

# Evaluation of Lead Oxide Dosimeter for Quality Assurance of Electron Beam in Radiotherapy

Seungwoo Yang<sup>1</sup>, Moojae Han<sup>1</sup>, Sungkwang Park<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiation Oncology, Collage of Medicine, Inje University

<sup>2</sup>Department of Radiation Oncology, Busan Paik Hospital, Inje University

Received: January 18, 2021. Revised: February 25, 2021. Accepted: February 28, 2021.

## ABSTRACT

In radiation therapy, electron beam is often used in the treatment of superficial lesion. Accurate measurements are required because electron beam interacts with them in the beam path and affects dose measurements. However, no research has been conducted on electron beam quality assurance. In this study, PbO-based dosimeter was fabricated as a basic study for electron beam quality assurance. Thus, the reproducibility and linearity of the energy of 6, 9, and 12 MeV were analyzed to evaluate measurement accuracy and precision. Reproducibility measurements show RSD value of 1.024%, 1.019% and 0.890%, respectively, at 6, 9, and 12 MeV. Linearity measurements show 0.9999 R<sup>2</sup> at 6, 9, and 12 MeV altogether. Both evaluations show that the PbO dosimeter has very good measurement accuracy and precision with excellent results.

Keywords: Radiotherapy, Electron beam, Quality assurance, dosimeter, PbO

## I. INTRODUCTION

전자선은 물질과의 상호작용이 활발하여 에너지를 전달하는 비정기 매우 짧다. 이러한 물리적 특성으로 인해 인체에 조사할 경우 대부분의 에너지는 피부표면에 전달된다. 이에 방사선 치료에서는 피부암, 유방암, 두경부암, 임파절암 등 종양이 피부표면에 있는 표재성 병변치료의 경우 내부에 있는 정상조직은 보호하면서도, 암을 치료하고자 전자선을 주로 사용한다.<sup>[1-6]</sup>

전자선은 하전입자이면서도 작은 질량을 가지고 있기 때문에 많은 산란을 일으키게 된다. 이는 대부분 collimator, flattening filter, edge, shadow tray 등과 같은 빔 경로의 기타 재료와의 광자 상호작용에 의해 생성되는 Compton 전자로 체내 구조물에 영향을 민감하게 받기 때문에 정확한 측정이 요구된다.<sup>[6]</sup>

최근 방사선 치료분야에서는 기존 다이오드 선량계를 대체하기 위해 다양한 광도전체 물질들의 특성 평가가 이루어지고 있다. 하지만 전자선에 대한 반응 평가는 이루어지지 않는 실정이다.

한편 광도전체 물질 중 Lead Oxide (PbO)는 높은 원자번호 (Z<sub>Pb</sub>:82, Z<sub>O</sub>:8)와 밀도 (9.53 g/cm<sup>3</sup>)를 가지기 때문에 방사선 검출소자로써 연구가 이루어져왔다.<sup>[8-10]</sup> 또한, 입자침전법 (Particle In Binder; PIB)은 제작 공정이 간단하기 때문에 상업적으로 경제적인 장점을 가질 수 있다.

이에 본 연구에서는 전자선 정도관리 (quality assurance; QA) 선량계의 기초 연구로써, PbO 선량계를 제작하고 계측 정확성과 정밀성을 평가하였다.

## II. MATERIAL AND METHODS

### 1. Fabrication of PbO dosimeter

\* Corresponding Author: Sungkwang Park

E-mail: physicist@paik.ac.kr

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

PbO 선량계를 제작하기 위하여, glass 위에 인듐 주석 산화물 (Indium-Tin-Oxide; ITO)을 도포하여 하부전극을 형성하였다. 이후 하부 전극 위에 PbO와 바인더를 4:1로 혼합하여 screen printing 방법으로  $1 \times 1 \text{ cm}^2$  면적에  $250\mu\text{m}$  두께로 도포하였다. 이후에는 PbO 물질만으로 방사선 흡수층을 형성하고자  $70^\circ\text{C}$ 에 8시간 동안 건조하였다. 마지막으로는 금을  $0.8 \times 0.8 \text{ cm}^2$  면적으로 증착시켜 선량계 상부전극을 형성함으로써 선량계를 제작하였다. 본 연구에서는 순도 99.999%의 PbO(Kojundo Chemical Laboratory 社, japanese)물질을 사용하였다.

