터널건설을 위한 지질정보 데이터베이스 구축 및 가시화

Database and 3-D visualization of Geologic Information in Tunnelling

홍 성 완(Sung Wan Hong)	한국건설기술연구원 토목연구부
배 규 진(Gyu Jin Bae)	한국건설기술연구원 토목연구부
서 용 석(Yong Seok Seo)	한국건설기술연구원 토목연구부
김 창 용(Chang Yong Kim)	한국건설기술연구원 토목연구부
박 치 현(Chi Hyun Park)	한국건설기술연구원 토목연구부

1. 서론

현장 지질조사(Site Investigation)는 건설부지의 지질학적 분포특성과 지반공학적 특성을 파악하기 위하여 수행되는 필수적인 과정이다. 이러한 현장 조사를 통하여 지반/지질공학 기술자는 구조물의 설계나 시공을 수행하는데 필요한 정보를 얻게 된다. 현장 조사과정에서는 방대한 지질학적 또는 지반공학적 데이터가 수집된다. 이러한 정보들은 오랜 지질시대동안 복잡한 지질사건을 겪으면서 형성되는 지반의 특성상 일반적으로 불확실하고 불균질하며 불연속적으로 분포한다. 따라서 조사 정보를 이용하여 구조물의 설계 및 시공 중에 공학적 판단을 수행하기 위해서는 정보의 재가공 및 분석이 필요하다. 적절한 지질학적 정보의 재가공 및 분석은 지질학적 불확실성을 최소화함으로서 시공 중의 사고를 미연에 방지할 뿐만 아니라 공기 및 공사비의 절감을 가져올 수 있다.

최근 건설관리의 효율성과 시공력의 향상을 위하여 컴퓨터 기술을 이용하여 건설 과정에서 발생하는 모든 자료를 데이터베이스화함으로서 조사, 설계, 시공 및 유지관리단계에서 효율적으로 자료를 활용할 수 있는 연구들이 진행되고 있다. 또한 건설 공사 중 터널시공이 지하의 3차원적인 공간에서 이루어지고 있고, 기존의 2차원적인 도면만으로는 이해하기 어려운 복잡한 구조물의 시공이 증가하면서 3차원 그래픽 기술을 이용하여 신속하고 효율적인 정보활용 및 전달을 수행할 수 있는 연구가 진행되고 있다(Kinnicutt & Einstein, 1994; Baecher et al., 1996; Vähäaho, 1998; 김광은 외, 1999; 송명규 외, 2001)). 또한 가상현실 기법을 적용함으로서 3차원 모델 제작자의 의도보다는 이용자인 기술자의 공학적 판단결과를 컴퓨터내의 가상현실에서 경험해 볼 수 있게 하는 연구도 진행 중이다. 즉, 3차원 그래픽기술과 가상현실기술을 지반 조사 단계에서 얻어지는 모든 지반정보에 연결하여 시공 상황을 미리 시뮬레이션 해 봄으로서 시공 중 발생 가능한 위해 요인을 사전에 감지하여 대책을 수립할 수 있고, 안전한 시공을 유도할 수 있다. 또한 조사, 설계, 시공 단계에서 축적되고 해석된 모든 관련 데이터는 터널의 유지관리 단계에서 효율적으로 이용될 수 있다.

본 연구에서는 지반 조사단계에서 획득되는 다양한 정보를 GIS, 데이터베이스 기술 및 3차원 가시화 기술을 적용하여 정보화·가시화함으로서 터널의 설계 및 시공 시 지질/지반 관련 자료의 활용이 충분히 이루어지도록 새로운 시스템을 개발하였다.

