

개선형 한국 표준형 원전(KSNP⁺) 설계 개발

전 석 주

한국전력공사 원자력건설처 신규추진팀장

고 갑 석

한국전력기술(주) 원자력사업단 설계개선사업 부책임자

한전은 1970년 6월 국내 최초의 원전인 고리 원자력 1호기의 건설을 착수한 이후 현재 16기의 원전 운전을 통해 원자력 발전 설비 용량을 13,716 MWe로 확장하였다. 현재 4기의 원전을 건설중에 있으며 이들이 준공되면 국가 전력망에 4,000MWe 용량을 추가할 것이다.

한전은 소비자에게 양질의 저렴한 전력을 공급하기 위해 올진 3·4호기 부터 한국 표준형 원전(KSNP)을 반복 건설하여왔으며, 나아가 가동중 원전으로부터 습득한 경험을 바탕으로 KSNP의 설계·건설·운전 및 보수 분야에서 지속적인 개선 노력을 기울였고, 이제는 KSNP 설계를 혁신적으로 개선하기 위한 프로그램을 이행하게 되었다.

한국 표준형 원전 설계 개선 프로그램(KSNP⁺ Program)은 그 복잡

성과 규모를 고려하여 3단계로 구분하여 추진되었다. 1999년 1월 한전은 한국전력기술(주)(KOPEC)와 협력하여 KSNP⁺ Program의 1단계를 성공적으로 수행하였다.

1단계 프로그램의 가장 중요한 업적 중 하나는 자립 기술 및 신기술을 적용하여 한국 표준형 원전의 안전성·운전성·보수 유지성 및 경제성을 대폭 향상시킨 것이다.

2단계 프로그램은 1단계 프로그램을 통해 정립된 설계 개념을 신규 원전에 적용할 수 있도록 상세 설계 기준을 수립하고, 1단계 프로그램에서 채택된 설계 개선 사항들의 설계 시현성·시공성 및 인허가성을 검증하며, 신규 원전에 처음으로 적용될 구조물 및 설비들의 기본 설계와 일부 상세 설계를 수행하는 것이다.

3단계 프로그램은 1·2단계 프로그램을 통해 개발된 KSNP⁺ 설계

를 KSNP⁺ Program의 첫 번째 결실인 신고리 1·2호기의 건설 사업에 적용함으로써 구체화시키는 것이다.

KSNP 개발

KSNP는 지난 1984년부터 추진해온 원자력 기술 자립 계획을 통해 획득한 국내외 신기술과 기존 원전의 건설 및 운전 경험을 반영하여 개발되어 왔으며 1995년 3월과 1996년 1월에 각각 준공된 영광 3·4호기를 참조 발전소로 하였다. 기술 자립 계획은 KSNP의 효시인 올진 3·4호기의 건설과 성공적인 운전에 의해 실현되었다.

한국 원전 건설 시장에서의 성공을 통해 축적된 기술과 국제적인 위상을 바탕으로 한국의 원자력산업은 해외 시장까지 그 사업 영역을 확장하고 있다.

KEDO 사업의 주계약자로서 한전은 하청 업체인 KOPEC·KNFC·한중 및 그 협력 업체와 함께 북한에 KSNP 2기를 공급하는데 있어서 주역할을 담당하고 있다.

현재 KSNP+ Program은 16기의 원전 건설·설계 및 운전으로부터 획득한 30년간의 경험과 기술력을 반영하여 발전소 안전성 및 경제성을 향상시키기 위하여 지속적으로 진행되고 있다.

KSNP+ Program 개요

1. 배경

최근의 국제적인 경제 환경은 WTO 체제의 출범과 시장의 완전 개방 등으로 무한 경쟁 시대에 돌입하게 되었으며, 원전 건설 또한 국내외적으로 치열한 경쟁을 피할 수 없게 되었다.

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

즉 지금까지 추진되어온 부분적 설계 개선을 탈피하여 종합적인 설계 개선으로 한국 표준형 원전의 기술성과 경제성을 일층 제고하여 국제 경쟁력이 향상된 원전 설계·건

설 모델의 수립이 필요하게 된 것이다.

