

BIM 기반 3D 터널 모델 가시화에 관한 연구

유원규¹ · 김진환^{1*} · 정수매¹ · 김정흠² · 지상복³ · 김창용¹

¹한국건설기술연구원, ²연세대학교 토목환경공학과, ³㈜지오엔티

Visualization of Tunneling Using a BIM-based 3D Tunnel Model

Wan-Kyu Yoo¹, Jinhwan Kim^{1*}, Xiumei Zheng¹, Jeong-Heum Kim²,
Sang-bok Gi³, and Chang-Yong Kim¹

¹Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

²Civil and Environmental Engineering, Yonsei University

³GeoNT Co. Ltd

Received 31 July 2015; received in revised form 18 August 2015; accepted 22 August 2015

터널 시공 중 획득되는 굴진면 조사와 계측자료 등은 암판정의 기초자료로 터널 안정성 및 경제성과 밀접한 관련이 있다. 하지만 국내에서는 이러한 자료에 대한 체계적 관리가 부족한 실정이며 자료의 효율적 활용 및 관련 전문가의 수도 부족하다. 따라서 자료의 체계적 관리 및 효율적 활용, 한정된 전문가를 효과적으로 활용할 수 있는 방안 마련이 필요한 실정이다. 이에 본 연구에서는 BIM기반 데이터 시각화를 통해 터널 설계 및 시공관련 정보를 온라인 상에서 효율적으로 제공하기 위한 연구를 수행하였으며 그 결과로 통합 3D 터널모델 생성 모듈과 웹뷰어 모듈을 개발하였다. 개발 기술은 국내 ○○터널 설계 및 시공 자료를 통해 구현성능을 검증하였으며 향후 연구방향 및 시스템 개선방안을 도출하였다.

주요어: 암판정, BIM, 데이터 시각화, 3D 터널모델, 웹뷰어

An investigation of the tunnel face, as well as related measurement data collected during tunneling, is necessary for rock classification and to determine tunnel stability and the cost efficiency of tunneling. However, systematic management and efficient use of such data have yet to be successfully implemented domestically, and the number of experts in this field in Korea is limited. Thus, measures to develop and implement systematic management and effective use of data and expertise are urgently needed. This study aimed to develop measures to efficiently provide online tunnel design and construction data using a building information model (BIM)-based data visualization approach, based on an integrated 3D tunnel model generation module and a web viewer module. The development technology was verified through ○○ tunnel design and construction. Directions for future study and system improvement are proposed.

Key words: rock classification, building information model, data visualization, 3D tunnel model, web viewer

*Corresponding author: goethite@kict.re.kr

© 2015, The Korean Society of Engineering Geology

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서 론

우리나라의 경우 국토의 약 70%가 산지인 지리적 조건 때문에 과거부터 터널은 빈번하게 건설되어 왔으며 연장과 규모도 지속적으로 증가하고 있다. 최근에는 인제터널(10.965 km), 대관령터널(21.755 km), 울현터널(50.3 km)과 같이 연장 10 km를 넘는 초장대 터널이 시공 중에 있다. 일반적으로 산지에 건설되는 터널은 시공 전 충분한 지반조사 자료 획득에 한계가 존재하므로 설계에 불확실성이 많이 내포되어 있고 터널이 장대화, 대규모화 될수록 많은 위험요소와 난제가 발생할 가능성이 높아진다. 따라서 터널은 실제 시공 중 변화되는 지반조건, 거동 등을 파악하고 필요시 설계 및 시공방법 등의 변경을 통해 대응해야 할 필요가 있으므로 시공 기술자의 경험이 매우 중요한 분야라 할 수 있다. 기존 터널시공에 대한 경험으로부터 다양한 설계 및 시공 자료를 축적하여 유사한 지질 및 시공조건, 문제발생 등에 활용이 가능함에도 불구하고 아직까지 국내에서는 터널설계 및 시공자료 등에 대한 체계화된 자료축적이 부족한 실정이다. 또한 터널 시공 중 실시하는 굴진면 조사와 계측은 숙련된 기술자를 통해 다양한 지질특성을 보이는 현장의 특이성을 고려하여 실시해야 하지만 국내의 모든 현장에서 이를 기대하기는 어렵다(Kim et al., 2006b).

