

김 성 년 부장

〈 특 집 〉 차세대 원자로의 기술개발

安全規制 기술의 개발

原子力安全규제못지않게 「安全性연구」  
촉진돼야

김 성 년

한국原子力安全기술원 안전기술부장

## 새로운 安全개념 도입, 安全性 획기적 向上추구

早期부지허가, 표준설계인증, 건설·운전 통합 인허가제도 등 도입

### I. 서 론

1979년에 발생한 미국의 TMI원자력발전소의 사고와 1985년에 발생한 옛소련의 Chernobyl원자력발전소의 사고는 원자력에 대한 안전성에 대하여 세계인의 관심을 갖게 하였으며,

원자력분야에 종사하는 사람들에게는 안전성을 다시 검토하게 하는 계기를 주었다.

원자력발전은 에너지를 공급하는 수단으로 개발된 여러가지의 방법중의 하나로서 개발초기부터 방사선의 위험이 있어 이를 최소화할 수 있도록 하는데 모든 노력이 집중되어 왔는데도 불구하고 예상밖의 중대사고들을 경험하게 되었다.

원자력발전소를 설계하는데는 설계 기준사고(DBA : Design Basis Accident)를 기준으로 하여 모든 계통을 설계하도록 규제화하고 있으며, 적용하는 모든 기술들은 연구와 개발을 통하여 기능이 입증된 것을 사용한다.

또한 어떠한 사고의 경우에도 방사성물질이 밖으로 방출되지 못하도록 여러겹의 방어벽을 형성하도록 설계되어 있다.

## 특집 : 次世代원자로의 기술개발

그리고 어떠한 사고의 경우 이를 완화하기 위하여 원자로 및 냉각계통을 공학적으로 여러 방법에 의하여 안전한 상태로 유지하기 위한 장치들을 설치한다.

이와같이 방사성물질의 방출을 최소화하는 노력을 하였어도 인위적인 실수로 인하여 예상하지 못한 중대사고로 전개되는 것을 TMI사고를 통하여 알게 되었고, Chernobyl 사고에서는 원자로 운전자는 어떠한 경우에도 정해진 규정을 철저히 준수해야 한다는 아주 단순한 교훈을 확인시켜 주었다.

따라서 위의 두 사고 이후에 원자력 이용의 안전성을 혁신적으로 높이기 위하여 새로운 안전 개념도입의 필요성이 강조되어 왔고, 여러 국가에서 새로운 안전개념을 반영한 신형원자로 개발이 활발하게 추진되고 있다.

그리고 국제원자력기구에서는 원자력에 의한 에너지 수급전망이 앞으로 확대될 것을 예상하여 공공과 환경을 방사선의 피해로부터 보호하기 위하여 향후 개발될 원자력발전소에 대한 새로운 안전목표와 원칙 그리고 안전 기술요건들을 설정하여 국제적으로 원자력의 안전수준을 높이는 노력을

기울이고 있다.

이러한 안전성증진을 확보하기 위하여 여러 국가에서 노력하고 있고 특히 우리나라와 같이 부존자원이 빈약한 일본, 프랑스 등의 원자력 선진국에서도 안전성증진에 대한 노력이 두드러지게 나타나고 있다.

우리나라도 원자력발전의 안전성을 높이고 국민의 신뢰도와 이해를 증진시키며, 원자력 안전성에 대한 국내외적인 여건변화를 반영하기 위하여 차세대원자로개발사업이 국가선도기술개발사업중의 하나로 선정되어 추진 중이다.

〈原電은 安全性, 기술성에서 국민의 信賴가 바탕이 되어 한다(原電과 해수욕장)〉



이 사업은 새로운 안전개념을 도입하여 획기적으로 안전성을 높이는 것을 목표로 하고 차세대원자로를 개발하는데 설계에서 추구해야 할 안전목표와 원칙을 설정하고, 설계에 적용해야 할 안전규제요건을 확립하는 과제도 동시에 수행하고 있다.

따라서 차세대원자로개발사업을 추진하면서 안전규제기술개발에서는 안전목표 및 원칙의 설정과 안전규제요건 및 심사지침, 인·허가절차를 개선하여 차세대원자로의 설계와 건설에 적용할 수 있도록 할 것이다.

