

원자력발전소에서의 화재방호계획

김위경, 고완영, 박종석, 이상균*
한국원자력안전기술원

Fire Protection Program in Nuclear Power Plants

Wee-Kyong Kim, Wan-Yeong Koh, Jong-Seuk Park, Sang-Kyoon Lee*
Korea Institute of Nuclear Safety

1. 서론

방사성 물질을 취급하고 있는 원자력발전소에서 화재가 발생할 경우 발전소와 종사자에 대한 일차적인 피해뿐만 아니라 일반 주민에 대한 이차적인 피해를 미칠 수 있다. 이러한 피해를 최소화하기 위하여 설계 및 건설단계에서부터 운영 및 폐기단계에 이르는 모든 단계에서 심층방어개념에 입각한 화재방호계획을 수립하여 원자력발전소를 건설하고 운영해야 한다.

원자력발전소의 화재방호에 대한 심층방어개념은 소방법에서도 요구하고 있는 바와 같이 화재의 발생을 방지하기 위한 예방조치 수립과 화재발생시 조기에 감지하여 화재를 진압하는 방안을 확보하는 것 이외에 추가적으로 방사성물질의 누출을 방지하고 원자로의 안전정지와 안전정지 유지기능을 확보하기 위한 항목을 포함하고 있다.

설계 및 건설단계에서의 화재방호계획에는 원자력발전소와 화재방호설비의 설계적절성을 입증하는 화재위험도분석을 포함하고 있으며, 운영단계에서의 화재방호계획에는 설비의 유지관리와 인적자원의 관리방침 등의 수립을 요구하고 있다.

화재 발생을 방지	설계/건설 : 점화원 및 가연물 사용의 최소화, 불연성 물질 사용 운영 : (임시)가연물 관리, 변경사항
화재 발생시 신속한 감지 및 진압	설계/건설 : 감지기 및 소화설비 선정, 진압 친화적인 환경 운영 : 소화설비 유지관리, 수동진압대책
신속한 진압이 불가능한 경우에도 원자로의 안전정지 기능 확보	설계/건설 : 방화구역, 다중안전설비 운영 : 대화구조물의 건전성, 비상대응대책 수립

그림 1. 원전의 화재방호에 대한 심층방어개념

이와 같은 원자력발전소의 화재방호계획과 관련된 사항은 Reg. Guide 1.189[1], NUREG-0800[2], 안전심사지침[3], 국제원자력기구의 간행물[4,5,6,7] 및 전력산업기술기준 [8]에 하나의 지침 수준으로 제시되고 있으며 특수장소의 방화관리를 위해 소방법에서 소방계획서를 요구하고 있다. 그러나 원자력발전소의 특수성과 우리의 실정이 고려된 국제 수준에 부응하는 원자력발전소의 화재방호계획을 위해 고유의 규제요건을 개발할 필요가 있다. 이를 위하여 본 논문에서는 화재위험도분석과 운영단계에서의 화재방호계획에 고려되어야 하는 항목을 설정하였다.

2. 화재위험도분석

일반적으로 화재위험도분석의 목적은 안전에 중요한 항목을 확인하고, 이들에 대한 예상화재성상과 화재의 결말을 분석하며 내화방벽의 화재저항성이나 화재감지 및 방호수단을 결정하는 것이라고 할 수 있다. 그러나 원자력발전소에 대한 화재위험도분석의 궁극적인 목적은 원자로를 정지하고, 잔열을 제거하기 위해 요구되거나 방사성물질들을 포함하는 안전계통이 화재가 발생한 경우에도 안전기능을 수행할 수 있음을 입증하는 것이다.

이러한 목적을 충족시키기 위하여 원자력발전소에 대한 화재위험도분석시 고려해야 하는 항목을 6가지로 구분하였으며 각 항목별 필요성은 다음과 같다.

● 화재방호구역의 구분

화재가 확대되지 않도록 화재방호구역을 구분하는 것은 설계 초기단계에서 원자로 및 관계시설의 기기들을 안전에 미치는 기여도와 화재위험성을 고려하여 적절히 배치하는 작업이다. 화재방호구역의 구분에 대한 적합성을 평가하기 위해서는 방화지역과 방화구역의 현황 및 타당성 평가자료가 요구된다. 평가방법으로는 화재제한방식(Fire Containment Approach)과 화재영향방식(Fire Influence Approach)이 있다.

