

# 월성 2·3·4호기의 건설 경험

김 원 기

한전 월성원자력본부 건설소 기전 부소장

## 요점

월성 2·3·4호기 건설은 성공적인 프로젝트로 평가된다. 2호기와 3호기가 계획된 준공 일자에 맞춰 상업 운전을 개시하여 현재 잘 가동되고 있고, 4호기 역시 목표 준공일에 맞춰 상업 운전을 개시할 수 있을 것으로 예상되기 때문이다.

이러한 성공은 한전과 주계약자인 AECL, 하도급 계약자인 KOPEC, 한중, CANATOM간의 원활한 협력에 힘입은 바 크다고 생각되며, 특히 CANDU 원자로의 설계사인 AECL의 긴밀한 협조는 높이 평가된다.

그러나 프로젝트를 수행하는 데 예상치 못한 경제성 악화의 어려움을 겪기도 했는데, 그 주요 요인은 다음 사항들이다.

- 한국의 거품 경제 상황으로 건설 기간 중 노무자 임금의 급격한 상승
- 월성 1호기 설계 복제율의 저하

- 독립적인 2개 건설사의 참여(월성 2호기는 현대, 3·4호기는 대우)로 인한 다수 호기 건설에 따른 잠재적인 이점 감소

- 기타 과다 설계, 의사 결정 지연, 국산 기자재 가격 상승 등 한편 이 프로젝트를 통해 우리 나라는 몇 가지 주목할 만한 부수적인 이득을 얻을 수 있었다.

즉 설계와 제작 두 분야 모두에서의 높은 국산화 비율로 이전까지 주로 PWR 경험 위주였던 국내 원자력 산업계가 캐나다 기술 기준에 근거한 중수로 기술에 대한 경험을 갖게 됨으로써 기술 고도화에 크게 도움이 됐고, 또 월성 3·4호기를 참조 발전소로 건설중인 중국의 진산원자력공사(Qinshan Nuclear Power Company, QNPC)와 긴밀한 관계를 맺는 계기가 되어 그 일차적 결실로 현재 60명의 QNPC 직원들이 월성 현장에서 한전으로부터 시운전 훈

련을 받게끔 됐다.

## CANDU 6 건설 공기

대형 프로젝트에서 품질을 저해하지 않고 경제성을 높이기 위해서는 최적 건설 공기가 정해져야 한다.

이런 관점에서 CANDU 6의 최적 건설 공기가 어느 정도인지는 검토해 볼 가치가 있다.

〈표 1〉은 CANDU 6 발전소들의 건설 공기를 보여주고 있다.

금번 프로젝트의 최초 호기인 월성 2호기는 그 건설 과정에서 여러 가지 곤혹스런 문제들에 시달렸다.

즉 vendor data 지연에 따른 설계 지연, 공사 작업간의 간섭, 기기 공급 지연, 절차상의 오류, 설계 변경에 따른 제작업 등으로 계획 공기 달성이 매우 어려울 정도였다.

원전 건설 경험이 풍부한 현대건설이 이러한 산적된 문제들을 적절히

〈표 1〉 CANDU 6 원전 건설 공기

프로젝트	최초 콘크리트 타설	상업 운전 개시	건설기간(월)
월성 1호기	1978년 2월	1983년 4월	62
월성 2호기	1992년 9월	1997년 6월	57
월성 3호기	1994년 3월	1998년 6월	51
월성 4호기	1994년 7월	1999년 6월	59
진산 1호기	1998년 6월	2003년 3월	57

극복해냈고 그 결과 월성 2호기를 계획 건설 공기인 57개월 내에 준공하는 데 큰 도움이 되었다.

현대건설이 월성 2호기 시공을 담당한 것은 사업주인 한전 입장에서 볼 때 운이 좋은 것이었다.

월성 3호기의 경우 그 건설 공기인 51개월은 유사한 대형 건설 사업과 비교해 볼 때 가장 짧은 것이라고 할 수 있다.

