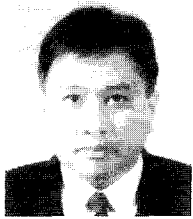


# 원자력발전소 건설관련 3차원 CAD 기법을 활용한 시공관리 방안



정경화 · 한국전력기술(주)

## 1. 배경

그 동안 국내 건설업계가 비약적인 국가경제 발전의 한 축을 담당하여 국제 경쟁력 강화는 물론 국가의 발전에 지대한 영향을 끼쳐 왔으며, 선진국으로 진입하는데 중요한 역할을 담당하여 왔다는 것은 누구도 부인할 수 없는 사실이다. 그러나, 앞으로의 주변 여건은 이러한 안정적인 발전을 계속하기 어려운 상황으로 변화되고 있다. 보다 심각한 문제는 이와 같은 어려운 상황을 극복하기 위한 해결방법에 대한 선택 폭이 그리 넓지 않다는 것이다.

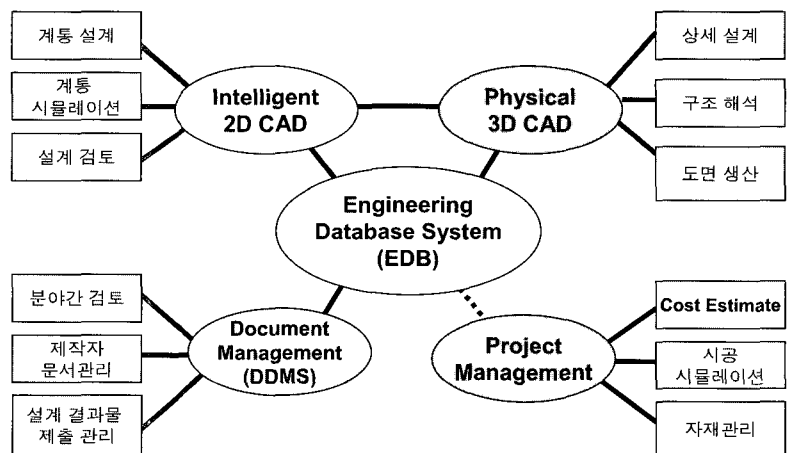
이러한 여건변화에 대응하기위한 한 방안으로 3D CAD 기법을 활용한 시공관리 개선 방안에 대하여 생각하여 보았다. 한국전력기술(주)이하 한기)는 1984년에 3차원 CAD 시스템을 도입하여 이를 18년간 사업에 적용한 축적된 기술력과 한국형 원자력 발전소 설계 경험을 기반으로 통합플랜트정보관리시스템(IPIMS™)을 개발하여, 이러한 주변 환경변화에 적극적으로 대처하고 있으며, 본 원고에서는 IPIMS™가 보유한 3차원 CAD 기술을 중심으로 국제경쟁력 강화에 필요한 시공관리 기능요건에 대하여 본인의 생각을 정리하여 보았다. 참고로, 여기에서 언급한

모든 기능 요건에 대해 개발을 완료한 것은 아니며, 별도의 투자만 이루어 진다면 기술적으로 구현이 가능한 것이다.

## 2. IPIMS 구성 및 3차원 CAD 기능 요건

IPIMS는 설계형상(Design Configuration)을 관리하는 3차원 CAD 기법과 각종 설계 컴퍼넌트의 속성 정보를 관리하는 데이터베이스 기법 및 설계 결과물(Engineering Deliverables) 관리를 위한 PDM 기법 등, 기능 별 특성에 따라 효율적인 전산기술을 활용하여 개발되었다. (그림 1 참조) IPIMS 개발작업은 최첨단 전산 프로그램을 개발하는 작업이 아니라, 프로젝트에서 사용되는 업무 프로세스의 규격화 및 통합화 작업을 통하여 설계분야 간 설계정보의 적합성을 검증할 수 있는 기능을 보유한 전산 시스템으로의 개발을 목표로 하였다. 이러한 표준화 및 통합화 작업은 실제 현장 여건을 반영하였고, 검증 및 기능 보완 작업을 통하여 시스템 개발에 반영되었다.

