原子力發電과 環境安全

Ⅲ. 安全目標

原電의 안전성 확보는 放射線 被害로부터 국민의 건강과 재산 그리고 환경을 안전하게 보존하는 데 그 목적이 있다.

따라서 원전은 고려할 수 있는 최고의 安全槪念을 적용하여 건설되며 운전 및 보수 그리고 폐지의 全段階에 이러한 개념을 적용하고 있다.

原電 안전성 확보의 기본목표는 크게 一般目標, 放射線防護目標 그리고 技術的 安全目標로 나누어 설정되어 있다.

1. 一般 安全目標

原電의 일반목표는 개인과 사회 그리고 환경을 보호하기 위해 원자력발전소에서의 放射線障害에 대한 효과적인 방호대책을 수립하여 유지하는데 있다. 원자력발전의 안전에 대한, 즉 발전소 종사자 및 일반 공중의 방사선피폭 영향 등에 대한 위험도는 다른 일반산업안전에서의 위험도와 비교하여 매우 낮으며, 이러한 일반목표의 달성은 구체적인 안전목표치를 설정함으로써 이루어지고 있다.

2. 放射線 防護目標

原電의 정상운전시에는 방사선 피폭선량과 방사성 물질의 발전소 외부 유출이 제한치 이하가 되게함은 물론 합리적으로 달성 가능한 한 낮게 유지토록 함으로써 사고로 인한 방사선 피폭의 정도를 완화할 수 있도록 하는데 목적이 있다.

현재 원전종사자들에 대한 法的 許容線量은 國際放射線防護委員會(ICRP)의 권고치인 연간 5,000밀리렘으로 규정하고 있으며 일반국민들에게는 연간 500밀리렘을 한도로 정하고 있다. 그러나 原電지역 주변에 대한 실질적인 운영목표치는 연간 5밀리렘 이상을 초과하지 않도록 설정하여 운영하고 있다.

3. 技術的 安全目標

원자력발전소의 설계시 고려된 모든 사고의 발생 가능성을 극소화함으로써 원전의 사고 가능성을 배제하는 것으로, 이는 多重防護槪念, 多段階 安全保護裝置 등의 사고방지 설계 개념 및 만일의 사고시 사고완화를 위한 각종 安全設計, 非常對應措置 등의 事故緩和 槪念에 따라 원자력

발전소를 설계 및 운영함으로써 사고에 대한 기술적 안전목표를 달성할 수 있다.

일반적으로 원전의 안전성에 대한 인식은 막연한 공포감에서 유발되는 감성적인 안전성 판단이 지배적이나 1975년에 발표된 美國의 原子爐 安全性報告書(WASH－1400)에서 확률론적 위험도 평가방법을 근거로 하여 원전의 안전성을 구체적인 숫자로 나타낸 이후 현재는 이 방법을 원전의 안전도를 표시하는 데 이용하고 있다.

이러한 確率論的 危險度 評價方法을 사용할 때 기존 원자력발전소에서의 중대사고 발생확률은 10^{-4} 사고빈도/년 이하로서 현재 자유세계 원전의 경우 중대사고가 1만년중에 한번 이하로 발생될 수 있을 정도의 안전성을 지니고 있어 이러한 안전수준은 타산업이나 다른 에너지 源에 비해 안전도가 훨씬 높은 수준이라 할 수 있다. 더욱이 현재 건설중에 있는 영광 3·4호기의 중대사고 발생확률은 10^{-5} 사고빈도/년으로 개선되었으며 연구개발 중에 있는 新型安全爐들의 경우는 이보다도 훨씬 높은 10^{-6} 사고빈도/년을 목표로 하여 진행중에 있다.

Ⅳ. 安全基本原則

原電의 안전개념을 근간으로 하고 안전목표를 달성하기 위한 기본 안전원칙은 管理, 深層防禦 및 技術的事項에 관계되는 항목 등으로 나뉘어진다.

1. 管理責任

원자력발전에 종사하는 모든 개인 및 조직의 안전성에 대한 인식제고와 올바른 관행의 준수를 생활화하는 安全文化의 確立과 원전의 궁극적인 운영책임은 운영조직에 있다는 책임의식의 제고 그리고 確立된 規制組織에 의한 원전건설 및 안전운영을 위한 규제 및 감시활동 등이 원전안전 운영에 미치는 기본원칙중의 하나라 할 수 있다.

