

국내 표준형 원전의 사고 고장원인 분석 및 발전정지 유발 전기설비의 신뢰도 개선 방안 검토

지문구, 윤종현

한국수력원자력(주) 원자력발전기술원

Evaluation of Nuclear Events and Review of Reliability Improvements of Single Point Vulnerability for Electrical Systems on Korean Standard Nuclear Power Plants

Moon-Goo Chi, Jong-Hyun Youn
NETEC, Korea Hydro and Nuclear Power Co.

Abstract - 원자력안전기술원이 제공하는 원전사고고장 정보에 제시된 원전사고고장 현황에서 표준형 원전의 사례에 대하여 전기설비 관련 원인을 분석하고, 출력감발 및 불시정지를 줄이기 위하여 한수원(주)이 수행하는 발전정지유발 전기설비에 대한 신뢰도 개선 방안에 대하여 기술한다.

<표 1>과 같다.

<표 2> 표준형 원전 전기분야 사고고장 및 고장원인 현황 (2000-2008)

1. 서 론

원자력안전기술원(KINS)이 제공하는 원전 안전운영정보시스템(OPIS: Operational Performance Information System for Nuclear Power Plant)의 사고고장정보(Need: Nuclear Event Evaluation Database)에는 교육과학기술부 고시 제2008-29호 보고규정에 따라 원전 운영자가 보고하는 모든 사고고장자료가 수록되어 있으며 2002년 이후 일반에 공개하고 있다. 이 자료 중 우리나라의 표준형 원전인 영광 3,4,5,6호기 및 울진 3,4,5,6호기에 대하여 2000년도 이후의 사고고장 현황을 원인별로 분석하되 특히 전기분야 결합에 대하여 고장원인분석을 수행하였다. 또한 국내 원자력발전소 불시정지 저감노력의 일환으로 한수원(주)이 수행하고 있는 발전정지유발기기(SPV: Single Point Vulnerability)에 대한 관리체계 구축과 관련하여 2000년 이후 발생한 표준형 원전의 전기분야 고장에 대한 신뢰도 개선방안에 대하여 기술하였다.

2. 본 론

2.1 2000-2008년 표준형 원전의 전기설비 대상 사고고장 사례 분석

원자력안전기술원(KINS) 원전 안전운영정보시스템(OPIS)의 사고고장정보(Need)에 의하면 표준형 원전인 영광 3,4,5,6호기 및 울진 3,4,5,6호기의 연도별 전체 및 전기분야 사고고장 현황은

<표 1> 표준형 원전의 연도별 사고고장 현황 (()안은 전기분야)

호기	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	소계
영광 3	0	0	0	1(1)	0	0	2(1)	1	0	4(2)
영광 4	2	1	1	1(1)	1	0	0	0	2(1)	8(2)
영광 5	.	1	2(1)	3	2(1)	0	2(1)	1	1	12(3)
영광 6	.	.	4(1)	0	0	1	0	0	1	6(1)
울진 3	1	0	2(1)	0	0	3(2)	1	0	0	7(3)
울진 4	1(1)	0	3	1	1	0	1	2(1)	1	10(2)
울진 5	.	.	.	0	5(1)	2	0	0	0	7(1)
울진 6	.	.	.	.	0	2(1)	1(1)	1(1)	0	4(3)
계	4(1)	2(0)	12(3)	6(2)	9(2)	8(3)	7(3)	5(2)	5(1)	58(17)

순서	관리번호	사건제목	고장원인	비고
1	영광4호기-2008-01	지락보호계전기 동작에 의한 안전모선 저전압 및 비상디젤발전기 기동	케이블 손상	SPV 아님
2	울진6호기-2007-15	주변압기 비올차동계전기 작동에 의한 터빈/발전기 정지 및 원자로 정지	보호계전기	
3	울진4호기-2007-13	발전기 보호계전기 오작동에 의한 터빈 및 원자로 정지	보호계전기	
4	영광5호기-2006-20	계획예방정비 중 주변압기 계전기 동작으로 인한 소외전원 상실	보호계전기	SPV 아님
5	영광3호기-2006-13	주변압기 정비를 위한 원자로 수동 정지	변압기	
6	울진6호기-2006-03	원자로냉각재펌프 정지로 인한 원자로정지	여자기	
7	울진3호기-2005-15	울진3호기 제어봉 제어카드 손상에 의한 원자로 정지	전자카드	
8	울진3호기-2005-08	울진3호기 정지제어봉 구동장치 코일열화로 인한 원자로 정지	코일	
9	울진6호기-2005-01	주변압기 B상 점검을 위한 발전기 정비 및 원자로 수동정지	변압기	SPV 아님
10	울진5호기-2004-05	울진 5호기 제어봉집합체비정상 낙하에 의한 원자로정지	휴즈	
11	영광5호기-2004-01	영광 5호기 제어봉 전원상실에 따른 증기발생기 고수위에 의한 원자로 정지 및 주증기격리 신호 발생	전자카드	
12	영광3호기-2003-01	영광3호기 제어봉 구동장치 코일열화로 인한 원자로 수동정지	전자카드	
13	영광4호기-2003-01	영광4호기 주변압기 "A"상 가스절연모선 소손에 따른 접지차동계전기 동작에 의한 원자로 정지	변압기	
14	울진3호기-2002-02	울진 3호기 제어봉 구동장치 코일열화로 인한 원자로 수동정지	코일	
15	영광5호기-2002-02	영광 5호기 송전계통 낙뢰에 의한 원자로 정지	송전선로	SPV 아님
16	영광6호기-2002-03	영광 6호기 송전계통 낙뢰에 의한 원자로 정지(시운전)	송전선로	SPV 아님
17	울진4호기-2000-02	울진 4호기 13.8kV 비안전 모선의 단자 소손으로 인입모선 차단기 개방에 의한 원자로 정지	변류기	

위 <표 1>에서 제시된 전기분야 사고고장 및 고장원인을 정리하면 <표 2>와 같다.

