

원전의 화재위험성평가



김 태 운
(주)엑트 대표이사

목 차

1. 머리말
2. 원전 안전장치의 개념
3. 원전 안전설비 화재 방호 개념
4. 원전의 화재 방호 기술기준
5. 화재안전정지능력분석 절차
6. 맺는 말

1. 머리말

원전에서 화재가 발생하면 어떻게 될까? 쉽게 답하기는 어려운 문제인 것 같다. 그러면 원전을 설계하고, 건설하고, 운영하는 단계에서 화재 방호를 위해서 어떻게 준비하고 관리하는지 살펴보기로 하자. 원전에서 화재가 발생했을 때 주요 관심사는 역시 방사능이 누출되지 않아야 한다는 점일 것이다.

2. 원전 안전정지의 개념

그러기 위해서는 먼저 원전에서 화재가 발생하지 않도록 설계하고 시공해야 할 것이며 건설이 끝나고 상업가동에 들어가서 설사 화재가 발생



하더라도 화재의 영향을 최소한으로 국한시켜 원자로를 안전하게 정지시켜야 할 것이다. 따라서 원전에서는 원자로를 안전하게 정지시키기 위하여 높은 신뢰도의 정지장치를 설계하여 장착시킨다. 대표적인 정지장치에는 중성자를 잘 흡수하는 카드뮴이나 니켈 등과 같은 고체 물질로 만들어진 정지봉을 낙하시키는 장치와 중성자를 잘 흡수하는 붕산이나 가돌리늄과 같은 액체 물질을 원자로에 주입시키는 장치가 있다.

원전은 화력발전소나 일반 공장과는 달리 정지하더라도 잔열(decay heat)이 발생하므로 원자로를 정지시킨 후에도 당분간은 계속해서 냉각시켜야 한다. 원전에서는 잔열을 제거하기 위하여 핵분열 반응으로 열을 생성하는 원자로 측과, 생성된 열을 증기로 바꾸어 터빈발전기를 돌려 전기를 생성하는 증기발생기 2차측에 다양한 설비를 갖추게 된다. 증기발생기 2차측의 잔열제거설비로는 보조급수계통과 증기펌프계통을, 원자로 냉각계통의 잔열제거설비로는 비상노심냉각계통과 정지냉각계통 등을 들 수 있다.

그런 가능성은 비록 매우 적을지라도 원자로 정지 후 잔열 제거 혹은 핵연료 냉각에 실패하게 되면 핵연료가 녹아 핵연료 안에 포함된 방사능이 누출될 수 있다. 그래서 핵연료가 녹게 될 경우 방사능의 외부 누출을 막기 위하여 약 1m 두께의 콘크리트로 된 격납용기(containment) 안에 원자로를 가두어 놓은 것이다.

3. 원전 안전설비 화재방호 개념

원전의 안전설계 개념은 위에서 설명한 바와 같이 다중 방호벽에 의한 것이다. 다중 방호벽을 설치함으로써 방사능 누출 가능성을 최소화시킬 수 있다. 여기에 덧붙여 안전장치들은 다중성(redundancy)과 다양성(diversity) 개념을 기초로 설계 및 설치된다.

다중성이란 안전장치를 한 대만 설치하였다가

결함이 발생하면 정비를 해야 하므로 안전장치를 한 대 더 설치한다는 개념이다. 다양성은 같은 종류의 설비를 설치하게 되면 설계자나 제작자 혹은 같은 운전원, 같은 정비원에 의하여 결함이 동시에 발생할 수 있으므로 같은 기능을 하는 다른 종류의 설비를 갖춘다는 의미이다. 가압중수로형 원전의 경우에는 다중성을 부여하기 위하여 안전계통 내에 2대의 펌프를 2개의 계열로 분리하여 설치하였고, 가압중수로형 원전의 경우에는 다양성을 부여하기 위하여 같은 기능을 수행하는 안전장치를 그룹1 안전계통과 그룹2 안전계통으로 분리하여 설치하였다.

