



차세대 원자로 기술 개발 사업

-추진 경위 · 단계별 실적 및 주요 설계 특성-

최영상 · 조성제 · 정동욱 · 한상길

한전 전력연구원 신형원전개발센터

추진 배경

1992년 6월 브라질 리우에서 UN을 중심으로 한 선진국들의 지구 환경 선언 이후 1994년 3월 기후변화협약, 1997년 12월 선진국들의 지구 온난화 가스 삭감을 구체적으로 규정하는 교토 의정서 체결 등 인류는 지구 환경 보존을 위한 노력을 지속 견지해 오고 있다.

원자력 산업계에서는 1979년 3월 TMI 원전 및 1986년 4월 체르노빌 원전 사고 이후 원전 운영자들이 원전의 지속적인 안전성 증진 필요성을 절감하게 되었고, 이와 더불어 1980년대 후반부터 원자력 선진국들은 화력 발전 등 타기저 전원 대비 경제성 우위 확보를 위해서는 대용량 신형 원전 개발의 필요성이 절실함을 인식하게 되어 ABWR · Sys 80+ · EPR · APWR 등 안전성과 경제성이 향상된 차세대 대용량 원전에 대한 설계 개발을 추진해 왔다.

국내적으로는 1980년대 초 영광

3·4호기 사업을 통한 원전 건설 기술 자립 계획을 통하여 선진 외국으로부터의 턴키 방식에 의한 원전 수입국에서 탈피하여 일보 전진된 원전 복제 건설 능력을 확보하게 되었고, 이후 영광 3·4호기가 모태가 된 한국 표준형 원전(KSNP)의 반복 건설을 통하여 원자력 기본 기술 자립 시대로 진입하게 된다.

한편 국제적인 신형 원전 기술 개발 추세와 국내 에너지 수입 현실 등을 감안하여 우리도 원자력 선진국과 같은 수준의 새로운 대용량 원전 개발을 통해 단순 복제 기술에서 벗어나 자체적인 원전 설계 기술을 확보함으로써 경제적인 국내 보급은 물론 수출까지 고려하여 본사업을 추진하게 되었다.

자료를 개발토록 하였고, 1992년 6월 정부 종합과학심의회에서는 차세대 원자로 기술 개발 사업을 국가 선도 기술 개발 사업(G-7)으로 확정하여 그해 12월부터 1단계 사업에 착수하게 되었다.

2001년 12월 말까지 3단계 사업으로 추진되어 온 동 사업의 주요 경위 및 개발 목표는 다음과 같다.

- 1단계 : 1992. 12 ~ 1994. 12 : 개발 노형 확정 및 개념 설계 개발
- 2단계 : 1995. 3 ~ 1999. 2 : 기본 설계 개발 및 표준 안전성 분석 보고서 작성
- 3단계 : 1999. 3 ~ 2001. 12 : 표준 설계 인가 취득 및 장기 소요 항목 상세 설계 개발

추진 경위

1991년 4월 원자력위원회에서는 「원자로형 전략」 보고를 통하여 국내 원전 노형 개발은 경수로 이후 고속증식로 상용화 이전 차세대 원

추진 체계 및 방법

1. 추진 체계

차세대 사업은 국가 선도 기술 개발 사업(G-7)으로 추진하여 국가적 역량을 결집토록 도모하였다. 이

를 위하여 산업자원부가 기술 개발을 주관하여 기술개발추진위원회를 구성·운영하면서 기술 개발 주요 사항을 심의·의결하는 기능을 하고, 과학기술부는 G-7 과제를 종합 평가하고 인허가 관련 기술 개발 업무를 지원토록 하였다.

실제적인 개발의 주체는 사업 주체인 한전이 맡고 국내 원전 기술 자립 기반을 최대한 활용하기 위하여 역할 분담에 따라 관련 산·학·연이 참여하는 기술개발사업단을 구성하여 추진토록 하였다.

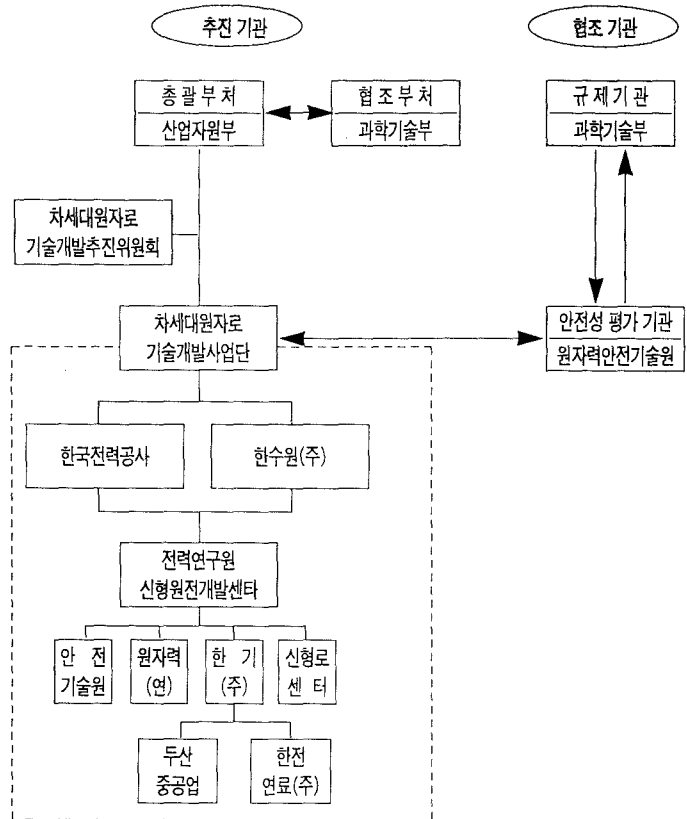
이에 따라 한국전력기술(주)가 A/E 및 NSSS 종합 설계를 맡고, 한전원자력연료(주)가 초기 노심 및 연료 집합체 설계를, 두산중공업(주)가 주기기 제작성 검토 및 기기 설계를 담당하였다.

차세대 사업을 통하여 국내 핵심 기술을 확보하기 위하여 한국원자력 연구소와 신형로센터가 참여하였고, 규제 기관인 한국원자력안전기술원에서 인허가 검토 및 안전 규제 요건을 개발하였다.

