

Tunnelling Technology

터널계측의 기술현황



김영배
케이앤씨컨설턴트(주)
부사장



조용량
케이앤씨컨설턴트(주)
사장

1. 서론

시공 중 및 시공 후의 터널계측관리는 터널노선에 대한 사전지질조사 및 주변구조물 현황을 조사분석하여, 터널 굴착에 따르는 터널주변 원지반 및 지보재의 변위응력변화를 파악하여, 설계 및 시공의 안정성과 경제성을 확보하고 설계시의 각종 조사자료와 비교분석하여 실제현장 조건에 부합되도록 설계를 수정 및 보완하는데 있다. 터널 계측의 주된 목적은 지반의 거동관리, 지보공효과의 관리, 안정상태의 관리, 근접구조물의 안전성 확인, 장래 공사계획의 자료축적, 설계 및 시공의 경제성 도모로 정리 될 수 있다. 현재 국내 터널굴착은 NATM개념에 입각하여 시공되고 있으며, 시공중 터널 계측을 통한 터널 굴착 주변지반의 거동을 파악하고, 이를 분석하여, 굴착방법이나 지보방법의 보조공법을 변경 도입하여 시공하도록 하고 있으나, 터널설계 단계에서의 시추 및 지표지질 조사, 탄성과 탐사와 같은 정밀탐사의 불충분함과 더불어

계측자료의 충분한 분석 및 축적이 제대로 이루어지지 않고 있는 실정이다. 이러한 결과로 인하여 터널시공 중에 다수의 사고경험과 더불어 현재시점에서도 터널시공에 있어서 대부분의 자료들이 사장되어 활용되지 못하고 있으며, 터널계측의 중요성을 제대로 인식하고 있지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본고에서는 현재 일반적인 터널계측의 문제점과 새로운 IT기반의 기술적 계측기법에 대해 소개하고자 한다.

2. 터널계측의 일반과 문제점

2.1 터널계측 일반

2.1.1 터널계측의 목적

터널계측에 있어서 가장 중요한 목적은 계측을 통해 안전한 시공과 현장여건에 맞는 설계가 이루어 질 수 있도록

기술강좌

터널계측의 기술현황

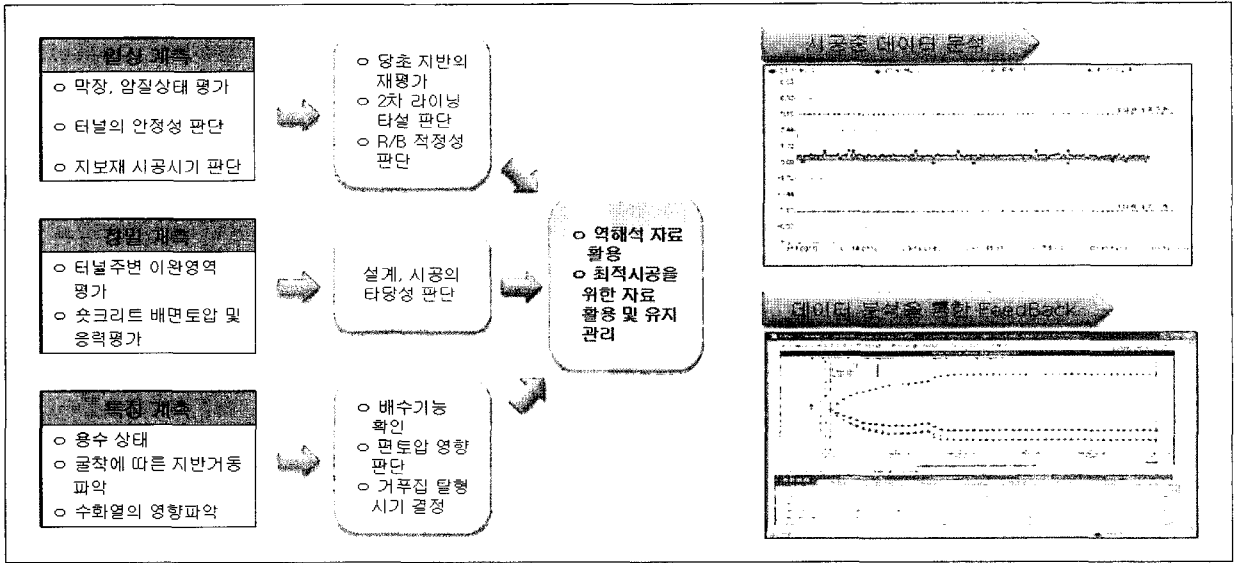


그림 1. 터널 계측의 목적 및 활용

록 하는 것이다. 시공전의 기초적이고 광범위한 지반조사 만으로는 지반의 복잡한 특성을 사전에 정확히 파악하여 설계하고 시공하기에는 역부족이기 때문에 이러한 불확실한 요인을 시공현장 및 과거의 Data를 통해서 시공현장의 암반의 특성 및 지보재의 지속적이고 체계적인 계측을 통해 확인하여 이를 설계, 시공에 반영하는 것에 있다. 즉 터널에서 지반 및 지보재의 하중-변형 특성과 상호작용을 정확히 파악하여 터널 굴착시 대상 지반의 위험요인을 제거하여 안정성을 확보하는데 근본적인 목적을 두고 있는 것이다.(그림 1 참조)

터널 굴착공사에 의한 터널공사 수행시 계측은 터널 자체의 안정성과 주변 구조물에 대한 영향을 평가하는데 중요한 역할을 한다. 또한 이러한 계측 결과물을 토대로 공사에 대한 자료를 축적하고 데이터 공유를 함으로서 터널 시공에 따른 지반의 거동이나 암반 거동을 사전에 파악함으로써 더욱 안정성을 확보할 수 있다. 안정성확보를 위한 계측을 통해 파악해야 하는 내용은 굴착부주변의 지반 거동양상, 각 지보재의 지보효과, 주변구조물에 대해 미치는 영향 등이다.

