

반에서의 터널 시공이 한계성을 지니기 때문이다. 따라서 이러한 특성을 가지는 지반에서의 터널 건설은 시공 시 예측이 어려운 지질구조, 지하수 상태 및 초기 응력상태(In situ stress state) 등을 보다 합리적으로 예측·가시화하여 설계 및 시공에 가이드를 제시하고, 시공 중 문제가 발생하였던 과거의 축적된 터널 설계/시공 자료들을 토대로 현장에서 수집된 터널 주변 지반/암반의 현장정보 등을 미래의 터널건설에 접목시킬 수 있는 방법론 개발이 필요하다.

본 논문에서는 이러한 정보화 터널 설계/시공을 위하여 1999년부터 시작된 국가지정연구실사업(NRL: National Research Laboratory)을 통해서 개발된 ITIS(Intelligent Tunnelling Information System)을 이용하여 실제 시공 중인 터널현장을 대상으로 시범 적용하여 효율적인 정보화 시공관리에 대한 구체적인 방법론을 제시하고자 하였다. 이를 위하여 국내 터널시공의 대부분을 차지하는 도로터널, 고속도로터널, 지하철 터널에 각각 본 시스템을 적용하였으며, 터널 시공에 있어서 중요한 계측과 막장관찰, 주변구조물의 영향 등에 대한 관리방법을 소개하고자 한다.

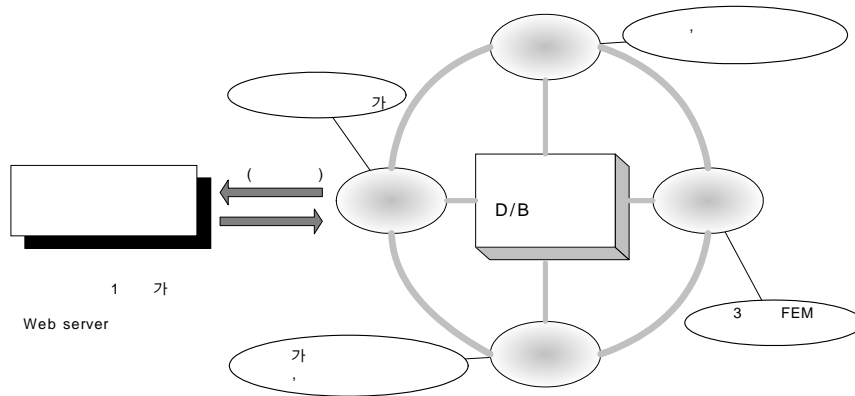


그림 1. 도시 NATM 시공 관리지원 시스템 구성도(일본 카지마 건설 사례)

2. ITIS 시공관리 네트워크 구성

현재 구축된 시스템은 지리정보를 ITIS 메인 프로그램 Machine의 파일 DataBase에 저장한다. 원격지의 터널건설현장에서는 입력한 터널시공 정보(SQL서버)의 조회/확인이 가능하며 지리정보(지형, 건물 등의 Spatial Data)는 지리정보 데이터베이스 서버(GMS)를 사용하여 "정보관리소"에서 지리정보 저장과 터널정보 저장을 함께 담당하도록 되어 있다. 이 경우 일원화 된 지리정보 관리와 함께 터널건설 현장에서 터널정보를 지리정보와 동시에 조회할 수 있는 장점이 있으며 분석기관 또한 관리로드를 줄일 수 있다.

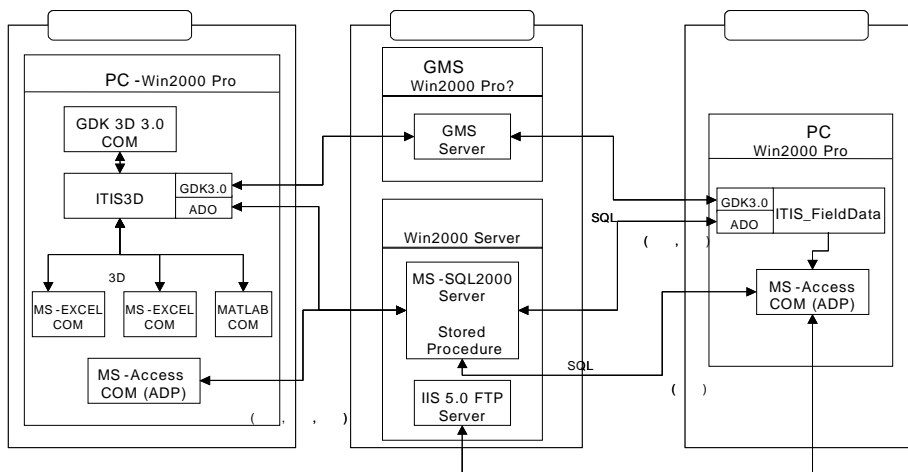


그림 2. 터널시공 정보화시스템(ITIS)의 구성

현재의 ITIS 시스템을 활용하기 위해서는 터널건설현장의 PC는 특별한 고사양을 요구하지 않으며, Win95 이상 또는 WinNT 4.0 이상을 운영할 수 있는 사양에 인터넷 접속이 가능하면 ITIS시스템을 활용할 수 있다.

