

3차원 가시화 기법을 이용한 터널설계 3D Visualization Technique Based Tunnel Design

홍성완¹⁾, Sung-Wan Hong, 배규진²⁾, Gyu-Jin Bae, 김창용³⁾, Chang-Yong Kim, 서용석³⁾, Yong-Seok Seo, 김광염⁴⁾, Kwang-Yeom Kim

¹⁾ 한국건설기술연구원 토목연구부 연구위원, Senior Research Fellow, Civil Engineering Div., KICT

²⁾ 한국건설기술연구원 토목연구부 연구부장, Director, Civil Engineering Div., KICT

³⁾ 한국건설기술연구원 토목연구부 선임연구원, Senior Researcher, Civil Engineering Div., KICT

⁴⁾ 한국건설기술연구원 토목연구부 연구원, Researcher, Civil Engineering Div., KICT

SYNOPSIS : In the paper the authors describe the development of ITIS(Intelligent Tunneling Information System) for the purpose of applying the 3D visualization technique, GIS, AI(Artificial Intelligence) to tunnel design and construction. VR(Virtual Reality) and 3D visualization techniques are applied in order to develop the 3D model of characteristics and structures of ground and rock mass. Database for all the materials related to site investigation and tunnel construction is developed using GIS technique. AI technique such as fuzzy theory and neural network is applied to predict ground settlement, decide tunnel support method and estimate ground and rock mass properties according to tunnel excavation steps. ITIS can help to inform various necessary tunnel information to engineers quickly and manage tunnel using acquired information based on D/B.

Key words : ITIS, GIS, artificial intelligence, virtual reality, neural network, tunnel design, site investigation

1 서 론

지금까지는 엔지니어의 경험(Experience)과 직관(Intuition)이 터널 설계 요소의 주요 결정 근거가 되고 있고, 현장 시공의 중요한 가이드 역할을 하고 있다. 따라서 지반특성의 불확실성 및 불균질성, 불연속성과 시공 중 예측이 어려운 지질구조, 지하수 상태 및 초기 응력상태(In situ stress state) 등을 보다 합리적으로 예측·가시화 하여 설계 및 시공에 가이드를 제시할 필요성이 있다. 또한, 시공 중 문제가 발생하였던 과거의 축적된 터널 설계/시공자료들이 매우 중요한 참고 자료로서 활용되기 때문에 현장에서 수집된 터널 주변 지반/암반의 현상정보 등을 미래의 터널건설에 접목시킬 수 있는 방법론 개발이 필요하다.

본 연구에서는 건설관리의 효율성과 시공력의 향상을 위하여 컴퓨터 기술을 이용한 전산화를 통하여 조사, 설계, 시공, 그리고 유지관리 단계에서의 자동화 및 이들 정보의 네트워크화를 목적으로 하는 터널 정보화에 대한 연구를 수행하였다. 지식기반 전문가시스템(Knowledge-Based Expert System)이나 인공지능회로망(Neural Network), 퍼지이론(Fuzzy Theory) 및 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)과 같은 인공지능기법(Artificial Intelligence Techniques)을 적용하여 지반 및 암반의 불확실성과 불균질성,

구조적 복잡성 등에 의한 문제에 대하여 보다 합리적으로 접근 할 수 있도록 하였다. 또한 D/B 구축을 통하여 지속적으로 축적된 정보를 학습에 이용함으로써 이러한 인공지능기법(AI)을 보다 효율적으로 적용할 수 있도록 하였다. 이러한 공학적인 판단에 사용되는 인공지능기법과 함께 복잡한 지반상태 및 구조물의 3차원 가시화 및 가상현실 기법을 이용하여 시공중 발생 가능한 문제점들을 쉽게 파악하여 안전한 시공을 위한 도구로서의 기능을 수행하도록 하였다.

