

원전 건설을 위한 종합 정보 시스템

미우라 준(三浦淳)

(주)히다치제작소 원자력건설부
원자력건설계획그룹 주임기사

일 본에서 원자력발전소는 쓰루가 1호기가 1967년 최초 건설되기 시작한 이후 현재 51기가 운전중에 있으며 3기가 건설중에 있다. 원자력발전소 건설의 초기 단계는 건설 계획과 시공 작업을 외국의 기술을 이용하여 추진되었으며 그후로 다양한 기술의 향상과 개선이 이루어졌다.

일본에서는 건설 기간의 단축, 건설 품질과 신뢰성 향상을 위하여 발전소 건설 기술의 개선이 이루어져왔다. 건설 기술의 발전은 기술적인 측면과 관리적인 측면에서 향상되었으며, 그리고 그 범위가 계획과 설계 단계에서 현장 작업까지 확장된다. 기술적인 측면에서, 작업 능력을 높이고 현장 작업량을 줄이며 현장 작업을 균등하게 배분할 수단으로 대규모 모듈의 적용과 건축·기계 및 자동화 설비의 동시 작업 기술이 적용되었다.

3D CAD의 설계 데이터를 사용한 Scheduling 시스템과 같은 건설 지원 시스템은 건설 계획용 툴의 하나로 개발, 적용되었다.

관리적인 측면에서는, 성공적인 관리는 건설 지원 시스템의 개발과 운영에 의해서 실행되며, 그것은 계획을 기반으로 하여 작업 지시와 진척 관리가 가능하다. 필요한 정보는 사무실과 작업 현장간 통신 네트워크를 통하여 작업이 끝나면 즉시 일관성 있게 관리된다.

원전 건설의 특징

〈그림 1〉은 원전 건설의 주요 추진 일정이다. 원자력발전소 건설 절차에 따라 건설 계획이 전원개발조정위원회(Electric Power Development Adjustment Council)에 Establishment permit이 제출되고 그 후에 건설을 시작하는 최초 건설 허가가 승인되고 건설 허가는

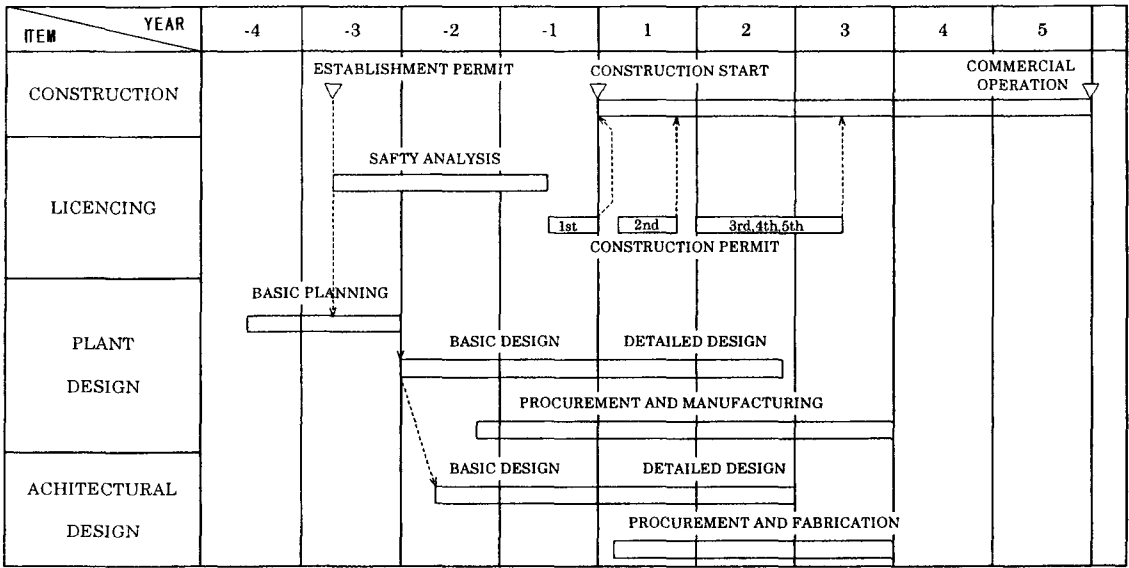
건설하기 전에 차례로 발효된다. 건설 허가부터 건설까지는 보통 약 3년이 소요된다.

