

LSDTS 장치 차폐 예비 평가

노경용, 박창재, 이용덕, 이정원
한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045
ky-noh@kaeri.re.kr

1. 서론

민감 핵물질의 핵종별 분석을 위한 LSDTS 시스템은 ^{235}U , ^{239}Pu , ^{241}Am 등과 같은 특별한 물질을 해석하기 위하여 디자인 하였다. 그러나 이 시스템은 높은 세기의 약 1×10^{12} neutrons/s 의 중성자를 방출한다. 본 연구에서의 예비 차폐 평가는 단순화된 모델로 중성자의 차폐를 실시하였으며, 이에 대해 MCNPX 코드를 이용한 몬테칼로 계산을 통해 다양한 차폐재 두께에 대한 민감도 평가를 수행하였다. 아울러 중성자에 대한 다단계 선원 평가방법을 도입하여 계산의 효율을 향상시켰다.

2. 본론

중성자 차폐 평가시 구형의 납을 일정 간격으로 나눈 후 각각의 단계에서 셀의 importance를 증가시켜 분산감소기법을 적용하였다. 그리고 기하학적인 모델 및 선원을 분리하여 SSW와 SSR 기능을 사용하여 크게 2단계로 나누어 계산을 하였다. Fig. 1은 중성자 차폐 평가를 위해 2단계로 나눈 MCNP 계산 모델을 보여주고 있다.

계산순서는 초기 중성자 선원을 모델 1의 원점에 위치시킨 후 외부면에서 F2 tally로 스펙트럼을 구하여 SSW로 그 결과를 WSSA 파일에 저장한다. 이 파일을 RSSA로 변경 후 입력으로 받아들여 모델 2의 원점에 다시 위치시켜 모델 2의 외부면에서 F2 tally로 스펙트럼을 구하였다.

2.1 콘크리트 제원에 따른 차폐 평가

기존의 구형의 모델 보다 실제에 가까운 입방체 모형을 대상으로 차폐 예비 평가를 수행하였다. 매질은 납으로 구성되어 있고 100 cm × 100 cm × 100 cm 의 규격으로 구성되어 있다.

최외각 콘크리트 차폐재에서 축방향으로 10등분을 나누어 Split Tally (FS)를 수행하였다. 일반 콘크리트와 헤비콘크리트를 이용하여 FS tally의 결과는 예상한 바와 같이 중성자 선원의 축방향 높이와 비슷

한 위치에 조사선량이 가장 높았으며 이 경우 24 cm의 일반 콘크리트가 필요하다는 것을 알 수 있다. 일반 콘크리트가 대신 밀도가 두 배 정도인 헤비콘크리트를 차폐재로 이용한 경우 일반 콘크리트보다는 두께별 외부 조사선량은 줄었으나 예상만큼 크게 줄지 않은 약 20 cm 정도가 필요한 것으로 나타났다. 이는 지수함수로 방사선량이 감소하고 콘크리트 내에 중성자 감속재의 영향이 밀도와 비례하지 않기 때문이다. Fig. 2는 일반콘크리트와 헤비콘크리트의 상호 비교를 나타내고 있다.

2.2 폴리에틸렌 두께별 방사선량

강한 중성자 선원을 효율적으로 차폐하기 위해 콘크리트를 포함한 다중 방어 개념을 도입하고자 중성자 차폐에 효과적인 폴리에틸렌 콘크리트 내벽에 첨가하여 차폐평가를 수행하였다. 폴리에틸렌은 최대 5 cm로 두고 평가하였다. 기준 선량을 1×10^{-4} mSv/h로 정하였을 경우 폴리에틸렌의 두께가 0 cm 인 경우는 일반콘크리트가 약 24cm 이상 되어야 하고, 폴리에틸렌의 두께가 2cm 인 경우는 일반콘크리트가 약 20cm 이상되어야 하며, 폴리에틸렌의 두께가 5cm 로 증가한 경우 일반콘크리트는 약 15cm 정도로 줄일 수 있음을 확인하였다.

2.3 B4C 두께별 방사선량

중성자 다중 차폐 개념을 추가하여 폴리에틸렌에 중성자 흡수능이 우수한 B₄C를 추가하는 예비 차폐평가를 수행하였다. B₄C는 콘크리트와 폴리에틸렌 내벽에 위치하는 것으로 가정하였고 추가로 B-10이 천연상태에서는 20 wt%로 존재하는 것을 90 wt%로 농축하는 것도 같이 고려하여 평가하였다. Fig. 4.은 일반 B₄C와 농축 B₄C를 배치한 경우의 차폐 결과를 보여주고 있다. 예상한 바와 같이 농축 B₄C를 이용한 경우 차폐효과가 우수함을 확인하였다.

