

광중합 조직등가 플라스틱 선량계의 개발과 특성평가

김성환*, 김광수**, 김홍주**

*청주대학교 방사선학과

**경북대학교 물리학과

e-mail:kimsh@cju.ac.kr

Development and Characterization of Tissue Equivalent Plastic Dosimeter

Sunghwan Kim*, Gwangsoo Kim**, Hongjoo Kim**

*Dept. of Radiological Science, Cheongju University

**Dept. of Physics, Kyungpook National University

요 약

플라스틱 섬광체는 섬광시간 특성이 빠르고, 대형 검출기 제작이 용이하며, 감마선과 중성자가 혼합된 방사선 환경에서 이들을 분리 측정할 수 있다. 또한, 플라스틱섬광체는 목적에 따라 크기와 형상을 용이하게 제작할 수 있으며, 그 구성이 인체 조직과 유사하여 고에너지 측정, 광자빔 등 다양한 용도로 사용되고 있다. 본 연구에서는 3차원 프린터 활용이 가능한 광중합 인체조직등가 플라스틱 섬광체를 제작하고 선량계로서의 특성을 평가하였다. 플라스틱섬광체는 폴리메틸메타아크릴레이트를 기반으로 제1섬광체로 PPO, 파장이동 섬광체로 POPOP, 광개시제로 Irgacure 819를 사용하였고, 고압수은램프로 광중합한 후 플라스틱을 직경 5 mm, 길이 2 cm로 절단한 후 연마하여 방사선선량계 센서를 사용하였으며, 의료용 선형가속기 (Varian CLINAC iX)의 6 및 10 MV X선에 대하여 100 ~ 600 MU/min 선량을 범위에 대한 선량계적 특성을 평가하여 선량계로서의 활용가능성을 평가하였다.

2. 재료 및 방법

1. 서론

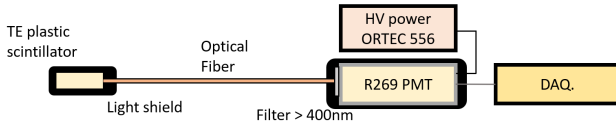
플라스틱 섬광체는 입사된 방사선을 빛으로 변환하여 방사선을 측정하는 유기물 방사선 센서로 섬광시간특성이 매우 빠르고, 가격이 저렴하며 대형 검출기 제작이 용이한 장점이 있다[1]. 또한, 목적에 따라 크기와 형상을 용이하게 제작할 수 있고, 구성이 인체 조직과 유사하여 의료용 선량계[2], 고에너지 측정, 광자빔 등 다양한 용도로 사용되고 있다. 방사선 모니터링 및 선량계로서 유용한 특성을 가지며 특히 방사선 치료에서 플라스틱 섬광체는 환자의 치료선량 평가에 유용하게 사용되고 있다[3]

본 연구에서는 기존 플라스틱 섬광체에 비하여 인체 조직등가성을 높인 폴리메틸메타아크릴레이트 기반 플라스틱 섬광체를 방사선치료 선량 측정용 선량계로 제작하였다. 개발된 플라스틱 섬광체는 선량계로서 방사선 치료 중 종양 및 주요 정상 장기의 흡수선량 및 체적선량을 측정하기 위해 3D 프린팅 기술 적용을 감안하여 설계하였으며, 광중합 된 플라스틱 섬광체의 선량계로서 가능성을 확인하였다.

플라스틱 섬광체는 유기용매에 단량체를 용해시켜 열중합, 광중합 등의 중합 공정을 거쳐 제작된다. 플라스틱 섬광체로 주로 사용되는 유기 유기섬광체로는 PPO (diphenyloxazole), p-terphenyl, stilbene 등이 있으며, 짧은 발광 파장을 장파장으로 이동시키기 위해 Bis(5-phenyloxazol-2-yl) benzene 등을 혼합하여 사용되기도 한다. 본 연구에서 향후 3D 프린팅 활용을 감안하여 광중합 방법을 통해 조직등가 물질로 PMMA (poly-methyl meta-acrylate) 플라스틱 섬광체를 제작하였다. MMA 단량체에, 2.0 wt% PPO, 0.1 wt% POPOP 및 1.0 wt% Irgacure 819를 사용하였다. PPO, POPOP 및 Irgacure 819는 각각 1차 유기 섬광체, 파장 이동기 및 광개시제로 사용되었으며, 고압수은램프로 광중합한 후 플라스틱을 직경 5 mm, 길이 2 cm로 절단하여 연마하였다.

중합된 PMMA 기반 플라스틱 섬광체의 X선 방출 스펙트럼은 PAL-II에서 X선(전자 에너지 = 3 GeV, 빔 전류 251.43 mA)에 의해 여기된 광검출 분광 광도계(Avaspec-ULS2048 LTEC, Avantes Co.)로 측정하였다. Fig. 1은 개발된 측정기의 개략도를 보여주고 있으며, PMMA 기반 플라스틱 섬광체는 광 케이블과 결합되어 R269 (Hamamatsu Co.) PMT에서

측정되며, 출력 신호는 DAQ에서 증폭되어 디지털 신호로 변환되어 데이터로 수집하였다. 데이터 분해능은 12 bit, 시간 분해능은 600 ns로 설정했으며, 가능한 최대 데이터 샘플링 속도는 10 GS/s 이었다.

