

B-01

원자력발전소 주제어실 화재시 대체정지 방안

임현태, 박준현*

(주)케이엠이엔티, 한전전력연구원*

Recommendations for Alternative Shutdown During a Main Control Room Fire in NPP

Hyuntae Yim, Junhyun Park*

Knowledge Management Engineering and Technology, Inc.(KMENT)

Korea Electric Power Research Institute(KEPRI)*

1. 서 론

운전중인 원자력발전소에서 화재가 종종 발생하는데 대부분의 화재는 국소적인 사건으로 한정되어 그 영향이 극히 작으나 몇몇 화재사건은 원자력발전소 안전성에 위협을 줄 가능성이 있는 것으로 평가되고 있다. 특히 원자력발전소 확률론적 안전성평가 결과 화재의 위험성이 전체 위험도에 미치는 영향이 큰 것으로 나타나고 있으며 심지어 화재사건이 전체 위험도의 50% 이상을 차지하고 있는 원자력발전소도 있다. 원자력발전소 화재사건중 가장 위험도가 큰 화재는 주제어실 화재로 밝혀지고 있는데 주제어실에서 화재가 발생하면 발전소 안전정지를 위한 주제어실에서의 제어가 불가능할 뿐만 아니라 주제어실의 운전원 거주성(Inhabitability)이 상실되어 운전원이 주제어실 외부에서 발전소의 안전정지를 수행하여야 하기 때문이다.

본 논문에서는 우리나라 가동중인 원자력발전소 주제어실 화재의 문제점을 검토하고 주제어실 화재가 발생할 경우 안전정지를 확보하기 위한 방안을 수립하고자 한다.

2. 주제어실 화재시 문제점

우리나라 가동중인 원자력발전소 주제어실에는 자동소화설비가 설치되어 있지 않지만 운전원들이 상주하고 있기 때문에 주제어실내에서 발생하는 대부분의 화재는 주제어실 내부 또는 외부의 소화기 및 소화전을 이용하여 진압될 가능성이 크다. 그러나 만일 주제어실에 존재하는 벤치보드, 콘솔, 제어 캐비닛에서의 화재를 시야가 확보되는 시간 내에 진압하지 못하여 운전원이 주제어실로부터 소개(evacuation)되어야만 하는 경우에는 화재가 각 캐비닛 상부에 설치된 케이블 연소에 이어 주제어실 전체로 확산되어 주제어실의

기능이 상실된다. 이 경우, 원격정지 제어반(RSP: Remote Shutdown Panel)의 정상적인 기능 유지에 필수적인 제어 캐비닛이 기능을 상실하기 때문에 원격정지 제어반에서의 발전소 제어도 이루어 지지 않는다.(그림1 주제어실 배치도 참조) 즉, 발전소의 상태를 감시하고 제어할 수 있는 수단이 상실됨으로써 발전소 안전정지가 곤란하게 된다.

원격정지 제어반은 TMI 원전 사고의 후속조치로 설치된 것으로 주제어실 외부에 별도의 원격정지 제어반을 신설하여 발전소 안전정지에 필요한 제어기 및 계기들을 집중 배치함으로써 다음과 같이 운전원이 주제어실에 상주할 수 없는 비상시 사용하도록 한 것이다.

- 인체에 치명적인 가스오염
- 허용치 이상의 방사능 오염
- 궤한의 침입
- 주제어실 화재발생

원격정지 제어반은 당초 고온정지(Hot Shutdown)를 목표로 하였으나 상온정지(Cold Shutdown) 능력까지 확보할 수 있도록 보완하였다. 그리고 A계열과 B계열의 제어반을 다중으로 설치하여 한 계열 기능상실시 다른 계열을 이용할 수 있도록 신뢰성을 높였다. 그러나 A/B 계열 원격정지 제어반의 제어기 및 지시기는 주제어실과 동일한 방화지역(Fire Area)에 위치한 A/B 계열 제어캐비닛을 통하여 기능이 이루어지기 때문에 주제어실 화재로 다중계열의 제어캐비닛이 기능이 상실되면 원격정지 제어반에서의 조치가 곤란하게 된다. 따라서 주제어실 화재로 다중계열 제어캐비닛 기능상실이 유발될 경우를 대비하여 주제어실 외부 원격정지 제어반에서 대체정지(Alternative Shutdown)를 수행할 수 있도록 설계개선이 필요하다.