2. 추진 방법

가. 사업 관리 절차의 수립 운영

차세대 원자로 기술 개발 사업에 참여하는 모든 관계 기관의 업무 추진 방법과 절차 및 요건을 업무별로 기술하여 사업 추진의 기준을 설정함으로써 업무의 효율성 및 일관성을 제고하기 위해서 본 사업에서는



〈그림 1〉 차세대 원자로 기술 개발 추진 체계

사업 관리 절차를 수립, 운영하였다. 본 절차서는 사업 참여 기관간의 Interface 업무 처리의 기준으로도 활용되며, 각 기관의 내부 업무 추진을 위해서 기관 내부 절차서는 별도 운영하여 사업 관리 절차서와의 연계성을 유지하였다.

본 사업 관리 절차서에는 사업 관리·사업 행정·자료 관리·품질 보증·설계 관리·공정 관리를 대분류로 하여 그 구성 체계를 유지하여 사업 주체인 한전의 사업에 관한

기본 방침을 비롯하여 실제 업무 수행시 필요한 모든 업무를 포괄하도록 작성하였다.

여기에는 기본 방침·조직·사업 범위 및 책임 등 총체적 개론과 사업 행정 부문(절차서 관리, 문서 교신 관리, 진도 보고, 보안 관리, 사업 회의), 자료 관리 부문(자료 제출, 자료 배부, 설계 자료 검토 승인, 기록 관리, 사업 번호 체계), 품질 보증 부문(품질 보증 방침, 품질 보증 책임 및 범위), 설계 관리 부



〈표 1〉 참여 기관별 업무 분장

| 기관 | | 업무 내용 | 비고 |
|--------|------|---|------------------|
| 한전 | | <ul style="list-style-type: none"> 기술 개발 사업 총괄 설계 검토, 승인 및 인허가 총괄 I&C Prototype 확대 개발 및 검증 | |
| 한기(주) | NSSS | <ul style="list-style-type: none"> 성능 확인 계획서(ITAAC) 작성 원자로 계통 설계 최적화 NSSS 주요 보조 기기 설계 사양 작성 | |
| | A/E | <ul style="list-style-type: none"> 설계 최적화 및 통합 건물 설계 건설상 향상 방안 수립 및 설계 반영 주요 BOP 보조 기기 사양 작성 | |
| 원연(주) | | <ul style="list-style-type: none"> 부하 추중 운전 설계 개선 0.3g 핵연료 집합체 설계 대안 분석 COLSS 기능 개선 및 CPC 설계 | 한기(주) 위탁 기관으로 참여 |
| 한중(주) | | <ul style="list-style-type: none"> 주기기 설계 및 제작성 검토 주요 보조 기기 설계 | |
| 신형로(연) | | <ul style="list-style-type: none"> 핵심 기술 연구(LBB 분석 등 12개 소과제) | |
| 원자력(연) | | <ul style="list-style-type: none"> 핵심 기술 연구(중대 사고 분석 등 2개 소과제) 설계 검증 기술 개발 | 원자력 중장기 과제로 수행 |
| 안전기술원 | | <ul style="list-style-type: none"> 안전 규제 기술 개발 사전 안전성 검토 | |

문(설계 기준 작성 및 관리, 설계 표준 및 참고 자료 유지 관리, 기술 보고서 작성, 설계 인터페이스 관리, SSAR 작성, 설계 문서 및 도면 관리, URD 작성, 설계 결과물의 안전성 검토, 기자재 목록 작성 및 유지 관리), 공정 관리 부문 등을 주내용으로 하고 있다.

나. 사업 번호 체계 개발 및 운영

사업 수행 과정중 생산되는 모든 도면/자료(Drawing/Document), 단위 계정(Code of Account), 단위 공종(Activity) 및 기자재(Component & Material)에 대하여 고유 번호를 부여하였다.

사업 번호 체계는 구성하는 많은 요소의 기호를 설정 및 정의하고, 그 요소들간의 상관 관계를 규정하며, 사업에서 생산되는 설계 도면 및 문서, 기자재, 단위 공종, 단위 계정 번호 체계에 대한 식별 번호를 부여하는 기준이 되며, 이에 따라 모든 설계 도면 및 문서에 일관된 번호 체계를 부여함으로써 전산화가 가능토록 하였다.

각 설계 기관에서는 사업 번호 체계 기본 구조 적용을 원칙으로 하여 각 기관의 업무 범위와 특성에 맞게 보완하여 적용할 수 있으며, 보완하여 사용할 경우 한전의 승인을 받아

이를 사업 관리 절차서에 반영하여 적용하였다.

다. 공정 관리 운영

사업 참여 기관별로 공정률을 산정하고 각 설계 분야의 계약 금액을 가중치로 하여 종합 공정률을 작성하여 매월 관리하였다. 즉 사업 관리·정보 관리·인허가 등 설계 참여사 Activity인 IPS를 통합하여 총 2,473건의 설계 결과물을 57개 분야로 나누어 개발된 Project Milestone 공정표를 운영하고, 매월 말일을 기준으로 공정률 관리 및 공정표 운영 결과를 분석한 종합 공정 분석 보고서를 발간하였다.

보고서의 구성 내용은 종합 공정률 현황, 설계 결과물 발행 현황, 연계 자료 발행 현황, Project Milestone Schedule 계획 대비 실적, 공정 지연 현황 및 만회 계획 등을 포함하였다.

라. 회의체 운영

한편 사업의 추진 방향 결정, 현안 해결, 공정 점검 및 평가 등과 효과적인 의견 수렴을 위해서 협의 의제 및 참여 기관 성격에 따라 여러 회의체를 운영하였다.

