

중성자 방사화 포일 기반 보너구 스펙트로메터 반응함수 계산

김정호 · 박현서 · 최길웅
한국표준과학연구원
E-mail: jungho@kriss.re.kr

중심어 (keyword) : 방사화 포일, 보너구 스펙트로메터, 반응함수, MCNPX

서론

최근 의료용 가속기 등 중성자가 발생하는 고에너지 가속기가 증가함에 따라 중성자 방호의 중요성이 점점 더 강조되고 있다. 중성자 에너지 스펙트럼을 측정하는 가장 좋은 방법 중 하나는 보너구 스펙트로메터(Bonner sphere spectrometer)를 이용하는 것이다. 보너구 스펙트로메터는 통상 10 개 내외의 폴리에틸렌 감속재와 열중성자 검출기로 구성되어 있다. 열중성자 검출기로는 ^3He 나 BF_3 비례계수기를 사용하며 각 보너구에 계측된 계수율과 정밀한 모사계산을 통하여 구한 반응함수를 이용하여 언폴딩(unfolding) 과정을 통하여 중성자 에너지 스펙트럼을 구한다. 하지만 원자력발전소, 의료용 가속기 등 고선량 지역에서는 ^3He 나 BF_3 비례계수기를 열중성자 검출기로 사용한 보너구 시스템으로 중성자 에너지 스펙트럼을 측정하는데 많은 어려움이 있다. 특히 가속기에서 발생하는 중성자 측정은 ^3He 나 BF_3 비례계수기와 같은 능동형 중성자 검출기를 사용할 경우 검출기의 포화 및 불감시간에 따라 검출기가 작동하지 않거나 측정 자체가 불가능할 수도 있다. 또한 전기신호 노이즈가 많은 곳 등 측정환경이 좋은 않은 극한환경 지역에서는 능동형 중성자 검출기의 전자장비가 영향을 받을 수 있어 측정의 신뢰성이 떨어지는 어려움이 있다.

이러한 어려움을 극복하기 위한 방법으로 중성자 방사화 포일을 열중성자 검출기로 사용한 중성자 방사화 포일 기반 보너구를 사용한다. 본 연구에서는 중성자 방사화 포일 기반 보너구의 반응함수 결정방법을 연구하고 중성자 방사화 포일의 위치, 두께 등에

따른 반응함수 차이를 분석하여 반응함수 결정방법을 확립하고 그 결과를 분석한다.

재료 및 방법

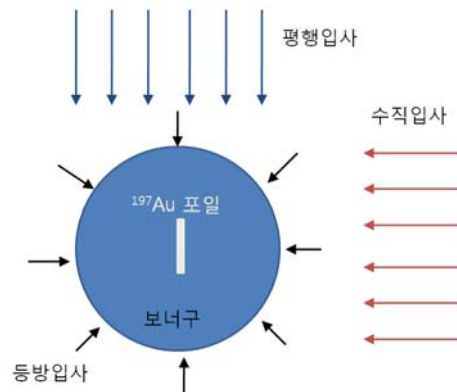


그림 1. 중성자 방사화 포일 기반 보너구 구조 및 반응함수를 계산하기 위한 중성자 입사방향

본 연구에서는 ^{197}Au 방사화 포일을 열중성자 검출기로 사용한다. 측정에 사용한 방사화 포일은 지름 1.27 cm, 두께 0.0508 mm이다. 보너구 반응도를 계산하기 위해서는 단일에너지를 발생시키고 보너구 내부에 위치한 열중성자 검출기에서 반응한 중성자 개수를 구한다. 이를 위하여 그림 1과 같이 세가지 입사 방향에 대하여 반응도를 계산한다. 중성자 방사성 선원이나 가속기 표적과 같이 중성자가 발생한 위치 및 보너구에 입사하는 방향을 알고 있는 경우는 수직입사나 평행입사를 사용하여 계산한 반응함수를 선택하며, 원자력발전소 내부나 환경중성자와 같이 특정 입

사방향을 알 수 없는 경우는 등방입사 반응함수를 사용하게 된다.

