제1장 원전의 안전대책

제1절 원전의 안전개념

1. 안전목표

원자력발전은 화력, 수력 등의 발전방식과는 달리 원자핵의 분열에너지를 발전에 이용하기 때문에 핵분열 생성물을 중심으로 한 방사성물질이 원전연료내에 축적된다.

원자력발전소에서는 이와 같은 원자력에너지를 적절히 제어하고 축적된 방사성물질이 외부로 방출되지 않도록 안전하게 격리하여 처리함으로써 안전성을 유지한다. 이를 위하여 다음과 같이 일반안전목표, 방사선안전목표, 그리고 기술안전목표를 설정하고 있으며 궁극적으로 방사선재해로부터 국민의 생명과 재산을 보호하는 것을 목표로 한다.

가. 일반안전목표

개인, 사회 및 환경을 보호하기 위하여 원전에서의 방사선장해에 대한 효과적인 방호계획을 수립, 유지

나. 방사선안전목표

정상운전시에는 발전소 내에서의 방사선쪼임을 합리적으로 달성가능한 한 낮게 그리고 제한치 이내로 유지하고 사고발생시에는 외부로의 방사성물질 누출과 공중의 방사선쪼임의 정도를 완화시킬 수 있도록 확실히 보증

다. 기술안전목표

원전에서 발생가능한 사고를 사전에 예방하고 설계기준을 초과하는 사고의 발생확률을 가능한 한 최소화

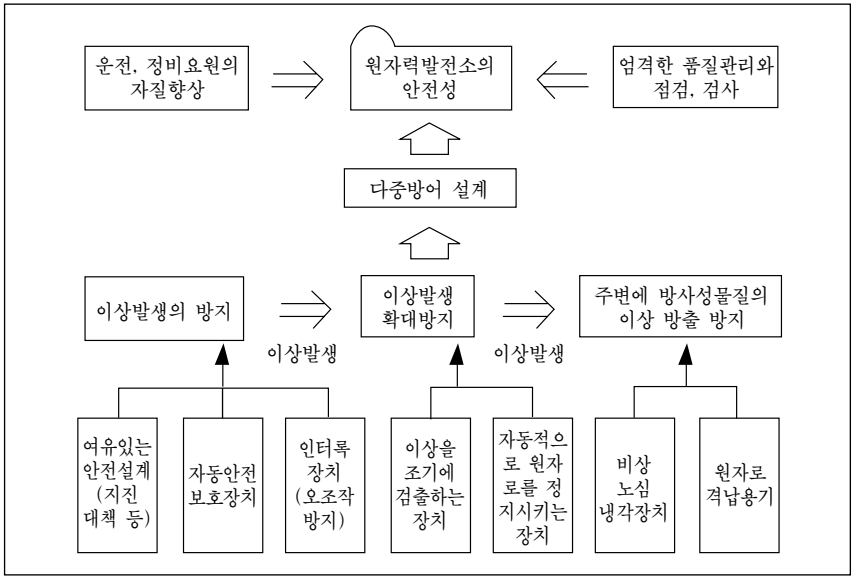
2. 안전성 확보개념

가. 심층방어

원자력발전소는 심층방어개념으로 설계되어 있다. 심층방어개념은 원전의 건설 및 운영 각 단계마다 적용하고 있지만 설계단계에서 가장 명확히 적용하고 있다.

심층방어개념이란 먼저 이상상태의 발생을 가능한 한 방지하되, 이상상태가 발생하였을 때에는 이의 확대를 최대한 억제하며, 만일 이상상태가 확대되어 큰 사고로 진전되었을 때에는 그 영향을 최소화하고, 주변주민을 보호하도록 사고의 진전 단계의 모든 단계마다 적절한 방어체계를 갖춘 것을 말한다.

이상상태의 발생 방지수단으로써 모든 시설에 대하여 충분한 안전여유를 갖도록 설계하고 있으며, 고장에 대비하여 설비를 최소한 이중으로 갖추어 두고 있다. 따라서 확률적으로 이상상태의 발생가능성이 매우 낮지만 만일 기기의 고장이나 운전원의 실수가 겹쳐 이상상태가 발생하면 원자로보호 설비가 이를 자동적으로 감지하여 원자로를 안전하게 정지시킴으로써 원자로가 손상되는 등의 중대한 사고로 진전되는 것을 방지해 준다. 그럼에도 불구하고 중대한 사고가 만에 하나 발생하거나 발생할 가능성이 있는 경우 비상노심 냉각장치와 원자로 격납용기 등 안전설비가 사고의 악화를 완화시키고 방사성물질이 주변환경으로 누출되는 것을 방지하도록 설계되어 있다.



〈그림 4-1〉 심층방어 개념

나. 다중방호설비

심층방어개념의 핵심은 다중방호이다. 다중방호 개념은 방사성물질이 발전소 외부로 누출되는 것을 방지하기 위하여 여러겹의 방호벽을 설치하는 것을 말한다. 통상 원자로형에 따라 4~5겹의 방호벽이 설치되어 있는데 우리나라 원자로 중 대다수를 차지하고 있는 경수로는 다음과 같이 다섯겹의 방호벽으로 이루어져 있다.

(1) 제1방호벽 (연료펠렛)

핵분열에 의해 발생된 방사성물질은 압축 성형가공된 산화우라늄 금속 내에 그대로 갇히게 된다.

(2) 제2방호벽 (연료피복관)

핵분열에 의해 생기는 방사성물질 중 연료펠렛을 빠져 나온 미

량의 가스성분은 지르코늄 합금의 금속관(피복관) 안에 밀폐된다.