2 터널 정보화 및 가시화

2.1 터널 지반 정보화의 필요성

터널은 기하학적 특성상 3차원적인 역학적 거동을 함으로서 기존의 2차원적 해석방식을 이용한 터널 설계방식으로 환기구, 피난갱, 인입갱, 횡갱 등 3차원적인 구조물과의 상호 간섭효과를 파악하는 것은 매우 어렵다고 볼 수 있다. 따라서 3차원적인 역학적 거동해석이 이루어지게 되며, 어려운 3차원 역학적 거동해석을 수행한 후에도 현 수준의 3차원 결과자료의 가시화 기법으로는 산출되는 복잡한 3차원 거동 결과치를 설계에 적용하는 데에 상당한 어려움이 발생하게 된다. 또한 중평면도 등과 같이 2차원적으로 표현된 지반조건관련 자료를 이용하여 터널 설계를 수행하는 것은 한계가 있다.

시공 중 현장에서 관찰되는 터널 막장관찰 기록과 계측결과를 정보화 할 수 있는 시스템을 구축함으로써 지반/암반 정보의 활용 및 해석을 극대화 할 수 있다. 터널 및 주변 지반의 붕괴 조짐은 다양한 형태로 표현되며, 이를 조기에 감지할 수 있는 방법 중에 하나가 과거의 축적된 현장 정보와 사례를 D/B화 하고, 이 D/B에 전문가의 경험과 지식을 접목시켜 미래에 발생 가능한 상황을 예측할 수 있는 신경 회로망(Neural Network)과 Fuzzy이론 및 전문가시스템(Expert System) 등을 이용하는 것이다.

2.2 터널 정보화 사례

최근 들어 해외에서는 터널 시공 및 계측분야의 전산 시스템화와 정보 네트워크화로 실질적인 현장 관리에 대한 적용에 주력하고 있다. 그 예로서 일본 토비시마 건설에서 개발한 터널 계측관리 시스템(MAST)은 터널현장의 계측관리에 필요한 평가, 해석, 분석기법과 이러한 것들을 실시할 때 활용되는 툴(전산기 및 전산 프로그램 등)로 이루어져 있다. 일본 카지마 건설에서는 산악터널구축에 있어서 대표적인 공법인 NATM 공법이 최근 도시부의 지하터널공사 시공사례가 증가하는 추세에 대응하기 위하여 「도시 NATM 시공 관리지원시스템」을 구축하였다(그림 1). 이 시스템은 삼차원 표시 시스템, 터널 계측관리 시스템 등 도시 NATM용으로 개발된 정보화시공 툴과 각종 해석툴을 사내 네트워크로 구성하여 도시 NATM에서 요구되는 지반거동에 따른 신속하고 정확한 대응을 가능하게 한다.

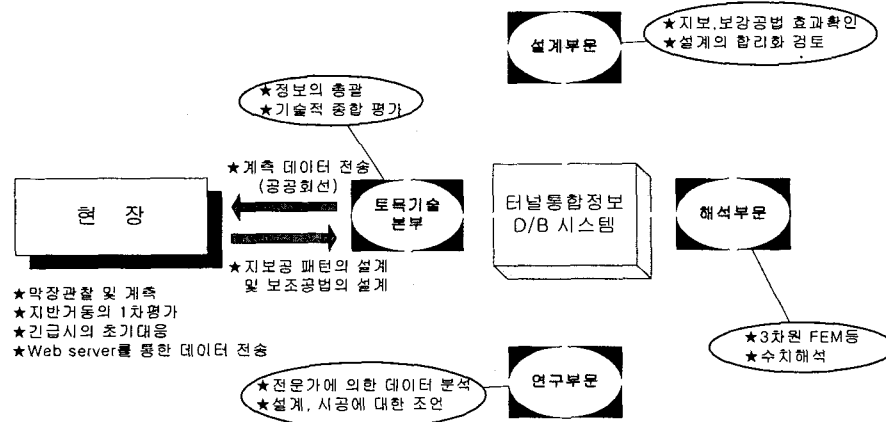


그림 1. 도시 NATM 시공 관리지원 시스템 구성도

3 ITIS

ITIS는 최근 급속히 발전하고 있는 컴퓨터 하드웨어와 3차원 영상화 및 가시화 기법을 이용하여 지반의 역학적 특성 및 그 구조를 3차원 모델화하고, 인공 신경망과 퍼지이론 등의 인공지능기법을 적용하여 지반침하예측 및 보강공법선정, 지반물성 추정 등을 실시할 수 있는 시스템이다. 본 시스템의 주요 개발목적은 터널 조사 및 계획단계에서 얻어진 정보를 바탕으로 설계단계에서 각종 기술적인 문제의 예측 및 조치를 실시하고, 터널 시공과정에서 획득한 각종 정보를 활용하여 다음 시공과정에서의 기술적인 문제를 예측할 수 있고, 각 터널 현장별 조사·설계·시공 자료들을 축적, 보관, 관리 함으로서 향후 유지관리 단계에서의 효율적인 정보 활용이 가능토록 하는 것이다.

