

표면오염 측정용 무기섬광 함침 필름의 제조 및 성능 평가

서범경 · 이근우 · 임난주 · 박진호 · 한명진*

한국원자력연구소 제염해제기술연구부, *경일대학교 생명화학공학과

E-mail : bumja@kaeri.re.kr

Preparation of an Inorganic Scintillator Loaded Film for the Measurement of Surface Contamination and its Performance Test

Bum-Kyoung Seo, Kune-Woo Lee, Nan-Ju Lim, Jin-Ho Park and Myeong-Jin Han*

Korea Atomic Energy Research Institute

*Kyungil University

요 약

간접법을 이용한 표면오염도 측정 시 시료채취와 동시에 방사선 검출이 가능한 스메어 매체를 제조하고 성능을 평가하였다. 스메어 매체는 무기섬광체를 고분자 막에 함침시킨 것으로서, 용매로는 디메틸포름아마이드(DMF)와 메틸렌클로라이드(MC) 그리고 고분자 소재로서 폴리설푼(PSF)을 사용하였고, 무기섬광체는 CAYS(cerium activated yttrium silicate)를 사용하였다. 함침막은 단일 및 이중구조로 제조하였고, 물, 메타놀 등 비용매성 용조에 침지하거나 용매 증발을 통하여 고형화하여 특성을 비교하였다. 방사선과의 상호작용에 의하여 무기섬광물질 함침막으로부터 방출되는 광자의 계측은 광전증배관과 고전압원, 증폭기, 계수기로 구성된 원형계수기를 사용하였다. ^{14}C 표면오염에 대해 무기섬광 함침막을 이용해 얻은 계수율을 통상의 저준위 알파/베타 계수기로 얻은 결과와 비교할 때 상대 감도가 약 50%로 나타났다. 또한, 계수 효율이 상대적으로 낮았지만 저에너지 베타선 방출핵종인 ^3H 표면오염도 측정이 가능하다는 것을 확인하였다.

Abstract — The smear media possible to sampling and radiation detection was prepared and evaluated for the surface contamination using indirect method. The films were made by impregnating Cerium Activated Yttrium Silicate (CAYS) in a polysulfone membrane. The membranes used solution as a dimethylformamide (DMF) and methylene chloride (MC), polysulfone as a polymer matrix and CAYS as a inorganic scintillator. The proximity membranes were prepared with single- and double-layered structure. The solidified methods were immersion to the nonsolvent bath such as water and ethanol and solvent evaporation. The measurement of the photon produced by interaction with radiation and inorganic scintillator used a photomultiplier tube (PMT), amplifier, and counter. In the comparison with the low background alpha/beta counter, the counter rate using inorganic scintillator proximity membrane for the ^{14}C surface contamination was about 50%. Also, the ^3H counting results revealed that the prepared membranes were efficient to monitor the surface contaminated with the low energy beta-ray emitter nuclides.

1. 서 론

비밀봉 방사성물질을 취급하는 작업환경에는 물체 표면에 방사성 오염의 우려가 상존한다. 일반적으로 표면 오염도는 작업자의 피폭선량과 직접 정량적으로 관련되고 있지 않지만, 작업환경의 적부를 판단하는데 유효한 수단이다. 따라서 비밀봉 방사성물질을 취급하는 시설에

대한 방사성 표면오염의 감시와 관리가 요구된다.

표면오염의 측정은 오염된 표면에 휴대형 방사선 계측기(프리스커)의 검출기를 직접 접근시켜 계수하는 직접법과 오염 표면을 필터지나 솜 등의 스메어 재료로 문질러 전이되는 오염을 통상의 방사선계측기로 계수하여 평가하는 간접법이 있다. 직접법은 측정의 정확성을 높일 수 있으나 백그라운드 방사선준위가 높은 위치에서

Table 1. Preparation conditions for inorganic fluor membranes.

Type	1st casting solution	2nd casting solution	Coagulation method
Single structure	PSF/MC/CAYS	-	Water immersion
	PSF/MC/CAYS	-	Methanol immersion
Double structure	PSF/MC	PSF/DMF/CAYS	Water immersion
	PSF/MC	PSF/DMF/CAYS	Methanol immersion
	PSF/MC	PSF/DMF/CAYS	Evaporation

는 사용할 수 없으며 검출기 창에 의한 차폐효과로 인해 약한 에너지의 베타입자나 알파입자처럼 투과력이 미약한 방사선을 방출하는 오염에 대해서는 사용할 수 없다. 간접법은 표면의 특성과 스메어하는 방법에 따라 오염의 전이율에서 상당한 오차를 내기 때문에 정확성은 떨어지지만 백그라운드 영향을 배제할 수 있어 규모가 큰 원자력 시설에서 널리 사용되고 있다.