## 2. Measurement set-up

본 연구에서는 치료방사선 반응을 평가하기 위하여 선형가속기(LINAC\_ix. RapidArc)를 사용하여 제작된 선량계의 전자선 반응특성을 얻었다

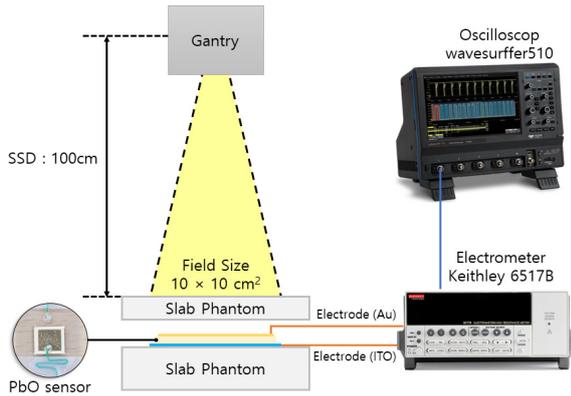


Fig. 1. Schematic diagram of the experimental setup.

실험 장치는 Fig. 1과 같이 구성하였다. electrometer (Keithley社, 6517A)를 사용하여 PbO 선량계 전체에 단위 두께 당 1V 전압을 인가하였으며, Oscilloscope(Teledyne lecroy社, wavesurfer510 oscilloscope)를 통하여 파형을 획득하였다. 획득된 파형은 ACQknowledge (Biopac, Acqknowledge 4.2, canada) program을 사용하여 전하량을 산출하였다.

선량계 하부에는 후방산란을 고려하여 10 cm 두께의 slab phantom을 위치시키고 상부에는 각 에너지의 Dmax depth를 설정하기 위하여 6 MeV에서 1.3 cm, 9 MeV에서 2.1 cm, 12 MeV에서 2.5 cm 두께의 Slab Phantom을 Build-up material로 형성하고

SSD는 100 cm로 설정하였다.

## 3. Reproducibility

본 연구에서는 전자선에 대한 측정 정밀성을 제시하기 위해 재현성을 평가하였다. 재현성은 100 MU의 선량을 10회 반복 조사하고 첫 번째 결과값을 기준으로 정규화하여 분석하였다. TRS-398에서는 선량 측정 오차를 95% 신뢰구간에서 1.5% 이내로 권고하고 있다.<sup>[7-12]</sup> 이에 본 연구의 재현성 평가는 상대 표준 편차 (Relative Standard Deviation; RSD) 1.5% 미만을 기준으로 평가하였다. 이때 RSD는 측정값 ( $X_i$ )과 산술 평균값 ( $X_{ave}$ )를 통해 수식(1)로 산출하였다.

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

## 4. Linearity

본 연구에서는 전자선에 대한 측정 정확성을 제시하기 위해 선형성을 평가하였다. 선형성은 선량과 선량계의 출력 신호의 비례관계를 나타내기 위해 1 ~ 1,000 MU 선량을 점차적으로 증가시켜 조사하였으며, 100MU 선량에서의 결과값을 기준으로 정규화하여 분석하였다. 결과는 제시된 100MU 조건에서의 선형성 평가는 결정계수 (coefficient of determination;  $R^2$ )를 사용하여 0.9990 이상을 기준으로 평가하였다.<sup>[7-9]</sup> Table 1. 은 재현성과 선형성 조사조건을 보여준다.

Table. 1. Measurement conditions

|                                |                                |
|--------------------------------|--------------------------------|
| electron energy                | 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV           |
| Reproducible irradiation count | 10 times                       |
| Linearity radiation intensity  | 1, 10, 50, 100, 300, 500, 1000 |
| SSD                            | 100 cm                         |
| Field                          | $10 \times 10 \text{ cm}^2$    |

### III. RESULT

#### 1. Reproducibility

재현성 측정 결과, 6 MeV 에너지에서의 RSD 값은 1.024%였으며, 9 MeV 에너지에서 1.019%, 12 MeV 에너지에서 0.890%로 제시되었다. 모든 결과는 RSD 1.5% 이하로 제시되어 평가 기준을 만족하였다. Fig. 2는 PbO의 선량계의 재현성 측정 결과를 나타내고 있다.

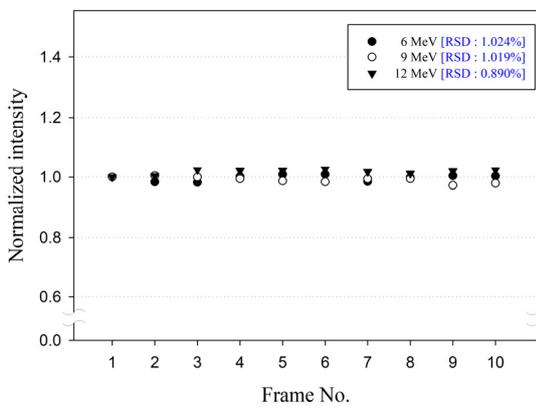


Fig. 2. Reproducibility of PbO based dosimeter at 6, 9, 12 MeV energy.

