

특 집

신 건설기술 개발

토목공사 안전을 위한 자동계측 시스템 Automatic Measurement System for the Safety in Construction of Civil Engineering



신 동 우*



정 상 용**

1. 개 요

신설 구조물을 기존의 주요 구조물에 인접하여 시공하거나 연약지반에서 시공할 경우 지반의 거동을 정확하게 예측하기란 불가능하다. 일반적으로 최초 설계시 가정한 토성값 및 지반조건이 실제와 일치하지 않으므로 이에 대한 수정과 보완이 필요하게 된다. 이때 근거 자료로서 계측에 의한 실측값을 사용하게 되는데 이를 위해 각 구조물별 필수 계측항목, 계측 기자재의 종류 및 사용법, 계측관리 시스템의 구성을 알고 있는 것이 중요하며 어떤 관리기준치에 따라 현재 상태의 위험정도를

판단할 것인가 하는 점과 얼마만큼의 보강을 해야 할 것인가를 정하는 것이 필요하다.

2. 현장계측의 목적 및 계측시스템의 구성

2.1 현장계측의 목적

토류 구조물을 설계하는 경우 사전조사로서 토층의 두께, 깊이, 지하수위, N값 측정, 토질의 확인, 보령공 내 수평재하시험, 채취된 시료의 일축 삼축 압축 시험 등을 한다. 또한 설계정수를 결정하고 토류 구조물에 작용하는 토압, 수압 등의 외력이나 지반, 토류별 변형량, 보일링(boiling), 히빙(heaving) 등 토류 구조물의 안전성에 관한 검토가 이루어진다. 그러나 이러한 검토 결과는 어디까지나 이론식으로 추정하는 것이고, 시공시에는 조사, 설계상의 차이나 시공상의 오차에 의해 토류 구조물에 과대한 외력이나 변형이 발생하는 경우도 있다.

따라서 현장계측의 목적을 다음과 같이 설명할 수 있다.

- ① 계획시 지반조건에 관한 부족한 정보에 기초한 설계상의 결함을 시공기간 중에 제거하기 위함.

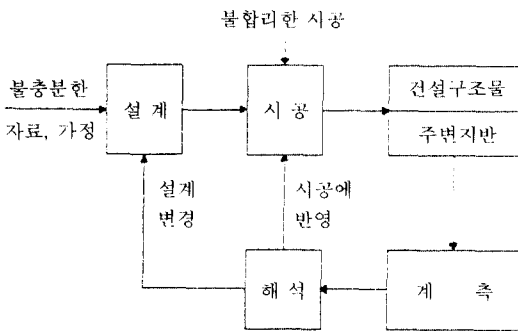


그림 1 정보화 시공 시스템

* 대림산업(주) 기술연구본부 연구개발부 연구원
** 대림산업(주) 기술연구본부 토목설계연구부 선임연구원

- ② 구축작업이 지반에 미치는 영향과 그에 따른 지반의 변화가 구조물에 미치는 영향에 대해서 시공 중 및 시공 후에 정보를 얻기 위함.

표 1 토목계측의 목적 및 역할

토목계측의 목적	토목계측의 역할
1. 부족한 정보에 따른 설 계상의 결함을 시공한다.	1. 임박한 위험징후 발견 2. 시공중 안전판단 3. 시공법 개선 4. 소송시 증거
2. 구조물 및 주변지반의 변화에 대한 정보 획득	5. 지역특성 파악 6. 설계이론 검증 7. 위험시설물 보호대책

2.2 계측시스템의 구성

계측시스템에 있어서는 계측기로부터 컴퓨터를 이용한 데이터 처리와 정보를 얻기까지 일련의 하드웨어 시스템과 이로부터 얻어진 정보를 운용하는 인적조직으로 나누어 생각할 수 있다.

계측시스템은 계측방법, 계측규모 및 경제성을 충분히 고려하여 데이터 수집에서부터 해석에 필요한 데이터 처리까지 일련의 작업이 중단없이 이루어질 수 있도록 확립되어야 한다. 특히 계측규모가 큰 경우는 일련의 작업이 전산처리될 수 있도록 하지 않으면 계측 데이터 처리에 걸리는 시간이 지연되어 적시에 조치를 취할 수 없게 되므로 계측 데이터 처리를 위한 전산화는 필수적이다.

