

원전 건설사업의 변천

원

자력발전소 건설사업은 장기간 전력수요 예측에서 출발하여 입지선정 및 확보, 대관 인허가, 재원확보, 설계, 기자재 구매, 시공 및 시운전 등 복잡한 과정을 거치는 거대한 종합 플랜트 사업이다.

사업의 특징을 보면 건설 초기투자비가 큰 자본집약적인 사업으로 장기간이 소요되고, 국내 관련산업에 끼치는 영향이 크며, 많은 노동인력을 필

요로 한다.

또한 기술집약적인 두뇌사업으로 인력개발이 필수적이며, 안전성이 중시되는 국제적인 관심사업이라 할 수 있다.

우리나라의 경우 1971년 고리원자력 1호기 건설이 착수된 이래, 약 25년간 9기의 원전이 가동되고 7기의 원전을 건설하고 있어, 세계 10위의 원전 보유국으로 부상하기까지 우리의 건설사업은 많은 변천을 거듭하여 왔다.

초창기에는 경험 및 기술의 부족으로 인하여 외국계약자 일괄발주방식(Turnkey Base)으로 건설을 시작하였으나, 그 이후 경험 및 기술의 축적으로 한국전력공사 주도 건설방식인 분할발주방식(Non-Turnkey Base)으로 전환하였으며, 영광 3·4호기에서는 국내 최초로 국내업체를 주계약자로 선정하여 기술자립의 기반을 구축하였다.

울진 3·4호기에서는 표준원전설

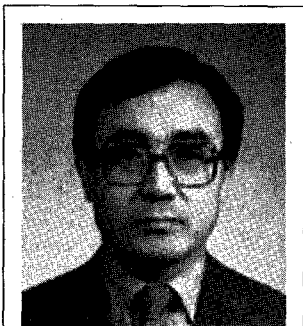
계개념을 도입하여 보다 안전성이 향상된 발전소를 건설하고 있다.

원자력건설사업방식

원전건설의 계약방식은 국내의 원전사업계획과 원전산업의 구조, 기술수준, 재무구조 및 사업주 사업관리능력과 경험에 따라 결정되며, 구분하면 일괄발주방식(Turnkey Base)과 분할발주방식(Non-Turnkey Base)으로 나눌 수 있다.

일괄발주방식은 주계약자(원자로설비 공급자 또는 종합설계 계약자)의 책임하에 사업관리, 주기기 및 보조기기 구매, 설계 및 시공업무를 수행 후 시운전을 거쳐 상업운전시 인계하는 방식으로, 원자력산업을 주도할 경험과 기술을 보유하지 못한 개발도상국이 통상 채택하게 된다.

이 방식은 계약자 위험부담을 줄이기 위한 예비비의 과다 책정, 기술전수의 어려움, 기자재 국산화 지연, 보



전 재 풍

한국전력공사
원자력건설처 처장

조 기자재의 품질저하 등의 문제점이 있다.

분할발주방식은 사업주가 전체 사업을 주도하여 원자력건설사업의 해외 의존도를 줄이고 국내 자립도를 높일 수 있는 방식으로, 발주자인 한국전력공사가 종합사업관리를 담당하고, 주기기 및 보조기기, 설계 및 감리 영역은 입찰방식에 의하여 풍부한 경험과 기술을 보유하고 있는 회사와 계약을 체결하게 된다.

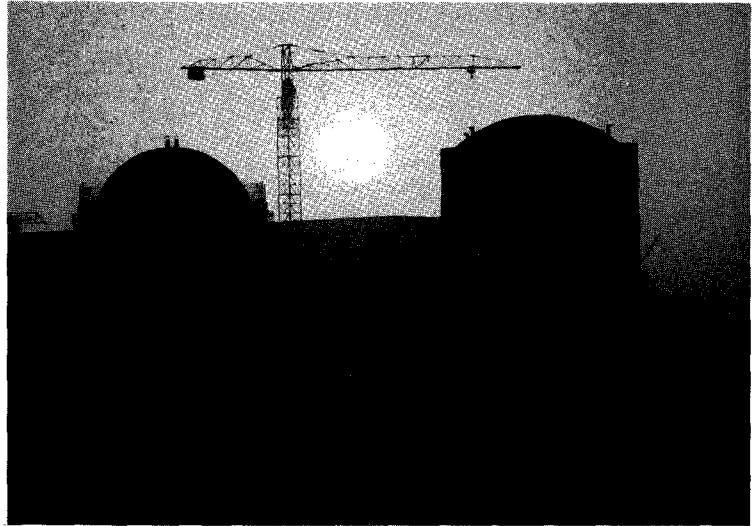
사업주가 직접 보조기기를 구매함으로써 양호한 품질관리가 가능하고 구입비용이 저렴해지며, 사업주의 종합공정관리로 인한 자체 노력으로 공기간축이 가능하다.

