

The Feasibility Study of photoconductor materials for the use of a dosimeter in Radiotherapy

Giwon Jang*, Jungwook Shin*, Kyungmin Oh*, Sungkwang Park**, Jinyoung Kim***, Jikoon Park****, Sanghee Nam*

*Dept. of Biomedical Engineering, Inje University**, *Radiation Oncology, Busan Paik hospital***,
*Radiation Oncology, Haeundae Paik hospital****, *Dept. of Radiology Science, International University of Korea*****

광도전체 물질의 치료 방사선 선량계 적용을 위한 가능성 연구

장기원*, 신정욱*, 오경민*, 박성광**, 김진영***, 박지균****, 남상희*

인제대학교 의용공학과*, 인제대학교 개금백병원 방사선종양학과**,
인제대학교 해운대백병원 방사선종양학과***, 한국국제대학교 방사선과****

Abstract

The use of the dosimetry have been increasingly recognized as high radiation energy and radiation treatment planning(RTP) have rapidly developed in radiotherapy. There are many types of detectors for the dosimetry such as ionization chamber, film, TLD, diode, and etc. Among such detectors, the diode detector uses a photoconductor materials that generate electrical signals by the incident radiation energy. Though many research groups are recently interested in such materials, there is few experimental results except for silicon in the radiation therapy field. In this study, the feasibility of photoconductor materials was verified as a dosimeter through the evaluation of response properties at a high radiation energy. For the fabricated detectors based on HgI_2 and PbI_2 , reproducibility, linearity, and pulse-rate response were analyzed. Such evaluations are essential factors for the use of dosimeter. From results, linearity and reproducibility of the fabricated HgI_2 detector indicated about 7% error. The fabricated PbI_2 detector showed 1.7% error in linearity, and 12.2% error in reproducibility.

Key-words : Radiation Therapy, Quality Assurance, Dosimeter, Photoconductor, HgI_2 , TiO_2 , Linearity, Reproducibility

요약

고 에너지 방사선의 이용과 치료 계획의 발전이 이루어지면서 치료방사선에서 선량 측정의 중요성은 더욱 부각되고 있다. 이러한 선량 측정을 위한 검출기에는 이온 전리함, 필름, 열형광선량계, 다이오드 등이 있다. 이중, 다이오드 검출기는 입사되는 방사선에 의하여 전기적인 신호를 생성하는 광도전체 물질을 사용하는데, 이러한 광도전체 물질에 대해서 최근 많은 연구 그룹들이 관심을 가지고 있다. 하지만, 방사선 치료 영역에서만은 실리콘(Si) 이외에 물질에 대한 연구 결과가 활발히 도출되고 있지 않은 실정이다. 본 논문에서는 광도전체 물질의 고 에너지 방사선에 대한 반응 특성을 확인함으로써 선량계의 적용 가능성을 검증하고자 하였다. 요오드화수은(HgI_2)과 요오드화납(PbI_2)을 기반으로 하는 검출기를 제작하여, 선형가속기에서 입사되는 고 에너지 방사선에 대하여 재현성, 선형성, Pulse rate response를 평가하였다. 이러한 항목들은 치료방사선의 선량계로서의 역할을 평가할 수 있는 필수 요소들이다. 실험

결과, 제작된 요오드화수은(HgI₂)은 약 7% 내외의 재현성과 선형성 오차를 나타내었으며, 요오드화납(PbI₂)은 1.7%의 선형성 오차와 12.2%의 재현성 오차를 가지는 것으로 확인되었다.