원전 건설 경험이 없는 대우건설(월성 3·4호기 계약자)이 이런 상황의 사업을 담당하는 데 대해 처음에는 많은 사람들이 우려했다.

하지만 대우건설은 타건설 분야에서 축적한 풍부한 건설 경험과 역량을 응용하면서 작업 시간과 인원의 증강, 돌관 공사 시행, 새로운 공정 개발 등 모든 어려움을 극복하고 기록적인 짧은 공기 내에 사업을 성공으로 이끌었다. 역시 대우답다는 느낌을 주기에 충분했다.

현대와 대우뿐 아니고 월성 프로젝트에 참여한 모든 관련 기업들은 국가 전력 형편상 어쩔 수 없이 정해진 단축된 공기를 맞추기 위해 많은 어

려움과 부담을 짊어지고 이를 극복하기 위한 고통과 시달림을 감수해야만 했다.

지나친 공기 단축은 결국 그 목표 달성을 위한 추가적·소모적 투자가 뒤따르고, 따라서 프로젝트에 참여한 모든 사람과 조직에게 적잖은 부담과 고통이 되어 결코 바람직하지 못하다.

나의 경험으로 볼 때, CANDU 6 단일 호기의 최적 공기는 현재 기술 수준으로는 57개월에서 60개월 사이로 생각된다.

물론 VHL 크레인을 사용한 open top 공법과 같은 새로운 기술을 적용한다면 품질을 저하시키지 않으면서 공기를 더 단축할 수 있을 것이다.

**사업 관리**

한전은 월성 2·3·4호기 프로젝트의 예산·재무·공정·비용 관리·자재 수송·인허가·품질 관리·시공 관리·시운전·문서 관리 등은 물론 관계 기관간의 연락 및 의사 소통과 같은 모든 분야를 관리

조정하는 사업 관리 책임을 직접 담당했다.

Turnkey 프로젝트였던 월성 1호기(AECL이 주계약자)의 경우 AECL이 거의 전적으로 프로젝트 사업 관리를 했으며, 이를 위해 약 2,000인/월의 캐나다 인력을 현장에 투입했었다.

그러나 월성 2·3·4호기 프로젝트의 경우 645인/월의 캐나다 인력만이 투입되었고 나머지 대부분 업무는 한전 인력이 담당했다.

한전은 사업 관리를 하기에 아주 적합한 두 가지 강점이 있다.

즉 강력한 리더십과 풍부한 원전 건설 경험이다.

20기의 원전을 운전 또는 건설중인 한전의 풍부한 프로젝트 관리 경험은 세계적으로도 비교 상대를 찾기 힘들 정도다.

미국(웨스팅하우스·CE·GE), 프랑스·캐나다 등의 선진적인 관리 기술을 습득, 축적해왔으며 또 그간의 원전 건설 경험에 관한 방대하고도 다양한 데이터 베이스를 갖고 있기 때문이다.

다만 아직도 한전이 사업 관리 능력에 있어 보완이 필요한 취약점은 업무 추진중에 보이는 관료적인 태도와 보수적인 사고 방식이다.

이런 단점으로 인해 의사 결정 지연, 대안에 대한 주저, 수동적 변화 등 사업 관리에 부정적인 역작용이 부분적으로 있을 수밖에 없었다.

사업 관리의 성공 없이 프로젝트의 성공을 기대하기 어렵다.

월성 2·3·4호기 프로젝트의 성공은 한전의 우수한 사업 관리 능력을 입증했다고 할 수 있다.

다만 세계 유수 전력 회사와의 경쟁력 우위 유지와 보다 나은 미래를 위해서는 한전의 이러한 단점들을 점진적으로 혁신하여야 한다.

**설 계**

통상적으로 발전소 설계의 주안점은 발전소의 보다 나은 기능적 운전과 유지 보수에 두어지고 있다.

하지만 보다 성공적인 프로젝트를 위해서 설계자는 사업주 비용 절감을 위한 경제적 설계와 건설중 작업 편의성에 대한 관심을 갖고 설계에 임해야만 한다고 본다.

