

# 4D CAD시스템에 의한 차세대 공정관리 기법



강인석  
경상대학교 토목공학과 교수  
(Lskang@gnu.kr)



이양규  
대림대학 토목환경과 교수  
(ykleee@daelim.ac.kr)



문현석  
경상대학교 토목공학과 박사과정  
(gitadae@cm.gnu.kr)

## 1. 4D CAD에 의한 공정관리 개요

최근 3D기반 설계업무들이 증가하면서 4DCAD에 의한 공정관리정보의 시각화 사례들이 점차 증가하고 있다. 현재는 플랜트, 건축공사 위주로 적용되고 있으나 토목분야 3D설계 역시 점차 가시화되면서 토공사 등의 지반공사를 포함하는 토목시설에 대한 4D CAD의 적용도 부분적으로 시도되고 있다. 본고에서 차세대 가상건설(Virtual Construction)기반 4D 공정관리기법에 대하여 소개하면 다음과 같다.

### (1) 4D CAD 개념

기존의 공정관리시스템들에서 산출되는 공사일정 정보들은 수치적 정보들로 구성되어 있으므로 다양한 공사참여기간 효율적 의사결정도구 역할을 하기가 곤란하다. 최근 각종 정보화 기법들이 공사관리분야에 적용되면서 이

러한 수치적 공정정보들을 CAD에 의해 시각화하는 방법들이 개발되고 있으며, 대표적인 도구로 4DCAD시스템을 들 수 있다. 4D CAD시스템은 기존 공정표 일정(Time)에 각 공정의 3D도면을 연계하여 공사 진행 일자별 시설물 완성모양을 3차원으로 연속 시뮬레이션(Simulation)하는 도구를 의미한다. 이러한 시스템에서는 공사일정과 공정별 3D객체 정보를 통합하여 4D객체라는 새로운 정보를 생성하게 된다. 즉 실제 공사이전에 당해 공사의 일정기간 경과 후의 완성상태를 3차원의 가상적 모습으로 사전에 구현할 수 있고 같은 방식으로 일, 주, 달, 년 단위 등으로 시설물의 완성상태를 자유자재로 사전 검증할 수 있는 도구이다. 그림 1은 4DCAD에 의한 공정관리의 개념을 표현하고 있다.

### (2) 4D CAD의 활용성

기본적으로 4D CAD의 적용은 공사개시이전에 임의 시점의 공사 완성상태를 3차원으로 확인하는 사전모의조사

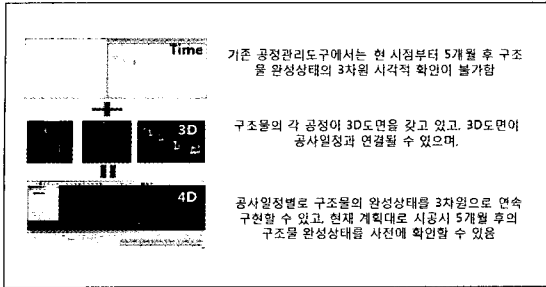


그림 1. 4D CAD 공정관리시스템 개념

기능이 있으므로, 설계대비 완성상태의 오류 확인과 주요 공정 시점별 계획대비 진도상태의 시각적 확인이 가능해진다. 또한 시각화된 공정정보에 의해 공사참여자간의 의사소통 효율화 및 경영진에 대한 공사계획 및 진도보고 등에 효율적 도구로 활용될 수 있다. 그림 2는 4D CAD시스템 적용시의 효과를 나타내고 있다.

그림 2의 우측 상단그림에서는 교량공사에서 교각시공 이후 상판이 가설되기 전에 트러스구조물이 먼저 시공되는 공정수순의 오류를 시각적으로 표현하고 있다. 4D CAD 공정관리시스템은 공사 일정별 완료상태 표현 이외에도 다양한 기능들을 제공하고 있다.

- 공사참여자간 효과적 의사결정도구 역할 : 공사에 참

여하는 다양한 시공공간은 물론이고 발주자와 감리자간의 공정회의시 공구별/구역별 공사 진도현황을 시각적으로 실시간 파악할 수 있으므로 효과적 의사결정도구 역할을 할 수 있다.

- 공구별 공정관리 효율화 : 4D CAD에서는 공사의 공구별/구역별 구간설정이 가능하므로, 해당 구간 공정정보의 별도 시각화 관리가 가능하다.
- 공정관리 오류를 시각적으로 파악 : 공정표 작성시 공정간의 수순이 잘못되어 있는 경우, 4D CAD시스템에서는 잘못된 공정수순 그대로 완성상태가 순차적으로 3차원화면에 구현되므로, 공정오류를 시각적으로 확인할 수 있다.

