



## 금상

# 개선형 한국표준형원전(KSNP+) 기본 설계 기술 개발

## 배 환 철

한국전력기술(주) 원자력사업단

신고리 1·2호기 종합설계용역 사업부 책임자

### 사업 추진 배경

국내 원자력산업은 1978년 고리 1호기 가동을 시발점으로 하여 20여년간 지속적인 성장을 해왔으며 현재 18기의 원전이 가동중에 있고 건설중인 원전은 2기에 이르는 세계 10위권의 원자력 발전 설비 보유국이 되었다.

이러한 양적 성장뿐만 아니라 질적인 면에서도 원전의 기술 자립화와 독자적인 고유 모델의 개발에 착수함으로써 명실상부한 원자력산업자주 국가의 대열에 진입하겠다고 할 수 있다.

원전 도입 초기에는 기반 기술의 부족으로 대부분의 기술을 외국 업체에 의존하였으나 그 후 지속적인 기술 도입 및 개발로 한국표준형원전(KSNP)의 효시인 영광 3·4호기를 국내 업체 주도로 성공리에 완수하였고, 울진 3·4호기는 국내 기술진에 의해 개발된 표준화 사업

결과물을 전면적으로 반영함으로써 명실공히 1,000MWe급 한국표준형원전으로 자리잡게 되었다.

또한 울진 3·4호기의 후속 호기인 영광 5·6호기 및 울진 5·6호기에 표준 원전 설계를 반복 적용함으로써 PWR 1,000MWe 급 원전에 대한 경제성·기술성 및 국산화율을 대폭 제고시키는 효과를 얻게 되었다.

그러나 울진 3·4호기, 영광 5·6호기, 울진 5·6호기 등이 1~2년의 시차를 두고 연속적으로 건설되면서 사업 공정의 탄력성 부족으로 경제성 향상을 위한 설계 개선이나 건설 물량 감축의 한계성으로 인해 한국표준형원전의 반복 건설에 따른 사업비 절감 효과는 거의 임계점에 도달하여 더 이상의 사업비 절감은 기대하기 힘들어지게 되었으며, 또한 타전원에 대한 원전 발전 원가의 상대적 우위 확보가 어려운 현실에 직면하게 되었다.

한편 최근의 국제적 경제 환경은 WTO 체제의 출범과 시장의 완전 개방 등으로 무한 경쟁 시대에 돌입하게 되었으며 원전 건설 또한 국내 외적으로 치열한 경쟁을 피할 수가 없게 되었다.

이러한 환경에 적극적으로 대처하기 위해서는 지금까지 이룩한 기술 자립 능력과 건설 및 운전 경험을 바탕으로 기존 한국표준형원전의 설계 개념을 재정립하여 선진화되고 고도화된 새로운 원전 모델의 개발이 불가피하게 요구되고 있다.

즉, 지금까지 추진되어 온 부분적 설계 개선을 탈피하여 종합적인 설계 개선으로 한국표준형원전의 기술성과 경제성을 일층 제고하여 국제 경쟁력이 향상된 원전 설계 건설 모델의 수립이 필요하게 된 것이다.

### 사업 추진 목적

본 설계 개선 2단계 사업은 설계



개선 1단계 사업 및 본 사업을 통해 채택된 설계 개선 사항을 반영한 개선형 한국표준원전(KSNP+)의 기본 설계를 개발하는 것으로서 사업 목적은 다음과 같다.

- 한국표준형원전(KSNP)의 기본 설계 개념 및 안전성을 유지하는 범위 내에서 경제성, 시공 편의성 및 운전 보수성을 향상시키는 개선형 한국표준원전 설계 기술 개발
- 한국표준형원전 설계 개선 1단계 사업의 수행 결과로 도출된 설계 개선 사항에 대한 기본 설계 개발, 인허가 기술 검토, 설계 시현성 검증 및 기타 필수 업무를 수행하여 신고리 1·2호기 적용 원칙
- 설계 개선 과제 추가 도출 및 사업 적용성 평가를 통해 KSNP의 기술성·시공성 및 경제성을 더욱 향상시켜 국제 경쟁력 제고 상시 사업 목적을 달성하기 위한 추진 방향은 다음과 같다.
- 안전성 보장을 전제로 하는 경제성 향상
- 한국표준형원전(KSNP)의 기본적인 설계 개념 및 안전성을 유지하는 범위 내에서 설계를 개선하여 경제성 향상
- 시공성·운전성 및 유지 보수성 향상
- 선행 KSNP의 운전 경험을 반영하고 선진 건설 공법을 도입