방사화 포일 반응함수 결정기술을 확립하기 위하여 방사화 포일 위치 및 두께에 따른 반응도의 차이를 각각 세가지 입사방향에 대하여 MCNPX 코드를 사용한 몬테카를로 모사계산을 통하여 구하였다[1]. 모든 MCNPX 모사계산은 tally 불확도가 0.5% 이내로 유지하였다. 또한 방사화 포일 기반 보너구의 반응함수 계산의 유효성을 확보하기 위하여 한국표준과학연구원 중성자 조사실에서 중성자 조사를 하고 HPGe 검출기를 이용하여 감마선을 측정하여 계산결과와 비교하였다.

결과 및 고찰

보너구 중심에 위치한 방사화 포일의 위치변화에 대하여 등방입사 및 평행입사의 경우, 반응도의 차이는 1% 미만으로 나타났다. 수직입사의 경우 중성자 에너지 1 MeV이하에서는 포일 위치에 따른 반응도의 차이가 나타난다. 따라서 가속기나 중성자 선원 방출 중성자 측정에서는 수직입사 측정을 하지 않는 것이 바람직함을 알 수 있다.

방사화 포일 두께에 따른 반응도는 방사화 포일의 두께를 0.05 mm, 0.1 mm, 0.2 mm, 0.4 mm, 0.5 mm, 그리고 1 mm 총 6개에 대하여 MCNPX 모사계산을 수행하였다. 단위질량당 반응도는 방사화 포일이 두꺼워짐에 따라 작아지는 결과를 얻었으며 따라서 방사화 포일의 두께와 반응도가 선형성을 가지지 않기 때문에 방사화 포일의 두께를 증가시킬 경우, 반응도 계산을 다시 수행해야 함을 알 수 있었다.

방사화 포일 기반 5인치 보너구에 대하여 한국표준과학연구원 중성자 조사실에서 ^{252}Cf 중성자 선원을 이용한 조사실험을 수행하였다. 방사화 된 포일을 HPGe 검출기를 이용하여 감마선을 측정하고 검출효율을 보정하여 포화 방사능을 구하고 이를 반응함수 계산 결과와 비교하였다. 측정결과와 MCNPX 계산결과는 5% 이내로 잘 일치함을 확인하였다.

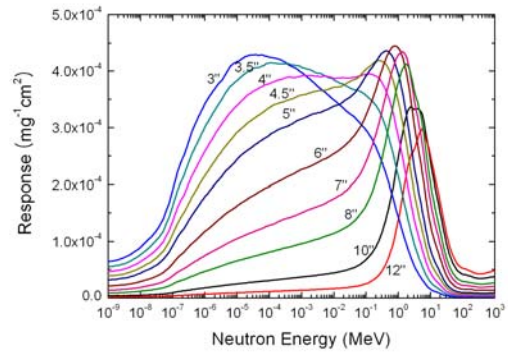


그림 2. 등방입사에 대한 한국표준과학연구원 보유 보너구의 반응함수.

그림 2에 등방입사에 대하여 지름 1.27 cm, 두께 0.0508 mm ^{197}Au 방사화 포일을 사용할 경우 보너구별 반응함수를 나타내었다. 수직입사, 평행입사 및 등방입사 반응도 차이는 크지 않아 거의 모든 에너지에서의 반응도 비율은 2% 이내로 일치함을 보였다. 따라서 각 보너구의 반응함수가 계산은 잘 수행되었으며 이 반응함수를 이용하여 측정데이터의 언폴딩에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

결론

고선량 지역의 중성자 에너지 스펙트럼 측정을 위한 중성자 방사화 포일기반 보너구 반응함수를 방사화 포일의 위치 및 두께, 중성자 입사방향에 따른 반응도 차이를 조사하였고 측정결과와 비교하여 잘 일치함을 확인하였다. 이러한 연구결과를 바탕으로 총 10개의 보너구에 대하여 ^{197}Au 방사화 포일 반응함수를 계산하고 중성자 방사화 포일 기반 보너구의 반응함수 결정방법을 확립하였다.

참고 문헌

1. B. Wiegel, A.V. Alevra and B.R.L. Siebert "Calculations of the Response Functions of Bonner Spheres with a Spherical Proportional Counter Using a Realistic Detector Model", PTB-N-21 Braunschweig, November (1994).