가상 시뮬레이션에 의한 도로설계정보 최적화 방법론 및 지원체계 개발

Development of VR Simulation Algorithm and System for Supporting Optimal Road Design Information

문 현 석* 강 인 석**
Moon, Hyoun-Seok Kang, Leen-Seok

요 약

본 연구는 기존 시공단계 중심의 VR시뮬레이션 활용체계를 설계단계까지 확장하여 도로의 최적 설계정보 지원을 위한 시각화 분석 기능을 개발하는 것이 목적이다. 연구에서는 설계지원을 위한 VR기능으로 도로 선형(alignment)에 의한 토공 시뮬레이션, 대안 노선 선정 시뮬레이션, 구조물 타입 선정 시뮬레이션 및 지하시설물 분석 시뮬레이션 기능들을 제안하고 있다. 이러한 VR시뮬레이션 기능을 통해 노선 및 토공 상태의 시각적 확인이 가능하고, 대안 노선의 가상적인 모의 배치를 수행함으로써 최적 설계노선을 선정할 수 있다. 이를 위해 본 연구에서는 도로설계정보 지원을 위한 VR시뮬레이션 기능 개발 방법론 및 시스템(VR Presenter)을 구현하며, VR기능을 적용한 개선된 도로설계 프로세스를 제안하고 있다.

키워드: 도로설계단계, 가상현실, 토공, 액티비티 다이어그램, 데이터 모델

1. 서 론

도로공사에서의 토공은 중요한 공정이며, 지형정보와 밀접하게 연관되어 있으므로 이를 활용한 체계적이고 객관적인 설계계획 및 효율적인 대안을 수립하는 것이 바람직하다. 기존의 도로설계 업무에서는 수치적 기반의 정보 분석을 통해 도로선형을 결정하거나 토공 계획의 의사결정을 수행하고 있다.

특히 도로의 다양한 설계 대안 선정이나 주변 환경과의 검토와 같은 설계지원 분석기능의 활용이 제한적이다. 일부 프로젝트에서 제한적으로 VR(Virtual Reality) 및 4D CAD의 적용사례가 있으나 시공단계에 중점을 두고 있어 설계단계의 활용성을 위해서는 별도의 다양한 기능 구성이 필요하다. Katherine A. Liapi(2003)는 공사 일정과 교통 계획에 대한 협업적 의사결정을 위해 고속도로 시공 프로세스 중심의 시각화 기능을 제안한 바 있다.

Heng Li et al.(2003)은 발주자들의 시공운영을 평가하기 위해 효율적인 공사 활동을 수행할 수 있도록 가상건설(Virtual Construction) 환경을 지원하는 VR시스템을 제안하고 있다. S.Woksepp et al.(2006)은 설계와 기획 프로세스 중심의 건설 프로젝트에서 VR모델을 활용한 대형 플랜트 프로젝트의 사례분석을 수행하였다.

Arkady Retik et al.(1999)은 건설 프로젝트의 계획 및 일정 수립을 위해 현장과 관련된 활동을 통합할 수 있도록 VR 기반의 절차적 방법론을 제시하였다. Ahmed F. Waly et al.(2002)은 VR 환경에서 시공단계 초기의 프로세스를 시각화하고 분석 및 평가할 수 있도록 의사결정 정보를 제공하기 위한 VCE(Virtual Construction Environment)의 프레임워크를 제안하였다.

Ting Huang et al.(2007)은 Dassault System에 의한 디지털 설계로부터 사전에 시공 프로세스를 모델링하고 시뮬레이션 분석을 위해 CVP(Construction Virtual Prototyping) 시스템

* 일반회원, 경상대학교 토목공학과 대학원, 박사과정, civilcm@gnu.ac.kr
** 종신회원, 경상대학교 토목공학과 교수, 공학연구원(교신저자), Lskang@gnu.ac.kr
본 연구는 건설교통부 첨단융합건설기술개발사업(가상건설시스템 개발 : 06첨단융합E01)의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

을 구축하고 있으며, Heng Li et al.(2008)은 VP(Virtual Prototyping)를 적용하기 위해 통합된 프레임워크 및 프로세스를 제안하였다.

Vineet R. Kamat et al.(2001)은 모델화된 시공 프로세스의 3D시각화를 위해 DCV(Dynamic Construction Visualizer) 시스템을 제안하고 있다. Naviswork나 Solibri 등의 일부 상용 시스템에서는 건축 시공 프로세스의 시각화 시뮬레이션 및 객체 부위 간섭 분석을 위한 VR 모듈을 탑재하고 있다. Forum8의 UC-win/Road에서는 도로설계를 위한 주행 시뮬레이션 및 경관검토 등의 제한적 기능을 탑재하고 있다.

이와 같이 VR모델 개발 및 사례적용 연구는 플랜트나 건축 등의 프로젝트를 중심으로 일부 적용사례들이 있으며, 이러한 연구결과들은 자연지형 조건에서 시공되는 도로설계에 적용하기에 곤란하다.

즉 도로설계단계 VR적용 확대를 위해서는 도로공사에서 중요 공종인 토공을 시각화한 VR시뮬레이션 기능 개발이나 시공단계 중심의 4D CAD를 설계단계로 확장한 VR기능을 구축할 필요가 있다. 이를 위해 본 연구에서는 VR 기반의 도로설계 수행을 위한 요구기능을 우선적으로 분석한다. 그리고 각 기능의 구축 및 운영에 소요되는 입력 및 출력 정보를 도출한다.

또한 UML(Unified Markup Language)의 Activity Diagram을 활용하여 기능 구현 알고리즘과 기능 정의에 따른 시각적 기능의 인터페이스 구성 방법론을 구축한다. 이를 기반으로 도로설계 지원을 위한 VR시뮬레이션 기능을 개발하여 실제 설계정보 적용으로 제시된 방법론을 검증하고 있다.

2. 도로설계정보 지원을 위한 VR시뮬레이션 기능 및 정보 분석

시각화된 도로 설계 업무에서는 토공을 포함한 도로의 형태가 설계안에서 제시된 선형정보에 의하여 자동적으로 생성되는 3D 선형 모델링 기능이 요구된다. 즉 도로의 스테이션(station)에 따라 일정한 형태의 선형이 자동 생성되어 계획된 도로 선형을 시각적으로 검토할 수 있어야 한다.

