

국제 터널 시공 정보 교류 방안에 관한 연구

Development of International Tunnel Construction Information Sharing System

김창용¹⁾, Chang-Yong Kim, 김광엽²⁾, Kwang-Yeom Kim, 백승한¹⁾, Seung-Han Baek,
홍성완³⁾, Sung-Wan Hong, 배규진⁴⁾, Gyu-Jin Bae, 이영주⁵⁾, Young-Zoo Lee, Wulf. Schubert⁵⁾

- 1) 한국건설기술연구원 지반연구부 선임연구원, Senior Researcher, Geotechnical Eng. Div., KICT
2) 한국건설기술연구원 지반연구부 연구원, Researcher, Geotechnical Eng. Div., KICT
3) 한국건설기술연구원 지반연구부 연구위원, Senior Research Fellow, Geotechnical Eng. Div., KICT
4) 한국건설기술연구원 지반연구부 연구부장, Director, Geotechnical Eng. Div., KICT
5) 오스트리아 Technical University of Graz

SYNOPSIS : The system which can manage and analyse the tunnel information in design and construction stage was developed through several years' research named ITIS(Intelligent Tunnel Information System). Now, the system is being modified and improved for the use of international tunnel construction information sharing. Some countries have their own management system for tunnel construction, and one of them, called DEST(Data Evaluation System for Tunneling), is adopted for the international cooperation for this research of development. The aimed system is operated under world wide web environment.

Key words : ITIS, tunnel, DEST, management, construction

1. 서 론

최근 전 세계적으로 10 km이상의 초장대 터널 건설이 매우 활발하고, 유럽과 아시아를 중심으로 권역별로 터널 건설이 활발한 실정이다. 터널 시공경험이 풍부한 국가들을 중심으로 대규모 Mega 터널 프로젝트 구상이 활발히 이루어지고 있는 실정이다.

국내의 경우도 고속도로, 지하철, 고속철도, 철도 터널 등 각종 터널 건설 프로젝트들이 매우 활발히 진행되고 있으며, 좁은 국토대비 터널 건설을 위한 지반/암반조건이 매우 양호하여 터널로 노선을 계획하고 시공하는 경우가 점차 증가되고 있는 실정이다. 그 동안의 터널 조사/설계가 외국 기술에 주로 의존하였다면 현재의 터널 설계는 국내의 설계사에 의해서 대부분 수행하고 있고, 지반조건이 매우 불량하거나 과거의 시공경험이 많지 않은 경우에 대한 터널 설계는 아직도 외국의 기술자문 등을 통해서 현안 문제점을 해결하고 있는 실정이다.

국내의 터널 건설비용이 유럽대비 약 1.5~2.0배 정도로 매우 비싼 터널 건설비용이 소요되고 있는 점을 감안해 볼 때, 현재의 국내 터널 건설이 안고 있는 문제점과 이를 개선할 수 있는 방향을 찾기 위해서는 유럽지역에서 터널 시공에 대한 충분한 조사와 분석이 필요하며, 이를 국내 터널 시공에 반영할 수 있는 방안을 마련하기 위해서는 유럽 지역에서 과거에 건설되었거나 현재 건설 중인 터널들을 대상으로 터널 시공 시 얻어지는 정보(계측, Mapping, 시공이력 등)를 어떻게 활용하고, 이를 토대로 안전한 터널을 건설할 수 있는 지에 대한 면밀한 검토가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 국제적으로 추진되고 있는 터널 시공 정보 공유 시스템 구축을 위한 유럽 내

움직임과 이의 핵심에 있는 오스트리아와의 터널 시공 정보 공유 시스템 구축사업을 추진함으로써 현재의 유럽 터널 시공 정보와 국내 시공 정보를 연계하기 위한 기반을 구축하고, 구축된 정보 공유체계를 바탕으로 공유된 터널 시공 정보를 여하히 활용하여 국내 터널 시공의 문제점을 해결하고 좀 더 경제적이고, 안전한 터널 건설을 이룰 수 있는 토대를 마련하고자 한다.

