

## SDTS 중성자 선원 표적의 DPA 평가

박창제, 노경용, 현진영, 이용덕  
 한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045  
[cjpark@kaeri.re.kr](mailto:cjpark@kaeri.re.kr)

## 1. 서론

SDTS(Slowing Down Time Spectrometer) 시스템은 외부 중성자 선원을 이용하여 시료내에 존재하는 핵분열성 동위원소를 실시간적으로 정량 측정하는데 이용된다.[1]-[2] 그러나 SDTS 시스템은 수 MeV의 고속 중성자가 시스템 전체에 노출되기 때문에 재료의 방사화 손상이 예상된다. 이를 정량적으로 나타내는 값은 DPA (Displacements per atom)인데 중성자나 감마선에 의한 재료의 방사화 손상을 예측하고 이를 기초로 재료의 수명 평가에 이용된다.[3] 일반적으로 DPA 값은 다음과 같이 정의된다.

$$DPA = \kappa \frac{E_a}{E_d}$$

여기서  $E_a$ 는 원자가 이용 가능한 전체 에너지를 나타내며  $E_d$ 는 원자가 격자위치에서 이동할 수 있는 에너지를 나타내며,  $\kappa$ 는 조정인자로 이동효율(displacement efficiency)이라고도 불린다. 본 논문은 SDTS 시스템의 중성자 선원 표적에 대해 DPA 값을 몬테칼로 계산결과를 이용하여 생산하고 분석하고 있다.

## 2. 몬테칼로 DPA 평가

SDTS의 중성자 선원은 백그라운드 및 계속 수율을 고려하여  $1E+11$  n/s 이상의 높은 중성자가 요구된다. 이를 만족하기 위하여 주로 선형 전자가속기가 이용되고 있는데 선원 표적은 Ta나 W 같은 중금속이 이용된다. 기존 연구에서는 Ta를 이용한 표적은 Fig.1과 같이 5개의 관형으로 반경은 각각 2, 3, 4, 5, 6 cm 이며 두께는 2, 3, 4, 5, 6 mm를 제시하였다.[4]

몬테칼로 코드인 MCNPX[5]를 이용하여 Ta 표적에서 DPA 값을 평가하였다. Fm 카드를 이용하여 쉽게 DPA 값을 평가할 수 있다. 여기서 Ta 표적의 DPA 계산시 필요한 보정치를  $0.1366$  (barn cm)<sup>-1</sup> 을 사용하였고 표적 원판을 셀로 정의하여 평가하였다. 각 표적 셀에 대해 중성자 속과 중성자속 당 DPA 값을 Table 1에 나타내었다. 따라서 각 표적 원판에

서의 DPA의 상대적으로 볼 수 있는데 Fig. 2는 5개의 표적셀에서 구한 DPA 값을 보여주고 있다.

일반적으로 DPA 값은 에너지에 따른 함수인데 반응 단면적은 낮은 에너지에서 공명에너지 영역까지는 감소하다가 다시 높은 에너지로 갈수록 증가하게 된다. 결과에서 보듯이 중성자 에너지가 높아 1 MeV 근처에서 peak 값을 보이고 다시 감소하는 현상을 보이고 있다. 그리고 가장 높은 중성자 에너지 가지는 첫 번째 원판 표적 (cell 1)에서 가장 높은 값의 중성자와 DPA 값을 가지는 것을 알 수 있다.

## 3. 표적 종류에 따른 DPA 평가

Ta 표적 대신 W 표적을 이용하는 경우에 대해 같은 모델을 이용하여 DPA 값을 비교하였다. 각 표적 셀에 대해 비교한 결과는 Table 2에 정리하였다. W의 경우 Ta 표적에 비해 cell 1에서 약 5% 낮은 DPA 값을 보이는다가 cell 2 및 cell 3에서는 10% 이상 높은 DPA 값을 가진다. 이는 고속 중성자속이 상대적으로 높아지고 그 세기도 상이하기 때문이다. 그리고 cell 4에서는 두 값이 비슷해지다가 다시 cell 5에서는 2% 정도 낮은 DPA를 보인다. 이는 W 표적이 Ta 표적에 비해 전반적으로 표적 앞부분에서 중성자 발생률이 높고 전자가 진행함에 따라 중성자가 상대적으로 적게 발생하는 것을 의미한다. 전반적으로 높은 DPA 값을 보이는 W 표적의 경우 Ta 표적에 비해 재료의 수명을 단축시키고 방사화에 의한 손상이 더욱 커질 것으로 판단된다.

## 4. 결론

몬테칼로 코드를 이용하여 SDTS 시스템의 중성자 선원 표적에서의 DPA 값을 정량적으로 평가하였다. 평가 결과 높은 중성자 발생을 보이는 표적 선원에서 가장 높은 DPA 값을 가지는 것을 확인하였다. 또한 에너지에 따른 분포를 통해 높은 에너지에서 DPA가 증가하는 것을 확인하였다. 추가로 표적 금속을 Ta에서 W로 교체한 경우 전반적으로 10%

높은 DPA 값을 평가하였다. 이는 재료의 수명 단축과 밀접한 관련이 있는 것을 알 수 있었다. 추후 상세한 계산을 통해 보다 정확한 DPA 값을 구하면, 재료의 방사화 손상 및 이로 인한 변형을 정확하게 평가하여 재료의 수명단축에 충분히 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

5. 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] E.A. Read and C.R. Oliveira, "A Functional Method for Estimating DPA Tallies in Monte Carlo Calculations of Light Water Reactors", International Conference on Mathematics and Computational Method Applied to Nuclear Science and Engineering (M&C 2011), Rio de Janeiro, RJ, Brazil, May 8-12, 2011.

[4] C.J. Park, K.Y. Noh, and Y.D. Lee, "A New Target Design with a Beryllium Multiplier for a Lead Slowing Down Time Spectrometer (LSDTS) System," Transactions of the Korean Nuclear Society Autumn Meeting, Jeju, Korea, October 21-22, 2010.

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

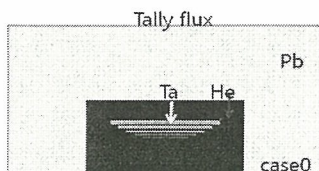


Fig. 1. Configuration of target for SDTS system.

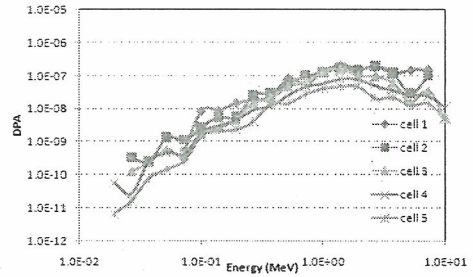


Fig. 2. DPA for various target plates of Ta.

Table 1. Flux and DPA for TA target plates.

Target	Flux(n/cm <sup>2</sup> s)	DPA/Flux
Plate 1	5.31E-4	2.52E-3
Plate 2	3.40E-4	3.29E-3
Plate 3	2.08E-4	3.69E-3
Plate 4	1.23E-4	3.83E-3
Plate 5	7.88E-5	3.49E-3

Table 2. DPA for Ta and W target plates.

Target	DPA of Ta	DPA of W
Plate 1	1.34E-6	1.27E-6
Plate 2	1.12E-6	1.25E-6
Plate 3	7.68E-7	8.50E-7
Plate 4	4.71E-7	4.75E-7
Plate 5	2.75E-7	2.69E-7