

# 콘크리트 궤도의 시공 및 유지관리를 위한 침하관리 통합 시스템의 구축 및 활용

## Development and Application of Integrated Settlement Management System for Construction and Maintenance of Concrete Railway

우상인\*                      천성호\*\*                      정충기\*\*\*                      이일화\*\*\*\*                      권오정\*\*\*\*\*  
Woo, Sanginn                      Chun, Sung-Ho                      Chung, Choong-Ki                      Lee, Il-Hwa                      Kwon, Ohjung

---

### ABSTRACT

In construction of high speed railway, the fan shape is limited to achieve reduction of required travel time and concrete railway which has structural stability and induces small maintenance cost with allowable ground settlement is recently applied. So construction of concrete railway on soft ground in which considerable ground settlement occurs increases and settlement management in soft ground section is required. Field monitoring on ground movement and integrated geotechnical information system which manages construction, design, and field monitoring data are essential for settlement management of concrete railway subgrade. Site investigation data are also required due to future repair work. Therefore in this study, integrated geotechnical information system for construction and maintenance of concrete railway is developed. The developed system consists of a database and an application program. The database contains site investigation, construction, design, and field monitoring data throughout a railway. Application program performs various functions on managing and utilizing information in the database with graphic visualization of output. And by providing integrating information with comprehensible visual displays, the applicability and effectiveness of the developed system for construction and maintenance management were confirmed.

---

### 1. 서론

고속철도 궤도의 건설시 열차운행의 고속화와 구간소요시간의 단축 등의 이유로 궤도의 선형 결정이 제약되며, 이로 인해 연약지반 상 궤도의 건설이 증대하는 실정이다. 또한, 최근에는 고속철도 궤도에 허용 침하 범위 내에선 유지보수가 거의 요구되지 않으며 구조적 안정성이 뛰어난 콘크리트 궤도가 기존의 자갈궤도를 대체하고 있다. 콘크리트 궤도의 경우 과대침하가 발생 시 천문학적인 유지, 보수 비용이 소요되므로 자갈 궤도에 비해 상대적으로 매우 엄격한 침하관리가 필요하다. 따라서 연약지반 상 시공되는 콘크리트 궤도의 침하관리가 궤도의 유지관리에 있어 새로운 문제로 대두되었다. 이에 신속하고 효율적인 침하 관리를 위하여 계측기 매설을 통해 궤도의 시공 중, 시공 후, 고속철도 운영 중의 지반 거동을 파악하면서, 장기적 계측 관리 및 유지보수에 필요한 계측 자료를 효율적으로 저장·관리하고, 침하원인 분석을 위해 지반조사, 콘크리트 궤도상의 계측, 궤도 설계 및 시공정보를 실시간으로 통합 관리하는 시스템의 구축이 요구된다.

---

\* 서울대학교 건설환경공학부 석사과정

E-mail : spzone99@snu.ac.kr

TEL : (02)880-8733 FAX : (02)880-6933

\*\* 서울대학교 건설환경공학부 박사후 연구원

\*\*\* 서울대학교 건설환경공학부 교수 정회원

\*\*\*\* 한국 철도기술연구원 선임연구원 정회원

\*\*\*\*\* 한국 철도기술연구원 연구원

최근 자료 정보화를 통하여 여러 자료를 호환하거나, 연계하고 다양하게 활용할 수 있는 지리정보시스템(이하 GIS, Geographic Information System)을 토대로 한 시공 및 유지관리 정보화시스템에 대한 연구가 활발하게 진행 중이다. 지반공학 분야에서도 지반조사 정보와 지중 매설물 정보에 대하여 정보화가 매우 활발하게 추진되고 있다. 아울러 현장 계측 정보를 기반으로 여러 정보를 통합하여 활용하는 시스템의 개발이 진행 중이다.(한병원 등, 2006; Chun 등, 2007; 친성호 등, 2007)

따라서 본 연구에서는 계측 자료, 지반 조사, 시공 자료 및 설계 자료를 디지털 정보화하고 상기 자료의 활용을 극대화할 수 있는 GIS 기반 정보화의 장점을 이용하여, 콘크리트 궤도의 시공 및 유지관리를 위한 침하관리 통합 시스템을 구축하고 활용하였다.

