# 증기발생기세관의 성능저하를 반영한 순간위험도 평가 가능성 연구

김민철, 성계용, 이창주

*한국원자력안전기술원, 대전시 유성구 구성동 19, k400kmc@kins.re.kr*

## 1. 서론

전세계적으로 확률론적안전성평가 방법 및 결과를 원자력발전소 운영과 안전규제에 적용하기 위한 노력은 꾸준하게 진행되고 있다. 초기 단계에서는 확률론적안전성평가 결과를 활용하기 위한 방법론 개발을 중심으로 진행되었고, 현재는 그 동안의 연구결과와 많은 경험 등을 토대로 위험도 정보를 활용하기 위한 방법론을 개발하고 있다. 위험도 정보를 활용한다는 것은 결정론적 접근방법과 확률론적 접근방법을 통합하는 방식이라 할 수 있다.

그 일환으로 국내에서는 발전소 운전 중 구성상태 변화에 따른 순간위험도를 평가하고 그 결과를 활용할 수 있는 기술을 개발하고 있다. 현재까지의 연구는 주로 기존의 확률론적안전성평가 모델링 기법을 순간위험도 평가를 위한 기법으로 전환시의 방법론 개발에 초점이 맞추어져 있다.

그러나, 운전중인 발전소는 구성상태의 변화뿐만 아니라 기기의 노후화 등 안전운전에 영향을 줄 수 있는 여러 요소들이 있다.

원전의 안전성에 영향을 줄 수 있는 정보를 반영한 순간위험도의 평가 가능성에 대한 연구를 수행하고 있으며, 본 논문에서는 상세평가 이전에 민감도 분석을 수행하여 초기사건 및 기기의 이용불능에 따른 노심손상빈도의 변화를 살펴보았다.

## 2. 본론

전세계적으로 13 건의 증기발생기세관파단 사고가 발생[1]하였으며, 국내에서도 2002 년 울진 4 호기에서 경험한 바 있다.

확률론적안전성평가 및 순간위험도 평가시 증기발생기세관 파단에 의한 사고를 초기사건으로 다루고 있다. 그러나 파단사건 발생에 의한 위험을 논리적으로 평가를 할 뿐 세관의 성능저하정도에 따른 위험은 평가되지 않고 있다.

증기발생기 세관 성능이 저하된 상태와 그렇지 않은 경우에 있어서의 발전소 위험도는 동일하지 않을 것이다. 특히 가동중 순간위험도 평가시 두 가지의 경우를 동일하게 평가하게 된다면 아무리 발전소 구성상태를 정확하게 반영한 모델을 사용한다 하더라도 평가당시의 발전소 위험도를 제대로 평가하였다고 할 수 없다.

이를 위해서 다음과 같은 절차를 수립하여 연구를 수행하고 있다. 첫 번째, 증기발생기 세관의 성능을 저하시키는 메커니즘과 기여인자 분석, 두 번째, 증기발생기 세관의 현재 성능 또는 상태 파악, 세 번째, 현재의 성능 또는 상태의 저하를 가속화 시킬 수 있는 기여인자 유무 파악, 네 번째, 기여인자로 인한 증기발생기 세관 손상 가능성 평가, 다섯 번째, 증기발생기 세관의 현상태를 토대로 주증기관파단 등 기타 다른 사건 발생시의 영향 평가.

본 논문에서는 증기발생기 세관 성능저하에 따른 순간위험도 평가의 상세분석 이전에 초기사건 및 기기의 이용불능을 매개변수로 하여 다음과 같이 민감도분석을 수행하였다.

(1) 초기사건빈도의 변경
(2) 초기사건빈도의 변경 및 특정기기의 이용불능 반영
(3) 특정기기의 이용불능 반영

초기사건은 증기발생기세관파단 사고만을 고려하였으며, 평가의 단순화를 위하여 특정기기의 이용불능 고려시, 증기발생기세관파단사고 이외의 다른 초기사건에 의한 노심손상빈도 기여도는 고려치 않았다.

민감도분석 결과,

- 증기발생기세관파단 발생빈도를 k 배 증가시켰을 때, ΔCDF 는 증기발생기세관파단 발생빈도의 k-1 배 만큼 증가하였다: ΔCDF = (k-1)CDF[SGTR],
- 고압안전주입펌프의 이용불능을 반영하여 상기 (2)와 (3)의 결과를 비교해 본 결과, (2)에 의한 ΔCDF 와 (3)에 의한 ΔCDF 의 차이는 (3)에 의한 CDF 의 k-1 배가 된다: ΔCDF[2]-ΔCDF[3] = (k-1)CDF[3],

CDF[SGTR]은 증기발생기세관파단 사고 발생빈도를 의미하며, ΔCDF[2]와 ΔCDF[3]은 상기 (2) 및 (3)에 의한 ΔCDF 를 의미한다. 또한 CDF[3]는 상기 (3)에 의한 평가시의 노심손상빈도를 뜻한다.

## 3. 결론 및 향후계획

인간신뢰도분석에서 인적실수 발생가능성이 증가되는 상황인 경우에 인적실수 발생확률을 Error Factor 만큼 증가시킨다. 이와 유사하게 증기발생기세관손상 사건이 발생할 가능성이 증가하는 상황시 해당 초기사건발생빈도의 Error Factor 를 고려하여 평가하면 ΔCDF 약 2.40E-6 이 된다. (증기발생기세관손상 발생빈도의 Error Factor = 5) 이는 미국 NRC 의 안전심각도결정(safety significance determination process) 측면에서 볼 때 4 가지 등급 중 White 에 해당되는 값으로써, 무시할 수 없는 결과라 볼 수 있다. 또한, 본 논문에서 평가한 증기발생기세관파단 사건의 경우에서도 알 수 있듯이 특정기기가 정비 또는 시험 등으로 이용이 불가능할 때의 순간위험도 평가시 발전소의 상태를 초기사건발생 빈도에 적절하게 반영하여 평가하여야만 할 것이다.

순간위험도 평가시 증기발생기 세관의 성능저하를 반영하기 위해서는 앞서 제시한 바와 같이 세관 성능저하에 따른 위험도를 상세히 평가하여야만 한다. 또한 증기발생기 세관의 성능저하 뿐만 아니라 기타 다른 계통의 성능저하에 따른 위험도를 상세분석하여 순간위험도 평가시 그 결과를 반영할 필요가 있으므로 향후 이 사항들을 중점적으로 추진할 예정이다.

## 참고문헌

[1] 한국원자력안전기술원, 해외 원전 증기발생기 전열관파열사고 사례, KINS/AR-812,2003.