

국내 표준형 원전의 단일 고장 취약성(SPV) 평가

지문구, 김명수
한국수력원자력(주) 원자력발전기술원

Evaluation of Single Point Vulnerability on Korean Standard Nuclear Power Plants

Moon-Goo Chi, Myung-Su Kim
Korea Hydro and Nuclear Power*

Abstract - For the purpose of reducing the plant trip/transient by the failure of a single component during plant operation or maintenance, the list of critical components with Single Point Vulnerability (SPV) on KSNP (Korean Standard Nuclear Power Plant), the standardized methodology of SPV evaluation and the plan to improve reliability of the equipment have been established. In addition, SPV component lists for the other domestic operating Nuclear Power Plants have been made, and the proper procedure for SPV management will be developed.

- 터빈구동 주급수 펌프
- 증기발생기 급수
- 원자로 정지
- 제어봉 구동
- 공정제어
- 보호계전기
- 기기제어 및 작동
- 발전기
- 보조전력
- 스위치 야드(공용설비 포함)

1. 서 론

국내 원전의 정비 및 운영 기술 향상으로 2007년도에는 90.3%의 이용률을 달성하였으나, 단일기기의 고장이 원인이 되는 발전소 과도상태 및 정지 사례가 여전히 발생하여 이용률 향상의 여지가 있으며 이에 대한 대책 수립이 필요하다.

국내에서 가동되는 20개 원전 중 40%를 차지하는 표준형 원전에 대하여 우선적으로 단일고장 취약성(SPV)을 감소시키기 위한 단기 대책 수립 요구가 있어 “표준형 원전 발전정지 유발기기 정성적 평가”에 대한 연구를 다음과 같이 수행하였다.

- 단일기기 고장에 의한 원자로 정지 및 발전소 출력감발(50%이상) 유발기기의 목록 작성 및 표준화
- 표준화된 발전 정지 유발기기 목록과 표준형 원전 이용률 분석결과 및 정비규정 결과 비교검토
- 표준형 원전에 적용한 설계변경 사항 및 설비개선 사항 조사
- 발전정지 유발기기 신뢰도 향상 방안 제시

2. 본 론

2.1 발전정지 유발기기 목록 표준화

이의 목적은 유사한 노형간의 발전정지 유발기기 목록을 작성하고 관리 방안을 수립하여 표준형 원전의 정지저감 및 이용률을 향상하는데 있다.

2.1.1 정의

발전정지 유발기기는 ‘해당기기의 고장 발생시 즉각적으로 운전원이 해당 계통의 기능 수행에 이상이 없도록 필요한 회복 조치를 취할 수 없어, 원자로 정지/터빈정지 혹은 50% 이상의 출력감발이 발생하는 기기’로 정의한다.

2.1.2 절차

- 표준형 원전인 영광 2,3 발전소, 울진 2,3 발전소에서 별도로 작성한 발전정지기기 목록을 계통, 기기 및 기계/전기/기계 각 분야별로 대응하는 비교표 작성
- 4개 발전소가 모두 발전정지 유발기기로 선정한 기기는 대상기기로 선정
- 일부 발전소에서만 발전정지 유발기기로 선정한 기기는 설계자료 검토 및 직원 면담을 통하여 대상기기 목록에 추가 및 삭제
- 개발된 목록에서 피동기기와 같이 신뢰도가 높거나 확률론적 측면에서 고장 시 발전정지나 출력감발을 유발할 가능성이 낮은 기기는 제외

2.1.3 발전정지 유발기기 관련 계통의 목록

- 표준형원전의 발전정지 유발기기와 관련된 계통은 다음과 같다.
- 원자로 냉각
 - 터빈 보호
 - 발전기 고장자 냉각

2.2 이용률 분석 결과 및 정비규정 결과 검토

표준형 원전의 이용률 분석 (Reliability, Availability, Maintainability)은 건설단계에서 원전의 정지 및 원자로 출력의 감소 관점에서 수행되었다.