2.2 표준형 원전의 발전정지 유발 전기설비 신뢰도 개선 방안

한수원(주)에서는 단일기기 고장에 의한 원자로 정지, 터빈/발전기 정지 및 50%이상 출력감발 유발기기를 발전정지유발기기(SPV)로 지정하여, 기기목록을 작성하고 관리 방안을 수립하였다.

이는 SPV로 분류된 기기들에 대하여 다중화 설계 변경, 설비개선, 예방정비 최적화 등 신뢰도 개선방안을 포함한 종합적 관리체계 구축을 통해 발전정지 가능성을 근본적으로 제거하거나 감소시키는 것을 목표로 한다.

2.1항에서 제시된 표준원전의 사고고장 현황 중 원인이 전기분야인 발전정지유발기기를 정리하면 다음 <표 3>과 같다.

<표 3> 표준원전의 2000-2008년 전기분야 SPV기기

순서	고장원인(SPV)	빈도	비고
1	보호계전기	2	주변압기 및 발전기 보호용
2	변압기	2	변압기의 열화로 정지발생
3	전자카드	3	제어봉제어계통등 각종 제어계통의 전자카드
4	코일	2	제어봉 구동장치의 코일 열화
5	휴즈	1	휴즈의 단락시 일부 기기는 발전정지를 유발
6	여자기	1	기존 아나로그형 여자시스템은 설계상 취약점이 존재하며 on-line 정비에 한계 있음
7	변류기(CT/PT)	1	변류기(CT/PT)는 보호계전기에 입력신호를 주므로 고장 시 발전정지를 유발
	계	12	

위에 제시된 SPV 기기에 대한 신뢰도 개선방안은 다음과 같다.

- 보호계전기 : 디지털 3중화 설계로 SPV 목록에서 삭제
 - 발전기 및 전력용 변압기 보호용 계전기에 대하여 기존의 아나로그 단일계통에서 디지털 3중화 계통으로 설계개선을 추진
 - 설계개선이 완료되면 SPV 목록에서 삭제
- 변압기 : 설계변경 및 예방 점검 강화
 - 전력용 변압기의 유증가스 상시분석 설비 설치
 - 주변압기 냉각팬 기동회로를 변경하여 수동기동운전 가능하도록 회로 변경
 - 전력용 변압기의 절연유 및 권선 온도계를 디지털 형태로 교체
 - 주 변압기 외부 6년 주기 전체 도장
 - 예측예방정비시스템을 도입하여 주기적으로 열화상 측정, 부분방전시험 및 절연유 유증가스를 분석하여 연차보수공사 시 적절한 조치 수행
 - CT 단자함 점검 및 단자조임
- 전자카드 : 제어 회로 다중화 및 주기교체
 - 주요 제어 설비 다중화로 단일카드 고장에 의한 과도현상 방지
 - 제어봉 제어카드 주기적으로 교체
 - 매 계획예방정비 시 ICT(In-Circuit Test: 전자회로 기관 정밀점검) 수행
- 코일 : 성능점검 및 주기교체
 - 코일점검 장치를 통한 정밀진단 수행
 - UG(Upper Gripper) 코일 10년 마다 주기 교체

- 타 코일 확인 후 교체 판단

- 휴즈 : 설계변경 및 주기교체
 - 여러 개의 카드가 1개의 휴즈를 통해 전원을 공급받고 있어, 휴즈가 단선되고 제어봉 인출/삽입신호 발생 등의 조건이 동시에 발생할 경우 최대 20개의 제어봉이 낙하될 가능성이 있어 개별로 휴즈를 설치하여 단일 휴즈의 단선에는 발전소 정지가 일어나지 않도록 설계를 변경
 - 제어봉제어계통 로직 및 릴레이 퓨즈 이중화하여 주 휴즈 소손시 보조 퓨즈를 이용하여 전력을 공급할 수 있도록 설계를 변경
- 여자기 : 정지형 디지털 여자시스템으로 교체
 - 기존의 회전형 아나로그 여자시스템을 정지형 3중화 디지털 여자시스템으로 교체
 - 2010년 설비교체 완료 예정
- 변류기(CT/PT) : 예방점검 강화
 - 절연저항 및 권선저항 측정 항목을 정비절차서에 반영
 - CT/PT 단자함 점검 및 단자조임
 - 과열상태 확인
 - 5년 주기로 휴즈 교체

3. 결 론

원전안전운영정보시스템의 2008년도 사고고장 분석에서는 전기분야의 발전정지 유발기기로 인한 정지 사례는 발생하지 않았지만, 2000년 이후로 볼 때 전체 사고 중 약 30%가 전기설비에 귀책이 있다. 따라서 SPV 관리체계 구축과 이에 대한 신뢰도 개선은 미래의 안전하고 경제적인 발전소 운영을 위하여 반드시 필요한 과제로 지속적으로 추진하여야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

[1] 김복렬, 원전 전력계통 관련 주요현안 및 규제방향, "원자력안전기술 정보회의", 2009.04
 [2] Eun-chan Lee, "Qualitative Evaluation of single Point Vulnerability in Domestic NPPs", KNS, 2008.05
 [3] 지문구, 김명수, 국내 표준형 원전의 단일 고장 취약성(SPV) 평가, 대한전기학회, 2008. 07.
 [4] 지문구, 하체웅, 국내 표준형 원전의 전기분야 단일고장 취약성(SPV) 평가 및 디지털 보호계전기 적용방안 검토, 대한전기학회, 2008. 08.