

지반조사 정보의 3차원 가시화 시스템 개발

The Development of 3-D System for Visualizing Information on Geotechnical Site Investigation

홍 성 완(Hong, Sung Wan)	한국건설기술연구원 토목연구부
배 규 진(Bae, Gyu Jin)	한국건설기술연구원 토목연구부
서 용 석(Seo, Yong Seok)	한국건설기술연구원 토목연구부
김 창 용(Kim, Chang Yong)	한국건설기술연구원 토목연구부
김 광 엽(Kim, Kwang Wwom)	한국건설기술연구원 토목연구부

요약 / ABSTRACT

최근 컴퓨터 성능 및 컴퓨터 가시화 기술의 발달에 힘입어 지반공학 분야의 지반조사결과를 가시화할 수 있는 소프트웨어들이 출시되고 있다. 지반조사의 중요한 목적 중 하나는 건설대상 부지 내에 분포하는 건설에 불리하게 작용하는 불확실성을 예측하고 파악하는 것이다. 이들 불확실성은 시공의 안정성을 떨어뜨릴 뿐만 아니라 공기를 지연시키고 공사비를 증가시킨다. 3차원 가시화 기법은 이러한 지반의 불확실성을 극복할 수 있는 좋은 도구중 하나이다. 본 논문에서는 터널설계 및 시공분야에 3차원 가시화 기술, GIS 기술, 데이터베이스 기술을 적용하기 위하여 새롭게 개발된 시스템을 소개한다. 가상현실과 3차원 가시화 기술은 지반구조 및 특성을 3차원 모델화 하는데 사용되었으며, 데이터베이스 기술과 GIS 기술을 접목하여 지반조사와 터널시공 중에 획득되는 지반정보를 데이터베이스화 하였다. 본 시스템을 이용함으로써 토목 엔지니어는 설계단계에서 계획을 세울 때 지반조사 정보를 유용하게 이용할 수 있고, 시공단계에서 공사의 안정성 및 경제성을 극대화시킬 수 있을 것이다.

주요어 : 터널, 3차원 가시화, 지반정보, 데이터베이스

With improving computer performance and advancing simulation techniques, a growing number of softwares are being developed for visualization of investigation results in geotechnical problems. It is a very important subject for geological site investigation to understand or predict if there would

be any hazardous geological condition that might cause any increase of construction costs or an extension of construction period. A 3-D (three-dimensional) visualization technique may be one of the powerful tools to overcome an uncertainty problem of geological site investigation. The paper describes an overview of a newly developed geotechnical 3-D interpretation system for the purpose of applying the 3-D visualization technique, GIS (geographic information system) and D/B (database) to tunnel design and construction. VR (virtual reality) and 3-D visualization techniques are applied in order to develop the 3-D model of characteristics and structures of rock mass. D/B system for all the materials related to site investigation and tunnel construction is developed using GIS technique. This system is very useful for civil engineers to make a plan of tunnel construction at the design stage and also during construction with the advantage of improving the economy and safety of tunnels.

Key Words: tunnel, 3-D visualization, geotechnical information, database

1. 서 론

일반적으로 터널 건설지역의 지반은 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. 따라서 기존에 수행되고 있는 지질조사결과를 터널건설에 이용할 때 발생하는 문제점으로는 첫째, 수작업으로 이루어지는 많은 종류의 단면도 작성 등과 같은 지질해석 이외의 부분에서 시간 낭비가 심하다는 점과, 둘째, 3차원적인 지질분포를 2차원 단면을 이용하여 이해하기는 어려우므로 각 공사 관계자간의 실제 지질구조에 대한 인식의 불일치를 초래한다는 점, 셋째, 시추정보, 노두정보, 물리탐사결과 등과 같은 많은 데이터의 상호관계 파악이 곤란하다는 점, 넷째, 조사시 발생하는 대량 데이터의 관리 및 보관이 곤란하다는 점을 들 수 있다.