2. 기존 지질조사의 문제점 및 지반정보 가시화의 목적

일반적으로 터널 건설은 좁고 긴 원통형 지역에서 이루어진다. 최근에는 교통수단의 고속화로 인하여 수 km에 달하는 장대터널이 많이 건설되고 있다. 또한 그 깊이는 도심지의 경우에는 수십 미터 정도이고, 산악터널의 경우에는 심도가 수백 미터에 달하기도 한다. 그리고 일반적으로 심도 및 길이방향의 지질변화가 다양하게 나타나며, 현장조사시 실시되는 시추의 간격은 그다지 조밀하지 못하여 도심지 지하철의 경우 수십 미터 내외이다. 또한 조사는 거의 선형을 따라서 실시되고 있다. 기존에 수행되고 있는 지질조사결과를 터널건설에 이용할 때의 문제점으로는 다음과 같은 것들이 있다.

1) 지질해석 이외의 부분에서 시간 낭비 (단면도 작성 등)
2) 공사 관계자간의 실제 지질구조에 대한 인식 불일치
3) 해석결과의 객관성 결여(해석자의 주관에 영향을 많이 받음)
4) 시추정보, 노두정보, 물리탐사결과 등과 같은 많은 데이터의 상호관계 파악이 곤란
5) 대량 데이터의 관리 및 보관이 곤란

지반정보 가시화의 목적은 다음과 같다.

1) 컴퓨터를 이용하여 지질 해석작업을 실시함으로서 위에서 언급한 지질조사의 문제점들을 개선
2) 기존 조사자료를 최대한 활용함으로서 지반공학(터널 등)분야에서의 지질해석을 효율적이고 정밀도 높게 수행
3) 지질 및 지반해석결과의 정확성 및 객관성 확보
4) 해석결과를 디지털 데이터로 관리하여 추후의 조사 및 설계 등에 이용

3. 시스템 개발환경

본 시스템은 터널분야에서 지질/지반 데이터의 관리, 해석, 가시화를 목적으로 개발되었다. 지금까지 3차원 가시화를 위한 소프트웨어는 전문적이어서 일반적인 엔지니어나 지질기술자가 조작하기에는 상당히 어려운 점이 많았다. 따라서 본 시스템을 개발함에 있어 실제 이용자인 기술자가 쉽게 접근할 수 있도록 마우스와 윈도우화면을 이용한 유저 인터페이스를 적용하여 조작하며, 많은 기능들을 대화적으로 취급함으로서 실제 작업에 있어서 CAD와

같이 전문 오퍼레이터가 아니면 조작이 어려운 것이 아니라 기술자 자신이 쉽게 자신의 의사를 구체화 시켜 나갈 수 있도록 구성되어 있다.

본 시스템은 Visual C^{++}, Open GL, Delphi 언어를 사용하여 개발되었으며, GIS 툴로는 Geomania 2D/3D와 GDK (Geomania Development Kit)를 이용하였다. 그리고 Hardware는 Pentium PC 이상에서 작동하며, OS는 Windows 98이상에서 작동하도록 구성되어 있다.

4. 시스템의 구성

4.1 시스템 개요

터널건설에 필요한 지반정보는 주로 입지환경조사, 지반조사 및 시공 중 보완조사과정에서 얻어진다. 이러한 과정에서 획득되는 데이터는 해당 부지내의 지반특성을 파악할 수 있도록 최대한 활용되어야 한다. 따라서 데이터를 D/B화하여 그 사용 및 보관의 극대화를 꾀하고, 이를 3-D 가시화함으로서 기술자로 하여금 지반특성의 파악을 최대한 효율적이고 정확하게 하도록 도와주어야 한다.

본 시스템은 지형, 시추, 지표지질, 시험데이터 등의 입력 데이터와 해석된 결과를 프로젝트별로 관리하고 있다. Figure 1은 본 시스템의 주 화면을 나타낸 것이며, 크게 4개의 부분 즉, 기능선택부분, D/B Window 부분, Digital map 부분, 3D window 부분으로 구분된다.

