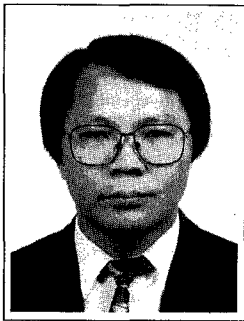


# 차세대 원자로 기술 개발 현황과 경제성 분석

정 경 남

한전 원자력기술실 차세대원자로팀 팀장



**에**너지 자원 빈국인 우리나라는 70년대에 있었던 두 번의 석유 파동을 계기로 에너지 다변화 정책의 일환으로 원자력 발전을 적극 추진하게 되었다.

78년 4월 최초의 원전인 고리 1호기의 상업 운전 이래 현재 총 12기의 원전이 가동중에 있으며 8기를 추가로 건설하고 있다.

이리하여 우리나라는 설비 용량 기준으로 약 30%, 발전량 기준으로 40%에 가까운 원전 점유율을 나타내는 세계 10위권의 원전 보유국이며,

또한 세계 최상위권의 원전 운영 기술 보유국이기도 하다.

이러한 성과는 80년 중반부터 정부와 한국전력공사를 중심으로 원자력 전 산업계가 추진한 기술 자립 계획의 성공적 수행의 결과이다.

그간 국내 원자력 산업계는 핵연료 및 계통 설계, 기기 제작, 발전소 종합 설계, 사업 종합 관리 등 기관별로 역할을 분담하여 국내 자원을 효율적으로 활용한 결과, 영광 3·4호기와 동일 노형에 대해 95% 기술 자립 목표를 달성하게 되었다.

이러한 기술 자립을 통해 우리나라 원자력 산업계는 한국 표준형 원전을 자체 설계·건설함은 물론 대북 경수로 건설 사업을 주도할 수 있게 되었고, 나아가 원전 사업을 통한 제3국 진출을 도모하고 있는 실정이다.

그러나 아직도 우리의 원자력 기술 수준은 일부 핵심 기술에 대하여 기술을 활용할 능력(know-how 기술)은 보유하고 있으나, 기술을 자체적으로 응용·보완할 수 있는 능력(know-

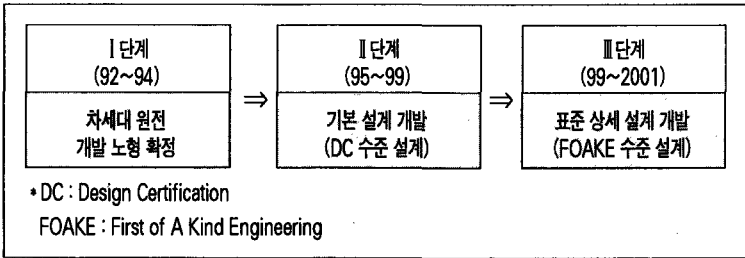
why 기술)은 부족한 상태이다.

또한 우리가 개발한 한국 표준형 원전도 일부 원천 기술은 외국 도입사의 기술을 사용함에 따라 해외 판매 등 자유로운 기술의 활용에 일부 제약을 받고 있는 실정이다.

한편 전력 수급 측면에서 우리나라의 전력 수요는 현재 일시적인 침체 상태에 있지만, 향후 꾸준한 경제 성장과 국민의 삶의 질 향상에 따른 전력 수요의 증가가 지속될 것으로 예상되고 있다.

이러한 늘어나는 전력 수요에 효과적으로 대처하기 위해서는 화석 연료의 유한성, 화석 연료 확보의 비탄력성 등으로 일정 수준의 원자력 이용이 불가피한 실정이다.

특히 지구의 온난화를 방지하기 위하여 92년 UN 환경개발회의에서 채택되어 94년 3월에 발효된 「기후환경협약」과 97년 12월 교토에서의 온실 가스 배출 제한 등에 따라 화석 에너지 사용에 대한 규제가 강화될 것이기 때문에, 향후 우리나라의 전력



〈그림 1〉 차세대 원전의 단계별 기술 개발 목표

〈표 1〉 차세대 원전의 설계 목표

경제성 및 성능 관련	설계 목표	안전성 관련	설계 목표
경제성	기저 부하용 화력 대비 우위	노심 손상 빈도	10만년에 1회 미만 (지출력시, 외부 사건 포함)
설비 용량	135만kW급	격납 건물 손상 빈도	100만년에 1회 미만
설계 수명	60년	설계 기준	DBA + 중대 사고
건설 공기	48개월(Nth 호기)	내진 설계	0.3g
가동률	90%	해버등 여유도	10~15%
불시 정지	연간 0.8건 미만	운전원 조치 여유	30분
부하 추종 운전 능력	부하 추종 능력 보유	전원 상실시 대처 여유	8시간
핵연료 교체 주기	18~24개월	격납 건물	이중 격납 건물
계측 제어 방식	디지털 방식	비상 노심 냉각 방식	4-트레인 직접 주입
작업자 피폭 선량	연간 100man-rem	SG 세관 붓새 여유도	10% 여유도

수급을 화석 에너지에 의존하기에는 어려움이 예상된다.

따라서 정부와 한국전력공사는 이러한 국내의 상황을 고려하여 그간 자립된 국내 원전 기술을 한 단계 고도화하고, 21세기 전력 수요에 효율적으로 대처하기 위하여 안전성과 경제성이 한층 향상된 대용량급(1,350MWe) 신형 원전인 차세대 원전을 92년부터 정부 G-7 과제의 일환으로 현재 기본 설계를 개발중에 있다.

이 글에서는 차세대 원전의 제Ⅱ단계 기술 개발 현황을 간단히 요약하

고 안전성 관련 설비 특징 및 현재까지 개발된 기본 설계 진도를 근거로 수행한 경제성 평가 결과를 기술하고자 한다.

### 기술 개발 개요

#### 1. 기술 개발 목표

차세대 원전은 기존 원전에 비하여 안전성과 경제성이 대폭 개선되어 2000년대의 변화된 사회 환경에서도 타 원전에 비하여 경쟁력을 갖는 원전이다.

장기 전력 수급 계획상 2000년대 초 첫호기 가동을 시작으로 고속 증식 등 미래의 획기적 대체 전원 상용화 이전까지 국내에서 주종으로 건설되며, 2001년까지 표준 상세 설계를 개발할 목표로 3단계에 걸쳐 추진하고 있다(그림 1).

