

지반데이터의 활용을 위한 Web GIS 설계

유 식¹⁾, 박형동¹⁾

Design of Web GIS for Geotechnical Data

Shik Yu and Hyeong-Dong Park

Abstract. Over the past few decades, a considerable number of studies have been conducted on GIS(Geographic Information System) to process spatial data. As GIS comes to be used in many fields and used by many people, Web GIS which is a GIS system used on the internet, was proposed as a good tool to maintain the need. There is an increasing demand for Web GIS to provide more opportunity for users to manage and to analyze geotechnical data. This study mainly focused on the design and application of Web GIS particularly with geotechnical data, including design of efficient database structure for borehole data. A practical application of the Web GIS to tunnelling site has been successfully completed by the design of several analytical functions.

KeyWords: Web GIS, Geotechnical Data, Database, Borehole Data

초 록. GIS(Geographic Information System)를 이용하여 공간과 관련된 데이터들을 처리, 분석하고, 이를 정보화하여 의사결정에 이용하려는 많은 응용 예가 있어 왔다. 최근에는 이를 일반 사용자들에게까지 폭 넓고 효과적으로 제공하려는 추세를 보이고 있다. 이에 대하여 인터넷을 정보전달 수단으로 하는 Web GIS가 그 대안으로 제시되고 있다. 지반분야에서 또한 Web GIS를 이용하여 지반관련 데이터들을 관리, 분석하고 이들 정보를 폭넓은 사용자들이 활용하도록 하는 방안이 요구되고 있다. 본 연구에서는 지반데이터를 효율적으로 관리, 제공하기 위한 Web GIS 구축 방안을 연구하였다. 이를 위해 지반데이터의 주요 형태인 시추데이터에 대하여 데이터베이스의 효율적인 구조를 제시, 구축하였다. 또한 지반데이터 기반의 Web GIS에서 요구되는 분석 기능들의 구현과, 일반 사용자들이 이를 효율적으로 이용할 수 있는 기법을 연구, 개발하여 국내 터널 현장의 자료에 적용한 결과 성공적인 결과를 도출하였다.

핵심어: Web GIS, 지반정보, 데이터베이스, 시추데이터

1. 서 론

Web GIS란 GIS를 인터넷 환경 상에 구축한 시스템으로 기존의 독립(stand-alone)방식의 GIS와 비교해볼 때, Web GIS는 웹을 통해 공간데이터에 대한 검색 및 분석을 가능하게 한다(Fig. 1).

초기에는 단순히 맵을 보여주는 internet cartography의 형태가 대부분이었지만 현재는 다양한 분석기능과 3차원 시각화가 가능한 형태까지 발전하였다(Chang et al., 2002). 현재 Web GIS에서 기본적으로 제공해줄 수 있는 사항은 맵, 데이터, 분석 서비스의 3가지로 분

류될 수 있다(Fig. 2). 맵 서비스는 맵을 보여주는 것으로서 맵의 종류에 따라 Flash, animated GIF 등을 이용한 Dynamic 맵 서비스와 일반 정적인 맵을 제공하는 Static 맵 서비스가 있다. 또한 맵에 사용자의 의사를 반영할 수 있는 interactive 맵 서비스와 그렇지 않은 View only 맵 서비스로 구분될 수 있다(Kraak & Brown, 2001). 데이터 서비스는 맵 형태가 아닌 meta data, raw data등과 같은 데이터를 제공해 준다. 분석 서비스는 Desktop GIS에서와 유사한 분석기능을 제공해주어야 하지만, 실제 웹을 통해 분석이 이루어지므로 그 기술적인 한계로 인해 보다 간단한 분석만이 이루어지고 있다.

Web GIS는 인터넷 환경에서 GIS를 이용함으로써 기존의 독립적 GIS와는 다른 특징을 가지게 되었다.

¹⁾서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부
접수일: 2002년 11월 5일
심사 완료일: 2002년 12월 20일



Fig. 1. Web GIS concept.