## II. 국제 안전규제 개발동향

TMI사고 이후 미국에서도 현재까지는 新規原電이 없으나 앞으로 증진된 안전성을 확보하기 위하여 혁신적이고 새로운 안전성을 도입한 신형원자로를 개발하고 있고 안전규제방향과 규제요건들을 정립하고 있다.

미국의 핵규제위원회(USNRC)의 정책성명에서는 신규 원자력발전소에 적용할 새로운 안전규제 방향을 제시하였으며, 이를 시행하기 위한 구체적인 규제요건들이 속속 발표되고 있다.

미국의 안전규제방향과 신규 규제요건중에 특기할 것은 신규 원자력발전소는 기존의 규제요건을 충족해야 할 뿐 아니라 노심용융과 같은 중대사고의 예방과 완화를 위한 대처방안을

설계에서 강구하여 계통의 신뢰도를 높이도록 하고 있다.

또한 계통설계에서 인간공학적인 요인들을 고려하고 계통을 단순화 하고 표준화 하여 보다 향상된 안전성을 제시하고 아울러 정량화 하고 가시화

할 수 있는 상세한 규제요건들을 설정하고 있다.

그리고 원자력발전소의 안전성증진을 확신하고 안전규제에 대한 효율성과 인·허가의 안전성을 확립하여 국민들의 신뢰성을 높이기 위하여 조기

표 1 : 우리나라 原子方法 체계

구분	주요 내용	요건
원자력법	원자력개발 및 안전 규제 절차 (1958년 3월 제정 : 1982년 4월, 1986년 5월 각각 개정)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 원자력발전소 건설 및 운전관련 인·허가요건</li> <li>· 원자로 및 주요부품 생산허가 요건</li> <li>· 핵연료주기시설 설치 관련 요건</li> <li>· 방사성 동위원소 및 핵물질 취급허가요건</li> </ul>
대통령령	원자력법 시행에 필요한 기술 및 행정절차(1982년 9월 제정)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 원자력발전소 시설의 위치, 구조, 시설, 기능 및 운전기술 기준</li> <li>· 핵연료주기시설의 위치, 구조, 시설, 물리적인 보호 및 운영기술기준</li> <li>· 방사성 동위원소 및 방사선 생산시설 기술기준 등</li> </ul>
시행령	원자력법 및 대통령령 시행 요건(1983년 4월 제정)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 안전성분석보고서 작성, 환경영향평가 보고서 작성 기술기준, 시설의 설계 및 공사방법 기술기준</li> <li>· 방사선 구역설정 및 방사선량 기술 기준 등</li> </ul>
과기처장판고시	원자력법을 근간으로 행정 및 기술기준의 상세요건	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 방사선량 등 상세기준</li> <li>· 운영 기술사양작성 상세기준</li> <li>· 품질보증 상세기준</li> <li>· 환경영향평가작성 상세기준</li> <li>· 원자력시설 정기검사 요건</li> <li>· 원자력시설의 위치, 구조, 시설에 대한 기술 기준 등</li> </ul>

## 특집 : 次世代원자로의 기술개발

부지허가, 표준설계인증, 건설 및 운전의 통합 인·허가제도의 도입 등을 추가로 제정하였다.

통합 인·허가제도에서도 일반국민들의 의견이 수렴될 수 있는 공청회제도를 확대하였고 중요한 안전문제들은 일찍이 도출하고 해결방안을 수립하기 위하여 규제기관과 사업자간에 긴밀한 접촉을 갖도록 하고 있다.

또한 국제원자력기구에서는 원자력발전소의 안전수준을 높이기 위하여 안전원칙과 목표를 제안하고 있으며, 지난 1년반 동안 여러국가에서 검토가 된 국제원자력안전협약을 통하여 강력히 추진할 예정이다.

특히 국제원자력기구가 주관하여 안전성 전문가 group인 INSAG(International Nuclear Safety Advisory Group)을 구성하여 안전성을 높

이기 위한 방안들이 INSAG Series로 발표되었다.