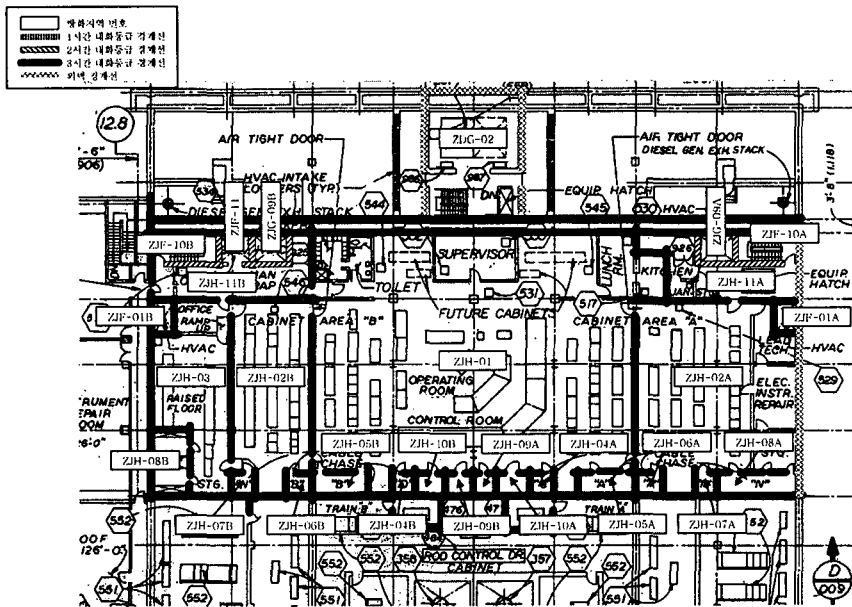


그림 1. 주제어실 배치도(예)

3. 대체정지 방안

원자력발전소 주제어실에서 화재가 발생하고 초기진압이 실패할 경우 안전정지에 필요한 대부분의 기기가 손상되어 안전정지가 곤란하게 된다. 안전정지 기기에 대한 주제어실에서 제어 불가능하고 일차측 및 이차측 공정변수 감시도 불가능하여 고온정지 및 상온정지를 만족할 수 없다. 이 경우 주제어실과는 별도의 장소에서 발전소의 안전정지를 수행할 수 있는 대체정지(Alternative Shutdown) 또는 전용정지(Dedicated Shutdown) 설비가 요구된다.

대체정지 또는 전용정지 능력은 RG 1.189의 5.5항의 이격요건을 만족하지 못할 때 확보되어야 하는 것으로 대체정지 또는 전용정지가 요구되는 구역에는 화재감지기 및 고정식 소화설비(Fixed Fire Suppression System)가 설치되어야 한다. 또한 대체정지 능력은 소외전원이 이용가능 하든지 72시간 동안 이용불능 상태이든지 관계없이 72시간 내에 발전소의 상온정지를 달성할 수 있어야 하고 대체정지 운전을 위한 절차서가 구비되어 있어야 한다. 그리고 대체정지 설비는 대체정지가 요구되는 방화지역과는 물리적 및 전기적으로 독립적이어야 한다.

대체정지 설비는 주제어실 이외의 장소에서 발전소의 안전정지를 수행하는 설비로서, 안전정지를 위한 최소한의 기기를 대체정지 설비로 규정한다. 국내 가동중인 웨스팅하우스형 원자력발전소의 경우 고온정지 유지를 위하여 보조급수펌프와 충전펌프 각 한 대가 필수적이며 이 펌프의 작동을 위한 기기냉각수펌프와 기기냉각해수펌프 각 한 대, 그리고 전원공급을 위한 비상발전기 한 대가 필요하다. 그리고 고온정지 상태 확인에 필요한 계측기, 즉 가압기 압력계 및 수위계, 고온관 및 저온관 온도계, 증기발생기 압력계 및 광역 수위계, 선원영역 핵계측, 안전정지계통 감시계측 등이 대체정지 기기로 요구된다.