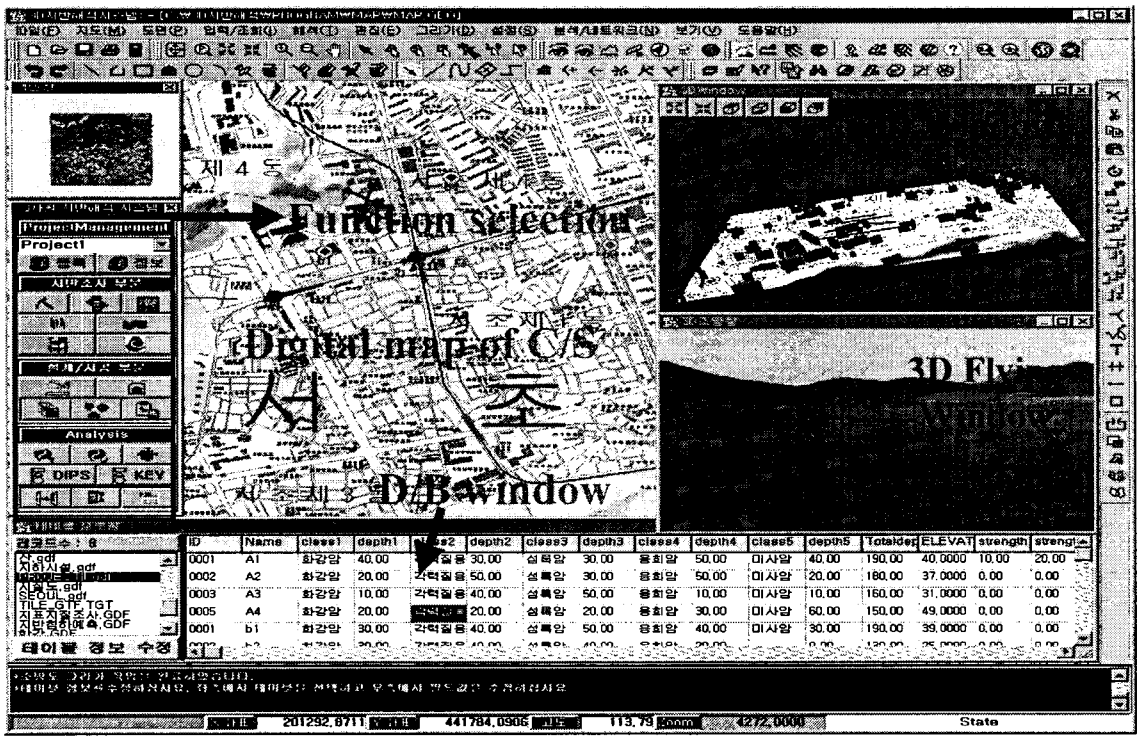

Fig. 1. Graphical user interface with 3D windows.

4.2 지형정보의 생성 및 표시

국립지리원 발행의 수치지형도에서 추출된 지형정보(X, Y좌표 및 표고)를 이용하여 지형을 3차원으로 표시할 수 있다. 이러한 3차원 지형모델은 모든 각도에서 관찰이 가능하므로 건설대상지역의 지형분석에 이용된다. 또한 비행관찰, 지상/지하 시설물 분석기능을 활용하여 터널 노선선정을 위한 지형분석을 수행할 수 있다. 지형의 3차원 표현에 있어서 표고별 구분 및 등고선 표시를 칼라로 할 수 있으며, 물성 데이터 등의 분포를 등고선으로 표시할 수도 있다. 그 외 음영처리, 고도분석, 방위표시, 경사도 분석, 표면적/체적 계산 등이 가능하여 조사시 필요한 정보를 지리정보와 일치시켜 관리할 수 있다.

4.3 시추조사

시추데이터를 GIS와 연계시켜 전산화함으로서 터널 구조물의 설계 및 계획단계에서 정밀도나 품질을 향상시킬 수 있다. 전산화에 있어서 시추데이터는 그 위치를 3차원 좌표로 표시하고, 지층분류 및 구성물질의 공학적 특성은 수치데이터로서 관리할 필요가 있다.

