

## 표면오염 시료채취 및 방사선 검출 고분자 필름의 제조와 특성 평가

### Making of a Sampling and Radiation Detection Polymer Film for the Surface Contamination and Its Characterization Estimation

서범경, 우주희, 임난주, 이근우, 한명진\*

한국원자력연구소

대전광역시 유성구 덕진동 150

#### 요 약

원자력시설의 해체와 같은 대량의 표면오염도 측정이 요구되는 시설의 오염도 측정을 위하여 시료채취 뿐만 아니라 방사선 검출이 가능한 신소재를 개발하였다. 표면오염도 측정용 신소재는 방사선과의 상호작용에 의하여 섬광이 발생하는 무기섬광체를 고분자에 함침시켜 필름형태의 스메어 매질을 제조하였다. 함침막은 고분자 소재로는 폴리설펜을 사용하였고, 용매로는 비흡습성의 메틸렌클로라이드를 사용하여 다양한 고형화 방법(유리화, 비용매 침지)을 이용하여 제조하였다. 스메어 매질의 방사선 검출 능력 향상을 위하여 무기섬광체의 양과 필름 두께 등의 조건을 변화시키면서 제조하였다. 제조한 무기섬광 함침막의 방사선 검출 성능은 함침막에 방사성 핵종을 도포하고 방사선과의 무기섬광체와의 상호작용에 의하여 발생된 섬광을 측정하여 평가하였다.

#### Abstract

New medium which is possible to sample the surface contamination and detect the radiation was prepared for surface contamination measurement of the nuclear facilities such as decommissioning. The material was manufactured by impregnating the inorganic fluor - scintillation production by interaction with radiation - into the polymer. The impregnated membrane was consisted of polysulfone as a polymer matrix and a methylene chloride as a solvent. It was prepared with a various condition of the membrane solidification (evaporation and non-solvent immersion). In order to improve the radiation detection ability of the smear material, it was manufactured by changing the condition - the amount of a inorganic fluor and film thickness. The ability of membranes was estimated with measurement of the scintillation produced by interaction with the radiation.

---

\* 경일대학교

## 1. 서 론

표면오염 모니터링은 방사선 작업환경 모니터링의 일부이며, 방사선관리구역내의 작업환경, 작업자의 신체 또는 관리구역으로부터 반출되는 물품의 표면에 존재하는 방사성물질의 양을 방사선 방호 관점에서 일정한도 이하로 유지하는 것을 목적으로 하는 측정 및 평가를 말한다. 작업환경에 대한 표면오염의 측정결과는 일반적으로 작업자의 피폭선량 또는 작업환경의 공기오염도와는 정량적으로 관련짓고 있지 않지만, 작업환경의 적부를 판단하는데 유력한 수단이다. 따라서 비밀봉 방사성물질을 취급하는 시설에서의 표면오염의 측정결과는 방사선관리상 매우 중요하다.

표면오염에는 고착성과 유리성 오염으로 나눌 수 있는데, 고착성 오염의 경우는 제외피폭만 고려하면 되지만, 유리성의 경우는 오염물질이 부유하여 실내의 공기를 오염시켜 체내로 섭취될 수 있기 때문에 세심한 주의가 필요하다. 고착성 오염은 휴대형 계수기를 이용하여 직접 측정법을 주로 이용하고, 유리성의 경우는 주로 스메어 법을 이용한 간접 측정법을 이용한다. 직접법은 방사선관리구역 내에는 항상 방사능 물질이 존재함에 따라, 주변의 방사선에 의한 간섭으로 측정값의 신뢰성이 저하되는 문제점이 있으며, 이와 같은 이유에 따라 통상의 표면오염 측정 방법으로는 주로 여과지를 사용하는 스메어 법이 사용되고 있다.

그러나, 스메어 용지를 이용한 표면오염도 측정방법은 측정 대상 핵종의 종류와 에너지에 따라 그 측정법이 달라진다. 측정장비 또한 외부의 고에너지 백그라운드 방사선을 차폐하기 위한 두꺼운 납차폐체가 필수적으로 요구되기 때문에 장비 자체의 무게가 무거워 이동이 용이하지 않으며, 시료채취 현장에서 표면오염도를 측정할 용도로는 그 사용이 부적합하고, 가격 역시 고가임에 따라 폭넓게 이용하기 어려운 문제점이 있다. 이 때문에 스메어 매질의 제조에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다<sup>[1-5]</sup>. 또한, 최근에 방사능 오염도 측정의 효율성을 높이기 위하여 원격으로 표면오염 시료를 자동으로 채취하여 측정할 수 있는 기술 개발에 대한 연구가 진행되고 있다<sup>[6]</sup>.

