

지반공학 분야의 국외 정보화 시공기술 적용 사례 및 발전 방향

New Technologies and Development in Observational Methods and Research Needs in Geotechnical Engineering

유 충 식¹⁾, Chungsik Yoo

¹⁾ 정회원, 성균관대학교 토목공학과 부교수, Assoc. Prof., Dept. of Civil Engrg., Sungkyunkwan Univ.

SYNOPSIS: The observational method using field measurement technique have contributed significantly to advancements in the state-of-the art of geotechnical engineering in the 20th century. Due to the rapid development in computer technology, Internet and GIS have become an integral part of civil engineering project management. This paper presents new technologies and development in observational method which have valuable implication on field measurement in geotechnical engineering. Systematic approach to planning monitoring program in geotechnical instrumentation is also presented. Finally, research needs in development and application of integrated design/construction management system in geotechnical engineering projects are discussed.

1. 서론

현대의 건설기술은 정보화 시공의 개념에 그 기반을 두고 있다. 즉, 교량, 터널, 고층빌딩, 연약지반 처리 등 각종 구조물의 시공에 있어서는 시공중 발생하는 구조물의 거동을 관측(계측)하고 그 결과를 설계/시공 과정에 반영함으로써 최적(Optimum)의 설계/시공을 이끌어내는 정보화 시공이 건설산업 측면에서 가장 중요한 부분을 차지한다고 할 수 있다. 특히 최근 급속도로 발전하고 있는 인터넷은 건설 분야에 있어서도 많은 영향을 미치고 있다. 즉, 인터넷에 의한 각종 건설 프로젝트의 과학적이고 종합적인 관리는 시공관리의 효율성 확보 측면에서 매우 긍정적으로 받아들여지고 있으며, 이러한 추세는 점차 각종 건설 프로젝트에 확산될 전망이다.

지금까지 지반공학측면에서의 정보화 시공은 단지 계측(Instrumentation)에 국한되어 왔으나 최근의 추세는 GIS 및 데이터 베이스 시스템 구축을 통한 설계-시공-계측관리 등 일련의 과정을 시스템화 하고 있다. 앞서 언급한 최근의 “인터넷 혁명”은 이러한 개념을 가시화 시키고 있으며 가상현실(Virtual Reality) 기법의 설계/시공에의 접목 또한 지속적인 연구를 통해 실현되고 있다. 특히 건설 프로젝트의 시공관리에 있어서 LAN이나 인터넷(Internet) 상에서 통합 데이터 베이스를 구축하고, 이를 이용하여 설계·시공 관리의 신속화와 효율성을 증가시키고자 하는 정보 네트워크화의 움직임이 일고 있다. 이러한 정보화의 도입은 정보교환, 공정보고, 공정관리 등의 업무처리를 신속하게 하고, 자재구매, 설계변경, 계측관리, 보조공법의 선정 등의 사항에 대한 결정 속도와 신뢰도를 높임으로써 건설 프로젝트 관리에 있어서도 혁신적인 향상을 가져 올 것으로 판단된다.

본 고에서는 광의의 정보화 시공의 관점에서 국외에서 개발 적용되고 있는 정보화 시공 시스템 구축 및 적용 사례를 기술하였으며 보다 효율적인 계측적용을 위한 계측계획 수립의 과학적 접근 방법을 제시하였다. 아울러서 우리 나라 지반공학 분야의 정보화 시공 기술의 발전을 위한 발전 방향을 제시하였다.

2. 계측계획 수립의 과학적 접근방법

지반공학분야의 정보화시공에서는 계측자료의 활용방안을 종합적으로 고려하여 논리적이고 포괄적인 계측계획을 수립하여야 한다. 그러나 일반적으로 우리는 이와는 반대로 계측장비를 설정한 후 계측을 수행하고 계측자료를 분석하려고 하는 비논리적 접근방법을 취하고 있는 근본적인 문제점을 안고 있다고 하겠다. 본 절에서는 정보화 시공기술의 핵심을 이루고 있는 계측수행에 있어서 체계적 계측계획 수립에 관한 내용을 다루고 있는 1999년 12월 싱가포르에서 개최된 Field Measurements and Geomechanics 심포지엄에서 발표된 Dunicliff (1999)의 논문 내용을 토대로 표 1과 같이 제시하였다.

표 1. 계측계획의 수립 단계 (After Dunicliff 1999)

단계	항목	검토내용
1	시공상황의 설정	(1) 프로젝트의 성격 및 현황 (2) 지질조건(주상도) 및 지반조사 결과 (3) 주변구조물의 분포상황 (4) 시공방법 (5) 최악조건에 대한 상황 설정
2	지반/구조물 거동 메커니즘의 이해	
3	지반공학적 중요사항 검토	
4	계측목적의 설정	(1) 설계단계 <ul style="list-style-type: none"> ● 초기 현장조건의 설정 ● 최악상황에 있어서의 문제점 도출
		(1) 시공단계 <ul style="list-style-type: none"> ● 안전성확보 ● 정보화 시공을 통한 시공관리 ● 법적대응을 위한 자료 확보 (민원관련)
5	계측항목의 설정	(1) 간극수압 (2) 지반내의 전응력 (3) 지반/구조물 사이의 작용응력 (4) 응력 변화 (5) 수평 및 수직변위 (6) 기울음 (7) 지반/암반의 변형을 (8) 구조부재의 응력 및 변형을 (9) 온도
6	계측항목의 변화량 예측	(1) 계측 최대치 예측 (계측기 용량설정) (2) 계측 최소치 예측 (계측기의 예민도 및 정확도) (3) 관리 기준치의 설정

(계속)

단계	항목	검토내용	
7	문제 발생시 조치방안 강구	(1) 각 위험단계별 조치사항 수립 (2) 설계/감리자와 시공자와의 정보교환 채널 확보	
8	설계, 시공 및 운영단계에서의 과업 부여	(1) 계측 전문가에 의한 과업 감독책임 할당 (2) 연락 및 보고 경로 설정 (3) 계측 계약 당사자의 책임한계 설정	
9	계측장비 설정	(1) 신뢰도 (2) 용도 (3) 계측장비 운영자의 기술력 (4) 적용기간 (5) 설치시 용이성 (6) 자동계측의 필요성 (7) 설치시간의 적절성	
10	계측위치의 설정	(1) 주 관심대상 영역 설정 (2) 주 계측단면 설정 (3) 부 계측단면 설정 (4) 손망실율을 고려한 수량 산정 (5) 비교·검토를 위한 위치 설정	
11	계측자료 영향인자 검토	(1) 시공상세 (2) 시공과정 (3) 비정상적인 상황 기록 (4) 지질조건 (5) 기타 환경적 요인	
12	계측자료의 타당성 확보 방안 수립	(1) 육안 관측 (2) 계측기의 이중 설치 (3) 지속성 검토 (4) 반복성 검토 (5) 정기적 설치상태 검토	
13	예산 수립	(1) 계측프로그램 계획 (2) 계측기 상세 설계 (3) 계측기 조달 (4) 캘리브레이션 (5) 계측기의 설치 (6) 계측수행 계획 수립 (7) 계측 수행 (8) 계측자료 처리 (9) 계측자료의 분석 및 보고서 작성 (10) 계측자료의 반영	
14	계측기 조달 시방 작성		
15	계측기 설치 계획 수립	(1) 설치과정 매뉴얼 작성 (2) 설치 기록지 준비 (3) 설치자 교육 (4) 시공자와의 협의 (5) 손망실율 절감 대책 확보 (6) 설치 일정 수립	
16	캘리브레이션 및 유지관리 계획 수립	(1) 캘리브레이션 허용치 선정 (2) 각종 계측장비 유지관리 계획 수립	
19	계측자료 수집, 처리, 분석 및 보고서 작성 계획 수립	(1) 계측자료 수집	<ul style="list-style-type: none"> ● 초기치 획득방법 ● 계측수행자 교육 ● 계측 빈도
		(2) 계측자료 처리	<ul style="list-style-type: none"> ● 자동화 계측의 필요성 검토 ● 공학적 수치로의 표현 ● 계측자료 그래픽 처리 방법 설정
		(3) 계측자료 분석	<ul style="list-style-type: none"> ● 분석항목 및 방법 설정

