

이중구조 무기형광 함침막 제조 및 방사성핵종 탐지능력의 분석

이근우·서범경·박진호·남석태*·한명진*†

한국원자력연구소 TRIGA연구로페로사업팀·*경일대학교 공과대학 화학공학과
(2002년 8월 17일 접수, 2002년 10월 21일 채택)

Preparation and Radionuclide Detection Analysis of Inorganic Fluor Impregnated Double-layered Membranes

Kune-Woo Lee, Bum-Kyoung Seo, Jin-Ho Park, Suk-Tae Nam*, and Myeong-Jin Han*†

TRIGA Research Reactor D&D Project Team, Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon 305-353, Korea
Department of Chemical Engineering, Kyungil University, Kyungbuk 712-701, Korea

(Received August 17, 2002, Accepted October 21, 2002)

요약 : 방사선과의 상호작용에 의하여 섬광이 발생하는 무기형광체(inorganic fluor)인 cerium activated yttrium silicate(CAYS)를 폴리설펜 고분자막에 함침시킴으로써, 형광 용액의 도움 없이 방사능 오염도를 측정할 수 있는 새로운 측정막을 제조하였다. 막의 제조는 두 가지 공정으로 나누어진다. 우선 고분자와 용매의 균일한 1차 제막용액을 유리판 위에 제막 후 용매증발을 통해 폴리설펜 고분자막이 생성되도록 하였다. 고형화된 폴리설펜 필름 표면에 CAYS가 분산된 고분자 제막용액을 2차로 도포시킨 후, 비용매 욕조에 침지시키는 상전환 공정을 이용하거나 용매의 증발을 통한 유리화에 의해 2차 용액의 고형화를 유도함으로써 함침막을 제조하였다. 이렇게 제조된 막의 형상은 치밀한 구조를 지니는 고분자 지지체와 이에 완전히 고착된 CAYS 함침막의 이중구조를 지니게되며, 지지체 부분은 막의 안정성을 2차 제막에서 생성된 부분은 기능성의 향상을 이룰 수 있는 구조적 특성을 지닌다. 제조된 함침막에 방사성핵종을 직접 도포하여 방사성핵종의 탐지 특성을 측정하였을 때 효율적인 탐지 특성을 지니는 것으로 확인되었다.

Abstract : New polysulfone scintillation proximity membranes were prepared by impregnating Cerium Activated Yttrium Silicate (CAYS), an inorganic fluor, in a membrane structure. The membranes were applied to detect the radionuclide contamination directly without the aid of a scintillation cocktail. The preparation of membranes was divided into two processes. A supporting polymer film was made of casting solutions consisting of polysulfone and solvent, their cast film being solidified by vacuum evaporation. CAYS-dispersed polymer solutions were cast over the first, solidified polymer films and coagulated either by evaporating solvent or by exchanging solvent in the solution with nonsolvent in a coagulation bath. The prepared membranes had two distinguished, but tightly attached, double layers: one is the supporting layer of dense polymer film and the other the detecting layer consisting of CAYS and polymer. The radionuclide counting results revealed that the prepared membranes were efficient to monitor radioactivity contamination with reliable counting ability.

†주저자(e-mail : mjhan@bear.kyungil.ac.kr)

Keywords : double-layered membrane, radionuclide detection, polysulfone

1. 서 론

방사성 물질을 산업에 활용하기 위한 연구는 원자력 에너지를 얻는 것으로부터 인체 내부에 투여된 물질의 경로추적을 위한 약품 제조에 이르기까지 다양한 분야에 걸쳐 폭 넓게 이루어지고 있다. 이러한 에너지 생산, 제품의 제조 및 연구 과정에서 방사성 물질의 광범위한 사용에 따른 오염은 피할 수 없다. 따라서, 방사성 물질을 장기간 사용할 경우 사용 지역에서 이들의 오염 가능성은 증대될 것이며, 적절히 제어되어되지 않고 방치될 경우 관련 당사자들의 안전이 위협받을 수준까지 도달할 가능성이 있다. 또한, 적정 사용기간이 경과된 방사능 처리 시설의 폐기 또는 수리 등의 과정에서 방사능 오염도를 측정하는 것이 폐기 공정의 방법을 결정하는데 중요한 역할을 하게 된다. 따라서, 방사선 취급자의 안전 및 주변지역의 안전을 위해서는 이들 방사성 물질에 의한 오염도를 정기적으로 또한 신속하게 측정함과 아울러 효율적으로 관리하는 것이 필요하다. 미국의 핵규제위원회(Nuclear Regulatory Commission)의 규정에 따르면, 방사성 핵종을 취급하는 모든 지역은 방사능 오염도에 대한 정기적인 점검을 통해 실험실 및 방사능 관련 시설의 방사선학적인 상태를 감시하도록 의무화하고 있다[1].

