

비파괴검사 작업의 직무별 상대적 위험도 평가

장한기 · 유형준 · 김지영 · 이교민 · 이재기 · 조건우*
한양대학교 · 한국원자력안전기술원*
E-mail: hkjang@rrl.hanyang.ac.kr

중심어 (keyword) : 비파괴검사, 위험도, 직무분석, 피폭시나리오

서론

위험도 정보 활용 규제 기법은 위험에 미치는 영향이 크거나 성능이 취약한 시설 및 설비에 대하여 자원을 집중 투자하여 실질적 안전성을 향상시키고 규제자의 효율성과 사업자의 불필요한 규제부담 경감을 통해 자율적, 창의적 안전성 확보를 유도하는 등 많은 장점을 가지고 있다. 이를 활용하기 위해서는 시스템에 대한 세부적인 위험도 평가 결과가 필요한데 비발전 분야(의료 및 산업체 등)의 경우 방사선위험도에 대한 정량적 평가가 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 비발전 분야 중 위험도가 상대적으로 높은 비파괴검사분야(RT)에 대해 각 직무별 상대적 위험도를 정량적으로 평가하고자 한다.

재료 및 방법

비파괴검사 분야의 직무분석 및 피폭시나리오를 구축하기 위해 과거 사고사례검토와 현장방문을 통해 수행하였다. 방사선투과검사 대상의 분류기준은 대상 분야, 대상 설비 및 검사대상물에 따라 다양하며 이는 작업절차의 표준화 과정을 어렵게 한다. 따라서 본 연구에서는 선원(감마선조사기)을 중심으로 선원저장, 선원운반, 사용(촬영), 선원교체, 특수취급, 선원관리 이상 6가지 작업절차로 분류하였다. 여기서 특수취급 과정은 사용 중 발생하는 조사기 정비나 수리와 같은 예외적인 작업이며 사용현장에서 비정상적 선원 누출에 의한 선원 회수 조치 경우를 포함한다.

국내의 경우 사고정보의 체계적인 구축이 미흡하여 위험도 평가를 위한 정보가 부족한 현실이며 가용한 자료라도 불확실성이 내재하여 평가 결과에 영향을 미치게 된다. 이런 경우 유용한 연구방법 중 하나는 전문가 의견 도출을 위한 델파이 방법인데 본 연구에서는 자료 수집을 위한 도구로 사용하였다. 수집된 자료의 정량화를 위해 베이지안 추론을 사용하였으며, 최종 위험도 평가는 확률론적 위험도 평가를 위해 불확실성과 다양성을 고려한 2D MCA기법을 사용하였다. 위험도 평가 모델은 USNRC에서 제시하는 모델을 사용하였으며 델파이 조사로 수집된 변수(거리, 시간, 빈도, 안전인자 확률 등) 이외의 입력변수(예: DRF; Dose reduction factor)는 NCR자료를 참조하여 반영하였다. 입력변수 특성화를 위해서는 마코프연쇄 몬테칼로 방법을 사용한 WinBUGS, 확률론적 평가를 위해서는 CrystalBall을 사용하였다.

위험도 평가 대상은 정규작업 및 사고시로 구분하여 방사선작업종사자와 일반인이며, 여기서 일반인은 작업장 근처의 일반 작업자를 포함한다.

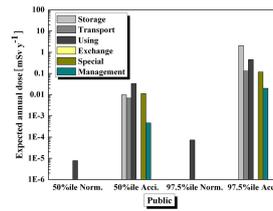
결과 및 고찰

일반인에 대한 정규작업의 위험도는 사용(촬영)작업을 제외한 다른 직무에서는 시나리오 구성과정에서 배제하였다. 그림 1은 정규작업 및 사고시로 구분하여 일반인 및 작업자에 대한 비파괴검사 직무별 위험도를 나타내었다. 거의 모든 작업절차에서 정규작업 보다 사고시의 위험도가 더 크게 평가 되었는데 이는

사고가 발생할 확률은 정규작업보다 낮지만 사고가 일어날 경우 고선량을 받을 가능성이 정규작업보다 높게서 기인한다. 사고시 작업자 및 일반인에 대한 50%ile의 위험도는 사용(촬영)작업이 가장 높게 평가된 반면 일반인에 대한 97.5%ile의 경우 저장작업의 위험도가 상대적으로 높게 평가되었다.

