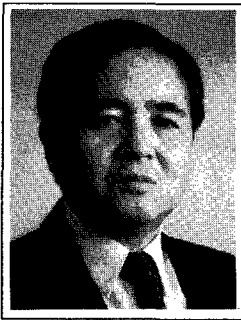


# 월성 원전 3호기의 준공

## -사업의 경위와 그 의의-

유 무 선

한전 월성원자력본부 본부장



**국** 내 원전 건설사상 최단축 공 기인 51개월만에 상업 운전 (98. 7. 1)에 돌입한 월성 3호기의 상업 운전 기념 행사가 지난 7월 14일 한국전력공사 장영식 사장과 캐나다원자력공사, 한국중공업(주), 한국전력기술(주), 한전기공(주), (주)대우 등 관련사 임직원들이 참가한 가운데 경주시 양남면에 위치한 월성원자력본부에서 거행되었다.

92년 11월 전 국민의 기대와 여망 속에 역사적인 기공식을 가졌던 월성

3호기가 마침내 상업 운전을 개시함으로써 우리나라는 총 13기 1,102만 kW의 원전 설비를 갖추고 명실상부한 세계 9위의 원전 보유국으로 부상하게 되었다.

70만 kW급 가압중수로(CANDU)형 원전으로 건설된 월성 3호기는 우수한 운전 실적을 보이고 있는 월성 1·2호기에 이어 세번째로 준공되는 중수로형 원자력발전소로서, 작년 7월 월성 2호기 준공으로 원자력 발전 설비 1,000만kW를 돌파한 데 이어 1년만에 월성 3호기가 준공됨으로써 원자력 발전 설비 2,000만kW 시대를 향한 첫 발걸음을 힘차게 내딛게 되었다.

월성 원자력 3호기는 온갖 어려운 환경 속에서도 최신 기술 기준과 강화된 인허가 요건을 반영하였으며, 그간의 운전 경험을 반영하여 안전성과 신뢰성 확보를 최우선으로 하여 건설되었다.

2000년대의 안정적인 전력 수급과

원전 기술의 세계화에 크게 이바지할 것으로 확신하면서 그간의 건설 추진 내용과 월성 3호기 준공이 갖는 의의를 살펴본다.

### 사업 추진 경위

월성 3호기는 가압 경수로가 주종을 이루고 있는 우리 나라의 원자력 정책상 경수로 원전의 보완 노형으로서, 에너지원의 다변화 및 90년도 후반의 안정적인 전력 공급을 목적으로 91년 10월에 수립된 장기전원개발계획에 따라 70만kW급 가압중수로형 원전(CANDU PHWR)으로 건설을 추진하게 되었다.

월성 3호기는 1년 시차를 두고 건설중인 월성 2호기의 각종 자료, 건설 기법, 부대 시설 등을 효과적으로 활용하여 안전성 및 신뢰성 제고는 물론, 건설 공기 단축도 가능하도록 2호기와 동일 노형으로 건설을 추진하게 되었다.

## 사업 운영 기본 체계

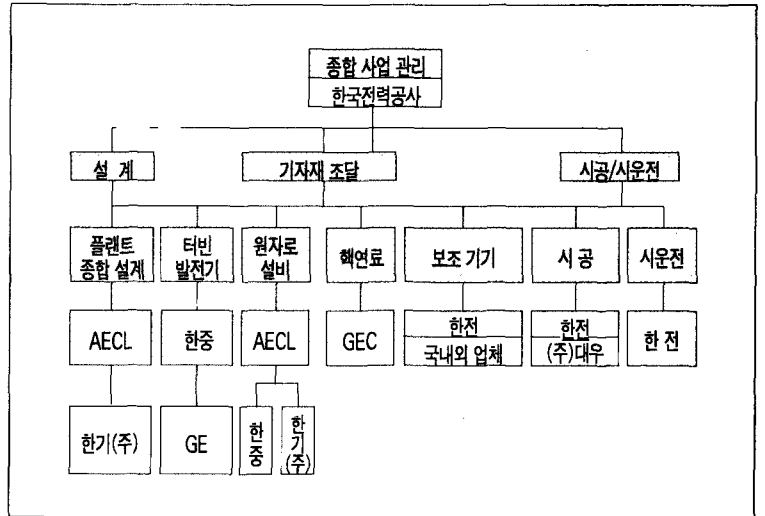
캐나다원자력공사(AECL)에 일괄 도급 방식(Trun-key)으로 발주하여 건설한 바 있는 월성 1호기와는 달리 월성 3호기는 한국전력공사가 직접 사업 관리를 주도하였고 중수로 기술 전수를 위하여 분야별로 국내의 업체에 분할 발주하였다.