최근, 방사능 오염도 측정의 효율성을 증대시키기 위해, 오염 현장에서 사람의 손을 빌리지 않고 원격 장치를 통해 자동으로 오염도를 분석함으로써, 오염 측정의 신속성 및 방사능 취급자의 안전을 증대시키고, 관련 처리비용의 절감을 이룰 수 있는 기술개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이를 위해서는 오염 현장에서 채취된 시료를 측정실로 옮기지 않고 현장에서 직접 측정을 할 수 있는 장비의 개발이 요구된다. 이러한 장비의 개발을 위해서는 효율적인 시료채취 부분과 채취부에서 pick-up한 방사능 오염 정도를 효율적으로 측정할 수 있는 검출 부분, 그리고 이들을 손쉽게 이송시킬 수 있는 자동이송 장치부분의 설계가 각각 이루어져야 한다.

시료채취부의 요구에 부합할 수 있는 재료는 미국 핵규제위원회에서 규정한 wipe test에 적합한 특성을 지니는 것이 기본적으로 요구된다. 핵규제위원회의

지침에 따르면, 방사성 핵종을 사용하는 현장은 방사능 오염도를 측정하기 위하여 정기적으로 wipe test를 수행하여 이들 오염지역의 체염 여부를 파악해야 한다고 규정하고 있다. Wipe test는 오염 예상 지역의 표면을 일정하게 모니터할 수 있는 방법이면 매체나 적용 방법에 구애받지 않는다고 규정하고 있다. 권장 방법 중의 하나는 오염 예상 지역으로부터 오염된 물체의 표면을 smear paper 등을 이용하여 문지른 후 이들 채취된 시료를 액체섬광계수기나 저준위 알파/베타 계수기를 이용하여 오염도를 평가하는 것이다[2].

따라서, 본 연구에서는 자동측정장비와의 호환성을 지니며, 효율적인 방사능 탐지 능력을 소지한 표면오염도 채취용 고분자막의 설계를 목표로 하였다. 채취용 막의 기본적 성능으로는 장비에 탈부착이 용이하며, 오염 지역에서 시료를 채취한 후 측정기로 이송이 용이해야 한다. 이를 위해 채취용 막은 진공을 통해 시료채취부에 부착되고, 부착된 막은 원격 조정에 의해 시료채취에 사용되며, 탈 진공에 의해 자동적으로 측정 장치로 이송되도록 하는 것이 필요하다. 이러한 기능에 적합한 고분자막을 제조하기 위해서는 우선적으로 고분자막이 진공에 의해 쉽게 장비에 흡인될 수 있도록 치밀한 구조를 포함해야 하는 것이 필요하다.

일반적인 표면오염도 측정용 막을 제조하기 위하여 smear paper 자체에 방사선과 직접 상호작용에 의해 오염도를 평가할 수 있는 smear 매질 제조에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[3-7]. 이러한 smear 매질 또는 측정막은 고분자로서 방사성 물질과 상호작용하여 형광을 방출하는 무기 형광체를 함침시켜 제조하는 것이 일반적이다. 앞서 발표한 논문에서, 폴리설펜 막에서의 무기 형광체의 함침 특성과 이들의 방사성 핵종에 대한 탐지 특성에 대해 분석한 바 있다[8-10]. 형광체가 분산된 균일상의 무정형 고분자 용액을 제막하고 이를 비용매 욕조에 함침시키거나 높은 습도의 대기에 방치시켜 비용매와 용매의 상호 교환을 통한 상전환 방법을 통해 고체화하였을 때, 고형화된 측정막에서의 무기 형광체는 용액의 침지 특성에 따라 뚜렷하게 다른 특징을 보여주었다.