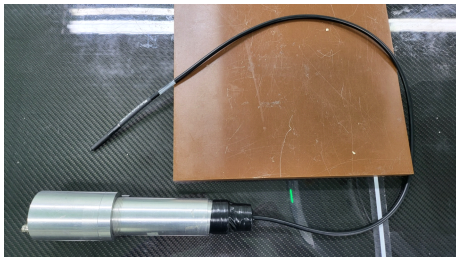


[그림 1] PMMA 기반 플라스틱 섬광체 선량계의 블록도

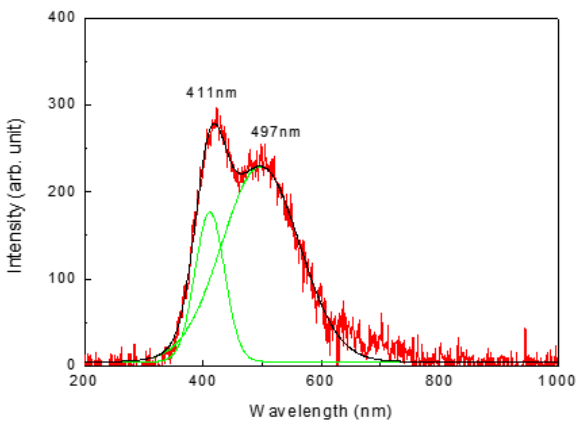
3. 결과 및 검토

3.1 섬광특성

Fig. 2는 개발된 PMMA 조직등가 플라스틱 섬광체를 이용하여 개발된 선량계 프로브를 보여주고 있다. 선량계의 크기는 현재 방사선치료선량의 표준으로 사용되고 있는 Farmer-type 이온 챔버와 같은 크기로 설계 및 제작하였다.



[그림 2] 제작된 PMMA 기반 플라스틱 섬광체 선량계 프로브 사진



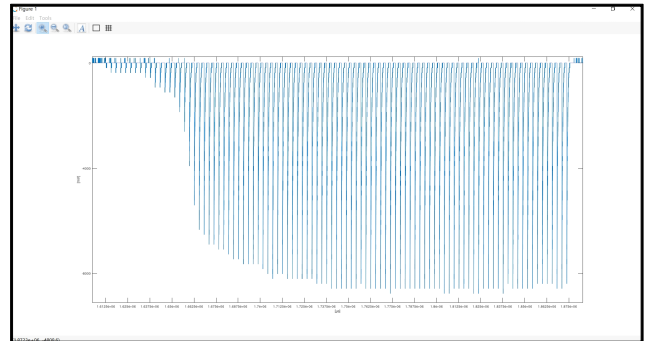
[그림 3] 제작된 PMMA 기반 플라스틱 섬광체의 섬광 스펙트럼

Fig. 3은 제작된 PMMA 기반 플라스틱 섬광체의 X선 여기에서 따른 발광 스펙트럼이다. 발광 스펙트럼 파장은 350 nm에서 700 nm 사이에 위치하며 411 nm 및 497 nm에서 피크를 나타내었다. 제작된 플라스틱 섬광체의 발광 파장은 제2섬광체로 사용된 POPOP의 섬광 특성에 기인한 것으로[4] 섬광

파장이 PMT, PD, Si-PM 등과 같은 광검출기의 양자 효율과 잘 매칭되었다.

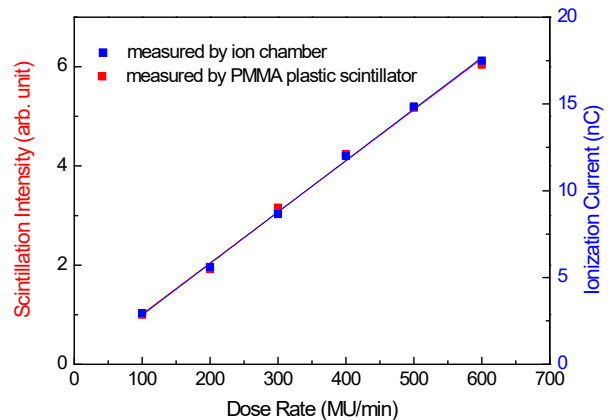
3.2 선량계 특성

방사선 치료 및 고선량을 선량계에 적용할 PMMA 기반 선량계의 가능성을 확인하기 위해 의료용 선형가속기에 대한 반응 특성을 평가하였다. 실험에 사용된 의료용 선형가속기는 안동병원의 Varian CLINAC iX이었으며, SSD 100 cm 위치에서 선량을 100 ~ 600 MU/min에 대하여 선량률 및 선량의 준성을 평가하였다. 선형가속기의 펄스 주파수는 100 Hz이었고, 펄스 폭은 약 3 us이었다. 그림 4는 600 ns 데이터 샘플 분해능을 가진 선량계측 시스템을 사용하여 측정된 선형가속기의 출력 데이터로서 측정된 출력 신호가 펄스 주파수와 잘 일치함을 확인하였다.