3. 결론

대표적인 몬테칼로 코드인 MCNPX (version 2.5.0)을 이용하여 초기선원에서 중성자가 1×10^{12} 개가 나온다는 가정 하에 방사선량을 계산하였다. 중성자와 산란 기준 조사선량인 1×10^{-4} mSv/h 이하에 적합한 콘크리트의 두께를 외부 표면에서 축 방향으로 일정 간격으로 나누어 tally (FS 스플릿)로 최대 외부 조사선량을 평가하였다. 일반 콘크리트만으로 외부 차폐재로 구성한 경우 약 24 cm 가 필요하였고 헤비 콘크리트의 경우 약 20 cm 정도가 요구되었다. 폴리에틸렌을 내벽에 2cm 정도 배치한 경우 일반 콘크리트의 경우 약 4 cm 정도 줄어든 효과가 있었고 폴리에틸렌을 5cm 쌓았을 경우 약 9 cm 정도 감소 효과가 있었다. 그리고 B₄C를 내부에 배치한 경우 B-10을 농축한 경우 더욱 우수한 중성자 차폐 효과를 얻을 수 있었다.

3. 감사의 글

본 연구는 원자력연구원의 기본연구사업의 일환으로 수행되었습니다.

4. 참고문헌

[1] Y.D. Lee, N.M. Abdurrahman, R.C. Block, D.R. Harris, and R.E. Slovacek, "Design of a Spent-Fuel Assay Device Using a Lead Spectrometer," Nucl. Sci. Eng., 131, 45 (1999).

[2] D. Rochman, R.C. Haight, J.M. O'Donnel, A. Michaudon, S.A. Wender, D.J. Vieira, E.M. Bond, T.A. Bredeweg, A. Kronenberg, J.B. Wilhelmy, T. Ethvignot, T. Granier, M. Petit, and Y. Danon, "Characteristics of a Lead Slowing-Down Spectrometer Coupled to the LANSCE Accelerator," Nuclear Instruments and Methods in Physical Research A, 550, 397 (2005).

[3] H. Krinninger, E. Ruppert, and H. Siefkes, "Operational Experience With the Automatic Lead-Spectrometer Facility for Nuclear Safeguards," Nucl. Instr. Methods, 117, 61 (1974).

[4] N. Baltateanu, M. Jurba, V. Calian, G. Stoenescu, "Optimal Fast Neutron Sources Using Linear Electron Accelerators," Proceedings of EPAC 2000, pp.2591-2593,

Vienna, Austria (2000).

[5] D.B. Pelowitz, MCNPX User's Manual, LA-CP-05-0369, Los Alamos National Laboratory, 2005.

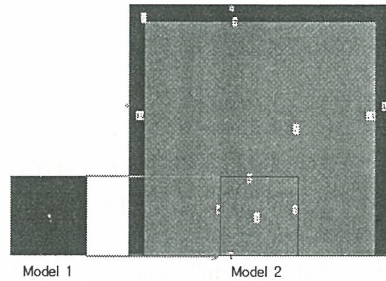


Fig. 1. Configuration of neutron shielding problem.

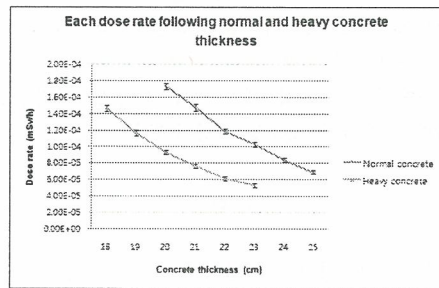


Fig. 2. Compare dose rate according to normal concrete and heavy concrete thickness.

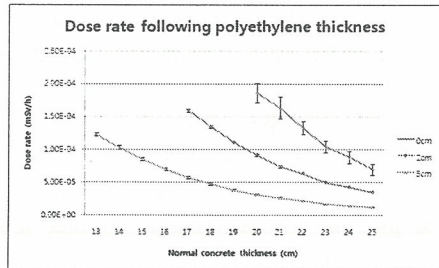


Fig. 3. Dose rate according to polyethylene thickness.

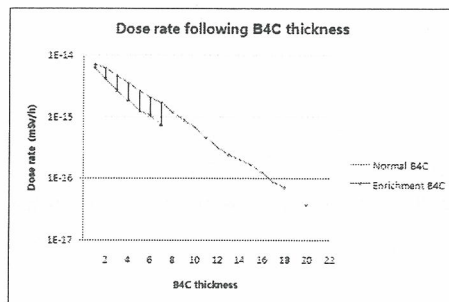


Fig. 4. Dose rate according to B₄C thickness.