- 추진위원회 : 차세대 원자로 기술 개발 사업의 정책, 기본 방향 등의 심의·의결

- 실무위원회 : 추진위원회 안전, 기타 기술 개발 관련 중요 사안에 대한 사전 검토

- 사업추진회의(Project Review

Meeting ; PRM) : 기술 개발에 참여하는 모든 기관의 사업 책임자급 이상이 모여 종합 사업 현황 점검 및 계획 등을 수립

- 사업관리자회의(PM Meeting) : 기술 개발에 참여하는 모든 기관의 사업 책임자가 모여 현안 문제 협의 및 조정

- 월간 진도점검회의 : 한전 내부의 관련 부서 책임자급이 모여 위탁 및 자체 수행 업무에 대한 월별 추진 실적 및 계획 점검

- 분야별 진도점검회의(Status Review Meeting ; SRM) : 업무 분야별 실무 책임자급이 모여 세부 진도 점검 및 계획 등을 협의 조정

마. 품질 보증 체계 확립

차세대 원자로 기술 개발 사업은 경제성·안전성 및 신뢰성이 극대화된 표준 설계 인가를 최종 목표로 추진하여, 2010년 차세대 원전 1호 기 준공과 기술 개발을 통한 설계 기술 자립을 동시에 달성하여야 한다.

이를 목표로 차세대 원전의 안전성과 신뢰성을 궁극적으로 확보하기 위해서는 설계 단계에서부터 설계 업무 전반에 대하여 품질 보증 활동을 수행하여야 하며, 이를 위한 설계의 적합성과 설계상의 품질 특성을 확인하고 보증하기 위한 제반 활동을 설계 개발 단계에서의 주요 품질 보증 업무로 추진하였다.

이에 따라 차세대 원자로 기술 개

발 사업은 원전 설계 단계의 규정을 적용하여 10CFR50 App.B 및 과 기부 고시 제90-3호의 기준을 만족하는 ASME-NQA-1의 상세 품질 보증 요건을 반영한 품질 보증 계획서 및 절차서를 작성, 승인하여 이행하였다.

원자력 안전 관련 기능과 신뢰성에 영향을 주는 설계 및 개발 업무 전반에 18개 품질 보증 요건을 적용하고 있으며, 그 대상 설비의 범위는 과기부 고시 제94-10호에 규정된 안전 관련(Safety-related) 구조물, 계통 및 기기를 모두 포함하고 있다.

본 사업의 참여 설계사들은 품질 보증 계획서 및 연구 개발 수행 계획서의 품질 요건을 반영한 제반 절차서에 따라 자체 품질 보증 활동을 수행하였으며, 용역 계약(협약)서의 품질 보증 요건을 명시하여 계약자가 품질 보증 체계를 구축하고 이행하도록 하였고, 과제 주관 기관인 전력연구원 신형원전개발센터에서는 계약자들이 생산한 설계 기준서 및 요건서·도면·계산서·보고서 등 설계 문서와 KNGR SSAR의 품질 관련 사항에 대해 적합성을 검토하고 의견을 제시하여 반영토록 하였다.

설계 결과물에 대한 검토와 더불어 설계 기관에 대한 품질 보증 감사(QA Audit) 및 품질 감독(Quality Surveillance)을 통하여

품질 보증 계획 수립의 적정성과 절차서 이행 상태를 점검 및 평가하여 발견된 부적합 사항에 대해 시정 조치시킴으로써 효율적인 품질 보증 프로그램 운영을 유도하고 설계 문서의 품질 제고에 기여하였다.

단계별 목표 및 실적

1. 사업 목표

차세대 원자로 기술 개발 사업의 최종 목표는 2001년까지 차세대 원전 표준 설계를 개발하고 개발된 표준 설계에 대한 설계 인가(Design Certification)를 획득함이다. 동 사업을 위해서 정부 및 한전에서는 9년간 약 2,300억원의 예산을 투입하였다.

2. 1단계 추진 실적

- 개량형(Evolutionary type) 과 피동형 원전(Passive type)을 비교 검토하여 개량형 원전으로 개발 대상 노형 결정

- 신설계 기술(Advanced Design Feature ; ADF) 및 일부 피동형 안전 설비(Passive Design Feature ; PDF)를 적용한 차세대 원자로 개념 설계 완료

- 안전성·경제성 및 최신 성능 요건을 반영한 사업자 기본 설계 요건 문서(Utility Requirement Document ; URD) 개발 및 확정

| 추진 일정 | I 단계 | | II 단계 | | | | III 단계 | | | |
|------------------------------|--|------|-------|------|------|------|--------|---|------|--|
| | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | |
| I 단계 (1992. 12~1994. 12) | <ul style="list-style-type: none"> 개발 노형 선정 개념 설계 개발 | | | | | | | | | |
| II 단계 (1995. 3~1999. 2) | <ul style="list-style-type: none"> 기본 설계 개발 표준 안전성 분석 보고서 작성 원자로 계통 주요 기기 사양 작성 | | | | | | | | | |
| III 단계 (1999. 3~2001. 12) | | | | | | | | <ul style="list-style-type: none"> 표준 설계 인가 취득 최적화 설계 장기 소요 항목 기술 개발 | | |

〈그림 2〉 차세대 원자로 기술 개발 사업 추진 일정

〈표 2〉 차세대 원전 설계 기본 요건

| 항목 | 표준형 원전 (울진 3·4호기) | 차세대 원전 | 비고 |
|-------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| [경제성/성능 향상] | | | |
| 설계 수명 | 40년 | 60년 | |
| 발전 단가 | 석탄 대비 3% 우위 | 석탄 대비 20% 우위 | 석탄 500MWe |
| 설비 용량 | 100만kW급 | 140만kW급 | |
| 건설 공기 | 62개월 | 48개월(Nth 호기) | |
| | | 54개월(1·2 호기) | |
| 일일 부하 추종 운전 능력 | 수동 | 자동 | |
| 핵연료 주기 | 12~18개월 | 18개월 | |
| 계측 제어 방식 | 아날로그 방식 | 디지털 방식 | |
| 방사선원형 | TID-14844 | NUREG-1465 | 새로운 방사선원형 으로 미국 ALWR 인허가시 사용 |
| 방사선 비상 계획 | 비상 계획 구역 : 8km | 비상 계획 구역을 제한 구역 범위로 축소 | 비상 계획 구역 축소 법제화 추진시 대비 |
| | 제한 구역 : 700m | | |
| [안전성 요건] | | | |
| 노심 손상 빈도 | 10만년에 1회 미만 | 10만년에 1회 미만 | 차세대 원전은 저출력 및 외부 사건 등 분석 범위 확장 |
| 격납 건물 손상 빈도 | 10만년에 1회 미만 | 100만년에 1회 미만 | |
| 내진 설계 | 0.2g (압반 부지) | 0.3g (압반 및 비압반) | |
| 핵연료 열적 여유도 | 8% 수준 | 10% 이상 | |
| 운전원 조치 여유 | 10분 | 30분 | |
| SBO 대처 시간 | 4시간 | 8시간 | |
| 비상 노심 냉각 방식 | 2 Trains 저온관 주입 | 4 Trains 직접 주입 | |
| SG 관막음 여유도 | 8% 여유도 (Inconel 600) | 10% 여유도 (Inconel 690) | |

