2011년도 추계학술발표회 논문요약집
대한방사선방어학회

Dy 포일 기반 보너구 스펙트로메터 반응함수 계산

김 정 호 · 박 현 서
한국표준과학연구원
E-mail: jungho@kriss.re.kr

중심어 : Dy 포일, 보너구 스펙트로메터, 반응함수, MCNPX

서 론

가속기에서 발생하는 중성자 측정은 ^{3}He나 BF_3 비례계수기와 같은 능동형 중성자 검출기를 사용할 경우 검출기의 포화와 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. 따라서 진단 및 치료를 위한 의료용 가속기에서 부수적으로 발생하는 중성자 선량평가는 수동형 보너구 스펙트로메터(passive Bonner sphere spectrometer)를 이용한 방법이 널리 사용되고 있다. 수동형 보너구 스펙트로메터에 사용하는 열중성자 검출기로는 ^{197}Au 중성자 방사화 포일이 가장 많이 사용되었다. 최근에는 ^{197}Au 중성자 방사화 포일보다 (n,γ) 포획 단면적이 매우 큰 ^{164}Dy를 이용한 방사화 포일에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 중성자를 포획한 후 생성된 ^{165}Dy의 반감기는 2.334 h이고 방출 감마선이 94.7 keV로 낮은 단점이 있지만 ^{164}Dy의 열중성자 포획 단면적은 2700 barn으로 98.8 barn인 ^{197}Au에 비해 약 27배 정도 크다. 따라서 병원에서 사용중인 의료용 가속기 발생 중성자 측정 시간을 획기적으로 단축할 수 있다.

본 연구에서는 한국표준과학연구원이 보유하고 있는 보너구 스펙트로메터를 이용한 Dy 중성자 방사화 포일 기반 보너구의 반응함수를 구하고 ^{197}Au 중성자 방사화 포일 기반 보너구와 반응도를 비교하는 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

본 연구에서는 Dy 중성자 방사화 포일을 열중성자 검출기로 사용한다. 본 연구에서 사용한 상업적으로 판매되고 있는 Dy 포일은 지름 1.27 cm, 두께 25 μm 이다. ^{164}Dy의 abundance는 28.2 %이다. 보너구 반응도를 계산하기 위한 방법으로는 MCNPX 모사계산을 수행하였다[1]. 중성자 포획 단면적 계산을 위한 라이브러리는 ENDF-VII을 사용하였으며 평행입사, 수직입사, 등방입사 세가지 입사방향에 대한 반응도를 구하였다. 계산에 사용한 보너구는 한국표준과학연구원의 고에너지 측정용 보너구를 포함한 총 14개의 보너구를 사용하였다.

보너구 시스템은 위의 세 가지 입사방향에 대한 반응함수를 모두 구하여야 하며 이상적인 보너구는 등방입사, 수직입사 및 평행입사 반응함수가 거의 차이가 없도록 설계되어야 한다. 계산에 사용한 중성자 에너지 범위는 1×10^{-9} MeV ~ 1×10^{3} MeV까지이며 로그 단위로 표기하고 로그 단위로 나타낸 중성자 에너지 구간을 20 등분하여 계산하였다. 따라서 반응도 계산을 위해 중성자 단일 에너지를 결정할 때 위와 같은 방법으로 총 241개의 단일 에너지를 선정하여 각각에 대한 반응도를 MCNPX 모사계산으로 구하였다. 모든 MCNPX 모사계산은 Dy 중성자 방사화 포일 내부에 입사한 중성자 tally4에 대하여 (n,γ) 핵반응을 일으킨 수를 계산하였다. MCNPX 모사계산은 모

든 에너지에 대하여 tally4 불확도가 0.5 % 정도이며 최대 1 % 미만이 되도록 하였다.

결과 및 고찰

Fig. 1에 등방입사에 대한 Dy 중성자 방사화 포일 기반 보너구 반응함수를 나타내었다. 반응도의 단위는 $mg^{-1}cm^{2}$으로 계산하였다. 수직입사 및 수평입사에 대한 반응함수는 등방입사의 경우와 같은 형태이며 모든 에너지 범위의 반응도를 합한 총 반응도의 차이는 0.5 % 미만으로 일치하였다.