2. 사업 추진 방법

KSNP+ 설계의 개발 단계는 <그림>과 같다. 16기의 원전 설계·구매·건설 및 운전으로 축적된 경험을 바탕으로, 운전성과 유지 보수성을 향상시키고 건설비를 절감하기 위하여 KSNP 설계 개선 사업을 추진해 왔다. KSNP+ Program의 1단계는 1998년 1월에 착수하여 1년 후인 1999년 1월에 완료되었다.

KSNP+ Program의 1단계 사업을 통해 기존 원전의 운영/보수

원·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 한국 표준형 원전에 적용하는 것으로 최종 결정하였다.

KSNP+ Program의 2단계 사업은 1999년 10월부터 2001년 10월까지 2년간에 걸쳐 수행되고 있는데, 1단계 사업에서 채택된 설계 개선 사항들에 대해 인허가성·기능요건·상세 기기 설계·건설성·운전성 및 보수성 측면에서 포괄적인

구분	1998	1999	2000	2001	2009
1단계	1998.1 1999.1				
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">설계 개선 방안 정립</div> <ul style="list-style-type: none"> -설계 개선 검토 과제 선정 -과제별 사업 적용성 평가 -관련사 의견 수렴 -설계 개념 정립 -개선 효과 및 종합 평가 				
1단계	1999.10		2001.10		
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">기본 설계 개발</div>		<ul style="list-style-type: none"> -기본 설계 개발 -설계 시현성 검증 -인허가 기술 검토/협의 -기타 필수 업무 -설계 개선 추가 과제 검토 		
3단계					2009. 9
					<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">신규 원전 본설계</div> <ul style="list-style-type: none"> -예비 안전성 분석 보고서 -최종 안전성 분석 보고서 -본설계 역무

<그림> KSNP+ 설계 개발 단계

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

2단계 사업에서는 13개 설계 개선 과제들이 추가적으로 검토되고 있다. KSNP* Program의 3단계 사업은 2000년대 초에 착수할 것으로 예상되는데 KSNP* Program의 첫 번째 결실인 신고리 1·2호기는 기존의 한국 표준형 원전보다 더 안전하고 경제성이 있는 원자력발전소가 될 것으로 기대된다.

3. 설계 개선 개념

KSNP*를 개발하기 위해 적용된 설계 개선 개념은 다음과 같다.

- 선행 호기 운전 경험을 반영하여 계통/설비/구조물 최적화 및 단순화
- 발전소 건물 및 기기 배치 최적화를 통한 건물 크기 및 건설 물량 최적화
- 참조 발전소의 설계 개념을 재검토하여 개선된 설계 개념 적용
- 국내외 타원전 설계 내용 검토 후 적용
- 국내 부지 특성을 감안한 최적 설계

- 시공사 및 제작사 경험 및 제안 사항 반영
- 해외 최신 기술 및 건설 공법 적용

주요 설계 개선 내용

1. 발전소 건물 배치 최적화

한국 표준형 원전 대비 발전소 건물 배치 최적화를 통한 설계 개선 사항은 다음과 같다.

- 양 호기의 비안전성 관련 건물인 2차 보조 건물, 출입 통제 건물 및 공용의 방사성 폐기물 건물을 1개의 복합 건물에 통합 배치
- 지하 방사성 폐기물 터널을 삭제하고 지하 공동구 거리를 최소화
- 배관·케이블 트레이 및 공조 덕트 등의 길이를 최소화
- 건물 체적 및 시공 물량의 현저한 절감
- 운전성 및 보수성을 향상함으로써 작업자 방사선 피폭 저감

2. 계통 설계 최적화

한국 표준형 원전 대비 계통 설계 최적화를 통한 설계 개선 사항은 다음과 같다.

- 여분의 주변 장치 및 인간 공학적 부조화를 제거하기 위해 발전소 감시 계통(PMS) 및 발전소 경보 계통(PAS)을 하나의

발전소 감시 및 경보 계통(PMAS)으로 통합

- 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 냉각 재펌프 밀봉수 주입 열교환기 제거
- 순환수 계통의 펌프와 이동용 스크린의 개수 축소 조정

3. 기기 용량 최적화 및 신기술 적용

한국 표준형 원전 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 냉각 계통 펌프) 용량 축소
- 원자로 건물 수소수제어 계통의 능동 수소 재결합기를 피동 촉매식 재결합기(PAR)로 대체
- 발전소 제어 계통의 제어 방식 개선
 - 단일 루프 제어 방식으로부터 다중 루프 제어 방식으로 개선
 - 현장 다중화 기기에 제어 기능 부여
- 철골-철근 콘크리트 구조(합성 구조) 채택
 - 구조 부재 크기를 축소하여 시공 구역 효율성 증대