터널은 시공 중 안전정을 통해 필요시 실제 지반조건에 맞는 보강 및 지보패턴 등을 결정해야 하므로 안전정의 기초·판단자료인 굴진면 조사와 계측자료는 터널 안정성 및 경제성과 밀접한 관계가 있으며 그 중요성이 매우 높다. 하지만 터널시공 중 관찰되는 지질상태에 대한 기록은 그 중요성에 비해서 작성 및 관리 측면에서 많은 문제점이 있다. 국내 터널현장에서는 대부분 수기방식의 굴진면 관찰도를 작성하고 있지만 숙련된 기술자에 의해 작성되지 못하는 경우도 많으며 이러한 자료조차도 체계적으로 관리되지 못하고 있는 것이 현실이다. 굴진면 관찰도의 경우 체계적으로 관리하여 전체 구간에 대해 가시화할 경우 터널 전체 지반특성(암반의 종류, 암반의 구조적 특성 등)의 공간적 파악 및 향후 시공할 전방 지반특성 예측도 가능하므로 효과적으로 활용할 수 있는 방안 마련이 필요하다.

국내의 경우 2000년 무렵부터 지반정보의 3차원 가시화에 대한 연구(Kim et al., 1999; Song et al., 2001; Hong et al., 2002; Lee et al., 2011)가 수행되어 관련 기술이 축적되어 왔다. 터널시공 분야에서는 굴진면 관찰도를 정량적으로 획득하여 3차원으로 가시화

하고 효율적으로 활용하기 위한 연구(Kim et al., 2006a; Kim et al., 2008; Kwon et al., 2010; You et al., 2010) 등이 수행된 사례가 있다. 그러나 C/S(client/server) 기반으로 개발된 시스템 특성상 임의의 사용자가 온라인 상에서 자유롭게 정보를 공유하는데 한계가 있으며 제공되는 정보의 종류도 한정적이다. 본 연구에서는 BIM(Building Information Modeling)기반 데이터 시각화를 통해 이용자에게 터널 설계 및 시공관련 정보를 온라인 상에서 효율적으로 제공하고자 통합 3D 터널모델 생성 모듈 및 웹뷰어 모듈을 개발하였다. 또한 국내 ○○터널 설계 자료와 약 240개 굴진면데이터를 이용하여 모델링 및 가시화 기능의 성능을 검증하였다.

시스템 정의 및 플랫폼 제작

최근 국내 터널 시공 중 지질조사와 안전정 관련 문제점 개선을 위해 온라인 안전정 통합운영시스템(OnRoC System) 개발에 대한 연구가 진행 중에 있다(Kim et al., 2014). 온라인 안전정 통합운영시스템은 한정된 국내 터널관련 기술자를 효과적으로 활용하여 온라인 상에서 신속하고 객관적인 안전정이 가능하도록 하는데 그 목적이 있다. 또한 터널 설계 및 시공 중 발생하는 다양한 자료를 체계적으로 DB로 구축할 필요가 있으며 구축된 DB를 바탕으로 온라인 상에서 안전정에 필요한 정보를 효율적으로 안전정 전문가에게 전달할 수 있는 시스템 구축이 요구된다.

본 연구는 터널 안전정과 관련하여 온라인상에서 효과적인 의사결정 과정을 돕기 위한 시스템을 개발하는 것으로 BIM 기반 데이터 시각화를 통해 안전정 전문가에게 효율적으로 터널설계 및 시공관련 정보를 제공하는데 목적이 있다. 이를 위해서는 터널 설계 자료 및 터널 시공 중 수집되는 터널 굴진면 자료와 터널 설계 변경 자료 등 막대한 양의 자료를 체계적으로 정리 및 시각화하여 제공하는 것이 요구된다. 또한 제공된 데이터를 분석하여 사용자가 필요로 하는 중요 정보(암반등급 및 지보패턴 변화, 계측데이터 분석, 유사 사례 정보 제공 등)에 대한 분석데이터를 제공할 필요가 있다. 또한 생성된 터널 모델 및 각종 자료는 온라인을 통해 언제, 어디에서든 정보를 쉽게 열람할 수 있도록 웹기반 시스템으로 공유 되어야 한다.