일반적으로 간접법은 직경 5 cm의 여과지로 검사하려는 표면 약 100 cm²를 여과지를 찢어지지 않을 정도의 힘으로 문질러 여과지에 전이된 오염을 GM 검출기 또는 비례계수관을 검출기로 사용하는 방사능 계수기로 측정한다. 그런데 이러한 방사능 계수기도 검출기의 입사창이 있어 알파입자나 생명과학 분야의 연구에 널리 사용되는 ³H나 ¹⁴C처럼 약한 에너지의 베타입자를 측정하는 데에는 어려움이 있다. 이들 핵종, 특히 트리튬의 방사능을 측정하려면 스메어 여과지를 용매로 침출하거나 가용성 스메어 매체를 유기용매에 녹여 액체섬광계수기로 측정하는 방법이 사용된다. 그러나 액체섬광계수는 고가의 장비이며 측정절차도 까다로와 불편적 방법으로 보기는 어렵다. 이 때문에 섬광물질을 함침한 스메어 매체와 같은 새로운 스메어 매체에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다^[13].

본 연구에서 기존의 시료 채취용 여과지를 대체할 무기섬광 함침막을 제조하고 그 성능을 평가하였다. 제조한 고분자막은 방사선과의 상호작용으로 섬광을 발생시키는 무기섬광체를 고분자 막에 함침시켜 제조하였다. 함침막의 방사선 검출 능력을 향상시키기 위하여 고형화 방법(비용매 침지 및 증발)을 달리하여 제조하였다.

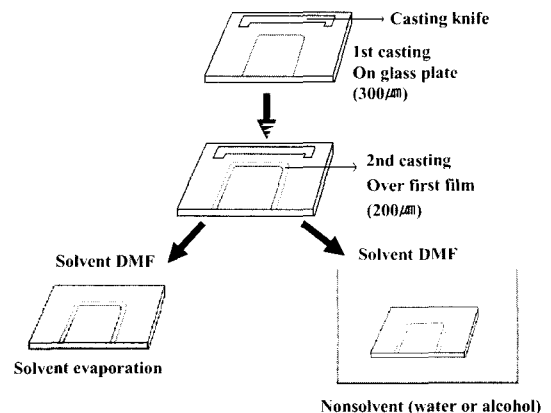
2. 실험방법

2-1. 함침막 제조 및 형상 분석

함침막은 단일구조와 이중구조의 두 가지 형상으로 제작하였다. 먼저, 단일구조 함침막의 경우는 메틸렌클로라이드(MC) 80 g과 폴리실실론(PSF) 25 g의 균일한 혼합 용액에 무기섬광체인 CAYS(cerium activated yttrium silicate) 5 g을 분산시킨 제막 용액을 만들고, Doctor Blade(Sheen applicator, England)를 이용하여 유리판 위

에 300 μm의 이격 두께로 제막하여 용액 필름이 형성되도록 하였다. 용액 필름은 물 또는 메탄올의 비용매에 침지시켜 고형화가 이루어지도록 하였다. 비용매 욕조에 침지되어 고형화한 막은 24시간 경과 후 대기로 옮겨져 비용매가 증발되도록 하였다. 단일구조 함침막의 제조 조건 Table 1에 나타내었다.

이중구조 무기섬광 함침막 막은 두 차례의 제막 과정과 고형화 과정을 거쳐 제조하였다. 지지용 1차막의 제조를 위해, 메틸렌클로라이드 80 g과 폴리실실론 25 g을 혼합한 투명한 1차 제막용액을 만들고, Doctor Blade를 이용하여 유리판 위에 300 μm의 이격 두께로 제막하여 용액 필름이 형성되도록 하였다. 이를 30°C 진공오븐에서 48시간 증발 건조시켰을 때, 투명한 상태의 폴리실실론 필름은 유리판 위에 고착된 상태를 유지하였다. Fig. 1에서 보는 바와 같이, 1차 제막에서 얻어진 폴리실실론 필름 위에, 디메틸포름아마이드(DMF) 20 g과 폴리실실론 4.5 g으로 이루어진 균일한 용액에 CAYS 5 g을 분산시킨 2차 제막용 용액을 만들고 유리판과 200 μm 이격 두께로 도포함으로써, CAYS를 포함하는 용액이 1차 고형화 필름 위에 덮여지도록 제막하였다. 1차 지지용 폴리실실론 고형화 필름과 CAYS를 포함하는 2차 용액 필름으로 이루어진, 2중 구조를 지니는 용액 필름은 물 또는 메탄올의 비용매에 침지시키거나, 용매의 증발을 등

**Fig. 1. Schematic diagram for membrane preparation.**

해 용액필름의 최종 고형화가 이루어지도록 하였다. 비용매 용조에 침지되어 고형화한 막은 24시간 경과 후 대기로 옮겨져 비용매가 증발되도록 하였다. 이 때, 건조된 이중구조 합침막의 두께는 약 100 μm 였다. 이중구조 합침막의 제조 조건도 마찬가지로 Table 1에 나타내었다. 제조한 무기섬광 합침막의 형상은 전자주사현미경(SEM, Philips XL30W)을 이용하여 분석하였다. 샘플들은 액체 질소를 사용한 심냉 조건 아래에서 준비하였고, 대기 상태에서 건조하였다. 모든 시편들은 촬영 전에 금-팔라듐(6 : 4) 합금을 도포하였다.