(3) 제3방호벽 (원자로 용기)

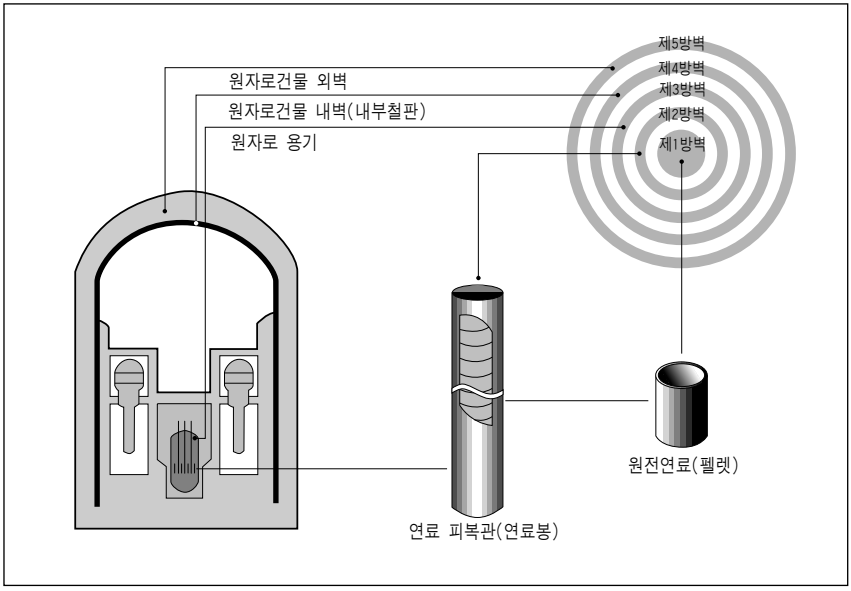
만약에 연료 피복관에 결함이 생겨 방사성물질이 새어나와도 두꺼운 강철로 된 원자로용기와 배관에 의하여 방사성물질이 외부로 노출되지 못하도록 되어 있다.

(4) 제4방호벽 (원자로건물 내벽)

원자로건물 내벽에 두꺼운 강철판이 설치되어 있어서 만일의 사태가 발생하여도 방사성물질을 격납용기 안에 밀폐한다.

(5) 제5방호벽 (원자로건물 외벽)

최종적으로 120cm 두께의 철근콘크리트의 원자로건물 외벽이 있어서 방사성물질이 외부환경으로 누출되는 것을 방지한다.



〈그림 4-2〉 다중방호 설비

상기 다중방호벽 중 최종방호벽인 원자로건물의 중요성은 미국 드리마일 원전사고와 구 소련 체르노빌 원전사고에서 입증되었다. 구 소련 체르노빌 원전의 경우 원자로건물이 설치되어 있지 않아서 방사성물질이 발전소 외부로 누출되어 일반인에게 피해를 끼친 반면, 원자로건물이 설치된 드리마일 원전의 경우 발생한 방사성물질이 대부분 원자로건물 내에 갇혀서 외부환경에 대한 피해가 없었기 때문이다.

3. 안전설비

가. 안전설비의 종류

(1) 사고예방설비

(가) 원자로보호계통

원자로의 이상을 감지하여 경보(Alarm)나 원자로 정지신호를 발생시키고 공학적 안전시설을 작동시키는 계통이다. 원자로보호계통은 잘못된 신호에 의해서 원자로가 정지되지 않고 실제신호에 의해서만 안전정지될 수 있도록 다중논리회로(1 out of 2 또는 2 out of 3) 설계개념을 채택하고 있다.

(나) 원자로정지계통

원자로정지계통은 다른 원리의 독립된 2개의 정지계통을 보유하고 있다. 1개의 계통은 제어봉을 이용하고 다른 1개의 계통은 보완장치로써 붕산주입계통이 사용되고 있다.

(다) 비상노심냉각계통

비상노심냉각계통은 노심 내에 축적된 열과 붕괴열을 제거하기 위한 설비로써 다른 원리의 독립된 계통을 이중으로 설치하고 있다.

(2) 사고완화 설비

(가) 격납용기

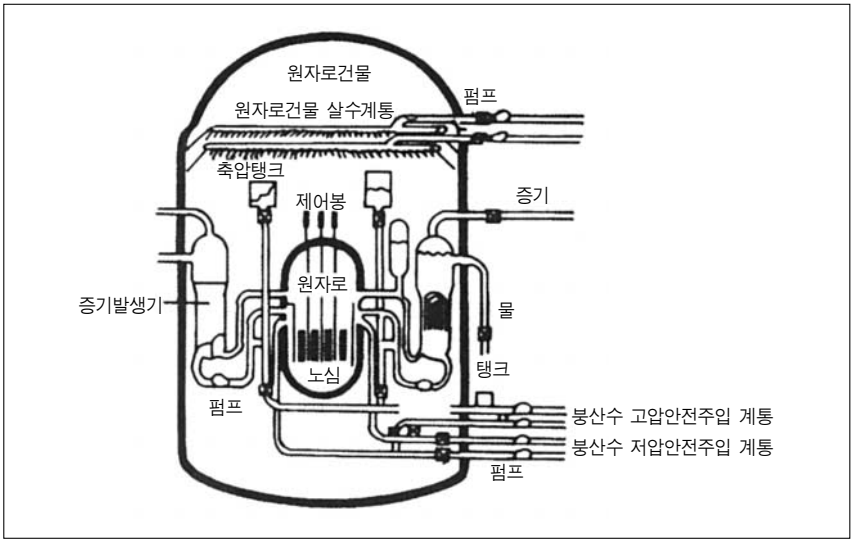
방사성물질이 수용되어 있는 원자로 및 1차계통을 기밀성이 유지되는 철근 콘크리트 건물 내에 수용하여 만일의 사고시에도 방사성물질의 외부누출을 방지하도록 설계되어 있다.

(나) 격납용기 살수계통

사고시 격납용기 내의 압력을 단시간내에 저하시켜 외부로 방사성물질의 누출을 감소시키고 요오드 등의 방사성물질을 격납용기 안에서 제거하기 위한 계통이다.

(다) 공기 재순환계통

격납용기 내의 공기를 필터를 통해 재순환하여 방사성물질을 제거하는 계통이다.



