

## Geant4를 이용한 우주선 중성자 검출기 전산모사

강정수 · 장도윤 · 강병휘 · 김용균\*  
한양대학교 원자력공학과  
E-mail: ykkim4@hanyang.ac.kr

중심어 (keyword) : Neutron Monitor, Cosmic ray, Geant4, Simulation

### 서론

우주방사선 연구는 천체물리학적 현상연구의 일환으로 대두되어 왔으며 태양풍 및 태양활동 연구에 이용되며 현재 지구온난화의 영향의 새로운 원인으로써 태양에서 나오는 우주선이 세계적인 관심을 받고 있다. 하지만, 한국에서는 환경방사능의 일부이기도한 이러한 우주방사선에 대한 계측조차 원활하지 못한 실정이다. 본 연구기관에서는 우주선 중성자 검출기를 설치하여 연구를 수행하고 있다. 본 연구에서는 설치된 우주선 중성자 검출기에 대해 CERN에서 개발된 Geant4 프로그램을 이용한 전산모사를 수행하였다. 전산모사의 결과로 에너지 스펙트럼 및 계수율을 실제 검출 데이터와 비교 분석하였다. 또한 연구를 통해 결정된 중성자 모니터의 주요 구성요소의 기능에 대한 적절성을 평가할 도구로 이용되어 개선 방향에 영향을 미쳤다.

### 연구 방법

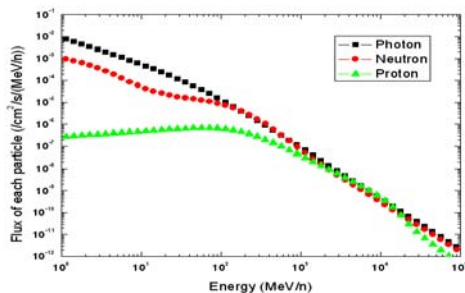


Fig. 1. EXPACS 프로그램을 이용하여 지상 1 m 높이에서의 우주환경 방사선 스펙트럼

우주에서 오는 중성자 선원에 대한 정보는 Japan Atomic Energy Agency(JAEA)에서 개발한 EXPACS

프로그램을 이용하여 지표에서 1m 떨어진 위치에서의 중성자 스펙트럼을 기반으로 정의하였다[2].

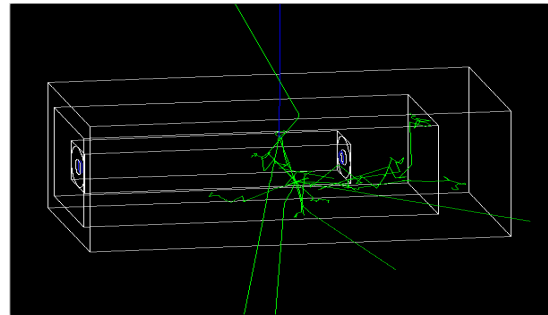


Fig. 2. 전산모사에 이용된 중성자 모니터 geometry

전산모사에 이용된 gas counter는 중성자를 검출하는 역할을 하고  $\Phi$  25 mm  $\times$  300 mm 크기의  $^3\text{He}$  gas가 5기압으로 채워져 있으며 외벽은 0.5 cm 두께의 알루미늄으로 설계되어 있다. Moderator는 높은 에너지의 중성자를 감속시켜 gas counter의 중성자 검출 효율을 높이는 역할을 하며, paraffin 이나 polyethylene이 많이 쓰이지만 본 전산모사에는 최근 많이 사용되고 있는 NM64의 모델에서의 moderator인 polyethylene을 선택하였다. Moderator를 감싸고 있는 producer는 고 에너지 중성자와 (n,xn) 반응을 통해 낮은 에너지의 2차 중성자(evaporation neutron)를 만드는 역할을 하며 대부분 납을 사용된다. 납의 경우 높은 원자량이 높을 뿐 아니라 thermal 중성자에 대한 cross-section이 상대적으로 낮기 때문에 널리 사용되고 있다. Reflector는 가장 외곽에 위치하며 지각 등 중성자 모니터 외부에서 생성되는 낮은 에너지 중성자를 shielding하는 역할을 하여 지역적, 환경적인 요인으로 인한 변화를 막는다. 또한 납에서 생성된 2차 중성자 중 밖으로 나가는 것을 다시 반사시켜

$^3\text{He}$  counter로 향하게 하는 역할도 한다. Reflector의 경우 polyethylene이 많이 쓰이며 NM64의 경우 대략 7.5 cm 두께로 일정하다[3,4].