2.1.2 터널계측의 종류

터널공사에서 계측은 일상관리계측(막장관찰, 지표침하, 내공변위, 천단침하)과 대표단면(정밀계측)계측(지중변위, 록볼트축력, 숏크리트응력), 유지관리계측(간극수압, 라이닝응력, 토압 등)으로 구분된다.

1) 막장관찰

일반적으로 터널의 막장상태를 암반의 공학적 분류인 RMR과 Q시스템을 근거로 하여 Mapping이 이루어지며, 매 막장마다 또는 1일 1회 이상 관찰하여, 불확실한 지반 설계의 문제점을 시공에 반영할 수 있는 매우 중요하며 기본적인 기초자료이다.

2) 내공변위계

막장 굴착 후 가능한 초기에 최종변위량을 예측하고 안정성을 검토하여 1차 지보재의 추가여부를 판단하고, 하반굴착 등에 의한 1차 지보재의 안정성 판단자료로 이용한다. 광파측정기를 이용하여 광파타겟의 변위를 측정하며 2차원 또는 3차원으로 데이터를 관리한다.

기술강좌

터널계측의 기술현황

3) 천단침하계

특히 지형 및 지질적으로 고결도가 낮은 지층이나 토피가 얇은 경우 및 단층 등의 붕괴가 일어나기 쉬운 장소에서는 중요한 계측으로서 내공변위 측정과 함께 주변지반의 안정성 확인 및 록볼트, 슛크리트의 지보효과를 파악하기 위한 계측이다. 측정방법은 내공변위와 동일하다.

4) 지표침하계

터널굴착에 따른 지표면변위를 측정하여 지상 주변구조물의 안정성 확인 및 침하대책 등의 효과를 파악하여 안정시공을 도모하기 위한 계측이다. 침하예상지점에 핀을 설치하고 레벨을 사용하여 계측한다.

5) 지중변위계

터널의 반경방향 변위를 측정하여 터널 주변지반의 이완영역 범위를 판단하여 설계 및 시공의 타당성을 검증하고, 록볼트 길이의 적정성을 판단하는데 이용한다.

6) 록볼트 축력계

록볼트에 발생하고 있는 축력크기와 그 분포 상황으로부터 록볼트의 지보효과를 파악하고 록볼트의 길이, 타설간격 및 록볼트의 내력의 타당성을 판단하는데 사용된다. 전면접착식 록볼트는 설치시에는 무응력상태이고 그 후 지반의 이동으로 록볼트에 응력이 도입된다. 이와 같은 록볼트 각 지점의 축력을 측정함으로써 록볼트의 증설여부와 느슨해진 영역을 파악하여 록볼트의 적정길이를 판단한다.

7) 슛크리트 응력계

스�크리트 라이닝인 일차복공의 안정성 및 콘크리트라이닝인 이차복공의 두께와 시공시기 등을 결정하는데 중요한 역할을 하며, 한 단면에 대하여 두 방향으로 측정한다. 첫째, 원지반과 슛크리트 경계면에 센서를 매설하여 슛크리트에 미치는 배면토압을 측정하는 터널 반경방향

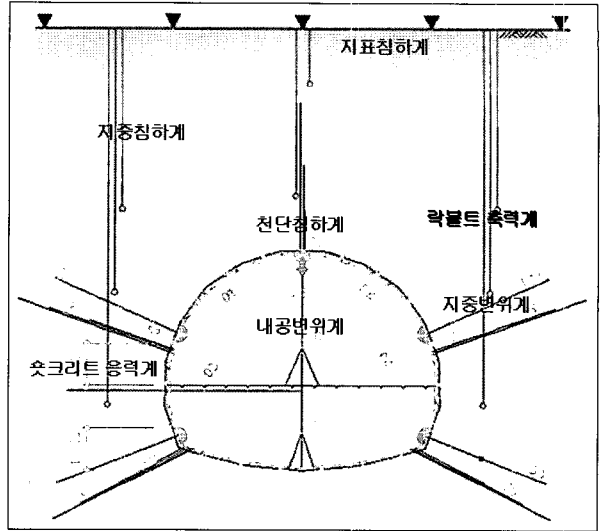


그림 2. 시공중 도심지 터널계측의 단면도

(Radial) 응력측정과 돌재, 슛크리트 두께방향으로 매설하여 슛크리트 파괴를 감시할 목적으로 시행하는 슛크리트 접선방향(Tangential) 응력측정이 있다.

8) 유지관리 계측

일반관리계측과 대표단면계측으로 구분할 수 있으며, 일반관리계측은 유지관리대상의 전구간에 시행하는 주로 터널의 전반적인 안전성 확인을 위한 계측이며, 대표단면계측은 설계 시공상의 불확실한 요소가 내재되어 있거나 외력조건의 변화가 예상되는 등 특수조건을 갖는 위치에서 수행하는 계측으로 간극수압계, 라이닝 응력계, 토압계 등이 설치된다.

표 1은 터널공사시 수행되는 계측항목 및 판단내용을 나타낸 것이다.

2.2 터널계측의 문제점과 개선방향

토목현장의 전 분야에서 건설계측의 활용이 일반화되고 있으나, 과학적인 건설시공 및 유지관리 체계 구축을

표 1. 공사중 계측항목 및 판단내용

계측항목		내 용
일상 관리 (A) 계측	갱내관찰	• 막장의 안정성, 지질상황, 용수상태, 기 시공구간의 상황을 판단하여 지반 구분의 재평가 및 지반상황과 지반거동의 상관성, 막장 이후의 지반상황을 추정
	지표침하	• 지표면의 침하 및 융기를 측정하여 터널굴착의 영향범위, 터널 상부지반의 안정성, 주변 구조물체의 영향을 평가
	내공변위	• 터널 벽면간 거리변화, 변위속도를 파악하여 주변 지반의 안정 및 지보재의 효과, 콘크리트 라이닝의 타설시기를 판단
	천단침하	• 천단침하를 측정하여 터널 천단부 및 주변지반의 안전성을 판단
대표 단면 (B) 계측	록볼트축력	• 록볼트 축력을 측정하여 록볼트의 길이, 개수, 위치, 정착방법의 타당성을 판단
	숏크리트응력	• 숏크리트의 접선 및 반경방향의 응력을 측정하여 숏크리트의 두께, 시공시기의 타당성 및 단면폐합에 의한 효과를 판단
	지중변위	• 터널 갱내에서 측정하는 변위로 터널 주변지반의 이완영역, 록볼트 길이의 타당성, 지중 변형분포를 판단
	지중침하	• 지상에서 측정하는 터널 주변지반의 연직변위로 굴착이전에 대한 지반거동의 안정성을 판단

