

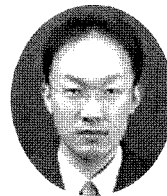
터널 정보화 기술소개



김창웅
한국건설기술연구원
지반연구부 선임연구원



김광염
한국건설기술연구원
지반연구부 연구원



백승한
한국건설기술연구원
지반연구부 선임연구원

1. 서론

지난 10여 년간 산업 전반에 걸쳐 가장 영향력을 크게 미쳐온 산업은 IT분야일 것이다. IT분야의 핵심 기술은 다양한 분야에 다양한 형태로 적용되어 획기적인 성과를 나타내고 있으며, 이는 타 분야에 비해 새로운 개념의 도입 속도가 비교적 늦은 토목분야에도 신선한 바람을 일으키고 있다. 더 이상의 새로운 기술도입의 필요성이 적다고 여겨질 만큼 터널시공 경험이 풍부하고 지금까지도 터널 시공이 활발히 이루어지고 있는 국내에서 최근까지도 붕괴/붕락의 사고 등이 여전히 발생되고 있는 현실을 고려해 볼 때, 더 이상 경험에만 의존하는 재래식 터널 공사 관리의 대폭적인 수정이 불가피할 것으로 보인다.

최근에는 터널관리의 효율성과 시공능력의 향상을 위하여 컴퓨터 기술을 이용한 전산화를 통하여 조사, 설계, 시공, 그리고 유지관리 단계에서의 자동화 및 이들 정보의 네트워크화를 목적으로 하는 터널 정보화에 대한 연구가 진행되고 있다. 산업 전 분야에 많이 활용되고 있는 지식 기반 전문가시스템(Knowledge-Based Expert System)

이나 인공신경회로망(Neural Network), 퍼지이론(Fuzzy Theory) 및 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)과 같은 인공지능기법(Artificial Intelligence Techniques)은 경험적인 혹은 수학적인 수식을 풀어나가는 전통적인 방식과는 달리 학습을 도와주는 경험, 지식이나 패턴을 일치시키는 방식으로 문제를 풀기 때문에 지반 및 암반의 불확실성과 불균질성, 구조적 복잡성 등을 줄일 수 있다. 또한 D/B 구축을 통하여 지속적으로 축적된 정보를 학습에 이용함으로써 이러한 인공지능기법(AI)을 토목분야에 적용하는 사례가 점점 많아지고 있다. 이러한 공학적인 판단에 사용되는 인공지능기법과 함께 복잡한 지반상태 및 구조물의 가상화를 위하여 3차원 영상화 및 가상화 해석기법 및 가상현실(Virtual Reality)기법이 많이 활용되고 있다. 터널 시공이 지하의 3차원적인 공간에서 이루어지고 있고, 기존의 2차원적인 도면만으로는 이해하기 어려운 복잡한 구조물의 시공이 증가하면서 3차원 그래픽 기술을 이용함으로써 신속하고 효율적인 정보 활용 및 전달을 이룰 수 있다.

이와 같이 터널의 설계 및 시공 중에 다양한 IT기술을 접목하여 터널의 정보를 보다 효율적으로 관리하고 활용

할 수 있는 정보화 관리체계를 구축 할 수 있다. 본 고에서는 선진국의 정보화 관리 사례를 살펴보고, 국내 터널 시공 여건을 고려한 터널 설계/시공 관리 전문가시스템의 필요성 및 요구사항에 대해 살펴보고자 한다.

2. 국내·외 기술개발 현황

2.1 국내 터널 정보 관리 현황 및 문제점

NATM 개념에 따라 시공되는 국내의 대부분의 터널의 경우, 시추 및 지표지질조사 그리고 정밀탐사 등 충분한 조사를 필요로 하지만 현지 사정 또는 지질조사의 중요성을 간과함으로써 충분한 지질조사를 수행하지 못하고 있는 실정이다. 특히 NATM 터널은 지반 자체의 지보 능력을 통하여 굴착에 따른 지반 거동 및 특성에 따라 터널의 안정성이 결정되므로, 시공 중 계측을 이용하여 터널 주변 지반 거동을 분석하고 이를 통해 굴착 방법이나 지보 방법 및 보조 공법 등을 선정하여 시공하는 것이 필요하다고 판단된다.

