

KSNP⁺의 설계 및 건설 기술 향상

이 형 원

한국전력기술(주) 원자력사업단

신고리 1·2호기 종합설계용역 기술총괄분야책임자

한국표준형원전(KSNP) 개발 현황

KSNP는 지난 1983년부터 추진 해온 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 원자력산업은 해외 시장까지 그 사업 영역을 확장하고 있다. KEDO 사업의 주계약자로서 한수원(☞)는 한기·한연(KNFC)·두산중 및 그 협력 업체와 함께 북한에 KSNP 2기를 공급하는 데 있어서 주 역할을 담당하고 있다.

현재 KSNP 설계는 KSNP⁺ Program을 통해 16기의 원전 건

설·설계 및 운전으로부터 획득한 30년간의 경험과 기술력을 반영하여 발전소 안전성 및 경제성을 향상시키기 위하여 지속적으로 개선되고 있다.

KSNP⁺ Program 개요

1 추진 배경

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.

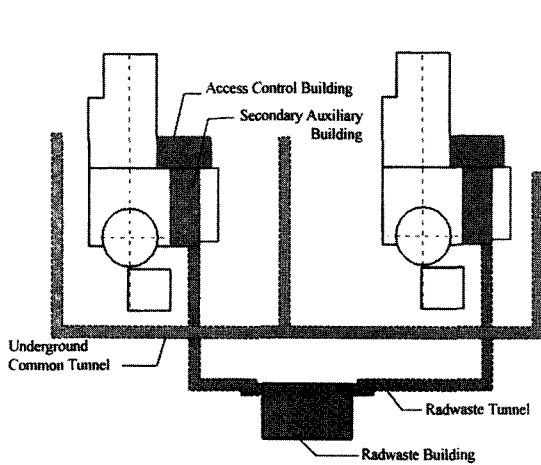
이러한 환경에 적극적으로 대처하기 위해서는 지금까지 이룩한 기술 자립 능력과 건설 및 운전 경험을 바탕으로 기존 KSNP의 설계 개념을 재정립하여 선진화되고 고도화된 새로운 원전 모델의 개발이 불가피하게 요구되고 있다.

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

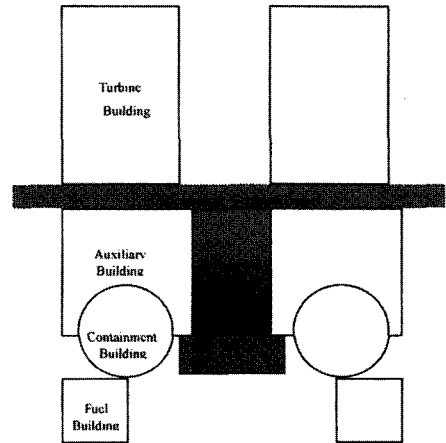
2. KSNP⁺ Program 추진 방법

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 발전소배치 >



<KSNP+ 발전소배치>

<그림 1> 발전소 배치 최적화

KSNP+ Program의 2단계 사업은 1999년 10월부터 2001년 10월 까지 2년간에 걸쳐 수행되고 있는데, 1단계 사업에서 채택된 설계 개선 사항들에 대해 인허가성, 기능요건, 상세 기기 설계, 건설성, 운전성 및 보수성 측면에서 포괄적인 설계 검증이 수행되고 있다. 2단계 사업의 목적은 다음과 같다.

- 발전소 초기 투자비와 운전 유지비 절감을 통해 KSNP+ 설계의 국제 경쟁력과 시장성 향상
- 발전소 건설성, 운전성 및 보수성 향상

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.

