

신월성원자력 1,2호기 심층 취배수 공사의 침매함 공법 적용 및 개선으로 원가 절감

전성근 | (주)대우건설 신월성원자력현장소장



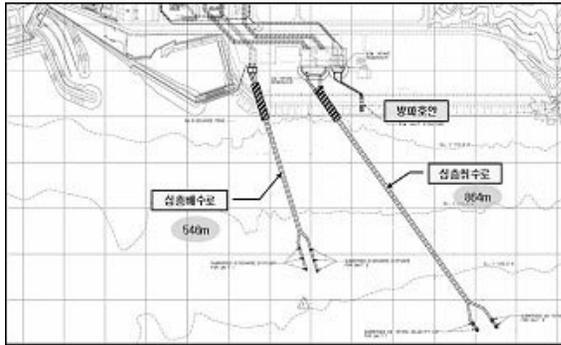
서언

신월성원자력1,2호기는 (주)대우건설을 주시공사로 2003년 7월 10일 계약되었으며, 동년 8월 1일에 부지 정지 공사를 착공토록 계획되어 있었으나, 지자체와 협의해야 하는 공유수면 매립 협의, 농지 전용 협의와 환경부의 환경 영향 평가 등의 인허가 문제와 국가 숙원 사업인 방사성폐기물 처분장의 경주 유치 문제까지 겹쳐 산업자원부로부터 전원 개발 실시 계획 승인이 지연되어 당초 계획 대비 27개월 늦어진 2005년 10월 1일 착공하게 되었다.

당 현장은 착공 시점을 앞당기기 위하여 관련 지자

체(경주시, 3개 읍면) 및 기관과의 긴밀한 협조뿐만 아니라 원전 지역 주민의 민원 및 애로 사항 해결을 위하여 밤낮을 가리지 않고 동분서주함으로써 주민 설득 등을 통해 착공을 앞당기는 데 일조하였고, 착공에 걸림돌이 되었던 방사성폐기물 처분장 경주 유치 홍보에도 적극적으로 참여함으로써 종합적인 노력의 결실로 착공이 불투명했던 신월성원자력 1,2호기의 착공을 가능토록 하는 데 기여하였다.

2005년 10월 1일 부지 정지 공사 착공 이후 현장에 산재되어 있는 지장물(분묘, 가옥, 토지)은 부지 정지 작업에 장애 요인이었으며, 방사성폐기물 처분장이 신월성원자력 1,2호기에 인접한 신월성원자력 3,4호기 부지에 선정됨에 따라 현장 작업 부지가 축소되어, 사토장 부족에 따른 문제점이 전반적인 토목 공사의 공정에 상당한 영향을 끼쳤으나 발주자와의 긴밀한 협조하에 연관된 주민과의 유대 관계 강화 및 끈질긴 설득 노력으로 공정에 영향을 미치는 지장물은 거의 제거된 상태이며, 사토장 부족분은 현장 인근 지역의 부지 확보를 통한 사토장 조성과 현장 내 사토장 상황을 일일 체크하여 적절히 조정함으로써 부지 정지 공사를 성공리에 수행할 수 있었다.



<그림 1> 심층 취수 및 배수 배치도

신월성원자력 1,2호기는 국내 최초로 심층 취수 및 배수 공사를 수행토록 되어 있으나, 국내에는 시공 경험이 전무한 상태여서 계약 당시 공법조차도 결정되지 못했지만, 끈질긴 해외 경험 업체의 자문과 기술협의를 통해 현장 실정에 적합한 침매함 공법을 확정하였으며, 이후 해외 경험 업체의 기술자를 과감하게 현장에 상주시켜 작업에 참여시킴으로써 공사의 신뢰성과 안전성 제고를 통한 품질 확보에 최선을 다하여 현재 방파호안 축조 및 해안 매립을 위해 선시공해야 할 구간의 28개함을 성공리에 설치하였다.

신월성원자력 1,2호기는 잠조 발전소인 신고리원자력 1,2호기와 비교하여 인접 부지에 방사성폐기물 처분장 유치에 따른 전체적인 사업 일정의 지연 및 작업 부지의 축소, 지자체 및 지역 주민과의 갈등 등의 어려운 입지 여건 속에서도 적극적이고도 슬기롭게 대처함으로써 산적한 문제들을 극복하여 현재 부지 정지 공사는 거의 완료된 상태이며, 해상 공사 및 본 공사 추진에 박차를 가하고 있다.

