

# 얇은 필름 형태의 베타선 측정용 플라스틱 섬광검출기 제조

서범경<sup>★</sup> · 김계홍 · 우주희 · 오원진 · 이근우 · 한명진<sup>1</sup>

한국원자력연구소, <sup>1</sup>경일대학교  
(2005. 7. 21 접수, 2005. 11. 23 승인)

## Preparation of a thin film type of plastic scintillation detector for beta-ray detection

Bum-Kyoung Seo<sup>★</sup>, Gye-Hong Kim, Zu-Hee Woo, Won-Zin Oh, Kune-Woo Lee and Myeong-Jin Han<sup>1</sup>

*Korea Atomic Energy Research Institute, Deokjin-dong 150, Yuseong-gu, Daejeon, 305-353, Korea*

*<sup>1</sup>Kyungil University, Buho-ri 33, Hayang-up, Gyeongsan-si, Gyeongsang buk-do, 712-701, Korea*

(Received July 21, 2005, Accepted November 23, 2005)

**요 약** : 방사선에 대한 거부감에도 불구하고 RT(radiation technology)의 발전과 더불어 이용량뿐만 아니라 적용분야도 계속적으로 증가하고 있다. 이러한 방사선을 안전하게 관리하기 위해서는 방사선 측정 소재의 개발이 요구된다. 본 연구에서는 표면오염 측정용 장비의 소재로 주로 이용되고 있는 얇은 필름 형태의 플라스틱 검출기를 제조하였다. 플라스틱 유기섬광체는 다양한 형상으로 쉽게 제조가 가능하고 제조 방법이 간단한 용매법을 이용하였다. 이러한 용매법을 이용하기 위해서 높은 투명도를 지니면서 용매에 쉽게 녹을 수 있는 고분자 소재인 폴리설폰을 선정하여 제조하였으며, 방사선 측정용 섬광체로서 광학적 특성 및 방사선 검출 등을 평가하였다.

**Abstract** : Notwithstanding antipathies against radiation, radiations are extensively used in various fields with development of the radiation technology. In order to safely manage such radiation it is necessary for development of the radiation measurement materials. In this paper a thin film type of plastic scintillator using in the contamination measurement devices was prepared. The plastic organic scintillator was prepared by simple solvent methods. It was possible to prepare in easy way and in various forms. The polysulfone which has high transparency and solubility was chosen. As the radiation measurement scintillator, the optical properties and radiation detection abilities were estimated.

**Key words** : plastic scintillator, polysulfone, beta-ray detection, thin film

### 1. 서 론

오늘날 방사선에 대한 거부감에도 불구하고, 산업용, 의료용, 연구용 등에 매우 광범위하게 이용되고 있으

며, RT(Radiation Technology) 기술의 발전과 더불어 그 이용량이 계속적으로 증가하고 있다.<sup>1</sup> 이러한 방사선 및 방사성동위원소의 이용량 증가에 따라 안전하게 관리하고 감시하기 위하여 방사선 측정기술의 개발이 요구되

<sup>★</sup> Corresponding author

Phone : +82-(0)42-868-8210 Fax : +82-(0)42-868-2499

E-mail: bumja@kaeri.re.kr

며, 최근에는 소형 무인 헬리콥터를 이용한 방사선 감시시스템,<sup>2</sup> 유인화성탐사를 위한 방사선 감시<sup>3</sup> 등 다양한 분야에서 활용되고 있는 실정이다.

또한, 방사선 검출기술과 관련하여 검출기들은 다양한 소재(유 · 무기섬광체, 반도체 등)들을 이용하여 개발되고 있으며, 최근에는 NT, IT, BT 등 다양한 혁신기술과 융합되어 고도화되면서 비약적인 발전을 이룩하고 있다. 이러한 기술적인 발전에도 불구하고 국내의 방사선 계측기 분야는 전량 수입에 의존하고 있는 실정이며, 현재 일부 연구기관에서 상용화를 위한 연구가 진행되고 있으며,<sup>4</sup> 대표적으로 플라스틱 섬광검출기의 개발이 활발하게 진행되고 있다.<sup>5,6</sup>

일반적으로 플라스틱 섬광검출기는 polyvinyltoluene (PVT), polystyrene(PS) 등과 같은 고분자 물질에 유기섬광체로서 제1용질인 p-terphenyl 또는 2,5-diphenyloxazole(PPO)와 제2용질인 1,4-bis[5-phenyl-2-oxazol]benzene(POPOP)를 첨가하여 열중합반응을 이용하여 제조한다. 그러나, 기존의 플라스틱 섬광검출기는 고온을 사용한 열용융에 의해서만 제조가 가능하므로, 제조공정이 복잡할 뿐만 아니라 제조 효율이 떨어지는 단점이 있다.