2. 국내외 터널 시공 관리 현황

현재 터널 정보화 시공에 관한 국내 기술 수준은 해외 선진국에 비해 낙후되어 있는 것이 사실이다. 국내에서도 새로운 선진 기술을 도입하여 현장에 직접 적용하고 있으나, 대부분의 선진 기술은 자국내 특성에 따라 개발되어 국내 현실에 다소 적합하지 않아 그 적용에 문제점이 발생하고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 기술 개발에 관한 연구가 지속적으로 수행되고 있으나 아직 초보단계라고 할 수 있다. 또한 이미 현장에 적용되고 있거나 개발된 대부분의 시스템은 각각 개발된 환경이나 목적에 따라 주관적 특성을 나타내고 있으며, 터널 설계 및 시공 중 관리 항목이나 방법 등이 상이하여 서로 정보를 공유하고 상호 적용하는데 많은 어려움이 있다.

도로 및 철도 등의 프로젝트의 경우 교통 및 환경문제 등으로 개착식 굴착보다 터널로 계획되는 경우가 많으며, 이러한 터널 시공 시 연약대 및 파쇄대 등의 열약한 지반을 통과할 경우가 상당히 많이 발생한다. 시공 중 예상치 못한 연약대 및 파쇄대 구간을 적절한 보강 없이 무리하게 굴진함으로써 터널이 붕괴되거나 위험에 직면하는 경우도 있고, 막장 자립시간의 추정과 설치한 지보의 적절함을 파악하기가 곤란하여 붕락이 발생하는 경우도 있다. 외국의 경우 터널 시공 시 발생한 사고에 대한 원인을 철저히 규명하여 유사 지반에서의 사고를 예방할 수 있도록 사고 사례 등의 정보를 공유하려는 노력을 지속적으로 하고 있다. 이에 대한 선진국의 사례를 간단히 살펴보면 표 1과 같다.

표 1. 주요 터널 선진국의 터널 시공 정보 관리 사례

일본	터널계측관리시스템 (MAST)	<ul style="list-style-type: none"> · 조사/설계/시공/계측 자료의 D/B화 및 통합관리 · 퍼지이론과 전문가 시스템을 접목한 관리 시스템 · 지반조건예측 및 보강설계에 적용 · 시공상 문제점의 사전 검토 및 시공중 건전도 평가
오스트리아	터널관리시스템 (DEST)	<ul style="list-style-type: none"> · 오스트리아 TU-Graz에서 개발 및 관리 · 프로젝트 베이스의 관리 시스템 · 지반조사/설계/시공 등에 초점을 맞춘 시스템 · 유럽내 터널 정보 공유 시스템과의 연계 추진
네덜란드	침하 위험도 관리 시스템 (SRMS)	<ul style="list-style-type: none"> · 2000년 네덜란드 TU-Delft에서 개발 · 침하예측, 침하 위험도 평가, 구조물 결함 조사, 지반조사 및 계측 자료 분석 · GIS-계측-정보화 시스템이 종합적으로 접목된 통합 관리 시스템
이탈리아	A.DE.CO. -RS 개념	<ul style="list-style-type: none"> · Rock-Soil사를 중심으로 터널링 정보체계구축 · 설계단계 : Survey, Diagnosis, Therapy · 시공단계 : Operational Monitoring, Final-disign adjustments

3. 국제 터널 시공 정보 교류 체계 마련

3.1 터널 시공 정보 핵심 요소 분류

터널 시공 정보의 공유 체계 구축을 위해서 가장 기본적이며 중요한 작업은 공유의 대상, 시공 정보 간의 유기적인 관계, 시공 정보의 활용방안을 기초로 전체 시스템의 데이터베이스를 모델링 하는 것이

다. 데이터베이스 모델을 설계할 때, 혹은 데이터베이스를 사용하는 환경을 결정할 때, 가장 중요한 요소 중의 하나는 해당 데이터베이스의 용도가 OLTP(Online Transaction Processing)용인지 아니면 DSS(Decision Support System)용인지를 파악하는 것이다. 본 연구에서는 국제 터널 시공 정보 공유 체계라는 OLTP의 외형적 성격이 중요하나, 시공 정보의 활용성에 대한 부분에 대한 중요성은 시간이 갈수록 증가 하기 때문에 두가지 요소를 모두 고려하여야 한다. 국내·외 각국의 터널 시공 유지 관리는 그 나라의 지반조건, 시공조건, 관리기준 등에 따라 다양한 유형을 가지게 된다. 예를 들어, 일본과 국내의 막장(Mapping)에 대한 관리 체계를 비교해 보면, 일본의 경우 토사터널 및 천층 터널의 비율이 높기 때문에 막장관찰의 항목이 토사 및 보강 공법 등에 초점이 맞추어 있으나 국내의 경우 산악 터널이 많아 암반분류(RMR, Q-system) 및 절리조사 등의 암반의 특성에 초점을 맞추어 관리를 하는 특성을 가지고 있다(표 2). 또한, 오스트리아의 경우 터널 시공에 있어서, 3차원 계측 결과의 분석 활용을 위한 부분이 다른 국가들에 비해 중요한 항목으로 다루어지고 있는 실정이다.