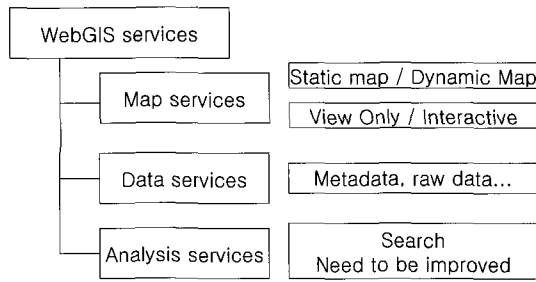


Fig. 2. Classification of Web GIS Services(based on Plewe, 1997).

전 세계에 구축되어 있는 인터넷 망을 이용하게 됨으로써 다양하고 방대한 양의 데이터에 대한 접근이 가능해졌다. 또 Web GIS의 사용자는 특정GIS 소프트웨어의 구입 없이 간단히 웹 브라우저를 통해 접속이 가능하고 GIS전문가가 아니더라도 쉽게 사용이 가능하도록 되어있다. Web GIS는 도로안내, 관광홍보, 기상 정보 제공 사이트 등 실생활에서 관련하여 활용도가 높다. 최근 실생활의 정보뿐만 아니라 지반정보를 이용하여 Web GIS를 구성하는 사례들이 보고되고 있다. 이전까지의 Web GIS가 지상의 데이터를 대상으로 한 공간 데이터 검색 및 제공에 치우쳤지만, 지형공간정보의 활용 범위 확대를 위해 지하 공간 정보를 대상으로 한 Web GIS 구축작업이 필요하다.

지반은 건설공사, 자원 및 지하수자원 개발, 지하 오염 방지 등 지하 공간 활용에 있어 중요한 대상이다. 건설 공사의 사전 조사시에 획득되는 수많은 지반정보들의 활용도가 낮다. 그러므로 비용의 감소와 지반정보의 효율적 활용을 위해 지하공간정보를 데이터베이스로 구축하는 것이 필요하다. 여러 종류의 공간정보에 대한 데이터베이스의 구축이나 운용에 대한 새로운 접근이 제시되고 있으나, 지반의 특성을 고려한 Web GIS연구와 이를 위한 데이터베이스에 대한 연구가 부족하며 국내에서는 주로 시추정보 구축 사례만 보고되고 있다(건설교통부, 1997, 한국도로공사, 1997). 따라서 본 연구에서는 건설현장에서 얻은 지반 데이터를 이용하여 시추조사 및 물리탐사 그리고 시험결과를 통한 지반정보를 데이터베이스로 구축하였으며, 이를 효과적으로 이

용한 Web GIS 사이트를 제작하여 운용성을 평가 분석함을 목적으로 한다.

2. Web GIS 시스템 설계

Web GIS는 기능수행을 위해 클라이언트/서버의 개념을 응용하는데, 클라이언트가 요구한 기능은 서버 측으로 구분되고, 서버는 요구된 기능을 직접 수행하여 결과를 클라이언트로 보내주거나 필요한 데이터와 분석도구를 클라이언트에 보내어 클라이언트 측에서 그 기능을 수행하게 한다. Web GIS를 실제 구현하기 위한 방법은 구동방식에 따라 크게 클라이언트 중심방식과 서버 중심방식으로 나눌 수 있다. 서버 중심 방식은 사용자가 클라이언트를 통해 GIS 데이터와 이 데이터를 가공할 수 있는 S/W가 있는 서버에 접근해 서버에서 GIS 데이터와 분석한 결과를 클라이언트에 제공하는 것이다. 클라이언트 중심 방식은 사용자가 요구하는 GIS 기능을 클라이언트에서 전부 또는 일부를 처리하고 서버에서는 처리를 위한 GIS DB를 제공하는 방식으로서 GIS 기능을 클라이언트에 상주시켜 서버에서는 받아온 GIS DB를 처리한다(Able et al., 1998).