91년 11월 월성 3호기 건설 기본 계획이 확정되어 같은 해 12월 제 229차 원자력위원회에서 건설 추진 계획이 의결됨에 따라 한전은 92년 2월 (주)대우와 주설비 공사 시공 계약을 체결하였으며, 같은 해 9월에는 캐나다원자력공사와 플랜트 종합 설계 및 원자로 설비 공급 계약을, 그리고 한국중공업(주)와 터빈 발전기 공급 계약을 각각 체결하였다.

특히 캐나다원자력공사와 플랜트 종합 설계 및 원자로 설비 공급 계약 시 기술 전수 협약을 체결하여 중수로 기술 자립의 기반도 마련하였다.

## 중수로형 원자로의 특징

경수로는 발전소를 정지하고 연료를 교체하는 데 비하여 중수로형 원자로는 운전중에 연료를 교체할 수 있어 이용률이 높은 장점이 있으며, 83년 4월 상업 운전 개시 이후 15년간 운전중인 월성 1호기가 이용률 세계 1위를 세 차례나 기록하여 세계



(그림 1) 월성 3호기 사업 운영 기본 체계

원전 보유국들의 이목을 집중시킨 바 있다.

또한 중수로로는 천연 상태의 우라늄을 성형 가공하여 연료로 사용하므로 경수로에서 사용하는 연료처럼 농축 가공과 같은 공정을 거칠 필요가 없으므로, 이미 중수로형 원전 연료에 대한 성형 가공 기술이 국산화되어 운전중인 월성 1호기에 사용되고 있고, 향후 기술이 진보됨에 따라 경수로에서 사용한 연료를 중수로에 재사용할 수 있는 가능성도 있어 에너지 자립과 에너지원 다변화에도 크게 기여할 것으로 본다.

## 사업 추진 공정

월성 3호기는 사업 계획 수립 단계에서 전원 확보의 시급성을 감안하고 월성 1호기와 동일 설계 개념 적용에 따른 이점을 고려하여 사업 준비 기간 및 건설 공기가 선행 호기와 비교하여 대폭 단축 조정되었다.

최초 콘크리트 타설로부터 상업 운전까지의 기간이 월성 1호기는 62개월, 월성 2호기는 57개월이었으나,

(표 1) 월성 1호기 이용률

													단위 : %	
84년	85년	86년	87년	88년	89년	90년	91년	92년	93년	94년	95년	96년	97년	
66.8	*	79.7	92.9	79.4	91.0	85.9	91.1	86.8	100.0	82.6	83.7	81.0	102.1	

주 : \* : 이용률 세계 1위 달성

월성 3호기는 초단축 공기로 공정 계획이 수립되었으며, 인허가 등으로 인한 지연 요인을 건설 단계에서 성공적으로 극복하고 마침내 51개월이란 국내의 원전 건설 사상 최단 기간의 건설 기록을 수립하게 되었다.

월성 3호기는 건설 당시 3D 직공의 하나인 건설직 종사를 기피하는 사회적인 추세로 건설 인력 확보가 어려웠을 뿐 아니라 생산성 또한 저조하였고, 사업 준비 기간도 선행 호기에 비해 크게 부족하였으며, 원자력에 대한 안전성 요구가 증가하여 인·허가 요건이 강화되는 등 시공여건이 매우 어려웠다.

더구나 국산화율이 월성 1호기의 약 14%에 비해 월성 3호기는 69%에 달하여 당초 월성 1호기 기본 설계를 복제하기로 하였으나, 사실상 재설계가 불가피하여 그로 인한 설계 지연 또는 설계 간섭 해소에 예상외의 많은 시간이 소요되었다.

