

# 원전건설 기술자립 추진현황 및 전망

김 종 신

한국전력공사 원자력기술실장

## 1. 추진경위 및 배경

국가에너지의 90% 이상을 해외에 의존하고 있는 우리나라는 1970년대 두 차례의 석유파동을 겪으면서 에너지 안보의 중요성을 절감하게 되었으며, 그 해결방안으로 연료공급이 안정적이며 연료비가 타 에너지에 비해 저렴하고 기술자립이 될 경우 준국산화가 가능한 원자력발전을 장기전원개발의 주에너지원으로 선택하게 되었다.

이 정책에 따라 1978년 경남 양산에 고리원자력 1호기가 최초로 원자력의 불을 밝히게 되었고 지속된 원자력발전 정책에 따라 지금은 운전중 10기, 건설중 6기, 총설비 용량 860만kW나 되는 세계 10위의 원전 대국이 되었다. 우리나라 원전건설의 역사를 되돌아 보면, 원전사업의 초기인 1960~70년대에는 외국업체가 사업 전반에 대해 책임을 지고 발전소를 완성한 후 Key를 넘겨주는 소위 Turn-Key 방식으로 발전소를 건설하다가 1970년대 후반부터는 한전이 주도적으로 사업을 추진하는 이른바 Non Turn-Key 방식으로 건설방식을 바꾸어 건설 전반에 대한 우리의 참여 폭을 차츰 넓혀나갔다.

1980년대에 들어서면서 원전건설 핵심기술의 자립과 설계를 표준화하는 문제가 본격적으로 논의되었고 이를 국가정책화 하는데 성공하였다. 즉, 1984

년 7월 원전건설 기술자립 및 원자력발전소 표준화 계획을 정부의 정책으로 확정하면서 원전건설기술자립의 기반을 마련하였으며, 우리의 원전역사를 바꾸는 대역사가 이때부터 본격 가동된 것이다.

원전은 사업기간이 약 10년, 2기당 사업비가 약 3조 3천억원, 연인원 1000만명 이상이 소요되는 거대 자본 집약적 사업이다. 설비규모는 방대하여 기계, 전기, 계기 등 수백만개의 각종 부품이 소요되며, 각 부품은 안전성과 효율성의 극대화를 위한 최첨단 기술로 구성되어 있어 국내산업 발전에 미치는 영향 또한 매우 크다.

원자력발전 기술은 국제적인 관심사로서 안전성이 최우선적으로 고려되어야 하며 이를 위한 엄격한 인허가 및 품질요건의 준수가 필수적이다. 따라서 사고 발생시 그 영향을 최소화하기 위한 심층방어, ALARA 등의 설계개념이 적용되고 주요기기의 작동에 대한 신뢰성을 확보하기 위해 다중설계, 다원설계, 독립설계 등의 설계방법이 채택되고, 입증된 기술만이 엄격하게 적용되고 있다.

이러한 관제로 원전의 기술개발에는 많은 기술자가 필요하며 오랜 기간과 엄청난 비용이 소요된다. 따라서 원전 발전기술의 자립과 개발은 단일기업에 의한 독자적 수행은 한계가 있고 범국가적인 중합 추진 전략이 필요한 것이다.

## 2. 원전건설 기술자립 개요

우리나라의 원전건설 기술자립은 설계, 제작, 시공, 시운전 등 건설에 필요한 기술 전체를 대상으로 하였다.

그리고 한전을 중심으로 국내의 제한된 인력, 설비 및 재원을 최대한 활용하고 단기간내에 효율적인 기술자립을 도모하기 위해 업체별로 담당분야를 나누어 추진하였다(표 1 참조).

이 역할분담은 영광원자력 3,4호기 건설에 적용되었는데 우리나라 원전건설 사상 최초로 국내업체를 주계약자로 하고 외국업체를 하청계약자로 하여 일부분야에 대해서만 외국업체가 기술을 지원하고 사업총괄관리에서 설계, 제작, 시공, 시운전 등 원전건설 전반을 국내업체가 주도한 것이다.

