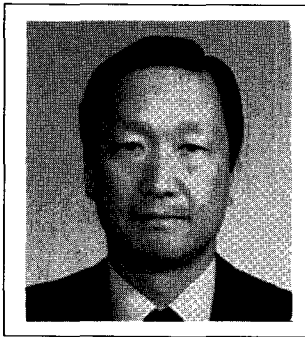


영광원자력 4호기 시송전과 그 의의

허숙

한국전력공사 영광원자력본부장



영광원자력 3·4호기는 세계 원전시장의 침체속에 착수된 사업으로, 당시 치열한 국제경쟁입찰에서 탈락한 경쟁사의 비방성 주장과 사업초기부터 제기된 안전성에 대한 술한 논란과 어려움 등을 뚫고, 10여년에 걸친 건설여정 끝에 95년 3월 31일 영광 3호기가 상업운전을 개시하였고, 4호기도 95년 7월 18일 시송전을 시작한 후 준공을 향한 막바지 발걸음을 계속하고 있다.

영광 3·4호기의 두가지 목표

우리나라는 78년 4월 고리원자력 1호기의 상업운전을 개시로 세계 21

번째의 원자력발전국가 대열에 합류하면서 원자력시대를 열게 되었다.

당시 국내 원전기술은 전무한 형편으로 외국업체가 원전건설의 주계약자가 되어 설계에서부터 준공에 이르기까지 모든 책임을 지는 일괄발주(Tern-key)방식으로 이루어졌다.

따라서 이와같은 방식으로 건설된 고리 1·2호기와 월성 1호기에 있어서 우리의 참여분야는 부지조성, 단순 노무인력 제공 등 극히 미미한 수준에 불과하였다.

그러나 80년대에 건설되어 현재가 동중인 고리 3·4호기, 영광 1·2호기 및 울진 1·2호기는 기술습득을 위한 방편으로 한국전력공사가 사업관리를 주도하면서, 외국업체가 주계약자가 되고 국내업체가 하도급형태로 참여하는 분할발주(Non Tern-key)방식을 채택함으로써 원전사업에 대한 기술과 경험을 습득하여 원전기술이 싹트는 발판을 다지게 되었다.

이를 바탕으로 한국전력공사는 원전 건설사업의 기술자립에 자신감을 갖게 되었고, 정부에서도 원자력발전

에 대한 경제성 제고방안(동력자원부 84. 7)의 일환으로 영광원자력 3·4호기 건설사업을 통해 95년말까지 원전건설 기술능력의 95%를 확보한다는 목표를 설정하게 되었다.

이에 따라 영광 3·4호기는 건설공기 준수와 기술자립 추진이라는 두가지의 사명을 띠고 사업을 착수하게 된 것이다.

1. 전원설비의 적기확보

전남 영광의 금정산 자락에 영광 1·2호기와 나란히 터를 잡은 영광 3·4호기는, 최초의 국내업체 주도사업으로 대내외의 관심과 시선이 집중된 가운데 89년 6월 1일 기초굴착을 착수하여 건설공사의 첫발을 내딛게 되었다.

건설초기에는 분당·일산 등 신도시 건설에 의한 건설경기 호황과 근로자들의 생활수준 향상에 따른 3D 직종 기피현상이 맞물리면서 인력난이 더욱 가중되어 일부 구조물공사의 지연을 초래하게 되었다.

92년 10월 30일에는 4호기 가압기

를 포함한 일부 기자재가 해상운송중 기상악화로 발전소 앞바다에 침수되는 사고가 발생되어, 한때 건설공정이 심각한 위기에 봉착되는 등 많은 난관을 겪었다.

그러나 일일공정촉진회의(아침 6시부터) 개최, 사안별 Task Force팀 운영, 감독요원 전진배치, 설계·자재문

제 긴급해결체제 운영 등으로 공정촉진에 총력을 경주하는 한편, 품질배가 운동을 전개하는 등 최상의 품질을 확보하기 위한 노력을 꾸준히 병행하였다.