3. 2단계 추진 실적

· 원자로 계통(NSSS) 및 발전소
종합 설계 분야 기본 설계 개발

- NSSS 주요 기기에 대한 설
계 규격(Design Spec.) 작성
- 안전성을 입증할 수 있는 수
준의 기본 설계 개발

· 인허가용 표준 안전성 분석 보
고서(Standard Safety Analysis
Report) 개발

· 차세대 원전 사업자 세부 요건
서(Detailed URD) 개발

· 첨단 주제어실(Man-Machine
Interface Sys. ; MMIS) 개념 설계
완료 및 동적 모형(Dynamic Mock
-up) 개발

· 격납 건물 내 핵연료 저장 수조
(IRWST), 안전 주입 탱크 내 유량
조절기(Fluidic Device) 등 신설계
기술 적용성 연구 및 검증 실험

4. 3단계 추진 실적

· 경제성 향상을 위해 차세대 원
전 성능 향상 설계

- 증기발생기 용량 및 세관 설
계 최적화 등 주기기 설계
최적화

- 격납 건물 및 보조 건물 Ge
neral Arrangement 최적
설계 개발

- 전기 출력 상향(135만 kW
→ 145만 kW) 성능 검증 등

- 주요 설계 최적화 항목

· 격납 건물 설계 (이중 → 단

〈표 3〉 KSNP와 KSNP+ 설계 특성 비교

| 계통(설비) | 설계 특성 비교 | | | 개선 효과 | |
|---|---|---|---|---|--|
| | 차세대 원전 | 개선 원전 | KSNP(울진3·4) | | |
| RCS 계통 | <ul style="list-style-type: none"> 열출력 고/저온관 온도 S/G 세관 재질 관패쇄 여유도 가압기 과압 방지 설비 | <ul style="list-style-type: none"> 4,000 MWth 615/555°F Inconel 690 10% POSRV 채택 | <ul style="list-style-type: none"> 2,825 MWth 621.2/564.5°F Inconel 690 8% PSV(3) + SDS(2) | <ul style="list-style-type: none"> 2,825 MEth 621.2/564.5°F Inconel 600 8% PSV(3) + SDS(2) | <ul style="list-style-type: none"> 열출력 용량 증대 열적 여유 및 수명 증가 응력 부식 균열 방지 운전 여유도 증가 계통 단순화 |
| 안전 주입 계통 | <ul style="list-style-type: none"> 원자로 용기 직접 주입(DVI) 4-Train | <ul style="list-style-type: none"> 저온관 주입 2-Train | <ul style="list-style-type: none"> 저온관 주입 2-Train | <ul style="list-style-type: none"> LOCA 대처 능력 향상 노심 손상 빈도 감소 | |
| 내진 설계 | 0.3g | 0.2g | 0.2g | 비압반 부지 포괄 설계 | |
| CVCS 계통 | 비안전 등급화 | 비안전 등급화 | 안전 등급 | 경제성 향상 | |
| <ul style="list-style-type: none"> 터빈 LSB 길이 | 52 inch | 43 inch | 43 inch | 전기출력 : 2.7% (37.6MWe) 상승 | |
| 급수 계통 | <ul style="list-style-type: none"> 주급수 펌프 보조 급수 펌프 | <ul style="list-style-type: none"> 50%×3대 (TD 3) MD 2+TD 2 +DD 1 | <ul style="list-style-type: none"> 65%×3대 (MD 1, TD 2) MD 2+TD 2 | <ul style="list-style-type: none"> 65%×3대 (MD 1, TD 2) MD 2+TD 2 | <ul style="list-style-type: none"> 운전성 향상 노심 손상 빈도 감소 |
| 해수 계통 | <ul style="list-style-type: none"> 순환수 펌프 TBCCW Hx TBCCW 펌프 | <ul style="list-style-type: none"> 16.6%×6대 3×50%(판형) 없음 | <ul style="list-style-type: none"> 25%×4대 2×100%(판형) 없음 | <ul style="list-style-type: none"> 16.6%×6대 2×100%(판형) 2×100% | <ul style="list-style-type: none"> 운전 신축성 확보 경제성 향상 계통 단순화 |
| 폐기물 처리 | 역삼투막 설비 | 역삼투막 설비 | 증발기 및 필터 | 운전 보수성 향상 | |

- 일 격납 건물 변경 검토)
- 발전소 General Arrangement 최적화
 - 중대 사고 완화 설비 (Fusible Plug 대안, 피동 이차 응축 계통 대안 검토 등)
 - 표준 설계 인가 심사를 대비한 후속 설계 검증 업무 수행
 - 원자로 직접 주입 냉각 방식 등 신설계 개념(ADF, PDF) 적용성 분석
 - 피동 축매형 수소 제이기 등 중대 사고 완화 및 대처 설비의 성능 분석 등
 - 장기 소요되는 항목에 대해 1, 2단계와 연속선상에서 지속적인 기술 개발 필요
 - 첨단 제어실(MMI) 동적 모형 제작 및 설계 검증
 - 디지털 제어 방식 채택에 따른 계통 상세 설계(기기 사양서 작성 등)

주요 설계 특성

1. 기본 요건

차세대 원전 설계 기본 요건은 미국의 EPRI URD를 기준으로 하여 유럽 사업자 요건 및 국내외 운영 경험을 반영하여 개발하였는데, 그 주요 내용은 〈표 2〉와 같다.