3. 국외 정보화 설계/시공 시스템 개발 및 적용 사례

3.1 개요

21세기에는 건설경영 분야의 정보화와 함께 건설 설계/시공분야에서의 정보화는 컴퓨터 산업의 발전과 함께 지속적인 발전 및 변화가 예상된다. 특히 토목 프로젝트의 조사, 설계 및 시공분야에서 근·원거리 통신, 인터넷, GPS, GIS, Computer Modeling, 원거리 계측 등을 이용한 종합적인 정보화 시공기술의 발전이 이루어 질 것으로 판단된다. 본 절에서는 현재 국외에서 적용되고 있는 설계/시공기술 분야에서의 정보화 기술 접목 현황에 대하여 기술 하였다.

3.2 싱가포르의 GIS-GDB 시스템

싱가포르의 교통건설공단(Land Transport Authority: LTA)은 대규모 공항 건설 프로젝트의 시공관리를 위한 Geotechnical Database(GDB) 시스템을 개발하여 North East 및 Changi 공항의 건설 프로젝트에 적용하고 있다. 본 시스템은 Web-Server 데이터베이스 개념의 정보화 시공관리 시스템으로서 100명 이상의 사용자가 시공중 실시하는 계측자료를 적용하여 설계/시공에 반영할 수 있도록 구축되어 있으며, 설계/시공 기술자료 및 시공에 관련된 기타 다양한 정보를 종합적으로 관리할 수 있도록 되어 있다. 본 절에서는 LTA-GDB 시스템에 대하여 기술 하였다.

3.2.1 LTA GDB 시스템 구성

1) 시스템 개요

GDB 시스템은 Intranet 혹은 근거리 통신망(Local Area Network: LAN)을 통해 구동되도록 구성하였으며, 각종 데이터베이스가 저장되어 있는 서버로부터 다중 Client PC가 데이터를 요구하는 Client Web Server 모형으로 구축되어 있다(그림 1).

GDB 시스템을 구동하는 주 소프트웨어는 다음과 같으며 그림 2는 소프트웨어 구성도와 기능을 개략적으로 도시하고 있다.

- (1) 계측자료와 이에 관련된 계측기기의 종류 및 위치, 트리거 및 알람치, 시공과정 등 기타 자료를 저장하는 Oracle 데이터베이스
- (2) 데이터베이스로부터 자료를 추출하여 이를 client PC의 Web Browser에 전송하는 Web 소프트웨어
 - Intranet Information Sever 4 (IIS4)
 - Cold Fusion Server
 - MapGuide Server
- (3) Client PC에 설치되는 3차원 가상현실 모델링 언어(Virtual Reality Modeling Language:VRML 및 MapGuide Active X Control 소프트웨어)

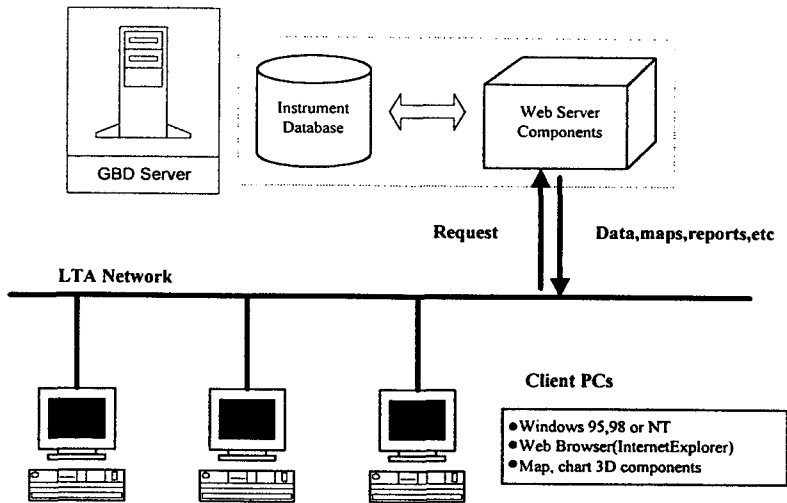


그림 1. GDB 시스템 개도

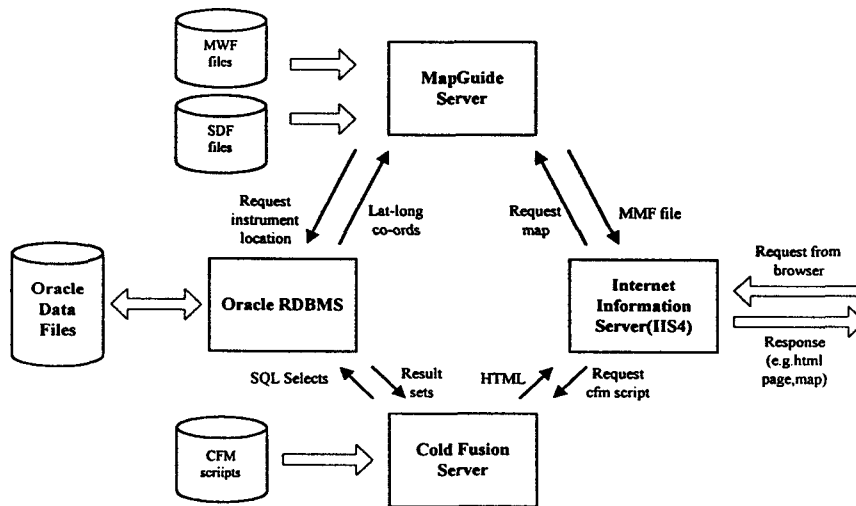


그림 2. GDB 소프트웨어의 구성과 기능

2) 데이터베이스 구조

GDB에서는 관계형 데이터베이스 관리시스템(Relational Database Management System: RDMS)인 Oracle™을 데이터베이스 시스템으로 활용한다. GDB 서버에 구축된 데이터베이스는 현장 (Contract), 계측기(Instruments), 계측자료(Readings)의 세 가지 주 항목에 대한 정보를 포함한다. GDB 데이터베이스를 구성하는 주 항목과 이를 구성하는 세부항목의 관계가 그림 3에 제시되어 있다.