ITIS의 주요 구성을 살펴보면 가상현실, GIS, 인공지능기술을 적용하여 총 10개의 기능별 모듈로 구성되어 있다.

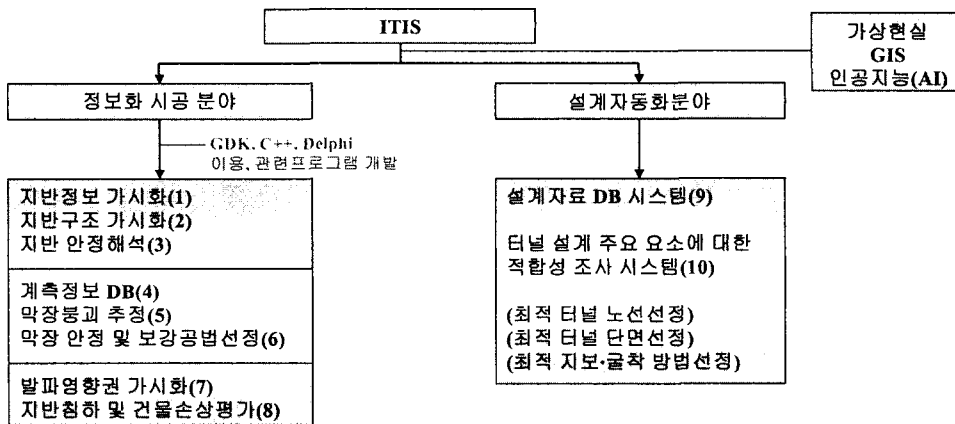


그림 2. ITIS의 주요 구성도

3.1 ITIS의 개요

3차원 그래픽 기능과 기본적인 3차원 데이터 생성 및 분석기능과 데스크탑 수준의 데이터베이스 관리 기능, 그래픽 구현기능에 시각적인 가상현실 기술을 접목하여 지반의 상태와 지하구조물을 3차원 공간 상에 표현함으로써 이용자로 하여금 실제의 현장상황과 거의 동일한 환경에서 작업하는 느낌이 들 수 있도록 하는 시스템을 구현하였다. 또한 GDK(GEOMania Development Kit)를 활용하여 데이터 베이스와 3차원 가시화 데이터를 연결하여 다양한 각도에서의 D/B분석이 가능하도록 하였다.

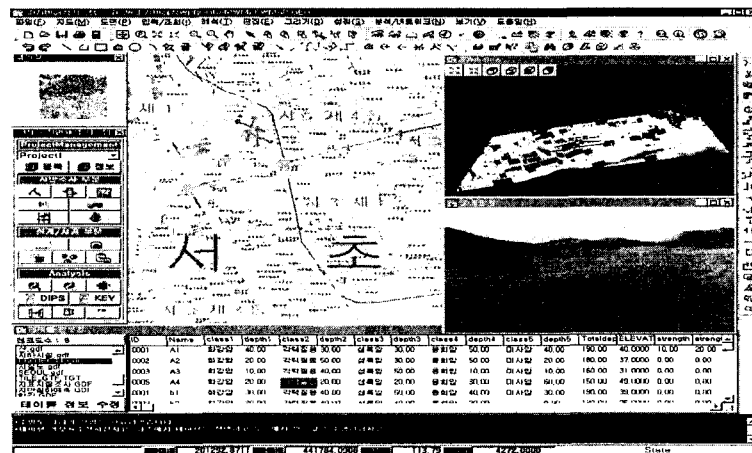


그림 3. ITIS의 그래픽 유저 인터페이스 화면

3.2 ITIS의 대표적 구성모듈

3.2.1 지반정보 가시화 모듈

본 모듈은 터널의 입지환경조사, 설계를 위한 지반조사 및 시공중 보완조사과정에서 얻어지는 방대한 지반자료를 D/B화하여 자료사용 및 보관의 효율화를 꾀하고, 이들 데이터로부터 지질 및 지반특성을 3차원으로 모델링하여 가시화 할 수 있는 모듈이다.