위한 공중별 시방기준과 시설물 유지관리 등의 계측기준은 거의 없고, 관련 건설계측기술의 육성 및 관리에 관한 법률 규정이 없어 계측업체의 저가 하도급 및 저급기술자 투입 등으로 건설계측의 기술발전에 많은 문제점이 있는 것이 현실이다. 또한 계측업체의 난립으로 과도한 경쟁, 무분별한 저가투찰로 계측기술수준의 저하가 우려되고 있고, 제대로 검증되지 않은 계측기자재와 서로 다른 계측측정기기의 정밀도 차이 등으로 인해 계측측정치의 신뢰도가 저하되고 있으며, 계측기의 손망실과 계측 분석비용을 반영해주지 않아 해당분야 전문가에 의한 합리적인 계측분석이 곤란한 실정이다.

특히, 터널의 현장계측은 특히 다른 토목분야에 비해 협소한 공간에서 계속되는 터널시공 사이클에 맞춰 계측관리를 해야 하므로 상당히 열악한 환경에서 이루어진다. 다음은 터널 계측현장에서 실제로 문제가 되고 있는 계측방법에 대해 서술하고자 한다.

1) 막장관찰(Face Mapping)

발파 후 매 막장마다 실시하는 막장관찰은 터널계측의 항목 중 상당한 전문성이 요구되고, 변위량 및 응력분포의 계측결과를 판단해 터널의 안정성과 자립상태 등을 파악할 수 있는 근거자료가 된다. 그러나, 주관적인 암석강

도의 배점, 세밀하지 못한 불연속면의 평가 등으로 기존 설계타입을 유지하기 위한 RMR 총점의 인위적인 조정과 RMR 배점 조정을 통해 주관적인 암반분류가 되고 있는 실정이다. 이를 효율적으로 개선하기 위해서는 RMR의 통일된 평가체계 마련과 정량적인 측정 및 평가를 위한 세부 지침이 마련되어야 하고, 일정 자격 및 일정 교육을 이수한 막장관찰 기술자의 수준과 조사환경이 개선되어야 할 것이다. 향후 터널 준공시에 막장관찰을 근거로 터널 전단면의 지반상태를 총괄하며 파노라마식의 사진이나 영상 등을 공학적으로 형상화한다면 터널유지관리시 많은 도움이 되는 될 것이며, 이러한 자료들을 활용하도록 하는 규정을 제도화하는 것이 바람직할 것이다.

2) 내공변위, 천단침하 계측

내공, 천단 계측기의 설치는 발파 후 실링 숏크리트가 타설된 직후에 설치하여야 하며, 늦어도 다음 막장굴착이 진행되기 전에 초기치를 측정하여 터널굴진에 따른 변위를 최대한 측정하여야 한다. 그러나, 발파 등의 인해 계측기의 손망실이 빈번하므로 재 위치에 설치되지 못하거나 설치시기의 지연으로 인해 초기 변위량을 잃어버리는 경우가 많고, 계측 Data의 연속성이 결여되어 터널의 안정성 판단에 곤란을 겪은 것이 일반적인 현실이다. 최근에

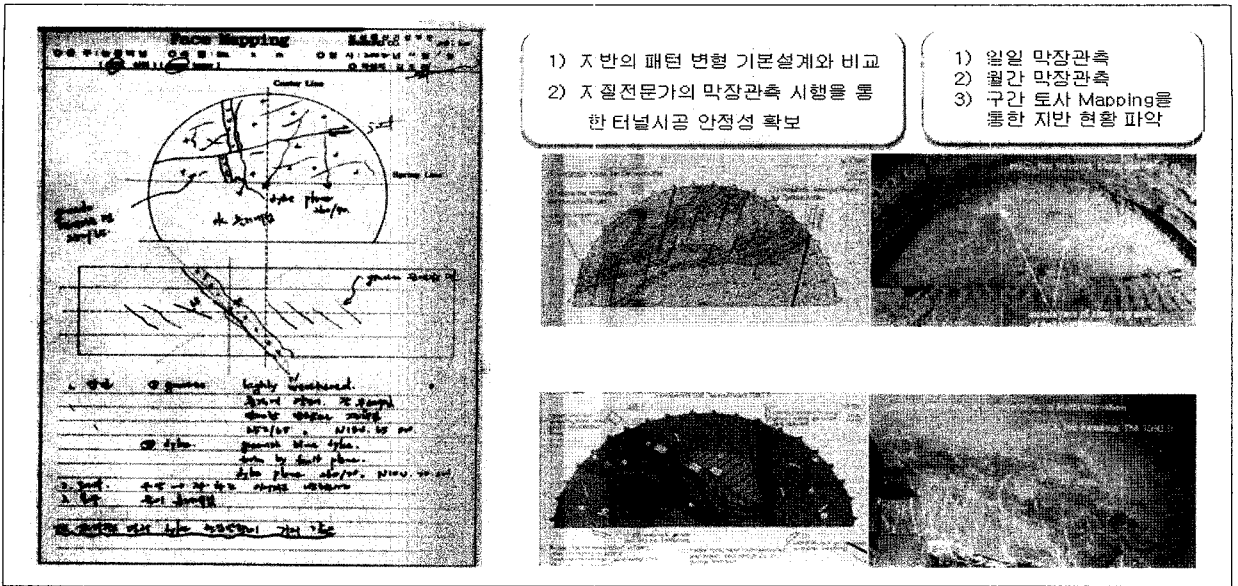


그림 3. 지반전문가의 막장관찰

는 이러한 문제점을 개선하기 위해 발파의 영향에도 파손되지 않으면서 초기상태로 복원되는 장치가 부착된 내공, 천단 계측타겟이 점차 개발되고 상용화되어 초기치를 제대로 확보할 수 있게 되었다.

