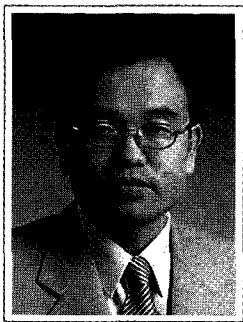




# 신형경수로1400 표준 설계 인가의 의미

김 승 봉

과학기술부 원자력안전과장



우리나라는 1978년 7월 국내 최초의 원자력발전소인 600MWe급 고리 원전 1호기를 준공한 이후에 지속적인 원자력 기술 자립을 추진하여 현재 1,000MWe급 한국 표준형 원전(KSNP) 8기를 건설·운영중에 있으며, 한국 표준형 원전을 일부 개량한 신고리 원전 1·2호기 건설을 추진중에 있다.

또한 한국 표준형 원전 노형을 근간으로 대북한 경수로 지원 사업을 추진하는 등 그 동안 괄목할 만한 원자력 산업의 발전을 이룩하였다.

아울러 지난 1992년부터는 정부에서 주도하는 국가 선도 기술 개발사업(G-7 Project)의 일환으로 한국형 차세대 원자로인 신형경수로 1400(Advanced Power Reactor (APR)1400) 기술 개발을 수행하여 지난 5월 7일 동 설계에 대한 표준 설계 인가가 발급되었다. 본고에서는 그 동안 추진되어온 신형경수로 1400 표준 설계 인가 관련 안전성 및 의의에 대하여 살펴보고자 한다.

## 해외 신형 원전 기술 개발 동향

원자력 기술 선진국들을 중심으로 기존 원전에 비해 안전성이 증진된 신형 원전의 개발이 빠르게 진행되고 있다.

유럽은 프랑스와 독일의 주도하에 유럽의 안전 규제 제도와 산업 환경에 적합한 차세대 가압경수로인 EPR(European Power Reactor)을 개발중이며 기본 설계를 완료한 상태이다.

자원 환경이 우리 나라와 비슷한 일본은 미국 원자로 제작사와 합작으로 개량형 비등경수로인 ABWR(Advanced Boiling Water Reactor)과 가압경수로인 APWR(Advanced Pressurized Water Reactor) 개발을 동시에 수행하고 있으며, ABWR 2기는 이미 1996년과 1997년에 준공되어 운전중에 있다.

미국의 경우 미국 전력연구소(EPRI)가 중심이 되어 차세대 원자로가 갖추어야 할 기본 요건을 설정하고, 이 요건에 따라 컴버스천 엔지니어링사(ABB-CE)가 개량형 원자로인 시스템 80+(System80+)를, 웨스팅하우스가 피동형인 AP600을 개발하여 설계 인증을 받은 상태이다.

이들 두 노형은 개량형 신형 원전과 피동형 신형 원전의 선두 주자로 현재 안전성 확인에 필요한 기본 설계가 완료된 상태이나 건설을 위한 수주 실적은 없는 상태이다.

〈표 1〉 세계의 신형 원자로 현황

국가	공급자	개발 노형	원자로형	용량(MWe)
미국	ABB-CE	System80+	PWR	1,350
	Westinghouse	AP600	PWR	600
	GE	ABWR SBWR	BWR	1,350 600
일본	미쓰비시	APWR	PWR	1,300
	도시바	ABWR	BWR	1,300
프랑스 및 독일	NPI*	EPR	PWR	1,500

\* : NPI(Nuclear Power International : 프랑스 프라마투스사와 독일 지멘스사의 합작)

〈표 2〉 APR1400 단계별 주요 추진 실적

구분	기간	주요 추진 실적
1단계	1992.12.~1994.12.	<ul style="list-style-type: none"> <li>개발 노형 확정</li> <li>설비 용량 등 42개 기본 요건 개발 확정</li> <li>차세대 원전의 계통 구성 개념 확정</li> </ul>
2단계	1995.01.~1999.02.	<ul style="list-style-type: none"> <li>기본 설계 개발</li> <li>표준 설계 안전성 분석 보고서 및 NSSS 주요 기기 Spec. 작성</li> <li>계통 설명서 작성</li> <li>주요 기기에 대한 설계 규격(Design Spec.) 작성</li> <li>설계 인증에 필요한 안전 해석</li> </ul>
3단계	1999.03.~2001.12.	<ul style="list-style-type: none"> <li>경제성 제고를 위한 설계 최적화</li> <li>장기 소요 기술 개발</li> <li>표준 설계 인가 획득</li> </ul>

현재 개발 또는 개발중에 있는 세계의 신형 원자로 현황을 요약하면 〈표 1〉과 같다.