본 시스템은 각종 조사와 시추를 통해 얻어진 데이터의 입력 및 해석결과를 프로젝트단위로 관리할 수 있으며, 이들로부터 지질 및 지반의 역학적 분포를 3차원 모델링화 하고, 2D 및 3D의 다양한 분석화면을 통하여 기존의 지상 및 지하구조물들과 함께 비교·검토할 수 있다.

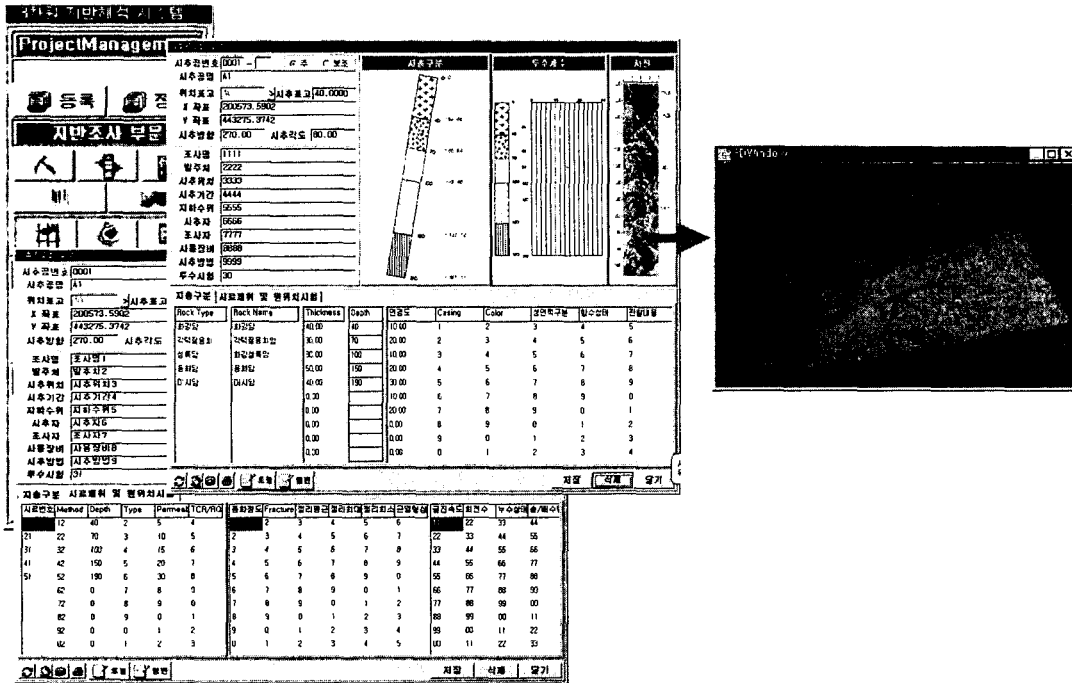


그림 4. 시추공 관련 입력 및 출력 창

3.2.2 설계자료 D/B 시스템

현재 국내의 각 설계회사에서 이용되고 있는 지보패턴 설계의 기본은 암반분류등급을 이용하고 있으며, 이러한 분류기준의 설정에는 RMR 값과 Q값이 주로 이용되고 있다. 본 모듈에서는 터널 구간별 암반 분류요소를 사용자가 입력함으로써 RMR 값과 Q값이 산정되며, 계산된 암반분류기준을 이용하여 미리 계획된 터널 선형에 일치시키고, 각 암반분류등급에 해당되는 표준 지보패턴을 구간별로 선정하여 설계 단면을 생성하게 된다. 본 모듈은 향후에 수치해석적 방법, 지구통계학적 방법 등을 적용하여 보다 현실적으로 여러 암반 요소들이 고려된 터널 설계가 가능하도록 구성되어질 것이며, D/B에 미리 저장된 기본 설계패턴 외에 추가적으로 변형된 설계패턴을 가능케 함으로서 현장 적용성을 향상시킬 것이다. 그림 4는 암반분류를 위한 입력창과 표준지보패턴선정의 예를 보여주고 있다.