3) 대표단면(지중변위, 록볼트축력, 슛크리트응역)계측

과거에는 대표단면계측시 다이얼게이지를 이용한 수동식 터널계측방법은 천단부나 상부측벽부의 계측시 관리에 어려움이 있었다. 그 후 신호케이블이 부착된 진동현식 및 전기식 센서의 발달로 계측관리가 수월해져 많이 활용되고 있다. 예전에 비해 계측센서의 성능이 많이 좋아졌다고는 하나 터널의 발파로 인한 소음과 진동 등 열악한 터널환경의 영향으로 인해 민감한 센서가 오작동을 일으키는 경우를 발견되는 등 보완해야할 부분도 많다. 첨단IT 기술환경의 발달로 인해 계측센서가 점점 더 표준화, 소형화되고, 감도와 정확도가 높은 센서가 지속적으로 개발되고 있으며, 특히 압력과 가속도 등에 응용할 수 있는 MEMS(Micro Electro Mechanical System 초소형전자기

계 시스템)센서의 개발이 대표적인 경우이다. 또한 ZIGBEE, RFID, WIBRO 등의 무선을 이용한 통신계측기술이 응용되면서 불량한 터널환경에서도 각 센서들끼리 송수신하며 물리적 변화량을 전달해주는 터널계측기술이 점차 개발되고 있다.

3. 터널계측의 자동화기술

3.1 터널의 자동화계측 현황

터널의 시공 중에는 자동화로 측정할 수 있는 항목은 3D광파기를 이용한 내공변위측정, 천단침하측정이 있고, 계측센서들을 이용한 록볼트축력측정, 지중변위측정, 슛크리트응력측정, 감지보공의 응력측정 등이 있다. 그러나 이중에서도 3D 광파기를 이용한 내공변위측정과 천단침하측정은 센서들을 이용한 측정과는 별개의 시스템을 가져야만 하며, 3D 광파기를 이용하여 자동화계측이 가능

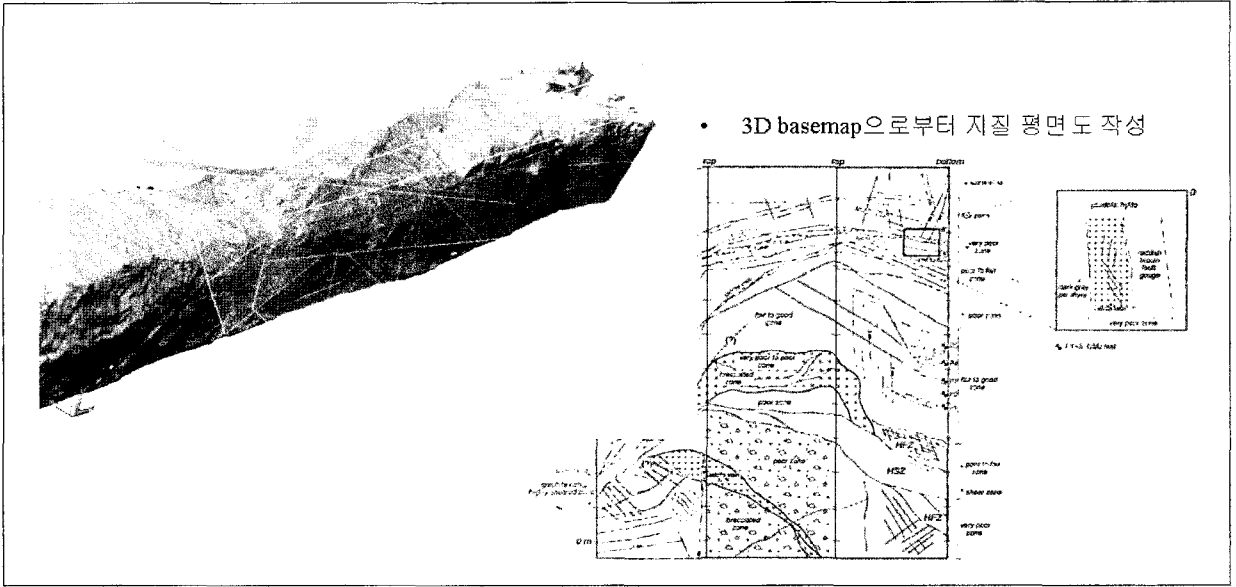


그림 4. 레이저스캐너를 이용한 정량적 Mapping

하다 하더라도 광파기 자체의 기준점 자체가 변하기가 쉬우므로 수많은 보정이 필요하여 사실상 오차가 크다고 할 수 있다. 센서들을 이용한 자동화측정 역시 설치시점이 공정진행에 따라 설치되어야 하며, 센서에서부터 로거까지의 배선처리가 쉽지 않은 실정이다. 원활한 배선처리가 이루어졌다 하더라도 시공 중 발파, 장비 이동, 슛크리트 타설 등에 의한 파손이 잦으므로 보수시간이 많이 필요할 뿐만 아니라, 노이즈 발생으로 인한 계측 데이터 역시 오차가 많이 발생할 수 있다. 따라서 시공 중 우선자동화 계측에 의한 데이터 수집은 현재 다소 비효율적으로 시행되어 왔다고 볼 수 있다.