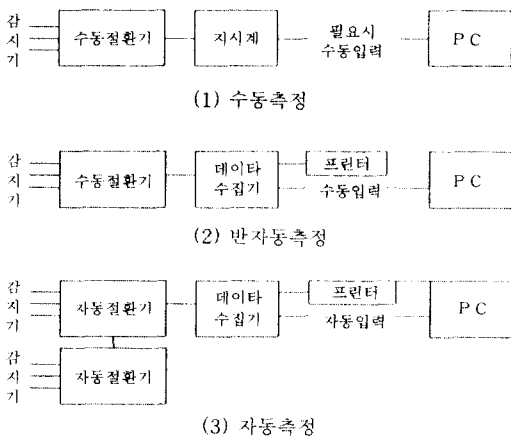


그림 2 현장 계측 시스템의 구성도

또한, 지하철이나 고속전철 등과 같은 대규모 건설을 위한 계측은 많은 수의 단위공구에서 동시에 계측이 수행되어야 하므로 계측값 해석의 일관성 유지와 해석에 필요한 고급 기술자의 효율적 활용을 위해 계측 데이터를 중앙의 계측본부에서 해석할 수 있는 네트워크 시스템을 구성해야 할 필요성이 있다.

3. 대림자동계측 시스템

대림산업주식회사에서 장치 및 소프트웨어를 자체개발하여 일부 지하철 현장 및 건축공사 터파기 현장에 적용, 큰 효과를 보고 있는 대림자동계측시스템(DAMS; Daelim Automatic Measurement System)에 대해 소개한다.

3.1 단위현장 계측 시스템

단위현장의 계측 데이터 처리 계통도는 그림 1과 같다. 자동계측 항목은 자동계측시스템에 의하여 일정주기(예를 들면 1시간 간격마다)로 컴퓨터에 자동으로 계측 데이터가 입력되며, 수동계측 항목은 현장의 계측 담당자에 의해 수동으로 입력된다. 수집된 계측 데이터는 칼라모니터와 프린터로 1차 처리된 결과가 출력될 수 있으며 FDD(Floppy Disk Driver)나 HDD(Hard Disk Driver)에 저장되고 계측관리를 위한 데이터를 모뎀

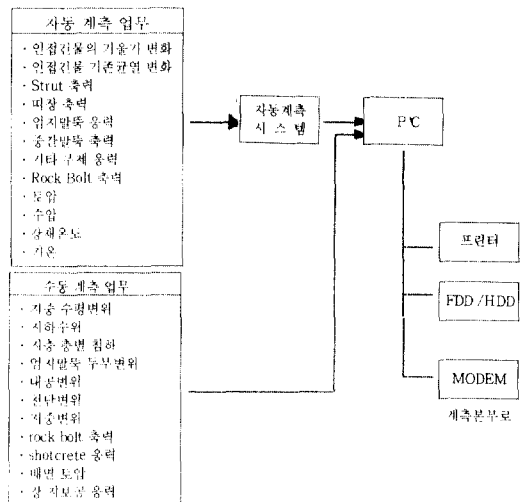


그림 3 단위 현장 계측 데이터 처리 계통도

(modem)과 전용 전화선을 이용하여 계측본부에 보낼 수 있도록 구성한다.

3.2 하드웨어 구성

DAMS의 하드웨어 시스템 구성도는 그림 4와 같으며 주요 제원 및 기능은 표 2와 같다.

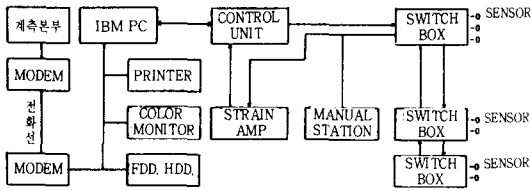


그림 4 DAMS 하드웨어 시스템 구성도

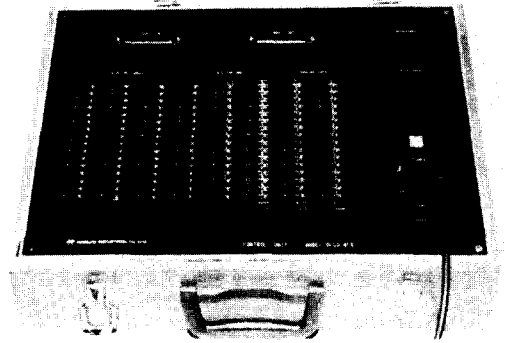


사진 1 콘트롤 유닛(개발품)