차세대 원전의 설계 목표는 첫째, 1,350MWe급 대용량 신형 원전에 대한 설계 여유 확보로 안전성을 향상시키고, 둘째, 일반 대중에 대한 이해(PA)를 최대한 고려하여 환경으로 방출되는 방사선량을 최소화할 수 있는 설계 개념을 채택하며, 셋째, 단순화·표준화 및 모듈화 등 설계 및 건설 기법의 선진화를 통한 경제성 향상을 달성할 수 있도록 설계된다.

이러한 설계 원칙을 만족시키기 위해 I단계 과정에서 차세대 원전의 설계 목표가 설정되었다.

본 설계 목표는 크게 경제성과 안전성 관련 목표로 나뉘어진다(표 1).

#### 2. 추진 체계

차세대 원전 기술 개발은 G-7 사업과 연계된 국가 사업으로 정부(산업자원부·과학기술부), 산·학·연 공동으로 기술 개발을 수행중이며, 산업자원부가 주관하는 기술개발추진위원회에서 차세대 원전 기술 개발에 대한 주요 내용을 심의·의결 및 평가하고 있다.

또한 보다 원활한 사업 추진을 위해 한국전력공사 내에 산·학·연이

공동 참여하는 기술개발사업단(단장: 한전 기술본부장)을 구성하여 운영하고 있다.

각 참여 기관별 역할은 다음과 같다.

가. 산업자원부(주관 부처)

- 차세대 원전 기술 개발 총괄 및 추진위원회 운영

나. 과학기술부(협조 부처)

- 차세대 원전 기술 개발 협조 및 인허가 지원

다. 기술개발추진위원회

- 기술 개발 기획 심의·조정·자문 및 평가, 유관 기관과 협조 강화
- 산업자원부 전력심의관을 위원장으로 하여 전문가 13인으로 구성

라. 기술개발사업단

- 한국전력공사 : 사업 총괄 관리, 설계 검토 및 정보 관리 체계 개발
- 한국원자력안전기술원 : 안전 규제 기술 개발 및 설계 결과물 검토
- 한국전력기술(주) : 원자로 계통 및 플랜트 종합 설계
- 한국원자력연구소 : 원자로 계통 기초·기반 연구
- 한국중공업(주) : 기기 제작성 검토
- 한국원전연료(주) : 초기 노심 설계
- 학 계 : 핵심 기술 개발
- 관련 산업체 : 기술 개발 추진에 따른 필요 분야 산업체

〈표 2〉 차세대 원전의 기술 개발 예산

단위: 억원

구 분	I 단계	II 단계	III 단계	계
정부 지원금	22	54	74	150
한전 부담금	195	1,482	553	2,230
계	217	1,536	627	2,380

〈표 3〉 차세대 원전의 기술 개발 I 단계 주요 실적

분 야	주요 추진 실적
설계 요건 개발	• 각 계통별 성능 요건, 설계 원칙, 제작 기준 등 계통 설계의 지침을 제시할 수 있는 요건 개발
기본 설계 개발	• 원자로 계통 설계 - 각 계통 설명서 발행 - 주기기 Design Spec. 작성 - 계통 안전 해석 등 • 플랜트 종합 설계 - 발전소 배치도(General Arrangement) 작성 - BOP 계통 설명서 및 P&ID 발행 - 구조 해석 및 안전 해석 등
초기 노심 설계	• 기준 노심 선정 • 노심 열수력 설계 • 안전 해석용 설계 자료 생산 등
기기 제작성	• NSSS 주기기 및 원자로 내부 구조물 제작성 검토 및 연계 자료 작성 • T/G 설계 관련 연계 자료 생산 등
인간-기계 연계 계통	• 주제어실 개념 설계 • 인간 공학적 분석 • 시뮬레이터와 Dynamic Mock-up 연계 등
기초 기반 R&D	• 부하 추종 운전 기법 개발 • Fluidic Device 실험 요건 결정 • 압력 방출 밸브(POSRV) 예비 해석 등
핵심 기술 연구	• 격납 용기 성능 및 건전성 평가 기술 등 중대 사고 연구 • 원자로 계통 및 증기발생기 세관 재질 특성 평가 등

### 3. 추진 일정

차세대 원전 기술 개발 사업은 약 10년간의 장기 사업임을 감안하여 3 단계로 나누어 수행하고 있으며 각 단계별 주요 업무는 다음과 같다.  
가. 1단계(92~94) : 노형 확정 및

### 개념 설계

- ① 노형의 비교·평가를 통해 차세대 원전의 원자로형을 확정
  - ② 차세대 원전의 성능 및 안전에 대한 요건을 확정
- 나. 2단계(95~99) : 기본 설계 개

**발**

- ① 규제 기관의 안전성 검증을 위해 필요한 수준의 기본 설계 개발
    - 주요 계통 및 기기 설계, 사양 작성
    - 설계 인증에 필요한 안전 해석 수행 등
  - ② 안전 규제 상세 요건 개발 및 인허가 제도 개선
- 다. 3단계(99~2001) : 표준 상세 설계 개발
- ① 기기 구매 및 건설이 가능한 수준의 표준 상세 설계 개발
    - 제작 및 구매 사양 작성
    - 시운전, 검사 사양 작성 등
  - ② 안전 규제 심사 지침 개발 및 규제 검증 기술 체계의 구축

**4. 기술 개발 예산**

3단계에 걸쳐 소요되는 기술 개발 과제의 예산 규모는 <표 2>에서와 같이 모두 2,380억원으로 예상되며, 소요 재원은 주로 한국전력공사의 연구 개발 자금으로 충당되고, 안전 규제 기술 개발 분야에 대해서는 정부가 G-7 사업비로 지원하고 있다.

**기술 개발 주요 내용**

차세대 원전 기술 개발 사업은 현재 II 단계 기본 설계를 본격 개발중에 있다.

앞에서 기술한 바와 같이 II 단계에

서는 I 단계에서 개발된 제반 설계 기본 요건, 개발 방향, 기존 원전 대비 개선된 설계 개념 등을 확립하고 동 개념을 바탕으로 기본 설계를 진행중이며 현재까지의 분야별 기술 개발 실적을 요약하면 <표 3>과 같다.