국내의 경우 터널이 시공될 인근 지역의 지반 조사 및 평가가 체계적으로 실시되는 경우가 드물고 터널 시공을 위해 실시된 조사 및 실험 자료를 분석하는 기술력 부족과 유사한 지반 조건이나 인근 지역에서 기 시공된 터널 정보 활용에 한계가 있기 때문에, 현재까지 계측자료가 터널 거동과 연관되어 터널 시공에 효과적으로 적용되지 못하고 있다. 또한 조사/설계/시공 정보를 축적 및 분석할 수 있는 체계가 거의 없어 조사 및 계측 결과들의 축적 및 분석 작업이 거의 수행되지 않고 있다. 따라서 시공 중 많은 붕괴 및 봉락 사례가 발생하였으며, 현재까지 이러한 많은 터널 시공 사례들이 대부분 사장되어 활용하지 못하고 있고, 조사 및 계측의 중요성을 인식하지 못하고 있는 것도 문제점으로 나타나고 있다. 이러한 문제점을 보완하기 위해서는 터널 시공 전에 터널 굴착 때문에 발생하는 지반의 거동을 사전에 인지할 수 있도록 하기 위해 기 시공된 터

널의 설계/시공 관련 자료들이나 시공 중에 있는 터널의 각종 지반정보와 터널 시공정보를 수집 분석하여, 그 결과가 신속히 터널 굴착 작업에 적용될 수 있도록 하는 D/B 시스템 및 분석 시스템이 필요한 실정이다.

2.2 선진국 터널 설계/시공 정보 관리 현황

터널 선진국에서는 이미 자국의 특성에 맞는 다양한 터널링 기법 및 기술 개발에 주력하고 있으며, 터널 정보화를 위해서도 다양한 첨단 기술들을 개발 적용하고 있다. 지금까지는 지역적 특성을 갖는 터널 정보를 주로 자국내에서 활용하기 위한 연구가 이루어져 왔으며, 앞으로 국가별 및 지역적 특성을 갖는 터널 정보를 국제적으로 통합한 정보화 체계를 구축하기 위한 국가간 협력 및 연구 개발을 수행하고 있다.

그 예로 1998년 오스트리아 Graz 대학의 Institute for Rock Mechanics and Tunneling 연구기관에서는 자국내 알프스터널 자료 및 설계/시공 기술을 바탕으로 시공 중 막장관찰 및 계측결과와 암반특성 그리고 지보선정 등의 상관관계를 분석하여 활용할 수 있는 첨단 정보화 시스템 DEST(Data Evaluation System for Tunneling)를 개발하였다. DEST를 통하여 설계 및 시공 중에 정보를 최대한 활용하고 터널건설에 효과적으로 적용하고 있다. 특히 DEST는 프로젝트에 근거한 시스템이므로 지역적 특성을 갖는 터널 현장마다 개별적으로 적용할 수 있는 체계를 구축하였으므로 향후 국제적으로 상호 연계할 수 있는 시스템의 기술 개발을 지속적으로 추진하고 있다.

한편 2000년 네덜란드 TU-Delft에서는 암스테르담 지하철 시공 프로젝트에서 터널 시공 중 발생하는 지반침하로 인한 주변 구조물의 피해를 방지하고 보다 효율적인 터널 시공을 위해 GIS 및 정보화 기술을 접목한 침하 위험도 관리시스템(Settlement Risk Management System: SRMS)을 개발하였다. SRMS는 침하예측 및 위험도 평가, 구조물 영향 평가, 지반조사 및 계측 자료 활용 등의

분야에 3차원 GIS 시스템을 접목시킨 매우 활용도가 높은 위험도 관리 시스템으로 평가되고 있으며, GIS-계측-정보화 시스템이 종합적으로 접목된 통합 시공관리 시스템으로서 다양한 활용성을 갖춘 시스템을 갖추고 있다.

2001년 프랑스 AFTES에서는 KBT(Knowledge Base about Tunnel)라는 터널 정보화 체계를 바탕으로 자국 내 LCPC 및 발주관청과 오스트리아 TU-Graz간의 상호 터널 정보 공유 체계를 구축하여 현재 운영 중에 있으며, 본 시스템에는 터널 시공정보 및 지질정보 계측 정보들이 각 터널별로 저장되어 있어 이를 토대로 전체적인 디지털 map을 구축하여 지도상에서 터널을 click할 경우 현재의 상황을 파악할 수 있는 수준의 정보를 제공하고 있다. 현재는 지속적으로 개발 중에 있으며, 몇몇 현장 적용을 통해서 본 시스템이 end-user에게 줄 수 있는 정보와 활용성 측면의 우수성을 입증할 수 있는 시스템으로의 발전을 꾀하고 있다. 아울러 유럽내 오스트리아와의 연계를 통해서 향후 유럽 대륙의 전체 터널 시공 정보를 공유할 수 있는 방향으로 기술 개발을 확장하고 있다.

스위스 ETH Zuerich 대학과 Solexpert가 공동 개발한 DAVIS 시스템은 터널 시공/계측 정보를 실시간으로 현장과 발주처, 감리사 등이 공유할 수 있는 정보화 체계이며, 시공 중에 현장 계측 정보를 활용하여 시공 중에 결과를 Feed-back할 수 있는 체계를 갖추고 있다.