2. 설계 기본 방향

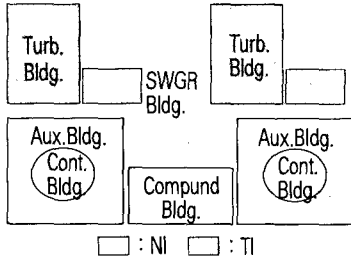
차세대 원전 설계는 국내적으로

기본 기술 자립된 한국 표준형 원전 (KSNP) 설계를 근간으로 하여 해외 신형 원자로 설계 개념을 참조하여 완성되었고, 설계 단계에서 국내 원전의 운영·정비·시운전 및 건설 경험을 최대한 반영하였다. 차세대 원전과 KSNP 및 개선 원전 (KSNP+)의 설계 특성을 비교하면 〈표 3〉과 같다.

3. GA(General Arrangement) 특성

발전소 일반 배치의 주요 특성은

- 다음과 같다.
- 가. 건물 구성
 - Power Block : NI(Nuclear Island), TI(Turbine Island)로 구성
 - NI : 격납 건물, 보조 건물, 복합 건물
 - TI : 터빈 건물, 스위치 기어 건물
 - Site Specific : 취수 구조물, 물처리 및 보조 보일러 건물 등
 - 나. 설계 원칙
 - 안전성 관련 : 〈표 4〉

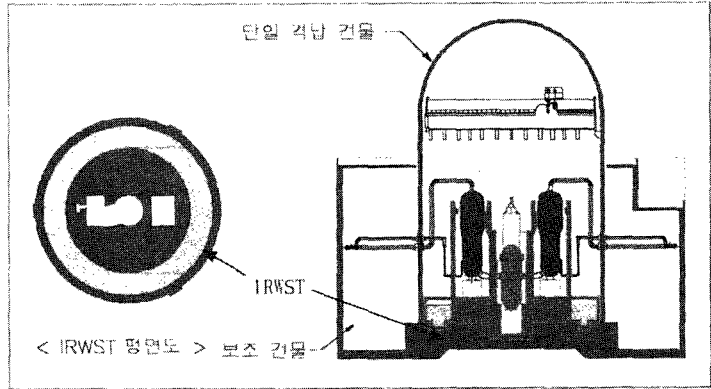


<그림 3> 차세대 원전 발전소 배치도

- 운전, 보수성 관련
 - 보수 공간 및 인양 장비 확보
 - 인간 공학 측면 고려
- 경제성 및 건설성 관련
 - 물량 및 건설 공정 고려
 - 시공 용이성
 - 부지 활용성 등

다. 격납 건물 배치 특성

- 격납 건물 제원
 - 형식 : Pre-Stressed Concrete 단일 원통형
 - 높이 : 229.5 ft
 - 직경 : 150ft (두께 : 4 ft)
 - 자유 체적 : 3.13×106 ft³ (설계 압력 : 60psig)
- 핵연료 재장전 수조(IRWST) 격납 건물 내부 설치
 - 중대 사고 대처 설비 반영
 - 피동형 수소 재결합기, 수소 점화기 내장
 - 중대 사고 완화를 위한 원자로 공동 구조 개선
 - 노심 파편 수집 가능
 - 원자로 용기 외부 냉각 가능 (원자로 용기 상부까지 침수



<그림 4> 격납 건물

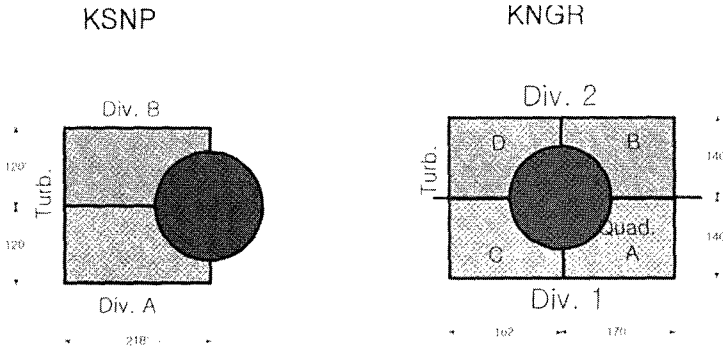
<표 4> 발전소 안전성 관련 설계 원칙

| 분리 요건 (Separation) | 각종 위험으로부터 보호하기 위한 이격 및 방호벽 사용 |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| 침수 방호 (Flood Protection) | 안전 관련 구역 내 침수원의 배제 또는 최소화 |
| 화재 방호 (Fire Protection) | SECY-93-087 및 NEPA 804의 강화된 요건 적용 |
| 비산물 방호 (Missile Protection) | 격리, 방호벽 사용 및 비산물 충돌 확률 감소 |
| 방사선 방호 (Radiation Protection) | ALARA 원칙 적용 및 오염·비오염 구역의 분리 |

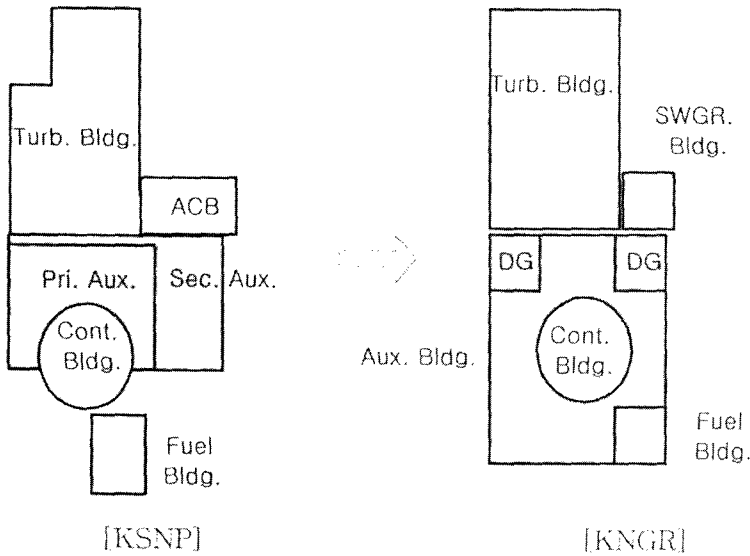
- 가능)
 - 노심 용융물 장기 냉각 능력 확보
 - 증기발생기 일체식 교체 (One Piece Removal) 가능
- 러싼 형태(Wrap-around)
 - 4계열 안전 주입 계통을 각 4분면에 배치
 - 격납 건물과 보조 건물을 공동 매트 기초 설계
 - 1,2차 보조 건물 및 핵연료 건물, 비상 디젤 발전기 건물을 보조 건물로 통합 설계
 - 신형 주제어실(Advanced Control Room) 설계
 - 소형 워크스테이션 및 대형 정보 표시판 도입

