radiation therapy*, Lippincott Williams & Wilkins, 2014.
- [3] H. D. Kudo, G. P. Glasgow, T. D. Pethel, B. R. Thomadsen and J. J. Williamson, "High dose-rate brachytherapy treatment delivery: report of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 59", *Medical physics*, Vol. 25, No. 4, pp. 375-403, 1998. <https://doi.org/10.1118/1.598232>
- [4] G. J. Kutcher, L. Coia, M. Gillin, W. F. Hanson, S. Leibel, R. J. Morton, J. R. Palta, J. A. Purdy, L. E. Reinstein, and G. K. Svensson, "Comprehensive QA for radiation oncology: report of AAPM radiation therapy committee task group 40", *Medical physics*, Vol. 21, No. 4, pp. 581-618, 1994. <https://doi.org/10.1118/1.597316>
- [5] D. Wilkinson, "High dose rate (HDR) brachytherapy quality assurance: a practical guide", *Biomedical Imaging and Intervention Journal*, Vol. 2, No. 2, pp. 34, 2006. <https://doi.org/10.2349/bij.2.2.e34>
- [6] M. J. Han, S. W. Yang, J. H. Jung, S. U. Heo, J. Y. Kim, S. J. Cho, H. L. Cho, and S. K. Park. "Evaluation of the Electrical Properties of a Lead (II) Iodide Based-Dosimeter Based on Mechanical Flexibility for Surface Dose Measurements in Radiotherapy." *Journal of Instrumentation*, Vol. 15, No. 8, pp. 08008, 2020.

<https://doi.org/10.1088/1748-0221/15/08/p08008>

- [7] R. J. Shalek, "Determination of absorbed dose in a patient irradiated by beams of X or gamma rays in radiotherapy procedures", Wiley Online Library, 1977.
- [8] L. A. R. da Rosa, D. F. Regulla, U. A. Fill, "Reproducibility study of TLD-100 micro-cubes at radiotherapy dose level", Applied radiation and isotopes, Vol. 50, No. 3, pp. 573-577, 1999.
[https://doi.org/10.1016/s0969-8043\(98\)00068-2](https://doi.org/10.1016/s0969-8043(98)00068-2)
- [9] K. T. Kim, Y. J. Heo, M. J. Han, K. M. Oh, Y. K. Lee, S. W. Kim, and S. K. Park. "Development and Evaluation of Multi-Energy Pbo Dosimeter for Quality Assurance of Image-Guide Radiation Therapy Devices", Journal of Instrumentation 12, Vol. 12, No. 4, pp. 04024, 2017.
<https://doi.org/10.1088/1748-0221/12/04/c04024>
- [10] N. Vicoroski, A. Espinoza, M. Duncan, B. M. Oborn, M. Carolan, P. Metcalfe, D. Menichelli, V. L Perevertaylo, M. LF Lerch, A. B. Rosenfeld, "Development of a Silicon Diode Detector for Skin Dosimetry in Radiotherapy", Medical physics, Vol. 44, No. 10, pp. 5402-5412, 2017.
<https://doi.org/10.1002/mp.12469>

방사선근접치료 분야의 선량 측정을 위해 제조된 Lead(II) Iodide 선량계의 적용가능성 연구

양승우¹, 한무재¹, 박성광^{2,*}

¹인제대학교 의과대학 방사선종양학과

²인제대학교 부산백병원 방사선종양학과

요약

근접방사선치료는 방사선동위원소를 신체 내부에 넣어 종양에 방사선을 집중적으로 조사하는 치료법이다. 근접방사선 치료는 고선량율의 방사선동위원소 선원을 사용하기 때문에 정확한 선원의 위치 및 선량등을 파악하는 것이 매우 중요하다. 하지만 임상에서는 ruler, autoradiograph등을 통하여 육안으로 부정확하게 평가하는 실정이다. 이에 본 연구에서는 Lead(II) Iodide(PbI₂) 물질을 사용하여 방사선근접치료에 사용할 수 있는 선량계를 개발하고, 재현성, 선형성, PID 항목을 분석하여 적용가능성을 평가하였다. 재현성 평가 결과, RSD 값은 1.41%로 평가기준 1.5%를 만족하였다. 선형성 평가결과, R²값은 0.9993으로 평가기준 0.9990을 만족하였다. PID 평가 결과 50% 선량 감약지점에서 거리의 역자승 법칙의 이론값과 비교하여 0.06 cm의 차이만을 나타내었다. 본 실험에서 제작된 선량계는 모든 평가에서 기준치를 만족하는 결과값을 나타내어 방사선근접치료 영역에서의 선량계 적용 가능성이 충분한 것으로 판단된다.

중심단어: 방사선근접치료, 선량계, 정도관리, Lead(II) iodide

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	양승우	인제대학교 의과대학 방사선종양학과	연구원
(공동저자)	한무재	인제대학교 의과대학 방사선종양학과	연구원
(교신저자)	박성광	인제대학교 부산백병원 방사선종양학과	교수