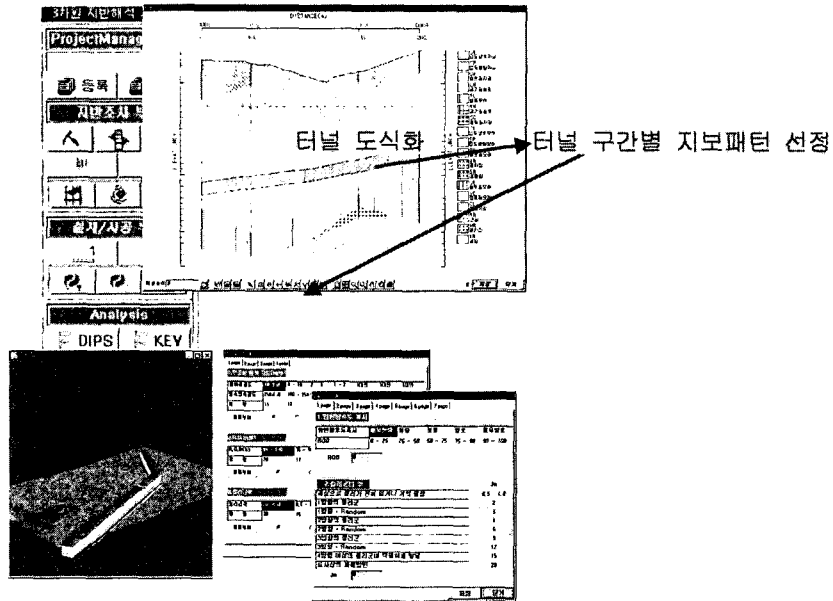


그림 5. 터널 구간별 암질 및 지보패턴 선정을 위한 창

3.2.3 불연속면을 고려한 지반안정해석 모듈

터널 안정성에 가장 큰 영향을 미치는 불연속면에 대하여 평사투영법을 근간으로 컴퓨터에서 다수의 불연속면을 통계학적으로 처리하여 주 불연속면군을 구할 수 있는 프로그램인 GeoDips와 Key block 이론을 근간으로 하여 그 계산을 컴퓨터 상에서 수행하여 3차원적으로 터널 주변 암반에서의 불연속면을 가시화하고 안정성 분석을 수행할 수 있는 KAROM(Key block Analysis for Rock Mass)을 개발하였다.

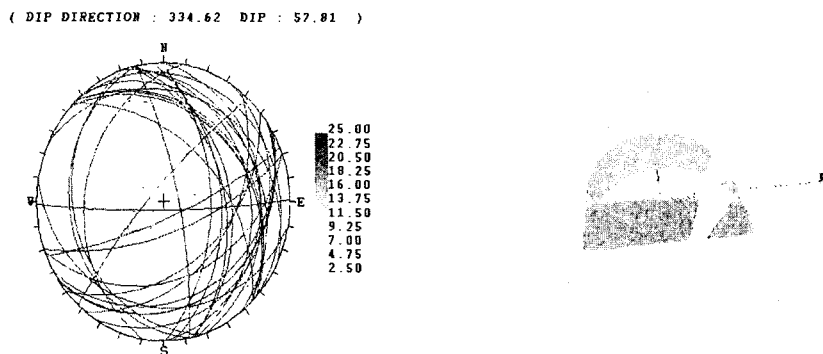


그림 6. GeoDips 및 KAROM을 통한 해석 수행 창

3.2.4 지반침하 예측모듈

지반침하 예측모듈은 방대한 현장 지표침하 계측자료를 정리, 관리할 수 있으며, 정리된 데이터베이스를 이용하여 인공신경망의 학습을 수행할 수 있도록 구성되었다. 또한 구현되어 있는 인접구조물 손상 평가시스템을 이용하여 터널굴착에 따른 인접구조물(지상구조물 및 지중매설관)들의 3차원적인 손상 평가를 수행할 수 있도록 구성하였다.