아시아권에서는 일본의 Tobishima(飛島) 건설기술연구소가 MAST라는 터널의 3차원 정보화 설계/시공시스템을 개발한 바 있으며, 이 시스템은 설계/시공 과정에서 지반 및 지보재의 변위거동·응력분포 등의 세밀한 분석이 가능하고 조사/설계/시공/계측의 각 공정에서 생성되는 자료를 D/B화하여 일원 관리하도록 구성되어 있다. 이 시스템은 이러한 정보화 설계/시공 분야에 퍼지 이론과 전문가시스템을 접목시켜서 좀 더 객관화된 설계/시공을 이룰 수 있도록 하고 있으며, 일본의 도로 터널공사에 이 시스템을 적용하여 지반구조 파악 및 적정 보강설계에 유용하게 사용될 수 있음을 증명한 바 있다.

이외 싱가포르의 Nanyang Technological University에서는 TES(Tunnel Engineering System)라는 정보화 시스템을 개발하였으며, 이는 터널 계획, 설계, 시공 상황에서 얻어지는 정보를 활용하여 신속한 의사결정을 지원할 수 있는 시스템으로서 다양한 적용 사례를 갖추고 있는 시스템이다.

3. 온라인 기반의 터널 정보 관리 시스템

터널 선진국에서는 이미 다양한 방법으로 터널의 조사 및 설계시의 정보와 시공 중 획득되는 정보를 관리하고 활용하는 방법 및 체계를 개발하고 활용하고 있다. 각 시스템은 자국의 기준 및 여건을 고려한 시스템으로서 개발되고 있는 실정이다. 본 장에서는 국내 터널 설계 및 시공 여건을 고려한 터널 정보화 관리 시스템의 제반요구사항에 대하여 살펴보고자 한다.

3.1 정보화 설계/시공 개요

국내 대부분의 터널 시공은 조사/설계시의 방대한 내용이 실제 시공시에 적절히 반영되지 못하고 있다. 터키 및 대안설계 등을 통해 지반조사 항목 및 물량이 증가되었고, 다양한 설계기법 등의 도입을 통해 과거보다 설계의 내용이 질적으로 우수해 졌음에도 불구하고 이러한 정보를 시공시에 제대로 활용하지 못한다면 큰 손실이 아닐 수 없다. 따라서, 정보화 시공은 과거의 타현장의 자료 및 대상터널의 조사/설계 내용과 시공 및 계측정보를 유기적으로 연계하여 합리적이고 경제적인 시공을 가능하도록 하는데 활용하기 위함이다. 이를 위해서는 과거 터널 설계/시공 정보 등이 잘 구성된 데이터베이스 시스템에 디지털 정보로서 저장되어야만 하고, 저장된 데이터는 전문가 및 전문 분석 틀에 의해 평가되어져서 시공 중 의사 결정에 신속하게 반영 되어질 수 있어야 한다.

표 1. 조사/설계단계에서 정보의 활용 방안

주요기능 명	설 명
데이터 입력 및 관리	대량데이터의 입력과 반복 작업을 원활히 수행하기 위하여 ASCII형식으로 여러 가지 포맷의 데이터를 개별 테이블로 관리
지형정보의 생성 및 표시	지형데이터 및 지층경계면 등의 지하정보를 나타내기 위하여 메쉬형태로 배치된 격자점 데이터뿐만 아니라 평면상에 무작위로 분포하는 데이터를 내부에서 격자점 데이터를 생성하여 표시
지질구조의 해석 단면도 작성	공간상에 분포하는 임의의 복수점에 대한 위치정보와 지층의 주향/경사를 입력함으로써 평면구성 지층대비 및 작성된 3차원 모델의 검증을 위하여 3차원 면모델로부터 임의의 단면도 추출
3차원 면모델의 작성	시추조사, 지표지질조사, 물리탐사 자료 등의 입력 자료로부터 단층, 부정합 등과 같은 지질현상을 고려한 면모델의 작성
연산기능	면간의 볼륨계산을 수행함으로써 토공량 등의 산출지원
등고선도 작성	임의의 심도에 대한 물성데이터와 기반암 심도, 암반등급 등의 지반공학적 자료를 등고선도로 작성 경험적으로 제시하고 있는 암반분류 기준을 조직적·합리적으로 제시할 수 있는 기술의 개발
기타 가시화 및 분석기능	터널 지보·보강 분류 체계 및 막장관찰 기록, 계측 기록 등 현장에서 직접 활용할 수 있는 정보화 체계의 개발
	터널 설계 자료 및 시공 자료들을 일괄 관리할 수 있는 통합 정보화 시스템의 개발
	지층 및 지질구조에 대한 3차원적인 가시화 및 정보화
	절리, 파쇄대 및 단층 등 특이 지질구조에 대한 표현기법
	지하시설물, 지상구조물 하부 관통 구간, 하저 및 해저 통과구간, 석회암지대 및 폐광 통과 구간, 지하수 용출 구간, 2개 이상의 터널의 접합구간, 크기가 달라지는 터널의 접합구간 등 난공사 구간에 대한 3차원적인 표현기법
다양한 안정성 해석 기능(지반침하, 인접구조물 손상평가 등)	

이러한 터널 정보의 일차적인 데이터베이스화 이외에도 설계 및 시공 중 다양한 방법으로 획득된 정보를 분석하고 피드백(feedback) 하여 지반조건 및 시공여건에 부합하는 시공이 이루어 질 수 있도록 하는 것이 정보화 시공을 위한 핵심요소라 볼 수 있다. 표 1에는 조사/설계시의 정보를 다양하게 활용 할 수 있는 방법을 나타내고 있다. 이러한 정보 및 분석 결과 등은 향후 터널 시공 시 적극적으로 활용될 수 있고, 시공 중 막장관찰 및 계측 결과와의 비교 분석을 통해 굴착공법 및 지보패턴 변경 등에 중요한 정보로서 활용되어질 수 있을 것이다.

