

고피폭 방사선작업 식별을 위한 DB 프로그램 개발 및 검증

손중권, 강기두, 김학수, 박경록, 김경덕, 김용민*, 강창순*, 조영호**

원자력환경기술원, 대전 유성구 덕진동 150

*서울대학교, 서울시 관악구 신림동 산 56-1

** 포스데이터(주), 경기도 성남시 분당구 서현동 276-2

원전 작업종사자 방사선 피폭 저감을 위해서는 우선 고피폭을 유발하는 방사선작업들을 파악하여 적절한 설계개선, 피폭저감 기술들의 도입, 작업절차 개선 등이 필요하다. 본 연구에서는 작업종사자 피폭선량 평가를 위한 데이터베이스 프로그램을 개발하였으며, 이를 위해 원전 현장에서 수행되는 모든 방사선작업들의 피폭관련 자료를 토대로 피폭선량 데이터베이스를 구축하였다. 여기에는 원전 정기보수 기간 중 작업현장에서 수행되는 방사선작업에 대한 모든 상세한 피폭관련 데이터들을 포함하고 있다.

데이터베이스 프로그램을 이용하여 26개의 주요작업, 91개의 상세작업에 대해 작업자 집단선량을 평가하였다.

일반적으로, 각 작업별로 피폭자료들을 분석할 때 대부분 작업별 피폭자료의 평균값이나 중간값 또는 최대값 등의 특정한 대표값을 이용하며, 이러한 대표값을 이용하여 방사선작업들을 비교 분석하고, 피폭저감이 상대적으로 더 필요한 고피폭작업들을 파악하고 있다. 그러나 실제로 이러한 대표값들은 해당 방사선작업의 피폭자료들 전체를 대표하기에는 부족하며, 그 전체 분포를 고려하지 못한다는 단점을 내포하고 있다. 이에 따라, 본 논문에서는 피폭자료의 전체 분포를 고려하여 반복성 고피폭작업들을 파악해 내기 위한 방법론으로서 기존의 Point Dose Value Method를 보완할 수 있는 Percentile Rank Sum Method를 개발하였다. Percentile Rank Sum Method를 이용한 반복성 고피폭작업 도출은 3 단계로 구성되며, 추가로 결과 검증 단계를 거친다. 1 단계에서는 각 방사선작업별로 집단선량값 데이터를 토대로 백분위수값들을 도출하고 2 단계에서는 각 백분위수값별로 집단선량값의 크기에 따라 각 방사선작업들에 순위를 매긴다. 마지막으로 3 단계에서는 각 방사선작업별로 백분위수값들의 순위합을 구하고, 이를 이용하여 최종순위를 결정한다.

본 논문에서는 개발한 반복성고피폭작업 식별체계인 Percentile Rank Sum Method 및 그에 기초한 식별결과가 이론적으로 적절한 것인지의 여부를 검증하는 통계적 방법론에 대하여 검토하였다. 최종 결과인 작업별 순위합의 순위가 해당 작업을 대표할 수 있는지의 대표성 여부와 전체 도출 과정 및 결과가 타당한지의 여부를 검증할 필요가 있으므로 이에 초점을 맞추었으며, 이 두 가지 목적에 부합되는 방법으로 비모수적 방법에 속하는 윌콕슨 부호순위 검정과 프리드만 검정을 선정하여 적합성을 평가하였다.

우선 주요작업들에 대하여 최대방사선량률이 높은 작업, 작업인원이 많은 작업, 작업빈도가 높은 작업, 그리고 집단선량이 높은 작업 순위를 도출하였다. 이러한 방법으로 순위가 높은 10개 작업을 분석한 결과 모든 S/G 관련 작업들이 선량률이 높은 작업들의 최상위에 있으며 나머지는 Filter 관련작업, 격납건물 누설시험, 핵연료교체작업, 제염세탁 작업, RCP 점검보수 작업, 가동중 검사, In-core 작업 등이 다음 순서를 차지하고 있다. 작업인원 분석에 의하면 가장 많은 작업인원이 투입된 작업은 핵연료교체작업이며, 그 다음으로 RCP 점검보수 작업, Valve류 점검보수 작업, 가동중 검사, S/G ECT 작업, In-core 작업, S/G Lancing 작업, S/G Man-way 작업, 기타펌프 점검보수 작업, Snubber 점검보수 작업, Filter 관련 작업 순으로 이어진다. 작업빈도 분석에 의하면 Valve류 점검보수 작업, 핵연료교체작업, RCP 점검보수 작업, 가동중 검사, S/G ECT 작업, In-core 작업, Snubber 점검보수 작업, S/G Lancing 작업, 기타펌프 점검보수 작업, Filter 관련작업 순으로 작업이 수행되었음을 알 수 있다. 그리고 이 순위는 앞에서 작업인원을 기준으로 조사한 순위와도 대체로 일치하고 있다. 연간집단선량(Annual Collective Dose)은 개인피폭선량(Individual Dose)의 연간 총합으로