4. 보조 건물 배치 특성

- 4분면(Quadrant) 배치
 - 해외 개량형 원전(Sys.80+, AP-600 및 EPR) 동일 개념 적용
 - 보조 건물이 격납 건물을 들



〈그림 5〉 보조 건물 4분면 배치



〈그림 6〉 통합 설계된 보조 건물

- 컴퓨터 정보 처리와 Graphic 화면을 통한 운전 정보 표시
- 다기능 표시기(Multi-Function Display)를 적용한 제어 수단 접근성 향상
- 안전 설비 제어를 위한 별도

- 운전반 설치
- 기술지원센터(TSC) MCR 인접 배치
- 방문자 관람 구역 설치 (핵연료 취급 구역 → 주제어실 → 터빈 운전층)

마. 복합 건물 배치 특성
 • 경제성 · 접근성 및 시공성 향상

- 출입 통제 건물, 방사성 폐기물 처리 건물, 방사성기공작실, 1차, 2차 시료채취실 및 운영기술지원실(OSC) 통합 배치

- 크기 : 길이 (65.8 m) × 폭 (54.3m) × 높이 (27.7m)
- 양 호기 보조 건물간 연결층 복도 설치

바. 터빈 건물 배치 특성

- 방사상(Radial) 배치
- 터빈 비산물 영향 최소화 및 시공 접근성 용이
- 주증기 및 주급수관의 길이 감소

* 국내 고리 3·4 / 영광 1·2·3·4 / 울진 1·2 / 표준 원전 동일 배치

- 터빈 건물 운전층 충분한 보수 공간 확보
- Switchgear 건물의 별도 설치

5. 운전 및 보수 편의성 도모

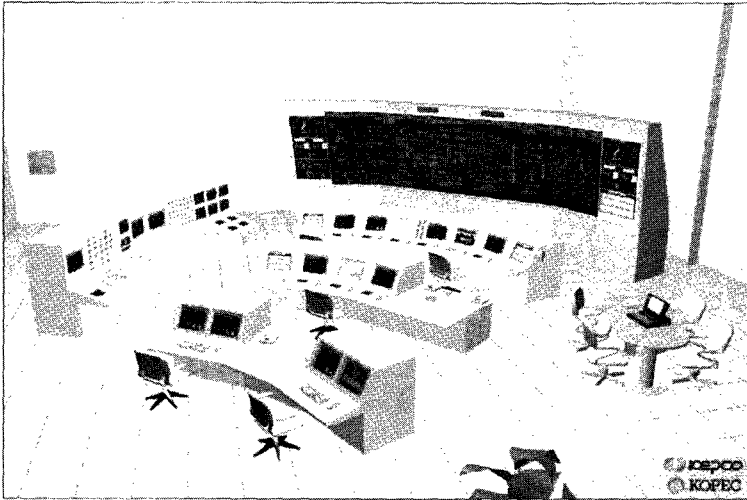
가. 격납 건물

- 격납 건물의 운전층과 보조 건물 및 핵연료 설비 구역의 운전층 일치

- RCP Seal 정비용 고정식 크레인 설치

- 증기발생기 가동중 검사용 Platform 설치

- 격납 건물 내 승강기 설치



〈그림 7〉 신형 주 제어실 개념도

표준 설계 인허가

1. 개요

국내 원전 건설·운영 허가 제도는 원자력법 제11조(건설 허가) 및 21조(운영 허가)에 의거 2단계 인허가 절차를 채택하고 있었으며, 지금까지 건설된 원전은 참조 발전소가 있거나 기본 설계가 개발되어 있어 예비 안전성 분석 보고서(PSAR) 작성과 함께 건설 허가 신청이 가능하므로, 현행 2단계 인허가 절차 적용에 어려움은 없었다.

그러나 최근 개발되는 원자로형들은 신개념 안전 설비를 도입하여 안전성을 획기적으로 증진하였으며, 설계 표준화를 통한 반복 건설을 추진함으로써 건설 공기 단축과 경제성 확보를 도모하고 있다.

이에 따라 선진국에서는 조기 인허가 시현성 확보 차원에서 규제 기관이 개념 설계 단계부터 참여하여 기술 개발과 병행한 규제 검토 및 상호 보완 체제 구축을 위한 사전 안전성 심사 제도, 표준화된 설계에 대한 승인 제도의 도입과 이에 맞는 간소화된 인허가 절차인 통합 인허가 제도 등을 수립하여 운영중에 있다.

차세대 원전도 이러한 세계적인 추세에 부응하고 설계의 안전성 증진뿐 아니라 신규 인허가 제도의 도입을 통한 경제성 제고를 위하여 지속적인 노력을 기울여 왔으며, 그

- 나. 보조 건물
 - 열교환기 및 펌프의 인출 공간 및 인양 장비 설치
 - 기기 운반 통로 및 편의성을 고려한 동선 배치 및 층고 일치
 - 방사선 구역과 비방사선구역의 완전 분리
 - Quadrant 배치에 따른 정비 영향 최소화(Quadrant별 승강기 및 계단 배치)
 - 정비 편의성 확대 관련 Crane 및 Hoist 추가 설치 예정(상세 설계 단계)
 - 보조 건물을 완전 장방향 형태 배치 설계
 - 고에너지 구역의 집중화
 - 바닥 배수 및 기기 배수의 분리 수집
- 다. 복합 건물
 - 운전·보수 요원의 주출입 지

- 역(양 호기 보조 건물 및 보건물리실 등) 상호간 연계성 확보
 - 폐기물 용기 적재용 Truck Bay 확보
 - 원심 분리기 및 이온 교환기 채택
 - 폐수지 처리(탈수 저장 및 장기 저장 처리)
- 라. 터빈 건물
 - 터빈 건물 운전층의 충분한 보수 공간 확보
 - 복수기 집수정의 신속한 배수 가능토록 복수기 배수 펌프 설치
 - 주증기 차단 밸브의 우회 밸브 개도 조절이 가능하도록 반영
 - 터빈 건물 내 보조 크레인 설치
 - 기기 냉각 해수 펌프 삭제
 - 탈염기 동일층 집중 배치

내용을 살펴보면 다음과 같다.