그렇게 추진한 결과 3호기가 적기에 준공되었고, 4호기도 계획공정대비 약 3개월 정도 빠른 지난 7월 18일

동일기종·동일용량의 발전소를 자체적으로 설계·제작·시공할 수 있는 기술능력을 95년까지 95%를 확보하는 것이다.

이는 한국표준형 원전의 개발로 이어져 영광 3·4호기가 한국표준형 원전의 기준모델임을 의미하는 것이다 <그림>.

(표 1) 영광 3·4호기 주요공정 달성일

구분	영광 3호기	영광 4호기
기초굴착공사	89. 6. 1	89. 6. 1
최초 콘크리트 타설	89. 12. 23	90. 5. 26
원자로 설치	91. 12. 18	92. 9. 8
시운전 수전설비 가압	92. 5. 14	93. 4. 23
상온수압시험 착수	93. 11. 10	94. 9. 28
고온기능시험 착수	94. 3. 28	95. 2. 13
최초 연료장전	94. 9. 9	95. 6. 2
시송전	94. 10. 30	95. 7. 18
준공	95. 3. 31	(96. 3. 31 : 원계획)

시송전을 개시하여 최대전력 수요시기인 금년도 하절기 전력공급에 크게 기여하였다.

2. 기술자립의 추진

원전건설 기술자립 추진 기본방향 및 목표는 영광 3·4호기 사업수행을 통하여 영광 3·4호기와

기술자립의 추진을 위해 영광원자력 3·4호기는 주계약자를 국내업체로 선정하여, 하청업체로 참여한 외국업체와 기술자립 위주의 공급계약(설계·기자재) 체결 및 별도의 기술자립을 추진토록 했다.

이에 따라 기술수준 향상은 물론 기자재 국산화의 제고에 기여하였고, 금년말까지 원전기술 자립목표 95% 달성이 무난하리라 전망된다(표 2).

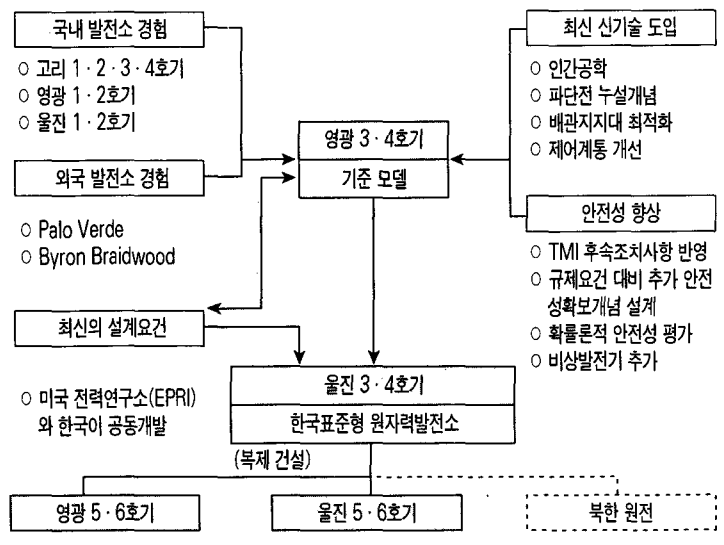
또한 우리나라의 원전기술 자립시는 선진 외국에 비해 상당히 늦어진 상태이나, 우리의 원전사업의 출발이 늦었던 점을 감안하면 성공적이라 할 수 있다.

영광원자력 3·4호기를 통한 원전기술의 자립을 계기로 우리의 기술능력도 비약적으로 향상되었을 것이라고 믿는다(표 3).

영광 4호기 시송전과 그 의의

1. 시송전 수행과정

시송전이란 발전기에서 생산된 전력을 수요처로 송전하기 위해 전력계통에 최초로 연결하는 것을 말한다.