〈그림 4-3〉 안전설비

(라) 비상가스 처리계통

격납용기 내부기체의 방사성물질을 필터를 통해 제거하여 깨끗한 기체만 배기계통으로 방출하는 계통이다.

나. 안전설비의 설계특성

(1) 다중성(Redundancy)

한 계열의 기능이 상실되었을 때 똑같은 기능을 발휘하는 다른 계열이 본래의 기능을 발휘할 수 있도록 같은 기능을 갖는 설비를 2계열 이상 중복해서 설치한다.

(2) 독립성(Independence)

2개 이상의 계통 또는 기기(각각의 기능이 동일하거나 다른 경우 포함)의 기능이 한가지 원인에 의해 상실 또는 저해되지 않도록 물리적으로 분리(독립)하여 설치한다.

(3) 다양성(Diversity)

한가지 기능을 달성하기 위하여 성질이 다른 계통이나 기기를 2개 이상 설치한다.

(4) 견고성(Durability)

원자력발전소의 안전성관련 구조물이나 기기 및 설비는 지진 등 예상되는 각종 정상, 비정상 상태에서도 그 구조적 건전성을 유지하여야 한다.

(5) 운전중 상시 점검기능(Testability)

안전성 기능확인을 위하여 운전중에도 항상 점검이 가능하여야 한다.

(6) 고장시 안전한 방향으로 작동(Fail to Safe)

어떤 원인에 의해 설비 본래의 기능이 상실될 때 발전소가 안전한 방향으로 유도 되도록 설계한다.

(7) 연동기능(Interlock)

설비 또는 기기의 오동작 등에 의한 손상 및 사고를 방지하기 위하여 정해진 조건이 만족되지 않으면 기기가 동작되지 못하도록 한다.

제 2 절 안전관리 체계

1. 안전관리 조직체계 및 기능

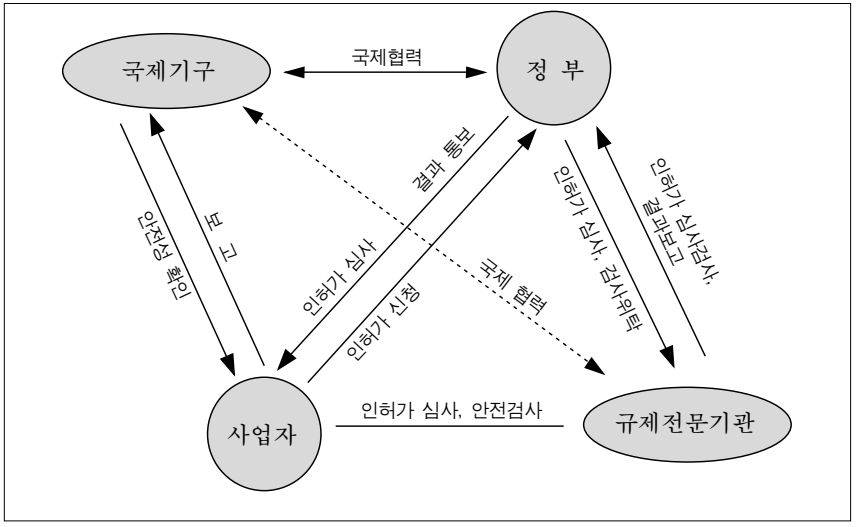
원자력발전소가 아무리 심층방어개념과 안전설계기준을 적용하여 안전하게 건설되었다 하더라도 정해진 규정과 절차에 따라서 엄격하게 운영, 관리되지 않는다면 그 안전성은 결코 확보될 수 없을 것이다. 원전의 잠재적인 위험은 원자로를 운전함으로써 비로소 생기는 것이므로 원전의 안전관리는 안전설계에 못지 않은 중요성을 갖는다.

이와 같은 안전관리의 중요성에 따라 우리나라의 원자력안전관리는 사업자와 정부 그리고 규제전문기관이 기능별, 단계별로 역할을 분담하여 안전성을 종합적으로 확인하는 삼각체제에 의해서 이루어지고 있다.

원전의 안전에 대한 궁극적인 책임을 갖고 있는 사업자는 원전 현장에서 실무적인 안전관리 활동을 수행한다. 정부는 관계법령을 통하여 원전 운영에 따른 제반 안전요건과 지침을 제시하고 설계, 제작, 시공, 운전 등의 과정에서 각종 인허가 심사 및 검사를 통

해 시설의 종합적인 안전성을 확인하고 있다. 이러한 정부의 안전관리 활동 중 기술적으로 전문지식이 요구되는 부분은 안전규제 전문기관인 한국원자력안전기술원에 위탁하여 수행하고 있다.

이러한 국가 차원의 안전관리 활동과 더불어 최근에는 국제원자력기구 등을 중심으로 원전의 안전성을 국제적으로 감시하는 움직임이 활발히 전개되고 있다. 1994년 9월 제38차 국제원자력기구 연차총회에서 체결된 원자력안전협약도 이러한 공동감시체제의 한 범주에 속한다고 할 수 있으며 1999년 4월 12일부터 2주간에 걸쳐서 체약국 원전의 안전성을 체계적으로 검토하기 위한 최초 체약국 검토회의가 IAEA에서 개최된 바 있으며, 제2차 회의는 2002년 4월 IAEA에서 개최되었다.



〈그림 4-4〉 원전 안전관리 체계

2. 법령체계

가. 원자력법

원자력법은 원자로 및 핵물질취급시설의 인허가, 방사성물질 등의 안전관리, 핵물질의 계량관리 및 물리적방호, 방사선 장해방어에 관한 기본적인 사항과 벌칙 등을 규정하고 있으며, 정부의 안전관리활동의 법적 근거가 되고 있다. 원자력법은 법과 그 부속법령인 시행령 및 시행규칙으로 되어 있으며 법은 전문 122조와 부칙, 시행령은 전문 337조와 부칙, 규칙은 전문 137조로 구성된 원자력 법시행규칙과 전문 87조로 구성된 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 및 전문 122조로 구성된 방사선안전관리 등의 기술기준에 관한 규칙 등 세 개의 규칙으로 구성되어 있다.