● 가연성물질의 종류 및 크기

화재를 예방하거나 화재 발생시 화재의 영향을 감소시키기 위한 최선의 방법은 방화지역 내의 가연성물질과 점화원이 최소화되도록 설계하여야 한다. 화재위험도분석에서는 이를 입증할 수 있도록 가연성물질 및 점화원의 현황과 방화지역의 화재하중을 기술하여야 한다.

● 설계기준화재의 범주

방화지역별로 설계기준화재를 설정하여 화재의 영향이 최대가 되는 조건에서 안전에 중요한 구조물, 계통 및 기기에 미치는 잠재적 영향을 평가하여야 한다. 또한 이러한 조건에서 방화지역별 화재의 특성 및 시나리오에 따라 방호대책을 설정하여야 한다. 그러나 원자력발전소에서 화재시 고려하여야 하는 사항은 원자로의 안전정지이므로 화재가 발생한 지역에 위치한 설비들이 발전소 안전정지와 어느 정도 연관되어 있는가를 결정해야 한다. 안전심사지침[3]에서는 안전에 중요한 구조물, 계통 및 기기들의 기능에 따라 이들이 위치한 지역의 다음과 같은 화재손상 제한요건을 구분하고 있다.

표 1. 안전에 중요한 설비들의 기능에 따른 화재손상 제한요건

기능	화재손상 제한요건
고온 정지	주제어실이나 비상제어실에서 고온정지를 달성하는데 필요한 기기중 하나의 계열은 노출화재를 포함한 단일화재에 의하여 손상을 입지 않은 상태로 유지되어야 한다.
상온 정지	노출화재를 포함한 단일화재에 의하여 상온정지에 필요한 기기의 두 계열이 모두 손상될 수 있으나, 그 손상된 계열중 적어도 하나의 계열은 72시간 이내에 수리 또는 복구가 가능하여야 한다. 화재로 인하여, 해당 방화지역의 기기는 기능이 상실되고 방화지역에 보수를 위하여 출입하거나 운전조작이 불가능한 것으로 간주된다. 제어실과 물리적 또는 전기적으로 독립된 별도의 대체정지능력이 설치되어 있다면 제어실은 이 요건에서 제외된다.
설계기준사고	설계기준사고로 인한 피해를 완화시키는 데 필요한 두 계열의 기기는 단일 노출화재에 의하여 모두 손상 받을 수 있다.

● 화재감지 및 진압설비

화재감지 및 진압설비가 방화지역별 설계기준화재를 진압하기에 적절하게 선택되었으며, 화재감지 및 진압설비의 성능이 적합하다는 것을 입증하여야 한다.

● 화재위험성 평가

화재위험성을 평가하기 위하여 방화지역별 화재하중 및 화재특성에 대한 분석은 실제 경험과 공학적 판단에 의한 평가, 실험식이나 도표에 의한 수계산 및 컴퓨터 모델링 등에 의해 수행될 수 있다. 그러나 분석방법과 분석에 사용된 가정이나 제한값은 화재위험도분석보고서에서 보수성이 충분함을 입증하여야 한다.

화재위험성 평가는 핵연료재장전, 부분충수운전, 유지보수작업, 개조작업등의 일상 작업중에 발생하는 일시적인 가연성물질의 증가 및 밀집에 대한 사항을 고려해야 하며, 화재확대가 가능한 가연성물질, 비품, 건축자재 또는 이들 집합체의 연속적인 배치 여부도 확인해야 한다.

● 원자로안전정지·잔열제거 및 방사성물질 유출방지 능력

원자로의 정지 또는 잔열을 제거하기 위해 요구되거나 방사성물질을 포함하는 안전에 중요한 구조물, 계통 및 기기들은 설계기준화재의 범주에서 언급한 설계기준화재 시 화재손상 제한요건을 만족시켜야 한다. 특히 안전에 중요한 구조물, 계통 및 기기들이 포함된 방화지역의 설계기준화재의 영향분석은 해당 방화지역뿐만 아니라 인접된 방화지역에 대해서도 수행되어야 하며, 소화활동이나 안전정지 기능에 영향을 줄 수 있을 정도로 연기, 고온가스 또는 화재진압재(소화수, 포 및 가스 소화약제)가 다른 방화지역으로 전파되지 않음을 보증하여야 한다.