3.2 터널의 자동화 계측시스템 개요

자동화 계측 시스템은 시공중에 발생하는 이상변위를 즉시 인식하고, 터널의 안정성을 위한 보강작업의 시행여부 및 방법, 위치 등에 대한 판단자료를 원활하게 제공하기 위해서 수행한다. 따라서 터널의 자동화 계측 시스템

은 계측기의 선정, 계측위치 결정, 센서의 선택, 배선방법, 시스템의 구성, 통신방법, 데이터의 수집 등의 과정이 가장 중요하다고 할 수 있다. 자동계측을 수행하기 위해서는 가능한 최소한의 측정항목으로서 효율적인 관리를 하는 것이 중요하며, 시스템이나 배선작업 등이 간편한 것이 좋다. 또한 설치시 주변환경 여건을 세밀하게 살펴 시스템을 구성해야 한다. 예를 들면 자연적인 재해에 의한 낙뢰방지, 고압전류에 의한 신호방해, 케이블의 선택 등을 검토하여, 계측신호에 대한 노이즈현상을 최대한 방지해야 한다. 또한 로거는 다루기 쉽고, 손쉬운 측정으로 원거리 자료전송, 원격제어 등이 가능한 장비를 이용하여 데이터의 정확도를 높일 수 있어야 하며, 데이터 수집 및 분석시간을 줄일 수 있도록 하는 것이 좋다. 또한 이렇게 수집된 데이터는 프로그램에서 바로 처리되어 그래프로 쉽게 알아 볼 수 있고, 설정된 한계치를 초과했을 경우에는 경보를 발생하여 계측 담당자가 이상 유무를 감지할 수 있도록 하는 것이 좋다. 이 밖에 시스템 및 계측기에 공급하기 위한 전원공급 장치는 필수적이며, 통신을 어떤

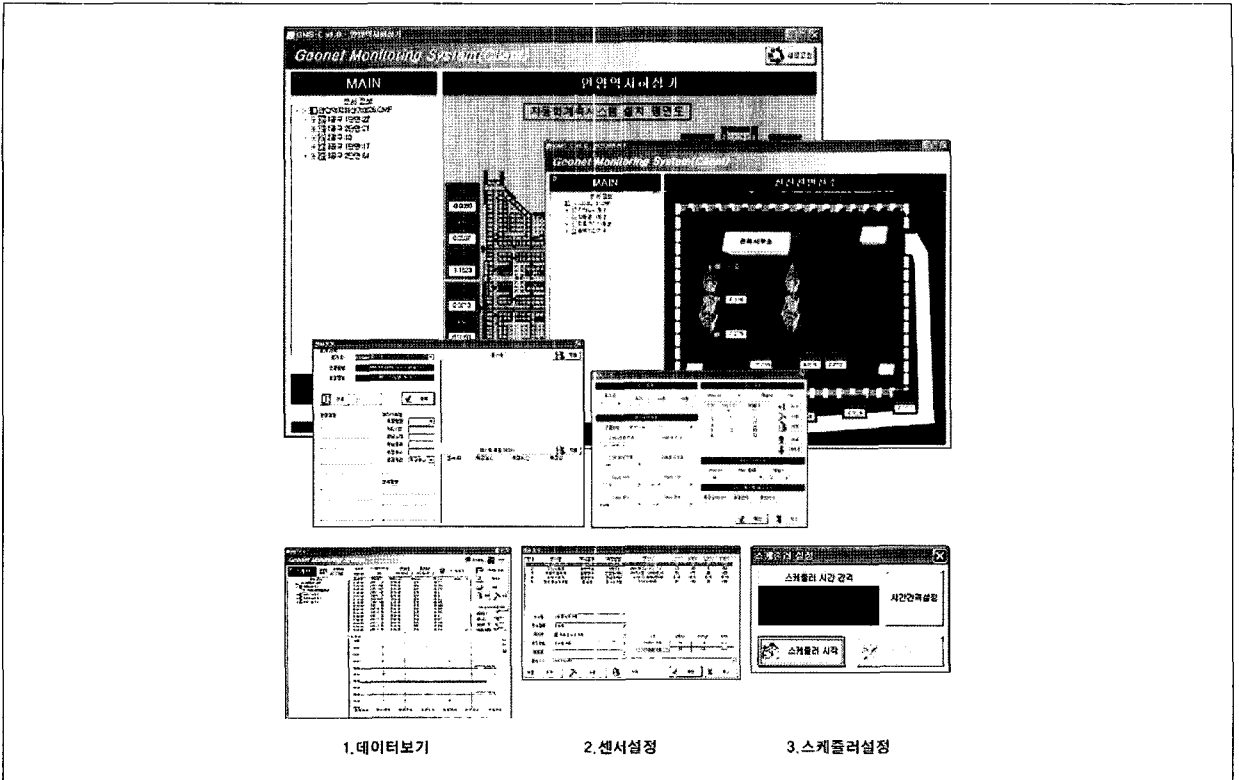


그림 5. 자동화 계측용 응용소프트웨어 및 네트워크 구축

한 방식으로 할 것인가를 선택하는 것도 중요한 일이다.

3.3 터널의 자동화 계측시스템의 적용

터널공사시에는 여러 가지 주변 환경의 영향을 받으므로 자동화 계측시스템의 적용시 각 현장의 여건에 맞는 자동화 계측 시스템 적용이 필요하다. 자동화 계측시스템은 기본적으로 Sensor, Data Logger, Multiplex Module-Bus Cable, 컴퓨터로 구성된다. 이 외에 Multiplex Module에 전원을 공급하기 위한 파워 서플라이가 있다. 컴퓨터에서 계측에 관한 정보를 입력한 후 Data Logger로 전송하면 Data Logger에 입력된 정보에 따라 계측명령을 Multiplex Module에 전송하면 Multiplex Module은 그에 따라 계측을 수행하여 센서의 계측 데이터를 Data Logger

에 전송하고 이는 다시 현장 컴퓨터로 전송된다. 현장 컴퓨터에 저장된 데이터는 설정된 일정한 시간간격으로 중앙 데이터베이스에 전송되며, 또는 웹 서버에 접속하여 실시간으로 웹 페이지를 통하여 데이터 및 그래프를 볼 수 있다. Data Logger는 계측데이터를 메모리에 저장하고 한계값을 초과하면 벨이나 무선호출을 할 수 있으며 Data Logger를 원격에서 조절함으로써 현장에서 무인으로 모든 계측이 이루어 질 수 있다.

