

The Evaluation and Fabrication of Photoconductor Sensor for Quality Assurance of Radiation Therapy Devices

Sang Sik Kang,¹ Sung Jin Noh,² Bong Jae Jung,¹ Ci Chul Noh,¹ Ji Koon Park^{1,*}

¹Department of Radiological Science, International University of Korea

²Research Center, Dongnam Inst. of Radiological & Medical Sciences

Received: October 15, 2016. Revised: December 15, 2016. Accepted: December 31, 2016

ABSTRACT

Recently, a use of linear accelerator with a multi-leaf collimator(MLC) for radiation therapy is increasing. The importance of quality assurance (QA) for the linear accelerator is emphasized as the side effects of the inaccurate delivery of the radiation beam has been increased according to the high dose irradiation technique. In this study, The HgI₂ and PbI₂ photoconductor layer samples of 400 μm thickness were fabricated using sedimentation method among particle-in-binder technology. From the fabricated samples, the electrical properties(dark current, output current, response properties and linearity) were investigated. From the experimental results, HgI₂ has good charge signal generation and linearity. Finally, from the signal response results about various thickness of HgI₂ sensor, the signal creation efficiency of 400 μm thickness of HgI₂ sensor has the highest value and the excellent reproducibility below ±2.5 %.

Key Words: mercuric iodide, lead iodide, radiation therapy, quality assurance

I. INTRODUCTION

최근 소조사면을 이용한 방사선 수술방법 중 선형가속기의 급속적인 발전과 더불어 선형가속기에 방사선 수술 전용 콘을 부착하여 동일한 면(Coplanar) 및 동일한 평면이 아닌 면(Non-Coplanar)에서 전자조사나 회전 조사를 시행하는 방법이 이용되고 있다. 이러한 선형가속기를 기반으로 한 방사선수술에 이용되는 조사면의 크기는 통상적인 방사선 치료에 사용되는 조사면의 크기보다 현저히 작게 되며, 이에 따른 소조사면의 선량특성에 관한 정확한 측정이 요구되고 있다. 일반적으로 소조사면의 선량측정은 열형광선량계(TLD), 다이오드 검출기(diode detector), 이온전리함(ionization chamber), 다이아몬드 검출기(diamond detector), 필름 등을 이용하고 있으며, 각 검출기의 소조사면 선량계측에 있어 장단점은 여러 문헌에서 보고되어 왔다.^[1-2]

Bjarngard 등은 소조사면의 선량계측을 위해서는 조사면 직경의 절반 보다 작은 크기의 검출기 사용을 제안하였으며, Surendra 등과 Heydarian 등은 다이오드 검출기 및 이온전리함 보다 조직등가물질에 가까운(Z=6) 다이아몬드 검출기가 정확한 선량계측을 할 수 있다고 제안하였다. 하지만 다이아몬드 검출기는 선량률의 존성이 높고 검출기 비용이 매우 비싸다는 것이 단점으로 나타났다. 그리고 Dawson 등은 실험을 통하여 이온전리함으로 소조사면의 20 ~ 80 %의 반응영역을 측정하기 위해서는 필름이나 다이오드 검출기와는 다르게 보정계수의 적용이 필요하다고 설명하고 있다.^[3-4]

이에 본 연구에서는 소조사면의 정확한 선량 측정과 동시에 광량 측정이 가능한 광도전체 물질 기반의 검출기를 개발하기 위한 기초연구로써 입자침전법을 이용하여 광도전체 변환층을 제작하여 전기적 반응특성을 평가함으로써, 기존에 사용되어 왔던 이온챔버, 필름 등의 선량계측기(dosimeter)의 대체 가능성을 제시

하고자 하였다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 광도전체 센서 제작

단일 픽셀의 변환층 제작을 위해 사용된 광도전체 물질은 Kojundo chemical lab. 社의 순도 99.999%의 mercury(II) iodide(HgI₂)와 lead(II) oxide(PbI₂)를 사용하였다. 변환층 제작을 위한 필름층 제작방법에는 기존 물리적 증착 또는 화학적 증착법에 비해 상온에서 대면적으로 제조가 용이한 입자-바인더(Particle-in-Binder) 침전방식을 이용하였다.