기술자립의 목표는 영광원자력 3,4호기와 동일한 수준의 원전을 설계, 제작, 시공할 수 있는 기술능력의 95%를 '95년말까지 확보하는 것으로 이는 원자로냉각재펌프(RCP), 계측제어기기류(I & C) 등 국내생산시 경제성이 없거나 국내산업구조가 취약한 일부 기자재는 해외에서 구매하고, 신기술도입, 규제요건 변동에 따른 중요 설계변경 사항에 대해서만 외국으로부터 기술자문 또는 지원을 받는다는 것으로 발전소 건설에 필요한 거의 모든 기술을 우리가 가진다는 것이다(표 2 참조).

기술자립 목표를 달성하기 위한 구체적인 방안으로는

첫째, 선진 외국업체와 기술도입계약을 통해 발

<표 1> 기술자립 역할분담

회 사 명	담 당 분 야
한국전력공사	종합사업관리
한국전력기술(주)	플랜트종합설계
한국중공업(주)	주기기설계 및 제작
한국원자력연구소	원자로계통 및 초기노심설계
한국원전연료(주)	원전연료 제조
국내시공업체	발전소 시공

<표 2> 분야별 기술자립 목표

분 야	가 중 치	목 표 율	
종합사업관리	15%	98%	
설 계	플랜트종합설계	21%	95%
	원자로계통설계	7%	95%
	핵연료설계	2%	100%
제 작	NSSS	24%	87%
	T/G	11%	98%
핵연료제조	3%	100%	
발전소시공	17%	100%	
총 합	100%	95%	

전소 건설에 필요한 기술자료 및 컴퓨터 코드를 확보하며, 이를 운용할 기술인력을 양성하고

둘째, 국내업체를 주계약자로 하여 영광원자력 3,4호기 설계, 제작, 시공 및 시운전 등 건설업무 전반을 직접 수행토록 하여 경험을 습득케 하며

셋째, 기술도입 및 사업수행만으로는 습득이 어려운 분야 또는 취약분야에 대해 자체기술개발을 통해 기술능력을 높이도록 하는 것이었다.

## 3. 기술자립 추진현황

본격적으로 기술자립 추진을 시작한 1986년말 우리나라의 원전건설 기술에 대한 자립률은 약 60% 정도였으나 8년여가 지난 현재 94.7%의 기술자립을 이룩하여 최종 목표인 95% 달성이 무난한 것으로 전망되며 기술자립실천계획상의 각 업무들도 대부분 완료상태에 있다.

주요 업무추진 실적을 살펴보면,

먼저 원전 건설에 필요한 모든 기술자료와 전산코드를 확보하였으며, 국내외 교육훈련을 통한 기술인력 양성도 계획대로 완료하였다(표 3 참조). 그리고 도입된 기술자료와 양성된 기술인력을 활용하여 우리나라 원전건설 사상 최초로 국내업체가 건설업무 전반을 주도하여 경험기술도 충분히 습득한 상태에 있다.

<표 3> 분야별 기술도입 현황

구 분	기술자료	전산코드	국내교육	해외교육	비 고
플랜트 종합설계	133만면	294종	553명(88MM)	103명(217MM)	한 기 (주)
주기기 설계 / 제작	2,785종	134종	-	155명(554MM)	한 중 (주)
원자로계통/핵연료설계	5,424종	297종	450명	227명(827MM)	원 자 력 (주)
사 업 관 리	-	-	-	125명	한 전
핵 연 료 제 조	1,744종	2종	121명(266MM)	70명(245MM)	한 연 (주)
발 전 소 시 공	-	75종	1,177명	530명	현 대 건 설 (주)

또한, 부족기술의 보완을 위해 추진한 설계검증 및 기술검토, 반복 및 모의설계, 시제품 제작 등은 물론 지속적인 연구 개발을 통해 원전기술의 Know-How까지도 우리 것으로 소화하고 있는 실정이다.