**신형경수로1400 개발**

**1. 기술 개발 개요**

정부는 원자력 기술 자립 및 국산화를 통한 국가 에너지 안보 측면을 고려하여 1992년 정부 종합과학심의회에서 「차세대 원자로 기술 개발」을 국가 선도 기술 개발 사업(G-7 프로젝트)으로 선정하였다.

기술 개발 기획·조정·평가를

위한 기술개발추진위원회의 구성·운영 및 사업 총괄은 산업자원부에서, G-7 프로젝트 평가 등 종합 관리 및 인허가 부분은 과학기술부에서 주관하였다.

또한 사업자 중심의 실질적인 기술 개발이 추진될 수 있도록 하기 위하여 기술 개발 총괄은 한국수력원자력(주)가 담당하고, 설계 개발은 한국전력기술(주)·한전연료(주)·두산중공업(주)가 수행하였으며, 기초 기반 기술 연구는 한국원자력연구소·한국과학기술원 신형로센터 등이 공동 참여 하였다.

차세대 원자로 기술 개발 사업에는 국내 전유관 기관이 참여하는 대형 프로젝트로서 기술 개발에 10여년의 기간과 연인원 약 2,000명의 기술 인력 및 약 2,300억원의 개발비가 소요되었으며, 이러한 장기 사업을 효과적으로 추진하기 위해 사업을 단계별로 구분 추진하였다.

1단계(1992~1994년) 사업에서는 1,400MWe급 개량형 경수로로 노형을 확정하고 해외 신형 원전과의 차별성을 확보하면서 실질적인 한국형 고유 모델이 될 수 있도록 개념 설계를 완료하였다.

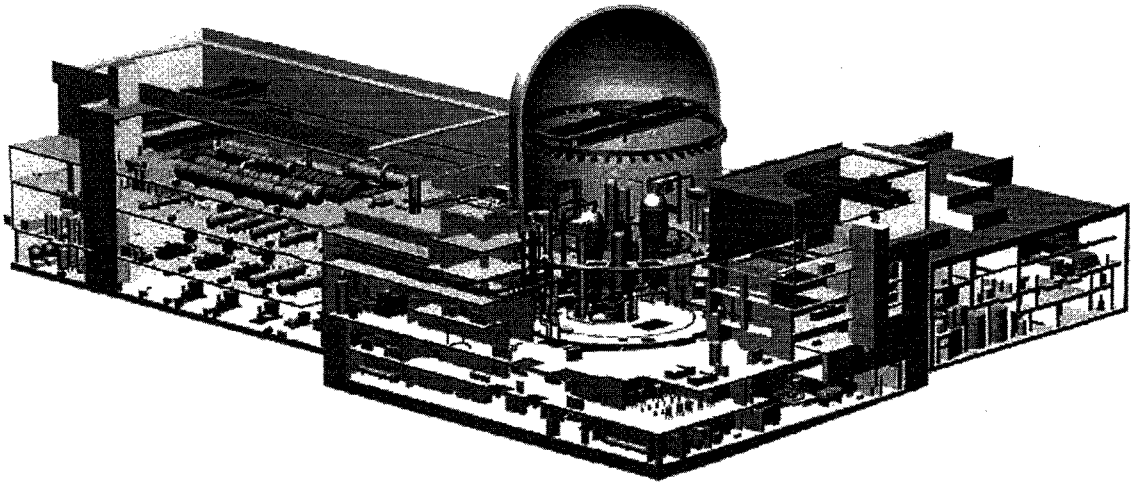
2단계(1995~1999년) 사업에서는 개념 설계 요건을 만족하도록 발전소 배치 및 기본 설계를 완료하고 표준 설계 안전성 분석 보고서를 발행하여 규제 기관의 사전 안전성 검토가 병행될 수 있도록 하였다.