이러한 연구 배경 및 이용목적을 바탕으로 사용자의 요구사항에 대한 필요 기능을 분석하였으며 다양하고 방대한 양의 데이터를 가시화 할 수 있는 가상터널 모델

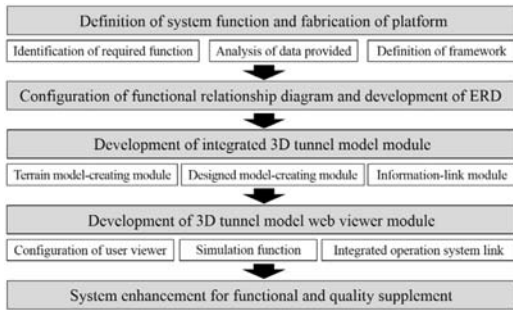


Fig. 1. Research strategy diagram.

을 생성할 수 있도록 설계하였다. 터널 BIM 모델을 생성하기 위한 기초 데이터(터널 설계 단계에서 수집 가능한 자료)를 분석하여 BIM 생성 모듈을 통해 터널 BIM 모델을 자동 생성 할 수 있도록 프레임워크를 정의하였으며 각 모듈에 대한 생성 알고리즘을 구현하였다. 생성된 지반 및 터널 모델과 함께 각 굴진면에서 연계되어 표출해야 하는 데이터들을 파악하고 분석하였으며 이 데이터들이 모델 상에서 가시화 될 수 있도록 계획하였다. 최종적으로 지형모델 생성 모듈, 계획모델 생성 모듈 및 정보연계 시뮬레이션 모듈을 구성하여 통합 3D 터널 모델 가시화 모듈이 개발되도록 플랫폼을 구축하였다. Fig. 1은 통합 3D 터널 모델 가시화 모듈 개발을 위한 수행체계 및 방법을 나타낸 것이다.

통합 3D 터널모델 생성 모듈

지형모델 생성 모듈

통합 3D 터널모델 생성 모듈 중 지형모델 생성 모듈은 터널이 시공될 지역의 지반고, 표고 등의 지반정보와 현장 테스트를 통해 획득한 위치좌표 기반의 시추 데이터(토사 깊이, 암반 종류별 깊이 등)를 통해 터널 주변 지형모델을 생성하게 된다. 시추데이터를 기준으로 시추가 이루어진 각 좌표선상에서의 지반관련 데이터를 이용하여 가상의 지층과 지형을 생성할 수 있으므로 지층 두께, 각 지층별 종류, 절리 및 단층대의 방향 및 두께 등을 가시화 할 수 있다. 본 모듈에서는 삼각망생성, 격자망 생성, Contour 생성, Boring 생성의 4단계를 통해 지형모델을 생성하도록 구성하였다(Fig. 2 참조).

- 1) 삼각망 생성 : 설계자료(현장 실측 데이터 및 등고 데이터)를 통해 삼각망으로 계산된 지형을 생성하며 정보가 존재하지 않는 지형의 부분은 삼각망계산법에 의해 계산된 예측면이 생성된다.

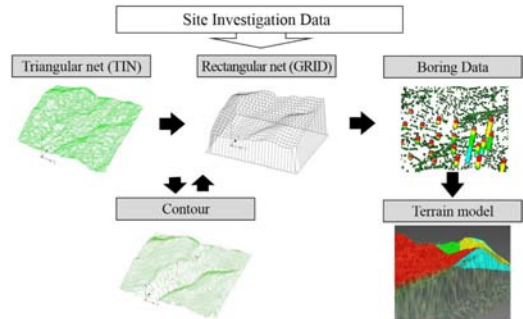


Fig. 2. Terrain model creation flow.