이 보고서에서는 원자력발전국가의 규제기관은 강력한 규제를 수행할 수 있도록 조직과 기능을 부여해야 한다는 주장에서부터 안전성 증진을 위한 50개의 안전원칙과 원자력분야에 종사하는 기관에 “원자력 안전문화” 정착의 필요성과 방안에 이르기까지 넓은 분야에 대하여 서술하고 있다.

현재 가동중인 원자력발전소 하나 하나의 안전성이 만족할 만한 수준이라고 할 수는 있다.

그러나 국제원자력기구에서 제시하는 새로운 안전목표와 원칙의 주요 내용은 원자력발전소의 가동되는 수가 앞으로 증가할 경우에도 세계적으로 가동될 원자력발전소 전체의 안전성(安定性)이 현재의 안전수준을 유지할

수 있는 방안이 강구되어야 한다는 것이다.

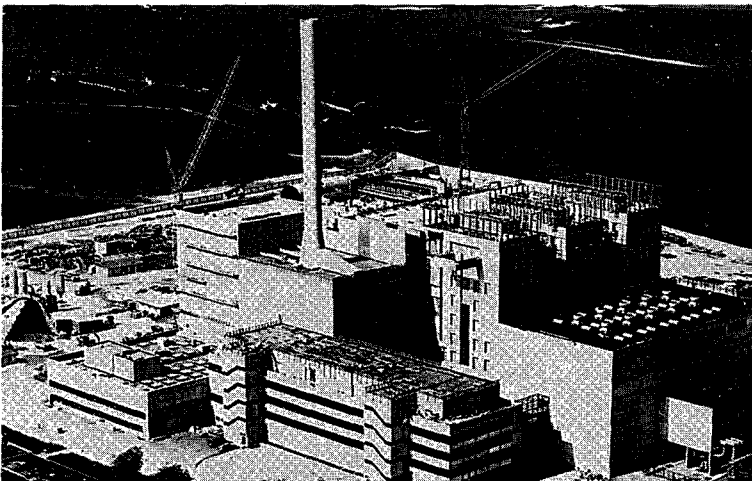
이를 위하여 개발될 원자력발전소에 대한 안전성 향상과 위험도 감소 노력은 안전규제 목표와 원칙 그리고 이에 수반되는 안전규제요건과 지침을 보완하고 목표치를 가시화하여 설정하도록 하고 있다.

앞에서 서술한 미국이나 국제원자력기구의 안전성증진에 대한 노력은 안전성향상을 위한 방법의 차이는 있으나 결국에는 같은 방향으로 추진되고 있다.

이들의 내용을 정리하면 세계적으로 원자력발전의 안전성을 향상시키기 위한 기술적인 안전규제방향이 나오는데 그 내용은 다음과 같다.

- 원자력발전소를 표준화하여 인·허가절차를 확실하게 함으로써 인·허가를 안정화
- 법에 의한 규정적인 규제에 추가하여 실질적인 문제를 해결하는 정책성명을 통한 규제
- 설계기준사고를 포함하여 중대사고 예방과 완화
- 보수적인 안전해석 보다는 실질적인 최적안전해석 방법의 개발
- 결정론적인 방법을 바탕으로 확률론적인 방법에 의한 보완 등이다.

〈「유립」 몇나라들이 共同개발, Kalkar(獨)에 건설중인 고속중수로 SNR-300〉



### Ⅲ. 안전규제 및 기술 개발

#### 1. 우리나라의 원자력안전 규제

우리나라 원자력발전소의 안전규제는 도입국의 규제절차와 조건들을 적용하였기 때문에 우리나라 고유의 규제요건과 절차가 별도로 되어 있지 않다.

더욱이 규제요건 뿐 아니라 인·허가절차를 전혀 다르게 적용하고 있는 캐나다의 원자로인 CADU-PHWR을 도입한 것도 공급국에서 성능이 입증될 경우 이를 수용하는 입장에서 원자로를 도입하여 운전하여 왔다.

즉 원자력의 안전규제는 일관성 있게 적용되지 못하였고 안전규제기술요건과 지침은 원자로를 공급하는 국가의 것을 준용하여 왔다.

물론 우리나라에서도 원자력이용을 대비하여 1958년에 원자력법이 제정·공표되었지만 원자력발전소의 안전규제를 위한 내용이 충실히 설정된 것이 아니고 원자력이용에 대한 일반적인 사항이 제정되었다.