하여 시공성·운전성 및 유지 보수성 향상

- 자립 기술을 기반으로 원전 설계 고도화 달성
- KSNP의 부분 설계 개선을 탈피하여 현재까지 축적되어 온 경험 기술을 바탕으로 전 설계 분야의 설계 개선을 추진하여 복제 및 모방 기술에서 독자 개발 기술을 확보
- 원전 기술의 해외 수출 기반 확충
- 1,000MWe급 한국표준형원전의 국제 경쟁력 향상과 함께 해외 수출 기반 조성

**한국표준형원전(KSNP) 개발 현황**

KSNP는 지난 1983년부터 추진해온 원자력 기술 자립 계획을 통해 개발되어 왔으며 1995년 3월과 1996년 1월에 각각 준공된 영광 3·4호기를 참조 발전소로 한다. 기술 자립 계획은 KSNP의 효시인 울진 3·4호기의 건설과 성공적인 운전에 의해 실현되었다.

국내 원전 건설에서의 성공을 통해 축적된 기술과 국제적인 위상을 바탕으로 한국의 원자력 산업은 해외 시장까지 그 사업 영역을 확장하고 있다.

KEDO 사업의 주계약자로서 한전은 한기·원연(KNFC)·두산중 및 그 협력 업체와 함께 북한에

KSNP 2기를 공급하는 데 있어서 주역할을 담당하고 있다.

현재 KSNP 설계는 KSNP+ Program을 통해 18기의 원전 건설·설계 및 운전으로부터 획득한 30년간의 경험과 기술력을 반영하여 발전소 안전성 및 경제성을 향상시키기 위하여 지속적으로 개선되고 있다.

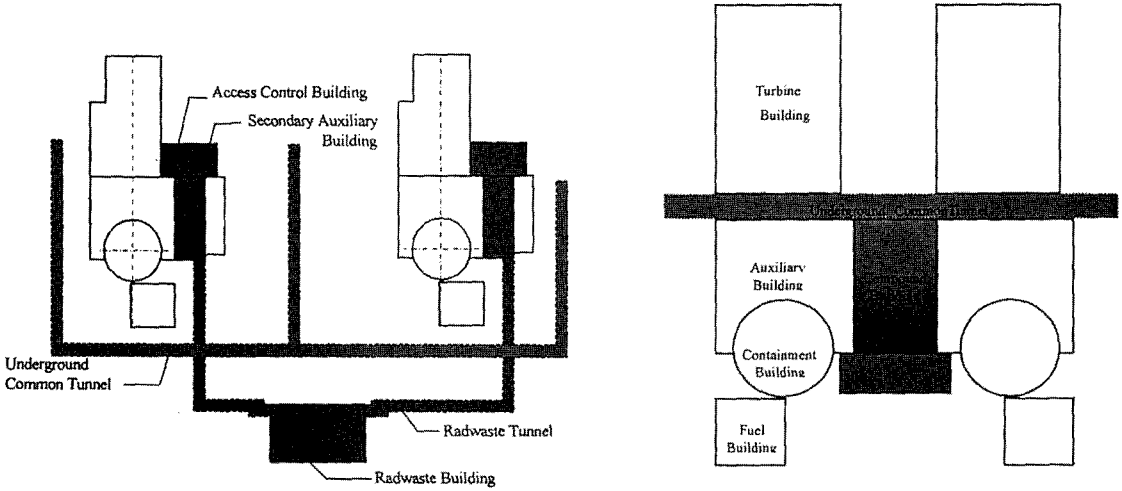
**개선형 한국표준 원전 (KSNP+) Program 개요**

**1. KSNP+ Program 추진 방법**

KSNP+ Program은 3단계로 구분하여 추진되어 왔다.