본 연구에서는 자동시료 자동시료채취기와 호환성을 가지며, 방사선 표면오염을 효과적으로 측정할 수 있는 표면오염 시료채취 및 방사선 측정용 고분자 필름의 제조를 목표로 한다. 시료채취용 고분자 필름은 장비에 탈부착이 용이하도록 치밀한 구조를 가져야 한다. 그러나, 제막용액을 비용매 욕조에 침지시키는 상전환 공정을 이용하여 고형화된 막은 막전체에 걸쳐 다공성의 형상을 지니며 방사선 검출 성능을 향상시키기 위하여 다량의 무기섬광체를 첨가하여 고형화시킨 막은 기계적 성질이 급격히 저하되어 부서지는 단점이 있다. 이들은 이용한 wipe test 결과는 기공을 포함하는 고분자 필름은 기공을 포함하지 않는 막에 비하여 상대적으로 낮은 검출 효율을 나타내었다. 또한, 방사선과 섬광체의 상호작용에 의하여 생성된 빛은 섬광소멸효과(quenching effect)

로 인하여 계수되지 않는 경우가 많은데, 이는 측정효율의 감소를 초래한다<sup>[7-10]</sup>.

본 연구에서는 기존의 시료 채취용 여과지를 대체할 시료채취와 방사선 검출이 동시에 가능한 무기섬광 함침막을 제조하였다. 함침막은 고분자 소재로는 폴리설펜을 사용하였고, 용매로는 기존의 비당공서의 무기섬광 함침막의 구조적 단점과 측정효율의 단점을 보완하기 위하여 비흡습성의 메틸렌클로라이드를 사용하였으며, 다양한 고형화 방법(유리화, 비용매 침지)을 이용하여 제조하였다. 또한, 스메어 매질의 방사선 검출 효율 향상을 위하여 무기섬광체의 양과 필름 두께 등의 제막조건을 변화시키면서 제조하였다. 제조한 무기섬광 함침막의 방사선 검출 성능은 함침막에 방사성 핵종을 도포하고 방사선과의 무기섬광체와의 상호작용에 의하여 발생된 섬광을 측정하여 평가하였으며, 기존의 다공성 막에 비하여 향상된 방사선 검출 능력을 확인하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 함침막 제조 및 형상 분석

무기섬광체 함침막은 두 차례의 제막 과정과 고형화 과정을 거쳐 제조하였다. 지지용 1차막의 제조를 위해, 메틸렌클로라이드 (MC) 80 g과 폴리설펜 (PSF) 25 g을 혼합한 투명한 1차 제막용액을 만들고, Doctor Blade (Sheen applicator, England)를 이용하여 유리판 위에 300  $\mu\text{m}$ 의 이격 두께로 제막하여 용액 필름이 형성되도록 하였다. 이를 30  $^{\circ}\text{C}$  진공오븐에서 48 시간 증발 건조시켰을 때, 투명한 상태의 PSF 필름은 유리판 위에 고착된 상태를 유지하였다. Fig. 1에서 보는 바와 같이, 1차 제막에서 얻어진 PSF 필름 위에, MC와 PSF로 이루어진 균일한 용액에 무기섬광체인 cerium activated yttrium silicate (CAYS)을 분산시킨 2차 제막용 용액을 만들고 유리판에 도포함으로써, CAYS를 포함하는 용액이 1차 고형화 필름 위에 덮여지도록 제막하였다. 1차 지지용 PSF 고형화 필름과 CAYS를 포함하는 2차 용액 필름으로 이루어진, 2중 구조를 지니는 용액 필름은 비용매에 침지시키거나, 용매의 증발을 통해 용액필름의 최종 고형화가 이루어지도록 하였다. 비용매 육조에 침지되어 고형화한 막은 24시간 경과 후 침지용 비용매 육조로부터 대기로 옮겨져 비용매가 증발되도록 하였다. 막의 제조 조건은 Table 1에 나타내었다.

MC와 PSF(M.W. 22,000)는 Aldrich로부터 구입하였으며, 별도의 정제과정 없이 사용하였다. 침지용 비용매로 사용되는 물과 메타놀은 증류수와 공업용을 각각 사용하였으며, CAYS(P-47)은 SPI supplies (England)로부터 구입하여 사용하였다.