월성 2·3·4호기 건설 과정에서도 지나친 설계 여유도로 인한 낭비적 설계인 경우와 건설 작업에 엄청난 불편과 어려움으로 인한 낭비적 요소의 경우를 종종 발견하게 된다.

이러한 관점에서 CANDU와 PWR의 원자로 건물 내 작업 밀도 비교는 시사하는 바가 있다.

PWR에 비해 CANDU는 원자로 건물 내 공간이 적으면서도 작업량은 오히려 많은 높은 작업 밀도를 갖고 있어, 이에 따른 공사의 어려움이 건설비 상승을 초래하는 한 가지 원인이 되고 있다.

한전은 설계 비용 절감을 위해 월성 1호기의 설계 복제를 택했다.

그러나 월성 1호기 건설과 2호기 간 건설 시차가 20년 이상이라는 사실을 감안할 때 초기 예측이 너무 낙관적이었다.

그 20년 동안 설계 코드 및 기준과 인허가 요건 등에 많은 변화가 있었고, 또 월성 1호기와 비교해 기기 형식 및 사양과 기기 제작자도 역시 많은 변화가 있었다.

결국 설계 복제 개념이 매우 제한된 효과 밖에 거둘 수 없게 됐다.

복제 개념이 잘 적용되기 위해서는 관계되는 두 프로젝트간의 시간 격차가 짧으면 짧을수록 좋다.

건설 과정에서 설계로 인한 어려움 가운데 하나는 지나치게 많은 FCR(Field Change Report) 발행으로 인한 공사 지연 및 재시공과 그에 따른 공사비 증가였다.

영광 3·4호기와 울진 5·6호기 프로젝트에서 발행된 FCR 수가 각각 3,500건 정도였던 것에 비해 월성 2·3·4호기 프로젝트에서는 9,200건의 FCR이 발행되었다.

FCR 발행이 많았던 가장 큰 이유는 BOP 구매 지연과 이에 따른 vendor information 지연이었다.

이러한 문제들이 앞서 언급한 참조 발전소(월성 1호기)와 달라진 기기 사양과 기기 공급자로 인해 더욱 복잡한 문제가 되어 FCR 발행 건수의 증가 요인이 되었다.

또 원자로 건물 내의 높은 작업 밀도는 설계 초기 단계에서 공정간 간섭을 찾아내기 어렵게 만들었고, 이러한 원인으로 인해 원자로 건물내 계통간의 간섭은 아주 많이 발생했다.

**기기 공급**

월성 2·3·4호기의 주요 기자재들은 주계약자인 AECL과의 고정 금액 계약으로 공급됐다.

주요 기자재 공급은 공정이나 품질 측면에서 큰 문제없이 대체로 원활하게 이루어졌다.

BOP 기기들은 AECL의 기술 지원을 받아 한전이 구매 공급했는데,

〈표 2〉 CANDU와 PWR의 원자로 건물 내 작업 밀도 비교

		PWR(울진 3호기)	CANDU(월성 3호기)
R/B	높이	67.6m	51.7m
	지름	43.9m	41.6m
수량	파이프	308톤	356톤
	케이블	91440m	94200m
	튜브	4121m	76560m
S/G 수		2	4

한전은 전체 프로젝트 비용을 줄이기 위해 전통적으로 유자격 업체 경쟁입찰에서 최저가를 선정해 왔다.

이와 같은 최저가 낙찰 방식에 의한 BOP 구매는 프로젝트 코스트의 절감 효과는 있으나 기술적 측면에서 문제점이 있을 수 있다.

한전의 '최저가 선택' 관행이 바람직하지 않다는 사실이 몇 가지 사례로서 나타난 바 있다.

입찰 과정의 개선, 즉 상세 설계에 대한 공학적인 평가의 강화와 발전소 수명 기간에 걸친 신뢰성에 더 많은 비중을 둔 개선 방안이 개발되어야 한다.