급수계통실폐 등 발전정지 유발 원인으로 고려한 12개 기본 사건 중 단절 집합 분석을 통하여 구한 단일 단절 집합(Single Cutset)은 발전정지 유발기기의 정의와 일치하는데, 2.1항에서 작성한 것과 별도로 기기 목록을 도출하였다. 여기에서 도출된 발전정지 유발기기와 관련된 계통은 다음과 같다.

- 증기발생기 취출수
- 화학 및 체적제어
- 직류전원
- 보조전원
- 1차측 기기냉각수
- 발전기 고장자 냉각수
- 발전기 밀봉
- 터빈 제어
- 제어실 공기조화
- 발전소 원수(Raw Water)

정비규정 기능 분석 결과 발전정지 유발기기에 해당하는 기기와 발전소 기기목록을 비교하여 기기목록을 추가로 도출하였다. 여기에서 도출된 발전정지 유발기기와 관련된 계통은 다음과 같다.

- 압축공기
- 터빈
- 주 증기
- 보조제어 판넬
- 주 전력

각 발전소 담당자와의 면담결과, 이용률 분석결과를 그 기법과 판단사유가 2.1항과 상이하여 여기에서 제시된 기기의 상당수는 실폐가 발생하더라도 즉각적인 발전정지는 일으키지 않는다는 의견이 있었으며, 정비규정 기능분석 결과도 기능단위 관점에서 수행된 것이기 때문에 현재 작성된 단일기기 단위 SPV 목록으로의 즉시 반영은 어려운 것으로 검토되었다.

2.3 분야별 SPV 목록의 기기유형 표준화 결과

2.3.1 기계 분야

기계분야 표준화 결과 아래와 같은 발전정지 유발기기의 유형이 제시되었다.

- 원자로 냉각재 펌프
- 증기발생기
- 원자로
- 복수기
- 주증기 차단밸브

-주급수 차단 및 제어밸브

여기서 피동형 설비를 제외하고, 누설 등 보수를 위한 정지를 고려하지 않을 경우 기계적 손상에 의한 즉각적 발전정지 유발기기의 선정은 제한적이 된다.

2.3.2 전기 분야

전기분야 발전정지 유발기기 목록의 표준화 결과 아래와 같은 발전정지 유발기기의 유형이 제시되었다.

- 전동기
- 보호계전기
- 변압기
- 발전기
- 차단기
- 모선
- 스위치 야드

여기서 모선 등 피동형 설비는 기술적 검토를 거쳐 제외하였다.

2.3.3 계측 분야

계측분야에서는 발전정지를 유발되는 기기를 카드류까지 확장하여 표준화 하였는데 그 결과는 아래와 같다.

- 제어 판넬
- 솔레노이드 밸브
- 전원공급 장치
- 전자카드
- 계전기
- 제어기

2.4. 발전정지 유발기기 관리 방안

2.4.1 설계변경 및 설비 개선 사항 조사

표준형 원전 4개 발전소에 대하여 준공시점부터 지금까지의 설계 변경 사항 및 장기 설비 개선 계획을 수집하여 타호기 반영 현황을 조사하였고, 이에 대한 검토의견을 제시하였다.

2.4.2 현행 정비 현황 검토

발전정지 유발기기에 대하여 표준형 원전 4개 발전소에 대하여 예방정비 업무를 조사하여 검토한 결과 다음과 같은 의견이 제시 되었다.

- 정비 프로그램 이행 체계의 표준화: 예방정비 및 경상정비 업무에 대하여 통일된 수행방안이 필요
- 개별 정비업무 수행범위의 표준화: 예방정비 템플릿 등 기기유형별로 정비업무의 표준화가 필요

2.4.3 해외의 기기신뢰도 향상방안 검토

INPO(Institute of Nuclear Power Operations)는 AP-913(Equipment Reliability Process Description)에서 발전사업자가 효율적인 방법으로 높은 수준의 안전성과 신뢰성을 유지하면서 발전소를 운전할 수 있도록 지원하는 설비 신뢰도 향상을 위한 절차 및 방법론을 제시하였다.