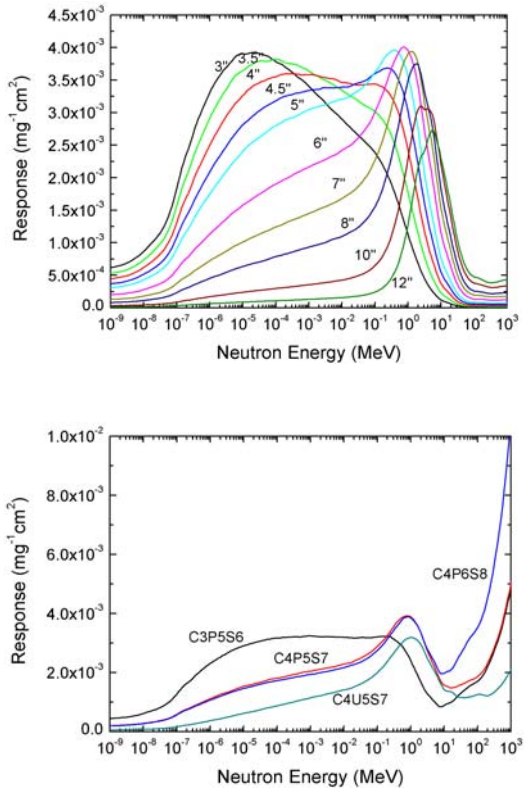

Fig. 1. Response funcstions of Dy foil-based Bonner spheres

모사계산은로 구한 Dy 중성자 방사화 포일 기반 보너구의 반응도를 ^{197}Au 중성자 방사화 포일 기반 보너구의 반응도와 비교하였다. Fig. 2는 직경이 7.62 cm(3") 및 20.32 cm(8") 보너구의 반응도이다. 그림에 잘 나타난 바와 같이 직경 7.62 cm 보너구의 경우 각 에너지 구간에서 Dy 포일 기반 보너구의 반응도가 ^{197}Au 포일 기반 보너구에 비해 평균 10.1 배 반응도가 크게 나타났다. 직경 20.32 cm 보너구의 경우는 이 비율이 11.1로 다소 증가하였다. 따라서 방사화 포일로 Dy를 사용할 경우, ^{197}Au 포일을 사용하는 경우보다 최소 10 배 이상 큰 반응도를 갖게 됨을 알 수 있다. 좀 더 두꺼운 Dy 포일을 사용하거나 2겹 이상의 Dy 포일을 사용할 경우 반응도 차이를 더 크게 할 수 있음을 알 수 있다.

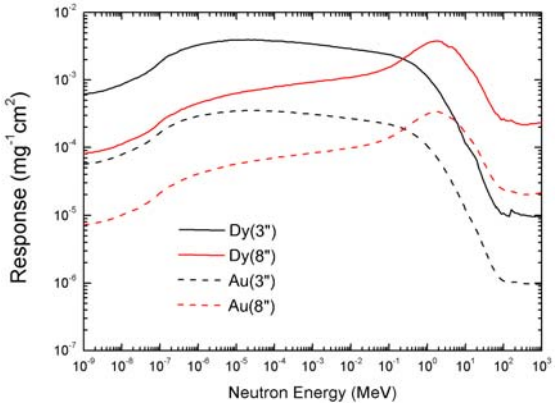

Fig. 2. Comparison of responses between Dy and Au foil-based Bonner spheres

결 론

가속기 발생 중성자 측정을 위해 Dy 중성자 방사화 포일을 기반으로 한 보너구의 반응함수 결정방법을 확립하고 이를 ^{197}Au 중성자 방사화 포일 기반 보너구 반응함수와 비교하였다. 약 1/10 두께의 Dy 포일로도 ^{197}Au 포일의 10배 이상으로 반응도가 큰 결과를 얻었으며 의료용 가속기 발생 중성자 측정에 활용할 예정이다.

참 고 문 헌

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).