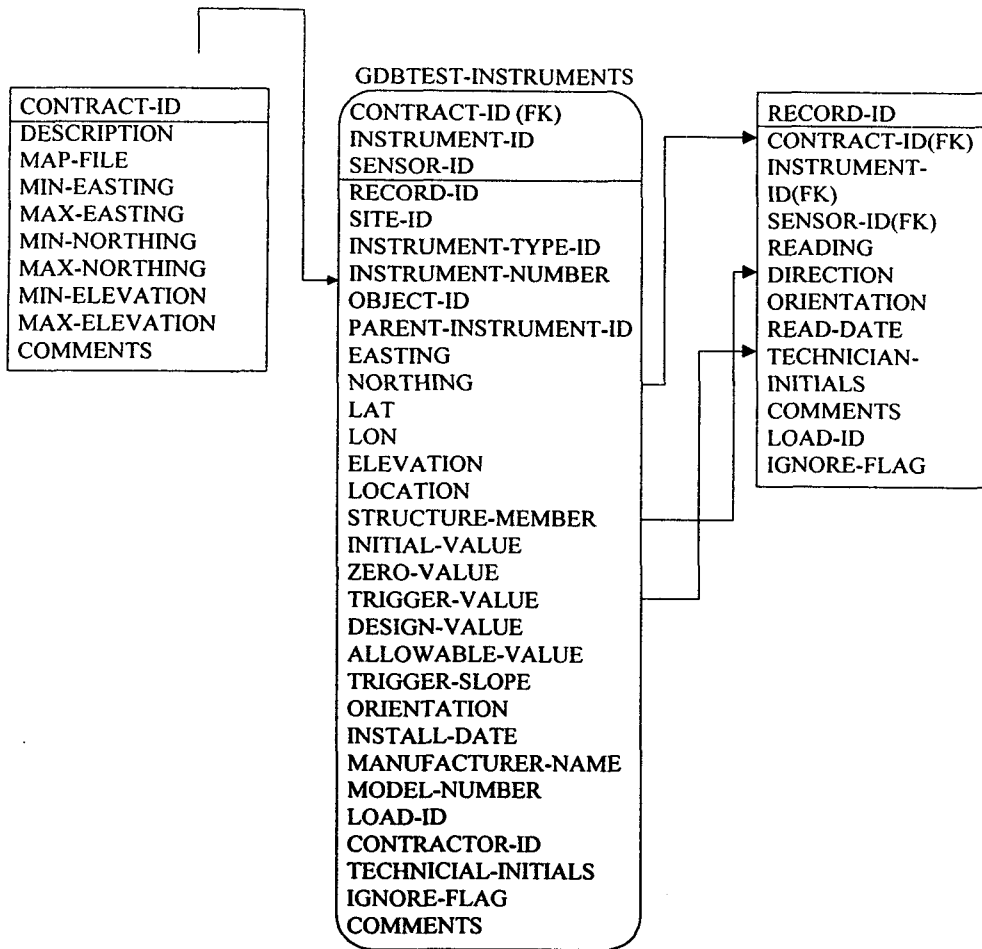


그림 3. GDB 데이터 베이스의 항목 및 관계

3) 데이터 입력 및 Quality Control

계측자료는 LTA Intranet에 접속된 PC에 의해서 e-mail을 이용하여 Oracle 데이터베이스에 자동적으로 입력된다. GDB에 의해서 연결된 각 현장은 GDB의 e-mail 주소로 Excel 파일의 형식으로 작성된 각종자료를 전송하며, 전송된 자료는 GDB에 내재된 오류검토 소프트웨어에 의해 검토되어 오류가 포함된 자료인 경우 자동적으로 e-mail 전송자에게 다시 보내지게 된다.

전송되는 e-mail 자료에는 다음과 같은 계측에 관련된 세 가지 주 파일과 굴착 및 터널시공 과정에 관한 두 가지 부 파일이 포함된다.

- 계측기의 위치 및 번호, 종류를 나타내는 초기 파일
- 계측자료를 포함하는 데이터 파일
- 초기치 및 트리거, 설계 및 관리기준치에 대한 경고치 등을 포함하는 파일
- 터널의 시점부 및 종점부를 포함한 초기정보
- 막장위치, 막장압 및 추진력 등의 터널 굴진 정보

3.2.2 GDB Client Interface

GDB 시스템은 Internet Explorer, Web Browser를 이용한 사용자 중심의 GUI(Graphic User

Interface) 기능을 채택하여 사용성을 극대화하였다. GUI는 세 가지의 주 대화식(interactive) 창(Window)으로 구성되어 있다. 즉, 그림 4에서 보이는 바와 같이 이러한 대화식 창은 조절 창(Control Panel), 지도/그림 창, 그리고 보고서 창으로 구성되어 있다. 보고서 창은 각종 보고서의 내용을 검토할 수 있는 창으로서 다음과 같은 다양한 정보를 포함한다.

- TBM의 위치와 굴진 경로, 지반조건
- 계측치, TBM 및 굴착과정의 시간이력 도표
- 경사계 도표
- 상대치 혹은 절대치에 의한 터널의 단면 변형 정보
- 굴착의 3차원 가상현실(VRML) 이미지

그림 5와 6은 보고서 윈도우 및 터널 변위 그래프 윈도우의 예를 보여주고 있다.