일반적인 설계 개발 외에 차세대 원전 설계는 설계 기준 사고뿐만 아니라 중대 사고를 고려하여 안전성을 크게 증진시켰으며, 경제성 향상 및 운전 편의성 제고, 운전원 인적 실수 감소를 위한 인간 공학 개선 차원의 축약형 주 제어실 등을 중점 개발중에 있으며, 그 주요 내용을 기술하면 다음과 같다.

**1. 안전성 향상 기술**

차세대 원전의 설계상 주된 목표는 하나의 초기 사건이 심각한 사고를 초래할 확률이 무시할 수 있을 정도로 안전하게 설계하는 것이다.

특히 설계 특성과 그간의 설계 진행 결과를 반영한 차세대 원전의 안전성 예비 평가 결과 노심 손상 빈도는 설계 기준치인  $1.0 \times 10^{-5}/RY$ 보다 훨씬 낮은  $7.9 \times 10^{-7}/RY$ 로 평가되었다.

**가. 설계 기준 사고 대응 설계**

유사시 발전소 과도 상태 대응 능력을 강화하고 심각한 사고로의 파급 확대를 방지할 목적으로 다음의 주요 특성 등을 반영하였다. 안전 설비 개략도는 <그림 2>와 같다.

① 가압기 용량 증대

가압기 체적은  $65m^3$ 로서 원자로 단위 출력당 가압기 용적을 증대시켜 과도 상태에 대해 그 파급성을 완화 시킴과 동시에 운전원으로 하여금 충분한 여유 시간을 확보하게 된다.

② 증기발생기 용량 증대

증기발생기 내부 2차측 급수 용량을 증대시켜 과도 상태에 대해 그 파급성을 완화시킴과 동시에 급수 상실 사고까지의 시간을 증가시켜 운전원에게 충분한 시간을 갖게 한다.

③ 정지 냉각 계통 및 격납 건물 살수 계통 펌프의 기능적 상호 보완

원자로 정지 냉각 계통과 격납 건물 살수 계통은 각각 독립적으로 설계되었으나, 기능적으로 상호 보완이 가능하게 하여 두 계통이 높은 신뢰도를 갖게 된다.

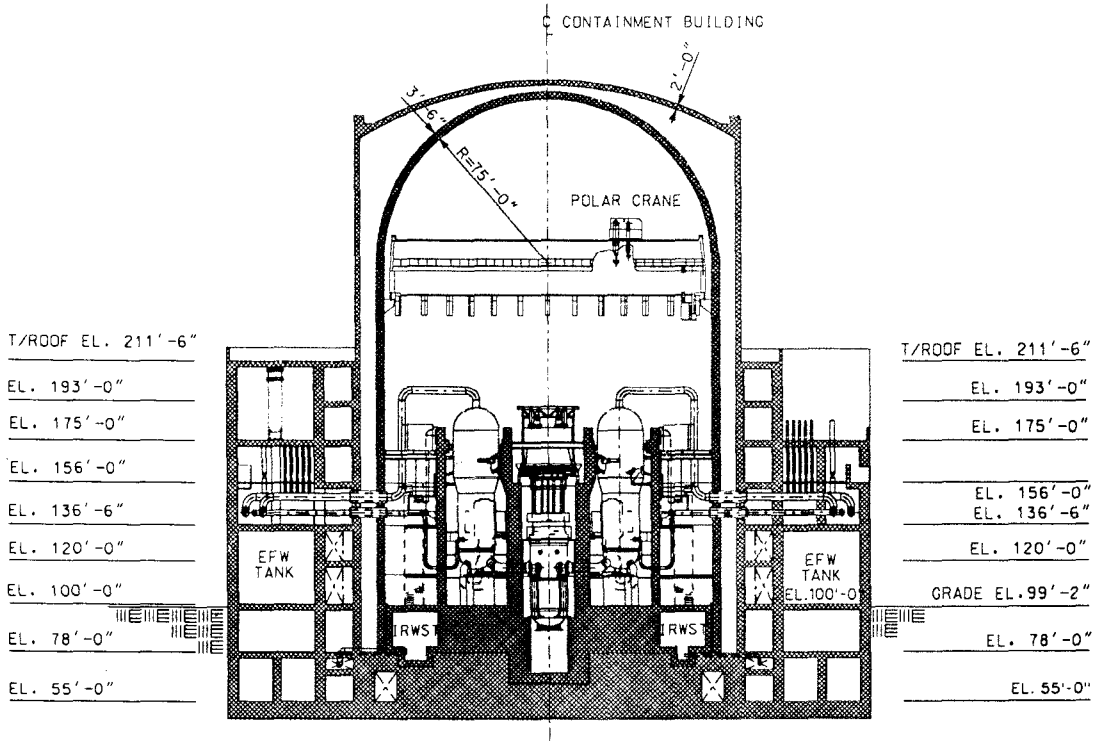
④ 4-트레인 안전 주입 계통 및 원자로 직접 주입

냉각재 상실 사고(Loss of Coolant Accident) 및 정지 불능 과도 상태(Anticipate Transient Without Scram, ATWS)와 같은 사고시 100% 용량 고압 펌프 4대에 의해 봉산수 주입을 수행하며, 이 계통의 신뢰도를 향상시킨다.

또한 기존 저온관 주입 방법으로 인한 냉각수 유실을 방지하기 위해 원자로 용기 노즐을 통한 노심으로 직접 주입시킨다.

⑤ 안전 감압 계통

증기발생기 및 정지 냉각 계통을 통해 붕괴열 제거 기능이 상실되었을



〈그림 2〉 격납 건물 기기 배치 수직 단면도

때, 냉각재 계통의 급속 감압을 제공하여 수동 안전 주입을 실현시킨다.

또한 압력 용기의 과압 파손으로 인한 격납 건물 직접 가열 가능성을 방지하게 된다.

⑥ 피동 2차측 응축 계통

비상 급수 계통 기능을 보완하기 위한 계통으로서 소내외 전원 상실시에도 피동 열교환기를 통한 노심 붕괴열 제거 기능을 수행하여 전원 상

실시 8시간 동안 원자로 잔열 제거를 가능하게 된다.