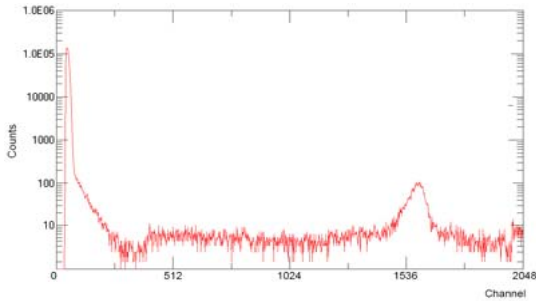


Fig. 3. 실제 우주선 중성자 모니터로 받은  $\gamma$ 와 중성자 스펙트럼

$^3\text{He}$  gas counter 내에서 중성자가 elastic scattering 한 반응과  $n + ^3\text{He} \rightarrow ^3\text{H} + p$  반응을 고려하여 중성자 모니터의 response를 moderator의 두께를 변화시키면서 확인하였다. 또한 실제 데이터와 전산모사 결과 데이터를 비교분석하여 데이터의 건전성을 평가하였다.

## 결과 및 고찰

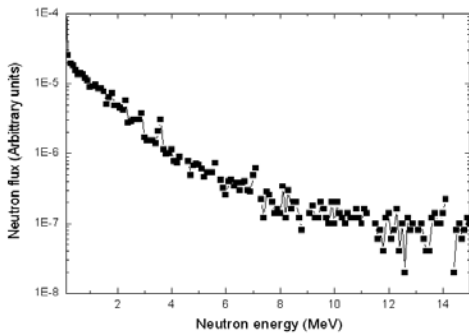


Fig. 4. 우주선 중성자가 납을 통과 한 후 moderator로 입사되는 중성자 스펙트럼

Figure 4는 넓은 에너지 영역의 우주선 중성자가 먼저 reflector를 거치면서 낮은 에너지는 제거되고 producer인 납을 통과하면서 nuclear interaction의 결과로 발생한 저 에너지 중성자를 포함하는 스펙트럼을 나타낸 그림이다. 이 중성자 선원 스펙트럼은 moderator에 의해 감쇄된 후 마지막으로  $^3\text{He}$  gas counter에서 검출된다.

Figure 4의 중성자 스펙트럼을 moderator에서  $^3\text{He}$ 의 cross section을 고려하여 적절히 감속시키면 중성자 모니터의 검출 효율은 커지게 된다.

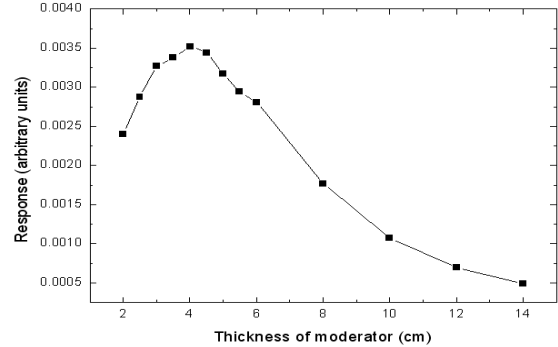


Fig. 5. Moderator 두께에 따른 중성자 모니터의 response

Figure 5에서와 같이 moderator의 두께를 2 ~ 14 cm까지 전산모사 한 결과 4 cm에서 중성자 모니터의 특성이 가장 좋게 나타났다.

## 결론

본 연구에서는 고 에너지 영역의 우주선 중성자가 지상에 도달했을 때 중성자 모니터 내부의 Reflector와 producer와의 반응하여 나온 스펙트럼을 확인하였고, 이를 효과적으로 검출하기 위해 moderator의 두께를 결정하였으며, 향후 전산모사로 결정된 prototype의 내부 구조를 개선하여 최적화 과정을 진행하겠다.

감사의 글

이 연구는 교육과학기술부 원자력연구개발사업의 원자력 기초공동연구소 프로그램의 지원으로 수행되었습니다

## 참고 문헌

1. A. Chilingarian, K. Arakelyan, K. Avakyan, et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A 543, 483-496 (2005).
2. <http://phits.jaea.go.jp/expacs/>
3. Vashenyuka, Yu.V. Balabina and P.H. Stoker, Advances in Space Research, Vol. 40, Issue 3, pp. 331-337, (2007).
4. <http://cosmicrays oulu.fi/nmdbinfo/>
5. <http://geant4.cern.ch>