1998년 1월에 착수하여 1년 후인 1999년 1월에 완료된 Program의 1단계를 통해 기존 원전의 운영/보수원·시공 회사·제작 회사 및 설계 회사로부터 설계 개선 사항 323개를 도출하여 예비 검토 결과 103개 사항을 상세 검토 사항으로 최종 선정하였으며, 각 사항별로 기술성 및 경제성을 상세 검토하여 87개 사항을 개선형 한국표준원전(KSNP+)에 적용하는 것으로 최종 결정하였다.

KSNP+ Program의 2단계 사업은 1999년 10월부터 2001년 10월까지 2년 간에 걸쳐 수행되었는데, 1단계 사업에서 채택된 설계 개선 사항들에 대해 인허가성·기능 요건·상세 기기 설계·건설성·운전



〈그림 1〉 발전소 배치 최적화

성 및 보수성 측면에서 포괄적인 설계 검증이 수행되고 있다.

KSNP+ Program의 3단계 사업은 2001년 2월에 착수한 신고리 1·2호기 건설을 통해 수행될 것이다. 이 발전소는 KSNP+ 설계의 첫 번째 과실로서 세계에서 가장 안전하고, 경제적으로 향상된 원자력발전소 중의 하나일 것으로 기대된다.

## 2. KSNP+개발 기본 개념

KSNP+를 개발하기 위해 적용된 KSNP 대비 설계 개선의 기본 개념은 다음과 같다.

- KSNP의 안전성을 유지 내지 향상
- 발전소 운전성 및 보수 유지성 향상
- 계통/설비/구조물의 최적화 및 단순화
- 방사선 피폭을 ICRP 60 요건을 만족시키면서 최소화
- 시공성 향상
- 신건설 공법 적용
- 구역별 시공 완료 개념 채택에 따른 건설 공정 최적화
- 발전소 건설비 감소

- 발전소 건물·구조물 및 기기 배치 최적화를 통해 건설 물량 감소
- 최초 콘크리트 타설과 상업 운전 사이의 건설 공기 단축

### 주요 설계 개선 내용

KSNP 설계 개선 프로그램을 통해 채택된 주요 설계 개선 사항들은 KSNP+ 설계에 반영되었다. 본 절에서는 설계 개선 사항들의 설계 특성을 발전소 배치 최적화, 계통 설계 최적화, 기기 용량 최적화 및 신기술 적용, 건설 공기 단축을 위한 신건설 공법 적용, 발전소 재장전 기간 단축 및 운전 비용 절감의 5가지 범주로 구분하여 기술하였다.

#### 1. 발전소 건물 배치 최적화

한국표준형원전 대비 발전소 건물 배치 최적화를 통한 설계 개선 사항은 다음과 같다.

- 양 호기 비안전성 관련 건물인 2차 보조 건물 및 출입 통제 건물과 공용의 방사성 폐기물 건물을 1개의 복합 건물에 통합 배치(〈그림 1〉 참조).

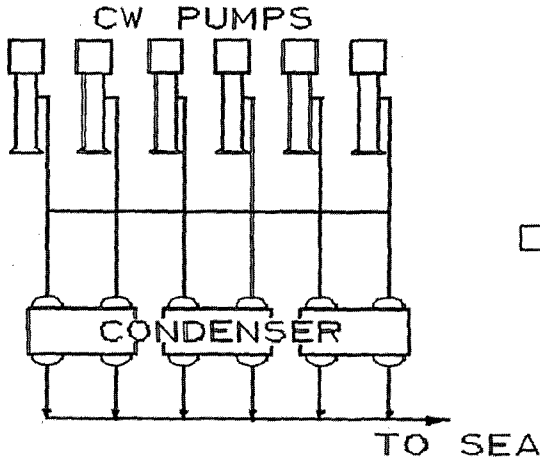
림 1) 참조).