3. ITIS를 이용한 시공관리

3.1 현장시공정보 입출력 시스템(ITIS_Fielddata, C/S)

ITIS 메인 프로그램 중 ITIS_Fielddata는 터널 시공 중 발생하는 계측, 막장관찰 등의 시공정보를 실시간으로 저장하고 분석할 수 있도록 해주는 기능을 수행한다. 이를 통해 현장에서는 다양한 시공정보를 쉽게 조회/출력 가능한 전자문서화로서의 기본적인 기능 뿐 아니라 막장관찰, 3차원 계측, Driss, TSP등의 계측결과를 쉽게 확인하고, 이 결과들을 분석기관의 분석을 통하여 터널 막장 전방의 지반 상태를 파악하는 핵심적인 기능을 수행 할 수 있다. 현재 본 시스템은 능동터널(산외-상북간 도로)과 무거터널(부산-울산간 고속도로)의 시공현장에 시범 설치되어 운영중이다. 그림 3과 그림 4는 이들 현장에서 실시간 입력된 데이터를 분석기관에서 조회하고 분석한 내용을 보여주고 있다.



그림 3. 암반구간의 막장관찰야장

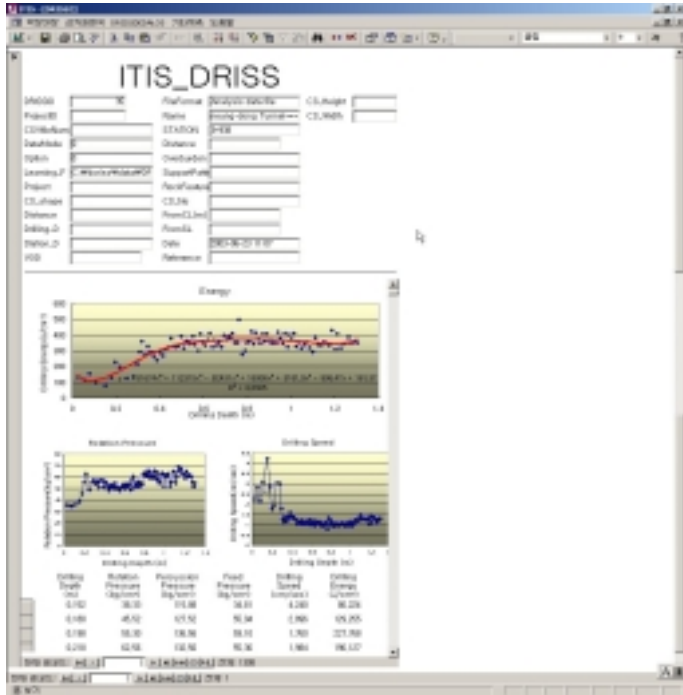


그림 4. Driss 결과 D/B창

이러한 터널시공 정보화시스템을 통하여 각종 시공정보를 데이터베이스 시스템에 바로 입력할 수 있으며, 데이터베이스 내에 저장된 각 막장면에서의 지질조사 결과를 터널시공 정보화시스템 내에 탑재된 3차원 가시화 시스템과 연동시킴으로써, 분석기관의 전문가가 직접 현장을 방문하지 않더라도 터널 전방의 지질구조나 지반상태에 대한 개략적인 판단에 근거하여 현재 현장 상황에 적합한 기술 지원을 실시간으로 수행할 수 있다. 또한, 이처럼 D/B화 된 각 막장면에서의 지질조사 결과는 터널 완공 후 유지관리 단계에서 매우 유용한 기초 자료로 이용될 수 있다.

D/B에 저장된 터널 정보를 위한 출력폼으로 각종 Reporting Tool이 있으나 본 시스템에서는 MS-Access 에 내장된 Report 기능을 활용한다. Report 디자인을 Application 내부에 Hard Coding 하지

않고 Access ADP 파일에 저장하여 사용자의 접근을 허용함으로써 사용자는 원하는 출력양식으로 변경하여 원하는 정보를 인쇄하여 활용 할 수 있다.