#### 2. Linearity

Fig. 3은 선량 증가에 선량 변화를 나타내고 있는 선형성 평가결과이다.

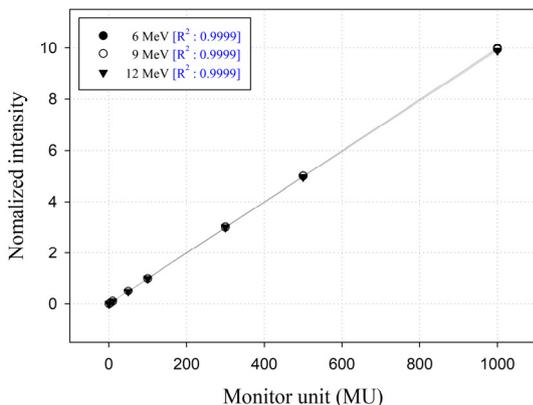


Fig. 3. Linearity of PbO based dosimeter at 6, 9, 12 MeV energy.

평가결과, 선량이 증가함에 따라 PbO에서 생성

되는 신호값이 비례적으로 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 각 6, 9, 12 MeV 에너지 구간에서  $R_2$  값은 모두 1에 근접한 0.9999로 제시되었다.

### IV. DISCUSSION

재현성 평가결과, 평가 기준으로 제시한 1.5% 이하의 RSD를 만족하는 결과로 나타났다. 제작된 선량계는 조사된 전자선에 선량에 대하여 안정적인 출력을 내며 정밀성이 높은 것으로 판단하였다.<sup>[11,12]</sup>

선형성 평가결과,  $R^2$ 은 6, 9, 12 MeV에서 모두 0.9999로 평가기준  $R^2 > 0.9990$ 을 만족하면서도 1에 근접한 값을 보여준다. 이는  $R^2$ 은 직선형 추세선의 신뢰도가 우수한 것을 나타내며, 제작된 PbO 선량계의 출력 신호가 선량에 정비례하여 증가하는 것을 나타낸다.<sup>[11,12]</sup> 본 연구에서 제작한 PbO 기반의 전자선 선량계는 6, 9, 12 MeV 에너지에서 안정적인 출력을 나타내고 정확성이 높은 것으로 나타났다. 이는 전자선 선량계로서의 활용가능성이 우수함을 나타내며, 연구가 진행되지 않은 PbO 기반의 전자선 선량계에 대한 기초연구로 큰 의미를 가진다.

### V. CONCLUSION

본 연구에서는 PbO 물질을 사용하여 선량계를 제작하였고, 전자선 출력에 대하여 정확한 평가가 가능한 전자선 선량계를 제시하고, 계측 정확성과 정밀성을 평가하였다.

평가결과 0.9999의  $R_2$ 값의 선형성과 RSD 1.5% 이내의 재현성으로 높은 계측 정확성과 정밀성을 확인하였다. 전자선은 산란에 따른 영향이 크기 때문에 정확한 선량 측정이 어려운 문제점을 가지고 있다. 본 연구는 전자선의 정확한 선량 측정을 위해 PbO기반의 광도전체 선량계를 제작하였고, 높은 계측 정확성과 정밀을 확인하였다는 점에서 큰 의미를 가진다.

### Acknowledgement

This work was supported by a National Research

Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korean government (MSIP)  
(No. NRF-2020R1F1A1072898)

