

지반정보DB 및 GIS기술을 이용한 지반모델 생성과 분석평가 시스템 개발에 관한 연구

우제윤, 구지희, 이상훈*
한국건설기술연구원 GIS/LBS 연구사업단
031)910-0553, sanghoon@kict.re.kr

A study to develop underground cross-section model and analysis/assess
system using geotechnical information DB and GIS

Woo Je Yoon, Koo Jee Hee, Lee Sang Hoon*

요 약

지반정보DB는 NGIS 2단계 기본계획의 하나인 '지하지리정보'구축 시 프레임이 되는 정보로써 건설교통부는 '00년부터 전 국토를 대상으로 DB화하는 사업을 추진하고 있다. 그러나 이러한 정보가 지반의 개괄적인 상태파악에만 목적이 있을 뿐, 보유한 공학정보를 이용하여 지반해석과 상세설계에는 활용하지 못하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 지반정보 DB에서 공간정보와 시추 및 공학시험정보를 실시간으로 불러들이고, 정의한 알고리즘에 따라 토공량 산정, 지지력 산정, 침하량산정, 연약지반 평가, 액상화 평가를 수행하는 GIS Client를 개발하였다. 사용자는 Client로 지도상에서 구간 및 각종정보를 입력할 수 있으며, 그 결과를 수치 혹은 평면도 형태로 제공받을 수 있다. 본 연구를 통해 지반정보DB 수요를 건설계획 및 설계 등 실무 전반으로 넓힐 수 있으리라 기대된다.

I. 서론

지반정보DB는 2단계 NGIS 기본계획 중 활용체계의 하나인 '지하지리정보'구축에 있어 프레임이 되는 자료로서, 건설교통부에서는 '00년부터 전국의 국토를 대상으로 지반조사 자료를 DB화하는 사업을 추진하여 현재 약 2만여 시추공의 자료가 구축하였다.^{[1][2]} 구축된 지반정보는 지하의 성층구조, 지하수위, 토사 및 암반의 물리화학적 특성 등의 정보를 제공하며, 현재 입지선정 등을 위해 활용되고 있다.

국외의 경우에는 이미 지반정보DB의 용

용에 GIS개념을 도입하였다. Macan(1997)은 지반정보와 GIS를 결합하여 지진위험도 분석을 수행하였고, Okimura 등(2000)은 도시방재 및 도시개발에 GIS와 지반정보를 이용하였으며, Nishie 등(2000)은 GIS 통합지반정보 관리시스템을 개발하여 내부의 지질구조를 가시화하고 사면관리에 이용하였다.^{[5][7][6]} 또한 일본 주택지반정보제공시스템(GEODAS)에서는 인터넷을 통해 지반조사결과, 보강공법, 지반간이진단서 작성기능을 제공하고 있다.^[8]

기구축된 지반정보DB는 건설공사를 위해

시추한 자료를 DB화 한 것으로 일반적인 지층정보 뿐만 아니라, 각종 시험정보를 보유하고 있어 지반의 해석과 지하구조물 설계에 매우 유용하게 활용될 수 있으리라 기대된다.

따라서 본 연구는 기구축된 지반정보 DB를 활용하여 대상지역의 지반의 공학적 평가와 상세설계에 활용할 수 있는 토질정수 값을 산정하는 시스템을 개발하였다. 이를 위해 지반정보DB의 지형도에서 추출한 DEM과 각 지층을 보간(interpolation)하여 지층단면 모델을 생성하였으며, 이를 기반으로 토공량 산정, 지반 침하량 산정, 액상화 평가, 연약지반 평가 기능을 구현하였다.

