

## NaI(Tl)/가소물섬광체 포스위치검출기제작에 대한 연구

김광명, 송철욱

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《과학연구성과는 그것이 현실에 적용되여 실지 은을 내야 의의가 있지 실험실적연구로 끝나서는 큰 의의가 없습니다. 과학적발명을 실험실적으로 담보하는것도 중요하지만 실천에 적용하여 은을 내게 하는것이 더 중요합니다.》(《김정일선집》 증보판 제12권 366페이지)

포스위치검출기에 의한 립자선별방법은 여러가지 립자선별방법들가운데서 복잡한 전자기구에 대한 요구가 없이 립자선별의 정확도를 높일수 있는 방법으로서 방사선립자선별에 많이 리용되고있다.[2]

현재 방사선립자선별에 대한 연구가 활발히 진행되고있으나  $\alpha$ ,  $\gamma$  선별용포스위치검출기에 대한 연구결과[1]만 발표되고있다.

론문에서는 NaI(Tl)섬광체와 가소물섬광체(폴리스티롤+테트라페닐부타디엔( $C_{28}H_{26}$ ))를 결합하여 n,  $\gamma$  선별을 진행할수 있는 포스위치검출기를 제작하였다.

### 1. NaI(Tl)섬광체와 가소물섬광체의 기록효율

보통 취급하려는  $\gamma$  원천의 에네르기대역은 수MeV정도로써 비교적 큰 에네르기의  $\gamma$  선이 나온다.

먼저 각이한 두께에 따르는 NaI(Tl)섬광체의 고유효율을 계산하고 직경이 63mm이고 두께가 63mm인 섬광체의 효율을 평가하였다.

원천을 점원천으로 보는 경우 NaI(Tl)섬광체의 효율은 다음의 식에 의하여 결정한다.[1]

$$\varepsilon_{in} = \frac{1}{\cos \theta_2} \left\{ \int_0^{\theta_1} (1 - e^{-\mu d \sec \theta}) \sin \theta d\theta + \int_{\theta_1}^{\theta_2} [1 - e^{-\mu(r \cos \theta - h \sec \theta)}] \sin \theta d\theta \right\}$$

여기서  $\mu$  는 NaI(Tl)섬광체의  $\gamma$  선흡수계수로서  $\gamma$  선의 에네르기에 관계된다.  $d$  는 섬광체의 두께이고  $h$ ,  $r$  는 각각 원천으로부터 결정체까지의 거리 및 반경이다. 그리고  $\theta_1 = \tan^{-1}[r/(h+t)]$ ,  $\theta_2 = \tan^{-1}(r/h)$  이다. 이 식에 의하여 직경 63mm, 두께가 63mm일 때의 NaI(Tl)섬광체의 기록효율을 계산하였다.(표)

표. NaI(Tl)섬광체의 기록효율

$h/\text{cm}$	$E/\text{MeV}$						
	0.14	0.66	1.08	1.17	1.33	2.62	4.45
0	0.99	0.66	0.55	0.53	0.51	0.42	0.39
5	0.96	0.63	0.53	0.52	0.49	0.41	0.38
10	0.92	0.59	0.51	0.50	0.47	0.39	0.36
15	0.85	0.53	0.47	0.45	0.42	0.35	0.32

표에서 보는바와 같이 NaI(Tl)섬광체의 기록효율은 Pu-Be원천을 기준으로 하였을 때 4.45MeV의  $\gamma$  선에 대해서 30~40%이다. 그리고 Pu-Be원천의 세기가  $10^6$ 개/s 이므로 립자

선별을 위해서는 충분하다고 볼수 있다.

다음은 가소물섬광체에서 중성자기록효율을 고찰하였다. 가소물섬광체는 바랑물질인 폴리스티롤수지에 섬광물질 테트라페닐부타디엔을 혼합하여 만든다.

가소물섬광체의 크기는 직경이 60mm, 높이가 16mm인 원기둥형이다. 폴리스티롤수지는 보임빛대역의 빛에 대하여 90%이상의 투과율을 가지는 좋은 투명체이다. 그러므로 NaI(Tl)섬광체에서의 섬광이 거의 그대로 투과되어 빛증배관에 도달한다.

탄소와 수소함유물질인 가소물에서 중성자기록효율은

$$\varepsilon = \frac{N_H \sigma_H}{N_H \sigma_H + N_C \sigma_C} \{1 - \exp[-(N_H \sigma_H + N_C \sigma_C) d]\}$$

에 의하여 결정된다.[3] 여기서  $N$ 은 표적핵(수소, 탄소)의 밀도이고  $\sigma_H$ ,  $\sigma_C$ 는 수소핵과 탄소핵에 대한 중성자의 탄성산란자름면적으로서 입사중성자의 에너지의 함수이다.  $d$ 는 입사중성자가 검출기를 통과하는 거리이다.

Pu-Be중성자원천에서 나오는 중성자의 평균에너지는 4.5~5MeV정도이다.

4.5MeV중성자에 대하여  $\sigma_H=7.1b$ ,  $\sigma_C=3.6b$ , 통과거리 10cm로 설정하고 중성자기록효율을 계산하면 중성자기록효율은 64%이다.