월성 1호기의 국산화 비율은 약 14%로서 대부분이 시멘트·골재·철강 구조물 등 단순 자재들이었다.

월성 2호기 및 3, 4호기의 국산화율은 각각 60%와 70%로 증가했고, 그 내역 역시 원자로·급수기·터빈발전기·증기발생기·주변압기 등 주기기를 포함한 고가치성 기기들로 다양해졌다.

많은 국내 제작사들이 월성 프로젝트에 참여함으로써 소중한 경험을 쌓을 수 있었고 세계 무대에서의 경쟁력 향상에 큰 도움이 되었다.

한중은 다른 발전소 건설에서와 마찬가지로 월성 2·3·4호기의 주요 기자재 가운데 많은 부분을 큰 문제 없이 공급했다.

또 한중의 설치 후 서비스 역시 만족스러운 수준이라고 평가된다.

그러나 한중이 세계 시장에서 다른 공급자들보다 강한 경쟁력을 갖추기 위해서는 가격을 낮추기 위한 노력을 꾸준히 해야 한다는 점과 전기 및 계측/제어 분야에 대한 기술력 보완이 필요한 점, 또 기기 설계(Component Design) 분야에서의 능력 개발 등에도 힘써야 할 것 등을 지적하고 싶다.

**시 공**

한전은 월성 2호기는 현대건설, 월성 3·4호기는 대우건설과 시공 계약을 맺었다.

이 두 계약자는 컨소시엄 형태가 아닌 완전 별개의 계약 형태이다.

이와 같은 시공 계약자의 분리 형태는 시공에 필요한 인력·기기·장비 등이 이중으로 투입되는 경제적 측면에서의 불이익을 가지고 있다.

하지만 두 회사 모두 상대에게 지기 싫어하는 강한 경쟁 의식을 갖고 있는 점이 건설 과정에서 발견된 수많은 어려움을 적기에 극복하고 또 계획된 준공 일자에 맞춰 발전소를 준공하는 데 일조 했을 것이라는 게 내 생각이다.

월성 2·3·4호기 프로젝트가 한창 진행중일 때 우리 나라는 '고비용 저효율'이라는 특이한 상황을 경험하고 있었다.

지나치게 높은 임금을 요구하는 노동자들의 입장이 오히려 당당한 그런

상황이었다.

예를 들면, 인근 울산과 포항에서 고급 용접공을 모셔오려면 기준 임금의 두 세배를 보장해야 했고, 그렇더라도 그들의 생산성은 과거 프로젝트에서 우리가 경험했던 것에 비해 낮았다.

이러한 고비용 저효율 현상은 98년의 IMF 경제 위기가 도래하면서 사라졌다.

월성 2·3·4호기 건설에는 약 7백만인/일의 인력이 투입되었으며, 프로젝트가 최고조일 때는 현장에 약 7천명의 근로자가 출력했다.

이처럼 많은 수의 근로자가 모이게 되자 이들에게 숙박·식사·피복을 제공하게 된 현장 주변 작은 마을들의 경제가 활성화되는가 하면, 반면에 교통 장애 문제와 같은 부작용도 발생했다.

25년 전에 기획된 월성 부지 내 공간 배치는 건설에 필요한 부대 시설(주차장·야적장·임시 제작소·사무실)을 모두 수용하기에 크게 부족했다.

특히 차량 유입이 많아 주차 문제와 현장 내 교통 문제가 심각하기도 했다.

**경제성**

한전은 당초 월성 1호기 설계를 반복 건설하면 PWR이나 다른 화력 발전소에 비해 크게 경제성이 있을 것



으로 보고 월성 2호기 건설을 결정하였다.

그러나 월성 1호기와 2호기간의 시간 격차가 월성 1호기 설계를 성공적으로 복제하기에는 너무 길었다.

인허가 및 코드 요건 등의 많은 설계 환경이 변해 있었다.

또 터빈 발전기가 Parson사 형식에서 GE사 형식으로 변경됨으로써 2차측의 설계 복제는 사실상 어렵게 됐다.