- 지하 방사성 폐기물 터널 삭제 및 지하 공동구의 최단 거리 배치
- 배관·케이블 트레이 및 공동 덕트 등의 최단 거리 배치
- 양 호기의 원자로 건물·보조 건물·핵연료 건물 승강기 추가 설치
- 1차 시료 채취실과 방사 화학 실험실의 근접 배치
- 터빈 건물 운전층의 하역 공간 및 천정 크레인 운전 구간 확장
- 방사성 유체 계통 필터실과 고준위 폐기물 저장 지역을 상하층에 인접 배치
- ALARA 개념의 엄격한 적용
- 작업자 동선과 방문자 동선의 물리적 분리 기법 적용

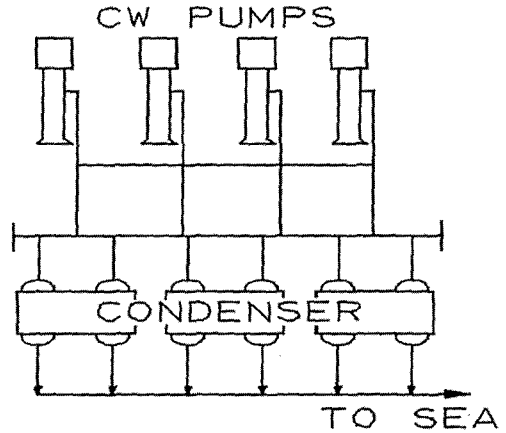
#### 2. 계통 설계 최적화

한국표준형원전 대비 계통 설계 최적화를 통한 설계 개선 사항은 다음과 같다.

- 화학 및 체적 제어 계통 최적화
- 과다 용량의 탱크 및 유출수 열교환기의 용량 최적화
- ANSI 51.1에 근거한 안전 등



〈KSNP 설계〉



〈KSNP+ 설계〉

〈그림 2〉 순환수 계통 최적화

- 급 및 품질 등급 적정 조정
- 원자로 냉각재 펌프 밀봉수 주입 열교환기 제거
- 발전소 감시 계통(PMS) 및 발전소 경고 계통(PAS)
- 다중의 주변 장치 및 인간 공학적 부조화를 제거하기 위해 발전소 감시 계통(PMS) 및 발전소 경고 계통(PAS)을 하나의 발전소 감시 및 경고 계통(PMAS)으로 통합
- 순환수 계통
- 순환수 계통 펌프 및 이동용 스크린의 개수를 6개에서 4개로 감소(〈그림 2〉 참조).
- 1차 측기기 냉각수 계통
- Common Loop 개념 적용 및 용량 최적화
- 원자로 건물 살수 계통
- 살수 열교환기 삭제 및 정지 냉각 열교환기와 공유

- 사용후 연료 저장조 정화 계통
- 사용후 연료 저장조 수면을 정화하는 skimmer loop와 원자로 공동 여과 계통 제거
- skimmer suction을 사용후 연료 저장조 정화 계통에 연결
- 증기발생기 취출 계통
- 2개의 CBD 탱크와 하나의 HCBD 탱크를 하나로 통합
- 비재생 열교환기와 HCBD 탱크 이송 펌프 제거

**3. 기기 용량 최적화 및 신기술 적용**

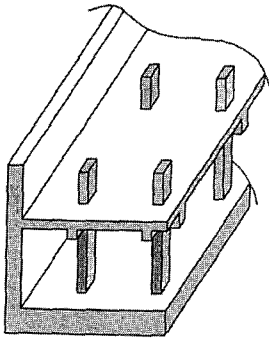
한국표준형원전 대비 계통 기기 용량 최적화와 신기술 적용으로 인한 설계 개선 사항은 다음과 같다.

- 비상 디젤 발전기, 보조 보일러 및 펌프(복수 펌프, 기동용 급수펌프, 1차측 기기 냉각수 계통 펌프) 용량 축소

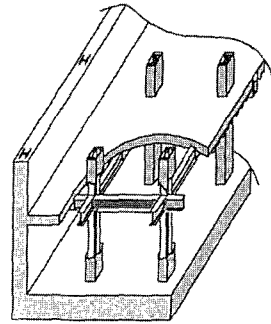
- 원자로 건물 수소 제어 계통의 능동 수소 재결합기의 피동 촉매식 재결합기(PAR)로 대체
- 액체 방사성 폐기물 계통의 여과 장치를 원심 분리 형태에서 역삼투압 형태로 변경
- 발전소 제어 계통의 제어 방식 개선
- 단일 루프 제어 방식으로부터 다중 루프 제어 방식으로 개선
- 현장 다중화 기기에 제어 기능 부여