II. 지반정보DB 소개

지반조사는 건설공사 시 공학적 판단 근거를 제공하기 때문에 모든 건설공사에서는 필수적으로 지반조사를 수행하여 방대한 양의 성과가 축적되었다.^[4] 그러나 이러한 조사성과가 문서형식으로 관리되어, 자료 공유 및 재활용이 매우 어려웠기 때문에 DB화하여 효과적으로 관리할 필요성이 제기되었다.^[3]

이러한 필요성에 따라 건설교통부는 '국토 지반정보 DB구축사업'을 '00년부터 시작하였으며, NGIS 2단계 기본계획부터는 향후 지하 국토공간의 효율적인 활용을 위해 '지하지리정보' 구축을 계획하고, 본 사업을 지하지리정보의 기반을 구축하는 사업으로 보고 본격 추진하고 있다.

지반정보DB구축의 첫 대상은 전국을 DB화하기 위하여 전국에 싹틔줄처럼 뻗어 있는 국도를 대상으로 하였으며, 점차적으로 단지, 항만, 철도, 지하철, 공항 및 민간 건축공사 등 건설 전분야로 확대하고 있다. 현재 구축된 지반정보DB의 성과는 [Table 1]과 같다.

[Table 1] 지반정보DB 구축현황

구분	내용	구축량(공)
국도	경기권 시추/시험성과	3,220
	충청권 시추/시험성과	4,005
	전라권 시추/시험성과	2,100
	경상권 시추/시험성과	8,461
	강원권 시추/시험성과	290
지하철	대전지하철 시추/시험성과	271
자원	금속,석재,탄전 시추주상도	783
단지	충청,전라권 시추/시험성과(토지공사 자료통합관리)	2,531
합계		21,661

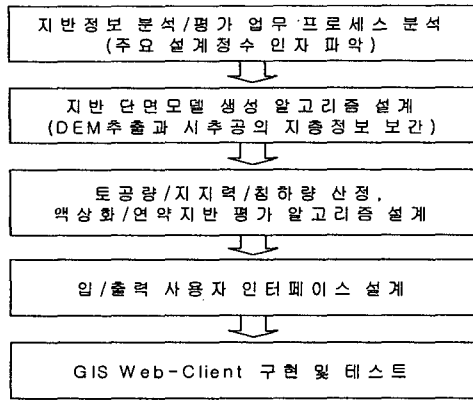
지반정보DB는 건설공사 및 자원개발시 시추조사 성과와 실내시험성과를 DB화 한 것으로 시추주상도 위치정보 및 건설에 필요한 지형지물에 대한 정보로 공간정보를 구축하여, Web-GIS를 통해 인터넷으로 효과적으로 활용할 수 있는 ASP서비스를 운영하고 있다.(<http://www.geoinfo.or.kr>)

또한, 건설교통부는 지반정보DB의 통합 관리 및 표준화를 위해 NGIS법에 의거 전문기술지원기관으로 '한국건설기술연구원'을 지정하여(2003.2) 운영 및 관련기술연구를 수행하도록 하였다.

III. 지반모델 생성, 분석/평가 시스템 설계

1. 연구방법

기 구축된 지반정보 DB를 활용하여 특정 지역 지반의 분석 및 평가를 수행하기 위하여 업무분석과 건설공사에 주요한 지반정수를 결정하였다. 그리고 분석을 위해 지반정보DB에서 정보를 가져와 단면도형태의 모델을 생성하였다. 모델을 바탕으로 사용자의 부가정보 입력에 따라 지지력 산정, 침하량 산정, 액상화평가, 연약지반평가 등의 기능을 수행하는 분석/평가 시스템을 설계·구현하였다. 다음 [Fig. 1]은 연구진행과정을 나타낸다.



[Fig. 1] 연구진행 과정

2. 분석/평가대상 및 요구사항 분석

건설공사는 공중에 따라 주로 절토와 성토를 수행하는 토목공사와 구조물을 건설하는 건축공사로 크게 나뉘게 된다. 먼저 사업비에 직접적으로 관련된 지층별 질/성토량과 구조물 설계 시 필수적인 지지력, 지반침하량에 정보를 제공하여 설계정수로서 활용할 수 있도록 선정하였다. 또한 최근 신도시 개발 등에 따라 광역적으로 연약지반 여부 평가에 대한 수요가 증가하였고, 지진이나 도시밀집지역에 재건축 등에 따른 동하중 발생으로 인해 액상화 평가에 대한 요구가 증가하여 연약지반 및 액상화 여부를 평가에 대한 프로세스로 선정하였다. 주요한 시스템 분석대상은 다음 [Table. 2]와 같다.