이러한 어려운 여건을 극복하고 단축된 공기를 준수할 수 있었던 것은

한전 및 참여사 모두가 발전소를 적기에 준공시키겠다는 확고한 신념을 가지고 한전 중심의 통합관리팀(IMT)을 운영하여 한전과 참여사 상호간 긴밀한 협조 체제를 구축하여 사업 관리에 효율을 기함은 물론, 자발적이고도 적극적인 목표 달성을 유도하였고, 선행 호기 건설 경험과 설계 자료를 최대한 활용하여 불필요한 재시공을 최소화하는 등 체계적이고도 적극적인 단축 공기 달성 노력이 있었기 때문이다.

**주요 공사 추진 내용**

**1. 본관 기초 굴착**

93년 8월 정부로부터 제한 공사 승인을 취득하여 본관 기초 굴착 공사를 착수하였다.

그러나 제한 공사 승인은 원전의 안전성에 관련된 구조물을 제외한 비안전성 구조물 공사로 공사 범위를 제한하고 있기 때문에 본관 구조물이 위치하는 지역에 대한 기초 굴착과

원자로 건물 하부 기초 공사에 한하여 공사가 시행되었다.

**2. 원자로 건물 외부 구조물 공사**

원자로 건물 외부 구조물은 안전성 관련 구조물로서 정부의 건설 허가가 필요한 구조물이다.

촉박한 건설 공기임에도 불구하고 건설 허가가 계획보다 1개월 이상 지연되어 94년 3월에 원자로 건물 기초 콘크리트 타설을 착수하였다.

원자로 건물 외부 구조물 공사를 단계별로 살펴보면, 맨 처음 기초 슬라브를 축조하고, 외벽 및 돔 순서로 진행하여 내부 구조물 공사로 이어지는데, 이중 가장 어려운 공사가 원자로 건물 외벽 축조 공사였다.

원자로 건물 외벽은 어떤 경우에도 방사성 물질이 원자로 건물 외부로 누출되지 않도록 콘크리트 시공 이음부를 없애기 위하여 슬립폼(slipform)이라는 특수한 공법을 사용하였다.

이 공법은 일단 콘크리트 타설을 착수하면 공사 완료시까지 연속적으로 타설해야 하므로 사전에 자재, 장비 및 인력 등이 완벽하게 준비되어야 함은 물론, 구조물의 신뢰성 확보를 위해 엄격한 품질 관리가 요구되므로 한전과 시공사는 공사 전담반을 구성, 2조 2교대로 24시간 시공 관리 체제를 운영하여 품질 확보에 만전을 기하였다.

원자로 건물 외벽 구조물 공사에는 철근 1,200톤, 콘크리트 7,190m³가

호기	주요 공정 추진 일정				건설기간	기초 굴착
	최초 콘크리트	원자로 설치	연료 장전	준공		
1	◇ 78.2.16	◎ 21 79.11.15	☆ 54 82.8.20	○ 62개월 83.4.22	62개월	77.5.3
2	◇ 92.9.25	◎ 19 94.4.14	☆ 49 96.11.6	○ 57개월 97.6.30	57개월	91.10.29
3	◇ 94.3.17	◎ 19 95.10.10	☆ 46 97.12.30	○ 51개월 98.6.30	51개월	93.8.12

(그림 2) 월성 1·2·3호기 건설 기간

소요되었는데 하루에 약 2m(시간당 약 8cm)씩 콘크리트 타설을 계속하여 3주만에 외경 43.6m, 두께 1.07m, 높이 42.29m 인 철근 콘크리트 구조물 축조를 완료하였다.

밤낮으로 24시간 연속으로 공사가 진행된 당시의 공사 현장은 마치 지역 사령관의 지휘하에 한치의 오차도 없이 일사분란하게 움직이는 전쟁터와도 같았다.

원자로 건물 외벽을 성공적으로 타설한 후 상부 돔 및 내부 구조물 공사를 착수한지 10일만에 건설 허가 조건 사항 이행과 관련하여 정부로부터 공사 정지 명령을 받아 20일간 공사가 정지되었다.