2-2. 합침막의 방사선 성능 평가

방사선과 무기섬광체의 상호작용에 의하여 방출된 광을 측정하기 위하여 Fig. 2에 보인 것과 같은 PMT(광전자증배관, Hamamatsu Photonics K.K., R329-02)를 이용한 계수기를 제작하여 사용하였다. PMT는 합침막에서 발생된 섬광을 전기적인 신호로 바꾸는 장치로서 외부의 빛을 완전히 차단해야 한다. PMT에 전압이 인가된 상태에서 외부의 빛이 입사하면 한꺼번에 광전자로 전환되는 양이 너무 많아지기 때문에 심각한 손상을 입을 수 있다. 그렇기 때문에, 시료 교환 시 외부에서 빛이 들어가는 것을 막기 위하여 Fig. 2에서 시료교환 창구가 닫힌 상태에서만 계측 창구를 열도록 하였다. PMT 출력 펄스는 증폭을 거쳐 계수기에서 계수된다.

제조한 무기섬광 합침막의 방사선학적인 성능을 평가하기 위하여 순수 베타선 방출핵종인 ^{14}C 를 이용하였다. 준비한 ^{14}C 방사선원에 이소프로판올로 희석하여 방사성 용액을 제조하였다. 서로 다른 공정에 따라 제조한 무기섬광 합침막에 방사성 선원 30 μl (70 Bq)를 도포하였

다. 방사성 용액을 도포한 합침막은 실온에서 하루 동안 건조시킨 후, 제작한 계수기로 측정하였다. 측정이 끝난, 동일한 합침막은 실제 도포된 방사성 핵종의 농도를 비교·평가하기 위하여 저준위 알파베타 계수기(LB, Canberra, S5XLB)로 계수하였다. 실제 제작된 무기섬광 합침막은 사각 형태이나 기존의 스페어 매질로 이용되는 여과지와 비교하기 위하여 측정 전에 직경 5cm의 원형으로 절단하여 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 단일구조 무기섬광 합침막

Fig. 3은 침지용 비용매로서 물을 사용하여 제조한 합침막의 단면(a)과 표면(b)의 형상을 나타낸 것이다. 합침막의 내부에 CAYS 입자들이 폴리설펜에 둘러싸여 균일하게 분포되어 있는 것을 볼 수 있다. 용액 상태의 고분자 용액이 용매·비용매의 상호교환에 의하여 고형화하는 과정에서 막의 형상은 막 내부에 다공성 구조의 비

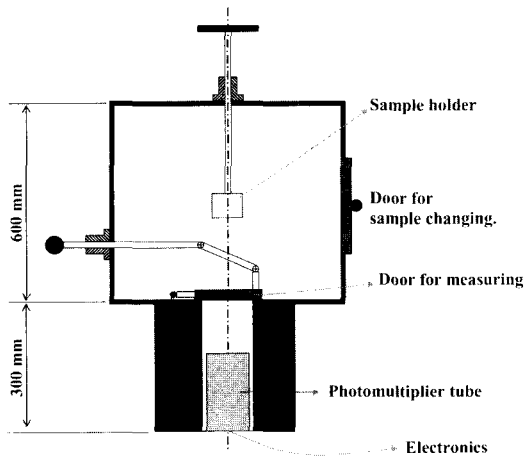
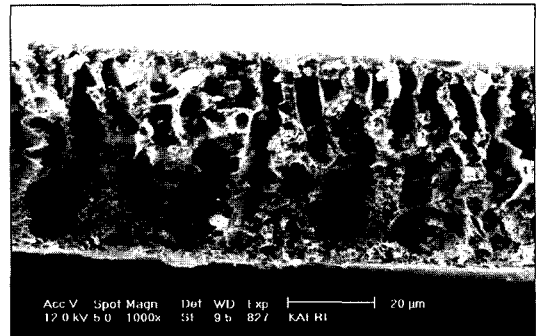
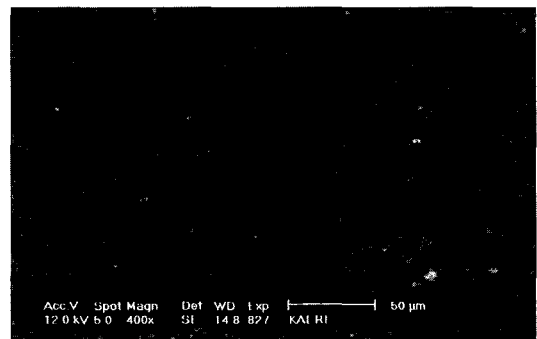


Fig. 2. Chamber for measurement of an inorganic fluor membrane.