## 2. 지반공사를 포함하는 토목시설물 4D CAD 구현 특징

건축공사 시설물은 제한된 공간에서 기둥, 벽체 등의 인위적 구조물을 수직 반복적 공정으로 진행하므로 3D 및 4D객체의 구성이 용이하다. 반면에 토목시설물은 일정에 따라 자연지형이 변화되는 비 반복적 부위의 수평적 작업

적용효과	적용방법	4D 구현사례
공정수순의 오류 조기 판단	<ul style="list-style-type: none"> <li>공정표상의 잘못된 수순이 있는 경우 오류상태로 시뮬레이션 수행</li> <li>공정 수순의 오류를 시각적으로 조기 파악 가능</li> <li>예로서, 철도교량 교각 → 트러스 → 상판의 공정수순 오류파악 가능(교각 → 상판 → 트러스)</li> </ul>	
시공성 및 작업 효율의 시각적 파악	<ul style="list-style-type: none"> <li>실제 작업 공간이 4D에서 재현되므로, 시각적으로 재현된 작업 공간내 가상 작업 상황 파악이 가능하고,</li> <li>실제 작업에서의 작업 시공성 및 작업 효율 시각적 파악가능</li> </ul>	
시설물 이력관리 시각화기능	<ul style="list-style-type: none"> <li>시설물 유지관리단계에 부위 또는 구조물 별 노후화 정도의 4D표현</li> <li>시설물 해체시 해체수순의 4D표현 가능</li> </ul>	

그림 2. 4D CAD 적용효과

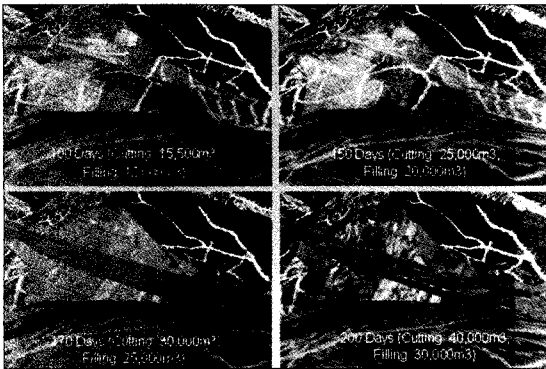


그림 3. 4D CAD에 의한 지반공사의 일정별 변화모습 구현<sup>1)</sup>

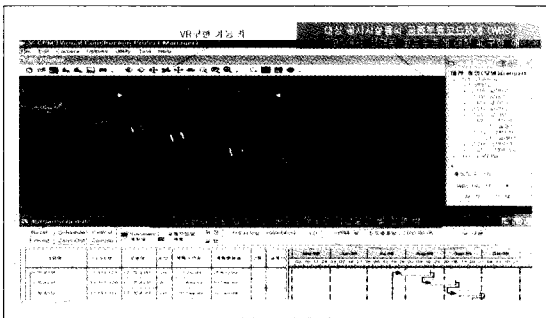


그림 4. 4D CAD 공정관리시스템 초기화면

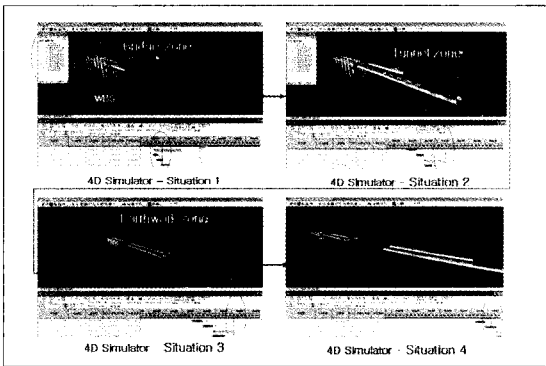


그림 5. 도로공사 4D CAD 연속 구현모습<sup>1)</sup>

들로 진행되므로 상대적으로 3D 및 4D객체 생성이 어렵다. 특히 토목공사는 토공사 작업을 다수 포함하므로 깎기·쌓기에 의한 자연지형의 변화모습이 공사일정에 따라 3차원 형상으로 표현되어야 하므로 4D객체의 구성은 더욱 용이하지 않다.

일반적인 3D객체의 순차적 생성방식으로 토목시설 지반공사의 토공구간을 표현한다면, 자연지형에 해당하는

삼각망과 계획단면에 해당하는 삼각망의 차에 해당하는 체적을 3D객체로 생성하여야 한다. 그러나 자연지형과 계획단면의 차에 해당하는 체적을 하나의 3D객체로 생성하면, 최초 원 지반과 최종 완성 단면의 두 단계만을 시각적으로 확인할 수 있게 되므로, 그림 3에서 100일 및 200일 시점의 최종 변화된 모습만을 확인할 수 있게 된다. 즉 전체 공사기간에 걸친 토공작업의 단계별 진행과정을 시각적으로 파악하는 것은 불가능하게 된다. 이러한 세부 작업진행 과정을 표현하기 위해서는 단면 차로부터 생성된 3D객체를 작업 진행에 따른 형태 변화와 유사한 체적의 변화에 해당하는 3D객체들로 분할하여 생성하는 방법론이 요구된다.