표 2 DAMS 자동계측 시스템

구 성 기 기	주 요 제 원
1. IBM PC	286/386/486, VGA Color Monitor
2. Printer	DOT MATRIX /Ink Jet /Laser
3. Modem	2400 BPS
4. Control Unit (개발품)	A/D Converter를 포함한 데이터 입출력 장치, 스위치 박스의 채널 선택신호를 주고 변환기 출력을 A/D Converter에 의해 PC로 전달한다.
5. Strain Amp	스트레인 변환기
6. Manual Station (개발품)	반자동 조작기, 계측실에서 현장의 스위치 박스 및 채널선택을 수동으로 선택할 수 있도록 한다.
7. Switch Box (개발품)	스위치 박스 1대당 32개 센서부착 가능, 최대 16대의 스위치 박스 설치 가능, 따라서 최대 센서수는 512(32×16)임

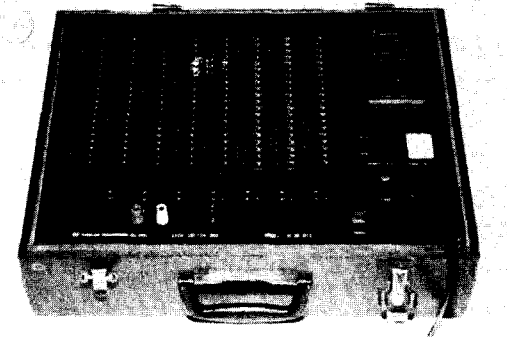


사진 2 스위치 박스(개발품)

계측규모가 비교적 작은 현장의 경우는 그림 5와 같이 Manual Station과 스위치 박스만을 이용하여 반자동 계측시스템을 구성할 수도 있다.

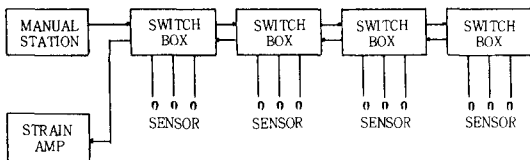


그림 5 반자동 계측 시스템



사진 3 계측실(서울 천호동 지하철 현장)

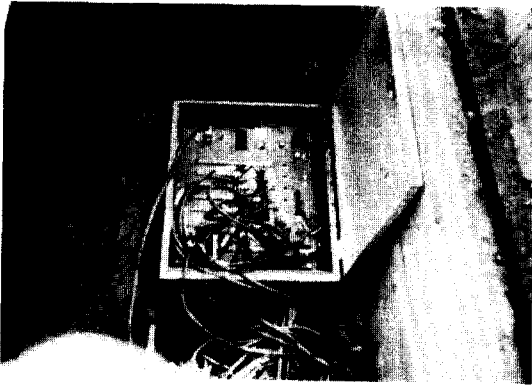


사진 4 현장에 설치된 스위치 박스
(서울 천호동 지하철 현장)

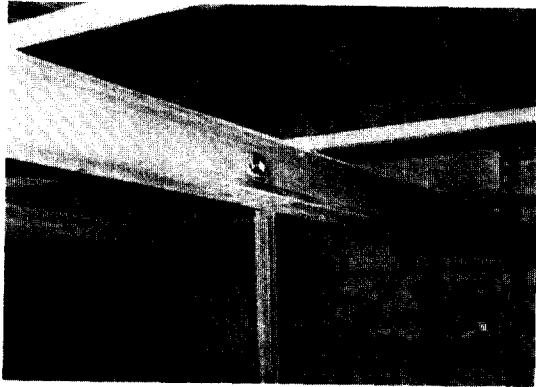


사진 5 스트러트에 설치된 센서

3.3 소프트웨어의 특징

1. 사용가능한 컴퓨터 기종은 Hercules, EGA, VGA로서 현재 사용되는 거의 대부분의 IBM-PC 호환기종에 사용될 수 있다.

2. 그래프 표시기능이 강력하며 쉽게 프린터, 플로터(plotter) 혹은 화일로 출력할 수 있다.

3. 초기값, 관리 한계값, 설치위치, 센서고유번호 등의 기본자료를 하나의 화일로 통합하여 관리하고 데이터 형식을 일반 텍스트(text)로 하여 일반 에디터(editor)나 워드프로세서(word processor)를 이용해 내용을 보거나 고칠 수 있도록 하였으며 계측 프로그램내에는 전용의 에디터 기능을 두어 쉽게 편집할 수 있도록 하였다.

4. 현장상황 및 주변 건물 등과 함께 각각의 감

지센서의 설치위치를 3차원 도형으로 표시해 주며 프린터나 플로터로 출력시킬 수 있다.