또한 비상노심냉각계통의 성능에 관한 기준이나 원자로시설의 각종 시험에 관련된 세부기술기준 등 원자력법령에서 위임한 사항을 과학기술부장관이 정한 각종 고시가 있다.

나. 전기사업법

전기사업법은 전기설비의 설치, 전기설비 공사계획 등에 관한 인허가, 전기설비에 대한 안전검사 등에 관한 기본적인 사항과 벌칙을 규정하고 있다.

원전시설도 전기를 생산하는 시설로서 전기사업법의 적용을 받는다. 전기사업법은 법과 그 부속법령인 시행령 및 시행규칙으로 되어 있으며 법은 전문 108조와 부칙, 시행령은 전문 63조와 부칙, 그리고 시행규칙은 전문 52조와 부칙으로 구성되어 있다.

제 3 절 원전의 안전대책

1. 건설중 안전대책

가. 인허가 심사

원전을 건설하고 운영하기 위하여 사업자는 원자력법 및 전기사업법에서 요구하고 있는 분석 및 평가보고서, 지침서 및 계획서 등을 작성하여 그 안전성이 검토될 수 있도록 단계별로 신청하여 정부의 승인을 득하여야 한다. 원전을 건설하기 위해서는 방사선환경영향평가보고서, 예비안전성분석보고서 및 건설에 관한 품질보증계획서 등을 제출하여 원자력위원회의 심의를 거쳐 과학기술부장관의 건설허가를 받게 된다.

또한 원전을 운영하기 위해서는 운영허가를 받아야 하는데 이때에는 최종안전성분석보고서, 운영기술지침서, 운전에 관한 품질보증계획서 및 방사선환경영향평가보고서 등을 제출하도록 하여 원전 가동에 따른 안전성을 확인하도록 하고 있다.

나. 사용전 검사

사용전 검사는 정부의 가동전 원전에 대한 안전검사를 말하는 것으로 시공된 시설의 내용이 당초 허가된 내용에 부합하는지를 확인하는 시설검사와 기기, 계통, 시설의 안전성능을 확인하는 성능검사로 구분된다.

시설검사는 구조, 계통 또는 기기가 가동전시험을 위해 시운전부서로 이관되기 전에 건설사업소장 책임하에 제작, 시공, 설치 등의 타당성을 입증하고 운전준비 태세의 완료여부를 확인하기 위하여 실시하는 제반시험을 확인하는 절차이다.

성능검사는 원전의 공사가 완료된 후부터 원전연료장전이 가능

한 상태로 될 때까지의 기간중 원자로시설의 기능 및 성능을 확인해야 할 설비들에 대한 시험 등을 확인하고, 원전연료장전부터 상업운전까지의 원자로의 운전성능 및 기능을 확인하는 검사이다.

다. 품질보증 활동

사업자는 원자력발전소의 구조물이나 계통 또는 기기 등이 이용과정에서 제 기능을 만족스럽게 발휘할 것이라 확신을 줄 수 있도록 계획을 세우고 정해진 절차에 따라 업무를 수행하며, 또한 이들 업무가 만족스럽게 수행되는지를 확인, 평가하고 시정조치하는 품질보증 활동을 수행하고 있다. 이러한 품질보증 활동은 발전소의 건설기간중뿐만 아니라 발전소 수명기간 내내 수행되며 시공 또는 운영조직과 분리된 조직에서 수행함으로써 활동의 독립성을 유지하고 있다.

2. 가동중 안전대책

가. 안전심사 및 안전검사

정부는 가동중인 원전이 설계수명 기간 동안 안전하게 가동될 수 있도록 지속적이고 체계적인 확인, 감독 활동을 수행한다. 이러한 활동은 크게 안전심사와 안전검사로 구분된다.

안전심사는 원전의 운영허가 취득시 정부로부터 허가받은 사항을 원자로와 관계시설의 변경 및 추가시설 등으로 변경하게 될 경우 이에 대한 안전성을 평가하는 활동을 말한다.

안전검사란 원전의 운영이 관계법령과 기술기준에 입각하여 안전하게 운영되는가를 확인하는 제반 활동을 말한다. 여기에는 정기검사, 수시검사, 일상검사 등이 포함된다.

정기검사는 발전소 별로 15~18개월에 1회씩 발전소의 연료재장전 기간중에 수행되며, 이를 통해 검사대상 시설의 성능이 원자

력관계법령에서 규정하고 있는 기술기준에 적합한 성능을 유지하고 있는 것이 확인되어야 다음 주기 운전을 계속할 수 있다.

수시검사는 원전에 특별한 문제점이 발생하거나 기타 국내외 원전에서 발생한 유사사건들을 참고로 하여 특별히 검사를 수행할 필요가 있다고 판단되는 경우 과학기술부의 주관하에 수행된다.

일상검사는 각 원전 부지에 파견되어 있는 과학기술부 및 한국원자력안전기술원의 검사관들이 발전소의 안전운전을 감시하는 활동으로 원자로정지 또는 중요한 안전계통에 문제가 발생될 경우 이를 조사한 후 과학기술부에 보고하여 필요한 조치가 취해질 수 있도록 한다.

이 외에도 원자로시설의 용기, 배관, 주요 펌프 및 밸브와 구조물에 대하여 시간의 경과에 따른 열화의 정도를 감시 평가하기 위하여 관련법령에 근거하여 실시하는 가동중검사가 있으며, 가동중검사의 적절성을 확인하기 위한 공인검사가 있다.

나. 안전점검

정부에 의한 안전심사 및 검사와는 별도로 사업자는 원전의 안전성을 확인하기 위하여 다양한 종류의 점검을 실시하고 있는데 여기에는 발전소에서 일정기간마다 자체적으로 실시하는 정기점검과 필요에 따라 수시로 실시하는 대내외 안전점검으로 구분할 수 있다.