[Table 2] 주요 분석/평가 대상

구분	주요내용
토공량 산정	-질/성토구간 및 계획도면 생성 -지층별 절성토량 산정
지저력, 침하량, 지반정수 산정	-시험자료에 따른 지반정수 산정 -기초 지지층 선정 및 기초형식에 따른 지저력 산정 -구조물에 따른 침하량 산정
연약지반, 액상화 여부 평가	-지층/시험자료에 따른 연약지반 산정 -연약지반의 침하량 파악 및 액상화 가능지반 결정

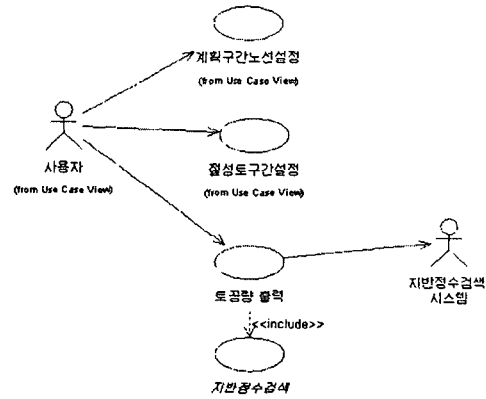
토공량 산정을 위해서는 사용자가 지도상에 계획 구간 및 계획고를 입력하고, 절성토 구간을 설정하면 이에 따른 지층분류에

따라 토량환산계수 계산하여, 지층별 토공량을 산정하게 된다. 토공량 산정을 위해 채택한 주요과정은 [Table 3]과 같다.

[Table 3] 토공량 산정시 주요과정

기능	연동자료	주요내용
노선중단면도	수치지도	공간DB
	시추주상도	속성DB
지반모델 생성	노선중단면도	지반모델 View
	시추주상도	
절성토 구간설정	지반모델	지반모델 View
토량변화율 (토량 환산계수)	시추주상도	토성분류에 따른 토량환산계수 산정
	실내시험자료	
절성토량 계산	지반모델	토공량 계산
	토량변화율	

다음 [Fig. 2]는 이에 대한 use-case diagram이다.



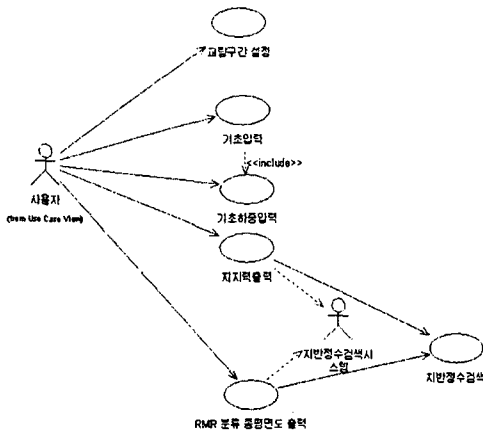
[Fig. 2] 토공량 산정시 use-case diagram

구조물 설계 시 주요한 지반정수의 하나인 지지력을 계산하기 위하여 사용자는 구조물 구간정보와 함께 기초의 종류, 위치, 하중에 대한 정보를 입력한다. 본 연구에서는 도로공사의 대표적인 구조물인 교량을 예로 들었으며, 입력된 구간정보와 지반정보DB검색을 통해 지층별 통일분류(USCS), 연경도 등을 이용하여 기초하단부 지반에 유발되는 지지력을 산정하였다. 이때 지층의 종류(풍화암, 연암층) 및 기초(직접/말뚝)에 따라 관련 경험식을 적용하게 된다. 지지력 산정을 위해 채택한 주요과정은 [Table 4]와 같다.