분야별 추진현황을 살펴보면 다음과 같다.

**첫째, 플랜트종합설계의 경우**

경험 부족에 따른 일부 미흡분야가 있기는 하지만 대부분의 기술이 자립된 상태로 발전소 Lay-out이 영광 3,4호기와 커다란 차이가 없는 발전소의 설계업무는 국내기술로 충분히 수행할 수 있게 되었다. 일부 미흡 분야는 안전등급 분야의 계통설계, 신기술 적용 및 Vendor 이견처리, 철근콘크리트 구조설계 중 극한 저항능력 계산, 특수문 누설 보강 등으로, 이 분야는 외국업체로부터 부분적인 기술자문이 필요한 것으로 판단된다.

국내업체의 기술수준 향상에 따른 계약내용 변화를 살펴보면, 기술자립 추진전인 영광원자력 1,2호기에서는 상세설계 일부분야에 대해서만 외국업체의 하청으로 겨우 참여하는 수준이었으나, 영광원자력 3,4호기를 수행하면서 상세설계는 물론 기본설계도 직접 수행하여 기술을 습득하였고, 그것이 바탕이 되어 울진원자력 3,4호기에서는 모든 설계 업무를 우리가 주도하는 방식으로 계약체계를 바꾸었다. 그 후속기인 영광원자력 5,6호기에서는 외국 기술자문 분야가 더욱 축소되어 극히 제한된 일부 분야에서만 필요시 외국의 기술자문을 받는 것으로

되어 있다.

설계의 주계약자도 바뀌어 영광원자력 1,2호기에서는 외국계약자가 설계전반에 대한 책임을 졌으나 영광원자력 3,4호기에서는 개념 및 기본설계는 외국 계약자가 책임을 지고 상세설계에 대한 책임은 국내업체가 졌으며, 울진원자력 3,4호기부터는 모든 업무를 국내업체가 책임지는 체제로 그 형태를 변경했다. 국내업체와 외국업체의 인력비율도 많이 바뀌어, 영광원자력 1,2호기 때는 우리나라 인력이 40% 수준에 불과하던 것이 영광원자력 3,4호기에서는 85%, 울진원자력 3,4호기에서는 90%, 영광원자력 5,6호기는 무려 95% 이상으로 꾸준히 증가하게 되었다.

**둘째, 원자로설비 기기설계 및 제작은**

기술자립 최종 목표가 플랜트종합설계보다는 다소 낮은 87% 수준이었다. 이 분야 역시 당초 목표는 거의 달성되어 경제성이 없거나 국내 관련산업 기술기준 향상이 필요한 일부분야를 제외하고는 전 기자재의 설계와 제작을 국내 기술진이 수행할 수 있게 되었다.

기기설계에서 일부 기술지원이 필요한 분야는 원자로 내장품, 제어봉 구동장치 정도이며 해외에서 구매하는 품목은 원자로 냉각재 펌프와 특수밸브 및 정밀계측기 등이다.

국내업체 기술수준 향상에 따른 계약내용의 변화를 살펴보면, 기술자립 추진전인 영광원자력 1,2호기에서는 탱크, 파이프 등 일부 기계분야에서만 국

내업체가 참여하였으나, 영광원자력 3,4호기에서는 원자로 냉각재펌프, 제어봉 구동장치, 원자로 내장품 및 계측제어 기기를 제외한 모든 기기를 직접 제작하였으며, 영광원자력 6호기에 이르러서는 제어봉 구동장치와 원자로 내장품까지도 우리손으로 제작하게 되었다.

플랜트종합설계와 마찬가지로 계약체계 또한 많은 변화가 있어 영광원자력 3,4호기부터는 한중이 주계약자가 되었고 그 후속기인 울진원자력 3,4호기부터는 기기설계에 대한 책임까지도 한중이 지는 체제로 발전하였다.