## 2. 지리정보시스템(GIS)

### 2.1 GIS

GIS는 공간적으로 분포하는 모든 유형의 정보를 취득, 디지털 정보화하여 저장, 갱신, 관리, 분석 및 출력 등이 효율적으로 처리될 수 있도록 조직화된 컴퓨터 하드웨어, 소프트웨어, 공간 자료 및 인력 등의 집합체이다. 따라서 GIS는 컴퓨터를 이용하여 어느 지역에 대한 제반 공간요소의 위치 정보(geographic information)와 속성정보(attributive information)를 연계하여 일정한 형태로 디지털 수치화하고, 그 정보를 관리, 처리 및 분석하여 필요한 결과물을 출력할 수 있는 종합적인 공간 정보 시스템이다.

GIS를 활용하면 각종 수치 속성 정보를 공간적 위치에 대응시켜 관리할 수 있고 정보 사이의 공간적 관계를 쉽게 정립할 수 있으므로, GIS는 효율적인 공간 정보시스템을 구축하는데 필수적이다. 또한 GIS를 이용하여 여러 속성 정보를 중첩하여 분석할 수 있고, 자료의 공간적 관계를 활용하여 공간 분석을 수행할 수 있으므로, 새로운 형태의 결합된 속성 정보도 손쉽게 생성할 수 있다.

GIS는 대상을 결정하고 자료를 분석하여 데이터베이스를 구축한 후, 데이터베이스의 정보를 활용하기 위한 자료 입출력, 분석 방법을 구현하는 순서로 진행된다(최봉문 등, 1999). GIS는 위치 정보와 속성 정보로 구성된 공간 정보(spatial information)를 기반으로 운용된다. 여기서 위치 정보는 공간좌표체계 또는 시간-공간좌표체계 내에서 위치를 표현하는 자료를 의미하고, 사진 측량, 일반 측량, 원격탐사, GPS, 수치지도 등으로부터 획득할 수 있다. 특히 수치지도는 변환과정을 통해 원하는 형태로 사용할 수 있으므로 시간과 비용을 절약할 수 있다. 속성 정보는 사용자가 활용하게 되는 특성 정보로서 공간정보에서 지정하는 위치의 자료를 의미한다. 속성 정보와 위치 정보는 상호 조회하거나 통합할 수 있도록 공통 항목에 의해 연계된다.

GIS가 안정적이고 효율적으로 운용되기 위해서는 최적의 공간 정보 데이터베이스(SDB, Spatial Database) 구축이 필요하며, 이를 위해서는 모든 정보가 표준화된 형태로 데이터베이스에 저장되어야 한다. 자료의 표준화란 자료를 단계에 따라 상황 정보와 측정 정보와 같은 형태로 구분하고 각 정보에 대한 필수적인 기재 항목을 선별하여, 각 정보 간 관계성을 정립하는 것을 뜻한다. 자료 표준화 후 데이터베이스 관리 시스템을 이용하여 자료테이블을 작성한다.

### 2.2 데이터베이스

GIS의 근간인 데이터베이스는 개발되는 GIS의 효율성을 좌우한다. 근래에 이르러 GIS 체계의 시스템은 자료 관리의 효율성을 제고하기 위해 파일기반의 저장방식이 아닌 관계형 데이터베이스 관리 시스템(RDBMS, relational database management system)을 활용하고 있으며, RDBMS에서는 SQL(Structured Query Language)문을 이용하여 사용자가 원하는 정보를 쉽고 간편하게 검색, 편집, 출력할 수 있다. 또한 RDBMS를 사용할 경우 다중접속환경 구축이 가능하여, 여러 사용자가 동시에 시스템에 접속하여 원하는 정보를 얻을 수 있다.

### 3. 개발 시스템

#### 3.1 개발 시스템 개요

개발 시스템은 그림 1과 같이 데이터베이스가 저장된 데이터베이스 서버와 사용자 프로그램을 이용하여 네트워크상으로 데이터베이스에 접속한 후, 개발 시스템의 각 기능을 연계하여 활용하는 사용자들로 운용된다. 본 시스템의 데이터베이스는 독립적인 RDBMS Server로 구축되었다.