[Table 4] 지지력 산정시 주요과정

기능	연동자료	주요내용
기초형식선정		직접/깊은기초선정
지지력계산	기초형식	사용자입력
	지반모형	토중, 암반분류
	강도정수	점착력, 내부마찰각
	변형계수	탄성계수, 포아송비
	RMR	Bieniaski의 RMR
지지력출력	지지력계산	토사/암반에 따른 경험식(Terzaghi, Hoek-Brown등)

다음 [Fig.3]은 지지력 산정 시 use-case diagram이다.



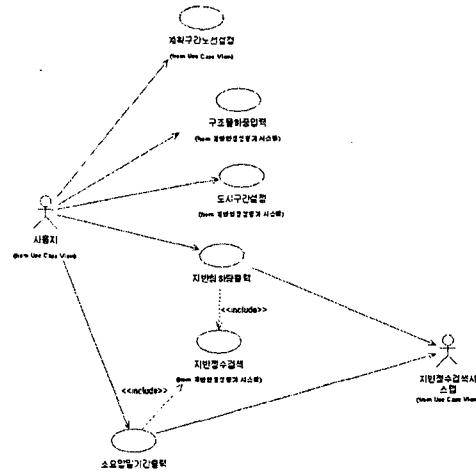
[Fig. 3] 지지력 산정시 use-case diagram

지반 침하량 산정은 사용자가 계획구간 및 구조물을 설정한 후에 검토하게 된다. 시간에 따라 구조물 하부 지반에서 발생하는 침하량을 예측하며, 그 결과를 그래프 형태로 제공하게 된다. 이때 1차 암밀침하량과 침하시간, 최종 침하량을 각 경험식에 대입하여 계산하게 된다. 침하량 산정을 위해 채택한 주요과정은 [Table 5]와 같다.

[Table 5] 침하량 산정시 주요과정

기능	연동자료	주요내용
지반분류	지반정보DB	정규암밀점토, 과암밀점토
암밀 침하량	지반분류	
	암밀시험자료	지반DB 활용
장기침하량	암밀침하량	시간경과에 따른 총침하량
침하시간	암밀침하량, 장기침하량	

다음 [Fig.4]는 지반 침하량 산정 시 use-case diagram이다.



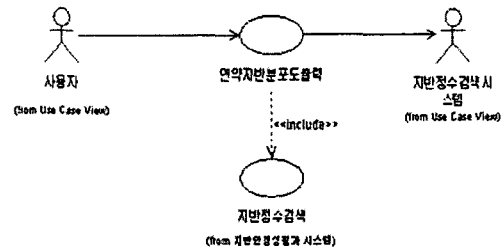
[Fig. 4] 침하량 산정시 use-case diagram

연약지반 평가는 사용자가 원하는 지역을 지도상에서 선택함에 따라 지반정보DB로부터 표준관입시험의 N치를 이용하여 일축압축강도(q_u)를 정의하고, 연약지반의 분포현황을 평면도에 출력한다. 해당지역의 시추공별 토성, 단위중량, 간극비 등의 물리적 특성과 압축강도, 점착력 등 역학적 특성을 출력하도록 하였다. 연약지반 평가를 위해 채택한 주요과정은 [Table 6]과 같다.

[Table 6] 연약지반 평가시 주요과정

기능	연동자료	주요내용
연약지반 발생조건	시추추상도	N치 조건경토
	일축압축시험	q_u 의 조건경토
연약지반 출력		평면도 출력

다음 [Fig.5]는 연약지반 평가 시 use-case diagram이다.