이러한 시뮬레이션 기능은 4D CAD시스템과 통합될 때 설계정보와 VR시뮬레이션 정보간 시각적 상호작용이 가능해진다. 그림 1은 토목공사 설계단계의 구분과 각 단계별 설계정보 지원을 위한 활용 가능한 VR시뮬레이션 기능을 분류한 것이다.

본 연구에서 적용하는 설계 단계는 상세설계를 구체화할 수 있는 계획설계(Design Development) 단계로 범위를 구성한다. 본 단계에서는 기본설계에서 분석된 정보를 포함하며, 상세설계를 지원하는 기능으로 제시할 수 있다. 또한 본 단계에서는 도로설계 지원뿐만 아니라 타 토목시설물의 설계를 지원하는 다양한 시각화 기능을 구현할 수 있다.

표 1은 도로 설계지원을 위해 요구되는 주요 VR시뮬레이션 기능을 설계 프로세스의 업무 요구항목에 따라 분류하였다. 또한 분류된 VR시뮬레이션 기능의 입력 · 출력 정보 및 활용 대상을 통합한 정보구성 체계를 나타내고 있다.

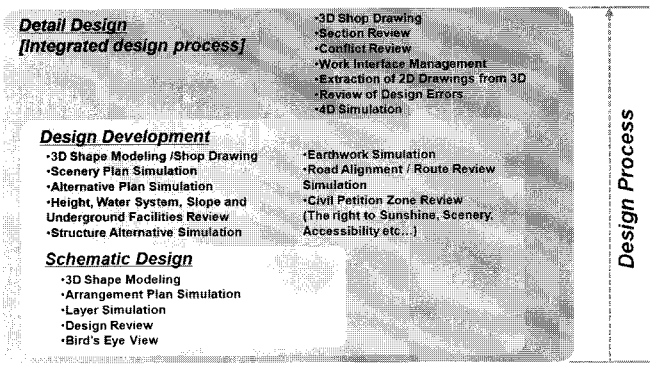


그림 1. 토목설계단계 정보지원 VR시뮬레이션 기능 분류

토공 시뮬레이션은 도로의 노선 위치를 지정하고 토공 3D모델을 자동 생성 한다. 이를 통해 노선의 방향, 위치 및 표고에 따른 성토 상태와 토공 단면의 수계(water system)를 검토할 수 있다.

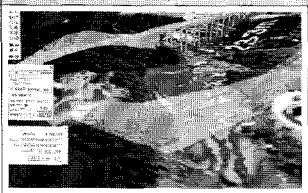
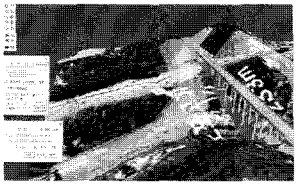
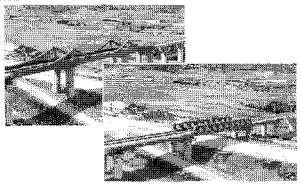
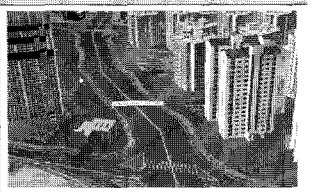
도로 선형 대안 시뮬레이션은 도로의 최적 대안 노선 선정을 위해 다중 선형을 지정함으로써 기존 노선대비 신규 노선의 타당성을 확인한다. 구조물 대안 검토 시뮬레이션은 지형정보에 다양한 구조물의 가상 모델을 배치하여 교량 및 도로의 타입을 시각적으로 확인할 수 있다.

지장물 및 민원 검토 시뮬레이션은 지장물의 3D모델링을 통해 지장물의 위치 및 간섭 상태를 시각적으로 검토할 수 있으며, 인접 지역의 일조권 분석 등을 통해 도로 선형 계획을 최적화할 수 있다. 표 1에서 제시된 입 · 출력 정보는 최적의 도로 선형 및 토공 상태의 시각적 확인이 가능한 3D모델 구축을 위해 활용된다.

3. 도로설계 지원 VR시뮬레이션 기능 구축 방법론

본 장에서는 앞서 분석된 기능 분류 및 입 · 출력 정보를 기반으로 도로설계 업무에서 VR 기반의 시각적 기능 인터페이스(interface)의 구성 방법론을 제시한다. 이러한 기능 구축 방법론은 UML(Unified Markup Language)의 Activity Diagram 모델링 기법을 활용하여 그림 2와 같이 구성하고 있다.

표 1. 도로설계지원 VR시뮬레이션 기능의 정보구성 체계

기능	토공시뮬레이션	도로선형 대안검토 시뮬레이션	구조물 대안 검토 시뮬레이션	지장물 검토 시뮬레이션
기능구현 화면				
세부기능 설명	-도로를 구성하는 토공의 절성토, 수계(water system), 유역면적(area) 및 성토 단면(section) 상태의 시각적 확인 기능	-도로 선형의 정의에 의한 다양한 대안 노선 선정 -선형검토, 절성토 토공량(earth volume) 확인	-동일 지형내 구조물 Type별 거치에 따른 구조물 대안 형식 결정 시뮬레이션 -주변 경관(scene) 검토 시뮬레이션 수행	-공사지역내의 지하시설물 시각화/ 간섭 검토 -민원예상 구역 설정에 의한 시각화 분석 시뮬레이션 수행
입력 정보	-기본설계 시뮬레이션 정보 -실시설계 요구사항 -기본설계 도서 -실시설계 요청서 -상세설계 범위 및 내용 -실시설계 지침서/법규 -토공계획서 -기획단계 시뮬레이션 정보	-입지분석정보 -현장분석자료 -건설계획정보 -타당성평가 정보 -프로젝트 규모 및 기간 -기본설계 지침서/법규 -기본설계 요구사항 -유사프로젝트 사례정보 -기본설계도서 -도로선형 정보 -프로젝트 현황정보 -기획단계 시뮬레이션 정보	-입지분석정보 -지형정보 -현장분석자료 -건설계획 정보 -타당성 평가 정보 -프로젝트 규모 및 기간 -기본설계 지침서/법규 -기본설계 요구사항 -유사프로젝트 사례정보 -프로젝트 현황정보 -구조물 Type별 3D모델 -기획단계 시뮬레이션 정보	-입지분석정보 -현장분석자료 -건설계획정보 -타당성평가 정보 -기본설계 지침서/법규 -유사프로젝트 사례정보 -기본 설계도서 -프로젝트 현황 정보 -지장물 DB정보 -기획단계 시뮬레이션 정보
출력 정보	-3D 실시설계 도면 -절성토 상태 지형분석 정보 -도로선형에 따른 토공의 절성토 시각화 분석 정보	-3D형상 정보 -도로선형 및 구조물 Type배치에 의한 대안 시뮬레이션 정보	-3D 실시설계 도면 -구조물 Tyoe별 대안 검토 시뮬레이션 정보	-3D형상 정보 -민원예상구간 분석 시뮬레이션 -지장물 분석 시뮬레이션 -간섭/시공성 검토 시뮬레이션
활용 주체	-발주자 -설계자 -시공사	-발주자 -설계자 -시공사	-발주자 -설계자 -엔지니어링 팀 -시공사	-발주자 -설계자 -엔지니어링 팀 -시공사