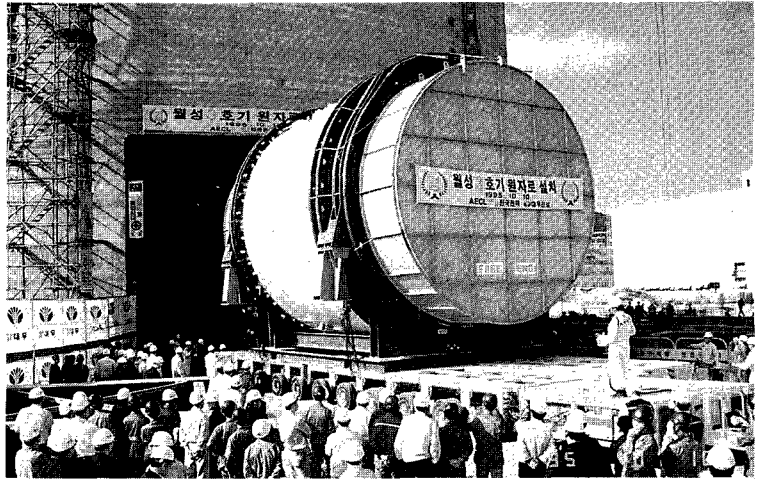
축박한 공기, 건설 허가 지연에다 공사 정지마저 발생하여 더욱 어려움을 겪게 되었다.

### 3. 원자로 건물 내부 구조물 공사

원자로 내부 구조물은 설계의 복잡성, 작업 공간의 협소 및 철저한 품질요건 준수 필요 등으로 공정 운영상의 유연성이 극히 제한적이어서 공기 지연 발생시 만회가 매우 어려운 실정이었다.

원자로 내부 구조물 공사에서 추가적으로 공기 지연 발생시는 준공 일자를 지킬 수 없을지도 모른다는 위기감 속에서 하루하루 시간과의 싸움이 연속되었다.

매일 공사 추진 실적을 점검하고, 만에 하나 발생할지도 모르는 문제점



월성 3호기 원자로 설치(95. 10. 10). 원자로는 길이 7.82m, 외경 7.65m인 수평 원통형으로 본체 중량은 280톤이며, 연료관 조립 후 중량은 480톤에 달한다.

을 사전에 발견, 대처하기 위하여 선행 호기에서 발생한 재반 문제점을 면밀히 검토하여 월성 3호기에서 재발되지 않도록 사전에 재발 방지 대책을 수립, 추진하여 공정 만회에 걸림돌이 되는 재작업 발생을 최소화하였고, 관련사는 도면 및 기자재 적기 공급을 위해 모든 수단과 방법을 강구하는 등 시공 공정을 적극 지원하였다.

한전 및 관련사의 각고의 노력이 결실을 맺어 원자로 및 증기발생기가 설치될 주요 구조물 공정이 만회되어 후속되는 기전 공사가 적기에 추진될 수 있었다.

### 4. 국내 최초 심층 취·배수 구조물 설치

발전소 운전 중 기기 냉각을 위해 사용된 해수의 온배수화가 해양 생태계 및 환경에 미치는 영향을 최소화

하고 발전 효율을 높이기 위하여 국내 최초로 심층 취·배수 구조물을 96년 4월 착수하여 98년 4월 축조 완료하였다.

취수구 지역에는 총길이 203m의 Curtain Wall을 설치하여 수심 5~10m에서 냉각수를 취수함으로써 표층수 취수시보다 최대 1.6°C 낮은 냉각수를 발전에 이용하여 발전 효율을 높이고, 배수구 지역에는 총길이 120m의 심층 배수 구조물을 설치하여 발전에 이용한 온배수를 수심 6~8m 깊이에서 심층 배수, 온배수 확산 범위를 축소하여 해양 생태계 및 환경에 미치는 영향을 최소화 하고 있다.

