

4D 공정관리시스템의 개발현황과 에너지자원 지하비축시설 시공시물레이션을 위한 적용방안

김택곤 (SK건설 GEOTASK팀)

이진무 (SK건설 GEOTASK팀)

김호영 (SK건설 상무)

1. 서 론

건설분야의 4D CAD 시스템은 일정과 도면정보를 연계하여 공사일정대비 완성상태를 3차원으로 연속구현해 주는 체계를 의미한다. 본 연구 4D의 일정과 도면정보의 연계 방법은 시스템 내부기능에 의한 통합연계방법을 적용한 V-CPM 모델을 기본으로 사용하였다. 이 시스템의 장점은 4D 시스템 내부의 정보관리기법의 효율화를 위해 표준화된 공사정보분류체계(Work Breakdown Structure, WBS)를 공통정보로 이용하여 공사일정 및 도면정보를 통합관리하는데 있다. 그러나, 에너지자원 지하비축시설 건설을 위한 WBS는 구축되지 않은 상태이므로, 본 연구에서는 관련 4D CAD의 WBS를 구축하였으며 향후, 지하공간용을 위한 시공시물레이션의 특징을 포함할 수 있는 개발방향에 대해 모색하였다.

2. 4D 공정관리시스템 개발현황

2.1 4D 건설관리시스템 개념

4D CAD 건설관리시스템은 일반 CAD와 동영상 시물레이션과 달리, 기존의 공사일정표와 3차원 도면이 연계되어 공사기간에 따른 시설물의 완성상태를 3차원으로 연속 구현해주는 기술로서, 공정표의 시간(Time)과 3D 설계도면(Space)이 통합 구현되는 체계이다.(표 1)



그림 1. 4D CAD의 개념

4D CAD의 장점으로는 공정수준의 오류를 조기에 판단하고, 시공 및 작업효율을 시각적으로 관리 가능하며, 관련 시설물의 이력도 관리할 수 있다는데 있다. 따라서, 본 연구에서는 4D CAD 기반의 해저시공시물레이션을 개발하도록 방향 설정하였다.

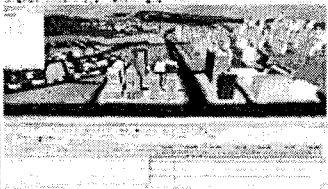
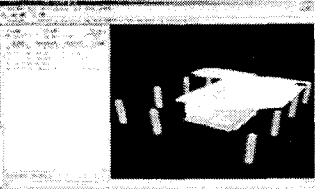
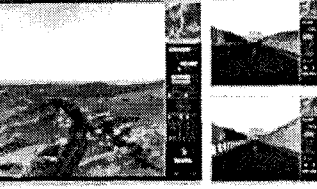
표 1. 일반 3D 개념과 4D CAD 시스템의 차이점

	CAD Simulation	3D 조감 및 동영상	4D CAD 시스템
개요	• 2D를 이용한 렌더링	• 설계 컨셉을 바탕으로 조감도, 동영상	• Cad 설계도면, 수치지도의 실좌표를 이용한 시물레이션
설계 검증	• 설계도면을 이용한 준공 검사 • 시각적 인지 힘들	• 준공후 모습구현 • 도면실좌표 아님	• 준공후 모습구현 • 적지분석 • 실좌표 위치확인
시공 분석	• 기능없음	• 기능없음	• 스케줄관리 • 시공단면분석 • 시공간섭확인 • 자원관리 등

2.2 4D의 국내외 기술개발 현황

국내에서는 4D 기반 시공시물레이션 관련 연구는 사례가 미흡하거나 직수입에 의존하고 있으며, 토목용으로는 최근 건설교통부과제에서 성공적으로 수행된 A사의 ‘멀티미디어 기술을 연계한 건설 관리 정보화용 4D시스템 개발’이 있다. 하지만, 에너지자원 지하비축공간용을 위한 시공시물레이션 모듈은 국내에서도 전무한 상태이다. 또한, 관련 4D 시스템은 터널 및 지하공간 분야에서 핵심사항이라 할 수 있는 지질조건을 반영이 미약하며, 이에 대한 불확실성을 고려하고 있지 못하다.


