

FNGR 적층구조 검출기의 섬광체 두께 최적화

조재형 · 변태민 · 김광현*

중원대학교 의료공학부

원자력기초공동연구소 (BAERI)

E-mail: radkim@jwu.ac.kr

중심어 : Fast Neutron & Gamma Radiography, 섬광체, 적층구조검출기

서론

FNGR (Fast Neutron and Gamma Radiography)은 고속중성자 검출기와 감마선 검출기로 이루어져 있으며, 감마선과 고속중성자의 검사대상의 투과를 통해 방사선영상을 얻고 고속중성자와 물질과의 상호 작용을 이용해 발생하는 특성 감마선을 정량적으로 검출하여 검사대상의 성분을 분석할 수 있어 수화물 및 컨테이너등의 보안검색장치로 사용한다 [1]. 주로 plastic 섬광체가 결합된 광센서는 고속중성자용으로 CsI crystal 섬광체가 결합된 광센서는 감마선용으로 사용되며, 이때 섬광체에 입사된 방사선의 에너지가 충분히 높아 섬광체를 무한히 두껍게 할 수 없으며, 최적화된 섬광체라 하더라도 섬광체를 투과한 양만큼의 방사선 손실이 있어, 본 연구에서는 흡수되지 않고 투과되어 손실되는 방사선을 적층 (stacked-layer)구조의 검출기 모듈을 동시 계수할 경우 기존 FNGR의 성능을 향상시킬 수 있는 방안과 섬광체 최적화를 통해 기존장치의 개선가능성을 검증하였다.

재료 및 방법

먼저 기존 장치에 사용하고 있는 각 섬광체 두께에 대해 여러 층으로 분리하고 각 층의 위치에서의 방사선 흡수 분포와 흡수된 방사선에 의해 생성된 빛의 분포, 그리고 각 층의 위치에서 발생한 섬광의 광센서 도달율을 동시에 고려하여

가중치를 고려한 최적 섬광체 두께를 산출하여 기존 제시된 섬광체 두께와 비교하였으며, 이 과정을 통해 고속중성자 (14 MeV)에 대해 적층구조 상의 첫번째 plastic 섬광체 (BC408)와 두번째 plastic 섬광체를, 그리고 감마선 (Co-60: 1.17 & 1.33 MeV)에 대해 첫번째 및 두번째 CsI crystal 섬광체의 최적 두께를 각각 도출하였다. 획득된 최적 두께의 섬광체에 대해 적층 구조상에서 스펙트럼을 합산하여 기존 FNGR의 검출기보다 성능 개선의 정도를 검증하였다. 이때 각방사선의 흡수에너지 및 섬광체 내의 빛의 거동은 Monte Carlo simulation을 통해 수행하였으며, 흡수에너지 계산에는 MCNPX code를 사용하였고, 센서에 도달하는 빛의 수광율은 DETECT-97 code를 사용하였다.

결과 및 고찰

호주 브리스벤 공항에 설치된 FNGR 장치에서 고속중성자용 섬광체 (BC408 plastic 섬광체: 20 mm x 20 mm x 75 mm)와 감마선용 섬광체 (CsI (TI): 10 mm x 10 mm x 50 mm)를 대상으로 고속중성자 및 감마선의 섬광체 흡수율은 각각 34.5 %와 53.3 %로 나타났고, 65.5 % 및 46.7 %는 섬광체를 통과하는 것으로 나타났으며, 본 연구에서 제안된 최적화 과정을 통해 획득된 BC408 plastic 섬광체의 최적 두께는 12 cm 였으며 CsI (TI) 섬광체의 경우는 6 cm로 나타났다. 이와 같은 결과는 Fig. 1.에서와 같이 해당 최적 두께에서 최대 섬광 계수율을 보여주는데 근거를 두고 있으며, 이때의 각 섬광체에서의 섬광 발생량은 BC408-12 cm

에서 약 16,441 그리고 CsI (TI)-6 cm에서 약 15,391로 나타났다.