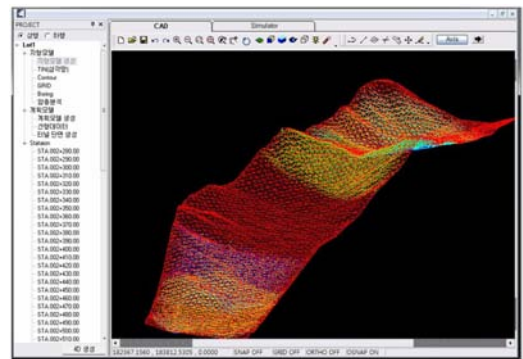


Fig. 3. Terrain model including stratum data.

- 2) 격자망(사각망) 생성 : 등고 데이터와 삼각망 데이터를 통해 사각망 면을 생성하게 되며 이때 격자의 간격은 사용자가 원하는 간격을 설정하게 된다. 이렇게 일정 간격으로 생성된 격자망을 통해 이용자는 파악하고자 하는 위치의 개략적인 위치정보를 시각적으로 쉽게 판단할 수 있다.
- 3) Contour(지형등고) 생성 : 지형등고는 설계자료 중 캐드 파일로 갖고 있는 등고 라인을 이용해 생성하거나 삼각망, 사각망의 지형 모델로부터 추출하여 생성할 수 있다. 본 모듈에서 생성되는 지형등고는 캐드 기반의 좌표와 벡터 데이터로 변환이 가능한 장점이 있다.
- 4) Boring 생성 : 생성된 지형모델에 지층 및 주요 특성을 반영하기 위하여 필요한 단계로 위치좌표 기반의 시추데이터를 입력하게 된다. 이 과정을 통해 지층 높이, 지층 종류, 단층대 및 절리대 등이 반영된 BIM 데이터가 생성된다.

Fig. 3은 국내 OO터널의 설계 자료를 이용하여 4단계의 지형모델 생성 과정을 통해 생성된 지형모델 및 암층분석을 나타낸 것이다.

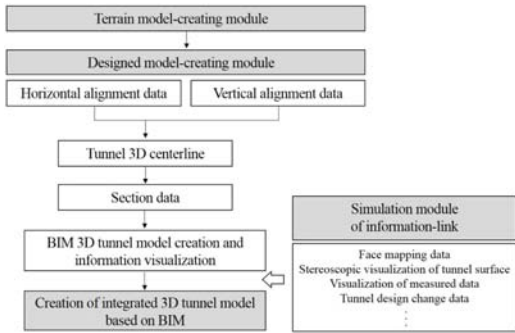


Fig. 4. Creation flow of integrated 3D tunnel model based on BIM.

계획모델 생성 모듈

계획모델 생성 모듈은 터널 구조물의 3차원 모델을 생성하기 위한 것으로 터널 선형 및 단면 데이터를 이용하여 터널 구조물의 3D BIM 모델을 생성하도록 모델링 하였다. 터널 설계 중 작성된 캐드 데이터를 이용하여 손쉽게 모델링이 가능하도록 구현하였으며 각 구간별로 단면의 특성, 설계시 결정된 지표패턴 등의 정보를 함께 모델링 하여 표출할 수 있기 때문에 사용자가 모델상에서 쉽게 확인할 수 있는 특징이 있다. 또한 생성된 계획모델은 정보 연계 시뮬레이션 모듈을 이용하여 굴진면 관찰도, 계측자료, 터널 표면 입체 가시화 모델 등과 연계하여 다양한 정보를 표출할 수 있도록 개발하였다. Fig. 4는 계획모델 생성 모듈과 정보 연계 시뮬레이션 모듈 등을 이용한 통합 터널 3D BIM 모델 생성과정의 흐름도를 나타낸 것이다.

