

'98 추계학술발표회 논문집
한국원자력학회

극저준위방사능측정시스템의 중성자 차폐체 두께 계산

Calculational Determination of Thickness of Neutron Shielder in Low Level Radiation Spectrometer

김태욱, 윤정현, 류창수, 박종목*, 김병태

한국전력공사 원자력환경기술원
대전광역시 유성구 덕진동 150

요약

극저준위 방사능측정시스템 기능의 하나인 우주선의 중성자를 차폐하기 위하여 고밀도 폴리에틸렌과 B_4C 를 사용하였다. 고밀도 폴리에틸렌은 우주선의 고속중성자를 감속시키기 위하여 사용되었고 B_4C 는 감속된 중성자를 흡수하기 위하여 사용되었다. 고밀도 폴리에틸렌은 경제성과 보고된 감속효과를 고려하여 10cm로 제작되었으며 몬테카를로 묘사를 이용하여 B_4C 중성자 흡수체의 두께를 계산하였다. 수행결과 B_4C 의 두께가 1mm가 될 때까지는 중성자와 중성자에 의한 이차감마선 선속(flux)이 줄어들었으나 B_4C 의 두께를 그 이상 증가시켜도 더 이상 감마선 선속이 감소되지 않았다. B_4C 의 두께가 1mm일 경우 B_4C 중성자 흡수체를 지나면서 열중성자 선속은 98%가 이차감마선 선속은 27%가 감소되었다.

Abstract

For the shielding of cosmic-ray-neutrons, high density polyethylene(HDPE) and B_4C enriched B^{10} by 95% were used. The HDPE was for 10cm slowing down fast neutrons

* 극저준위방사능측정시스템 개발책임자

to thermal neutrons and B₄C for absorbing the thermal neutrons. The thickness of HDPE was determined considering a reported neutron slowing down effect of HDPE. To determine the thickness of B₄C, Monte Carlo simulation was used. As a result of computation, the optimum thickness of B₄C was less than 1mm and the reduction of neutrons and gamma-rays were 98% and 27%, respectively.

1. 서론

원자력환경기술원에서 개발하고 있는 극저준위 방사능측정시스템의 기능은 크게 능동적 차폐와 수동적 차폐로 나누어진다. 수동적 차폐란 물리적으로 방사선을 차폐하는 것을 의미하고 능동적 차폐란 방사선을 물리적으로 차폐하지 않고 별도의 보조검출기와 전자회로를 이용하여 검출된 방사선 신호를 선별적으로 측정스펙트럼에서 삭제시키는 방법을 말한다.

상기 극저준위 방사능측정시스템은 외부에서부터 차례대로 고밀도 폴리에틸렌(10cm), B₄C(미결정), 일반 철(1cm), 일반 납(10cm), 일반 철(0.3cm), 플라스틱검출기(5cm), 극저방사능 철(0.65cm), 극저방사능 납(5cm) 극저방사능 구리(0.5cm)로 구성되어 방사선의 수동적 차폐를 하게 되어 있고 내부에는 HPGe 주 검출기와 능동적 차폐를 위한 보조검출기가 놓여있다(그림 1)[1].

본 계산에서는 중성자 차폐에 필요한 B₄C의 두께를 결정하기 위하여 몬테카를로 묘사를 사용하여 B₄C 두께 변화에 따른 차폐위치별로 중성자와 중성자에 의하여 생성되는 이차감마선 선속 변화를 계산하였다.

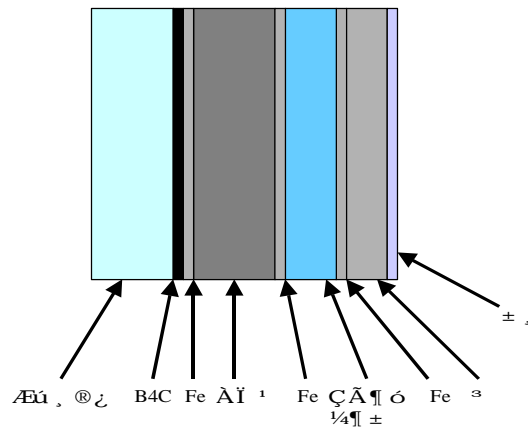


그림 1. 극저준위측정시스템 차폐 구조

2. 계산 모델링

본 계산에서는 중성자 차폐에 대한 영향을 구하기 위하여 다음과 같이 가

정을 하였다.