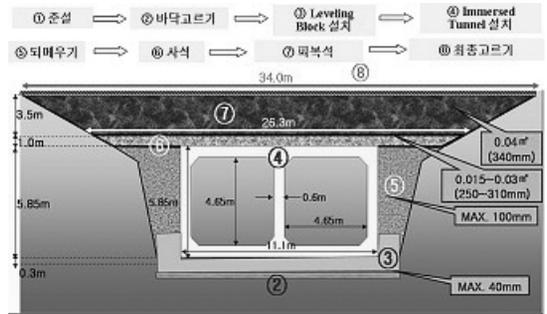
이러한 어려운 건설 공사 추진 과정에서 당 현장은 원자력발전소 건설에 필수적으로 요구되는 안전성 향상 및 신뢰성 제고, 경쟁력 향상을 위하여 각종 체계 구축, 계획 수립, 개선 활동을 지속적으로 추진함으로써 다음과 같은 성과를 거두었다.

심층 취배수 공사의 침매함 공법 적용

발전소 운영중 인접 해안에 대한 온배수 영향을 최소화하기 위한 신월성원자력 1,2호기의 심층 취배수

공사는 당초 신고리원자력 1,2호기와 동일한 공법인 NATM 공법으로 설계되었으나, 이후 현장 지질 분석 결과에 따라 NATM 공법 적용이 불가한 것으로 판단되어 실드 터널 공법으로 변경 방안이 추진중이었으나 이 단계에서 당 현장은 당사의 국내외 다수 해상 터널 공사 수행 경험 및 기술력을 바탕으로 시공성 및 경제성 등을 종합적으로 분석하여 실드 터널 공법보다 우수한 침매 터널 방식을 제안하였고 발주자와 협의를 거쳐 설계에 확정, 반영하게 되었다.

침매함 공법은 해저에 직접 터널을 굴착하는 실드



<그림 2> 침매함 공법 순서 및 표준 단면



<그림 3> 침매함 제작 (약 470~920톤/개당)



<그림 4> 2000톤 해상크레인(설악호)

터널 공법과 달리, 관로를 해상에서 굴착 및 준설하고 육상에서 제작된 콘크리트 침매 BOX(약 1,000톤)를 운송, 거치 및 연결하는 방식으로서, 해저 지질 여건과 무관하게 안전한 구조물 축조가 가능하며, 경제성 측면에서도 실드 터널 방식에 비하여 약 10% (100억원) 정도의 건설 비용 절감 효과가 있는 것으로 검토되었다.

침매함 설치 공법 개선

침매함 설치 공법은 위와 같은 장점은 있으나 해상의 기상 여건이 작업 일수에 상당한 영향을 미치고, 중량물임에도 불구하고 설치시 정밀성이 확보되어야



<그림 5> 해상 크레인을 이용한 침매함 인양



<그림 6> 레벨링 블록 제작

하며, 침매함과 침매함 사이의 RUBBER GASKET 연결부의 품질 확보 문제가 관건이 되어, 이 부분에 대한 기술 검토 및 개선 활동을 중점적으로 추진한 결과 다음과 같은 개선 성과를 거두게 되었다.

1. 대용량 해상 크레인 사용

침매함의 무게는 최대 1,000ton으로 당초에는 1,500ton급 크레인을 사용하기로 계획하였으나 750ton(2EA) 후크 및 보조 후크로는 경사 구간의 침매함 조정이 원활하지 못할 것으로 판단되어 500ton(4EA) 후크를 가진 2,000ton급 크레인을 채택함으로써 원활한 공사 수행을 기하고 해상 일기의 영향을 최소화 하였다.

2. 레벨링 블록 개선

레벨링 블록은 당초 강재 및 콘크리트의 합성 구조로 가로 14M, 세로 2.3M, 높이 0.9M로 설계하였으나, 잦은 태풍으로 인한 재복구 및 안전상 위험을 줄이고자 레벨링 블록을 철판으로 설계함으로써 시공성 및 안전성을 확보하였다.