실제 업무 적용에서 발생 가능한 문제점을 사전에 점검 반영하여 프로젝트 적용에 따른 문제점을 최소화하는 것은 좋은 최첨단 전산프로그램을 개발하는 일보



IPIMS : Integrated Plant Information Management System

그림 1. IPIMS 구성도

다 더욱 중요한 작업이다. 이러한 적용환경에 대한 사전 검토를 통한 적용시 문제점을 사전에 해결할 수 있도록 IPIMS 개발 작업을 수행하는 동시에 기 설계가 완료된 한국형 표준원전 데이터베이스를 구축하여 실제적인 기능 검증 작업을 수행하였다. IPIMS는 아래와 같이 4개의 서버 시스템으로 구성되어있다.

- Intelligent 2D CAD System(2D CAD)
- 3D CAD System (3D CAD)
- Engineering Database System (EDB)
- Drawing & Document Management System (DDMS)

IPIMS는 위의 4개 서버 시스템으로 구분하여 구축되었지만, 개별 시스템간의 정보 연계 기능은 IPIMS가 보유한 중요한 특징중의 하나이다. 4개 서버시스템 중 IPIMS의 중요한 시스템 중의 하나가 3D CAD 시스템이다. 이 3차원 CAD 시스템은 계통설계를 실제화 하는 기능을 보유하고 있으며, 시공을 위한 실제 사이즈 및 물량이 확정되는 중요한 기능을 담당하게 된다.

### 3. 3D CAD 시스템 기능 요건

설계 및 건설업무 수행을 위한 3차원 CAD 시스템의 기본적인 필수 기능요건을 크게 아래 5가지로 정리할 수 있다.

- 계통 설계 정보와 상세 설계간의 형상관리(Configuration Management) 기능
  - 기술 분야간의 종합적인 설계 및 간섭 검토 기능
  - 통합된 모델로부터 시공 도면 일괄 생산 기능
  - 기자재 산출 및 시공 Activity와 자동 연계 기능
  - 설계요건 정보 자동 관리기능 - DBD 정보 연계
- 이러한 설계 및 시공업무를 지원하기위

해 필요한 세부적인 3D CAD 기능 요건을 아래와 같이 정리하였다. 아래 기능요건은 플랜트, 특히, 원자력발전소 건설에서 요구되는 기능을 나열하였으나, 일반 건축 구조물 건설에 필요한 기능요건은 아래에서 필요한 일부 기능요건만 선택적으로 적용하면 된다.

- 계통 DB와 3차원 모델의 DB 연계성(Database)
- 입력기능 (Modeling)
- 통합기능 - 대형 프로젝트(Integration)
- 그래픽 Review기능(Model Review)
- 간섭 검토 기능 (Interference Detection)
- 도면 생산 기능 (Drawing Production)
- 시공 시뮬레이션 기능(Sequence Simulation -4D, 5D CAD)
- 자재 관리기능(Material Control)
- 시공 패키지 관리 기능(Construction Work Package)
- 시공 현황 관리 기능(Construction Status Review)

#### 가. 계통 DB와 3차원 모델의 DB 연계성(Database)

플랜트 건설에서 가장 중요한 업무는 플랜트 작동의 기본을 구성하는 계통설계이다. P&ID 업무를 포함한 계통설계는 플랜트의 혈관과 신경 망에 해당하는 계통 논리를 체계적으로 정의하는 작업이며, 실제 상세설계 및 시공은 이 계통설계를 정확히 반영하여야 한다. 그래서, 3차원 설계단계에서 계통 설계정보를 정확하게 연계하여 사용하는 것이 중요하며, 건설기간동안에 지속적으로 변경되는 계통설계 변경에 따른 정확한 설계정보의 관리체계가 유지가 중요한 기능 요건이기 때문에 3D CAD 소프트웨어의 계통 데이터베이스 연계기능 보유는 필수적이다.

