

PHWR형 원전인 월성3호기 원자로건물내 중성자장 측정

한계문, 서장수, 원유호

한수원(주) 원자력환경기술원, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

1990년 발간된 ICRP 60 권고에서 중성자 방사선가중치의 상향조정을 제시하였다. 중성자의 방사선가중치는 중성자 에너지에 의존하기 때문에 중성자 에너지 스펙트럼은 중성자 선량 평가시 매우 중요하다.

원자력발전소에서 시설의 검사나 유지·보수 등의 목적으로 원자로건물내로 들어가야 할 경우 방사선작업자가 받게 될 중성자 피폭선량을 정확히 평가하기 위해 PHWR형 원전인 월성 3호기를 대상으로 원자로건물내 두 지점에서 중성자 에너지 스펙트럼을 측정하였다.

본 측정에 사용한 BMS(Bonner Multi-sphere Spectrometer)는 방사선 방호 목적의 중성자 스펙트럼 측정 시스템으로 가장 광범위하게 쓰이고 있으며, 다른 스펙트로미터 시스템과 비교할 때 폭넓은 에너지 반응폭(열중성자~수백 MeV)을 가지고 있어, 다양한 에너지 분포를 보이고 있는 원자로건물내 중성자장 측정에 적합한 장비이다.

BMS 시스템은 열중성자용 ${}^6\text{LiI}(\text{Eu})$ 검출기와 6개(2, 3, 5, 8, 10, 12 inch)의 폴리에틸렌 감속구로 구성되어 있으며, ${}^6\text{LiI}(\text{Eu})$ 검출기 내벽에 두께 0.05 cm의 Cd 덮개를 씌워 열중성자의 존재 유무를 판별할 수 있도록 하여, 총 8개의 에너지구간을 측정할 수 있도록 되어있다.

BMS의 각 계측기는 서로 다른 응답함수를 가지고 있다. 감속구의 반경이 커질수록 고에너지 중성자에 대한 반응도가 높아진다. 응답함수, 계수율, 중성자 플루언스 사이의 관계를 식으로 표현하면 아래와 같다.

$$M_i = \sum_{g=1}^m R_{i,g} \Phi_g \quad i = 1, 2, 3, \dots, m$$

여기서 M_i 는 검출기 i 에 대한 계수율, $R_{i,g}$ 는 검출기 i 의 중성자 에너지 구간 g 에 대한 반응값, Φ_g 는 중성자 에너지 구간 g 에 대한 중성자 플루언스이다. 중성자 스펙트럼을 얻기 위해 사용된 에너지구간의 수가 계측기보다 작기 때문에 실제 해를 구할 수 없다. 그러므로 중성자 스펙트럼을 얻기 위해 Unfolding 절차를 거쳐야한다. 본 측정에서는 Unfolding을 위해 BUNKIUT-code를 사용하였다. BMS의 측정값을 Unfolding하여 에너지 구간별 중성자 플루언스를 구한 다음 아래의 식을 이용하여 선량으로 환산할 수 있다.

$$H = \int h_\phi(E) \Phi_E dE$$

여기서, Φ_E 는 중성자 플루언스이며, 이 값은 BMS의 측정값을 Unfolding하여 구할 수 있다. $h_\phi(E)$ 는 Fluence-to-dose equivalent conversion coefficient이며, ICRP 74에 제시된 값이다. 이와 같이 에너지 구간별 중성자 플루언스를 알고 있으면 바로 선량을 구할 수 있다.

월성 3호기의 두 지점에서 측정된 중성자 에너지 스펙트럼을 그림1에 나타내었으며, 각 측정 지점에서의 평균에너지 및 플럭스, 선량을 표 1에 나타내었다. 중성자 평균에너지는 35~38keV, 플럭스는 1,049 ~1,277 n/cm²-sec, 선량은 78 ~107 $\mu\text{Sv/h}$ 로 나타났다. 같은 방법으로 측정된 PWR형 원전인 고리 원자로건물내 중성자 평균에너지(400 keV)와 비교해 볼 때 PHWR형 원전의 평균 에너지가 훨씬 낮게 나타났다. 월성3호기에서 측정된 두 지점의 평균에너지는 비슷하지만 전체 플럭스는 약 20%의 차이를 보였다. 같은 작업층에서 측정된 두 지점의 플럭스가 약 20% 정도 차이

를 보인 것으로 보아 원자로건물내 중성자장 분포가 매우 광범위한 것을 알 수 있다. 이와 같은 측정결과로 미루어 향후 각 작업층의 선량 분포를 바탕으로 측정지점을 선정하여 각 구역별 대표적인 중성자장 분포도를 작성해야 할 것으로 사료된다.

표 1. 월성3호기 원자로건물내 평균에너지, 플럭스, 선량

Point	Ave. Energy (keV)	Total Flux (n/cm ² ·sec)	Dose Equivalent (μSv/h)
A	35	1,277	107
B	38	1,049	78

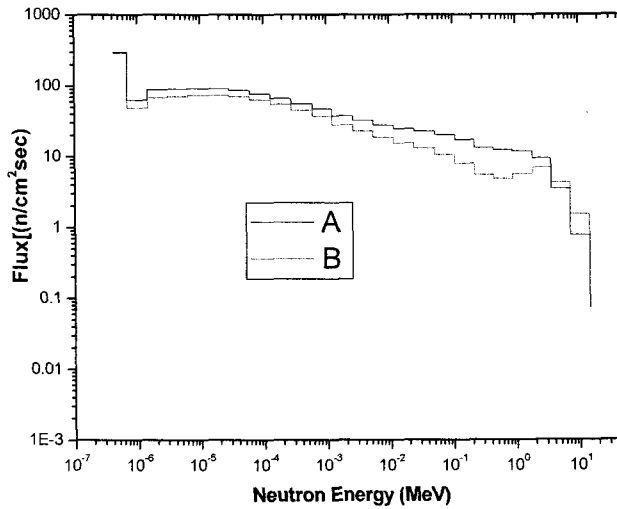


그림 1. 월성3호기 원자로건물내 중성자에너지스펙트럼