〈그림 2〉는 일본 원자력발전소의 전형적인 계약 체계를 나타내며, 일본에서 A/E사는 발전소 전체를 관리하는 방식을 채택한 것이 아니라 1개의 건축 회사와 Plant Supplier가 전력 회사(발주자)와의 계약에 따라 시공을 담당하고 각자의 자재와 설비를 관리한다.

다른 한편으로는 설계는 각 건설 허가 시점에서 CAD나 CAE와 같은 설계 지원 시스템을 사용하여 수행된다. 아울러 반복 작업이나 재설계를 최소화할 수 있게 설계 과정이 개선되었다.

이런 건설 계획은 개념 설계부터 시작하여 시공이 끝날 때까지 다음과 같은 건설 특성에 바탕을 두고 지속된다.

① 건축 공사는 장기간에 걸쳐 기계



〈그림 1〉 Typical engineering and construction schedule

공사와 전기 공사와 병행하여 수행된다

- ② 품질의 고도화 및 장기간의 건설 기간
- ③ 많은 품질 관리 요건

특히 일정과 절차 시험은 Plant Layout Design과 밀접한 관계가 있으며 Module/Block은 그 시험 기간 동안에 설계한다. 최근 발전소에서 Module/Block화 공법은 작업 기간에 크게 영향을 미치고 있으며 건축 회사와 협력과 조정은 필연적이라 하겠다.

이러한 환경에서 3D CAD 시스템을 적용한 최적의 시공 계획이 필요하고 안전하고 고품질의 발전소 건설을 달성하기 위해 초기 단계에서 건축 회사와 상호 협력해야 한다.

통합 정보 시스템

원자력발전소는 값싼 전력을 안정적으로 공급하는 데 목적이 있으며, 각 전력 회사와 Plant Supplier들은 다양한 수단을 통해 합리적으로 노력하고 있다.

또한 다른 에너지원과 비교하여 전력 시장 자유화 환경에서 살아남기 위해서는 비싼 건설 비용의 절감이 절실히 요구된다.

이러한 상황하에서 Hitachi는 다음과 같은 기본 정책으로 건설 사업을 추진하고 있다.

- ① 활용성이 높은 3D CAD를 이용한 고효율의 발전소 설계
- ② 신속·정확한 작업 절차와 3D 설계 데이터를 이용한 건설 일정 수립, 도면 생산의 JIT(just in time) 구현, 공정 계획에 따른 산출물 생산
- ③ 현장 작업을 줄이고 평준화하기 위한 선조립과 모듈화, 그리고 Open top 공법의 확대

- ④ 간접적인 업무에 대한 생산성을 높이고 현장 모든 작업에 전자 정보를 적용하여 최적의 작업 계획 수립

Hitachi는 Hitachi 통합 정보 시스템을 개발·적용하였고, 이 시스템은 상기의 정책을 달성하기 위해 설계·생산·시공 업무를 일관되게 지원한다.

이 시스템은 기본 DB에서 전자적으로 만들어지는 설계 정보 및 공정 정보를 가지고 있으며, 그것을 기반으로 설계와 프로젝트 관리 기능을 가시적으로 구현한다.

1. Plant layout System (3D CAD)

가. 개요

대체로 원자력 발전소는 Reactor를 포함한 터빈·펌프·밸브·파이프·cable tray·HVAC 덕트, 그리고 다양한 종류의 전기 설비와 계

기들로 구성된다.

이런 구성품 각각은 발전소 본래의 목적인 전기를 생산하기 위해 최적의 성능이 나올 수 있도록 다양한 계통에서 순서대로 조립된다.

발전소를 구성하고 있는 복잡하고 수많은 계통과 이러한 시스템을 정돈하기 위해 적용된 지식의 수준은 건설과 운전의 효율과 발전소 유지 보수에 영향을 미친다.

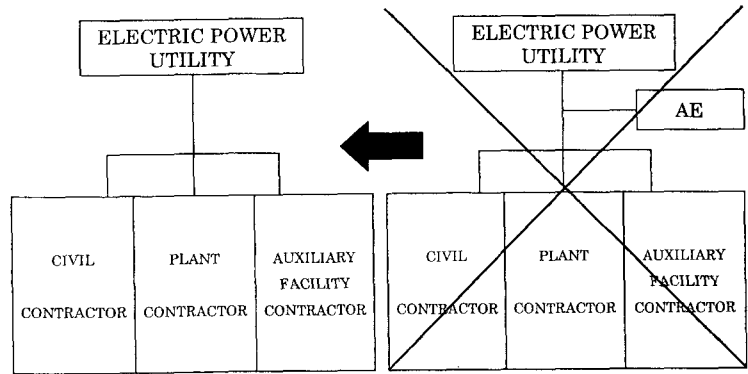
이것이 Plant layout 설계를 어렵게 만드는 것 중의 하나이며 결과적으로 Plant layout 설계는 보통 먼저 주요 호기나 건물의 선정이 결정되고 나서 이루어진다.