그러나, 일반적으로 제막용액을 비용매 욕조에 침

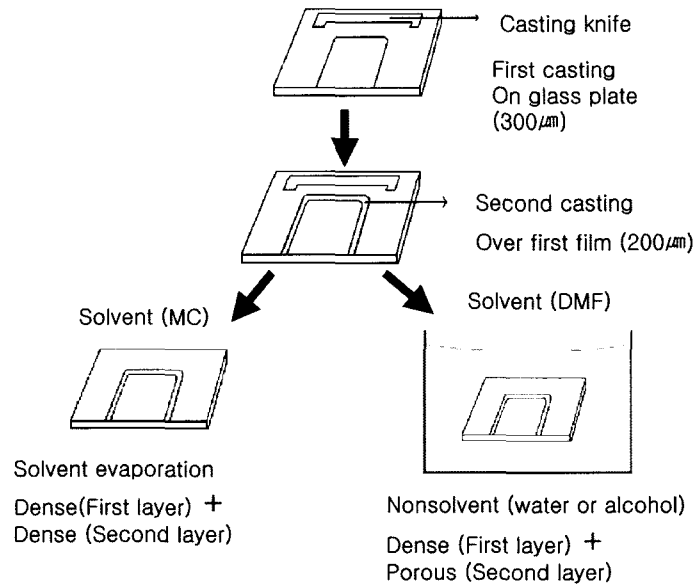


Fig. 1. Schematic diagram for membrane preparation.

지시기는 상전환 공정을 이용하여 고형화된 막은 막 전체에 다공성의 형상을 지니므로써, 진공에 적용하였을 때 막 표면에서 진공압의 손실이 불가피하여 시료채취부에 적용하기 어렵다. 또한, 고농도의 고분자 용액에 과량의 무기 반응제를 분산시킨 제막용액을 진공 증발에 의해 고형화시킨다면 생성된 막의 기계적 성질이 급격히 저하되어 부서지는 단점이 있다.

또한, 이들을 이용한 wipe test 결과에서 기공을 포함하는 비대칭형 막의 효율은 기공을 포함하지 않는 막에 비해 상대적으로 낮은 효율을 보여주었다. 이러한 현상은, 고분자 첨가제를 제막용액에 추가하여 제조된 다공성 측정막을 이용하여 wipe test를 시행하였을 때도 같은 경향을 보였다[8]. 즉, 측정막에 형성된 기공은 분획특성을 필요로 하는 분리공정에는 바람직한 요소로 작용될 수 있으나, wipe test에 사용되는 측정막의 효율을 증대시키는 데는 기여하지 않음을 보여주었다. 방사선과 형광체의 상호작용이 막 표면 가까이에서 일어날 경우는 계수기인 광전자증배기에 계수될 확률이 증가하나 함침막의 기공을 통해 측정막 내부로 확산되어 막 내부에서 상호작용에 의하여 생성된 빛은 선풍소멸효과(quenching effect)로 인하여 광전자증배기에 도달하지 못하는 경우가 많다. 즉, 이는 측정효율의 감소를 초래한다[11].

본 연구에서는 폴리설폰에 무기 형광체가 함침된 표면오염도 측정막을 제조함에 있어, 측정 과정에서

막의 하부구조로 핵종이 유출되거나 막의 부서짐 현상이 나타나는 기존의 단일 구조의 고분자막의 단점을 보완하고, 방사능 자동측정 장치에 적용될 수 있는 특성을 지니는 2중 구조의 막을 개발하였다. 이를 위해 비흡습성 및 저비점의 용매를 포함하는 폴리설폰 용액을 제막하고 이로부터 용매 증발을 통해 폴리설폰의 유리화에 의해 형성된 1차 고분자 지지체를 만들고, 이에 2차 제막용액을 도포하고 이를 용액의 상분리 현상 또는 유리화에 의해 고형화된 막을 제조하고 이들의 형상 및 방사성 핵종의 탐지 특성에 대해 조사하였다.

2. 실험

2.1. 함침막의 제조

무기 형광체가 함침된 막은 두 차례의 제막 과정과 고형화 과정을 거쳐 제조하였다. 먼저 메틸렌클로라이드 (MC) 80 g과 폴리설폰 (PSF) 25 g을 혼합한 투명한 1차 제막용액을 만들고, Doctor Blade (Sheen applicator, England)를 이용하여 유리판 위에 300 μm의 이격 두께로 제막하여 용액 필름이 형성되도록 하였다. 이를 30℃ 진공오븐에서 48 시간 증발 건조시켰을 때 투명한 상태의 폴리설폰 필름은 유리판 위에 고착된 상태를 유지하였다. Fig. 1에서 보는 바와 같이, 1차 제막에서 얻어진 폴리설폰 필름 위에,

