

Development and Applications of Guidance for Modeling ESFAS-ARC and PCS to Improve the Quality of PSA

Yoon-Hwan Lee, Seung-Cheol Jang, Dae-Il Kang, Sang-Hoon Han and Joon-Eon Yang
Korea Atomic Energy Research Institute, P.O. Box 105, Yuseong, Daejeon, South Korea, yhlee3@kaeri.re.kr

1. 서론

표준 원전 PSA 모델의 품질 향상을 위하여 ASME PRA Standard¹⁾를 사용하여 표준원전 PSA의 계통분석에 대해 평가하고 등급향상을 위한 보완사항을 파악하였다²⁾. 평가 결과 여러 가지 보완사항 중 하나로 ESFAS-ARC 및 PCS에 대한 추가 모델링이 필요한 것으로 파악되었다. 이에 본 연구에서는 ESFAS-ARC 및 PCS 모델링 지침³⁾을 개발하고, 개발된 모델링 지침을 표준 원전 고압안전주입 계통의 이용불능도 분석에 적용하였다. 적용 결과, 고압안전주입계통의 이용불능도에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으나, PSA 모델의 품질 향상과 Risk Monitor 등 위험도 정보 활용 측면에서 큰 의미를 부여할 수 있다고 판단된다.

2. 표준원전 계통분석 평가결과

2.1 ASME PRA STANDARD개요와 계통분석 요건

ASME PRA Standard에서는 PSA 품질정도를 나타 내는 등급 평가를 위해 PSA의 기술적인 측면을 9개의 요소로 나누고 있다. 계통분석의 경우에는 세부항목 42개로 초기사건 분석 및 사고경위와 관련된 계통 기능 및 이용불능도에 대한 세부요건이 23개, 공통원인고장 및 계통간 종속성에 대한 세부 요건이 16개, 그리고 문서화 항목 3개로 구성되어 있다.

2.2 표준원전 계통분석 평가결과

표준원전 PSA의 계통분석을 ASME PRA Standard를 이용하여 평가한 결과, 총 42개 요건 중, I 등급이하가 1개(2.4%), I 등급은 13개(30.9%), II 등급은 15개(35.7%), III 등급은 12개(28.6%)인 것으로 판정 되었다.

등급 평가 결과를 토대로 계통분석을 위한 보완사항을 다음과 같이 파악하였다:

- 운전 경험 자료(고장, 정비 등)의 검토 및 모델에의 반영 필요, 필요시 관련 직원과의 면담과 현장 답사 수행 필요
- 정비 절차서나 계통 시험/운전절차서 등을 검토하여 정비 요구 조건 파악 필요
- CCWS cooling isolation 등 변경 가능한 성공 기준을 파악하여 분석에의 반영 및 문서화 필요

- 체계적인 계통 모델링 기준 마련과 이의 일관된 적용 필요
- 공기조화계통 등 계통 운전에서 필요한 보조계통의 상실로 인한 영향 정당화 혹은 보완 필요
- ESFAS-ARC 및 PCS 모델링 필요
- 4개 펌프의 CCF 가능성 등 체계적인 CCF 모델링 및 그룹화 지침 마련 필요
- 기기 성능에 영향을 미칠 수 있는 특정 사고 경위와 격납건물 고장이 미치는 영향을 파악하여 분석에 반영 필요
- 임무 수행 시간 동안 요구되는 전기, 냉각수, 공기 등의 양에 대한 분석 수행
- 정비 절차/시험 절차 등의 참고문헌, 운전상의 경험 기록, 제외된 기기 및 고장 모드 근거 기술 등에 대한 문서화 보완 필요

3. ESFAS-ARC 및 PCS 모델링 지침 개발과 적용

계통분석의 보완사항을 일정 부분 해소하기 위하여 ESFAS-ARC 및 PCS 모델링 지침을 개발하였다. 동 지침을 작성하기 위하여 국내 표준 원전의 여러 가지 절차서와 발전소 직원과의 면담, 그리고 ASME PRA standard 및 표준 원전 계열 PSA 보고서 및 다른 원전 PSA 보고서 등을 검토하였다.

3.1 ESFAS-ARC 및 PCS 모델링 지침 개발의 필요성

현재 표준원전 PSA 모델에서 각 기기의 모델링은 PPS에서 ESFAS를 받는 부분까지만 모델링 되어 있고, ESFAS는 Transfer Gate로 처리하고 있다. 즉, 신호가 ESFAS-ARC를 거쳐 PCS에서 동작 신호를 내는 과정은 모델링에서 생략되어 있다. 따라서 이 부분을 모델링하여 표준 원전 PSA 모델에 반영하였다.

3.2 ESFAS-ARC 모델링 지침

ESFAS를 받는 기기는 ESFAS-ARC를 모델링해야 한다. 여기에서 ESFAS라 함은 SIAS, CIAS, CSAS, RAS, MSIS 및 AFAS를 포함한다. 단, 계통 성공기준에 따라 계통 고장수목에서 자동 작동신호 모델링이 불필요한 기기는 모델링에서

제외하도록 한다. 그 밖에 각 항목별로 자세한 내용은 종합안전평가부에서 개발한 ESFAS-ARC & PCS 모델링 지침서에 상세히 기술되어 있다.

