

가시와자키 가리와 6·7호기 건설 경험과 기술 특성

山村 愼一

동경전력(주) 원자력기술부 전기·기계 그룹 부그룹장

일

본의 경우 원전의 건설에는 약 5년이 소요되는데, 그 이유는 방대한 물량의 건설 기자재, 엄격한 품질 관리 및 신중한 각종 시험 때문이다.

건설 공기와 건설 단가를 단축하고, 품질을 향상시키기 위해서 동경전력은 새로운 건설 기술을 개발하는데 많은 노력을 기울여 왔다.

96년 11월과 97년 7월에 각각 상업 운전을 시작한 최초의 ABWR인 가시와자키 가리와 원전 6·7호기(K-6/7)는 과거의 건설 공기를 1년 가까이 단축시켰다.

그 원인은 다음과 같다.

① 원자로 건물에 통합된 강화 콘크리트 격납 용기와 같은 ABWR의 설계 특성 및 건물 구조의 합리적 배치를 통한 건물 크기 축소

② CAE(컴퓨터 지원 엔지니어링)의 지원을 활용함으로써 프로젝트의 초기 단계에 기술 및 건설의 상세 계획 수립

③ 개선된 건설 기술

이 보고서는 모듈 건설 공법에 초

점을 맞춘 개선된 건설 기술을 살펴 보기 위한 것이다.

모듈 건설 공법은 ABWR의 건설 기술 진보에 크게 기여하였다.

가시와자키 가리와 원전의 부지특성

가시와자키 가리와 원전은 일본해 연안에 위치하고 있어 겨울철에는 강한 바람과 폭설이 내린다.

그러한 이유로 겨울철에는 건설 관련 중량물을 부두에서 하역하는 데 많은 제약이 있다.

발전소 주요 건물을 지지하는 암반층의 두께는 25m 내지 40m에 달한다.

따라서 반지하 형식의 원자로 건물을 건설하는 데는 장기간의 굴착 작업 기간이 소요되었다.

K-6/7 원전에서의 건설 기술 발전

80년대와 90년대 중반 동안 일본의 전력 수요가 급증하였으며 금리가 높았기 때문에 건설 공기를 단축시켜

야 할 필요성이 강력히 대두되었다.

이 시기는 또한 숙련된 노동자의 부족과 임금이 크게 상승하는 등 노동 시장의 환경이 변화한 시기이기도 하다.

이러한 것들이 K-6/7 원전의 건설 기술 향상의 장애로 작용하였다.

동경전력은 기기 제작사와 설계사들과 힘을 합하여 가시와자키 가리와 원전 1호기부터 7호기까지의 건설 과정을 통하여 건설 기술을 향상시켜왔다.

과거 1호기의 건설 기간이 64개월이었던 데 비하여 6/7호기의 건설 기간은 51개월로 크게 단축될 수 있었다.

그러나 동경전력은 K-6/7의 건설 과정에서 발생한 일부 문제점을 적절히 교정한다면 건설 기간은 더 짧아질 수 있다고 판단하고 있다.

건설 과정에서 개선이 이루어질 수 있었던 것은 다음 요인에 기인한다.

① 여러 부문에서 건설이 동시적으로 진행될 수 있도록 대형 블록 건설 방법과 데크 플레이트(deck plate)

