

# 도로공사의 최적 설계정보 지원을 위한 VR시뮬레이션 기능 구축

## Development of VR Simulation Functions for Supporting Optimal Design Information in Road Project

강인석\*·문현석\*\*·박서영\*\*\*

배철원\*\*\*\*·김민지\*\*\*\*\*

Kang, Leen-Seok · Moon, Hyoun-Seok · Park, Seo-Young

Bae, Cheol-Won · Kim, Min-Ji

### 요 약

본 연구는 기존 시공단계 중심의 4D CAD 활용체계를 설계단계까지 확장하여 도로의 최적 설계업무 지원을 위한 4D CAD 기능을 개발하는 것이 목적이다. 도로설계 지원 기능으로는 도로선형에 의한 토공 시뮬레이션, 대안 노선 선정 시뮬레이션 및 구조물 타입 선정 시뮬레이션 기능을 제안하고 있다. 이러한 VR시뮬레이션 기능을 통해 도로선형 지정에 의한 노선 및 토공 상태의 시각적 확인이 가능하다. 또한 대안 노선의 가상적인 모의 배치를 수행함으로써 최적의 대안 노선을 선정할 수 있다. 이와 함께 구조물의 다양한 모델을 지형에 배치하여 주위 환경에 적합한 구조물 형식을 결정할 수 있다. 본 연구에서 제시된 기능은 도로설계의 효율적인 지원을 위해 가상적인 모델 기반의 의사결정 도구를 제공한다. 따라서 본 연구에서 구현된 기능 인터페이스를 통해 도로 설계업무의 효율성을 기대할 수 있다.

키워드: 4D CAD, 도로설계단계, 가상현실, 토공, 액티비티 다이어그램

### 1. 서 론

기존의 도로설계 업무는 수치적 기반의 오프라인 정보 분석을 통해 도로선형을 결정하거나 토공 계획의 의사결정을 수행하고 있다. 또한 기존의 VR(Virtual Reality) 및 4D CAD의 운영체계가 시공단계에 중점을 두고 있어 설계단계의 활용성에 많은 제약이 있다. 국내외 연구현황을 살펴보면 Katherine A. Liapi(2003)<sup>1)</sup>은 공사 일정과 교통 계획에 대한 협업적 의사결정을 위해 고속도로 시공 프로세스 중심의 시각화 기능을 제안하고 있다. Heng Li 외(2003)<sup>2)</sup>은 발주자들의 시공운영을 평가하기 위해 효율적인 공사 활동을 수행할 수 있도록 가상건설 환경을 지원하는 VR시스템을 제안하고 있다. 또한 강인석(2006)<sup>3)</sup>은 도로공사에서 일정 및 진도관리 계획을 수립할 수 있는 4D CAD 기능을 제안하고 있다. 서종원 외(2006)<sup>4)</sup>는 비정형 공사인 토공사의 프로세스 모델링을 수행하고 각 요소에 대한 수치적 정보를 시각화하여 시뮬레이션으로 표현하고 있다. 이와 같이 주로 시공단계의 공사운영을 위한 4D CAD 적용, 설계 프로세스의 개선 및 다양한 설계업무 지원을 위한 도구 개발의 사례가 대부분이다. 따라서 시공단계 중심의 4D CAD를 설계단계로 확장하고 도로공사의 사례를 중심으로 도로설계 지원을 위한 4D CAD기반의 VR기능을 구축할 필요가 있다.

다. 이를 위해 본 연구에서는 도로설계 수행의 특성을 통해 4D CAD의 요구기능을 분석한다. 그리고 각 기능의 구축 및 운영에 소요되는 입출력 정보를 도출한다. 또한 Activity Diagram을 활용하여 기능 구현 알고리즘과 기능 정의에 따른 시각적 기능 인터페이스 구성 방법론을 구축한다. 이를 기반으로 도로설계 지원을 위한 4D CAD기반의 VR시뮬레이션 기능을 개발함으로써 제시된 방법론을 검증하고 있다. 본 연구는 설계단계의 VR 시뮬레이션 기능을 통해 설계계획의 효율적인 의사결정을 수립할 수 있도록 최적의 설계정보 제공하는 것이 목적이다.