2.4.4 주요 발전정지 유발기기 관리방안

위와 같은 절차를 거쳐 제시된 주요 발전정지 유발기기 관리방안은 다음과 같다.

- 2.4.1항에서 제시하는 타 원전 설계변경의 검토 및 적용
 - 예방정비 업무의 최적화 시행
 - 인적 오류 개선을 포함한 관리 절차의 개선 등
- 또한 분야별 기기유형별 관리 방안은 표 1, 2, 3과 같다.

〈표 1〉 기계분야 기기유형별 관리방안

기기명	기기유형	주요관리방안
원자로냉각재 펌프	PPRC(RCP 펌프)	회전체 및 내장품의 예비품 확보
증기발생기	MSTG(증기발생기)	튜브 관마개 및 수실 관통 노출 재질의 개선
복수기	HECD(복수기)	이물질 유입 방지를 위한 여과기 설치
원자로	MREA(원자로)	원자로 스테드 볼트 고착 방지 코팅 원자로 헤드 밀봉부 및 접촉부에 미세 손상 방지 개선
주증기 차단 밸브 주급수 차단/제어 밸브	VVMM(주증기 및 급수차단 밸브) VVMC(주급수 제어 밸브)	설치물 온도를 50°C 이하 유지 Limit S/W 보호커버 설치 예비품 확보

〈표 2〉 전기분야 기기유형 및 관리방안

기기명	기기유형	주요 관리 방안
전동기	MTRC(RCP 전동기)	예비품 확보
	MTMV(고전압 전동기)	온라인 감시설비 설치
보호계전기	RYPD(보호계전기-디지털) RYPE(보호계전기-반전자식) RYPS(보호계전기-전자식) RYTM(계전기-시간)	디지털 계전기로 변환하여 2/3 다중화
변압기	TRSM(주변압기)	정보 추가
	TRUO(보조변압기)	가스 감시 설비 및 정보 추가
주발전기	GENM(주발전기-수소냉각)	감시 설비 설치
	GEYS(여자기-고정식)	여자 계통 개선
	CTMD(몰드 CT)	예방정비 강화
차단기/모선	BKVC(진공식 차단기)	종합 시험반 설치
	BUNS(NSPB)	정비 편의설비설치
	BUGI(GIB)	정보 신설
스위치 야드	CTBS(부싱 CT)	정보 신설
	PTCV(정전형 PT)	정보 신설

〈표 3〉 계측분야 기기유형 및 관리방안

기기(계통)명	기기유형	주요 관리 방안
주급수 계통 제어봉 계통 주터빈	PLLP(제어판넬)	다중화 추진 예비품 확보 Coil 건전성 진단 터빈제어설비 교체
제어봉 계통	PSPS(전원공급기)	이중화 추진 휴즈/SCR 관리
Plant Control System 주급수제어계통	CBDB(전자 카드)	Logic 변경 이중화 추진
안전설비구동	RYAX(보조계전기)	주기교체
주터빈	VVSO(솔레노이드 밸브)	이중화 추진 정상 비여자 방식으로 설계 변경
가압기 Spray	VVAD(공기구동 제어밸브)	위치제어기 및 밸브의 이중화 검토

3. 결 론

표준형 원전의 단일 기기 고장 취약성(SPV)을 감소시키기 위한 대책 수립을 위하여 발전정지 유발기기 목록을 표준화 하였고 이에 대한 신뢰도 향상 방안을 제시하였다. 향후 표준형 원전 이외 모든 원전에 대하여 원전 이용률 향상을 위하여 발전정지 유발기기를 선정하고 이를 적절하게 관리하기 위한 절차를 개발, 적용하여야 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] F.Rahn, "Trip Monitor Customization and Implementation", EPRI TR-1009112, 2004
- [2] G.Sliter, "Generation Risk Assessment(GRA) Implementation Guide", EPRI TR-1008121, 2004
- [3] Eun-chan Lee, "Qualitative Evaluation of single Point Vulnerability in Domestic NPPs", KNS, 2008.05