3.4 터널계측의 자동화 신기술

3.4.1 IT 기술기반으로 한 자동화계측 도입배경

터널시공 중 자동화 계측의 경우 기존의 수동계측과 비교해 보면 많은 장점을 가지고 있으나, 시스템 하드웨어

(Hardware)의 도입과 함께 토목현장에 전자기술의 접목은 기존의 전자기술이 청정지역을 필요로 한다는 점을 감안해 볼 때 새로운 문제점을 양산하고 있다.

전자장비가 청정하지 않은 터널시공환경 즉 발파에 의한 파손 및 터널 천공장비의 전자기장에 의한 노이즈 발생 및 그라운딩의 어려움 등으로 인해 지속적인 데이터 획득의 어려움이 있다. 또한 터널시공장비에 의해 데이터 로깅을 위한 자동화장비 파손율이 대단히 높기 때문에 계측의 연속성이 많이 발생하게 된다. 그외 여러 가지 영향으로 인한 노이즈(Noise)로 데이터의 불확실성, 그리고 신호케이블(Signal Cable)이 터널 전체에 설치되어 있음으로 터널시공환경(발파 외 기타 장비의 이동)에 의한 잦은 파손 등으로 인한 유지관리의 어려움 등으로 오히려 기존의 수동계측보다도 못한 결과를 가져오기도 하였다.

거리 신호케이블 포설 작업과 이로 인한 노이즈 과다 발생 및 터널 시공 중 잦은 파손으로 인하여 연속적인 계측 데이터를 획득하기 어려운 환경적, 전기적 특성을 내포하고 있다. 터널유비쿼터스시스템(TUMS)은 터널의 시공중 특성을 고려하여, 전체 시스템을 LAN에 의한 근거리통신망과 CDMA의 원거리 통신망으로 무선화함으로써 장거리 신호케이블 포설작업이 필요하지 않으므로 자동계측시스템의 시공성을 높여 단기간의 설치가 가능하고, 릴레이 무선통신으로 노이즈 발생원인을 사전에 제거하므로 계측데이터의 신뢰성을 향상시켰다. 터널유비쿼터스시스템은 최신 무선장치와 데이터로거의 단순한 구조로 오류발생시 신속한 복구가 가능하며, 무선노트북이나 PDA의 인터페이스를 통하여 터널내 현장에서도 실시간으로 검측할 수 있다. 또한 통합 데이터베이스 구축으로 모든 데이터는 실시간으로 서버로 전송되고 인터넷을 통하여 계측정보를 다수 관찰자에게 제공할 수 있는 실시간 모니터링 기능과 정보체계를 구축하고 있는 최신 IT기술을 적용한 통합무선화 시스템이다.

3.4.2 TUMS (Tunnel Monitoring System based on Ubiquitous) 신기술
기존 유선방식 자동계측시스템은 터널길이 만큼의 장

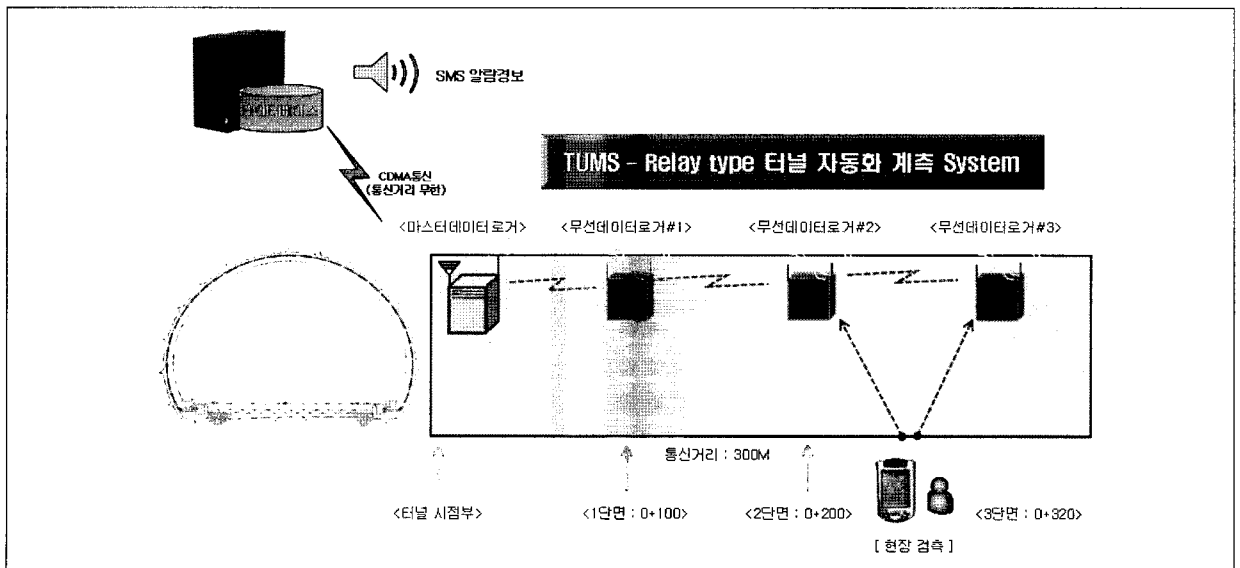


그림 6. TUMS 릴레이 무선통신 자동계측시스템 구성도

4. 터널계측의 신기술

4.1 막장전방 선행침하 측정시스템

터널굴착에 따른 막장선행침하 측정은 전방막장지반의 지질변화를 사전에 파악하기 위한 것으로서 굴착에 따른 선행변위를 미리 파악하고 조기에 초기치를 확보하여 굴착에 따른 적절한 시공 및 품질관리를 하고자 함이 주목적이며, 주요지점의 정확한 설치와 설치 후 연속적인 침하변위자료 획득이 매우 중요하다. 본 시스템의 도입은 터널굴착에 따른 선행침하변위를 실시간(Real Time)으로 수행하여 막장전방지반 예측이 가능하도록 하며, 역해석 기법을 통해 다양한 시공방법 등을 제공할 수 있다.