### 2. 도로설계를 위한 4D CAD 기능 및 정보 분석

#### 2.1 도로공사의 4D CAD 기반 설계 업무 특성

도로공사는 대부분 토공으로 구성되어 있다. 그러나 도로공사에서는 토공을 포함한 도면정보의 설계 검토를 체계적으로 수행하지는 못하고 있다. 또한 실제 도로설계 업무에서는 순수한 2D 기반의 디지털 프로토타입 중심의 설계가 이루어지고 있다. 특히 도로의 다양한 설계 대안 선정이나 주변 환경과의 검토와 같은 설계지원 분석기능의 활용이 제한적이다. 그러므로 도로선형의 3D모델링을 수행하고 실제 작업 진행 상황에 따라 시각적으로 표현하는 것은 상당한 기술적 기반을 요구한다. 따라서 토공을 포함한 도로의 형태가 설계안에서 제시된 선형정보에 따라 자동적으로 생성되는 3D 선형 모델링 기능이 요구된다. 즉 도로의 스테이션에 따라 일정한 형태의 선형이 자동 생성되어 계획된 도로 선형을 시각적으로 검토할 수 있어야 한다. 또한 신규 대안 노선의 다중 생성 및 배치를 통해 도로의 대안 노선을 결정할 수 있다. 뿐만 아니라 구조물의 다양한 형식

\* 정회원, 경상대학교 토목공학과, 교수, Lskang@gnu.ac.kr

\*\* 정회원, 경상대학교 토목공학과, 박사과정, civilcm@gnu.ac.kr

\*\*\* 정회원, 경상대학교 토목공학과, 공학박사, car2112@hanmail.net

\*\*\*\* 정회원, 경상대학교 토목공학과, 석사과정, bcw1014@nate.com

\*\*\*\*\* 정회원, 경상대학교 토목공학과, 석사과정, jiya84@nate.com

본 연구의 일부는 건설교통부 첨단융합건설기술개발사업(가상건설시스템 개발)의 연구비 지원에 의해 수행되었음. 과제번호: 06첨단융합E01

을 비교 분석할 수 있도록 구조물 배치 기능과 주변 환경 분석에 의한 민원 구간 검토 기능의 도입이 요구된다. 이러한 시물레이션 기능이 4D CAD시스템에 통합되어 설계자와 VR시물레이션 정보 간 시각적 상호작용이 가능하다.

## 2.2 도로설계 지원을 위한 4D CAD기능 도출

본 절은 앞에서 분석된 도로설계의 VR적용 특성을 통해 주요 기능을 도출하고 있다. 표 1은 도로 설계지원을 위해 요구되는 주요 4D CAD기능을 분류한 것이다.

표 1. 도로 설계지원 4D CAD 주요 기능

단계	기능	설명
도로 설계 단계	토공시물레이션	-도로를 구성하는 토공의 질성토, 수계, 유역면적 및 성토 단면 상태의 시각적 확인 기능
	도로선형대안 시물레이션	-도로 선형 정의에 의한 다양한 대안 노선 설정 -선형검토, 질성토의 토공량 확인
	구조물 대안검토 시물레이션	-동일 지형내 구조물 Type별 거처에 따른 구조물 대안 형식 결정 시물레이션 -주변 경관 검토 시물레이션 수행
	지장물 및 민원예상 구간 검토 시물레이션	-공사지역내의 지장물 시각화 검토 -민원예상 구역 설정에 의한 시각화 분석 시물레이션 수행

토공시물레이션은 도로의 노선 위치를 지정하고 토공 3D모델을 자동 생성 한다. 이를 통해 노선의 방향, 위치 및 표고에 따른 성토 상태와 단면내의 수계를 검토할 수 있다. 도로 선형 대안 시물레이션은 도로의 최적 대안 노선 선정을 위해 다중 선형을 지정하여 기존 노선대비 신규 노선의 타당성을 확인한다. 구조물 대안 검토 시물레이션은 지형정보에 다양한 구조물의 가상 모델을 배치하여 교량 및 도로의 타입을 시각적으로 확인할 수 있다. 지장물 및 민원 구간 검토 시물레이션은 지장물의 3D모델링을 통해 해당 지형의 단면검토를 수행하여 지장물의 종류, 간섭, 위치 및 깊이를 시각적으로 검토할 수 있다. 또한 민원 예상지역의 거리, 조망, 일조 분석을 통한 작업 공간 확보로 도로 선형 및 토공사 설계 계획을 최적화할 수 있다.

