

K-STAR 핵융합로에 적용하기 위한 중성자 진단장치 설계 및 특성 평가

이승규 · 강정수 · 조광호 · 손재범 · 강병휘 · 김용균*
한양대학교

E-mail: ykkim4@hanyang.ac.kr

중심어 (keyword) : 중성자 검출기, 스틸벤, 방사선 차폐, 중성자 측정

서론

섬광체를 이용하여 고속 중성자를 측정하고자 할 때에는 수소가 많이 포함된 유기 섬광체가 적합하다. 유기 섬광체 중에서 플라스틱 섬광체는 중성자와 감마선의 신호를 분리할 수 없고, 액체 섬광체는 플라스틱 섬광체처럼 유기 단결정 섬광체보다 광량이 적고, 유독성이 있으며 인화성이 강한 단점이 있기 때문에, 스틸벤과 같은 유기 단결정 섬광체가 고속 중성자 검출에 유리하다[1]. 본 연구에서는 핵융합로에서 발생하는 중성자를 측정하기 위하여 스틸벤 섬광체를 이용한 중성자진단 장치를 제작하였다.

핵융합로의 성능을 추정하기 위한 플라즈마 성능 파라미터에는 플라즈마 출력, 출력 밀도, 이온 온도, 이온의 에너지와 공간 분포 등이 있는데, 이는 핵융합 반응으로부터 발생된 중성자를 정밀 측정하여 얻어진다. KSTAR의 핵융합 반응에서 발생하는 고속 중성자를 측정하기 위하여 Bridgeman-Stockbarger Method 방법으로 육성한 스틸벤 섬광체와 FADC를 이용하여 중성자진단 장치를 설계하였으며, 시뮬레이션을 통하여 차폐체 및 조준기의 차폐 효과에 대한 성능을 평가·검증하였다.

재료 및 방법

중성자와 감마선을 구별하기 위한 전자 회로로 다양한 NIM module을 사용하여 왔다. 최근에는 Flash-ADC(FADC)를 이용하여 펄스 파형 전체를 기록할 수 있는 중성자-감마선 분리 측정 기술이 개발되어 기존의 복잡하던 검출 장치 전자회로를 한 모듈

로 대체할 수 있게 되었다. 본 연구에서 개발하여 사용한 FADC는 Fig.1.과 같이 $\Delta E/E$ 전하분포비율 비교법을 기반으로 제작하였다.

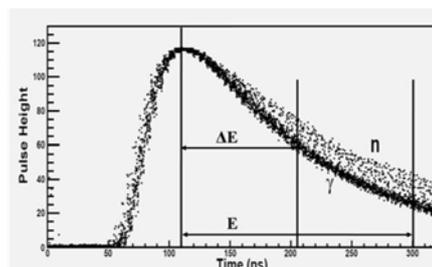


Fig. 1. 전하분포비율 비교법을 이용한 중성자-감마선 신호 분리 원리.

본 연구에서는 Φ 50 mm x 40 mm 의 스틸벤 섬광체를 사용하였으며, 잡음방사선을 차폐하고 원하는 방향의 중성자만을 계측하기 위하여 길이 480 mm의 폴리에틸렌을 콜리메이터로 이용하였으며, 감마선의 영향을 최소화하기 위하여 두께 50 mm의 납으로 차폐하였다. Fig. 2는 제작된 중성자진단 장치이다.

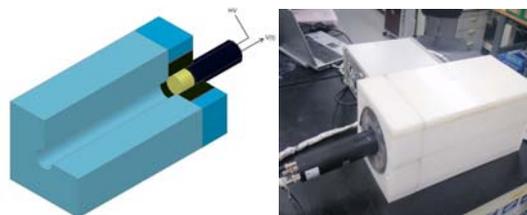


Fig. 2. 제작된 중성자 진단 장치.

스틸벤 검출기에 사용한 PMT는 HAMAMATSU H7195 모델이며, operating voltage는 1800V로 설정하였고 성능측정을 위한 감마선 선원은 ^{137}Cs , 중성자 선원은 ^{252}Cf 을 사용하였다.

결과 및 고찰

본 연구에서는 중성자 진단장치의 γ -ray와 중성자에 대한 차폐 정도를 확인하였다. 실험에 앞서 GEANT-4 시뮬레이션을 이용하여, 2.5 MeV 중성자에 대한 측면에서의 차폐 효과를 확인하였으며, 중성자 차폐에 대한 시뮬레이션 결과는 Fig. 3과 같다.