건설 방법 채택

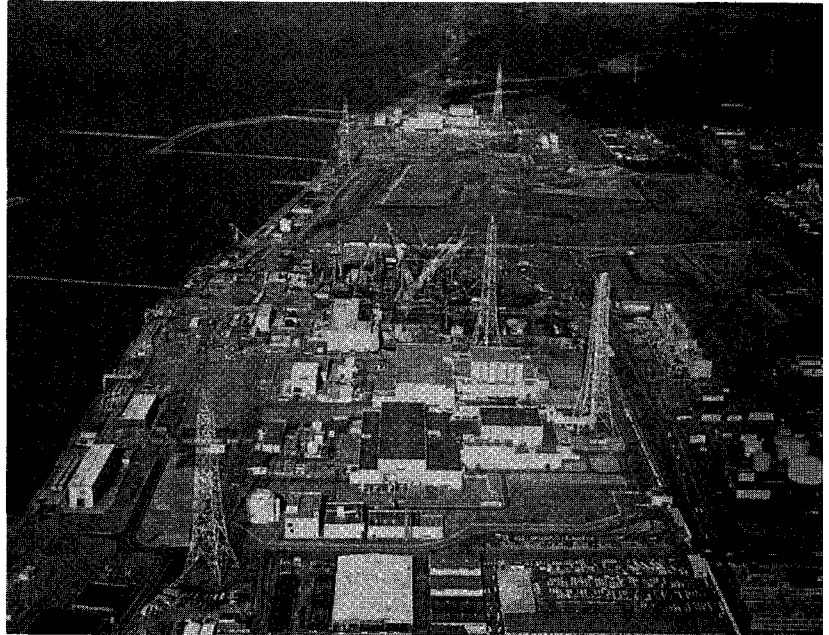
② 전천후 건설 방법 및 효율성 제고를 위한 개선된 건설 공구

③ 원전 부지에서의 업무량 절감을 위해 주요 설비를 제작사에서 조립하여 모듈로 제작하는 방식 채택

모듈 건설 방법이란 크게 대형 블럭 방법, 데크 플레이트 방법, 사전 조립 방법 등으로 구분된다.

동경전력은 80년경부터 모듈 건설 방법을 채택하였으며, 그후 점진적으로 확대하고 있다.

이러한 기술의 발전과 관련된 하부 구조에서의 향상이 가시와자키 가리와 원전에서 성공적으로 이루어졌다.



모듈 건설 공법의 설계 및 시행

1. ABWR의 건설 과정

모듈 건설 공법을 상세히 논하기 전에 ABWR의 일반적인 건설 과정을 살펴본다.

가. 건설 착공

원자로 건물 기초를 위한 굴착 공사가 시작된다. 이 기간은 부지 특성에 따라 변화된다.

나. 기초 검사

원자로 건물이 위치할 암반은 굴착 후에 검사를 받는다.

다. Center Mat Construction

7호기 건설시에는 레바(rebars)와 원자로 용기 기초 앵커(anchors)가 통합된 원자로 건물 Center Mat이 부지 내에서 조립되어 대형 크레인으

가시와자키 가리와 원전 단지. 동경전력은 가시와자키 가리와 원전 1호기부터 7호기까지의 건설 과정을 통해 건설 기술을 향상시켜 온 바, 1호기의 건설 기간이 64개월이었던 것에 비하여 6·7호기의 건설 기간을 51개월로 크게 단축시켰다.

로 설치 장소에 옮겨진다.

라. 강화 콘크리트 격납 용기(RCCV)와 건물의 건설

건설에 대한 강화 콘크리트 작업은 RCCV 라이너(liner) 플레이트 설치 작업 및 원자로 설치 작업과 같은 시기에 수행된다.

마. 원자로 설치

원자로는 대형 크레인으로 설치 장소로 옮겨진다.

바. 시운전

연료 장전 후 여러 종류의 시험 운전은 발전소의 성능을 확인하기 위해 수행된다.

2. 모듈 공법의 적용에 관한 연구 과정

건설 과정의 critical path에 있어서의 모듈 건설 공법의 목적과 효율성은 non critical path에 있어서의 그것과 다르다.

critical path란 전체 공사 기간을 결정하는 일련의 주요 공정을 일컫는다.

각각의 단계를 완결시키지 않고는 다음 단계로 진행할 수 없다.

RCCV 설치 일정은 ABWR 건설의 critical path를 구성하고 있다.

건설 공정을 합리화하기 위한 노력의 초점은 critical path의 작업 공정

을 단축시키고, sub critical path의 작업 공정을 균등하게 하는 데 있다.

모듈 건설 공법의 목적은 다음 두 가지라 할 수 있다.