본 시스템에서 각 시추공은 프로젝트별로 고유번호에 의해 관리되며 3차원으로 구성하기 위하여 주 시추공과 보조 시추공으로 구분된다. 주 시추공은 터널 선형상에 존재하며, 보조 시추공은 횡방향으로 분포하는 시추공들이다. 위치정보는 좌표를 이용하여 디지털 지도상에 그 분포를 표시하고, 경사각과 굴진방향을 입력하여 경사시추공을 3D로 표시할 수 있다.

시추공 정보(Table 1)는 크게 「일반시추정보」와 「조사정보」로 나누어진다. 「일반시추정보」에는 프로젝트명, 공번호, 조사자, 발주자, 조사기간 등 일반관리에 필요한 사항이 포함되어 있으며,「조사정보」에는 코아의 판독결과, 지층구분정보, 표준관입시험, 실내시험, 현장시험 및 BHTV 기록이나 사진과 같은 화상정보 등이 있다. 본 시스템에서는 이들을 선별하여 시추주상도로 표시할 수 있다. Figure 2는 시추주상도의 도시 예를 나타낸 것이다.

Table 1. Typical data types for borehole.

Class	Data Contents
Project	ID and name, input-date, type, start and endpoint, period, description
Company	ID and name, address, president, field
General Information	ID and name, input-data, location, coordinates, elevation, groundwater level, depth, direction, angle, driller, inspector, boring and machine type, etc.
Technical Information	Sample number, method, depth, type, result of SPT, TCR/RQD, type and spacing of discontinuity, descriptions, etc.

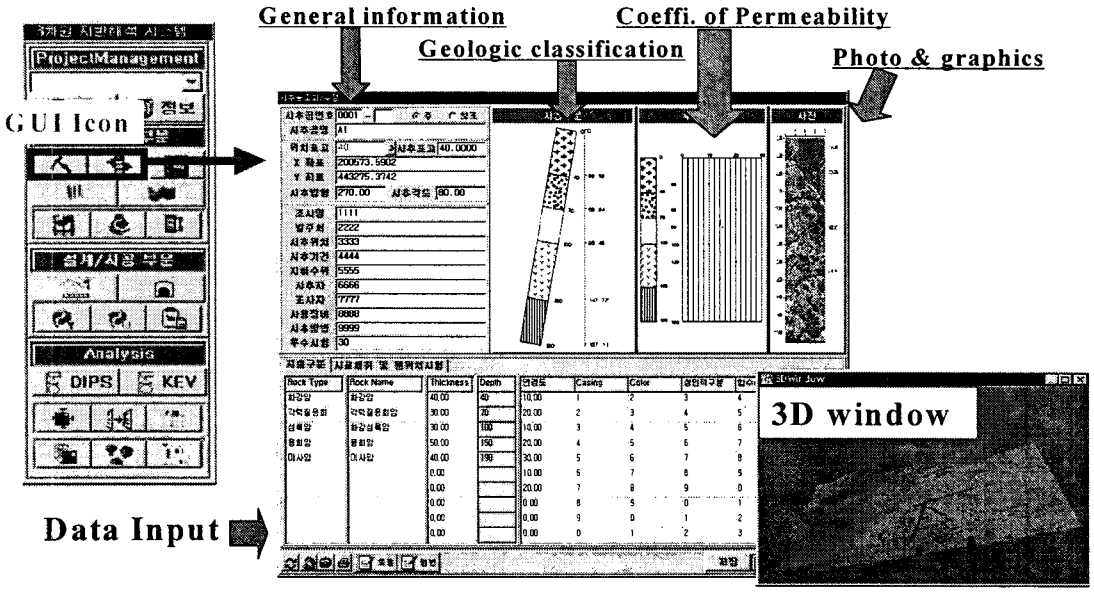

Fig. 2. Management of borehole information.

