

고 에너지 전자선 측정을 위한 이동형 고 분해능 광섬유 방사선 센서 개발

조동현¹ · 장경원¹ · 유욱재¹
이봉수¹ · 김신² · 조효성³

¹ 건국대학교 의료생명대학 의공학학과,

의공학실용기술연구소

*380-701 충북 충주시 단월동

건국대학교 의료생명대학 의공학학과

전화: 043-856-0971,

Fax: 043-851-0620,

E-mail: bslee@kku.ac.kr

² 제주대학교 공과대학 에너지공학과

³ 연세대학교 보건대학 방사선학과

Development of a Movable High-resolution Fiber-optic Radiation Sensor for Measuring High Energy Electron Beam

Dong Hyun Cho¹, Kyoung Won Jang¹, Wook Jae Yoo¹,
Bongsoo Lee¹,
Sin Kim² and Hyosung Cho³

¹ School of Biomedical Engineering, College of
Biomedical & Health Science, Research Institute
of Biomedical Engineering, Konkuk University,
Chungju 380-701, Republic of Korea

Abstract

The aim of this study is to develop a new method for measuring the one-dimensional dose distribution of high-energy electron using a miniature fiber-optic radiation sensor. The measurements are made by a thin plastic

optical fiber with an organic scintillating sensor tip. The scintillating light in the visible wavelength range is guided to a silicon photodiode by plastic optical fiber in order to convert light output to electrical signal. The one-dimensional spatial dependence of electron beam is measured by moving the sensor tip with a uniform speed. It is shown that this fiber-optic radiation sensor has better spatial resolution than conventional ion chamber and it takes much less time to measure one-dimensional dose distribution in the high radiation fields. The reproducibility of measurements and linear response versus dose-rate are also examined in this study. The real-time and the high spatial resolution measurements due to the small detector volume make this system suitable for the dosimetry in the radiation therapy or nondestructive assay.

Keywords : Radiation sensor, Optical fiber, Scintillating light, Dose distribution

서 론

최근 근접방사선치료(brachytherapy)나 세기 조절방사선치료(Intensity Modulated Radiation Therapy), 영상유도방사선치료(Image Guided Radiation Therapy) 등과 같은 방사선 치료 기술들은 복잡한 선량 분포를 다루며 더욱 정확한 선량 계측을 요구한다. 이와 같은 이유로 방사선 계측기 또한 높은 분해능을 위해 작은 볼륨(volume)을 가져야 하며 보정이 필요 없는 물과 동가(water-equivalence)인 재질로 제작되어야 한다^[1]. 본 연구에 사용된 광섬유 방사선 센서는 작은 볼륨에 물과 동가인 성질을 가지는 유기섬 광체(organic scintillator)와 광섬유를 이용하여 제작되며 고에너지 전자선이 광섬유 방사선 센서의 섬광체(scintillator) 부분에 조사되었을 때 광섬유를 통하여 광섬유 끝단에 전달된 섬광체의 섬광량을 측정하여 방사선 선량을 계측하게 된다

[2.3]. 이렇게 제작된 광섬유 방사선 센서는 유연성, 센서제작의 용이성, 신호의 장거리전달 능력, 전자기파에 대한 무간섭 등 방사선 계측에 있어 많은 장점을 가지고 있다^[4].

이 연구의 목적은 유기 섬광체를 이용하여 치료용 선형가속기(clinical linear accelerator, CLINAC)로부터 방출되는 고 에너지 전자선의 일차원적 정보를 측정하는 광섬유 방사선 센서의 제작에 있다. 유기 섬광체에서 발생하는 섬광빛은 10 m 플라프틱 광섬유를 통해 실리콘 포토다이오드에 전달되고 아날로그 증폭기를 거쳐 컴퓨터에 저장된다. 고 에너지 전자선의 분포도를 측정하기 위해 광섬유 방사선 센서는 스테핑 모터에 의해 전자선 영역에서 일정한 속도를 유지하며 한 방향으로 움직인다. 그리고 광섬유 방사선 센서의 공간 분해능 측정을 위해 슬릿의 간격과 센서의 속도를 변화하여 실험하였다. 실험에 사용된 전자선의 에너지는 6, 12 MeV를 사용하였다.