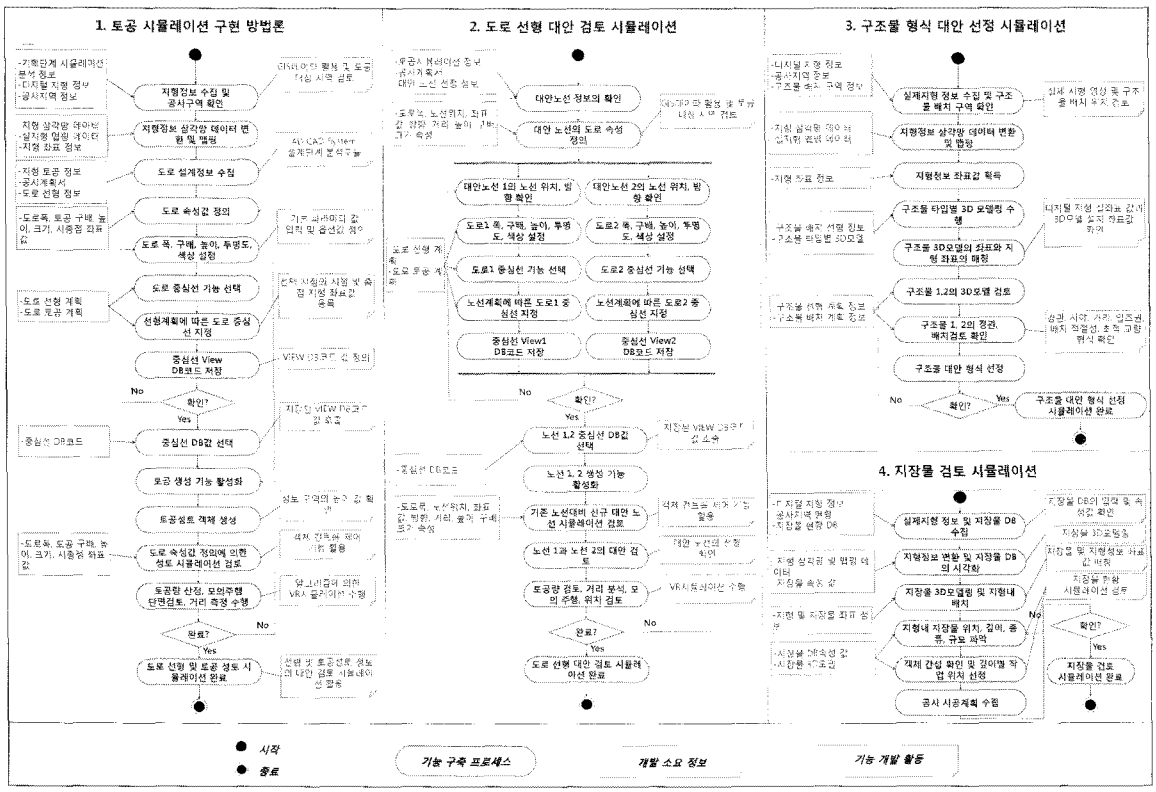


그림 2. 도로설계 지원 VR시뮬레이션 기능 구현 방법론

3.1 토공 시뮬레이션 구현 방법론

토공은 비정형으로 표현되며, 도로설계 정보에 있어 중요한 공종으로 분류된다. 이러한 토공은 기존 2D도면 중심의 종 · 횡단면도를 통해 토공의 평면적인 구간별 형태 및 토공 요소의 수치적 확인만이 가능하였다. 이는 주변 환경요소에 의한 토공의 형태가 변경될 경우 설계정보를 수정하는데 비용 및 설계의 효율성 측면에서 정량적 손실을 초래한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 토공의 최소 제원 속성에 의한 토공의 절 · 성토 상태 확인 및 토공의 생성을 간편화 할 수 있도록 시각화 기반의 토공 시뮬레이션 구현 방법론을 제시하고 있다.

그림 2에서 토공 시뮬레이션 기능 구현을 위해서는 우선 지형정보를 수집하고 공사구역을 확인한다. 지형정보를 삼각망(triangular network) 정보로 변환하고 맵핑 과정을 수행하여 실제 지형과 동일한 디지털 지형 데이터를 구축한다. 이를 기반으로 도로 차선(lane), 토공 구배(slope), 도로 높이 및 색상 속성 등의 파라미터(parameter)를 정의한다. 그리고 시스템에 내장된 알고리즘에 의해 속성값을 시각적 정보로 변환한다. 이 과정에서 설계자는 도로가 배치될 위치(coordinates)값을 확인하고, 스테이션 구분에 따라 도로의 중심선을 지형에 지정한다. 토공 생성이 활성화되면 중심선을 기준으로 성토(filling) 구간을 포함한 도로선형이 생성된다. 또한 단면(section) 검토와 거리(distance) 측정을 통해 도로설계 지원을 위한 기본적 정보를 제공한다. 거리 측정은 선택된 두 지점 사이의 x, y, z좌표 값의 차이를 통해 확인할 수 있으며, 각 지점의 거리 및 지형경사에 따른 각도를 계산하여 그 결과를 실시간으로 화면에 표현한다.

