

울진 3·4호기 건설 현황과 전망

이 중 호

한국전력공사 원자력건설처 사업관리역



ONLINE

진 3·4호기는 경북 울진군 북면 부구리에 소재한 이미 가동중인 울진 1·2호기 인접 부지에 건설중인 최초의 한국 표준형 원자력발전소이다.

호기당 출력이 100만kW급 가압 경수로 원전인 울진 3·4호기는 89년 4월 정부의 전원 개발 계획이 확정된 이후, 92년 5월 공사를 착공하여 각각 98년 6월과 99년 6월 준공을 목표로 97년 11월말 현재 종합 공정을 97%를 나타내고 있으며, 대부분의 공사를 완료하고 본격적인 시운전이 진행 중이다.

울진 3·4호기가 준공되면 울진

1·2호기와 함께 울진원자력본부에서 경상북도 전체의 전력 수요를 충당할 수 있게 된다.

최초의 한국 표준형 원자력발전소인 울진 3·4호기는 한국인의 체형·관행 및 운전 편의성을 고려하고 국내 원자력발전소 표준화 제 2~3단계에서 도출된 설계 개선 사항 및 고리 1호기부터 영광 4호기까지의 선행 호기 건설·운전 경험과 미국의 전력연구소(EPRI)가 개발한 원자력발전소 설계 개선 사항(EPRI URD)과 입증된 최신의 기술을 반영하고, 국제적으로 공인된 최신 기술 기준을 적용하여 한국 표준형 원자력발전소 설계를 완성하였다.

울진 3·4호기의 건설 사업은 외국 업체 주도하에 건설된 선행 호기와는 달리 우리 나라 당면 과제인 전력 에너지 자립을 이룩코자 한국전력공사가 종합 사업 관리자로 사업을 주도하여, 원자력 분야에서 건설사업에 참여하였던 국내 업체들을 주계약자로 선정하고 외국의 전문 회사를 기술 지원사로 참여시켜 설계·제작·시공 등 사업을 자체 기술로 수

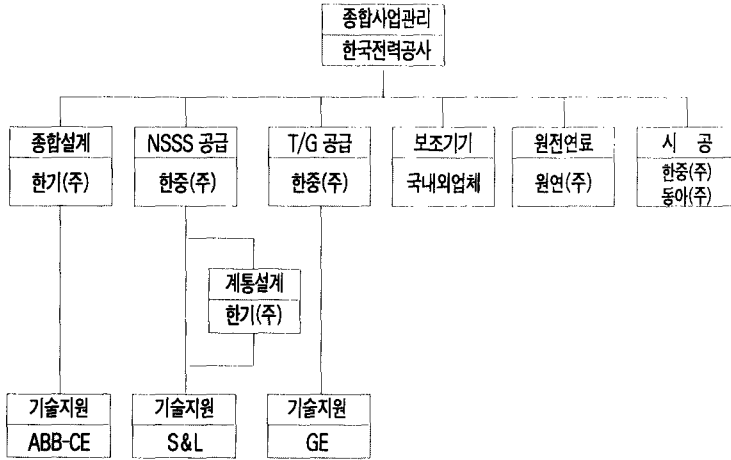
행토록 추진함으로써 완전한 원전 기술 자립을 달성하였다.

울진 3·4호기는 각종 사업 관리 절차를 체계적으로 수립·운영하며 공정 및 공사비 관리에 전산 시스템을 도입하고 활용 범위를 기자재 구매 관리 및 시공 관리까지 확대하여 사업 관리의 최적화를 도모하고 있다.

건설 공사에서 영광 3호기의 6개월 공기보다 짧은 60개월을 목표로 하고 있으며, 방대한 공사비를 관리하기 위해 목표 공사비를 수립·운영하고 수시로 재평가와 심사 분석을 통해 공사비 절감에 노력하였다.

울진 3·4호기는 세계 최고 수준의 원자력발전소 안전성을 확보하고 있다.