(그림) 영광 3·4호기와 한국표준형 원전의 관계

〈표 2〉 분야별 기술자립 현황

구분	참여업체	기술자립성취도 (95. 10월말 현재)	기술자립목표 (95년말)	
종합사업관리	한국전력공사	97.9%	98%	
기자재제작	원자로설비제작	한국중공업(주)	86.0%	87%
	터빈/발전기제작	한국중공업(주)	98.0%	98%
설계	플랜트종합설계	한국전력기술(주)	94.5%	95%
	원자로계통설계	한국원자력연구소	94.6%	95%
	원전연료설계	한국원자력연구소	99.4%	100%
원전연료제조	한국원전연료(주)	100%	100%	
시공	현대건설(주)	99.9%	100%	
종합		94.7%	* 95%	

* 기술도입계약 : 원자로설계·제작 : 컴버스헌 엔지니어링사(CE)
 터빈/발전기설계·제작 : 제너럴 일렉트릭사(GE)
 플랜트종합설계 : 서전트 앤 런디사(S&L)

〈표 3〉 국가별 원전기술 자립연대

국명	착수	자립단계	비고
미국	50년대 초반	60년대 초반	· 자체 개발
영국	50년대 초반	70년대 초반	
프랑스	50년대 중반	80년대 초반	
일본	60년대 초반	70년대 중반	
한국	80년대 중반	90년대 중반	

영광 4호기는 95년 6월 9일 연료장전을 완료한 후 다음과 같은 시험단계를 거쳐 시송전을 수행하였다.

가. 초임계 도달 : 95. 6. 30

- ① 원자로 초임계(Initial Critical) 도달 후 저온영출력(Cold Zero Power : RCS 온도 160℃, 압력 158kg/cm²)에서 원자로 특성시험을 수행하여 Control Element Assembly(CEA)의 제어능과 등은 온도계수 등의 측정값이 운전조건에 타당함을

- 입증
- ② 원자로 출력단계별 상승 및 증기 발생기에서 고온·고압의 증기 발생
- 나. 터빈 기동준비 및 예열
- ① 터닝기어 운전(약 3rpm)
- ② 윤활유·증기 밀봉·제어유 계통, 복수기 진공 정상화
- ③ 터빈 예열
- ④ 고압터빈 Stop 밸브 누설를 시험 수행
- 다. 터빈발전기 기동(Speed-up)

① 운전방법

- 자동(ATS)/반자동 모드 중 선택
- Back-up 모드는 비상시(자동/반자동 기능 상실시) 사용
- * ATS 기능 : 터빈 기동/정지시 터빈의 기계적 응력·온도·비틀림 등을 감시하여 자동으로 터빈속도 조절

② 터닝기어 Roll Off(정지)

③ 터빈속도 1,700rpm에서 과속도보호시험 수행

라. 최초계통병입 : 95. 7. 18

- ① 원자로 출력 12% 상태에서 터빈속도 1,800rpm 도달후 전력계통과 발전기를 연결시키는 차단을 투입하여 계통에 병입(Synchronization)시킴
- ② 계통병입조건 : 전력계통에 충격을 주지 않고 발전기와 터빈 Blade를 보호하기 위하여 발전기와 연결되는 전력계통과의 주파수(60Hz)·전압·위상이 일치되어야 함

2. 시송전과 그 의의

가. 초기개시로 전력공급에 기여
 금년도 최대전력수요는 지난 8월 18일 15시 사상최대인 2,987만8천 kW를 기록한 바 있는데, 당시 영광 4호기가 약 80만kW를 공급함으로써 전력 예비율을 7%로 유지하는 등 전력공급난 완화에 크게 기여하였다.

이는 영광 4호기 시송전이 계획보다 약 3개월 정도 조기에 이루어짐에

따라 후속출력시험을 순조롭게 진행할 수 있었기 때문이다.