그 외에도 많은 기기가 국산화됨으로서 기기 형식·크기·사양의 변경으로 복제율은 예상 대비 크게 감축될 수밖에 없었다.

또한 월성 3·4호기 건설 기간 중에 노무자 임금이 급격히 상승함으로써 유발된 시공비 상승은 경제성에 나쁜 영향을 크게 미쳤다.

결과적으로 월성 2·3·4호기 프로젝트에서 당초 기대했던 만큼의 비용 절감을 달성하지 못하게 됐다.

하지만 이것이 곧 CANDU가 다른 발전 대안에 비해 경쟁력이 떨어진다는 의미는 아니다.

CANDU는 총소요 기자재 물량 측면에서는 PWR과 유사하다고 본다.

비록 원자로 건물과 사용후 핵연료 저장조에 라이너 플레이트가 없고 R/B 내에 플라 크레인 없었지만 대신 핵연료 교환기, 감속계 계통, 중수 관리 설비와 같은 CANDU 고유의 기기가 있기 때문이다.

그러나 CANDU는 일반적으로 PWR보다 5~10% 높은 이용률을 보이고 있기 때문에 운영 측면에서 강한 경쟁력을 갖출 수 있다.

이 점을 잘 활용하면서 AECL과 KOPEC 같은 설계자들이 설계 과정에서 건설 비용과 운영 비용을 최적화하고 절감하는 데 좀더 많은 관심을 쏟는다면 CANDU의 경제성은 상당히 향상될 수 있을 것으로 본다.

**결론**

월성 프로젝트는 한국과 캐나다 양국간의 기술 교류뿐 아니고 문화 교류·인적 교류 등에 크게 기여하는 서로에게 유익한 사업이었다.

월성 프로젝트가 진행되는 동안 수백 명의 한국 사람과 캐나다 사람이, 경우에 따라서는 그 가족과 함께 상대방에서 장기간 생활했다.

또 CANDU를 통해 한국의 원자력 산업계는 현재 2기의 CANDU를 건설하고 있는 중국과 또 향후 CANDU를 건설할 계획인 터키 등으로 그 사업 범위를 확장할 수 있는 계기를 맞기도 했다.

한국은 세계에서 유일하게 PWR과 PHWR의 두 가지 원자로를 운전하고 있다. PWR과 PHWR의 두 가지 기술이 상호 보완적으로 상승 발전할 수 있는 시너지 효과의 전형적인 사례이다.

이 점이 바로 국경 없는 무한 경쟁의 시대에 국내 기술력이 국제 경쟁에서 기술적 우위를 가질 수 있는 데 크게 기여하고 있다고 본다.

한전은 아직 월성 제2부지인 봉길 지역에 어떤 형식의 원전을 건설할지 결정하지 않았다.

많은 사람들이 다음과 같은 이유로 CANDU 9(900MWe)이 건설되기를 기대하고 있다.

- 동일 부지 동일 노형 건설로 월성을 세계적 중수로 단지로 육성
- 월성 프로젝트를 통해 축적된 기술과 자원을 사장시키지 말고 오히려 활용할 기회 제공

그들은 PWR에 비해 CANDU가 가격 경쟁 측면이나 기술성 측면에서는 대등하고 운영 측면에서는 우세하다고 믿고 있다.

CANDU의 장점에 대한 이러한 높은 평가에도 불구하고 더 많은 사람들은 아직도 CANDU의 장점을 인정하는 데 주저하고 있다.

이러한 상황을 감안할 때 AECL은 후속기 건설에 보다 매력적인 제안을 내놓을 수 있도록 애써야 할 것이며, 현 상황에서 CANDU의 매력은 기술적 측면보다는 경제성 측면에서 보여 주어야 더욱 설득력이 있다는 점을 인식해야 한다.

월성 2·3·4호기 프로젝트의 성공적인 수행에 기여하신 한국과 캐나다의 모든 분들께 참으로 감사드립니다. ☺