제조한 무기섬광 함침막의 형상은 전자주사현미경(SEM, Philips XL30W)을 이용하여 분석하였다. 샘플들은 액체질소를 사용한 심냉 조건 아래에서 준비하였고, 대기 상태에

서 건조하였다. 모든 시편들은 촬영 전에 금-팔라듐 (6:4) 합금을 도포하였다.

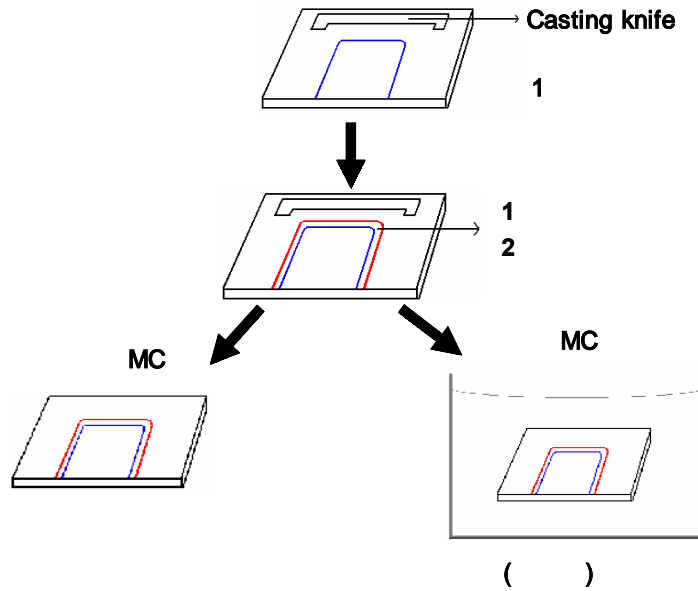


그림 1. 무기섬광 합침막 제조 공정.

표 1. 무기섬광 합침막의 제조 조건

시 료 번 호	1차막			2차막				고형화 조건
	PSF (g)	MC (g)	두께 ( $\mu\text{m}$ )	PSF (g)	MC (g)	CAYS (g)	두께 ( $\mu\text{m}$ )	
1	25	80	300	4.5	25	5	200	메탄올 침지
2	25	80	300	4.5	25	5	200	용매증발
3	25	80	150	4.5	25	5	300	"
4	27.5	80	300	4.5	25	7.5	200	"
5	27.5	80	300	4.5	25	7.5	300	"
6	27.5	80	300	4	25	7.5	300	"

## 2.2 합침막의 방사선 성능 평가

방사선과 무기섬광체의 상호작용에 의하여 방출된 광을 측정하기 위하여 PMT(광전자증배관, Hamamatsu Photonics K.K., R329-02)를 이용하였으며, 이 때 방출된 섬광은

광전자증배기에서 전기적인 신호로 변환되며, 이 전기적인 신호를 전자회로를 이용하여 계수함으로써 방사능을 측정할 수 있다.

그림 2는 무기섬광 함침막을 측정하기 위하여 제작한 측정함이다. PMT는 함침막에서 발생된 섬광을 전기적인 신호로 바꾸는 장치로서 측정 중에 외부의 빛을 완전히 차단할 수 있어야 한다. 또한, PMT에 전압이 인가된 상태에서 외부의 빛이 입사하면 한꺼번에 광전자로 전환되는 양이 너무 많아지기 때문에 자체에 심각한 손상을 입을 수 있다. 그렇기 때문에, 시료 교환 시 외부에서 빛이 들어가는 것을 막기 위하여 2중 차폐하였다.