A계열과 B계열 중에서 하나의 계열을 대체정지 계열로 선정해야 하는데 대체정지 확보를 위한 편이성과 소요비용을 종합적으로 검토하여 결정하면 된다. 원격정지 제어반을 대체정지의 기능을 갖도록 개선하기 위해서는 다음과 같은 조치가 추가로 필요하다.

현재 원격정지 제어반에 설치되어 있는 보조급수펌프, 충전펌프, 일차기기 냉각수펌프, 일차기기 냉각해수펌프, 그리고 비상발전기에 대한 제어기 및 스위치는 그대로 활용한다. 단 제어기 및 스위치가 주제어실 제어반에 대해 독립성을 확보하도록 그림 2의 현상태 회로배선을 그림 3과 같이 변경하여야 한다.

현재 원격정지 제어반에 연결된 계기류 중에서 최소한 다음의 지시기에 대하여 주제어실과의 독립성을 확보하도록 그림 4의 현상태 배선을 그림 5와 같이 변경하여야 한다. 그리고 설계변경시 계기 케이블이 대체정지가 요구되는 지역을 통과할 경우 해당 구역 통과부분을 1시간 방화체로 보호한다.

- 가압기 압력계 및 수위계
- 고온관 및 저온관 온도계
- 증기발생기 압력계 및 광역 수위계
- 선원영역 핵계측
- 충전유량계, 보조급수유량계

화재 발생시 개선된 원격정지 제어반을 이용한 대체정지 운전을 반영하여 “주제어실 상주 불가능” 절차서를 개정한다. 즉 주제어실 화재로 인하여 원격정지제어반을 이용하되 현재 이용할 수 있는 대체정지 기기를 이용하여 상온정지를 달성하고 유지하는 내용을 ‘주제어실 상주 불가능’ 절차서에 포함하여야 한다.

대체정지 요건을 만족하기 위하여 대체정지가 필요한 구역, 즉 주제어실에는 구역 전체를 감당할 수 있는 화재감지기와 고정식 소화설비를 보강하여야 한다. 그러나 주제어실의 경우 운전원이 24시간 상주하고 있으므로 화재발생 징후를 즉각 감지하고 주변의 소화기 및 소화전을 이용하여 화재를 진압할 수 있으므로 고정식 소화설비 신설은 필요하지 않다.

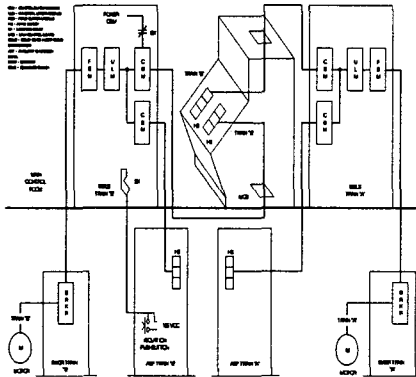


그림 2. 제어기 연결도(기존)

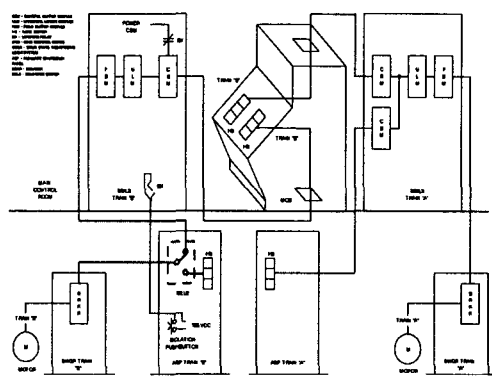


그림 3. 제어기 연결도(변경안)