5. 계측 데이터 화일의 형식이 일반 텍스트로서 다른 기종의 데이터 로거에서 수집된 데이터나 수동계측에 의한 데이터도 쉽게 사용될 수 있다.

6. 계측 데이터의 작성이나 편집을 쉽게 해주는 전용의 그래프 데이터 에디터(graphic data editor)기능이 있다.

7. 자동계측 도중에도 프린터 출력과 같은 다른 종류의 작업을 수행할 수 있어서 컴퓨터의 사용효율을 높이고 대기시간을 줄일 수 있다.

8. 사용자의 편의를 위해 마우스(mouse)를 사용할 수 있도록 하였다.

9. 프로그램을 끝내고 다시 시작할 때에는 이전에 사용하였던 기초자료 및 데이터 화일을 자동으로 선택하여 사용하므로 혼선의 우려가 적다.

10. 자동계측 계획은 각각의 감지센서 별로 계측회수 및 계측간격을 쉽게 결정할 수 있고 화일로 보관하여 재사용할 수 있도록 하였다.

11. 그래프 출력 계획을 쉽게 결정할 수 있으며 화일로 보관하여 재사용할 수 있도록 하였다.

12. 다중 도움말 기능이 있어 사용자가 언제나 필요로 하는 도움말을 쉽게 찾아볼 수 있다.

13. 프로그램 운용방식은 사용자의 편의를 최대한 고려하여 독자적으로 개발한 한글 윈도우 시스템(window system) 및 풀다운 메뉴 시스템(pulldown menu system)으로서 다음과 같은 다양한 기능을 제공한다.

- Window Sysytem : Icon, Button Control
- Pulldown Menu
- Window Sizing, Moving, Scrolling, Zooming
- 한글처리
- DOS Shell
- Directory Tree 및 화일목록 표시
- Graphic Display
- 다중 Help Screen

14. 통신기능이 있어서 지방현장 등을 포함한 여러개의 현장에서 자동계측 수행 중에 본사나 또는 계측본부에서 데이터를 무인으로 받아볼 수 있으므로 다수의 현장 계측을 온라인(on-line)으로

관리할 수 있다.

15. 확장 메모리를 최대한 활용하여 계측 데이터의 제한이 거의 없다.

