

BMS를 이용한 중수로형 원전 중성자 스펙트럼 측정

손중권, 서장수, 원유호, 강기두

원자력환경기술원, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

jkson1@khnp.co.kr

원자력 발전소 출력운전 중에 기기점검이나 보수 등의 목적으로 원자로 건물내를 출입하는 방사선 작업자의 보호를 위해 중성자에 의한 피폭선량을 정확하게 평가해야 하는데 중성자 피폭선량을 정확하게 평가하기 위해서는 원자로 건물내의 중성자 에너지 스펙트럼을 출력별, 위치별로 평가하고 있어야 한다. 비록 국내 원자력발전소에서 열형광선량계(TLD)와 Pocket Dosimeter, Remball 등을 이용하여 작업자의 중성자 피폭선량을 평가하고, 이를 토대로 작업계획을 수립하고는 있으나, 각 기기의 측정값 간의 편차가 심해 현장 방사선 작업관리에 여러 가지 어려움을 겪고 있는 실정이다. 또한 1990년 개정된 ICRP 60에서는 중성자에 의한 피폭선량을 중성자 에너지 구간별로 평가하도록 권고하고 있다. 즉, 중성자 에너지 구간을 세분화시켜 각 구간별로 방사선가중치를 새로 도입하여 중성자에 의한 피폭선량을 보다 엄격하게 평가하도록 평가방법을 강화하였으며, 이는 이미 1998년에 법제화가 완료되었다. 따라서 ICRP 60의 권고기준을 만족할 수 있도록 중성자 선량평가 방법을 개선하고 원자로 건물내를 출입하는 방사선 작업자의 안전을 보증하기 위해 중성자에 의한 피폭선량을 정확하게 평가해야 하며, 이를 위해서는 원자로 건물내 중성자 에너지 스펙트럼을 정확히 예측하는 것이 필수적이다.

1980년대 초반 미국 NRC는 PWR과 BWR형 상용 원자력발전소 6곳을 선정하여 원자로 건물내에서의 중성자 에너지 스펙트럼을 측정하였으며, 캐나다는 1990년대에 들어 CANDU형 원자로 건물내의 중성자 에너지 스펙트럼을 측정하는 등 세계 각국에서 중성자 에너지 스펙트럼을 측정하여 선량평가에 활용하고 있다. 그러나 아직까지 우리나라에서는 원자력 발전소 원자로 건물내의 중성자 에너지 스펙트럼 측정경험은 미미한 상황이다. 따라서 정확한 중성자 피폭 선량평가를 위해 CANDU형인 월성원자력발전소 3호기의 원자로 건물 5층의 2곳에서 중성자 스펙트럼을 측정하였으며 이를 토대로 선량평가를 수행하였다.

원자력발전소에서 종사자가 받는 중성자 피폭의 주요 원인은 핵분열에 의해 생성되어 원자로 차폐체를 뚫고 나오는 중성자이다. 발생 선원에 관계없이 원자력 발전소에서 존재하는 모든 중성자는 콘크리트, 물, 철강 등의 차폐체를 통과하거나 산란된 중성자이며 따라서 차폐체의 구조와 양은 한 위치에서 유일하기 때문에 여러 위치에서의 중성자 스펙트럼 측정이 필요하다. 월성 출력운전중 작업자의 중성자 피폭이 우려되는 곳을 현장 실무자와의 협의를 통해 결정하여 정상운전 상태에서 중수로형 발전소인 월성원자력발전소 제3호기의 원자로 건물내 2곳에서 BMS(Bonner Multi-Sphere Spectrometer System)를 이용하여 중성자 에너지 스펙트럼을 측정하였다.

BMS는 높은 중성자 검출효율, 광범위한 측정영역(열중성자 ~ 수백MeV), 등방성과 쉬운 작동법 등의 이유로 널리 사용되며 보건물리와 차폐연구의 목적에 이용된다. BMS는 스펙트럼 분해능이 좋지는 않지만 일반적으로 선량당량 결정에 충분히 사용될 수 있다. 측정 데이터로부터 컴퓨터 코드를 이용해 중성자 스펙트럼을 unfolding해야 하는 데이터 처리의 복잡성이 BMS의 단점이다.