**4. 철골-철근 콘크리트 합성 구조 채택**

- 내진 및 하중 강도 증가
- 구조부재 크기를 축소하여 시공 구역 효율성 증대
- 시공 자재 물량 감소
- 천정에 매입 철판 제거
- 임시 시공 구조물 물량 감소



〈KSNP 설계〉



〈KSNP+ 설계〉

〈그림 3〉 철골-철근콘크리트 합성 구조 채택

**5. 건설 공기 단축을 위한 신건설 공법 적용**

- 구역별 시공 완료 개념
- 철골-콘크리트 합성 구조 채택에 따른 데크 플레이트 시공 공법 적용
- 원자로 건물 라이너 플레이트, 철근, 데크 플레이트용 지지대, 공기 조화 계통 기기 및 덕트, 그리고 배관 스펀 등의 사전 제작 및 모듈 제작
- 원자로 냉각재 계통 배관에 자동 용접 적용
- 시공용 임시 통로(Jetty) 및 접근소(Access Pit) 활용
- 시공성 향상을 위한 모듈화 시공 확대 적용

**6. 발전소 재장전 기간 단축 및 운전 비용 절감**

한국표준형원전 대비 발전소 재장전 기간 단축 및 운전 비용 절감을 위한 설계 개선 사항은 다음과 같다.

- 일체형 원자로 상부 구조물 (IHA) 개발(〈그림 4〉 참조).
- 임시형 재장전 수조 밀봉체를 영구형으로 대체
- 노의 중성 자속 감시 계통에 장수명 핵분열함 형의 계측기 적용
- 노내 계측기 장전량 및 사용 수명 최적화

**설계 개선 효과**

전술한 설계 개선 사항들을 적용할 경우, KSNP+는 선행 한국표준형원전과 비교하여 기술성(특히 운전 보수성)·안전성·건설성 및 경제성 측면에서 대폭 향상될 것으로 평가되고 있으며, 설계 개선으로 얻는 효과는 다음과 같이 예상된다.

- 계통 설계의 단순화와 발전소 배치 최적화를 통해 발전소 운전성·보수 유지성 미 작업자 접근성 향상
- 계통 설계를 단순화함으로써 발전소 상태를 감시하는 주요 계