2. 深層防禦戰略

심층방어는 원자력 안전기술의 근간을 이루기 때문에 기본원칙중에서도 특히 중요한 것으로, 안전성에 관련된 제반활동들이 만약의 사고 발생시에도 개인이나 공중에 큰 위해를 끼침이 없이 제기능을 수행할 수 있도록 하는 데 목적이 있으며, 이에는 사고방지 및 사고완화의 機能原則이 있다.

가. 事故防止原則

사고방지를 위한 기본원칙에는 多重防護裝置 및 多段階 安全保護裝置가 있다.

다중방호개념은 최악의 사고발생시 핵연료가 녹는다 하더라도 5중방호벽이 설치되어 있어 외부환경으로 방사선이 누출되지 않도록 하는 것이며, 다단계 안전보호조치는 품질보증과 점사 및 시험 등을 통하여 고장이나 사고를 미연에 예방하며 원자로 보호계통과 공학적 안전설비를 확보하여 사고의 확산을 방지하는 역할을 하고 있다.

나. 事故緩和原則

사고완화원칙은 原電에서 발생될 수 있는 중대사고에 대한 운전원, 종사원 및 관련기관들의 상호 협조체계를 이룩하고 原電의 재해가 발생하거나 발생할 우려가 있는 경우에 필요한 防災計劃 및 非常對策을 수립, 시행하여 사고를 완화시킬 수 있도록 하는 데 있다.

우리나라에서는 1983년도 이래 國家 民防衛計劃중 재난별 대책계획에 이러한 비상대책이 반영되어 있으며 규제당국과 한국전력 및 지방행정기관은 원전사고에 대한 인근주민 보호와 사고수습을 위한 방재대책을 수립, 시행하고 있다.

3. 一般技術原則

원자력발전소의 계통과 부품은 안전목표에 맞는 品質基準에 따라 설계, 건설, 시험이 되며,

원전의 신뢰성 및 안전성을 확보하기 위해 승인된 기술기준을 적용한다.

또한 원자력발전소의 건설·운영 등 발전소 수명기간동안 모든 기기와 인간의 행위에 대해 높은 품질을 유지하도록 품질 보증활동을 수행하며 인적실수를 방지하기 위해 지속적인 훈련 및 자격 관리뿐만 아니라 경보장치 및 각종 설비면에서의 안전장치를 설치하는 것을 원칙으로 하고 있다.

원자력발전소의 安全性評價 및 檢證은 원전의 건설 및 운전 이전에 안전성분석보고서에 의해 수행되는데, 이는 발전소 설계단계에서 반영되어야 할 발전소 부지 특성에 관한 정보와 전반적인 발전소 계통 설명 및 안전설비에 대한 세부기술정보 등이 포함된다.

이러한 原電 안전성분석은 設計基準 事故시에도 안전계통과 발전소의 기능이 발전소의 안전목표에 부합되고 적절한 성능을 유지함을 보이기 위해 사용된다.

原電의 일반기술원칙중 방사선 안전과 직접 관련되는 부분은 放射線防護原則으로 정상 운전시 및 사고시 방사선의 영향으로부터 발전소 종사자와 일반 공중을 보호하기 위해 발전소 설계단계에서부터 운전단계까지 국제방사선방호위원회(ICRP)와 국제원자력기구의 권고에 부합하는 國際的인 放射線防護基準이 적용된다.

第2章 設計 및 建設

Ⅰ. 立地選定

원자력발전소 설계시 고려되어야 할 가장 중요한 조건중의 하나가 입지의 선택으로 원자력발전소의 立地條件은 화력발전소와 유사한 점이 많으나 크게 다른 점이라면 연료의 하역 및 저장을 위한 지역을 필요로 하지 않는 반면 발전소 설계시 반영된 최악의 假想事故에 대해 충분한 안전성을 가질 수 있도록 다음과 같은 지질 및 환경조건을 고려하여 입지를 선정하여야 한다.

1. 敷地環境

원자력발전소 부지환경 조건은 원자로형, 설계내용, 운전조건 및 방사선 방호시설 등과 같은 중요한 조건들을 고려하여 결정하며 최악의 事故時에 방사능 재해를 최소화하기 위하여 원자로에서 부지 경계까지 거리도 700~1,000m 정도로 하고 있다. 또한 發電用水 확보가 용이하고 주변의 인구밀도가 가장 적은 지역을 선정하여 다음과 같은 각각의 운전조건에 대해 안전성평가를 수행하여 사고 발생시에도 방사능 재해로 인한 주변주민의 영향이 설계 기준치를 초과하지 않도록 하고 있다.

