

## 감마선 분광기용 광가이드의 에너지 분해능 특성 조사

김 찬 규 · 김 종 열 · 이 채 훈 · 김 형 택 · 조 규 성\*

한국과학기술원(KAIST)

E-mail: gscho@kaisti.ac.kr

중심어 : 감마선, 분광기, 스펙트로메터, 광가이드

### 서 론

감마선 분광기는 미지의 동위원소로부터 나오는 감마선의 에너지를 측정하는 기기로 원자력 분야 및 지질화학, 천체물리학 등의 분야에서 이용되고 있다. 현재까지 가장 선호되는 감마선 분광기는 NaI 섬광체와 진공관 기반의 광전자증배관(PMT)의 조합으로, 감마선 검출능력이 뛰어나고 가격이 상대적으로 저렴하다는 장점을 가지고 있다[1]. 광전자증배관(PMT)은 빛에 대한 높은 민감도, 좋은 신호대잡음비, 넓은 검출범위 등의 우수한 성능을 바탕으로 지금까지 감마선 분광기 뿐 아니라 다양한 분야에서 광검출기로 이용되어 왔다. 하지만 최근, 실리콘 광전자증배소자(SiPM)와 같은 실리콘 기반의 광검출기들에 대한 연구가 활발해지면서 기존의 광전자증배관(PMT)를 새로운 광검출기들로 대체하려는 연구 또한 활발히 진행되고 있다. 하지만 섬광체를 이용한 감마선 분광기에서 이러한 실리콘 기반의 광검출기들을 이용하는 경우, 광전자증배관(PMT)에 비해 상대적으로 작은 면적에 맞추기 위해 작은 크기의 섬광체를 이용하곤 하는데, 이로 인해 섬광체를 이용한 감마선 분광기의 장점이었던 감마선 검출능력에서 저하가 발생한다. 이 문제는 섬광체와 광검출기 사이에 광가이드를 도입하여 섬광체에서 발생한 빛을 광검출기까지 전달함으로써 해결될 수 있다[2]. 이러한 광가이드를 이용한 감마선 분광기의 경우 광가이드의 광자 전달 효율이 가장 중요한 요소가 되며, 광자 전달 효율이 낮을 경우 에너지 분해능의 저하가 예상된다.

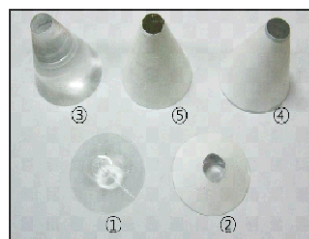
본 연구에서는 길이와 표면의 코팅을 달리하여 광

가이드를 제작하였고, 이러한 광가이드의 에너지 분해능 성능을 실제로 측정하여 DETECT 시뮬레이션과 함께 결과를 비교하였다.

### 재료 및 방법

광가이드의 재질은 빛의 투과성이 좋고, 굴절률( $n=1.59$ )이 NaI 섬광체( $n=1.85$ )와 비슷하며, 가격과 성형이 제작에 유리한 아크릴수지(PMMA)로 선택되었다. 먼저 광가이드의 성능을 예측하기 위해 아크릴수지를 바탕으로, 광가이드의 길이와 표면의 코팅, 그리고 섬광체에서 빛이 발생한 위치를 달리하여 광전달 효율을 DETECT 프로그램을 이용하여 시뮬레이션하였다.

실제 제작된 광가이드는 길이는 17mm와 60mm 두 가지, 표면의 코팅은 코팅하지 않은 것과, 테플론 테이프 코팅, white TiO<sub>2</sub> 코팅 세 가지의 종류를 두었다. 제작된 광가이드의 정확한 성능 테스트를 위하여 먼저 NaI가 PMT에 바로 결합한 상태에서의 에너지 분해능을 측정하고, 같은 PMT로 광가이드가 결합한 후에 얼마나 달라지는지를 측정하였다.



Number	1	2	3	4	5
Length	17mm	17mm	60mm	60mm	60mm
Coating	no	Teflon	no	Teflon	TiO <sub>2</sub>

Fig. 1. 제작된 광가이드

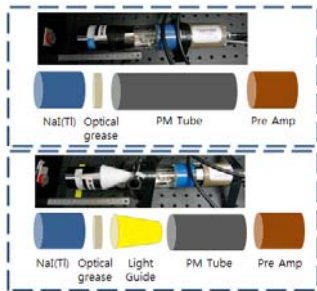


Fig. 2. 광가이드의 성능평가를 위한 측정 시스템

## 결과 및 고찰

DETECT 시뮬레이션 결과, 예상한 바와 같이 광가이드의 광자 전달 효율은 길이가 길어질수록 낮아지는 경향을 보였다. 반면, 광가이드의 길이가 늘어나면서 섬광체의 어느 부분에서 빛이 발생했는지에 따른 광전달 효율의 차이는 감소하는 것으로 보인다. 이러한 광전달 효율의 차이가 줄어들게 되어 에너지 분해능이 향상되지만 빛이 적게 전달되어 에너지 분해능이 감소하는 면이 더 크게 작용하여 에너지 분해능은 감소하게 된다.