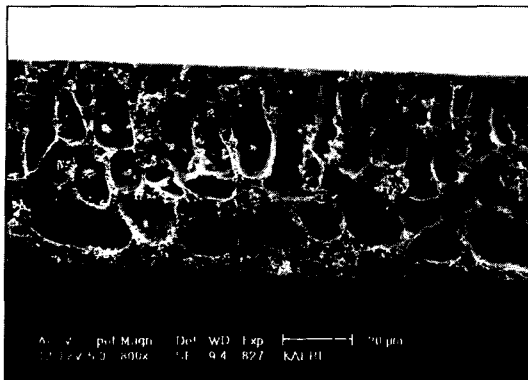


(a)

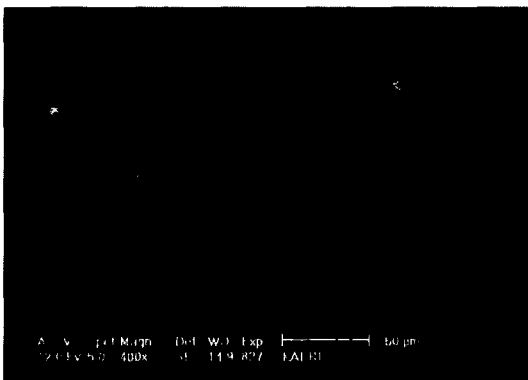


(b)

Fig. 3. Scanning electron micrographs of the cross section (a) and top surface (b) of the single structure inorganic fluor membrane prepared by immersion into a water bath.



(a)



(b)

Fig. 4. Scanning electron micrographs of the cross section (a) and top surface (b) of the single structure inorganic fluor membrane prepared by immersion into a methanol bath.

대칭형 구조를 포함하여 다양하게 나타날 수 있다¹³⁾. 마찬가지로, Fig. 4는 메탄올 욕조에 침지하여 제조한 함침막의 형상을 나타낸 것이데, 물에 침지하여 제조한 함침막과 유사한 형태의 단면(a)과 표면(b)의 형상을 볼 수 있다. Fig. 3과 4에서 고형화 과정에서 비용매인 물 또는 메탄올과 접촉한 표면 영역은 상대적으로 조밀한 형상을 나타낸다. 함침막의 내부영역은 손가락 형태의 큰 기공을 지니는데, 이는 일반적인 상전환 공정에서 나타나는 전형적인 비대칭형 구조이다¹⁴⁾.

물 욕조 침지하여 제조한 함침막의 경우(Fig. 3(a))가 메탄올에 침지하여 제조한 막(Fig. 4(a))보다 내부 영역에서 연속적이고 상대적으로 큰 기공 형태를 보여준다. 또한 표면영역에서는 물 보다는 메탄올에 침지하여 제조한 막이 상대적으로 두터운 형상을 보인다. 물과 메탄올 욕조에서 침지하여 제조한 함침막 모두 막 전체적으로 무기섬광체인 CAYS가 골고루 분산되어 있는 것

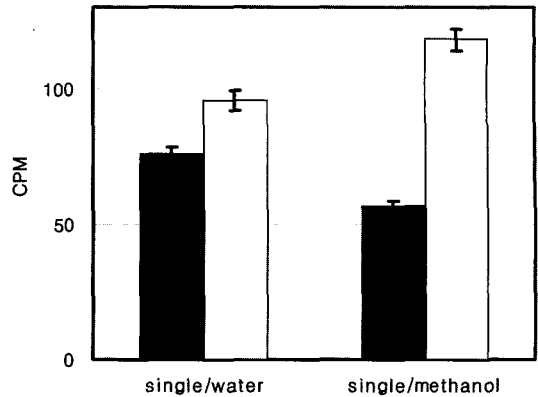


Fig. 5. Radiation count rates (counts per minutes, CPM) of the single-layered water-coagulated and methanol-coagulated membrane measured by photomultiplier tube (■) and low-background alpha/beta counter (□).

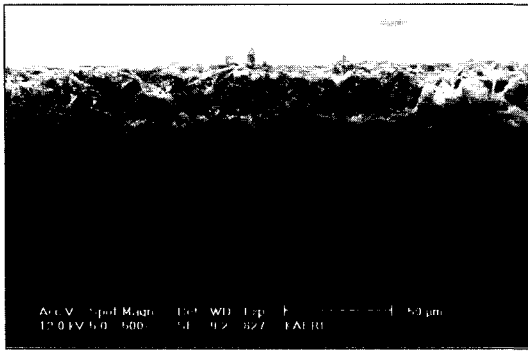
을 볼 수 있다.

