

섬광섬유 기반의 이점 계수법(Two Points)을 이용한 베타선 계측 방법론 개발

이욱제*, 배준우, 김희령

울산과학기술원, 울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50, 44919

*dldnrwp@unist.ac.kr

1. 서론

2015년 6월, 37년 동안 운영하던 고리 1호기에 대한 폐로 및 해체 결정으로 원전 제염해체 관련 방사선 모니터링의 필요성이 대두되었다. 원자력 시설의 제염·해체 활동 또는 해체 부지로부터 발생되는 베타선 방출 핵종은 보건물리학적인 관점에서 반드시 관리되어야 하는 방사성 핵종이기 때문에 이에 대한 오염도를 신속하게 파악할 수 있는 기술이 필요하다. 기존의 베타선 계측을 위하여 샘플링 기반의 실험실에서의 계측이 진행되었으며, 이 방법은 전처리 과정 등으로 인하여 시간이 많이 소요되고, 이차 폐기물 발생의 문제점이 있다. 이러한 샘플링 기반의 계측의 문제를 해결하고 짧은 비정의 베타선을 현장에서 계측하기 위하여 섬광섬유가 사용되었다. 섬광섬유의 경우, 방사선과 섬광섬유의 반응으로 인하여 생성된 광자는 PMT로 입사하기까지의 거리에 따라 세기가 감쇄하는 특징을 가지고 있다.

본 연구에서는 이 특징을 이용하여 감쇄 정도를 정량화 할 수 있는 실험을 설계하였으며, 섬광섬유의 임의의 두 점에서 각각의 방사능을 계산하는 방법을 제안하고 성능 평가를 통하여 원전 부지 현장에서의 베타선 계측을 신속하게 진행 할 수 있는 시스템을 제안하였다.

2. 본론

2.1 실험 시스템

섬광섬유에서 발생한 광자가 이동한 거리에 대한 감쇄 영향을 정량화하기 위하여 Fig. 1과 같은 실험 시스템을 구축하였다. 긴 막대 형태의 섬광섬유 다발(BCF-10, Saint-Gobain)을 가운데에 위치시키고 섬광섬유 다발의 양 끝단에 각각 PMT (h10722-110, Hamamatsu)를 고정하였다. PMT의 출력신호는 EASY-Nim 928 Suite 모델의 카운터에서 처리된다. 섬광섬유 다발은 6개의 구역으로 나누어졌으며, 각 구간에서 0.1 μ Ci 세기의 ^{90}Sr 선원을 이용하여 계측이 진행되었다.

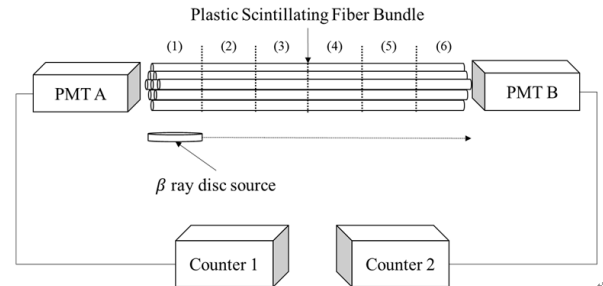


Fig. 1. A Schematic of Experimental Setup for Two Point Beta Detection.

2.2 이점 계산법

길이가 긴 형태의 섬광섬유에서 두 개의 방사선원에 의한 반응이 일어난다면, Fig. 2와 같이 발생한 광자가 감쇄 과정을 거친 후 PMT 내부로 입사할 것이다.

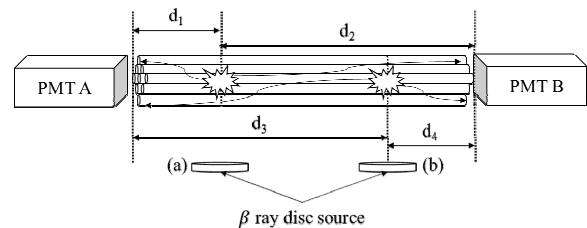


Fig. 2. A Schematic of Counting Mechanism of Two Point Beta Detection.

선원 i 의 방사능을 A_i , 섬광섬유 내에서의 광자의 감쇄에 대한 함수 $F_i(d_i)$ 로 정의한다면, PMT A와 PMT B에서 계수되는 광자의 수 C_i 는 식(1)과 (2)와 같이 정의 될 수가 있다.

$$C_A = A_a \times F_A(d_1) + A_b \times F_A(d_3) \quad (1)$$

$$C_B = A_b \times F_B(d_4) + A_a \times F_B(d_2) \quad (2)$$

또한 각 방사능 A_a 와 A_b 에 대하여 식 (1)과 (2)를 이원일차 연립방정식으로 정리를 하면, 식 (3)과 (4)와 같이 도출할 수 있으며, 각 지점의 방사능 값을 정의 할 수 있다.