- 1) 평면선형데이터 생성 : 설계 자료에서 작성되는 선형계산부를 이용하여 BP좌표, IP좌표, EP좌표를 입력하고 곡률반경 및 원화 곡선 거리를 적용하여 평면상에 중심선 좌표를 생성한다. 선형계산부 입력 데이터에 따라 정해진 체인간격별 중심선 좌표를 생성하여 전체 평면 선형 데이터를 추출하게 된다.
- 2) 종단선형데이터 생성 : 설계 자료의 종단선형데이터에서 VIP좌표와 L값, EL값과 Chain 간격별 VIP좌표를 입력하여 종단에서의 중심선형 데이터를 생성하게 된다. 굴진면 위치의 계획고 추출을 통해 터널 바닥 높이를 산정하여 종단상의 고저차가 표출되도록 하였으며 평면선형데이터에 종단선형데이터를 적용하여 3차원 중심선 추출이 가능하도록 구현하였다.
- 3) 터널 단면 생성 : 설계 단계에서 계획된 단면 정

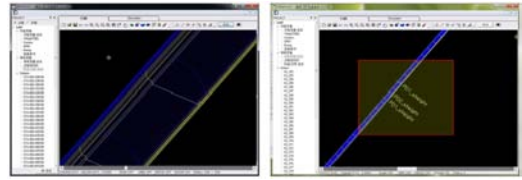


Fig. 5. (a) Creation of tunnel section (b) Visualization of section data.

보를 입력하여 3차원 중심선과 함께 전체 터널의 3D 모델을 생성하는 단계이다(Fig. 5(a)). 단면의 입력방법은 단면 수치 입력, 단면 캐드파일로부터 정보 추출, 미리 DB화된 단면 패턴을 선택하는 3 가지 방법을 적용하여 사용자의 필요에 따른 편의성을 고려하였다. 또한 Fig. 5(b)에서 보는 바와 같이 터널 단면의 기하학적 정보뿐만 아니라 설계시 결정된 지표패턴, 암반등급 등의 단면 정보를 같이 부여하고 모델상에 가시화 하도록 하여 사용자가 원하는 단면 정보를 모델상에서 간편하게 확인할 수 있도록 구현하였다.

정보 연계 시뮬레이션 모듈

지형모델 및 계획모델 생성 모듈에 의해 생성된 각 굴진면은 벡터기반의 BIM 3D 터널모델 상에 생성된다. 정보 연계 시뮬레이션 모듈은 각 굴진면의 좌표데이터에 연계하여 해당 굴진면에 관련된 다양한 데이터를 시각화 및 시뮬레이션 할 수 있도록 개발하였다. 본 연구에서는 국내 ○○현장에서 획득한 약 240개의 XML 포맷 굴진면 데이터를 이용하여 구현 기술을 검증하고자 하였다. XML 데이터를 분석하여 BIM 3D 터널모델의 굴진면(station) 위치 좌표와 XML 데이터의 위치 좌표를 일치 시킨 후 굴진면 관찰도 디지털 데이터 속성을 입력하여 3D 터널모델 상에서 굴진면 관찰도를 가시화 하였다. XML 파일 형태로 제공되는 굴진면 관찰도 데이터는 시스템에 저장되어 DB화 되며 구조적인 데이터 포맷으로 변환하기 위하여 파싱(parsing)하게 된다.

Fig. 6은 굴진면 관찰도 XML 데이터 파싱의 예와 파싱된 굴진면 관찰도 데이터를 BIM 3D 터널모델 상에 가시화하여 나타낸 것이다. 이렇게 연계된 데이터는 시뮬레이션 모듈을 통해 웹상의 뷰어에서 구현이 가능하도록 개발하였으며 사용자가 원하는 위치의 자료를 쉽게 접근하여 관찰할 수 있도록 시점이동 뷰어 기능을 반영하였다. BIM 3D 터널모델이 실제 좌표 상에서 생성되고 각 위치별 단면 데이터가 설계상의 좌표를 기반

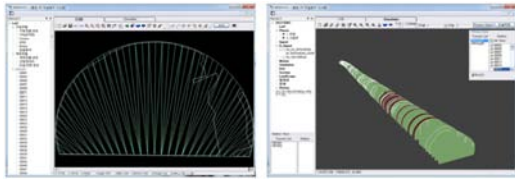


Fig. 6. (a) Tunnel face XML data parsing (b) 3D visualization of tunnel face mapping diagram.