Fig. 3의 시스템 아키텍처를 바탕으로 Web GIS 시스템을 구축하였다. 서버/클라이언트 시스템을 적용하였으며 ArcXML이라는 XML을 통해 서버와 클라이언트가 통신을 하게된다. 서버 측은 크게 3부분으로 이루어

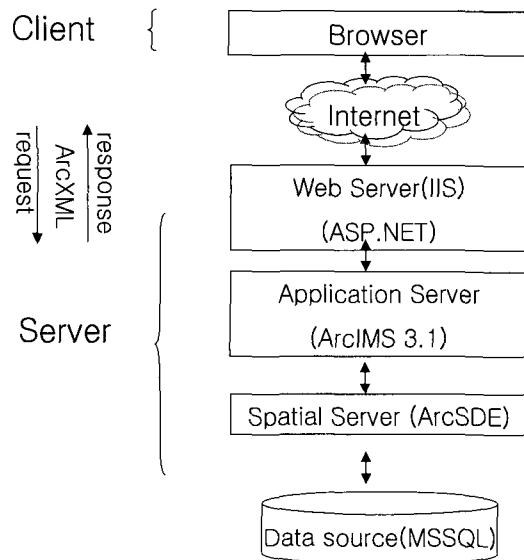


Fig. 3. System architecture of Web GIS developed in this study.

져 있다. 웹페이지를 서비스하는 웹 서버와 공간데이터 베이스를 처리하는 Spatial Server, 그리고 맵을 제공해주는 Application Server로 구성되어 있다. Web Server로는 ASP.NET 페이지를 제공해줄 수 있는 IIS 5.0을 사용하였으며, Application Server로는 ESRI사의 ArcIMS 3.1을 Spatial Server로는 ArcSDE를 사용하였고, DBMS는 MSSQL Server 2000을 사용하였다.

3. 지반정보 데이터베이스 구축

지반정보 데이터베이스의 체계적 구축에 있어 우선적인 대상이 되는 것은 시추조사자료이다. 시추조사자료는 전국의 건설현장에 대부분 존재하므로, 그 양이 방대하고 대상 지역이 전국적으로 비교적 고르게 분포되어 있어서 체계적인 지반정보를 구축하는데 필수적이다. 물리탐사자료나 각종 실험 자료들 또한 지반정보로 구축되면 활용도가 높다. 데이터베이스의 초기 구축 시에는 시추데이터의 양이 적고 시추 데이터들의 출처가 달라 데이터들의 분포가 고르지 않아 활용도가 적을 것이다. 도로 건설 지역이나 지하철 등과 같은 선형적인 분포를 이루는 데이터와 시설물 건설지역과 같이 특정 지역에 분포를 이루는 데이터를 효과적으로 올바르게 활용하는 방법들도 어느 정도의 지반 정보가 구축된 후에 논의되어야 한다. 우선 본 연구에서는 국내 00구간의 터널 건설공사의 데이터를 이용하여 구축하였다. 구축범위가 확대되면 데이터베이스 관리자가 데이터를 추가 입력할 수 있으며 이를 간편하게 관리하는 기능이 추가로 제공되어야 할 것이다.

본 지역은 편마암을 기반암으로 하고 있고 대체로 평

탄한 지형기록을 보이고 있다. 공사 구간은 총 6.256 km이며, 이중 터널 구간은 2.317 km이다(00건설, 2001). 지반조사에서 획득된 자료는 19개의 시추공, 7개의 전기비저항 탐사구간, 6개의 굴절법 탄성파 탐사구간, 1개의 대심도 탄성파 토모그래피 탐사 구간의 결과 이미지가 있으며, 시추데이터는 시추보고서의 내용을 기초로 작성되었다.

시추데이터를 [Holes], [Stratum], [Details] 테이블로 나누어 관리하였다(Fig. 4). [Holes] 테이블에서는 시추공에 대한 정보를 관리하고, [Stratum] 테이블은 지층정보를, 그리고 [Details]테이블에서는 지층 안에 세부적으로 나누어져 있는 부분의 강도, RQD, RMR, Q, SCR의 실험데이터들을 포함하고 있다. 이들 테이블들은 Hole ID와 Stratum ID를 통해 서로 유기적으로 연결되어 있다.