3단계(1999~2001년) 사업에서는 안전성과 기술성을 최대한 살릴 수 있도록 설계 최적화를 수행하고 설계에 반영함으로써 설계 개발 사업을 완료하였다.

**2. 주요 설계 특성**

**가. 근본적인 안전성 확보**

신형경수로1400은 비상 사고시나 이상 상태 발생시에도 원자로가 건전성을 유지할 수 있도록 충분히 설계 여유를 갖도록 하고 있다. 물론 기존의 원자로도 설계 여유를 가지고 있지만, 고유 안전성이나 설



〈그림 1〉 신형경수로1400 부분 절개도

계 여유보다는 안전 장치에 더 의존하는 방식이다.

따라서 신형경수로1400은 충분한 설계 여유, 즉 안전 여유를 확보하여 사고시 일반 대중에 대한 안전 보장은 물론 사업자의 손실을 최소한으로 줄일 수 있도록 설계하였다.

이러한 설계 목표를 달성하기 위한 설계 개선 사항으로는 노심의 열적 여유도 증대와 더불어 가압기 및 증기발생기의 용량 증대, 정지 냉각 계통 및 격납 건물 살수 계통 펌프의 기능적 상호 교환, 독립된 4개 계열의 안전 주입 계통 및 원자로 직접 주입, 안전 감압 계통 및 격납 건물 내 핵연료 재장전 수조(IRWST) 설치 등을 들 수 있다.

**나. 사고 완화 및 방사선 방출 최소화**

신형경수로1400은 사고 방지 측

면뿐만 아니라 사고 발생시에도 사고 완화 및 사고 관리를 개선시키기 위한 독특한 특성을 갖추고 있으며, 기상 및 액상으로 방출되는 방사선의 양을 최소화할 수 있는 근본적인 설계 개념을 채택하였다.

물론 기존의 원자로에서도 다중의 방어 개념이 도입되어 방사선의 환경 누출이 근본적으로 제한되고 있으나 신형경수로1400에서는 이를 더욱 강화하였다.

이러한 계통으로는 격납 건물 내 핵연료 재장전 수조와 연계된 안전 감압 계통, 수소 점화 계통 등을 들 수 있다.

**다. 기술성 있는 원자로 설계**

원자력발전소가 매우 복잡한 설비로 구성된 이유는 발전 용량의 증가에 따른 설비의 추가와 안전성을 강화하기 위한 부분적 보완으로 각

종 설비가 추가되었기 때문이다. 이렇게 설비가 추가됨에 따라 원전의 안전성을 달성할 수 있었으나 기술성은 더욱 어려워지게 되었다.

따라서 한 차원 높은 안전성을 동시에 확보하기 위해서는 기존의 설비 추가 개념보다는 설계 방식의 재검토를 통한 설비의 단순화, 표준화 및 모듈화 등을 추진함과 동시에 전기 출력을 대폭 증가시켜 설계함으로써 달성 가능하다.

**라. 한국인 체형과 습성까지 고려한 첨단 제어실 설계**

TMI 사고 이후 인간 공학적 요소는 특히 중요시되고 있다. 따라서 신형경수로1400의 제어실은 한국인의 체형과 습성 등 인간 공학요소를 충분히 반영하여 설계하였다.

기존 원전에서 과도기시 운전원

〈표 3〉 APR1400 주요 설계 특성

항목	한국 표준형 원전 (울진 3·4호기)	신형경수로1400
<b>성능 분야</b>		
○ 설계 수명	- 40년	- 60년
○ 설비 용량	- 100만 kW급	- 140만 kW급
○ 일일 부하 추종 운전 능력	- 수동	- 자동
○ 계측 제어 방식	- 아날로그 방식	- 디지털 방식
<b>안전성 분야</b>		
○ 노심 손상 빈도	- 10만년에 약 1회 ( $1.3 \times 10^{-5}/\text{ry}$ )	- 100만년에 약 2회 ( $2.52 \times 10^{-6}/\text{ry}$ )
○ 격납 건물 손상 빈도	- 10만년에 1회 미만 ( $7.9 \times 10^{-6}/\text{ry}$ )	- 100만년에 1회 미만 ( $1.6 \times 10^{-7}/\text{ry}$ )
○ 운전원 조치 여유	- 10분	- 30분
○ 비상 노심 냉각 방식	- 2 Trains 저온관 주입	- 4 Trains 원자로 용기 직접 주입
○ SG 관막음 여유도	- 8% 여유도 (Inconel 600)	- 10% 여유도 (Inconel 690)

이 처리해야 하는 정보가 너무 많은 점을 보완하기 위해 소형 워크스테이션으로 필요한 모든 정보 및 제어를 할 수 있도록 하였으며, 대형 정보 표시판을 설치하여 발전소 전체를 한눈에 보고 발전소 상황을 인식할 수 있도록 하였다.

