

# 플라스틱 광섬유를 이용한 초소형 의료용 방사선 센서 제작

## — Fabrication of Miniature Radiation Sensor Using Plastic Optical Fiber for Medical Usage —

건국대학교 의과대학 의학공학부 · 연세대학교 보건과학대학 방사선학과\*  
제주대학교 에너지공학과\*\*

황영목 · 조동현 · 이봉수<sup>†</sup> · 조효성<sup>\*</sup> · 김 신<sup>\*\*</sup>

### — 국문요약 —

본 연구에서는 엑스선 또는 감마선 원거리 측정용 초소형 방사선 센서를 개발하기 위해서 발광 스펙트럼이 다른 여러 종류의 무기 섬광체를 이용하여 필름형태의 센서부를 제작하였고, 방사선으로부터 발생하는 섬광량을 광검출기 및 광파워미터로 측정하였다. 본 연구 결과, 개발 가능한 방사선 센서는 직경 1 mm의 플라스틱 광섬유를 사용하여 전자기파 장애로부터 간섭을 받지 않음과 동시에 원거리 측정 및 신속, 정확한 방사선 계측이 가능하고 초소형, 초경량의 특성을 지니기 때문에 방사선 치료 시 고 분해능의 방사선 계측이 가능할 것으로 기대된다.

**중심단어** : 방사선 센서, 플라스틱 광섬유, 무기 섬광체

## I. 서 론

엑스선과 감마선은 알파선과 베타선에 비해 높은 투과력을 지니고 있어서 의료 영역의 악성 종양 치료 및 진단에서 널리 이용되고 있으며<sup>1)</sup>, 최근 방사선을 이용한 악성 종양의 치료는 동적쐐기(Dynamic Wedge)나 선량세기 변환치료 등의 첨단 기술 개발로 인해 동적 시준화를 동반한 동적 선량투입 방법이 급증하고 있다. 방사선을 이용한 악성 종양 치료의 성패 여부는 방사선의 질과 양을 관리하는 방사선 품질관리(Quality Assurance, QA)에 크게 의존하는데 이와 같은 동적 시준화 및 선량투입 환경 하에서는 시험체(phantom)나 환자에게 투입된 선량이 위치에 따라 매우 급격하게 변할 수 있으며 이러한

공간 함수적인 선량 정보에 대한 효율적인 방사선 감지 및 방사선 품질 관리를 위해서는 보다 정확하고 신속한 방사선 계측기 개발의 필요성이 요구되고 있다. 현재 보편적으로 사용되고 있는 방사선 계측기는 이온 챔버(Ion Chamber), 실리콘 다이오드 등이 있는데 계측기 센서부 의자체부피 때문에 고 분해능의 계측이 불가능하다는 단점이 따른다. 따라서 본 연구에서는 환자에게 투입된 선량의 공간 함수적 선량 정보에 대한 신속, 정확하며 고 분해능의 방사선 측정을 위해서 지름이 1 mm인 플라스틱 광섬유와 발광 스펙트럼이 다른 여러 종류의 무기 섬광체를 이용하여 두께가 약 0.3 mm인 필름 형태의 엑스선 또는 감마선 측정용 플라스틱 광섬유 방사선 센서부를 제작하였다. 무기 섬광체와 플라스틱 광섬유를 이용하여 제작한 방사선 센서의 성능을 평가하기 위해서 엑스선 발생 장치와 Ir-192를 사용하였고, 방사선에 의해 발생하는 무기 섬광체의 가시광영역의 섬광 빛은 플라스틱 광섬유, 광검출기 및 광파워미터를 이용하여 측정하였다. 무기 섬광체와 플라스틱 광섬유를 이용하여 제작한 엑

\*이 논문은 2005년 2월 2일 접수되어 2005년 2월 28일 채택됨  
책임저자 : 이봉수, (380-701) 충청북도 충주시 단월동 322번지  
건국대학교 의과대학 의학공학부  
Tel : 043-840-3755  
E-mail : bslee@kku.ac.kr

스선 또는 감마선 원거리 측정용 방사선 센서는 빛 방출을 이용한 방사선 계측으로 기존의 방사선 센서보다 빠른 응답 시간을 지니고 있으며, 광섬유의 직경에 따라 다양한 형태의 방사선 측정 센서 제작이 가능하므로 다차원 고 분해능의 방사선 측정 센서 개발이 가능할 것으로 기대된다. 또한, 광섬유를 이용한 원거리 계측 및 전기적인 신호에 대한 외부 교란이 없기 때문에 보다 정확하고 신속한 방사선 계측이 가능할 것으로 기대된다<sup>2,3)</sup>.