3. RUBBER GASKET 국산화

당초 일본 제품으로 설계된 RUBBER GASKET을 수입할 경우, 건설 비용의 증가 및 제작 공급 일정 준수 문제 등이 우려되었으나, 일본 제품과 동일한 성능을 갖는 국산 제품을 성공적으로 개발함으로써 전체적으로 약 774백만엔의 외화 절감 및 약 30억원의 건설 비용 절감과 원활한 자재 수급 등의 성과를 거두었다.

기타 개선 사항

1. 가설 부지 최적화

신월성원자력 1,2호기 현장은 당초 공사용 가설 부지로 사용 예정이었던 인접 부지가 중·저준위 방사성폐기물 처분장 부지로 편입됨에 따라, 공사용 가설 부지의 절대적 부족 상태에 직면하게 되었으며, 이를 해결하기 위하여 토목 사토장 유용 계획 및 가설 작



<그림 7> 레벨링 블록 설치

업장용 소요 부지를 재검토하여 최적화함으로써, 당초 소요 부지 대비 약 20%인 12만M2 정도의 공사용 가설 부지 면적을 절감하는 효과를 거두었다.

2. 타워 크레인 배치 개선

선형 노형인 KSNP에 비하여 KSNP+에서는 건물 배치가 COMPACT해 지고 합성 구조 적용에 따른 중량물 인양 비중이 커짐에 따라 타워 크레인의 역할이 더욱 중요하게 되었으며, 이에 따라 참조 발전소 대비 타워 크레인 설치 대수를 증가시키고 위치를 최적화하는 등의 개선을 통하여 시공 효율성과 생산성 향상을 기하였다.

3. 작업자 이동 Loss 시간 개선

신월성원자력 1,2호기 부지의 위치 특성상 운영중인 기존 발전소를 사이에 두고 가설 제작장 및 인근 상가와 현장이 서로 반대 방향의 원거리에 위치함으로써 공사 기간 중 공사 수행 종사자의 출퇴근 및 중식 시간 등의 이동 시간에 상당한 Loss 시간 발생이 우려되는 바, 이를 분석하고 최소화하기 위한 개선 대책을 수립하여 시행하고 있다.

4. 합성 구조 시공성 개선

KSNP+의 설계 개선에 따라 보조 건물 및 복합 건물에 적용된 합성 구조의 설계 및 시공상의 문제점을 사전에 검토하여 시행 착오를 줄임으로써 품질과 공정

을 만족시키기 위한 '합성 구조 TFT 회의'에 주도적으로 참여하여 계속적으로 개선 사항을 도출하고 있으며, 지속적으로 추진하여 시공성을 개선할 예정이다.

5. 3D CIVIL CAD 적용

토목 공사의 굴착 및 되메우기 등의 토공 수량의 산출은 일반적으로 지반 조사 자료를 기초로 일정한 간격으로 종·횡 단면도를 작성하여 굴착 토사 및 암 종류별 깊이에 따라 산정 후, 굴착 과정에서의 실제 암 반선에 따라 AS-BUILT 도면을 작성하여 수량을 확정해야 하는데 원자력발전소와 같이 부지 면적이 넓고 산악 지형과 같은 곳에서는 종래의 종·횡 단면도 작성은 막대한 인력과 시간이 소요되어 적기에 수량 산출이 어려운 관계로 토공 계획 수립 및 예산 작성 등에 많은 애로 사항이 있기 때문에 3D CIVIL CAD를 적용 산출함으로써 업무를 단순화하고 토공 수량 산출 및 계획 수립에 신속성 및 정확성을 기하였다.

이밖에도 신월성원자력1.2호기는 원자로 냉각재 배관과 원자로 내부 구조물 병행 시공을 통한 공기단축 방안 등 지속적인 개선을 통해 원전 건설의 생산성 향상 및 공기 단축에 최대한 노력할 예정이다

또한 당 현장은 협력 업체를 조기 선정하여 시공 담당자와 선형 호기 문제점 및 기술 자료 등을 사전 검토하게 하고 작업 착수 전에 공사 중 예상되는 문제점을 사전 조치하도록 함으로써 재발 가능한 제반 요소를 사전 제거하여, 원자력발전소 시공 품질 제고에 노력하고 있으며, 안전 관리를 최우선시하여 현장 직원 모두 안전 관리자라는 인식으로 공사에 임하므로써 착공 후 현재까지 단 한 건의 경미한 안전 사고도 발생하지 않았다.