정기점검은 각종 안전관련 기기나 계통이 설계시 고려하였던 성능을 충분히 발휘하고 있는지 또한 모든 운전조건이 안전성에 적합한지를 발전소 계통 및 설비의 중요도에 따라 정해진 주기에 지속적으로 확인하는 것이다. 정기점검은 원자력법에 의거 승인을 받도록 되어 있는 운영기술지침서에 기술되어 있다.

정기점검 결과 불만족사항이 발생하면 운영기술지침서에서 정해진 요건에 따라 즉시 조치하여야 한다. 이들 조치 중에는 일정



〈그림 4-5〉 국제원자력기구에 의한 안전점검

기간내 불만족 사항을 해소시키거나 이것이 불가능한 경우 다음 일정기간 내에 발전소를 정지시켜 정상으로 회복시킨 후 재가동하는 내용도 포함되어 있다.

정기점검 이외의 자체점검으로는 한수원 본사 및 발전소 품질보증부서에서 실시하는 품질보증감사가 있다. 품질보증부서는 원전건설 및 운영을 직접 담당하지 않는 독립적인 위치에서 정기적으로 감사기준에 따라 감사를 실시하고 있다.

외부기관에 의한 점검으로는 산업자원부 및 과학기술부에서 원자력안전관리상 필요하다고 인정할 때 시행하는 특별안전점검이 있으며, 국제원자력기구와 미국 원자력발전협회 및 세계원전사업자협회 등 해외 전문기관에 의한 안전점검 등이 있다.

국제원자력기구 안전점검은 지금까지 5회, 미국원자력발전협회 안전점검은 8회 실시되었으며, 세계원전사업자협회 안전점검은 2회 실시되었으며 특히 2001년 11월 세계원전사업자협회 주관으로 미국 영국 프랑스 일본등에서 선발된 원자력 전문가 10명이 2주간에 걸쳐 영광 3, 4호기를 대상으로 안전점검을 실시 하였다. 점

검단은 전직원이 혼연일치가 되어 원전의 안전성을 추구하며, 발전소가 매우 안전하고 깨끗한 상태로 유지되고 있으며 이러한 노력으로 인상적인 운전실적을 기록하고 있으며, 세계적으로 모범이 될 많은 강점을 갖고 있다고 평하였다.

다. 자격관리

원자력발전소는 현대 과학기술이 집적된 방대한 규모의 산업시설로 이를 안전하게 운영하기 위해서 사업자는 종사자의 자질향상을 위한 교육훈련에 많은 노력을 기울이고 있으며 소정의 자격을 갖춘 자로 하여금 업무를 수행케 하고 있다.

특히 원자로의 안전한 운전을 위하여 정상운전은 물론 비상운전능력을 갖춘 원자로조종면허 소지자로 하여금 운전업무에 종사케 하고 있으며, 방사성동위원소취급면허 소지자로 하여금 방사선안전관리업무를 담당케하여 방사성물질에 의한 오염을 방지하고 방사선에 의한 장해를 최소화하고 있다.

라. 안전성 검토 및 심의

원전의 안전성을 심의하고 의결하는 기구를 발전소와 본사에 설치 운영하고 있다. 발전소에 설치된 발전소원자력안전위원회(PNSC)는 각 발전소 자체적으로 안전관련 중요사안을 심의 의결하는 회의체로서 발전소장을 위원장으로 발전소 주요 기술부서장이 참여하고 있다. 발전소원자력안전위원회는 2001년 한해동안 전 원전에서 총 396회가 개최되어 총 331건을 심의하였다. 이와는 별도로 본사에 설치된 원자력발전안전위원회(KNRB)는 회사내 원자력 안전관련 중요사안을 심의 의결하는 회의체로서 발전처장을 위원장으로 본사 원자력안전관련 조직의 중요 간부들이 참여하고 있으며, 원자력안전관련 정책이나 중요사항을 심의하거나 인허가 관련 중요사항에 대한 심의를 수행하고 있다. 2001년도에는 총 13

회의 원자력발전안전위원회가 개최되어 총 40건의 안건을 심의하였다.

마. 주기적안전성평가 (Periodic Safety Review ; PSR) 수행

지난 1999년도 제11차 원자력안전위원회에서 '가동 원전의 주기적안전성평가 추진방안'이 심의·의결되었다. 이어서, 2001년 1월에 주기적안전성평가와 관련한 원자력법이 개정, 공포되었으며, 동 법 시행령 및 시행규칙이 2001년 7월에 각각 개정, 공포되었다.

한국수력원자력(주)에서는 2000년 5월에 '가동원전 주기적안전성평가 수행 기본계획'을 수립하고, 동년 5월에 고리 1호기 PSR 시행계획을 확정하여 평가에 착수하였으며, 2002년 11월에 평가가 종료될 예정이다.

그리고, 월성 1호기 및 고리 2호기에 대해서도 2001년 5월, 2002년 4월에 각각 PSR을 착수 한 바 있으며, 2003년 6월, 12월에 평가가 종료될 예정이다.

평가 항목은 '원자로시설의 물리적 상태', '경년열화', '기기검증', '안전성분석' 등 11개 안전인자(Safety Factors)를 기본항목으로 하고, 세부 평가내용, 방법 및 기준 등은 관련 법령에 의거 설정하였다.

본 주기적안전성평가 수행 결과는 해당 원전의 안전성 향상은 물론, 원전 설계수명 도래시 계속 운영을 위한 주요 수단으로도 활용될 전망이다.

바. 안전문화 정착노력

(1) 원자력안전문화 정착 활동

안전문화를 창달하기 위하여 각 원전에서는 종사자의 안전의식을 제고하기 위한 제반 활동을 강화하고 안전 관련 관행의 개선, 안전문화 관련 교육훈련의 강화, 우수 안전문화의 전파 및 확산

등에 많은 노력을 경주하였다.

