

## 에너지 분광을 이용한 알파, 베타 핵종 측정용 광섬유 방사선 센서의 개발

홍승한, 유옥재, 신상훈, 한기택, 전다영, 심혁인, 이봉수

진국대학교, 충북 충주시 단월동 322

bslee@kku.ac.kr

## 1. 서론

방사성폐기물처리장(radioactive waste facility, 방폐장)의 안정적 운영을 위해서는 방사성폐기물 드럼(drum)의 오염도 측정 기술이 필수적이다. 현재의 상용 기술은 감마선 핵종을 분리 한 뒤 척도인자(scaling factor)를 이용하여 알파 및 베타선의 방출 핵종을 평가하고 있다. 효율적인 방사능 오염도 측정을 위해서는 방사성핵종으로부터 방출되는 알파 및 베타입자의 동시 측정이 가능하고, 실시간 구분이 가능한 측정기기의 개발이 요구되고 있다.

섬광체를 이용한 방사능 측정방법은 방사선과 섬광체의 상호작용에 의해 발생하는 섬광빛(scintillating light)을 이용하는 것이며, 에너지 분광(energy spectroscopy)을 통하여 섬광광에 따른 방사성핵종(radionuclide)을 구분할 수 있다. 광섬유는 원거리 계측이 가능하고, 전자기장의 영향을 받지 않으며 크기가 작고 유연하여 협소한 장소에 적용이 가능한 장점을 가진다 [1]. 따라서 섬광체와 광섬유를 이용한 원격 방사선 감시 시스템의 개발이 가능하다.

본 연구에서는 방사선 방출 핵종의 구분 및 검출을 위하여 여러 종류의 무기섬광체(inorganic scintillator)를 이용한 phoswich 형태의 감지 프로브를 제작하였으며, 섬광신호 전송용 광섬유를 이용하여 원거리 계측이 가능한 광섬유 방사선 센서 시스템을 구축하였다. 기초연구로서 감지 프로브와 광 계측장비사이의 광섬유 길이에 따른 센서의 성능을 평가하였다.

## 2. 본론

## 2.1 실험 재료 및 방법

실험에 사용된 섬광체는  $\text{CaF}_2(\text{Eu})$ (SaintGobain)와  $\text{ZnS}(\text{Ag})$ (EJ-440, ELJEN) 무기섬광체이다.  $\text{CaF}_2(\text{Eu})$ 는 낮은 원자번호의 섬광체이므로 비경이 짧은 베타입자의 분광이 가능하다. 알파 입자의 분광을 위해서 다결정 분말 상태의  $\text{ZnS}(\text{Ag})$

을 폴리에스테르 필름에 도포하여 사용하였다.  $\text{ZnS}(\text{Ag})$ 의 밀도두께가  $25 \text{ mg/cm}^2$  이상이 될 경우 불투명도에 의해 섬광빛의 전달 효율이 감소한다. 표 1은  $\text{CaF}_2(\text{Eu})$ 와  $\text{ZnS}(\text{Ag})$ 의 물리적 특성을 나타내고 있다.

Table 1. Characteristics of  $\text{CaF}_2(\text{Eu})$  and  $\text{ZnS}(\text{Ag})$ .

	$\text{CaF}_2(\text{Eu})$	$\text{ZnS}(\text{Ag})$
Density ( $\text{mg/cm}^3$ )	$3.18 \times 10^3$	3.25 36(polyester film)
Luminescence (nm)	435	450
Decay time (ns)	940	200

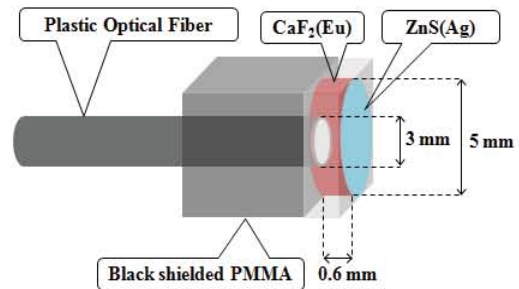


Fig. 1. Structure of a Fiber-optic radiation sensor using a phoswich detector, which consists of two inorganic scintillators, and a plastic optical fiber.

그림 1은 phoswich 형태의 감지 프로브와 플라스틱 광섬유(CK-120, Mitsubishi Rayon)를 사용하여 제작한 광섬유 방사선 센서의 구조를 보여주고 있다. 외부로부터 입사하는 빛의 간섭을 최소화하기 위하여 감지 프로브를 검은색 폴리메틸메타크릴레이트(polymethyl methacrylate, PMMA) 홀더(holder)로 차광하였다.