## II. 실험 방법

엑스선 또는 감마선 측정용 플라스틱 광섬유 방사선 센서를 제작하기 위해서 사용된 무기 섬광체는 총 9가지 종류로, 평균 입자의 크기가 5~25 mm이고 밀도는 4.5~7.5 g/ml이다. 실험에 사용된 9가지의 무기 섬광체에 대한 특성은 표 1과 같다.

필름 형태의 무기 섬광체를 이용한 플라스틱 광섬유 방사선 센서는 그림 1과 같이 지지층, 반사층, 무기 섬광

체 그리고 보호층의 다층 구조로 이루어져 있다. 실험에 제작, 사용된 무기 섬광체 필름의 총 두께는 약 0.3 mm이며, 지지체는 PET(polyethylene terephthalate), 반사층은 TiO<sub>2</sub> 물질로 구성되어 있다.

필름 형태의 무기 섬광체는 3M 사의 광학용 에폭시 DP-610과 원통 형태의 플라스틱 커넥터를 이용하여 광섬유와 결합되어 있으며, 무기 섬광체로부터 발생된 섬광 빛의 계측 효율을 높이기 위해서 Bicron사의 반사 테이프, BC-642를 원통 형태의 플라스틱 커넥터에 균등한 두께로 도포시켰다. 그리고 커넥터의 바로 위층은 black shield 테이프를 사용하여 엑스선에 의해 발생된 섬광 빛에 대한 외부 가시광의 간섭을 최소화하였다<sup>4)</sup>.

무기 섬광체로부터 발생된 가시광영역의 섬광 빛을 광계측기와 광 파워미터로 전달하기 위해 사용된 플라스틱 광섬유의(Mitsubishi Rayon Co., Ltd) core는 PMMA 재질로 굴절률이 1.49, cladding은 1.402, 직경은 1.0 mm이며 개구수(NA, Numerical Aperture)는 0.504의 것을 사용하였다.

$$P_s > P_d \text{ 일 경우, } A_p = 10 \log_{10}(P_s/P_d) \dots\dots\dots (1)$$

원거리 측정용 방사선 센서 제작 시, 광섬유 길이에 대한 감쇄계수를 측정하기 위해서 Cut-back method를 이용하여 여러 가지 파장에 따른 광섬유의 감쇄계수를 측정하였다<sup>13)</sup>. 광섬유의 감쇄계수 측정 방법은 서로 다른 파장을 가지는 광원(Industrial Fiber Optics, Inc.)에 대해서 1 m와 20 m의 플라스틱 광섬유의 전달광량을 광파워미터(Newport, Inc.)를 이용하여 측정한 후, 식(1)을 이용하여 나타내었다. 표 2는 발광 스펙트럼이 다른 4가지 LED 광원에 대해서 측정된 광섬유의 감쇄계수를 나타내고 있다.

무기 섬광체를 이용하여 제작한 플라스틱 광섬유 방사선 센서의 성능 평가를 위해서 60 KV<sub>p</sub>의 진단용 엑스선

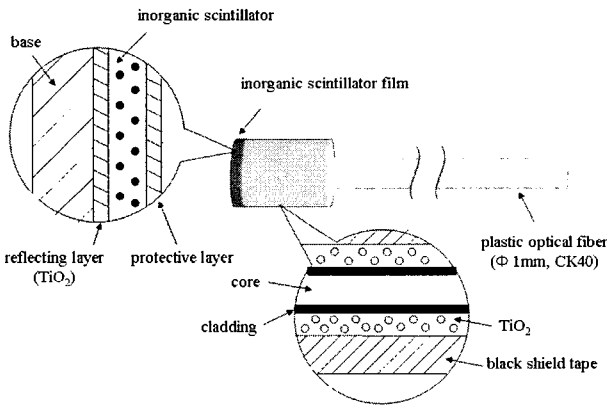


Fig. 1. Schematic diagram of film type fiber-optic sensor with inorganic scintillator