최신의 기술과 강화된 기술 기준을 적용하였으며, 미국 TMI 사고 후속 조치 요건, 중대 사고 예방, 사고 완료 개념을 적용하였고, 주제어실 등에 최신의 인간 공학 개념을 반영하여 운전원의 실수에 의한 사고 확률을 극소화하는 등 설계 단계에서 안전성을 확보하여 국제원자력기구



〈그림 1〉 울진 3·4호기 건설 사업 체제

(IAEA)의 울진 3·4호기에 대한 안전 평가(95년 5월) 결과 국제 수준의 원자력 안전성을 확보하고 있음을 인정받았다.

첫 번째 한국 표준형 원전으로서 영광 5·6호기, 울진 5·6호기 등 후속 원전은 물론, 북한의 함남 신포에 건설중인 북한 원전 1·2호기의 참조 발전소가 되는 울진 3·4호기는 부존 자원이 너무나 부족한 우리나라가 우리의 손과 기술로 준국산 에너지원인 원자력발전소를 건설한다는 중요한 의미를 갖고 있다.

울진 3·4호기는 준공시 연간 130억kWh의 전력 생산량으로 연간 4백만톤의 석탄 또는 2천만배럴의 석유 대체 효과가 기대될 뿐만 아니라 건설 기간 동안 연인원 약 1,250만명의 고용 효과로 인한 지역 경제 활성화에도 크게 기여하고 있다.

울진 3·4호기 사업 내용

1. 사업 개요

- 사업명 : 울진원자력발전소 3·4호기 건설
- 원자로형 및 용량
 - 노 형 : 가압 경수로형(PWR)
 - 용 량 : 1,000MWe급×2기
- 위치 : 경북 울진군 북면 부구리 (울진 1·2호기 인접 부지)
- 발전소 운영 방침 : 기저 부하 담당 설비로 운영
- 공사 기간 : 착공(기초 굴착)~ 준공
 - 3호기 : 92. 5~98. 6
 - 4호기 : 92. 5~99. 6

2. 주요 사업 추진 경위

- 전원 개발 계획 확정 : 89. 4.

24

- 울진 3·4호기 추진 계획 제 225차 원자력위원회 의결 : 90. 7. 19
- 주기기 공급 및 종합 설계 계약 체결 : 91. 7. 22
- 주설비 시공 계약 체결 : 91. 8. 30
- 기초 굴착 공사 착수(착공) : 92. 5. 27
- 울진 3·4호기 건설 허가 취득 : 93. 7. 16
- 3호기 최초 콘크리트 타설 : 93. 7. 21
- 3호기 원자로 설치 : 95. 4. 8
- 4호기 원자로 설치 : 95. 11. 23
- 3호기 원자로 계통 상온 수압 시험 : 97. 2. 22
- 3호기 고온 기능 시험 : 97. 6. 24
- 3호기 연료 장전 : 97. 11. 11
- 4호기 원자로 계통 상온 수압 시험 : 97. 12. 3
- 4호기 고온 기능 시험 : (98. 5)
- 3호기 상업 운전 : (98. 6)
- 4호기 연료 장전 : (98. 9)
- 4호기 상업 운전 : (99. 6)

3. 건설 사업 체제

분야별로 국내 업체의 역할을 살펴보면 한국전력공사가 전체 사업을 종합 관리하고, 종합 설계와 원자로 계통 설계는 한국전력기술(주), 원자로

설비 및 터빈 발전기 공급은 한국중공업(주), 원전 연료의 공급은 한국원전연료(주), 보조 기기는 국내외 업체, 토건 공사는 동아건설산업(주), 기전 공사는 한국중공업(주)가 수행하고 있다.

기술 자립이 진행중인 일부 설계 분야는 외국 전문 업체(종합 설계: 미국 S&L사, 원자로 계통 설계: 미국 ABB-CE사)가 기술 지원 형태로 참여하고 있으나, 참여 범위가 자문 업무에 국한되어 참여가 극히 제한적이다. 설비 공급 분야도 원자로 설비 공급 분야에 미국 ABB-CE사, 터빈 발전기 공급 분야에 미국 GE사가 참여하고 있으나, 그 공급 범위는 영광 3·4호기보다 축소되었다.

울진 3·4호기의 건설 사업 체제는 <그림 1>과 같다.