실제 측정 결과에서 에너지 분해능은 시뮬레이션 결과에서 예상한 것과 같이 광가이드 도입시 저하되는 경향을 보였다. (60mm 테플론 코팅 기준으로 0~5%) 하지만 광가이드 도입시 PMT에서 측정되는 광자의 수가 70~80%정도 감소하는 것을 고려할 때 에너지 분해능의 저하는 적은 편이다. 추가 측정에서 PMT에 섬광체가 바로 연결되었을 때 Co-57에서 측정된 에너지와 광가이드를 도입하였을 때 Cs-137에서 측정되는 에너지를 비교해보면, 두 경우로부터 측정되는 에너지는 비슷하지만, 에너지 분해능은 후자가 더 좋은 것을 확인할 수 있다. 이는 들어오는 광자의 수는 비슷하지만, 매번 검출시마다 측정되는 광자의 수가 전자보다 후자에서 더 일정하기 때문으로 생각된다. 앞의 시뮬레이션에서 예상했던 광전달효율의 차이가 줄어드는 효과이다.

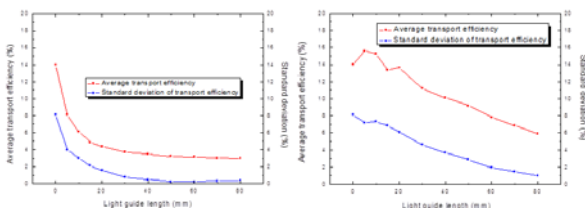


Fig. 3. 일반 광가이드(좌)와 코팅한 광가이드(우)의 DETECT 시뮬레이션결과

Energy	17mm No	17mm Teflon	Energy	60mm No	60mm Teflon	60mm TiO2
511keV	4.373 %	3.581 %	511keV	9 %	3.581 %	5.806 %
1200keV	1.123 %	1.106 %	1200keV	6.57 %	1.071 %	3.09 %
662keV	6.161 %	4.81 %	662keV	7.806 %	4.59 %	7.348 %
1170keV	5.85 %	6.729 %	1170keV	17.512 %	4.52 %	11.155 %
1330keV	2.896 %	0.439 %	1330keV	9.584 %	0.41 %	5.84 %

Table 1. 측정된 각 광가이드의 PMT 대비 에너지 분해능 차이

	PMT No & Co-57	17mm No & Cs-137	17mm Teflon & Cs-137	60mm Teflon & Cs-137
Energy (keV)	143.31	136	183	144
Resolution (%)	13.3	11.781	10.43	10.21

Table 2. PMT와 섬광체(Co-57 소스)와 광가이드 도입시(Cs-137)의 측정결과 비교.

## 결론

감마선 분광기에서 섬광체와 광센서 사이에 광가이드를 도입함으로써 섬광체에서 광센서로 전달되는 광자의 수가 줄어들게 되고, 이는 곧 감마선 분광기 에너지 분해능의 저하로 이어진다.

시뮬레이션과 실제 제작된 광가이드의 성능 연구를 통하여, 광가이드가 길어지면서 광자 전달 효율이 낮아짐으로 인한 에너지 분해능의 저하를 확인하였고, 동시에 섬광체의 광자생성지점에 따른 광자전달효율의 차이가 줄어들었으므로 에너지 분해능을 향상시키는 반대 효과가 있다는 것을 확인할 수 있었다.

이러한 광가이드의 특성연구는 향후 광가이드를 이용한 감마선 분광기 제작시 유용하게 참고할 수 있을 것으로 생각된다.

## 감사의 글

본 연구는 2010년도 지식경제부의 산업원천기술개발 사업의 일환으로 수행하였음. KEIT (10030104)

## 참고 문헌

1. Knoll, G, *Radiation Detection and Measurement, 4th ED*, 321-355, John Wiley & Sons, Inc., New York(2010)
2. Ahmed, S, *Physics and Engineering of Radiation Detection*, 361-365, Elsevier, San Diego(2007)