가. critical path

건설 공정의 critical path와 관련하여, 모듈 건설 공법은 공정을 최대한으로 단축시키는 데 활용된다.

실제 모듈 건설 공법을 적용하기 위해서는 기기 설치 및 건설 가능성의 정밀도에 관한 철저한 연구가 요구된다.

나. sub critical path

모듈 건설 공법 작업 부담을 고르게 하고, 노동력을 절감하고, 투입 자재를 최적화하며, 어떠한 원인에 의해서 sub critical path가 critical path로 변화되는 것을 방지하는 기능을 갖는다.

3. 기계 구성품에 대한 모듈화 프로그램

가. critical path

① 콘크리트 작업은 RCCV 건설의 critical path이다.

② RCCV liner는 콘크리트 설치대로 활용되기 때문에 사전에 공급되어야 한다.

③ liner 설치 작업이 레바 작업에 지연을 초래하지 않도록 RCCV liner plate는 대형 블록으로 모듈화되었다.

④ 원자로 페데스탈(pedestal) 모듈, RCCV 내부 배관 및 구조 지지모

듈, RCCV top slab 모듈(liner 및 내장 배관 포함)이 만들어졌는데, 기계 작업과 구조물 작업을 동시에 수행할 수 있도록 하기 위한 것이다.

나. sub critical path

① 구조물 작업은 가능한 한 신속하게 선행되어야 한다. 구조물 자재의 모듈화는 이러한 목적을 위해 추진되었다.

② 현장 작업량을 줄이기 위해, 건축 자재의 모듈화 작업과 신속한 현장 이동이 추진되었다.

③ 구조물 작업과 기계 작업이 동시에 수행될 수 있도록 하기 위해서 복합적인 모듈화가 추진되었다.

4. 배관 자재를 위한 모듈화 프로그램

배관 설치 작업은 RCCV의 상부 드라이웰(drywell) 내부의 배관을 제외하고는 건설 공정에서 critical path를 형성하지는 않는다.

그러나 만약 과거와 같은 방식으로 건물 준공 후의 임시 관통부를 통해 배관 자재가 도입된다면, 짧은 기간 동안에 많은 작업량이 몰리게 된다.

이외에도 각각의 영역에 할당된 작업 기간은 ABWR의 건설 기간 중의 매우 짧은 기간이었다.

따라서 배관 작업의 효과적인 시행과 신속한 착수가 요구되었다.

배관 설치 방법은 다음과 같이 수행되었다.

가. 배관 자재의 신속한 현장 이동

배관 자재는 현장 설치 이전에 도입되었다.

현장 설치를 위해서 무지원 건설 방법이 채택되었다.

이 경우 배관 자재가 너무 많이 비축되어 작업 수행을 방해하지 않도록 적정량씩 도입하는 것이 매우 중요하다.

나. 모듈 건설 방법의 적요

모듈 건설 방법은 배관, 밸브 및 지지 구조물이 매우 밀집된 곳을 포함하는 배관 계통에 적용되었다.

모듈화 작업은 크게 배관 및 지지물을 한 장소에 고정시킨 후 도입하는 fixed module과 느슨한 상태로 도입되는 loose module로 구분된다.

5. 구조물 자재를 위한 모듈화 프로그램

구조물 자재에 대한 모듈화 프로그램의 개념은 다음과 같다.

① critical 작업은 가급적 모듈화한다.

② sub-critical 작업도 구조물 작업을 가속화시키기 위하여 상당한 정도까지 모듈화된다.

③ 기계 작업의 조속한 착수를 위해 무지원 건설 공법이 채택되었다.

④ 데크 플레이트와 같은 구성품 및 자재는 구조물 작업을 가속화하기 위하여 모듈화되었다.

6. 모듈화를 지원하는 기술

가. 설계의 조기 착수 및 결정

① 모듈화를 적용하는 데 있어서 제품들은 과거의 건설 방법보다 일찍 현장에 도착되어야 한다.