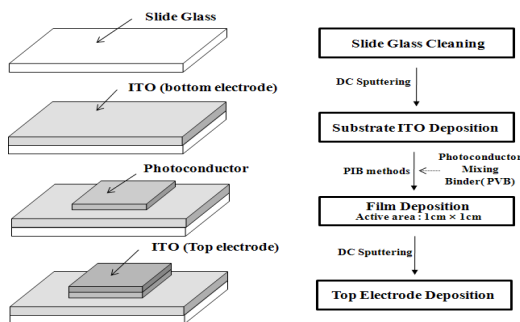


Fig. 1. Fabrication process of photoconductor sensor.

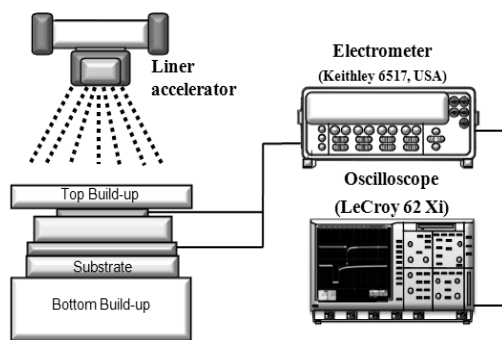


Fig. 2. The Set-up diagram for electrical response experiments of photoconductor sensor in high energy X-ray

바인더 용액은 DGMA(Diethylen Glycol Monobutyl Ether Acetate)와 분산제 DGME(Diethylen Glycol Monooethyl Ether)를 혼합한 용매에 폴리머 물질(Poly-Vinyl-Butral)을 첨가하여 제조하였다. 광도전체 변환층 시편 제작을 위해 ITO(Indium Thin Oxide)가 형성되어있는 유리 기판 상부에 금속 마스크를 부착한 후 바인더와

혼합된 광도전체 슬러지를 침전시킨 후, 60도에서 일정 시간 열처리를 하여 용매를 증발시킨 후, 상부 전극으로 ITO를 DC 스퍼터링 장비를 이용하여 1 cm × 1 cm의 면적으로 증착하였다. 광도전체 변환층의 두께는 약 400 μm 내외로 제작하였다. 광도전체 센서 샘플 제작을 위한 공정모식도는 Fig 1.과 같다. 제작된 시편은 선형가속기에 조사되는 고에너지 X선 에너지 대역에 대한 전기적 반응성 평가로써 검출기 적용 가능성을 검증하였다.

2. X선 펄스 빔에 대한 광도전체 센서의 전기적 반응특성 평가

소조사면에서의 효율이 우수한 고에너지 X선의 선량을 측정하는 정도관리 검출기 개발을 위해 전기적 반응특성을 평가하였다. 제작된 광도전체 센서의 X선에 대한 전기적 반응특성을 평가하기 위한 측정 개략도는 Fig 2.와 같다. X선원과 시편과의 거리 SSD(source to surface distance)를 100 cm으로 고정시킨 후, X선 에너지와 및 강도의 변화에 따른 생성된 전기적 응답 신호를 획득하였다. 측정을 위해 사용된 계측기는 미소전위계(Electrometer, Keithley, 6517A, USA)와 디지털 오실로스코프(LeCroy, 62 Xi, USA)를 사용하였으며, 동작전압은 1V/μm를 인가하였으며, 미소전위계(electrometer)를 통하여 수집된 전하의 출력 신호를 오실로스코프로 확인 후 디지털 데이터로 저장하였다.

III. RESULT AND DISCUSSION

제작된 광도전체 센서 시편(PbI₂, HgI₂)에 대한 우수한 고에너지 X선 변환 특성들을 검증하기 위하여 암전류(dark current), 출력전류(output current), 상승시간(rising time), 감쇠시간(falling time) 및 지연시간(delay time)에 대한 실험을 통하여 검출 특성 분석을 하였다. 미소전위계를 통하여 제작된 시편에 1V/μm의 전기장을 인가한 후, Elekta 社의 Synergy Linac.를 사용하여 일반적으로 암 환자 치료용 조건인 가속전압 10 MV에 선량을 400 MU/min로 X-선을 시편에 조사 시 시편의 전기적 반응 특성 평가 결과를 표 1.에 나타내었다.