중심단어 : 방사선치료, 정도관리, 선량계, 광도전체, HgI₂, TiO₂, 선형성, 재현성

I. 서론

방사선 치료에 있어서 가장 중요한 기준은 정상 조직에 피폭되는 선량을 최소화하는 동시에 종양 조직에는 필요한 선량을 정확히 조사하는 것으로써, 이를 위해서는 치료 용적(Target Volume)에 조사되는 방사선의 선량과 선질에 대한 정확한 측정을 필요로 한다^[1]. 이와 같은 선량 측정을 포함한 정도 관리(Quality Assurance, QA) 프로그램의 수행을 위해서는 이온화전리함(Ionization Chamber), 필름(Film), 열형광선량계(TLD), 다이오드(Diode) 등 다수의 검출기가 사용되고 있다^[2]. 치료 방사선에 사용되는 다이오드 검출기는 실리콘(Silicon, Si)을 검출물질로 주로 사용하는데, 이 물질은 입사되는 방사선에 대하여 높은 민감도(Sensitivity)와 저전압 구동의 장점을 가지고 있으나 온도 의존성, 낮은 흡수 효율, 제작 공정의 어려움이라는 단점 또한 동시에 지니고 있다. 실리콘(Si)을 포함하는 광도전체 물질(Photoconductor Materials)들이 방사선을 검출하는 원리를 살펴보면, 입사되는 방사선 에너지를 흡수하여 전자전공쌍(Electron-Hole Pairs, EHPs)을 생성한 이후에 인가된 전압에 의하여 전자 캐리어를 수집하는 방식이다. 이러한 광도전체 물질에는 실리콘(Si) 이외에도 비정질 셀레늄(Amorphous Selenium, a-Se), 요오드화수은(Mercury Iodide, HgI₂), 요오드화납(Lead Iodide, PbI₂), 카드뮴텔루라이드(Cadmium Telluride, CdTe) 등이 있으며, 저에너지의 진단 영역에서 검출 물질로서의 반응 특성에 대해서는 이미 많은 연구가 수행되었다^{[3],[4],[5]}. 하지만 치료 영역에서 사용하는 MV 단위의 고에너지 방사선에 대한 반응 특성에 대해서는 많은 연구가 수행되지 않아 선량계의 적용은 이루어지지 않고 있는 상황이다.

본 연구에서는 PIB(Particle-in Binder) 방식으로 제작이 용이한 요오드화수은(HgI₂)과 요오드화납(PbI₂)을 검출기로 제작하여 선형가속기(Linear Accelerator,

LINAC) 장비에서 조사되는 고 에너지 방사선에 대한 반응 특성을 확인함으로써 기존 치료 방사선의 다이오드 검출기에 사용되는 실리콘(Si) 물질의 대체 가능성을 확인함과 동시에 선량계로서의 적용 가능성을 검증하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

본 연구에서 사용된 광도전체 물질은 고순도(Kojundo chemical laboratory) 사에서 제조된 순도 99.999%의 요오드화수은(HgI₂)과 요오드화납(PbI₂)으로, PIB 방식의 한 부류인 침전법을 이용하여 변환층을 제작하였다. 준비된 ITO Glass 위에 격벽을 형성한 이후, 광도전체 물질과 바인더 용액이 혼합된 용매를 1 × 1 cm²의 면적, 약 200 μm의 두께로 도포하였다. 제작된 시편은 상온에서 약 1시간 건조 이후에 오븐에서 약 60 °C의 온도로 5시간씩 건조되었다. 상부 전극은 DC 마그네트론 스퍼터링 장비를 사용하여 ITO 전극이 형성되었다. 제작된 검출기의 전기적 특성 실험은 인제대학교 개금백병원에 설치되어 있는 Varian사의 선형가속기(LINAC) 21iX를 통하여 이루어졌으며, 광도전체의 구동전압과 신호측정을 위하여 Keithley사의 6517A Electrometer와 LeCroy사의 62Xi Oscilloscope가 사용되었다. 고 에너지 방사선이 인체 및 팬텀에 조사될 경우, 이차 전자의 생성 및 전자 산란으로 인하여 심부 선량의 최대선량을 가지는 깊이가 에너지 세기에 따라 달라진다^[6]. 따라서, 본 연구에서 사용된 6 MV 가속전압에 대하여 하부에 10 cm 두께의 Slab Phantom을 Build-up materials로 형성하고 제작된 검출기를 놓은 이후 상부에 1.5 cm 두께의 Slab Phantom을 형성하였다.

