

신규원전의 기기별 고장분석을 통한 발전정지유발기기 선정

Selection of Single Point Vulnerability through the Failure Mode Effect Analysis of Equipment in Newly built Nuclear Power Plant

현진우[†] · 엄동운^{*} · 송태영^{**}

(Jin Woo Hyun · Dong Un Yeom · Tae Young Song)

Abstract - For decreasing an unexpected shutdown of Nuclear Power Plants, Korea Hydro & Nuclear Power-co.(KHNP) has developed Single Point Vulnerability(SPV) of NPPs since 2008. SPV is the equipment that cause reactor shutdown & turbine trip or more than 50% power rundown due to its malfunction. Newly built Nuclear Power Plants need to develop the SPV list, so performed the job which analyse equipment failure effect for SPV selection for 1 year. To develop this, Failure Mode Effect Analysis(FMEA) and Fault Tree Analysis(FTA) methods are used. As results of this analysis, about 900 equipment are selected as SPV. Thereafter those are going to be applied to Nuclear Power Plants to enhance equipment reliability..

Key Words : SPV, FMEA, FTA, RBD

1. 서론

국내 원자력발전소에서는 기기 고장 등이 원인이 되어 발생하는 발전소 정지 횟수를 최대한 줄이기 위하여 발전정지유발기기(SPV : Single Point Vulnerability)를 선정하여 관리하고 있다. 발전정지유발기기란 단일 고장으로 원자로, 터빈발전기 정지 또는 50% 이상 출력감발을 유발하는 기기를 말하며, 이러한 발전소의 발전정지유발기기를 평가 및 선정하는 이유는 이에 대한 관리 강화 및 설계변경, 예방정비 개선 등의 신뢰도개선 조치를 통하여 발전소 불시정지를 최소화하는데 있다[1]. 과거 한수원에서는 발전정지유발기기 대상을 발전소 엔지니어의 경험에 의해 임의로 선정 관리하고 있었는데 이는 발전소별로 동일노형임에도 불구하고 대상설비의 차이가 발생하는 원인이 되었다. 이에 따라 전사적인 차원에서 가동 중인 20개 원전을 대상으로 체계적인 방법론인 고장모드영향분석, 고장수목 분석방법을 수립하여 발전정지유발기기 선정 작업을 수행하였으며 이는 발전정지유발기기에 대해 체계적인 절차 수립과 일관성 있는 결과가 나올 수 있는 기반이 되었다[2]. 따라서 신규로 건설되는 원전에 대해서도 새로운 방법론에 따라 계통분석 및 기기의 고장모드영향분석, 고장수목 분석을 통한 발전정지유발기기 선정 작업을 추진하였으며 대상기기를 도출하였다. 특히 기존에 설비위주가 아닌 기능적관점에서 기능위치별로 대상설비를 선정하였다. 본 논문에서는 이러한 체계적인 발전정지유발

기기 방법론의 절차와 장점에 대해서 실질적으로 신규원전에 적용하여 수행한 과정을 설명하고 발전소 계통별 선정결과와 특성, 선행발전소 대비 차이점에 대해서 분석하였다.

2. 발전정지유발기기 평가 방법론

발전정지유발기기를 선정하기 위하여 사용한 방법은 크게 고장모드영향분석(FMEA : Failure Mode and Effects Analysis) 과 고장수목분석(FTA : Fault Tree Analysis) 방법을 사용하였으며, 사전준비 작업으로 계통 친숙화를 통하여 신뢰도블럭선도(RBD : Reliability Block Diagram)를 작성하였다.

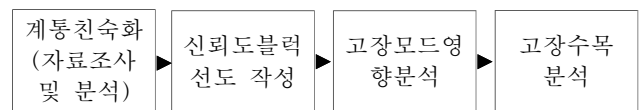


그림 1 발전정지유발기기 평가 흐름도

Fig. 1 SPV evaluation flow

2.1 고장모드영향분석(FMEA)

고장모드영향분석(FMEA)이란 분석대상 계통의 구성요소에 대한 고장모드를 식별하고 이러한 고장모드 발생 시 그 결과를 평가하는 체계적인 절차이다[3].