표 2. 각국의 유지관리 시스템상의 mapping 관련 조사 항목 비교

한 국	일 본	오스트리아
용수량	용수량	암반강도
굴착공법	보조공법	암반종류
막장용수량	지보타입	절리블록크기
보조공법	지반종류	여굴량
지보타입	토괴고	RMR
지반종류	Description	절리간격
암반등급	지보공변형	절리길이
암석강도	숏크리트 균열	절리간극
RQD	록볼트 이상	절리면 거칠기
절리균 주향	인버트 변형	절리 충전물
절리균 경사	2차복공의 변형	절리 풍화정도
절리간격	추가 숏크리트 유무	용수량
절리길이	추가 록볼트 유무	강지보간격
절리간극	인버트 조기 폐합	막장면 숏크리트 두께
절리면 거칠기	보조공법	인버트 숏크리트 두께
절리 충전물	막장폐합	인버트 숏크리트 면적
절리 풍화정도	스트러트	록볼트 길이
지하수 상태	링컷 유무	록볼트 개수
막장사진	약액주입 유무	포폴링 길이
Description	물빼기공	포폴링 개수
	막장상태	
	암반강도	
	풍화변질	
	균열정도	
	균열상태	
	균열형상	
	용수정도	
	단층방향	
	절리방향	
	강제지보공 변상	
	숏크리트 크랙	
	숏크리트 크랙 위치	
	막장사진	

데이터베이스 모델링을 위한 터널 시공정보의 핵심요소를 선정하기 위해 그림 1과 같이 터널시공일반 부분, 각종 분석 부분, GIS 어플리케이션(application) 부분으로 크게 분류하였다. 터널 시공일반부분은 터널 시공에 관한 가장 기본적인 테이블로서 터널공사정보/조사/설계/시공에 관한 1차 데이터로 구성하였다. 시공 정보 공유 체계 시스템에 조사 및 설계를 포함 시킨 이유는 이러한 정보가 터널 시공 중에 획득된 정보와의 비교 및 분석에서 필수적으로 사용되어 지기 때문이다. 각종 분석부분은 터널시공일반에서 구축된 정보를 토대로 간단한 수식계산부터 터널 및 주변 구조물의 안정성 해석에 이르기 까지 1

차 데이터의 가공을 통한 새로운 결과값을 도출하게 된다. 이 부분은 1차 데이터인 터널시공일반의 데이터를 참조하기 때문에 종속적인 구조를 가지게 된다. 하지만, 다양한 분석을 시스템 상에서 자동적으로 이루어지게 하는 것은 효율적이나, 데이터베이스 구조의 무결성을 약화시키는 결과를 초래할 수도 있다. 따라서 일부 분석기능은 통합 데이터베이스와 별도로 관리되어 수행되도록 설계하였다. GIS 어플리케이션은 터널시공일반에서 구축된 정보와 각종 분석을 통해 생성된 데이터를 사용자에게 가시화하여 보여주는 작업을 위해 필요한 부분이다. 최근에 GIS기술의 증대로 인해 수치지도를 이용한 지형정보의 2, 3차원 가시화 뿐만 아니라 다양한 데이터 분석내용의 가시화가 가능하므로 본 연구에서도 유용하게 활용될 수 있으리라 판단된다.