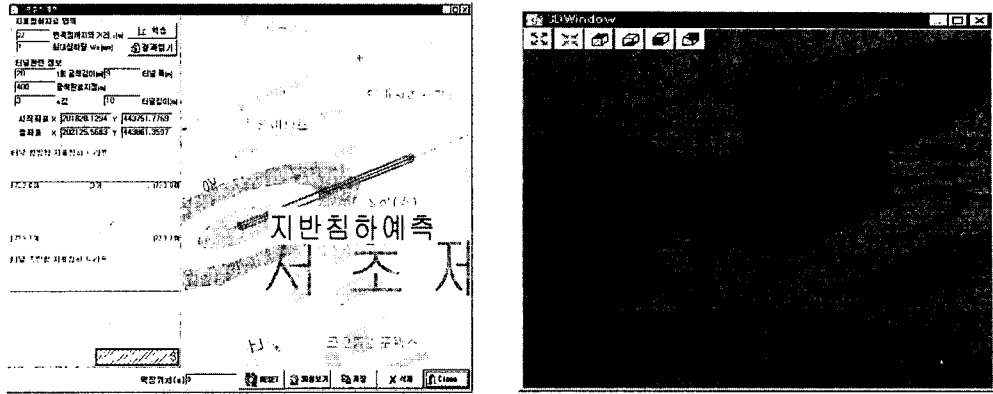


그림 7. 지반침하 예측 시스템 및 결과 도시 창

3.2.5 터널보강공법 선정 모듈

터널 보강공법 선정용 전문가시스템은 크게 2단계로 구성되어 있다. 1단계에 속하는 전반부에서는 터널 주변 지반조건, 지하수, 절리, 지지력, 인접구조물 등으로 이루어진 터널 정보 D/B를 바탕으로 제 1 소속도 함수(firsr membership function)를 구성한다. 2단계에 속하는 후반부에서는 터널 보강공법 D/B를 활용하여 각 터널의 등급에 따른 보강공법별 퍼지추론규칙(fuzzy inference rule)을 추론한다. 이 퍼지추론규칙은 터널 보강공법의 수량화 값으로 형성한 터널 보강공법의 제 2 소속도 함수(second membership function)를 구성한다. 터널 정보 D/B를 바탕으로 구성된 1단계 소속도 함수를 통해 시공 현장의 터널정보를 입력하여 터널의 안정성 등급을 결정한 다음, 이미 구성된 퍼지추론규칙을 이용해 비퍼지화(defuzzification)하면, 각 보강공법별 적용등급이 결정된다.

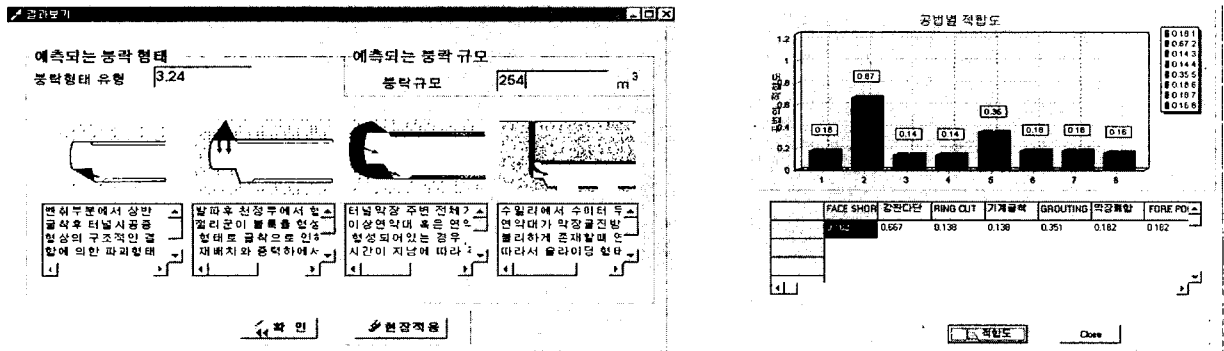


그림 8. 막장 안정 및 보강공법 선정 시스템 창

3.2.6 가상현실 기법의 적용

일반적인 삼차원 시뮬레이션은 제작자가 만들어 놓은 환경 속에서 제작자의 의도대로 움직이는 것이었으나, 가상현실기법을 이용함으로써 사용자가 실제환경과 유사하게 만들어진 컴퓨터 속의 모델로 들어가서 사용자의 의도대로 모든 행위를 제어할 수 있다. 가상현실(VR) 속에서는 컴퓨터 속에 나타난 물체를 감지할 수도 있고 존재하는 정보를 얻거나 변형시킬 수도 있는 등 모든 상황을 사용자의 의도대로 이끌어 갈 수 있다. 본 연구에서는 가상현실 기법을 이용하여 산악터널의 시공단계별 상황을 모식적

