

에너지선속분율 가변 중성자장을 이용한 상용 중성자 서베이미터 반응도 비교

김상인^{a,b} · 김봉환^b · 김종수^b

^a 경상대학교, 경남 진주시 가좌동 700

^b 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구

E-mail: skim@kaeri.re.kr

중심어(keyword) : 열중성자장, DT 중성자발생장치, 중성자서베이미터, 선속분율 가변 중성자장

서 론

최근 원자력 관계시설과 관심이 꾸준히 증가하고 있다. 이런 원자력 관계시설에서 현장 중성자장을 모니터링 할 때는 대부분 상용 중성자 서베이미터를 사용한다. 그러나 측정하고자 하는 현장의 중성자 에너지 분포가 서베이미터가 교정된 기준 중성자장과 차이가 있을 때, 측정결과에 차이가 있을 수밖에 없다. 특히 에너지 반응도가 고려 대상의 에너지 범위내에서 큰 차이가 날 때 그 편차는 더욱 커지게 된다. 정확한 모니터링을 위하여 현장 중성자장의 에너지 스펙트럼 특성을 고려한 중성자 서베이미터의 교정인자 생산과 적용이 필요하다.

재료 및 방법

대부분의 중성자 검출기는 열중성자 검출기이므로, 정도의 차이는 있으나 중성자장 내의 열중성자와 속중성자의 분포비율에 따라 검출기의 측정값과 실제값에는 차이가 있다. 특성이 다른 중성자장에 대해 상용되는 중성자 서베이미터의 반응도 비교를 위해 4종의 에너지선속분율 가변 중성자장(fractional change of thermal and fast neutrons to total neutron fluence, 이하 가변중성자장)을 사용하여 4종의 상용 중성자 서베이미터의 반응도를 측정하여 비교하였다.

AmBe 선원(111 GBq)과 흑연파일(graphite pile)을 이용해 만든 열중성자장에[1] AmBe 선원(4.2 MeV)과 중성자발생장치(14 MeV)를 추가하여 4종의 가변 중성자장을 제작하였다.

가변중성자장 생성에 사용된 중성자발생장치는 프랑스 SORDEN 社 제품이며, 가속전압은 80 kV, 인가전류는 10 μ A, 생성 중성자에너지는 14 MeV, 펄스 모드에서 중성자 생성율은 $\leq 1 \times 10^7 \text{ s}^{-1}$ 로 설정하였다. 추가 AmBe 선원의 세기는 $6.6 \times 10^6 \text{ s}^{-1}$ 이다.

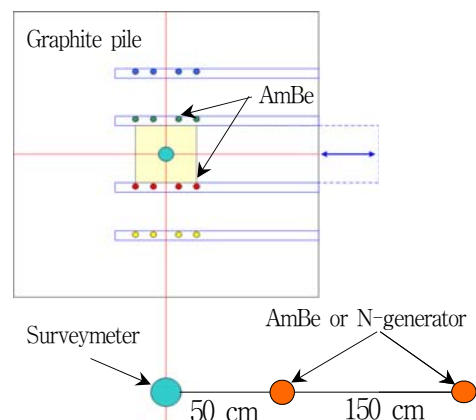


그림 1. 흑연파일과 추가선원(AmBe, N-generator) 설치도

가변중성자장 제작에 사용된 흑연파일과 추가 중성자 선원, 중성자 서베이미터의 위치를 그림 1에 나타내었다. 흑연파일의 크기는 $1.5 \times 1.5 \times 1.5 \text{ m}^3$ 이며 내부에 AmBe($\sim 37 \text{ GBq}$) 선원 8개가 장착되어 있다. 중성자 서베이미터의 반응도 확인 기준 거리는 흑연파일 표면으로부터 50 cm 이다.

보너구 중성자분광시스템을 이용하여 4 종류 가변 중성자장의 에너지 스펙트럼과 선량학적 자료를 생산하였다. 그림 2와 같이, 모든 스펙트럼에서 흑연파일에서 생성된 열중성자 peak가 보이고, 중성자발생장치를 이용하여 생성한 중성자장(그림2, ㉠, ㉡)에서는 AmBe를 추가하여 얻은 것과는 달리 2중으로 겹쳐있는 14 MeV peak가 보인다.

그리고 가변중성자장의 에너지 영역별 선속분율과 선량학적 자료들을 표 1에 정리하였다.

