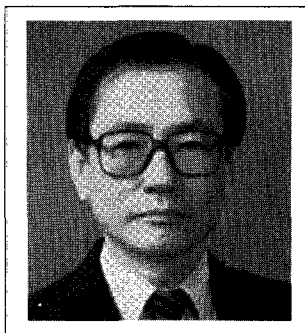


최신공법개발로 공기단축과 시공품질 향상

김 방 태

(주) 대우/건설 월성원자력사업소 소장



면

저 한국원자력기술상을 수상할 수 있도록 협조해 주시고 배려해 주신 모든 분들께 이 지면을 빌어 감사의 인사를 드리며, 최적의 사업소 관리를 통하여 초일류 원전 건설을 목표로 하는 (주) 대우/건설 월성원자력사업소의 운영 관리 현황 전반 및 기술 개발·기술 개선 사례에 대하여 간략히 기술하고자 한다.

(주)대우/건설 월성원자력사업소는

한국전력공사가 발주한 월성원자력 3·4호기 주설비 공사를 수행하고 있는 대단위 사업장으로서, 경북 경주시 양남면에 위치해 있다.

시설 용량 700MW급 가압중수로형(CANDU-PHWR) 원자력발전소 2기를 건설하고 있으며, 공기는 상업 운전 개시일을 기준으로 3호기는 98년 6월 30일, 4호기는 99년 6월 30일까지이다.

주요 사업 특성으로는 환경면에서 대기 및 수질 오염방지대책이 절대적으로 요구되며, 품질면으로는 원자력발전소의 안전성과 신뢰성 확보를 위한 엄격한 품질등급 기준이 적용된다.

또한 캐나다원자력공사(AECL)를 중심으로 설계와 주기공급에 국내외의 수많은 업체들이 참여함으로써, 현장 공정 진척에 따른 설계 및 기기 공급에 대한 긴밀한 공정관리가 요구

되며 고도의 기술이 집약되어 있는 종합 플랜트 공사로서의 건설사업이라 할 수 있다.

원전 건설 경험이 전무한 (주)대우/건설은 월성원자력 3·4호기 건설공사를 수주하게 되면서, 사업소의 최우선 목표를 대외적으로 대우의 원전공사 수행능력을 입증하는 데에 설정하고, 현장투입 1년여 전부터 원자력추진반을 운영하여 선행호기 시공 사례 검토·분석 및 종합적인 공사수행 계획 수립하는 등 철저한 공사준비를 하였다.

계약 체결 후 여러가지 우여곡절을 겪으면서 94년 2월 26일 공사허가서가 발급되고 월성원자력 3호기 원자로 건물 기초에 대한 최초 콘크리트를 94년 3월 17일 타설하였다.

그 이후 지속적인 시공기술 개선과 현장관리기법 현대화를 기하며 전직원이 혼연일체가 되어 노력한 결과,

발주처를 포함한 원전건설 관련인들의 초기 우려를 불식시켰을 뿐만 아니라, 공기 단축 및 품질의 우수성을 대내외적으로 입증받음으로써 타사와의 차별성을 부각시키고 있다.

공정률은 96년 1월말 현재 3호기가 62%, 4호기가 38%로서 96년말 기준 3·4호기 목표 종합 공정률 80.5%를 달성하기 위하여 돌관작업도 불사하며 면밀한 작업 계획과 시공으로 큰 문제점 없이 순조롭게 공사를 수행하고 있다.

또한 (주)대우/건설의 장기적인 전략으로 추진되고 있는 '기술대우 일등 상품 개발' 추진품목인 CANDU형 원자력발전소를 상품화하기 위한 기반을 조성하고자 「환경안전」 「품질관리」 「공정관리」 및 「기술개발」 측면에서 각 부문별로 세부방침을 수립하여 적극 실천함으로써 사업소 운영에 만전을 기하고 있다.

사업소 관리현황

사업소 관리현황을 주요실적을 기준으로 하여 부문별로 살펴보면 다음과 같다.

1. 환경안전관리

환경안전관리 부문에서는 환경오염 극소화로 그린(Green) 현장을 유지하기 위하여 쓰레기 적환장 및 분리수거장을 설치·운영하고, 폐기물 처리 시설로 소각로(90kg/h)를 설치하

였으며, 비산먼지 억제시설, 대기오염 방지시설, 수질오염 방지시설을 완벽하게 설치·운영하고 있다.

이와는 별도로 모든 옥외 울타리에는 환경 그래피컬을 도입하여 사업소 이미지 개선 및 환경에 대한 인식을 제고하고 있다.