### 셋째, 터빈발전기 분야도

그동안의 기술자립 노력 결과 일부 기술자립이 필요한 계통설계, 습분분리기 설계 및 설계개선 분야를 제외하고는 대부분의 설계기술을 확보한 상태에 있고 제작분야는 기술자립을 이룬 상태이다.

국내업체의 기술수준 향상에 따른 계약내용 변화를 살펴보면, 기술자립 추진전인 영광원자력 1,2호기에서는 터빈 Shell & Hood 등 일부 분야에만 국내업체가 외국업체의 하청으로 참여하였으나, 영광원자력 3,4호기에서는 한중이 제작과 설계에 직접 참여하였으며 울진원자력 3,4호기에서는 터빈 제어계통, 발전기 여자계통 등을 제외한 모든 터빈발전기 부품도 우리손으로 직접 설계와 제작을 하고 있다.

터빈발전기 분야의 계약체계도 앞의 여러 분야와 마찬가지로 영광원자력 1,2호기에서는 외국계약자가 기기설계 및 제작 전반에 대한 책임을 지고 업무를 수행하였으나, 울진원자력 3,4호기부터는 한중이 모든 기기의 설계와 제작에 대한 책임을 지고 극히 일부 기자재만 해외에서 구매하는 형태로 업무를 수행하고 있다.

### 넷째, 원자로계통설계의 경우는

당초 목표인 95% 기술자립률 달성이 충분히 이루어졌다고 판단된다. 이는 설계에 참여하는 인력의 95%가 국내 기술진이라는 것을 의미하는 것으

로는 일부 공학적 판단능력이 미흡한 분야와 여러 분야가 관련된 연계사항 관리분야에 대해서만 외국 기술자립이 필요한 실정이다.

국내업체의 기술수준 향상에 따른 계약내용변화를 살펴보면, 기술자립 추진전인 영광원자력 1,2호기까지는 국내업체들의 업무참여 실적이 전혀 없었으나, 영광원자력 3,4호기에서는 국내업체가 직접 설계를 수행하거나 외국 기술전수업체와 공동으로 설계를 하는 방법으로 기술을 취득하였고, 그 결과 울진원자력 3,4호기부터는 모든 설계업무를 우리나라 업체가 주도적으로 수행할 수 있는 수준에 이르게 되었다.

따라서, 영광원자력 1,2호기까지는 외국계약자 설계전반에 대한 책임을 지고 업무를 수행하였으나, 울진원자력 3,4호기부터는 모든 책임을 국내업체가 지고 원자로계통 설계업무를 수행하게 되었다. 국내업체의 수행인력 비율을 살펴보면, 영광원자력 1,2호기의 경우 0%, 영광원자력 3,4호기는 약 65%, 울진원자력 3,4호기는 약 90%, 영광원자력 5,6호기는 약 95% 수준으로 국내 기술진 참여 비율이 꾸준히 증가한 것을 알 수 있다.

### 다섯째, 초기노심 원전연료 설계의 경우도

인허가 지원 등 극히 일부 분야를 제외하고 당초 목표대로 영광원자력 3,4호기와 동일한 1000MW급 PWR의 핵연료설계를 수행할 수 있는 능력이 충분히 확보되었다고 판단된다.

국내업체의 기술수준 향상에 따른 계약내용 변화를 살펴보면, 기술자립 추진전인 영광원자력 1,2호기까지는 국내업체들의 업무참여 실적이 전혀 없었으나, 영광원자력 3,4호기에서 원자로 계통설계와 같은 방법으로 관련기술을 습득한 결과 울진원자력 3,4호기부터는 국내업체 주도로 모든 설계업무를 수행할 수 있게 되었다.

따라서, 영광원자력 1,2호기까지는 외국계약자가 설계전반에 대한 책임을 지고 업무를 수행하였으나, 울진원자력 3,4호기부터는 국내업체가 모든 분

야에 대한 책임을 지고 해당업무를 수행하고 있다. 국내업체의 수행인력 비율을 살펴보면, 영광원자력 1,2호기의 경우 0%, 영광원자력 3,4호기는 87%, 울진원자력 3,4호기는 97%, 영광원자력 5,6호기는 전체 분야를 국내 기술진이 담당하는 것으로 되어 있다.