## 2.3 도로설계 4D CAD기능 운용 Total Map 구성

도로설계 지원을 위한 기능이 구성되면 각 기능을 구축하기 위해 소요되는 정보의 분석이 요구된다. 또한 각 기능의 입력정보를 토대로 도로설계 지원을 위한 4D CAD기능을 활용할 수 있다. 그림 1은 도로설계 지원을 위해 요구되는 4D CAD기능의 요구 입력 정보, 출력 정보 및 활용 대상을 통합하여 Map으로 구성한 것이다. 도로 설계지원을 위해서는 사전에 기획단계 시물레이션 정보와 설계계획 정보들이 요구된다. 이들 정보들은 기획단계에서 수행된 시물레이션 정보를 기반으로 도출된 타당성 분석 정보를 활용한다. 도로설계에서는 토공을 포함한 지형정보와 연관되므로 토공계획서, 도로선형 계획정보, 입지분석 정보, 현장 분석 자료, 지장물 DB 등이 요구된다. 도로 설계 지원을 위한 공통 기능을 구축하기 위해서는 설계 지침 및 관련 법규를 참고한다. 그리고 설계범위 및 내용을 확인하여 효율적인 도로설계가 수행되도록 정보를 제공한다. 이들 정보를 통해 도로 선형의 3D모델을 자동적으로 생성한다. 또한 각

기능의 시물레이션에 따라 설계 업무에서 요구하는 VR 시물레이션 정보를 지원한다. 따라서 최적의 도로 선형 검토 및 토공 상태의 시각적 확인이 가능한 3D모델이 구축된다. 이러한 기능은 각 기능적 활용이 요구되는 대상의 설계 지원 범위에 따라 효율적으로 설계 업무에 활용할 수 있다.

기능	토공 시물레이션	도로선형 대안 검토 시물레이션	구조물 대안 검토 시물레이션	지장물 검토 시물레이션
화면	[Image]	[Image]	[Image]	[Image]
Input	-기본설계 시물레이션 Output -종합 정보 -실시설계 요구사항 -기본설계 도서 -실시설계요청서 -상세설계 범위 및 내용 -토공계획서 -기획단계 시물레이션 정보	-입지분석정보 -현장분석자료 -건설계획정보 -타당성평가 정보 -프로젝트규모 및 기간 -기본설계 지침서/법규 -기본설계 요구사항 -유사프로젝트 사례정보 -기본 설계도서(도면포함) -도로선형관련 정보 -프로젝트 정보 -기획단계 시물레이션 정보	-입지분석정보 -지형정보 -현장분석자료 -건설계획정보 -타당성평가 정보 -기본설계 지침서/법규 -유사프로젝트 사례정보 -기본 설계도서(도면포함) -프로젝트 정보 -구조물 Type별 3D모델 -기획단계 시물레이션 정보	-입지분석정보 -현장분석자료 -건설계획정보 -타당성평가 정보 -기본설계 지침서/법규 -유사프로젝트 사례정보 -기본 설계도서(도면포함) -프로젝트 정보 -지장물 정보 -기획단계 시물레이션 정보
Output	-3D 실시설계도면 -질성토 상태 지형분석 정보 -도로선형에 따른 토공의 질성토 시각화 분석 정보	-3D형상 정보 -도로선형 및 구조물 Type별 구조물 Type별 대안 검토 시물레이션 정보	-3D 실시설계도면 -구조물 Type별 대안 검토 시물레이션 정보	-3D형상 정보 -민원예상구간 지역 분석 시물레이션 -지장물 분석 시물레이션
활용 주체	-발주자 -설계사 -시공사	-발주자 -설계사 -시공사	-발주자 -설계사 -엔지니어링 팀 -시공사	-발주자 -설계사 -엔지니어링 팀 -시공사

그림 1. 도로설계 지원 4D CAD 기능 정보 Total Map

## 3. 도로 설계 지원 4D CAD 기능 구축 방법론

본 장에서는 Activity Diagram을 활용하여 도로설계 업무에서의 4D CAD운영 프로세스를 고려한 시각적 기능 인터페이스의 구성 방법론을 제시하고 있다.(그림 2)