4. 공사 계획 및 공정

울진 3·4호기의 건설 기간은 본관 기초 굴착 공사를 착공한 92년 5월 27일부터 3호기 상업 운전일 98년 6월까지 72개월이며, 울진 3호기 최초 콘크리트 타설일인 93년 7월 21일부터 상업 운전 예정일인 98년 6월까지 60개월로 프랑스 900MWe급 표준 원전의 최초 콘크리트 타설 기준 표준 공기인 60개월과 공사 기간이 동일하다.

5. 건설 소요 인력

울진 3·4호기 건설 사업 기간 중

투입될 연인원은 약 1,250만명으로 추정되며 건설 기간 중 최대 인력이 소요되는 95~97년 중 일일 동원 인력은 설계 등 계약자 본사 사업 수행 인원 약 1,000명, 울진 현장 투입 인원 약 6,000명 등 합계 7,000명/일 수준이다.

6. 소요 물량 및 도면·설계 자료

울진 3·4호기 사업에 소요되는 주요 기자재 소요 물량은 콘크리트 타설 량이 650,000m³, 철근이 90,000톤, 대구 경배관 27,209개, 전선 길이 4,420km 등 대량의 자재가 소요된다.

울진 3·4호기 건설 사업을 위하여 발행되는 도면은 약 46,000매, 설계 자료는 약 17,000종이다.

사업 특성

우리는 80년대초부터 우리 기술로 원전을 건설하여 반복 건설의 효과를 극대화하고자 하는 계획하에 원전 기술 자립을 추진하여 왔다.

울진 3·4호기에 이르러 호기당 설비 용량 1,000MWe급, 가압 경수로(PWR)형 원자력발전소를 선택하여 세계적으로 입증된 최선의 기술을 반영하고, 국제적으로 공인된 최신 기술 기준(Code & Standard)을 적용(89. 12. 31 기준)함으로써 안전성과 신뢰성을 대폭 향상시킨 한국 표준형 원전을 건설하게 되었다.

울진 3·4호기는 발전소의 계통 설계, 주요 기기, 배치도(layout) 및 시공 절차 등을 표준화하였고, 국내 산업과 공업 수준에 맞도록 설계하여 국내 산업 기술 능력을 조화시켰을 뿐만 아니라, 인간 공학적인 설계로 한국인의 체형에 적합하도록 설계·건설하는 국내 최초의 한국 표준형 원자력발전소이다.

1. 국내 기술진 및 업체의 책임

울진 3·4호기 사업 추진은 선행 호기와는 달리 한국전력공사가 종합 사업 관리자로 사업을 주도하며, 설계·제작·시공 및 시운전 등 전분야에 걸쳐 국내 업체가 직접 사업을 수행하는 주계약자가 되고 외국 업체는 일부 분야의 기술 지원 업무에만 참여시켰다.

설계 초안을 외국 설계 회사에 의뢰하였던 선행 호기와는 달리 처음부터 우리의 기술로 한국 표준형 원자력발전소 모델을 설계·개발하였고(기술 자립도 95%), 대부분의 기자재를 국산화하였다.(국산화율 75%).

시공·시운전 분야는 완전 기술 자립하여 국내 기술진 및 국내 업체가 업무를 수행함으로써, 원자력 기술 선진국에 대한 기술 의존 탈피와 기술 예측화를 방지하고, 지속적이고 일관된 기술의 확보와 원자력발전소 관리 능력을 제고하였다.

2. 세계 최고 수준의 원전 설계

한국 표준형 원자력발전소인 울진 3·4호기는 설계 수명 40년으로서 완전 급수 상실 사고에 대비, 개선된 안전 감압 계통을 설치하였으며, 대체 교류 전원용 비상 디젤 발전기 설치, 격납 건물 내부 설계 압력 증대, 중대 사고 대처용 각종 보완책 마련 등 안전 설비를 강화함으로써 노상 손상 빈도를 1/10배(노심 용융 확률: 1/십만년→1/백만년)로 개선하였다.

또한 한국인의 체형 및 관행에 맞는 첨단 인간 공학적 개념을 적용한 최신 제어 설비를 채택하여 운전원 실수에 의한 사고율을 극소화시켰으며, 경보의 우선 순위 부여, 제어 계통 설계의 보완, 신호의 디지털화 등으로 원자력발전소의 안전 설비를 최첨단화하였고, 농축 폐액 설비 등 폐기물 감용 설비를 채택하여 방사성폐기물 발생량을 1/8 수준으로 대폭 감소시킨 것이 특징이다.