구할 수 있으며, 연간집단선량 값을 결정하는 주요 인자로는 작업구역에서의 방사선량을, 작업에 투입된 작업인원, 연간 수행된 작업횟수인 작업빈도, 작업 수행에 소요된 작업시간 등이 있다. 집단선량은 개인선량의 경우와는 달리 법적으로 제한된 규제치가 존재하는 것은 아니지만, ALARA 원칙에 준하여 원전 설계 단계에서 설계목표치를 설정하고 운전시 이 목표치를 준수하도록 하고 있다. 구축된 데이터베이스를 이용하여 26개의 주요작업에 대한 집단선량을 산출하였다. 집단선량 분석에 의하면 RCP 점검보수 작업, 핵연료교체 작업, S/G Nozzle Dam 작업, Valve류 점검보수 작업, S/G ECT 작업, S/G Manway 작업, 가동중검사, In-core 작업, S/G Lancing 작업, S/G Tube 관련 작업 등이 상위 10개 작업으로 평가되었다. 전체 집단선량 총합에서 이들 상위 10개 작업의 집단선량의 합이 차지하는 비중은 약 94%이며, 상위 5개 작업과 상위 3개 작업이 차지하는 비중은 각각 약 70%, 50%이다.

주요작업별 집단선량을 평가하여 상위 10 개의 고피폭작업을 도출하였다. RCP 점검보수 작업이 주요작업 중에서 집단선량이 가장 높은 것으로 나타났으며, 선량율면에서는 그 크기 및 순위가 증기발생기 작업들에 비해 상대적으로 높지 않으나 작업인원 및 작업횟수 면에서 각각 2 번째와 3 번째의 순위를 보이고 있어 그 고피폭의 원인이 작업에 투입된 인원이 많음과 다수의 작업빈도에 기인함을 알 수 있다. 핵연료교체 작업도 비슷한 양상을 보이는데 역시 선량율은 높지 않으나 투입된 작업인원과 작업횟수의 정도가 역시 고피폭의 원인이 됨을 알 수가 있다. 이들 두 주요작업에 대해서는 작업인원과 작업횟수를 줄이는 방향으로 피폭저감 노력이 이루어져야 함을 보여준다. 그리고 S/G Nozzle Dam 작업, S/G Manway 작업, S/G Tube 관련 작업 등은 전반적으로 선량율면에서 최상위로 랭크되어 있으나 상대적으로 작업인원이나 작업횟수의 수치 및 순위는 그에 미치지 못하는 것으로 나타났다. 다시 말하면, 증기발생기와 관련된 상기 작업들의 고피폭 원인은 작업 구역의 고선량에 전적으로 기인함을 알 수 있다. 그리고 S/G ECT 작업, S/G Lancing 작업 등은 선량율, 작업인원, 작업빈도 등이 모두 비교적 높은 순위를 나타낸다. 이에 따라 증기발생기 관련 작업으로 인한 고피폭을 저감하기 위해서는 선량율 저감이 반드시 필요하다는 결론을 내릴 수 있다. Valve류 점검보수 작업은 집단선량 순위에서 4위의 고피폭작업으로 작업인원과 작업횟수를 그 원인으로 파악할 수 있다. 그 외에 가동중검사, In-core 작업 등도 작업인원 및 작업횟수가 상대적으로 더 큰 요인임을 알 수 있다.

방사선작업구분에 따르면 방사선작업은 모두 74 개의 상세작업으로 나뉘어진다. 그러나 이 상세작업들 중에서 작업구분상으로는 존재하지만 실제로 작업은 이루어지지 않는 명목상의 작업들을 포함하여 집단선량 평가를 위한 충분한 데이터가 존재하지 않는 작업들이 12 개 있다. 이러한 작업들을 제외한 62 개의 상세작업에 대해 작업자 집단선량을 평가하였다. 그 결과 62 개의 상세작업에 대해 총 4334 개의 집단선량 데이터를 확보하였다. 이 데이터를 기초로 Percentile Rank Sum Method를 이용하여 62 개의 방사선작업에 대해 순위를 계산한 결과 Dam 설치, RCP 모터 작업, 원자로 결합, RCP TVCS 작업, 원자로 해체 등이 상위 5개였다. 상세작업중 고피폭 상위 20 개 작업이 전체 작업자 피폭선량에서 이들 상위 20 개의 작업이 차지하는 비중은 약 70 % 이상이다.

월복순 부호순위 검정 결과에 따르면 74개의 상세작업중 4가지 작업의 순위합이 대표성을 갖지 못하는 것으로 나왔으며, 나머지 모든 작업들은 순위합이 대표성을 가질 수 있는 것으로 나타났다. 프리드만 검정에 의한 검정 결과 순위합의 크기 또는 순서로서 상세작업의 피폭저감 우선순위를 결정하여도 문제점이 없음을 보여주었다.