본 연구에서는 표면오염 측정용 검출기의 소재로 주로 이용되고 있는 얇은 막 형태의 플라스틱 검출기를 제작하였다. 플라스틱 검출기의 제작 공정은 다양한 형상으로 쉽게 제조가 가능하며 공정이 간단한 용매법을 이용하였다. 이러한 용매법을 이용하기 위해서는 높은 투명도를 지니면서 용매에 쉽게 녹을 수 있는 고분자가 필요하다. 본 연구에서는 용매법을 이용하여 쉽게 막 형태의 플라스틱 섬광체를 제조할 수 있는 기본 고분자 소재를 선정하여 제조하였으며, 섬광체로서 광학적 특성 및 베타선 검출 성능 등을 평가하였다.

## 2. 실험 방법

일반적으로 방사선 측정용 섬광체로 주로 이용되고 있는 플라스틱 검출기는 고분자 소재와 섬광체인 제1용질과 제2용질의 3가지 성분으로 구성된 3원 섬광체이다. 고분자는 입사 방사선의 에너지를 흡수하는 역할을 담당하며, 제1용질은 고분자의 에너지를 전달받아 자외선 영역의 섬광을 방출한다. 그러나, 이러한 자외선 영역의 파장은 용매 내에서 쉽게 흡수될 수 있으며 섬광계수용 광전자증배관(PMT)의 섬광 응답특성에 부합하지 않기 때문에 제1용질에서 발생된 섬광을 흡수하여 blue wave 계열의 장파장을 방출하여 매질 내에서 흡수

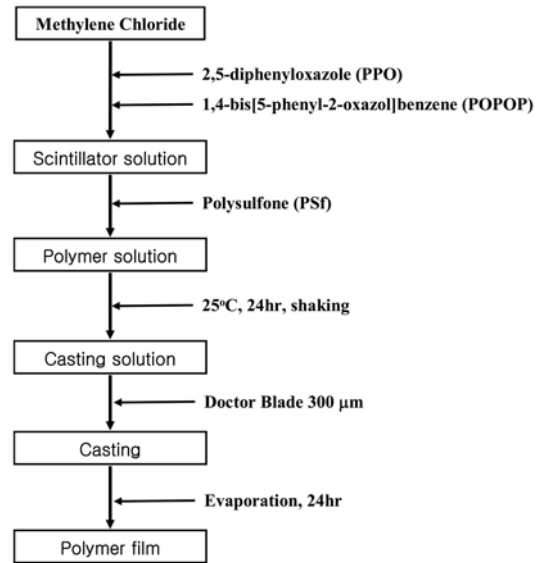


Fig. 1. The preparation process of a thin film type of the plastic scintillator.

를 줄일 수 있고 PMT에 적합한 파장으로 이동시키는 역할을 담당하는 wave shifter인 제2용질을 사용한다. 본 연구에서 유기섬광체로는 제1용질로 PPO 그리고 wave shifter인 제2용질은 POPOP를 사용하였다.

얇은 막 형태의 플라스틱 섬광검출기의 제조 과정은 Fig. 1에 나타내었다. 용매인 메틸렌클로라이드(MC)에 섬광체를 용해시킨 후, 고분자 소재를 넣어 25°C에서 24시간 교반하여 고분자 섬광체 혼합 용액인 제막용액을 제조하였다. 균일한 제막용액 내에서 산소 quenching을 일으킬 수 있는 기포가 없음을 확인한 후, 두께 고정형 Doctor Blade를 사용하며 일정한 두께로 유리판 위에 도말하였다. 고분자막을 24시간 대기 중에서 방치하여 고형화하여 제조하였다.

고분자 소재 및 섬광체에 따른 플라스틱 검출기의 특성을 평가하기 위하여 섬광체의 함량 및 고분자막의 두께를 변화시키면서 제조하였다. 제조한 플라스틱 섬광체의 가시광선 영역에서의 발광 파장 및 투과율 등의 광학적인 특성은 Spectrophotometer(Cary 500, Varian)를 이용하여 측정하였다. 또한, 방사선 검출 성능을 평가하기 위하여 알파선 방출핵종인 Am-241(반감기 : 432년, 알파선 에너지 : 5.48, 5.44 MeV)과 베타선 방출핵종인 Sr/Y-90(반감기 : 28.78년, 베타선 최대에너지 : 2.28 MeV) 방사선원을 플라스틱 섬광체에 직접 도포하여 생성된 스펙트럼을 PMT를 이용하여 측정하였다.