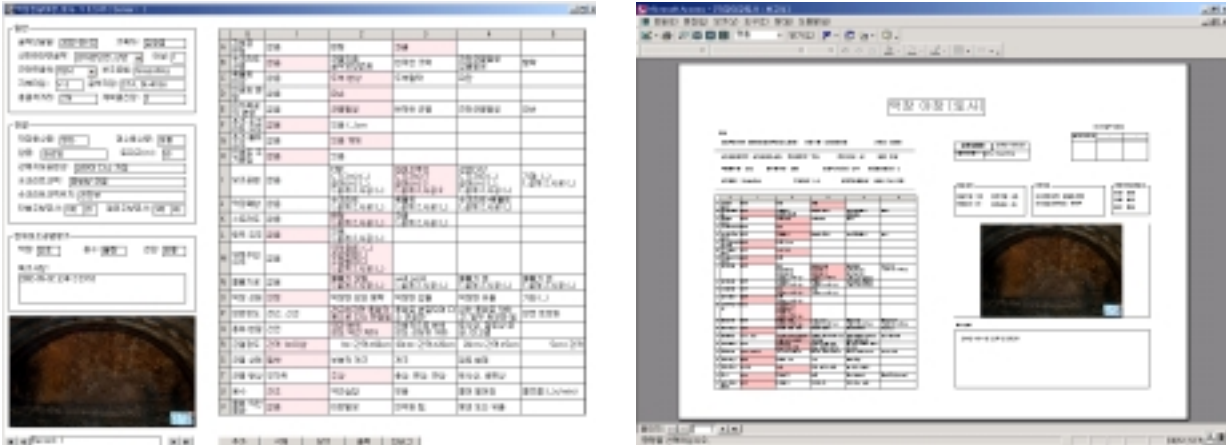


그림 5. 막장관찰 자료 입력창과 Reporting 화면

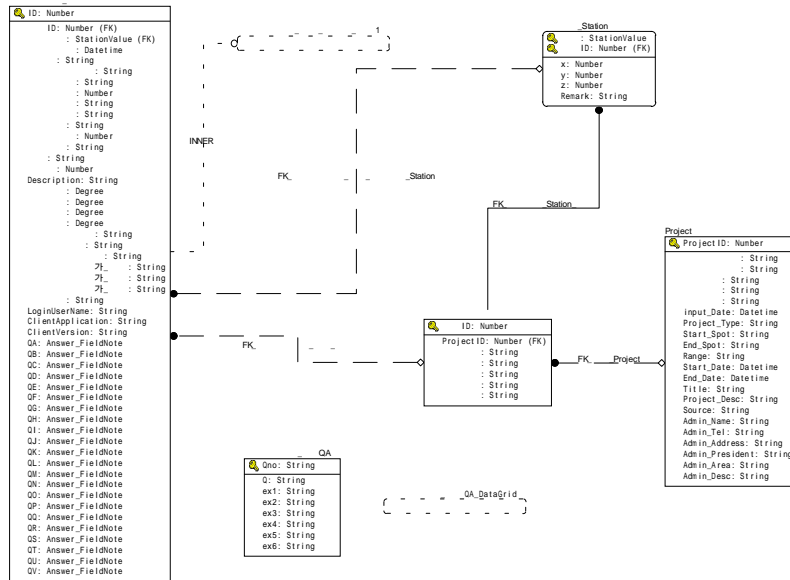


그림 6. 데이터베이스의 관계도(RDB)-토사막장관찰

3.2 도심지 터널 정보화 시공 관리

도심지 터널 시공 시 가장 중요한 관리대상은 굴착에 따른 인접구조물의 안정성 확보이기 때문에 터널 굴착시 지반침하 및 발파에 의한 인접구조물들의 손상가능성을 예측하고, 주요 손상가능 건물들에 대한 침하관리기준치를 제시하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 ITIS내에 지반침하예측 및 주변구조물 손상평가프로그램을 부산지하철의 OO구간의 설계구간에 적용하였다. 본 검토에서는 먼저, 터널 굴착에 의한 지반침하특성을 예측할 수 있는 인공신경회로망을 이용하여 최종 터널 굴착이 완료된 시점에서의 지반침하트라프를 결정하고 발생한 지반침하에 의해서 건물의 손상평가를 위해서 국내·외의 손상기준들을 종합적으로 분석하여 터널이 완전히 굴착된 상태의 2차원적인(보수적) 개략평가를 수행하여 잠재적인 손상가능성이 있는 주요 건물군 및 축선을 선정하고, 선정된 주요 건물군에 대해서 터널 굴착 단계별로 건물에 가해지는 손상가능성을 평가하였고, 건물에 존재하는 세부 벽체별로 손상가능성을 평가하였다. 이러한 결과들을 토대로 주의 대상 건물군을 선정하여 향후 시공 단계에서 참고할 수 있는 건

물 하부의 침하관리기준치를 도출하는 방향으로 ITIS 시스템을 활용할 수 있다.