3.2 온라인 기반 터널 정보화 관리

네트워크 기반의 공유시스템이 아닌 Stand-alone 시스템은 아키텍처(Architecture)의 제약으로 인하여 구축

된 정보(지리정보, 설계, 시공 및 계측 등)를 공유하기가 곤란하다. 따라서, 터널 정보 관리 시스템을 효율적으로 사용하기 위해서 우선 국내 터널 현장들에서 온라인을 통해 쉽게 터널 정보의 입출력이 가능한 온라인 기반의 시스템을 활용한 터널 정보화 관리가 필요하다. 특히, 국내와 같이 인터넷 인프라가 잘 갖추어져 있는 환경속에서 이러한 온라인 기반의 터널 정보화 관리는 시간적, 경제적으로 큰 비용을 줄일 수 있는 효율적이고 실용적인 관리체계의 필수 요건이다. 또한, 시스템의 기술적인 부분은 IT환경이 용이하지 않을 수도 있는 시공현장에서 접근하기 용이하며 고급기능이 필요한 전문 분석인력에 대하여는 강력한 기능을 지원할 수 있도록 하는 것이 필요하다. 즉, 터널 시공현장에서는 고사양의 PC의 사용 및 고급분석 기능을 직접 수행하기가 어렵기 때문에, 정보의 입력 및 분석결과의 조회와 같은 단순한 처리를 주로 수

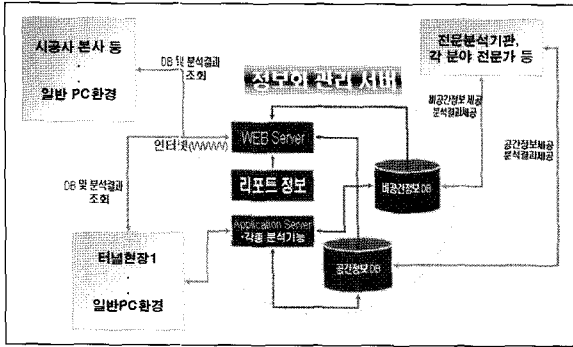


그림 1. 온라인 정보화 관리 체계 구성

행하도록 하는 것이 바람직하다. 따라서, 입력된 터널 정보의 효율적인 저장, 활용, 분석 방안 등은 터널 전문가 집단에서 별도로 수행하여 그 결과를 현장에서 손쉽게 조회가 가능하도록 하는 것이 필요하다. 그림 1은 이러한 온라인 정보화 관리의 구성을 보여주고 있다.

일반적으로 터널 시공 중 다양한 의사결정시에는 토목, 지질, 암반 등 많은 분야의 전문가들이 필요하다. 하지만 국내외 같이 각 전문가들이 터널 현장에 상주하지 않거나, 의사결정회의가 용이하지 않은 경우에는 이러한 온라인 기반의 정보화 관리방법을 통하여 전문가들이 터널 시공 상태를 쉽게 확인하여 신속하고 적절한 의사결정이 가능할 수 있을 것이다.

3.3 실용적인 온라인 터널 정보 관리시스템 활용방안

앞서 언급하였듯이 온라인 기반의 터널 정보화 관리는 다양한 분석기능을 고려하지 않더라도 조사/설계 자료의 효율적인 저장 및 시공 시 적극적 활용이라는 중요한 목적을 위해 반드시 필요하다. 이러한 온라인 기반의 터널 정보화 관리를 통한 실제 설계 단계 및 시공 단계에서의 연계방안에 대하여 굴착 방법 및 지보방법 결정이라는 중요한 문제에 대하여 고찰하였다.

대부분의 경우에 터널 시공 중 직면하게 되는 지반 상태는 조사 및 설계단계에서 예측된 내용과 차이를 보일

수 밖에 없다. 따라서, 시공 중에 지속적인 지반공학적 모델의 갱신 과 굴착 및 지보방법의 수정/보완이 필수적이다. 이러한 조사, 설계 및 시공 단계에서의 정보들의 적절한 활용 및 연계과정은 다음과 같은 기본 절차를 통해 이루어져야 할 것이다(그림 2).