### 3. 결과 및 논의

필름 형태의 플라스틱 섬광체를 제조함에 있어 가장 중요한 것은 용매법을 이용하여 제조할 수 있는 소재의 선정과 제조 후의 소재의 투명성과 기계적인 유연성을 들 수 있다. 또한, 유기섬광물질과 혼합되어 플라스틱 섬광체를 구성함에 있어 유기섬광물질에 에너지를 효율적으로 전달할 수 있는 고분자 소재의 선정이 중요하다.

기존의 플라스틱 섬광체 제조에 있어 가장 많이 이용되고 있는 고분자 소재는 폴리스티렌(PS)과 폴리비닐톨루엔(PVT)이다. 그러나, 이들 고분자 소재의 경우는 열용융 공정을 이용하여 제조하며 고형화 후 대부분 bulk type으로만 제조가 가능하다. 이들 소재를 이용하여 본 연구에서 용매법을 이용하여 오염도 측정용 검출소재로 이용되는 얇은 필름 형태로 제조하고자 하였으나, 현재 하계 낮은 기계적 물성으로 인하여 필름형태로 제조가 불가능하였다.

얇은 막 형태의 플라스틱 섬광검출기를 제조하기 위한 기저 고분자로는 폴리설피론(PSf), 폴리메틸메타크릴레이트(PMMA) 또는 폴리카보네이트(PC) 계열이나 Ticona와 같은 사이클로폴리올레핀 계열이 사용될 수 있다. 이 중에서도 PSf은 PC와 PMMA보다 내용매성이 우수하면서도 성형성이 아주 좋고, 기본적으로 비결정질인 특성을 지니고 있어 온도 변화와 같은 외부 조건의 변화에서도 비교적 높은 투명도를 지니고 있어 복합체의 기저 고분자로서 선정하였다.

선정된 고분자 소재와 섬광체를 이용하여 얇은 필름 형태의 플라스틱 섬광체를 Fig. 1의 공정에 따라 제조하였다. 플라스틱 섬광체는 방사선과의 상호작용에 의하여 생성된 섬광을 계수하여 입사 방사선을 정량하는 소재로서 광학적 특성이 방사선 검출 성능에서 중요한 역할을 담당한다. 이러한 광학적 특성은 섬광체의 함량에 따라 크게 차이가 나는데, 일반적으로 기저고분자 함량에 대한 비율이 제1용질은 1.0 wt% 그리고 제2용질은 0.05 wt%에서 최적의 발광 특성을 가지는 것으로 알려져 있다[7]. 이러한 섬광체의 함량에 따른 발광 특성을 조사하기 위하여 제1용질인 PPO의 양을 0.1~1.0 wt% 그리고 제2용질인 POPOP의 양을 0.01~0.07 wt%로 각각 변화시키면서 섬광체 필름을 제조하였다. 제조한 섬광검출기의 함량에 따른 발광 스펙트럼의 변화는 Fig. 2에 나타내었다.

Fig. 2(a)에서 보는 바와 같이, 제1용질인 PPO의 발광 스펙트럼은 약 400 nm 근방에서 최대값을 가지며, PPO의 양이 증가할수록 광량도 같이 증가한다. 그러나, PPO