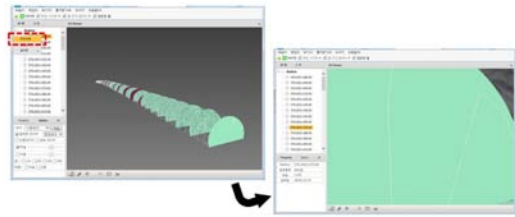


Fig. 8. Start point transfer function.

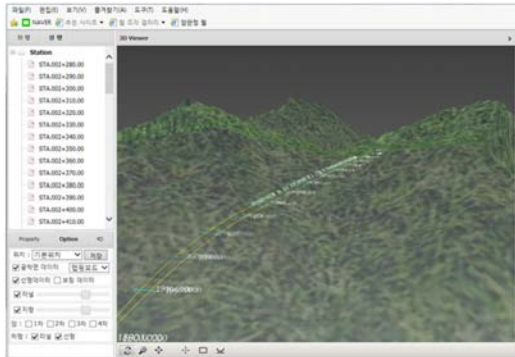


Fig. 7. Web viewer module implementation screen.

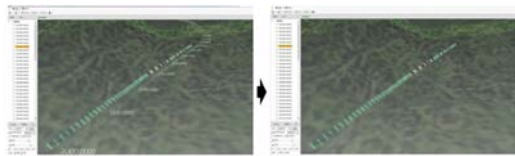


Fig. 9. Setting down/up option.

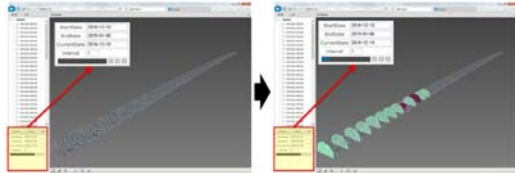


Fig. 10. Implementing 4D visualization.

으로 가시화되기 때문에 시점이동 뷰어를 이용해 원하는 위치의 굴진면 데이터를 선택해서 관찰할 수 있는 기능을 제공한다.

웹뷰어 모듈

BIM 기반 3D 터널 모델 가시화 기술은 시스템 사용 목적을 고려하여 관리자 모드와 사용자 모드로 구분하여 설계 하였다. 통합 3D 터널모델 생성 모듈은 사용자에게 필요한 정보를 제공하기 위한 모듈을 생성하고 가시화하기 위한 기능으로 시스템 관리자가 접근하여 사용하도록 개발하였다. 정보를 열람하고자 하는 사용자를 위해서는 웹뷰어를 이용하여 온라인 상에서 통합 3D 터널모델과 가시화된 정보를 확인할 수 있도록 개발하였다(Fig. 7 참조).

개발된 웹뷰어 상에서는 지형모델, 터널모델, 굴진면 관찰도 등 관리자 시스템에서 생성된 다양한 정보가 가시화 될 수 있도록 하였으며 이용자의 편의성을 고려하여 시점 이동 기능, 필요 데이터 선택적 시각화 기능을 비롯하여 시간적 개념을 고려한 4D 시각화 기능 등을 반영하였다.

- 1) 시점 이동기능 : 웹상에서 구현되는 주요 데이터 역시 각 굴진면에 대한 좌표정보를 포함하고 있다.

따라서 변형된 3D 데이터는 굴진면 데이터와 연동되어 사용자가 원하는 각 굴진면 위치로 시점을 자유롭게 이동할 수 있는 기능을 제공하며 시뮬레이션 모듈을 통해 터널 내부에서의 굴진면 관찰 가능하도록 구현하였다(Fig. 8 참조).