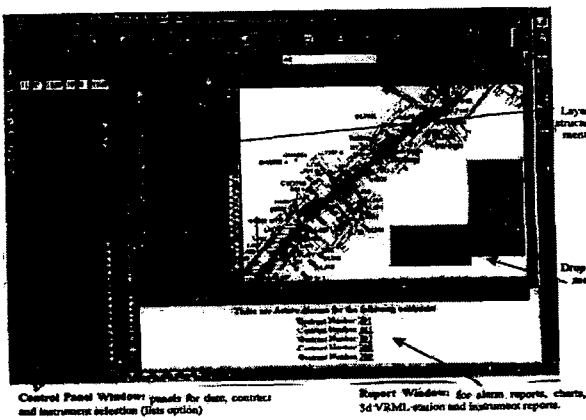


그림 4. GDB의 GUI 구성 윈도우

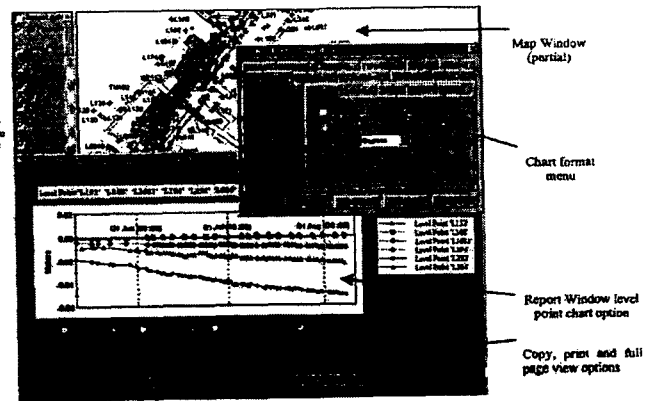


그림 5. GDB의 보고서 윈도우

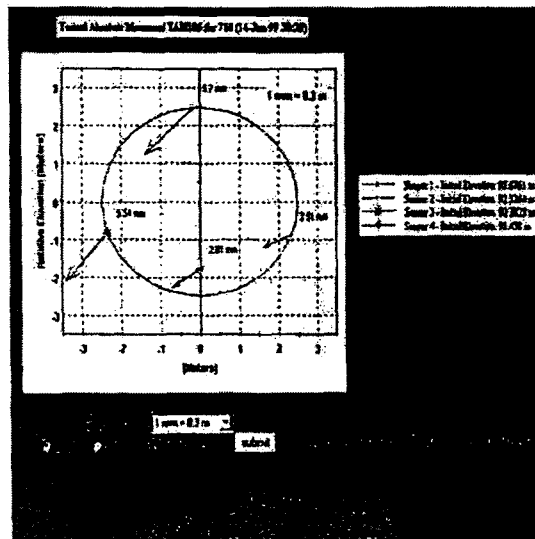


그림 6. GDB 터널 변위 그래프 윈도우

3.2.3 시스템 사용현황

현재 GDB 시스템은 시스템 구축이후 18개월 동안 NE Line과 Changi 공항 건설 프로젝트에 활발히 적용되고 있으며 사용 통계는 다음과 같다.

- 51,000 계측센서 및 포인트
- 7백만 계측자료
- 매월 300,000 계측자료가 추가
- 약 100명의 사용자

사용하는 GDB 서버의 환경은 다음과 같다.

- CPU: Pentium Pro 200 MHz
- Memory: 512 MB
- Hard Disk: 36 GB

3.3 영국의 ContActs

3.3.1 시스템 개요

도심지에서의 터널 시공시 발생하는 지반침하로 인한 주변 구조물의 피해는 시공관리의 차원에서 가장 큰 문제로 대두된다. 이러한 침하를 사전에 평가하는 해석적 혹은 경험적 방법이 존재하나 정확한 예측은 어려운 실정이다. 또한 터널 시공으로 인해 지반의 움직임이 유발되면 지반의 강성과 강도는 감소하게 되어 지반의 움직임이 가속화되며 이는 터널자체 및 주변지반의 불안정으로 이어지게 된다. 따라서 터널 시공분야에서는 이러한 위험요소를 감소시키고 조절할 수 있는 효율적인 방법의 개발이 절대적으로 요구되고 있다.

영국에서는 터널 시공시 지반의 거동을 감소시키고 조절하는 효율적인 방법으로서 보상 그라우팅(Compensation Grouting) 공법이 개발되어 매우 활발히 적용되고 있으며, 정보화 시공개념과 접목시키는 COSMUS라는 프로젝트를 통해 ContAcTS라는 보상 그라우팅 정보화 시공 시스템을 개발하여 Jubilee Line 지하철 현장에 적용한 바 있다. 본 절에서는 ContAcTS의 구체적 내용에 대하여 언급하고자 한다.

3.3.2 ContAcTS의 구성

ContAcTS는 SOLETANCHE-BACHY에서 보상 그라우팅의 효율적인 적용을 위해 개발한 모듈로서 다음과 같은 요구조건을 만족시키도록 개발되었다.

- 3차원 수치해석을 통한 지반 거동의 예측 및 그 결과의 보상 그라우팅 과정에의 지속적인 반영
- 터널 시공으로 인한 지반거동의 실시간 계측
- 계측자료의 feed back을 이용한 수치모형의 수정·보완
- 시공 및 계측자료의 전산화를 통한 정보화 시공관리

그림 7은 ContActS(Control of Active Tunnel Settlements)의 개념도를 보여주고 있으며, 본 시스템은 프랑스 건설협회로부터 기술혁신상을 수상한 바 있다.

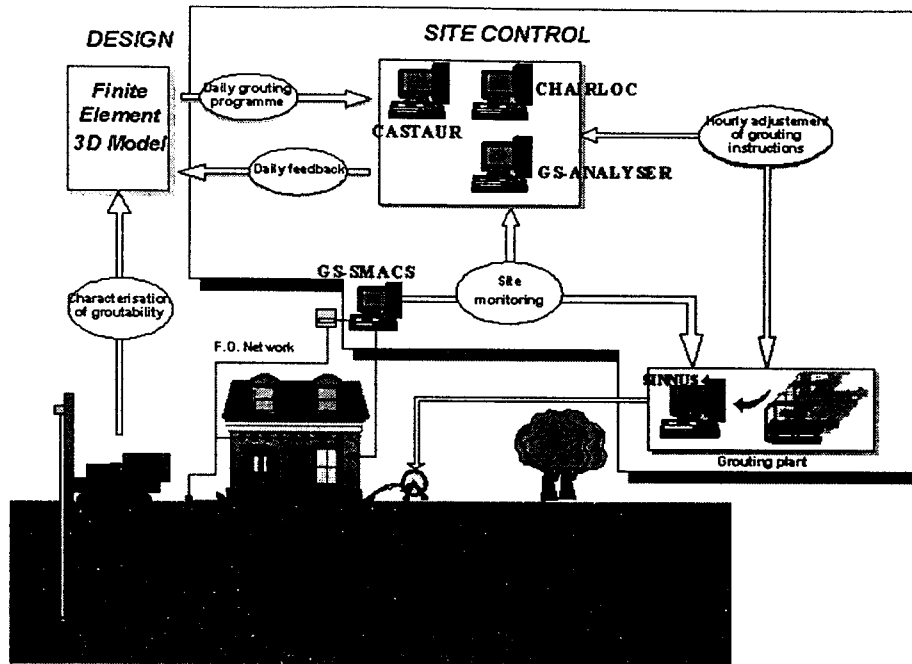


그림 7. ContAcTS 개념도

ContAcTS는 3차원 수치해석, 보상 그라우팅 조절, 시공계측 등의 세 가지 모듈로 구성되어 있다.

1) 3차원 수치해석 모듈(Steady State 3D Numerical Model)

3차원 수치해석 세부모듈에서는 보상 그라우팅의 적용여부와 정도를 결정하는데 필요한 초기 정보로서 3차원 수치해석을 통해 터널 굴착으로 인한 지반 거동의 예측한다. 본 모듈은 Cambridge 대학에서 개발한 Steady State 3차원 수치 모형을 적용하며 보상 그라우팅의 수치적 모형으로서 Cavity Expansion 모형 혹은 Hydrofracture 모형을 개발하여 현실적으로 모델링 한다.

2) 그라우팅 조절 모듈(Grouting Control Module)

보상 그라우팅은 작은양의 그라우팅재를 반복적으로 주입하는 과정이 요구되며 따라서 보다 효율적인 그라우팅의 적용을 위해서는 지속적인 관측 및 feed back 과정이 필수적이다. 이러한 보상 그라우팅의 보다 효율적인 적용을 위해 정보화 개념을 접목시킨 COGNAC 프로그램을 개발하여 적용하였으며 COGNAC의 기능은 다음과 같다.

- 기존의 해석적 혹은 경험적 방법에 의한 침하평가
- 3차원 수치해석 및 feed back에 의한 그라우팅양 선정
- 계측자료의 feed back 및 수치해석의 반복적용을 통한 그라우팅 조절

3) 계측모듈(GEOSCOPE)

GEOSCOPE는 지반 및 주변 구조물의 거동을 실시간으로 계측하여 데이터베이스를 구축하고 이를 시공에 반영하는 모듈로서 ContAcTS의 핵심을 이루고 있으며, 구체적 구성요소 및 기능은 다음과 같다.