4. Web GIS 사이트 설계 및 구현

실제 구축된 Web GIS는 Application Server로 ArcIMS 3.1을 이용하여 구축하였다. ArcIMS 3.1은 Feature 서버와 Image 서버의 2종의 서버를 가지고 있다. Feature 서버는 클라이언트 쪽에 보내는 맵의 형태가 벡터 타입의 Feature이고, Image 서버에서는 이미지형태의 맵을 클라이언트에 보내는 기존의 방식(ESRI, 2001)을 채택했다. Feature 서버에서는 데이터의 초기 전송량이 많아 속도가 느리며, 웹 브라우저에 Feature들을 Display할 수 있는 별도의 애플릿 설치가 필요하다. Feature 서버는 클라이언트 중심방식에 가깝다. Image서버는 맵의 형태가 일반 웹 페이지에서 보여줄 수 있는 이미지 테

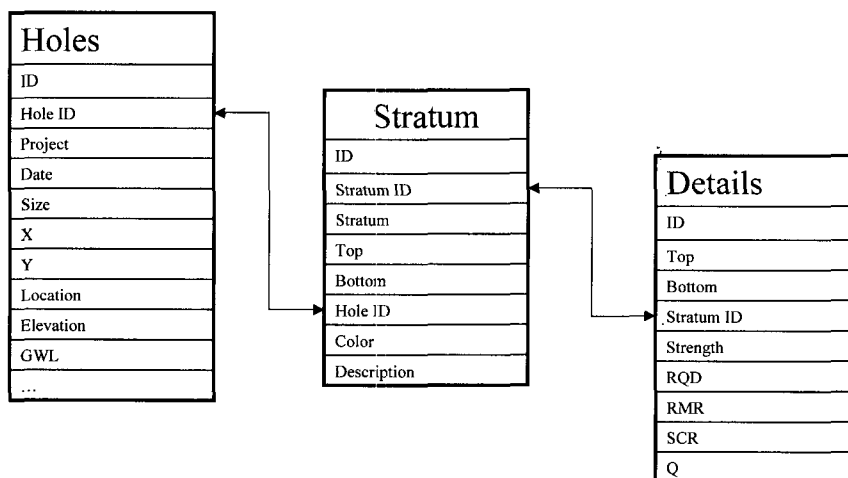


Fig. 4. Structure of database.

이티므로 웹 브라우저에 별도의 애플릿 설치가 필요 없고 속도가 빠르다. 그렇지만 맵 데이터를 단순 이미지로 처리하기 때문에 Feature 서버에서 제공하는 것보다는 제한된 분석기능을 가지고 있다. Image 서버는 서버중심방식에 가깝다고 볼 수 있다. 본 연구에서는 빠르고 현재 가장 많이 사용되고 있는 Image 서버를 사용하였다.

4.1 가시화 기능 설계

Fig. 5는 지반 데이터베이스가 구축된 특정지역을 Web GIS로 구현한 초기 화면의 모습이다. ArcIMS Designer에서 기본으로 제공하는 형태가 아닌 사용자의 편의와 지반정보의 특수성에 맞추어 최적화하였다. 일반 Web GIS에 익숙한 사용자가 쉽게 지반정보를 조회할 수 있도록 하기 위해, 좌측의 메뉴 부분을 지반정보와 관련된 부분과 그렇지 않은 부분으로 나누었다.

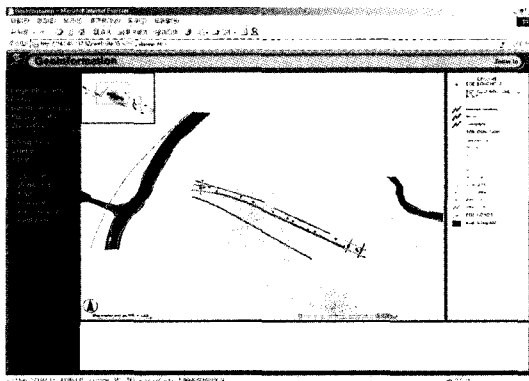


Fig. 5. Initial page of Web GIS.