2. 신규 인허가 제도 법제화

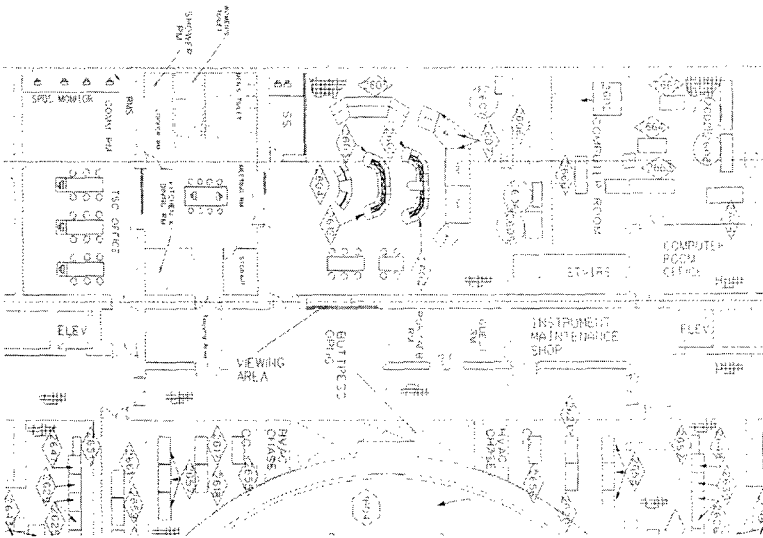
1996년에 한국원자력안전기술원에서는 「원자력 규제 발전을 위한 정책 방향 연구」를 통하여 새로운 설계 개념의 적용으로 안전성이 증진된 차세대 원자로의 경제성을 재고시키기 위한 방안으로 원전 선진국에서 적용되었던 새로운 규제 방향에 대하여 검토를 추진하였다.

이후 1997년 말부터 정부(산자부·과기부)·한국원자력안전기술원·학전 및 학계 관계자들로 구성된 「차세대원전 안전규제제도 개선 실무협의회」 운영을 통하여 법제화의 필요성 및 추진 방향 등에 대한 폭넓은 의견을 수렴하였으며, 국내 신규 인허가 제도 도입을 위한 원자력법안을 마련하여 입법화를 추진하였다.

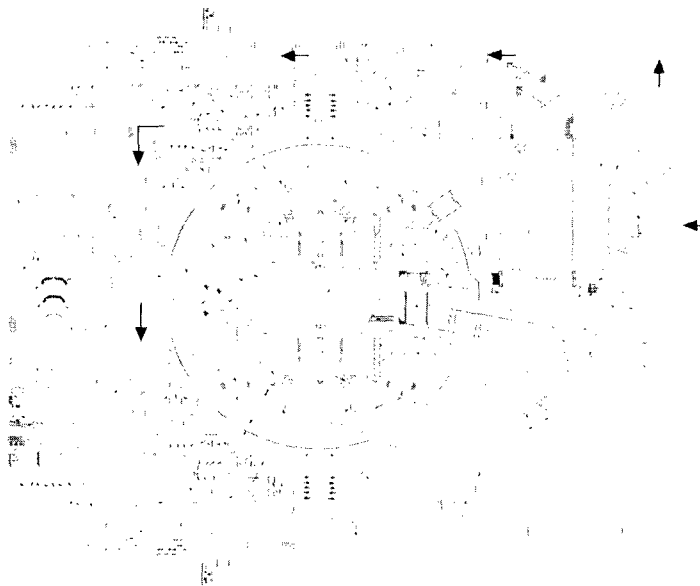
이러한 노력의 결과로 2001년 1월 표준 설계 인가 관련 원자력법이 개정되었다. 통합 인허가 등은 관련 부처간의 이견에 따라 이번 법제화에서는 유보되었으나 향후 지속적인 법제화 노력을 통해 본 제도의 국내 도입을 추진할 예정이다. 이번 에 마련된 표준 설계 인가 관련 원자력법령의 주요 내용은 다음과 같다.

가. 목적

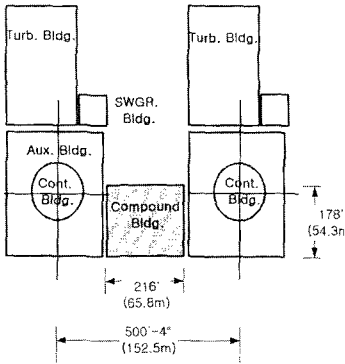
기존 원전에 비해 안전성이 증진되고 반복 건설을 목적으로 추진중



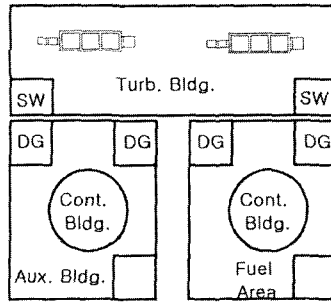
〈그림 8〉 기술 지원 센터(TSC) 구역



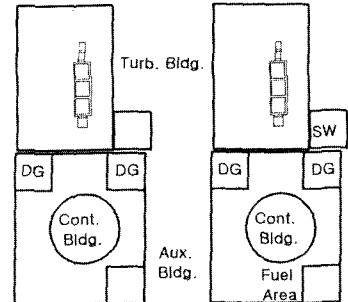
〈그림 9〉 방문자 관람 구역



〈그림 10〉 복합 건물 배치도



[접전형 배치]



[방사성 배치]

〈그림 11〉 터빈 건물 배치도

인 신규 개량형 원전(개량형 표준 원전, 차세대 원전), 신형 원자로(액체금속로, 중소형 원자로 등) 표준 설계 인가를 위한 법적·제도적 인 장치 마련

나. 기본 방향

기존의 인허가 제도와 별도로 규정하여 사업자(개발자)가 선택적으로 신청 가능하도록 운영

다. 효력

표준 설계 인가를 받은 설계에 대해서는 법적 유효 기간(10년)을 부여함으로써, 동일한 표준 설계를 참조한 후속 호기의 유효 기간 내 인·허가 신청시 인가된 설계에 대해서는 인·허가 심사시 중복 심사 배제

3. 표준 설계 인가 신청 및 전망

해의 원전들은 TMI 및 체르노빌 사고 이후 원자력 산업 침체를 극복하기 위해 신형 원자로 개발 및 신규 인허가 제도의 적용을 통해 원자

력 산업의 경제성 제고를 도모하고 있다.

