

원통형 감속재 네 개를 이용한 중성자 에너지 모니터링 시스템 제작

김 정 호 · 박 현 서 · 최 길 웅

한국표준과학연구원

E-mail: jungho@kriss.re.kr

중심어 : 중성자, 에너지 모니터링, 감속재, 반응함수 가중평균

서 론

한국표준과학연구원에서는 의료용 가속기 등 가속기 운용 시 발생하는 고에너지 중성자 피폭 관리 및 항공기 비행고도에서의 우주선 중성자에 의한 방사선량 피폭에 대한 방사선 방호를 위해 고에너지 중성자 측정 기술을 개발한 바 있다. 중성자 에너지 1 GeV 이상의 중성자를 측정하기 위하여 내부에 금속을 포함하는 다중구조 보너구를 제작하여 기 보유 보너구와 함께 사용하여 우주선 중성자 에너지 스펙트럼을 성공적으로 측정하였다. 이때 에너지 스펙트럼은 보너구들의 계수율과 보너구의 반응함수를 이용하여 언폴딩(unfolding) 방법으로 에너지를 결정한다.

이러한 언폴딩은 계수율 측정이 완료된 후 수행하게 되므로 중성자 에너지 스펙트럼을 실시간으로 결정할 수가 없는 단점이 있다. 따라서 중성자 에너지를 실시간 모니터링을 하기 위해서는 언폴딩 방법과 같이 측정이 종료된 후 시행하는 복잡한 방법이 아닌, 단순하고 빠른 계산 방법이 필요하다. 본 연구에서는 보너구의 수를 줄여 중성자 에너지 스펙트럼 분해능이 떨어지더라도 언폴딩 과정이 없이 중성자 에너지를 모니터링 할 수 있는 방법론을 제시하고 그 기술을 개발하였다.

재료 및 방법

보너구를 이용한 검출기의 계수율은 다음과 같은

식으로 정의된다.

$$\dot{C}_i = \sum_{j=1}^n R_{ij}(E) \dot{\Phi}_j(E)$$

여기서 \dot{C}_i 와 R_{ij} 는 각각 보너구의 계수율과 반응함수이며 $\dot{\Phi}$ 는 중성자 플루언스들이다. 여기서 i 는 보너구를 나타내며 j 는 중성자 스펙트럼의 에너지 구간이다. 위의 식은 간단히 $\dot{C} = R\dot{\Phi}$ 와 같이 행렬로 표현할 수 있으며 양변에 적당한 정방행렬을 곱하여 계수율로부터 플루언스들을 구할 수 있도록 새로운 반응함수 행렬이 대각행렬이 되도록 만들 수 있다.



Fig. 1. Neutron energy monitoring system

중성자 에너지 모니터링 시스템으로 사용할 보너구는 고에너지 측정용 확장 보너구를 포함하여 4개이며

기존의 구형 감속재 대신 원통형 감속재를 사용해 제작하고 MCNPX 모사계산으로 반응함수를 구하였다. 제작한 중성자 에너지 모니터링 시스템의 반응함수를 평가하기 위해서 한국표준과학연구원 중성자 조사실 거리 150 cm에서 ^{252}Cf 중성자 선원과 중수(D_2O)감속 ^{252}Cf 중성자 선원에 대한 계수를 측정을 수행하였다 (그림 1).

결과 및 고찰

본 연구에서 네 개의 검출기를 사용하므로 각각 검출기의 반응함수를 네 개의 에너지 구간에 대하여 정하였다. 네 개의 에너지 구간은 각각 $1 \times 10^{-9} \text{ MeV} \sim 5 \times 10^{-7} \text{ MeV}$ (E1), $5 \times 10^{-7} \text{ MeV} \sim 0.1 \text{ MeV}$ (E2), $0.1 \text{ MeV} \sim 20 \text{ MeV}$ (E3), $20 \text{ MeV} \sim 5000 \text{ MeV}$ (E4)이다. 에너지 구간이 넓기 때문에 측정하고자 하는 중성자 에너지 스펙트럼 형태에 따른 영향을 고려해야만 하며 본 연구에서는 6개 에너지 분포에 대하여 조사하였다. 선정한 6개의 에너지 분포는 각각 평평한 분포(Flat), 중성자 선원 분포(^{252}Cf , D_2O), 원자력발전소 분포(NP1, NP2), 지상에서의 우주선 중성자 분포(Cosmic)로 그림 2에 나타내었다.

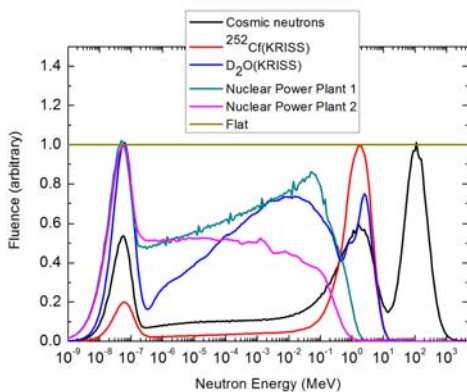


Fig. 2. Neutron energy for response average

표 1과 표 2는 중성자 에너지 모니터링 시스템으로 얻는 중성자 플루언스율로 측정하고자 하는 실제 중성자 에너지 분포를 사용하여 반응함수 가중평균을 구한 경우가 언폴딩 결과(Ref)[1]와의 편차가 작음을 알 수 있다.

Table 1. Neutron fluence rate of ^{252}Cf

Range	^{252}Cf fluence rate ($\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)						
	Ref	Flat	^{252}Cf	D_2O	NP1	NP2	Cosmic
E1	28	28	26	29	30	33	27
E2	62	19	38	13	-51	-82	27
E3	175	233	188	209	234	256	205
E4	0	-21	51	-21	19	0	-5

Table 2. Neutron fluence rate of D_2O

Range	D_2O fluence rate ($\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)						
	Ref	Flat	^{252}Cf	D_2O	NP1	NP2	Cosmic
E1	42	40	41	41	38	38	37
E2	132	135	146	136	119	103	143
E3	47	65	46	51	61	79	50
E4	0	-15	0	0	-13	-8	-4

결론

원통형 감속재 네 개를 사용하여 중성자 에너지 모니터링 시스템을 제작하고 중성자 선원의 중성자 플루언스율을 측정하여 언폴딩 결과와 비교해 보았다. 에너지 분포를 알 수 있는 곳의 중성자 에너지를 모니터링 할 경우, 이미 알려진 에너지 분포의 반응함수 가중평균을 사용하면 가장 좋은 결과를 얻을 수 있으며 분포를 모를 경우는 에너지 구간의 에너지 특성을 모두 가진 우주선 중성자 에너지 스펙트럼을 사용하여 반응함수 가중평균을 구하면 언폴딩 결과와의 편차를 최소화 할 수 있으며, 20 % 이내로 중성자 에너지를 실시간 모니터링 할 수 있음을 확인하였다.

참고 문헌

1. Hyeonso Park, Jungho Kim, and Kil-Oung Choi, *Neutron calibration facility with radioactive neutron sources at KRISS*, Radiat. Prot. Dosim. 126, 159-162(2007)