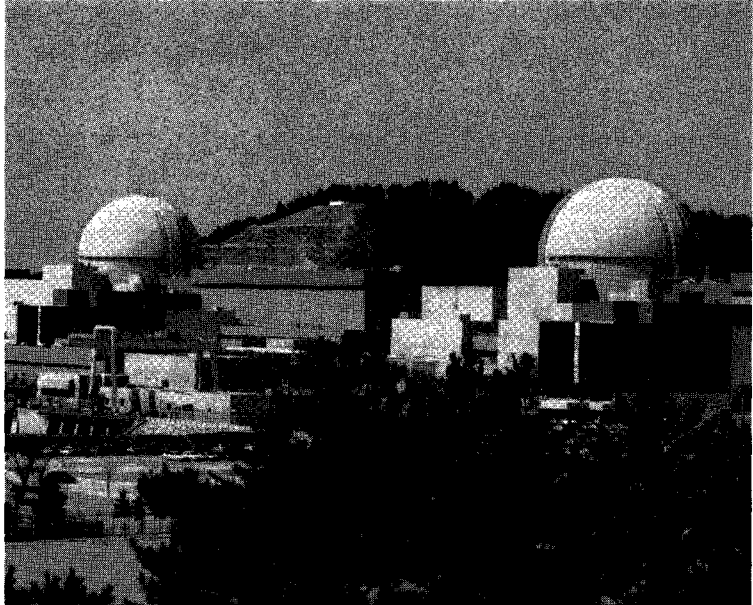
즉 시송전 후에는 원자로 출력을 20%, 50%, 80%, 100%까지 단계적으로 증가시키면서 발전소 정상운전상태와 과도운전상태에 따른 운전시험을 수행하였으며 이 과정에서 전력을 생산·공급하게 된 것이다.

시험과정 중에는 원자로 출력 15%에서 수행한 소내의 전원 상실시 원자로 냉각재계통의 자연순환만으로 안전하게 원자로를 정지시키는 기능확인시험과 원자로 출력 50%, 100% 단계에서 부하 탈락시 원자로와 터빈의 정지없이 소내전원을 공급하면서 무부하 운전을 계속할 수 있는 기능을 확인하는 부하탈락시험(Local Rejection Test)도 포함되어 있다.

나. 한국표준형원전의 안전성 입증

영광원자력 3·4호기는 CE사의 원자로계통 표준설계(System 80형)를 채택하여 건설된 용량 1,300MW급의 미국 팔로버디 발전소를 참조발전소로 하여 우리나라 실정에 맞게 용량을 1,000MW급으로 축소설계함으로써, 이에 대한 안전성 문제가 반핵단체 뿐만 아니라 국회·언론 및 발전소 인근 주민 등에 의해 지속적으로 제기되어 왔다.

그러나 영광원자력 3·4호기의 안전성은 우리나라의 기술검토포럼인 한국원자력안전기술원이 약 2년여에 걸쳐 검토·확인한 바 있고, 아울러 안전성에 관한 신뢰증대를 위해 미국



영광원자력 3·4호기

원자력규제위원회(NRC)가 추천한 여러 기관들 가운데 원전안전성 검토 경험이 풍부한 아이다호국립연구소(INEL)를 선정하여 설계특성에 대한 검토를 의뢰한 결과 미국의 안전성 허용기준을 만족하고 있다는 결론을 내린 바 있다.

또한 국제원자력기구(IAEA)도 영광원자력 3·4호기 안전성 검토를 수행하여 안전성이 충분히 확보되었음을 인정한 바 있다.

전문기관에 의한 이러한 일련의 안전성 확인은 영광 3호기가 95년 3월 31일 상업운전을 개시한 후 정상운전을 계속중인데, 이어 4호기 또한 지난 7월 18일 시송전을 개시함으로써 증명되었다.

이는 우리의 원전건설 기술능력과 기술자립을 대내외에 다시 한번 입증시킨 것으로 한국표준형 원전의 안전성을 실질적으로 입증하는 계기를 마련한 것이다.

이에 따라 국내 원전산업의 국제경쟁력 강화로 원전기술의 해외진출에도 큰 성과를 가져올 것으로 예상되며, 특히 대북 경수로 지원사업에도 긍정적인 효과를 가져올 것으로 기대된다.