본 사업은 이러한 동향에 부응하기 위해 차세대 원자로 기술 개발 과제 단계에서 내실 있는 안전 규제 및 안정적인 원전 사업 추진을 통한 경제성 제고를 위하여 신규 인허가 제도의 도입을 통한 표준 설계 인가를 추진하였다.

표준 설계 인가 관련 원자력법령의 법제화를 지원하기 위하여 한국 원자력안전기술원과 사전 안전성 검토 협약을 체결하여 1999년 12월부터 차세대 원자로 설계에 대한 안전성 심사를 수행하였는데, 이는 공식 인허가의 선행적 행위로 법제화에 따른 공식 표준 설계 인가 신청시 사전 안전성 검토 결과의 유효성을 인정받는 전제하에 수행하였다.

본 검토 과정 단계에서 규제 기관으로부터 4차례에 걸쳐 약 2,100여건에 대한 심사 질의와 답변을 주고 받았다.

2001년 7월 표준 설계 인가와 관련한 원자력법 및 하위 법령인 시행령·시행규칙의 개정이 완료됨에 따라 2001년 7월 25일 신형 경수로 1400에 대한 공식 표준 설계 인가 신청서를 과학기술부에 제출하였으며, 9월 25일 과학기술부로부터 표준 설계 인가 신청 서류가 관계 법령에 적합하다는 통보를 받았다.

2001년 12월 말 표준 설계 인가 안정성 심사 보고서가 작성 완료되면 정부 관련 위원회 및 규제 기관의 보고 심의 기간을 감안할 때 2002년 초반에는 신형 경수로 1400 설계에 대한 표준 설계 인가 획득이 전망된다.

향후 법적 토대 위에서 표준 설계의 반복 적용을 통한 원전 건설 비용 절감 효과는 원전 경제성의 대폭 향상이 기대되며, 21세기 국내 신규 원전 사업은 원자력 산업의 새로운 지평을 열어 가는 주춧돌이 될

〈 표 5〉 표준 설계 인가 관련 원자력법/시행령/시행규칙 골자

| 구분 | 관련 조항 | 주요 내용 |
|------------------|-----------------------------------|---|
| 법 | 제12의2 표준 설계 인가 (신설) | <ul style="list-style-type: none"> 표준 설계 인가의 정의 및 변경 인가(경미한 사항 포함) 절차 명시 신청 서류 : 표준 설계 기술서 등 과기부 장관이 정하는 서류 안전성에 중대한 영향이 있다고 인정될 때 시정 및 보완 요구 가능 인가를 받은 때에는 건설/운영 허가 신청 서류에 기재할 사항 중 미리 인가를 받은 사항은 기재하지 아니할 수 있다. |
| | 제12조의3 표준 설계 인가의 취소 (신설) | <ul style="list-style-type: none"> 표준 설계 인가의 취소 해당 사항 명시 |
| 시 행 령 | 제21조의3 건설/운영 허가의 처리 기간 (개정) | <ul style="list-style-type: none"> 표준 설계 활용한 원자로 및 관계 시설의 건설/운영 허가 신청시 심사 기간 15개월로 단축 |
| | 제24조 표준 설계 인가의 신청 (신설) | <ul style="list-style-type: none"> 과기부 장관이 정하는 바에 따라 인가 신청서를 과기부 장관에 제출 |
| | 제25조 표준 설계 변경 인가의 신청 (신설) | <ul style="list-style-type: none"> 과기부 장관이 정하는 바에 따라 변경 인가 신청서를 과기부 장관에 제출 |
| | 제26조 표준 설계 인가의 제외 대상 (신설) | <ul style="list-style-type: none"> 안전성 증진을 위하여 새로운 기술의 지속적인 반영이 필요한 사항 구매·설치 및 준공이 종료된 시점에서 안전성 확인이 가능한 사항 |
| 시 행 규 칙 | 제11조의2 표준 설계 인가 신청 등 (신설) | <ul style="list-style-type: none"> 인간 신청서에 표준 설계 기술서 및 기타 과기부 장관이 정하는 다음의 문서 첨부 원자로의 사용 목적에 관한 설명서 원자로의 설계에 관한 기술 능력의 설명서 표준 설계 안전성 분석 보고서 비상 운전 절차서 작성 계획서 정관 및 등기부 등본 |

것으로 전망된다.

7. 맺는 말

안전성이 증진되고 경제성이 한층 제고된 신형 경수로 1400(APR 1400) 개발 계획은 1992년부터 차세대 원자로 기술 개발 사업이라는 국가 G7 프로젝트로 추진되어 왔고 이제 기술 개발 막바지에 이르고 있으며, 지난 2000년 1월 제 5차 장기 전력 수급 계획에서 원전 건설 사업으로 확정된 바 있다.

이에 따라 2001년 2월 건설 기본 계획을 확정하면서 2010년 9월 신고리 지역에 신형 경수로 최초 호기를 준공하기로 하였고, 현재 세부 건설 추진 계획이 수립되어 설계 기관사에 공급 제의 요청서(RFP)를 발급해 놓고 있는 상태이다.

2010년 신형 경수로 1400이 상용화되면 개량형 경수로로서는 세계 최초로 한국에서 빛을 보게 될 것이다.

APR 1400 설계는 단순화, 피동

안전성, 중대 사고 완화 및 인간 공학 등이 반영되었고, 모듈화 기법 등 신건설 공법 도입과 부하 추종 능력 제고 등으로 경제성을 증진하였다.

차세대 원자로 기술 개발 사업에서 태동한 신형 경수로 1400이 머지않은 장래에 전세계 어느 기저 부하용 전원에 비해 경제성이나 안전성 측면에서 월등한 기술의 결정체가 될 것임을 믿어 의심치 않는다.