- Intelligent Sensor 및 데이터 획득 소프트웨어
- 그라우팅 조절을 위한 트리거 알람 기능 및 팩스, 이동통신 기능

- 실시간 계측자료의 가시화 기능
- 계측자료의 분석 및 보고서 작성 기능
- 원거리 계측 장비와의 통신 기능

일반적으로 한 현장에 매우 많은 수의 계측센서가 부착되므로 이에 대한 자료 관리가 중요한 사안으로 대두된다. GEOSCOPE에서는 데이터 베이스 관리 프로그램을 이용하여 최적화 하여 관리하는 기능을 보유하고 있다.

3.3.3 ContAcTS 적용 사례

ContAcTS는 푸에르토리코의 지하철 터널 시공현장에 적용되고 있다. 본 현장에는 쉴드공법을 이용하여 직경 6m의 두 개 노선이 그리고 NATM 공법에 의해 직경 6m의 4개 노선이 시공되고 있으며, ContAcTS가 성공적으로 적용되고 있다. 그림 8과 9는 본 현장에 적용된 ContAcTS의 적용예를 보여주고 있다.

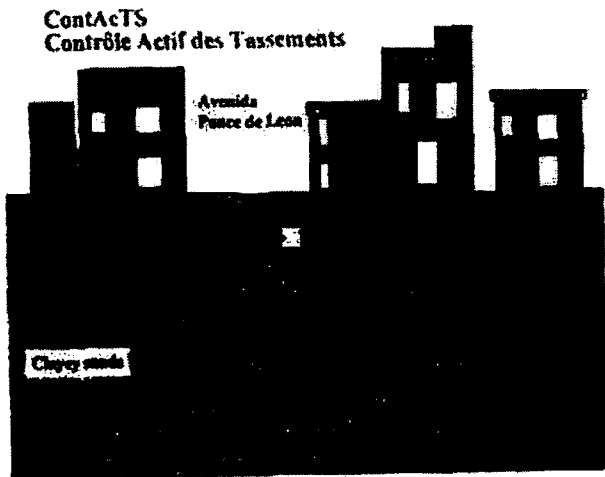


그림 8. 보상 그라우팅의 일반적인 배치도



그림 9. Total Station을 이용한 실시간 계측

3.4 네덜란드의 터널 위험도 관리 시스템 (GIS-SRMS)

3.4.1 개요

네덜란드의 암스테르담 지하철 시공 프로젝트에서는 터널 시공중 발생하는 지반침하로 인한 주변 구조물의 피해를 방지하고 보다 효율적인 터널 시공을 위해 GIS 및 정보화 기술을 접목한 침하 위험도 관리 시스템(Settlement Risk Management System: SRMS)을 개발 적용하였다. 본 시스템은 침하예측 및 위험도 평가, 구조물 영향 평가, 지반조사 및 계측자료 활용 등의 분야에 3차원 GIS 시스템을 접목시킨 매우 활용도가 높은 위험도 관리 시스템으로 평가되고 있으며, 따라서 GIS-계측-정보화 시스템이 종합적으로 접목된 통합 시공관리 시스템이라고 할 수 있다.

1999년 초에 시작된 암스테르담의 North-South(NS) 지하철은 직경 6.5의 쉴드 터널공법으로 연장 약 3.5 km에 걸쳐 시공되고 있으며 각종 고적 구조물하부를 통과하게 된다(그림 10). 지반조건이 그다지 양호하지 않은 지반에 토피고 약 20~30 m 를 유지하며 터널이 굴착됨에 따라 터널 굴착시 지반침하로 인한 구조물의 피해 문제가 대두되게 되어 설계초기 단계에서 GIS기법을 이용한 침하 위험도 관리 시스템을 개발·적용하기로 결정하기에 이르렀다. GIS-SRMS의 기능을 요약하면 다음과 같으며 그림 11

은 SRMS의 개념도를 보여주고 있다.

- 침하예측
- 침하 위험도 검토
- 주변구조물 피해 관측
- 계측관리
- 지반조건 가시화

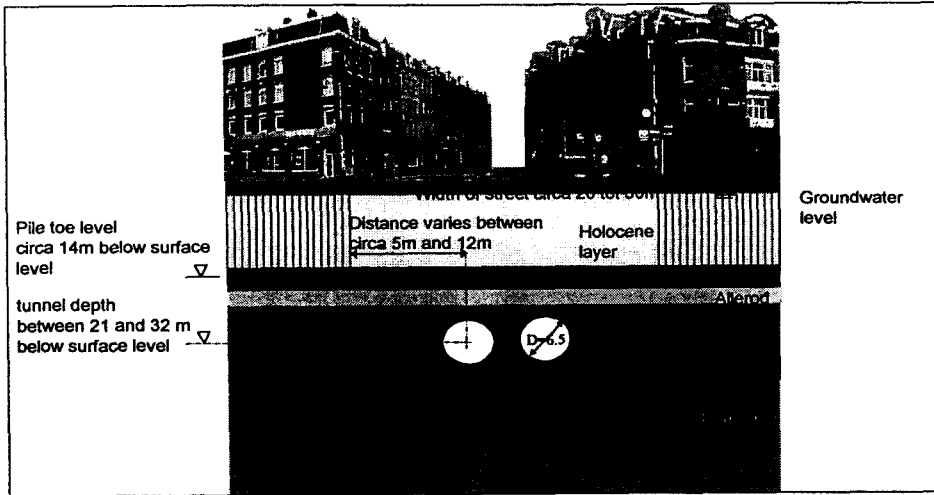


그림 10. 시공단면도

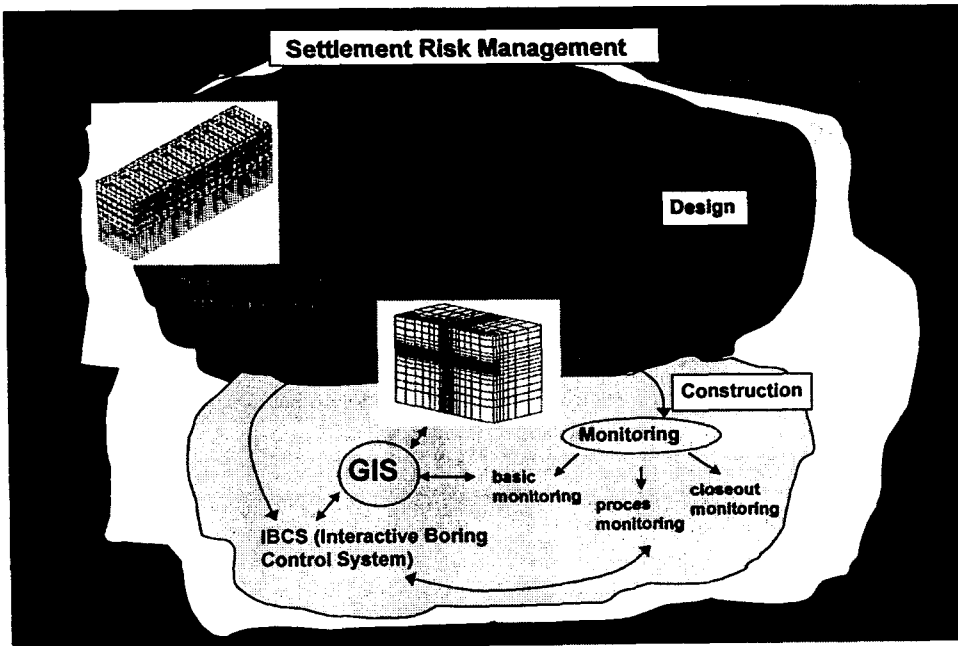


그림 11. GIS-SRMS의 개념도

3.4.2 GIS-SRMS 시스템 구성

GIS-SRMS 시스템은 ARCVIEW 및 ARCINFO로 불리는 GIS 소프트웨어를 이용하여 지리정보를 저장 및 분석하도록 되어 있으며, 주요 모듈은 다음과 같다.