그리고 주요 배관로가 계획되고 그 다음에 시행 착오를 거쳐 추가하고 고친다.

이 Layout Planning 방법의 효율을 높이기 위해서 Hitachi에서는 간섭 방지 및 발전소 보수를 개선을 쉽게 관리하기 위해 플라스틱 모델과 칼라 합성 도면을 소개하며, 아직도 Layout에 더 빠르게 추가하고 수정하는 데 많은 인력이 요구되고 있다.

최근 선진화된 컴퓨터 기술의 출현으로 Plant Layout 설계는 플라스틱 모델을 대신하여 최신의 컴퓨터 기술이 활용된 CAD 시스템을 이용한다.

그래서 Hitachi는 「Plant Layout용 3D CAD시스템」을 개발하여 실제 업무에 사용하고 있다.



〈그림 2〉 Contract system

3D CAD 시스템은 단위 업무를 설계하고 검토하는 Plant Layout 엔지니어와 관리자를 위한 컴퓨터 기반의 툴로 구현된 프로그램의 통합체이다.

나. 3D-CAD 시스템

이 시스템은 엔지니어링 데이터 베이스(이하 EDB)에서 설계 데이터를 집중 관리하여 응용 프로그램에서 쉽고 유용하게 사용되는데, 예를 들면 예방 보수 계획(접근성·유지 보수성 등)과 시공 작업 계획(설치 절차·설비 설치/운송·임시 비계 등) 등이다.

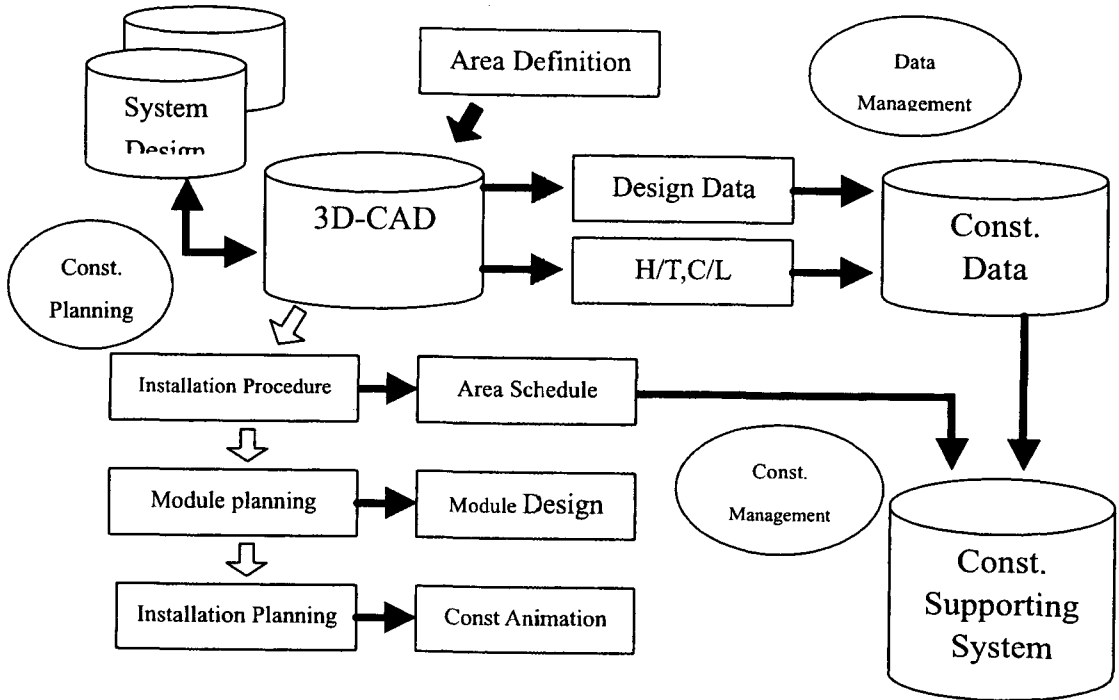
EDB와 3D CAD시스템은 고품질의 Plant Layout 설계에 꼭 필요하게 되었으며, 더구나 3D CAD 시스템은 상향식 설계에 있어 여러 종류의 EDB와 연계하여 설계에 필요한 정보를 전자 데이터로 취득할 수 있다.

