

## 안전성관련 능동형 기기의 이용불능도 기준 성능평가사례 고찰

A Study on the Unavailability Basis Performance Assessment for the Safety-Related Active Components

임우상, 김병섭, 노명섭  
한국수력원자력(주) 대전시 유성구 문지동 103-16

### 1. 서론

안전성관련 기기에서 파동형기는 유효한 기술 기준에 따라 침식, 부식 등 기기별 해당 경년열화기구가 적절하게 유지 관리되고 있는지를 확인 하고 지속적인 기능유지 및 안전운전을 위한 운전, 시험, 정비 등의 경년열화관리 프로그램이 적절한지를 검토하고 개선방향을 도출하는 절차를 따르게 된다. 그러나 발전소 수명기간 중 주기적으로 시험 및 점검되며 필요시 새로운 부품으로 기기교체가 일어나는 능동형 기기에 대해서는 위의 방법만으로는 충분히 경년열화평가가 되었다고 할 수 없다. 능동형 기기에 대한 경년열화평가는 해당 구조물/계통/기기(SSC) 성능 기준을 설정하고 성능을 유지할 수 있는 적절한 정비계획이 수립되고 이행되는 지를 확인하며 건전성 확인을 위해 정비상태를 확인하는 방법이 효과적이다 [1,2,3]. 본 논문에서는 고리 3,4 호기를 대상으로 능동형 기기가 적절하게 유지관리되고 있는지를 확인하고 또한, 향후에도 기능과 성능을 유지하고 안전하게 운영될 수 있는지를 확인하기 위해 성능 기준을 설정하고 이에 대한 성능평가를 수행하였다.

### 2. 평가방법

#### 2.1 평가범위

평가의 적용 대상은 발전소의 안전 운전에 직접적인 영향을 주는 SSC나 안전기능에 영향을 줄 수 있는 비안전 관련 SSC 중 능동형 기기를 대상으로 한다. 이러한 평가대상기기 선정기준은 ANSI/ANS1.1, ASME Section III, 품질보증절차서 등을 참조하여 안전성 품질등급(Q), 안전성 영향 품질등급(T)에 해당하는 기기와 신뢰성등급(R) 중 일부를 평가대상으로 선정한다.

#### 2.2 평가대상기기 선정

평가대상기기를 선정하기 위해 계통기능 분석을 수행하였다. 계통 목록을 기준으로 각 계통별 기능을 FSAR 등을 이용하여 정리하고, 각 계통별 기능 중에서 안전관련 기능 또는 비안전이나 안전에 영향을 주는 기능을 판단하였다. 도출된 안전 관련 기능에 대하여 해당발전소 계통, 기기 목록으로부터 관련된 능동형 기기를 도출하고 도출된 기기에 대해 위험도분석을 수행하였다. 위험도분석은 기기 감시수준을 결정하기 위한 것으로 평가대상 기기를 고위험도(Risk significant)와 저위험도로 분류하는 것이다. 고위험도 대상은 계열성능기준 설정 대상이 되며 저위험도 대상은 발전소 수준 성능기준 설정 대상이 된다.

감시 수준을 결정하기 위해 중요 계통기능 여부를 판단하는 과정에서 PSA 결과나 Delphi 방법 등을 적용할 수 있다. 본 평

가에서는 분석 대상 기능에 대해서 PSA 결과로부터 안전성 영향이 큰기기(RPW>1.005) 인지 그리고 대기중인 SSC 에 해당되는지 여부를 판단하였다[4]. 또한 위험도에 미치는 영향이 큰 계통 및 기기를 선정하기 위해서는 사고 방지 또는 완화 측면, 초기사건을 유발할 가능성 등에 대해서도 고려하였다.

#### 2.3 성능기준 설정 및 평가

고위험도로 분류된 기기에 대해서는 계열 기준 성능기준을 설정한다. 계열 기준 성능기준으로 사용되는 요소는 이용도(availability)와 신뢰도(reliability)로 하였다.

##### (1) 이용불능도 성능기준

과거에 발생했던 사건이 미래에 발생할 사건과 연관이 많을 것이라는 가정 하에, 위험도에 미치는 영향이 큰 것으로 선정된 각 계통기기에 대한 이용불능도 성능기준을 PSA 에서 가정한 이용불능시간으로 설정하고 최근 2 주기(정비규정 감시기간) 동안에 발견되는 단위 최대 이용불능 시간을 비교하여 평가하였다. 이때, 최근 2 주기 동안의 이용불능도는 간단히 기기의 이용불능시간(Out of Service Time ; OOS Time)을 계산한 것이다. 최근 2 주기 동안의 이용불능도 성능기준이 PSA 에서 가정한 이용불능 시간보다 크면, 노심손상빈도에 대한 민감도 분석을 수행하여 노심손상 빈도에 미치는 영향을 파악하고 이 성능기준이 허용 가능한지를 판단하였다.