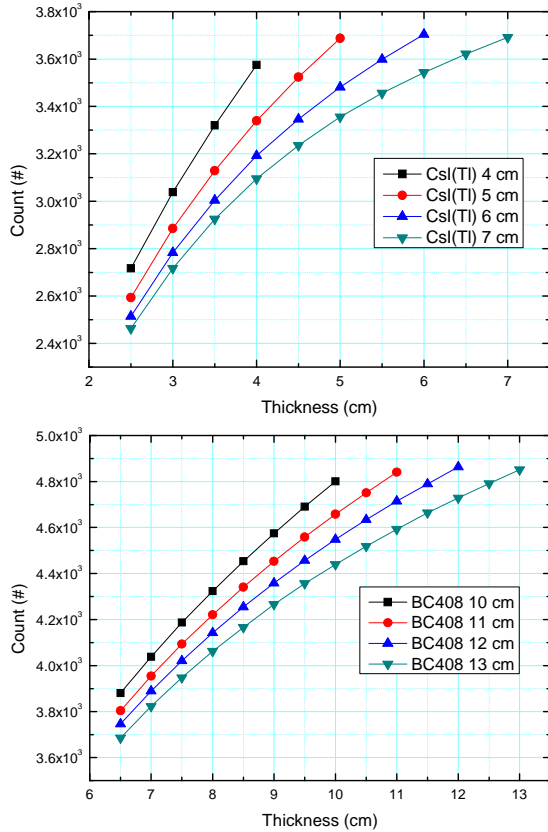


Fig 1. (상) 14 MeV에 대한 BC 408 plastic 섬광체의 두께별 섬광 발생양. (하) Co-60 (1.17 & 1.33 MeV)에 대한 CsI (TI) 섬광체 두께별 섬광 발생양.

각 섬광체에서 손실된 방사선을 흡수하기 위한 적층구조의 하단 섬광체 최적화는 보다 실제적 모사를 위해 상기에서 획득된 각각의 섬광체를 위치한 상태에서 수행하였으며, 이 결과 상단의 섬광체와 마찬가지로 BC408 plastic 12 cm, CsI (TI) 섬광체 6 cm에서 최대 섬광 발생양을 획득할 수 있었으며, 각각의 섬광 발생양은 약 4,863과 약 3,704의 값을 얻었다. 최종적으로 이와 같은 최적 두께의 섬광체를 이용한 적층구조와 기존 구조에서의 섬광을 통한 효과를 비교하였으며, Fig. 2에 나타내었다. 이 결과 기존 구조보다 고속중성자 검출기에서는 약 75 %, 감마선 검출기에서는 약 36 %의 개선 효과가 나타났다.

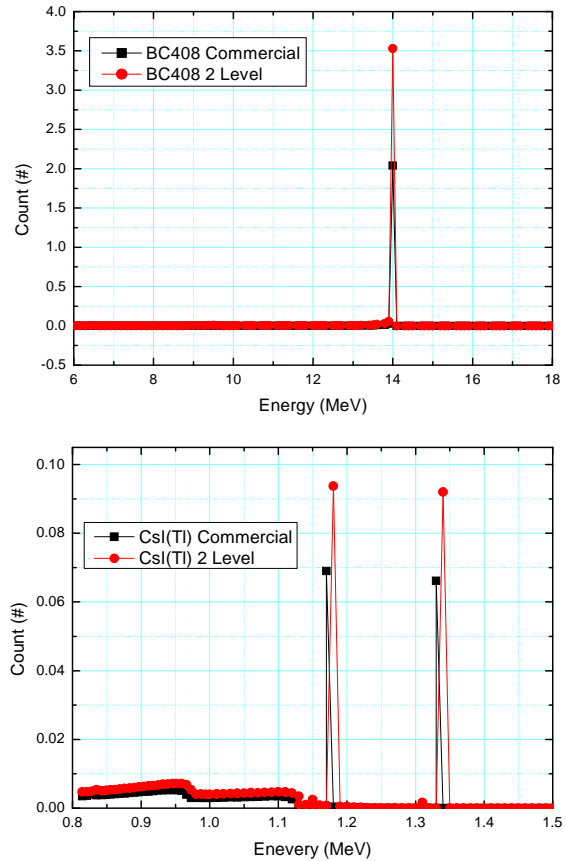


Fig 2. (상) 14 MeV, (하) Co-60 (1.17 & 1.33 MeV)에 대한 기존 방식과 적층구조상의 계수형 스펙트럼 비교.

결론

본 시뮬레이션 연구를 통해 중성자와 감마선 각각의 최적 섬광체 두께는 BC408 plastic 12 cm, CsI (TI) 6 cm로 기존 섬광체 보다 더 두꺼운 섬광체가 요구되었으며, 획득된 최적 섬광체 두께를 이용한 새로운 형태의 적층 구조에서는 기존 고속중성자 검출기보다 약 75 %, 기존 감마선 검출기에서는 약 36 %의 뛰어난 개선효과를 얻었으며, 향후 이와 같은 구조에서의 FNDR 실증 실험을 계획하고 있으며, 기타 고에너지 방사선의 검출 및 영상화 장치에서도 활용 가능할 것으로 기대된다.

참고 문헌

1. J.E. Eberhardt, et.al, 'Fast Neutron and Gamma-Ray Interrogation of Air Cargo Containers,' *PaS (FNDA2006) 092*, (2006).