그리고 우리나라에서 원자력은 1962년에 초기임계가 된 TRIGA MK-II와 1972년에 도입된 TRIGA MK-III의 운영 및 이용이었기 때문에 1958년에 제정된 원자력법에

의거하여 연구를 수행하는데 별로 문제는 없었다.

그러나 1969년과 1974년 고리 원자력발전소 1, 2호기를 미국의 Westinghouse사로부터 도입하기를 결정하고 또한 1973년 캐나다의 AECL로

부터 CANDU원자로를 도입하기로 결정하면서 본격적인 상용원자력발전소를 건설·운영하는 시기로 접어들었다.

따라서 이 원자력발전소들의 안전규제요건과 지침은 미국 및 캐나다의

표 2 : 단계별 기술개발 목표

#### 1단계('92~'94) 차세대 원자로 안전기본요건 개발

- 안전목표 및 원칙 설정
- 일반 안전요건 설정
- 핵심안전현안/쟁점 평가 및 기술 요건 개발 방향 설정
- 인·허가제도 개선항목 평가 및 개발 방향
- 규제검증 핵심기술 평가

#### 2단계('95~'98) 차세대 원자로 안전규제 기술요건 개발

- 안전규제 기술요건 체계도 설정
- 안전규제 기술요건 설정
- 핵심안전현안/쟁점 기술요건 설정
- 인·허가제도 개선
- 규제검증 검증기술 개발

#### 3단계('99~2001) 차세대 원자로 안전규제 지침서 개발

- 안전규제지침 설정
- 안전규제심사지침 설정
- 규제 검증기술 체계 구축

안전규제기술의 선진화

## 특집 : 次世代원자로의 기술개발

안전규제요건과 지침을 준용하여 건설되었다.

그리고 이 원자력발전소 뿐만 아니라 계속하여 원자력발전소가 추가될 것을 예상하여 우리나라의 원자력법 개정의 필요성이 대두되어 1982년과 1986년에 각각 원자력법이 개정된 바 있다.

이는 원자력발전소 건설과 운전

에 따른 인·허가절차를 정리하고 원자력 안전규제의 기본을 서술하고 있고 안전규제에 대한 구체적인 내용들은 대통령령으로 같은 해에 공포하였다.

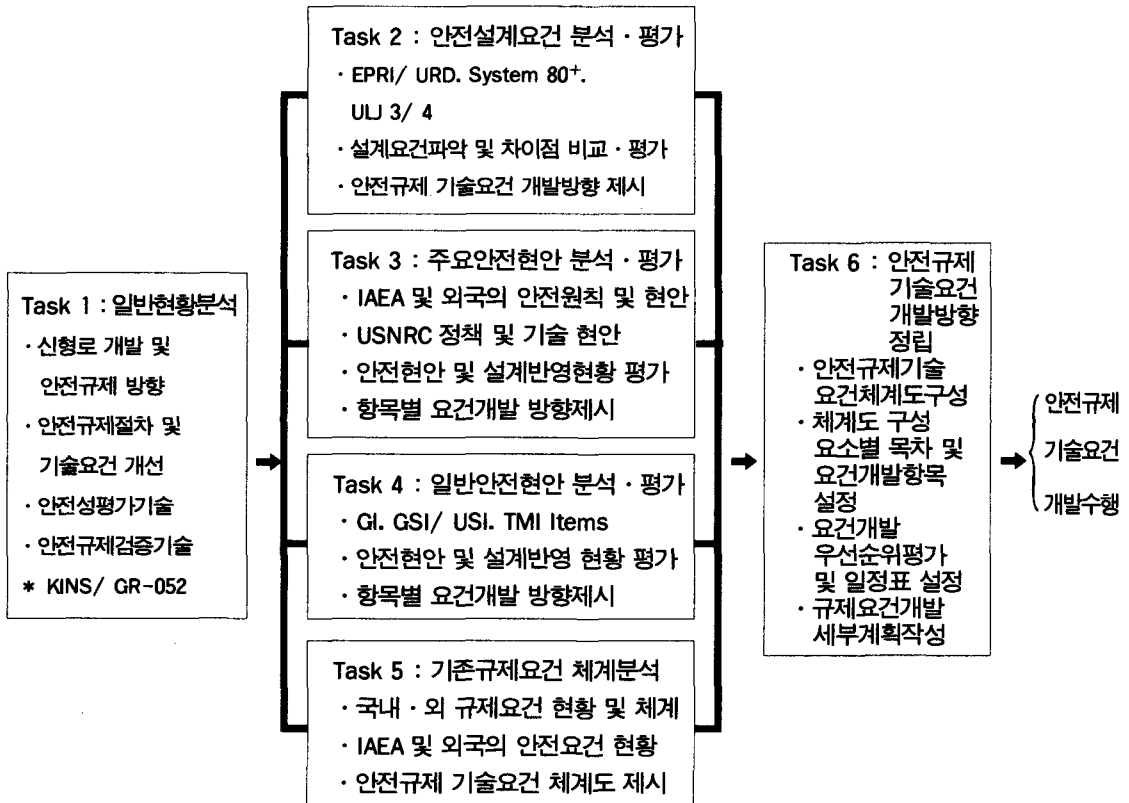
이어서 1983년 원자력법과 대통령령을 시행하기 위하여 시행령이 공포되었고 이를 근간으로 하여 과기처장관 고시가 발행되도록 법을 제정하였