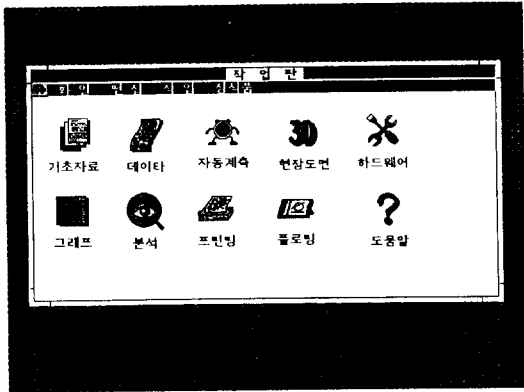


그림 6 DAMS 주 작업판

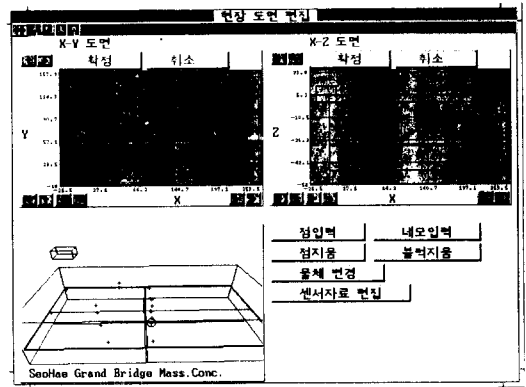


그림 9 현장 도면 편집

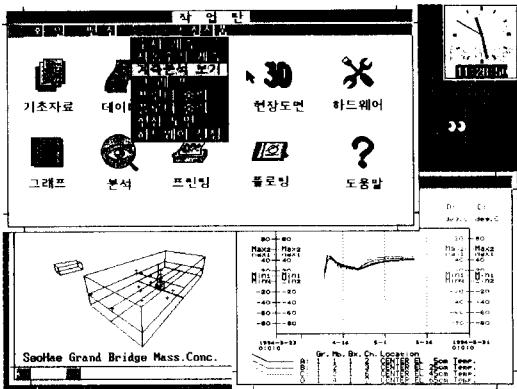


그림 7 다중창, Pulldown Menu 및 시계

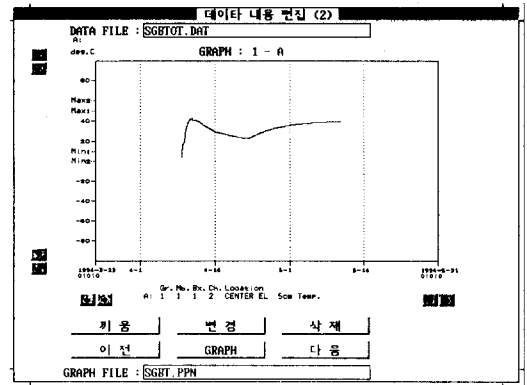


그림 10 데이터 내용 편집

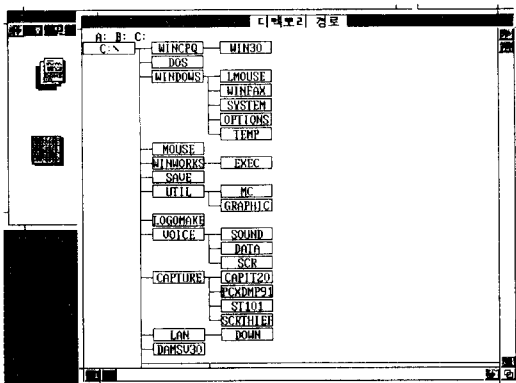


그림 8 디렉토리 경로

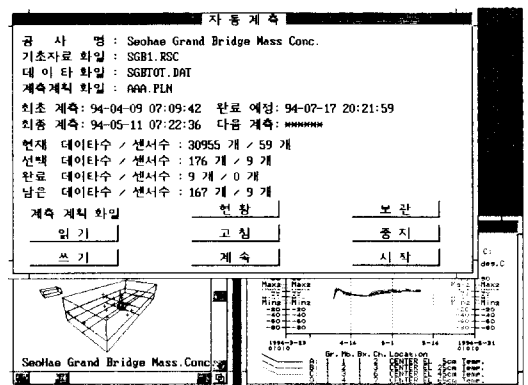


그림 11 자동계측

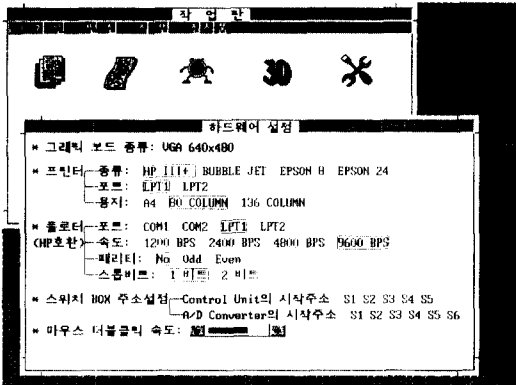


그림 12 하드웨어 설정

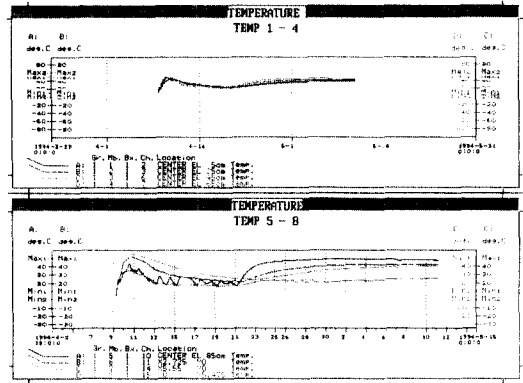


그림 15 2분할 그래프 출력 예

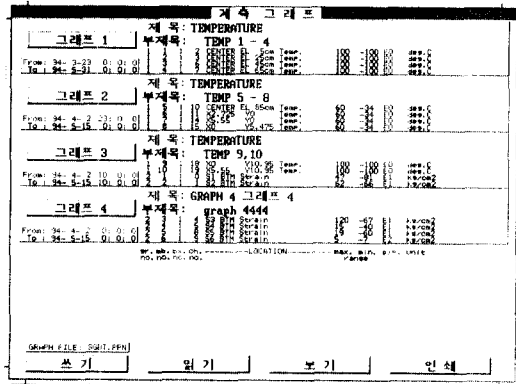


그림 13 그래프 표시형식 설정

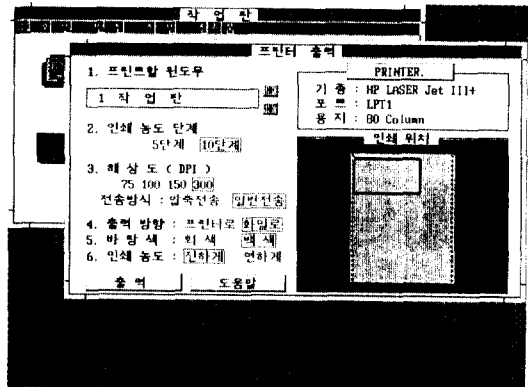


그림 16 그래프 출력 방식 설정

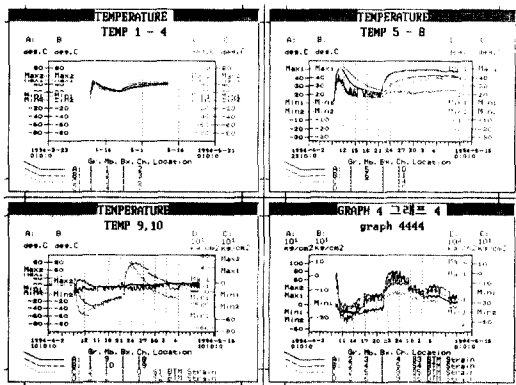


그림 14 4분할 그래프 출력 예

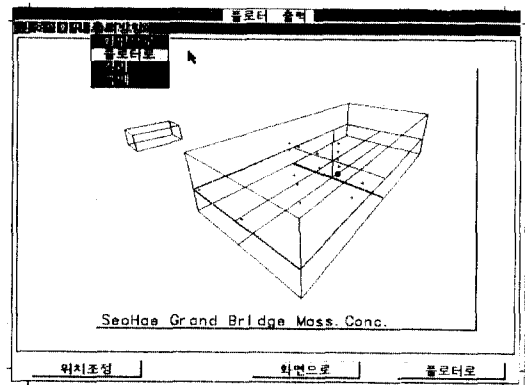


그림 17 플로터 출력 방식 설정

4. 계측사례

4.1 공사개요 및 계측기 배치 현황

1. 적용현장 : 서울지하철 ○○공구
2. 계측기간 : 1991. 7~1994. 3
3. 공사개요 및 특징