아울러 무재해 3대 실천적 행동기법 전개를 통하여 보호구 착용·안전점검·정리정돈을 생활화하고 있으며, 바이오 리듬에 의한 신체 리듬의 위험일을 산출하여 위험요소 작업 투입을 금지하며, 전근로자에 대한 이력카드를 전산화하여 고령자의 고소작업 금지 등 전산 프로그램에 의한 안전관리를 전개하고 있다.

이와 같은 적극적인 안전관리 활동의 결과로서 95년 5월 7일 원전건설 초유의 무재해 250만시간을 달성하기에 이르렀다.

2. 품질관리

품질관리 부문에서는 원자력발전소의 제 구조물·계통 및 기기의 시공에 있어서 안전성과 신뢰성 확보를 위해 설계/구매관리, 제작/시공관리, 검사/시험관리, 서류/기록관리, 품질문제시정 등을 통하여 품질보증 시스템을 정착시키고 있으며, 품질 문제를 사전에 예방하여 품질 목표를 달성하기 위해 교육훈련, 품질 감사 및 감시감독, 품질경향 분석, 품질 시스템 유효성 평가 등을 통해서 강력한 예방 품질활동을 하고 있다.

3. 공정관리

공정 관리에 있어서는 공정수 16,000개에 이르는 막대한 정보량을 처리하기 위한 공정관리 프로그램인 DPSC(Daewoo Planning & Scheduling Control System)를 개발하여 Planning & Scheduling, Monitoring 및 Analysis를 통한 최적의 공사를 수행하고 있으며, 터빈 블록 최적화 시공기법, 공정요약서 개발, 공정간 인터페이스(Interface) 관리기법 등 필요한 공정관리 기법을 개발하고 적용함으로써, 단순한 시공관리 차원이 아닌 기술을 바탕으로 한 공정관리를 추진하고 있다.

시공기술 개발

프로젝트가 점점 복잡하고 대형화하는 추세에서 대형 프로젝트(Mega-Project)를 관리할 수 있는 통합사업관리 시스템을 구축하기 위한 IWBS(Integrated Work Breakdown Structure)를 개발하고 있으며, 기술자립을 통한 기술의 상품화를 이루고자 선진 기술 및 신공법을 적극적으로 도입·활용하여 공법 개발과 개선에 최선을 다하고 있다.

그 결과로서 「개량형 폼(Form)」 「슬립폼(Slipform) 공법 개선」, 「진공배수공법」 등을 현장 시공에 적용하여, 공기단축과 함께 전체적인 시공의 질적인 측면에서 상당히 우수한 결과를 도출하였으며, 특히 「슬립폼 공법



월성원자력 3·4호기 건설현장

개선」을 통하여는 월성원자력 4호기 원자로건물 외벽 축조공사를 전세계 중수로형 원전 건설공사 중에서 최단 시일내에 완성(World Record)하게 되었다.

다음에 「개량형 폼」 「진공배수공법」에 대하여 현장적용사례를 간단히 기술하고, 「슬립폼 공법」에 의한 원자로건물 외벽 축조공사는 개략적인 설명과 함께 벽차고 힘들었던 그 순간을 다시 한번 회상해 보고자 한다.

1. 개량형 폼(Form)

「개량형 폼」은 현재 일본의 원전 건설 현장에서 사용되고 있는 Form 형태로서 국내 재래식 폼(4'×8' 또는

3'×6')보다 소형화하고, 나뉘어진 여러 크기(최대 2'×4')로 되어 있으며, 특수 제작한 부속재를 사용하여 경량화되고 시공성이 뛰어난 품으로 활용되고 있다.

개량 폼을 채택 적용한 배경은 원자력발전소의 구조물 형태가 크고 복잡하며, 1개 호기당 거푸집 물량이 약 130,000m²가 소요되는 데 반하여, 선행호기 적용 거푸집 형태는 재래식 거푸집 수준으로서 작업인원이 과다하게 투입될 뿐만 아니라 품질이 저하될 우려가 있어, 보다 개선된 거푸집 형태가 강력히 요구됨에 따른 것이다.

당 사업소에서 월성 3호기 원자로 건물 하부 기초(Sub-Base) 콘크리트

타설시부터 현재의 원자로건물 내부 구조물 축조공사까지 개량 폼을 적용한 결과, 특수제작한 부속재를 사용함으로써 부재 경량화로 취급이 용이하여 시공성 및 안전성이 뛰어났으며, 비용면에서도 합판 전용 횡수 증가로 재료비가 절감되고 작업 인원 감소에 따른 인건비를 절감할 수 있었다.