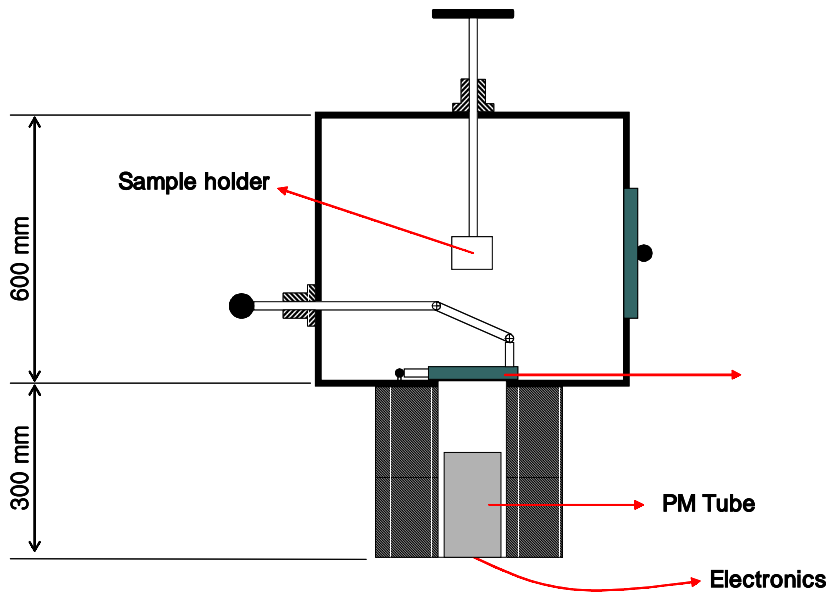


그림 2. 무기섬광 함침막 측정장치.

제조한 무기섬광 함침막의 방사선학적인 성능을 평가하기 위하여 순수 베타선 방출 핵종인  $^{14}\text{C}$ 를 이용하였다. 준비한  $^{14}\text{C}$  방사선원에 이소프로판올로 희석하여 방사성 용액을 제조하였다. 여러가지 공정에 따라 제조한 무기섬광 함침막에 방사성 선원 30  $\mu\text{L}$  (약 70 Bq)를 도포하였다. 방사성 용액을 도포한 함침막은 실온에서 하루 동안 건조시킨 후, PMT를 이용하여 측정하였다. 측정이 끝난, 동일한 함침막은 실제 도포된 방사성 핵종의 농도를 비교·평가하기 위하여 LB(저준위 알파/베타 계수기, Canberra, S5XLB)로 계수하였다. 실제 제작된 무기섬광 함침막은 sheet 형태이나 기존의 스메어 매질로 이용되는 여과지와 비교하기 위하여 측정 전에 직경 2"의 원형으로 절단하여 사용하였다.

### 3. 결과 및 논의

단일구조 함침막은 약한 기계적 강도 때문에, 실제 현장에서 표면오염도 측정을 위하여 오염된 표면을 문지를 경우 찢어질 수 있으며, 또한 방사선 검출 효율을 향상시키기 위하여 무기섬광체인 CAYS를 다량으로 첨가할 경우 함침막이 부서지는 단점이 있다<sup>[11]</sup>. 이러한 단점을 보완하기 위하여 지지체로서의 역할을 담당할 1차 지지막을 제

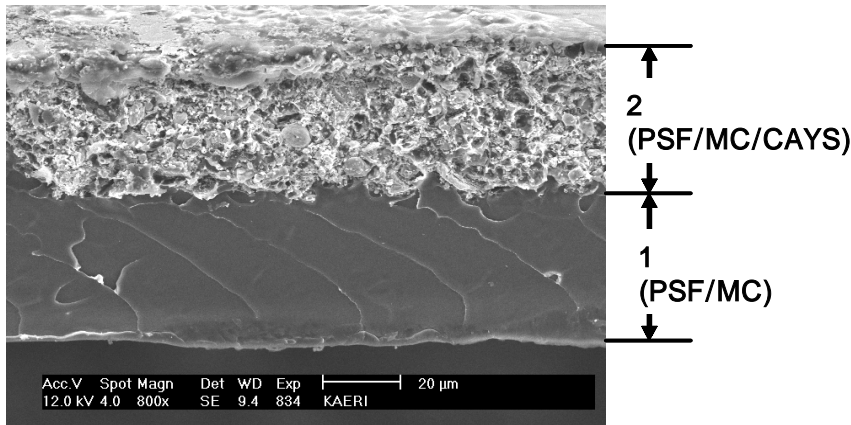


그림 3. 이중구조 무기섬광 함침막의 SEM 단면 사진.

조하고, 그 위에 무기섬광체인 CAYS가 함유된 용액을 도포하여 2차로 제막함으로써 이중구조의 함침막을 제조하였다.

또한, 기존에 디메틸포름아미드(DMF)를 용매로 이용하여 제조한 다공성 함침막은 방사선과의 상호작용

에 의하여 생성된 섬광의 소멸효과(quenching effect) 때문에 방사성 검출 효율이 낮으므로, 실제 표면오염도 측정에 적용하기에는 많은 문제점을 가지고 있다<sup>[11]</sup>. 이러한 단점을 보완하기 위하여 용매로서 비흡습성의 MC를 이용하여 함침막을 제조하였다.