으며, 이를 포함하여 원자력법과 대통령령 등에 대한 법적인 안전규제내용은 표 1과 같다.

우리나라의 원자력안전규제 체제는 대체적으로 미국의 안전규제 체제와 비슷하다.

그 이유는 우리나라 최초의 상용원자력발전소가 미국에서 도입되었고 원자력 안전규제에 대한 요건과 심사

그림 1 : 안전규제 기술요건 개발방향 수립 업무 흐름도



지침 등에 대한 문서가 잘 작성되어 있기 때문인 것 같다.

그러나 미국은 원자력법 수준에서 안전규제방향을 제시하는 정책성명이 있어 이들을 통하여 안전원칙과 목표를 제시하는 반면에 우리나라에는 그러한 제도가 없다.

그리고 원자력발전소건설, 핵연료 주기시설, 원자력이용시설의 장치 및 기기들의 제작허가에 대한 절차와 원자력발전소의 인·허가 절차는 원자력법에 주어져 있으나 원자력안전규제 방향을 제시하고 안전목표와 원칙을 제시하는 정책성명을 발표하는 제도는 없다는 뜻이다.

또한 대통령령에서는 미국의 10C-FR50에 해당되는 기준들이 있으나 원자력발전소 설계에 대한 일반안전원칙 및 심사지침 등이 미국의 것을 준용하는 정도로 언급되어 있고 우리나라 고유의 것은 아직 없는 실정이다.

따라서 차세대원자로 사업을 위하여 추진중인 차세대원자로 안전규제 기술개발과 연계하여 안전목표와 원칙을 설정하고 이를 추구하기 위하여 일반안전원칙과 심사지침 등을 확보할 필요가 있다.

## 2. 안전규제 기술개발

일반적으로 안전규제기술은 크게 두가지로 나누어 생각할 수 있다.

하나는 원자력이용의 안전성을 확

보하기 위하여 규제요건과 규제방법을 설정하는 것이고, 또 하나는 규제요건을 설정하기 위하여 준수할 수 있는 요건을 기술적으로 확인하는데 필요한 기술이다.

즉, 아무리 안전요건을 높게 설정하더라도 이를 공학적(工學的)으로 충족시킬 수 없다면 요건으로서 의미가 없으며, 이를 위하여는 기술에 대하여 많은 연구와 기술개발이 요구되는데 이를 통칭하여 안전성연구(安全性研究)라 한다.

원자력이용기술의 연구와 개발을 일찍이 시작한 미국에서는 안전규제요건을 미국핵규제위원회의 RES(Office of Nuclear Regulatory Research)에서 개발하는데 이들은 국립연구소나 대학에서 많은 연구를 수행한 경험이 있거나 원자력발전소설계 또는 원자로를 운전해 본 경험이 많은 사람들로써 구성되고 있다.

그리고 이들이 제안하는 규제요건도 내부검토 및 외부의견을 들어 최종적으로 규제를 요건화하기까지 1년 이상 시간을 두고 검토한다.