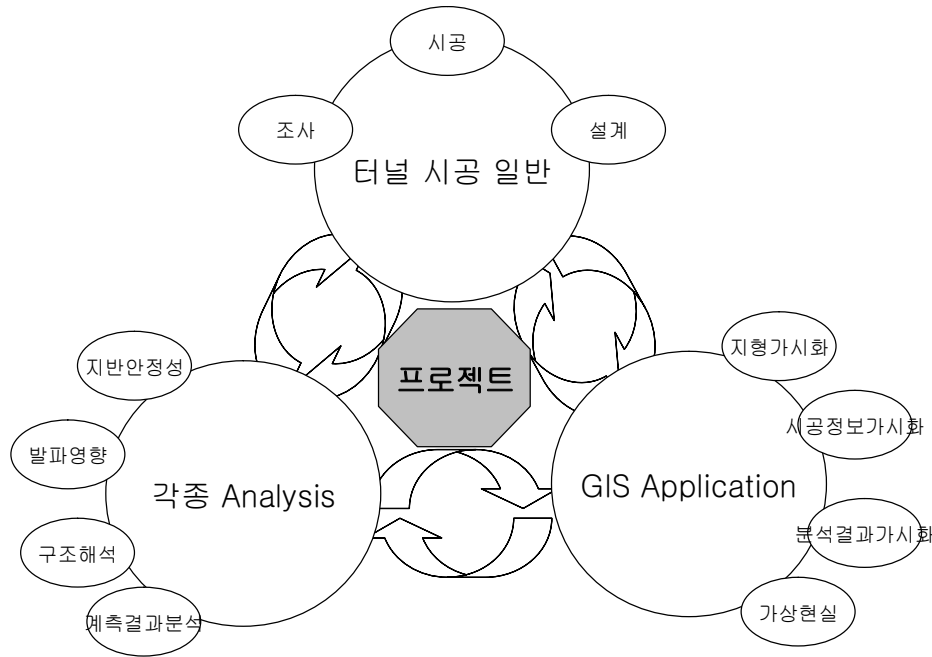


그림 1. 터널 시공정보의 핵심요소 분류

3.2 터널 시공 정보 공유 시스템 구성(안)

국제 터널 시공정보 공유 시스템 개발을 위하여 기 개발된 ITIS_WEB을 기초로 하여 국제 시공 정보의 개선과 성능 개선으로 크게 구분하여 연구를 수행하였다. 조사 결과 터널 시공이 가장 활발히 이루어지고 있으며, 시공 관리 시스템 체계가 가장 우수한 것으로 확인된 오스트리아의 DEST 시스템과 ITIS_WEB을 연계하여 시공 정보를 교류하는 방안을 목표로 하여 시스템을 구성하였다. 이러한 시스템 구성 과정은 국제적 공유를 위한 네트워크 구성, 터널 선진국의 DB시스템과 비교분석을 통한 새로운 데이터베이스 설계의 과정을 거쳐 이루어지게 된다. 초기단계에서는 시스템 구조변경에 따른 임팩트를 최소화 하기 위하여 ITIS_WEB의 시스템 고성능 하드웨어, ITIS_WEB 시스템에 구현된 보안 메커니즘 등을 DEST정보 연계를 위하여 활용하였다.

▪ 환경/인프라 분석

본 연구는 신규 시스템 구축이 아닌 기존의 ITIS_WEB 시스템 및 기존의 DEST 시스템 간의 연계 및 그 데이터의 공유에 초점이 맞추어져 있으므로 시스템 환경 및 인프라에 대한 파악은 중요한 요소이다. 오스트리아는 유럽 국가 중에서 인터넷 망이 매우 발달된 나라로 알려져 있으며 인구 당 초고속 인터넷 보급률도 매우 높다.¹⁾ 실제 오스트리아 현지 Graz 대학 내부에서 한국으로의 접속 및 성능은 화상통화 등 네트워크 트래픽이 다소 많은 경우에도 큰 무리가 없다고 확인되었다. 주기적인 화상정보 전송은

ITIS_WEB의 일부 시스템이 사용하는 SBC(Server Based Computing) 방식과 유사한 트랙픽을 유발한다. 많은 시간과 비용을 통하여 구축된 ITIS_WEB 시스템은 추가 기능 설치에 유연하고 무엇보다 WEB 기반의 특성상 높은 접근성을(접속하여 서비스를 사용하기 위하여 웹브라우저 만 필요) 가지고 있다. 또한 개발된 기능을 서버측에 1회 설치하면 모든 사용자에게 실시간 반영되기 때문에 Application 의 초기 배포 및 수정 배포에 있어 매우 유리하여 개발단계에서는 더욱 효율적이다. ITIS 에 대한 DEST 데이터 연계 기능을 위하여 ITIS_WEB은 매우 적합한 엔트리 포인트라고 판단되었다.