No.	STA. NO.	(m)	(m)	((m m)	(m)	(Vs, %)	가 (mm)	(m)	(Vs, %)
-	-	17.94	11.47	OO	14.40	14.6	0.890	100	14.6	6.181

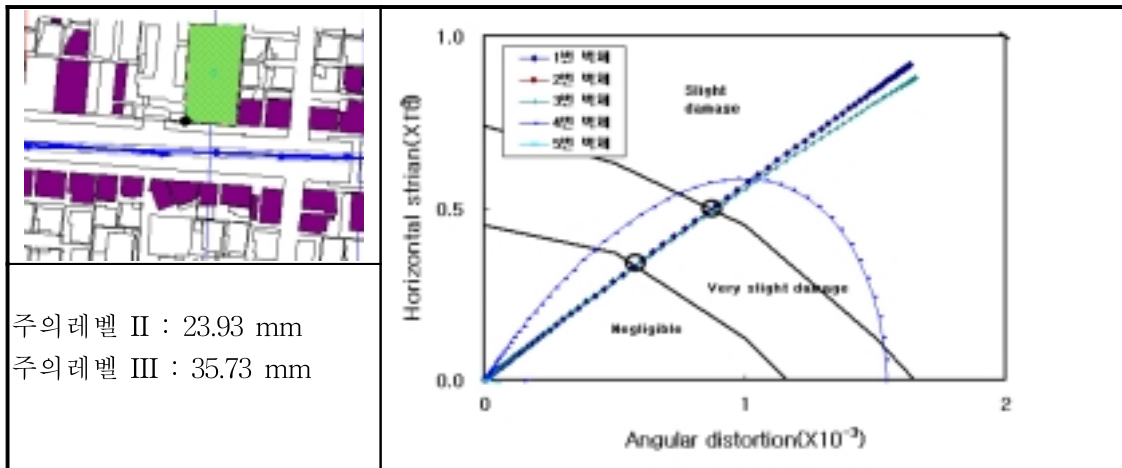
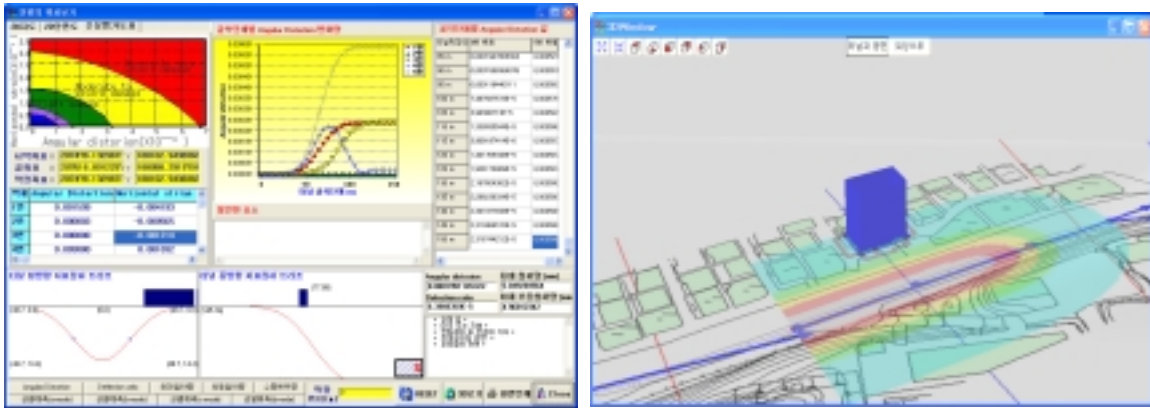


그림 7. 터널 굴착에 따른 인접건물손상평가 결과

3.3 계측결과를 이용한 막장전방예측

ITIS_Fielddata를 통해 획득된 각종 계측 데이터는 시공에 효율적으로 사용되어 질수 있도록 분석과정을 통하여 막장전방의 지반을 예측하는 중요한 자료로 활용되어지게 된다. 특히, 대규모 파쇄대나 단층대 등 연약대가 존재하는 암반을 통과할 때의 내공변위는 암반의 변형특성과 굴착, 지보 특성 외에 추가로 연약대 특성의 영향으로 균질/등방 암반 굴착시의 변위거동특성과 동일하게 볼 수 없음이 이미 밝혀졌다(Schubert와 Budil 1996). 이는 최근 3차원 절대 계측 기술의 도입과 적용에 기인한 것으로서, 비균질/이방성 특성을 보여주는 연약대의 존재 여부를 사전에 파악할 수 있는 여러 지표들이 현재 제시되고 있으며, 전방 연약대의 영향을 파악하기 위한 연구들이 수행되었다.