으로 나타내 보았으며, 또한 도심지 터널에서의 지표침하를 간단히 시도해 보았다. 앞으로 3차원 입체 안경, 데이터 글러브(Data glove), 데이터 수트(Data suit) 등과 같은 특별한 도구를 사용함으로써 시공 전에 사용자가 터널내부의 다양한 상황을 가상적으로 경험할 수 있게 구성해 나가고 있다. 또한 ITIS의 모든 데이터가 가상현실 시스템과 연동되어 실시간 업데이트가 가능하여 ITIS의 분석결과를 가상현실로 구현하는 것을 도심지를 목표로 현재 개발이 진행되고 있다. 그림 9는 도심지 터널 굴착시 지반침하 영향범위를 가상현실을 이용하여 가시화한 예이다.

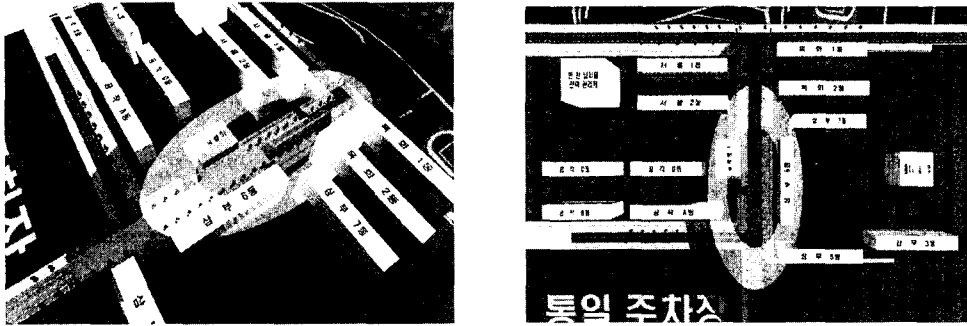


그림 9. VR을 이용한 지반침하 영향 범위의 가시화

4 결론 및 향후 연구방향

본 고에서 소개하고 있는 ITIS는 prototype으로서 터널건설을 위한 지반조사자료의 D/B, 분석 및 3차원 가시화를 위하여 인공지능, 3차원 가시화 및 가상현실기법을 적용하여 개발된 터널 정보화 설계/시공을 위한 시스템이다. 본 시스템은 불확실성, 불균질성, 불연속성 및 구조적 복잡성을 가진 지반의 특성을 엔지니어가 효율적이고 객관적으로 파악함으로써 터널의 경제적 안전시공을 도모하고 있다. 앞으로 본 시스템을 도심지 터널, 산악터널, 하저터널과 같은 다양한 현장에 적용해 봄으로써 현장 적용성을 향상시킬 수 있도록 시스템의 내용을 개선함과 동시에 시스템의 검증은 실시하고, 분석에 적용된 인공지능기법, 가시화 기법 및 가상현실과 같은 첨단기법의 발전과 더불어 지속적으로 시스템을 발전시킬 것이며, 독립적으로 개발된 모듈들을 앞으로 하나의 시스템으로 연동시키는 통합연구를 수행할 예정이다.