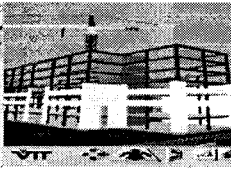
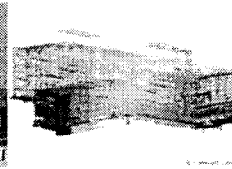
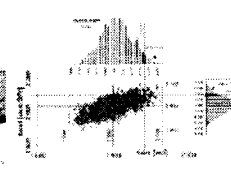
표 2. 국내 4D CAD 개발현황

구 분	A사	B사	C사
개 요			
특 징	<ul style="list-style-type: none"> - 공사일정과 3D 도면정보를 연계하여 경과 일정별 완성상태를 시각적으로 구현하는 멀티미디어 	<ul style="list-style-type: none"> - 웹기반의 4D 사업관리시스템으로 공정관리와 3차원 설계(3D CAD)를 결합한 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 도로의 평면, 횡단 및 종단계획, 공사비, 토공량 분석에 대한 솔루션 및 3D VR 기술개발
특 징	<ul style="list-style-type: none"> - 공정관리 기능 - 비용관리 기능 - 자원관리 기능 - 일정별 시설물 시각화 - 간섭분석 기능 - 설계 및 시공검증 	<ul style="list-style-type: none"> - 공정관리 기능 - 비용관리 기능 - 자원집계 기능 - 일정별 시설물 시각화 - 간섭분석 기능없음 - 설계 및 시공 검증 	<ul style="list-style-type: none"> - 공정관리 기능 없음 - 비용관리 기능 없음 - 자원관리 기능 없음 - 시설물 완성시각화 - 간섭분석 기능 없음 - 주행/경관시물레이션

해외의 4D CAD는 주로 건축이나 플랜트에 이용되며 토목분야에 대해서는 개발된 사례가 거의 없다(표3). 이는 토목분야의 특성상 자연지형을 고려해야하고, 공사 진행에 따른 지형변화에 대해 능숙하게 대처하기 쉽지 않기 때문이다. 또한, 해외 4D CAD에서도 지하구조물 특성상 발생하는 불확실성을 고려한 예측 시물레이션 기능은 아직까지 거의 없는 것으로 판단된다.

불확실성을 내포한 지질 및 시공조건 시물레이션 프로그램은 미국 MIT에서 10년 이상 개발되어 온 DAT(Decision Aids for Tunnelling)가 유일하다. DAT는 터널의 불확실한 지질 및 시공정보를 반영하여 공기 및 공사비의 분포를 스캐터그램으로 파악할 수 있는 터널전문 시공시물레이션 프로그램이다. 그러나, 기존 도면정보를 직접 연계하여 활용할 수 없고, 그래픽한 시각화 부분이 전혀 반영되지 않고 있으며, 공사관리 및 유지관리를 일정에 맞춰 수행할 수 없다는 단점이 있다.

표 3. 국외 4D CAD 개발현황

구 분	Stanford	VTT	PM-Vision	DAT
개 요				
	공정관리기능과 3D_CAD를 연계한 시각적 공정관리 기술인 4D_CAD 기술 개발	3D_CAD와 Time을 Link하여 실시간 공사관리 4D 프로그램 개발	핵발전소, 군사시설물 등 다양한 CAD 포맷의 3D 시물레이션 기능과 일정 연계	터널의 지질 및 시공 불확실성을 고려하여 공기, 공사비 분포를 예측하는 MIT 개발 시물레이션 프로그램
특 징	-공정관리(P3)기능 -비용관리 기능 -자원관리 기능 -일정별 시설물 시각화 -간섭분석기능 없음 -설계 및 시공 검증 기능 없음	-공정관리 기능 -비용관리 기능 -자원관리 기능 -일정별 시설물 시각화 -간섭분석 기능 없음 -설계 및 시공 검증 기능 없음	-공정관리 기능 -비용관리 기능 -자원관리 기능 -일정별 시설물 시각화 -간섭분석 기능 없음 -설계 및 시공 검증 기능 없음	-공정,비용관리보다 예측모델에 가까움 -자원관리기능 부족 -시설물 완성 상태시각화 없음 -간섭분석 기능 없음 -설계 및 시공 검증 기능 없음
적용분야	플랜트, 건축	건축	플랜트,건축	터널