Table 1. Properties of inorganic scintillators

	Inorganic scintillator	Emission [nm, Peak #]	Density [g/ml]	ptl. size [μm]
A	Gd <sub>2</sub> O <sub>2</sub> S : Eu	626	7.5	9.4
B	Gd <sub>2</sub> O <sub>2</sub> S : Pr	513	7.5	10.9
C	Gd <sub>2</sub> O <sub>2</sub> S : Pr, Ce, F	513	7.5	10.9
D	Gd <sub>2</sub> O <sub>2</sub> S : Tb	545	7.5	3.0
E	La <sub>2</sub> O <sub>2</sub> S : Eu	624	5.7	2.1
F	La <sub>2</sub> O <sub>2</sub> S : Tb	543	5.7	2.9
G	CsI : Tl	White	4.5	-
H	Y <sub>3</sub> Al <sub>5</sub> O <sub>12</sub> : Ce	550	5.0	3.9
I	CaWO <sub>4</sub>	420	6.1	4.0

Table 2. Measured attenuation coefficients of plastic optical fiber

Wavelength	Power [μW]		Attenuation	
	1m	20m	dB/m	dB/km
430 nm	0.342	0.172	0.157	157
530 nm	37.5	24.3	0.099	99
670 nm	388	153	0.212	212
870 nm	188	0.121	1.679	1679

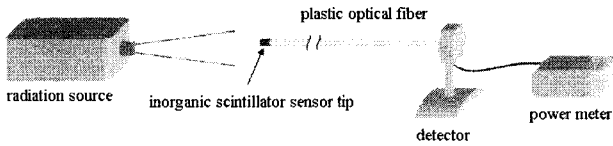


Fig. 2. Experimental setup

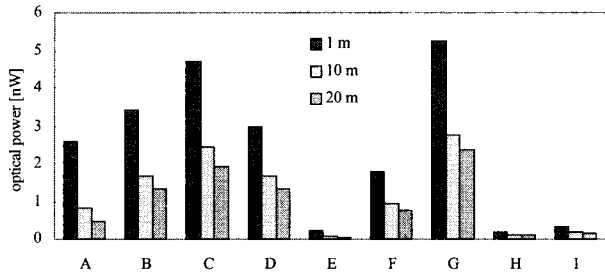


Fig. 3. Measurements of optical power using film type sensor with various kinds of inorganic scintillators when X-ray is used as a radiation source

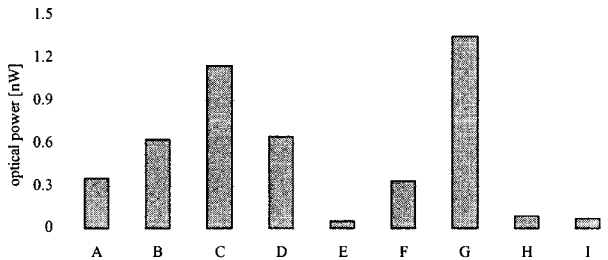


Fig. 4. Measurements of optical power using film type sensor with various kinds of inorganic scintillators when Ir-192 is used as a radiation source

발생 장치와 평균 에너지가 380 KeV인 Ir-192를 사용하였다. 방사선에 의해 발생된 가시광 영역의 섬광 빛은 광검출기(818-UV, Newport, Inc.)와 파워미터(2832-C, Newport, Inc.)를 이용하여 그 광량을 측정하였다. 그림 2는 엑스선 또는 감마선 발생 장치를 이용한 방사선 센서의 섬광량 측정 실험 구성도를 나타내고 있다.

### III. 실험 결과

그림 3은 필름 형태로 제작한 방사선 측정 센서의 성능 평가에 대한 것으로, 서로 다른 길이의 플라스틱 광섬유와 60 KV<sub>p</sub>의 진단용 엑스선 발생 장치를 이용하여 무기 섬광체의 섬광량을 광파워(optical power)로 나타내었다. 실험 결과, CsI:Tl 무기 섬광체를 이용하였을 때 최대 광량이, La<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S:Eu, Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub>:Ce와 CaWO<sub>4</sub> 무기 섬광

체를 이용하였을 때 상대적으로 적은 양의 섬광량이 획득됨을 알 수 있다.