#### 여섯째, 원전연료 제조의 경우는

영광원자력 3,4호기와 동일기종의 원전에 소요되는 기술 100%를 확보했다고 본다. 현재 경제성 때문에 피복관, 계측관 및 지지격자 등을 해외에서 구매하고 있으나, CE형 원전연료 공급규모에 맞춰 이들 부품도 점차 국산화할 예정으로 있다. 계약체계는 최초의 CE형 원전연료를 공급하는 영광원자력 3,4호기부터 원전연료(주)가 책임을 지는 체제로 유지되어 왔다.

#### 일곱째, 발전소 시공의 경우는

여러 분야 중 국내업체의 참여가 가장 빨랐던 분야로 외국업체 Turn-Key 방식으로 건설하던 고리원자력 1,2호기부터 외국업체의 하청으로 참여하여 관련기술을 습득하였고 국내 최초의 Non Turn-Key 프로젝트인 고리원자력 3,4호기부터는 주계약자로 해당업무를 수행하였으며, 기술자립 프로젝트인 영광원자력 3,4호기부터는 외국의 도움없이 국내 기술진의 힘만으로 수행하고 있다. 그러나 이 분야도 공기단축을 위한 Module화 등의 신공법개발, 시공품질 향상 및 새로운 시공기술 개발 등에 끊임없는 노력이 요구된다 하겠다.

마지막으로 한전이 직접 업무를 수행하는 종합사업관리 및 시운전 기술자립 현황은 다음과 같다.

원전건설에 있어 종합사업관리는 오케스트라의 Conductor와 같은 역할로 대형 프로젝트인 원전건설 사업의 복잡다난한 각 분야의 업무들이 하나의 목표로 향해 나아갈 수 있도록 종합관리하는 것이다. 즉 원전건설을 위한 부지 조사, 환경영향 평가 등의 사전 준비업무에서부터 사업계획 수립, 공급계약 체결 등의 사업착수 업무는 물론 각각의 계약

자가 수행하는 설계·제조·시공 등 여러 분야의 업무가 하나의 작품으로 엮어질 수 있도록 종합사업관리를 하여 주어진 기간내 최적의 공사비로 품질요건을 충족하고 안전성이 보장되는 발전소를 건설하는 것이다.

종합사업관리분야 또한 앞서의 다른 분야와 마찬가지로 Turn-Key 프로젝트 시대에는 사업관리 업무 전반을 외국업체가 수행하였으나, 고리원자력 3,4호기부터는 한전이 사업관리 전반을 책임지고 단지 분야별 주계약자는 외국업체가 하는 방식으로 발전하였고 영광원자력 3,4호기에서는 이것이 더욱 발전하여 분야별 주계약자까지도 국내업체로 변경되게 된 것이다. 이러한 경험의 결과와 영광 3,4호기에서 적극 추진한 기술자립 노력에 힘입어 영광 5,6호기부터는 신기술 적용 등을 위한 극히 일부 분야에 대해서만 외국기술 지원을 받고 그 외의 모든 업무는 국내기술진이 수행하는 수준에 도달하였다. 단지 설계를 담당하는 국내업체의 해당분야에 대한 주계약자 경험이 충분치 않아 이 분야에 대한 사업주의 보다 향상된 기술관리 능력이 추가로 요구되는 점은 있다고 하겠다.

시운전은 국내에서 한전만이 유일하게 관련기술을 보유하고 있는 분야로 국내 최초의 원전인 고리원자력 1호기부터 시운전 팀을 구성, 해당업무를 직접 수행한 결과 기기 기능시험, 계통시험, 종합기능 시험은 물론 핵연료 장전, 출력시험, 성능시험에 이르기까지 시운전의 모든 업무를 한전이 책임지고 수행하고 있는 것이다.