3.3 PCS 모델링 지침

PCS 모델링을 해야 할 대상 기기는 다음과 같다.

- ESFAS를 받는 기기
- 주 제어실에서 hand switch로 원격 조정 가능한 기기
- 수위 스위치나 압력 스위치 등에 의해 연동이 결려 있는 기기

단, 정상 운전 중의 현재 기기 위치로 사고 완화 기능을 수행하는데 문제가 없는 기기나 정상 운전시 열린채 잠겨 있고 전동기의 전원이 제거되어 있는 기기와 같은 경우는 모델링에서 제외하도록 한다.

3.4 개발 지침의 적용

고압안전주입계통에 ESFAS-ARC 및 PCS 모델링을 추가하여 고압안전주입계통의 이용불능도 분석을 수행하였다. 모델 추가 전과 추가 후의 이용불능도 차이를 알아 보았으며, 자세한 내용은 표 1에 나타난 바와 같다.

표1. 고압안전주입계통의 이용불능도 분석결과

·	·	·		
		·	·	(%)
GHSIGTOP	Failure of HPSI Injection 1/4	6.26e-04	6.42e-04	2.6
GHSIHTOP-ML	Failure of HPSI Injection 2/4	3.96e-03	4.06e-03	2.5
GHSRGTOP	Failure of HPSI Recirculation 1/4	1.05e-03	1.09e-03	4.1
GHSRGTOP-L&ML	Failure of Recirculation 1/4 (Broken Loop)	4.19e-03	4.37e-03	4.1
GHSBHTOP-L&ML	Failure of Hot and Cold Leg Recirculation	3.10e-03	3.32e-03	6.8

표 1을 보면 알 수 있듯이 RWT로부터 원자로 냉각재계통의 저온관으로 주입되는 주입운전인 경우의 정점사건보다 재순환 운전인 경우의 정점사건 이용불능도 증가율이 다소 크며, 고온관 및 저온관 재순환운전의 정점사건 이용불능도 증가율이 가장 큰 것을 알 수 있다. 가장 큰 이용불능도 증가율을 보인 정점사건 GHSHBTOP-L&ML의 경우 (HSMVC0699A * HSISAMV0331B) 및 (HSMVO0603A * HSISAMV0604B) 등의

최소단절 집합이 발생되어 모델 변경 전과의 이용불능도 차이를 나타내었다. 여기에서 HSMVO0699A는 모터구동밸브 SI-699 밸브의 열림 실패로 인한 이용불능, HSISAMV 0331B는 모터구동밸브 SI-331 밸브의 PCS 카드 고장으로 인한 이용불능을, HSMVO0603A은 모터구동 밸브 SI-603 밸브의 열림 실패로 인한 이용불능, HSISAMV0604B는 모터구동밸브 SI-604 밸브의 PCS 카드 고장으로 인한 이용불능을 나타낸다. 이는 재순환 운전인 경우 격납건물 재순환 집수조의 방출 밸브의 PCS 카드 고장으로 인한 이용불능이 영향을 미친 것으로 나타났으며, 또한 고온관 및 저온관 재순환 운전인 경우에는 고온관 격리밸브의 PCS 카드 고장으로 인한 이용불능이 상대적으로 큰 영향을 미친 것으로 나타났다.

4. 결론

ASME PRA Standard를 이용하여 국내 표준원전 PSA 모델의 계통분석에 대해 평가하였다. 평가 결과 표준원전 PSA의 계통분석은 ASME PRA Standard의 계통분석 요건 42개 중 14개를 만족하지 못하고, 보완사항 중 ESFAS-ARC 및 PCS를 표준원전 PSA 모델에 우선적으로 추가 모델링해야 할 것으로 나타났다.

이에 본 연구에서는 국내 표준 원전 PSA 모델의 품질 향상을 위한 노력의 일환으로 ESFAS-ARC 및 PCS 모델링 지침을 개발하고, 개발된 지침서에 따라 고압안전주입계통에 추가 모델링을 수행하였으며, 개정된 고장수목을 가지고 고압안전주입계통의 이용불능도 분석을 수행하였다. 동 지침서를 적용한 결과 고압안전주입계통의 이용불능도는 크게 증가하지 않는 것으로 나타났으나, PSA 모델의 품질 향상과 Risk Monitor 등 위험도 정보 활용 측면에서 큰 의미를 부여할 수 있다고 판단된다.

감사의글

본연구는과학기술부의중장기원자력연구개발 사업의일환으로수행되었습니다

참고문헌

1. ASME, "Standard for PRA for NPP Applications", Rev. 15, 2003
2. 양준언 외, " ASME PRA Standard 기반 국내 표준원전 PSA 모델검토, Rev. 0", KAERI/TR-2509/2003, 한국원자력연구소
3. 이윤환 외, " 계통모델링 지침: 고장수목, Rev. 0", KAERI/TR-2677/2004, 한국원자력연구소