이 방식의 장점은 기술전수, 건설비 절감, 공기내 준공, 안전성과 성능확보, 설계기술 및 기자재 국산화의 촉진이라 할 수 있다.

우리나라의 원전건설 변천과정을 계약방식 및 기술의 축적에 따라 분류하면 여명기(1970년대), 기술축적시기(1980년대), 국내주도형 원전건설시기(1980년대 후반), 기술자립 및 성숙기(1990년대)로 구분할 수 있다.

원전건설여명기(1970년대)

원자력발전소 건설 및 운영관리의 주체로 선정된 한국전력공사(이하 한전)는 우리나라 최초의 원자력발전소 입지를 경남 양산군 장안면(현 장안읍) 고리로 확정하였고, 1970년 6월



고리원자력발전소

24일 한전과 Westinghouse사(이하 WH사)간 원자력발전소 건설계약이 체결되었다.

고리원자력 1호기는 가압경수로형(용량 587MWe)으로서 일괄발주방식으로 추진되었는데, 미국의 WH사가 주계약자로서 원자로계통의 설계 및 공급과 전반적인 건설책임을 담당하였다.

하도급 계약자로서는 영국의 English Electric(현 GEC)사가 터빈발전기계통의 공급 및 기기설치를, George Wimpey사가 토목 및 건축구조물 공사 감리감독을 담당하였다.

국내 하도급 계약자로서는 현대건설주식회사(이하 현대건설)가 원자로계통의 토건 및 기기설치공사를, 동아건설산업주식회사(이하 동아건설)가 터빈발전기계통의 토건 및 기기설치

공사를 맡았다.

이 공사는 당시 우리나라 역사상 최대규모의 단위사업이었으며, 전원이 너지의 주종을 이루고 있는 석유자원의 의존에서 연료 다변화로 전력공급의 안정을 도모하게 되었으며, 후속기 건설을 위한 기술축적의 기회가 되었다.

고리원자력 2호기는 고리 1호기와 같은 가압경수로형(용량 650MWe)으로 일괄발주방식으로 추진되었으며, 주계약자는 WH사로 원자로계통 설계 및 공급을, 하도급 계약자로서는 GEC사가 터빈발전기계통을, 국내 하도급 계약자로서는 현대건설이 원자로계통 시공, 동아건설이 터빈계통 시공을 맡았다.

가압경수로 도입에 이어 에너지원의 다원화에 유리한 천연우라늄 연료

(표 1) 원전건설 계약방식에 따른 변천

제1세대	⇒	제2세대	⇒	제3세대	⇒	제4세대
일괄발주방식 (Turnkey)		분할발주방식 (Non-Turnkey)		분할발주방식 (Non-Turnkey)		분할발주방식 (Non-Turnkey)
고리 1, 2호기 월성 1호기		고리 3, 4호기 영광 1, 2호기 울진 1, 2호기		영광 3, 4호기		울진 3, 4호기 영광 5, 6호기 울진 5, 6호기
외국업체 주도		외국업체 주도 국내업체 참여		국내업체 주도 외국업체 참여		국내업체 주도
기술의존기		기술습득기		기술자립구축기		기술자립 및 성숙기

를 쓰는 캐나다의 가압중수로형(용량 678.7MW)을 채택한 월성원자력 1호기 또한 일괄발주방식으로 추진하게 되었다.