3. 설계 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 운

전 사이의 건설 공기 단축

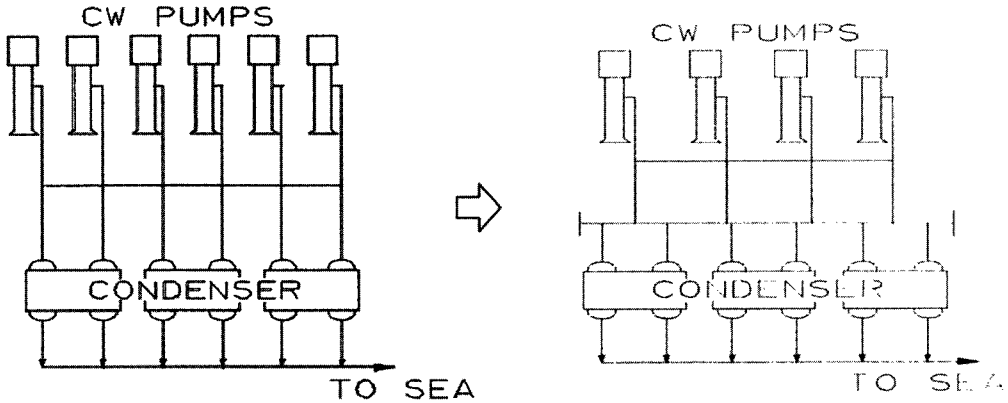
주요 설계 개선 내용

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



<KSNP 설계>

<KSNP+ 설계>

(그림 2) 순환수 계통 최적화

공용의 방사성 폐기물 건물을 1개의 복합 건물에 통합배치(그림 1) 참조)

- 지하 방사성 폐기물 터널 삭제 및 지하 공동구의 최단 거리 배치
- 배관, 케이블 트레이 및 공조 덕트 등의 최단 거리 배치
- 양 호기의 원자로 건물, 보조 건물, 핵연료 건물 및 복합 건물 운전층 충고 일치
- 보조 건물 승강기 운전 구간 확장 및 핵연료 건물 승강기 추가 설치
- 1차시료채취실과 방사화학실험실의 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 등급 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 공

학적 부조화를 제거하기 위해 발전소 감시 계통(PMS) 및 발전소경보 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)

○ 1차측 기기 냉각수계통

Common Loop 개념 적용 및 용량 최적화

○ 원자로 건물 살수 계통

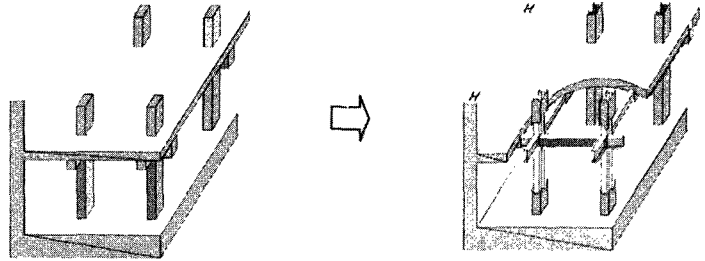
살수 열교환기 삭제 및 정지 냉각 열교환기와 공유

○ 사용후 연료 저장조 정화 계통

사용후 연료 저장조 수면을 정화하는 skimmer loop와 원자로 공동 여과 계통 제거

skimming suction을 사용후 연

- 로 저장조 정화 계통에 연결
 - 증기발생기 취출 계통
 - 2개의 CBD 탱크와 하나의 HCBD 탱크를 하나로 통합
 - 비재생열 교환기와 HCBD 탱크 이송펌프 제거



< KSNP 설계 >

< KSNP+ 설계 >

< 그림 3 > 철골 - 철근 콘크리트 합성 구조 채택

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 급수 펌프, 1차측 기기 냉각수 계통 펌프) 용량 축소

- 원자로 건물 수소 제어 계통의 능동 수소 재결합기를 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
- 구조 부재 크기를 축소하여 시공 구역 효율성 증대

- 시공 자재 물량 감소
 - 천정에 매입 철판 제거
 - 임시 시공 구조물 물량 감소

5. 건설 공기 단축을 위한 신건설 공법 적용

- 구역별 시공 완료 개념
- 철골 - 철근 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 스펙 등의 사전 제작 및 모듈 제작

- 원자로 냉각재 계통 배관에 자동 용접 적용

- 시공용 임시통로(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 재

장전 기간 단축 및 운전 비용 절감을 위한 설계 개선 사항은 다음과 같다.