그림 3에서는 4DCAD시스템에서 깎기·쌓기 토공사의 일정 경과에 따라 변화되는 지반 변화모습을 표현하고 있다. 이러한 시스템에서 공사일정에 따른 지형 변화모습은 지형삼각망 정보의 변화에 따라 자동으로 구현된다.

### 3. 토목시설물 4D CAD구현 사례

#### (1) 도로공사 4D CAD구현

그림 4는 토목시설의 수평적 작업 및 토공의 4D객체 구현을 효율적으로 지원하는 4D CAD시스템의 주요 기본기능을 표현한 것이다. 크게 상단의 4D객체 구현, 우측의 WBS(Work Breakdown Structure) 분류코드, 하단의 일정구현정보 등으로 구성된다. 4D객체의 구현은 하단의 스케줄 진행 바(Bar)를 실행하면 해당 일정이 진행되면서 각 일정별 작업 활동과 연계된 3D모델들이 순차적으로 구현되며 색상의 변화 표현에 따른 진도관리 정보를 시각화할 수 있다.

그림 5는 토공과 교량 및 터널공사를 포함하는 전형적인 도로시설공사의 공사일정별 3차원 완성상태를 연속적 Pre-construction 기능으로 구현한 것으로, 하단부 공정표에서 검토시점(적색 바)을 임의로 증대함에 따라 해당 공정계획에 따른 완성상태를 연속 구현하는 모양을 표현하고 있다. 이러한 기능은 공사 시공단계는 물론 계획단계와

설계단계에서도 사전에 실제공사를 가정하여 임의 기간 경과후의 3차원 완성상태를 검증할 수 있게 된다. 이로써 설계대비 실제 완성상태의 오차를 시각적으로 검증하는 장점을 갖게 되며, 공사참여자에게 효과적 의사결정도구 역할을 할 수 있다.

## (2) 택지조성공사 4D CAD구현

실제 단지조성공사의 현장조건을 적용한 사례로서 OO 공사의 주요 공정 내용은 다음과 같다.

- 단지 조성 계획 (1,889천m<sup>2</sup>면적의 단지 토공)
- 간선수로 계획 (연장 3,735m, 폭원 30-40m)
- 호안 축조공 (연장 2,342m, 마루폭 3.9m)
- 구조물공 (교량 14개소, 보도육교 13개소)

이러한 다양한 시설물로 구성되는 현장 조건의 종합적 공사관리 기능을 위해서는 단지 시설 전체의 조망권 확보가 요구된다. 즉 기존방식의 공사관리 시스템에서는 세부 시설물 단위의 공정관리는 가능하였으나 단지 전체의 종합적 진도 관리 및 작업 현황 검증은 곤란하였다. 그러나 4D CAD시스템에서는 그림 6과 같이 시설물 전체 조망기능으로 작업 현황 검증이 가능하다.

단지 전체 조망권은 단지 전체의 공사일정대비 완성상태를 3차원으로 모의 조작해 실시간으로 프로젝트 전체 진도율의 시각적 확인이 가능하고, 블록별 진도 상태를 확인

할 수 있으며, 일정 경과기간별 단지의 조성형태를 설계대비 검증할 수 있다. 이러한 기능은 전체 단지시설중 집중관리가 요구되는 특정구역에 대한 공사일정대비 3차원 완성상태의 모의조작을 가능하게 하여 공사관리자는 실시간으로 단지 시설물 전체의 공사관리 현황을 간편하게 파악하는 유용한 의사결정 도구로 이용할 수 있다.

## 4. 4D CAD에 의한 공정 진도관리정보 시각화

4D CAD시스템에서는 기존의 수치적 공정 진도현황을 계획대비 실제 3차원 화면으로 제공하여, 당초 계획대비 실적의 지연부위, 초과부위 등을 색상으로 구분하여 확인할 수 있다. 이러한 기능은 기존 보합개념의 수치적 진도관리를 시각적 정보로 변화시켜 획기적으로 개선할 수 있다. 그림 7은 4D CAD 공정관리시스템에 의한 건설공사 진도정보의 시각화 모습이다.

그림 7에서 좌측은 당초 계획공정에 의한 현시점의 완료 상태이며, 우측은 실제 실행 진도에 의한 현시점의 완료 상태로서, 우측에서는 적색, 청색 등 색상에 따라 계획대비 초과달성, 지연달성 부위를 시각적으로 표현하고 있다. 이러한 도구는 실제공사개시 이전은 물론 공사시행과정에도 관리자가 원하는 기간만큼 공기가 가상적으로 경과되었을 때의 시설물 완성상태를 화면상에서 3D객체로 확인할 수 있으므로, 공사관리의 정확성을 획기적으로 높일 수 있다.