그림 3에서와 같이 MC를 용매로 하여 제조된 막은 CAYS가 함침된 지역과 고분자 밀집 지역의 두 지역으로 분류되나, 이전의 연구<sup>[11]</sup>에서 DMF를 사용하여 제조한 다공성의 막들 보다 밀집된 구조를 보여준다. 용매증발을 통해 CAYS 제막용액을 고형화할 경우, MC의 비흡습성 및 낮은 비점을 고려할 때, 대기에 방치된 제막 용액의 증발과정에서 상전환에 의한 고형화의 가능성은 배제될 수 있으며, 무정형 고분자인 PSF의 유리화에 의한 응고화만이 가능하게 된다.

무기섬광 함침막은 시료채취 용지로서 사용되기 때문에 실제 표면오염 측정에 적용하기 위하여 오염된 표면을 문질러서 시료를 채취한다. 이 때 표면 오염 시료를 채취하기 위해서 함침막은 충분한 기계적 강도가 요구되며, 기계적인 강도를 측정하기 위하여 LLoyd사의 LR-30K 인장강도 측정기를 이용하여 인장강도를 측정하였다. 통상적으로 사용되고 있는 표면오염 측정용 매질인 스메어 용지인 여과지의 경우 인장강도는 23.57 N/mm<sup>2</sup>이었고, 본 연구에서 제조한 무기섬광 함침막의 인장강도는 24.61 N/mm<sup>2</sup>으로서 기존의 스메어 매질과 유사한 기계적 강도를 가지는 것을 알 수 있었다.

또한, 간접법을 이용한 표면오염도 시료채취용 소재로서의 방사성 핵종의 전이율을 평가하였다. 기존의 표면오염도 측정법에 이용되는 스메어 매질인 여과지와 본 연구에

서 개발한 무기섬광 합침막을 이용하여 코팅된 철판 위에 동일한 농도의 방사성 용액 C-14를 도포하여 건조시킨 후, 각각의 스메어 매질을 이용하여 전이율을 평가하였다. 여과지를 이용하여 측정된 결과 전이율은 84.7 %였으며, 무기섬광 합침막을 이용한 전이율은 88.8 %였다. 즉, 본 연구에서 개발한 무기섬광 합침막은 기계적 특성인 인장강도와 방사성 핵종의 포집 능력을 나타내는 전이율이 기존의 시료채취 용지인 여과지와 비교하여 큰 차이가 없다는 것을 알 수가 있다.

방사선 측정 소재로서의 무기섬광 합침막의 방사선 검출 능력을 측정하기 위하여 합침막에 방사성 핵종을 도포하여 내부에서 무기섬광체인 CAYS와 방사선과의 상호작용에 의하여 생성된 섬광을 PMT를 이용하여 계수하였다. 또한, 실제 도포한 방사선의 양을 측정하기 위하여 합침막에서 발생된 섬광이 아닌 직접 도포한  $^{14}\text{C}$ 의 베타선을 LB를 이용하여 계수함으로써 비교하였다. 그림 4는 표 1의 제조조건에 따라 만든 합침막의 방사선 검출 성능을 비교한 것으로서 측정된 방사선과 상호작용에 의하여 생성된 섬광을 PMT를 이용하여 계수한 결과(□)와 LB를 이용하여 직접 방사선을 계수한 결과(■)를 비교한 것이다.