#### 나. 입력기능(Modeling)

3차원 설계는 가상의 컴퓨터 공간에서

입체적으로 가상 시공작업을 수행하면서 설계하는 방식이다. 그러나, 데이터는 3차원 좌표가 입력되지만, 형상을 표현하는 모니터는 3차원 좌표를 입체적으로 표시하지 못한다. 입체적으로 입력된 설계형상이 평면(2차원) 모니터로 표시된다는 말이다. 다시 말하면, 말이 3차원이지만 실제 표시는 2차원적이다. 그래서, 평면적인 공간에 입체적인 데이터를 입력하여야 하는 3차원 설계는 입력기능이 우수하여야, 보다 효율적으로 3차원 설계를 수행할 수 있다. 요즘은 컴퓨터 하드웨어 성능의 비약적인 향상과 소프트웨어 기능의 발달로 효율적인 3차원 설계작업이 가능하게 되었다. 그리고, 소프트웨어마다 독자적인 특징이 있으므로 설계작업을 보다 쉽게 지원하는 3D CAD 소프트웨어 선택이 가능하게 되었으나, 3차원 CAD 소프트웨어의 평가는 보다 전체 업무적인 관점에서 평가되어야 한다.

즉, 입력기능이 우수한 소프트웨어 인지를 검토하는 것도 중요하지만, 그보다 프로젝트 전반에 활용이 가능한 시스템인지를 검토하는 것이 더 중요하다.

#### 다. 통합기능-대형 프로젝트(Integration)

3차원 CAD 시스템은 적용하고자 하는 프로젝트 최종 설계결과를 단일 데이터베이스시스템으로 통합할 수 있는 기능을 보유하여야 한다. 즉, 모든 설계 컴퍼넌트를 DB 기반의 단일 통합 데이터베이스로 구축하는 기능을 보유하여야 한다. 여기서, 유의할 점은 화면상에서 전체 설계 기자재가 한번에 화면에 표현되었다고, 단일 통합 데이터베이스로 통합되었다고 말할 수 없다는 것이다.

다시 말하면, 일부 소프트웨어는 미리 정의된 여러 개의 파일형태(기술 분야별 혹은 시공 영역별로 정의 가능)로 존재하다가, 화면에 표시할 때 단일 데이터베이스처럼 표시할 수 있는 기능을 가지고 있기 때문에 혼란이 있을 수 있다.

단일 DB로 전체 건물을 통합하는 문제는 설계의 적합성 점검과 정확한 간섭 점검 및 시공물량의 재 분류 작업 및 효율적 데이터 운영을 위해 중요한 요건이며 상당한 설계요소로 구성된 원자력발전소의 보조 건물 및 터빈 건물의 모든 시공 기자재를 단일 DB로 통합하는 기능은 중요한 점검항목이다.

라. 그래픽 Review기능(Model Review)

이렇게 단일 그래픽 데이터베이스로 통합된 3차원 형상은 업무 목적에 맞게 활용이 가능하여야 한다. 실제로 프로젝트 수행 중에는 전체 건물형상에 대한 설계 검토도 수행되어야 하지만, 주로 보다 작은 규모의 시공구역단위 혹은 특정 Room 내 혹은 특정 시스템 단위로 검토하는 것이 더 일상적이다. 그래서, 통합된 그래픽 데이터베이스는 필요한 구역, 시스템 혹은 컴퍼넌트 단위의 부분 추출 기능을 가지고 있어야 한다. 그리고, 입력기능에서 언급하였듯이 3차원이지만 평면에 표시되는 평면적인 입체 형상은 인간이 이해 혹은 조정하기가 그렇게 간단하지가 않다. 그래서 아래와 같은 기능요건이 제공되어야 3차원 모델을 활용하여 직접적으로 설계검토가 어느 정도 가능하게 된다.

- 검토하고자 하는 컴퍼넌트를 Tag를 사용하여 바로 접근
- 유연한 모델 검토 단위 - Room, Area, Zone 등
- 실시간 Walk Through 기능 및 회전 기능
- 모델 검토를 위한 설치 기자재를 임시적으로 제거/절단하는 기능
- 검색하고자 하는 기자재의 설계 정보 (EDB 등)를 연계 검색하는 기능
- 두 지점간의 정확한 거리 측정 기능
- 설계 기자재를 검토 환경에서 임시로 이동하는 기능
- 임시 이동된 상태에서 회전, Zoom 등 설계 검토 기능

- Door를 통한 Non-Captive 기자재 반입 검토 기능
- 인정되는 간섭 정의 및 Affiliation 설정 기능
- 간섭위치 식별 기능(2개 Object, Room, Area 등)
- 해당 간섭 선택 시 대상지역으로 자동 접근할 수 있는 기능
- 지정된 Room, Area내의 모든 간섭 표시 및 검토 기능-Area Completion 시
- 배관계의 응력해석 Subsystem 별 Walk down 기능