### 3.1 토공 시물레이션 구현 방법론

토공 시물레이션 기능 구현을 위하여 우선 지형정보를 수집하고 공사구역을 확인한다. 지형정보를 삼각망 정보로 변환하고 맵핑과정을 수행하여 실제 지형과 동일한 형태의 지형정보를 구축한다. 생성된 지형에 배치될 도로설계 정보를 수집하고 도로 선형의 속성값을 분류한다. 이를 위해 도로 차선(폭), 토공 구배, 도로 높이 및 색상 속성 등의 파라미터를 정의한다. 그리고 4D CAD시스템에 내장된 알고리즘에 의해 속성값을 시각적 정보로 변환한다. 이 과정에서 설계자는 도로가 배치될 위치(좌표)값을 확인한다. 그리고 스테이션 구분에 따라 도로의 중심선을 지형에 지정한다. 생성된 중심선의 위치 속성을 DB코드 값으로 변환하여 DB테이블 리스트에 저장한다. 저장된 DB의 선택 후 해당 중심선 객체가 호출된다. 그리고 토공생성이 활성화되면 중심선 및 파라미터 속성을 기준으로 성토 구간을 포함한 도로선형이 생성된다. 설계자는 생성된 도로 선형모델을 통해 토공량을 자동적으로 산정할 수 있고 모의 주행을 통해 선형을 검토할 수 있다. 또한 단면 검토와 거리 측정을 통해 도로설계 지원을 위한 기본적 설계정보를 제공한다.

### 3.2 도로선형 대안 검토 시물레이션 구현 방법론

본 기능은 토공 시물레이션과 같이 디지털 삼각망 지형정보를 우선적으로 생성한다. 그리고 대안 1과 2의 노선 정보를 확인한다. 또한 각 노선의 위치, 방향, 폭, 구배 및 높이 등의 다양한 속성값을 정의한다. 대안 노선의 선형계획

에 따라 중심선을 각각 지정하고 명칭을 정의하여 DB에 저장한다. 저장된 DB를 통해 대안 노선들의 중심선 코드를 선택한다. 선형 생성이 활성화되면 매개변수 속성에 따라 시각적 변환 알고리즘을 통해 대안 노선의 시물레이션을 수행할 수 있다. 따라서 본 시물레이션 기능을 통해 노선별 선형의 적절한 대안을 선정할 수 있다. 또한 선형의 좌표, 토공량 및 거리 분석을 수행하여 최적 대안 노선의 설계 계획에 요구되는 의사결정 정보를 제공하게 된다.

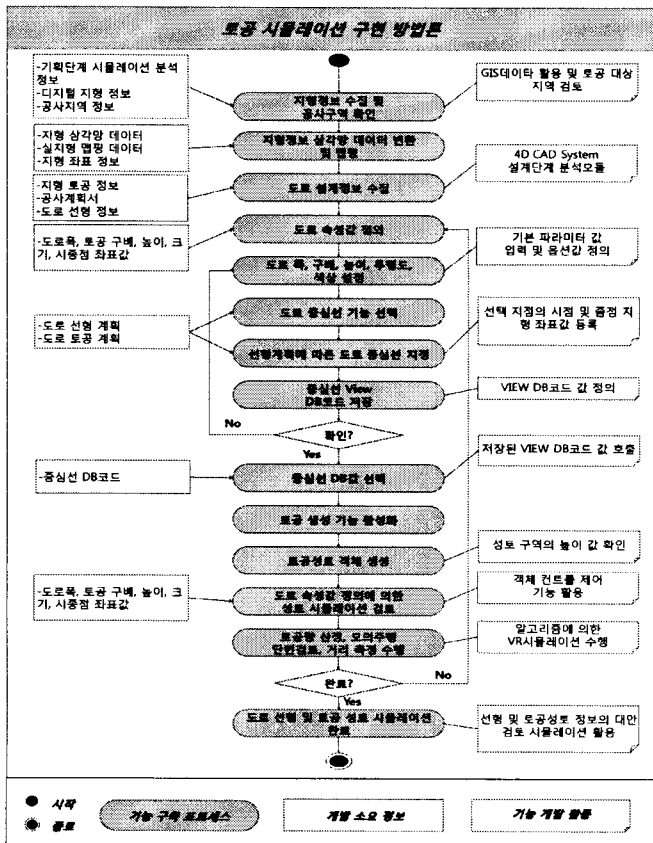


그림 2. 토공 시물레이션 기능 구현 및 운용 프로세스 [Activity Diagram]