하향식 측면에서는 현장과 shop에서 활용되는 용접 point 위치 등 배관 제작 데이터는 Plant Layout에 기반을 두고 생성된다. 그 결과는 조립 도면과 같은 산출물과 그리

고 배관 제작 공장에서 사용된 자료 및 도면 정보이다

특히 신뢰성이 높은 발전소 운전을 목적으로 한 설계 단계에서의 이 시스템 사용은 심사숙고하여 실행해야 하며 그 항목은 다음과 같다.

- ① 가능성과 접근성 보장
그래픽모델상 공간을 통과하여 접근하는 표시, 시뮬레이션 기능에 의한 가능성 확인
- ② 운용성·유지 보수성·분해 및 검사의 용이성 보장
각각 같은 모델에 필요한 공간의 표시와 확인, 유지 보수원 및 검사원의 확인
- ③ 설치 절차의 용이성과 합리성 보장
현장 작업점(용접부·간섭부 등)의 표시와 작업자에 의한 작업의 계획 수립과 확인, 그리고 고도의 정확한 3D CAD 설계와 EDB에서 일관성 있게 관리하는 응용 기술은 시공 단계에서 대규모 모듈화 공법의 적용을 가능하게 한다
이 EDB는 설계와 시공뿐만 아니라 발전소 관리 및 예방 보수



(그림 3) Overview of integrated information system

데이터로 유효하게 이용한다.(그림 3)

그리고 이것은 원자력발전소 수명 주기 동안 유용하게 사용될 것으로 기대한다.

특히 이 모듈은 DB에 의해 일관되게 설계되고 모듈의 모든 설계 단계(계획·상세 설계·제작)는 설계 지원 시스템에서 설계한다.

구체적으로 다음과 같다.

- ① 모듈화를 위한 알맞는 Layout 작성 계획
- ② 모듈 계획 도면 작성
- ③ 조립된 모듈의 부품 목록과 조립 도면 작성

이렇게 Hitachi에서는 Plant Layout 설계에 설계 단계 초기에 모듈화를 반영하고 설계 일정 관리를 통해 발전소 설계의 효율성을 높이는 것이 가능하다.

이 EDB는 설계와 시공 계획뿐만 아니라 발전소 자료 관리나 예방 보수에 매우 효과적으로 사용되고 원전의 수명 기간에 걸쳐 실질적으로 폭넓게 사용될 것이다.

2. 시공 계획 시스템

원자력발전소의 시공 계획은 공정 계획·설치 계획·임시 설비 설치계획으로 분류한다.

시공 계획은 시공 착수 5~6년 전에 시작하고 기술과 건설 경험이 풍부한 엔지니어가 기본 설계부터 상세 설계까지 발주자(고객)·시공사·제작사와 협력하여 수행한다.

많은 인력이 요구되지만 최적의 설계를 위해 많은 반복적인 조정이 필요하며, 또한 공정 계획은 고도의 정확성이 요구되고, 도면과 산출물의 도착 일자에 맞추기 위해 초기

단계에 설계 공정 및 제작 공정과 함께 관리된다.

이런 환경에서 설계 지원 시스템은 3D CAD 데이터를 이용하여 컴퓨터 그래픽 기술에 적용하였다.