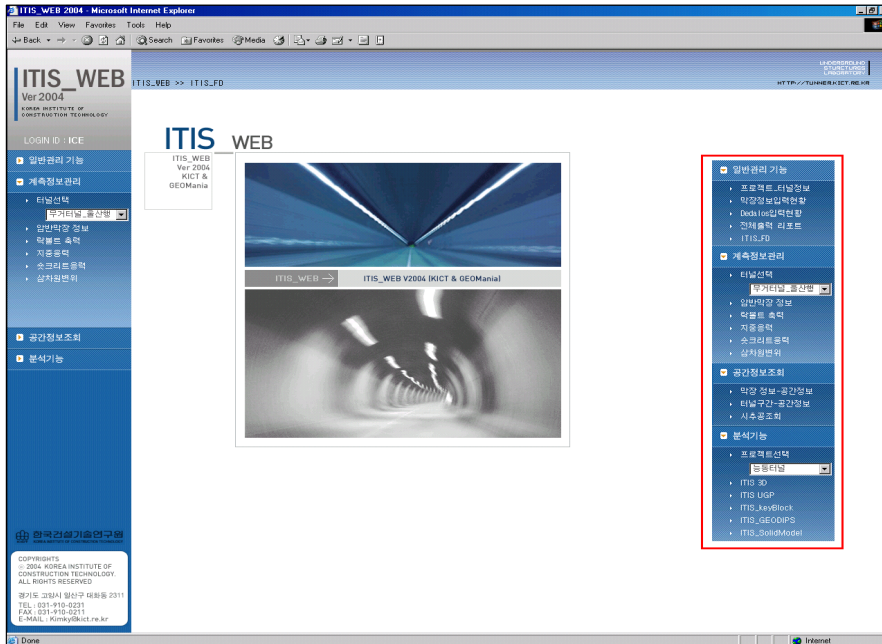


그림 2. ITIS_WEB 전체 화면

▪ 시스템 구성

현재 ITIS시스템은 센터에 중앙 DB를 구축하고 각각의 사용자는 WEB 브라우저를 통하여 접근하는 웹 환경이며 DEST시스템은 각각의 데이터가 로컬에서 저장/관리/활용되는 Stand-alone 시스템이다(그림 3). 국제터널정보 공유시스템의²⁾ 1단계는 그림 4와 같이 구성되었다.

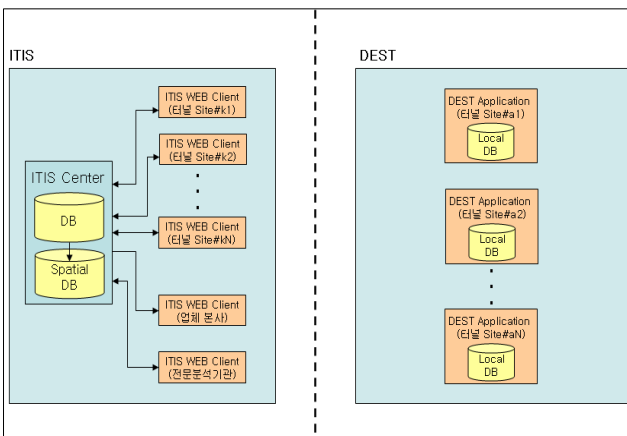


그림 3. 양국 시스템 비교

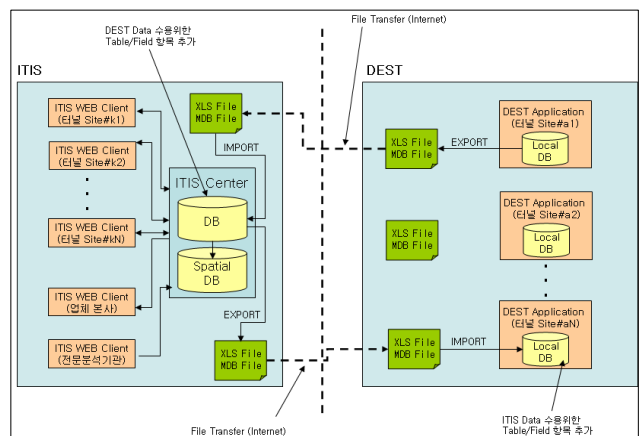


그림 4. ITCISS의 1단계 구성

1) 오스트리아 정보 사이트 (<http://www.cucucu.com>)
 2) ITCISS(International Tunnel-Construction-Information Sharing System, 잠정명칭)