실험재료 및 방법

본 연구에 사용된 광섬유는 멀티모드 플라스틱 광섬유 (CK40, Mitsubishi)로서 외각의 지름이 1 mm, 클래딩(cladding)의 두께는 0.02 mm이다. 광섬유의 코어(core) 부분은 PMMA 재질로 굴절률은 1.49이고 클래딩 부분은 플루오로폴리머 (fluoropolymer)로 굴절률은 1.402이며, 광섬유의 개구수(numerical aperture)는 0.504이다. 연구에 사용된 섬광체는 1 mm 직경의 유기섬광체 (BCF-20, Bicron)를 사용하였다.

Fig. 1은 유기 섬광체와 플라스틱 광섬유를 사용하여 제작한 광섬유 방사선 센서의 센서 팁을 보여주고 있다. 유기 섬광체와 플라스틱 광섬유의 양 끝단을 연마하여 결합, 부착하여 센서 팁을 제작하였고, 섬광체 센서부에서 발생하는 빛이 외부로 손실되는 것을 막기 위해 섬광체 주위에 반사페인트 (TiO₂)를 도포하여 전달 효율을 높여 주었다.



Figure 1. Fiber-optic radiation sensor tip using an organic scintillator and plastic optical fiber

Fig. 2는 실험 구성도를 보여주고 있다. 유기 섬광체에서 발생된 빛은 10 m 길이의 플라스틱 광섬유를 통하여 포토다이오드 (S1336-18BK, Hamamatsu Inc.)로 전달되고 아날로그 증폭기에 의해 증폭된다. 전자선원으로는 국립암센터의 치료용 선형 가속기 (Varian Clinac 2100CD)에서 발생하는 조사야 (field size)가 10 cm×10 cm인 6, 12 MeV 에너지의 전자선을 이용하였다.

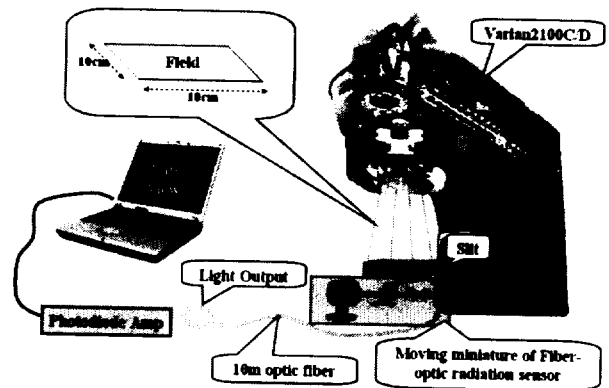


Figure 2. Experimental setup for the one-dimensional measurements using a moving miniature of fiber-optic radiation sensor

Fig. 3은 광섬유 방사선 센서의 공간 분해능을 측정하기 위하여 얇은 철판(stainless steel)을 이용해서 만든 슬릿을 보여주고 있다. 슬릿의 간격은 1.3 mm부터 9.1 mm까지 1.3 mm 간격으로 증가하고, 슬릿 밑으로 광섬유 방사선 센서가 일정한 속도로 이동하며 전자선에 의해 발생하는 섬광량을 측정한다.