우주선의 중성자 에너지는 0에서 14MeV까지 동일한 확률분포를 가정하였으며 우주선의 중성자 선원이 차폐체 외부에서 입사되므로 차폐체와 같은 면적으로 외부에서 내부로 입사되는 경우를 고려하였고, 차폐체는 면적 100cm x 100cm의 평판형으로 가정하였다.

계산에 사용된 B¹⁰ 95% 농축 B₄C는 성분 분석 결과 B¹⁰ 67.4%, B¹¹ 9.5%, C¹² 22.5%, O¹⁶ 0.3%, Fe²⁶ 0.3% 이었으며 밀도는 1.21g/cm³이었다.

중성자 감속재로 사용된 고밀도 폴리에틸렌은 C와 H의 1:2 화합물로서 무게 비는 C : 85.7w%, H : 14.3w%였다.

3. 중성자 flux 계산

일정 에너지의 중성자가 차폐체에 입사될 경우 중성자 에너지의 변화를 알아보기 위하여 B₄C를 1mm로 하였을 때 각 차폐체 위치별 중성자 에너지 스펙트럼을 계산하여 보았다(그림 2).

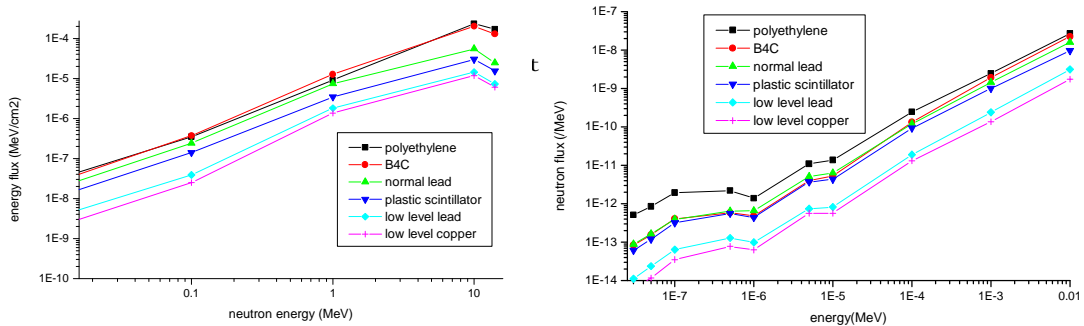


그림 2. 중성자가 차폐체 외부에서 입사되었을 때의 위치별 중성자 스펙트럼 변화

계산 결과 B₄C에 의한 중성자 선속의 감소는 10MeV 중성자의 경우 13%, 1keV 중성자의 경우 22%, 열중성자의 경우 84%이었다. 중성자 선속의 감소는 극저준위 납에서도 발생되었는데 10MeV 중성자의 경우 53%, 1keV 중성자의 경우 76%, 열중성자의 경우 82%이었다.

극저준위 납에서 중성자 선속이 크게 감소하는 이유는 중성자가 무거운 원소인 납과 상호작용하여 감마선 등의 다른 방사선으로 에너지 변환이 일어나기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 이러한 반응은 B₄C와 플라스틱 섬광체 사이에 있는 일반 납에서는 발생되지 않았는데 그 원인은 더 계산하여 보아야 될 것을 생각된다.

전체적인 차폐체를 통하여 감소되는 중성자 선속은 B₄C와 납에 의하여 크게 줄어들어 결국 1keV 에너지 이상의 중성자는 1/50정도 그 이하는 1/100 정도 감소되는 것으로 나타났다.

4. B₄C 두께별 중성자 flux 계산

B₄C의 두께별 중성자 흡수 비율을 계산하기 위하여 B₄C 흡수재 안쪽의 중성자 선속을 계산하여 보았다. 계산 결과 높은 에너지의 중성자에 대하여는 별다른 감소효과가 없었고 열중성자에 대하여는 B₄C가 0.1mm일 때 95.6%, 0.2mm일 때 97.9%, 0.3mm일 때 98.1%, 0.5mm일 때 98.23%, 1.0mm일 때 98.28% 였다(그림 3). 따라서 B₄C에 의한 열중성자 감소효과는 0.5mm를 넘으면 그리 효과적이지 않은 것으로 나타났다.