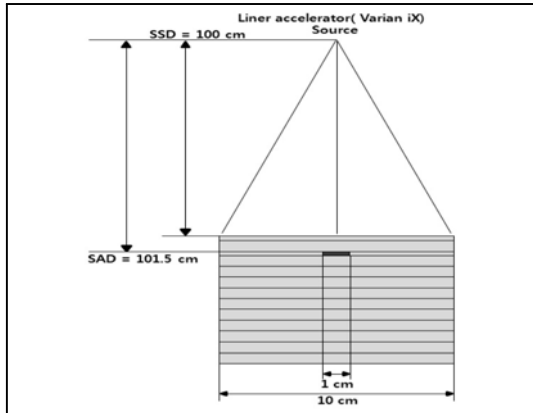


Figure 1. Schematic Diagram of SSD and Build-up Setting

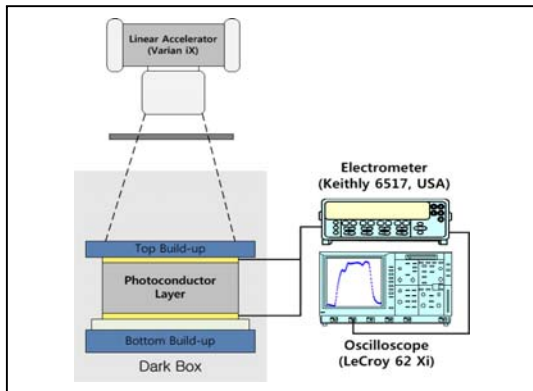


Figure 2. Schematic Diagram of Electrical Measurement

Figure 1은 실험 모식도를 나타낸 것으로, 방사선원으로부터 표면까지의 거리(Source to Surface Distance, SSD)는 100 cm으로 위치시켰다. 측정 항목은 재현성(Reproducibility), 선형성(Linearity), Pulse-rate Response로 각 실험에 의한 결과는 국제 규격인 IEC에서 권고하고 있는 기준 사항에 적합한지를 평가하였다. Figure 2는 제작된 검출기의 전기적 특성을 확인하기 위한 모식도 이다. 선형가속기(LINAC)의 가속전압은 6 MV로 고정하고 조사선량을 10 MU에서 800 MU까지 변화시켜가며 제작된 검출기에서 발생하는 전기적 신호량을 측정함으로써 선형성을 확인하였으며 재현성은 6 MV, 100 MU의 동일한 조건에서 5회 반복 조사를 통하여 측정된 신호량의 변화를 측정함으로써 평가하였다.

Ⅲ. 결과

Figure 3에서는 선형가속기(LINAC)의 Beam Pulse와 이에 상응하는 물질에서의 반응 신호를 측정된 결과를 보여주고 있는데, 선형가속기(LINAC)의 제어부에서 나타나는 출력 신호와 물질에서 발생하는 전하 캐리어에 의한 전기적 신호를 확인한 결과 신호의 일치성을 확인할 수 있었다. 이와 같은 Pulse-rate에 대한 일치성은 요오드화수은(HgI₂)과 요오드화납(PbI₂)으로 제작된 각 검출기에서 유사한 특성을 나타내었다.

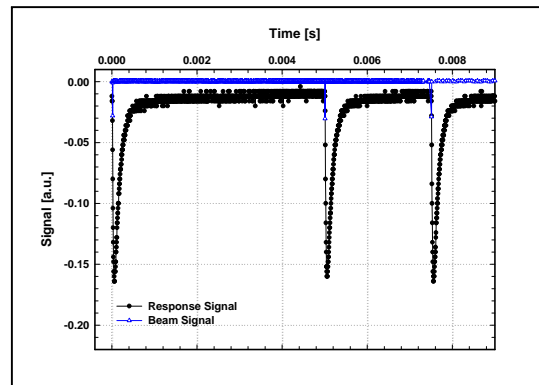


Figure 3. Consistency Evaluation of Pulse Rate Response

Figure 4는 요오드화수은(HgI₂) 검출기의 선형성 측정 결과를 나타내고 있는데, Monitor Unit이 증가함에 따라 광도전체에서 생성되는 전기적인 신호량도 선형적으로 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 광도전체에서 생성되는 펄스 신호는 ACQ Knowledge 프로그램을 이용하여 적분하였으며, 결과 분석은 IBM 사의 SPSS SigmaPlot 프로그램을 이용하였다. 측정값과 Fit Curve 상의 데이터를 비교한 결과, 300 MU에서 7.5%의 가장 큰 오차를 보였다. Figure 5는 요오드화수은(HgI₂) 검출기와 동일한 방식으로 측정된 요오드화납(PbI₂) 검출기의 선형성 측정 결과를 나타내고 있는데, Monitor Unit에 따른 전기적 신호의 선형성을 보여주고 있으며 최대 오차는 800 MU에서 1.7%의 값을 가지는 것으로 확인되었다.