무기섬광 함침막의 섬광체로서의 광학적 특성을 평가하기 위하여 가시광선에 대한 투과도를 측정하였다. 함침막의 투과율은 Thermo Spectronic사의 Spectro Photometer(Genesys 2)를 이용하여 측정하였으며, 300에서 800 nm 파장 영역에 대하여 측정한 결과, 무기섬광체인 CAYS의 발광 파장영역인 450 nm 영역에서 85% 정도의 투과율을 보였다.

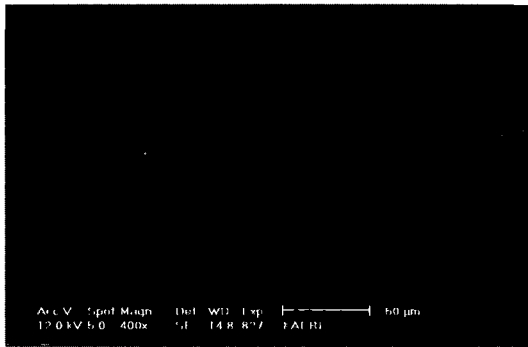
고형화 조건을 달리하면서 제조한 함침막에 동일한 양의 ¹⁴C 방사성 용액을 도포하여 건조한 뒤 측정된 결과를 Fig. 5에 (■)로 나타내었다. 물에 침지하여 제조한 함침막이 메탄올에 침지하여 제조한 함침막보다 좀더 우수한 방사선 검출 능력을 보였다. 또한, 도포한 ¹⁴C의 방사선 양을 평가하기 위하여 기존의 측정방법인 LB를 이용하여 베타선을 직접 측정하였다. 측정결과는 Fig. 5에 (□)로 나타내었다. 메탄올에 침지한 함침막이 물에 침지한 막보다 많은 방사성 핵종이 도포된 것으로 나타났는데, 이는 물에서 고형화한 함침막의 연속적이고 큰 기공으로 인하여 방사성 핵종이 함침막을 투과하여 외부로 손실될 가능성이 있기 때문이다.

3-2. 이중구조 무기섬광 함침막

단일구조 함침막은 막 전체에 걸쳐 다공성의 형상을 가지고 있으므로, 구조적으로 약한 단점을 가진다. 이것은 실제 현장에서 표면오염도 측정을 위하여 무기섬광 함침막을 이용하여 오염된 표면을 문지를 때에 찢어질 수 있으며, 또한 방사선과의 반응성을 높이기 위하여 무기섬광체인 CAYS를 다량으로 첨가할 경우 함침막이 부



(a)



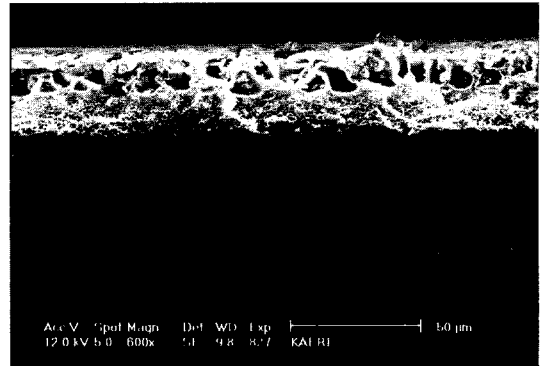
(b)

Fig. 6. Scanning electron micrographs of the cross section (a) and top surface (b) of the double structure inorganic fluor membrane prepared by immersion into a water bath.

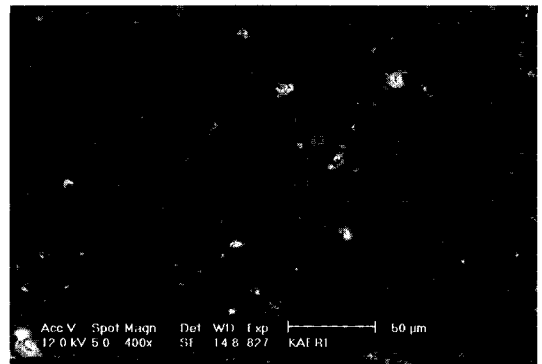
서지는 단점이 있다¹⁵⁾. 이러한 단점을 보완하기 위하여 지지체로서의 역할을 담당할 1차 지지막을 제조하고, 그 위에 CAYS가 함유된 용액을 도포하여 2차로 제막함으로써 이중구조의 합침막을 제조하였다.

Fig. 6~8에서 보는 바와 같이, 2차 제막용액에서 디메틸포름아이드를 용매로 사용하여 제작한 2차 고분자막은 1차의 지지막 구조와 확연히 구분되는 형상을 나타낸다. 즉, 합침막의 구조적인 안정성을 보완하는 1차 지지막과 CAYS를 합침한 다공성의 비대칭 구조를 포함하는 2차 기능성 막으로 나누어진다. 또한, 단일구조 합침막 제조에서 용매 증발을 통한 고형화 방법은 막의 부서지는 성질 때문에 제조할 수 없었으나, 이중구조 합침막에서는 1차 지지막의 구조적인 안정성을 바탕으로 제조할 수 있었다.