그림 2는 방사선 센서를 이용한 실험 구성도이다.

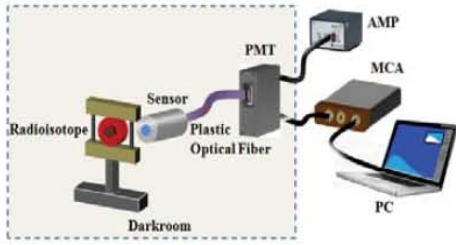


Fig. 2. Experimental setup.

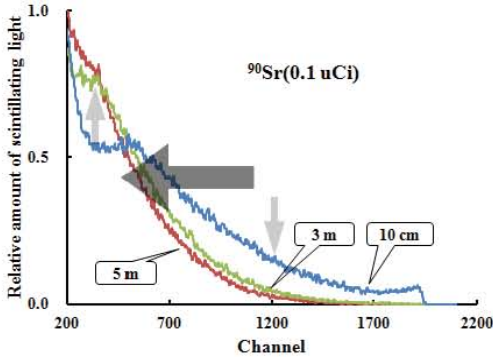


Fig. 3. Energy-spectrum variation of  $^{90}\text{Sr}$  according to the length change of plastic optical fiber.

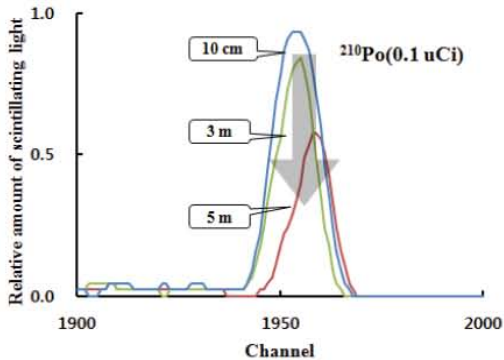


Fig. 4. Energy-spectrum variation of  $^{210}\text{Po}$  according to the length change of plastic optical fiber.

## 2.2 실험 결과

그림 3은 광섬유의 길이 변화에 따른  $^{90}\text{Sr}$  베타 선원의 에너지 스펙트럼으로써 광섬유의 길이가 길어질수록 스펙트럼이 왼쪽으로 이동함을 알 수 있다. 광섬유 길이가 증가함에 따라 광증배관으로도달하는 섬광빛에 대한 감쇄도는 증가하며, 광증배관에서 발생하는 섬광빛에 대한 전기적 신호의 파고(pulse height)는 감소되기 때문이다.

그림 4는 광섬유의 길이 변화에 따른  $^{210}\text{Po}$  알파선원의 에너지 스펙트럼이다. 광섬유의 길이가 길어짐에 따라 5.4 MeV의 고 에너지를 갖는  $^{210}\text{Po}$  핵종에 대한 섬광체의 섬광량은 감소한다. 알파선원에 대한 스펙트럼의 경우 저 에너지 영역에서의 변화를 확인할 수 없었으며, 전체적으로 검출되는 광량의 크기가 미약하여 실험에 사용된 광 측정 장비로는 구분이 불가능하였다.

## 3. 결론

본 연구에서는 두 가지 무기 섬광체로 구성된 감지 프로브와 광섬유를 이용하여 알파 및 베타 선 방출 핵종의 구분 및 실시간 검출이 가능하고 원거리 계측이 가능한 방사선 광섬유 센서를 제작하였다. 감지 프로브와 광증배관 사이에 연결된 광섬유의 길이 변화에 따른 에너지 스펙트럼의 이동 및 변화를 확인하였으며, 광섬유 길이가 증가에 따른 시스템의 성능을 평가하였다. 방사선 광섬유 센서는 방사성 폐기물 처리장의 원격 방사선 감시 시스템에 적용되어 원거리에서 방사성 물질의 현황을 실시간으로 감시할 수 있을 것으로 기대된다.

## 4. 감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 20110006337, and No. 20110028022)

## 5. 참고문헌

- [1] 장경원, 조동현, 유육재, 서정기, 허지연, 이봉수, 문주현, 박병기, 김신, 조영호, “플라스틱 광섬유 센서를 이용한 핵 연료의 열중성자 분포도 측정”, *센서학회지*, 18(5), pp402-407 (2009).