DEST시스템에서는 기존의 방법과 같이 Local DB를 기반으로 입력/분석 수행하며 주기적으로 데이터를 XLS, TXT 등의 파일로 Export 수행한다. DEST에서 제공되는 파일 자료의 구조는 그림 5와 같다. 이를 인터넷(HTTP, FTP 등)을 통하여 ITIS에 전달하면 ITIS시스템은 자동화된 방법으로 파일 데이터를 ITIS메인 DB에 Import하고 이후 ITIS_WEB 클라이언트는 ITIS Center에 저장된 DEST 정보에 쉽게 접근 할 수 있다. ITIS의 정보 역시 MDB 파일로 EXPORT 한 후 인터넷으로 DEST 시스템에 전달되며 이는 DEST 시스템에서 자체 변환 후 활용된다. 파일의 전송단계, Export/Import 단계에서 수작업이 필요한 단점이 있으나 ITIS와 DEST 공히 기존의 시스템에 충격을 주지 않는 안전한 연계 방법이다.

본 연구에서 목표하는 시스템 구성은 그림 6과 같다. 개발시스템(ITCISS)은 전 세계적으로 가장 표준화되고 일반적인 프로토콜인 Web환경에서 운영되는 것으로 구성하였다. DEST시스템에서는 기존의 방법과 같이 Local DB를 기반으로 입력/분석 수행하며 주기적으로 데이터를 XLS 또는 TXT 등의 파일로 Export 수행한다. 이를 인터넷(HTTP, FTP 등)을 통하여 ITIS에 전달하면 ITIS 시스템은 자동화된 방법으로 파일 데이터를 ITIS메인 DB에 Import 하고 이후 ITIS_WEB 클라이언트는 ITIS Center 에 저장된 DEST정보에 쉽게 접근 할 수 있다. 오스트리아에서는 ITIS_WEB 클라이언트를 사용하여 한국의 ITIS 정보에 직접 실시간 접근 조회/검색 할 수 있도록 지원한다. 이러한 오스트리아와의 시공 정보 교류가 실시간으로 가능하게 될 경우 현장 적용성 평가 등을 통해 오스트리아 이외의 국가와도 연계 방안을 마련하고자 한다. 이를 위해 확장성을 고려한 DB 및 프로그램 설계를 수행하고 있다.