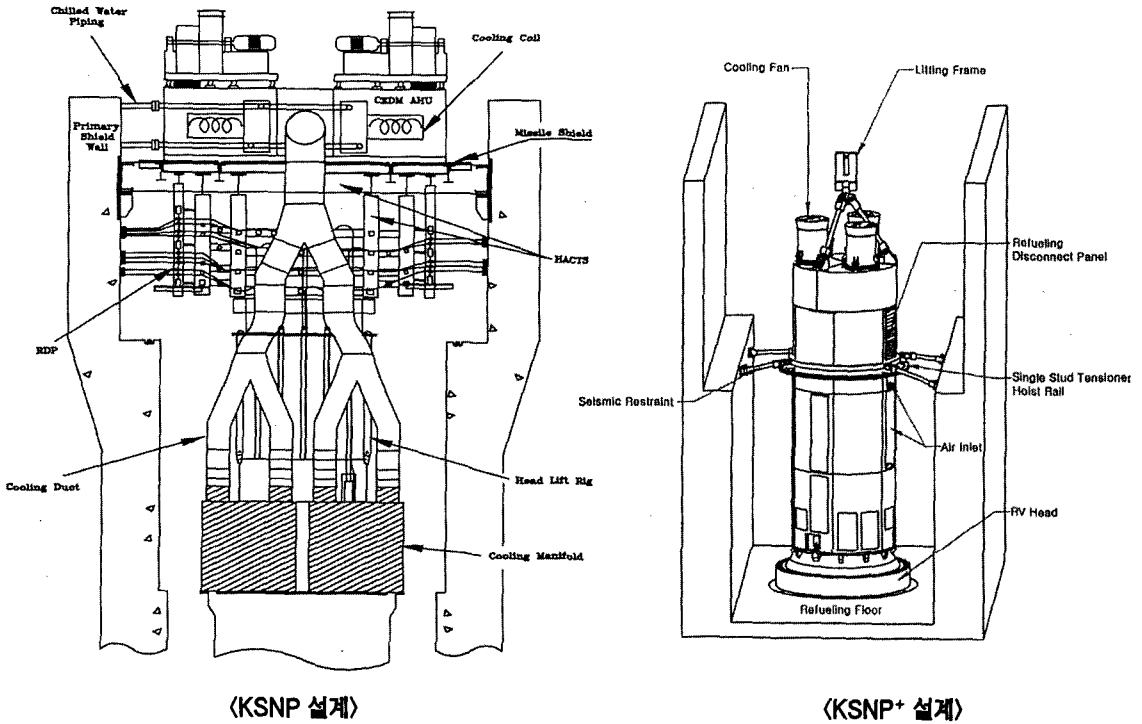
통의 신뢰도 향상 및 운전원 실수 가능성 감소

- 설계 최적화와 신기술 적용으로 건물 체적 감소, 발전소 부지 최적화 및 시공성 향상
- 건설비 및 보수 유지비 절감으로 경제성 제고
- 건설중 원전에 채택된 설계 개선 사항 반영으로 건설비 절감

**결론**

우리 나라는 그 동안의 원전 건설·설계 및 운영 기술과 경험을 근간으로 하여 현재 원전 기술의 고도화 단계에 진입해 있으며 날이 갈수록 치열해지는 국제적인 경쟁 환경 하에서 경쟁력을 확보하기 위해서는 안전성이나 기술성 못지 않게 경제성 및 운전 보수성이 획기적으로 향상된 원전 모델의 개발이 요구되어 왔다.

이에 따라 한수원(주)에서는 KSNP+ Program을 시행중에 있



〈그림 4〉 입체형 원자로상부구조물(IHA) 개발

으며 이 Program을 통해 개발된 개선형 한국표준원전(KSNP+)의 설계 기술은 지금 건설을 추진하는 신고리 1·2호기 및 신월성 1·2호기 본 설계에 적용함으로써 궁극적으로 안전성 보장을 전제로 경제성·시공성·운전성 및 유지 보수성 향상, 자립 기술을 기반으로 원전 설계 고도화 기반 확립, 원전 기술의 해외 수출 기반 확충 등의 목표를 달성할 것으로 기대된다.

KSNP+가 성공적으로 건설 및 운전될 경우 한국은 원전 기술 선진국 수준으로 발전하는 계기가 될 것으로 예상된다. KSNP+의 개발 경험은 향후 지속적인 기술 혁신을 통해 보다 안전하고 경제적인 원자력

발전소를 건설하는 데 일익을 담당할 것으로 기대된다.

**수상 소감**

본인은 1980년 한국전력기술(주)에 입사하여 그 동안 고리 3·4호기, 영광 3·4호기, 울진 3·4호기에서 구조물 설계와 영광 5·6호기에서는 현장소장으로서 역무를 수행하여 왔다.

설계 및 현장에서 건설을 추진하면서 원자력발전소 설계라는 것이 무척 어렵고, 수많은 법규·코드 및 document를 통해서 이루어지는 종합적인 Engineering 업무임을 느끼게 되었다.

원전 안전의 중요성이야말로 아무리 강조해도 지나치지 않으리라 생각되며, 신고리 1·2호기 및 신월성 1·2호기에서 안전하고 경제적으로 건설·운영되어 KSNP+설계시현성을 입증함으로써, 개발된 개선형 한국표준원전(KSNP+)은 앞으로 중국을 포함한 동남아에 수출도 가능하리라 생각된다.

이러한 막중한 중대한 project에 참가하는 기회를 제공해 주신 한국전력기술 관계자에게 감사드리고 아직도 부족함이 많은 본인에게 상을 주신 한국원자력산업회의 및 원자력학회에 진심으로 감사드립니다.