3.2 도로선형 대안 검토 시뮬레이션 구현 방법론

기존의 도로선형 생성 및 선정 방식은 타 CAD 도구를 활용하여 복잡한 과정으로 수행되고 있으며, 다수의 선형을 동시에 생성함으로써 대안을 선정하는데 한계가 있다. 이를 위해 최소의 선형 속성을 입력하고 선형이 배치되는 다수의 경로를 동시에 지정함으로써 최적의 도로선형 및 경로를 선정할 수 있도록 하는 시각화 기반의 대안 검토방식이 요구된다. 따라서 본 절에서는 최적의 선형을 선정할 수 있는 도로선형 대안 검토 시뮬레이션 구현 방법론을 제안하고 있다.

그림 2에서 대안 노선의 검토를 위해서는 각 노선의 위치(coordinates), 방향(direction), 폭(width), 구배(slope) 및 높이(height)의 다양한 속성값을 정의한다. 도로의 노선 및 선형 계획에 따라 중심선을 각각 지정하고 노선의 명칭(name)을 정의하여 DB에 저장한다. 선형 생성이 활성화되면 매개변수(parameter) 속성에 따라 시각적 변환 알고리즘을 통해 대안 노선의 시뮬레이션을 수행할 수 있다. 이러한 시뮬레이션 기능을 통해 대안별 선형의 좌표, 토공량(earth volume) 및 거리 분석을 수행하여 최적 대안 노선의 의사결정 정보를 제공하게 된다.

3.3 구조물 대안 선정 시뮬레이션 구현 방법론

기존의 구조물 대안 선정 방식은 다양한 형태의 구조물이 배치된 이미지(Image) 정보의 비교 · 검토를 통해 수행된다. 또한 동일 구조물이라 하더라도 부위별 타입이 변경될 경우 이의 검증을 위한 시스템의 구축이 미흡한 실정이다. 이를 위해 구조물의 3D모델을 다양한 형식으로 정의하고 신속하게 동일 부위를 변경함으로써 최적의 구조물 대안을 선정할 수 있는 VR시뮬레이션 기능이 요구된다. 본 연구에서는 지형정보의 구성 후 대안 구조물의 형식을 검증할 수 있도록 구조물(교량, 도로, 터널 등)의 3D모델링 절차를 시스템에 구성하고 있다. 지형정보와 3D모델은 동일한 좌표값을 포함하고 있다. 그러므로 좌표 매칭을 통해 각 구조물의 3D모델을 지형의 다양한 위치에 배치할 수 있다. 이를 통해 구조물 주변 환경을 고려한 경관(Bird's Eye View) 시뮬레이션을 수행할 수 있고, 거리 및 단면 분석을 통해 인접한 지역과의 배치 타당성을 시각적으로 검증한다.

3.4 지하시설물 검토 시뮬레이션 구현 방법론

도로설계는 도로 주변 및 배치 구간 내에 존재하는 다양한 간섭요소를 고려할 필요가 있다. 특히 배관 및 전력선 등이 매설된 지역의 경우 매설 위치, 깊이 및 종류 등이 사전에 파악되어야 한다. 그러나 기존의 지하시설물의 확인 절차가 복잡하며, 간섭요소를 확인하는데 제약이 있다. 이를 위해 도로설계의 수행 전에 지하시설물을 고려한 최적의 도로설계가 가능하도록 기능을 구성할 필요가 있다. 본 절에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 지하시설물의 DB정보를 통해 매설 위치, 깊이 및 종류 등의 확인함으로써 최적의 도로배치 위치 및 시공순서를 결정할 수 있도록 지하시설물 검토 시뮬레이션 구현 방법론을 제안하고 있다.

우선 지하시설물 현황 DB를 기반으로 3D모델링을 수행하고 구성된 3D모델을 실좌표값과 매칭하여 지형정보에 배치한다. 이를 기반으로 객체의 충돌탐지 알고리즘에 의해 지장물간 간섭(interference) 상태를 시각적으로 확인한다. 본 연구에서 충돌탐지 알고리즘에 의한 객체 간섭은 그림 3에서와 같이 선택된

객체를 기준으로 간섭되는 모든 객체의 x, y, z 좌표값을 계산하고 두 객체 사이의 좌표(거리)차이를 계산함으로써 충돌 상태를 검증할 수 있다.

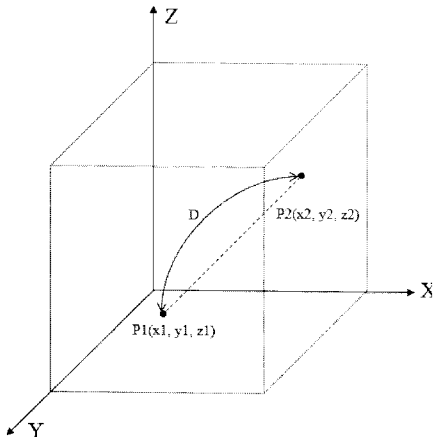


그림 3. 거리 및 객체 간섭 차이 계산

$$P_1(x_1, y_1, z_1),\ P_2(x_2, y_2, z_2)$$
$$Total\ D_n(Distance) = \sum \sqrt{\sum_{n=1}^{n} (P_{n+1} - P_n)^2}$$
$$D_{1-2}(Distance) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \qquad (1)$$

두 지점간의 거리는 마우스로 첫 번째 포인트(P1)와 두 번째 포인트(P2)를 선택하면 3차원 공간 내에 포함된 실제 지형좌표인 x, y, z 좌표값을 호출한다. 일정한 3차원 공간 내에서의 두 지점간 거리(Distance)는 함수 (1)에 의해 결정된다.

위의 함수(1)을 활용하여 지하시설물의 3D객체 간 간섭 탐지를 수행할 수 있다. 즉 지하시설물이 배관일 경우 해당 3D모델은 모든 엔티티(Entity)의 표면 요소가 좌표 값을 포함하고 있다. 그러므로 기준 객체의 표면 좌표값과 해당 객체가 놓여지는 위치에 충돌하는 3D 객체들 사이의 최단거리를 계산하여 충돌여부를 확인한다. 하나의 지하시설물 3D객체는 연관된 많은 객체들과 충돌 여부를 확인하기 위해 허용된 충돌거리를 인식한다. 충돌거리가 음의 값으로 계산될 경우 충돌부위로 인식된다. 이러한 과정은 시각적 설계검토 체계에서 간섭부위를 수정함으로써 시공단계의 설계변경을 최소화할 수 있다.

