

고선량률 근접치료의 확률론적 위험도 평가를 위한 입력변수 특성화 연구

유형준 · 장한기 · 김주연 · 이재기 · 조건우*
한양대학교 · 한국원자력안전기술원*
E-mail: hjryu@rrl.hanyang.ac.kr

중심어 (keyword) : 고선량률 근접치료, 확률론적 위험도 평가, Monte Carlo Analysis, 전문가 판단, 베이지안 추론

서론

방사선을 이용한 의료기술의 발전과 산업에서의 방사선 이용에 대한 수요가 증가함에 따라 방사선 시설에 대한 종사자 및 일반인의 잠재적 피폭 또한 증가하고 있다. IAEA, ICRP 등 국제기구에서도 방사선 이용 시설에서의 잠재적 위험에 주목할 것을 권고하고 있으며[1,2] US NRC에서는 방사선을 이용하는 주요 시스템에 대한 위험도 및 피폭선량을 평가한 바 있다 [3]. 위험도는 일반적으로 사건이 발생할 빈도수에 그 사건의 결과, 즉 피폭선량을 곱함으로써 평가할 수 있으며 피폭선량은 US NRC에서 제시하는 외부피폭 모델을 사용하여 근사할 수 있다. 본 연구에서는 방사선 이용시설 중 상대적으로 높은 위험도를 가질 것으로 예상되는 고선량률 근접치료 시스템에 대해 발생 가능한 사건들의 시나리오를 구성하고 입력변수들을 특성화 하였으며 이를 바탕으로 확률론적 위험도평가를 수행하였다.

재료 및 방법

고선량률 근접치료 시 방사선 피폭사고에 대한 사례 및 통계자료의 부족으로 인한 확률론적 평가의 어려움을 해결하기 위해 델파이 조사를 수행하였다. 델파이 조사방법은 전문가 집단의 경험적 판단을 바탕으로 집단 추정치를 찾고, 종합된 결과를 피드백하여 최종적으로 합의된 결과를 이끌어내는 방법이다. 델파이 설문 설계를 위해 우선 고선량률 근접치료의 작업

절차를 분석하고 전문가 의견을 수렴하여 치료과정에서의 안전인자를 설정하였으며, 이를 기반으로 발생 가능한 사건 시나리오를 구성하였다. 조사를 위한 전문가 집단은 의학물리사 및 방사선사 그룹으로 나누어 구성하였으며, 시나리오상 안전인자의 실패확률과 피폭모델에서의 선량평가인자 값을 도출하기 위한 설문을 각 그룹별로 3차에 걸쳐 진행하고 결과를 수집하였다.

고선량률 근접치료의 작업 단계 중 환자치료 과정에 대해 작업종사자와 일반인을 대상으로 각각 정규 작업 시와 사고 시의 위험도를 평가 하였으며, 확률론적 위험도 평가방법으로 1D MCA(Monte Carlo Analysis) 및 2D MCA 기법을 적용하였다. MCA 기법을 적용한 확률론적 위험도 평가를 위해, 3차까지의 델파이 조사를 통해 수집된 입력변수 및 안전인자의 실패확률들을 Crystalball의 Batch fit 함수를 통해 최적의 확률분포를 도출하였다. 또한, 표본 집단의 확률분포 양 끝단에 위치한 결과 값들이 최종 위험도평가 결과의 편향에 미치는 영향을 비교하기 위해 표본 중 95% 신뢰구간 이내의 결과들을 이용해 위험도를 평가하고 비교하였다.

델파이 기법의 문제점은 표준화된 근거없이 전문가의 주관적인 의견 합의로써 추정된 결과의 타당성 여부이다. 이를 보완하기 위해 델파이 조사를 통한 반복 설문 결과에 베이지안 방법을 이용하여 결과를 갱신함으로써 행동학적 접근방법인 델파이 조사방법에 수학적 접근방법을 접목하였다. 최종 입력변수의 사후 분포 계산에는 Markov Chain Monte Carlo(MCMC)를 기반으로 한 통계패키지인 WinBUGS V.1.4.3를

사용하였다.

결과 및 고찰

고선량률 근접치료의 직무분석 및 델파이 조사를 통해 도출된 각 안전인자의 실패 확률을 적용하여 수행한 사건수목분석(Event Tree Analysis) 결과는 그림 1과 같다.



그림 1. 고선량률 근접치료 ‘치료실시’ 과정의 사건수목분석

그림 2에는 정상작업에 대한 종사자의 위험도 ID MCA 결과를 CDF로 나타내고 입력 변수의 특성화 방법에 따라 비교하였다. 95% 신뢰구간내의 결과는 3차 델파이조사 결과에 비해 확률분포의 첨도는 높아 지지만 신뢰구간을 벗어난 자료를 무시하게 되므로, 결과적으로는 베이지안 방법을 사용한 입력변수의 특성화 방법이 가장 적절함을 알 수 있다.

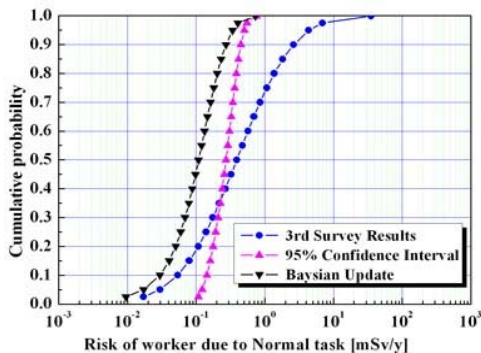


그림 2. ID MCA를 이용한 고선량률 근접치료의 정상작업에 대한 종사자의 위험도 평가

그림 3은 종사자의 정상작업에 대한 2D MCA 결과를 나타내었다. 2D MCA는 입력변수들을 정량화하고 특성화하는데 불확실성과 다양성을 고려함으로써

최종 평가된 위험도 결과에서 ID MCA에 비해 더 많은 양의 정보를 제공한다.

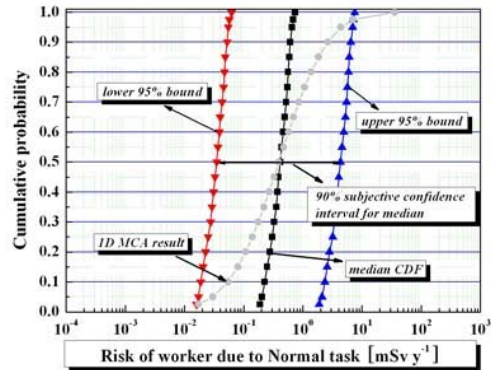


그림 3. 2D MCA를 이용한 고선량률 근접치료의 정상작업에 대한 종사자의 위험도 평가

결론

고선량률 근접치료에 대한 작업분석 및 리스크 인자의 특성화를 통해 확률론적 위험도 평가를 수행하였다. 연구 과정에서 이루어진 확률론적 위험도 평가 절차는 차후 다른 방사선이용시설들에 적용될 수 있을 것이다. 방사선 이용시설의 위험도 평가 결과는 계획 혹은 잠재 피폭에 대한 방사선 방호계획을 수립하는데 정보를 제공할 수 있을 것이며 방사선이용에 대한 국민의 신뢰를 높이는데 기여할 것으로 생각된다.

감사의 글

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

참고 문헌

1. ICRP, Radiological protection and safety in medicine, ICRP publication 73, (1996).
2. IAEA, Generic procedures for assessment and response during a radiological emergency, IAEA-TECDOC-1162, (2000).
3. U.S. Nuclear Regulatory Commission, Risk analysis and evaluation of regulatory options for nuclear byproduct material systems, NUREG/CR-6642, (2000).