⑦ 2대의 디젤 발전기 + 예비 대체 발전기(AAC)

기존 2대의 안전 등급 비상 디젤 발전기 외에 비안전 등급 예비 대체 발전기를 통한 소내 대체 교류 전원을 확보하여 발전소 정전 사고에 대응할 수 있게 된다.

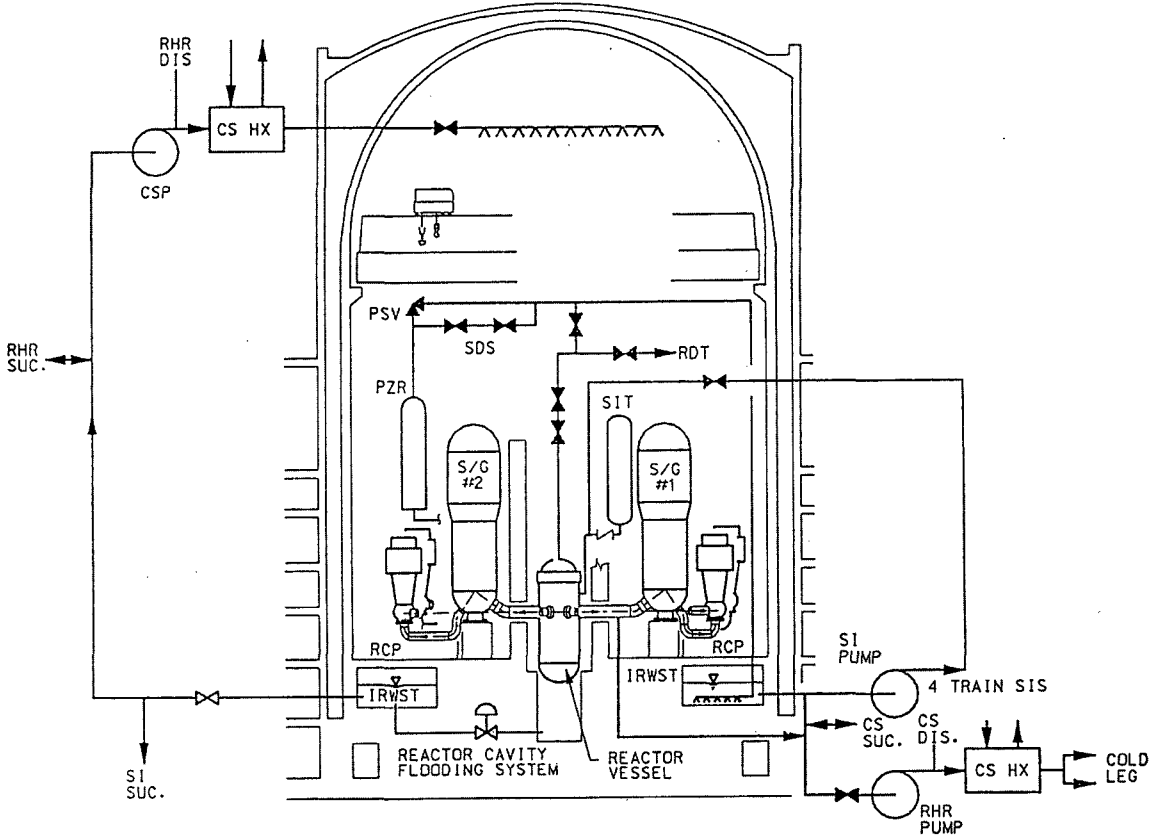
⑧ 격납 건물 내 재장전 수조

(IRWST)

핵연료 재장전 수조를 격납 용기 내부에 설치하여, 비상 노심 냉각수 공급의 신뢰성을 높이고 과압 방지 계통 작동시의 열제거원으로 작용하게 된다.

나. 중대 사고 대응 설계

차세대 원전은 설계 기준 사고 방지 측면뿐만 아니라 중대 사고시에도 사고 완화를 위한 안전 설계 특성을



〈그림 3〉 차세대 원전 안전 설비 계통

갖도록 하였다.

특히 노심의 용융을 가정하는 경우에도 격납 건물 손상 확률을 노심 손상 확률의 0.1 이하가 되게 하여 격납 건물 손상으로 인한 대량 방사선 누출 사건을 최소화하도록 하고 있다.

① 이중 격납 건물 채택

차세대 원전의 격납 건물은 보다 높은 압력하에서도 그 건전성을 유지할 수 있도록 이중 격납 건물로 설계

되며, 중대 사고(수소 연소, 격납 용기 직접 가열 등)의 경우에도 건물 부하는 ASME 기준값 이하가 되도록 한다.

이러한 격납 건물의 체적 증대와 고압 대응 능력은 사고 후반 격납 건물 고압 손상 사건시 방출 시간을 지연시킬 수 있게 된다.

차세대 원전의 격납 건물은 내부와 외부로 구성되고 환형 공간에는 정화

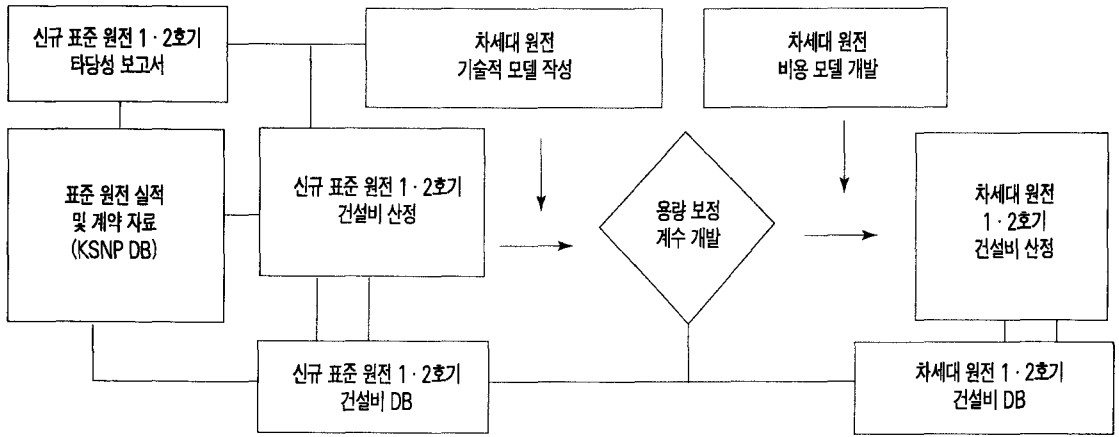
계통이 설치가 가능토록 되어 있어, 설계 기준 사고 및 중대 사고시 핵분열 생성물의 대기 방출을 감소시키는 역할을 수행한다.

