

복수선량계를 적용한 증기발생기 Nozzle Dam 설치 작업자 유효선량 평가

김정인 · 이병일 · 임영기
한국수력원자력(주) 방사선보건연구원
E-mail: neogen21@khnp.co.kr

중심어 (keyword) : 계획예방정비, 증기발생기, Nozzle Dam, 복수선량계, 유효선량

서론

원전 방사선작업자의 선량평가 정확도 향상을 위해서는 방사선의 선질과 에너지, 입사방향에 대한 정보가 중요하다. 따라서 일반적인 경우 작업자의 가슴에 착용되는 TLD 판독값 이외에 가급적 많은 양의 선량 관련 정보를 얻는 것이 필요하며 이에 가장 쉬운 접근 방법으로는 다수의 선량계 착용을 들 수 있다.

국내 원전의 경우 미국원자력규제위원회(USNRC)에서 복수선량계의 판독값에 적절한 가중치를 부여하여 유효선량을 평가하도록 규제지침을 발표함[1]에 따라 최적의 알고리즘 적용방안을 도출하기 위해 영광 4호기 제7차 O/H 기간에 증기발생기(S/G) Nozzle dam 설치/제거 작업과 가압기 전열기 교체작업 등을 대상으로 하여 여러 복수선량계 알고리즘을 검토 후 기술적 배경과 작업의 편의성 등을 고려하여 다음의 NCRP (55/50) 알고리즘[2]을 선정하고 방사선량률이 1mSv/h를 초과하며, 신체 특정부위의 예상피폭선량이 가슴부위에 비해 30%이상 차이가 나고, 단일 작업으로 2mSv 이상의 피폭방사선량을 받을 것으로 예상될 때로 착용요건을 변경하여 적용하고 있다.

$$H_E = 0.55H_p(10)_{front} + 0.50H_p(10)_{back}$$

이러한 복수선량계를 이용한 유효선량 평가 알고리즘들은 1mSv이하의 상대적으로 저선량에서는 각 알고리즘 별로 차이가 크지 않으나 선량이 증가할수록 그 편차가 수십 퍼센트 이상 커지게 되며 여러 피폭

상황에 적용 가능한 최적의 평가 알고리즘이 특정 피폭환경을 평가하는 최적의 알고리즘은 아니므로 피폭 작업별 작업내용, 작업장 상황분석, 방사선장의 공간 분포, 방향성 및 에너지 스펙트럼 등의 평가가 요구된다.

S/G 수실 내 Nozzle dam 작업의 경우 단 시간동안 고 선량에 노출되는 대표적인 복수선량계 착용 대상 작업으로서 방사선장 및 작업형태가 선량평가에 중요한 요소가 된다. 따라서 본 연구에서는 복수선량계 착용 대표 작업이라고 볼 수 있는 Nozzle dam 설치 작업자의 TLD 실측결과와 몬테카를로 모사 방법을 이용하여 작업자의 작업형태 및 유효선량 평가결과를 분석하고자 하였다.

재료 및 방법

S/G 수실 내의 방사선장은 크게 U-tube 영역의 침적크러드에 의한 부분과 수실 벽면과 바닥의 오염에 의한 부분으로 구분할 수 있는데 수실 내부는 세정작업을 통해 Nozzle dam 설치작업 이전에 상당부분 제거가 되기 때문에 U-tube 영역에 비해 그 영향은 미미하다고 볼 수 있다. 따라서 수실 내 방사선장은 위에서 아래로 향하는 것으로 가정하였다. Nozzle dam 설치 작업의 경우 H/L 과 C/L 부분이 수실의 아래쪽 경사면에 위치하게 되므로 실제로 작업자는 몸을 앞쪽으로 많이 기울인 상태에서 작업하게 되어 작업 시 몸의 기울인 정도가 유효선량 값에 상당한 영향을 미치게 된다. 따라서 이 효과를 평가하기 위해

MIRD-V 모의 피폭체의 팔, 다리에 해당하는 부분을 작업자의 작업모습에 맞도록 변형시키고 MCNPX 2.6 방사선수송코드를 이용하여 피폭체를 수평방향에 대해 30°~60°의 경사를 두고 0.2MeV~1.4MeV의 감마 에너지에 대한 유효선량을 산출하였다. 또한 작업자의 복수선량계 착용을 모사하기 위해 피폭체의 가슴, 등에 TLD를 위치시키고 반응도를 상대평가 하였다.