## 2. 포스위치검출기구성

포스위치검출기를 이루는 NaI(Tl)섬광체와 폴리스티롤+테트라페닐부타디엔( $C_{28}H_{26}$ ) 가소물섬광체 그리고 빛유도체를 결합하여 포스위치섬광체를 만들었다. 포스위치검출기 구조는 그림 1과 같다.

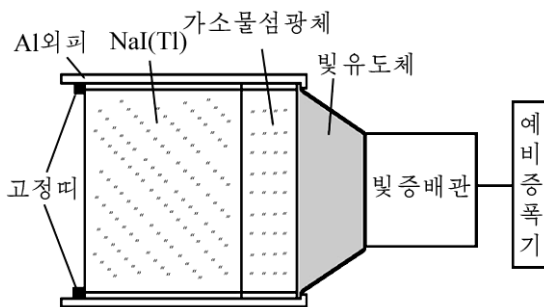


그림 1. 포스위치검출기구조

그림 1에서 NaI(Tl)섬광체와 가소물섬광체 그리고 빛유도체들은 알루미늄원기둥통속에서 호상결합되었다. 섬광체들사이에는 규소유에 의하여 광학적인 결합을 하였다. 빛증배관과 빛유도체의 중심을 일치시키고 외적요인에 의하여 바깥빛이 검출기안에 새어들어가는것을 막기 위하여 고리모양의 흑색빛가림판을 증배관외벽에 끼웠다. 또한 섬광체들과 빛증배관접촉을 유연하게 하기 위하여 빛증배관접속구와

예비증폭기사이에 탄성이 유연한 용수철을 끼웠다.

일반적으로 섬광검출기를 구성하는데서 섬광체의 섬광스펙트르파장과 증배관의 흡수스펙트르파장을 일치시키는것이 가장 중요하다. 따라서 NaI(Tl)섬광체의 섬광스펙트르 370~410nm와 폴리스티롤+테트라페닐부타디엔 가소물섬광체의 최대발광스펙트르 423nm를 고려하여 빛증배관 《ΦУ-93》을 선정하였다. 《ΦУ-93》의 빛음극감도스펙트르는 300~690nm이다.

빛증배관의 증배극들사이의 전압분배에서 빛음극과 변조극사이 그리고 집초극과 첫번째 증배극사이에는 증배극들사이의 전압보다 절반 작게 걸리게 하였다. 음극과 양극사이에는 -1 350V의 고전압을 걸어주고 양극접지를 하였다.

가소물섬광체에 의한 중성자스펙트르측정을 진행할수 있게 양극으로부터는 진폭스펙

트르출구를 그리고 마지막증배극인 9번을 시간스펙트르출구로 선정하였다.(그림 2)

섬광검출기의 출구신호진폭은 잡음준위보다 훨씬 크므로 일반적으로 증폭이 요구되지 않으며 예비증폭기는 다만 신호전송선을 연결하기 위한 저항 변환기로서의 역할을 한다. 그러므로 보통 방사극반복기를 예비증폭기로 리용한다.

출구에 연결되는 신호전송선의 특성저항이 방사극반복기의 입구저항에 영향을 주기때문에 섬광검출기의 부하가 변하지 않도록 3중복합방사극반복기를 리용하였으며 회로전원은 -12V 이다.

2개의 3극소자로 구성된 복합소자를 리용하여 입구저항이 크고 출구저항이 작은 방사극반복기의 특성을 개선하였다. 복합연결을 하는 경우 전류증폭도는 커지며 출력이 다르고 극성이 다른 소자를 복합시키면 출력이 작은 소자를 출력이 큰 소자로 리용할수 있는 우점이 있다.

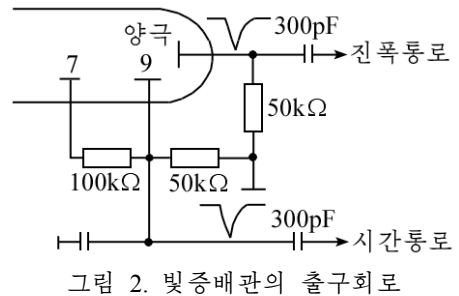


그림 2. 빛증배관의 출구회로

## 맺는 말

$\gamma$  검출용NaI(Tl)섬광체와 중성자검출용가소물섬광체를 결합하여 n,  $\gamma$  선별용포스위치 검출기와 진폭신호와 시간신호를 동시에 출구할수 있는 예비증폭기를 제작하였다.

## 참고 문헌

- [1] 김정만, 송철욱; 원자력, 4, 23, 주체97(2008).
- [2] Takahiro Kobayashi et al.; Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 875, 111, 2017.
- [3] G. F. Knoll; Radiation Detection and Measurement, 569~573, Fourth Edition Don Fowley, 2010.

주체109(2020)년 6월 5일 원고접수

## NaI(Tl)/Plastic Scintillation Phoswich Detector Manufacturing

Kim Kwang Myong, Song Chol Uk

In this work we fabricated the phoswich detector for separating neutron and gamma rays by combining a plastic scintillator for gamma detection and NaI(Tl) scintillators for neutron detection, and then fabricated the pre-amplifier that was able to measure the amplitude and time signals at the same time.

Keywords: plastic scintillator, phoswich detector