이중구조 합침막의 시료채취 용지로서의 기계적인 강도를 측정하기 위하여 LLoyd사의 LR-30K 인장강도 측정기를 이용하여 인장강도를 측정하였다. 통상적으로 사



(a)

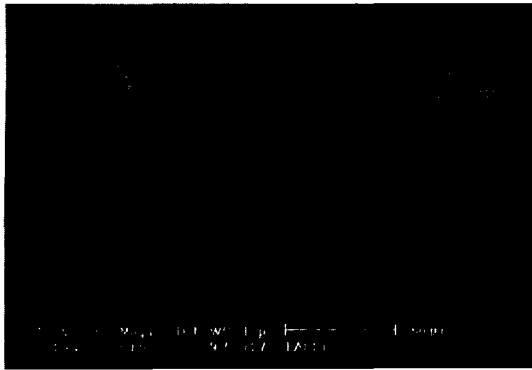


(b)

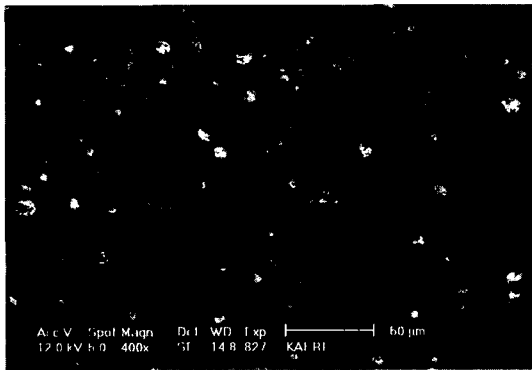
Fig. 7. Scanning electron micrographs of the cross section (a) and top surface (b) of the double structure inorganic fluor membrane prepared by immersion into a methanol bath.

용되고 있는 표면오염 측정용 매질인 스메어 용지의 인장강도는 23.6 N/mm²이었고, 본 연구에서 제조한 이중구조 무기섬광 합침막의 인장강도는 물에 침지하여 제조한 합침막의 인장강도가 24.6 N/mm²으로서 기존의 스메어 매질과 유사한 기계적 강도를 가지는 것을 알 수 있다.

물과 메탄올 용액에서 침지하여 고형화한 2차막의 단면 형상(Fig. 6(a) 그리고 Fig. 7(b))은 단일구조 합침막과 동일한 기공 형태를 보이고 있다. 그러나 용매 증발을 통하여 고형화한 2차막(Fig. 8(a))의 경우는 손가락 형태의 기공이 아닌 스폰지 형태의 기공을 볼 수 있다. 또한 표면의 형상에서 물 침지(Fig. 6(b))와 메탄올 침지(Fig. 7(b))의 경우는 무기 섬광체인 CAYS가 폴리실폰에 완전히 둘러싸여 표면에 노출되지 않으나, 용매 증발을 통하여 고형화(Fig. 8(b))한 경우에는 표면에 CAYS 입자들이 나와 있는 것을 볼 수 있다. 즉, 용매 증발을 통하여 고형한 막은 막 표면에서 일어나는 액체-액체 상



(a)



(b)

Fig. 8. Scanning electron micrographs of the cross section (a) and top surface (b) of the double structure inorganic fluor membrane prepared by solvent evaporation.

분리 과정에서 CAYS 입자들이 막으로부터 유리되어 나온 것이다.

단일구조 함침막과 동일하게 이중구조의 함침막에 베타선 방출핵종인 ¹⁴C 방사성 용액을 도포하여 방사능 탐지 능력을 평가하였다. 측정결과는 Fig. 9에 나타내었는데, 개발된 계측장치를 이용하여 측정한 결과(■)는 단일구조 함침막에서와 같이 물에 침지하여 고형화한 폴리설폰 막이 방사선 탐지 능력이 가장 우수한 것으로 나타났다. 용매 증발을 통하여 고형화한 막의 경우는 앞의 형상 분석에서 나타난 바와 같이 무기섬광체인 CAYS의 유리화에 의하여 광전환 효율이 상대적으로 낮은 것을 볼 수 있다.