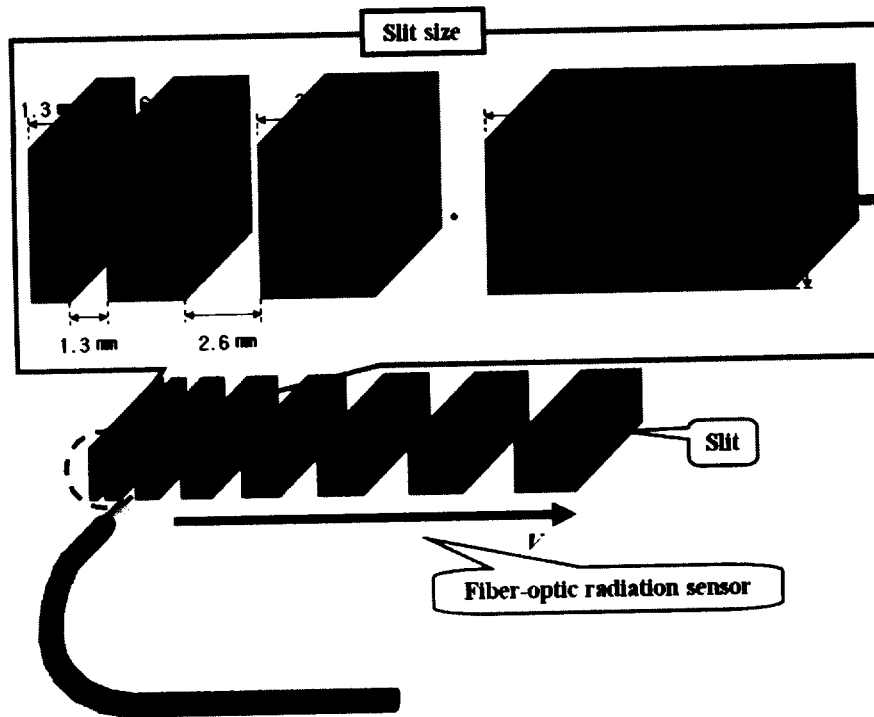


Figure 3. Schematic diagram of stainless steel slits for measuring a spatial resolution of a fiber-optic radiation sensor.

실험 결과

본 실험결과들은 광섬유 방사선 센서에서 발생된 섬광빛을 포토다이오드-증폭기 시스템을 거쳐 증폭한 후, 60Hz notch filter를 사용하여 60Hz 전원 노이즈를 제거한 결과들이다.

Fig. 4는 전자선의 조사야가 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$, 에너지가 6 MeV 일 때 광섬유 방사선 센서의 속도를 변화하며 실험한 결과이다. Fig. 4의 첫 번째 그래프는 광섬유 방사선 센서의 이동 속도가 0.0035 m/sec 일 때의 결과로 첫 번째 1.3 mm 슬릿을 제외한 6개 슬릿에서 명확히 광신호가 측정되었다.

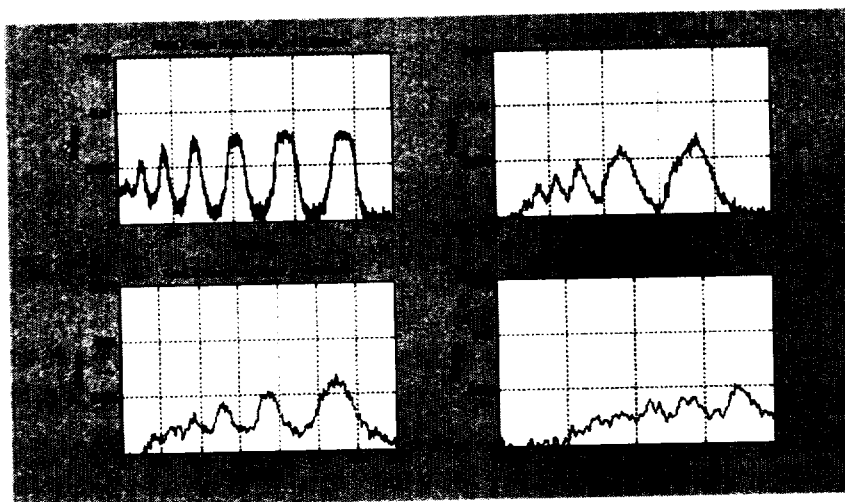


Figure 4. Amplified output voltages of a photodiode at the same position below slits observed from 6 MeV and $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ field sized electron beam irradiation. The velocities of a moving fiber-optic radiation sensor are 0.0035, 0.025, 0.03 and 0.05 m/sec respectively.