울진 원전 3·4호기 설계는 적용 기준일(89. 12. 31) 현재 유효한 관련 규제 요건 및 기술 기준들을 충분히 만족토록 하여 세계에서 건설중인 100만kW 원전 중 가장 최신의 기술 기준을 적용한 우수한 원자력발전소이다.

3. 반복 건설로 경제성 제고

원자력발전소 건설의 경쟁력은 건설 비용과 건설 기간에 달려 있다.

한국 표준형 원자력발전소인 울진 3·4호기의 건설 공사는 동일 설계 적용에 의한 설계비·기자재비·시공비의 절감이 가능하여 외국 원자력발전소 건설 공사비와 비교시 경제성이 우수하며,

건설 기간은 60개월(93년 7월, 최초 콘크리트 타설~98년 6월, 3호기 상업 운전)로 표준화 이전 건설 기간 64개월과 비교할 때 4개월의 공사 기간이 단축되었으며, 후속 원전 건설 시에는 2~4개월 추가 공사 기간 단축이 예상되어 해외에 원자력발전소 수출을 추진할 수 있는 국제 경쟁력을 확보하였다.

4. 산업 능력 향상과 수출 견인차

원자력발전소 건설은 종합적인 기술을 요하는 산업이므로 한국 표준형 원전의 성공적인 추진은 국내 산업 기술 능력 향상과 국가 에너지 자립의 기반을 마련하는 계기가 되었다.

한국 표준형 원전은 세계적으로 안전성·신뢰성 및 경제성을 인정받게 되어 영광 5·6호기와 울진 5·6호기는 물론 북한에 제공될 북한 원전의 모델이 될 뿐만 아니라 우리 원전의 해외 수출에 견인차 역할을 할 것이다.

〈표 1〉 한국 표준형 원전의 주요 설계 개선 내용

구 분	외국의 원전 (Palo Verde)	한국 표준형 원전 (울진 3·4호기)
Code & Standard	1973. 12. 31	1989. 12. 31
안전성		
-노심 용융 확률(CDF)	< 8.10 × 10 ⁻⁵ /년	< 7.58 × 10 ⁻⁶ /년
-안전 감압 계통(SDS)	미 적용	적 용
-비상 전원	2대 비상 D/G	3대 비상 D/G
성능 개선		
-제어 계통 방식	Analog	Analog + Digital

5. 환경 친화적인 원전 건설

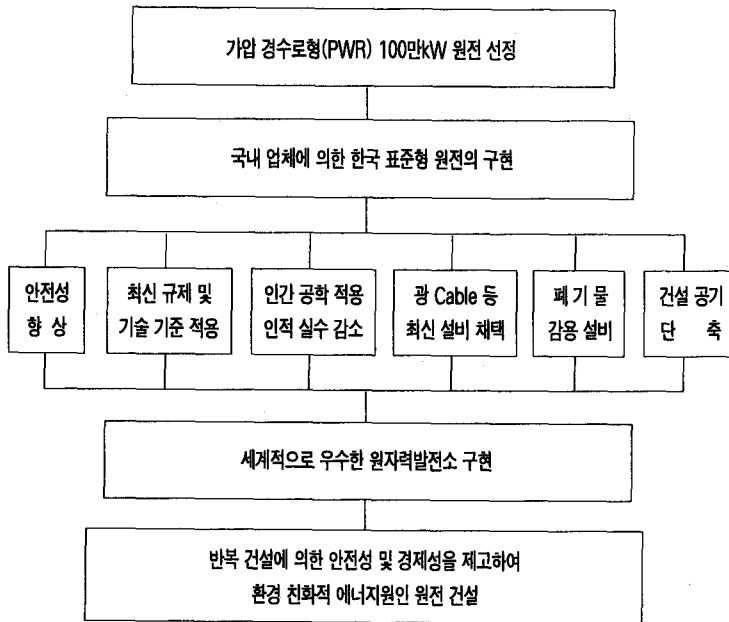
지역 주민 및 국민들의 원전 배타감을 해소하고 포용 의식을 높이기 위하여 발전소 구조물의 형태 보완, 발전소 색채 디자인, 발전소 단지 내 '원자력의 평화적 이용'을 주제로 한 국민 친화형 주제 공원을 조성하며, 발전소 전체 부지 및 경계부 환경 친화적 정비 등을 종합 검토하여 주변 경관과 조화되는 발전소 경관을 설계, 아름다운 시설 디자인에 국한되지 않고 발전소를 중심으로 하는 지역과 연계되는 디자인으로 울진 원전을 울진 지역의 상징물(지역 자랑거리)이 되도록 지역 공생형, 환경 친화형 원전으로 건설하고 있다.