3. 운영중인 원자력발전소에서의 화재방호계획

소방법과 안전심사지침에서 운영중인 시설에 대한 화재방호계획을 수립하도록 요구하

고 있으며 원자력발전소에는 화재방호계획서(또는 소방계획서)를 작성하고 있다. 원자력발전소에서는 소방법에서 요구하고 있는 항목 이외에도 운전원으로 구성된 초동소방대를 운영하고 있으며 시설의 유지 및 관리를 위한 조직이 구성되어 있다. 그러나 원자력발전소의 화재방호계획서는 심층방어개념에 입각하여 다음과 같은 사항들이 보완될 필요가 있다.

- 1) 발전소 방화관리자의 선임 및 관련조직 권한 및 책임
- 2) 심층방어개념 도입
- 3) 초동소방대의 교육 및 훈련

● 조직의 권한 및 책임

원자력발전본부에는 소방법에 의거하여 방화관리자를 선임하고 있으나 원자력발전소의 화재방호업무는 발전소 내부의 조직이 관리하고 있으므로 발전소에 대한 전반적인 책임이 있는 방화관리자를 선임하여 권한 및 책임사항을 기술하여야 할 것이다. 또한 원자력발전소에서는 화재 발생 초기에 대응할 수 있도록 운전원으로 구성된 초동소방대를 조직해야 한다. 원자력발전소의 조직은 다음과 같은 화재방호업무를 수행할 수 있도록 구성되어야 할 것이다.

- 1) 화재방호계획서 작성, 변경 및 이행결과 관리
- 2) 화재의 예방, 진압 및 화재발생시 원자로안전정지와 관련된 운영절차
- 3) 초동소방대 조직, 운영, 훈련 및 결과보고
- 4) 화재발생시 초동소방대의 행동지침, 방화지역별 화재진압 등을 포함한 비상대책
- 5) 화재위험도분석보고서의 주기적 검토 및 변경
- 6) 화재사고보고서 작성, 재발방지대책 수립 및 화재관련기록 유지
- 7) 화재감지 및 경보시설, 화재진압시설, 피난설비 및 내화방벽 등의 적절성, 유지 및 관리상태
- 8) 화재방호에 대한 품질보증활동

● 화재예방을 위한 운영절차

원자로시설의 운전에 필수적인 임시가연성물질을 포함하여 모든 가연성물질의 종류와 위치가 파악되고 적절한 수준으로 관리가 되는 것을 보장하기 위해 가연성물질에 대한 취급 및 사용제한에 관한 절차를 수립해야 한다.

화재발생의 또 하나의 요소인 점화원도 적절히 관리되어야 한다. 화염을 동반한 작업의 경우 작업허가 및 작업감시제도를 통하여 점화원 관리 및 작업완료후의 조치사항에 대한 절차를 수립하여야 한다. 특히 원자로의 안전정지 및 안전정지 유지기능에 영향을 주는 지역에서 수행되는 작업에 대한 운영절차를 수립하여야 한다.

보수작업기간에는 운전기간에 비하여 화재발생 가능성이 높으므로, 원자로의 안전정지 유지기능에 영향을 미치는 지역이나 방사성물질 누출 가능성이 있는 지역에 보수작업기간에 적용할 수 있는 화재예방대책을 수립하는 것이 원전의 화재 안전성을 증진시킬 수 있을 것이다.

● 화재진압을 위한 운영절차

화재가 발생할 경우 화재를 조기에 감지하여 진압하는 것이 화재에 의한 피해를 경감시킬 수 있다. 그러나 이러한 사항들이 감지기와 화재진압계통에 의해 완전하게 수행될 수 없으므로, 화재발생시 초동소방대와 종사자들의 행동지침과 대피계획 등이 포함된 비상대책을 우선적으로 수립해야 할 것이다.

이러한 대책이 수립된 이후에 화재를 조기에 감지하여 진압할 수 있도록 화재감지 및 진압계통의 운전성을 확보하여야 한다. 이를 위하여 방화구역별 화재감지 및 경보시설, 화재진압시설 및 소방대원용 화재방호장비에 대하여 요약 및 정리하여야 하며, 이들에 대한 자체검사계획에는 발전소별로 적용하고 있는 기술기준이 상이하므로 점검요건, 점검내용, 점검주기, 점검절차서 및 점검부서 등이 포함되도록 상세하게 수립해야 할 것이다.