최근 건설관리 효율성과 시공기술의 향상을 위하여 컴퓨터 기술을 이용하여 건설 과정에서 발생하는 모든 자료를 데이터베이스화함으로써 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 시

공이 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 등, 1999; 송명규 등, 2001). 또한 가상현실 기법을 적용함으로써 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·가시화함으로써 터널의 설계 및 시공 시 지질/지반 관련 자료의 활용이 충분히 이루어지도록 새로운 시스템을 개발하였다. 본 시스템을 적용하여 기존 조사 자료를 최대한 활용함으로써, 지반공학(터널 등)분야에서의 지질해석을 효율적이고 정밀도 높게 수행할 수 있고, 지질 및 지반해석결과와 정확성 및 객관성을 확보할 수 있으며, 해석결과를 디지털

지반조사 정보의 3차원 가시화 시스템 개발

데이터로 관리하여 추후의 조사 및 설계 등에 이
용할 수 있을 것으로 기대된다.

window 부분으로 구분된다.

2.1 시스템 개발환경

본 시스템은 터널분야에서 지질/지반 데이터의
관리, 해석, 가시화를 목적으로 개발되었다. 지금
까지 3차원 가시화를 위한 소프트웨어는 전문적
이어서 일반적인 엔지니어나 지질기술자가 조작
하기에는 상당히 어려운 점이 많았다. 따라서 본
시스템을 개발함에 있어 실제 이용자인 기술자가
쉽게 접근할 수 있도록 마우스와 윈도우화면을
이용한 유저 인터페이스를 적용하여 조작하며, 많
은 기능들을 문답형으로 이용함으로써 실제 작업
에 있어서 CAD와 같이 전문 오퍼레이터가 아니
면 조작이 어려운 것이 아니라 기술자 자신이 쉽
게 자신의 의사를 구체화 시켜 나갈 수 있도록 구
성되어 있다.

본 시스템은 Visual C++, Open GL, Delphi 언어
를 사용하여 개발되었으며, GIS 툴로는 Geomania
2-D/3-D와 GDK (Geomania Development Kit)를

2. 지반 3차원 가시화 시스템

터널건설에 필요한 지반정보는 주로 입지환경
조사, 지반조사 및 시공 중 보완조사과정에서 얻
어진다. 이러한 과정에서 획득되는 데이터는 해당
부지내의 지반특성을 파악할 수 있도록 최대한
활용되어야 한다. 따라서 본 시스템에서는 데이터
를 D/B화하여 그 사용 및 보관의 극대화를 꾀하
였고, 이를 3-D 가시화함으로써 기술자로 하여금
지반특성의 파악을 최대한 효율적이고 정확하게
하도록 도와준다.

본 시스템은 지형, 시추, 지표지질, 시험데이터
등의 입력 데이터와 해석된 결과를 프로젝트별로
관리하고 있다. Fig. 1은 본 시스템의 주 화면을
나타낸 것이며, 크게 4개의 부분 즉, 기능선택부
분, D/B Window 부분, Digital map 부분, 3-D

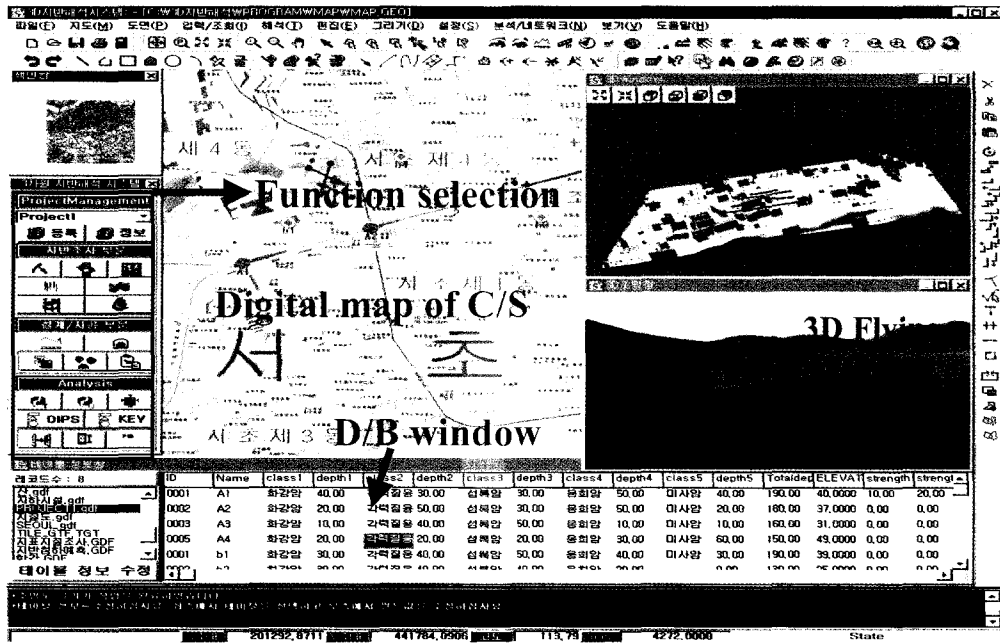


Fig. 1. Graphical user interface with 3-D windows.