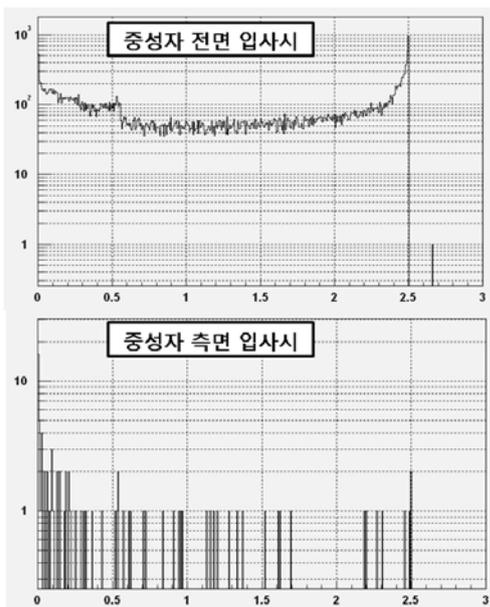


Fig. 3. 설계된 차폐체를 이용한 중성자 차폐 효과 시뮬레이션 결과.

Fig. 4는 ^{137}Cs 감마선에 대한 차폐 성능을 평가한 그래프이다. 전체적인 계수가 절반 이상 줄고 고에너지 감마선에 대한 계수값은 1/100 이상으로 감소하였다.

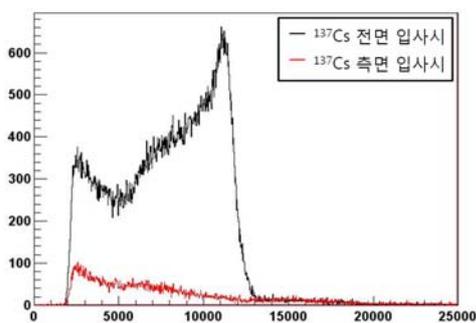


Fig 4. ^{137}Cs 감마선에 대한 스펙트럼 비교

원하는 방향에서 입사되는 중성자의 에너지를 측정하기 위하여, 전면에서 들어오는 중성자의 에너지 및 계수를 측면에서 입사되어 차폐되는 중성자의 에너지

및 계수와 비교하는 실험을 ^{252}Cf 선원을 이용하여 수행하였고, 그 결과를 Fig. 5에 보였다.

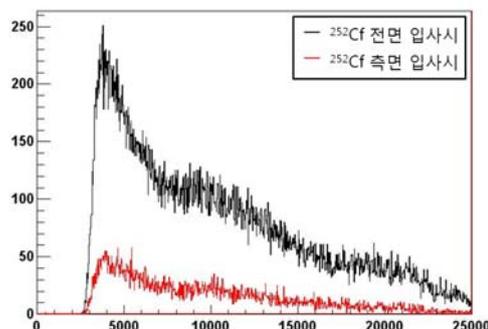


Fig 5. ^{252}Cf 중성자 선원에 대한 스펙트럼 비교

결론

본 연구를 통하여 검출기 전면에서 오는 중성자에 비하여 측면에서 입사되는 중성자는 1/100 이상 차폐가 가능한 것을 시뮬레이션을 통하여 확인할 수 있었다. 또한 실험을 통하여 확인한 바와 같이 감마선에 대한 차폐 효과는 1/100의 효율을 가지고 있으며 중성자에 대하여서도 정면 대비 1/10의 차폐효과를 갖는 것을 확인하였다. 이는 핵융합로에서 발생하는 중성자에 대한 정확한 에너지 측정을 위하여 중요한 요인 중에 하나이다.

제작된 진단장치는 핵융합로에 적용하여 중성자를 측정할 때에 원하는 방향의 중성자 에너지를 효율적으로 측정할 수 있으며, 백그라운드로 작용하는 감마선을 차폐하는 데도 효과적이라는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부 원자력기술개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] G. F. Knoll, Radiation Detection and measurement, John Wiley and Sons, New York, 220 (1999).
- [2] T. Itoga et al., "Fast response neutron emission monitor for fusion reactor using silbene scintillator and Flash-ADC", Radiation Protection Dosimetry, Vol.126, No. 1-4, 380-383 (2007)