

체렌코프 방사선을 이용한 베타선 측정용 광섬유 방사선 센서

한기택, 유옥재, 신상훈, 서정기, 전다영, 조승현*, 이봉수
 건국대학교, 충북 충주시 단월동 322

*승실대학교, 서울특별시 동작구 상도로 369

bslee@kku.ac.kr

1. 서론

체렌코프 방사선(Cerenkov radiation)은 하전입자가 투명한 매질 내에서 그 매질 내에서의 빛의 속도보다 빠르게 이동할 때 발생되며, 투명한 체렌코프 라디에이터(Cerenkov radiator)의 굴절률에 따라 체렌코프 방사선이 발생하는 역치에너지(threshold energy)가 결정되는 특성을 가지고 있다. 따라서 이러한 체렌코프 방사선의 특성을 이용하면 전자선 또는 베타선의 에너지 측정이 가능하다[1].

일반적으로 광섬유를 이용한 방사선 센서는 광섬유와 광 계측장비로 구성된다. 광섬유는 소형으로 제작이 가능하고, 공간분해능이 높으며 전자기파와 주위 온도 및 압력에 영향을 받지 않는다. 또한 원거리에서 실시간 측정이 가능하다는 장점을 가지고 있기 때문에 방사선 측정에 있어 그 활용도가 매우 높다[2].

본 연구에서는 베타선에 의해 발생하는 체렌코프 방사선을 측정하기 위하여 광섬유 베타-체렌코프 방사선 센서(fiber-optic beta-Cerenkov radiation sensor)를 제작하였다. 체렌코프 방사선을 발생시키기 위한 체렌코프 라디에이터로는 굴절률이 서로 다른 투명한 굴절률 정합 오일(index matching oil)을, 광 계측장비로는 광증배관(photomultiplier tube, PMT)을 사용하여 굴절률에 따른 체렌코프 방사선의 광량을 측정한 뒤, 비교 분석하여 광섬유 베타 체렌코프 방사선 센서의 특성을 평가하였다.

2. 본론

2.1 실험방법

그림 1은 광섬유 베타-체렌코프 센서를 이용하여 베타선을 측정하기 위한 실험구성을 보여준다. 감지부는 0.5 mm의 두께를 가지고, 굴절률이 1.33, 1.35, 1.40, 1.45 그리고 1.50으로 서로 다른 5 종류의 체렌코프 라디에이터와 직경 3 mm, 길이가 50 mm인 계단형 굴절률(step-index)을 가진 멀티모드(multi-mode) 플라스틱 광섬유로 구성된다. 감지부

로부터 발생된 체렌코프 방사선은 플라스틱 광섬유를 통해 PMT로 전송되고, PMT에서 발생된 전류 신호는 증폭기에 의해서 전압신호로 변환 및 증폭된다. 최종적으로 증폭기에 의해 증폭된 전압신호는 LabVIEW 프로그램을 통해 디스플레이 및 저장된다. 본 연구에서는 베타선원으로 Sr-90과 Tl-204를 사용하였으며, 표 1은 실험에 사용한 베타선원의 특성을 보여준다.

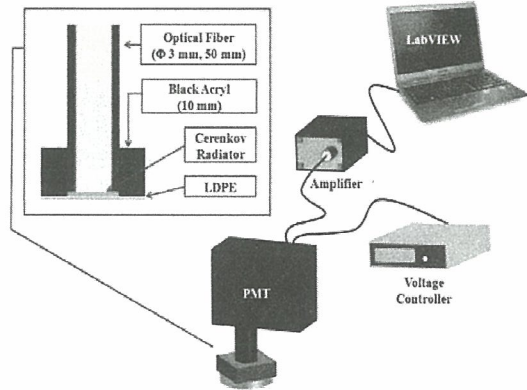


Fig. 1. Experimental setup for measuring beta-ray using fiber-optic beta-Cerenkov radiation sensor.

Table 1. Physical properties of radioisotopes.

Isotope	Activity (μCi)	β_{max} (keV)
Sr-90	0.1	546
Tl-204	1	763.7

2.2 실험결과

그림 2는 광섬유 베타-체렌코프 방사선 센서를 이용하여 Sr-90에서 발생된 베타선을 측정된 결과를 보여준다. 실험결과, 체렌코프 라디에이터의 굴절률이 높아질수록, 체렌코프 방사선의 계수율(counts/min)이 커지는 것을 확인할 수 있다. 이는 아래의 수식을 이용하여 설명할 수 있다[3].

$$E = \left[\frac{511}{\sqrt{1 - \frac{1}{n^2}}} - 511 \right] (MeV) \dots\dots\dots (1)$$