그 구조는 〈그림 3〉과 같다.

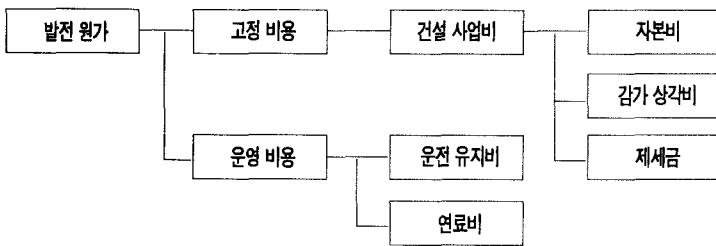
② 안전 감압 계통

이 계통은 사고 방지 기능과 동시에 사고 완화 기능을 갖고 있다.

원자로 압력 용기 고압에 의한 파손 전에 냉각제를 격납 건물 내 저장



(그림 4) 차세대 원전 1·2호기의 건설비 산정 흐름도



(그림 5) 차세대 원전의 발전 원가 구성

전 수조로 방출시킴으로써 갑압 기능을 수행하게 된다.

이때 스파저를 통해 IRWST로 압력 방출을 시킴으로써 격납 건물로 방출되는 핵분열 생성물의 양을 감소시키는 역할을 동시에 수행하게 된다.

③ 원자로 수조 설계

직접 격납 용기 가열, 용융 노심-냉각수 반응, 용융 노심-콘크리트 반응 현상 등에 직면한 위험을 최소화하기 위해 넓은 공간의 기하학 구조의 설계 특징을 원자로 수조 설계에 반영한다.

④ 수소 점화 계통

차세대 원전은 격납 건물의 수소 농도를 10% 이하가 되도록 유지하기 위한 수소 점화 계통으로 수소 폭발에 의해 야기될 수 있는 격납 건물 손상 위험을 최소화시킬 수 있게 된다.

2. 경제성 향상 기술

원전의 안전성 향상과 더불어 경제성 제고는 향후 원전 산업의 장래를 결정하는 주요 요소이다.

차세대 원전 설계 기본 요건에서 보여준 바와 같이 차세대 원전의 주요

경제성 목표는 기저 부하용 다 전원 대비 상당 수준의 경제성 우위 확보와 N번째(통상 5·6호기 건설시를 N번째로 함) 호기 건설시 기준으로 48개월 건설 공기를 달성한다는 것이다.

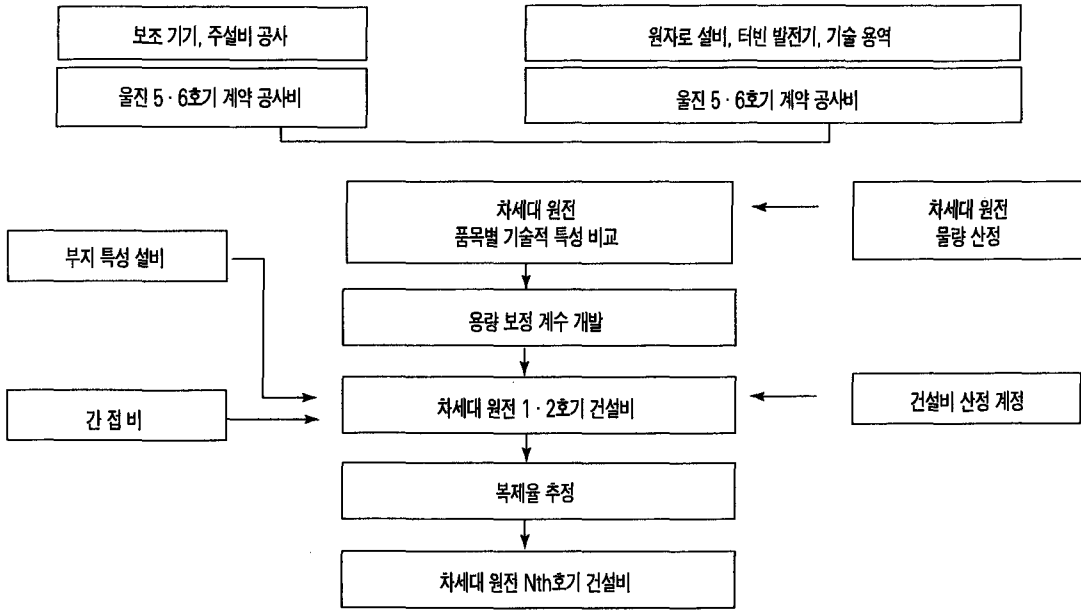
이러한 경제성 목표를 위하여 여러 가지 설계 개선을 수행하고 있으며, 여기서 그 주요 내용에 대하여 간략하게 기술하고자 한다.

첫째, 경제성 향상을 위한 가장 중요한 설계 변경 사항은 발전소 열출력 증가이다.

현재 차세대 원전은 4,000MWth 열출력을 목표로 개발하고 있으며, 이는 전기 출력 1,350MWe급 대용량으로 발전 원가 저감 및 부지난 해소에 크게 기여할 수 있다.

둘째, 건설 공기 단축을 위한 설계 표준화 및 신건설 공법의 개발·적용이다.

차세대 원전은 설계 표준화로 인허



〈그림 6〉 차세대 원전의 건설비 산정 흐름도

가 안전성을 기하고 반복 건설로 인한 건설 비용, 공기 및 인력을 절감하며 모듈화 설계, Over the Top 공법 등 신건설 공법 적용을 통한 공기 단축으로 건설 기간중의 이자 부담을 감소시켜 차세대 원전의 경제성을 제고할 수 있도록 한다.

셋째, 설비 단순화 및 최적화이다.