 - 정거장 225.0×31.25, GL-25~-28m
 - 유치선 323.5×31.25, GL-25~-28m
 - 본선 454.0×31.0, GL-25~-28m
 - 본선 구간은 당초 터널구간이었으나 지하공간을 상가 및 주차장으로 사용하기 위해 개착으로 설계변경
4. 계측기 배치

계 측 기 기	소 요 개 수
-정사계 (지중수평범위)	7개소
-지하수위계	1개소
-tilt meter	3개소
-crack gage	5개소
-strain gage : strut H-plate	10개소(13개/개소) 2개소(12개/개소)
-rock bolt 축력 측정	2개소
-earth anchor 축력 측정	4개소
-지표면 침하 측정	8개소
-지중 총별 침하 측정	2개소
-자동계측 시스템 control unit	1개
switch box 32ch.	4개
manual station	1개
selection box	1개
PC /printer	1개

4.2 계측결과 및 조치사항

1. 가설재, 주변 지반 및 인접건물의 변형을 정밀 계측하여 시공관리에 반영중
2. STA42K 지점의 스트러트(strut) 5단의 응력이 단기간내(92.2.26~92.3.30) 변화가 다소 커서 띠장에 스티프너 보강하고 수평 브레이싱(bracing)을 조속히 설치하여 응력증가를 분산시켰다.
3. STA 42K 590작업구간 중앙파일 향타시 지질변화가 심하여 파일에 비틀림 현상이 일어난 상태로 향타된 것을 관리하기 위해 파일 3개소에 12

점, 보강스트러트에 2점의 센서를 설치하여 계측하던 중 92.4.10일 부터 비틀림 현상에 의한 응력이 증가하는 것을 발견하고 파일에 스티프너 및 X-bracing 보강하여 변형을 방지하였다.