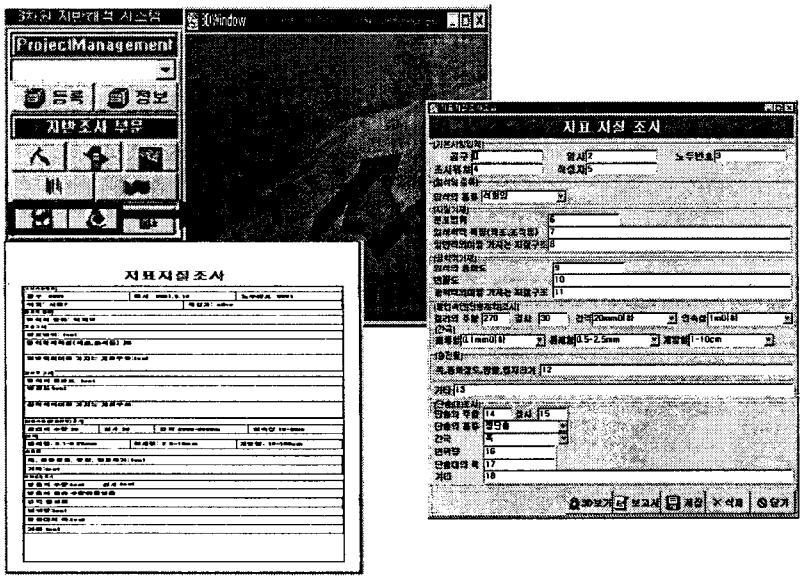

Fig. 3. Geological survey on outcrop with 3D window.

4.4 지표지질조사

지표지질조사를 통해서 얻어진 정보는 암석학적, 지질공학적 특성을 입력창에 입력함으로서 D/B화 하고, 각종 불연속면의 산출지점과 주향/경사를 이용하여 개략적인 주 불연속면의 구조를 3차원 가시화 시킬 수 있다. 이 모델은 불연속면의 분포를 추정함에 있어서 시추조사나 물리탐사의 한계를 극복할 수 있는 매우 중요한 지질정보가 된다. 입력창은 크게 위치 및 조사자 정보와 같은 「기본사항 입력부분」, 일반적인 노두조사에서 기재하는 「지질기재부분」, 암석의 「공학적 기재부분」, 「절리의 기재」 및 「단층의 기재부분」이 있다.

Figure 3은 입력창과 불연속면의 3-D 도시 예이다. 주 불연속면을 수치지도에 의하여 작성된 부지위에 3차원으로 도시함으로서 설계 및 계획단계에서 시공에 영향을 미칠 수 있는 단층이나 절리군을 사전에 검토할 수 있다. 또한 단층과 절리 등 불연속면의 종류는 칼라에 의하여 구분할 수 있도록 고려되어 있으며, 불연속면의 크기는 사용자가 결정할 수 있다.

4.5 막장조사

터널시공의 안정성을 확보하기 위해서는 막장전방의 지질상태를 파악하는 것이 무엇보다도 중요하다. 현재 내공변위나 천단변위를 계측하여 전방지질을 예측한다거나, 탄성파를 이용하여 전방 지반에 분포하는 불연속면을 추정하는 방법들이 시도되고 있다. 이 외 불연속면의 연속적 분포특성을 이용하여 기 굴착막장의 관찰결과를 분석함으로서 막장전방의 지반상태를 예측할 수 있다. 본 시스템에는 막장관찰기록을 입력창을 이용하여 데이터베이스화 하였으며, 이들 자료를 3차원 가시화함으로서 전방의 구조나 지반상태를 예측할 수 있도록 하였다. 또한 이들 데이트는 터널의 완공 후 유지관리 단계에서 유용하게 이용될 것이다. Figure 5는 막장관찰 입력창의 예를 나타낸 것이다.