그림 4는 25.1 Ci의 Ir-192와 10 m의 플라스틱 광섬유를 이용한 필름 형태의 방사선 측정 센서 성능 평가에 대한 것으로, 진단용 엑스선 발생 장치를 이용한 그림 3의 실험 결과와 유사한 분포로 섬광량이 획득됨을 알 수 있다. 그림 3~4에서 여러 종류의 섬광필름에 대한 광파워 측정값은 5회 반복 측정 후 평균값으로 표현하였다.

본 연구에서는 엑스선 및 감마선에 의해서 발생된 섬광빛을 광검출기와 파워미터로 측정하여 그 절대량을 표현하였는데, 그 전달과정에서 섬광 빛의 파장에 따라 광섬유의 감쇄계수가 결정되기 때문에 사용된 광섬유의 길이에 따라서 섬광체에서 발생된 섬광량의 측정값이 차이를 보일 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 광섬유의 길이가 10 m일 경우, 표 2에서 보는 것과 같이 가시광선 영역에서는 그 감쇄정도가 1.5~2.0 dB 정도이므로 큰 차이라고 할 수는 없다.

### IV. 결론 및 고찰

다양한 특성을 갖는 무기 섬광체들을 이용하여 필름 형태의 엑스선 또는 감마선 원거리 측정용 플라스틱 광섬유 방사선 센서를 제작하였고, 진단용 엑스선 발생 장치와 Ir-192에 대한 방사선 센서의 전달 섬광량을 플라스틱 광섬유, 광 검출기 및 광 파워미터로 측정하여 감도가 우수한 무기 섬광체를 선택할 수 있었다.

본 연구 결과, 무기 섬광체를 이용한 엑스선 또는 감마선 원거리 측정용 플라스틱 광섬유 방사선 센서는 기존의 방사선 센서보다 고 분해능, 고감도, 초소형 및 초경량의 특성을 지니고 있어서 보다 저렴한 비용으로 제작이 가능할 것으로 기대된다. 앞으로 더 수행해야할 연구 방향은 방사선 계측 효율 증대를 위한 센서 개발에 대한 것으로, 그 구조 및 구성 물질에 대한 연구를 계속 진행할 것이고, 개발한 센서의 성능 평가를 위해서 방사선 치료에 사용되는 선형가속기(LINAC)를 이용하여 엑스선 및 전자선에 대해서 여러 가지 에너지에 대한 섬광량 측정 및 다양한 길이의 광섬유에 대한 원거리 계측 실험도 병행할 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 과학기술부 원자력기초공동연구소사업(BAERI)의 지원에 의하여 이루어진 것임.

(M20376030002-04B0505-00210)

## 참 고 문 헌

1. 강세식, 고인호, 권영호 외 17: 방사선 치료학, 대학서림, 339~340, 2001
2. Beddar AS, Mackie TR and Attix FH: Water-equivalent plastic scintillation detectors for high-energy beam dosimetry-II. Properties and measurements, Phys. Med. Biol., 37(10), pp. 1901-1913, 1992
3. Mei H. Sun, Kenneth A. Wickersheim, and James Kim, "Fiberoptic Temperature Sensors in the Medical Setting", Optical Fibers in Medicine IV, Proc. SPIE 1067, pp. 15-21, 1989.
4. Mori C, Mito Y, Kageyama K, et al.: Measurement of neutron and g-ray intensity distributions with an optical fiber-scintillator detector, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A 422, pp. 129-132, 1999

---

### • Abstract

---

## Fabrication of Miniature Radiation Sensor Using Plastic Optical Fiber for Medical Usage

Young-Muk Hwang · Dong-Hyun Cho · BongSoo Lee<sup>†</sup> · Hyo-Sung Cho<sup>\*</sup> · Sin Kim<sup>\*\*</sup>

*Department of Biomedical Engineering, School of Medicine, Konkuk University*

*Department of Radiological Science, Yonsei University<sup>\*</sup>*

*Department of Nuclear & Energy Engineering, Cheju University<sup>\*\*</sup>*

In this study, film type radiation sensor tips are fabricated for remote sensing of X or g-ray with inorganic scintillators and plastic optical fiber. The visible range of light from the inorganic scintillator that is generated by X and g-ray is guided by the plastic optical fiber and is measured by optical detector and power-meter. It is expected that the fiber-optic radiation sensor which is possible to be developed based on this study is used for remote, fast and exact sensing of X or g-ray because of its characteristics such as very small size, light weight and no interference to electromagnetic fields.

---

**Key words** : Radiation sensor, Plastic optical fiber, Inorganic scintillator