캐나다원자력공사(AECL)가 설계·공급·설치·시운전 등 발전소 건설에 대한 전반적인 책임을 지고 원자로계통의 설계와 공급을, 영국과 캐나다의 Parson사에서 터빈발전기계통을, 국내 하도급은 고리 1·2호기와 같은 형태로 현대건설과 동아건설이 시공에 참여하였다.

이 시기는 국내 산업기술 수준이 원전설계나 기자재 제작에 참여하기에는 능력이 부족하던 때이므로 외국 주계약자가 사업관리, 설계, 기자재 공급·시공·시운전 및 품질관리 등 사업 전반에 대한 책임을 지고 수행했으며, 사업주인 한전은 사업관리 및 시운전분야에 부분적으로 참여하여 경험을 축적하였다.

시공분야는 국내 시공회사가 외국 하도급업체로 참여함으로써 기술축적의 기반을 구축하게 되는 시기였다.

국산화율은 미미하여 고리 1호기 8%, 고리 2호기 13%, 월성 1호기 14% 정도에 불과하였다.

월성원자력 1호기 추진당시의 일화가 있다.

1973년 6월 정부는 한국과학기술연구소의 현경호 박사를 단장으로 하고 한국원자력연구소(이하 한원연)와 한전이 참여한 중수로조사단을 구성하여 가압중수로형의 개발경위 및 실적, 건설 및 운전경험, 수출실적, 경제성, 외자조달의 가능성 등을 조사한 적이 있다.

그때 가압중수로의 기술지원 및 국내 기술의 토착화를 위하여 한원연에서 NRX형 원자로의 동시 도입을 추진하였다.

그러나 공교롭게도 1974년 7월 인도가 최초의 핵실험을 실시하였고, 이후 세계의 선진 원자로 공급국가들은 핵확산 책임을 캐나다로 묻게 되었는데, 그 이유는 캐나다가 이전에 공급한 NRX형 실험로인 CIRUS 원자로에서 생성된 플루토늄을 인도가 자체

기술로 재처리 후 핵실험에 사용함으로써 각국의 비난이 캐나다에 집중하게 된 것이다.

그 결과 캐나다 내에 원자력기술 수출반대 여론이 강력히 대두되었고, 핵확산금지조약(NPT) 비준 등의 조건을 내세우게 되었으며, 결국 NRX형 원자로 도입협상은 결렬되었다.

이는 우리나라 원자력기술의 국산화 내지는 토착화에서 볼 때 인도의 핵실험이 낳은 엉뚱한 손실이라 할 수 있다.

원전기술축적시기(1980년대)

1970년대에 거세게 몰아닥친 유류 파동을 경험하면서 국가 정책적인 차원에서 에너지원의 다변화를 모색하지 않을 수 없었다.

이에 따라 중공업 발전을 강력히 추진하던 정부정책과 병행하여 고도의 기술집약적인 원자력산업은 유류대체 에너지로서의 역할 뿐만 아니라 중공업 발전의 선도자로서의 사명을 담당

하게 되었다.

이러한 배경하에서 고리원자력 3·4호기의 건설에 대한 계획이 진행되었다.

이제까지의 원자력발전소 3기가 모두 일괄발주방식으로 건설된 600MW급인데 비하여, 고리 3·4호기부터는 사업자인 한전의 주도 아래 분할발주방식을 채택하였으며, 설비용량도 950MW급의 가압경수로로 대응량화하였다.

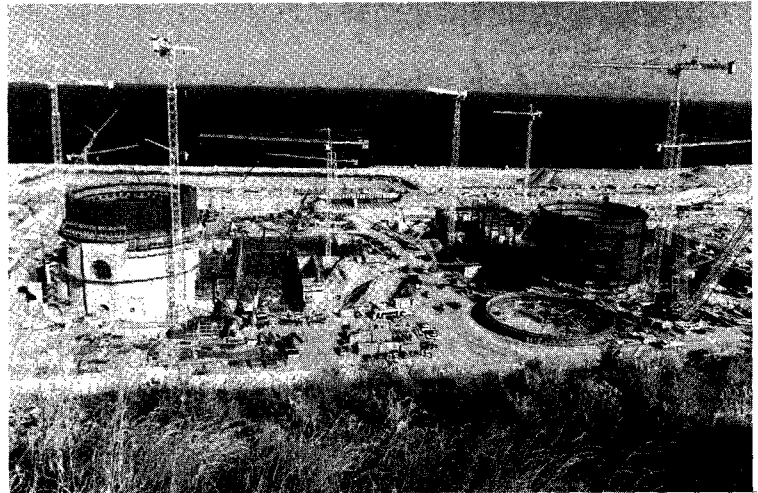
이것은 원전건설에 있어서의 국산화율의 제고와 기술축적을 위한 조치였으며, 경제규모의 확대에 따른 전력수요증가를 감안한 원전개발계획을 반영한 것이었다.