4. STA 42K 642 지점의 사이드 파일(side pile)이 무리한 소단체거로 변형이 심하여 토류판 및 버팀보 작업을 선시행 후 소단을 제거토록 작업공정을 시정하였다.

5. 정보화 시공의 문제점 및 건의사항

5.1 설계, 시공 단계의 현장조사 분야

5.1.1 조사의 신뢰성 문제

설계시에 사용되는 각종 조사의 부족 및 신뢰성 결여가 설계의 불합리로 이어지는 경우가 잦다. 특히 지질조사 보링의 경우 보링공 수가 모자라고 보링 데이터에도 시험항목이 불충분하며 경암이 나오면 보링을 멈추는 관행에 따라 보링 업자들이 원가를 줄이려고 경암형태만 나오면 보링을 멈추는 사례가 많다. 이에 따라 조사보링 데이터는 암선이 일반적으로 실제보다 높게 평가되어 가시설의 설계부족으로 이어지는 예가 있으며 심한 경우는 국부적인 경암이 과대평가되는 경우가 있다. 이러한 현장조사의 불합리를 시공단계에서 발견하고 적절한 조치를 취하여야만 하는 것이 당연하나, 실제로는 암선이 높은 것이 시공단가가 높게 책정되므로 그에 따른 조치를 취하지 않고 오히려 높은 공사비 책정을 목적으로 부적절한 암판정으로 암선을 높이려는 사례가 있으므로 이러한 것은 필히 시정되어야 한다.

5.1.2 국가차원의 정밀 지질도 데이터베이스 미비

각 시공현장의 굴착경험은 그 지역의 지질을 정확히 파악할 수 있는 귀한 자료를 얻을 수 있는 기회이다. 그러나 위에서 설명한 조사의 신뢰성이 결여되는 문제와 국가차원의 자료수집 체계가 없어서 귀중한 자료를 유실하게 된다. 이러한 자료는 장래에 시공될 인근지역의 공사에 큰 도움이 될 수 있으므로 자료축적 체계가 시급하다.

5.2 계측관리분야

5.2.1 계측 표준화 및 특별시방화

현재 국내의 토목계측분야는 본격적인 적용이 최근의 일이어서 각 공사별 계측방법 및 계측항목 등이 표준화되지 못하고 있다. 따라서 공사시방서에도 계측관리부분이 애매하게 되어 있는 경우가 많아서 어떤 경우는 예산의 낭비를 가져오고 어떤 경우는 예산이 모자라는 경우도 있어 이를 학회등 공신력있는 기관에서 공사유형별, 공사규모별 계측항목 및 계측방법을 표준화하는 것이 필요하다. 또한 각 공사의 발주처는 공사의 특징을 잘 파악하여 경제적이고 합리적인 계측방법을 특별시방화하여 공사시방서에 포함시켜야 불필요한 낭비를 줄이고 필요한 계측을 수행할 수 있다.

5.2.2 계측비용 현실화

계측도입 초기단계에서 계측에 관한 공사비 책정이 시공개념으로 책정이 되어 있어서 계측을 수행하기에 예산이 턱없이 모자라는 예가 거의 대부분이었다. 이에 따라 시공사는 계측을 성실히 수행할 예산이 부족하므로 가짜 계측데이터를 양산하는 예가 많으며 이러한 관례는 현재까지는 고쳐지지 않고 있는 실정이다. 계측관리업무는 일견 시공의 일부로 볼 수 있으나 실은 계측계획 수립, 계측기 구매, 설치, 계측실시, 데이터 분석, 정보제공 및 대응책 제시 등 일련의 작업이 용역업무이므로 이에 대한 응분의 예산이 책정되어야 하는 것이다. 예산이 부족하면 계측관리에 이상이 생기고 경우에 따라서는 전혀 효과를 보지 못하고 비용만 낭비하는 경우까지도 생길 수 있다. 심지어 계측관리의 도급액이 부족하여 시공사에서 부담하여 계측관리가 행해지는 경우도 많은데, 이러한 경우도 회수가 반복되면 큰 부담이 되므로 적절한 계측관리예산 책정은 필수적이다.

5.2.3 전문인력 배양

토목분야에서의 계측은 선진국에서는 역사가 깊지만 우리나라에서는 긴 건설역사에도 불구하고 극히 최근에 이르러서야 본격적으로 도입되고 있으며 도입자체도 활성화 되지 못하고 있는 실정

이다. 이에 따라 토목계측 전문인력도 부족한 현실이고 이러한 문제점은 시간이 지나가면서 점차 해결될 것이지만 각 시공사들은 계측전문인력 양성에 적극 힘을 기울여야 할 것이다.

5.2.4 계측장비 국산화

토목분야에 사용되는 각종 계측기들은 주로 외산에 의존하고 있어 자칫 외화낭비의 요소가 있다. 이러한 문제를 해결하려면 장비국산화가 필요하지만 그간의 토목계측분야가 활성화되지 못함으로 인해 장비 국산화가 미흡하였다. 다행히 최근에는 몇몇 업체에서 각종 토목계측기의 국산화를 시도하여 성공하는 사례가 있으므로 기대가 되고 있다.