### 5. 원자로 설치

원자로는 고도의 안전성과 신뢰성이 요구되는 핵심 설비로서 본체와 연료관을 별도 제작하여 분리된 상태



월성 3호기의 핵연료 장전. 중수로형 원자로는 운전중에 연료를 교체할 수 있어 이용률이 높다.

로 공급되며, 기자재가 현장에 도착하면 온도, 습도 및 청결도를 엄격히 유지 관리할 수 있도록 특별히 설치된 조립 건물에서 본체와 연료관 조립 작업이 이루어졌다.

월성 3호기 원자로는 95년 5월 현장에 도착한 후 약 5개월의 조립 기간을 거쳐 95년 10월 원자로 건물에 설치되었다.

원자로 조립 건물에서 원자로 건물 내로 반입시 레일 및 받침대 사용으로 운반에 장시간 소요되었던 월성 1회기와는 달리 바퀴가 120개 달린 600톤 용량의 특수 운반 장비(Transporter)를 사용하여 흔들림 없이, 단시간 내에 정확하게 반입하였다.

원자로는 길이가 7.82m이고 외경이 7.65m인 수평 원통형으로 본체 중량은 280톤이며 연료관 조립 후 중

량은 무려 480톤에 달한다.

### 6. 터빈 및 발전기 설치

터빈 건물 기초에 대한 콘크리트 타설을 94년말 완료하고 이어 철골 구조물을 조립하여 95년 9월 310톤 용량의 터빈홀 크레인을 설치하였다.

96년 1월에 저압 터빈 케이싱 설치에 착수하였고, 96년 9월 발전기 설치에 착수하여 본격적인 터빈 발전기 설치에 돌입하였다.

### 7. 체계적인 기전 공사 및 계통 인계 추진

월성 3호기 기전 공사 본격 추진을 앞둔 97년초 선행 월성 2호기 시공 경험을 심층 분석하여 기전 공사 계획을 전면 재검토하게 되었다.

무엇보다도 시운전을 적극 지원하기 위하여 적어도 2호기와 동일하게

나 그 이상의 수준을 유지하도록 3호기 주요 공정 추진 일정을 재조정하고, 이를 뒷받침하기 위한 토건 공사 마무리 일정과 기전 공사 추진 목표를 재설정하였다.

이 과정에서 약 140여개의 중간 Milestone이 새로이 선정되었고 각각 추진 목표가 설정되었으며, 설정된 목표에 대한 추진 실적을 정기적으로 분석, 관리하였으며, 시운전 추진 여건에 따라 우선 순위를 적기에 조정, 추진함으로써 원활한 기전 공사 추진은 물론, 계통 인계 및 시운전 적기 추진에 크게 기여하였다.

### 8. 시운전

원자력발전소 건설에 있어 가장 중요한 설비 안전성과 신뢰성 확보를 위해 공사 기간중에도 여러 단계의 시험과 정부 규제 기관의 엄격한 검사 활동이 이루어졌으며, 특히 주요 기기가 설치되고 건설 공사가 마무리 단계에 접어들면서 97년 7월 1차 계통에 대한 수압 시험을 시작으로 계통을 직접 운전하면서 설계 요건을 확인하는 시운전 시험이 본격 착수되었다.

특히 월성 3호기는 연료 장전 이후 진행되는 본격적인 시운전 시험을 국내의 중수로 시운전 기록을 통틀어 최단 기간에 성공적으로 완료함으로써 높은 발전소 운영 수준을 다시 한번 확인하는 계기가 되었다.

완벽한 시운전 수행을 위하여 연료

장전 3년전인 95년 1월 시운전반을 조기에 발족하여 시운전 요원에 대한 국내의 교육 실시로 시운전 요원을 정예화하는 한편, 1,162건에 달하는 시험 절차서를 사전에 준비하였다.

특히 96년 4월부터 9개월 동안 핵심 시운전 요원 32명을 월성 2호기에 파견하여 시운전 경험을 습득, 월성 3호기 시운전에 반영되도록 하였다.