3.5 도로설계 지원을 위한 통합정보 모형 구성방안

본 연구에서 구현되는 시뮬레이션 기능들은 효율적인 설계정보 지원을 위한 시각적 분석 결과를 제공하는 것이 목적이다. 본 연구의 시스템 구성을 위해 통합정보 모형(Data Model)은 가상객체 정보를 참조하는 Object Data Model, 시뮬레이션 기능을 지원하는 요소 기능의 Element Data Model과 이들 Data Model과 연동되어 설계지원을 가능하게 하는 VR Simulation Data Model로 구성되어 있다. 그림 4는 각 시뮬레이션 기능들의 속성간 정보흐름 및 기능의 연관 관계도를 보여주는 ERD(Entity Relationship Diagram)이다.

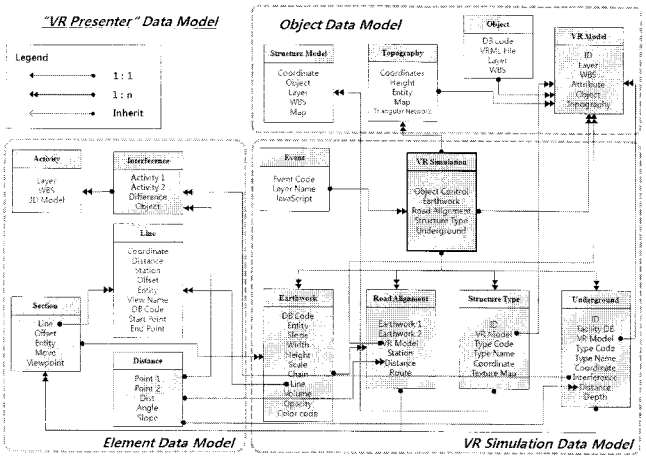


그림 4. 도로설계정보 VR시뮬레이션의 통합정보 ERD

1) Object Data Model : 3차원 객체들을 포함하는 가상공간 정보의 속성 코드들로서 시뮬레이션 객체의 구현에 요구되는 정보이며 Data Model의 최하위에 위치한다.

2) Element Data Model : 각 시뮬레이션 기능을 지원하기 위한 요소 기능들로서 VR Simulation Data Model의 개별 시뮬레이션 기능의 제어 및 Object Entity의 추출 요소 기능으로 정의된다.

3) VR Simulation Data Model : Object Data Model 및 Element Data Model의 테이블 및 속성 코드를 참조하게 되며 최상위에 위치한다. 개별 시뮬레이션 기능들은 Object Data Model을 참조하여 도로설계 요소의 3D객체 정보를 공유한다.

4. 도로설계 지원을 위한 VR시뮬레이션 시스템 구성

4.1 시스템 구성 체계

본 연구에서 개발된 시스템의 주요 모듈은 Visual Basic 6.0 언어를 이용하였으며, VR 인터페이스 모듈은 Cortona3D엔진을 적용하였다. 또한 지형 데이터에 정의된 파라미터 및 객체 속성 값들의 데이터베이스 저장을 위해 *.MDB를 활용하여 관리하고 있다. 특히 대안 구조물의 3D모델링 기능은 구조물의 파라미터 정보를 활용한 비캐드 기반의 객체 모델링이 가능하도록 내장된 캐드 엔진을 탑재하고 있다.

생성된 3D모델은 VR 인터페이스의 시뮬레이션 구현을 위해

VRML(*.wrl)로 변환됨으로써 모델의 3차원 공간을 구성한다. 그림 5는 도로설계 정보 지원을 위한 VR시뮬레이션 기능이 구현되는 "VR Presenter"의 주요 아키텍처(Architecture)를 표현하고 있다.

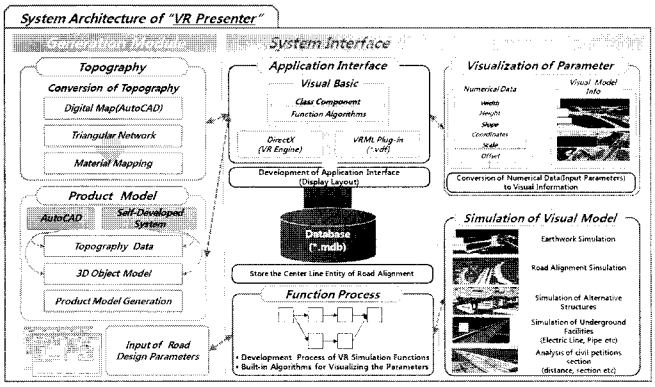


그림 5. VR Presenter의 시스템 아키텍처

본 시스템은 시각적 정보 생성 모듈과 시뮬레이션 모듈로 구성되며, 이들은 시스템 인터페이스를 통해 연계된다. 생성 모듈은 주로 지형정보 및 3D모델 정보를 구성하는 기능을 담당한다. VR시뮬레이션 기능은 시스템 인터페이스에 내장된 개발/운영 프로세스에 의해 구성된다. 이렇게 생성된 객체 정보 및 시뮬레이션 기능들은 VR Presenter시스템에 통합되어 가상적 시뮬레이션을 통해 도로 설계정보의 분석결과를 확인하게 된다.

4.2 토공 시뮬레이션 구현 시스템

그림 6은 도로 선형 및 성토 상태의 확인을 위한 시뮬레이션 기능을 화면으로 나타낸 것이다. VR Presenter에서 지형 내에 해당 토공의 선형 중심선을 지정하면 적색 선과 함께 선택된 지점 사이의 거리가 표시된다. 저장된 도로 중심선 객체의 토공 성토 기능을 선택하면 중심선의 좌표값에 따라 자동적으로 생성된 토공 3D모델을 확인할 수 있다.

이러한 과정을 통해 도로 선형 및 성토 상태의 시각적 확인이 가능하다. 또한 설계자는 지형 및 인근 마을의 인접도를 고려하여 타당성 있는 노선 계획을 수립할 수 있다.

4.3 도로선형 대안 검토 시뮬레이션 구현 시스템

그림 7은 다중 선형의 3D모델을 생성하고 각 모델의 비교 검토를 통해 대안 노선을 선정하는 화면이다.