또한 발전소 필수 기능 및 안전계통의 상황 파악에 필요한 정보를 제공하고 모든 워크스테이션 고장 시에도 발전소 안전 기능은 계속 유지할 수 있도록 하였으며, 다수의 데이터를 종합하여 표시하는 신호 검증 및 보상 처리 기능을 통해 운전원이 처리해야 하는 정보의 양을 경감시키도록 하였다.

그리고 과도 상황시 정보 홍수 상태가 되는 것을 방지하기 위하여 불필요한 경보 억제 및 중요도에 따라 경보를 우선 순위로 처리할 수 있도록 하였다.

이밖에도 미국의 TMI 원전 및 구소련의 체르노빌 원전 사고와 같은 중대 사고를 대비하는 설비들을 보완하였으며, 설비 용량을 1,400 MWe급으로 격상하고 설계 수명을 60년으로 확장하여 안전성과 기술성을 제고하였다.

또한 전력 산업의 경쟁 체제에 대비해 전력 수요에 능동적으로 대응할 수 있는 부하 추종 운전 기능을 강화하고, 디지털 제어 기술을 기반으로 자동 기능 시험 및 자기 진단 등의 기능들을 적용하여 발전소 신

뢰도를 크게 향상시킴에 따라 향후 원전의 해외 진출에도 중요한 이점이 될 것으로 전망되고 있다.

### 표준 설계 인가 안전 심사

#### 1. 표준 설계 인가 제도

표준 설계 인가 제도는 기존 인·허가 제도(원자력법 제11조 건설 허가, 제21조 운영 허가)와 별도로 사업자가 필요에 따라 선택적으로 표준 설계에 대한 인가를 신청할 수 있도록 하는 제도로서, 인가를 받은 표준 설계를 참조한 후속 호기의 인허가 신청시 이미 인가된 표준 설계에 대해서는 인허가 심사에서 이를 생략토록 함으로써 중복 심사를 지양하고자 하는 취지에서 만들어졌다.

표준 설계 인가 심사에서는 표준

설계에 대한 안전성 분석 보고서를 주요 심사 대상 서류로 하여 설계에 대한 안전성을 검토하며, 건설 허가 와 운영 허가 단계에서는 표준 설계를 참조한 동일 설계 분야에 대해서는 심사의 중복을 피하고, 발전소 고유 특성(부지 고유 특성, 환경 영향 평가 등), 인가되지 않은 설계 부분만을 심층 검토하게 된다.

이러한 표준 설계 인가 제도의 특징을 기술적 측면에서 살펴보면, 먼저 사업자 측면에서는 새로운 설계 개념의 발전소를 최초 건설할 경우 기존 인허가 제도(건설 허가 및 운영 허가)는 발전소 설계와 인허가 심사가 건설중에 병행되므로 설계 변경은 물론 건설 공기 관리에 많은 어려움을 주고 있는 반면에, 표준 설계 인가는 중요한 설계 및 인허가 심사를 건설 착수 이전에 완료할 수

있어 건설 계획의 불확실성을 줄일 수 있고 건설중 설계 변경을 최소화할 수 있다. 또한 건설 사업마다 동일한 설계를 반복 사용하므로 추가 설비나 기술적 보완이 요구되지 않아 건설 사업을 훨씬 용이하게 추진할 수 있다.

규제자 측면에서 보면, 기존 인허가 제도의 경우 중요 인허가 심사를 건설중에 수행함으로써 심사 일정에 여유가 없는 반면, 표준 설계 인가의 경우에는 심사를 건설 사업과 독립적으로 수행할 수 있어 보다 여유있고 체계적으로 수행 가능하다.