- 1단계 : 다양한 지반조사 등을 통한 굴착 대상 암반의 타입 결정
- 2단계 : 대상 암반의 거동 양상 예측
- 3단계 : 적절한 지보 및 굴착방법 결정
- 4단계 : 시공 중 직면한 암반 타입과 설계단계 내용의 비교검토

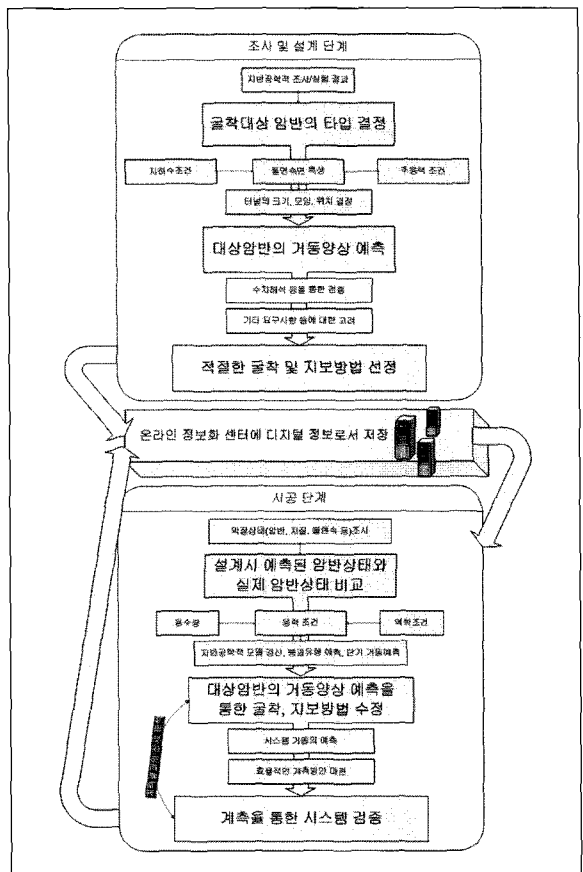


그림 2. 설계 및 시공단계에서의 정보화 관리 프로세스(굴착 및 지보)

5단계 : 실제 암반의 거동 예측을 통한 굴착 및 지보방법 수정

6단계 : 계측을 통한 적용 시스템의 검증

각 단계에서의 주요 생성된 정보들은 관리시스템 상에 공간데이터 및 비공간 데이터로서 관계형 데이터베이스로서 저장되어져야만, 다음단계에서 그정보를 효율적으로 활용 가능할 것이다. 특히, 시공단계에서는 설계 자료 및 시공중 획득되는 다양한 계측, 막장 정보로부터 굴착 및 지보 방법과 같은 터널 안정성에 영향을 미치는 핵심요소를 결정해야 하기 때문에 이러한 정보의 유기적인 관계수립은 필수적이다.

4. 시공 중 계측 정보 활용 방안

4.1 시공 중 계측의 중요성

터널 설계/시공의 주요 절차에서와 살펴본 바와 같이 터널 시공 중 계측을 통하여 지반공학적 안정성 및 시공 기준에 부합하여 암반 시스템이 거동을 나타내는 지를 지속적으로 관찰 하는 것이 중요하다. 관찰되는 거동과 예상 거동사이에서 차이가 발생할 경우에는 굴착 및 지보방법 변경 등이 재검토되어야만 한다.

계측 결과는 지반 조건 및 시공 조건에 대한 영향을 복합적으로 반영하고 있으므로 양호한 계측 자료의 경우 터널 거동 평가를 위한 주요 자료로 사용되어진다. 이러한 계측은 터널의 시공 전, 시공 중 및 시공 후 및 각각의 단계에 따라 다음과 같은 목적을 가지고 시행한다. 시공 전에는 암반의 변형계수, 암반의 강도 및 초기응력 등과 같은 공동의 설계에 필요한 정보를 구하며, 시공 중에는 설계의 타당성을 확인하고 또는 설계 변경에 대한 근거를 생각하는 일, 즉 지하의 건설 현장에 있어서 안정성을 향상시키는데 유익한 정보를 얻기 위해서는 더욱 변형을 모니터링 하는 것이 매우 중요하다.

4.2 내공 변위 계측 자료의 적극적 활용

4.2.1 내공 변위 이력

터널 굴착시 계측된 변위에 대한 가장 일반적인 표시 방법은 시간에 따른 변위양상을 나타내는 것이다. 균질한 암반을 일정한 속도로 굴착을 하는 경우는 변위양상 파악이 매우 용이하며, 터널의 굴착후 안정은 점진적인 변위량의 감소로 나타나게 된다.

막장 진행에 따른 변위를 고려하지 못한다면 변위의 양상을 정량적으로 해석하기 어렵다. 또한, 추가적인 굴착, 불균질한 암반조건 또는 시간의존적인 지보의 거동에 대해 변위이력만을 가지고 적절하게 파악하기는 힘들기 때문에 최근에는 이러한 여러 복합적인 상황에서 조차 변위를 예측할 수 있는 기법들이 많이 개발되고 있으며, 이러한 기법을 이용하여 막장진행효과 및 지보의 시간 의존적 거동을 분석할 수 있다.