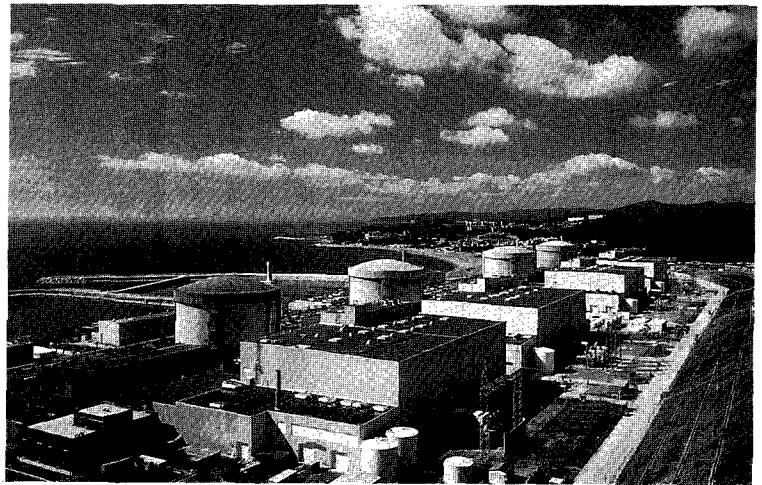
### 월성 3호기 준공의 의의

#### 1. 국내 원전 건설 사상 최단기 건설 추진

선행 호기의 경험을 체계적으로 분석, 반영하고 최선의 건설 관리 기법을 적용, 효율적으로 사업을 관리하여, 국내 원전 건설 사상 최단기에 건설을 완료함은 물론, 철저한 품질 관리와 시운전을 통해서 안전성 및 신뢰성을 동시에 확보함으로써 그 동안 축적된 건설 기술 수준을 한 차원 높이는 계기가 되었다.

#### 2. 국내 중수로 원전 기술 축적에 기여

캐나다원자력공사와의 기술 전수 협정 체결로 중수로 원전 핵심 분야 설계 및 제작에 국내 업체가 참여하여 설계 및 제작 기술을 이전 받음으로써 발전소 유지 보수 및 설비 개선을 국내 기술로 수행함은 물론, 향후 후속기 건설시 국내 업체가 건설을



가동중인 월성 1~3호기와 건설중인 월성 4호기. 월성 3호기는 70만kW급 가압중수로형 원전으로서 최신 기술 기준과 강화된 인허가 요건 및 그간의 운전 경험을 반영, 안전성과 신뢰성 확보를 최우선으로 하여 건설되었다.

주도할 수 있도록 중수로 원전에 대한 국내 기술 기반을 구축하게 되었다.

#### 3. 중수로 기술 수출 기반 구축

한국의 중수로 원전 건설 및 운영 기술의 우수성을 현장 확인한 중국 진산 원전은 월성 3호기를 참조 발전소로 채택하고 한전과의 협력을 적극 희망함에 따라 한전은 98년 4월 중국 진산 원전과 시운전 요원 훈련 계약을 체결하여 98년 5월 25일 월성 원자력본부에서 진산 원전 시운전 요원에 대한 교육을 착수하였다.

이로써 세계 원전 시장에서 가장 규모가 크고 전망이 밝은 중국 원전 사업에 본격 진출할 수 있는 계기가 마련되었다.

그리고 (주) 대우는 모든 설계 자료를 3차원(입체)적으로 관리할 수 있는 3D CAD(3 Dimension

Computer Aided Design)시스템을 개발, 활용하여 시공 간섭 사항을 사전에 해결하고, 최적의 시공 방법을 검토·적용하여 단축 공기 달성에 크게 기여하였을 뿐 아니라, 중수로 시공 기술을 성공적으로 축적함으로써 중수로 시공 기술의 해외 수출 전망도 매우 밝게 하고 있다.

#### 4. 경제성 있는 전력 공급으로 국가 경제난 극복에 기여

경제성 있는 전력을 안정적으로 공급하여 국가 경제난 극복에 기여 월성 3호기 상업 운전으로 연간 총 50억kWh의 전력 생산으로 약 770만 배럴의 석유 대체 효과가 기대되어 IMF시대 국가 경제난 극복에 크게 이바지 할 것으로 기대되며, 건설중에 연 400만명의 고용 증대 효과로 지역 경제 활성화에 크게 이바지하였다. ☞