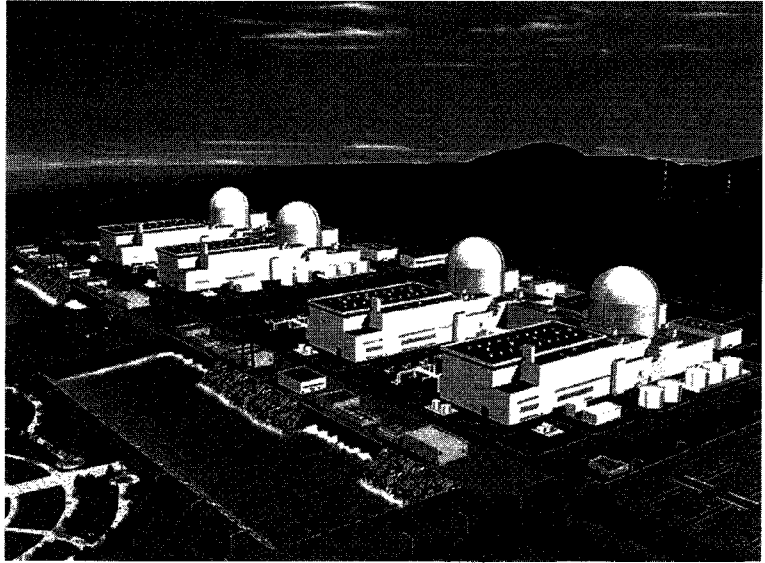
또한 건설중에는 표준 설계 인가 시 확인되지 않은 사항만 심사하므로 규제 인력을 효율적으로 활용할 수 있다.

## 2. 표준 설계 인가 심사

사업자의 표준 설계 개발과 병행하여 규제 기관에서는 위에서 언급한 표준 설계 인가 제도의 국내 도입이 추진되었으나 사업자의 차세대 원자로 기술 개발 3단계 사업 초창기까지는 표준 설계 인가에 대한 신규 인허가 제도의 법제화가 미비되어 과학기술부의 행정 조치에 근거하여 신형경수로1400 표준 설계에 대한 사전 안전성 검토를 우선 수행하였다.

### 가. 표준 설계에 대한 사전 안전성 검토 수행

신형경수로1400은 디지털 계측



〈그림 2〉 신형경수로1400 가상 조감도

제어 계통, 첨단 인간-기계 연계 등의 신규 개량 설비를 설계에 반영하여 표준화된 설계의 노형으로 반복 건설될 예정이다.

따라서 신형경수로1400의 설계 특이성 등을 고려할 때 철저한 안전성 확인이 필요하며, 표준 설계 인가 제도의 법제화에 따른 정식 인허가 신청 전에 규제 기관이 차세대 원자로 기술 개발 제2단계 사업에서 개발한 설계에 대한 안전성을 조기에 확인하고, 사업자의 차세대 원자로 기술 개발 제3단계 목표인 표준 설계 인가 취득 추진 일정 등을 고려할 때 실질적인 안전성 검토를 위한 적정 심사 기간의 확보가 필요하였다.

이를 위하여, 사업자가 1999년 7월 「차세대 원자로 표준 설계에 대

한 사전 안전성 검토」를 정식 요청함에 따라, 1999년 12월부터 2001년 12월까지 표준 설계 안전성 분석보고서를 대상으로 사전 안전성 검토를 수행하였다. 사전 안전성 검토는 정부의 행정 조치에 의해 수행된 인허가성 업무였으며, 향후 표준 설계 인가 제도에 관한 원자력법, 시행령 및 시행규칙의 법제화 이후에 공식적인 인허가 신청시 사전 안전성 검토 내용 및 결과의 유효성이 유지되도록 하였다.

### 나. 표준 설계 인가 심사

사전 안전성 검토 과정에서 표준 설계 인가 제도의 법제화가 완료(2001. 7.25)되었고 이에 따라 사업자는 표준 설계 인가를 정식으로 신청하였다. 원자력법에 의한 심·검사 수탁 기관인 한국원자력안전

기술원은 사전 안전성 검토와 연계하여 표준 설계인가 심사를 수행하였다.