이용하였다. 그리고 Hardware는 Pentium PC 이상에서 작동하며, OS는 Windows 98이상에서 작동하도록 구성되어 있다.

2.2 시스템의 레이어 구성

본 시스템의 D/B구성을 위한 전산학적 구조를 살펴보면 먼저 조사 및 측정된 데이터는 수치지도의 기본정보를 이용하여 각 레이어별로 기록·저장된다. 각각의 데이터는 위치정보와 D/B에 연계정보를 갖고 심플, 선, 폴리곤, 텍스트 등 공간객체로 저장된다. 또한 기본 수치지도에는 프로젝트별로 레이어가 생성되며, 레이어에 생성된 객체는 데이터베이스의 레코드를 생성한다. 이와 같이 생성된 객체와 데이터를 이용하여 3-D가시화 모델이나 새로운 지도의 생성을 수행할 수 있다.

본 시스템에서는 모든 데이터의 좌표를 일치시키기 위한 기본 지도 데이터로서 국립지리원 발행의 수치지도를 이용하여 최하위의 레이어를 구성하였고, 그 위에 3차원 가시화를 위한 데이터가 중첩되며, 최상위에 각종 조사자료, 분석자료, 평가자료가 위치한다(Fig. 2).

3. 시스템의 주요 기능

3.1 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.

3.2 시추조사

시추데이터를 GIS와 연계시켜 전산화함으로써 터널 구조물의 설계 및 계획단계에서 정밀도나 품질을 향상시킬 수 있다. 전산화에 있어서 시추 데이터는 그 위치를 3차원 좌표로 표시하고, 지층

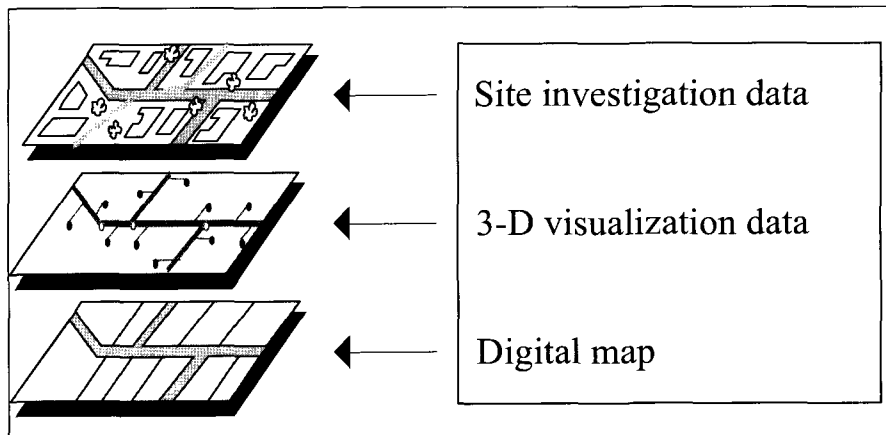


Fig. 2. Composition of data layer for 3-D visualization.

지반조사 정보의 3차원 가시화 시스템 개발

분류 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 3-D로 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 (borehole televiewer) 기록이나 사진과 같은 확장정보 등이 있다. 본 시스템에서는 이들을 선별하여 시추주상도로 표시할 수 있다. Fig. 3은 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.