측정 결과, HgI₂ 시편은 출력 전류가 약 2.1 A로 PbI₂에 비해 20배 이상 높은 값을 보인 반면, 암전류는 약 0.12 A로 다소 높았다. 또한, 신호 응답특성은 상승시

간은 유사한 값을 보였으나, 감쇠시간 및 응답 지연시간은 PbI_2 가 다소 우수한 특성을 보임을 알 수 있었다. 이러한 결과는 기존 사용되고 있는 Si 기반의 반도체 검출기에 비해 우수한 성능을 보이는데, Si 반도체는 밴드갭이 1 eV 이하로 낮기 때문에 암전류가 높은 반면 낮은 원자번호로 인해 고에너지 X선에 대한 흡수효율이 낮아 신호발생량 또한 낮아 수 mm 이상의 변환층 두께를 제작해야 하는 문제점이 있다.

Tab. 1. electrical response properties of the fabricated photoconductor sensor (HgI_2 , PbI_2)

Energy (MV): 10	Dose Rate (MU/min):400	Electric Field:1 V/ μ m
Electrical properties	HgI_2	PbI_2
Dark current(A)	0.12	0.07
Output current(A)	2.1	0.1
Rising time (From 10% to 90%, sec)	1.45×10^{-5}	1.15×10^{-5}
Falling time (From 90% to 10%, sec)	2.2×10^{-5}	3.28×10^{-5}
Response delay time(sec)	1.6×10^{-5}	1.88×10^{-6}

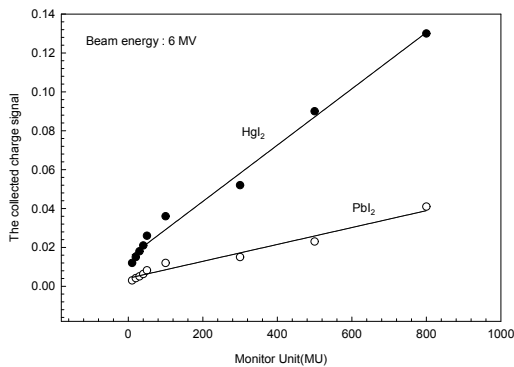


Fig. 3. X-ray induced charge signal as a function of dose (MU) of the fabrication photoconductor sensor.

이에 비해 HgI_2 는 상온에서 2~3 eV 정도로 넓은 밴드갭으로 인하여 암전류는 낮으며, 높은 원자번호를 가지기 때문에 수백 마이크로 이하의 두께에서도 신호발생효율이 우수하여 높은 신호대잡음비를 가지는 것을 알 수 있었다.

치료영역의 고에너지 X선 소조사면의 선량분포 정도관리를 위한 검출기는 조사선량에 대한 우수한 선형성을 가져야 한다. 이러한 특성을 평가하기 위해서 제

작된 두 시편에 대한 선량(MU)의 증가에 따른 전하 신호발생량을 측정하였으며, 측정 결과는 Fig. 3과 같다. MU 증가에 따른 신호발생량은 PbI_2 에 비해 HgI_2 가 월등히 높은 값을 보였으며, 두 시편 모두 선형성이 양호한 것을 확인할 수 있었다.

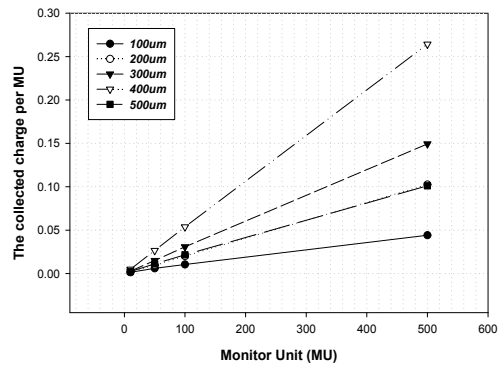


Fig. 4. X-ray induced charge signal per MU as a function of thickness of HgI_2 based photoconductor sensor.

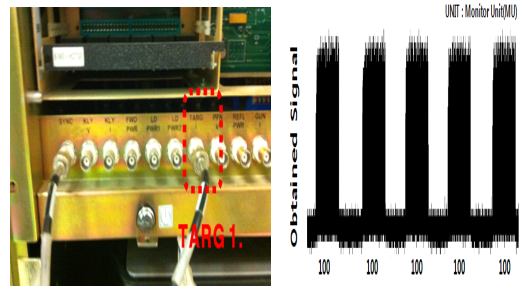


Fig. 5. Set-up image and obtained signal waves for reproducibility experiments of HgI_2 based photoconductor sensor

또한, Fig. 4와 같이 고에너지 X선에 대해 높은 신호효율을 보인 HgI_2 기반의 광도전체 센서의 두께별 MU 함수에 대한 단위 MU당 신호발생량은 1 V/ μ m의 전기장에서 400 μ m 두께의 HgI_2 샘플에서 가장 높은 신호발생효율을 보였다.