1) 구조물 평가 모듈

본 모듈은 터널 노선의 인접 구조물에 대한 사전 평가결과를 입력하고 가시화 하는 모듈로서 각 구조물의 형식, 변형 및 균열상태, 기초의 종류 및 상태, 연령 등의 구조적 상태 등의 정보를 시공전에 입력하고 이를 관리·가시화 할 수 있는 기능을 보유한다. 그림 12는 구조물 평가 모듈을 보여주고 있다.

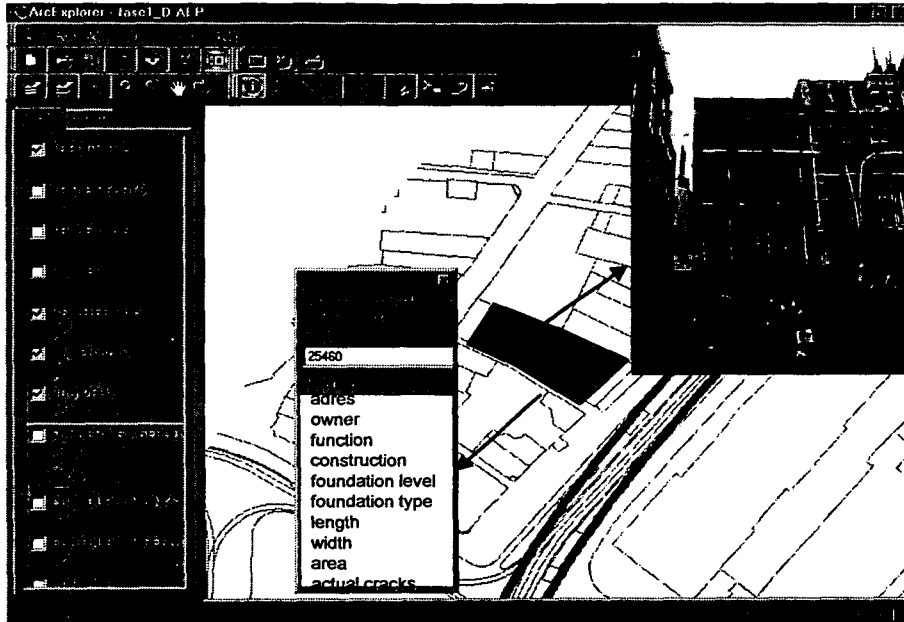


그림 12. 구조물 평가 모듈

2) 침하 위험도 평가 모듈

침하 위험도 평가 모듈은 터널 굴진으로 인한 침하 예측 및 구조물 영향 평가를 토대로 쉘드기의 굴진방법 및 대책마련을 위한 모듈로서 GIS를 이용한 정보화 기법을 기반으로 하고 있으며, 세부 시스템은 다음과 같다.

(1) 침하 예측 시스템

3차원 유한요소해석 및 기타 해석적 모형을 토대로 터널 굴진으로 인한 침하량 및 패턴을 전 터널노선에 대하여 수행한다.

(2) 피해 분류 및 평가 시스템

본 하부모듈에서는 각 구조물의 횡단면 및 종단면 상의 피해정도를 평가하는데 사용되며 이때 피해정도는 해석적 혹은 경험적 방법으로 평가된 후 등급별로 분류하여 나타낸다. 피해 분류는 회전각, 변위비, 기울음, 경사, 침하량 등의 피해 항목에 대한 허용치를 토대로 각 구조물의 내변형(deformation capacity) 정도를 나타낸다. 또한 각 구조물 위치에서 예측된 침하량과 패턴을 이용하여 피해정도를 평가한다.

(3) 침하 위험도 평가 시스템

침하 위험도 평가 결과는 방대한 양을 포함하므로 이에 대한 효율적인 관리 및 가시화를 위한 방안으로서 침하 위험도 평가 결과의 분석을 위해 GIS 기법을 접목하였다. 본 모듈은 침하예측 결과의 가시화 기능과 함께 CAD 형식으로 수치 지도가 오버레이 되어 있어 각 구조물에 대하여 피해 항목을 자동적으로 평가가 하는 기능을 보유한다. 각 구조물의 피해 위험은 피해 분류 시스템을 이용하여 평가하여 분류하도록 되어 있다. 그림 15는 침

하 위험도 평가 시스템의 예를 보여주고 있다.