화재감지 및 진압설비가 존재하는 지역에서도 화재를 최종적으로 진압하거나 확인하는 방법이 기술된 화재진압대책이 수립되어야 한다. 특히, 원자로의 안전정지와 안전정지 유지기능에 영향을 미치는 지역이나 방사성물질 누출가능성이 있는 지역에 대한 화재진압대책이 수립되어야 한다. 초동소방대원은 화재 발생시 화재진압대책에 따라 행동지침 및 임무가 결정되며, 추후 초동소방대원의 훈련자료로 사용될 수 있다.

● 화재발생시 안전정지관련 운영절차

화재발생시 안전정지관련 운영절차는 원자로시설에서의 화재에 대한 최종적인 대응 수단으로서 화재진압활동에도 불구하고 화재가 진압되지 않을 경우에 원자로시설의 안전정지 및 유지기능을 확보하기 위해 화재의 확산을 방지해야 한다.

따라서 화재발생시 원자로의 안전정지 및 유지기능에 미치는 화재의 영향과 방사성물질의 누출가능성이 즉시 평가되어야 하며, 원자로 안전정지기능을 확보하기 위한 비상조치가 수립되어야 한다.

또한, 화재확산방지시설과 피난시설에 대한 현황이 파악되어야 하며, 이들 설비에 대한 자체점검계획에는 점검요건, 점검내용, 점검주기, 점검절차서 및 점검부서 등이 포함되도록 상세하게 기술되어야 한다.

● 초동소방대의 교육 및 훈련

초동소방대는 발전소의 교대근무조에서 발전소 안전정지에 필수적인 운전원을 제외한 5명의 인원으로 구성된다. 초동소방대에 대한 교육과 훈련에 대한 사항은 안전심사지침에 상세히 기술되어 있다. 이러한 교육 및 훈련을 통하여 초동소방대원은 규정된 절차에 따라 화재발생 초기에 대응할 수 있어야 한다.

5. 결론

본 논문에서는 원자력발전소에서의 화재방호계획을 구성하고 있는 화재위험도분석과 운영단계에서의 화재방호계획에 필수적으로 포함되어야 하는 항목을 설정하였다. 화재위

험도분석에서 고려해야 하는 항목을 6가지(화재방호구역의 구분, 가연성물질의 종류 및 크기, 설계기준화재의 범주, 화재감지 및 진압설비, 화재위험성의 평가, 원자로안전정지·잔열제거 및 방사성물질 유출방지 능력)로 구분하였으며, 운영단계에서의 화재방호계획은 발전소 방화관리자의 선임 및 관련조직 권한 및 책임, 심층방어개념 도입과 초동소방대의 교육 및 훈련으로 구분하여 각 항목의 필요성에 대하여 논의하였다.

참고문헌

1. Regulatory Guide 1.189, "Fire Protection for Operating Nuclear Power Plants," USNRC.
2. NUREG-0800, Standard Review Plan for the Review of Safety Analysis Reports For Nuclear Power Plants, Rev. 1 - July 1981 : 9.5.1 Fire Protection Program and 9.5.1 Fire Protection Program BTP CMEB 9.5.1 Guidelines for Fire Protection for Nuclear Power Plants.
3. KINS-G-001, "경수로형 원자력발전소 안전심사지침 (rev. 2)", 9.5.1 화재방호계획, 9.5.1-1 원자력발전소 화재방호지침, 1999. 10.
4. Safety Series 50-SG-D2, "Fire Protection in Nuclear Power Plants", IAEA, 1992.
5. Safety Series 50-P-9, "Evaluation of Fire Hazard Analyses for Nuclear Power Plants", IAEA, 1995.
6. Safety Report Series No. 8, "Preparation of Fire Hazard Analyses for Nuclear Power Plants", IAEA, 1998.
7. IAEA Safety Standard Series, Safety Guide NS-G-2.1, "Fire Safety in the Operation of Nuclear Power Plants", IAEA, 1992.
8. 한국전력산업기준 원자력발전소 화재예방(FPN), 대한전기협회.