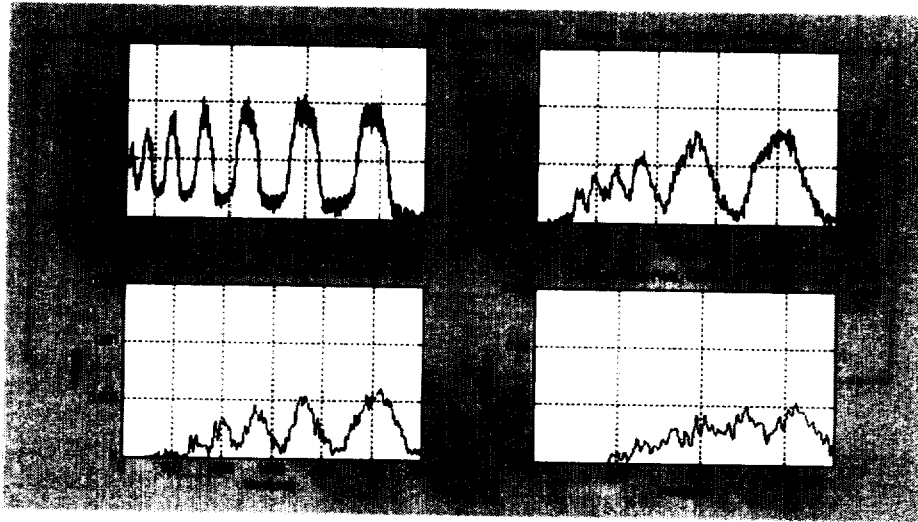


Figure 5. Amplified output voltages of a photodiode at the same position below slits observed from 12 MeV and $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ field sized electron beam irradiation. The velocities of a moving fiber-optic radiation sensor are 0.0035, 0.025, 0.03 and 0.05 m/sec respectively.

Fig. 4의 두 번째 그래프는 5개 슬릿에서 광신호가 구분되었고, 광섬유 방사선 센서의 이동 속도가 0.025 m/sec 일 때 공간 분해능은 약 3.9 mm 임을 알 수 있다. 세 번째, 네 번째 그래프에서는 광섬유 방사선 센서의 이동 속도가 증가함에 따라 출력 전압과 공간 분해능이 떨어지는 것을 알 수 있다. 그리고 신호의 파형이 광섬유 방사선 센서의 이동 속도가 감소함에 따라 포토다이오드의 측정 시간이 증가하여, 속도가 낮은 경우 구형파를 띠다가 속도가 높아짐에 따라 삼각파로 변하는 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 전자선의 조사야가 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$, 에너지가 12 MeV 일 때 광섬유 방사선 센서의 속도를 변화하며 실험한 결과를 보여주고 있다. Fig. 5의 첫 번째 그래프를 보면 7개 슬릿 모두에서 광신호의 구분이 가능하였고, 6 MeV로 실험한 Fig. 4의 첫 번째 그래프보다 출력전압 역시 높게 측정되었다. 전자선의 에너지가 높아지면 광섬유 방사선 센서의 공간 분해능이 증가한다는 것을 알 수 있다.

결 론

본 연구에서 유기 섬광체를 이용하여 제작된 광섬유 방사선 센서는 전자선의 분포도를 일차원, 실시간으로 측정하기 위해서 이동형 광섬유 센서 장치

로 제작되었다.

본 연구를 통해 얻은 실험 결과들은 광섬유 방사선 센서를 일정한 속도로 이동함으로써 일차원 고 에너지 전자선 조사선량 분포도의 측정이 가능함을 보여준다. 비록 이동형 광섬유 방사선 센서는 고정된 광섬유 센서보다 낮은 공간 분해능을 갖지만 일반적으로 사용되는 타 센서들에 비해 부피가 작기 때문에 비교적 높은 공간 분해능을 갖는다. 이동형 광섬유 방사선 센서는 인체를 구성하는 조직과 같은 성질의 센서부, 신호의 실시간 측정, 짧은 측정 시간, 저렴한 제조 가격, 보정의 용이성 등의 많은 장점을 가지고 있다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 원자력기초공동연구소사업(BAERI)의 지원에 의하여 이루어진 것임. (M2-0376-03-0002)

참 고 문 헌

1. B. M. Rogina, and B. Vojnovic,

- "Application of optical fiber sensors for radiation dosimetry," *Radiation Measurements*, vol. 26, no. 4, pp. 599-602, 1996.
2. E. Takada, A. Kimura, Y. Hosono, H. Takahashi, and M. Nakazawa, "Radiation distribution sensor with optical fibers for high radiation fields," *J. of Nucl. Sci. and Tech.*, vol. 36, no. 8, pp. 641-645, Aug. 1999.
 3. B. Lee, W. Y. Choi, and J. K. Walker, "Polymer-polymer miscibility study for plastic gradient index optical fiber," *Polymer Eng. and Sci.*, vol. 40, no. 9, pp. 1996-1999, Sep. 2000.
 4. S. Bedder, T. R. Mackie, and F. H. Attix, "Cerenkov light generated in optical fibers and other light pipes irradiated by electron beams," *Phys. Med. Biol.*, vol. 37, pp. 925-935, 1992.