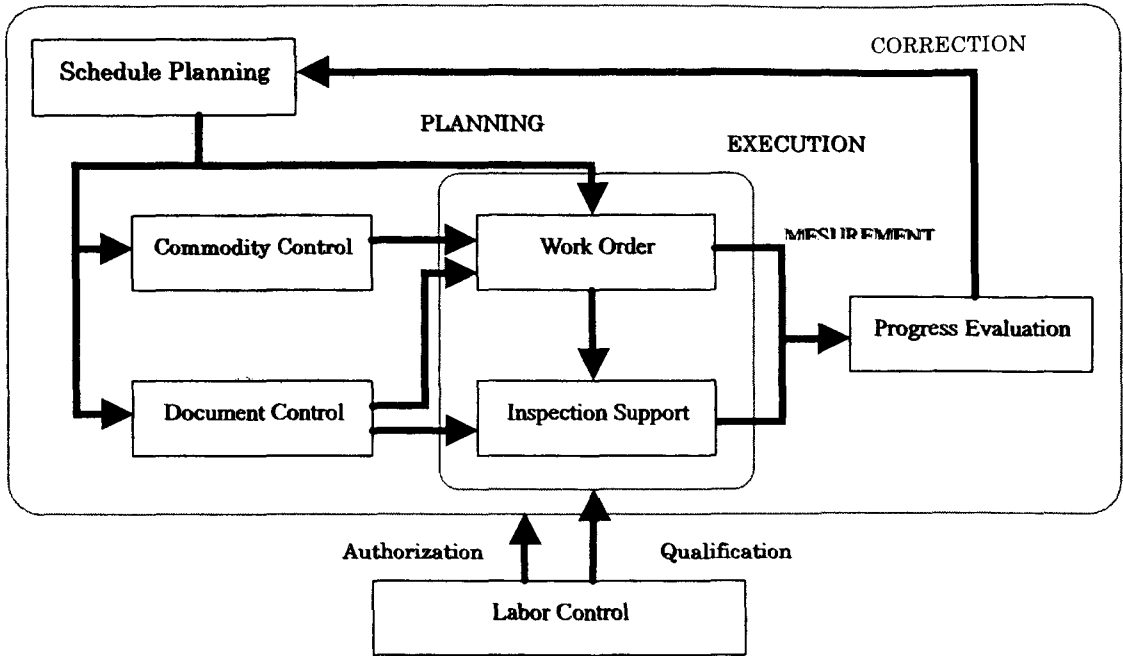
이 시스템은 ① 공정 계획 시스템 ② Yard Planning 시스템 ③ 임시 저장 및 비계 조립 계획 시스템으로 구성된다.

가. 공정 계획 시스템

이 시스템은 SUB-MASTER 공정과 구역별 공정의 작성을 지원하며, 3D CAD와 연계하여 필요한 데이터를 취득한다.

이 시스템은 Hitachi 시공 지원 시스템의 하위 시스템인 공정 지원 시스템과 연계하여 SUB-MASTER 공정으로부터 3주간 공정을 지원하는 시스템이다.

A. SUB-MASTER 공정 시스템



〈그림 4〉 Overview of Construction supporting system

SUB-MASTER 공정은 발주자에게 제출되면 시공 착수 약 1~2년 전에 수정하여 발행한다.

이 공정의 목적은 각각의 시공 및 시험 전체 일정을 승인하고 발주자를 포함한 다른 회사와의 업무 분장을 명확히 하는 데 있다. 이 시스템의 주요 특징은 다음과 같다.

- ① 기기 데이터와 건축 데이터를 이용하여 반자동으로 공정표를 만든다.
- ② 하향식 공정표와 연계한다.
- ③ 공정 데이터로 시공 시뮬레이션을 만든다.

B. 구역별 공정 시스템

구역은 시공을 위해 분리한 영역을 말하며 각 빌딩에 약 1백개가 존재하고, 구역별 공정은 시공 사무실이 만들어지기 전에 작성하고 모든 현장 작업 실행을 위한 기본 계획이

다. 이 공정은 사전에 3D CAD상 한 구역의 Layout을 확정하는 숙련된 엔지니어에 의해 만들어지고 시공 절차를 실험하는 데 많은 시간이 걸린다. 이 시스템은 과거의 문제점을 해결하고 다음과 같은 특징과 기능이 있다.

- ① 계획된 Activity에 따른 3D CAD 데이터의 통합과 분할
- ② CAD 화면에서 공정 데이터 작성(작업 절차·작업 기간)
- ③ 다른 공정 시스템과 간섭 확인
- ④ 공정을 이용하여 애니메이션 작성
- ⑤ 공정 업무 노하우 및 시공 기록 등의 입력과 축적

이러한 기능은 작업 절차에 정의되며 3D CAD에서 보여지는대로 바로 공정표를 작성하며 그리고 확실한 검증과 시공 애니메이션에 의

한 정확한 계획의 수립이 가능하다.

더구나 이것은 확실한 계획 의도를 알려주고 작업자를 위해 절차 결정 사유와 기록의 내역을 알려준다.

공정 엔지니어는 3D CAD 앞에서 각 시공 일정을 수집하고 사전에 시공 순서를 조정하는 역할을 한다.