시공 추진 현황

1. 본관 기초 굴착 공사(착공)

울진 3·4호기는 92년 5월 27일에 본관 기초 굴착을 착수함으로써 시공 공사가 본격적으로 시작되었다.

본관 기초 굴착은 정부로부터 제한



〈그림 2〉 한국 표준형 원전인 울진 3·4호기 특성

공사 승인을 취득하여 최초로 공식적인 시공 공사를 시작하는 것을 의미한다.

본관 기초 굴착은 원자로 건물, 보조 건물 및 터빈 건물이 들어서는 지역을 건물 기초 공사를 할 수 있도록 해당 깊이로 굴착하는데, 이때 발생하는 토사량이 막대하여 굴착 착수 전에 토사 적치장을 사전 준비하여야 했다.

2. 원자로 건물 축조 공사

93년 7월 16일 정부로부터 울진 3·4호기 건설 허가를 취득함으로써 3호기 원자로 건물 기초 콘크리트 타설 공사를 시작으로 본관 구조물 중

가장 핵심 분야인 원자로 건물 구조물 공사에 돌입하였다.

원자로 건물 구조물 공사를 단계별로 살펴보면 기초 슬래브, 외벽 및 돔 순서로 진행하여 내부 구조물 축조 공사로 이어진다.

원자로 건물은 외경 46m, 두께 1.2m, 높이 81m인 철근 콘크리트 돔형 구조물로, 주요 기능은 방사능이 원자로 냉각 계통으로부터 외부로 누출되는 것을 방지하는 차폐 기능을 유지하며 외부로부터의 비산물에 대해 건물 내의 기기를 보호할 수 있는 구조로 되었다.

외벽 벽체 및 돔 내면에는 누출 방지 목적 및 콘크리트 타설시 거푸집

용으로 이용되는 6mm 두께인 15단의 카본 스틸라이너로 피복되어 시공되었다.

외벽 축조가 끝난 후 돔 설치에 들어갔는데 돔은 구조적으로 복잡할 뿐만 아니라 고소 작업으로 인하여 작업 여건도 매우 어려웠던 공사였다.

울진 3호기 원자로 건물 돔 축조는 95년 10월, 4호기는 96년 8월에 완료하였다.

3. 내부 구조물 공사와 기전 공사

원자로 건물 하부돔이 완성될 즈음하여 원자로 건물 내부 구조물 공사에 착수하였다.

내부 구조물 공사란 각종 기자재가 설치되는 층별 슬래브나 기둥·벽 등을 설치하는 공사를 말하는데, 내부 구조물 공사 진척에 따라 기전 공사가 뒤따라 수행되었다.

본격적인 기전 공사는 95년 4월 3호기 원자로 설치를 착수함으로써 그 막을 열었다.

원자로는 높이가 14.6m이고 용적이 165m³인 수직 원통형으로 특수 합금강으로 제작되었으며, 총중량은 무려 351톤에 달한다.

원자로의 설치에는 원자로 용기를 원자로 건물 내부로 운반하고 천장 크레인을 이용하여 원자로 용기를 4개의 수직 지지대(vertical support column)에 설치하여 원자로 내부 구조물을 조립한 후 설치하였다.

원자로를 설치한 후 증기 발생기와

가압기, 원자로 냉각재 펌프 등 중량 물 기기의 설치가 계속되었다.

4. 터빈 건물 공사와 기전 공사

울진 3호기의 터빈 건물 철골 설치 작업이 94년 7월 착수되어 터빈 구조물 설치가 95년 1월에 완료됨으로써 터빈 건물 내의 주요 기기들이 순차적으로 설치되었다.