(2) 안전의식 제고 캠페인

원자력종사자의 안전의식 제고를 목적으로 제 7회 원자력안전의날 행사가 과학기술부 주관으로 '01년 9월 6일 개최되었다. 한수원은 이 행사와 연계하여 전 원전본부에서 9월 3일부터 9월 8일까지를 원자력안전주간으로 설정하고 설비 안전점검, 안전다짐 결의대회, 원자력안전유공자 포상, 안전특강, 기술발표회, 지역주민 참여 환경방사능 조사, 한수원-협력업체간 안전간담회 등 다양한 행사를 실시하였다. 또한 원자력을 이해하는 여성모임의 협조하에 서울, 대전 등 전국 6대 도시에서 원전 안전성 홍보 가두 캠페인을 전개함으로써 원전안전성에 대한 국민이해를 증진시키는 계기를 마련하였다.

(3) 원자력 안전 심포지움 2001 개최

한수원(주)는 2001년 11월 22일에서 23일까지 양일간에 걸쳐 과학기술부 후원 하에 국내·외 산·학·연 전문가 230여명이 참석한 가운데 서울 교육문화회관에서 원자력안전에 대한 인식을 새롭게 하고, 정부, 산·학·연 각계의 전문가 의견수렴 및 정보교류를 통해 향후의 원자력안전성 향상 방안을 모색하기 위한 목적으로 "원자력 안전 심포지움 2001"을 개최하였다. '원전 안전성 선진화'와 '가동원전 주기적안전성평가' 등 원전 안전성에 중요한 주제에 대한 발표 및 토론이 진행되었으며, 원전의 안전성을 향상시키기 위한 관계기관 간의 정보교류가 이루어졌다.

(4) 안전문화 이해증진

종사자에게 안전문화의 개념과 중요성을 소개하기 위하여 안전문화 교육교재를 개발하고 산하 원자력교육원에 개설된 2주 이상

의 모든 교육과정에 안전문화 과목을 개설하여 시행하고 있으며 원자력계 원로 및 사회 저명인사를 강사진으로 구성하여 원전 종사자를 대상으로 안전문화 특강을 실시하고 있다.

원전의 안전운영에 영향을 미치는 원전 종사자의 직업관, 안전의식 및 관행분석을 통하여 안전문화의 증진을 도모하고 이를 통하여 원전의 안전운영이 결국 가장 경제성 있는 활동이라는 인식이 확산되고 있다.

제 4 절 원전의 지진대책

1. 개 요

최근 지구상의 여러 지역에서 지진이 빈발하여 많은 피해를 내고 있다. 지진의 발생 원인에 대해서는 여러 학설이 있으나 판구조론이 정설로 되어 있다.

이 이론에 의하면 지구 내부는 고온의 액체상태인 용암으로 가득차 있고 여러개의 판과 같은 지각에 둘러싸여 있는데 이 지각들은 내부 용암의 대류현상에 의하여 마치 빙산이 물에 떠다니듯이 서서히 움직이고 있으며, 지판들이 서로 만나는 경계부분에서는 이러한 지각의 움직임에 의하여 판과 판이 서로 부딪쳐 한 개의 판이 다른 판 밑으로 밀려들어가거나 두 개의 판이 서로 멀어져 하부의 용암이 분출되기도 한다. 이러한 판들의 움직임에 의하여 지각에는 에너지가 쌓이게 되고 장기간에 걸쳐 쌓여진 에너지는 순간적으로 방출되면서 지진을 일으키게 된다.

지구의 표면을 이루는 거대한 지판들이 서로 충돌하거나 어긋날때 판 경계부에는 단층이 만들어지는데 대부분의 지진은 이를 따라 발생하고 있다. 우리나라는 가장 활발한 지진대인 미 대륙의

서부에서 일본 동부 및 필리핀 열도로 이어지는 환태평양 판의 후면에 위치하므로 이들 국가에 비해 발생지진의 크기나 빈도가 아주 미미한 수준에 지나지 않는다.

현대 기술로 지진의 발생 장소, 시기 등을 정확하게 파악하여 미리 예방 또는 대비한다는 것이 사실상 어렵다. 따라서 그곳의 지질, 지반상태, 지진발생이력 등을 면밀하게 조사, 분석하여 장차 일어날 수 있는 지진을 예측하고 이에 따른 내진설계를 하는 것이 최선의 대책이다. 특히 원자력발전소는 지진으로 피해가 날 경우 방사성물질이 외부에 누출될 수 있다는 최악의 상황을 가정해야 하기 때문에 어떤 설비보다도 지진에 대한 철저한 대비책이 요구되고 있어 부지선정, 설계, 건설 및 운영 등 각 단계에서 완벽한 지진 대비책을 세우고 있다.

2. 지진에 대한 안전대책

가. 부지선정과 설계

원자력발전소의 부지선정은 지질, 지진, 기상, 환경 등 여러 항목에 대한 조사과정을 거쳐 이루어지며, 이 중 지질 및 지진조사는 부지의 내진성 확보에 최대의 목표를 두고 상세하게 수행된다. 원자력발전소의 내진설계를 위한 설계지진 값은 신규 원전부지를 중심으로 반경 320km 이내에 광역지질조사와 지진조사를 통하여 지질 및 지진의 특성을 규명하고 삼국유사 등 고대 문헌에 나타난 지진기록과 계측된 지진 중에서 발전소에 가장 크게 영향을 미칠 수 있는 지진을 선정한 후 이 지진이 발전소에 미치는 예상 최대지반가속도값을 산출하여 여기에 여유를 더해 결정하는데 이것을 설계지진인 안전정지지진(Safe Shutdown Earthquake:SSE)이라고 한다.

우리나라에서 가동중에 있거나 건설중에 있는 원전의 설계지진

인 안전정지 지진 값은 최대 지반가속도 값으로서 중력가속도(g)의 20%에 해당하는 0.2g로 정하였으며, 〈표 4-1〉과 같이 각 원전의 설계지진 값은 실제 계산에 의해 구한 값보다 훨씬 큰 값인 추천치로 정하여 실제보다 많은 안전 여유도를 갖고 있다. 참고로 미국 원전의 80% 이상이 0.2g로 설계, 가동중에 있다.

