

배관류 폐기물의 오염도 측정용 phoswich 검출기의 기하학적 조건에 따른 검출성능 평가

서범경 · 이근우 · 정중현 · 김계홍 · 박찬희 · 정연희

한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

bumja@kaeri.re.kr

원자력시설의 해체는 대량의 방사성 폐기물이 발생되며, 특히 시설 운영 중에는 거의 발생을 하지 않는 배관류와 같은 폐기물이 발생된다. 이러한 폐기물을 처리하거나 재활용하기 위해서는 정확한 오염도 측정이 선행되어야 한다. 그러나 배관류의 경우는 내부의 오염도를 측정하는데 있어 기존의 방법(직접법 또는 간접법)을 이용하기에는 한계가 있다.

본 연구에서는 배관 내부의 알파선과 베타선 오염도를 직접 측정할 수 있는 검출기를 개발하기 위하여 ZnS(Ag)/플라스틱 이중섬광체를 제조하여 이용하였다. 이중섬광체는 알파선과 베타선을 동시에 측정할 수 있는 검출소재로써, 지지체 역할을 하는 베타선 측정용 유기섬광체 플라스틱 필름 위에 알파선 측정이 가능한 ZnS(Ag) 무기섬광체를 도포시켜 이중구조로 제조하였다.

지지체 역할과 베타선 검출용의 플라스틱 검출소재는 고분자 소재를 이용하여 용매법을 이용한 casting 방법으로 제조하였다. 고분자 소재로서 polysulfone(PSF)을 사용하였고, 유기섬광체인 제1용질로 2,5-diphenyloxazole (PPO) 그리고 파장 이동체인 제2용질은 1,4-bis[5-phenyl-2-oxazol] benzene(POPOP)를 사용하였다. 베타선 측정용 플라스틱 섬광체의 경우는 감마선의 영향을 최소로 하면서 베타선의 검출 효율을 높이기 위하여 250 μm 로 제조하였다. 또한, 알파선 측정용 ZnS(Ag) 섬광층은 screen printing 기법을 이용하여 ZnS(Ag) 섬광체 분말을 접착제(cyano resin)와 혼합하여 플라스틱 검출소재 위에 도포하여 제조하였다. 제조한 검출소재를 배관 내부에 적용하기 위하여 원통형으로 말아서 PMT와 동축이 되도록 그림 1과 같이 배치하였다.

Phoswich 검출기는 하나의 광전자증배관에 2개 이상의 다른 섬광체를 광학적으로 결합시킨 검출시스템이다. 섬광체 각각은 하나의 특정 형태의 방사선(즉, 알파, 베타, 감마 그리고/또는 중성자)에만 반응하도록 선택하며, 배관 내부의 알파 및 베타선을 측정하기 위하여 이중섬광체를 하나의 광전자증배관에 적용하여 PSD(pulse shape discrimination) 방법으로 알파와 베타를 분별하는 검출 시스템을 구성하였다.

개발한 이중섬광체 phoswich 검출기의 방사선 검출 성능을 평가하기 위하여 알파선 방출핵종인 ^{241}Am (반감기 : 432년, 알파선 에너지 : 5.44, 5.48 MeV)과 베타선 방출핵종인 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ (반감기 : 28.78년, 베타선 최대에너지 : 2.28 MeV) 방사선원을 이용하였다. 방사선과 섬광체의 상호작용에 의하여 생성된 섬광은 PMT(Hamamatsu Photonics K. K.)를 이용하여 측정하였다.

Phoswich 검출기를 이용하여 알파선과 베타선의 PSD 방법에 의한 신호 분리도는 FOM(figure of merit) 값을 사용하여 파형판별정도를 평가하였다. 이때의 FOM 값의 정의 식은 다음과 같다.

$$FOM = \frac{P_{\alpha} - P_{\beta}}{\alpha FWHM + \beta FWHM}$$

여기서 분자는 알파선과 베타선 피크 사이의 간격을 나타내고 분모는 알파선과 베타선 파형 스펙트럼의 반치폭(FWHM)의 합을 나타낸다.

배관 내부에서의 검출기 적용성을 시험하기 위하여 그림 1과 같이 phoswich 검출기의 prototype을 제작하여 알파선과 베타선에 대한 검출 성능을 시험하였다. Phoswich 검출기는 기하학적 형태에 따른 검출 성능을 평가하기 위하여 본 연구에서 자체 제조한 이중섬광체와 ZnS(Ag) 섬광체 필름과 상용의 플라스틱 검출기(BC-408)을 이용하여 그림 1과 같이 제작하였다. 성능 평가 결과 알파 및 베타선의 신호분리도인 FOM는 3.2 정도로서 아주 우수한 분리도를 나타내었으며, 감마선에 의한 영향은 무시할 수 있었다. 향후 원격 이송장치와 결합하여 검출기를 제작함으로써 배관 내부와 같은 국소지역의 오염도 측정장비로 활용이 가능할 것으로 기대된다.

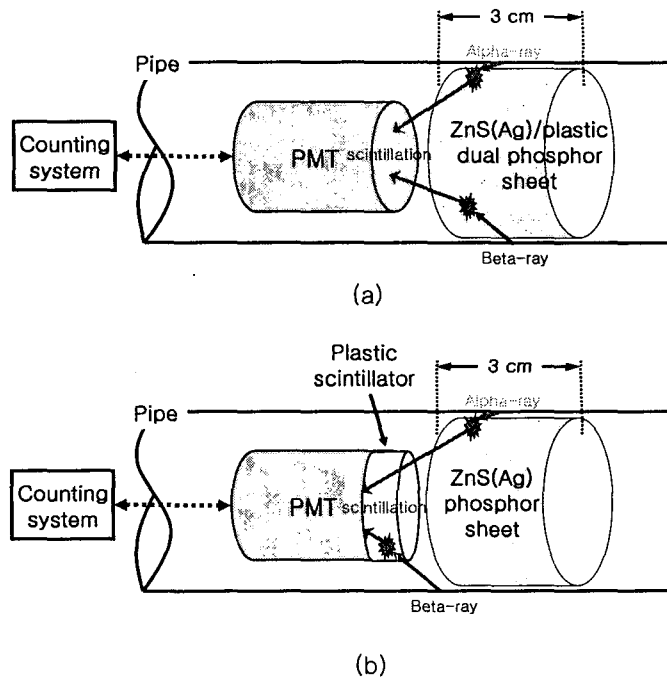


그림 1. 배관 내부의 알파 및 베타선 방사성 오염도 동시측정용 phoswich 검출기의 기하학적 배치도 : (a) ZnS(Ag)/plastic 이중섬광체를 이용한 phoswich 검출기 및 (b) ZnS(Ag) 섬광체와 플라스틱 섬광체를 각각 배치한 phoswich 검출기.