4.2 수직이동형 자동경사시스템(MPI, Moving Place Inclinator)

터널의 갱구부, 계곡부, 사면 등 절토부의 침하 및 수평변위가 예상되는 중요한 지점은 자동화계측시스템에 의한 계측관리가 필수적이다. 본 수직이동형 자동경사시스템은 기존의 인력에만 의존하던 수동경사계 계측방식

의 문제점과 이를 발전시킨 일반자동경사계측(다량의 고정형센서 방식)의 문제점을 크게 보완한 첨단 지중경사 측정시스템이다. 기존의 일반자동계측시스템(IPI)은 많은 숫자의 센서를 심도에 맞도록 제단하여야 하고, 한번 설치된 이후에는 설치심도가 고정되고, 하부센서 고장시 전체 변위값의 오류가 나타나는 등 많은 문제점이 노출되어 왔다. 본 시스템은 고정밀의 기울기감지센서를 적용하고 경사계 천공 홀 상부에 설치되어 심도에 따라 0.5m간격으로 세팅되어 자동으로 수직이동을 하며 데이터를 측정하는 방식으로, 설치심도 및 설치간격에 무관하게 정밀한 지중수평변위를 측정할 수가 있는 특징이 있다.

또한 다채널의 자동로거가 내장되어 지중수평변위 이외의 다른 계측 Item을 별도의 자동화시스템 구축없이 단위 현장 전체를 자동화할 수 있는 잇점이 있다. 기존의 일반자동경사계측시스템(IPI)은 고정방식으로 심도가 증가함에 따라 많은 센서가 설치되어 비경제적이며, 저렴한 센서사용으로 고정밀도를 구현하기 어렵고 A/S시 비용이 많이 든다. MPI 시스템은 1개의 서보가속도계 타입의 센서를 적용하여 심도에 관계없이 자동으로 측정함으로써 일반자동경사계측시스템(IPI)이 가지고 있는 한계점과 비효율성을 극복하고 데이터의 정밀도를 향상시킨 능동형