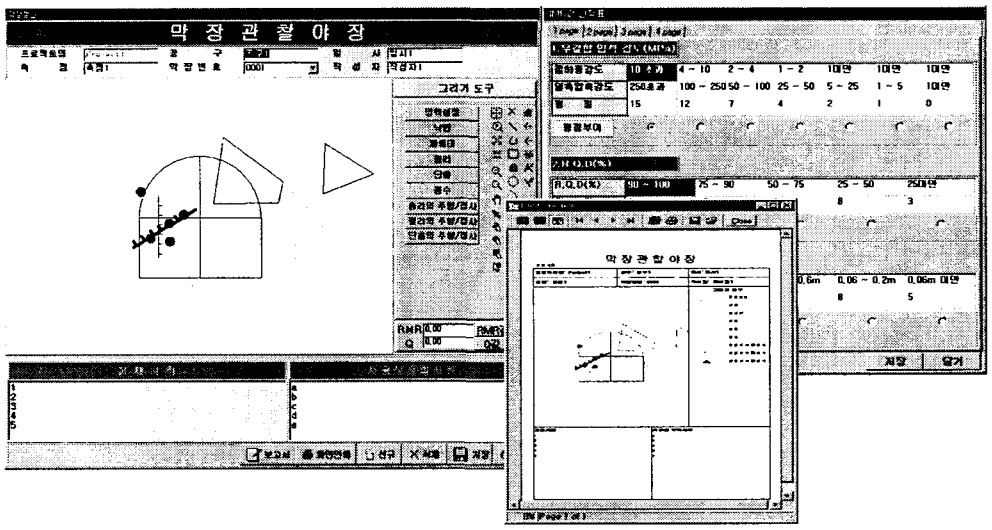

Fig. 4. Input windows of face mapping.

4.6 지질/지반 정보의 3차원 모델링

시추정보 및 지표지질조사로부터 얻은 지질분포의 정보를 이용하여 지반 3차원 모델을 작성하게 된다. 먼저 시추자료 및 지표지질 자료는 특정 지점에서 얻어진 자료이므로 각 점간에 인터폴레이션 기법을 적용하여 단면을 작성한다. 이때 convergent gridding방법과 인공지능기법을 이용한 추론방법을 선택적으로 사용할 수 있다. 어떤 방법을 이용하더라도 터널

조사의 특성상 두 시추공 간의 데이터는 극히 제한적일 수밖에 없으므로 추론된 결과를 기술자가 판단하여 손쉽게 수정할 수 있도록 구성하였다. 시추공 및 지표지질조사의 결과로부터 지질, 암등급, RQD 분포, 수리분포 등과 같은 다양한 역학정보를 기술자의 선택에 따라 단면으로 작성할 수 있다.

이러한 단면을 이용하여 횡방향으로 분포하는 보조정보를 이용하여 팬스 다이어그램을 작성하고 이들을 서로 인터폴레이션 함으로서 3차원 지반모델을 작성하게 된다. 역으로 작성된 3차원 지반모델은 회전이 자유롭고 임의의 단면으로 자를 수 있으므로 단면작성이 쉽다. 따라서 해석결과의 확인이나 지층구조에 대한 검토를 빠른 시간 내에 수행할 수 있다. 그리고 지금까지 2차원 단면으로 3차원적인 지층분포를 추론하던 종래의 방법과는 달리 전문 기술자가 아니더라도 쉽게 3차원적인 지층분포를 이해할 수 있으며, 공사 관계자간의 공통인식을 도출할 수 있다. Figure 5는 서울지하철 5-00공구의 보고서 자료를 바탕으로 작성된 3차원 지반모델의 예이다.