4.2.2 변위 경향 및 영향선(Trend line, Deflection line)

터널의 천단 침하량을 같은 시간에 각기 다른 측정지점에서 측정한 변위를 하나의 선으로 연결한 것을 영향선(Deflection line)이라 정의하고, 영향선의 시작점에서 같은 거리만큼 떨어진 값들을 연결한 선을 경향선(Trend line)이라고 정의할 수 있다.

영향선으로부터 얻어진 경향선을 토대로 외삽법에 의해 막장후방의 특정지점에서의 변위예측도 가능하다. 영향선과 경향선을 이용하여 터널의 막장면 전방 파쇄대층에 접근하고 있음을 계측결과를 통해 확인할 수 있다.

4.2.3 변위 벡터(Displacement vectors)

천단변위, 수평내공변위 및 터널진행방향의 3방향 변위 벡터의 비는 막장전방의 암반의 상태를 나타내는 좋은 지표가 될 수 있다. 이러한 3방향 변위벡터비는 특히 토피고가 크고 지반의 상태가 연약한 곳에서 유용하게 이용될 수 있다. 보다 연약하거나 보다 강성이 큰 암반으로의 굴착이

진행되는 경우 이러한 변위벡터는 암반의 강성 변화에 앞서서 뚜렷한 경향성을 보여주게 된다. 변위벡터의 그래프는 터널주변의 연약대를 초기에 감지할 수 있을 뿐 아니라 록볼트 등의 지보설계에도 유용하게 이용될 수 있다.

3차원 절대계측을 통하여 터널의 진행방향변위(L, longitudinal), 수직방향변위(S, settlement), 수평방향 변위(H, horizontal)를 얻을 수가 있다. 통상적으로 터널 진행방향변위와 수직방향변위비(L/S)는 벡터(vector)로 표현하며, 이 값은 터널 막장전방의 연약대(weak zone)를 감지할 수 있는 지표가 된다. 터널 횡단면상의 변위방향성은 터널 진행방향 주변의 암반상태나 연약대의 방향성에 영향을 받기 때문에 각 계측 막장별로 변위벡터 방향성을 분석해보면 개략적인 연약대의 존재여부 및 방향성 등을 알 수 있다.

4.2.4 공간 벡터 방향성(Spatial vector orientation)

변위벡터의 평사투영법과 변위데이터의 3차원적 도시 방법을 통하여 막장전방 및 굴착영역 밖 암반의 구조와 상태에 대한 단기에측이 가능하다. 3차원 상의 절리를 2차원 평면에 묘사하기 위하여 많이 사용하는 평사투영법을 이용하면 변위 벡터로부터 터널 막장 전방의 지반 변화를 예측할 수 있다. 즉, 평사투영법을 통해 3차원 변위 벡터 방향의 변화를 파악한다면 파쇄대의 방향성이나 공

동의 위치 등을 예측할 수 있다. 최근에는 균질 암반의 터널 내공 벡터 방향성(Normal)과 비균질 암반의 내공 벡터 방향성과의 차이(Deviation)를 통해, 터널 막장 전방 연약대 규모, 방향성, 강성차이 및 거리 등과의 상관관계를 규명할 수 있는 방법들이 제안되고 있다.

4.3 온라인 기반의 막장 및 계측 정보의 활용

막장관찰 및 계측자료는 굴착 및 지보공법 선정의 타당성평가와 향후 굴착 및 지보에 대한 사전 정보를 제공하기 위한 핵심 정보로서 중요하다. 지반이 불균질하고 이방성이기 때문에 필연적으로 굴착 전 막장을 정확히 예측하기는 어려우나 계측 및 막장정보에 대한 정밀 분석을 통해 막장 전방의 상태를 파악하기 위한 연구들이 계속 진행되고 있는 실정이다. 본 절에서는 현장에서 수집된 막장 및 계측정보에 대한 온라인 정보화 관리 및 활용방안에 대하여 살펴보고자 한다.

4.3.1 계측 및 막장정보의 실시간 차트화

이러한 계측정보에 대한 상세한 분석은 별도의 작업을 통해서 수행 가능하겠지만, 시공 중에는 실시간으로 계측 및 막장상태의 변화추이를 확인하는 것으로도 지반상태의 변화를 예측할 수 있다는 점에서 의미가 있다. 그림 3

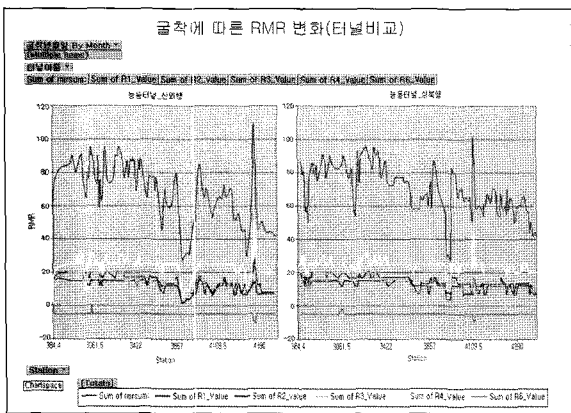


그림 3. 굴착에 따른 RMR값의 변화(국내 OO현장 자료)