- 2) 필요 데이터 선택적 시각화 기능 : 웹뷰어 상에서 열람 가능한 정보는 매우 다양하며 그 수도 많다. 다수의 다양한 정보가 모두 화면상에 표출될 경우 사용자의 혼란을 야기할 수 있으며 효율적인 정보 습득이 어렵게 된다. 따라서 다양한 정보를 사용자의 목적, 편의에 따라 선택하여 시각화 할 수 있도록 시스템을 구현하였다(Fig. 9 참조). 사용자는 Option 메뉴를 통해 원하는 자료를 시각화 하여 열람할 수 있으며 각 기능에서 설정되는 주요 정보는 Table 1에 정리하여 나타내었다.
- 3) 4D 시각화 기능 : 본 연구에서는 통합 3D 터널모델과 가시화된 정보를 시간의 개념이 포함된 공정 정보와 연계하여 4D 시각화 기능을 개발하였다. 프로젝트 관리 관점에서 안전성 시점과 굴진면 굴착 시점 등의 정보를 제공하고자 하였다. 터널의 시공 시작일부터 종료일까지 전체 공정뿐만 아니

Table 1. Major function and information on option menu.

Major function and information			
Option	Location		• Reference location (Model is viewing to restored reference location in next loading and 5 viewing locations in maximum are stored by the user)
	Mode	Mapping mode	• Display of terrain model is selected by the user • Visualized to mapping mode, plane mode and triangular mode depending on user's preference and needs.
		Plane mode	
		Triangular mode	
	Excavation surface		• On/Off function of the model to visualize all excavation surfaces (monitoring of excavation surface etc) (individually on/off function at each station)
	Linear data		• On/Off function of linear (centerline) data model
	Boring data		• On/Off function of boring data model
	Tunnel		• On/Off function of tunnel model (designed) and transparency adjustment function
	Terrain		• On/Off function of terrain model and transparency adjustment function
	Layer of rock		• On/Off function of layer
Down (or up)		• On/Off function of linear data and tunnel model for the opposite direction tunnel	

라 원하는 공정 시점을 선택하여 시뮬레이션 할 수 있으며 원하는 굴착일을 선택하여 정보를 열람할 수 있도록 구현하였다(Fig. 10 참조).

결 론

본 연구에서는 터널 설계 및 시공 관련 정보를 온라인 상에서 효율적으로 제공하고자 BIM 기반 3D 터널 모델 가시화 연구를 수행하였다. 그 결과로 통합 3D 터널 모델 생성 모듈 및 웹뷰어 모듈을 개발하였다. 통합 3D 터널 모델 생성 모듈은 관리자가 정보제공을 위하여 지형모델 및 계획모델 생성과정을 거쳐 다양한 정보를 연계한 BIM 기반 통합 터널 3D 모델을 생성하도록 개발하였다. 웹뷰어 모듈은 이용자가 시간과 공간적 제한을 받지 않는 인터넷 공간에서 터널 설계 및 시공관련 자료를 열람할 수 있도록 웹기반 시스템으로 개발하였으며 이용자의 편의성, 자료제공의 효율성 등을 고려하여 시스템의 주요 기능을 구성하고 온라인 상에서 구현하였다. 또한 4D 시각화 기능을 제공하여 정보 열람시 관련 자료의 시공 프로세스가 반영된 시뮬레이션이 가능하도록 개발하였다. 국내 ○○터널의 설계 및 시공 중 굴진면 관찰도 자료를 시스템에 적용하여 시스템 구현 성능을 검증하였으며 별다른 오류의 발생 없이 모델 생성, 웹뷰잉 등의 기능이 원활하게 구현되는 것으로 확인되었다. 하지만 시스템 검증에 활용된 자료는 암판정 수행을 위해 제공되어야 할 자료의 일부에 불과하므로 향후 계측자료, 불연속면, 지하수 조건, 암판정 결과(RMR 산정 내역 등), 굴진면 이미지(또는 터널 표면 3D 모델)

등 다양한 자료의 연계를 통한 추가 검증이 필요하다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 시스템 적용이 요구되는 다양한 자료의 가시화 및 효율적 제공을 위한 추가 연구를 수행 중에 있으며 개발 시스템은 실제 현장적용을 통해 구현 기술을 검증하고 활용성을 평가하여 고도화할 예정이다.