표 1. 가변중성자장의 에너지선속분율 및 선량학적 자료

중성자 선속에너지	추가선원 및 위치			
	AmBe		중성자발생장치	
	50 cm	150 cm	50 cm	150 cm
0.01 eV~0.5 eV	48.1 %	78.7 %	26.4 %	70.2 %
0.5 eV~10 keV	3.7 %	3.2 %	3.5 %	2.5 %
10 keV~10 MeV	44.8 %	14.0 %	16.7 %	12.3 %
> 10 MeV	0.1 %	0.2 %	53.4 %	15.0 %
E_{ave}^a (MeV)	2.02	0.49	8.87	2.66
$h^b(10)^b$ (pSv.cm ²)	184	63	340	131
$H^c(10)^c$ rate(μSv/h)	417	84	1370	226
E_{ADE}^d (MeV)	4.6	3.2	13.5	10.4

^a E_{ave} : Fluence average energy
^b $h^b(10)$: Fluence to ambient dose equivalent conversion coefficient
^c $H^c(10)$: Ambient dose equivalent
^d E_{ADE} : Ambient dose equivalent average energy

결과 및 고찰

가변중성자장에 대한 4종의 상용 중성자 서베이미터의 반응도 자료를 생산하였다. 기준 선량당량률(이하 선량률)은 보너구 분광시스템으로 결정된 값이고, 측정 선량률은 ²⁵²Cf 선원으로 교정된 검출기로 측정된 값이다. 반응도는 측정 선량률과 기준 선량률의 비(比)로 나타내며, 1.0 이하일 경우는 실제 선량률을 과소평가하고 있음을 의미한다.

REM-500을 제외한 검출기들은 실제 선량률을 과소 평가하고 있다는 것을 확인할 수 있는데(표 2), 그 이유는 시험에 사용된 검출기들은 ²⁵²Cf 선원에서 교정되었기 때문에 교정선원 ²⁵²Cf와는 달리 가변중성자장에 존재하는 열중성자와 5 MeV 이상의 중성자에 대한 반응도가 교정결과에 반영되지 않았기 때문이다.

표 2. 가변중성자장에 대한 중성자 서베이미터의 반응도 비율

추가 선원	선원 위치 (cm)	기준 선량률 (μSv/h)	서베이미터의 반응도 ^a			
			LB64111	Wendi2	Dineutron	REM-500
AmBe	50	417	0.85	0.86	0.19	0.91
	150	84	0.79	0.82	0.68	0.80
DT generator	50	7290	0.53	0.62	0.13	1.12
	150	968	0.55	0.66	0.14	0.92

^a 반응도 = 측정선량률 / 기준선량률

두 추가선원에 대한 반응도를 비교하면, 추가선원이 중성자발생장치일 때의 반응도가 상대적으로 낮다. 이유는 AmBe 선원의 가변중성자장에는 없는 10 MeV

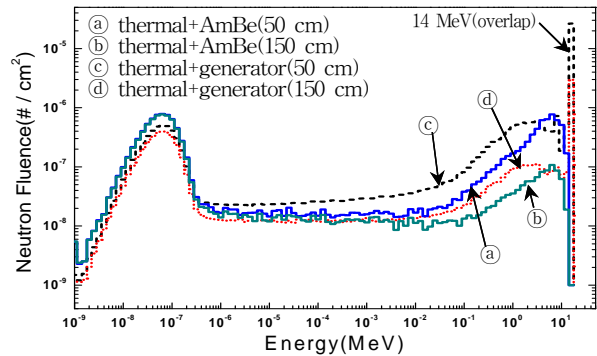


그림 2. 흑연파일과 추가선원으로 생성한 중성자장

이상의 중성자가 분포하기 때문이다.

조직등가비례계수관인 REM-500은 4 종의 가변중성자장에 대해 1에 가까운 반응도를 보여 가장 안정된 반응을 보였고, 특히 두 개의 구형비례계수관이 내장되어 있는 Dineutron의 경우, 기준선량률을 1/5 수준으로 평가하고 있어 선량률 측정에 대해 가장 큰 차이가 나는 것을 확인하였다.

결론

에너지선속분율 가변 중성자장을 이용하여 일부 상용 중성자 서베이미터의 에너지 반응도에 차이가 있음을 실험적으로 확인하였다. 보다 정확한 선량평가를 위하여 모니터링에 사용하는 서베이미터는 현장의 중성자 에너지 스펙트럼 유사한 중성자장을 이용하여 교정되어야 한다.

감사의 글

본 연구는 국방과학연구소(Agency for Defense Development) 수탁과제(계약번호 : UC080023GD) 및 교육과학기술부 원자력연구개발사업의 지원으로 수행 되었습니다.

참고 문헌

- Kim, B.H., et al., 2009. Construction of thermal neutron calibration fields using a graphite pile and AmBe neutron sources at KAERI. Nucl. Tech. 168, 349e353.