반면에 우리나라와 같이 원자력이용 특히 발전기술에 대한 연구와 개발의 역사가 짧은 나라에서는 안전규제요건을 독자적으로 개발할 수 없고, 만약 개발할 수 있다고 하더라도 원자력의 안전성은 방사선에 의한 장해를 최소화하는 것이기 때문에 개념적으로 큰 차이가 없어 개발된 규제요건도 결국 비슷할 것이므로 별도로 다시 개

발할 필요도 없다고 생각한다.

그러나 중요한 것은 원자력 선진국에서 개발한 규제요건을 충분히 숙지하여 적용해야 한다는 것이다.

왜냐하면 규제요건들이 대체적으로 정성적인 것이기 때문에 요건을 충족하는가에 대한 평가와 심사는 기술적인 통찰력에서 얻어지기 때문이고 규제자와 피규제자 사이에서 일어나는 분쟁은 대체적으로 규제요건을 서로 다르게 또는 차이가 나게 해석하는데 기인하기 때문이다.

이러한 우리나라의 원자력안전규제에 대한 현황을 배경으로 하여 차세대원자로 안전규제기술 개발은 안전기본요건을 1993년초부터 개발하기 시작하였고, 안전규제 지침서도 2001년까지 개발함으로써 명실상부하게 안전규제기술을 선진화하는데 그 목표가 있으며, 이를 요약하여 단계별로 정리하면 표 2와 같다.

그리고 차세대원자로 기술개발과 더불어 수행하고 있는 안전규제기술 개발은 차세대원자로를 설계하는 기관에서 설계요건을 작성하면 이 설계요건들이 이미 설정된 안전규제요건의 충족 여부를 검토함으로써 안전성을 제고하는 방향으로 설계를 유도하는데 기여하게 될 것이다.

또한 새로운 안전성개념을 도입하여 설계되는 차세대원자로는 설계 및 운전특성이 기존의 원자력발전소와 많이 다를 것으로 예상되기 때문에 이를 고려한 안전성평가와 성능을 확인

## 특집 : 次世代원자로의 기술개발

하는 안전규제요건 설정에 세심한 검토가 있어야 할 것이다.

안전규제기술개발의 1단계인 1994년말까지 수행하고 있는 안전목표와 원칙을 설정하고 규제요건의 개발방향과 체계를 종합적으로 제시하기 위한 요건개발의 흐름도는 그림 1과 같다.

이 그림에서 지시하는 바와 같이 외국의 원자력선진국에서 개발하고 있는 신행로의 설계특성과 새로운 안전규제요건들을 분석하고 평가하여 우리가 필요로 하는 안전규제요건을 개발하고자 하는 방향을 제시하는 것이 우선적인 과제이다.

이를 위하여는 미국의 원자력사업자들의 설계요건을 분석하고 평가하여, 실질적으로 설계요건을 많이 반영한 CE사의 System 80+의 설계 내용과 비교함으로써 규제요건의 차이점을 파악한다.

주요 안전현안에 대한 것은 국제원자력기구의 안전현안과 미국의 안전정책 및 기타 외국의 안전현안들을 분석하고 평가한다.

또한 일반 안전현안 문제는 미국의 GI, GSI/USI 그리고 TMI조처사항들을 중점적으로 평가하여 차세대원자로 안전규제요건을 개발하는 방향을 제시할 예정이다.

안전규제기술을 개발하는 과제에서 수행해야 할 중요한 과제중 또 하나는 기존규제 요건체계를 분석하여 우리나라의 원자력안전규제 체계도를 제시하는 것이다.

정부에서는 원자력의 안전목표 및 원칙의 설정, 일반 및 주요 안전설계요건, 안전규제지침 등을 마련해야 하며, 산업체에서는 원자력발전소에서 사용하는 기기 및 부품들의 제작에 대한 Codes & Standards들을 작성하여 정부의 승인을 얻어 국내에서 제작하는 기기와 부품의 안전성과 성능을 보장받아야 한다.

이러한 체계가 구축되어 원자력 안전성에 대한 규제가 체계적으로 확립될 때 명실공히 원자력을 수출할 수 있는 국가로서 자세가 갖추어 졌다고 할 수 있다.