설계 작업은 프로젝트의 초기 단계에 시작되어야 한다.

② 특히 기기의 크기, 배관 루트 및 지지물 설계, 용접부의 위치, 구조물 구성품 설계, 임시 설치 등은 매우 이른 단계에 결정되어야 한다.

즉 기계 작업과 구조물 작업이 상세하게 초기에 결정되지 않으면 모듈화는 적용될 수 없다.

나. CAE의 활용

CAE는 모듈화를 계획하는 데 매우 효과적이다.

CAE를 활용하는 모듈 설계 과정은 다음과 같다.

① 모듈화 설계는 CAD에 의해서 생산된 자료에 기초하여 수행된다.

② 용접 연결부, 스탠드의 모양과 데크 플레이트의 지지빔은 모듈화를 용이하게 하기 위하여 조정되었다.

③ 각각의 구성품에 대하여 좌표가 배정되었다.

구조물 모듈이 다른 구성품에 장애를 초래하지 못하도록 계획을 수립하기 위하여 각각의 레바에 좌표를 부여하는 것이 필요하다.

따라서 CAE는 구조물 설계에도 반드시 필요하다.

④ 데크 플레이트 건설 방법에서, 데크 지지빔과 배관 및 케이블 트레이와의 간섭이 발생하여 지지빔을 잘라내야 할 경우가 발생한다.

따라서 이러한 간섭을 최소화하는 것이 매우 중요하다.

CAE는 간섭을 방지하는 데 매우 효율적이다.

다. 설계 기법

모듈의 크기와 설치의 정밀도는 반비례한다.

모듈이 크면 클수록 설치의 정확도는 더욱 요구된다.

특정한 계약자의 경험에 기초하여 모듈의 크기를 적절히 선정하는 것이 매우 중요하다.

라. 건설 관리

모듈 건설에 있어서 건설 계획의 치밀한 준비와 계획대로의 작업 수행을 위해서 건설 관리는 매우 중요하다.

동경전력의 주요 관리 기능은 다음과 같다.

① 건설 일정 관리 기능

건설 계획 단계에서 건설 작업의 이정표가 먼저 세워지고, 주요 계획과 기타 주요 계획이 이정표에 따라 수립된다.

기타 일정은 상세한 건설 계획으로, 건물 건축의 시작 이전에 준비되고 매우 점검된다.

② 설계 관련 기능

설계 변경으로 인한 문제점 발생을 방지할 수 있도록 설계 변경 작업이 통제된다.

설계 변경 통제의 일환으로 광범위한 설계 심의를 통해 비용 효과·위험도 등을 평가한다.

③ 품질 관리 기능

현장 작업의 품질을 점검하기 위해 검사가 매일 수행된다.

이외에도 품질 순시와 품질 감사가 제작사의 QA/QC 활동을 점검하기 위해 수행된다.

④ 현장 안전 관련 기능

동경전력은 중량물의 취급과 같은 위험한 작업의 수행 이전에 현장 안전성을 평가하였다.

또한 정기적인 안전 순시를 통해서 안전성을 확보하고 있다.

7. 모듈 건설 방법의 장단점

모듈 건설 공법은 공정을 개선하고 현장 작업을 축소하는 데 크게 기여하였다.

또한 품질을 확보하고 현장 작업의 물량을 평탄화하는 데 도움이 되었다.

가. 장 점

① 공장에서 모듈을 제작함으로써 현장 작업의 양은 크게 감축되었다.

② 건설 계획의 critical path는 모듈을 이용함으로써 단축될 수 있다.

③ 작업 부담이 평탄화될 수 있으며, 작업 흐름이 간소화될 수 있다.

나. 단 점

① 사업의 초기 단계에 상세한 기술 계획의 수립이 필요하다.

따라서 각각의 제작사들이 계획을 철저히 지키지 않는 한 모듈은 필요시에 설계되고 제작될 수 없다.

② 조립 공간과 대용량 크레인 등과 같은 현장 시설이 필요하다. ☹