## 4. 향후전망

우리나라의 원전 산업은 여명기인 1960년대를 지나 1970~80년대에 이르러 국가의 중화학공업을 바탕으로 급속한 발전을 이룩할 수 있었다. 이제 기술자립 최종목표를 눈앞에 두고 그 노력의 결정체인 영광 3호기가 지난 3월 본격적인 상업운전을

시작하였고 후속기인 영광원자력 4호기 또한 성공적인 시운전 시험을 마치고 금년 12월부터 100% 출력으로 전기를 생산할 예정으로 있다. 그리고 그 기술을 바탕으로 한 최초의 한국표준형 원자력발전소인 울진원자력 3,4호기가 경북 동해안에서 성공적으로 건설되고 있다.

이 한국표준형 발전소는 최신 설계와 최신 기준을 적용하고, 우리나라의 특성 및 한국인의 운전 관행에 맞도록 100여 가지 이상의 설계를 개선한 것으로 안전성과 경제성에서 기존 원자로에 비해 많은 발전을 이룬 것이 큰 특징이다.

원자로 손상확률을 미국내 기존 원전보다 1/10 수준으로 감소시키고 방사선 피폭량을 1/3 가까이로 낮추었으며 건설비도 미국, 일본 등의 선진국보다 저렴하고 건설기간 또한 외국 대비 5~10개월 짧게 소요될 전망이다.

이러한 우리의 원전건설 능력과 그동안 축적된 운영기술이 국제적으로 인정을 받아 지난 '93년에는 중국 광둥성 원자력발전소의 보수정비 용역을 수주, 해외진출의 교두보를 마련하였고 이를 바탕으로 최근에는 중국의 신규 원전건설을 비롯 베트남, 필리핀 등 원자력 발전사업의 참여를 적극 추진 중에 있다. 이와 함께 북한에 제공되는 발전소도 울진원자력 3,4호기를 모델로 한 한국표준형 발전소로 결정되었고 사업의 주계약자로 한전이 결정되어 관련업무를 추진중인 바 우리의 원전기술 무대는 이미 한반도를 벗어나 세계무대로 나간 것이

라 하겠다.

이 한국표준형 원전의 대를 이을 발전소가 개량형 경수로인 차세대 원자로이다. 차세대 원자로는 현재 건설중이거나 추진중인 울진원자력 3,4호기와 영광원자력 5,6호기, 울진원자력 5,6호기 건설이 완료된 후 다음 세대 원전에 적용될 발전소로 2007년경에 1호기 상업운전을 목표로 추진되고 있다. 차세대 원자로는 전기출력 135만kW급 원전 2기를 기준으로 하고 있으며 현재의 핵연료와 향후 개발예정인 고연소도 핵연료를 모두 사용할 수 있도록 설계된다.

이에 따라 차세대 원자로는 전기출력 100만kW급인 현재의 한국표준형 원전보다 경제성이 높아지고 핵연료 교체주기도 현재 12~18개월에서 18~24개월로 장주기 운전이 가능해진다. 차세대 원자로는 또한 국민들의 원자력 정서를 감안, 안전성을 획기적으로 제고시킨 것이 특징이다.

즉, 원자로심의 용융 중대사고 발생시 노심내의 냉각재를 신속하게 주입할 수 있도록 격납건물내에 핵연료 재장전수탱크를 설치하고 증기발생기 급수 상실 사고 때도 신속하게 대처할 수 있도록 비상복수기 탱크를 추가했으며 방사능이 외부로 누출되지 않도록 격납건물을 이중으로 건설한다.

기술자립이 바탕이 된 한국표준형 원전이 우리나라 원자력의 무대를 세계로 넓히는 기반을 마련하였다면 차세대 원전은 우리나라 원전기술이 선진화되는 제 2의 발전단계인 것이다.

○11월은 에너지절약의 달입니다.

겨울철 적정실내온도는 18~20℃입니다. 우리 주변에서 필요없이 에너지가 낭비되고 있는지 다시한번 점검합시다.