고리원자력 3·4호기는 원자로계통 및 원전연료 공급은 WH사, 터빈발전기계통은 GEC사, 설계 및 감리는 Bechtel사와 각각 계약을 체결하고, 보조기기는 Bechtel사의 협조를 받아 한전에서 직접 국내외 계약자에게 구매 추진하였다.

국내 하도급자로는 한국중공업주식회사(이하 한중)에서 발전설비 제작, 현대건설에서 원자로와 터빈발전기계통의 시공 및 부대설비 설치, 한국전력기술주식회사(이하 한기)에서 현장상세설계 및 감리지원을 하였다.

설계분야에 한기의 인력을 대거 참여시켜 종합설계 국산화율을 37%로 향상시키고 기자재 국산화율 29.4%를 이룩하였다.

영광원자력 1·2호기는 사업자주



울진원자력 3, 4호기 건설장면

도형으로 건설중이던 고리 3·4호기에서 터득한 기술과 경험을 바탕으로 최단 공기내에 경제성과 신뢰성이 높은 발전소의 건설을 위하여 가압경수로 2기를 복제하여 건설하기로 결정하였다.

원자로계통 및 터빈발전기계통의 설비공급은 WH사, 설계기술용역은 Bechtel사, 주설비시공은 현대건설과 계약을 체결하였다.

국내 하도급자로는 한중에서 발전설비제작을, 한기에서 현장설계 및 감리지원을 하였다.

고리 3·4호기에 이어 기술자립을 위하여 한전이 주도한 사업으로 설계, 제작 및 시공 등 전분야에 걸쳐 국내 기술진이 대거 참여하여 설계부분은 44%, 기자재 국산화율 34.9%를 이룩함으로써 원자력발전소 건설기술자

립의 토대를 마련하고 관련산업의 육성에도 크게 이바지하였다.

울진원자력 1·2호기는 원전기술과 원전연료의 공급원을 다원화하고 정치, 경제, 기술협력의 증진 등을 고려하여 프랑스의 설비를 도입하였다.

별도 플랜트 종합설계계약이 없으며 1차계통(Nuclear Island)과 2차계통(Conventional Island)으로 구분 계약하고 각 계통별 계약자가 설계업무를 담당하였다.

주계약자는 1차계통 설비는 Framatome사, 2차계통 설비는 Alstom사, 사업관리 자문용역은 Ebasco사, 주설비 토건공사는 동아건설에서 담당하였다.

국내 하도급은 한중에서 전반적인 공사관리와 원자로계통 기전공사들, 동아건설에서 터빈발전기계통 기전공

특 집

사를 실시하였다.

현장설계분야에 한기의 인력을 대거 참여시켜 종합설계 국산화율을 46%로, 기자재 국산화율을 40.15%까지 높였으며 시공분야는 완전 기술자립을 이룩하였다.

국내주도형 원전건설시기 (1980년대 후반)

원전건설의 2세대가 마무리된 이후 1980년대 중반에는 전력 예비율의 과다보유 등으로 5 ~ 6년여에 걸친 원전 건설사업의 휴면기가 형성되었다.

이 당시 국회, 언론을 비롯한 여론은 곧 다가올 전력부족사태는 염두에 두지 않은 채 당시의 전력예비율과 과다에 따른 책임론 및 비판의 화살을 퍼붓기에 여념이 없었다.

그러던 중 1980년대 후반에 들어서면서 경기호황 및 문화생활 향상에 따른 전력수요의 폭증으로 전력공급능력이 한계에 이르고 전력부족사태가 예상되면서 원전건설의 필요성이 재대두되었고, 이에 따라 한전은 새로운 원전건설사업을 추진하면서 기존의 건설방식에서 탈피한 제3세대 원전건설의 첫발을 내디디게 되는데, 이는 우리나라 원전건설사에 커다란 전환기라 할 수 있다.

