

중성자 피폭방사선량 저감을 위한 중성자 차폐복 적용 타당성

박병목 · 신경욱 · 채경선 · 윤원섭* · 엄준기*
세안기술주식회사 · 한국수력원자력(주) 울진 제1발전소*
E-mail: pbm@sae-an.co.kr

중심어 (keyword) : 중성자, Polyethylene, Borated Polyethylene, 차폐복

서 론

국내에 가동중인 원자력 발전소는 원자로형 특성에 따라 영광, 울진 및 고리 원전에 가동중인 경수로형과 월성원전의 중수로형으로 구분할 수 있는데 공통적으로 전기를 생산하는 일련의 운영과정을 경상운전이라고 한다면 경상운전을 멈추고 발전설비를 주기적으로 점검하는 과정을 계획예방정비라 한다.

경수로 및 중수로의 경상운전 중에는 원자핵분열로 인한 중성자가 발생한다. 본 연구에서는 방사선작업종사자의 중성자 피폭방사선량을 줄이기 위한 중성자차폐복의 상용화 적용타당성을 검토하였다. 중성자의 산란반응과 흡수반응 특성을 적용한 것으로서 울진 2호기 원자로 건물에서 수행한 실증 실험결과를 분석하였다.

통상 경상운전중인 경수로형 발전소의 원자로 건물내 출입은 점검이나 긴급보수작업시에만 출입이 허용되며, 중수로형의 경우는 핵연료 교체시에도 출입이 허용되고 있다. 원자로건물 내에서 점검이나 작업을 수행하는 방사선작업종사자는 중성자 방사선에 노출되며 방사선의 생물학적영향인 직접적인 영향과 간접적인 영향을 받게 된다. 특히 중성자 피폭은 제어 불가능한 것으로 여겨져 왔으나, 본 실증실험을 통해 중성자 피폭방사선량을 줄일 수 있는 차폐방안 마련의 타당성을 제시하였다. 본 논문에서는 울진 2호기에서 실시한 중성자 차폐복의 차폐효과 실험 결과와 향후 추진방향을 기술하였다.

재료 및 방법

본 연구에 사용한 중성자 차폐물질은 PE (Polyethylene)와 Boron이 5% 포함된 BPE(Borated Polyethylene)을 두께를 달리하여 제작하였으며, 결과의 신뢰성을 높이기 위해 직사각형 밀폐용기로 제작하였다. 피폭선량측정 및 분석과 관련한 사항은 다음과 같다

- 선량계 : CHIP : BGK6776, HOLDER 8806
- 판독기 : HARSHAW-6600
- 선량평가 알고리즘 : DOELAP
- 측정위치 : $2R_x+20.0m$
- 측정일시 : 2009년 8월 20일 오전
- 판독일시 : 2009년 8월 20일(13:50 ~ 14:40)
- 판독환경 : 온도 $20^{\circ}C(20^{\circ}C\pm 5)$, 습도 55%(65% 이하)

PE(10mm), PE(20mm), BPE(10mm), BPE(20mm), PE(10mm) + BPE(10mm) 및 차폐체가 없는 BKG용으로 분류한 차폐함은 중성자 선원(원자로 Cavity)을 기준으로 동일한 거리에 배치하였는데 중성자 TLD는 각 차폐함에 3개씩 삽입하였고, 차폐함 간의 간격은 상호 산란효과를 최소화 하기 위해 약 20cm의 간격으로 이격시켰다. TLD 착용위치를 고려하여 지면으로부터 1m 높이에 위치하도록 설치한 차폐함을 그림 1에 나타내었다.



그림 1. 중성자 차폐효과 실증용 차폐함

결과 및 고찰

중성자 차폐효과에 대한 결과는 차폐체가 없는 BKG 관독선량을 기준으로 Boron이 5% 포함된 BPE에서 50% 이상 차폐효과를 보였다. 5종류의 차폐함 및 BKG함에 삽입된 3개의 TLD 관독선량 결과는 TLD 3개의 평균 관독선량값의 5%이내에 모두 들어왔으며 그 결과를 표 1에 나타내었다.

표 1. 중성자 TLD 관독선량 결과

구분	관독 평균 선량값	차폐율(%)
PE(10mm)	4.25 mSv	-79.32
PE(20mm)	5.39 mSv	-127.42
BPE(10mm)	1.07 mSv	54.85
BPE(20mm)	0.82 mSv	65.40
PE(10mm)+BPE(10mm)	0.83 mSv	64.98
BKG (차폐체 없음)	2.37 mSv	0

참고문헌 [1]의 Table A.42 Ambient and personal dose equivalent per unit fluence, $H^*(10)/\phi$ 에서 보면 중성자 에너지가 20MeV에서 2.00×10^{-3} MeV까지는 선량환산계수가 감소하다가 2.00×10^{-3} MeV에서 5.00×10^{-7}

MeV 까지 증가함을 알 수 있는데 중성자에너지별 선량환산계수 특성을 그림2에 나타내었다. 중성자 차폐체 중 PE는 높은 에너지의 중성자를 낮은 에너지의 중성자로 낮추는 산란효과만을 일으키기 때문에 중성자 스펙트럼에 따라 선량이 증가할 수도 있으므로 PE의 실험결과에서 관독선량이 감소되지 않고 증가한 이유도 같은 원인으로 판단된다. 반면 BPE의 경우는 1.00×10^{-5} MeV이하의 중성자를 대부분 흡수하므로 피폭선량이 감소한다[2,3].

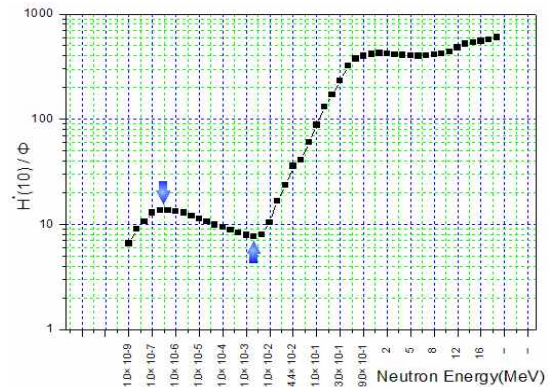


그림2. 중성자에너지 준위별 선량환산계수

결론

광자에 대한 방사선작업종사자의 피폭방사선량 저감을 위해 납차폐복을 활용하고 있는 반면, 중성자에 의한 방사선영향이 상당히 큼에도 불구하고 적절한 차폐수단이 부족하였다. 본 연구결과로부터 중성자의 차폐복의 상용화 적용타당성을 제시하였으며 원자력 발전소 및 중성자선원 사용시설에 대한 중성자 차폐복 도입은 제어하기 힘들었던 중성자 피폭선량 저감에 기여할 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. Conversion Coefficients for Use in Radiological Protection Against External Radiation ICRP-74
2. Boron과 Gadolinium의 중성자 차폐효과 비교, 대한방사선방어학회 추계 학술발표회 (2007)
3. Neutron Shielding Effects with the combined of Polyethylene and Borated Polyethylene 대한방사선방어학회 추계발표회(2008)