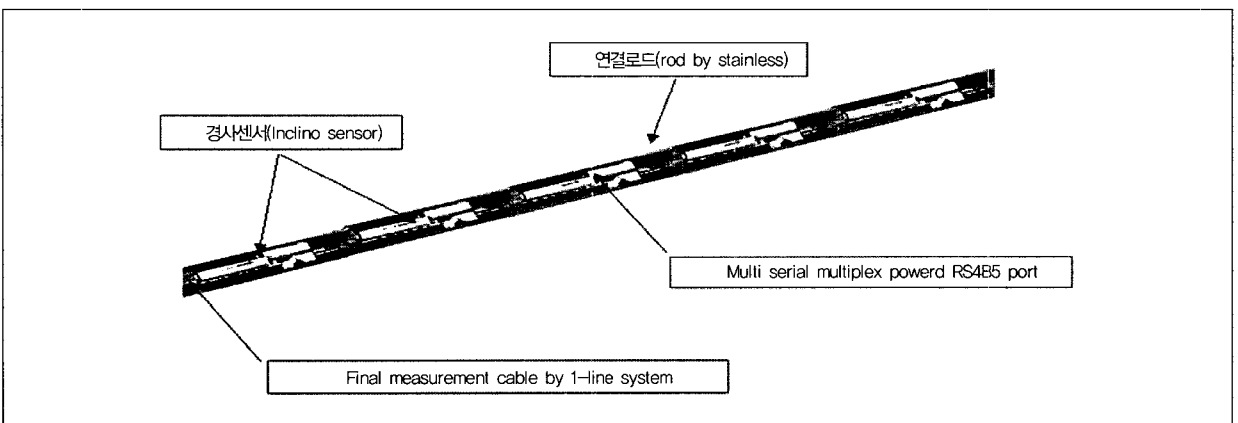


그림 7. 터널굴착에 따른 선행침하 자동계측시스템의 구성

기술 강좌

터널계측의 기술현황

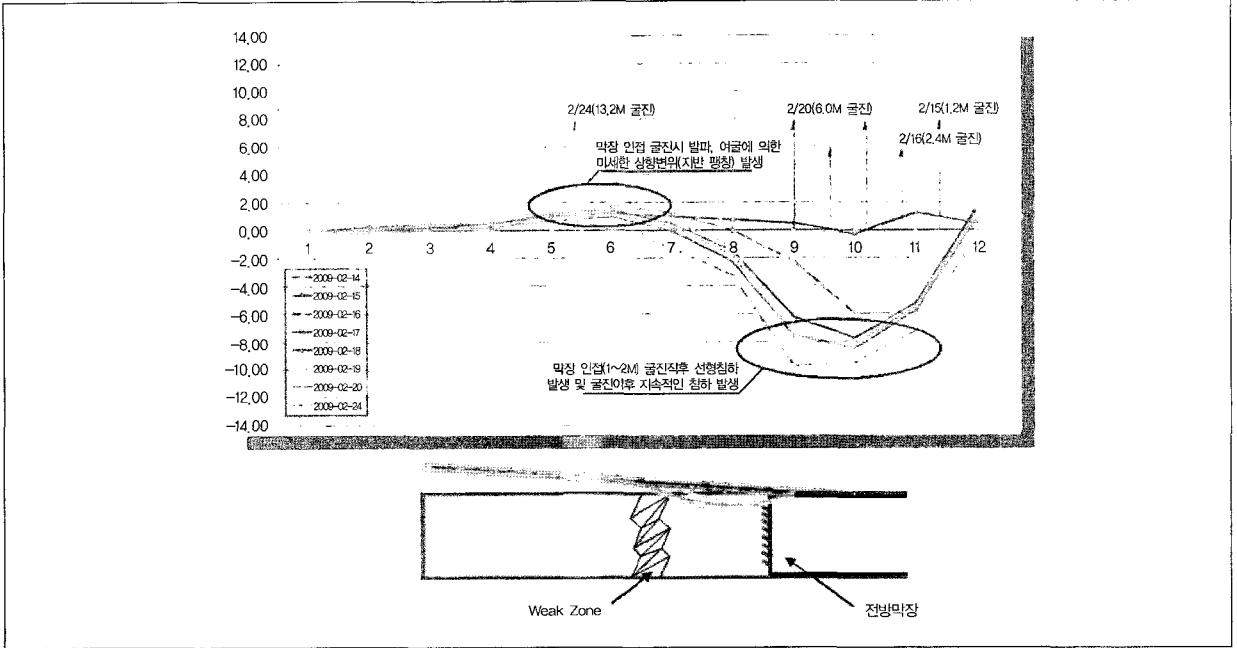


그림 8. 터널선형침하 자동시스템의 계측분석 사례

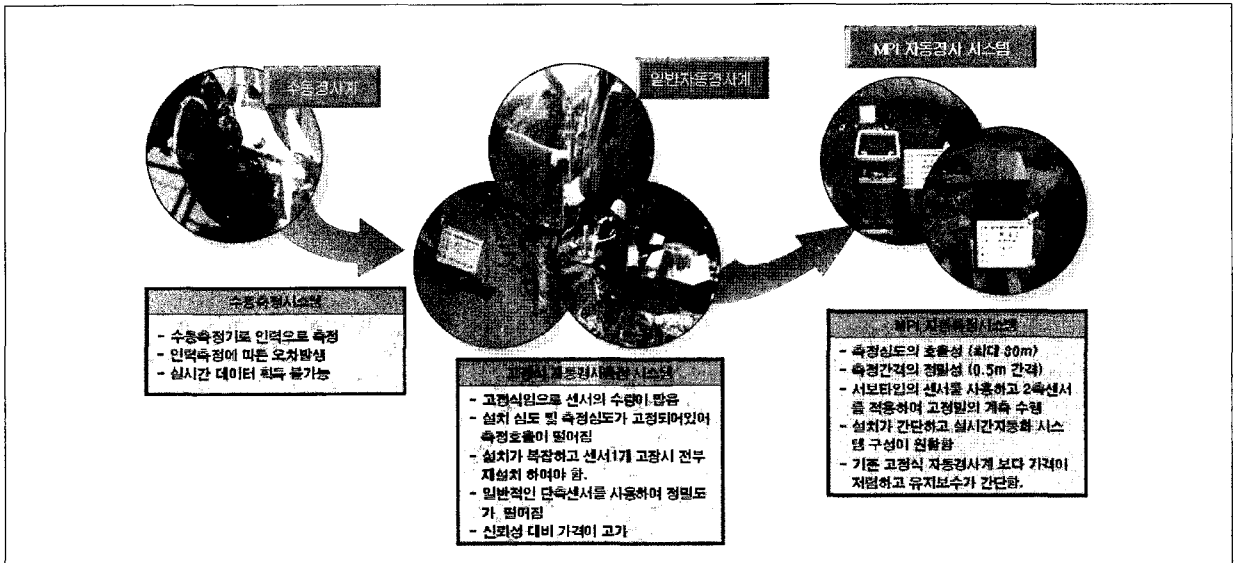


그림 9. 자동경사 측정시스템의 변화

장치시스템으로 측정데이터를 CDMA무선통신으로 송수신하는 분석시스템을 활용하여 실시간 모니터링과 정보를 구축할 수 있는 최신의 IT통합장치시스템이다.

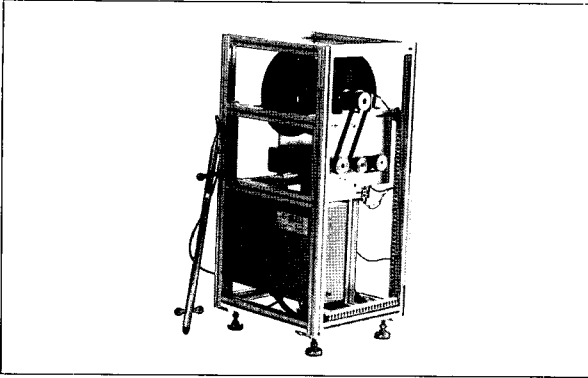


그림 10. MPI자동지중경사계

주는 시대가 곧 다가올 것으로 예상된다.

하지만, 근본적으로 터널계측을 수행하면서 “계측을 해서 무엇을 할 것인가, 어떻게 활용할 것인가” 하는 문제에 대해 앞으로도 항상 고민을 해야 한다. 이는 터널계측의 활용에 대한 문제, 즉 계측결과를 이용한 현장의 역해석 확대와 현장의 대응방안이 더 체계적으로 제시되어야 할 것이며, 지속적인 연구개발을 통해 터널현장의 안전한 시공과 원가절감에 중요한 대안으로서 터널계측이 제 역할을 다하여야 할 것이다.

5. 결론

NATM터널의 발달에 따른 터널계측은 약 25년여전 수동식계측기가 도입된 이후 터널의 열악한 환경에서 정확한 데이터를 열악한 연고자 수많은 노력과 시행착오를 거듭하며 유, 무선 계측자동화의 시대를 이끌어 왔고, 우리나라의 전자, 통신 등 IT기술의 발달과 더불어 이를 응용한 국산계측 신기술의 발달은 세계에서 그 성능을 인정받고 있다. 향후에는 감성을 지닌 고감도 능동형계측센서가 서로 간에 교신하며 데이터 네트워크를 구성하고 계측결과를 수집, 분석, 판단하여 터널현장의 안전여부를 알려

참고문헌

1. 우종태, 2006, “터널계측의 이론과 실무”.
2. 우종태, 2008, “건설계측공학”.
3. 김광염, 김창용, 2006, “국내 터널시공중 막장지질조사의 문제점 및 개선방안에 관한 연구”.
4. 우종태, 김영배, 2005, “유비쿼터스 개념을 이용한 토목계측 데이터 자동송수신 시스템 개발”.
5. 케이엔씨 컨설턴트(주) 2008, “터널계측의 현재와 미래”.
6. (주)지오넷, 2005, “유비쿼터스를 이용한 터널 자동계측시스템”.
7. (주)넥스지오, 2009, “레이저스캐너를 이용한 터널 시공품질 관리”.