사 사

본 연구는 국토교통과학기술진흥원 건설기술연구사업 13건설연구S03 “터널시공 중 디지털 맵핑을 통한 온라인 암판정 기술 및 운영모델 개발” 과제의 지원을 받아 수행되었으며 연구지원에 감사드립니다.

References

- Hong, S. W., Bae, G. J., Seo, Y. S., Kim, C. Y. and Kim, K. Y., 2002, The development of 3-D system for visualizing information on geotechnical site investigation, *The Journal of Engineering Geology of Korea*, 12(2), 179-188 (in Korean with English abstract).
- Kim, C. Y., Yoo, W. K., Zheng, S. M., Kim, J. H., Chun, Y. W., Park, I. J., and Seo, Y. S., 2014, A study on planning of network-based rock mass classification and decision making system, *Proceedings of the WTC 2014, Iguassu Falls, Brazil*, May, 147p.
- Kim, K. E., Song, W. K., and Shin, H. S., 1999, 3D visualization and analysis of geotechnical information, *KGS fall 1999 national conference*, Korea, Oct, 371-378 (in Korean with English abstract).
- Kim, K. Y., Kim, C. Y., Baek, S. H., Hong, S. W., and Lee, S. D., 2006a, A study on developing a high-resolution digital elevation model (DEM) of a tunnel face,

- KGS spring conference 2006, Korea, March, 931-938 (in Korean with English abstract).
- Kim, K. Y., Kim, C. Y., Yim, S. B., Yun, H. S., and Seo, Y. S., 2006b, A study on problems and improvements of face mapping during tunnel construction, The Journal of Engineering Geology of Korea, 16(3), 265-273 (in Korean with English abstract).
- Kim, S. J., Choi, Y. S., Park, H. D., and Bae, G. J., 2008, Developmnet of a new software for 3D visualization of geological data in tunneling from design to construction, Journal of the Korean Society for Geosystem Engineering, 45(1), 42-53 (in Korean with English abstract).
- Kwon, Y. J., Lee, C., Kim, J. W., Kim, K. Y., Yim, S. B., and Choi, J. W., 2010, Digital mapping and 3D visualization of tunnel face information under construction, Econ. Environ. Geol. of Korea, 43(6), 649-659 (in Korean with English abstract).
- Lee, J. Y., Jang, Y. G., and Kang, I. J., 2011, Geotechnical information application system using 3D geo-spatial information technique, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, 31(2D), 335-342 (in Korean with English abstract).
- Song, M. K., Kim, J. H., Hwang, J. D., and Kim, S. R., 2001, The development of technique for the visualization of geological information using geostatistics, KGS spring 2001 national conference, Korea, March, 501-508 (in Korean with English abstract).
- You, Y. K., Won, J. H., Song, M. Y., Lee, C. W., and Yoo, W. S., 2010, Study on the development of 3D tunnel geomodeling system, KSEG conference proceedings, Korea, Nov, 3-7 (in Korean).

유원규

한국건설기술연구원 지반연구소
10223 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283
Tel: 031-995-0877
E-mail: lyu5553@kict.re.kr

김진환

한국건설기술연구원 지반연구소
10223 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283
Tel: 031-910-0099
E-mail: goethite@kict.re.kr

정수매

한국건설기술연구원 지반연구소
10223 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283
Tel: 031-910-0793
E-mail: soomea0222@kict.re.kr

김정흠

연세대학교 토목환경공학과
03722 서울특별시 서대문구 연세로 50 연세대학교
Tel: 02-2123-2795
E-mail: vins@yonsei.ac.kr

지상복

(주)지오엔티
04165 서울특별시 마포구 마포대로 15
Tel: 02-538-8200
E-mail: geont57@gmail.com

김창용

한국건설기술연구원 기획조정본부
10223 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283
Tel: 031-910-0092
E-mail: cykim@kict.re.kr