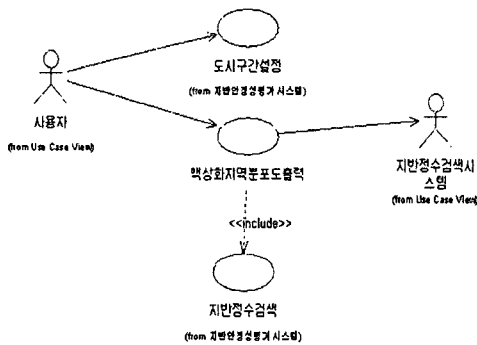
[Fig. 5] 연약지반 평가시 use-case diagram

액상화 평가는 사용자의 구간설정에 따라 지반정보DB로부터 지반정수를 계산하여 액상화 가능여부를 평가하게 된다. 지반정수 검색은 입도와 N치 등을 이용하게 된다. 해당 정수를 이용하여 설정된 액상화 발생 조건에 대입하여 분포현황도를 출력하며, 주요과정은 [Table 7]와 같다.

[Table 7] 액상화 평가시 주요과정

기능	연동자료	주요내용
액상화 발생조건	시추주상도	N치
	암질시형	균등계수, 평균입경 (D_{50})
	입도시형	입도분포, 포화도
액상화 예측		경형식 활용
액상화 지역출력		평면도 출력

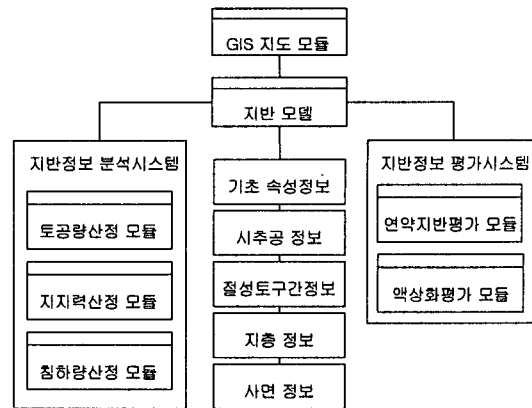
다음 [Fig.6]은 액상화 평가 시 use-case diagram이다.



[Fig. 6] 액상화 평가시 use-case diagram

3. 분석/평가 시스템 설계

분석/평가시스템은 사용자가 원하는 지역을 선택할 수 있도록 GIS지도모듈과 DEM, 지층정보 및 각종 속성정보로 구성된 지반모델을 기본으로 하여 대상지역 지반의 분석 및 평가를 수행하도록 구성하였다. 다음 [Fig. 7]은 본 시스템을 구성하는 모듈의 구성이다.



[Fig. 7] 분석/평가 시스템 구성도

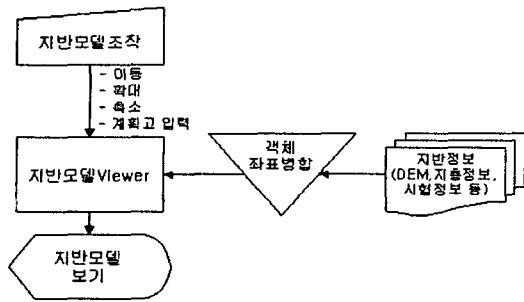
시스템의 설계는 객체지향형 개발방법론이 RUP를 적용하여 각 모듈마다 앞 절의 use-case diagram에 따라 시나리오를 작성하고, 이를 토대로 sequence/activity/class diagram을 작성하여 설계를 수행하였다.

IV. 지반모델 생성, 분석/평가 시스템 구현

지반모델 생성과 분석/평가시스템을 위해 구현한 GIS Client는 지반정보DB로부터 실시간으로 공간 및 속성(지반정수)을 가져오게 된다. GIS Client의 요구에 따라 필요한 정보를 HTTP를 통해 가져오기 위하여 DB서버에 Client와 통신을 전담하는 middleware를 개발하였다. 개발 툴로는 Visual C++을 이용하였고, GIS 지도모듈은 (주)한국공간정보통신의 IntraMap2D/X 엔진을 활용하였다.