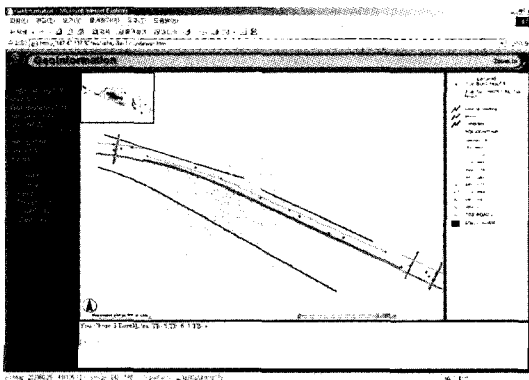


Fig. 6. Drawing borehole locations & lines for drawing borehole section image.

또한 일반적인 Web GIS의 기능들도 다시 그 기능에 따라 분류하여 쉽게 원하는 기능을 찾도록 하였다. Zoom in, Zoom out, Pan등과 같은 지도의 영역 이동에 관한 기능들을 포함하는 Navigation, 데이터베이스에 접근하여 원하는 정보를 조회, 검색할 수 있는 기능을 포함하는 Queries, 그 밖의 거리측정이나 단위조절 등의 기타 기능을 포함하는 Tools로 나누었다. 일반적인 Web GIS 기능 이외의 지반데이터들에 관한 사항들은 메뉴 상단에 따로 두었다. 원하는 시추공에 대한 수직 단면을 보여 주는 기능, 지반데이터 중 시추데이터와 물리탐사 이미지 데이터를 조회하는 기능, 3차원의 모습을 보여 주는 VRML을 제공하는 기능을 제공하였다.

4.2 수직단면 구성

현재 제공되는 Web GIS는 대부분 2차원이다. 지하 공간에 분포하는 데이터를 2차원 맵에 표현할 수 없으므로 시추공 수직단면 부분을 맵과 별도로 Display하는 것이 필요하다. 이렇게 함으로써 사용자들이 쉽게 지층의 분포를 파악할 수 있으며, 시추공이 존재하지 않는 지역에 대한 정보를 주위의 정보를 이용하여 어느 정도 파악할 수 있다. 이를 위해 사용자가 시추공을 선택해 나가면 선택된 시추공을 따라 빨간 실선이 맵에 그려지고 아래쪽 프레임에 선택된 시추공의 정보가 나타나도록 하였다(Fig. 6). 위에서 선택된 시추공의 정보를 이용하여 수직단면을 작성하였다(Fig. 7). 수직 단면도에서의 시추공간의 거리도 실제 시추공 간격에 비례가 되도록 하였으며 지하수위를 함께 표시하였다.

맵과 관련된 처리는 클라이언트와 서버간 ArcXML이라는 XML(eXtensible Markup Language)형태로 정보를 주고 받는다. 선택된 시추공의 좌표와 수직방향의 지층분포를 추출하여 동적으로 이미지를 생성한다. 이

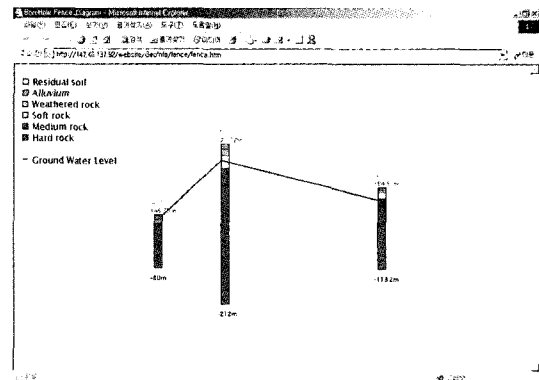


Fig. 7. Presentation of borehole section.

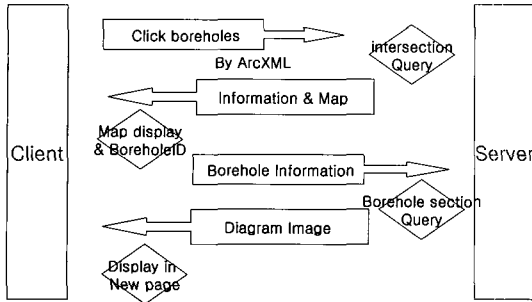


Fig. 8. Flow chart of drawing a borehole section.