물 속에 침지하여 제조한 함침막의 경우가 다른 고형화 방법에 의하여 제조한 함침막 보다 높은 계수율을 보였는데 이것은 함침막 내부의 기공 형태가 연속적이고 상대적으로 큰 기공 뿐만 아니라, 표면 영역이 상대적

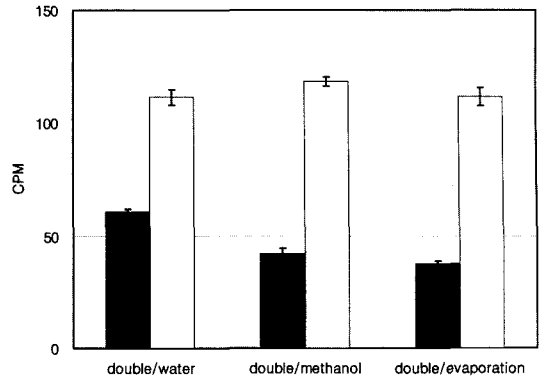


Fig. 9. Radiation count rates (counts per minutes, CPM) of the double-layered water-coagulated membrane, methanol-coagulated membrane and solvent evaporation one measured by photomultiplier tube (■) and low-background alpha/beta counter (□).

으로 얇은 형상을 나타내보이기 때문인 것으로 판단된다. 즉, 방사선과 무기섬광체인 CAYS의 상호작용에 의하여 발생한 섬광이 PMT에 도달하기 까지 상대적으로 적은 경로를 거치기 때문이다. 용매 증발을 통하여 고형화한 함침막의 계수율이 상대적으로 낮은 이유는 2차막의 고형화 과정에서 CAYS 입자의 유리회뿐만 아니라 내부 영역의 기공이 스폰지 형태로서 막 내부에서 생성된 섬광이 PMT까지 도달하기 위해서는 다른 막들보다는 복잡한 경로를 거치므로 섬광소멸 현상이 더 크게 나타날 수 있기 때문이다.

LB를 이용하여 측정한 계수율을 Fig. 9에 (□)로 나타내었다. Fig. 9에서 볼 수 있듯이, 실제 도포한 방사능의 계수치는 모든 함침막에서 오차범위 이내이다. 단일막의 경우는 물에 침지하여 고형화한 막의 경우 방사성 용액의 손실 가능성이 있었으나, 이중막의 경우는 치밀한 구조의 1차 지지막으로 인하여 방사성 용액의 손실 없이 함침막 내부에 포집된 것을 알 수 있다. 즉, 지지체 역할을 하는 1차막은 함침막 전체의 기계적인 구조적인 안정성과 방사성 핵종의 포집 능력을 향상시킨다.

단일구조와 이중구조 함침막의 계수율을 비교해 보면, 단일구조 함침막의 계수율이 더 높는데 이것은 막의 두께 차이에서 기인한 것이다. 단일막의 경우는 CAYS가 함침된 막의 두께는 약 50 μm이고, 이중막은 약 40 μm이다. 이는 방사선과 상호작용하는 CAYS의 양과 관련된 것으로 막의 제조 시 CAYS의 양을 늘리는 등 단위 밀도당 CAYS의 양을 증가시킴으로써 방사능 측정 능력을 향상시킬 수 있다.

간접법을 이용한 표면오염도 시료채취용 소재로서의 전이율을 평가하였다. 기존의 표면오염도 측정법에 이용

되는 스메어 매질인 여과지와 본 연구에서 개발한 무기섬광 합침막을 이용하여 코팅된 철판 위에 동일한 농도의 방사성 용액 C-14를 도포하여 건조한 후, 각각의 스메어 매질을 이용하여 전이율을 평가하였다. 여과지를 이용하여 측정된 결과 전이율은 약 85% 정도였으며, 무기섬광 합침막을 이용한 전이율은 약 89% 정도였다. 기존의 스메어 매질과 본 연구에서 개발한 무기섬광 합침막의 전이율은 큰 차이가 없다는 것을 알 수가 있다.

무기섬광 합침막은 방사선을 직접 측정하여 표면오염도를 평가하는 것이 아니라 무기섬광 합침막을 이용하여 시료를 채취하고 합침막 내부에서 방사선과 무기섬광체의 상호작용에 의하여 생성된 섬광을 측정하여 표면오염도를 측정한다. 그렇기 때문에 실제 현장에서 표면오염 대상 표면의 문지를 경우 스메어 매체가 더러워져 생성된 섬광이 PMT로 들어가는 것을 차단하여 측정효율의 저하를 초래할 수 있다. 이러한 시료 채취면과 측정 방향에 따른 계수율의 차이를 조사하기 위하여 시료채취 면인 2차구조 합침막에 방사성 용액 ¹⁴C을 도포 한 후, 오염된 면과 반대측 면에 대해 측정된 계수율은 각각 127.9±1.6 cpm이었고, 반대면을 이용하여 측정된 경우는 112.6±3.6 cpm으로서 후면을 측정하는 경우 13% 정도 낮은 계수율을 보임으로써 후면을 측정하는 것이 가능함을 확인하였다.

