

우주선 중성자 측정용 ^3He 검출기 prototype의 반응도 전산모사

장도윤 · 강병휘 · 김용균*

한양대학교

E-mail: ykkim4@hanyang.ac.kr

중심어 (keyword) : ^3He 검출기, Monte Carlo, 우주선 중성자

서론

우주 방사선에 의한 피폭선량에 대한 관심이 커지면서 고도, 위도에 따른 우주 방사선의 변화에 대한 연구가 여러 그룹에 의해서 진행되어져 왔다[1]. 태양의 활동 주기에 따라 지구에 도달하는 우주 방사선의 양이 변하고, 이러한 상관관계에 대한 연구가 큰 관심을 받고 있다. 본 연구에서는 MCNPX 코드를 이용하여 우주선 중성자를 측정하기 위한 중성자 모니터 prototype 제작을 위한 전산모사를 수행하였다.

연구 방법

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]. 중성자 모니터의 구성은 안쪽부터 gas-filled counter tube, moderator, producer, reflector로 되어 있다. 전산모사에 이용된 gas counter는 중성자를 검출하는 역할을 하고 Φ 25 mm \times 300 mm 크기의 ^3He 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 ^3He counter로 향하게 하는 역할도 한다. Reflector의 경우 polyethylene이 많이 쓰이며 NM64의 경우 대략 7.5 cm 두께로 일정하다[3,4].

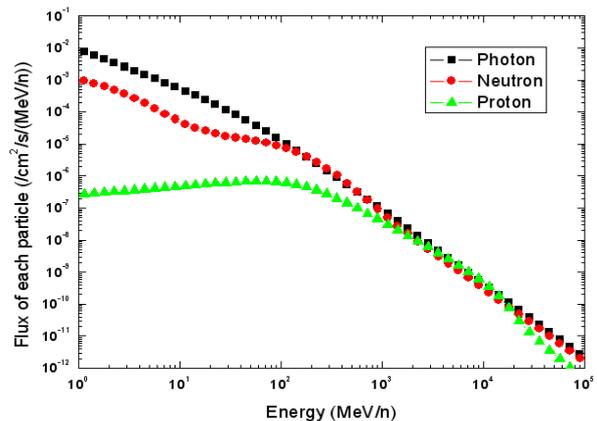


Fig. 1. EXPACS 프로그램을 이용하여 지상 1 m 높이에서의 우주환경 방사선 스펙트럼

Producer 내에서 nuclear interaction을 통해 저 에너지의 중성자를 생성시키는 입자는 중성자와 양성자가 있지만 Figure 1에서와 같이 지상에서 양성자의 flux는 중성자에 비해 작으므로 중성자만 고려하여 전산모사 하였다. ^3He gas counter 내에서 중성자가

elastic scattering한 반응과 $n + {}^3\text{He} \rightarrow {}^3\text{H} + p$ 반응을 고려하여 중성자 모니터의 response를 moderator의 두께를 변화시키면서 확인하였다.

결과 및 고찰

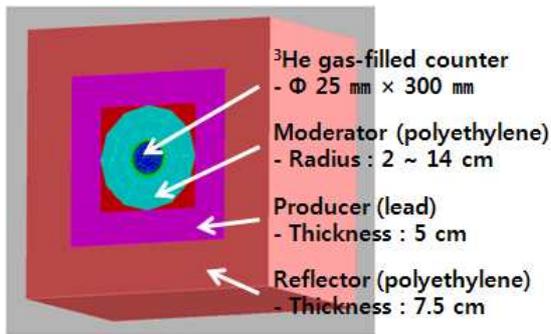


Fig. 2. 전산모사에 이용된 중성자 모니터 geometry

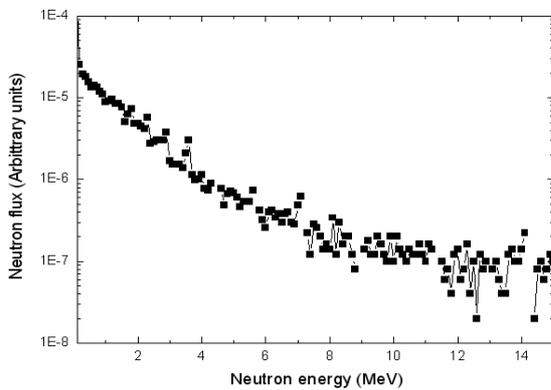


Fig. 3. 우주선 중성자가 납을 통과 한 후 moderator로 입사되는 중성자 스펙트럼

Figure 2는 중성자 모니터 prototype의 geometry 정보와 구조를 나타낸 그림이고, Figure 3은 넓은 에너지 영역의 우주선 중성자가 먼저 reflector를 거치면서 낮은 에너지는 제거되고 producer인 납을 통과하면서 nuclear interaction의 결과로 발생된 저 에너지 중성자를 포함하는 스펙트럼을 나타낸 그림이다. 이 중성자 선원 스펙트럼은 moderator에 의해 감쇄된 후 마지막으로 ${}^3\text{He}$ gas counter에서 검출된다.

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

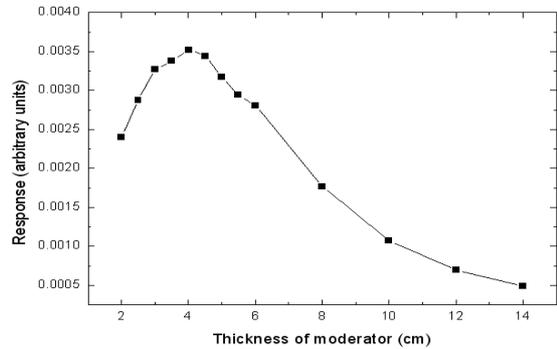


Fig. 4. Moderator 두께에 따른 중성자 모니터의 response

Figure 4에서와 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 제작하여 실험을 진행하겠다.

감사의 글 (Acknowledgment)

이 연구는 교육과학기술부 원자력연구개발사업의 원자력기초공동연구소 프로그램(20090067179)의 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/>