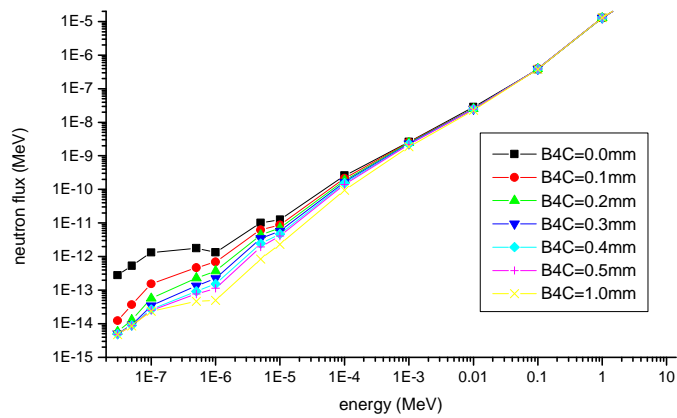


그림 3. B₄C에 의한 중성자 선속 변화

5. 감마선 flux 계산

중성자는 차폐체와 (n, γ) 반응 등에 의하여 이차감마선 선속을 증가시킨다. 폴리에틸렌에 의하여 감속된 중성자를 B₄C가 흡수함에 따라 발생하는 감마선 선속의 변화를 계산하기 위하여 차폐체 각 위치에서의 감마선 flux를 계산하였다.

계산은 B₄C가 없을 경우, B₄C가 1mm 있을 경우, 2mm 있을 경우에 대하여 수행하였는데

차폐 위치 별로 감마선 flux를 계산한 결과 B₄C가 있을 경우는 없을 경우에 비하여 B₄C 중성자 흡수재를 지나면서 27%정도 감마선 flux가 감소하는 경향을 보였다(그림 4 참조). 그러나 B₄C가 2mm인 경우는 1mm인 경우 더 이상의 차이가 발생되지는 않았다.

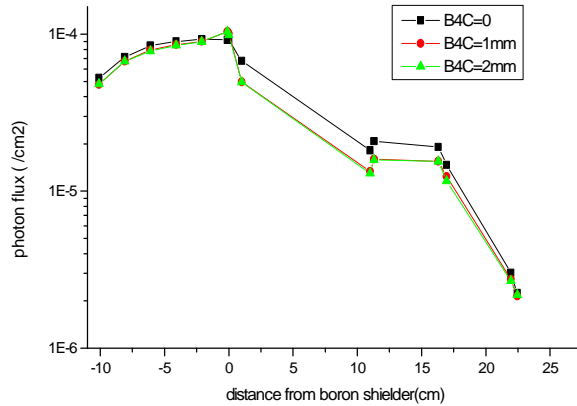


그림 4. 차폐체 위치별 감마선 flux

차폐체의 위치는 폴리에틸렌 시작 부분이 -10.1cm, B₄C 시작부분이 -0.1cm, 일반 철이 시작되는 부분이

0cm, 플라스틱 섬광체가 시작되는 부분이 1cm, 일반 철이 시작되는 부분이 6cm, 일반 납이 시작되는 부분이 6.65cm, 극저방사능 철이 시작되는 부분이 16.65cm, 극저방사능 납이 시작되는 부분이 17.3cm, 극저방사능 구리가 시작되는 부분이 22.3cm, 극저방사능 구리가 끝나고 주 검출기와 능동적 차폐체가 시작되는 부분이 22.8cm 이었다.

6. 결론

B₄C에 의한 열중성자 감소 효과는 0.1mm이하에서 급격히 나타나고 0.2mm가 넘으면 거의 일정한 값을 나타내어 0.2mm 정도면 충분한 것으로 나타났다.

B₄C에 의한 감마선 선속 감소는 B₄C가 1mm일 때 27% 정도 감소되고 더 이상의 감소 효과는 없었다.

또한 차폐체 전체에 의한 중성자 감속은 1/50에서 1/100 정도로 나타났다.

참고문헌

1. 박종묵 등, “방사선환경감시기술고도화,” 과학기술처, KAERI-NEMAC/RR-172/96 (1996).