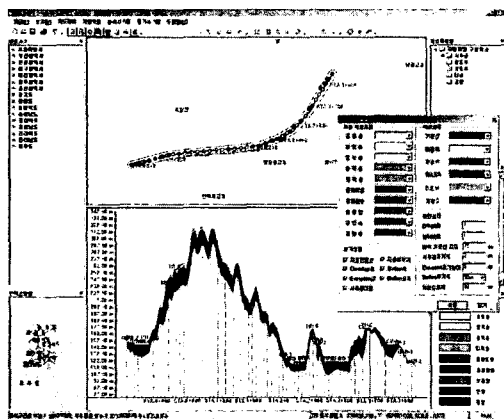
1. 지반모델의 생성

지반모델은 사용자가 Client에서 계획구간을 입력하게 되면, Client는 DB의 middleware를 통해 해당구간의 DEM과 시추공, 시험정보를 가져와 각 객체의 좌표병합을 통해 지반모델을 생성하게 된다. 다음 [Fig. 8]은 지반모델의 기능 흐름도이다.



[Fig. 8] 지반모델의 기능 흐름도

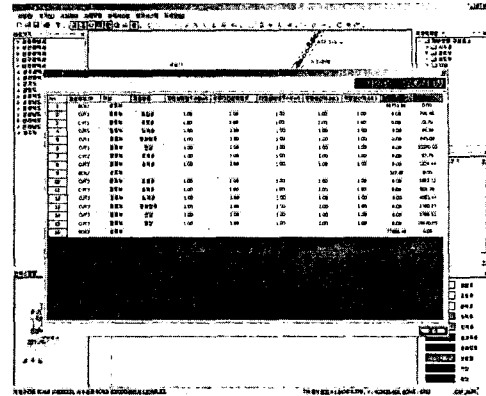
다음 [Fig. 9]는 지반모델을 생성한 Client 화면으로서 사용자가 설정간 구간에 대해 하단부에 지층단면도 형태로 모델을 생성하였다. 생성한 모델은 독립된 객체로서 사용자가 확대, 축소, 지층색 변경, 계획고 입력 등이 가능하다. 본 지반모델을 기본으로 하여 분석/평가를 수행하게 된다.



[Fig. 9] 지반모델 생성화면(GIS Client)

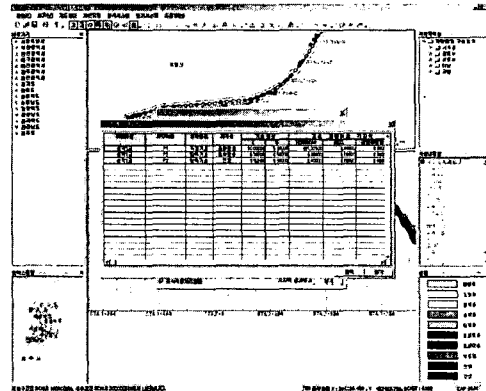
2. 지반 분석/평가 시스템 구현

생성된 지반모델을 이용하여 해당구간에 계획고를 입력하고 이에 따라 절성토 구간을 선정, 최종적으로 [Fig. 10]과 같이 각 지층별 토공량을 계산하였다.



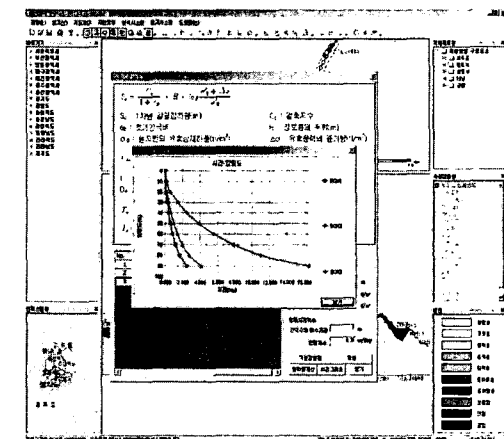
[Fig. 10] 토공량 산정화면(GIS Client)

사용자는 해당구간에 구조물의 종류와 기초형식을 입력하고, 정의된 알고리즘에 따라 지반의 지지력을 산정하게 된다. [Fig. 11]은 지지력을 산정한 화면이다.