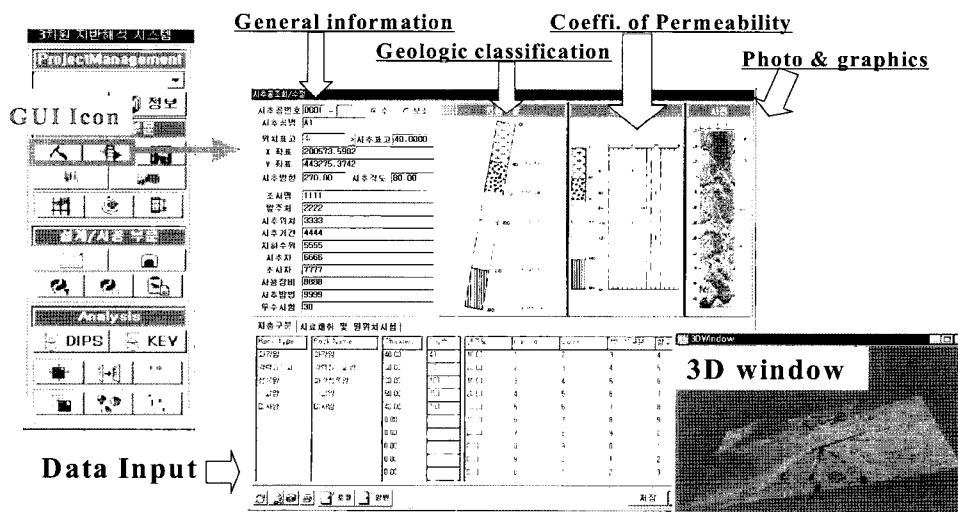


Fig. 3. Management of borehole information.

3.3 지표지질조사

지표지질조사를 통해서 얻어진 정보는 암석학적, 지질공학적 특성을 입력창에 입력함으로써 D/B 형태로 축적되며, 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.

Fig. 4는 입력창과 불연속면의 3-D 도시 예이다. 주 불연속면을 수치지도에 의하여 작성된 부지위에 3차원으로 도시함으로써 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.

3.4 막장지질조사

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

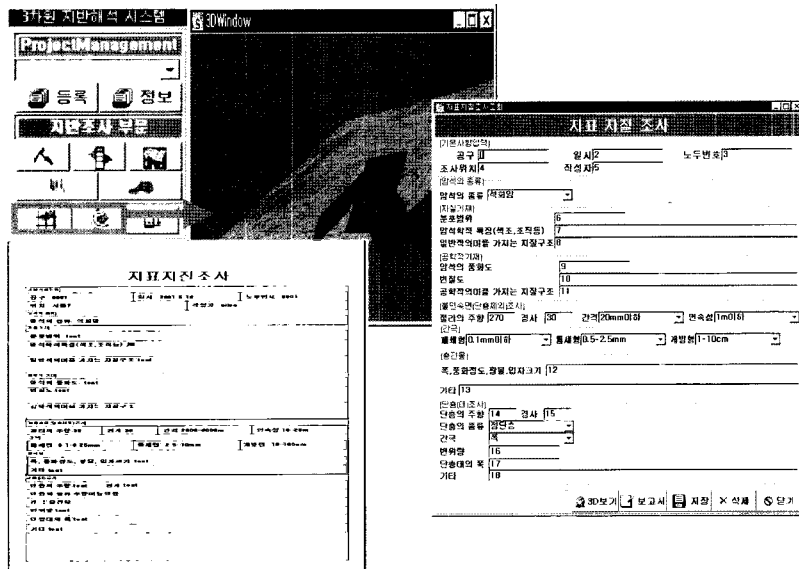


Fig. 4. Geological survey on outcrop with 3-D window.