마. 간섭검토 기능(Interference Detection)

간섭검토 업무는 설계의 품질 및 시공성을 미리 확인하여야 하는 중요한 기능이다. 혹자는 이 간섭검토시스템을 운용하여 검토된 간섭내용에 따라 중요한 시공상의 오류가 몇 가지가 미리 검토되고 확인이 될 수만 있다면 이 시스템에 대한 시스템 투자비용이 한번에 회수될 수 있다고도 말할 정도로 설계 및 시공업무에 있어서 중요한 기능이다. 간섭검토 기능은 전산CPU 및 Disk등 전산기 Resource를 엄청나게 사용하는 시간이 상당히 많

이 걸리는 계산 작업이다.

이러한 요건을 지키기 위해서는 고성능의 전산기가 필요함은 물론 원자력 발전소 시공 기자재 물량을 고려할 때 수학적으로도 빠른 처리 이론을 보유한 전산 프로그램을 도입하여 활용하여야 한다. 그리고, 설계 및 시공의 복잡성을 고려할 때 발생한 설계간섭은 체계적으로 관리되어 설계 및 시공에 반영되어야 한다.

바. 도면 생산 기능(Drawing Production)

통합3차원 CAD 모델을 구축하면 이 모델로부터 시공을 위한 2차원 도면을 생산하여야 설계 및 시공 효율을 향상시킬 수 있다. 그런데, 문제는 사람이 수작업으로 작성한 2차원 설계도면과 동일한 형식으로 3D CAD 도면을 추출하기가 어렵다는 데 있다. 그래서, 이 문제는 소프트웨어가 보유한 도면생산 기능을 잘 검토하여 기능성을 향상시키는 작업과 병행하여 기존 도면작성 방식을 변경하여 문제를 해결하여야 한다. 상세설계에 사용되는 도면은 크게 아래의 2가지 형식으로 분류된다.

- 시공의 배치성 점검을 위한 Full Size 도면(대체로 A0 크기로 작성)

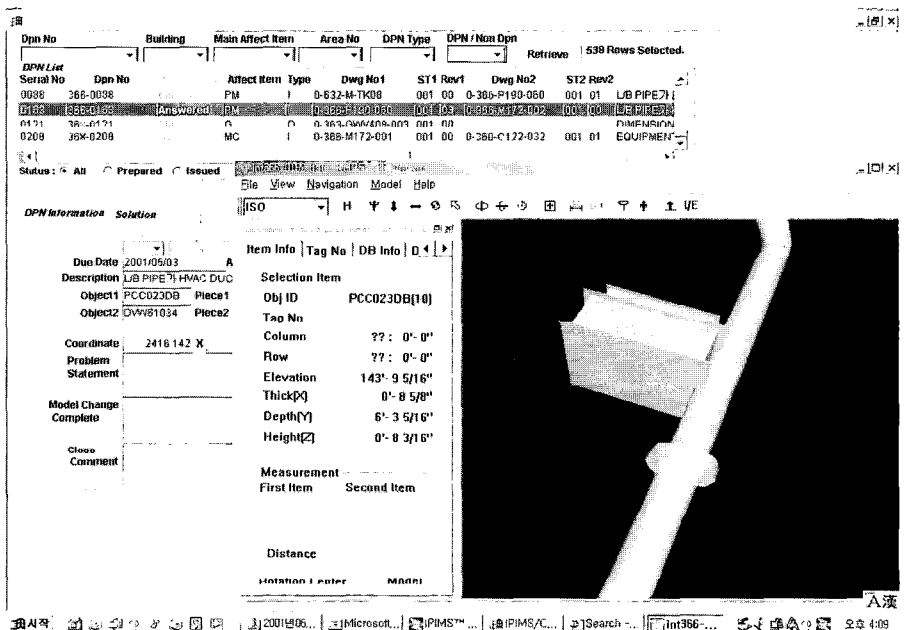


그림 2. 간섭검토 관리 화면

- 상세 설치를 위한 시공도면(대체로 A2 부터 A4 크기의 도면)

일반적으로, 시공 배치성 점검을 위한 기존 Full Size 배치도면은 대체로 아래와 같은 업무를 위하여 작성이 된다.