## Reference

- [1] Y. M. Kirova, F. Campana, N. Fournier-Bidoz, A. Stilhart, R. Dendale, M. A. Bollet, A. Fourquet, "Postmastectomy electron beam chest wall irradiation in women with breast cancer: clinical step toward conformal electron therapy", *International Journal of Radiation Oncology Biology Physics*, Vol. 64, No. 4, pp. 1139-1144, 2007.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2007.05.007>
- [2] George H. Perkins, Marsha D. McNeese, John A. Antolak, Thomas A. Buchholz, Eric A. Strom, Kenneth R. Hogstrom, "A custom three-dimensional electron bolus technique for optimization of postmastectomy irradiation", *International Journal of Radiation Oncology Biology Physics*, Vol. 51, No. 4, pp. 1142-1151, 2001.  
[https://doi.org/10.1016/S0360-3016\(01\)01744-8](https://doi.org/10.1016/S0360-3016(01)01744-8)
- [3] D. A. Low, G. Starkschall, S. W. Bujnowski, L. L. Wang, K. R. Hogstrom "Electron bolus design for radiotherapy treatment planning: bolus design algorithms", *Medical Physics*, Vol. 19, No. 1, pp. 115-124, 1992. <https://doi.org/10.1118/1.596885>
- [4] A. I. Zablow, T. R. Eanelli, L. J. Sanfilippo, "Electron beam therapy for skin cancer of the head and neck", *head and neck*, Vol. 14, No. 3, pp. 188-195, 1992. <https://doi.org/10.1002/hed.2880140305>
- [5] F. M. Khan, Khan's *The Physics of Radiation Therapy, 5th Ed*, Lippincott Williams & Wilkins, pp 264-274, 2014.
- [6] F. M. Khan, K. P. Doppke, K. R. Hogstrom, G. J. Kutcher, R. Nath, S. C. Prasad, J. A. Purdy, M. Rozenfeld, B. L. Werner, "Clinical electron beam dosimetry: Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 25", *Medical Physics*, Vol. 18, No. 1, pp. 73-107, 1991.  
<https://doi.org/10.1118/1.596695>
- [7] K. T. Kim, M. J. Han, Y. J. Heo, J. E. Park, Y. K. Lee, J. N. Kim, K. M. Oh, H. L. Cho, Y. S. Choi, J. Y. Kim, S. H. Nam, S. K. Park, "Feasibility study of a lead monoxide-based dosimeter for quality assurance in radiotherapy", *Journal of Instrumentation*, Vol. 11, no.11, pp. 1-8 2016.  
<https://doi.org/10.1088/1748-0221/11/11/P11006>
- [8] Kyo-Tae Kim, Ye-Ji Heo, Moo-Jae Han, Kyung-Min Oh, Young-Kyu Lee, Shin-Wook Kim and Sung-Kwang Park, "Development and evaluation of multi-energy PbO dosimeter for quality assurance of image-guide radiation therapy devices", *Journal of Instrumentation*, Vol. 12, no.4, pp. 1-10 2017.  
<https://doi.org/10.1088/1748-0221/12/04/C04024>
- [9] K. T. Kim, J. H. Kim, Y. H. Shin, M. J. Han, J. E. Park, Y. J. Heo, D. H. Lee, H. L. Cho, B. I. Min, Y. K. Oh, S. K. Parkd, "Feasibility study of a lead-monoxide-based dosimeter for real-time radioactive source detection in HDR brachytherapy", *Journal of Instrumentation*, Vol. 14, no.5, pp 1-8 2019. <https://doi.org/10.1088/1748-0221/14/05/P05001>
- [10] 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.  
[http://dx.doi.org/10.1016/S0969-8043\(98\)00068-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0969-8043(98)00068-2)
- [11] M. J. Han, J. Y. H. Shin, J. H. Jung, K. T. Kim, Y. J. Heo, H. L. Cho, S. K. Park, "A study of Curved Dosimeter for Flattening Filter Free Beam Quality Assurance Evaluation using Curved Dosimeter in Radiotherapy", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 13, No. 1, pp. 119-124, 2019.  
<http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.7742/jksr.2019.13.1.119>
- [12] Y. H. Shin, M. J. Han, J. H. Jung, K. T. Kim, Y. J. Heo, D. H. Lee, H. L. Cho, S. K. Park, "The Study on Applicability of Semi-conductive Compound for Radioactive Source Tracing Dosimeter in NDT Field", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 13, No. 1, pp. 39-44, 2019.  
<http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.7742/jksr.2019.13.1.39>

# 방사선치료 전자선의 정도관리를 위한 Lead Oxide 선량계 평가

양승우<sup>1</sup>, 한무재<sup>1</sup>, 박성광<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>인제대학교 의과대학 방사선종양학과

<sup>2</sup>인제대학교 부산백병원 방사선 종양학과

## 요 약

방사선 치료 영역에서 전자선은 표재성 병변 치료에 자주 쓰인다. 전자선은 빔 경로에 것들과 상호 작용하여 선량측정에 영향을 끼치기에 정확한 측정이 요구된다. 하지만 전자선 정도관리에 관한 연구는 이루어지고 있지 않는 실정이다. 이에 본 연구에서는 전자선 정도관리를 위한 기초연구로 PbO 기반의 선량계를 제작하였다. 그리고 6, 9, 12 MeV 에너지에 따른 재현성, 선형성을 분석하여 계측정확성과 정밀성을 평가하였다. 재현성 측정결과 6, 9, 12 MeV에서 각각 1.024%, 1.019%, 0.890%의 RSD 값으로 나타났다. 그리고 선형성 측정결과에서는 6, 9, 12 MeV에서 모두 0.9999 R<sup>2</sup>로 나타났다. 두 평가 모두 우수한 결과로 PbO 선량계의 계측정확성과 정밀성이 매우 우수한 것으로 나타났다.

중심단어: 방사선치료, 전자선, 정도관리, 선량계, PbO

## 연구자 정보 이력

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