가. 正常運轉

평상시 주변 거주지역 및 주민에 대한 공기중 또는 수중의 방사능 농도 및 방사선 피폭량이 각각 원자력법에서 허용하는 농도 및 피폭량을 초과하지 않도록 설계되어지며, 실제 운전중인 발전소 주변의 방사능 농도나 피폭량은 發電所 運轉前과 비교하여 전혀 차이가 없는 것으로 평가되고 있다.

나. 設計基準事故

원자로설계 개념상 예상할 수 있는 최악의 상태에서 원자로 및 관계시설에 회복될 수 없는 피해를 주거나 줄 수 있는 사고 발생시에도 발전소 울타리 경계에서의 방사선량이 최대 許容被曝線量을 초과하지 않도록 설계된다.

미국 TMI 사고는 이 같은 설계기준사고의 범주를 넘어선 상황까지 파급되었지만 사고발생후 방사선으로 인한 인명이나 재산상의 피해가 발생되지 않음으로 인하여 역설적으로 원자력발전소의 안전성을 입증한 사례라고 할 수 있다.

다. 重大事故

기술적인 측면에서는 그 발생을 예상할 수 없으며 발전소 울타리 경계에서의 방사선량이 최대 허용 피폭선량을 초과할 수도 있는 사고로서

소련의 체르노빌 원자력발전소 사고를 그 대표적인 예로 들 수 있다.

체르노빌 원자력발전소는 우리나라나 서방 선진국에서 원전 설계시 발전소 안전성을 위해 가장 중요한 시설로 고려하는 原子爐 格納 建物을 설치하지 않음으로 인해 그 피해가 매우 컸다. 국내 발전소의 설계조건에 소련의 체르노빌 사고 조건을 가상하여 평가한다면 미국의 TMI 사고 정도의 피해가 있을 것으로 예상되고 있다. 따라서 이같은 사고의 발생시에 일반 공중의 방사능 재해를 가능한 최소화하기 위하여 인구 밀집지대에서 충분히 떨어져서 원자력발전소를 건설하도록 요구되어진다.

2. 地 盤

원자력발전소는 원자로계통 및 증기발생기 계통 등과 같이 매우 무거운 기기 및 설비들로 구성되어 있어 상당한 하중에 견딜 수 있어야 할 뿐만 아니라 예상되는 최대 지진의 영향에도 충분히 견딜 수 있도록 견고한 지반으로 이루어져 있어야 한다. 특히 원자로 건물 등과 같이 중요한 건물들은 충분한 耐震效果를 갖기 위하여 해당지역에 대한 지형특성 및 암상, 지질구조, 암석의 연대측정까지도 수행하고 있으며, 또한 부지의 적합성과 관련하여 지표 또는 지하의 함몰가능성, 자체구조 운동에 따른 지구대, 가스, 광물자원 및 지하수의 추출로 인한 지반의 붕괴 가능성까지 엄밀히 검토한다.

3. 耐 震

원자력발전소가 위치한 지역에 지진이 발생할 경우 발전소 중요기기에 손상을 초래할 가능성을 배제하기 위하여 발전소 입지 선정시 그지역 및 주변지역에 대한 地震履歷을 고찰하여 부지반경 320km 이내에서 수천년 동안에 1회에 발생 빈도를 갖는 최대 지진을 설계기준으로 채택한다(일반산업시설은 150년의 발생 빈도 지진을 설계기준으로 함).

또한 活性斷層이 발견되면 별도의 세부조사를 통하여 발전소의 안전성을 검토하고 최악의 경우 지진이 발생할 때에도 방사성 물질의 외부유출을 방지하면서 발전소를 안전하게 정지할 수 있도록 설계한다.

4. 氣象 및 해상

원자력발전소의 입지 조건중 氣象 및 해상조건은 발전소 건설 및 가동으로 인해 주변환경에 미치는 영향을 결정하는 가장 중요한 요인으로 홍수, 태풍 및 만조 등의 영향으로 발전소 운전 및 안전에 지장을 초래하지 않아야 한다. 또한 건물 및 기기의 설계와 建設工程은 과거의 최대 풍속, 최고 및 최저 기온, 강수량 및 강우·강설일수 등을 장기간 조사한 자료를 면밀히 검토하여 결정하며, 방사성폐기물에 의한 발전소 주변에 미치는 영향을 조사하기 위해 주변의 기상상태도 연속적으로 감시하도록 하고 있다.