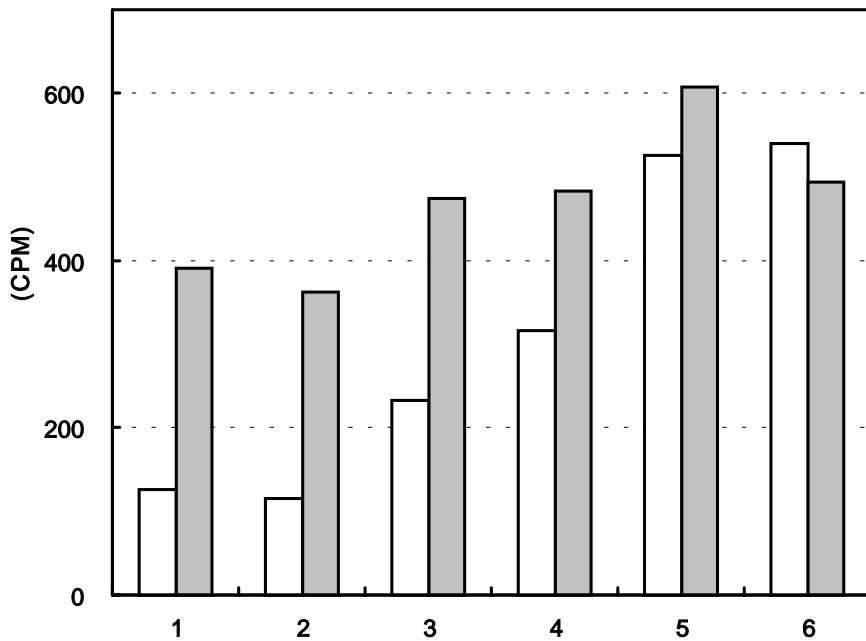


그림 4. 무기섬광 합침막의 방사선 검출 성능 평가.

그림 4에서 시료 1과 2는 2차막을 비용매인 메탄올 욕조에 침지하여 고형화한 경우와 용매 증발을 통하여 고형화한 경우의 방사선 검출 능력을 비교한 것이다. 위의 그

림에서 무기섬광 함침막의 고형화 조건에 따른 방사선 검출 능력( $\square$ )의 차이는 없었다. 이는 용매인 MC의 비흡습성으로 인하여 고형화 조건에 상관없이 유리화에 의한 응고만이 진행된다는 것을 알 수 있었다. 또한, 고형화 조건에 상관없이 거의 동일한 형상을 가진다는 것을 SEM 사진을 통하여 확인하였다. 방사선 측정 결과를 바탕으로 함침막의 고형화 조건은 처리가 쉬운 용매증발을 통한 고형화 방법으로 결정하였다.

동일한 고형화 조건하(시료 2와 3)에서 1차막과 2차막의 두께 변화에 따른 함침막의 특성 변화를 조사하기 위하여 시료 3과 같이 1차막의 두께를 150  $\mu\text{m}$ 로 줄이고 방사선과 실제 반응이 일어나는 2차막의 두께를 300  $\mu\text{m}$ 로 높여서 함침막을 제조하였다. 그림 4의 측정결과에서 볼 수 있듯이 시료 3의 경우가 시료 2번의 경우에 비하여 방사선 검출 능력이 향상된 것을 볼 수 있다. 이는 2차막의 두께 증가로 인하여 방사선 측정 영역이 증가하였기 때문이다. 그러나, 지지체 역할을 하는 1차막의 두께 감소로 인하여 함침막의 기계적 성질이 약화되는 단점으로 인하여 실제 측정에 이용하기에는 한계가 있다.

CAYS 양에 따른 함침막의 방사선 검출 능력을 비교하였다. 또한, CAYS 양의 증가에 따른 함침막의 기계적 성질의 약화를 보완하기 위하여 지지체 역할인 1차막의 고분자 소재인 PSF의 양을 증가하여 함침막을 제조하였다(표 2의 시료 2와 4). 이들 제조한 함침막의 방사선 검출 결과는 그림 4의 시료번호 2와 4에 나타내었는데, CAYS 양의 증가에 따른 방사선 계수율이 현저히 증가한 것을 볼 수 있다. 또한, 1차막의 PSF 양을 27.5g, 2차막의 CAYS 양을 7.5 g으로 고정하고, 방사선 검출 영역인 2차막의 두께를 200에서 300  $\mu\text{m}$ 로 증가하여 제조한 함침막(시료 4와 5)의 경우도 방사선 검출 능력이 현저히 증가한 것을 알 수 있는데, 이는 실제 방사선 검출 영역의 증가에 따라 방사선과 상호작용하는 함침막의 두께 증가에 따른 반응성의 증가 때문이다. 마지막으로 2차막의 고분자 구조재인 PSF의 양에 따른 함침막의 성능 평가를 위하여 PSF의 양을 4.5 g에서 4.0 g으로 줄이고 다른 조건들은 동일하게 유지하고 함침막을 제조(시료 6)하였다. 방사능 평가 결과 이전의 조건에 비하여 큰 차이가 없다는 것을 확인하였다.