따라서, ITIS시스템이 적용되고 있는 능동터널과 무거터널에는 이를 위하여 3차원 계측을 시행중이며 이 계측 결과를 통하여 전방예측 분석을 수행하고 Driss나 TSP등의 전방예측 기법과 비교 분석하여 전방 비균질 연약대의 존재시 이의 영향을 고려한 굴착 및 지보 변경의 의사 결정과정에 반영함으로써 좀더 안전하고, 경제적인 터널 시공을 이루는데 일조할 수 있을 것으로 판단된다.

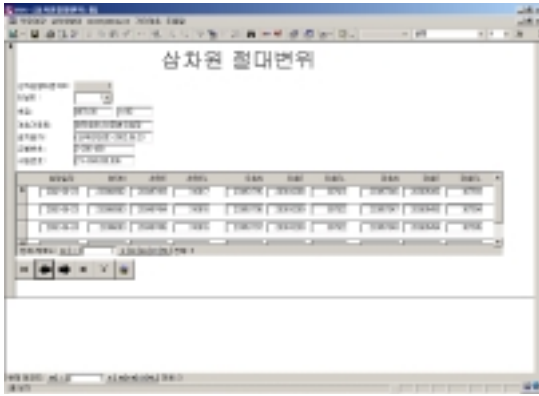


그림 8. ITIS의 3차원 계측결과 입력창

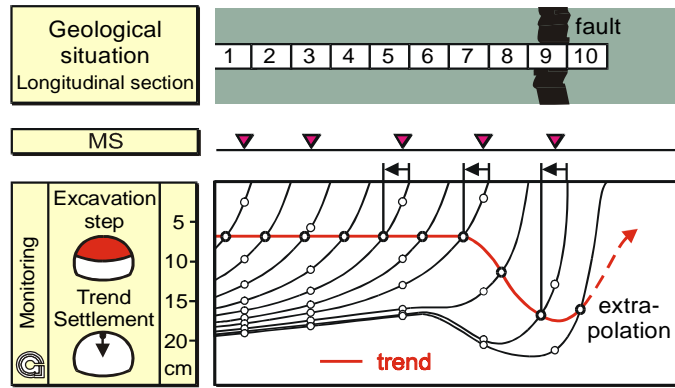


그림 9. 연약대 통과시 전형적인 변위발생양상

4. 결론

본 연구는 터널 시공의 체계적이고 효율적인 관리와 안전시공을 위한 정보화 시공의 방법에 대한 연구로서 실제 터널에 적용한 예를 소개하였다. 본 ITIS시스템을 이용한 터널의 정보화 시공은 국내에서는 아직 시작단계이며, 현재의 기술 수준을 극복하기 위해서는 많은 현장 사례 적용을 토대로 문제점을 개선하고 이를 토대로 지속적인 정보화 시공을 추구해 나갈 필요성이 있다. 터널 정보화 시공은 붕괴/붕락 등의 많은 위험요소를 안고 있는 터널 시공 상황에 신속하게 대응하여 안전한 터널 시공과 효율적인 시공을 위한 필수적인 방법으로 자리매김 할 것이다.

5. 감사의 글

본 연구는 1999년도 선정 국가지정연구실 사업(NRL)의 일환으로 수행되었습니다.

5. 참고 문헌

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Grossauer, K., Schubert, W., Kim, C.Y. 2003, Tunnelling in heterogeneous ground-stresses and displacements. Proceedings of the 10th ISRM Congress, South Africa.
5. 김창용, 2001, 도심 터널 굴착에 따른 인접구조물 손상평가, 한국터널공학회지-터널기술, Vol. 3, No. 4, pp. 46~59.
6. 홍성완 외, 2002, 3차원 가시화 기법을 이용한 터널설계, 한국지반공학회 봄 학술발표회 논문집, pp.759-766.
7. 김창용 외, 2003, 비균질 암반에서의 터널 변위 거동 분석, 한국암반공학회 '2003 춘계학술발표회 논문집.