즉, 발전소 부지 또는 부근에 기상관측소를 설치하여 風向·風速 및 대기안정도, 기온의 垂直分布, 日射量·降雪量, 氣象의 局地性 등을 측정하도록 하며, 이 자료를 근거로 발전소 가동에 따른 주변주민의 방사선 영향과 부지주변 생태계의 생물학적 영향 및 변화를 발전소 가동전과 비교 평가한다.

Ⅱ. 設計 및 엔지니어링

1. 概 要

원자력발전소는 예기치 않은 事故를 예방하거나 그 영향을 완화시키기 위하여 안전에 중요한 구조물, 계통 및 설비 등을 포함하여 수많은 부품이 有機的으로 연결되어 있다. 이들 품목의 설계를 위하여는 규제요건, 규격 및 표준 등 안전관련 설계관점에서 기본적으로 고려하여야 할 사항이 매우 많고 광범위하다. 따라서 안전에 중요한 이들 품목의 안전성 및 신뢰성 확보를 통

하여 이상상태의 발생을 방지하고 부득이 발생된 이상상태는 가급적 확대되지 않도록 하고 있으며 그 영향을 완화할 수 있도록 설계하고 있다.

즉, 발전소를 설계하는 과정에서 구조물, 부품 및 계통이 내진분류 및 품질, 안전성 등급에 따라 적절히 분류되었는가를 평가하고 있으며, 耐震範疇 等級의 구조물이 설계 풍속이나 예상되는 최대 홍수, 최대 지하수의 영향에도 안전하게 견딜 수 있도록 설계한다.

또한 발전소 중요지역에 위치하는 기기나 설비등이 항공기 사고나 자연현상에 의해 재해로 부터 보호받을 수 있도록 防護壁을 설치하고 사고배제를 위한 방호대책 등도 설계단계에서 고려한다. 이와 같이 발전소 외부 영향에 의한 안전성 외에 발전소 운전에 사용되는 설비, 기기 및 부품들에 대한 안전성 및 신뢰성 평가도 설계 단계에서 검토하고 있다. 즉, 사고 발생시 주변계통 및 기기에 미치는 영향을 최소화하기 위해 설치되는 기기 및 부품에 대하여는 제작단계부터 철저한 品質保證을 통해 만들어지며 어떠한 조건에서도 정상적으로 동작할 수 있도록 설계된다.

2. 設計槪念

가. 多重性(Redundancy)

한 계열의 기능이 상실되었을 때 똑같은 기능을 발휘하는 다른 계열이 본래의 기능을 발휘할 수 있도록 한다.

나. 獨立性(Independence)

한 계열의 사고가 다른 계열의 기능에 영향을 미치지 않도록 물리적으로 분리(독립)되어야 한다.

다. 故障時 安全한 方向으로 作動(Fail to Safe)

어떤 원인에 의해 설비의 본래 기능이 상실될 때 발전소에 안전한 방향으로 동작하여야 한다.

라. 運轉中 常時 點檢機能(Testability)

안전성 기능확인을 위하여 운전중에도 항상 점검 가능하며 안전 신뢰도를 확보하여야 한다.

마. 耐震設計

원자력발전소의 안전성 관련 구조물이나 기기 및 설비는 가상되는 각종의 정상 및 비정상 하중상태 하에서도 그 구조적 건전성을 유지하여야 한다.

바. 完全한 設計機能 發揮(Function Establishing)

안전계통 설비물은 지진이나 설계기준 사고시 충분한 본래의 설계 기능을 발휘하여야 한다.

사. 設備의 損傷緩和(Mitigation Equipment Damage)

안전계통 설비들이 화재 폭발 등의 사고로부터 손상되지 않도록 하여야 한다.

3. 安全系統

가. 原子爐 保護系統

원자로에 영향을 초래하는 고장이나 비정상 상태 발생시 자동적으로 원자로가 정지되도록 보호하는 계통

나. 工學的 安全設備

사고로 인하여 방사성 물질이 격납용기 내로 방출될 때 발전소를 안전하게 정지시키고 외부로 방사성 물질의 유출을 방지하기 위한 설비

다. 非常電源系統

외부 전원이 차단되었을 때 안전성 관련 계통의 기기에 전원을 공급하는 계통으로 디젤발전기와 축전지 시설로 구성되어 있다.

이같은 일련의 설계개념 및 안전계통은 발전소의 비정상상태나 사고 발생시에 안전대책을 몇 단계씩 마련한다는 것으로 深層防禦槪念이라 부르고 있다.

〈다음號에 계속〉