## VI. 결론

우리나라에서는 9기의 원자력발전소가 건설·운전되고 있으며, 현재 7기를 건설중이고 2006년까지 이미 결정된 7기에 추가하여 원자력발전소를 건설할 계획인데 이들의 안전성을 제고하고 안전규제를 일관성 있게 수행하기 위하여 이 시점에서 안전규제요건을 체계화하고 정립하는 데는 커다란 의의가 있다고 생각한다.

특히 지난 10여년간 원자력발전소

원자력발전소에서 핵연료를 재처리하기 위한 시설





를 규제해 온 경험을 바탕으로 새로운 안전개념을 적용하여, 개발되고 있는 원자로를 규제하는 기술을 개발·정립함으로써 기대되는 것은 다음과 같다.

## 1. 안전목표와 안전원칙의 설정

TMI 및 Chernobyl 사고 이후 정량적으로 제시되고 있는 안전목표를 설정하게 되고 이 목표를 달성하기 위하여 준수해야 하는 안전원칙을 설정함으로써 실질적인 원자력이용의 안전성을 높일 뿐 아니라 대 국민신뢰도를 높이는데 기여할 것이다.

## 2. 차세대원자로의 안전규제에 필요한 규제기준, 규제요건, 규제지침개발

획기적으로 안전성을 향상시킬 수 있는 새로운 안전개념을 도입하는 차세대원자로는 설계 및 운전특성이 현재의 원자력발전소와 많은 차이가 있을 것이다. 이런 새로운 안전개념하에 서만 이들의 안전성을 평가하고 검증하는 새로운 안전규제요건, 기준, 지침이 개발되어 체계화된 안전규제를 할 수 있다.

그리고 현재의 원자력발전소의 안전성도 개선된 안전규제요건을 정책적으로 적용하도록 하여 전체적으로 안전성을 높일 수 있는 방안이 강구되

어야 한다.

## 3. 주요 안전성 현안문제 도출 및 사전 조치

차세대원자로 기술개발을 규제자(規制者)와 피규제(被規制者)자가 같이 참여하여 수행함으로써 주요 안전성 현안문제를 조기에 도출하는 기민성을 보유하여야 한다.

이와같이 긴밀히 협조함으로써만 해결방안을 모색하고 안전성을 확인하는 작업이 쉬워지고 인·허가의 안정화에도 크게 기여할 것이다.

거듭 말하지만 이를 구현하기 위하여 절대적으로 요구되는 것은 원자력의 안전성을 제고하는 문제가 규제기관만의 일이 아니고 원자력분야에서 종사하는 모두의 일이라는 생각을 갖고 일하는 자세와 풍토가 성숙되도록 다같이 노력해야 한다.

## 4. 인·허가 심사시 규제판단을 적시에 할 수 있는 독립된 기술개발 및 확보

차세대원자로 안전규제기술을 개발하는 과정에서 기존의 규제요건을 검토하고 요건의 배경을 분석하며 규제요건을 적용하는 기술과 능력을 축적하게 됨으로써 인·허가 심사를 수행할 때 적시에 규제에 대한 판단이 이루어 질 수 있다.

물론 이를 위하여는 중요한 요건과

기준에 대해서는 최종 확정되기 전에 충분한 검토가 있어야 하고 관련되는 기술자료와 평가능력은 사전에 충분히 구비되어야 한다.

끝으로 위에서 기술한 기대 외에도 많은 것이 차세대원자로 안전규제기술개발사업을 통하여 얻어질 수 있다. 따라서 이 사업의 성공적인 수행을 위하여는 많은 기술인력이 참여하여 안전규제기술을 확보하여야 한다.

이렇게 하여 앞으로 건설될 원자로의 안전규제 뿐 아니라 차세대원자로의 안전규제에 만전을 기하도록 하는 것이 바람직하다.

또한 정부에서 차세대원자로 개발사업을 통하여 원자력발전소의 안전성을 전반적으로 증진(增進)할 뿐 아니라, 안전규제요건 및 체계를 정립할 수 있는 유일한 기회를 충분히 인식하여, 기술개발에 필요한 재정적(財政的) 지원을 차질 없도록 최우선적으로 약속하고 이행해 주는 것이 절대적으로 요구된다.