저장작업에서 작업자의 경우 50%ile의 정규작업과 사고시의 상위 위험도(95%)를 비교하면 약 10배정도 차이를 보이고 있지만 97.5%ile의 상위 위험도는 가장 심각한 시나리오를 고려하여 평가한 결과이므로 약 200배 정도의 차이를 보이고 있다. 이는 저장작업에 대한 빈도수가 다른 작업에 비해 상대적으로 많고, 조사장비(선원)와의 거리 및 시간에 대한 영향으로 평가된다. 사고시의 시나리오는 저장작업 중 선원의 비정상 위치를 확인하지 못한 상황에서 일반인 및 작업자의 접근성이 용이 하였기 때문으로 보인다. 운반작업의 경우 일반인에 대한 사고시 위험도는 97.5%ile의 95%값이 1 mSv y^{-1} 미만으로 평가되어 극히 미약한 것으로 평가되었다. 작업자의 경우 가장 심각한 시나리오를 고려하여 평가한 위험도도 연간선량한도 미만으로 평가되었다. 사용(촬영)작업의 경우 작업자의 정규작업 시 연간 최대 예상되는 선량은 49.6 mSv y^{-1} (97.5%ile의 95%값)로 평가 되어 한해 최대 가능 피폭선량인 50 mSv 에 근접하였다. 반면 일반인의 정규작업 위험도는 극히 미약한 것으로 평가 되었으며, 사고시의 경우 작업자 및 일반인의 위험도(97.5%ile의 95%값)는 선량한도를 상회하였지만 50%ile의 중앙값은 그 이하로 평가되었다. 촬영 작업에서 작업자에 대한 사고시 위험도는 과거 사고사례와 유사한 시나리오 선량평가 결과와 비교할 때 근접하게 평가되었다. 선원교체 작업에서 작업자에 대한 위험도 평가 결과는 정규작업의 경우 매우 미약한 것으로 평가 되었으며, 사고시의 경우 4.25 mSv y^{-1} (97.5%ile의 95%값)로 평가되었다. 특수작업의 경우 작업자 및 일반인의 97.5%ile의 위험도 범위는 $[3.10, 3.44 \times 10^2]$, $[1.26 \times 10^{-2}, 1.07]\text{ mSv y}^{-1}$ 로 각각 평가되었다. 선원관리 작업에서 일반인에 대한 사고시 상위 범위의 위험도 평가 결과 일반인 선량한도 미만으로 평가되었다. 작업자의 경우 정규작업에 대한 위험도는 사고시에 비해 상대적으로

낮게 평가 되었지만, 사고시 가장 극단적인 상황의 경우 위험도는 21.7 mSv y^{-1} 로 종사자의 평균선량한도를 초과하는 것으로 평가되었다.



(a) public (b) worker

Fig. 1 Risk of the 50%ile and 97.5%ile median for public and worker in NDT

결론

비파괴검사의 직무형태 및 작업현장의 조건 및 환경은 매우 다양하여 이에 따른 위험도 또한 상이하게 평가 되었다. 상기 연구 결과는 원자력시설과 달리 지금까지 피상적으로 접근하던 방사선사용에서 리스크 정량화를 위한 체계적 접근의 개요를 제공하였으며, 정규 피폭이 높거나 잠재피폭 위험이 큰 방사선이용 시설에 대한 위험도 결과는 위험도 정보 활용 규제 접근 정책에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부 원자력기술개발 사업, 지식경제부(2008-P-EP-HM-E-06-0000), 선광원자력 안전(주)지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

1. 장한기 외 4인, 확률론적 기법과 전문가 판단을 이용한 비발전 분야의 위험도 평가 방법론 개발, 대한 방사선방어학회 춘계 학술발표, (2009).
2. U.S. Nuclear Regulatory Commission, Risk analysis and evaluation of regulatory options for nuclear byproduct material systems, NUREG/CR-6642, (2000).