이 시스템에서는 각 공정 엔지니어가 구역별 공정 일정을 동시에 수립할 수 있다. 이는 자기 PC로 또 다른 시공 작업의 절차를 참고하여 시공 순서를 시험하고 조정할 수 있기 때문이다.

나. Yard Planning 시스템

이 시스템은 빌딩 주변에 복잡하게 설치된 수많은 부분들에 대한 공정을 효과적으로 수립할 수 있다. 이는 대형 운반 장비의 운송·이동 방법과 발전소에서 조립된 대형 장비의 설치 방법이 나타나고, 이 계

획은 발전소 전체 계획에 영향을 주기 때문에 발주자 및 다른 회사와 협의를 거친 후에 초기 단계에서 결정된다.

이 시스템은 Yard 상황을 재연할 수 있으며 Yard 운송 상태와 운반 상태를 확인할 수 있다.

또한 애니메이션으로 그 결과를 재연할 수 있고, 이 애니메이션을 이용하여 외부 모양 변경에 따른 다양한 문제의 현상을 실험할 수 있다.

이 시스템은 기존 CAD 시스템과 연계하여 빌딩 주변 상황에 대한 입력 작업을 효율적으로 할 수 있도록 개선하였다.

지금까지는 장비 운송 도면들은 각 단계마다 수작업으로 만들곤 했으나 이 시스템에서는 시공 방법과 가시적인 시물레이션에 의해 상황에 대한 충분한 해석이 가능하다.

다. 임시 저장 및 비계 조립 계획 시스템

Slab 작업 전에 운반할 물건의 수가 증가함에 따라 임시 저장 계획이 중요하게 된다.

시공에 앞서 모든 임시 저장 계획의 도면은 많은 인력을 투입하여 CAD 출력이나 수작업으로 작성되고, 이 시스템은 PLAN 도면 작성에 따른 노력을 줄이고 건축 회사와 협력, 그리고 작업 효율을 증진하는데 그 목적이 있다.

주요 기능은 다음과 같다.

- ① 임시 저장 기능
임시 저장 위치는 이동·회전 및 위치 특정 사양의 기능을 사용하면 그 위치가 결정되고 뒤따르는 설치 순서에 유의해야 한다.
- ② 비계 조립 계획 기능
비계 조립 계획은 생성·이동·복사 등의 기능을 이용하여 실행하고 비계를 공유하고 재생성을 최소화해 유의한다.
- ③ 도면 작성 기능
이 시스템은 임시 저장 계획 도면과 임시 비계 조립 도면을 만들기 위해 자동적으로 라인 크기를 조절하고 항목 테이블을 만드는 기능이 있다. 작업자는 이 도면을 보고 파이프를 옮기고 비계를 설치하는데 이 도면이 작업 지시로서 이용된다.

3. 시공 지원 시스템

가. 시스템 구조

〈그림 4〉는 시공 지원 시스템의 구조를 나타내며, 이 시스템은 계획의 지시·실행·측정과 같은 기능을 이용하여 사업 관리를 할 수 있다. Hardware 기반은 한 대의 UNIX Database 서버와 Windows 서버 및 PC들로 구성된다.

데이터 베이스는 운영의 용이성과 현장과 Hitachi 본사와 보안성 때문에 분산 처리되고 있고, 저녁

시간에 서로의 서버에 데이터를 일치시킨다. 그리고 사무실과 비슷하게 현장과 모든 Hitachi 협력 업체에 현장 네트워크가 구축되어 있다.

나. 하부 시스템 운영

이 시스템을 이용하려면 작업자 관리 시스템에서 관리되는 User ID와 Password가 필요하고 이 시스템에 의무적으로 모든 작업자가 등록되어 있다.

이 시스템은 기본적으로 전자 데이터로 운영되고 용접 작업과 같은 작업 지시는 PDA(Personal Digital Assistant)와 작업 승인 요구에 의해 이루어지고 이 내용이 개인에게 전자적인 메시지로 통보된다.

이 시공 지원 시스템은 7개의 단위 시스템으로 구성되어 있다. 각 단위 시스템의 개요는 다음과 같다.

A. 공정 계획 시스템

이 시스템은 3개월, 3주간 공정 수립을 지원하는 데 그 목적이 있고, 구역별 공정에 기반을 두고 개발되었으며, 실제로 3주간 공정에서는 거꾸로 된 상위 순위의 일정을 반영한다.

