

해체 폐기물 오염도 측정용 phoswich 검출기의 기학학적 조건별 검출 특성 모사 및 성능 평가

서범경, 이보람, 이근우

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

bumja@kaeri.re.kr

1. 서론

원자력시설의 개선·보수 및 해체 과정에서는 다양한 형태와 오염 준위의 폐기물이 시설의 운영 기간보다 훨씬 상회하는 대량의 폐기물이 발생한다. 이러한 폐기물 및 대상 시설에 대해 안전한 작업을 수행하기 위해서는 정확한 방사선학적인 특성 평가가 필요하다.

통상적인 오염도 측정은 표면오염도 측정장비를 이용한 직접 측정과 오염 시료를 채취 후 분석하는 간접 측정 방법을 이용하여 알파선과 베타선의 오염도를 측정한다. 그러나, 이러한 측정 장비들은 공통적으로 모든 폐기물 및 대상 시설에 적용할 수는 없으며, 측정 대상에 따라 적합한 형태의 검출기가 사용되기도 한다. 특히, 고방사성 오염도 측정 및 협소구역의 경우, 알파선과 베타선을 동시에 측정할 수 있는 섬광체를 결합한 phoswich 검출기 형태의 측정기가 주로 사용된다[1-3].

Phoswich 검출기의 섬광체로는 플라스틱 섬광체에 얇은 ZnS(Ag) 무기섬광체를 접착시키거나 도포한 형태로 사용되며, 알파선과 베타선에 의하여 생성된 신호의 모양을 구분하여 분리하여 측정하는 방법이 주로 이용된다. 이들 phoswich 검출기는 플라스틱 광섬유를 이용하여 원격 오염도 측정용으로 이용되기도 한다.

본 연구에서는 협소구역이나 고방사성 구역에서 알파선과 베타선의 오염도를 원격으로 측정할 수 있는 ZnS(Ag) 무기섬광체와 에폭시 소재 유기섬광체를 결합한 형태인 소형의 phoswich 검출소재를 개발하였다. 검출소재의 섬광체 두께 및 기학학적 조건별 검출 성능을 모사하여 최적의 제조조건을 도출하였다. 도출한 결과를 바탕으로 검출소재를 제조하여 검출 성능을 평가하였다.

2. 본론

2.1 알파/베타선 동시 측정용 phoswich 검출기

알파선과 베타선의 오염도를 동시에 측정하기 위하여 알파선 검출이 우수한 ZnS(Ag) 무기섬광체와 베타선 검출에 적합한 유기섬광체를 선정하였다. 검출소재는 비정이 짧은 알파선과 상대적으로 비정이 긴 베타선을 동시에 검출하기 위하여, 베타선 검출용 소재 위에 알파선 검출용 섬광층을 도포하는 방식의 이중구조로 제조하였다.

또한, 원거리 신호전송을 위하여 광섬유를 이용하였으며, 광섬유의 물리적 결합에 의한 광 손실 및 검출소재의 건전성을 확보하기 위하여 투명 에폭시 지지체에 광섬유를 삽입하여 고형화함으로써 단일 구조로 제조하였고, Fig. 1과 같이 지지체 위에 베타선 검출소재를 결합한 후에 알파선 검출용 섬광층을 도포하여 전체 검출소재를 일체형으로 제조하였다.

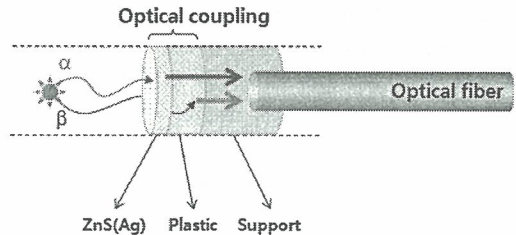


Fig. 1. Phoswich detector for the simultaneous counting of alpha- and beta particles

2.2 베타선 검출용 에폭시 소재 유기섬광체

베타선의 경우 플라스틱 내에서의 비정은 수 mm이므로, 베타선 검출용 유기섬광체의 두께를 1 - 10 mm까지 변화시키면서 베타선의 에너지 1 MeV에 대한 전에너지 흡수 효율을 모사하였다. 모사한 결과, 약 1 MeV 베타선에 대해 섬광체의 두께가 5 mm인 경우 90% 이상의 검출 효율을 보였으며, 10 mm 인 경우는 2MeV 이상까지 80% 이상의 검출 효율을 보였다. 그러나, 유기섬광체의 두께가 증가할 수록 감마선에 의한 영향도 함께 증가하기 때문에 최적의 두께를 선정해

야한다.

