

민감핵물질 정량분석을 위한 LSDS 시스템의 타깃 금속 및 납 매질의 방사화 특성 평가

박창제, 이용덕, 박근일, 강권호, 이정민
한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045
cipark@kaeri.re.kr

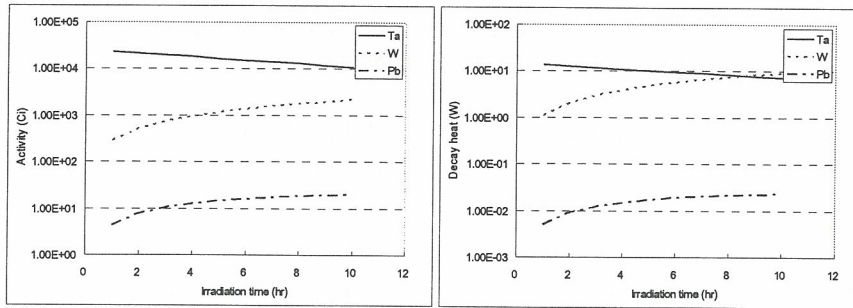
1. 서론

민감핵물질을 핵종별 분석하기 위해 Lead Slowing-Down Time Spectrometer (LSDS) 시스템에 대한 개념평가 연구가 진행중에 있다. 이 시스템에서는 고수율의 중성자 발생을 위해 전자가속기를 고려하고 있으며 방출된 전자빔과 타깃 금속과의 반응으로 중성자 및 감마선이 발생한다. 높은 중성자 수율은 측정대상인 핵연료내의 중성자 백그라운드를 극복하기 위한 것으로 타깃에서 중성자 생성된 중성자는 납 매질을 통과하면서 감속되어 핵연료와 핵분열 반응을 일으키게된다. 이 핵분열 생성 중성자를 측정함으로써 동위원소별 핵분열성 물질의 함량을 정량적으로 측정하게 된다.[1] 이에 금속 타깃에 대한 예비적인 설계가 수행되었으며 구조 및 형상에 대한 민감도 평가가 수행되었다.[2]

본 논문에서는 이러한 타깃 금속으로 고려되고 있는 Ta나 W에 대해 중성자 및 감마선에 의한 방사화 특성 평가를 하였다. 또한 주위의 납 매질에 대해서도 방사화 평가를 수행하였다.

2. 계산방법 및 결과 고찰

미국의 ORNL에서 개발한 방사화 특성평가 코드인 SCALE5 시스템[3]을 이용하여 타깃 금속과 납 매질에 대한 특성 평가를 수행하였다. 방사화 특성 평가를 수행하기 위해 전자가속기에서 방출되는 수십 MeV 에너지의 전자빔에 의한 중성자 및 감마선원을 근사하여야 하지만 보다 보수적으로 중성자 및 감마선의 다양한 에너지 스펙트럼을 가지는 원자로에서 이러한 물질이 100g 정도로 불순물형태로 핵연료와 같이 있을 때로 가정하여 계산을 하였다. 핵연료의 기준은 농축도가 4.5 wt% 이며 연소도는 55 GWD/tU로 가정하였다. 이 결과로부터 타깃 금속과 납 매질의 방사화로 인한 핵종 변화, 방사능 및 붕괴열을 평가하였다. 전자빔이 짧은 시간 입사될 것이므로 총 10시간에 대해 계산을 수행하였다. 그림 1은 시간 변화에 따른 Ta, W, 및 Pb의 방사능 변화와 붕괴열 변화를 보여주고 있다. 중성자 세기는 $2.37E+13$ n/cm²-s 스펙트럼은 Ta의 경우 초기에 높은 방사능을 보이다가 점점 감소하는 경향을 보이는 데 주로 Ta-180의 영향이 가장 높은 것을 알 수 있다. 나머지의 경우는 중성자에 의한 방사화로 인해 점점 방사능 물질이 많아지는 것을 알 수 있다. 붕괴열의 경우도 유사한 경향을 보이고 있다. 전반적으로 납 매질의 경우 예상하였던 것과 마찬가지로 단시간 조사시 큰 방사능과 붕괴열을 보이지 않고 있다. 충분한 방사능 차폐재로의 역할을 하고 있음을 확인할 수 있다. 표 1은 건식재가공전환체의 핵종별 방사능 변화를 나타내고 있다. 1시간 조사된 경우 Ta의 경우 2.34E+04 Ci, W는 2.93E+02 Ci, 그리고 Pb의 경우는 4.33E+00 Ci를 나타내었다. 10시간이 경과된 경우 비슷한 차이를 유지하고 있는데 Ta의 경우 W에 비해 약 5배 정도 높으며, Pb에 비해 약 550배 정도 높게 방사능을 보여주고 있다. 1톤 기준 핵연료의 경우 10시간 경과시 총 방사능은 약 1.27E+08 Ci 정도임을 고려하면 Ta의 방사능은 무시하지 못할 양이다. 따라서 상대적으로 방사능과 발열량이 낮은 W가 더욱 우수할 것으로 예상된다. 그렇지만 LSDS 시스템은 모두 납 매질로 둘러싸여 있기 때문에 그 내부에 있는 타깃 금속의 방사화 정도는 납 매질의 차폐효과로 충분히 수용될 것이다.