가압중수로형 원전과 가압중수로형 원전의 설계단계에서의 화재방호 개념도 이와 같은 안전계통 설계 개념 하에서 출발한다. 가압중수로형 원전의 경우에는 화재발생시 원자로를 정지시키고 방사능 누출을 방지시키는 안전계통 내의 두 개의 계열이 동시에 영향받지 않도록 두 대의 펌프가 다른 방에 격리되어 있어야 하고 전력 및 신호를 전달하는 케이블 트레이도 일정한 이격거리를 유지하여야 한다는 것이다.

가압 중수로형 원전의 안전설비 화재방호 설계 개념도 이와 동일하다. 단지 두 개의 계열 분리대신 두 개의 안전그룹 간의 분리가 그 차이점인데, 이는 안전설비 설계 개념의 근본적인 차이점에서 출발한다. 따라서 가압중수로형 원전에서는 같은 안전기능을 수행하는 두 개의 안전 그룹이 같은 화재 구역 안에 설치되지 않도록 설계하며 전력 및 신호를 전달하는 케이블 트레이도 그룹 1용 케이블 트레이와 그룹 2용 케이블 트레이가 동시에 지나가지 않도록 하고 있다.

4. 원전의 화재방호 기술기준

우리나라의 원전은 앞에서 말한 두 가지 유형의 원전이 있는데 고리, 영광, 울진에 설치된 가압중수로형 원전은 미국에서 도입되었고, 월성에

설치된 가압중수로형 원전은 캐나다에서 도입되었다. 따라서 이 두 가지 다른 유형의 원전의 화재방호 기준도 도입국의 화재방호기준에 따라 설계되고 설치되었다. 그러므로 이 두 국가의 화재방호 개념과 원칙, 배경 및 기술기준을 검토할 필요가 있다.

성문법 정신인 미국의 원전 화재방호 요건으로는 원자력규제위원회에서 제정한 10CFR50.48과 이의 부록인 Appendix R, 그리고 이에 대한 세부지침인 BTP(Branch Technical Position) CMEB(Chemical Engineering Branch) 9.5-1이 있다. 미국 원전에서 화재방호를 강조하게 된 배경은 1975년 3월 22일 Browns Ferry 원전 1호기의 케이블 포설실에서 화재가 발생하여 원자로 건물로 화재가 확산되는 사고가 발생하여 원전의 안전정지기능에 관심이 고조되었기 때문이다.

한편, 불문법 정신인 캐나다의 원전에 대한 화재방호 요건으로는 CAN/CSA-N293(Fire Protection for CANDU Nuclear Power Plants)가 있다. 이 요건은 1987년 가압중수로형 원전의 독특한 설계 면모를 반영하여 설계, 건설, 시운전, 운영, 폐로 단계에서 최소한의 화재방호 표준을 제공하기 위하여 제정되어 1995년에 개정되었다. 이 표준에서는 원자력이 아닌 타 건물에서도 일반적으로 적용되는 세부적인 화재방호기준은 NFPA 및 ULC 기술기준을 따를 것을 제시하고 있다.

10CFR50 Appendix R과 CAN/CSA-N293이 제정되기 전에 건설된 원전은 설계 단계에서 화재재해도분석(Fire Hazard Analysis) 및 화재안전정지능력분석(Safe Shutdown Analysis)이 수행되지 않았기 때문에 원전 운영 단계에서 이러한 요건에 의한 화재재해도분석과 화재안전정지능력분석 수행을 규제기관으로부터 요구받아 현재 분석을 하고 있다.

5. 화재안전정지능력분석 절차

원전의 화재재해도분석 절차는 일반 건물의 화재재해도분석 절차와 동일하다. 건물 설계 자료를 수집하여 먼저 화재구역을 정의하고 각 화재구역에서의 가연성 물질의 양과 설계기준 화재발생 가능성, 설계기준 화재발생시 화재 성장 및 전파 가능성 등을 분석하고, 화재방호기준에 따라 화재 경보 및 진압 설비가 적절히 설치되었는지를 평가하며, 종합적인 화재방호 프로그램이 수립되어 운영되는지를 평가하고, 개선점을 도출하여 제공하는 점에 있어서는 일반 건물과 동일하다.