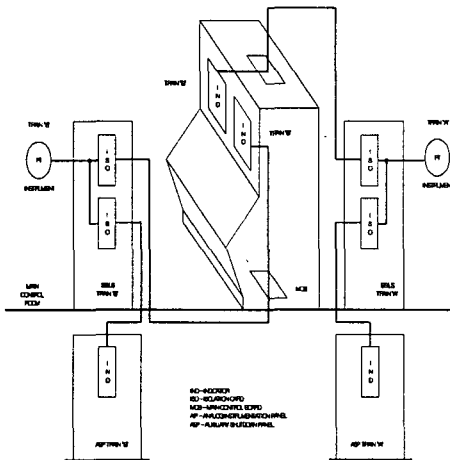


그림 4. 지시기 연결도(기존)

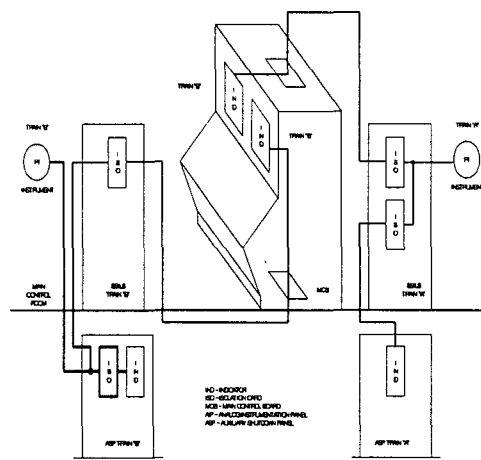


그림 5. 지시기 연결도(변경안)

그림 3과 그림 5와 같이 보조정지 제어반의 제어기 및 지시기의 배선회로를 주제어실의 제어반에 대해 독립성을 확보하도록 변경하는 것의 대안으로 주제어실 제어캐비닛

의 A계열 또는 B계열 구역을 3시간 등급의 내화방벽으로 격리하는 방법이 있다. 주제어반과 보조정지 제어반의 독립성을 확보하도록 하는 것은 주제어실 화재를 염두에 둔 것으로, 주제어실 방화지역 내에 주제어반 뿐만 아니고 A계열과 B계열의 제어캐비닛이 모두 공존하면서 계열간 격리요건도 만족하지 못하므로 이곳에서 화재가 발생하면 A계열과 B계열의 보조정지 제어반에서도 조치가 불가능한 배선으로 되어 있기 때문에 필요한 조치이다. 그러나 주제어실 제어캐비닛의 A계열 또는 B계열 구역을 3시간 등급의 내화방벽으로 격리하면 현재의 배선상태를 유지하더라도 주제어실 화재시 최소한 한 계열의 보조정지 제어반에서 안전정지가 가능하게 된다.

4. 결 론

한국 표준형 원전을 제외한 기존의 우리나라 가동중인 원자력발전소의 주제어실에서 화재가 발생하고 초기진압이 실패하여 주제어실 소개가 불가피할 경우 주제어실에서 뿐만 아니라 원격정지 제어반에서의 안전정지 운전도 곤란해진다. 따라서 이러한 화재 시나리오에 대비하여 원격정지 제어반에서 대체정지를 달성할 수 있도록 설계변경이 필요하며 이에 따른 절차서 보완 등의 작업이 요구된다.

참고문헌

1. "Fire Protection for Operating Nuclear Power Plants", Regulatory Guide 1.189, USNRC, Washington D.C. USA, Apr. 2001
2. M. H. Salley, "Knowledge Base for Post-Fire Safe Shutdown Analysis", Draft Report for Comments, NUREG-1778, USNRC, Washington D.C. USA, January 2004
3. "Guidance for Post-Fire Safe Shutdown Circuit Analysis", NEI 00-01, Rev. 0, Nuclear Energy Institute(NEI), Washington D.C. USA, Jan. 2005
4. S. P. Nowlen, et. al., "Risk Methods Insights Gained from Fire Incidents", NUREG/CR-6738, SAND2001-1676P, USNRC, Washington D.C. USA, Sep. 2001
5. "Potential for Loss of Remote Shutdown Capability During a Control Room Fire", IE Information Notice No. 92-18, USNRC, Washington D.C. USA, Feb. 1992