또한 품질면으로는 콘크리트면이 균질할 뿐만 아니라 정밀시공이 가능하여 이에 따른 시공오차 축소로 재작업을 방지하였다.

2. 진공배수공법

진공배수공법은 콘크리트 타설의 작업성을 높이기 위해 사용하는 혼합수의 초과 수분을 수화작용에 필요한 최소량만 남기고 인공적으로 배출시켜, 시공 후 초기 강도의 증가를 통한 양생기간의 단축 및 건조에 대한 수축을 줄이고 내마모성의 증가 및 동해(凍害) 내구성이 매우 높아지도록 고안된 신공법이다.

이는 콘크리트 타설후 평탄작업이 완료된 즉시 필터 패드(Filter Pad)와 탑 커버(Top Cover) 주위에 대기압(8,000~10,000G/m²)이 작용하여 콘크리트에 함유되어 있는 잉여수분을 필터 패드를 통하여 표면으로 배출시키고, 시멘트 입자는 필터 패드 밑면에 걸려져 상승 배출된 잉여수분만 진공펌프로 뽑아 내는 공법이다.

당 사업소에서는 원자로 건물 하부 기초 콘크리트 작업시 동계공사로 인

한 초기강도 확보 및 공기 단축을 목적으로, 하부기초 상단 표면 평탄성 (1/1,000 이내) 작업에 진공배수공법을 적용함으로써 콘크리트 타설 후 마감을 위한 톱핑 콘크리트(Topping Concrete) 타설을 생략하고 특수 플로팅(Floating) 장비로 시공함에 따른 공기 단축 및 시공 정밀성 확보를 통한 품질향상 등 여러가지 개선 효과를 얻게 되었다.

외벽축조공사

1. 슬립폼 공법

슬립폼(Slipform) 공법에 의한 원자로 건물 외벽 축조 공사는, 발전소 핵심이 되는 원자로 및 주변기기를 외부로부터 보호하고, 내부에서 발생하는 방사능의 차폐 및 유사시 발생할 수 있는 핵 피해로부터 주변 환경과 인명을 보호하는 역할을 하는, 높이 42.29m, 내경 41.46m, 벽체두께 1.07m의 거대한 원통형 벽체를 슬립폼이라는 특수한 공법을 사용하여 이음매가 없는 철근 콘크리트 일체형으로 외벽을 축조하는 공사이다.

슬립폼 공법은 콘크리트를 계속 타설할 수 있도록 일정한 형태의 거푸집을 만들어 잭킹 시스템(Jacking System)을 이용하여 거푸집을 상향으로 조금씩 이동시키면서 단 시일내(21일간)에 원자로 외벽 콘크리트 구조물을 만들어 가는 공법으로서, 한번 시작되면 어떤 조건이나 악천후 속에서도 중



슬립폼 공법에 의한 원자로건물 외벽 축조공사의 완료된 모습(월성원자력 4호기)

단되어서는 안되며 24시간 주야 교대 연속작업으로 이루어진다.

2. 공사과정과 어려움

월성 4호기 원자로 건물 외벽 축조 공사는 월성 3호기의 시공 경험을 바탕으로 철저한 사전준비, 엄격한 시공 관리 및 품질관리를 도모하고 콘크리트 호퍼(Concrete Hopper) 위치 변경, 버트리스 스틸 플레이트(Buttress Steel Plate) 설치방법 개선 등 총 40건에 대한 설계개선을 시행함으로써 착공 17일만에 성공적으로 완료하였다.

공사기간 동안 연인원 11,000명을

투입하여 1,320톤의 철근 및 매입철물을 설치했으며 타설된 콘크리트양만도 6,860m³에 달한다.

회고해 보건대 공사 진행중에는 참으로 이토록 무식한 공법도 있을까 할 정도로 무척 고생도 하였지만, 마지막 콘크리트가 부어지는 순간 이에 상응하는 보람도 크게 와 닿으면서 감격에 겨운 함성을 지르고 우렁찬 박수를 보냈다.

공사 착수 한달여 전부터 외국인 기술자를 포함한 모든 관련 기술직원들이 특수 제작된 슬립폼 실물 축소 모형을 이용하여 시뮬레이션(Simulation)을 하고, 설계 개선을 위한 회

의가 연일 소집되면서 서서히 공사준비가 마무리되고 3주간의 고행이 시작되었다.