상기 특징과 훌륭한 감마 식별력은 중성자 스펙트럼 측정에 매우 유용하다. BMS는 7개의 검출기로 구성되며 1번은 감속구를 사용하지 않는다. 검출기 2번에서 7번까지의 폴리에틸렌 감속구의 반경은 각각 2", 3", 5", 8", 10", 12"이며 그 밀도는 0.95 g/cm³이다. 열중성자 검출기로는 ⁶Li(Eu) 섬광체를 사용하며, 열중성자의 존재 유무를 측정하기 위하여 검출기에 Cd 덮개를 씌워 측정하는 경우도 있다. 이 경우 검출기의 열중성자에 대한 반응도를 줄일 수 있기 때문에 상대적으로 양호한 에너지 분해능을 얻을 수 있다. 감속구가 작을수록 저에너지 중성자에 잘 반응하며, 감속구가 클수록 고에너지 중성자를 효과적으로 감속하기 때문에 고에너지 중성자에 잘 반응한다. 각각의 검출기가 서로 다른 에너지에 대해 반응하기 때문에 각 검출기의 측정 데이터를 모아 unfolding 하면 완전한 중성자 에너지 스펙트럼을 구할 수 있다. 각 측정위치에서 감속구를 매번 교체하면서 6회씩 측정하였고, 선량율에 따른 시스템의 불감시간을 고려하여 위치별로 측정시간을 다르게 설정하였다. 정상운전 중인 원자로 건물내에서의 측정이므로 모든 장비는 비닐로 오염방지 포장을 하였고, BMS를 설치한 후 측정자는 저선량 구역으로 이동하여 작업을 수행하였다. BMS는 Cf-252 선원으로 교정하였으며 측정된 데이터는 BUNKI 코드를 이용하여 unfolding하여 에너지 스펙트럼을 얻었다. 그림 1은 두 지점의 중성자 스펙트럼이며 표 1은 분석결과를 요약한 것이다.

각 지역의 평균에너지를 고려하면 ICRP 60 신권고의 방사선 가중치를 적용할 때 중성자 선량이 증가할 수 있다는 것을 보여준다. 하향 조정된 선량제한치와 상향 조정된 중성자 방사선 가중치를 반영한 선량평가를 하게 되면 원전의 방사선관리에 어려움이 예상된다.

원전의 중성자 선량 평가를 위해 월성원전 3호기 10곳에서 중성자 스펙트럼을 측정할 계획이며 10곳의 측정이 완료되면 분석자료를 활용하여 중성자 선량 평가 및 관리에 활용할 예정이다.

표 1. 각 측정위치별 분석결과

측정지점	중성자 플루언스 (n/cm ² · sec)	평균에너지 (MeV)	환산선량률 (μSv/h)
C	9.719 × 10 ²	2.310 × 10 ⁻²	90.6
D	4.490 × 10 ²	1.266 × 10 ⁻¹	48.7

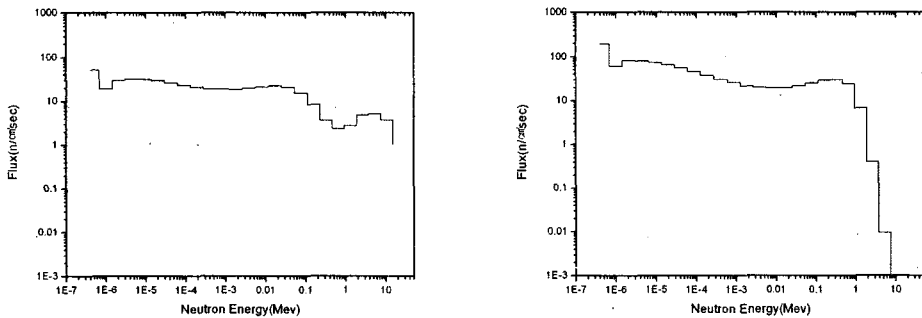


그림 1. 각 측정위치의 중성자 에너지 스펙트럼