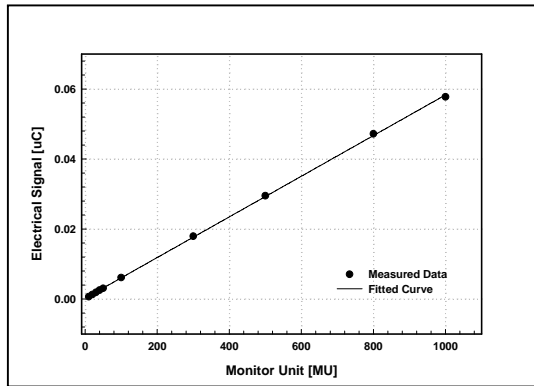


Figure 5. Linearity Property of Fabricated PbI₂ Detector

Table 1은 요오드화수은(HgI₂)과 요오드화납(PbI₂)의 재현성 측정 결과를 보여주고 있다. 재현성 실험은 선형가속기(LINAC)의 가속전압을 6 MV, Monitor Unit을 100 MU로 고정시킨 상황에서 5회 반복측정 하였다. 실험 결과, 요오드화수은(HgI₂) 검출기의 평균 신호량은 0.0218 μ C으로 나타났으며, 표준편차는 0.0017로 오차율은 약 7.8% 정도이다. 요오드화납(PbI₂) 검출기의 평균 신호량은 약 0.0058 μ C이며, 표준편차는 0.0007로 오차율은 약 12.2% 정도이다.

Table 1. Reproducibility of Fabricated HgI₂ and PbI₂ Detector

Materials	Electrical Signal (μ C)					평균값	표준 편차
	1회	2회	3회	4회	5회		
HgI ₂	0.021	0.023	0.022	0.021	0.022	0.0218	0.0017
PbI ₂	0.0061	0.0057	0.0052	0.0060	0.0058	0.00576	0.0007

IV. 고찰

본 연구에서는 고 에너지 방사선을 이용하는 치료 방사선의 선량계로써 광도전체 물질의 적용 가능성을 검증하고자 하였다. 실험에서 요오드화수은(HgI₂) 검출기는 최대 7.5%의 선형성 오차와 약 7.8%의 재현성 오차를 나타냈으며, 요오드화납(PbI₂) 검출기는 최대 1.7%의 선형성 오차와 약 12.2%의 재현성 오차를 나타내었다. 결과적으로, 이러한 결과는 국제 규격인 IEC의 권고사항 ‘선량 측정의 최대 오차는 2% 이내’ 라는 요구 조건의 일부만을 만족시켰다. 이러한 결과에 있

어서, 본 연구에서 수행되지 못한 두께 최적화와 제작 공정의 최적화 연구가 수행된다면 보다 기대할만한 결과를 도출할 수 있을 것으로 사료된다. 선형성 실험에서 각각의 검출기는 Monitor Unit의 증가에 따라 전기적 신호 역시 증가하였으며, 동일한 조건에서 반복적으로 전기적 신호를 획득하였을 때에도 일정한 신호 레벨을 나타내었기 때문에 향후 추가 연구가 요구된다. 따라서 두께 변화에 따른 전기적 신호 발생 추이를 확인하고 제작 공정상의 문제점을 개선 후, 요오드화수은(HgI₂)과 요오드화납(PbI₂)의 방사선 선량계 적용 가능성을 논하는 것이 타당하다고 판단된다.

Acknowledgement

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역 혁신인력양성사업과 일반연구지원사업의 지원을 받아 수행된 연구결과 임 (No. 20110013980)

참 고 문 헌

- [1] ICRU, "Determination of absorbed dose in patient irradiated by beams of X or gamma-rays in radiotherapy procedures", International Commission of Radiation Units and Measurements, Report No. 24, 1976.
- [2] D. A. Low, J. M. Moran, J. F. Dempsey, L. Dong and M. Oldham, "Dosimetry tools and techniques for IMRT", Med Phys., Vol. 38, pp. 1313-1338, 2011.
- [3] A. Tsukamoto, S. Yamada, T. Tomisaki, M. Tanaka, T. Sakaguchi, H. Asahina, K. Suzuki and M. Ikeda, "Development and evaluation of a large-area selenium-based flat-panel detector for real-time radiography and fluoroscopy", Proc. SPIE, Vol. 3659, pp. 14-23, 1999.
- [4] R. A. Street, S. E. Ready, K. Van Schuylenbergh, J. Ho, J. B. Boyce, P. Nysten, K. Shah, L. Melekhov and H. Hermon, "Comparison of PbI₂ and HgI₂ for direct detection active matrix x-ray image sensors", J. Appl. Phys., Vol. 91, pp. 3345-3355, 2002.
- [5] S. Adachi, N. Hori, K. Sato, S. Tokuda, T. Sato, K. Uehara, Y. Izumi, H. Nagata, Y. Yoshimura and S. Yamada, "Experimental evaluation of a-Se and CdTe flat-panel x-ray detectors for digital radiography and fluoroscopy", Proc. SPIE, Vol. 3977, pp. 38-47, 2000.
- [6] Faiz M. Khan, "The Physics of Radiation Therapy, Third Edition", Lippincott Williams & Wilkins, 2007.