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

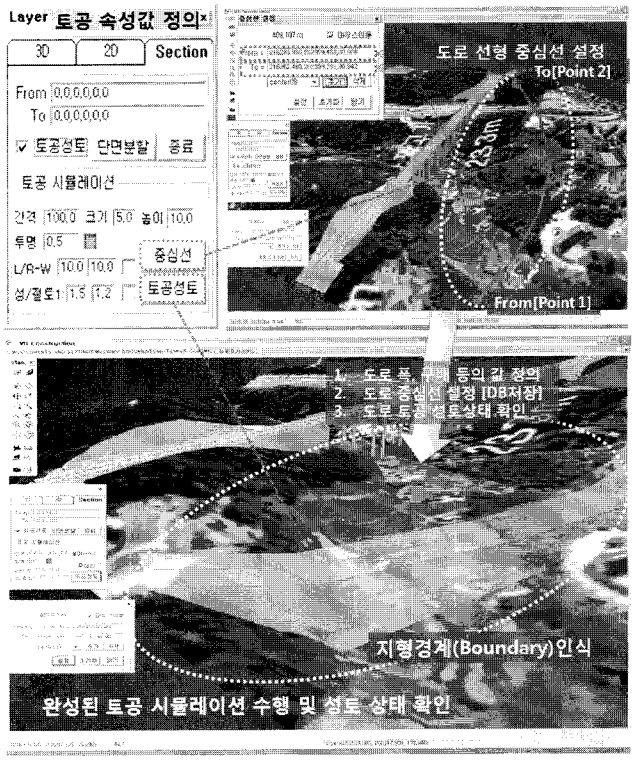


그림 6. 중심선 설정 의한 도로의 토공 상태 확인

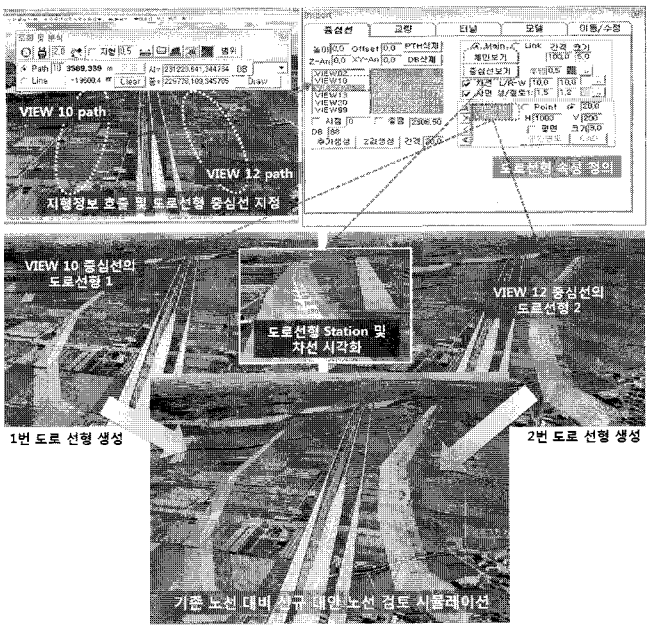
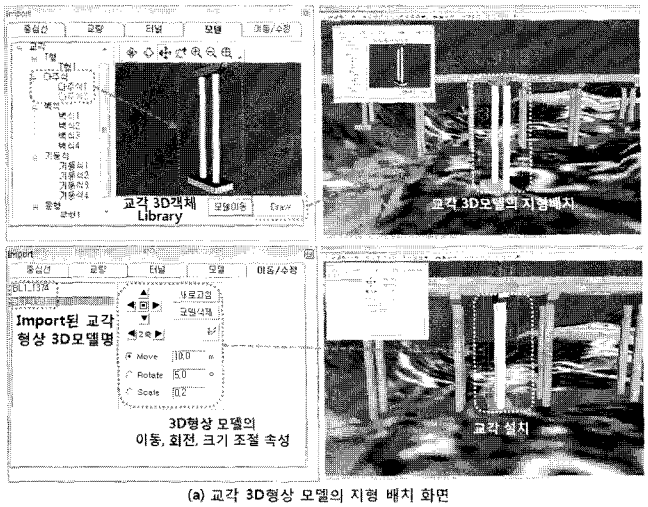


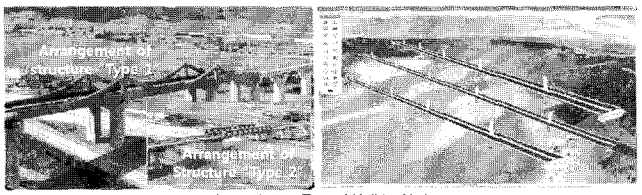
그림 7. 신규 대안 노선의 선형 비교 검토

4.4 구조물 형식 선정 시뮬레이션 구현 시스템

그림 8은 구조물 형식을 결정하는 시뮬레이션 화면이다.



(a) 교각 3D형상 모델의 지형 배치 화면



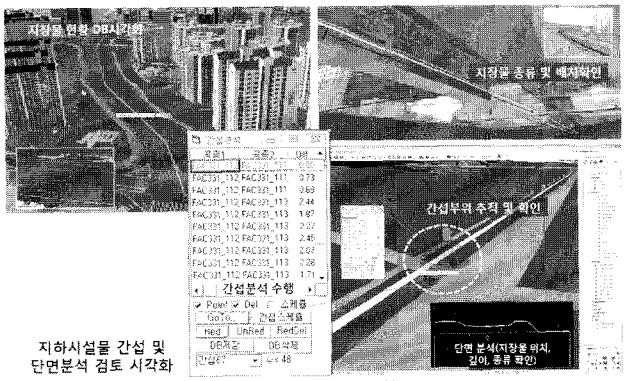
(b) 교량 구조물의 지형배치 화면

그림 8. 구조물 형식 대안 비교 검토

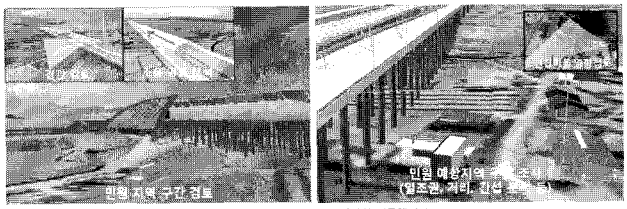
우선 각 구조물의 3D모델링을 통해 다양한 형태의 형상정보(shape information)를 생성한다. 그리고 지형정보와 3D모델의 좌표값을 매칭하여 설계 계획에 따라 적절한 위치에 3D모델을 배치한다. 이러한 과정을 통해 서로 상이한 구조물을 배치함으로써 주변 환경과의 경관(scene) 및 구조물의 디자인 검토를 수행할 수 있다.