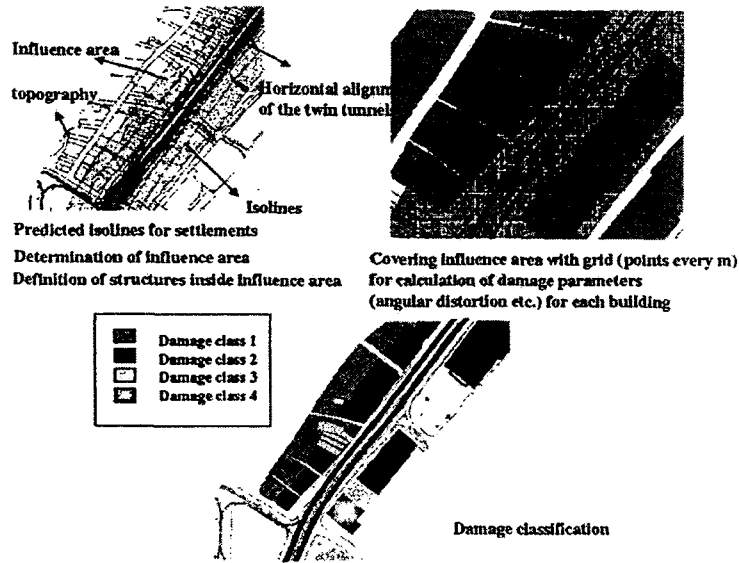


그림 13. GIS를 이용한 지하 위험도 평가 시스템

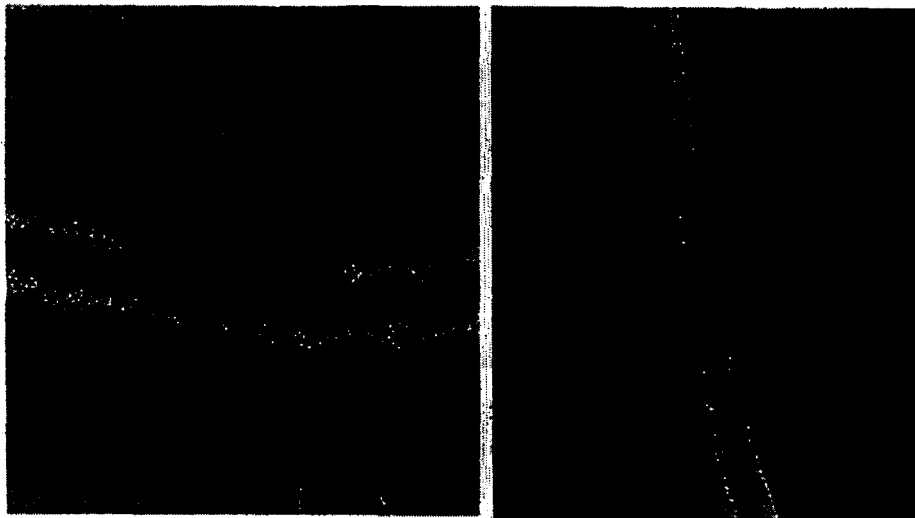


그림 14. 대책공법에 대한 3차원 가시화 기능

3) 대책공법 평가 모듈

침하 위험도 평가 결과 문제가 발생하는 지역에 대해서 지반 보강 혹은 Underpinning 등의 대책공법을 제시하고 이를 가시화 하는 기능을 보유하고 있다. 그림 14는 그라우팅 공법 채택시 이에 대한 3차원 가시화 기능을 나타내고 있다.

4) 지반 정보 영상 모듈

본 GIS-SRMS 시스템에는 지반조사 결과의 효율적인 활용을 위해 GIS 기법을 도입하여 각종 조사 자료를 전산정보 형태로 저장·활용하도록 되어 있으며, 이를 위해 GeoGis98이라는 지반정보관련 프로그램을 사용한다. 그림 15는 3차원 지반정보 가시화 결과를 보여주고 있다.

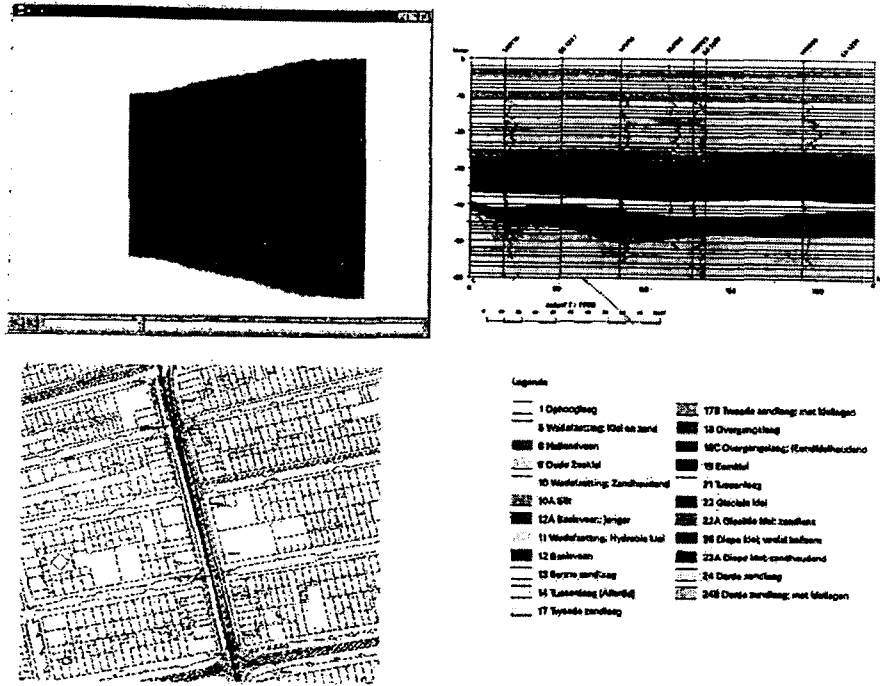


그림 15. 3차원 지반정보 가시화 기능

5) 계측 모듈

본 모듈은 시공중 계측을 통해 터널 굴진 과정의 타당성을 확인하고 주변구조물의 안정성을 검토하는 모듈로서 Total Station과 각 구조물에 부착된 Prism Target을 이용한 원거리 자동화 계측을 관리하도록 구성되어 있다. 계측 프로그램은 시공전 및 시공중 계측, 그리고 시공후 장기계측으로 이루어져 있어 터널 시공에 관련된 장·단기 정밀계측을 수행한다.

계측자료는 ARCVIEW라는 가시화 프로그램을 이용하여 분석 및 관리되며 GIS-SRMS 시스템과의 접목을 통해 종합적인 시공관리가 이루어지도록 구성되어 있다. 또한 계측 계획과정에서 GIS 기법을 이용하여 최적의 계측위치 및 수량을 산정하도록 되어 있어 최적의 계측계획의 수립이 가능하다. 그림 16은 계측 시스템의 개요도를 보여주고 있다.

6) 터널 굴진 관리 모듈(Interactive Boring Control System)

침하로 인한 피해를 최소화하기 위해서는 굴진과정의 최적화가 요구된다. 따라서 GIS-SRMS 시스템에서는 터널 굴진중 획득되는 각종 자료를 종합적으로 분석하여 이를 반영하는 기법을 채택하고 있다. IBCS 개념은 계측자료의 분석 및 수치해석을 통해 다음 구간의 굴진과정에 대한 최적화를 추구하는 정보화 시공에 그 근간을 두고 있으며, 다음 세 기능으로 구성되어 있다.

- 수치해석에 의한 가상굴진을 통한 굴진과정의 최적화
- 터널굴진에 따른 주변 영향평가 및 수치해석 결과와의 비교
- 수치해석 및 반복 검토를 통한 터널 굴진 조절 항목의 결정

그림 17은 IBCS 개념을 도시하고 있다.