##### (2) 신뢰도 성능기준

신뢰도 성능기준 설정을 위한 데이터로는 EPRI URD 의 일반 데이터를 기초로하여 고리 3,4 호기 실제 고장률을 참고하여 베이지언 처리하여 사용하였으며, 이를 바탕으로 신뢰도 성능기준을 설정하였다. 허용가능 실패수 계산은 요구기준 및 시간기준 실패율을 동시에 고려할 수 있는 Poisson 확률밀도 함수식을 적용하여 개별발생 확률값이 5% 이상, 누적발생 확률값이 95% 이상인 n 값을 허용가능 실패수로 하였다. 최근 약 2 주기 정도의 감시 기간 동안 운전자료를 수집하여 그 기간 동안의 실패율을 정하고 성능기준 만족여부를 평가하였다.

### 3. 결론

평가결과 신뢰도성능기준은 모두 만족하였으며, 이용불능도 성능기준은 분석결과의 일부를 정리한 표 1 에서 보는 바와 같이 일부 성능기준을 초과한 기기가 있었다. 이에 대해 민감도 분석 결과 노심손상빈도 증가값은 10% 이내로 미미한 값을 보였다. 원자력발전소의 능동형기기 평가를 효과적으로 수행하

기 위해서 확률론적 평가방법을 국내원전 능동형기에 적용하였다. 이러한 평가방법은 향후 정비규정 이행시에도 적용될 것이며 피동형기 경년열화평가 방법과 병행하여 기기의 특성을 감안한 주기적인안전성평가의 효과적인 접근방법이 될 것이다.

참고 자료

- [1] 10CFR 50.65, Requirement for Monitoring the Effectiveness of Maintenance at Nuclear Power Plants, U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1991.
- [2] 10CFR54, The License Renewal Rule, 2001, 4.
- [3] NEI, NEI 95-10, " Industry Guidelines for Implementing the Requirements of 10CFR54 - The License Renewal Rule" , 2000.
- [4] NUMARC 93-01, Industry Guide for Monitoring the Effectiveness of Maintenance at Nuclear Power Plants. Rev. 1, Nuclear Management and Resource Council, 1993. 5.

표1. 이용불능도 기준 성능평가

기기	이용불능 성능기준	이용불능시간 성능평가	
		K-3	K-4
잔열제거펌프 P-024/025	9 시간 (6.11E-4)	A: 5.1 B: 5.1	A: 4.7 B: 5.0
충전펌프 P091/092/093	232 시간 (1.53E-2)	A:352.3 B: 4.5 C: 109.7	A: 10 B: 35 C: 5.5
살수펌프 P-028/029	11 시간 (7.66E-4)	A: 17.1 B: 4.7	A: 6.1 B: 6.0
일차기기냉각해수펌프 P-103,104/105,106	208 시간 (6.86E-3)	A: 7.5 B: 7.0	A: 6.0 B: 4.3
기기냉각수펌프 P-065,066/067,068	68 시간 (2.26E-3)	A: 16.3 B: 14.7	A: 7.6 B: 8.6
중앙냉방수펌프 P-139/140	207 시간 (6.85E-3)	A: 1 B: 1.5	A: 90.9 B: 1.0
필수냉방기 Z-006/007	59 시간 (3.94E-3)	A: 16.9 B: 6.5	A: 162.7 B: 12.6
필수냉방수펌프 P-030/031	28 시간 (1.89E-3)	A: 5.2 B: 7.1	A: 6.5 B: 6.6
터빈구동보조급수펌프실 팬 F-045/046	61 시간 (4.07E-3)	A: 16.5 B: 17.0	A: 37.1 B: 8.0
격납건물 냉각팬 F-007,008/009,010	55 시간 (1.82E-3)	A: 12.1 B: 2.6	A: 1.5 B: 2.4
모터구동 보조급수펌프 P-017/018	47 시간 (3.13E-3)	A: 13.6 B: 6.0	A: 5.6 B: 5.7
터빈구동 보조급수펌프 P-019	36 시간 (2.39E-3)	A:129.8	A: 32.5
이차측 기기냉각해수펌프 P-212/213	103 시간 (6.85E-3)	A: 0.5 B: 36.9	A: 0 B: 0.5
공기압축기 N-C001/002/003	464 시간 (3.06E-2)	A: 170.6 B: 141.3 C: 0	A: 16.6 B: 13.0 C: 20.4
디젤발전기 E-001/002	74 시간 (4.92E-3)	A: 71.5 B: 30.1	A: 2.4 B: 17.7