제3세대 원전건설사업의 가장 큰 특징은 고리 1호기부터 울진 2호기까지 총 9기의 원전건설사업 및 운영중축적된 경험과 전반적으로 향상된 국

(표 2) 기술자립 역할분담 내용(영광 3, 4호기 기준)

참여업체	분 야
한국전력공사	종합사업관리
한국전력기술(주)	플랜트종합설계
한국중공업(주)	원자로설비 및 터빈발전기 설계/제작
한국원자력연구소	원자로 계통설계 및 원전연료 설계
한국원전연료(주)	원전연료 제조
현대건설(주)	시 공

내산업 기술수준을 바탕으로 외국업체의 의존에서 과감히 탈피하고, 국내 주도의 원전건설사업을 이룩하기 위해 국내 전문업체에게 역할을 분담토록 하여 주계약자로서의 책임을 수행하고, 외국업체는 분야별 핵심기술을 하도급 형태로 참여·공급토록 하였다.

이와 동시에 외국 하도급업체의 핵심기술 취득을 위하여 기술전수계약을 별도로 체결하고 원전 기술자립과 전력공급능력 확충을 병행하는 사업을 추진하게 되었다.

기존 외국 의존의 틀에서 벗어나 국내주도의 원전사업을 추진하게 됨에 따라 한전은 물론 국가경제에도 많은 공헌을 하게 되는데 그 효과를 살펴보면 다음과 같다.

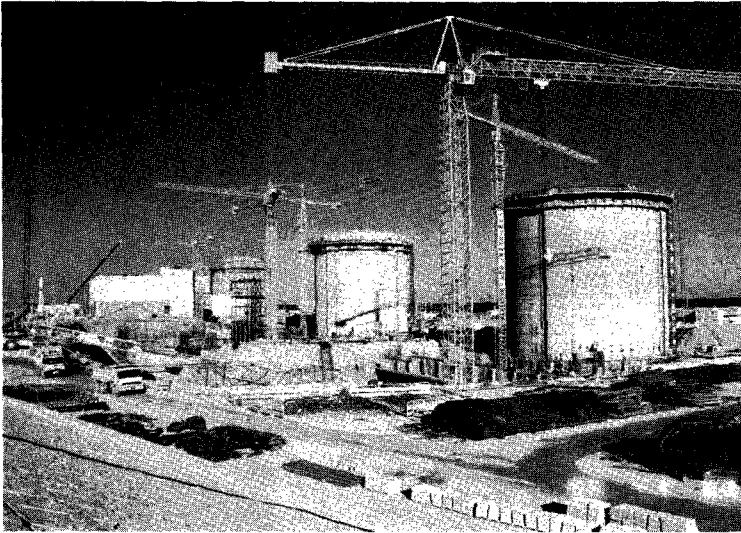
첫째, 한전의 사업관리능력 증대 및 국제적 위상 증대, 둘째, 국내 기술자립기반 구축에 따른 국제경쟁력 제고, 셋째, 국내 기술능력 향상 및 국산화비율 증대, 넷째, 국내 기술진의 직접설계·제작 및 건설의 주도 수행으로 외화절감, 다섯째, 건설공기 단축 및 비용절감, 여섯째, 관련 국내 산업의

발전에 기여, 일곱째, 차세대원전 자체 개발 및 원전산업의 수출기반 구축 등을 들 수 있다.

국내업체 주도로 추진된 영광원자력 3·4호기는 사업주인 한전이 종합사업관리를 수행하고, 플랜트 종합설계용역은 한기, 주기기는 한중, 핵연료는 한국원전연료(주)가 공급하도록 계약을 추진하였고, 시공부분은 원전건설경험이 풍부한 현대건설이 수행하고 있다.

플랜트 종합설계의 주계약자인 한기는 발전소 설계업무를 기본설계와 상세설계로 구분하여 기본설계는 국외 하도급계약자인 미국의 S&L사가 주도 수행하고 한기는 이에 참여하여 기술습득을 도모하였고 자체수행이 가능한 상세설계분야는 한기의 주도로 업무를 수행하였다.

