해체시설 알파 및 베타선 오염도 측정용 이중섬광체 제조

우주희, 서범경, 정연희, 김계홍, 오원진, 이근우, 한명진*
한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지
*경일대학교, 경북 경산시 하양읍 부호리 33번지

woozoo78@hotmail.com

현재 연구용 원자로(KRR 1&2) 및 우라늄변환시설의 해체가 진행 중에 있으며, 해체 시에는 해체 전후 및 과정에서 시설의 오염도 측정뿐만 아니라 폐기물을 안전하게 관리하기 위해서는 정확한 방사선학적인 특성 평가가 요구된다. 본 연구에서는 원자력시설 해체 시 오염도를 측정하기 위하여 방사선 계측용으로 다양하게 사용되는 유·무기섬광물질을 이용하여 고분자 복합소재를 개발하였다.

고분자 복합소재는 고분자 물질에 섬광체를 함침시켜 제조한 기능성의 섬광체 함침 고분자막으로, 방사선과 섬광체의 상호작용에 의하여 생성된 섬광을 측정함으로써 방사선 측정이 가능하다. 특히, 본 연구에서 고안한 알파선과 베타선을 동시에 측정할 수 있는 검출소재는 지지체 역할을 하는 베타선 측정용 유기섬광체 함침 고분자막 위에 알파선 측정이 가능한 무기섬광체를 함침시킨 고분자 용액을 특수한 기법으로 도포하여 이중구조로 제조하였다.

베타선 측정용으로 제안된 1차 고분자막은 플라스틱 섬광검출소재로써, 고분자 소재와 섬광체인 제1용질과 제2용질로 구성된다. 즉, 방사선이 고분자 물질에 입사하면 불안정해진 고분자는 에너지를 방출하며 안정한 상태가 되고, 이때 방출된 에너지를 제1용질이 전달받아 자외선 영역의 섬광을 방출한다. 이러한 자외선 영역의 파장은 검출기의 섬광 응답특성에 부합하지 않으므로 PMT에 적합한 파장으로 이동시키는 역할을 하는 wave shifter인 제2용질을 사용한다. 본 연구에서 유기섬광체로는 제1용질로 2,5-diphenyloxazole (PPO) 그리고 wave shifter인 제2용질은 1,4-bis[5-phenyl-2-oxazol]benzene(POPOP)를 사용하였고 제조과정은 그림 1에 나타내었다.

용매인 Methylene Chloride(MC) 80g에 유기섬광체를 적합한 무게비로 정량하여 용해시킨 후, Polysulfone(PSF) 고분자 소재 25g을 넣어 25℃에서 24시간 교반(rpm 150)하여 고분자 섬광체 혼합 용액인 제막용액을 준비하였다. 균일한 제막용액 내에서 산소 소광(Quenching)을 일으킬 수 있는 기포와 용액의 투명성을 확인한 후, Doctor Blade를 사용하여 일정한 두께로 유리판 위에 도말하였다. 이때, 고형화 후 고분자막의 두께에 대한 베타선의 (에너지에 따른) 최대비정을 고려한 도말두께는 1300 μm로 하였다. 끝으로, 도말한 고분자막을 24시간 동안 대기 중에서 방치하여 건조하였다.

알파선 측정용으로 제안된 2차 섬광층은 알파선 측정에 많이 사용되고 있는 ZnS(Ag) 무기섬광물질로 이루어진 섬광검출소재이다. 알파선이 무기섬광체에 입사하면 ZnS와 상호작용이 일어나고 입사 방사선 에너지가 상호작용으로 생성된 전자에 주어진다. 운동에너지를 얻은 전자는 ZnS를 여기, 전리시킨 다음, 미량으로 첨가된 Ag에 포착되는 과정에서 에너지를 빛으로 방출시킨다.

ZnS(Ag) 섬광층은 용매인 Dimethylformamide(DMF) 7.5g에 접착제인 cyano resin 3g을 넣어서

70 ℃에서 5시간 이상을 전기로에서 녹인 후, 평균 직경 3~4 μm인 분말 상태의 ZnS(Ag) 섬광체 18g을 첨가하여 균일하게 교반하였다. 앞에서 제조한 베타선 측정용 고분자막 위에 300 mesh의 screen printer를 올려놓고 섬광체 혼합용액을 부어서 squeeze로 압착한 후, 대기 중에 방치하여 용매를 완전히 증발·건조시켜 최종적으로 알파선과 베타선을 동시에 측정할 수 있는 이중구조 고분자 복합소재를 제조하였다. 제조과정은 그림 1에 나타내었다.

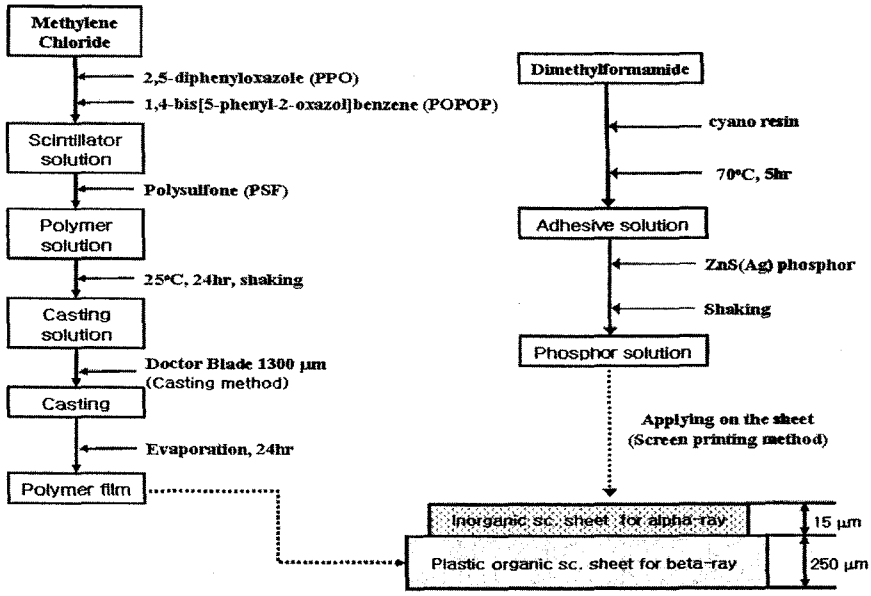

그림 1. 알파/베타선 동시 측정용 섬광체 함침 이중구조 고분자 복합소재 제조 과정

제조한 함침막의 방사선 검출 성능을 평가하기 위하여 알파선 방출핵종인 Am-241(반감기 : 432년, 알파선 에너지 : 5.44, 5.48 MeV)과 베타선 방출핵종인 Sr/Y-90(반감기 : 28.78년, 베타선 최대에너지 : 2.28 MeV) 방사선원을 2차 ZnS(Ag) 무기섬광 함침막 위에 직접 도포한 후, PMT를 이용하여 스펙트럼을 측정하였다.

본 연구에서는 유·무기섬광물질을 이용하여 서로 다른 종류의 방사선 계측이 가능한 고분자 복합소재의 제작 가능성을 확인하였고, 함침막의 방사선학적 특성을 평가한 결과, 알파선과 베타선 모두에 대한 반응특성을 확인하였다. 이를 통하여 향후 원자력시설의 해체 전후 및 과정에서 시설 및 폐기물의 오염도 측정용 검출기로 활용할 예정이다.