페이지는 ASP.NET, Javascript를 이용하여 만들어졌다. 그 작동 과정을 간단히 살펴보면 다음과 같다(Fig. 8).

클라이언트에서 맵의 해당위치를 클릭하여 선택된 영역을 서버에 ArcXML로 보낸다. 서버에서는 ArcXML을 해석해서 Query하여 다시 맵을 생성하고 처리결과를 클라이언트에 보내주게 된다. 클라이언트 쪽에서는 처리결과를 해석하여 맵을 다시 그리고 시추정보를 서버에 보내게 되고 서버에서는 그 정보를 이용하여 시추공의 수직단면을 그리기 위한 정보를 데이터베이스에서 질의한 후 동적으로 이미지를 생성한다. 마지막으로 클라이언트에서는 그 이미지를 보여준다.

4.3 시추데이터의 검색

2차원의 맵에 수직방향의 시추공 정보를 함께 나타낼 수 없으므로 각각의 시추공에 대한 자세한 정보들을 따로 보여주어야 한다. 맵에서 시추데이터를 선택하였을 때 위에서 구축된 시추데이터를 이용하여 동적으로 페이지를 생성하여 시추정보를 조회할 수 있도록 하였다. 동적으로 페이지를 제작하기 때문에 데이터베이스에 시추 데이터를 새로 구축해 놓으면 그 데이터를 바로

BoreHole data services

BoreholeID : TB-6-1

PROJECT	WELL ID	DATE	CASING DEPTH	TOTAL LENGTH	NE DIAM	EQUIPMENT	SIZE	
Changry Tunnel	TB-6-1	2001-03-10 02:13:23.00	34	212	100mm dia	CR-300	1.8	
LOCATION	ELEVATION	X	Y	COM	LEVEL OR	INVESTIGATOR		
37A 24°11.5' N 126°30' 00" E	272.72	22592.256092	42023.16272	21.2	Seo-gyong On	Seon-Kit-m		
STRATIGRAPHY	STRATUM	TOP	BOTTOM	COL OR	DESCRIPTION			
details	TB-6-1-0	272.72	272.72	000	dark brown	very moist, sandy, silty clay		
details	TB-6-1-1	272.72	272.72	000	dark brown	moist, sandy, silty clay		
details	TB-6-1-2	272.72	272.72	000	dark brown	moist, sandy, silty clay		
details	TB-6-1-3	272.72	272.72	000	dark brown	moist, sandy, silty clay		
details	TB-6-1-4	272.72	272.72	000	dark brown	moist, sandy, silty clay		
details	TB-6-1-5	272.72	272.72	000	dark brown	moist, sandy, silty clay		
details	TB-6-1-6	272.72	272.72	000	dark brown	moist, sandy, silty clay		
details	TB-6-1-7	272.72	272.72	000	dark brown	moist, sandy, silty clay		
details	TB-6-1-8	272.72	272.72	000	dark brown	moist, sandy, silty clay		
STATISTICS	TOP	BOTTOM	DEP	STRENGTH	SCR	ROD	TOP ELEVATION	BOTTOM ELEVATION
TB-6-1-0	272.72	272.72	0	43	60.15	25	272.72	272.72
TB-6-1-1	272.72	272.72	0	17.09	23	4.789	272.72	272.72
TB-6-1-2	272.72	272.72	0	11	22	2.069	272.72	272.72
TB-6-1-3	272.72	272.72	0	20.11	54	1.96	272.72	272.72
TB-6-1-4	272.72	272.72	0	11	32	0.96	272.72	272.72

Fig. 9. Presentation of result of database query for borehole data.