계통 설계 측면뿐만 아니라 발전소 배치(General Arrangement, GA) 최적화 등에 중점을 두어 개발중에 있으며, 설비 단순화·최적화를 통한 단위 전력량당 공사 물량의 감소로 인한 기자재 구입비 및 시공비를 절감할 수 있게 한다.

마지막으로 정보 관리 체계 개발, 인허가 기간 단축 등 사업 관리 비용

의 절감을 들 수 있다.

차세대 원전 개발과 병행하여 모든 설계 정보를 데이터베이스화하여 체계적으로 관리하고, 3차원 CAD를 이용하여 설계 최적화 및 운전 편의성 등을 향상시키고 동시에, 향후 발전소 운영은 물론 폐로시까지의 정보도 종합 관리할 수 있는 정보 관리 체계를 개발하여 건설 관리 및 운영 유지 비용의 절감을 기하고자 하고 있다.

### 3. 축약형 주 제어실 설계

차세대 원전 인간-기계 연계의 기본 설계 요건은 인간 공학 원리가 반영되고 디지털 제어 기술에 기초한 첨단 제어실 설계로 설계하여 운전원의 인적 오류 유발을 방지하고 운전

편의성, 업무량 감소를 고려하여 설계 개발중이며, 그 주요 특징은 다음과 같다.

- 다중 소형 워크스테이션
- 소프트웨어
- 전산화 절차서
- 대형 정보 표시판

가. 다중 소형 워크스테이션

차세대 원전 주 제어실은 기존 원전에서의 고정된 제어판 제어에서 탈피하여 3개의 동일한 소형(Compact) 워크스테이션[원자로 운전원(RO), 터빈 운전원(TO), 발전과장]을 이용한 제어를 할 수 있도록 설계함으로써 유연성을 가져 고정식 인간-기계연계가 가지는 한계를 극복하였다.

또한 정상 출력 운전중에는 한 명



〈표 4〉 차세대 원전의 건설비 산정 주요 변수 적용 기준

변수	적용 기준
가격 기준일	1997. 1. 1
경제 수명 기간	30년
감가 상각법	정액법, 잔존 가치 0%
할인율	8%
차입률	100%
이용률	85%
적용 환율	847.5원/달러
건설 이자 계산 기간 (착공~상업 운전)	차세대 원전 #1·2: 70개월, Nth호기: 54개월 석탄 500MW: 44개월, 석탄 800MW: 52개월
소내 소비율	차세대 원전: 5%, 표준형 원전: 5.5% 석탄 800MW: 5.5%, 석탄 500MW: 6%

〈표 5〉 차세대 원전의 건물 체적 분석(2기 기준)

단위: 10<sup>6</sup> ft<sup>3</sup>

건물	표준형 원전	차세대 원전	증감(%)
격납 건물	3.86×2	6.53×2	+ 69
보조 건물	8.12×2	8.59×2	+ 6
터빈 건물	8.34×2	8.59×2	+ 3
출입 통제 건물	1.06×2	0.66×2	- 38
폐기물 처리 건물	2.03	1.63	- 20
계	44.77	50.37	+ 12.4
격납 건물 제외시	37.05	37.31	동일 수준

의 운전원에 의해 운전 가능토록 설계하였다.

나. 소프트 제어기

소프트 제어기(Soft Control)는 제어기의 형태가 특별히 고정되어 있지 않고 운전원의 요구에 따라 컴퓨터 화면상에서 원하는 기기에 대한 제어 행위를 수행하도록 소프트웨어적으로 설계된 제어기로서, 기존 원전의 고정형 스위치나 수동/자동(M/A) 제어기를 대체하여 단순형 워크스테이션 설계를 가능케 한다.

다. 전산화 절차서

라. 대형 정보 표시판

차세대 원전의 대형 정보 표시판은 원전 안전 및 전력 생산과 관련된 필수 정보를 한눈에 파악케 함으로써 워크스테이션이 제공하는 순차적인 정보 접근의 한계를 극복한다.

특히 대형 정보 표시판은 발전소 기기의 상태, 운전 변수 및 경보를 계통 미믹(Mimic)상에 표시하여 운전원의 인지가 용이토록 지원하며 사고 후에도 필요한 정보가 제공된다.

또한 차세대 원전에서는 기존 원전이 가지는 발전소 정지시 과다 경보

발생의 문제를 해결하기 위해 중요 경보의 표시는 대형 정보판을 통해 고정된 형태로 제공함으로써 운전원의 신속한 경보 처리에 편의성을 제공한다.

**차세대 원전 경제성 분석**

**1. 개요**

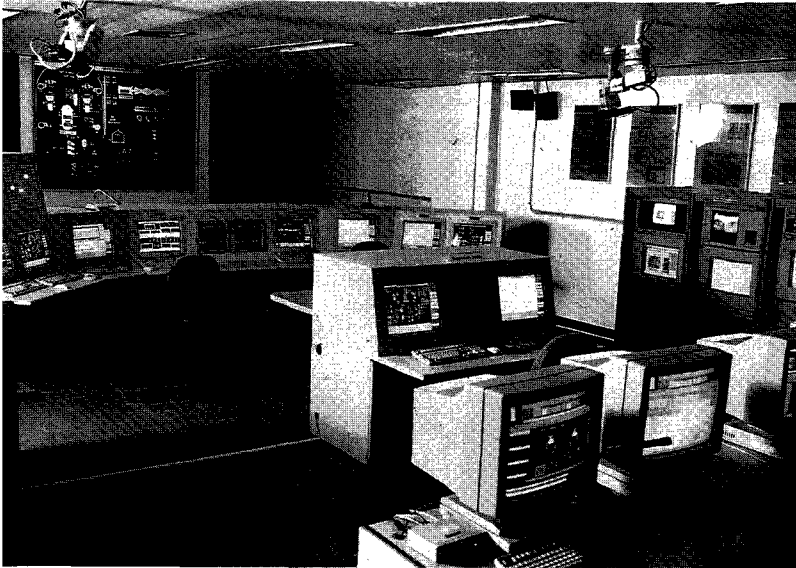
차세대 원전은 현재 기본 설계를 진행중에 있으며, 개발 과정에서의 설계 최적화를 위해 주기적인 경제성 평가를 수행하고 있다.