- 설계 기자재 및 기기의 시공 배치성 점검 및 도면상에서 간섭 검토
- 시공 물량 산출
- 상세시공도면 작성을 위한 기초 도면

그런데, 3차원 모델을 구축하면 위의 대부분의 업무 처리가 가능하므로 3차원 모델을 구축한 경우에는 수작업으로 작성한 수준의 도면을 작성하지 않아도, 시공업무를 수행하는데 큰 지장이 없다. 그래서, 3차원 모델로부터 추출되는 2차원 도면은 개략적인 시공 개념을 표현하는 Composite 도면 정도 수준으로 작성하고, 상세한 시공도면(배관 ISO도면 등)은 3차원 모델로부터 정확하게 생산하면 된다.

사. 시공 시뮬레이션 기능(Sequence Simulation-4D, 5D CAD)

통합된 3차원 CAD 모델과 시공계획(Construction Schedule)이 연계된 시공 시뮬레이션 업무는 시공 지원 업무 중 중요한 기능의 하나이다. 이 부분을 3차원 모델에 시간요소(Time)를 부가한 4D CAD 시스템이라 표현하고있으며, 이 4D CAD에 물량요소(Material 혹은 Cost)를 부가한 기능 시스템을 5D CAD 시스템이라고 표현하기도 한다.

현재, 대부분의 중요 3차원 CAD 소프트웨어는 이 기능을 개발하여 시공업무를 지원하고 있으나, 실제 프로젝트 운영의 관점에서 보면 아직도 기능을 개선할 부분이 많이 있다. 아래는 현재 전산 프로그램이 가지고 있는 문제를 제시한 것이다.

- 설계와 시공간의 Physical 분할 방법의 차이 - 콘크리트, 배관 및 HVAC 등
- 설계 Object와 시공 Object간의 연계의 어려움 - 배관, HVAC 등
- 시뮬레이션 중 선행 Object이 후속

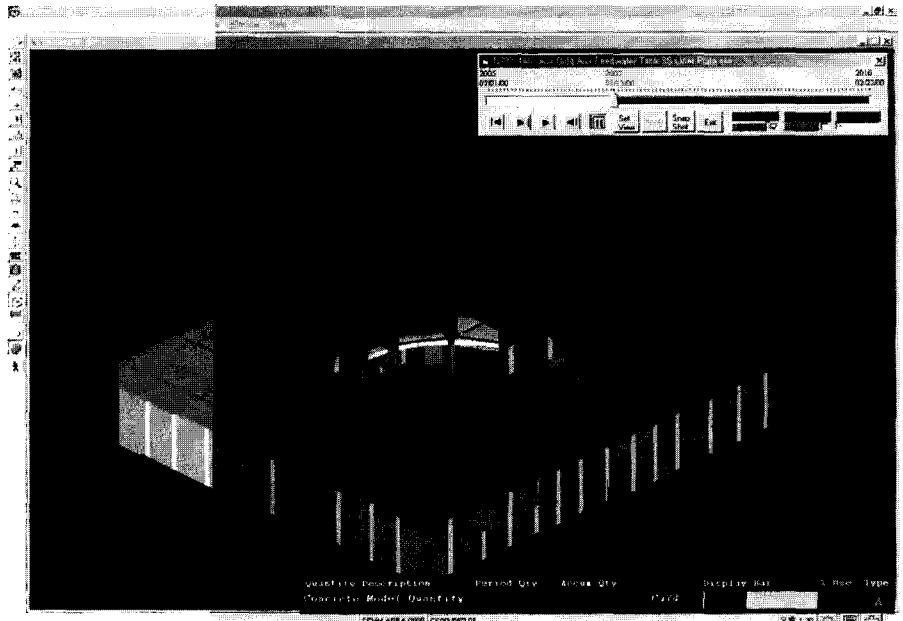


그림 3. 5D Simulation 화면

- Object을 화면에서 가리는 문제
- 동적인 시공 작업 점검 문제 - 즉, 주요 자재의 반입 시뮬레이션

이 업무 구현에서 가장 어려운 작업이 설계 기자재와 시공 Activity를 연계하는 작업이다. 시공 시뮬레이션 작업을 원활하게 수행하려면 3차원 CAD 소프트웨어는 Object 기반의 기법을 사용하여 그래픽 데이터베이스를 구축하여야 한다. 그러나, 시중에는 진정한 Object 기반의 소

프트웨어가 그리 많지 않다

아. 자재 관리기능(Material Control) 수 작업 설계방식과 비교하여 3D CAD 기법을 활용한 중요한 이점은 시공에 소요되는 자재 물량을 쉽게 산출할 수 있다는 것이다. 그러나, 이러한 평면적인 물량 산출 기능만 가지고는 선진 기법의 경쟁력 있는 시공관리를 할 수 없다.