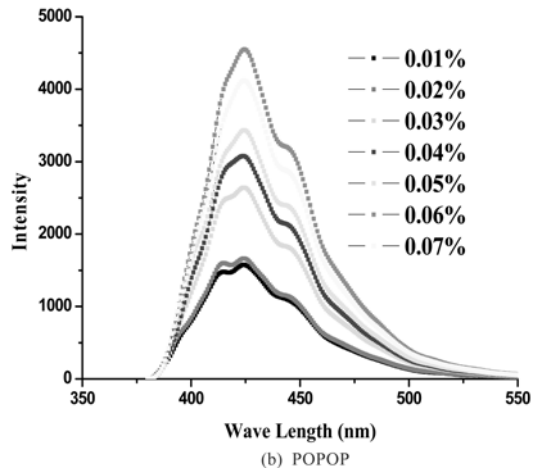
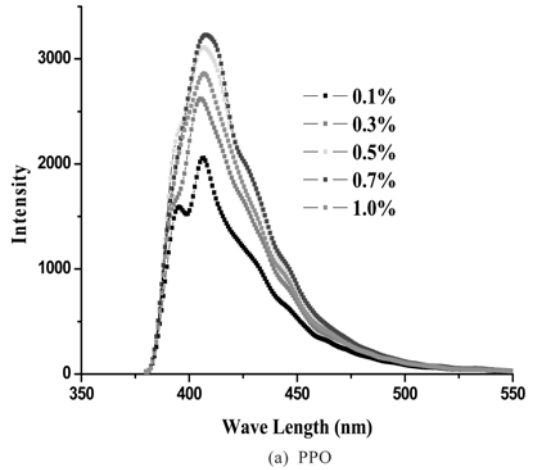


Fig. 2. The emitting spectrum according to the variation of the 1st solute PPO (a) and 2nd solute POPOP (b) contents.

농도 0.7 wt%에서 발생 광량이 최대가 되었다가 1.0 wt%에서는 다시 감소하는 것을 볼 수가 있는데, 이는 발생한 섬광이 PPO 농도가 일정한 값 이상에서는 다시 섬광체에 흡수되기 때문이다. 즉, 유기섬광체 함침 고분자막의 경우는 제1용질인 PPO의 농도가 0.7 wt%에서 가장 좋은 섬광 특성을 얻을 수 있었다.

또한, Fig. 2(b)에서와 같이 제2용질인 POPOP은 425 nm에서 최대값을 가지며, 제1용질과 마찬가지로 POPOP의 양이 증가할수록 광량도 같이 증가하는 것을 볼 수 있으며, 0.06 wt%에서 발생 광량이 최대이다. 즉, 제2용질인 POPOP의 농도는 0.06 wt%에서 가장 좋은 섬광 특성을 얻을 수 있었다.

이와 같이 필름 형태의 플라스틱 섬광체의 경우,

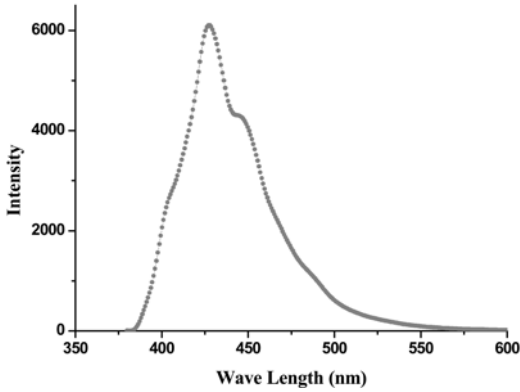


Fig. 3. The light emitting spectrum of a thin film type of the plastic detector containing organic scintillator PPO and POPOP.

Polysulfone : PPO : POPOP의 중량비(wt%)가 1 : 0.7 : 0.06에서 가장 우수한 발광 특성을 가진다는 것을 확인하였다. 이러한 조건을 이용하여 제조한 고분자막의 발광 스펙트럼을 측정할 결과, Fig. 3과 같이 425 nm 부근의 최대값을 가지는 발광 특성을 보이며, 섬광 계수 장치인 PMT의 응답파장(blue wave 영역)인 425 nm와 가장 잘 부합한다는 것을 확인하였다.

PMT를 이용하여 섬광체에서 발생된 섬광을 효율적으로 계수하기 위하여 섬광체 매질 자체의 투명성이 중요한 요소이다. 유기섬광체 필름의 투명도를 측정하기 위하여 가시광선 영역에서의 투과율을 측정하였으며, Fig. 4에서와 같이 가시광선 영역(파장 : 380~770 nm)에서 투과율은 90% 정도로 아주 좋은 투명성을 유지하였다. 즉, 이는 고분자막 내에서 생성된 섬광의 큰 손실없이 PMT로 수광할 수 있음을 확인하였다. 참고로 플라스틱 소재 중에서 투명성이 가장 우수하다고 알려져 있는 아크릴의 경우 투과율은 95% 정도이다.