Table 1. Preparation Conditions for CAYS-impregnated Membranes and Their Structures

	First casting solution	Second casting solution	Coagulation method	Structure(First layer)	Structure(Second layer)
1	PSF/MC	PSF/DMF/CAYS	Methanol immersion	Dense	Highly Porous
2	PSF/MC	PSF/DMF/CAYS	Water immersion	Dense	Highly Porous
3	PSF/MC	PSF/MC/CAYS	Methanol immersion	Dense	Moderately Porous
4	PSF/MC	PSF/MC/CAYS	Evaporation	Dense	Dense

디메틸포름아미드 (DMF) 또는 메틸렌클로라이드 25 g과 폴리설펜 4.5 g으로 이루어진 균일한 용액에 cerium activated yttrium silicate(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 폴리설펜 고형화 필름과 CAYS를 포함하는 2차 용액 필름으로 이루어진 2중 구조를 지니는 용액 필름은 물 또는 메틸알코올의 비용매에 침지시키거나, 용매의 증발을 통해 용액필름의 최종 고형화가 이루어지도록 하였다. 비용매 욕조에 침지되어 고형화한 막은 24시간 경과 후 침지용 비용매 욕조로부터 대기로 옮겨져 비용매가 증발되도록 하였다. 막의 제조 조건 및 구조 특성은 Table 1에 나타내었다.

메틸렌클로라이드, 디메틸포름아미드와 폴리설펜(Mn 22,000)은 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. 입자 크기는 2-8 μm 이었으며, 3-5 μm 이 50% 이상을 차지하였다.

2.2. SEM

제조한 CAYS 합침막의 형상은 전자주사현미경(SEM, Philips XL30W)을 이용하여 분석하였다. 샘플들은 액체질소를 사용한 심냉 조건 아래에서 준비하였고 대기 중에서 건조하였다. 모든 시편들은 촬영 전에 금-팔라듐(6:4) 합금을 도포하였다.

2.3. 방사선 적용성 시험

제조한 fluor 합침막의 방사선학적인 적용성을 평가하기 위하여 저에너지 β -선 방출핵종인 ^{14}C 를 이용하였다. 준비한 ^{14}C 표준선원에 이소프로판올을 첨가하여 방사능 농도가 2.3 Bq/ μL 인 표준용액을 제조하였다. 표준용액을 여러 가지 공정에 따라 제조한 fluor 합침막에 50 μL 를 도포하였다. 방사성 표준용

액을 도포한 합침막은 광전자증배관을 이용하여 측정하였고, 합침막에서의 광전환 비율을 평가하기 위하여 저준위 알파/베타 계수기를 이용하여 비교하였다. 측정된 값은 분당 검출기를 통해 기록된 β -선 숫자를 나타내는 CPM (Radioactive counts per minute)을 이용하여 기록하였다.

3. 결과 및 고찰

용매와 고분자로 이루어진 1차 제막용액으로부터 고형화된 폴리설펜 필름은 균일하고 치밀한 구조를 나타내는 용액 상태의 투명함을 지니고 있으며, 이 물질이 존재하지 않는 유리판 위에 도포하였을 때 고형화된 필름은 유리판 위에 고착되어 평균 45 μm 의 균일한 두께를 유지하였다. CAYS가 분산된 2차 제막용액은 고형화된 폴리설펜 투명 필름 위에 유리판으로부터 200 μm , 즉 고형화된 필름으로부터 155 μm , 이격 두께로 도포되었으나, 이격 두께를 낮출 경우 2차 제막용액이 1차 필름 위에 균일하게 도포되지 않는 호환성 결여 현상을 보여주었다. 또한, 디메틸포름아미드를 2차 용액의 용매로 하여 제막하고 대기에 방치하였을 경우 막 표면에서 일어나는 액체-액체 상분리 과정에서 CAYS 입자들이 막으로부터 유리되어 효율적인 고분자 합침막을 얻을 수 없었다.