- 시공 자재 물량 감소
- 천정에 매입 철판 제거
- 임시 시공 구조물 물량 감소
- 구역별 시공 완료 개념 및 테크 플레이트 시공 공법 적용
- 시공용 임시 통로(Jetty) 및 접근소(Access Pit) 설치 활용
- 모듈화 시공 확대 적용

4. 운전성 및 보수성 개선

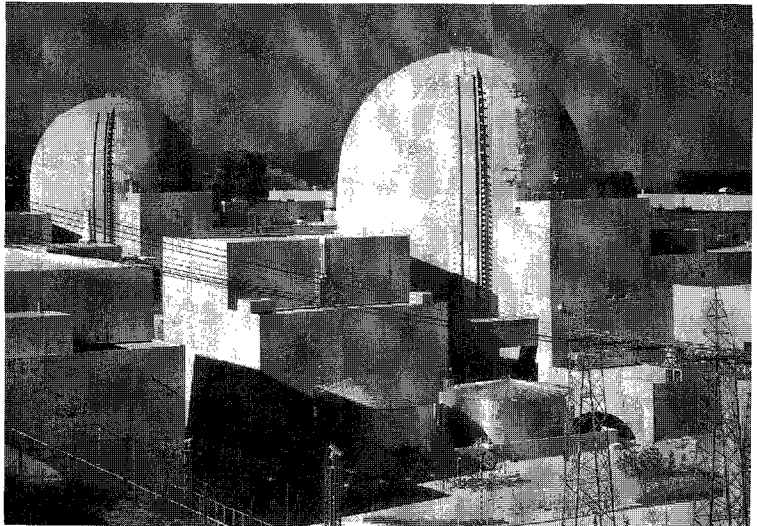
한국 표준형 원전 대비 운전성과 보수성을 향상시키기 위한 설계 개선 사항은 다음과 같다.

- 일체형 원자로 상부 구조물 (IHA) 개발
- 탈착식 재장전 수조 밀봉체를 영구형으로 대체
- 노외 중성자속 감시 계통에 장수명 핵분열합형의 계측기 적용
- 노내 계측기 장전량 최적화

설계 개선 효과

상기와 같은 설계 개선 사항들이 반영되어 건설될 경우, KSNP+는 선형 한국 표준형 원전과 비교하여 기술성(특히 운전 보수성)·안전성·건설성 및 경제성 측면에서 대폭 향상될 것으로 평가되고 있으며, 설계 개선으로 얻는 효과는 다음과 같이 예상된다.

- 계통 설계를 단순화함으로써 발전소 상태를 감시하는 주요



한국 표준형 원전 올진 3·4호기. 현재 KSNP+ Program은 16기의 원전 건설·설계 및 운전으로부터 획득한 30년간의 경험과 기술력을 반영하여 발전소 안전성 및 경제성을 향상시키기 위하여 지속적으로 진행되고 있다. 한전에서는 KSNP+ Program을 수행중에 있으며 이 Program을 통해 개발될 개선형 한국 표준형 원전(KSNP+)의 설계기술은 향후 건설될 신고리 1·2호기 본 설계에 적용함으로써 경제성 및 기능성이 향상될 것으로 기대된다.

- 계통의 신뢰도 향상 및 운전원 실수 가능성 감소
- 설계 단순화 및 발전소 배치 최적화를 통해 운전성·유지 보수성 및 작업자 접근성 향상
- 설계 최적화와 신기술 적용으로 건물 체적 절감, 발전소 부지 최적화 및 건설성 향상
- 건설·운전 및 보수 비용 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 한전에서는 KSNP+ Program을 수행중에 있으며 이 Program을 통해 개발될 개선형 한국 표준형 원전(KSNP+)의 설계 기술은 향후 건설될 신고리 1·2호기 본 설계에 적용함으로써 경제성 및 기능성이 향상될 것으로 기대된다.

또한 KSNP+의 개발은 향후 지속적인 원전 설계 기술 혁신을 추진함에 있어 귀중한 경험이 될 것으로 믿는다. ☞