안전 기원제가 끝나고 콘크리트 바이브레이터(Concrete Vibrator)의 요란한 굉음과 함께 리프팅(Lifting)이 시작되면서 그동안의 고된 준비작업이 이제야 결실을 맺게 되는구나 하는 감회에 빠져 모든 것이 순조롭게 진행된다고 안도하는 순간도 잠시 뿐, 하늘이 시샘하였는지 폭풍우를 동반한 태풍의 강력한 영향권 내에 들게 되었다.

강풍으로 주 양중장비인 타워 크레인(Tower Crane)과 모바일 크레인(Mobile Crane) 작업이 수시로 중단되고, 우천으로 인해 전기 감전을 우려한 용접공들이 작업을 기피하면서 야간 작업조의 인원이 점점 줄어들기 시작하였다.

작업진행 속도는 점점 늦어만 가고, 슬립폼 공법중 가장 중요한 데크(Deck) 수평잡기마저 강풍으로 인해 포기해야만 할 지경까지 이르면서 귀중한 시간이 참으로 암담하게 흘러만 갔다.

그러나 이 어려움을 극복해 보겠다는 직원들의 굳은 의지와 작업원 모두의 뜻이 합치되면서 비와 땀에 젖은 몸으로 뛰어다니다 보니 리프팅 속도가 빨라지고 어느새 밝은 새벽이 찾아오고 있었다.

어려운 시간을 다보내고 당초 공정계획을 따라잡을 무렵 우리들 모두의

마음속에는 세계 최단기간내에 공사를 완공해 보자는 새로운 다짐이 이심전심으로 우러나오기 시작하였다.

이러한 눈물겨운 노력의 결과로서 우리는 원자로 외벽 축조공사를 전세계 중수로형 원전건설 공사중에서 최단 시간인 17일 7시간만에 완성하고 고품질(수직도 : 68mm→45mm, 원형상태 : 67mm→22mm)을 인정받음으로써 우리의 기술력을 국내외에 널리 입증할 수가 있었다.

불철주야 땀흘려 수고한 모든 분들께 진심으로 다시 한번 감사를 드린다.

맺는말

최근의 건설환경은 과거 어느 때보다 급격한 변화의 양상을 보이고 있다.

UR의 타결로 국내 시장의 급속한 개방이 전망되고 있으며, 첨단 기술개발의 가속화, 건설 인력난의 심화와 환경 문제에 대한 관심 고조, 양 우주에서 질 위주로의 수요 패턴 변화 등은 더이상 우리가 익숙해 왔던 기존 기술과 사업 관리 방식의 답습을 허용하지 않는다.

원자력발전소 건설사업은 고도의 기술 집약적 사업이며, 그 사업 규모가 방대하고 토목·건축·기계 및 전기 설비 등이 망라된 총체적 복합 플랜트 사업이라 할 수 있다.

국내 원전건설 초기에는 외국업체에 일괄발주방식(Turn-Key Base)으

로 사업을 추진하여 국내 업체의 참여 범위가 극히 제한되었으나, 이제 경수로형의 경우 원자력 관련 기술을 완전 국산화하여 한국 표준형원자로가 탄생되기에 이르렀다.

CANDU형 원전건설 기술자립이라는 대명제로 건설을 추진하고 있는 (주)대우/건설 월성원자력사업소는 엄격한 품질관리, 실무형 공정관리 기법 개발, 선진형 사업관리기법 도입 등을 통하여 최적의 현장 관리를 도모하고 있다.

특히 고등기술연구원(IAE), AECL, 3D Model 개발팀(CANDID)과 연계하여 3D 모델 엔지니어링 데이터베이스(Model Engineering Database) 자료를 현장에 활용함으로써 각종 시뮬레이션을 통한 설계 인터페이스 검토, 현장 시공 타당성 검토 및 시공 절차 수립, 배관 ISO 도면 작업, 설계 기술자료 데이터베이스화 등을 가능케 하여, 이에 따른 정확한 엔지니어링 데이터(Engineering Data)를 근거로 예상되는 문제점을 면밀히 분석하고 시공착오를 사전에 방지하는 등 신기술 확보 및 신공법 적용으로 기술의 상품화를 실현코자 부단히 노력하고 있다.

우리 월성건설인 모두는 후손을 위한 미래 에너지 자원 개발의 최선봉에서 있다는 긍지를 갖고 성과 성을 다하여 최고의 원자력발전소를 건설하고자 모든 역량을 다할 것임을 다시 한번 다짐해 본다. ☞