끝으로 방사선치료기기 정도관리를 위한 센서는 재현성이 우수해야 한다. 이를 확인하기 위해 연속 X선 조사에 대해 획득된 신호 파형을 Fig. 5에 나타내었으며, 그림에서와 같이 5번의 연속 조사에서 $\pm 2.5\%$ 미만의 신호편차를 보여 재현성이 우수한 것을 확인할 수 있었다.

IV. CONCLUSION

본 연구는 고에너지 X선에 대한 소조사면 선량분포를 확인하여 장비의 정도관리를 위한 광도전체 변환층의 제작 및 기초연구를 수행하였다. 기존의 반도체 검출기에 비해 HgI₂ 및 PbI₂와 같은 광도전체는 상온에서 입자침전법으로 제조가 가능하고, 원자번호가 높아 고에너지 X선에 대한 변환효율이 우수하였다. 제작된 변환층에 대한 전기적 특성 평가 결과, PbI₂에 비해 HgI₂가 우수한 출력전류를 보였으나, 높은 암전류 및 다소 긴 응답특성을 보임을 확인할 수 있었다. 또한, 두 시편 모두 선량에 대한 우수한 선형성을 보였다.

이러한 결과를 바탕으로 HgI₂ 기반의 센서의 두께에 따른 신호발생효율을 측정한 결과 400 μm 두께에서 가장 높은 값을 보였으며, 연속 X선 조사에서도 좋은 재현성을 보임을 알 수 있었다. 이러한 결과를 바탕으로 향후 HgI₂의 암전류 및 응답특성을 향상시키기 위한 추가연구를 진행하여 광도전체 센서의 성능을 향상시킨다면 치료방사선 정도관리를 위한 센서 개발이 가능할 것으로 사료된다.

Acknowledgement

This work was supported by International University of Korea's research fund in 2016.

Reference

- [1] Dumscombe P., Humphreys S., Leszczynsky K., "A test tool for the visual verification of light and radiation fields using film or an electronic portal imaging device", Medical physics, Vol. 26, pp. 239-243, 1999.
- [2] Tomadsen B., Ho A., Shahabi S., "The use of Polaroid TPX radiographic film for light localization-radiation fields coincidence testing", Physics of Medical Biology, Vol. 35, pp. 115-146, 1990.
- [3] Arian Bel, Pieter H. Vos, Patric T. R. Rodrigus, Carlien L. Creutzberg, Andries G. Visser, Joep C. Stroom, Joos V. Lebesque, "High precision prostate cancer irradiation by clinical application of an off-line patient set-up verification procedure, using portal imaging", International Journal of Radiation Oncology. Biol

ogy. Physics, Vol. 35, pp. 321-332, 1996.

- [4] Althof V. G., Boer J. C., Huizenga H., Stroom J. C., Visser A. G., Swanenburg B. N., "Physical characteristics of a commercial electronic portal imaging device", Medical physics, Vol. 23, pp. 1845-1855.

방사선치료기기 정도관리를 위한 광도전체 센서 제작 및 평가

강상식,¹ 노성진,² 정봉재,¹ 노시철,¹ 박지균^{1,*}

¹한국국제대학교 방사선학과

²동남권 원자력의학원

요 약

최근 다엽콜리메이터를 부착한 선형가속기를 이용한 방사선수술의 빈도가 점차 높아지고 있다. 이러한 정교한 방사선 수술은 소조사면 내에 고선량의 방사선이 집중적으로 조사되기 때문에 체계적이고 정확한 정도관리가 필수적이다. 본 연구는 PIB(Particle in Binder) 방식 중 침전법을 이용하여 400 μm 두께의 요오드화납(PbI_2)과 요오드화수은(HgI_2) 광도전체 센서 시편을 제작하였다. 제작된 시편의 전기적 특성은 암전류, 출력전류, 응답특성 및 선형성을 평가하였다. 평가 결과, HgI_2 가 우수한 신호발생량과 선형성을 보였다. 끝으로, 두께에 따른 HgI_2 센서의 신호반응 특성 결과, 400 μm 두께에서 신호발생효율이 가장 높았고, $\pm 2.5\%$ 이내의 우수한 재현성을 보였다.

중심단어: 요오드화수은, 요오드화납, 방사선치료, 정도관리