웹에서 조회할 수 있다. 시추 데이터가 있는 곳을 선택하면 그 부분에 관한 좌표정보를 서버 측에 보내 서버 측의 응답을 받아 그 데이터를 이용하여 위에서 구축된 데이터베이스에 접근, 질의하여 해당 시추정보를 보여 주게 되어 있다. 제공하는 데이터는 시추 주상도에 담겨져 있는 프로젝트명, 시추날짜, 시추번호, 시추심도, 표고, 좌표, 지하수위, 시추방법, 시추자, 조사자, 사용장비, 굴진 심도, 케이싱 심도를 보여 준다. 그리고 원하는 지층에 대한 자세한 데이터를 조회하려면 그 지층을 선택하여 그 부분의 데이터를 보여주도록 하였다(Fig. 9).

4.4 PDA를 이용한 구현

현장에서는 시추정보를 PC를 이용하여 조회하는 것보다 PDA를 이용하여 직접 조회하는 것이 더욱 편리할 것이다. 현장에서 시추공의 이름을 알면 시추공에 대한 정보의 조회가 가능하도록 하였다. Fig. 10은 Yospace PDA 에뮬레이터를 통해 시추정보를 조회하는 모습이다. 많은 양의 데이터들을 PDA를 통해 보여주기는 어려움이 있기 때문에 실제 현장에서 필요한 데이터들을 선택하여 제공하는 것이 필요하다. 향후 PDA에서도 맵을 지원해 줄 수 있는 시스템에 대한 연구가 필요하다.

4.5 탐사자료 구축

시추정보 뿐만 아니라 다른 종류의 지반정보들도 함께 구축할 수 있다. 전기 비저항탐사, 탄성파탐사, 대심도 토모그래피 탐사의 물리탐사 이미지들을 맵상에서 보여주도록 하였다. Fig. 11은 맵에서 물리탐사 데이터가 존재하는 해당지역을 선택하였을 때 그 위치의 물리탐사 이미지를 보여주는 모습이다. 웹에서 제공하는 데이터 형식으로 지반정보들을 변환하여 맵에서의 위치 정보를 가지도록 하면 다른 지반정보들도 제공될 수 있다.

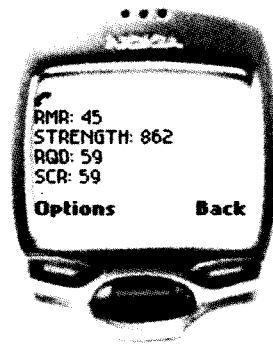


Fig. 10. Presentation of borehole data on a PDA emulator.

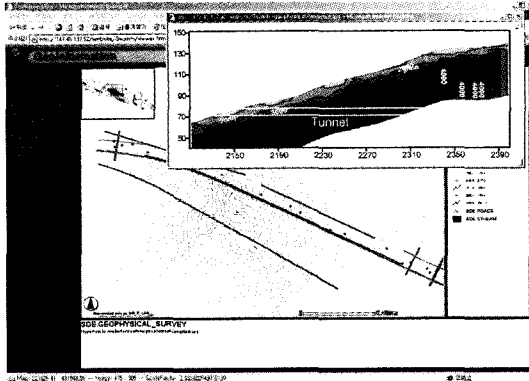


Fig. 11. Presentation of physical survey data.

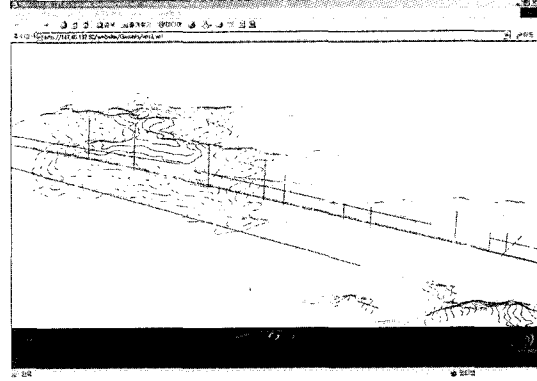


Fig. 12. 3D VRML image.