Fig. 2에서 보여지는 바와 같이, 2차 제막용액에서 디메틸포름아미드를 용매로 사용하였을 경우 2차 용액으로부터 생성된 CAYS 합침막 구조는 1차 지지체 구조로부터 확연히 구분되는 형상을 보여준다. 즉, 치밀한 구조를 보여주는 지지체 부분과 다공성 구조의 비대칭형 구조를 포함하는 지역으로 나누어진다. 2차 제막을 통해서 이루어진 CAYS 합침 지역은 침지용 비용매를 접했던 표면 부분에서 상대적으로 밀집된 형상을 보여주고, 밀집 지역의 바로 밑에는 손가락 형태의 큰 기공을 지니는 일반적인 상전환 공정의 고분자 막에서 나타나는 전형적인 비대칭

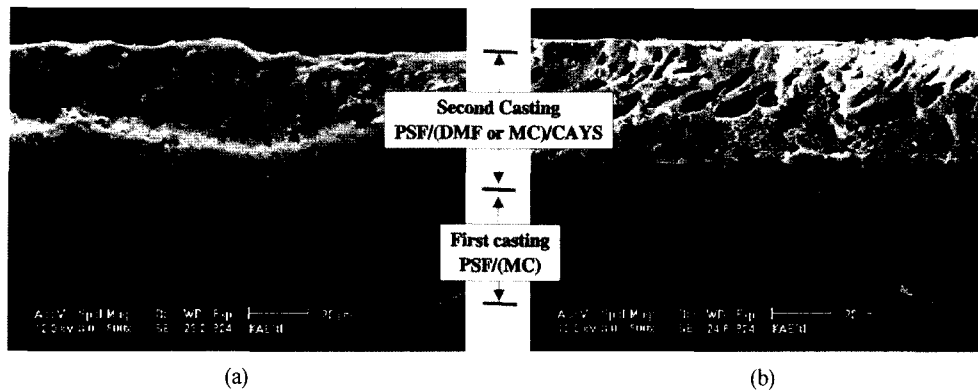


Fig. 2. Cross sections of CAYS-impregnated membranes: coagulated by immersion into methanol (a) and water (b) with DMF as the second casting solution's solvent.

형 구조를 보여주고 있다. 메타놀에 침지되어 제조된 막 (Fig. 2 (a))은 물 침지 욕조에서 제조된 막 (Fig. 2 (b)) 보다 상대적으로 두터운 표면 지역과 표면 아래 부분에서 발달된 큰 형태의 기공을 보여주며 기공 부분이 상대적으로 크게 존재하는 것이 보인다. 한편, 물에 침지되어 제조된 막은 상대적으로 밀집된 표면으로부터 아래쪽으로 점차적으로 막의 기공이 확대되는 형상을 보여주고 있다.

그러나, 이들 고분자막의 구조를 보다 상세히 살펴보면 두 구조 사이의 연결 부분에 상대적으로 균일한 스폰지 형태의 둥근 구조의 기공을 포함하는 부분이 CAYS 함침 지역과 치밀한 폴리설폰 지지층 사이에 존재함이 보여진다. 이러한 고립된 스폰지 형태의 구조에서 보여지는 둥근 형태의 기공은 열역학적 평형에 가까운 조건에서 비용매의 핵형성에 의해 형성되어 진다.

따라서, 이러한 연결 부분의 구조적 특성은 2차 제막용액에 존재하는 디메틸포름아마이드가 제막 후 1차 고형화 필름의 접촉 부분에서 폴리설폰 필름에 침투하여 고농도의 폴리설폰 용액이 형성되고, 이 고농도 지역은 2차 제막필름의 표면으로부터 필름 내부로 확산하여 도달된 침지용 비용매, 물 또는 메타놀에 의해 비교적 열역학적 평형에서 상분리가 일

어났음을 나타낸다. 한편, 이러한 구조는 1차 구조와 2차 구조가 연결 부분에서 완전히 혼합되어 서로 완전히 결합되었음을 확인시켜 준다.

Fig. 3은 CAYS를 포함하는 제막용액이 메틸렌클로라이드를 용매로 하여 제조된 막의 형상을 보여준다. 막의 구조는 CAYS가 함침된 지역과 고분자 밀집 지역의 두 지역으로 분류되나, 디메틸포름아마이드를 사용하여 제조된 막들 보다 밀집된 구조를 보여준다. 증발을 통해 CAYS 제막용액을 고형화할 경우, 메틸렌클로라이드의 비흡습성 및 낮은 비점을 고려할 때, 대기에 방치된 제막 용액의 증발과정에서 상전환에 의한 고형화의 가능성은 배제될 수 있으므로, 무정형 고분자인 폴리설폰의 유리화에 의한 응고화만이 가능하게 된다. Fig. 3 (a)에서와 같이 밀집된 지역에 CAYS 입자들이 존재함이 확인되며, 메타놀에 침지된 경우(Fig. 3(b)) 상대적으로 밀집도가 떨어짐을 보이나, 디메틸포름아마이드에서와 같은 큰 다공성의 형상은 보이지 않는다. 이는 2차 제막용액의 고분자 농도 및 상전환 계에 포함된 비용매, 용매, 그리고 고분자의 열역학적 관계가 상대적으로 표면에서의 상분리를 지연시키는데 기인한 것으로 해석할 수 있다. 특히, 1차 지지층이 측정막의 물리적 안정성에 기여하는 것은 증발을 통한 유리화막