(a) 방사능 변화 (b) 붕괴열 변화
그림 1. 타깃 금속 및 납매질의 방사능 및 붕괴열 변화

표 1. 타깃 금속 및 납매질의 방사화에 따른 방사능 변화 (Ci)

Element	Time (hr)	1.00E+00	2.00E+00	5.00E+00	7.00E+00	1.00E+01
Ta	ta180	2.34E+04	2.15E+04	1.67E+04	1.41E+04	1.09E+04
	ta182	9.06E+00	1.81E+01	4.53E+01	6.33E+01	9.04E+01
	ta182m	1.64E+01	1.76E+01	1.77E+01	1.77E+01	1.77E+01
	w183m	3.72E-02	1.48E-01	9.22E-01	1.80E+00	3.65E+00
	ta183	3.72E-02	1.48E-01	9.22E-01	1.80E+00	3.65E+00
	total	2.34E+04	2.15E+04	1.67E+04	1.41E+04	1.10E+04
W	w187	2.38E+02	4.70E+02	1.13E+03	1.53E+03	2.10E+03
	w183m	5.26E+01	5.26E+01	5.26E+01	5.26E+01	5.26E+01
	w185m	1.69E+00	1.69E+00	1.69E+00	1.69E+00	1.69E+00
	w185	1.42E-01	2.84E-01	7.10E-01	9.94E-01	1.42E+00
	total	2.93E+02	5.24E+02	1.18E+03	1.59E+03	2.15E+03
Pb	pb209	4.33E+00	7.83E+00	1.48E+01	1.75E+01	1.99E+01
	bi210	1.89E-11	1.43E-10	1.93E-09	4.84E-09	1.24E-08
	pb205	1.30E-11	2.60E-11	6.50E-11	9.11E-11	1.30E-10

3. 결론

SCALE5 코드를 이용하여 민감핵물질 정량측정을 위한 LSDS 시스템의 중성자발생장치 타깃 금속 물질과 납 매질에 대한 방사화 특성 평가를 수행하였다. 이러한 기초 계산을 통하여 타깃 금속인 Ta와 W 중에서 W가 보다 낮은 방사화 특성 결과를 보였고, Pb의 경우 충분히 낮은 방사능과 붕괴열을 나타내었다. 단시간 조사를 기준으로 하였을 경우에 가정하였는데 장시간 거동을 통한 타깃의 수명 평가도 같이 병행해야 할 것이다. 또한 보다 실질적인 조건을 부여하기 위하여 고에너지 중성자 스펙트럼 영역에서의 방사화 평가도 같이 수행해야 할 것이다. 이러한 타깃에 대한 기초자료로부터 중성자 발생장치의 상세설계 변수를 도출하는데 많은 기여를 할 것으로 기대된다.

References

- [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] C.J. Park, Y.D. Lee, J.H. Song, K.C. Song, "Sensitivity Study on the Target of the Fast Neutron Sources for the Lead Slowing Down Time Spectrometry with a Monte Carlo Simulation," Transactions of the Korean Nuclear Society Autumn Meeting, pp. 125-126, Pyeong Chang, Korea, October 30-31, 2008.
- [3] I.G. Gauld, O.W. Hermann, R.M. Westfall, ORIGEN-S: SCALE System Module to Calculate Fuel Depletion, Actinide Transmutation, Fission Product Buildup and Decay, and Associated Radiation Source Terms, ORNL/TM-2005/39, 2005.