표준 설계 인가 심사에서는 한국 표준형 원전(울진 3·4호기, 영광 5·6호기, 울진 5·6호기 등)의 최근 인허가 심사 경험을 반영하여 발전소의 전반적인 설비, 계통 및 기기의 설계에 대한 종합적인 안전성을 평가함은 물론, 설계 변경 사항 및 그로 인한 영향과 선행 호기 등의 건설 및 운영 과정에서 제기된 안전성 현안, 그리고 국내외의 규제 요건 및 기술 기준 변경에 따라 영향받는 사항 등을 중점적으로 검토하였다.

표준 설계 인가 심사 전반에 걸쳐 인허가 쟁점이 될 가능성이 있는 사항들은 조기에 도출·정리하여 집중적으로 검토하였으며, 주요 안전성 문제와 관련하여 현재 검토 인력으로 심층 검토가 어려울 것으로 예상되는 특정 분야에 대해서는 국내 전문 기관에 위탁 용역으로 수행하여 그 결과를 심사에 반영하였다.

아울러 동 심사 과정 중 국외 전문가들로부터 안전 현안에 대한 기술 자문을 수행하였으며, 국내 산·학·연 전문가로 안전 현안 협의회를 구성하여 인허가 쟁점이 되고 있는 안전 현안들에 대하여 국내 전문가들이 주기적인 회의를 통해 최적 해결 방안을 도출하였다.

이 과정에서 약 2,200여건(사전

안전성 검토 포함)의 심사 질의 및 답변을 수행하여 신기술 적용, 중대 사고 대처 능력, 안전성 향상을 위한 기술 기준 적용 등의 타당성 등을 확인하였다.

사전 안전성 검토 기간을 포함하여 약 2년여의 안전성 심사를 수행한 결과, 원자력법 제12조의2 제3항의 규정에 의한 표준 설계 인가에 관하여 적용되는 기술 기준인 과학 기술부령 제31호 「원자로 시설 등의 기술 기준에 관한 규칙」 제4조 내지 제10조의 원자로 시설의 위치에 관한 기술 기준, 제12조 내지 제49조의 원자로 시설의 구조·설비 및 성능에 관한 기술 기준 및 제51조 내지 제66조의 원자로 시설의 운영에 관한 기술 기준을 만족하고 있다고 판단되어 지난 5월 7일 신형경수로1400 표준 설계에 대한 인가가 발급되었다.

**의 의**

국가 선도 기술 개발 사업의 일환으로 출발한 신형경수로1400은 국내 원전 운영 경험 및 해외 최신 기술을 반영하여 국내 독자적으로 개발된 최신 기술의 경수로로서, 그동안 수행된 표준 설계 인가 심사 결과에서 입증했듯이 안전성 및 기술성 측면에서 우수한 설계로 판명됨에 따라 원자력계에 미치는 파급 효과가 클 것으로 기대되며, 아울러

엄격한 설계 안전성 심사를 통하여 채용된 새로운 설계 개념 및 적용기준에 대한 타당성을 인정받아 표준 설계 인가를 취득함으로써 국내 원전 기술 수준을 한 단계 발전시킨 것으로 평가된다.

국가 장기 전원 개발 계획과 연계하여 신형경수로1400 표준 설계를 참조한 후속 호기의 건설로 국내의 안정적인 전력 공급에 기여함과 동시에, 21세기 원자력계의 새로운 지평을 열어 가는 신규 원전 사업으로 자리 매김할 것으로 기대된다.

또한 최근 들어 전세계적으로 원자력의 재활성화 분위기가 고조되고 있다. 미국 부시 행정부의 강력한 원자력 재활용 검토 정책 등 선진국은 물론 중국·베트남·인도네시아 등 아시아와 핀란드·루마니아 등 유럽에서도 원자력에 대한 관심이 제고되고 있는 가운데 신형경수로1400에 대한 정부의 설계 인가는 향후 해외 수출에서도 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다.

그동안 선진국과의 긴밀한 협력을 통해 원자력 기술을 개발한 우리나라는 중단없는 원전의 건설로 세계 최고 수준의 건설·운영 경험을 물론 개발 능력까지 보유하게 된 것은 원자력 종사자들의 철저한 소명의식과 땀이 없었더라면 불가능했을거라고 생각되며 다시 한번 그들에게 감사드리는 바이다. ☞