4.6 VRML을 이용한 구현

구현된 맵에서는 등고선을 이용하여 지형을 파악할 수 있다. 좀더 직관적으로 지형과 함께 시추공의 정보를 파악하기 위해서 3차원으로 가시화 하였다(Fig. 12). 해당지역을 ArcScene을 이용하여 3차원으로 나타낸 VRML(Virtual Reality Modeling Language)이미지이다. 등고선과 시추공의 위치, 각 시추공 지층의 분포를 3차원으로 표현하였다. 확대, 축소, 이동 등의 기능을 통하여 대상물체를 3차원으로 움직이며 바라보는 것이 가능하다. Web GIS로 구축된 지역이 작은 범위이기 때문에 하나의 이미지로 제공하였지만, 대상 범위가 넓어 진다면 VRML이미지들을 여러 조각의 타일형식으로 나누어 관리해야 한다.

하여 신뢰성을 평가할 수 있도록 기본 기능 구현을 성공적으로 제시하였다. 특정 단면에 대한 지반정보의 분포를 맵상에서 추정, 분석할 수 있는 기능을 구현하는 추가 기능의 개발을 통해 지반 정보의 효율적인 분석 및 공유가 가능하다.

5. 결 론

지반데이터를 효과적으로 관리하고 활용하기 위해서는 지반데이터를 이용하여 Web GIS를 구축하는 것이 필요하므로 Web GIS를 위한 지반데이터의 효과적인 데이터 구조를 제시하였고, 이를 이용하여 Web GIS를 구축해 보았다. 맵상에서의 지반정보에 대한 분석이 가능하도록 위치정보를 갖는(geo-referenced) 시추공의 수직 단면 이미지, 시추공의 세부 데이터, 물리탐사 이미지를 제공하였다. 현장에서 PDA를 통해 시추데이터를 직접 조회하는 기능을 추가하여 활용도를 높이고자 하였다. 지형과 함께 시추정보, 물리탐사 정보를 3차원 VRML 이미지로 제작하여 가시화하고 관리하는 기능을 개발하여 사용의 공간에 대한 이해를 높이고자 하였다. 향후 지반조사와 분석에 효과적으로 활용하기 위해서는 특정 데이터의 분포를 제공하고 다수의 데이터를 확보하여 신뢰성을 높이며 이들 간의 상관관계를 제공

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호: 2002-2-13200-001-3) 지원으로 수행되었으며 이에 감사드린다. 또한 본 논문은 서울대학교 공학연구소의 지원 및 2002년도 두뇌한국21사업의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드린다.

참고문헌

1. Chang, Y.,S., Yu, S., and Chang, E.,J., Park, H.,D., 2002, Management of Geospatial Data for GIS Applications using Web Interface, Proc. of ACSM-ASPRS 2002 annual conference, Washington, DC, USA, April 19-26, CD-ROM.
2. Kraak, M. and Brown, A., 2001, Web Cartography: developments and prospects, Taylor and Francis, London, 213.
3. Kraak, M. and Brown, A., 2001, Web Cartography: Trends in Cartography, Taylor and Francis, London, 9-19.
4. Plewe, B., 1997, GIS-Online: information Retrieval, Mapping, and the Internet, OnWord Press, 63-93.
5. 건설교통부, 1997, 고속전철 터널기술 개발.
6. 한국도로공사, 1997, 지반조사자료 정보화 시스템 구축연구(1).
7. Abel, D., Taylor, K., Ackland, R., and Hungerford, S., 1998, An exploration of GIS architectures for internet

- environments, Comput., Environ. and Urban Systems, 22.1, 7-23.
8. 00건설, 2001, 00구간 도로개설 건설공사 지반조사 보고서, 157-257.
9. ESRI, 2001, Using ArcIMS, Environmental Systems Research Institute, Inc., 5-10.



유 식

2001년 아주대학교 환경도시공학부 토목
설계공학과 공학사
2003년 서울대학교 대학원 지구환경시스
템공학부 공학석사 학위예정

Tel: 02-880-8283
E-mail: jen123@snu.ac.kr
현재 서울대학교 공과대학 지구환경시스
템공학부



박형동

1988년 서울대학교 공과대학
자원공학과 공학사
1990년 서울대학교 대학원 자원공학과
공학석사
1994년 Engineering Geology Research
Group, Imperial College, University of
London, PhD
Tel: 02-880-8808
E-mail: hpark@gong.snu.ac.kr
현재 서울대학교 공과대학 지구환경시
스템공학부 교수