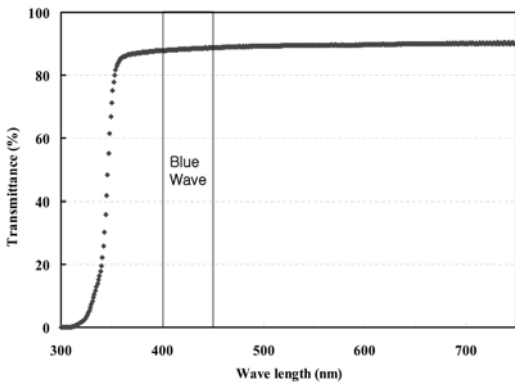


Fig. 4. The transmittance of the thin film type of the plastic scintillator in the visible light regions.

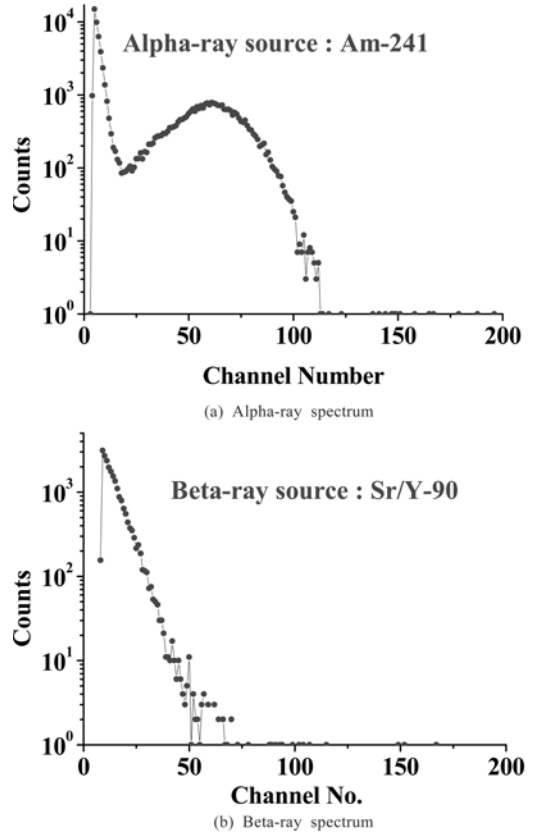


Fig. 5. Alpha and beta-ray spectrum of the prepared plastic scintillator.

제조한 필름 형태의 플라스틱 섬광체의 방사선 검출 성능을 평가하기 위하여 알파선 방출핵종인 Am-241과 베타선 방출핵종인 Sr/Y-90을 이용하여 측정된 스펙트럼은 Fig. 5와 같다. Fig. 5(a)와 같이 단일 에너지를 방출하는 알파선의 경우는 폭이 넓은 영역의 피크 형태의 스펙트럼을 나타내었고, 연속 에너지를 방출하는 베타선의 경우는 낮은 에너지 영역에서 연속 스펙트럼을 보여주고 있다. 그러나, 실제적인 에너지 영역은 알파선과 베타선이 거의 겹쳐있는 것을 알 수 있다. 섬광체가 유기 플라스틱인 경우, 알파선과 베타선에 의하여 생성된 광량은 거의 동일하다.<sup>8</sup> Table 1에 나타난 바와 같이 알파선의 에너지는 베타선의 평균에너지에 비하여 10배 이상 크지만 광출력은 0.08배 정도이기 때문이다. 즉, 순수하게 알파선만을 측정할 경우에는 플라스틱 섬광체만을 이용하여 측정이 가능하지만, 알파와 베타선이 혼합된 경우에는 적용이 불가능하다는 것을 알 수 있다. 일반적으로 베타선 측정용 플라스틱 섬광체의 경우는 비정형이 짧은 알파선에 의한 영향을 배제하기 위하여 알루

Table 1. Approximate relative scintillation efficiencies various commercially available materials at room temperature. The relative light output of sodium iodide (thallium) per unit energy deposited by beta particles is taken as 1.0.<sup>8</sup>

Scintillator	alpha	beta	alpha/beta
ZnS(Ag)	2.0	1.0	2.0
CsI(Tl)	0.4	0.5	0.8
NaI(Tl)	0.5	1.0	0.5
CsBr(Tl)	0.05	0.15	0.3
KBr(Tl)	0.01	0.04	0.25
CaF <sub>2</sub> (Eu)	0.1	0.4	0.25
NaCl(Ag)	0.01	0.04	0.2
Organic	0.02	0.25	0.08

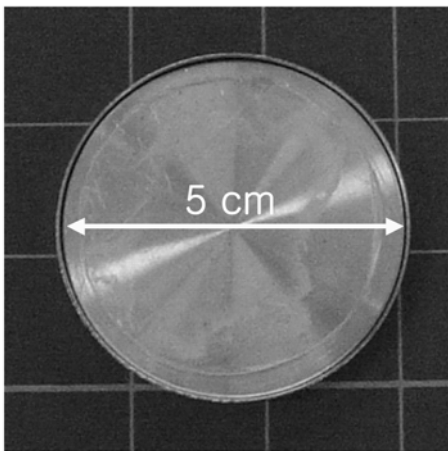


Fig. 6. The thin plastic scintillator sheet manufactured for beta-ray counting.