또한 확률론적으로 설계지진 값에 해당하는 지진이 발생할 확률은 대략 일만년에 한 번 정도이므로 발전소 수명을 40년으로 할 경우 수명기간중에 지진이 발생할 확률은 거의 없다고 할 수 있다.

〈표 4-1〉 원전부지별 설계지진 값

구 분	최대지반가속도(g)		고려된 지진		비 고
	계산치	추천치	지 진 명	진도 및 규모	
고 리	0.19	0.2	지리산지진 (1936. 7)	M = 5.0 (MMI Ⅶ ~ Ⅷ)	계기지진
월 성	0.14	0.2	지리산지진 (1936. 7)	M = 5.0 (MMI Ⅶ ~ Ⅷ)	계기지진
영 광	0.165	0.2	황해지진 (1910. 1)	M = 6.75 (MMI Ⅶ ~ Ⅷ)	계기지진
울 진	0.15	0.2	지리산지진 (1936. 7)	M = 5.0 (MMI Ⅶ ~ Ⅷ)	계기지진

주) MMI(Modified Mercalli Intensity) : 진도
M(Magnitude) : 규모(리히터)

현재 가동중인 우리나라의 원전은 국내 원자력법과 미국원자력규제위원회가 규정한 기준에 따라 부지선정, 설계 및 건설되었다.

이에 따라 원자력발전소는 부지를 중심으로 반경 8km 이내에 과거 3만 5천년 이내 1회 또는 과거 50만년 이내 2회 이상 활동한 징후가 있는 활성단층(또는 잠재단층)이 없는 곳을 선정하여 건설하고 있으며, 특히 원자로건물은 큰 하중을 안전하게 지지할 수 있고 지진발생시 기초지반으로 인한 영향이 최소화되도록 견고한

암반위에 축조토록 하여 토사지반에 축조된 것보다 2~3배 이상의 지진력에도 견딜 수 있도록 함으로써 다른 어떤 산업시설물보다 높은 지진에 대한 안전성을 확보하고 있다.

더욱이 원자력발전소는 제진구조(制震構造)로 설계됨으로서 일반 건축물의 면진구조(免震構造)와는 개념이 다르다.

지진이 왕성한 일본 동경이나 미국 서부 대도시의 고층건물은 바람에 부러지지 않고 휘는 갈대와 같이 지진에 대하여 유연하게 대응하도록 설계되어 있다. 이에 반해 원자력발전소는 안전과 직결되는 각종 기기와 배관 등이 설치되어 있고 이들 기기와 배관에 큰 변위가 발생하면 발전소 안전운전에 문제가 야기됨으로 지진력을 구조자체의 강성으로 대항하도록 지진력보다 큰 강도를 갖는 구조로 설계하고 있다. 이를 위하여 원자력발전소는 지진력에 효과적으로 대항할 수 있는 구조형태의 하나인 전단벽(剪斷劈, Shear Wall)을 많이 설치하여 지진력을 자체의 강성으로 대항하여 제어하게 되어 있다.

이러한 개념을 바탕으로 설계된 원전은 건설시 철저한 품질보증시스템을 적용하여 한치의 부실도 개입될 수 없도록 하여 고품질의 원전을 건설하고 있다. 따라서 원자력발전소는 실제로 강력한 지진이 발생하였을 때 잘 설계되고 시공된 일반건물보다 그 진가를 크게 발휘하고 있다.

일례로 1995년 1월에 발생한 유명한 일본 고베지진은 리히터 규모 7.2로 지반 가속도가 무려 0.65g이나 되어 도시 전체가 폐허가 되고 고속도로 등 사회간접시설이 파괴되었지만 인근 11개 원전에는 전혀 피해가 없었고, 또한 1989년 10월에 발생한 샌프란시스코 지진도 규모 7.1로 지반가속도가 0.64g였지만 인근 디아블로 캐년원전과 험볼트 베이원전은 피해가 전무하였다는 사실은 원자력발전소의 내진성을 입증해준 좋은 사례이다.

□ 외국 원전의 지진 안전성

구 분	발생일시	규모	원 전 영 향
샌프란시스코 지진	'89.10.17	7.1	○ 디아블로 캐넌 : 정상가동 - 진앙지에서 235㎞ ○ 험볼트 베이 : 정상가동 - 진앙지에서 446㎞
북해도 지진	'93.7.12	7.8	○ 도마리 : 정상가동 - 진앙지에서 100㎞
LA 지진	'94.1.17	6.6	○ 산오프레 : 정상가동 - 진앙지에서 100㎞
고베 지진	'95.1.17	7.2	○ 진앙지에서 120~130㎞ 떨어진 11개 원전 : 정상가동
대만 난터우 지진	'99.9.21	7.3	○ 진앙지에서 180㎞ 떨어진 3개 원전 : 송전선로 단선에 의한 일시정지후 정상가동
인도 지진	'01.1.26	7.7	○ 카크라파 : 정상가동 - 진앙지에서 300㎞

나. 원전 가동시 지진대책

지진은 언제 어떠한 모습으로 우리에게 다가올지 모르기 때문에 항상 대비를 소홀히 해서는 안된다. 우리 나라에서는 원자력발전소 가동중에 지진이 발생할 경우 이를 신속하게 감지하고 그 규모에 따라 원전을 가동중지하는 등의 안전조치를 취하도록 하고 있다. 현재 국내 원전은 호기별로 10여개의 지진계측기를 설치하여 지진을 상시 감시할 수 있는 지진 감시설비를 운영중에 있다. 지진 감시설비는 설계지진인 안전정지 지진(SSE)의 1/20 수준인 0.01g의 지진동이 감지되면 작동을 시작하여 주제어실에 근무하는 운전원에게 지진발생을 알리는 경보를 주어 이에 대비토록 하고, 0.1g의 지진동이 감지되었을 경우는 아직 충분한 안전 여유가 있으나 각 발전소의 비상운영절차에 따라 발전소를 정지토록 함으로서 지진으로 인한 피해에 사전 대비토록 하고 있다.