향후전망과 과제

영광 4호기는 앞서서도 설명한 바와 같이 시송전 개시후 출력단계별 특성시험 및 100% 출력시험을 완료하

(표 4) 영광 3·4호기 설비개선내용(고리 3·4호기 및 영광 1·2호기 대비)

□ 안전성 측면

개 선 내 용	개 선 효 과
TMI 후속조치 전항목 적용	안전성 증대
가압기 용량 증대	과도시 대응능력 향상
강흡수 제어봉 및 약흡수 제어봉 사용 - 축방향 출력분포 조절 용이	핵연료 건전성 유지
가연성 독물질로 GD(가돌리움) 사용	선출력 감소로 안전성 향상
주제어실 설계에 한국인의 표준체위를 적용한 인간공학적 요건 반영	인간실수방지 효과
원격정지제어반 설계를 주제어실과 연동조작개념으로 설계	인간실수방지 효과
안전감압계통(SDS) 추가설계	중대사고 방지 및 완화기능
비상전원 추가설치(AAC D/G)	안전성 증대

□ 신뢰성 측면

개 선 내 용	개 선 효 과
선행호기 설비개선사항 반영(174항목)	보수성 및 신뢰도 향상
해수 사용기기 축소설계(복수기·기기냉각수·열교환기·터빈건물)	기기 부식방지
해수사용 열교환기를 취수구 부근에 설치하여 터빈건물내 해수유입 방지	발전소 침수방지
핵연료 재장전수 탱크를 핵연료건물 내부에 Vault 형태로 설치	방시능 오염방지
주급수계통에 탈기기 설치	2차측 수질개선
기기냉각수계통 열교환기 및 펌프 소형·다중화 설계 열교환기 : 50%×3대/계열 펌 프 : 50%×3대/계열	안전성 및 신뢰성 향상
보조급수계통 펌프 소형·다중화 설계 모터구동펌프: 50%×2대 디젤구동펌프: 50%×2대	안전성 및 신뢰성 향상

고 최종시운전단계인 성능보증시험을 위해 95년 9월 23일 계획된 간이정비 작업에 들어갔다.

간이정비작업은 통상적으로 성능보증시험 이전에 이루어지는데 이는 시운전에 사용된 필터류와 같은 일부 부품을 제거·교체하고 시운전과정에서 취득한 제반설비 및 운전관련 데이터

를 바탕으로 필요개소를 최종조정 또는 정비함으로써 최적의 운전조건 유지와 최상의 성능을 발휘할 수 있도록 하여 성능보증시험 이후 안정적인 상업운전에 만전을 기하는데 있다.

정비작업이 예정대로 완료되면 95년 12월 6일부터 운전을 재개하여 성능보증시험을 수행하고, 계획준공일인

96년 3월 31일보다 조기에 상업운전을 개시할 수 있을 것으로 전망된다.

영광 3호기와 더불어 4호기가 상업운전을 개시하게 되면 발전소 전종사자는 영광원자력 3·4호기의 안정적이고 효율적인 운영에 위해 다음 과제의 실현에 중점적인 노력을 기울여야 할 것이다.

1. 원전안전문화의 정착

최근 국내에서 발생한 각종 대형 참사들은 天災가 아닌 人災에 기인한 것으로 우리 사회에 값비싼 교훈과 소위 '불안 증후군'이라는 안타까운 현상을 안겨 주었다.

이와 같은 제반현상들을 보면서 원전을 운영하고 있는 우리의 입장에서는 이러한 대형 참사들의 영향으로 국민들의 원전 안전성에 대한 불신의 폭이 덩달아 확산되거나 앓을까 하는 우려가 앞서가는 것이 솔직한 심정이다.

국내 원전의 경우 안전성과 품질을 최우선으로 하는 엄격한 인허가조건과 까다로운 기술규격 준수 및 철저한 품질관리하에 건설되어 발전소의 안전성과 건전성이 확보되었을 뿐만 아니라, 원전 운영기술도 94년도 영광 1호기 이용률 세계 1위를 포함하여 원전운영 17년이라는 짧은 기간중에 이용률 세계 1위 5회 달성이라는 위업을 이룩하는 등 세계적 수준임을 과시하고 있다.

그러나 이러한 성과는 발전소 준공 이후의 운영과정에서도 안전성과 신

(표 5) 영광 4호기 방사능준위 상승현황

구 분	기 준	시운전 기간중 방사능준위
운 전 제 한 치	1 μ Ci/cc	0.3 μ Ci/cc 이하
6시간내 가동정지	60 μ Ci/cc	

뢰성 확보를 위해 많은 정성과 노력으로 땀흘려 일한 대가인 것이다.

