

## 몬테카를로 모사계산을 이용한 보너구 스펙트로메터 반응함수 계산

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

중심어 (keyword) : 보너구 스펙트로메터, 반응함수, MCNPX

### 서 론

최근 중성자를 이용한 연구가 활발해지고 있으며 의료용 가속기 등 중성자가 발생되는 고에너지 가속기가 증가하고 있어 중성자 방호의 중요성이 점점 더 강조되고 있다. 일반적인 작업현장에서의 중성자 에너지 분포는 열중성자 영역부터 수 십 MeV 영역에 걸쳐 있으며 중성자 선량은 중성자 에너지에 따라 크게 다르기 때문에 정확한 중성자 선량평가를 위해서는 중성자 에너지 스펙트럼의 측정이 필수적이다. 보너구 스펙트로메터 (Bonner sphere spectrometer)는 중성자 에너지 스펙트럼을 측정하는 시스템 중 하나로 에너지 분해능이 중성자 방호를 위한 목적에 충분하며 열중성자부터 수 십 MeV 중성자까지 측정할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 한국표준과학연구원서고선량 지역에서 측정하기 위해 새로 제작한 보너구 스펙트로메터의 반응함수를 몬테카를로 모사계산을 이용하여 계산하고 그 결과를 비교, 분석하고자 한다.

### 재료 및 방법

보너구 스펙트로메터의 반응함수는 MCNPX 코드를 사용한 몬테카를로 모사계산을 통하여 구하였다 [1]. 본 계산에 사용한 보너구 스펙트로메터는 총 9개의 폴리에틸렌 감속구(2.5", 3", 3.5", 4", 5", 6", 7", 8", 10")와 Canberra사의 0.5NH1/1KI 열중성자 검출기로 구성되어 있다. 0.5NH1/1KI 열중성자 검출기는 높이 1 cm, 지름 0.9 cm인 원통형  $^3\text{He}$  비례계수기로

압력은 8 기압이고 열중성자 민감도(sensitivity)는  $0.5 \text{ s}^{-1}\text{cm}^{-2}(\text{cps/nv})$ 이다. MCNPX 계산을 위해 열중성자 검출기를 포함해 총 10 개의 보너구에 모델을 만들었으며 그림 1에 3.5" 보너구 모델의 예를 나타내었다.

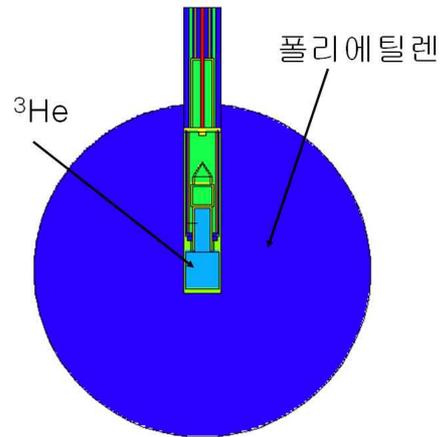


그림 1. MCNPX 계산을 위한 3.5" 보너구 모델

열중성자 검출기 및 폴리에틸렌구는 실제 크기 및 밀도를 측정하여 MCNPX 입력파일에 사용하였으며 실측을 할 수 없을 경우, 제작사의 값을 사용하였다. 보너구 반응함수 계산에 가장 중요한  $^3\text{He}$  밀도는 이상기체 상태 방정식을 사용해 계산하였다. 폴리에틸렌구와 검출기를 제외한 영역은 진공으로 설정하였다.

반응함수는 단일에너지 중성자를 발생시켜 보너구에 입사시킨 후  $^3\text{He}$  검출기에서 반응한 중성자를 계산하여 결정하였다. 각 보너구 당 열중성자 영역부터 수 백 MeV 영역까지 총 227개 중성자 에너지에 대하여 반응함수를 계산하였다. MCNPX 라이브러리는

ENDF/B-VI.6을 사용하였고 중성자 입사방향에 따른 반응함수의 차이를 알아보기 위하여 보너구에 네 방향(열중성자 검출기 축에 대해 수직입사, 위 평행입사, 아래 평행입사, isotropic 입사)에 대하여 반응함수를 계산하였다. 모든 MCNPX 모사계산은 tally 불확도가 1% 이내로 유지하였다.

## 결과 및 고찰

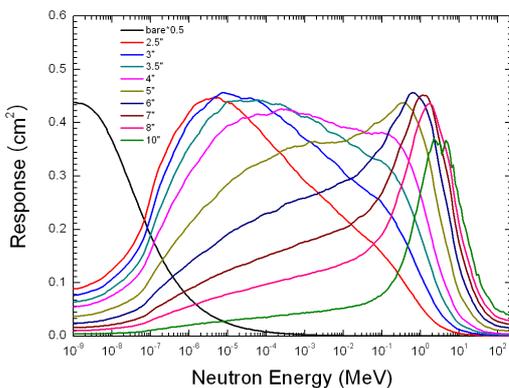


그림 2. 보너구 스펙트로미터 반응함수

그림 2에 보너구별 반응함수를 나타내었다. X축은 중성자 에너지이며 Y축은 반응도로 플루언스를 곱하여 반응개수를 얻을 수 있도록 단위는  $\text{cm}^2$ 로 나타내었다. 본 계산 결과는 SP9 열중성자 검출기를 사용한 기존 한국표준과학연구원이 보유한 보너구 시스템의 반응함수에 비해 약 1/7 정도로 나타났는데, 이는 기보유 보너구 시스템에 사용한 SP9 열중성자 검출기와 새로 제작한 보너구에 사용한 0.5NH1/1KI 열중성자 검출기의 sensitivity를 고려할 때 계산결과가 합당하다고 판단된다. 또한같은 열중성자 검출기를 사용한 프랑스 IRSN과 스페인 UAB의 보너구 시스템의 반응함수와도 잘 일치하였다[2].

입사방향에 따른 보너구 반응도는 큰 차이가 없이 열중성자 검출기 축에 수직인 입사방향에 대해 약 2% 이내였으며 이는 기존 보너구의 결과와도 잘 일치한다. 따라서 각 보너구의 반응함수가 계산은 잘 수행되었으며 이 반응함수를 이용하여 측정데이터의 언폴딩에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 결론

본 연구에서는 고선량 지역의 중성자 에너지 스펙트럼 측정을 위한 보너구 시스템의 반응함수를 열중성자 검출기를 포함해 총 10개의 보너구에 대하여 계산하였다. 입사방향에 대한 반응도 차이도 조사하여 입사방향에 따른 차이가 없음을 확인하였다. MCNPX 모사계산을 통한 반응함수는 압력을 통해 추정된 열중성자 검출기 밀도와 실제 검출기의 밀도와의 차이를 측정에 의해 보정해 주어야 하며 본 연구를 통하여 계산한 반응함수는 추후 한국표준과학연구원 중성자 조사실에서 중성자 선원 스펙트럼 측정을 통하여 반응도를 보정할 예정이다.

## 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).
2. V. Gressier et al., "CHARACTERIZATION OF THE IRSN FACILITY CANEL/T400 PRODUCING REALISTIC NEUTRON FIELDS FOR CALIBRATION AND TEST PURPOSES", IRSN Rapport SDOS/2002-012 (2002)