5.3 시공 및 품질관리 분야

5.3.1 계측데이터 및 현장여건에 의한 공사관리

‘설계도서에 표시된 대로만 시공하면 안전하다’라는 맹신에 의해 설계의 불합리한 점을 간과하는 예가 많은데 이러한 편견은 설계대로도 시공하지 못했던 과거의 폐습에서 기원하는 것 같다. 그러나 시공여건이 과거와는 달리 점점 가혹해지고 있어서 설계대로 시공하는 것은 물론 설계의 불합리한 점까지도 각종 계측 데이터나 면밀한 현장조사를 통해 대처해 나가지 않으면 대형사고를 유발할 수 있는 여지가 있는 것이다.

예를 들어 토질조사가 부족하여 가시설 설계가 부족한 경우에 굴착을 진행하면서 굴착단계별로 설계와 시공상황을 비교하여 설계의 적합성을 확인하여야 하며 전반적이거나 국부적인 설계부족이 관측되면 그에 따른 보강을 해 나가야 하는 것이다.

5.3.2. NATM 시공시 1차 복공시기 준수 및 계측에 의한 공사관리

우리나라 토목계측의 실제적인 시발점이라 할 수 있는 NATM 터널 공법에서는 공법자체가 토질에 따라 적절한 보강을 하면서 자립성을 확보하기 위해 초기 이완량을 제한하도록 되어 있어 이를 검증하기 위한 계측이 필수적이다. 그러나 전

술한 바와 같이 계측관리비용이 적절치 못해 계측 관리가 허술하게 이루어져 거의 있으나 마나한 예가 허다했다.

이에 따라 시공과 계측이 주도면밀하게 이루어져야 공법에서 요구하는 허용변위량을 파악할 수 있으나 현실은 그렇지 못해 시공관리체계가 허술해져 발파 및 굴착으로부터 1차 복구완료까지의 시간을 토질에 따라 적절히 제한하지 못하여 붕괴 사고 등이 야기되곤 했다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 철저한 계측관리와 이에 따른 시공관리로 공법에서 요구하는 1차 복구시기를 준수하도록 하지 않으면 안된다.

5.3.3 설계변경에 의한 원가절감 및 증액시 정책적 배려

정보화 시공의 큰 목적은 안전성 제고와 경제성 제고이다. 이 두가지 목적은 서로 반대의 성격을 가지는데, 설계가 과다하여 공사량을 줄일 수 있는 경우는 경제성 제고이고 설계가 부족하여 공사량을 늘려야 하는 경우는 안전성 제고인 것이다. 이들 두 가지 모두 계측을 비롯한 각종 현장조사를 통해 판단한 결과에 따라 취해지는 정보화 시공의 효과이며 이러한 효과를 보려면 각각의 경우에 시공사와 발주처간에 긴밀한 협조와 이해가 필요한 것이다.

시공사는 객관적이고 책임있는 계측결과에 따라 대응책을 제시하여야 하고 발주처는 제시된 대응책과 현상을 적극적으로 받아들여 그에 따른 공사비 증감에 대해 시공사와 긴밀히 협조하여야 한다. 그러나 국내 현실은 이러한 설계변경사항에 대한 이해부족으로 효과를 보지 못하고 마는 예가 많으며 그나마 일괄도급형태의 공사에서는 시공사 단독으로 설계변경 등을 통하여 효과를 보고 있으나, 그렇지 않은 경우, 특히 관공사의 경우는 이러한 협조체계가 부족하여 효과를 보기 어려운 경우가 많아 시공사에서는 계측자체를 기피하는 경우까지도 있는 것이다.


따라서 시공단계에서 발견된 각종 문제의 해결을 위한 공사의 변경 등을 더욱 신속하고 효과적으로 할 수 있도록 정책적 배려를 하는 것이 안전성까지 감안한 전체 공사비용인 총공사비를 줄일 수 있는 방법이다. 

표 3 정보화 시공의 문제점 및 건의 사항

조사, 설계, 시공 단계의 현장조사	계측분야	시공 및 품질관리
- 조사의 신뢰성 향상	- 계측 표준화 및 특별 시방화	- 계측데이터 및 현장 여건에 의한 공사관리
- 국가차원의 지질도 데이터 베이스화	- 소요예산 현실화 - 전문인력 배양 - 장비 국산화	- NATM 시공시 1차 복구시기 준수 및 계측에 의한 공사관리 - 설계변경에 의한 원가절감 및 증액시 정책적 배려