**3.3 구조물 대안 선정 시물레이션 구현 방법론**  
 구조물 타입 선정 시물레이션은 지형정보의 생성에 있어 동일한 방법을 활용한다. 지형정보가 구성되면 대안 구조물의 디자인 및 형식을 검증할 수 있도록 구조물(교량, 도로, 터널 등)의 3D모델링을 수행한다. 지형정보와 3D모델은 동일한 좌표값을 포함하고 있다. 그러므로 좌표 매칭을 통해 각 구조물의 3D모델을 지형의 다양한 위치에 배치한다. 이를 통해 구조물 주위의 환경을 고려한 경관 시물레이션을 수행할 수 있다. 또한 거리 및 단면 분석을 통해 인접 지역의 배치 타당성을 시각적으로 검증한다.

**3.4 지장물 검토 시물레이션 구현 방법론**  
 우선 지장물 현황 DB를 기반으로 3D모델링을 수행하고 지장물 3D모델을 실좌표값과 매칭하여 지형정보에 배치한다. 배치된 3D모델은 실좌표값을 포함하고 있다. 이를 기반으로 충돌 알고리즘에 의해 지장물 간 객체간섭을 시각적으로 확인한다. 그리고 지장물의 깊이, 종류, 규모를 파악한

다. 이들 정보를 활용하여 도로설계를 위한 토공작업 위치를 확인할 수 있다. 또한 도로 설계시 선형 및 시공순서를 결정하는데 있어 중요한 시각적 의사결정 정보를 제공한다.

**4. 도로설계 지원을 위한 4D CAD 기능 구축**

**4.1 토공 시물레이션 구현 화면**

본 장에서는 시물레이션 기능 방법론을 기반으로 도로 설계 지원을 위한 4D CAD기능을 구축하여 활용 화면을 구현하고 있다. 그림 3은 도로 선형 및 성토 상태의 확인을 위한 시물레이션 기능을 화면으로 나타낸 것이다. 4D CAD 시스템에서 지형 내에 해당 토공의 선형 중심선을 지정하면 빨간색 선과 함께 선택 지점의 거리가 표시된다. 그리고 각 선택된 지점의 좌표값이 표시되며, 이를 DB에 저장한다. 저장된 도로 중심선 DB 코드를 지정한 후 토공 성토 기능을 선택한다. 즉 DB에 저장된 중심선의 좌표값에 따라 자동적으로 생성된 토공 3D모델을 확인할 수 있다. 이러한 과정을 통해 도로 선형의 확인 및 성토 상태의 시각적 확인이 가능하다. 또한 설계자가 지형 및 인근 마을의 인접도를 고려하여 타당성 있는 노선 계획을 수립할 수 있다.



그림 3. 중심선 설정 의한 도로의 토공 상태 확인

**4.2 도로 선형 대안 검토 시물레이션 기능**

본 기능은 노선 생성의 반복 과정을 통해 다중 노선을 지형정보 내에 지정한다. 그리고 해당 노선의 중심선을 각각 DB에 저장한다. 저장된 중심선을 순차적으로 지정하여 선택된 중심선의 수만큼 도로 선형의 3D모델이 자동적으로 생성되는 것을 확인할 수 있다. 이러한 기능을 통해 기존 계획 노선 대비 신규 대안 노선을 시각적으로 비교·분석할 수 있다. 또한 주변과의 인접도와 단면 분석을 통해 최적 토공량을 산정할 수 있는 정보를 제공한다.

**4.3 구조물 형식 선정 대안 시물레이션 기능**

우선 각 구조물의 3D모델링을 통해 다양한 형태의 형상 정보를 생성한다. 그리고 지형정보와 3D모델의 좌표값을 매칭하여 설계 계획에 따라 적절한 위치에 3D모델을 배치한다. 이러한 과정을 통해 서로 상이한 구조물을 배치함으로써 주변 환경과의 경관 및 구조물의 디자인 검토를 수행할 수 있다. 또한 단면분석, 거리분석 및 위치분석 등의 수행을 통해 최적의 구조물 배치 위치를 결정할 수 있다.