식 (1)에서 n 은 매질의 굴절률을 뜻하며, 각각의 n 값을 식 (1)에 대입하여 계산하면 매질의 굴절률에 따른 하전입자의 역치에너지 E 의 값을 도출할 수 있다. 식 (1)을 통하여 역치에너지 E 의 값을 계산해보면 체렌코프 라디에이터의 굴절률이 높아질수록 체렌코프 방사선이 발생할 수 있는 역치에너지가 낮아지기 때문에 상대적으로 넓은 에너지 영역에서 발생된 체렌코프 방사선을 검출할 수 있다. 반대로 체렌코프 라디에이터의 굴절률이 낮아질 경우, 역치에너지가 높아지기 때문에 역치에너지 이하의 베타선에 의한 노이즈를 최소화시켜 신호대잡음비(signal-to-noise ratio, SNR)를 높일 수 있다.

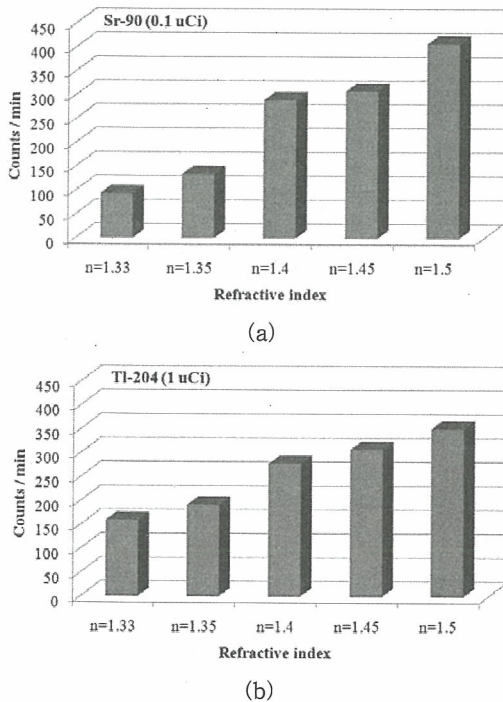


Fig. 2. Measured Cerenkov radiation as a function of the refractive index of Cerenkov radiator.

그림 3은 본 연구에서 제작한 광섬유 베타-체렌코프 센서의 재현성을 평가한 결과를 보여준다. 실험결과, 굴절률이 1.5인 체렌코프 라디에이터를 이용할 경우, 측정오차가 약 20 counts/min으로 측정치가 거의 일정한 것을 확인할 수 있다.

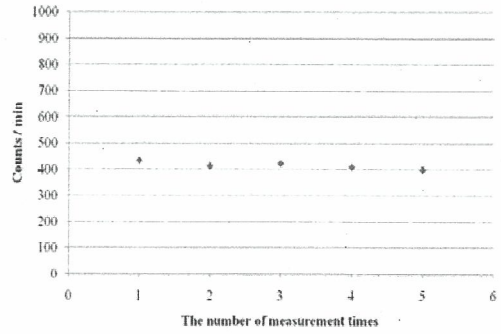


Fig. 3. Reproducibility of the fiber-optic beta-Cerenkov radiation sensor.

3. 결론

본 연구에서는 다양한 체렌코프 라디에이터를 이용한 광섬유 베타-체렌코프 방사선 센서를 제작하였다. 베타선원에서 방출되는 베타선을 굴절률이 서로 다른 체렌코프 라디에이터를 이용하여 측정하였고, 이에 따른 체렌코프 방사선의 계수율을 비교 분석하였다. 또한 반복측정을 통하여 광섬유 베타-체렌코프 센서의 재현성을 평가하였다. 본 연구결과를 토대로 광 계측기의 효율을 높인다면 베타선의 에너지를 실시간 분광할 수 있는 광섬유 베타-체렌코프 센서의 개발이 가능할 것으로 기대된다. 앞으로의 연구방향은 다양한 에너지를 가진 베타 방사선원과 액체 및 고체 형태의 투명한 체렌코프 라디에이터를 이용하여 광섬유 베타-체렌코프 센서를 최적화하는 것이다.

4. 감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2012029724, and No. 20110028022).

5. 참고문헌

[1] H. H. Ross, Anal. Chem., Vol. 41, pp. 1260-1265, 1969.
 [2] K. W. Jang, D. H. Cho, W. J. Yoo, J. K. Seo, J. Y. Heo, J.-Y. Park and B. Lee, Nucl. Instrum. Meth. A, Vol. 652, pp. 928-931, 2011.
 [3] J. V. Jelley, Br. J. Appl. Phys., Vol. 6, pp. 227-232, 1955.