[그림 4] 제작된 PMMA 기반 플라스틱 섬광체로 측정된 선형가속기의 출력 특성

그림 5는 조사된 선량률과 제작된 선량계로 측정된 결과의 선형성을 보여준다. 이때 X선 에너지는 10 MV이었고, 선량은 100 MU이었고 실험 선량률 범위에서 R-square 0.999로 우수한 선형성을 보였으며, 표준 선량계인 전리함 측정결과와 일치된 결과를 확인하였다.

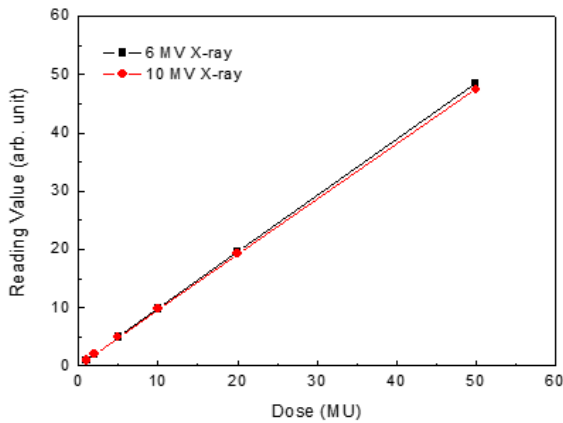


[그림 5] 10 MV X선의 선량률에 대한 제작된 PMMA 기반 플라스틱 섬광체 측정값의 직선성

참고문헌

- [1] Sujung Min, Youngsu Kim, Kwang-Hoon Ko, Bumkyung Seo, JaeHak Cheong, Changhyun Roh, Sangbum Hong, Sangbum Hong, "Optimization of Plastic Scintillator for Detection of Gamma-Rays: Simulation and Experimental Study", J. Chemosensors, Vol. 9, Iss. 0, 10.3390/chemosensors9090239.
- [2] Ryo Horita, Seiichi Yamamoto, Katsunori Yogo, Yoshiyuki Hirano, Kuniyasu Okudaira, Fumitak Kawabata, Takayoshi Nakaya, Masataka Komori, Hiroshi Oguchi, "Estimation of the three-dimensional (3D) dose distribution of electron beams from medical linear accelerator (LINAC) using plastic scintillator plate", Rad. Meas., Vol. 124, 103, 2019.
- [3] Seonghoon Jeong, Myonggeun Yoon, Kwangzoo Chung, Sung Hwan Ahn, Boram Lee, Jaehyeon Seo, "Clinical application of a gantry-attachable plastic scintillating plate dosimetry system in pencil beam scanning proton therapy beam monitoring", Physica Medica Vol. 77, 181, 2020.
- [4] Subha Chakraborty, Katherine Harris, and Mengbing Huang, "Photoluminescence properties of polystyrene-hosted fluorophore thin films", AIP Advances, Vol. 6, 125113-1, 2016.

그림 6은 조사된 선량과 제작된 선량계로 측정한 결과의 선형성을 보여준다. 이때 X선 에너지는 6 및 10 MV이었고, 선량률은 300 MU/min이었으며, 1 ~ 50 MU 선량 범위에서 R-square 0.98로 우수한 선형성을 보였다.



[그림 6] 6 및 10 MV X선의 선량에 대한 제작된 PMMA 기반 플라스틱 섬광체 측정값의 직선성

4. 결론

본 연구에서는 광중합에 의한 조직등가 PMMA 기반 플라스틱 섬광체를 제작하고, 방사선 치료용 6 및 10 MV X선에 대하여 제작된 플라스틱 섬광체의 특성을 조사하였다. 플라스틱 섬광체의 방출 파장 스펙트럼은 350 ~ 700 nm 범위에 위치하며 411 nm 및 497 nm에서 피크를 확인하였으며, 의료용 선형가속기의 10 MV X선에 대하여 선량을 100 ~ 600 MU/min에 대하여 우수한 직선성을 확인하였다. 또한 6 및 10 MV X선의 1 ~ 50 MU 선량범위에서 우수한 직선성을 확인하였다. 제작된 광중합 PMMA 플라스틱 섬광체는 인체와 원자번호 및 밀도가 유사하여 방사선량 측정의 장점이 있다. 따라서 인체에 사용하는 경우 장기나 표적에 대한 체적선량 평가에 도움이 될 것이며, 각종 비표준화 및 복합형 방사선 측정에 유용하게 사용될 것으로 사료된다.

Acknowledgements

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) Grant funded by the Ministry of Science and ICT (MSIT) (NRF-2021R1F1A1059687), experiments at PLS-II were supported in part by MSIT and POSTECH and thanks to the staff of the MC-50 Cyclotron Laboratory (KIRAMS), for the excellent operation and their support during the experiment.