

원전 주요작업 광자 에너지 분포에 따른 납 차폐복 선량저감 효과 분석

정 형 권 · 김 정 인 · 이 병 일 · 임 영 기

한국수력원자력(주) 방사선보건연구원

E-mail: 33001003@khnp.co.kr

중심어 : 원전, 납 차폐복, MIRD-V, MCNP

서 론

우리나라 원자력 발전소에서는 특정 작업 환경에서 피폭저감을 위해 납 차폐복을 사용하고 있다. 외부 방사선장에 대한 작업자의 선량평가는 법정 개인선량계인 열형광선량계(TLD)나 필름벤티의 판독값과 교정선장으로부터 구해진 선량환산계수를 이용하는 일련의 알고리즘을 통해 이루어진다. 하지만 이러한 선량평가 방법은 납 차폐복 착용과 같은 특수한 형태가 아닌 일반적인 경우에만 적용가능하기 때문에 실제 현장에서는 보수적인 접근방법으로 차폐복으로 덮이지 않은 부위에 개인선량계를 착용하거나 차폐복 안쪽과 바깥쪽에 복수개의 선량계를 착용하여 분석하는 방법이 시도되고 있다. 그러나 이러한 시도 역시 납 차폐복 착용에 따른 정확한 선량 저감효과 분석이나 개인선량평가에는 한계가 있다. 따라서 납 차폐복을 착용한 상태에서 작업자의 선량을 정확하게 평가하기 위해서는 주어진 피폭환경에 대한 방사선에너지 및 입사 방향등의 정확한 정보가 요구되지만 실제로 이러한 피폭환경에 대한 정보가 없을 경우 기준방사선장에 의한 보수적 접근 방법이 일반적으로 적용되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 국내 원전의 주요 방사선 작업공간의 광자 에너지 분포를 측정하고 이에 대한 납 차폐복의 차폐효과를 분석하여 방사선량 측면에서의 납 차폐복 착용에 대한 보수성을 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

원전 내 방사선에너지 분포 측정은 2×2 inch의 NaI 신틸레이터가 달린 휴대용 핵종 검출기를 사용하여 방사선 관리 측면에서 중요하다고 판단되는 원전 O/H 기간의 대표적인 작업공간에 대해 수행하였다.

측정된 주요 작업별 대표 방사선 에너지 분포는 몬테카를로 방사선수송코드인 MCNPX의 입력자료로 사용하였으며 차폐복에 의한 선량감소효과를 평가하기 위해 MIRD-V 모의 피폭체에 추가적으로 외부에 납 차폐복을 두께 0.5, 1, 1.5, 2mm로 모델링 하였다.[1,2] 그림 1은 납 차폐복을 추가로 모델링 한 MIRD-V 모의 피폭체를 보여준다.

차폐복에 의한 선량저감효과 분석을 위해 기준선장으로 Cs-137 선원의 662keV를 가정하였으며 각 주요 작업별 측정스펙트럼에 의한 선량을 기준선장 대비 저감율로 평가하였다.



Fig. 1. The MIRD-V mathematical phantom with lead shield modeled by MCNPX code

결과 및 고찰

휴대용 핵종 검출기를 사용하여 측정된 원전 O/H 기간의 주요 작업 공간에 대한 광자의 평균에너지는 0.26MeV에서 0.50MeV까지 다양하게 나타났다. 이는 납 차폐복 착용 시 이보다 더 높은 에너지의 기준선장을 고려하면 예상보다 더 많은 선량저감효과를 기대할 수 있게 된다.

그림 2에 납 차폐복 두께를 0.5mm에서 2mm로 한 MIRD-V 모의 피폭체에 실측한 원전 내 각 작업 환경에서의 광자 에너지 스펙트럼에 대한 기준선장 대비 선량저감효과 평가결과를 나타내었다. 측정 에너지 스펙트럼의 평균에너지가 낮을수록 실제 차폐복에 의한 선량저감효과는 크게 나타나며 stud hole 점검작업의 경우는 0.5mm 두께의 납 차폐복에 대하여 약 20%정도, reactor cavity 공간에 대해서는 최대 80%이상 기준선장대비 선량이 감소되는 것으로 평가되었다.

이러한 선량감소효과 평가결과는 실제로 방사선에너지 분포에 대한 정보가 없을 경우 기준선장으로 가정하여 차폐복을 착용하였을 시 예측된 선량보다 실제 작업후의 선량이 상당부분 더 감소하며 차폐복 착용 시 예측선량이 상당히 보수적으로 평가됨을 보여준다.

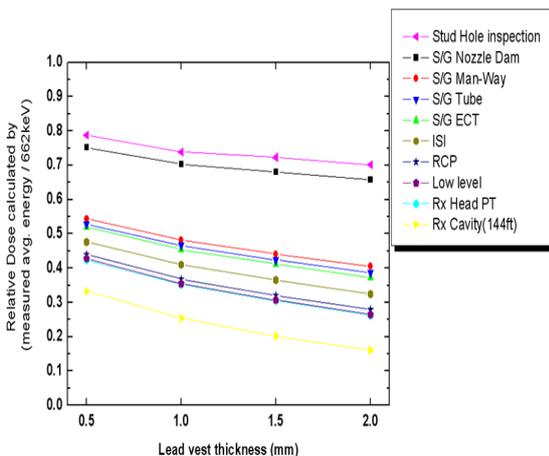


Fig. 2. Lead vest dose reduction effects for various working area in nuclear power plants

또한, 납 차폐복의 착용에 따라 작업효율은 감소하게 되므로 선량저감효과가 별로 없는 경우 오히려 무거운 차폐복 착용 시 작업시간 연장에 따른 선량증가의 우려가 있다.

결론

원전 내 주요 방사선작업에 대하여 방사선에너지 분포를 측정하고 몬테카를로 방법을 적용하여 측정 에너지 분포에 대한 납 차폐복 착용 시 기준선장 대비 선량저감 정도를 분석함으로써 납 차폐복 착용의 보수성을 평가하였다.

평가결과는 20%에서 크게는 80%까지 기준선장 대비 선량이 더감소함을 확인하였으며 이는 납 차폐복 착용이 선량예측에 있어 상당히 보수적일 수 있음을 보여준다.

국내 원전에서는 다양한 형태의 납 차폐체가 선량저감을 목적으로 사용되고 있으며 선량률 및 보수적인 기준선장에 의해 차폐가 계획된다. 따라서 방사선 방호의 최적화 개념에서 접근한다면 방사선에너지 분포에 근거한 적절한 차폐설계가 필요할 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. Denise B. Pelowitz, editor, "MCNPXTM user's manual, ver 2.6.0." LA-CP-07-1473, (2008).
2. W. S. Snyder, M. R. Ford, G. G. Warner, "Estimates of Specific Absorbed Fraction for Photon Sources Uniformly Distributed in Various Organs of a Heterogeneous Phantom." Society for Nuclear Medicine, New York, MIRD Pamphlet No. 5. Revised, (1978).