본 기술 개발 2단계 경제성 평가(97. 12)에서는 지금까지 수행한 기본 설계를 근간으로 기술적 모델(Technical Model)과 비용 모델(Cost Model)을 구축하였고, 일부 부족한 기자재 비용 등에 대해서는 현재 건설중인 국내 원전 경험 자료를 최대한 이용하여 데이터화한 후 용량 보정 계수(Cost Scaling Factor)를 적용하여 차세대 원전 1·2호기의 건설비를 산정하였다.

차세대 원전 1·2호기의 건설비 산정 흐름도는 〈그림 4〉와 같다.

**2. 경제성 분석 방법**

차세대 원전의 발전 원가는 설계·건설·운전 및 유지·보수·해체시까지 소요되는 모든 비용을 전력 사용자로부터 회수해야 할 최소한의 수입액(Minimum Revenue Requirement Method, MRRM)으로 산



공학적 원전 시뮬레이터. 정부와 한국전력공사는 그간 자립된 원전 기술을 한 단계 고도화하고 21세기 전력 수요(물적으로 대처하기 위하여 안전성과 경제성이 한층 향상된 대용량급(1,350MW) 신형 원전인 차세대 원전을 개고 있다.

〈표 6〉 차세대 원전의 주요 Bulk Material 물량 비교(본관 건물 2기 기준)

	단 위	표준형 원전	차세대 원전	증감(%)	증감(%)
		총물량	총물량	총물량	MW 기준
콘크리트	CY	465,313	584,058	26	-7
철 근	Ton	63,995	83,255	30	-4
철 골	Ton	14,062	16,492	17.3	-13
대구경 배관	LF	376,269	394,345	4.8	-22.4
소구경 배관	LF	413,850	416,027	0.5	-26
HVAC Duct	LB	3,328,365	2,144,731	-36	-52
Cable	LF	12,951,666	12,042,098	-7	-31
Cable tray	LF	205,000	198,725	-3	-28
Conduit	LF	1,111,434	1,111,434	0	-26

정하였다.

〈그림 5〉에서 보는 바와 같이 발전 원가는 건설 사업비를 근간으로 하는 고정 비용과 연료 및 운영 유지비 등을 주로 하는 운영 비용으로 구분·산출하였다.

고정 비용 중 총건설비는 순건설비(Overnight Cost)에 건설 이자를 포함한 것으로서 순건설비에는 기자재비(주기기, 보조 기기 등), 시공비 등의 직접비와 설계 용역비, 사업주 제

비용, 외자 조작비, 용지비, 예비비 등 간접비로 구성된다.

그러나 차세대 원전은 현재 설계가 진행중인 관계로 기기 비용 및 건설 공사비에 대한 정확한 산정이 어려운 실정이다.

따라서 보조 기기 및 주설비 공사비, 원자로 설비 및 터빈 발전기 구매비와 기술 용역비는 울진 5·6호기 계약 공사비를 기준으로 용량 보정 계수(Cost Scaling Factor)를 적용

하여 산정하였으며, 여기에 차세대 원전 설계 물량 산정치와 부지 특성 설비 및 간접비 등을 반영하였다.

특히 차세대 원전 Nth호기 건설 사업비는 차세대 원전 1·2호기 건설 사업비를 산정한 후 직접비 및 기술 용역비에 대해서 반복 건설에 따른 복제 절감률을 적용하였다.

### 3. 건설비 산정

#### 가. 적용 주요 변수

차세대 원전의 건설비를 산정함에 있어 적용된 제반의 변수들은 〈표 4〉와 같다.

#### 나. 차세대 원전 건설 물량 분석

##### ① 건물 체적 비교

차세대 원전은 이중 격납 건물 채택에 따라 격납 건물 체적은 비교 대상 원전(1,000MWe급)에 비해 약 70% 증가한다.

그러나 발전소 전체 건물의 최적화 및 계통의 개선 등으로 출입 통제 건물은 약 40%, 폐기물 처리 건물은 약 20% 각각 감소하였으며, 보조 건물 및 터빈 건물은 용량이 증가하였음에도 기존 원전과 유사한 수준으로 산출되었다.

따라서 본관 건물 총체적은 표준형 원전에 비해 약 12% 증가하나 이중 격납 건물 채택에 따른 물량 증가를 제외하면 표준형 원전과 비슷한 수준으로 산정되었다.

각 건물별 체적은 〈표 5〉와 같다.

##### ② 다량 구매 자재(Bulk Ma-

terial) 물량

차세대 원전의 Bulk 자재 물량은 표준 원전에 비해 용량이 약 35% 증가하고, 안전성 강화 설계에 따른 공동 매트 시공, 이중 격납 건물, 핵연료 재장전수 탱크 격납 건물 내 설치, 2차 응축수 냉각 계통, 내진 설계(0.3g) 강화 등으로 구조물에 관련된 콘크리트·철근·철골의 물량이 증가한 반면, 전기 및 계기 분야에서는 디지털 I&C, 다중 채널 신호 방식(Multiplexing) 등의 채택으로 인해 케이블 및 케이블 트레이, 공기 조화(HAVC) 덕트 등의 물량은 크게 감소한다.

각 자재별 물량은 <표 6>과 같다.

#### 4. 경제성 분석 결과

<표 7>과 <표 8>은 앞서 기술한 물량 자료 및 기존 국내 원전 경험 자료를 기초로 계산한 차세대 원전 1·2호기 건설비를 포함한 비교 발전원별 건설비, 발전 원가 산출 결과를 보이고 있다.

표에서 보는 바와 같이 원자력발전소는 연료비 비중이 적은 대신 초기 투자비가 많이 소요되는 반면, 석탄 화력은 연료비 점유율이 원자력에 비해 상대적으로 큰 것을 알 수 있다.

차세대 원전 1·2호기의 발전 원가는 29.29원/kWh로 석탄 화력 대비 3%(석탄 800MWe)에서 12%(석탄 500MWe)까지 비교 우위에 있음을 보이고 있다.