미늄이 코팅된 얇은 mylar 필름 등으로 감싸서 사용한다.

본 연구에서 개발한 플라스틱 섬광체는 20×25 cm의 크기로 제조하였다. 또한, 두께는 250 μm로 결정하여 제조하였으며, 이는 감마선의 영향을 배제하면서 베타선을 측정하는데 최적의 두께이며, 기존의 오염도 측정용 소재로 사용되고 있는 플라스틱 섬광체의 두께와 동일하게 제조하였다.<sup>9,10</sup> 실제 제조한 플라스틱 섬광체의 검출 특성을 평가하기 위하여 Fig. 6과 같이 직경 5 cm로 잘라서 알루미늄 판에 부착한 후 PMT를 이용하여 측정한 결과 Sr/Y-90 베타선원에 대한 효율은 약 45% 정도였다.

#### 4. 결 론

원자력시설의 방사성 오염도 측정용 계측기의 주요

검출 소재로 사용되는 필름 형태의 플라스틱 섬광검출기를 제조하여 특성을 평가하였다. 플라스틱 검출기의 기저 고분자 소재는 간단한 용매법을 이용하여 제조가 가능하고, 투명성이 우수한 폴리설피론을 선정하였으며, 유기섬광체는 제1용질인 PPO와 제2용질인 POPOP를 선정하였다. 플라스틱 섬광검출기의 특성은 고분자에 대한 PPO와 POPOP의 농도가 0.7 및 0.06 wt%일 때 가장 우수한 발광 특성을 나타내었으며, 투과율 또한 우수함을 확인하였다. 본 연구에서 제조한 얇은 필름 형태의 플라스틱 섬광체는 용매법을 이용하여 제조하기 때문에 기존의 제품에 비하여 제조방법이 간단할 뿐만 아니라 다양한 형상으로 제조가 가능하다. 또한, 유연한 고분자 소재를 사용하여 제조하였기 때문에 쉽게 구부리거나 말 수가 있어서 다양한 측정 환경에서 사용이 가능하다. 방사선에 대한 검출 성능 평가 결과, 알파선과 베타선 모두에 대한 반응특성을 확인하였으며, 유기섬광체의 발광 특성으로 인하여 알파선에 의한 영향을 배제한 상태에서 베타선의 측정이 가능하다는 것을 확인하였다. 향후 이러한 얇은 필름 형태의 고분자 소재 섬광검출기는 오염도 측정용 계측기와 같은 계측기의 검출 소재로 활용될 수 있을 것이다.

#### 참고문헌

1. 한국방사성동위원소협회, 방사선이용통계, 과학기술부 (2004).
2. Shinichi Okuyama, Tatu Torii, Yasunori Nawa, Ikuo Kinoshita, Akihiko Suzuki, Masanori Shibuya, Nobuyuki Miyazaki, *International Congress Series* **1276**, 422-423(2005).
3. V.V. Benghin, and V.M. Petrov, *Advances in Space Research* **31**(1), 35-38(2003).
4. 문병수 외, 방사선 계측 및 이용장비 개발, KAERI/RR-1997/99, 한국원자력연구소 기술보고서 (2000).
5. 이우교, 김용균, 김경복, 정종은, 홍석봉, RMS 용 beta 입자 검출기 제작, 한국원자력학회 2003년도 추계학술발표회 논문집 (2003).
6. 박진용, 황상훈, 안정근, 원통형 섬광 플라스틱 검출기 제작 및 특성 연구, *새물리* **48**(6), 606-610 (2004).
7. <http://pdg.lbl.gov/2000/pardetrpp.pdf>
8. J. M. R. Hutchinson, NIST Measurement Services : Alpha-Particle Calibration (2004), NIST Special Publication 250-5a, NIST, USA (2004).
9. <http://www.apace-science.com/eljen/ej-444.htm>
10. <http://www.ludlums.com/product/m43-89.htm>