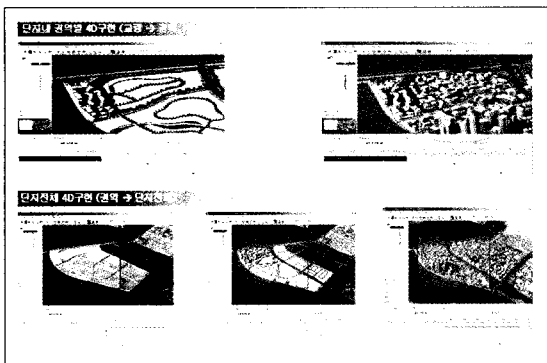


그림 6. 단지조성공사 4D CAD 연속 구현모습

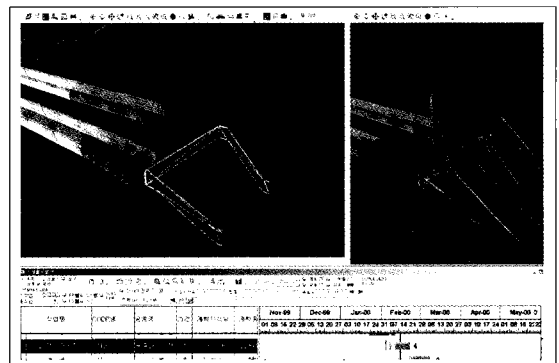


그림 7. 4D CAD에 의한 계획대비 실행공사 진도관리 시각화모습<sup>2)</sup>

## 5. 시각화기반 공정관리 기대효과

정보화 도구의 급속한 적용으로 기존의 수치적 공정관리기법이 시각화 기법으로 변화되는 것은 시간적 문제가 되고 있다. 현재의 기술에서 공정 정보의 시각화 기법으로 가장 대표적 도구는 4DCAD시스템이고, 국내외에서 다양한 시스템들의 개발과 연구가 진행되고 있으며, 향후 토목 시설 공사에 이러한 시스템 적용이 활성화되면 다음의 효과들을 기대할 수 있다.

### ■ 공정관리기술의 향상기대

공정관리를 포함한 공사관리 업무 전반이 기존의 수치적 정보에 의존하던 시스템에서 멀티미디어에 의한 시각적 정보제공 도구로 변화되어, 건설관리업무 효율의 대폭적 향상 및 프로젝트 의사결정의 과학적 도구로 활용이 기대된다.

### ■ 건설산업계 정보화 기반기술로의 중요성

국내의 공사관리 기술은 도입단계를 지나 활성화단계에 진입하고 있으며, 향후 공사관리 기술의 활용성 및 편리성 증대를 위해서는 정보화 및 무선통신기술과 연계된 도구 개발이 필수적 과제이다. 4D CAD시스템은 현장 디지털 카메라에 의한 현장정보의 온라인 전송체계와 VR기법에 의한 4D설계관리 기능을 연동할 수 있는 방법을 포함하여 정보화시대 공사관리의 기반기술이 될 수 있다.

### ■ 토목분야 4D기술 선진화

공사 설계과정에서 토목시설물의 대부분은 2D객체 적

용이 일반화되어 있으나 건축시설물은 BIM기반의 3D 설계객체 구성이 비교적 활성화되고 있으며, 플랜트시설물은 이미 4D객체 기반으로 설계정보를 시각화하는 사례들이 있다. 최근 호남고속철도 등 토목분야의 3D, 4D설계가 점차 증대되고 있는 점을 고려하면 CAD기반 토목분야 설계기술을 발전시키는 계기로 활용할 수 있다.

### ■ nD CAD정보 시각화기술 발전

공사관리 측면에서 각종 공정 진도정보들은 수치적 정보체계에서 시각적 정보체계로 변화되고 있으며, 이러한 도구들의 기본적 기능이 가상현실 기능이며 일부에서는 이미 증강현실 기능까지 도입되고 있다. 공사정보의 시각화 요구는 프로젝트의 대형화 및 복잡화에 따라 더욱 증대될 것이며, 향후 4D 외에 비용, 자원, 위험관리정보 등이 포함된 차세대 nDCAD 공사관리 기술로 발전될 수 있다.

## 참 고 문 헌

1. 강인석, 정보화기반의 최신건설공사관리학, 문운당, 2007
2. 강인석, 건설관리 정보화용 4D CAD시스템개발, 건설교통부 연구보고서, 2004
3. 강인석 외, 가상건설기반 토목공사 시뮬레이션기법 구성 및 활용, 대한토목학회지 특집기사, 2008년 7월
4. 경상대학교 토목공학과 시공정보관리실험실 홈페이지, <http://cm.gnu.kr>, 2008