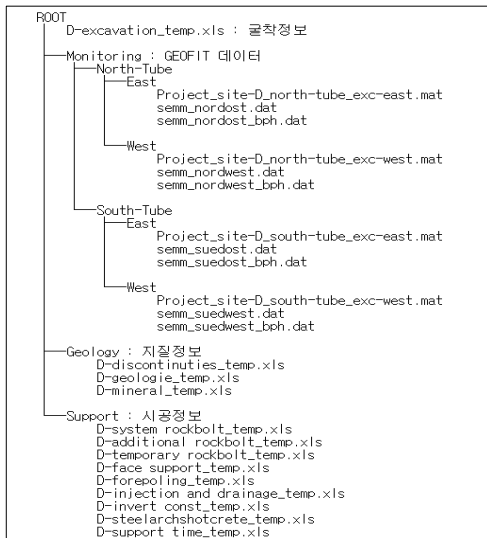


그림 5. DEST 제공 파일 자료 구조

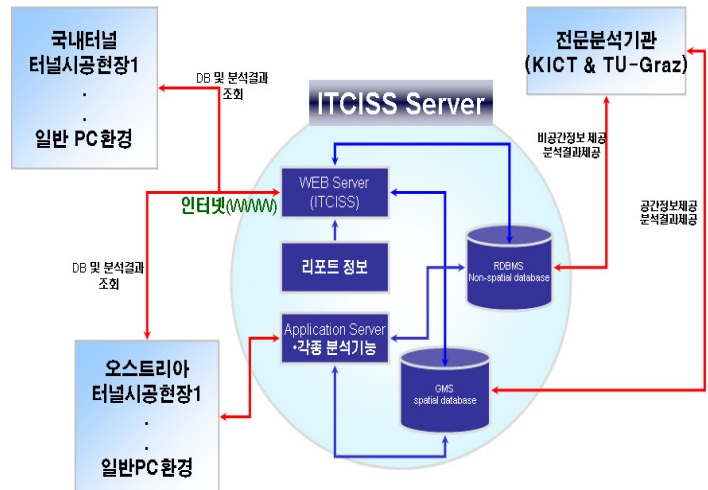


그림 6. ITCISS의 시스템 구성

4. 오스트리아 시공 정보 입출력 시스템(ITIS_DEST)

4.1 기술적인 특징

ITIS_DEST를 개발하게 된 배경은 연구개발 초기에 ITIS 시스템의 서브 시스템으로 가동중인 ITIS_FD(터널 현장 정보 입력/관리)에 DEST관련 일부 Table 관련 Form을 추가 하는 것으로 계획되었으나 분석단계를 거쳐 DEST 정보가 기존 ITIS정보와 손쉽게 융화되기 어렵다는 판단하에 DEST 관련 Table을 다수 추가하게 되었다. 따라서 DEST로 인하여 추가된 Form 역시 20 여개에 이르게 되었다.

ITIS_FD에 대한 영향 및 추가 로드를 피하기 위하여 ITIS_DEST라는 이름으로 별도 Client Application을 개발하였다. ITIS_DEST는 ITIS_FD와 같은 형태이다. 즉 MS Access로 개발 후 컴파일 하여 ADE 의 확장자를 가지며 SBC 방식으로 배포되어 사용된다. 사용자는 WEB 브라우저를 사용하여 ITIS_WEB에 접속하여 ITIS_DEST를 수행하게 된다.

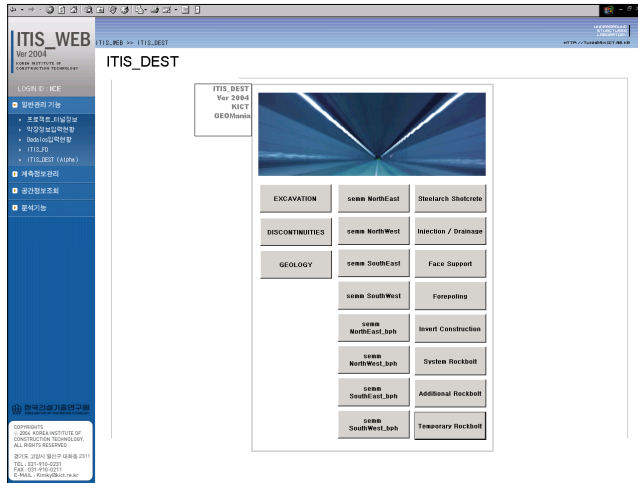


그림 7. ITIS_WEB안에 배치된 ITIS_DEST

그림 8. DEST 굴착 데이터 조회 Form

4.2 화면 구성

정보는 DB로 저장/관리 되고 Form을 통하여 사용자에게 제시 또는 입력된다. 사용자에게 제시되는 Form 에 있어서는 직관성과 일관성을 유지하는 것에 중심을 두었다. ITIS_DEST 내의 20여개 폼 간에도 공통부분은 일관성을 유지하도록 하였고 가능하면 기존 ITIS_FD의 구성과도 큰 변경이 없도록 유지 하였다.

4.3 데이터 활용

오스트리아 시공정보를 입력후 ITIS_WEB시스템 내의 분석 기능을 이용해 차트가시화를 수행해 보았다(그림 9). ITIS_WEB에 Import 된 DEST 정보는 분석을 위하여 다양하게 활용 가능하다. ITIS_DEST 의 차트 특징은 관리자가 분석의 유형에 따라 미리 차트를 구성하여 배포가능하며 사용자는 이렇게 Pre Defined 된 차트를 다양하게 커스터마이즈 할 수 있다는 점이다. 이러한 터널시공정보 활용기술 개발은 추후 계속 연구 될 예정이며 이를 통해 현장에서의 적용성을 확장시킬 수 있을 것이며, 현장에서의 신속한 의사 결정 등에 정량적인 정보를 제공 할 수 있을 것으로 판단된다.