원자력발전소는 방사능 차폐 등을 위하

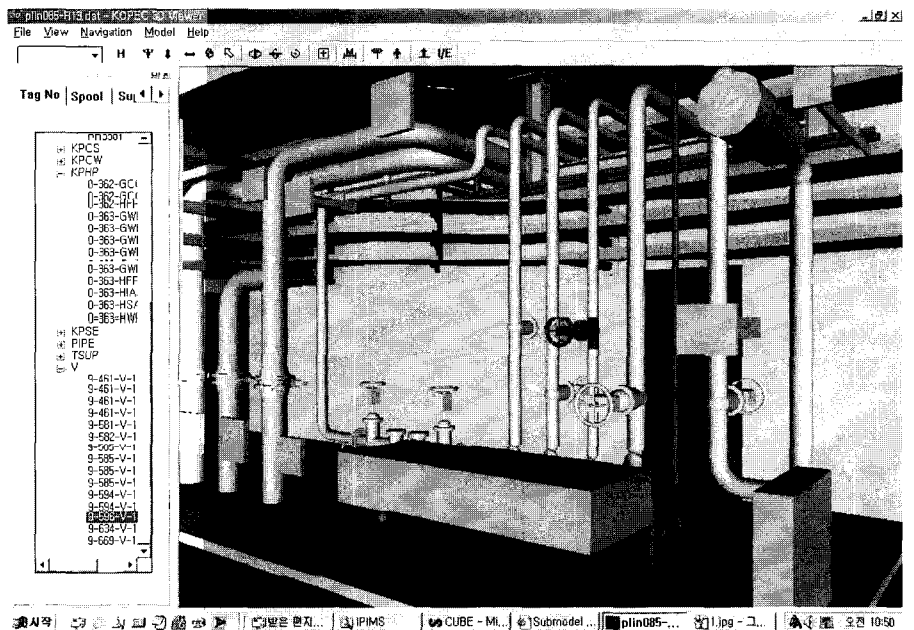


그림 4. Room별 자재관리 화면

여 거대한 콘크리트 구조물로 시공이 되며, 이 건물 내에는 각각의 고유한 기능을 하는 수백개의 독립된 Room으로 구성된다. 그래서, 시공 및 시운전 Turn Over도 Room 혹은 Area 단위로 수행되므로, 설계 기자재 및 물량은 Room 혹은 시공 영역(Area) 단위로 재 분류 되어야 한다. 그래서, 원전 시공을 효율적으로 수행하기 위해서는 전체적인 물량의 합산에 더하여,

- 시공 기자재의 Room, Area 및 Zone 단위로 자동 분류하는 기능
- Associate Component 자동 인식 기능 Associate Component는 시공 기자재 상호간의 연계 시공 관리 기능이다. 예를 들면, 임의 배관 Spool에 설치되는 Support는 무엇이며, 이 Support의 설계 및 시공 상황이 연관되어 관리될 수 있어야 한다.

**자. 시공 패키지 관리 기능(Construction Work Package)**

시공사가 특정 시공구역을 실제 시공하기 위해서는 그 시공구역에 대한 모든 설계도서의 발행 현황을 알아야 하며, 실제 시공 시에 그 시공구역에 대한 설계도서는 모두 설계 확정(Design Freeze)되어 더 이상의 설계변경이 없어야 한다.

3차원 CAD시스템은 이러한 시공구역에 대한 설계정보 및 설계도서를 연계하여 검색할 수 있는 기능을 제공하여야 하며, 검색된 설계도서의 설계상황도 함께 표시할 수 있어야 한다.