본 작업에서 수행되는 고장모드영향분석의 목적은 분석대상 계통의 구성기기별로 발생 가능한 고장모드를 식별하여, 원자로정지 또는 발전정지 유발 가능성을 평가하는 것이다.

[†] 교신저자, 정회원 : 한수원 중앙연구원 선임연구원
E-mail : hjwvip@khnp.co.kr

^{*} 비회원 : 한수원 중앙연구원 선임연구원

^{**} 비회원 : 한수원 중앙연구원 책임연구원

접수일자 : 2011년 10월 21일

최종완료 : 2012년 3월 23일

4. 발전정지유발기기 선정

지금까지 기술한 방법론을 사용하여 신규로 건설된 원전에 대한 발전정지유발기기 분석 작업을 실시하였다. 총 14개 주요 계통군에 대하여 분야별로 나누어 실시하였으며 약 1년간의 기간이 소요되었다.

- 대상 계통군 : 원자로냉각재, 1차기냉각수, 제어봉제어, 2차기냉각수, 터빈, 주증기, 복수, 주급수, 순환수, 계기용압축공기, 원자로보호/ESF작동, 발전소제어, 주전력, 보조전력계통

4.1 선정결과

신규원전의 발전정지유발기기는 호기별로 총952개가 선정되었으며 분야별로 대상기수 및 주요기기는 표 2와 같다.

표 2 발전정지유발기기 선정결과

Table 2 SPV analysis results

계통	SPV 수량	주요대상기기
431 원자로냉각재계통	35	원자로냉각재펌프, 밀봉주입수 입출구 MOV, 가압기 안전밸브
461 1차측기기 냉각수계통	4	기기냉각수계통 완충탱크, 기기냉각수격리밸브
511 터빈 & 보조계통	47	고압 및 저압터빈, 고압 터빈 정지밸브, 습분분리 재열기
513 발전기 가스계통	2	발전기 가스계통 릴리프밸브, 수소냉각기
514 주터빈 윤활유계통	1	주터빈 윤활유저장조
515 터빈 제어유계통	11	기계적과속도 정지 장치, 제어유계통 축압기
517 발전기 고정자계통	5	고정자냉각수 탱크, 고정자냉각수 온도조절밸브
518 발전기 축밀봉유계통	2	밀봉유 저장조, DUPLEX STRAINER
521 주증기계통	16	주증기 안전밸브
522 급수가열기 배수계통	6	습분분리재열기 배수탱크 1,2단 재열기 배수탱크
531 복수계통	6	복수기, 탈기, 탈기 저장탱크
541 주급수계통	16	주급수제어밸브 및 제어기, 주급수 차단밸브, 급수제어시스템
562 2차측 기기 냉각수계통	1	2차기냉각수 완충탱크
712 공학적안전설비 작동계통	7	광결합기
741 제어봉구동장치 제어계통	428	제어봉 코일, RSPT, ACTM, PSA CARD
752 보조 제어 판넬	51	전기적 보호계전기
771 발전소제어계통	20	각종 주요 제어 카드
811 주전력계통	72	발전기 차단기, 주변압기, 보조변압기
820 보조전력계통	28	대기보조변압기, 보호계전기
821 13.8 kV 비 1E급 계통	132	13.8KV 비안전 모선, 전동기 보호계전기, 변류기

822	4.16 kV 비 1E급 계통	12	4.16KV 비안전 모선, 전동기 보호계전기, 변류기
823	4.16 kV 1E급 계통	12	4.16KV 안전모선, 모선 및 전동기 보호계전기, 변류기
824	480V 부하반 비 1E급 계통	28	480V 비안전 로드센터 모선
826	480V 전동기제어반 비 1E급 계통	2	480V 전동기제어반 모선
841	직류 배전계통	8	직류모선(BUS)
계		952	

4.2 선정결과 분석

선행호기와 비교하여 제어봉제어계통 설계변경 차이, 기능위치 세분화 등으로 선행호기 대비 272개 증가한 것으로 나타났다.