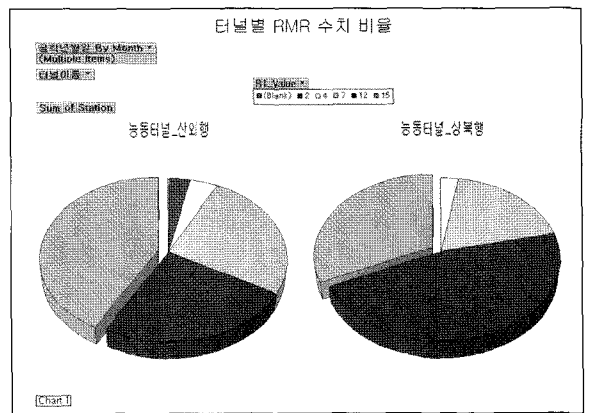


그림 4. 터널별 RMR 등급 비율(5단계 RMR 분류시)

은 현재 온라인 정보화 관리 시스템을 활용하여 시공 중인 터널의 굴착에 따른 RMR값의 변화추이를 나타내고 있다. 또한, RMR의 각요소를 R1-R6로 구분하여 각각의 추이도 같은 차트 안에서 표현하고 있다. 이러한 차트를 통해 시공 중인 구간의 설계 내용과 비교한 암반의 상태를 비교할 수 있으며, 설계 및 시공 중 선정된 굴착 및 지보패턴의 적정성 등을 일차적으로 손쉽게 평가할 수 있는 정보를 제공할 수 있다.

그림 4는 터널 전체 노선의 RMR값의 분포를 파이차트를 통해 표현한 것이다. 즉, RMR값의 범위를 5개로 나누어 구분하고, 각각의 범위내에 속하는 구간의 합을 전체 노선에 대한 백분율로 표현하여 차트화한 것이다. 이러한 분석을 통해 터널의 전체적인 암반상태를 간단하게 확인할 수 있다.

이외에도 록볼트 축력 뿐만 아니라 슛크리트 응력, 지중 응력 등 모든 계측정보에 대한 이러한 차트화가 가능하다. 지보재의 계측결과는 향후 동일구간의 암반등급 및 변위결과와 함께 분석을 통해 합리적인 지보패턴의 제시 및 지보재의 터널거동에 미치는 영향에 대한 연구 등에 현장의 중요한 데이터베이스자료로서 활용되어질 수 있을 것이다.

4.3.2 계측 및 막장정보를 활용한 지반구조 예측

막장관찰 및 계측결과를 합리적인 시스템을 통해 효율적으로 구축하는 것은 그 결과의 활용을 통해 시공에 있어 의사결정에 도움을 주고자 함이다. 이미 터널 선진국인 유럽에서는 터널 계측결과와 활용에 관한 다양한 연구수행중이다. 특히, 터널 내공변위 함수를 이용한 분석, 변위벡터 방향성 등 막장의 특성을 정량화하고 그 결과로부터 막장 전방의 연약대 및 파쇄대 등의 유무를 예측할 수 있는 새로운 기법들에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그림 5는 단절된 막장관찰 mapping자료를 통하여 터널 구간 전체의 Solid모델을 구성하는 예를 보여주고 있다. 최근에 급속도로 발전하고 있는 디지털 처리 기술 등을 사용하여 막장과 막장사이의 미지(unknown)의 정보를 예

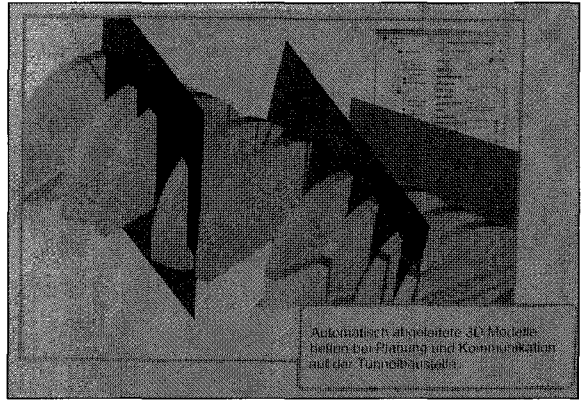


그림 5. 막장계측자료의 이미지 합성을 통한 3차원 모델링



그림 6. 디지털카메라를 내장한 PDA

측할 수 있다는 점에서 활용성이 높다고 판단된다.

이와 같은 연구를 통해 막장관찰의 내용이 얼마나 중요한 의미를 가질 수 있는지에 대한 인식을 가질 수 있다면 현재와 같은 형식적인 계측과 막장관찰의 체계가 보다 용이하게 개선되어 질 수 있을 것이다.