4.5 지장물 및 민원구간 검토 시뮬레이션 시스템

그림 9는 지하매설물의 시각화 및 공사 구역의 민원 예상 구간을 검토하는 화면을 제시한 것이다. 본 기능에서는 시점제어(View Control) 기능을 통해 원하는 위치에서 구조물의 조망이 가능하도록 구성하였다. 즉 구조물이 배치될 지역의 민원 예상 지역의 주변 거리, 위치, 일조권 분석 등을 검토한다. 지하매설물의 형태를 시각적으로 확인하며, 객체 간 간섭 검토를 통해 설계변경을 최소화 할 수 있다. 거리분석의 경우 두 지점을 선택하면 지형 좌표 값이 화면에 호출된다. 두 지점간의 거리 산출은 함수 (1)을 활용하여 계산되며, 지하시설물 간섭 확인도 동일한 방법을 적용한다. 거리계산의 구현 예는 그림 10과 같다.



(a) 지하시설물 현황 및 간섭 시각화



(b) 도로건설 민원 구간 검토 시각화 시뮬레이션

그림 9. 지하시설물 간섭 및 민원 구간 검토

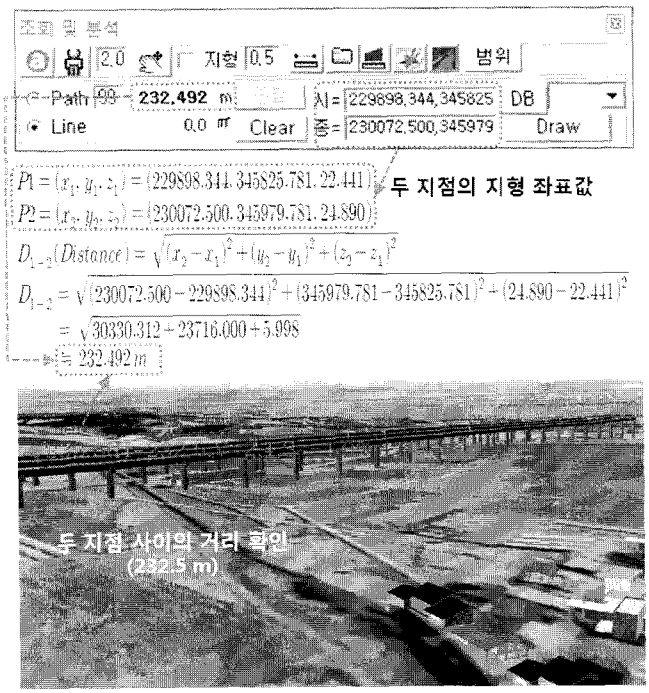


그림 10. 거리측정 수식 적용 사례

4.6 VR시뮬레이션 기능 통합 운영 시스템

기존의 도로설계는 설계정보가 불명확하고 프로세스간 협업이 미흡하여 시공단계에서 빈번한 설계변경이 이루어지는 문제점이 있다. 또한 각 단계가 분리되어 있으며, 설계지원을 위한 정보도출 과정이 복잡하여 방대한 양의 자료를 요구한다. 이를

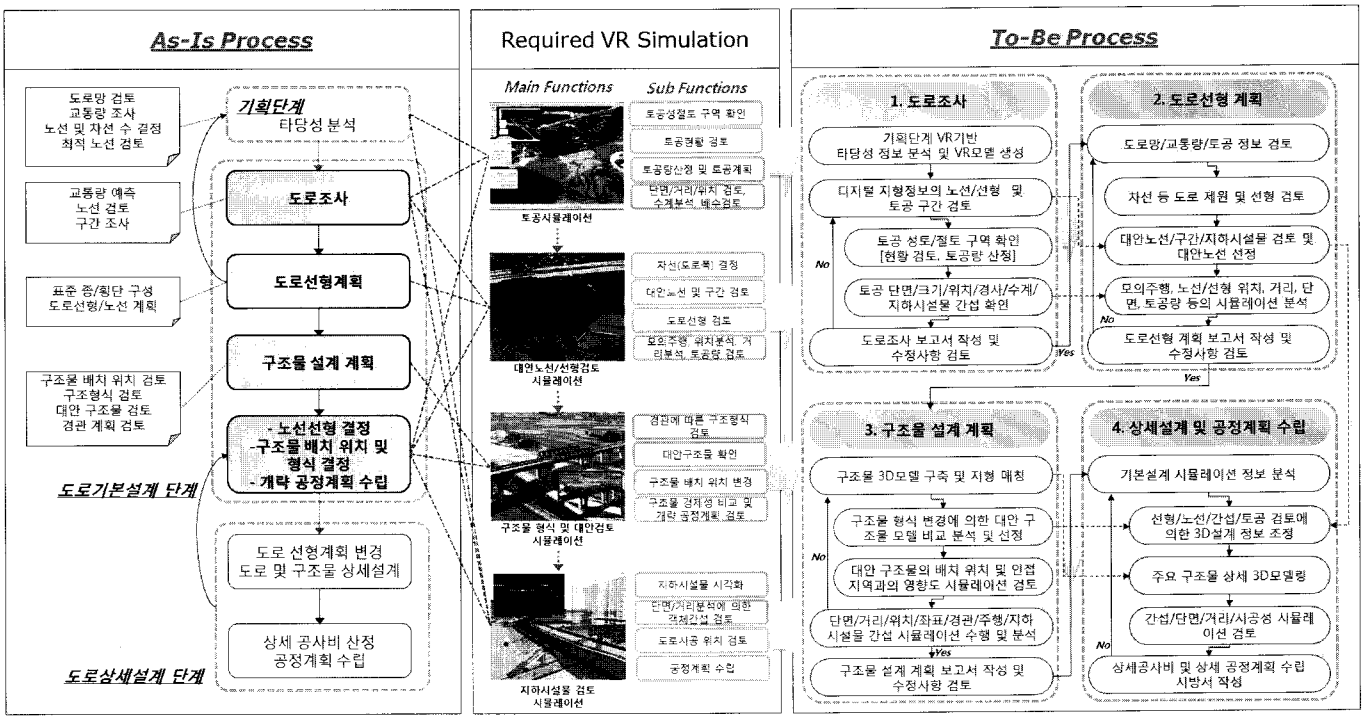


그림 11. 가상환경 기반의 개선된 도로설계 프로세스 모델

해결하기 위해서는 수치적 정보 및 설계자 경험 중심의 설계 프로세스가 시각적 정보를 활용한 가상환경 기반의 도로설계 프로세스로 제안될 필요가 있다. 본 연구에서 개발한 VR시뮬레이션 시스템은 제한적 기능들이지만 이러한 시각적 설계정보 분석을 가능하게 한다.