다른 방사성 핵종에 대한 합침막의 검출 능력을 평가하기 위하여 통상적으로 일반 실험실에서 많이 사용하는 저에너지 베타선 방출핵종인 ³H과 베타/감마선 방출핵종인 ¹³⁷Cs에 대하여 방사선 성능 평가를 수행하였다. Table 2은 방사능이 각각 약 10과 150 Bq인 ³H과 ¹³⁷Cs의 방사성 용액을 합침막에 도포하여 측정된 계수율을 나타낸 것이다. ¹⁴C를 이용한 방사능 평가에서와 마찬가지로 물에 침지하여 제조한 합침막이 상대적으로 방사선 검출 능력이 우수한 것으로 평가되었다. 즉, 제조된 무기섬광 합침막은 저에너지 베타선 방출핵종인 ³H와 ¹⁴C 뿐만 아니라 일반적으로 방사선관리구역에서 많이 사용하는 베타/감마선 방출핵종인 ¹³⁷Cs에 대하여 표면오염 측정용 소재로서 이용할 수 있음을 확인하였다.

실험에 사용한 핵종 중에서 ³H와 ¹⁴C와 같은 저에너지

베타선 방출핵종에 대해서는 통상적으로 스메어 용지를 이용하여 오염대상 지역을 문지른 후 LSC를 이용하여 정량화한다⁶⁾. 그러나 LSC를 이용한 측정법은 섬광보조용액(cocktail solution)과 같은 2차 폐기물이 발생하며, 측정 절차가 복잡하며 고가의 측정장비가 요구된다. 마찬가지로 ¹³⁷Cs와 같은 베타/감마선 방출핵종에 대해서는 LB와 같은 측정기를 이용하여 표면오염도를 평가하는데, LSC를 이용하는 방법보다는 측정절차가 간편하지만 마찬가지로 고가의 측정장비가 요구된다. 그러나 본 연구에서 제조한 무기섬광 합침막은 저에너지 베타선 방출핵종 뿐만 아니라 일반적인 베타/감마선 방출핵종에 대하여도 동시에 표면오염도 측정에 이용할 수 있다. 또한, 기존의 LSC와 LB와 같은 고가의 측정장비 없이 PMT와 같은 비교적 단순하고 저가의 장비를 이용하여 측정할 수 있다.

4. 결 론

통상적인 스메어 용지를 이용한 표면오염도 측정법과는 달리 고분자 소재에 무기섬광체를 함침시켜 시료 채취와 방사선 측정을 동시에 수행할 수 있는 기능성 고분자 필름을 제조하였다. 고분자 막은 무기섬광체인 CAYS를 폴리실론에 함침시켜 고흡화하여 제조하였다. 고흡화막은 단일구조와 이중구조로 제조하였으며, 방사선 검출 능력 향상을 위하여 고흡화 방법을 달리하여 전혀 다른 형상을 가지는 합침막을 제조하였다. 단일구조 합침막은 방사선 측정 능력은 우수하지만 막 전체에 걸쳐 분포하는 다공성으로 인하여 구조적으로 불안정하기 때문에, 구조적으로 안정하며 동시에 방사선 측정 능력을 가지도록 이중구조 합침막을 제조하였다.

제조한 무기섬광 합침막의 시료채취 용지로서의 기계적인 강도를 측정하여 기존의 스메어 매질인 여과지와 거의 동일한 기계적 강도를 가지는 것을 확인하였으며, 전이율 또한 큰 차이가 없다는 것을 확인하여 시료채취 용지로서의 적합성을 확인하였다. 또한, 다양한 고흡화 방법에 따라 제조한 무기섬광 합침막의 방사선 검출 성능을 평가하여 방사선 검출 소재로서의 적용성을 확인하였다. ³H과 같은 저에너지 베타선 방출핵종에 대한 표면오염 측정 시 간단한 측정장치를 이용하여 시료채취와 동시에 직접 측정이 가능하다는 것을 확인하였다.

감사의 말

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

Table 2. Comparison of count rates (CPM) of ³H and ¹³⁷Cs detected following spot test on the water and methanol immersion membranes.

Radioactive nuclides	Count rates (cpm)	
	Type of membrane solidification	
	Water immersion	Methanol immersion
³ H	6.5 ± 1.1	5.6 ± 0.5
¹³⁷ Cs	121.0 ± 3.3	98.5 ± 4.4

참고문헌

1. Schellenberg, K.A.: US Patent 4,562,158 (1985).
2. Costa, L.F., Harrington, D.C. and Miller, R.S.: US Patent 4,692,266 (1987).
3. Han, M.J., Bummer, P.M. and Jay, M.: J. Membrane Sci., 140, 235 (1998).
4. Han, M.J.: Membrane J., 9(2), 132 (1999).
5. Lee, K.W., Seo, B.K., Park, J.H., Nam, S.T. and Han, M.J.: Membrane J., 12(4), 238 (2002).
6. Klein, R.C., Linins, L. and Gershey, E.L.: Health Phys. Soc., 62, 186 (1992).