<표 7> 비교 발전원별 건설비

단위 : 내자(백만원), 외자(천달러)

항 목	차세대 원전1·2호기	석탄 500MWe	석탄 800MWe	
순건설비	내 자	2,882,704	886,807	1,249,964
	외 자	578,867	47,921	112,243
	소 계	3,373,293	934,728	1,362,207
건설 이자 (IDC)	744,149	122,884	209,027	
총 건설비 (백만원)	4,117,442	1,050,304	1,554,118	
건설 단가 (천원/kW)		1,525	1,050	

<표 8> 발전원별 발전 원가 비교

항 목	단 위	KNGR 1·2호기	KNGR N호기	석탄 500	석탄 800
		1,350MWe	1,350MWe	500MWe	800MWe
순건설 단가	천원/kW	1,249	1,022	935	851
		100.0%	81.8%	74.9%	68.1%
건설 단가	원/kW	1,525	1,191	1,050	971
이자 기간	개월	70(64+6)	54(48+6)	44	52
경제 수명	년	30	30	30	30
이용률	%	85	85	85	85
발전 원가	원/kWh	29.29	25.07	33.20	30.22
- 고정비	"	19.15	14.96	13.33	12.26
- 운전 유지비	"	5.34	5.34	5.87	4.81
- 연료비	"	4.77	4.77	14.01	13.16
비교 분석		100%	85.7%	113.5%	103.3%

특히 복제 절감률을 고려한 차세대 원전 Nth호기 총건설비는 차세대 원전의 표준 설계 효과가 극대화되어 차세대 원전 1·2호기 대비 약 14.3% 경제성 제고가 예상되며, 발전 원가 측면에서는 석탄 500MWe 대비 24.5%, 석탄 800 MWe 대비 17.1% 경제성 우위를 확보할 것으로 평가되었다.

따라서 차세대 원전 기술 개발 I 단계에서 설정한 차세대 원전 경제성 목표인 기저 부하용 석탄 화력 대비

경쟁력 우위는 충분히 확보될 수 있을 것으로 예상된다.

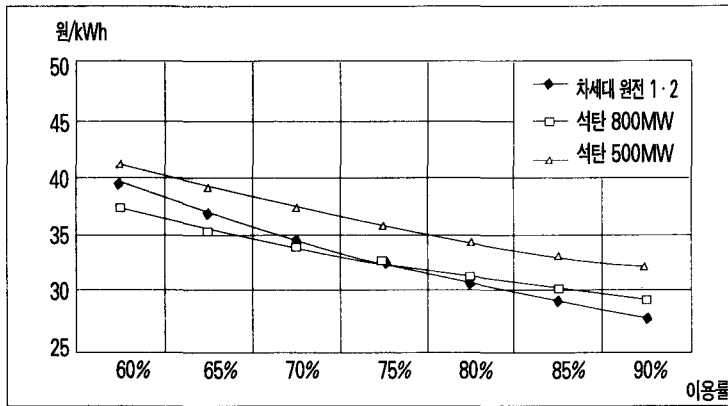
#### 5. 민감도 분석

가. 이용률 변화에 따른 경제성 평가  
이용률 변화에 따른 발전 원가 변화 추이는 <표 9> 및 <그림 7>에서 보는 바와 같이 차세대 원전과 가장 경쟁 관계에 있는 석탄 화력 800MW와 비교시 이용률 75% 수준에서 분기(Break-even)를 이루고 있으며, 이용률 90%에서 차세대 원전 경제성

(표 9) 발전원별 이용률 변화에 따른 발전 원가 비교

단위: 원/kWh

발전원별 \ 이용률	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%
차세대 원전 1·2호기	39.46	36.79	34.51	32.52	30.79	29.29	27.90
석탄 800MW	37.33	35.47	33.88	32.50	31.29	30.22	29.28
석탄 500MW	41.20	39.11	37.31	35.76	34.40	33.20	32.13



(그림 7) 이용률 변화에 따른 민감도 분석

은 석탄 화력 800MW급 대비 4.7%, 석탄 화력 500MW급 대비 13.2% 비교 우위에 있다.

결과적으로 기저 부하에서 이용률이 어느 정도 변화한다 해도 차세대 원전 1·2호기는 석탄 화력 800MWe 대비 경제성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

나. 건설비 변화에 따른 경제성 평가

차세대 원전 건설비 변화에 따라 발전 원가에 미치는 영향은 건설비 -5%에서 +7% 변화시, 즉 차세대 원전 건설비 규모가 7% 상승(순건설비 약 2,300억원)하면, 이용률 85% 기준에서 차세대 원전 경제성은 석탄

화력 800MW급 대비 -1.26% 낮고, 500MW급 대비 7.8% 비교 우위에 있다.

결과적으로 차세대 원전 1·2호기 건설비는 현 추정치보다 순건설비가 2,300억원 이상 증가하면 경제성이 뒤지게 될 것이나, 5% 증가(1,700억 수준)까지는 경제성 확보가 가능할 것으로 예상된다.

그러나, 석탄 화력의 경우는 연료비 비중이 크므로 최근의 고환율 상황에서는 연료 비용이 발전 원가에 미치는 영향이 보다 증대될 것으로 판단된다.

맺음말

차세대 원전은 국내 기존 원전 기술 자립과 운전 경험을 바탕으로 세계적인 신형 원자로 설계 요건(EPRI URD, EUR)를 참조하여 우리 고유의 차세대 원전 설계 요건을 개발하고 현재 2단계 기술 개발인 기본 설계를 진행중에 있다.

차세대 원전은 신개념 설비(ADF), 피동 안전 개념 설비(PDF) 및 이중 격납 건물 채용 등을 통한 안전성 제고와 용량 증가, 설계 최적화, 공기 단축 등을 통한 경제성 제고를 목표로 차질없이 현재 개발이 진행중에 있다.

그러나 앞서 경제성 분석 결과 등에서 보이는 바와 같이, 원자력발전소와 경쟁관계에 있는 800MWe급 대용량 석탄 화력 발전소와의 경제성 비교 우위 여부는 상당히 미미한 수준에 있다 하겠다.

따라서 차세대 원전 개발에 있어서는 안전성과 더불어 설계 최적화, 건설 공기 단축 노력 등 경제성 제고에 주력해야 하겠으며, 특히 표준 설계 인증 제도 정립, 단일(One Step) 인허가 제도 도입 등의 인허가 효율성과 사업 관리 효율성 제고 등을 통한 차세대 원전 기술 개발의 성공적 추진을 위해 정부·한국전력공사 등 관련 기관이 최대한 노력을 배가하여야 하겠다. ☼