무기섬광 함침막의 방사선 검출 소재로서의 요구사항인 방사능 농도에 따른 선형성을 평가하였다. 함침막에 방사능 농도의 양을 증가시키면서 방사선과의 상호작용에 의하여 생성된 섬광을 PMT를 이용하여 측정한 결과를 그림 5에 나타내었다. 그림 5에서 볼 수 있는 바와 같이, 방사능 농도를 10에서 100  $\mu\text{L}$ 까지 증가시키면서 계수한 결과는 아주 좋은 선형성을 가진다는 것을 알 수가 있다.

또한, 본 연구에서 제조한 무기섬광 함침막은 방사선을 직접 측정하여 표면오염도를 평가하는 것이 아니라 무기섬광 함침막을 이용하여 시료를 채취하고 함침막 내부에서 방사선과 무기섬광체의 상호작용에 의하여 생성된 섬광을 측정하여 표면오염도를 측정한다. 그렇기 때문에 실제 현장에서 표면오염 대상 표면의 문지를 경우 시료채취 용지



에 검은 때가 묻게 되어 방사선과의 상호작용에 의하여 생성된 섬광이 PMT로 들어가는 것을 차단하여 측정효율의 저하를 초래할 수 있다. 이러한 시료채취면과 측정 방향에 따른 계수율의 차이를 평가하기 위하여 시료채취 면인 2차구조 함침막에 방사성 용액인 C-14을 도포 한 후, 시료채취면이 측정용 PMT와 바로 측정한 경우와 반대면을 이용하여 측정한 결과를 비교하였다. 시료채취면을 이용하여 바로 측정한 경우의 계수율은  $127.9 \pm 1.6$  cpm이었고, 반대면을 이용하여 측정한 경우는  $112.6 \pm 3.6$  cpm으로서 전면으로 측정하는 경우에 비하여 약 13 % 정도 낮은 계수율을 보였다.

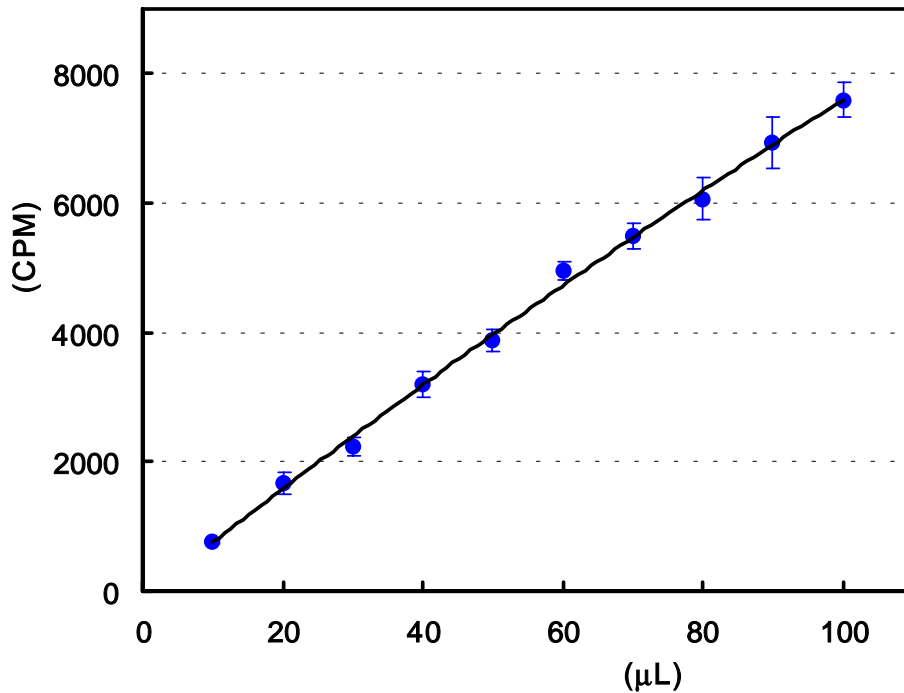


그림 5. 방사능 농도 변화에 따른 무기섬광 함침막의 계수율 변화.

실험에 사용한 핵종 중에서  $^3\text{H}$ 와  $^{14}\text{C}$ 와 같은 저에너지 베타선 방출핵종에 대해서는 통상적으로 스메어 용지를 이용하여 오염대상 지역을 문지른 후 액체섬광계수기(Liquid Scintillation Counter)를 이용하여 정량화한다. 그러나 LSC를 이용한 측정법은 섬광보조 용액(cocktail solution)과 같은 2차 폐기물이 발생하며, 측정 절차가 복잡하며 고가의 측정장비가 요구된다. 그러나 본 연구에서 제조한 무기섬광 함침막은 저에너지 베타선 방출핵종에 대하여 기존의 LSC와 LB와 같은 고가의 측정장비 없이 PMT와 같은 비교적 단순하고 저가의 장비를 이용하여 측정할 수 있다.