몬테카를로 모사를 이용한 평가에 추가적으로 실제 Nozzel dam 설치 시 작업자의 가슴, 등, 머리에 각각 TLD를 착용시켜 S/G의 H/L, C/L의 wet dam, dry dam, 가압호스 설치 작업자 10명에 대해 그 판독값과 복수선량계 알고리즘을 적용한 유효선량평가 결과를 분석하였다.

결과 및 고찰

모사결과 피폭체의 기울임이 작아질수록 유효선량은 상대적으로 감소하였으며 이는 저에너지 영역으로 갈수록 현저하게 나타났다. 하지만 이러한 결과는 방사선장을 평행방사선장으로 모사한 결과이며 실제 등방면 선원으로 모사할 경우에는 머리 쪽으로 갈수록 선량률이 높아지므로 피폭체의 기울임이 작아질 경우 오히려 선량이 증가하는 것으로 나타난다. S/G 수실 내부는 상부의 선량률이 하부의 선량률 보다 높은 것이 일반적이므로 작업자가 서서 작업할 경우 실제선량보다 TLD 선량값이 더 높게 평가될 수 있으나 신체를 기울여서 작업하게 되면 이러한 효과는 줄어들게 되므로 작업자의 선량을 충분히 보수적으로 평가하는 것으로 접근하는 데에는 주의가 필요하다고 판단된다.

TLD 실측결과를 보면 그림 1과 같이 가슴과 등에 위치한 TLD 선량이 현저히 차이가 나는데 이는 작업자가 몸을 앞으로 충분히 기울여서 작업하는 데에서 기인함을 알 수 있다. 작업자의 머리에 위치한 TLD 선량은 등쪽 선량보다 적게 나타나는 데, 이 또한 작업특성을 반영하는 결과이며 일반적으로 수실 중심부보다 바깥쪽이 상대적으로 선량률이 낮기 때문에 작업자가 머리를 등보다 아래로 향하여 작업하는 것 보다는 수실 내의 중심부에서 보다 상대적으로 먼 곳에 위치하기 때문으로 보인다. Wet dam, Dry dam, 가압호스 연결 작

업 모두 위치별 TLD 선량 분포가 일정하므로 각 작업 시 작업자의 작업형태도 거의 동일한 것으로 판단된다.

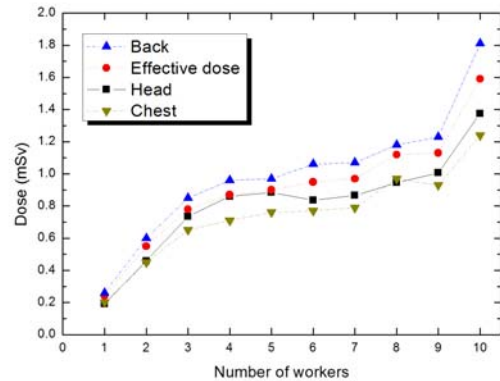


그림 1. Nozzel dam 설치 작업자의 신체 부위별 TLD 선량과 산출 유효선량과의 비교

결론

몬테카를로 모사방법과 실측자료를 토대로 S/G Nozzel dam 설치 작업자의 작업형태와 유효선량평가 결과를 분석하였다. Nozzel dam 설치 작업자는 신체를 상당히 기울여 작업하기 때문에 서서 작업하는 경우보다 TLD 선량이 충분히 보수적이지 않은 것으로 평가되었으며 세부작업 모두 TLD 착용 위치별 선량 분포가 일정한 것으로 평가되어 작업형태도 동일한 것으로 판단되었다. 발전소의 계획예방정비 기간의 S/G 수실 내부의 방사선장은 크러드의 침적상태에 따라 변동하므로 선원향을 정확히 모사하는 데에는 한계가 있다. 향후 공간선량률 측정이나 샘플 채취 및 직접측정 방법을 통하여 S/G 선원향을 평가하고 이를 반영할 계획이다.

참고 문헌

1. USNRC, NRC Regulatory Issue Summary 2004-01.
2. NCRP, NCRP Report No. 122, "Use of Personal Monitors to Estimate Effective Dose Equivalent and Effective Dose to Workers for External Exposure to Low-LET Radiation" 1995.