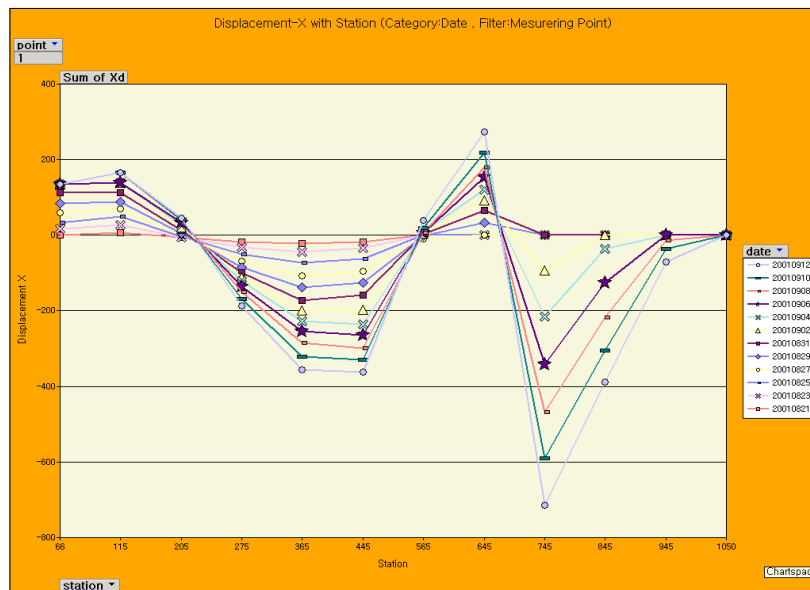


그림 9. ITIS_DEST 의 차트 기능

5. 결론

본 연구는 국제터널 시공정보 공유 시스템 개발을 위한 연구로서 국제화를 위한 터널 시공 정보 공유 체계를 마련하고자 하였다. 이를 위하여 국내외 터널 시공 정보관리 조사 및 주요터널 선진국의 사례를 통하여 합리적인 시공 관리 체계방안을 분석하였고, 과학기술부 국가지정연구실 사업을 통하여 개발되어 온 ITIS를 활용한 국제터널 시공정보 교류체계를 마련하였다. 현재 개발된 ITCISS는 1단계 교류체계가 완성된 상태이며, 2단계 연구를 통하여 터널 사이트 별로 다소 유연하게 항목을 수정 보완하며 저장 테이블의 항목을 충분히 확장하여 이를 단일 저장공간(Table)에서 저장/관리 하고 각 사이트별로 사용자에게 제시되는 폼을 커스터마이징 하는 방향으로 계획하고 있다. 또한, 대만, 일본 등 터널 시공이 비교적 활발히 이루어지는 아시아권 국가들과의 연계방안을 모색하여 국제터널 시공 정보를 위한 객관적이고 효율적인 시스템이 되도록 할 예정이다.

6. 감사의 글

본 연구는 2003년 선정 과학기술부 국제공동연구사업 및 NRL이전 기관고유사업의 일환으로 수행되었습니다.

7. 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. and Kim, C.Y. 2003, Tunnelling in heterogeneous ground-stresses and displacements. *Proceedings of the 10th ISRM Congress*, South Africa.
5. 한국건설기술연구원, 1993-1996, 지하생활공간 개발 요소기술연구(I),(II),(III),(IV), 정책연구보고서.
6. 한국고속철도건설공단, 1995, 고속전철 기술개발을 위한 연구기획, p. 449.
7. 대한토목학회, 1998, 터널공학 분야의 기술개발현황과 미래수요 예측 및 개발전략, p. 72.
8. 김창용, 2001, 도심 터널 굴착에 따른 인접구조물 손상평가, *한국터널공학회지-터널기술*, Vol. 3, No. 4, pp. 46~59.
9. 홍성완 외, 2002, 3차원 가시화 기법을 이용한 터널설계, *한국지반공학회 봄 학술발표회 논문집*, pp.759-766.
10. 김창용 외, 2004, ITIS를 활용한 효율적인 시공관리, *한국지반공학회 봄 학술발표회 논문집*