이상에서 대부분 개발된 모든 4D CAD 프로그램은 공정과 도면을 3차원으로 링크하여 시공관리를 수행하는 것이지만, DAT를 제외하고 터널이나 지하공간의 특성인 불확실한 지질정보, 공사비관리 등을 전혀 반영하지 못하고 있다. 각 시물레이션 프로그램의 비교결과 국내 A사의 V-CPM의 기능이 우수한 것으로 판단되며, V-CPM을 기본엔진으로 탑재하여 시공 시물레이션 기능을 지속적으로 개발하기로 결정하였다. 그 이유는 V-CPM 프로그램이 연구과제를 통해 개발된 제품이기 때문에 지속적인 업데이트 기반모델로서 일관성을 유지할 수 있고, 따라서 초기 중복 개발비용을 절감할 수 있기 때문이다. 따라서, V-CPM 기본엔진에 해저 에너지저장시설 관련 WBS를 구축하여 반영한 기본엔진을 바탕으로 지하공간용 시공시물레이션 프로그램을 구축하였다.

3. 에너지자원 지하비축시설 시공시물레이션

3.1 프로그램 구성개요

기존 V-CPM은 WBS를 4D 시스템에 사용되는 모든 입출력정보의 정보중심으로 구성하였다. 이는 토목분야의 작업분류체계인 WBS(Work Breakdown Structure)의 개별코드별로 일정정보를 연계하고, 동일한 WBS 코드에 대하여 관련 3D 객체정보를 연계하므로, 일정정보와 3D 객체정보는 별도의 링크작업 없이 4D DB내에 WBS 코드기준으로 상호간 연계체계가 자동 구성되는 효과를 가질 수 있는 시스템이다(강인석 외 2004). 본 시스템의 주요기능은 도면정보 구성을 위한 3D 객체구성기능, 공사일정관리를 위한 공정정보 구성기능, 3D객체와 공정정보를 연동하여 3차원 완성상태를 구현하는 4D simulator 기능, 완성된 4D 구현상태의 실제 동영상을 표현하는 가상현실(Virtual Reality) 기능으로 구분되어 있다. 기존 V-CPM 기본엔진을 바탕으로 도면 Layout을 3D 객체구성형태로 변경하여 지하에너지저장용 공동의 수량집계, 공사일정관리가 가능하게 수정하였다.

3.2 WBS 체계화

현재 V-CPM에서는 건교부, Uniclass, OPCS에서 취약하게 분류되었던 토목시설분야의 도로, 철도, 수자원, 항만, 공항 등의 8개 대표적 시설물에 대해 시설(Facility), 공간(Space), 부위(Element)의 상세 분류항을 개선하여 새로운 분류체계를 작성되어 있다. 이 분류체계의 장점은 WBS의 개별코드별로 일정정보를 연계하고, 역시 동일한 WBS에 대해 관련된 3D 객체정보를 연계하므로 별도 링크작업 없이 4D DB내부에 상호간 연계체계가 자동으로 구성될 수 있다는데 있다. 그러나, 이 분류체계는 기존 토목구조물인 도로, 교량, 터널 위주로 되어있기 때문에 에너지자원 지하비축시설 공사를 위해 적용할 수는 없다. 따라서, 에너지자원 지하비축시설을 위한 WBS 표준화 작업이 필요하므로 이에 대한 분류체계를 수립하였다. 이를 위해 OO지역의 시설물에 대해 시공시물레이션을 시험대상으로 삼았다. 본 저장공동은 총저장용량 103,000m³으로 프로판과 부탄을 저장할 수 있는 대규모 지하공동이다. 저장공동은 높이 20m, 폭 18m의 난형단면이며, 진입터널(access tunnel)은 약 400m 지점부터 부탄과 프로판 공동으로 나뉜다. 석유류 에너지자원 저장에서 가장 중요한 water curtain 터널은 갤러리 상부 19m 지점에 건설된다. 그림 2는 본 공동의 Level I 수준의 WBS를 나타낸 것이다.