이 기능은 수정 과정의 실수와 일정의 복사를 줄이고 공정을 효율적으로 수립하는 데 기여한다.

또한 작업 지시 시스템과 검사 지원 시스템과 연계하여 작업 지시와 검사 요청을 하고 작업 일정과 일치하는 결과를 수집하여 실행한다

기기 번호 · 시공 도면 번호 · 용접 번호 등과 같은 설계 데이터가 취득되며 이것은 각각의 번호를 이용한 공정 수립이 가능하다.

B. 자료 관리 시스템

이 시스템은 자료의 접수 · 배부 · 수집 기능과 Hitachi 사무실에서 만들어진 자료를 이용하여 현장에 보내진 문서에 대한 폐기 기능을 가지고 있다. 또한 현장에서 만들어진 자료를 관리하는 기능과 Internet을 통하여 자료의 이미지 데이터를 추출하는 기능을 가지고 있다.

C. Commodity 관리 시스템

이 시스템은 현장에 납품되는 생산물과 자재를 관리하고 자재 도착을 관리하며, 재고와 납기를 관리한다. 이는 설계 부서에서 발행한 전자적으로 작성된 구매 서류에 바탕을 두고 있다. 또한 작업자가 가지고 있는 정보를 사전에 통지하는 납기 관리 기능과 납품서를 자동으로 발행하는 기능, 그리고 재고를 관리하는 기능이 있다.

D. 작업 지시 시스템

작업자가 3주간 공정 데이터 베이스에서 데이터를 불러내면 나중에 감독자와 감독 부서장이 작업 지시를 승인하고 그는 작업장에서 휴대용 단말기(PDA)나 작업 지시서를 이용하여 작업을 지시한다.

작업 결과는 PDA로부터 UP-LOAD하거나 PC에서 직접 데이터

베이스에 입력한다. 그리고 그 후에 감독자와 감독 부서장이 입력된 작업 결과에 대한 승인을 하고 품질 관리 부서에 검사 요청 데이터가 전송된다.

E. 검사 지원 시스템

검사 담당자는 작업 지시 시스템에서 모아진 데이터를 불러내어 PDA에 DOWN-LOAD하거나 기록서에 출력하고 검사 업무를 수행한다. 검사 결과는 PDA로부터 UP-LOAD하거나 PC에서 직접 데이터 베이스에 입력하고 관리자가 이를 승인한다.

F. 작업자 관리 시스템

이 시스템은 작업자의 고용 관련 모든 사항과 용접 자격과 같은 개인별 자격 정보를 관리한다.

G. 진도 평가 시스템

이 시스템은 자재 · 빌딩 · 구역 · 계통별 작업 진도와 작업 지시 시스템과 검사 지원 시스템에서 전자적으로 모아진 데이터를 기초로 협력업체별 작업 진도를 관리하는 기능이 있다.

결론

3D CAD 및 컴퓨터 그래픽 기술과 같은 최신의 기술을 이용한 원자력발전소 통합 정보 시스템은 Plant Layout 설계부터 제작 · 설치까지의 업무 범위를 구현한다.

시스템 적용에 따른 효과는 다음

과 같다.

- ① 3D CAD를 이용한 고도의 정확한 Layout 설계로 반복 작업 감소
- ② 초기 단계에 3D CAD 데이터를 잘 활용하여 효율적인 계획 수립
- ③ 다양한 시뮬레이션에 의한 설계 정확도 향상과 그것에 바탕을 둔 JIT 개념 적용
- ④ 설계 사상을 하위 설계자에게 전수하고 전산 시스템에서 숙련된 엔지니어의 노하우를 전수받고 계획 수립의 기초와 노하우를 축적
- ⑤ 시뮬레이션을 이용하여 현장 작업 시작 전에 작업자와 감독자의 훈련과 교육
- ⑥ 가시적인 계획 수립과 발주자와 다른 회사간 효과적인 협력이 따른 의식 수준의 향상
- ⑦ 데이터 베이스를 이용한 정보 공유로 효율적이고 신속한 프로젝트 관리

그러므로 Plant Layout 설계와 건설 계획이 효율적으로 개선되어 왔으며, 정확한 시공 계획에 따라 현장에서의 작업 능률 또한 향상되었다.

앞으로 이 시스템의 완벽한 구축을 위해 사용자가 쉽게 이용할 수 있게 User Interface를 개선하고 Layout 설계와 시공 계획 수립을 동시에 할 수 있도록 개선할 것이 다. ☞