- 일체형 원자로 상부 구조물 (IHA) 개발

- 임시형 재장전 수조 밀봉체를 영구형으로 대체

- 노외 중성자속 감시 계통에 장수명 핵분열함 형의 계측기 적용

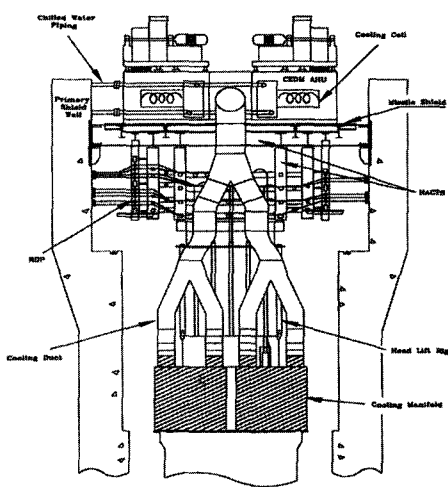
- 노내 계측기 장전량 및 사용 수명 최적화

설계 개선 효과

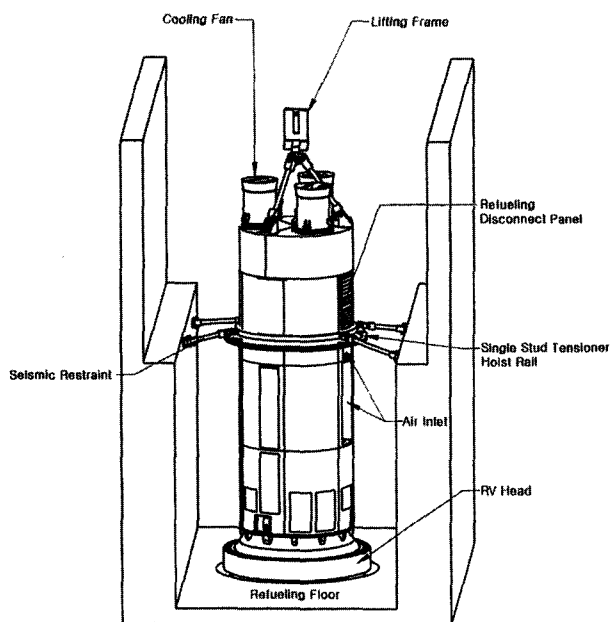
전술한 설계 개선 사항들을 적용할 경우, KSNP+는 선행 한국표준형원전과 비교하여 기술성(특히 운전 보수성)·안전성·건설성 및 경제성 측면에서 대폭 향상될 것으로 평가되고 있으며, 설계 개선으로 얻는 효과는 다음과 같이 예상된다.

- 계통 설계의 단순화와 발전소 배치 최적화를 통해 발전소 운전성, 보수 유지성 및 작업자 접근성 향상

- 계통 설계를 단순화함으로써



< KSNP 설계 >



< KSNP+ 설계 >

(그림 4) 일체형 원자로 상부 구조물(IHA) 개발

발전소 상태를 감시하는 주요 계통의 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 근

간으로 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 한전에서는 KSNP+ Program을 수행중에 있으며 이 Program을 통해 개발될 개선형 한국 표준 원전(KSNP+)의 설계 기술은 향후 건설될 신고리 1·2호기 본 설계에 적용함으로써 궁극적으로 안전성 보장을 전제로 하는 경제

성 향상, 시공성, 운전성 및 유지보수성 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 보다 경제적인 국제적인 원자력발전소를 건설하는 데 일익을 담당할 것으로 기대된다. 