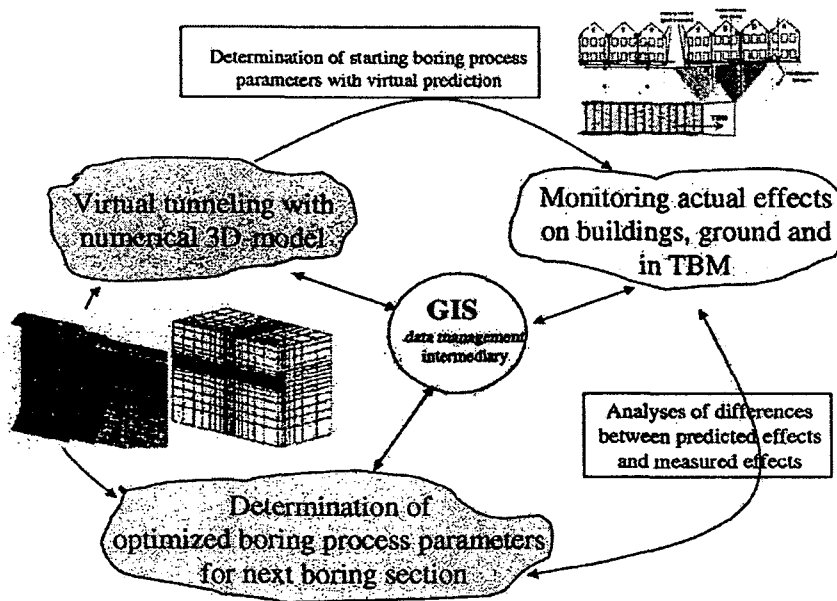
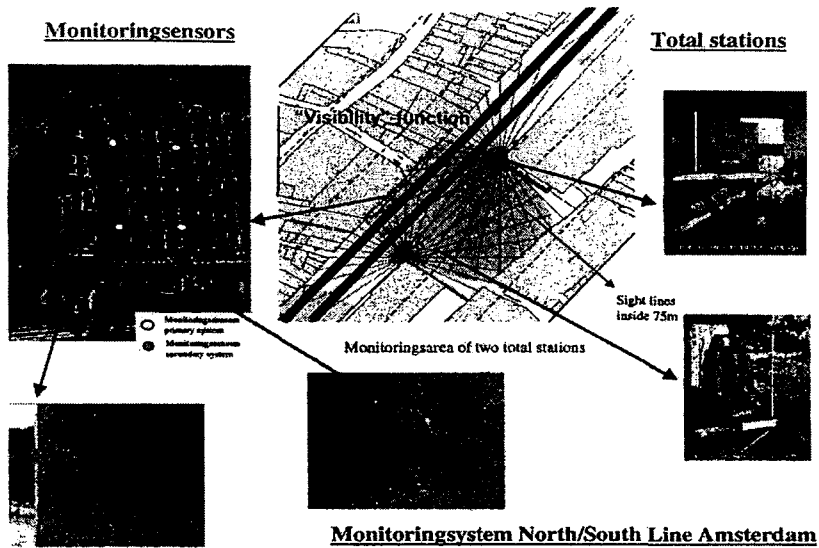


그림 17. IBCS 개념도

4. 정보화 설계/시공 기술의 발전 방향

우리 나라에서 정보화 시공 개념이 정립된 이래 괄목할만한 성장을 하고 있으며 앞으로도 지속적인 성장이 기대된다. 최근의 정보화 시공에 있어서의 국제적인 추세는 단순한 계획에 의존하는 정보화 시공에서 탈피하여 설계-시공-위험도 관리에서의 계획 및 정보화 기술을 접목하는 광의의 정보화 시공기술의 지속적인 연구개발이 이루어지고 있다. 특히 건설 선진국에서는 Internet 및 GIS 시스템을 현장 시공관리에 적극적으로 활용하고 있으며, 통합 정보화 시스템으로의 구축을 통해 발주처-본사-현장 간의 정보교환 및 의사결정이 매우 효율적으로 이루어지도록 하고 있다. 3장에서 기술한 싱가포르의 GDB 시스템이나 네덜란드의 GIS-SRMS, 그리고 영국의 ContAcTS 등은 계획 및 GIS를 터널 시공의 과학적 관리에 정보화 시공 개념을 도입한 좋은 예라고 할 수 있다.

이러한 맥락에서 향후 우리 나라에서 지속적인 연구개발이 요구되는 정보화 설계/기술을 요약하면 다

음과 같다.

1) 계측자료 분석 기술

우리 나라에서 정보화 시공에 계측개념을 적용하는데 있어서의 가장 큰 문제점은 계측자료의 분석 및 활용기술의 낙후성이라고 할 수 있다. 국외에서는 계측결과를 토대로 구조물의 거동을 확인하고 이를 설계에 반영하는 계측기술의 정보화 시공분야에의 체계적인 접목이 이루어지고 있으나 우리의 현실은 계측수행 자체에 만족하고 있는 실정이라고 할 수 있다. 따라서 계측기술 및 정보화 시공기술의 발전을 위해서는 계측과 각종 구조물의 거동과의 연관성을 지반공학적 관점에서 체계화하여 이를 반영하는 체계적인 기술개발이 요구된다.

2) Internet 환경의 설계/시공 통합관리 시스템

정보화 설계/시공을 위해 기존의 노하우의 과학적 관리, 데이터베이스의 활용, GIS-Internet 환경의 시스템을 구축을 위한 기술개발이 요구된다.

(1) 정보화 개념의 토류구조물 설계 자동화 시스템

- 인공지능기법을 이용한 전문가 시스템 개발 기술
- Internet Web 환경의 설계자동화 시스템 개발 기술

(2) 시공 통합관리 시스템

- 시공자료의 데이터베이스 구축기술
- 현장계측 자동화 시스템 개발 기술
- 역해석을 이용한 feed back 시스템 개발 기술
- GIS에 현장관리 시스템 개발 기술

3) 가상현실(Virtual Reality) 기법을 이용한 설계/시공 시스템

(1) 가상현실 설계 및 시공체험 시스템

가상현실 기법을 이용한 현장체험을 통한 문제점 도출 및 시공에의 반영

(2) 보강공법 선정 전문가 시스템

5. 결론

본 고에서는 국외에서 개발 적용되고 있는 정보화 시공 시스템 구축 및 적용 사례를 기술하였으며 보다 효율적인 계측적용을 위한 계측계획 수립의 과학적 접근 방법을 제시하였다. 아울러서 우리 나라 지반공학 분야의 정보화 시공 기술의 도약을 위한 발전 방향을 제시하였다.

우리 나라 정보화 시공기술의 한 단계 도약을 위해서는 계측장비의 개발과 같은 하드웨어적인 기술의 발전과 아울러서 계측자료를 분석하고 이를 설계/시공에 과학적으로 반영하는 소프트웨어적인 기술 개발이 요구되며, 따라서 각종 토류구조물의 거동과 계측결과를 종합적으로 연계하는 체계적이고 종합적인 연구가 요구되고 있다. 아울러서 계측기술을 단순히 적용하는 수준의 정보화 시공에서 탈피하여 체계적인 설계/시공관리를 위한 GIS-Internet 환경의 설계/시공 통합관리 시스템에 관련된 기술 개발이 요구된다고 하겠다.

참고문헌

1. 코오롱건설 (1999) "새 천년을 위한 건설분야 정보화 기술 연구"
2. Buchet, G., Soga, K, Gui, M.W., Bolton, M., and Hamelin, J.P.(1999) "COSMUS: New methods for compensation grouting", Proceedings Field Measurements in Geomechanics, Singapore, pp. 517~524.
3. Dunicliff, J. (1999) "Systematic approach to planning monitoring programs using geotechnical instrumentation: An update", Proceedings Field Measurements in Geomechanics, Singapore, pp. 19~30.
4. Kimmance J.P.(1999) "Geographical information system application to construction and geotechnical data management on large projects:", Proceedings Field Measurements in Geomechanics, Singapore, pp. 151~156.
5. Netzel, H. and Kallberg, F.J.(1999) "Numerical damage risk assessment studies on masonry structures due to TBM-tunnelling in Amsterdam", Proceedings Geotechnical Aspects on Underground Construction in Soft Ground, Tokyo, Japan, pp. 235~244.
6. Sager, H.J. and Herrenknecht, M.(1999) "The Westerschelde tunnel : New shield technologies in Europe", Proceedings Geotechnical Aspects on Underground Construction in Soft Ground, Tokyo, Japan, pp. 257~262.