$$A_a = \frac{(C_A \times F_B(d_4) - C_B \times F_A(d_3))}{(F_A(d_1) \times F_B(d_4) - F_A(d_3) \times F_B(d_2))} \quad (3)$$

$$A_b = \frac{(C_A \times F_B(d_2) - C_B \times F_A(d_1))}{(F_A(d_3) \times F_B(d_2) - F_A(d_1) \times F_B(d_4))} \quad (4)$$

2.3 측정 결과 및 함수 도출

⁹⁰Sr 선원을 사용하여 각 구역별로 문턱 전압 값을 변동시키면서 계수율의 변화를 측정하였다. Fig.3과 Fig.4는 PMT A와 PMT B 각각의 선원 위치와 문턱 전압 값에 따른 계수율 변화 그래프이다. PMT A와 PMT B 모두의 경우에서 선원의 위치와 PMT 사이의 거리가 증가하면 계수율이 감소하는 경향을 확인할 수 있었다.

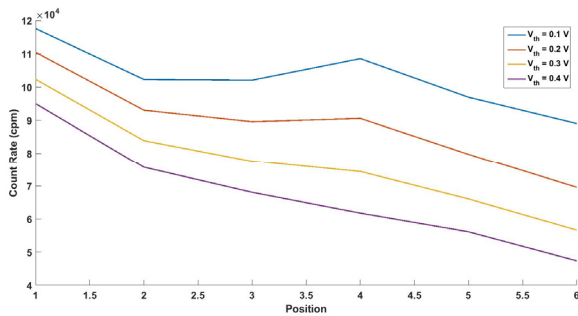


Fig. 3. The Distance and Count Rate Relation Curve of PMT A.

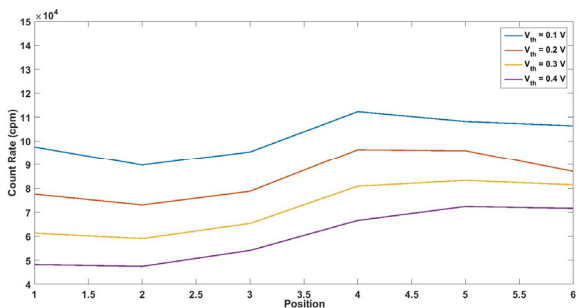


Fig. 4. The Distance and Count Rate Relation Curve of PMT B.

문턱전압 값이 0.4 V일 때 가장 좋은 경향성을 보였으며, 측정값을 바탕으로 위치에 따른 계수율에 대한 함수를 식 (5)와 (6)과 같이 도출하였다.

$$F_A(d) = 1.043 \times 10^5 \times e^{(-0.1326 \times d)} \quad (5)$$

$$F_B(d) = 4.235 \times 10^4 \times e^{(0.09612 \times d)} \quad (6)$$

2.4 이점 계수법 적용 결과

실험으로 도출한 각 PMT A와 PMT B에 대한 광자의 감쇄 함수를 이용하여, 표준 선원을 섬광섬

유 다발의 2번과 5번 구역에 위치시키고 각 구역의 방사능 정의를 진행하였다. Table 1은 2번과 5번 구역 각각에 놓인 표준선원의 세기와 이점 계수법을 이용하여 도출한 각 구역의 방사능의 값과 두 값의 상대 오차를 나타낸다. 2번과 5번 구역에서의 상대오차가 각각 1.06%와 6.11%의 결과로 좋은 결과를 보이는 것을 확인하였다.

Table 1. Application Result of Two Point Detection Method

Section #2		
Experiment (cpm)	Reference (cpm)	Relative Error (%)
219,656	222,000	1.06
Section #5		
Experiment (cpm)	Reference (cpm)	Relative Error (%)
159,604	170,000	6.11

3. 결론

섬광섬유 내에서 광자의 이동 거리에 대한 감쇄 함수를 실험적으로 도출하였으며, 이를 이용한 이점 계수법을 도출하였다. 표준선원을 이용하여 이점 계수법을 적용한 결과 상대오차가 최대 6.11%임을 확인할 수 있었다. 이점 계수방법의 실험적 개념 확인은 지리정보 시스템과의 연동을 통하여 원전 해체 부지 베타 오염의 현장 신속 모니터링에 활용될 수 있을 것으로 생각되었다. 추후 PMT 기반의 면단위 계측에도 활용할 수 있도록 심층 분석 연구를 수행할 것으로 예상된다.

4. 참고문헌

- [1] A.Taheri, R.G.Peyvandi, M.T.Sasanpour, M.Askari, "Spectral Response Evaluation of Plastic Rod Scintillators as Position Sensitive Beta Particle Detectors", Journal of Instrumentation 10.12 (2015): T12006.
- [2] Imai, Sjun-ichi, et al. "New radiation detector of plastic scintillation fiber." Review of scientific instruments 62.4 (1991): 1093-1097.