지반조사 정보의 3차원 가시화 시스템 개발

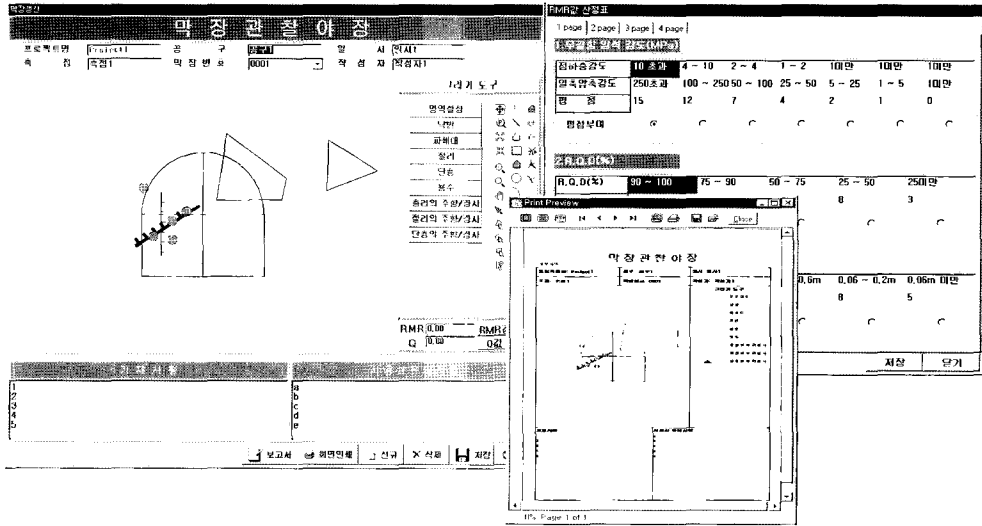


Fig. 5. Input windows of face mapping.

3.5 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 내삽(interpolation) 기법을 적용하여 단면을 작성한다. 이때 격자변환(convergent gridding) 방법과 인공지능기법을 이용한 추론방법을 선택적으로 사용할 수 있다. 어떤 방법을 이용하더라도 터널조사의 특성상 두 시추공 간의 데이터는 극히 제한적일 수밖에 없으므로 추론된 결과를 기술자가 판단하여 손쉽게 수정할 수 있도록 구성하였다. 시추공 및 지표지질조사의 결과로부터 지질, 암반등급, RQD 분포, 수리분포 등과 같은 다양한 공학적 정보를 기술자의 선택에 따라 단면으로 작성할 수 있다.

이러한 단면을 이용하여 횡방향으로 분포하는 보조정보를 이용하여 펜스 다이어그램(fence diagram)을 작성하고 이들을 서로 인터플레이션 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 지

금까지 2차원 단면으로 3차원적인 지층분포를 추론하던 종래의 방법과는 달리 전문 기술자가 아니라도 쉽게 3차원적인 지층분포를 이해할 수 있으며, 공사 관계자간의 공통인식을 도출할 수 있다. Fig. 6은 서울지하철 5-00공구의 보고서 자료를 바탕으로 작성된 3차원 지반모델의 예이다.

4. 결론 및 향후 연구계획

본 시스템은 3-D 그래픽 기술, GIS 기술 및 D/B 기술을 이용하여 지반의 다양한 정보를 일반 기술자들에게 손쉽게 제공해 줄 수 있도록 국내기술로 개발한 3차원 가시화 시스템이다. 일반적인 윈도우 환경의 개인용 컴퓨터에서 작동하기 때문에 현장에서도 손쉽게 사용할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 복수의 공간객체를 동시에 볼 수 있기 때문에 사용자는 지질분포뿐만 아니라 RQD 분포, 암질 분포, 지하수 분포 등을 동시에 비교 분석할 수 있다. 이러한 기능은 건설대상 지역의 지질 및 지반특성을 파악하는데 대단히 중요한 것이다. 그리고 터널 건설의 특성상 파악하지 못한 지반의 특성을 굴착과 동시에 얻어지는 각종 지반관련 정보를 D/B화함으로써 막장전방의 지반특성을 예측하는데도 일조할 것으로 기대된다.