그림 11은 본 연구의 구축시스템 기능들을 기존 설계프로세스의 각 단계에 활용 가능하도록 분류하고 이를 적용한 개선된 도로설계 프로세스 모형을 표현하고 있다. 그림 11에서 To Be Process Model은 기존의 도로설계 프로세스(서종원 외 2005, Katherine 2003)를 준용하고 있으며, 세부 프로세스에서 적용 가능한 기능을 업무와 기능의 연관도에 따라 구성하고 있다.

이는 개발된 시스템을 통해 대체적으로 설계업무를 포괄할 수 있으며, BIM(Building Information Modeling) 기반의 도로설계 통합 프로세스에 활용될 수 있다. 특히 개선된 프로세스에서는 각 단계별로 업무흐름이 단절되지 않고 VR시뮬레이션을 적용함으로써 관련 기능을 공유할 수 있다.

5. 결 론

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

1) 도로설계정보 지원을 위한 VR 기반의 기능 구축을 위해 도로설계에서의 VR 활용 특성 분석을 통한 VR시뮬레이션 기능의 개발 범위를 제시하였다.

2) 도로설계를 위한 VR시뮬레이션의 각 기능에 소요되는 정보와 도출되는 성과물을 통합한 VR 기반 도로설계 통합정보 체계를 구성하였다. 연구에서는 토공 상태검증 시뮬레이션, 도로선형 검증 시뮬레이션, 구조물 형식검증 시뮬레이션, 지하시설물 검증 시뮬레이션을 주요 VR기능으로 구성하였다.

3) Activity Diagram을 활용하여 VR시뮬레이션 기능 및 활용 프로세스 방법론을 구성하였다. 이는 도로설계를 위한 VR시뮬레이션 기능 구축용 알고리즘으로 활용될 수 있다. Activity Diagram은 연구에서 제시한 4개의 VR기능 구성을 위한 독립적 절차와 통합된 절차로 병행하여 구성하였으며, 이로써 기능별 VR 설계정보의 연계성을 확보하였다.

4) 제시된 VR기능 구성 방법론에 근거하여 도로 설계정보 시각화를 위한 VR시뮬레이션 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 실제 설계정보를 이용하여 4개 VR기능의 실무 적용성을 검토하였으며, 시스템의 VR기능을 활용한 개선된 도로설계업무 프로세스를 제시하였다. 특히 연구에서 구축된 VR 시스템은 도로 공사용 4D CAD엔진과 통합 환경에서 구동이 가능하므로, 시공단계 중심의 4D CAD 활용성을 설계단계까지 확대하는 인터페이스 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 서종원, 조관희, 정평기(2005), "도로건설 사업에서의 설계 관리를 위한 정보 모델", 대한토목학회 논문집, 제 25권 제 5D호, pp. 729~737
2. Ahmed F. Waly and Walid Y. Thabet(2002), "A Virtual Construction Environment planning", Automation in Construction, Vol.12, pp. 139~154
3. Arkady Retik and Aviad Shapira(1999), "VR-based planning of construction site activities", Automation in Construction, Vol.8, pp. 671~680
4. Heng Li, Ting Huang, C.W.Kong, H.L. Guo, Andrew Baldwin, Neo Chan and Johnny Wong.(2008), "Integrating design and construction through virtual prototyping", Automation in Construction, Vol.17, pp. 915~922
5. Heng Li, Zhiliang Ma, Qiping Shen and Stephen Kong(2003), "Virtual experiment of innovative construction operations", Automation in Construction, Vol.12, pp. 561~571
6. Kang, L.S., Jee, S.B., Kim, C.H., Park. S.Y. and Moon, H.S.(2006), "4D CAD system for Visualizing Schedule Progress of Horizontal Construction Project Including Earthwork", CONVR 2006: 6th International Conference on Construction Application of Virtual Reality, Orlando
7. Kang, L.S., Jee, S.B. and Moon, H.S.(2008), "Application of 4D CAD System for Highway Construction Project", AATT 2008: 10th International Conference on Application of Advanced Technologied in Transportation, Athens Greece
8. Katherine A.Liapi(2003), "4D Visualization of Highway Construction Projects", Proceedings of the Seventh International Conference on Information Visualization
9. Stefan Woksepp and Thomas Olofsson(2006), "Using Virtual Reality in a Large-Scale Industry Project", ITcon, Vol. 11, pp. 627~640
10. Ting Huang, C.W. Kong, H.L. Andrew Baldwin and Heng Li(2007), "A virtual prototyping system for simulating construction processes", Automation in Construction, Vol.16, pp. 576~585
11. Vineet R. Kamat and Julio C. Martinez(2001), "Visualizing Simulated Construction Operations In 3D", Journal of Computing in Civil Engineering, Vol.15, No.4, pp. 329~347
12. http://www.autodesk.com/ (2008)
13. http://www.solibri.com/ (2008)
14. http://www.forum8.co.jp/ (2008)

논문제출일: 2009.01.20
논문심사일: 2009.01.23
심사완료일: 2009.03.31

Abstract

The current virtual reality(VR) simulation functions in construction project are focused on the construction phase. This study attempts to extend the application of VR functions to the design phase. This study suggests various VR functions such as earthwork simulation by road alignment, alternative route selection simulation, structure type selection simulation and underground structure visualization simulation. These functions can visualize road route and earthwork condition and select an optimal design route by simulating virtual placement of alternative route. This study configures systematic methodology for suggested VR simulation functions and develops VR system by the functions. Finally this study suggests an improved design process of road construction project by using the developed VR functions

Keywords : Road Design Phase, VR Simulation, Earthwork, Activity Diagram, Data Model