

Co-60 방사선원을 이용한 광섬유 감마선 분광 센서의 특성평가

한기택, 장정원, 유욱재, 신상훈, 전다영, 이봉수

건국대학교, 충북 충주시 단월동 322

bslee@kku.ac.kr

1. 서론

방사선의 측정 방법 중 감마선 에너지 스펙트럼의 분석은 환경오염, 핵종분석, 의료계, 산업계 등에서 널리 사용되고 있다. 하지만 기존의 검출기들은 대부분 근거리에서 측정해야 하기 때문에 인체의 방사능 피폭이 불가피하다. 광섬유(optical fiber)를 이용한 방사선 센서의 경우 원거리에서 측정 가능하기 때문에 인체의 방사능 피폭을 최소화 할 수 있다.

일반적으로 광섬유를 이용한 방사선 센서는 광섬유, 섬광체 그리고 광 계측장비로 구성 된다 [1]. 광섬유는 공간분해능이 높고, 전자기파와 주위 온도 및 압력에 영향을 받지 않으며, 원거리에서 실시간으로 측정이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 이러한 특성은 방사선 측정에 있어 그 활용도가 높다.

본 연구에서는 감마선 검출에 적합한 무기섬광체(inorganic scintillator)를 이용하여 광섬유 감마선 분광 센서를 제작하였고, 파고분석기(multichannel analyzer, MCA)를 이용하여 감마 방사선원에서 방출되는 감마선 에너지를 분광하였다. 또한 광섬유 길이와 선원과의 거리에 따른 섬광량을 측정하여 광섬유 방사선 센서의 특성을 평가하였다.

2. 본론

2.1 섬광체 선별

무기섬광체는 crystal, ceramic, glasses, powder 등의 여러 가지 형태가 있다. 감마선을 분광하기 위해서는 감마선이 가진 에너지를 가능한 많이 흡수할 수 있어야 하며, 광섬유와 결합하기 위해서는 조해성(hygroscopic)이 없는 고체(solid) 형태이어야 한다. 본 연구에서는 광섬유와 결합하기 적합한 조해성이 없고 crystal 형태를 가진 무기섬광체를 선정하여 실험을 수행하였다.

Table 1은 선정된 무기섬광체의 특성을 보여주고 있다. BGO(bismuth germanate, AMT solution)의 경우 그 자체의 고밀도와 비스무스(bismuth) 성분의 큰 원자번호를 가지고 있다는 장점을 가지고 있으나

광수율은 21%로 비교적 낮다. LYSO(lutetium yttrium orthosilicate, AMT solution)의 경우 최근 각광받고 있는 섬광체로 무기섬광체 이면서 감쇠시간(decay time)이 40 ns로 빠르며 광수율은 85%로 높은 편에 속하며, 밀도 또한 7.40 g/cm^3 로 BGO와 YSO(yttrium orthosilicate, AMT solution)에 비해 높다. 마지막으로 YSO는 밀도가 4.44 g/cm^3 로 BGO와 LYSO에 비해 낮지만 감쇠시간이 70 ns로 비교적 빠르고 광수율이 120%로 가장 좋다.

Table 1. Characteristics of inorganic scintillators.

	BGO	LYSO	YSO
Density (g/cm^3)	7.13	7.40	4.44
Melting Point ($^{\circ}\text{C}$)	1,050	2,050	1,980
Luminescence (nm)	480	402	430
Decay Time (ns)	300	40	70
Light yield (%) (Relative to NaI)	21	85	120

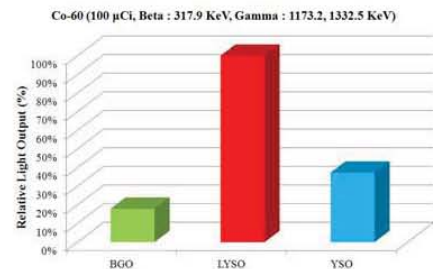


Fig. 1. Measurement of scintillating light according to inorganic scintillators.

감마선의 경우 비정(range)이 크기 때문에 선원이 가진 모든 감마선을 검출하기 위해서는 섬광체의 크기가 비정보다 커야한다. 즉, 방사선원이 가진 에너지 대역과 방사능을 고려하여 크기를 선택하여야 한다. 본 연구에서는 $3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$ 의 정방형 결정을 사용하였다. 그림 1은 감마선을 검출하기 위한 최적의 섬광체를 찾기 위해 $100 \mu\text{Ci}$ 의 방사능을 갖는 Co-60 감마 방사선원을 이용하여 섬광체의 성능을 비교한 결과를 보여주고 있다.