따라서 신규발전소인 영광원자력 3·4호기의 향후과제는 안전성을 최우선으로 하는 원전안전문화를 정착시키는 일이라 할 수 있다.

또한 원전의 신뢰성을 향상시키기 위해서는 불시정지건수를 최소화하고 한국표준형 원전의 기준모델로서 후속기에 기술전수를 하기 위해서도 운영 및 보수경험을 통한 표준화 작업 등 다음과 같은 사항들을 적극 추진해 나가야 할 것이다.

가. 발전설비 운영·관리 최적화

- ① 설계에서부터 운영단계에 이르기까지 철저한 품질관리 및 보증활동 수행
 - ② 설비의 주기적 점검 철저
 - ③ 고장의 사전예방을 위한 예방정비활동 강화
 - ④ 노후화 설비의 적기교체 및 설비보강 등 적극 추진
 - ⑤ 국내의 신기술 도입·개발
- 나. 불시정지 및 사고 미연에 방지
- ① 고장 또는 사고의 예방과 위기대처능력 함양을 위한 운전원 자질향상
 - ② 대내의 교육시설 및 기자재를 활용(시뮬레이터 등)한 실무교육

강화

③ 종사자들의 자긍심 향상

다. 각종 절차 표준화

운영 및 보수경험과 최신기술을 운영 절차서와 보수지침 등에 적극 반영

2. 원전홍보의 강화

부존자원이 부족한 우리나라의 실정에서는 경제성장에 따라 날로 급증하는 전력수요에 대처하고 양질의 값싼 전기를 공급하기 위해서도 경제성과 부수적 장점들(준국산 에너지 확보, 산업발전, 이산화탄소 배출 및 산성비 완화에 지구환경보전에 기여)을 겸비한 원자력발전의 필요성이 더욱 커지고 있다.

그러나 원전에 대한 국민들의 인식 부족과 반핵단체의 선동, 남비현상 심화 등으로 원전부지 추가확보가 심각한 문제로 대두되고 있고 가동중이거나 건설중인 발전소도 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다.

일례로 최근 언론보도로 부각된 영광 4호기의 방사능준위 상승문제를 보면, 발전소 운전중 방사능준위 상승은 일정범위까지 허용되는 것으로 영광 4호기의 경우 허용치를 벗어나거나 방사성물질이 외부로 유출된 것이 아닌, 1차측 폐회로내 즉 원자로냉각

재의 방사능준위 상승에 불과하다.

그럼에도 불구하고 방사성물질이 외부로 유출되고 원인규명 및 보수(금번 간이정비작업중 조치예정)를 위해 운전을 긴급 정지한 것처럼 알려져, 한국전력공사는 그 후유증에 시달리고 있는 형편이다(표 5).

이러한 현상은 한국전력공사가 원자력발전에 대한 대국민홍보를 위해 전시관 운영, 발전소 견학, 홍보책자 발간, 언론매체 이용 등의 다양한 홍보활동을 전개하고 있으나, 언론 및 국민의 이해를 돕기 위한 사전 정보제공 노력의 미흡, 일부 언론의 부정확한 보도, 그리고 원전에 대한 이해부족에서 오는 국민들의 막연한 불안감에서 비롯된 것으로 보인다.

이제 우리나라는 규모면에서 세계 10위의 원전 보유국(운전중 10기, 건설중 6기)으로 성장하였고, 우리의 힘으로 한국표준형 원전(울진 3·4호기)을 개발·건설중에 있을 뿐 아니라, 중국 廣東원전에 원전운영기술을 수출하고 있는 단계에 이르고 있다.

따라서 이러한 위상에 걸맞게 우리의 원전 기술능력을 정당하게 평가하고 원전운영의 투명성 확보와 정보공개에 보다 적극적인 노력을 경주하는 등 지금까지 우리가 추진해온 원전홍보 전략을 재점검·보완하여 보다 효과적이며 정교한 홍보활동을 펼쳐 원자력에 대한 국민들의 이해증진과 공감대를 형성시켜 나가야 할 것이다. ☉