Table 2. Radionuclide Detection of CAYS-impregnated Membranes

	Second casting solution	Coagulation method	CPM
1	PSF/DMF/CAYS	methanol	279.6
2	PSF/DMF/CAYS	water	223.8
3	PSF/MC/CAYS	methanol	240.4
4	PSF/MC/CAYS	evaporation	230.4

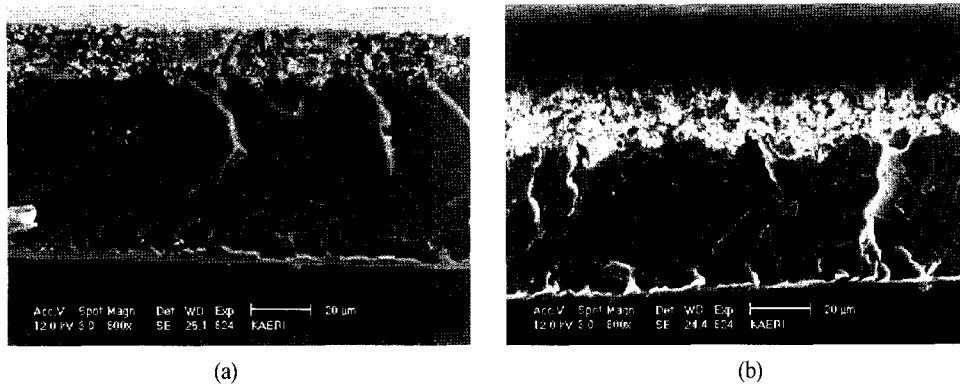


Fig. 3. Cross sections of CAYS-impregnated membranes: coagulated by evaporation (a) and by immersion into methanol (b) with MC as the second casting solution's solvent.

(Fig. 3(a))의 부서지지 않는 물성으로부터 확인될 수 있다. 지지층 없이 CAYS 포함 용액을 유리화시켰을 경우 제조된 막은 부서지기 쉬운 특성을 지닌다.

CAYS 합침막과 방사선과의 상호작용에 의하여 생성된 형광을 측정하여 이들의 성능을 고분자 합침막의 형상과 연계시켜 해석하였다. 제조된 측정막의 표면에 동일한 양의 방사성 핵종을 투여하고 발생하는 형광의 양을 계수하여 막의 탐지 특성을 측정하였다. Table 2에 보여지는 바와 같이, 형광으로의 전환 능력은 디메틸포름아마이드 용액을 메타놀에 침지시켜 제조한 막이 가장 우수한 특성을 나타내었으며, 메틸렌클로라이드를 사용하여 메타놀에 침지시켜 제조한 막이 나머지 고형화 방법 중 상대적으로 높은 측정값을 나타내었다. 메틸렌클로라이드를 사용하여 제조된 막의 탐지 특성이 증발과 메타놀 침지와 같은 고형화 과정에 큰 차이를 보이지 않고, 디메틸포름아마이드를 물에 침지시켜 제조된 막의 탐지 특성이 이들과 큰 차이 없는 탐지 특성을 보이는 것은, 합침막과 투여된 방사성 핵종의 반응에 있어 막 표면 부근에 존재하는 CAYS의 역할이 막 내부에 존재하는 CAYS에 비해 상대적으로 크다는 것을 입증한다.