#### 4. 결 론

원자력시설의 해체와 같은 대량의 표면오염도 측정이 요구되는 시설의 시료채취를 위하여 개발한 자동시료채취기에 적용이 가능하며 시료채취와 방사선 검출이 동시에 가능한 고분자 필름을 개발하였다. 고분자 필름은 방사선과의 상호작용에 의하여 섬광이 발생하는 무기섬광체인 CAYS를 고분자 재질인 PSF에 함침시켜 제조하였다. 기존에 제조한 다공성 함침막의 구조적인 문제점과 낮은 방사선 측정 효율의 문제점을 해결하기 위하여 용매로서 비흡습성의 MC를 이용하여 이중구조로 제조하였다.

제조한 무기섬광 함침막의 시료채취 용지로서의 적합성을 평가하기 위하여 기계적인 강도를 측정하여 기존의 스메어 매질인 여과지와 동일한 인장강도를 가진다는 것을 확인하였으며, 표면오염 대상 표면으로부터 방사성 핵종의 포집 능력을 나타내는 전이율을 평가하여 기존의 여과지와 큰 차이가 없다는 것을 확인하였다. 또한 제조조건에 따른 방사선 검출 능력을 평가하기 위하여 함침막에 직접 방사성 핵종을 도포하여 평가한 결과, 가장 계수 효율이 우수한 제조조건을 도출하였다. 방사선 측정용 소재로서의 선형성을 평가하기 위하여 핵종 농도별 계수율을 평가하여 측정 소재로서의 선형성을 확인하였다.

본 연구에서 개발한 무기섬광 함침막은 진공방식을 이용하여 시료를 흡착하는 표면오염도 자동시료채취기에 적용할 수 있도록 치밀한 구조를 가지며, 간단한 측정장치를 이용하여 표면오염도를 평가할 수 있다.

#### 5. 감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 6. 참고문헌

- [1] S. W. Wunderly and J. F. Quint, US Patent 4,916,320, April 10 (1990).
- [2] K. A. Schellenberg, US Patent 4,562,158, December 31 (1985).
- [3] L. F. Costa, D. C. Harrington, and R. S. Miller, US Patent 4,692,266 1985).
- [4] C. G. Potter and G. T. Warner, "Scintillation counting of harvested biological samples with low energy beta emitters, using solid scintillant filters", In H. Ross, J. E. Noakes, and J. D. Spaulding (Eds.), Liquid Scintillating Counting and Organic Scintillators, Chelsea, Michigan, Lewis Publishers (1991).

- [5] M. J. Han, P. M. Bummer, and M. Jay, "Solid scintillation proximity membranes I. Characterization of polysulfone-inorganic fluor morphologies precipitated from NMP Solutions", *J. Membrane Sci.*, **140**, 235 (1998).
- [6] 서범경, 이봉재, 정기정, 노승용, 표면오염 모니터링용 자동 시료채취기 개발, 대한방사선방어학회 2002 춘계학술대회, 조선대학교, 광주 (2002).
- [7] M. J. Han, P. M. Bummer, and M. Jay, "Solid scintillation proximity membranes. II. Use in wipe test assays for radioactive contamination", *J. Membrane Sci.*, **148**, 223 (1998).
- [8] M. J. Han, and M. Jay, "Radioactivity measurement of radionuclides using solid scintillation proximity membranes prepared from polysulfone and an inorganic fluor", *Korea Polymer J.*, **6**(4), 341 (1998).
- [9] M. J. Han, "Use of fluor-impregnated polysulfone membranes for measuring radioactive contamination in laboratories", *Membrane J.*, **9**(2), 132 (1999).
- [10] M. Muramatsu, "Radioactive traces in surface and colloid science", *Surface and Colloid Science*, **6**, 101 (1973).
- [11] K. W. Lee, B. K. Seo, J. H. Park, S. T. Nam, and M. J. Han, "Preparation and Radionuclide Detection Analysis of Inorganic Fluor Impregnated Double-layered Membranes", *Membrane J.*, **12**(4), 238 (2002).