터빈 발전기는 1대의 고압 터빈(216톤)과 3대의 저압 터빈(총427톤) 및 발전기(고장자 367톤, 회전자 170톤)가 한 개의 축으로 연결되어 있는 직렬 조합형식으로, 3호기는 95년 10월 저압 터빈 케이싱 설치를 착수한 다음 고압 터빈과 발전기를 차례로 설치하여 모든 터빈 발전기 설치 공사가 97년 3월 완료되었다.

터빈 설치 공사에서 터빈축 설치 작업은 축의 중요부에 대한 치수를 측정, 확인한 후 저압 터빈축, 고압 터빈축 순서로 설치되었으며, 축이 설치된 상태에서 축과 커플링 정렬 작업을 수행하고 최종 정렬 상태를 확인하였다.

발전기 설치 공사는 발전기의 고정자와 회전자를 설치한 후 저압 터빈축과 회전자를 커플링을 이용하여 연결함으로써 발전기 설치가 완료되었다.

또한 터빈 건물 내에 설치되는 주요 기기인 복수기, 습분 분리 재열기 설치 공사도 공정에 따라 순조롭게 진행되었다.

5. 상온 수압 및 고온 기능 시험

원자로 냉각재 계통 상온 수압 시험은 기전 설비 설치 완료 후 ASME code SEC. III에 따라 원자로 냉각재 계통 설계 압력(175kg/cm²g)의 1.25배인 218kg/cm²g까지 가압하여 압력 경계 내의 기기, 배관 및 부속품의 강도와 건전성을 확인하는 시험으로 원자로 냉각재 펌프(RCP) 및 충전 펌프를 이용하여 계통 내의 물을 가압하여 10분간 유지한 후 검사 압력(175kg/cm²g)까지 감압, 압력을 일정하게 유지하면서 모든 기기와 관련 배관의 누설 여부를 검사하는 것으로 울진 3호기는 97년 2월 22일 착수하여 3월 4일 성공적으로 수행 완료하였다.

고온 기능 시험은 원자로에 연료가 없는 상태에서 원자로 냉각재 펌프를 운전하여 발생하는 마찰열을 이용하여 정상 운전시와 동일한 온도(296.1°C) 및 압력 조건(158.2kg/cm²g)을 유지하면서 발전소의 건전성을 확인하는 종합 기능 시험으로서, 울진 3호기는 97년 6월 24일 착수하여 7월 29일 성공적으로 수행 완료하였다.

6. 최초 연료 장전

최초 연료 장전 작업은 원전 연료를 가장 안전하고 효율적으로 연소시키기 위해 세밀하게 분석되어 설정된 컴퓨터 프로그램에 의거, 일정한 순서에 따라 안전하게 원자로 내에 장

전하는 일련의 작업으로 울진 3호기는 97년 9월 초기 노심용 연료를 인수, 검사를 거쳐 저장조에 저장한 상태에서 97년 11월 8일 운영 허가를 취득하고 본격적인 연료 장전 작업을 11월 11일부터 착수하여 11월 17일 177다발 전체를 장전 완료하였다.

연료 장전 후에는 발전소를 상온 정지 상태에서 고온 대기 상태로 변경하여 운전 가능성을 입증하였으며, 발전소 계통의 적절한 종합 운전 여부를 평가하였다.

향후 추진 전망

92년 5월 착공한 울진 3·4호기는 순조롭게 공사를 진행하여 현재 97%의 공사 진척을 보이고 있으며, 앞으로 출력 상승 시험을 거쳐 100만kW의 전력을 생산하게 된다.

울진 3호기는 97년 12월초 현재 연료 장전을 마치고 각종 성능 시험을 수행중에 있는데, 97년 12월말이면 초임계에 도달한 후 전력 계통에 병입되어 출력 상승 시험을 거쳐 98년 6월 준공될 예정으로 있다.

97년 12월초 상온 수압 시험을 착수한 울진 4호기는 구조물 공사의 건전성을 확인하는 SIT/ILRT를 98년 2월 수행할 예정이며, 98년 9월 운영 허가를 취득하고 연료를 장전하여 99년 6월 준공 예정으로 실질적인 건설 공사는 98년도에 대부분 마무리가 된다고 볼 수 있다. ☞