주기기의 공급계약자인 한중은 원자로설비의 공급에 있어 원자로계통설계와 원자로설비 설계/제작으로 구분하여 계통설계는 국내 기술진의 기술능력과 경험이 취약함을 감안하여 외국업체인 미국 CE사 책임하에 한중이 설계업무에 참여하여 기술을 습



월성원자력 2, 3, 4호기 건설장면

독하고, 설계지원 및 자문으로 한원연이 참여하였다.

원자로설비의 기기설계는 미국 CE사 책임하에 한중이 설계업무에 참여하였고, 기기제작분야는 제측제어(I&C), 원자로 내부구조물(Reactor Internal), 원자로 냉각재펌프(RCP) 등 특정 분야를 제외한 대부분의 기기를 한중이 수행하였다.

터빈발전기의 설계 및 제작은 한중이 미국 GE사를 참여시켜 설계업무분야는 GE사 책임하에 한중 참여형태로 업무를 수행하고, 기기제작분야는 여자기, 제어계통, 일부 터빈 블레이드를 제외한 대부분의 업무를 GE사 지원하에 한중이 책임 제작하였다.

영광 3·4 호기의 초기 노심 원전 연료 설계 및 제조는 한국원전연료

(주)가 CE사 책임하에 설계하고 한원연이 참여하여 기술습득을 하였으며, 연료의 제조는 한국원전연료(주)가 제작·공급하였다.

기술전수를 위해서 별도로 체결된 기술전수계약은 외국업체가 특허를 포함한 모든 기술자료와 전산 프로그램 그리고 계약기간 중의 신개발기술도 제공하는 획기적인 것이었으며, 이 계약에 따라 도입된 기술은 국내의 후속원전 기술에도 기술료의 추가부담 없이 적용할 수 있도록 하였다.

이렇듯 다양한 형태로 국내 기술진들과 제작진들이 참여하여 설계하고 제작되어진 영광 3, 4호기 발전설비는 1989년 6월 착공한 이래 1995년 1월말 현재 실적 98.28%의 종합공정률로 순조로운 공정을 보이고 있으며,

각각 1995년 3월과 1996년 3월 준공을 목표로 마무리 작업에 박차를 가하고 있다.

특히 영광 3호기는 지난 1995년 2월 4일 성공적인 시험운전을 거쳐 100% 출력에 도달함으로써 최초의 국내업체 주도로 건설된 원전의 안전성에 관련한 모든 의혹을 불식시키고 신뢰도를 입증시키는 계기가 되었다.

이로써 우리의 원자력사업은 원전 기술 자립의 기반을 구축하게 되었고 후속기부터는 국내기술만으로 원자력 발전소를 건설할 수 있는 자신감과 확신을 갖게 되었다.

70만kW급 가압중수로형인 월성 2·3·4호기 또한 원전 에너지 다원화를 위한 경수로 원전의 보완노형으로서 기투자된 1호기 공용설비를 활용하고 1호기 운전중 입증된 경제성, 기기성능의 우수성, 높은 이용률에 따른 안전성과 신뢰성을 고려하여 지속적인 건설사업으로 추진하고 있다.

중수로의 경우 그 특수성 및 기술기반의 미약함으로 인하여 한전이 종합사업관리를 주도하되 캐나다원자력공사(AECL)에 의해 종합설계용역 및 NSSS를 공급토록 계약을 체결하였다.

중수로 또한 국내기술 자립을 위해서 플랜트 종합설계 분야에 한기, NSSS 설계 및 제작분야에 한중과 한원연을 참여시켜 기술전수에 힘쓰게 하였고, 터빈발전기설비는 국내업체인 한중이 해외 하도급자인 미국 GE

사와 설계 및 제작을 하고 있다.

발전설비의 시공은 2호기는 현대건설에서, 3·4호기는 (주)대우에서 각각 수행하며 1990년대 후반기의 안정적인 전력공급을 목표로 하고 있다.