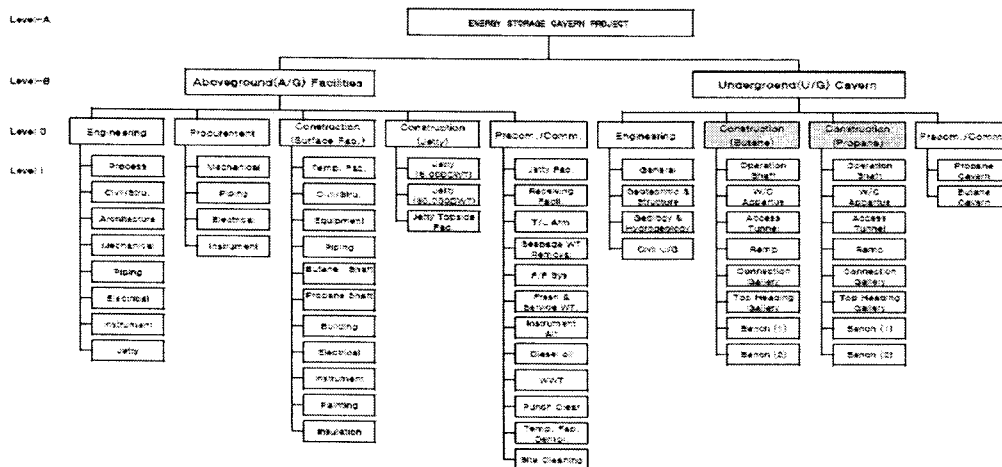


그림 2. 에너지자원 지하저장공동의 WBS(Level I)

3.3 시공시물레이션 기능

본 시공시물레이션 프로그램을 이용하면 우선 실시간 시공관련 공정의 시각화가 가능하다. 그림 3은 완공상태의 3차원 시각화 형상 구현한 것이며, 이를 대중소 저장공동 시설종류별 공정관리도 가능하므로 공사일정별 완성상태의 3차원 시각화의 장점을 얻을 수 있다. 또한 관련 전체 WBS 노드를 기준으로 노드별 일정관리 기능도 가능하다. 이러한 기능은 모두 새롭게 개발된 엔진에 내장되었기 때문에 비CAD기반의 객체 생성이 가능하다. 둘째로 일정 및 3D객체를 자동으로 구성할 수 있다. 본 프로그램은 주요 공정수순의 패키지 및 Library화에 의한 일정관리 입력을 최소화 할 수 있으며 이들의 3차원 객체를 자동구성하고 Library화할 수 있다. 그림 4는 공사일정에 따른 시공현황을 보여주고 있다. 그림과 같이 전체공정 50% 수준으로 좌측이 부탄공동은 갤러리와 수직구 굴착이 거의 완료되었지만, 우측의 프로판공동은 water curtain 시공 중임을 알 수 있다. 이렇게 WBS를 정보중심으로 한 일정대비 시설물 완성상태를 3차원으로 나타낼 수 있기 때문에 작업영역 관리수준별 공정의 시각화가 가능하다. 따라서, 집중관리가 필요한 작업영역에 대해 부위별로 관리할 수 있게 된다.