단지 차이가 나는 점은 원전의 안전계통이 화재로 인하여 영향받는 정도를 더 평가한다는 점에 있어서 차이가 있다. 이러한 화재안전정지능력분석에 있어서는 특히 안전계통이 신호를 받아 작동할 수 있도록 하는데 필요한 전력선과 제어선, 계측기 신호선 케이블 및 트레이에 대한 분리 및 이격 요건이 제대로 적용되고 원전의 안전정지에 부족한 점이 없는지를 집중적으로 분석하고 평가한다는 점이 특별한 점이다.

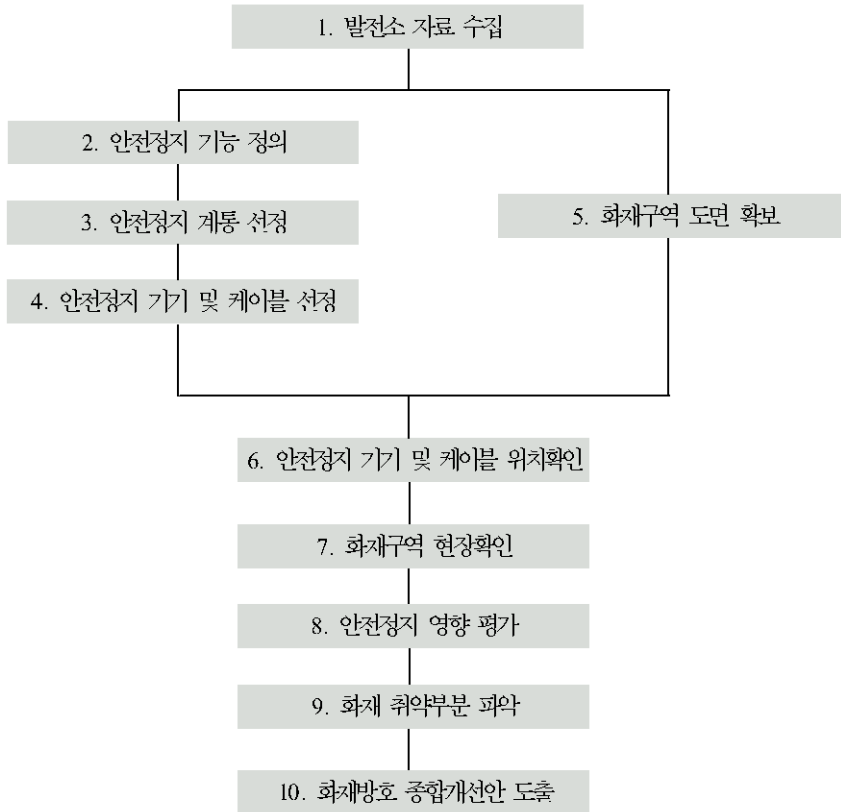
그러면 [그림 1]에 정리된 일반적으로 쓰이고 있는 화재안전정지능력분석 절차 10단계를 간략히 소개하고자 한다. 참고로 원전의 화재안전정지능력분석 절차는 참고문헌 7(DOE/NE-0113)에 잘 소개되어 있다.

단계 1. 발전소 자료 수집

분석을 수행하기 전에 분석에 필요한 발전소 자료를 수집한다. 각종 도면, 절차서, 기기 목록, 계통설명서 및 각종 문서가 해당된다. 발전소 현장조사 등의 단계에서 자료가 추가로 수집된다.

단계 2. 안전정지 기능 정의

발전소 안전정지를 달성하고 유지하는데 필요한 기능을 정의한다. 이 기능은 다음 단계인 안전



[그림 1] 화재 안전정지능력분석 10단계

정지 계통을 선정하는 기준이 된다.

단계 3. 안전정지 계통 선정

단계 2에서 정의된 안전정지 기능을 수행하는데 필요한 계통을 선정한다. 안전정지 계통에는 직접 안전정지 기능을 수행하는 계통뿐만 아니라 이들을 보조하는 계통도 포함된다.