#### 4.4 지장물 및 민원구간 검토 시뮬레이션 기능

본 기능은 시점 제어기능을 통해 원하는 위치에서 구조물의 조망이 가능하다. 즉 구조물이 배치될 지역의 민원 예상지역의 주변 거리, 위치, 일조권 분석 등을 검토한다. 지하매설물의 형태를 시각적으로 확인하며, 객체 간 간섭 검토를 통해 설계변경을 최소화 한다. 또한 단면 분석을 통해 각 지하매설물의 종류, 위치(좌표), 깊이, 거리 등을 확인할 수 있다. 따라서 구조물의 설치시 간섭을 최소화 할 수 있도록 최적 설계지원을 위한 의사결정 정보를 제공한다.

#### 5. 결론

본 연구는 도로설계 업무의 효율적 지원을 위한 4D CAD 기능의 구축과 활용 방안을 제시하고 있다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

1. 도로설계 지원을 위한 4D CAD기반의 기능 구축을 위해 도로설계에서의 VR활용 특성을 분석하였다. 이를 통해 4D CAD기능의 개발 범위를 정의하였다.
2. 또한 도로설계 지원을 위해 요구되는 4D CAD기능을 도출하였다. 그리고 각 기능에 소요되는 정보와 도출되는 성과물을 통합한 Total Map을 구성하였다. 이를 기반으로 4D CAD기능 개발을 위한 정보를 제공하고 있다.
3. Activity Diagram을 활용하여 4D CAD 기능 구축 및 활용 프로세스 방법론을 구성하였다. 이는 4D CAD 기능 구축을 위한 알고리즘으로 구성된다. 또한 향후 기능적 인터페이스 운용을 위한 도로설계 지원 프로세스로 제공된다.
4. 제시된 방법론을 토대로 도로설계 지원을 위한 기능을 화면으로 제시하였다. 이는 4D CAD시스템 내에 통합되어 설계자가 시스템을 통해 제공되는 정보와 상호작용하여 효율적인 도로설계 지원 의사결정 수립을 가능하게 한다.

#### 참고문헌

- 1) Katherine A. Liapi, "4D Visualization of Highway Construction Projects", Proceedings of the Seventh International Conference on Information Visualization, 2003
- 2) Heng Li et al., "Virtual experiment of innovative construction operations", Automation in Construction, pp. 561~571, 2003
- 3) 강인석, "건설공사 4D CAD시스템의 일정 및 진도관리 기능 개발 사례", 대한건축학회 논문집 구조계, 제22권 8호, 2006, pp. 141~148
- 4) 서종원, 김영환, 정평기, "프로세스 시뮬레이션을 연계한 건설공정 시각화", 한국건설관리학회 논문집, 제7권 1호, 2006, pp. 73~79
- 5) T.Olofsson & R.P.M. Jongeling, S.Woksepp, "The use of Virtual Reality in a large scale industry project", CIB W78 22nd Conference on Information Technology in Construction, 2005
- 6) Kang, L. S., "4D CAD system for Visualizing Schedule Progress of Horizontal Construction Project Including Earthwork", 6th International Conference on Construction Application of Virtual Reality, Orlando, 2006
- 7) Kang, L.S. et al., "Improvement of Basic Functions for Visualizing Schedule and 3D Object in 4D CAD System." CIB 2007: CIB World Building Congress 2007, Construction for Development, Cape Town South Africa, 2007
- 8) Kang, L. S. et al., "Application of 4D CAD System for Highway Construction Project." AATT 2008: 10th International Conference on Application of Advanced Technologies in Transportation, Athens Greece, 2008

---

#### Abstract

This research attempts to develop 4D CAD function to support optimal road design by expanding the existing 4D CAD utilization system, which focused on construction phase, to the design phase. The functions such as earthwork simulation for selecting of road alignment, alternative route simulation and structure type simulation were suggested as functions to support road design. Through those virtual reality (VR) functions, visual confirmation of the condition of route and earthwork is possible by the developed system, and an optimal alternative route can be selected by carrying out layout simulation of the alternative route. The functions presented in this research provide the decision making tools based virtual model for efficient support to road design.

**Keywords :** 4D CAD, Road Design Phase, Virtual Reality, Earthwork, Activity Diagram

---