- 선행호기 680개 → 신규원전 952개(272개 증가)
- 주요사유 : 표준형 제어봉제어계통 설계개선(12발 제어봉 낙하 시 원자로 정지 방지) 미반영(157개) 및 전기분야 기능위치 세분화로(114개) 증가

그림 3은 계통 기능군별로 발전정지유발기수량을 비교가 용이하도록 계통별로 분리하였다

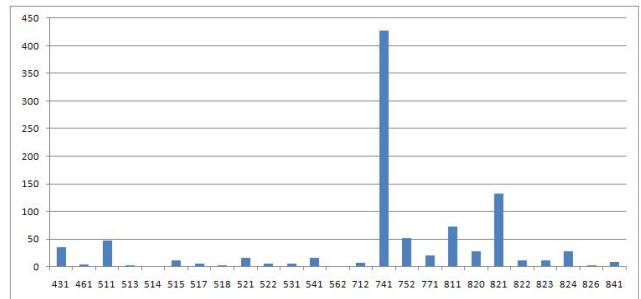


그림 3 계통별 발전정지유발기기 수량 비교(한호기 기준)

Fig. 3 Number of SPV by system (1 unit)

제어봉제어계통(741)에서 428개의 발전정지유발기기가 도출되었으며 이는 전체 발전정지유발기기의 약 45%에 해당된다. 이외의 주요계통으로는 전력계통에서 다수의 발전정지유발기기가 분석되었으며 터빈 & 보조계통, 원자로냉각재계통순으로 분석되었다.

5. 결론

약 1년간의 과제수행 결과 한 호기 기준 총 952개의 발전정지유발기기를 선정하였으며 이는 선행호기 대비 272개 정도 증가한 것으로 분석되었다. 주로 제어봉 제어계통에서 가장 많은 428개의 발전정지유발기기가 도출되었는데 이는 향후 '12발 제어봉 낙하 시 원자로 정지 방지' 관련 설계변경 시 많은 수가 줄어들 것으로 사료된다. 이외에 모선추가, 기능위치 세분화 등으로 전력계통에서 선행호기 대비 다소 증가한 것으로 나타났다.

발전정지유발기기 선정을 위하여 수행한 작업은 체계적인 방법론을 적용하였는데 가장먼저 계통 진속화를 위하여 자료조사와 분석을 통해 신뢰도블럭선도를 작성, 계통의 기능적 측면에서 이해를 도모하였으며 이를 기반으로 고장모드 영향분석, 고장수목분석을 수행, 상호 보완적으로 검증을 거쳐 최종적인 발전정지유발기기를 도출하였다. 특히 과거에 공급사에서 제공하는 설비단위 기반에서 발전소에서 관리하고 있는 기능위치 단위로 선정하였으며 기능위치 보다 세부적인 부품단위의 선정이 필요한 경우 기능위치명에 설비명을 요약하여 관리가 용이하도록 하였다.

본 과제에서 설비운영상 취약기기로 분석·도출된 발전정지유발기기는 새로 건설되어 운전되는 신규원전에 제공될 것이며 발전소에서 대상기기별로 설계변경, 예방정비 개선 등 설비 신뢰도 향상 방안을 수립하여 발전소 불시정지를 최소화하기위한 기본 자료로 사용될 예정이다.



염 동 운 (廉 東 云)
한수원 중앙연구원 근무
2009 정비규정 개발
2011 발전정지유발기기 선정



송 태 영 (宋 台 永)
한수원 중앙연구원 근무
2009 정비규정 개발
2011 설비운영기술팀장

참 고 문 헌

- [1] Eun Chan Lee, "A Single Point Vulnerability Outline," KHNP., pp. 2, 2010.
- [2] Jang Whan Na, Jin Gyu Han etc., "Development of Single Point Vulnerability (SPV) Management Scheme for OPR1000" KHNP., pp. 6-11, 2008.
- [3] Jin Woo Hyun, Jin Gyu Han etc., "Final report of Single Point Vulnerability Selection for Shinkori unit 1&2" KHNP., pp. 1-9, 2011.
- [4] Eun Chan Lee, Jin Gyu Han etc., "FMEA Report of Korean Nuclear Standard Plant" KHNP., pp. 1-9, 2009.
- [5] Jin Gyu Han., "Presentation for Development of Maintenance Management Base Using System Function Analyses., KEPCO E&C.,pp. 20-22, 2010.

저 자 소 개



현 진 우 (玄 振 宇)
한수원 중앙연구원 근무
2001 차세대원전 정보시스템 개발
2005 I&C Upgrade 설계
2009 정비규정 개발