지금까지 살펴본 바와 같이 원전건설 제3세대는 설계, 기기제작, 구매, 시공 및 시운전 등 원전건설사업 전반에 대한 기술자립의 기틀을 다지기 위한 기간으로 볼 수 있으며, 취득한 기술을 통하여 동일노형, 동일용량의 원전을 건설할 수 있는 기본기술을 습득한 것으로 평가될 수 있다.

영광 3·4호기의 건설로 원전기술자립은 95%, 기자재의 국산화 비율은 74%로 크게 신장되었으며 외국자본 비율은 17%로 축소시키는 등 괄목할 만한 성과를 얻었다(표 2).

기술자립 및 성숙기(1990년대)

국내 주도형으로 수행된 원전건설 사업을 지속적으로 추진하여 완전한 기술자립에 의한 대한민국 고유의 모델 개발을 위한 노력으로 원전건설사업은 1990년대부터는 새로운 국면에 접어들게 되었다.

영광 3·4호기로부터 구축된 기술자립기반으로 안전성, 경제성, 운전 및 예방장비의 편의성 제고를 위한 설계개발기술을 지속적으로 반영하여 동일기종(동일노형, 동일용량)의 원전을 반복건설하기 위한 기본기술(Replication)을 확고히 하기 위해 올

진원자력 3·4호기를 한국표준형 모델로 선정하고, 영광 5·6호기 및 울진 5, 6호기를 동일기종으로 반복 건설하기로 결정하였다.

설비용량이 각각 1,000MW급인 울진 3·4호기는 영광 3·4호기를 통해 습득한 기술과 연계하여 기술의 토착화를 도모할 수 있는 국내 최초의 한국표준형 원전설계의 시발점이 되었다.

주요계통 및 설비는 영광 3·4호기를 참조하여 원전 설계표준화 사업연구 결과에 따른 설계개선 내용과 외국의 신기술을 설계에 적극 반영함으로써 보다 안전성이 향상된 발전소로 건설하고 있다.

울진 3·4호기의 계약형태는 기술이 완전히 자립된 시공분야를 제외하고 영광 3·4호기와 동일한 업체에게 취득한 경험을 충분히 활용할 수 있도록 하여 신뢰성 향상 및 경제성을 확보하도록 하였다.

발전설비의 시공은 토건공사와 기전공사를 분리 발주하여 토건공사는 동아건설, 기전공사는 한중이 참여하여 1992년 5월 착공후 순조로운 공정을 진행하고 있다.

한국표준형 원전의 후속기인 영광 5, 6호기 및 울진 5·6호기는 선행호기의 설계개선사항과 국내의 신기술을 지속적으로 반영·보완함으로써 세계적으로 가장 안전하고 신뢰성 있으며 경제적인 발전소 건설을 목표로 2000년대 전후의 안정적인 전력공급

을 위해 사업을 추진중에 있다.

또한 최근 진행되고 있는 북한 경수로 지원사업에도 한국표준형 경수로인 울진 3·4호기와 동일한 노형을 건설하도록 추진하고 있어 국내 뿐만 아니라 북한·중국 등 해외에도 한국표준형 원전의 기술과 설비가 수출될 것으로 기대된다.

맺음말

지금까지의 우리나라 원전건설은 정부의 국산화 확대 및 기술자립정책에 따라 한국전력공사가 적극적으로 국내 전문업체들을 보호·육성하여 현 수준까지 도달할 수 있었다.

그러나 금년 WTO체제 출범 및 1997년 1월 정부 조달시장도 개방되어 건설 및 기자재 조달시장은 무한경쟁시대에 돌입하고 서비스 시장도 멀지않아 개방될 것이므로, 더이상 국내 원자력 전문업체들을 보호할 수 없을 뿐더러 95% 정도까지 기술자립된 상태에서는 사업주 주도형 기술자립은 포화상태에 도달하여 업체 주도형의 자발적 기술개발이 절실한 실정이다.

이에 따라 국내 원전 전문업체들도 현실안주식의 사고방식에서 과감히 탈피하여 현재까지 축적해온 기술과 경험을 바탕으로 적극적인 기술개발과 국제경쟁력을 확보해야만이 다가오는 2000년대에 원전기술선진국으로서 우리의 위상을 드높일 수 있을 것이다. ☞