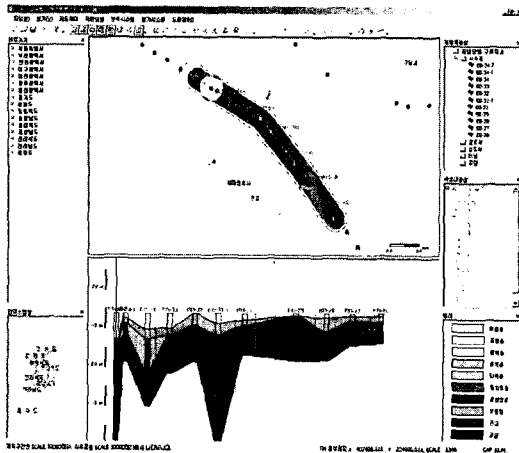
[Fig. 11] 지지력 산정화면(GIS Client)

또한, 정의된 알고리즘에 따라 시간별 침하량을 산정하였다. 아래 [Fig. 12]와 같이 그 결과를 그래프 형태로 나타내었다.



[Fig. 12] 침하량 산정화면(GIS Client)

연약지반 및 액상화 평가기능에서도 지반 정보DB로부터 지반정수를 받아 정의된 알고리즘에 따라 해당지역의 평가를 수행하게 된다. 그 평가결과는 정의된 구간 내에서 정도에 따라 색으로 표현된다. 아래 [Fig. 13]은 액상화 평가 결과를 지도상에 표현하는 화면이다.



[Fig. 13] 액상화 평가후 결과화면(GIS Client)

V. 결론

본 연구는 현재 전국적으로 약 2만여공 구축되어 있는 지반정보DB의 건설분야 활용성을 높이기 위하여 분석/평가시스템을 개발하였다. 먼저 지반해석 및 상세설계에 필요한 각종 설계정수와 평가요소들을 도출하고, 각 요소별로 지반정보DB에 공학자료를 활용 가능한 알고리즘을 정의하였다. 정의된 알고리즘을 사용자가 편리하게 이용가능하도록 하기위하여 GIS Client를 구현하였다.

개발한 GIS Client는 지반정보DB에서 공간정보와 시추 및 공학시험정보를 실시간으로 불러들이고, 정의한 알고리즘에 따라 토공량 산정, 지지력 산정, 침하량산정, 연약지반 평가, 액상화 평가를 수행하게 된다. 본 연구를 통해 지반정보DB 수요를 건설계획 및 설계 등 실무 전반으로 넓힐 수 있으리라 기대된다.

참고문헌

- [1] 건설교통부, 2000, 제2차 국가지리정보체계 기본계획(안), pp.12-13
- [2] 건설교통부, 2004, 국토건설 종합지반정보 DB구축 및 활용시스템 개발
- [3] 한국건설기술연구원, 2000, 지반정보데이터베이스 시스템 개발
- [4] 박인식 역, Roy E. Hunt, 1995, 지반조사 핸드북(Geotechnical Engineering Investigation Manual), 엔지니어스, pp.43-45, pp.76-77
- [5] Macan D., 1997, Development of 3D geotechnical database and its application to the evaluation of nonlinear site response and seismic zonation, Doctoral Dissertation, University of California
- [6] Syunsaku Nishie, et al, 2000, Application of Integrated Geotechnical Information System Based on GIS, Tsuchi-to-Kiso, Vol. 28 No.1 pp24-27
- [7] Takashi Okimura, et al, 2000, Application of Geotechnical Information Database and Geographical Information System, Tsuchi-to-Kiso Vol. 48, No. 1 pp27-30
- [8] <http://www.jiban.co.jp>