결과적으로 보면 LYSO가 가장 우수한 성능을 보여주고 있음을 알 수 있다. 따라서 이후의 실험에서는 LYSO를 사용하여 실험을 수행하였다.

2.2 실험방법

그림 1은 광섬유 감마선 분광 센서를 이용하여 감마선 에너지를 분광하기 위한 실험구성을 보여주고 있다. 광섬유 감마선 분광 센서의 감지부의 경우 계단형 굴절률(step-index)을 가지고 있으며 직경이 3 mm 이고 길이가 5 m인 플라스틱 멀티모드 (multi-mode) 광섬유(CK120, Mitsubishi Rayon)와 LYSO 무기섬광체로 구성되어 있다. 본 연구에서는 광 계측장비로서 광증배관(H9305-03, Hamamatsu Photonics)을 사용하였고 약 450 nm의 최대 민감 파장(peak sensitivity wavelength)을 가진다. 광증배관에 의해 발생된 전류신호는 증폭기(C7319, Hamamatsu Photonics)에 의해서 전압신호로 변환 및 증폭된다. 최종적으로 증폭기에 의해 증폭된 전압신호는 파고분석기(Easy-MCA-8K, Ortec)로 전송되고, 전송된 신호는 전용 소프트웨어인 MAESTRO32(Ortec)를 통해 디스플레이 및 저장된다. 본 연구에서는 감마선원으로 100 μ Ci의 방사능을 갖는 Co-60을 사용하였으며, 방출되는 감마선의 피크 에너지는 1.17 MeV와 1.33 MeV이다.



Fig. 2 Experimental setup.

2.3 실험결과

그림 3은 광섬유 감마선 분광 센서를 사용하여 측정된 Co-60의 감마선 에너지 스펙트럼을 보여준다. Co-60에서 방출되는 감마선의 피크 에너지인 1.17 MeV와 1.33 MeV에 해당하는 채널에서 피크 값이 검출되었으며, 1 MeV 부근에서 콤프턴 에지(Compton edge)가 측정된 것을 확인할 수 있다. 그림 4는 거리에 따른 섬광량 측정결과를 보여주고 있다. 실험결과, 거리역사승의 법칙(inverse square law)에 따라 섬광량이 감소하는 것을 확인할 수 있다. R²값은 0.9902로 결과 값의 정확도가 99.02% 인 것을 알 수 있다.

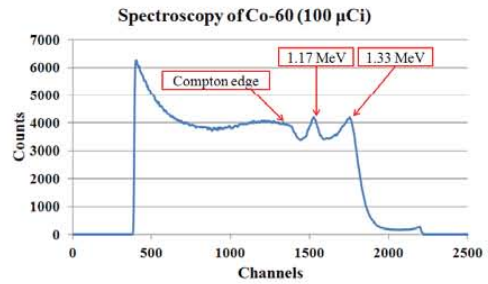


Fig. 3. Measured energy spectrum of Co-60

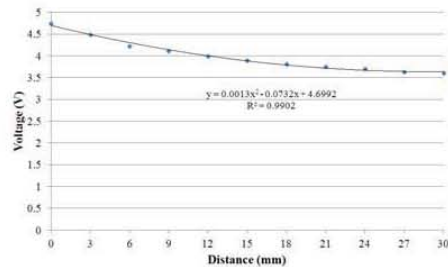


Fig. 4. Measurement of scintillating light according to the distance.

3. 결론

본 연구에서는 감마선 검출에 적합한 무기섬광체를 이용하여 광섬유 감마선 분광 센서를 제작하였고, 감마 방사선원에서 방출되는 감마선 에너지를 분광하였다. 또한 선원과의 거리에 따른 섬광량을 측정하여 광섬유 방사선 센서의 특성을 평가하였다. 광섬유 감마선 분광 센서는 높은 공간분해능을 가지고 있고, 실시간 측정이 가능하므로 실시간으로 오염도를 측정할 수 있으며, 그 성능이 우수할 것으로 기대된다.

4. 감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 지원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 20110006337).

5. 참고문헌

- [1] D. H. Cho, K. W. Jang, W. J. Yoo, B. Lee, H. S. Cho, and S. Kim, 2007b, Journal of Korean Sensor Society, Vol.16, pp. 33-38.