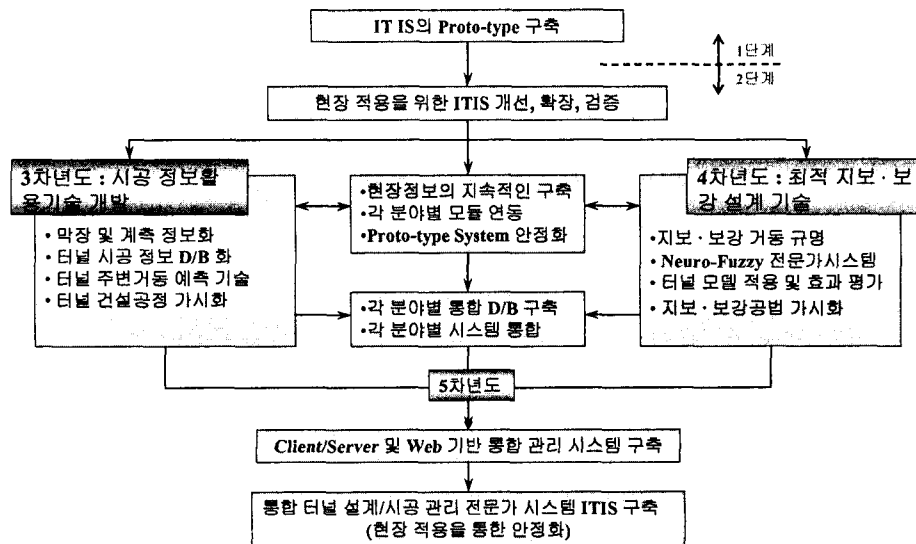


그림 10. ITIS의 향후 연구방향 개요도

5 참고 문헌

1. Y. Zhou and X. Wu, 1994, Use of neural networks in the analysis and interpretation site investigation data, *Computers and Geotechnics*, 16 (2), 105-122.
2. H. Chikahisa, K. Matsumoto, H. Nakahara and M. Tsutsui, 1997, Measurement control method and expert system for tunneling by fuzzy set theory, *Environ. Safety Concerns in Underground Construction*, 261-266, eds. Lee, Yang & Chung, Balkema.
3. S. Gangopadhyay, T. R. Gautam and A. D. Gupta, 1999, Subsurface characterization using artificial neural network and GIS, *J. Computing in Civil Engineering*, 13 (3), 153-161.
4. J. K. Kumar, M. Konno and N. Yasuda, 2000, Subsurface soil-geology interpolation using fuzzy neural network, *J. Geotech. and Geoenviron. Engineering*, 126 (7), 632-639.
5. A. Ouenes, 2000, Practical application of fuzzy logic and neural networks to fractured reservoir characterization, *Computers & Geosciences*, 26, 953-962.
6. C. Y. Kim, G. J. Bae, S. W. Hong, C. H. Park, H. K. Moon and H. S. Shin, 2000, Neural Network Based Prediction of Ground Surface Settlement due to Tunnelling, *Computers and Geotechnics*, 28, 517-547.
7. P. G. Kinnicutt 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.
8. G. B. Baecher, J. A. Zarge and J. Shapiro, 1996, SiteView: Practical geoenvironmental visualization, *Transportation Research Record* 1526, 170-176.
9. I. Vähäaho, 1998, From geotechnical maps to three-dimensional models, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 13 (1), 51-56.
10. 김광은 외, 1999, 지반정보 3차원 영상화 및 해석기술 개발, 한국지반공학회 '99 가을학술발표회 논문집, 371-378.
11. 송명규 외, 2001, 지구통계학을 활용한 지반정보 가시화 기법 개발, 한국지반공학회 '2001 봄학술발표회 논문집, 501-508.
12. J. Cook, R. Hubbard and M. Keates, 1998, Virtual reality for large-scale industrial applications, *Future Generation Computer Systems*, 14, 157-166.
13. Editorial board, 1998, Nov., Virtual interactive modelling, *Tunnels & Tunnelling International*, 40-41.
14. 한국건설기술연구원, 1999, Neural Network을 이용한 터널 설계 적정성 평가용 Expert System 개발 (II), 삼성물산(주) 건설부문 수탁연구보고서, 291.
15. 山縣素一郎 외, 1989, トンネル計測管理システムの開発, とびしま技報, 40, 103-117.
16. 홍성완 외, 2001, 블록이론을 이용한 불연속성 암반의 지하굴착에 따른 안정성 분석을 위한 시스템, 대한토목학회 '2001 정기학술발표회 논문집 CD.
17. 김창용 외, 2000, 터널 시공 중 보강공법 선정용 퍼지 전문가 시스템 개발, 한국지반공학회 논문집, 16(6), 127-139.