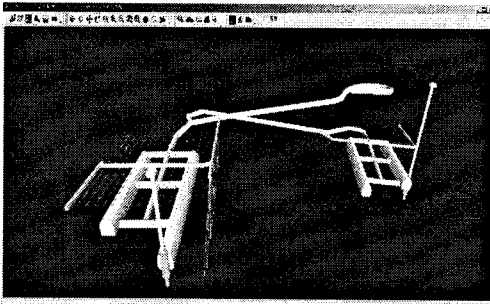


그림 3. 완공 후 모습 구현

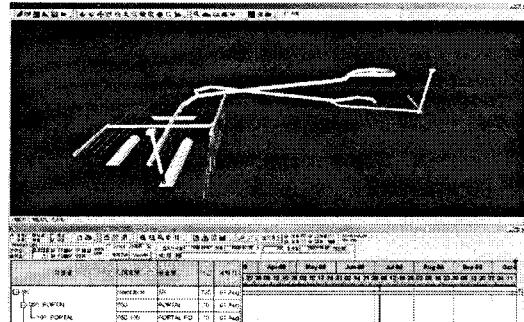


그림 4. 일정대비 시설물 완성상태 시각화

4. 지하공간용 시공시물레이션으로의 개선방향

V-CPM의 4D 시스템 정보관리 방식은 공통정보 운용개념을 도입하여 4D 엔진의 모든 정보관리를 공통정보를 중심으로 통합 관리하는 방식을 제안하였다. 공통정보로는 WBS 코드를 사용할 수 있다는 장점이 있으나, 에너지자원 지하비축 시공용으로는 적당치 않다. 이를 비축시설 공사용으로 WBS를 구축하고 수준별, 위치별, 기간별 4D 구현이 가능하므로 효과적인 의사결정도구 역할을 할 수 있게 된다. 그러나, 에너지자원 비축시설의 시공시물레이션을 활용한 관리시스템 구축을 위해서는 다음과 같은 사항이 추가로 개발되어야 할 것으로 사료된다.

첫째, 토목구조물의 경우 설계단계에서 지반조사를 수행하게 되는데, 특히, 터널이나 지하공간의 경우 설계단계에서 예측한 지반조사 결과가 시공 중 드러나는 지반과 완전히 일치하기 쉽지 않다는데 있다. 이는 지하 암반자체가 가지고 있는 불확실한 특성 때문에 조사단계에서 완전 파악이 쉽지 않은 자연적 요인에 기인한다. 따라서, 4D 시스템에서 공정관리 개념을 위해서는 시공단계에서 암반패턴별의 상호비교 구조가 필요하며, 이를 통해 공기 및 공사비 관리가 필요하므로 지반조사결과를 반영하고 분석할 수 있는 엔진추가가 요구된다.

둘째, 시공 중 발생하는 계측 등의 관련 자료들을 가상공간에 저장할 수 있는 DB 시설추가가 요구된다. 에너지자원 지하비축시설은 대규모 공동으로 시공 중 여러 단계의 벤치굴착을 수행하게 되므

로, 기 설치해 놓은 여러 계측기들을 꾸준히 관리해야 하며, 특히 지하수위 및 유량관리는 필수적이라 할 수 있다. 따라서, 이러한 시공관련 자료를 동일한 엔진에서 관리할 수 있는 모듈이 필요하다.

셋째, 공사비 관리를 시각화하여 공사일정 및 WBS수준별 공사비의 변동 상황을 파악할 수 있고, 공사 일정별 계획대비 실적 금액 변동 상황을 알 수 있다면 5D CAD까지도 가능할 것이다.

넷째, 공기관리 외에 자원관리를 시각화함으로써 공사일정 및 WBS 수준별 자원부하량을 예측하고 부족량 및 잉여량 관리도 가능할 수 있는 개발이 요구된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2005년도 건설핵심기술연구개발사업(과제번호: 05-건설핵심 D10, 과제명: 해저시설물 차폐기술연구)에 의하여 연구비가 지원되었습니다.

■ 참고문헌 ■

1. 강인석 (2002), 건설관리분야 4D시스템의 기능분석을 통한 활용성 개선방안, 대한건축학회 논문집, 제18권 10호.
2. 강인석 외 (2004), 공통정보운영방식에 의한 4D CAD시스템의 정보관리 개선방안 연구, 대한토목학회 논문집, 제24권 5호.