한편 1999년 5월부터는 지진 발생시 원전 구조물에 대한 즉각적인 영향평가와 내진연구를 위하여 원자력발전소 자체의 지진 감시설비와는 별도로 전력연구원에 원전부지 인근의 미소지진을 감시하는 지진감시센터를 개설하여 운영하고 있다. 이 지진감시센터는 원전 주변의 지진 활동을 체계적으로 감시하기 위해 설치한 지진관측소로부터 지진동에 관련한 각종 정보를 실시간으로 전송받고 있으며, 지진 발생시 경보신호뿐만 아니라 진앙의 위치, 발생시각, 규모 등의 자료를 자동적으로 분석할 수 있도록 설계되어 지진에 대한 원자력발전소의 안전성 및 신뢰성이 보다 향상되도록 하였다.

3. 양산단층에 대한 대책

우리 나라의 동해안 일원에 남북방향으로 존재하는 양산단층(김해-양산-경주-영해에 이르는 길이 약 195km의 단층, 월성 원자력발전소로부터 22.5km)의 활성여부에 대한 논란은 1980년대 초부터 제기되어 왔다. 특히 일본의 태평양연안 광역지질조사 연구시 일본 학자 및 국내 학자들에 의하여 1991년부터 1992년까지 양산단층에 대한 현지답사, 조사와 미소지진 관측이 이루어졌으며, 1993년 10월 동아시아 지질학회에서 그 결과가 발표된 바 있다. 이에 따르면 양산 단층은 연평균 0.05mm ~ 0.1mm정도로 움직이는 일본 기준 C급의 활성단층으로 보이며(미국 기준으로는 비활성), 약 40일간 지진관측결과 양산단층 주변에서 미소지진이 발생되었다고 보고하였다.

양산단층의 미소지진 발생문제는 1983년 이후 여러 차례에 걸쳐 일부 학자들에 의하여 제기되어 왔으나, 그간 한국지질자원연구원의 조사결과 그와 같은 미소지진은 양산단층뿐만 아니라 한반도 어느 곳에서나 같은 빈도로 발생되고 있으며, 양산단층

〈표 4-2〉 지진 진도 비교표

일 본		진도	지 반	리히터	비 고
상 태	명칭	(MMI)	가속도(g)	규모(M)	
지진계에만 기록	0 (무감)	Ⅰ		1	
			0.0008	2	
서있는 사람이나 민감한 사람 느낌	Ⅰ (미진)	Ⅱ	0.001		
		Ⅲ	0.0025	3	
창문. 전등이 흔들림	Ⅱ (경진)	Ⅳ			
			0.008		
집이 흔들리고 그릇의 물이 쏟아짐	Ⅲ (약진)	Ⅴ	0.01	4	◁ 국내 원전 지진경보 발생 (0.01g) M:4 ◀ 경주지진('97. 6.26) M4.3 ◀ 영월지진('96.12.13) M4.5
			0.025		
집이 몹시 흔들리고 그릇의 물이 쏟아짐	Ⅳ (중진)	Ⅵ		5	◀ 홍성지진('87.10.7) M:5 지리산지진('36.7.4) M:5
		Ⅶ	0.08 0.1		◁ 국내원전 가동정지 (0.1g) M:5.6
벽에 금이 가고 비석이 쓰러짐	Ⅴ (강진)	Ⅷ		6	
			0.25		◁ 국내 원전 내진 설계치 (0.2g) M:6.5
가옥 30% 정도 파손 산 사태 발생	Ⅵ (열진)	Ⅸ		7	◀ (日)고베지진('95.1.17) M:7.2
			0.41		
가옥 30% 이상 파손	Ⅶ	Ⅹ			
				8	◀ (中)당산지진('97.7.28) M:8
땅이 갈라짐		Ⅺ			◀ (日)관동지진('23.9.1) M:8.3
산 사태 발생	(격진)		0.75	9	하마오까원전(0.6g)
		Ⅻ			

선상을 따라 발달된 200~300만년 전에 생성된 하천에서 전혀 지층의 변위가 없는 사실로 보아 양산단층은 비활성이라는 보고가 있었다.

양산단층이 설사 일본 학자들의 주장과 같이 C급 활성단층이라 하더라도 인근의 월성원전에 미치는 지반가속도가 0.14g 내외로서 원전의 내진설계치인 0.2g 이하이기 때문에 문제가 없다고 판단된다. 그러나 만약의 경우에 대비하여 양산단층의 영향을 다시 한번 검증하기 위해 1995년 6월부터 1998년 6월까지 한국지질자원연구원에 의뢰하여 양산단층에 대한 항공사진 판독, 위성사진 분석, 지표지질조사 등을 통하여 제4기(약 250만년 전 이후) 지층의 변위 가능성이 있는 지역(30개 지역)을 도출하고 트렌치조사, 정밀조사(물리탐사, 단층추적조사, 미세구조조사, 절대연령측정 등)를 실시하였다. 그 결과 주 단층인 양산단층에서는 원자력법 기준에 따른 활성단층의 흔적은 발견하지 못하였다. 또한 울산단층 주변의 말방리 단층은 활성단층의 증거는 있으나 단층의 최대길이가 약 200m 이내로 단층규모(부지조사 기준은 부지로부터 32km 이내는 최소단층길이 1.6km 이상, 8km 이내는 최소단층길이 300m 이상이 되어야 조사대상에 포함됨)가 작아 원전의 안전성에 영향을 미치지 못하는 것으로 판명되었으며, 그간의 조사내용을 토대로 확률론적인 지진재해를 평가한 결과 양산단층 인근의 원자력발전소에 적용된 기존의 설계내진 값 0.2g는 매우 보수적인 것으로 입증되었다.