베타선 검출소재인 유기섬광체의 경우는 감마선에 의해서도 영향을 받기 때문에 감마선에 의한 영향을 함께 평가해야한다. 유기섬광체의 두께 변화에 따른 감마선의 영향을 모사한 결과, 약 100 keV의 감마선에 대해서도 1.5% 이하의 낮은 검출 효율을 보였으며, 이는 베타선의 검출에 크게 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다.

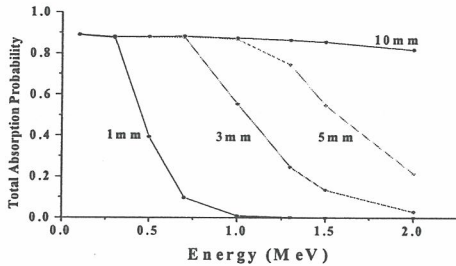


Fig. 2. Total absorption probability with the thickness of the epoxy base organic scintillator for the electrons

2.3 알파선 검출용 ZnS(Ag) 섬광체

알파선 검출이 가능한 섬광층은 Fig. 1과 같이 알파선 계수용 무기섬광체 ZnS(Ag)를 플라스틱 섬광층 위에 도포하여 제조하였다. ZnS(Ag) 섬광체는 분말 상태로만 존재하기 때문에 투명한 섬광체와 달리 알파선의 에너지를 충분히 흡수하고, 섬광을 광섬유로 전송하기 위하여 섬광층의 두께 조절이 중요하다. 섬광층의 두께를 결정하기 위하여 ZnS(Ag) 섬광층의 두께 변화에 따른 알파선 검출 효율을 모사하였다. 알파선의 에너지는 평균 에너지인 5 MeV로 정하였고, 섬광층의 기하학적 조건은 5에서 40 mg/cm²로 변화시키면서 알파선의 검출 확률을 계산하여 알파선의 에너지를 최대로 흡수할 수 있는 두께를 결정하였다.

3. 결론

고방사성 시설과 협소구역의 오염도 측정과 같은 목적에 적합하도록 알파선과 베타선 오염도 동시 측정이 가능한 소형의 phoswich 검출소재를 설계하여 최적의 조건을 모사하였다. Phoswich 검출소재는 알파선과 베타선의 오염도를 원격으로 동시에 측정할 수 있도록 투명 에폭시 지지체에 알파선 측정용 ZnS(Ag) 섬광층과 베타선 측

정용 플라스틱 섬광층을 이중으로 배치하여, 알파선과 베타선을 동시에 측정할 수 있도록 구성하여 다양한 조건에서 검출소재를 모사하여 최적의 조건을 도출하였다.

또한, 원거리 신호전송이 가능한 광섬유를 일체형으로 결합하여 신호 전송효율을 높일 수 있도록 제작하였으며, 측정 결과 우수한 알파선 및 베타선 검출 효율과 원거리 신호 전송 성능을 확인하였다.

4. 참고문헌

- [1] S. Usuda, "Development of ZnS(Ag)/NE102A and ZnS(Ag)/Stilbene phoswich detectors for simultaneous α and $\beta(\gamma)$ counting", J. Nucl. Sci. Tech. 29, pp.927-929 (1992).
- [2] S. Usuda, K. Yasuda, and S. Sakurai, "Simultaneous counting of radiations emitted from actinides with improved phoswich detectors by applying optical filters", J. Alloys and Compounds 271, pp.58-61 (1998).
- [3] K. Yasuda, S. Usuda, and H. Gunji, "Development of scintillation-light- transmission type phoswich detector for simultaneous alpha- and beta-(gamma) ray counting", IEEE Trans. Nucl. Sci. 47(4), pp. 1337-1340 (2000).