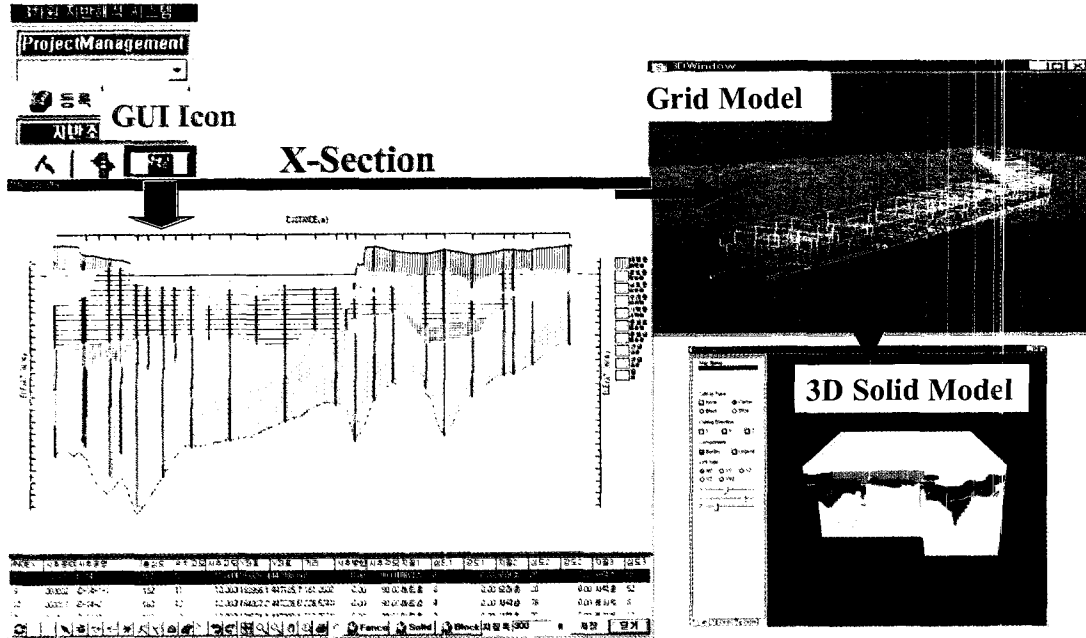


Fig. 6. Creation of cross-section and 3-D solid model.

하드웨어의 가격이 하락하고 다양한 소프트웨어의 공급이 이루어지면서 지난 수년간 지반분야에서 컴퓨터 가시화 기술을 적용한 사례는 급속히 증가해 왔다. 이러한 가시화 및 D/B기술의 사용자들은 비싸게 얻어진 현장조사 결과를 유용하게 사용하려고 많은 노력을 왔다. 하지만 많은 외국의 소프트웨어는 여전히 비용이 많이 들고, 또한 다양한 지반분야로의 응용이 쉽지 않은 것이 사실이다. 앞으로 본 시스템을 다양한 현장에 적용해 봄으로서 시스템의 안정화를 도모하고, 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 함께 개발되고 있음을 밝히는 바이다.

감사의 글

본 연구는 1999년도 과학기술부 지정 국가지정 연구실 사업의 연구비에 의하여 이루어진 연구결

과로서 관계자 여러분께 깊은 감사의 뜻을 전합니다.

참고문헌

- 김광은, 송원경, 신희순, 1999, 지반정보 3차원 영상화 및 해석기술 개발, 한국지반공학회 '99 가을학술발표회 논문집, 371-378.
- 송명규, 김진하, 황제돈, 김승렬, 2001, 지구통계학을 활용한 지반정보 가시화 기법 개발, 한국지반공학회 '2001 봄학술발표회 논문집, 501-508.
- Baecher, G. B., J. A. Zarge and J. Shapiro, 1996, SiteView: Practical geoenvironmental visualization, Transportation Research Record 1526, 170-176.
- Kinnicut, 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.
- Vahdani, I., 1998, From geotechnical maps to
three-dimensional models, Tunnelling and
Underground Space Technology, 13 (1),
51-56.
-

홍성완(Hong, Sung Wan)
한국건설기술연구원 토목연구부
411-712, 경기도 고양시 일산구 대화동 2311번지
Tel: 031-9100-485
e-mail: swhong@kict.re.kr

배규진(Bae, Gyu Jin)
한국건설기술연구원 토목연구부
411-712, 경기도 고양시 일산구 대화동 2311번지
Tel: 031-9100-162
e-mail: gjbae@kict.re.kr

서용석(Seo, Yong Seok)
한국건설기술연구원 토목연구부
411-712, 경기도 고양시 일산구 대화동 2311번지
Tel: 031-9100-225
e-mail: ysseo@kict.re.kr

김창용(Kim, Chang Yong)
한국건설기술연구원 토목연구부
411-712, 경기도 고양시 일산구 대화동 2311번지
Tel: 031-9100-0224
e-mail: cykim@kict.re.kr

김광엽(Kim, Kwang Yeom)
한국건설기술연구원 토목연구부
411-712, 경기도 고양시 일산구 대화동 2311번지
Tel: 031-9100-225
e-mail: kimky@kict.re.kr