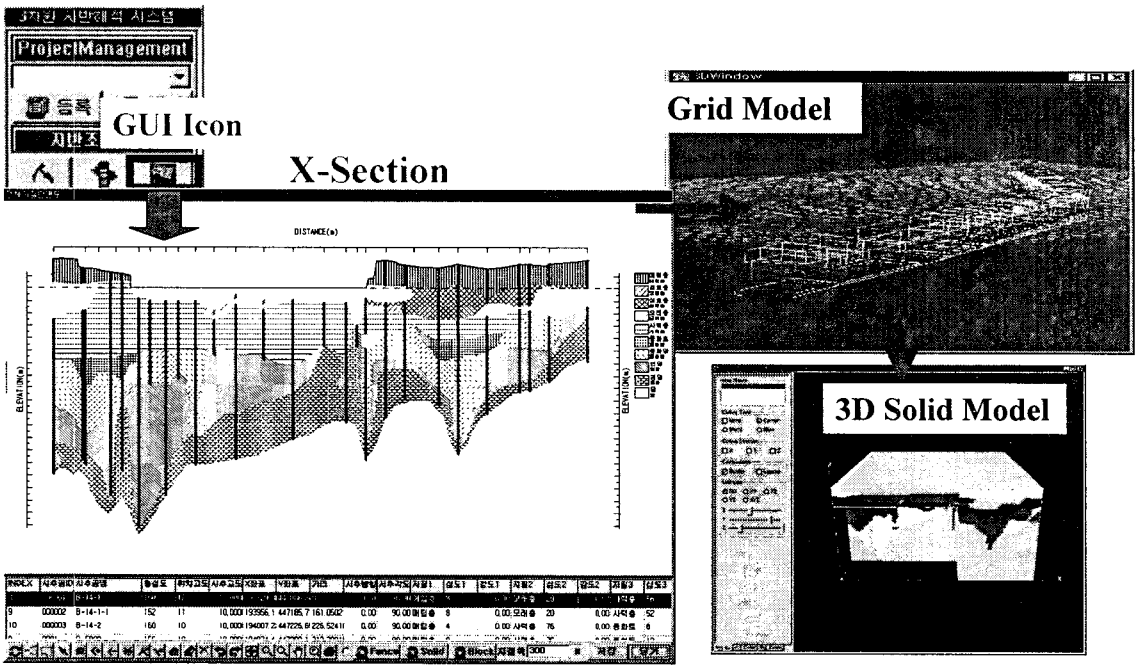

Fig. 5. Creation of cross-section and 3-D solid model.

5. 결론

본 연구에서는 GIS 기술, 데이터베이스 기술을 터널 조사분야에 적용하여 지반조사 자료의 D/B화 및 3차원가시화를 시도하였다. 앞으로 본 시스템을 다양한 현장에 적용해 봄으로서 현장 활용성을 높여 나갈 예정이며, 국내의 많은 터널의 자료를 데이터베이스화 할 계획이다. 또한 본 시스템과 더불어 터널 시공에 따른 안정성 해석을 수행할 수 있는 모듈도 함

께 개발되고 있음을 밝히는 바이다.

6. 참고문헌

김광은 외, 1999, 지반정보 3차원 영상화 및 해석기술 개발, 한국지반공학회 '99 가을학술발표회 논문집, 371-378.

송명규 외, 2001, 지구통계학을 활용한 지반정보 가시화 기법 개발, 한국지반공학회 '2001 봄 학술발표회 논문집, 501-508.

Baecher, G. B., J. A. Zarge and J. Shapiro, 1996, SiteView: Practical geoenvironmental visualization, Transportation Research Record 1526, 170-176.

Kinnicutt, P. G. and H. H. Einstein, 1994, Extended visualization and geostatistical functionality in Nomad, a 3-d subsurface modeler, Computer Methods and Advances in Geomechanics, 459-464, eds. Siriwardane & Zaman, Balkema.

Vähäaho, I., 1998, From geotechnical maps to three-dimensional models, Tunnelling and Underground Space Technology, 13 (1), 51-56.