단계 4. 안전정지 기기 및 케이블 선정

단계 3에서 선정된 안전정지 계통을 기준으로 안전정지에 필요한 기기를 선정하고 이와 관련된 전원 및 제어 케이블을 파악하여 목록을 작성한다. 이 단계에서 안전정지에 직접 관련되지 않은 회로의 손상으로 인한 2차적인 영향도 평가한다.

단계 5. 화재구역 도면 확보

화재구역 및 화재 소구역을 구분하는 도면을 확보한다. 이 도면에는 화재구역 고유번호와 구역경계를 보여주며 도면상의 화재구역별로 안전정지 분석이 수행된다.

단계 6. 안전정지 기기 및 케이블 위치 확인

발전소 기기배치도 및 계통 도면을 이용하여 각 화재구역에 존재하는 안전정지 기기 및 케이블을 파악한다. 케이블 위치 확인을 위하여 도면, 배선 데이터베이스 또는 추적장치가 이용된다.

단계 7. 화재구역 현장확인

단계 6에서 파악된 안전정지 기기 및 케이블 배선을 확인하기 위하여 화재구역에 대한 현장답사를 실시한다. 현장답사시 기기 위치를 확인하며 화재구역의 물리적 상태, 화재방호설비 등을 조사한다.

단계 8. 안전정지 영향평가

각 화재구역의 화재발생시 안전정지 능력에 미치는 영향을 분석한다. 해당 화재구역에 위치하는 모든 기기와 케이블이 화재에 의해 손상되는 것으로 가정하고 안전정지 성공여부를 판단한다. 그리고 화재 자동감지 및 진압설비, 수동진압 수단 등 화재방호 수준을 검토하여 화재가 인접 구역으로 전파될 가능성이 있는지도 평가한다.

단계 9. 화재 취약부분 파악

단계 8의 안전정지 영향평가 결과를 바탕으로 화재에 대한 취약부분을 정리한다.

단계 10. 화재방호 종합 개선안 도출

단계 9에서 파악된 화재 취약부분에 대하여 이행 가능한 개선안을 도출한다.

6. 맺는 말

원전은 화재발생시에도 안전하게 정지되어 방사능 누출의 가능성이 없도록 다중 방호벽의 원칙이래 다중성과 다양성을 갖도록 안전장치를 설계하고 설치하여 운영되고 있다. 그러나 오래 전에 설계되어 가동중인 원전에서는 최근의 기술기준과 부합되지 않는 점이 있을 수 있다. 이러한 원전에서는 화재재해도분석 및 화재안전정지능력 분석을 수행하여 개선점을 도출하고, 필요할 경우 최소한의 비용에 의한 설비개선이 이루어지고 최적의 화재방호 프로그램을 수립하는 것이 바람직할 것이다. 무엇보다도 중요한 것은 원전에서 화재가 발생할 가능성을 최소화시켜야 할 것이며 설사 화재가 발생되더라도 원자로가 안전하게 정지되어 방사능 누출 가능성을 완전히 없애는 것이다.

참고문헌

- [1] NUREG-0050, Recommendations Related to Browns Ferry Fire, US NRC, 1976. 2.
- [2] 10 CFR 50.48, 에너지에 관한 미 연방법 48조, Fire Protection, US Government, 1996. 7. 29.
- [3] 10CFR50 Appendix R, 에너지에 관한 미 연방법 10 CFR 50의 부록 R, Fire Protection Program for Nuclear Power Facilities Operating Prior to January 1, 1979, 1988. 5. 27.
- [4] BTP (Branch Technical Position) CMEB (Chemical Engineering Branch) 9.5-1, Guidelines for Fire Protection for Nuclear Power Plants, US NRC, 1981. 7.
- [5] CAN/CSA-N293-M87, Fire Protection for CANDU Nuclear Power Plants, 1987.
- [6] CAN/CSA-N293-95, Fire Protection for CANDU Nuclear Power Plants, 1995. 11.
- [7] DOE/NE-0113(REV.1), United States Department of Energy Reactor Core Protection Evaluation Methodology for Fires at RBMK and VVER Nuclear Power Plants, Revision 1, US DOE, 1997. 6.