또한 현지 지역 주민과의 유대 관계 개선을 위해 지역 주민 설명회를 통한 지역 주민 채용 기회 확대 제공, 지역 업체의 자재 매, 장비 사용 등 지역 주민에게 많은 혜택이 돌아갈 수 있도록 최대한 기회를 제공하고 있으며 현장 내에 별도의 취업 센터도 운영함으로써 지역 주민과의 공생·공존 방안에도 각별한 노력을 기울이고 있다.

결언

당사는 1990년대 초반 월성원자력 3.4호기에 처음 원전 건설에 참여한 원자력 건설의 후발 업체이나 지속적인 기술 개선과 신공법 개발 등을 통하여 월성원자력 3.4호기 건설 당시에 '4호기 원자로 건물 외벽 축조 세계 최단 기록', '4호기 원자로 자관 설치 세계 최단 기록', '3호기 SIT/ILRT 세계 최단 기록 및 최저 누설률 달성' 등 중수로 원전 건설 조유의 세계 기록을 연속적으로 달성한 사례가 있다.

또한 1998년 초 중국 진산 원전에 매일 철물 납품을 필두로 국내에서 공급 가능한 내방사선 도료, 보온 자재, 공작 기계, 기계, 전기/계측 장비 등을 납품하였으며, 1998년 10월에는 대만 용문 원전에서 원자로 건물, 보조 건물의 토건 공사 입찰에 현지 업체인 신아건설과 함께 참여하여 공사를 수주하였다.

이로 인해 당사는 기술 자문 계약(TCA)에 의거, 신아건설에 사업 관리, 시공 관리, 품질 관리 분야에 걸친 기술 자문을 수행하였으며, 2000년 4월에는 용문 원전 1차 계통 기계/배관 설치 공사에 대만 현지 업체인 CTCI와 공동 입찰에 참여하여 수주하는 쾌거를 올렸으며, 계약 성립 요건인 ASME 인증서 취득을 위해 당사 기술자와 CTCI 기술자가 한 팀을 이루어 4개월만에 대우/CTCI 공동 명의의 ASME NA & NPT 인증서를 해외에서 취득하는 등 국내 업계 최초로 해외로 진출하여 원자력 기술을 수출함으로써 당사보다 수십 년 이상의 경험이 있는 경쟁사와의 차별화에 성공하였다.

이로 인해 제9회 한국원자력기술상 금상을 수상하는 영광을 안았으며, 이후 끊임없이 원자력 조직을 정비하고 선행 원전의 시공 경험을 바탕으로 신규 원전의 시공성 검토 및 수주에 노력한 결과 신월성원자력 1.2호기를 수주하게 되었으며, 주변의 어려운 여건에도 불구하고 당사 원자력 임직원 개개인의 적극적이고도 슬기로운 문제 해결 능력이 결국 기술 개선으로 이어져 5년 만에 한국원자력기술상 금상을 다시 한 번 수상하게 되는 영광을 누릴 수 있는 원동력이 되



<그림 8> RUBBER GASKET 위치



<그림 9> RUBBER GASKET 체결

었다고 생각한다.

당 현장은 여기에 만족하지 않고 지속적인 기술 개선과 신공법 개발을 통해 국내뿐만 아니라 해외 원자력 시장에서도 그동안의 해외 원자력 참여 경험을 접목시켜 한수원과 공동으로 한국표준형원전의 해외 수출에 참여할 수 있는 경쟁력을 갖추는 데 주력할 예정이다.

공사 초기부터 이렇게 큰 상을 받게 되어 부담이 되지만 남은 공사를 더욱 더 잘하라는 주위의 격려로 받아들이고, 당 현장 임직원 개개인은 맡은 바 임무에 한층 더 매진할 것을 다짐한다.

그동안 원자력 건설을 위해 적극적인 지원을 아끼지 않은 당사 경영진을 비롯한 모든 관계자 여러분께 심심한 감사의 뜻을 표하는 바이다. ☸