한편, 측정막의 방사성핵종 탐지 특성에서 계수효율에 영향을 주는 두 가지 요인이 있다. 하나는 막의 표면 지역에 형광체의 농도가 낮을 수록, 또한 형광체를 감싸고 있는 고분자의 두께가 두터울수록 형광체와 막에 부착된 방사성핵종과의 상호작용은 떨어지게 된다. 다른 하나는 섬광소멸효과에 의한 것으로, 형광체와 방사성핵종과의 상호작용에 의해 생성

된 형광이 측정기인 광전자증배관에 도달하기 위해 지나쳐야 할 경로가 복잡할 경우, 이 또한 전반적인 측정효율의 저하로 나타나게 된다. 이러한 현상은 매체의 형상에 의해 크게 좌우되며, 측정막 내부에 형성된 기공의 형상에 영향을 받는다. 이러한 효율 저감 요소들은 방사성핵종의 측정 과정에서 계수치의 저하 요인이 된다. 따라서, Table 2에 보여지는 바와 같이, 디메틸포름아마이드 용액을 메타놀에 침지시킨 막의 계수값이 상대적으로 높은 것은 표면층 부분의 측정값이 다른 세 가지 막과 큰 차이가 없을 것으로 가정할 때, 막 내부에 침투한 방사성핵종이 반응 후 섬광소멸효과가 물에 침지되어 생성된 막보다 적은 것에 기인한다고 분석될 수 있다.

이러한 기존의 단일구조 합침막과 비교해 많은 장점을 지니는, 이중 구조로 제조된 합침막의 구조 및 탐지 특성은 다음과 같이 정리될 수 있다. 첫째, 물리적 안정성의 증대를 들 수 있다. 기존의 단일 구조의 막들은 막 전체에 다공성을 지녀 막의 기계적 물성이 저하되거나, 과량의 첨가제인 CAYS에 의해 막이 부서지는 단점을 지녔다. 이에 비해, 이중 구조의 막의 경우 지지체로 작용하는 1차 치밀 구조의 고분자 층이 약한 기계적 물성을 지니는 CAYS 합침층을 지지하는 역할을 함으로써, 합침막의 기계적 안정성을 증대시킨다. 둘째, 제품의 안정성 및 비용 절감 효과를 들 수 있다. 동일한 조성의 CAYS 제막용액을 도포하였을 때, 2중 구조의 막은 단일 구조를 지니는 막에 비해 현저히 얇은 두께로 생성되므로, 상대적으로 가격이 비싼 CAYS의 사용을 줄여 제조비용의 절감효과를 이룰 수 있다.

4. 결 론

무기 형광체인 CAYS가 함침된 폴리설폰 용액을 고형화시킴으로써 방사성 핵종의 탐지 능력을 지닌 고분자 측정막을 제조하였다. 두차례의 제막 과정을 거쳐 제조된 막은 뚜렷하게 구분되고 완전히 결합된 2중구조를 지니며, 막에 기계적 안정성을 부여하는 치밀한 구조의 순수 고분자 지지체와 방사능 측정 CAYS가 함침된 방사성핵종 탐지지역으로 구성되었다. 두 지역 사이의 완전한 결합은, 비용매 욕조에 침지되어 고형화된 측정막에서, 연결 부분에 나타나는 고분자 용액의 액체-액체 상분리를 포함하며 고형화된 스폰지 형태의 형상에서 확인되었다. 2차 제막 용액의 고형화 경로에 따라 다공성 구조 또는 치밀한 구조로 구분될 수 있고, 디메틸포름아미드를 메타놀에 침지시켜 제조된 막은 물에 침지되어 형성된 막에 비해 선풍소멸효과가 적게 나타났으며, 이는 막 내부에 형성된 기공 형상의 차이에 관련된 것으로 해석되었다.

감 사

본 연구는 2002년도 과학기술부의 원자력연구개발 사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. U. S. Nuclear Regulatory Commission, "Radiation Safety Surveys at Medical Institutions", Washington DC, NRC Regulatory Guide 8. 23, Rev. 1, January (1981).
2. R. C. Klein, L. Linins, and E. L. Gershey, "Detecting removable surface contamination", *Health Phys. Soc.*, **62**, 186 (1992).
3. S. W. Wunderly and J. F. Quint, US Patent 4,916,320, April 10 (1990).
4. K. A. Schellenberg, US Patent 4,562,158, December 31 (1985).
5. L. F. Costa, D. C. Harrington, and R. S. Miller, US Patent 4,692,266, September 8 (1987).
6. 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).
7. 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).
8. 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).
9. 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).
10. M. J. Han, "Use of fluor-impregnated polysulfone membranes for measuring radioactive contamination in laboratories", *Membrane J. Korea*, **9**(2), 132 (1999).
11. M. Muramatsu, "Radioactive tracers in surface and colloid science", *Surface and Colloid Science*, **6**, 101 (1973).