5. 결론

본 고에서는 온라인을 활용한 터널 정보 활용 기술에 대하여 살펴보았다. 이러한 터널 정보 활용기술은 아직까지 개선해야 할 사항이 많고, 기술의 효율적인 활용을 위해서는 현장여건을 고려한 어플리케이션 개발 등이 필수적이다. 마지막으로 보다 안정적이고 경제적인 시공을 위한 온라인 터널 정보화 관리에 대한 몇몇 유용한 시공 중

계측관리 방안을 소개하고자 한다.

1. 온라인 기반의 정보화 관리 시스템도 현장에서 지속적으로 생성되는 정보를 현장의 담당자가 수작업으로 입력하는 것을 현실적으로 쉬운 일이 아니므로, 자동 데이터 취득(Auto Data Acquisition)을 위한 표준 인터페이스(RS232C 시리얼포트 등)를 활용한 계측정보의 온라인 정보화는 가능할 것이다. 모니터 대상의 계측기와 시스템을 연결하여 자동으로 데이터를 취득 저장하고 현장의 담당자는 주기적으로 데이터 취득현황을 모니터링 한다면 데이터의 취득/확보 단계가 편리해지고 그만큼 데이터가 신속하게 취득되어 빠른 분석/대응이 가능해진다.
2. 취득된 데이터는 전문분석가에 의해 분석 후 조치되지만, 그 이전에 자동 분석 및 경고 기능을 추가할 수 있다. 예를 들어 막장정보에서 갱수용수량이 일정 수치 이상이며, RMR값이 지정 범위에 도달한다는 조건에 일치하는 상황이 되면 미리 설정해둔 담당자 그룹에게 SMS 문자 메시지를 자동 전송할 수 있다. 자동분석/경고 기능은 데이터의 자동 취득기능과 같이 구현되면 실시간 모니터링 및 경고 시스템으로 활용가능하다.
3. 야장(Field Note)은 현장에서 기록함이 필수불가결하다. 따라서 막장관찰야장 등은 터널막장에서 종이에 기록한 후 다시 현장사무실 등에서 전산 입력하는 번거로움이 있다. 향후 PDA, Tablet PC, HPC 등 휴대용 장치(Mobile Device)를 도입하면 많은 절차가 단순화 될 수 있을 것이다(그림 6 참조).¹⁾ 장착된 디지털 카메라를 사용하여 막장사진을 촬영하고, 스타 일러스펜을 사용하여 촬영된 막장사진에 부가적인

정보(그림, 메모)를 추가할 수 있을 것이며, 여러 가지 막장정보는 COMBO박스의 항목 선택 등을 통하여 손쉽게 입력되며, 터널 내부에 구축된 무선랜 AP²⁾를 통하여 즉각적으로 서버에 전송된다. 이와 같이 프로세스가 개선된다면 종이 기록 후 전산입력하는 과정이 전산입력으로 단일화 되어 작업효율의 비약적인 향상이 기대된다.

참고문헌

1. 김창용, 2001, 도심 터널 굴착에 따른 인접구조물 손상평가, 한국터널공학회지-터널기술, Vol. 3, No. 4, pp. 46~59.
2. 김창용 외, 2004, IMS를 활용한 효율적인 시공관리, 한국지반공학회 봄 학술발표회 논문집
3. 대한토목학회, 1998, 터널공학 분야의 기술개발현황과 미래 수요 예측 및 개발전략, p. 72.
4. 한국건설기술연구원, 1993-1996, 지하생활공간 개발 요소 기술연구(Ⅰ),(Ⅱ),(Ⅲ),(Ⅳ), 정책연구보고서.
5. 한국고속철도건설공단, 1995, 고속전철 기술개발을 위한 연구기획, p. 449.
6. 홍성완 외, 2002, 3차원 가시화 기법을 이용한 터널설계, 한국지반공학회 봄 학술발표회 논문집, pp.759-766.
7. Kim C. Y., Bae G. J., Hong S. W., Park C. H., Moon H. K. and Shin H. S., 2000, Neural Network Based Prediction of Ground Surface Settlement due to Tunnelling, Computers and Geotechnics, 28, 517-547.
8. Grossauer, K., Schubert, W., Kim, C.Y. 2003, Tunnelling in heterogeneous ground-stresses and displacements. Proceedings of the 10th ISRM Congress, South Africa.
9. Kumar J. K., Konno M. and Yasuda N., 2000, Subsurface soil-geology interpolation using fuzzy neural network, J. Geotech. and Geoenviron. Engineering, 126 (7), 632-639.
10. Kinnicutt P. G. and Einstein H. H., 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.

f. 토목/건축 회사인 Black & Veatch Corporation 에 대하여 유사한 사례가 발표된 바 있다.
(Microsoft CASE STUDY Black & Veatch Corporation, 2002) http://www.microsoft.com/korea/windowsxp/tablet/evaluation/casestudies/black_veatch.asp

2. AP(Access Point) : 무선 네트워킹을 위한 허브, 현재 상용화된 무선랜의 도달거리는 100미터에 이르며 지속적으로 증가할 것으로 예상된다.