그런데, 이러한 기능을 구현하기 위해서는 모든 설계정보(기자재 DB, 도면, 사양서 및 CAD 파일 등)관리 시스템이 통합되어 운영되어야 하나, 현재 상용으로 제공되는 소프트웨어는 이러한 모든 요건을 충족시킬 수 있는 시스템이 제한적이며, 원자력발전소 설계 기자재와 도서를 통합

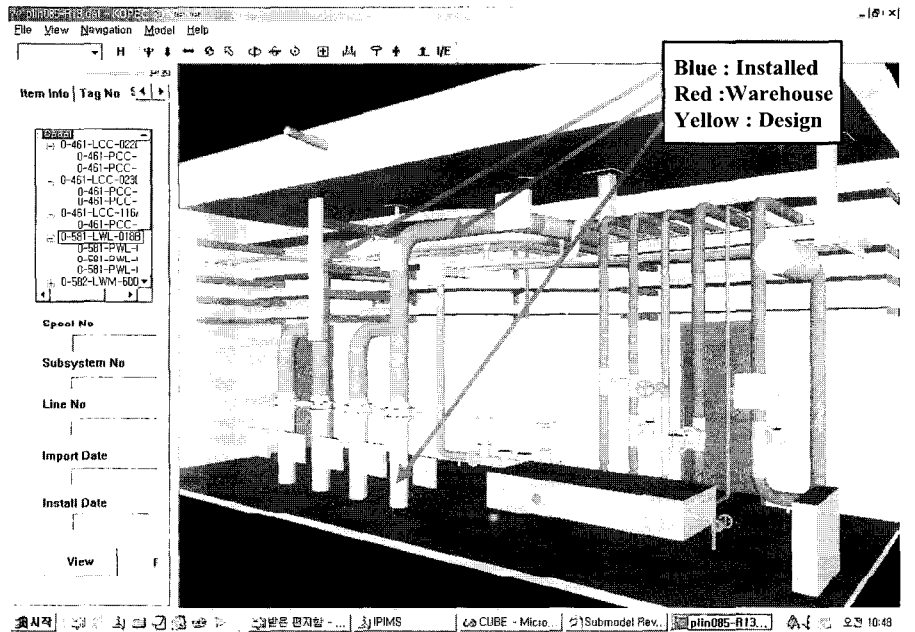


그림 5. 시공현황 표시 화면

운영시킬 수 있는 시스템은 없다고 하더라도 과언이 아니다. 이러한 요건을 충족할 수 있도록 한기(株)에서는 IPIMS를 개발하여 시공 패키지 관리기능을 지원할 수 있는 체제를 구성하고 있는 중이다.

**차. 시공 현황 관리 기능(Construction Status Review)**

이 기능은 설계와 시공 및 시공계획(Construction Schedule)이 통합되어야 구현이 가능한 기능이다. 물론, 3D CAD 기술적으로는 구현 가능한 기능이며, 일부 시범 시스템도 개발되어 기술적 검증은 완료되었다. 이 기능은 설계조직이 작성한 3차원 그래픽 데이터베이스를 실제 시공정보와 결합시켜, 다양한 시공현황 관리 기능을 시공업무에 활용하는 것이다.

- 현재의 시공 상태 - 설계, 구매, 시공 및 시운전 단계로 색깔을 구분 표시
- 향후 3주내에 계획된 시공 대상물 별도 표시
- 향후 6개월 후에 계획된 시공 대상물 별도 표시 및 기자재 구매현황 분석

**4. 향후 전망**

이상으로 간단하게 3D CAD 기술을 활용한 시공관리 개념에 대하여 생각해보았다. 물론, 이 개념은 원자력발전소 시공관리 개념에 대하여 고려하였기 때문에 일반 플랜트 혹은 건축물에 적용 시에는 일정부분 조정을 하여야 한다.

그러나, 3D CAD기술의 발전과 건설시장 여건 변화를 고려하면, 앞으로는 기존의 시공관리 개념에 큰 변화가 있을 것은 자명하다. 그리고, 본문에서 언급된 기능요건에 Internet과 Mobile 및 Global이라는 키워드와 결합되면, 전혀 새로운 방향으로 전개될 수도 있다.

그러나, 이러한 변화는 기술 발전만으로 이루어지는 것이 아니다. 건설업계에 참여하고 있는 건설기술 인력의 능동적인 주도로 건설업계의 주입을 가능하게 할 수 있으며, 이를 통하여 한국 건설업계의 경쟁력이 강화될 수 있을 것이다.