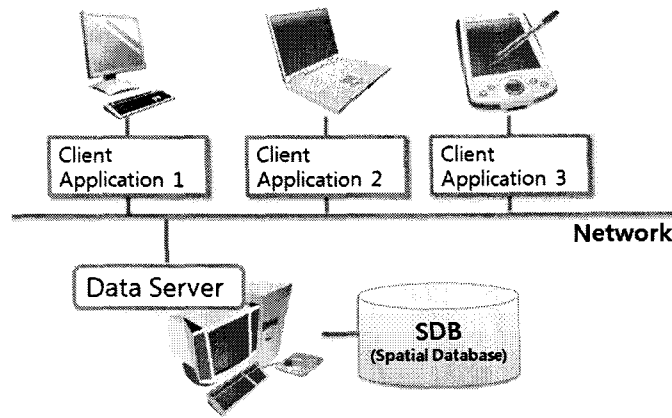


그림 1. 시스템 구성

그림 2에 제시된 바와 같이 개발 시스템은 데이터베이스를 기반으로 운용되며, 1) 구간별 층상구조와 계측, 시공, 지반조사 지점의 지리정보를 표시하고, 하위 모듈들을 조작하는 메인모듈과 2) 현장 자료를 자료 표준안에 따라 입력하고 수정하는 입력 모듈, 3) 수집된 모든 정보를 디지털 수치, 그리고 그래프 등으로 가시화하여 나타내는 출력 모듈로 구분된다.

개발 시스템의 각 모듈은 데이터베이스를 근간으로 서로 연계되어 활용된다. 즉, 메인 모듈, 입력 모듈, 출력 모듈이 하나의 시스템, 즉 사용자 프로그램에 구현되어 데이터베이스의 자료를 공유하면서 원하는 기능을 수행하게 된다. 이러한 일련의 과정은 사용자의 간단한 조작에 의해 일괄 처리된다.

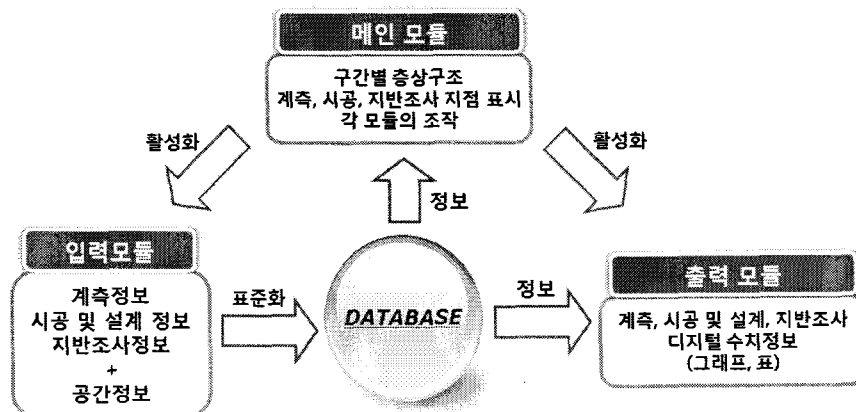


그림 2. 시스템의 세부 구성 및 정보 연계

#### 3.2 데이터베이스 설계

데이터베이스의 설계는 콘크리트 궤도의 시공 및 유지 관리에 필요한 자료인 지반조사 자료, 시공

자료, 계측 정보를 분석하여 진행하였으며, 시스템에서 활용하는 정보는 크게 위치 정보, 지반조사 정보, 시공 정보, 계측 정보로 구성된다.

GIS 기반의 본 시스템은 모든 속성 정보를 위치 정보와 연계하는 것이 필수적이므로, 위치 정보를 우선 표준화하고, 지반조사 정보, 시공 정보, 계측 정보를 표준화한 후 위치 정보와 연계하였다. 그림 3은 개발 시스템의 개괄적인 데이터베이스 구조이다.

선형으로 표현되는 철도 노선은 XY좌표로 구성된 평면좌표보다 구간의 길이와 표고로 표현하는 방식이 자료 관리 및 활용에 있어 효율적이다. 따라서 개발 시스템은 위치 정보를 기준점부터 자료 지점까지의 총 연장길이를 나타내는 스테이션 값과 자료 지점의 해발고도로 이루어져 있다. 지반조사 정보는 시추 조사 시 획득한 시추 정보, 현장에서 수행되는 표준관입시험과 같은 현장 시험 정보, 현장에서 채취한 시료에 대해 수행된 실내 시험 정보로 구성하였다. 시공 정보는 성토체 종류 등의 상황 정보와 시간에 따른 성토고 또는 지반고의 변화로 대변되는 시공 상세 정보로 세분된다. 그리고 계측 정보는 계측기 종류 정보, 개별 계측기 정보, 계측기별 계측 정보로 구분하였다. 계측기 종류 정보는 계측기의 이름, 원측정값 및 계측값의 이름과 단위 등으로, 개별 계측기 정보는 계측기 설치일, 설치자, 설치 심도 등의 상황 정보와 계측기별 초기값, 환산계수 등으로 구성된다. 계측기별 계측 정보는 실제로 시간에 따라 측정되는 원측정값과 환산계수로 평가된 지반 거동의 계측값으로 이루어진다.

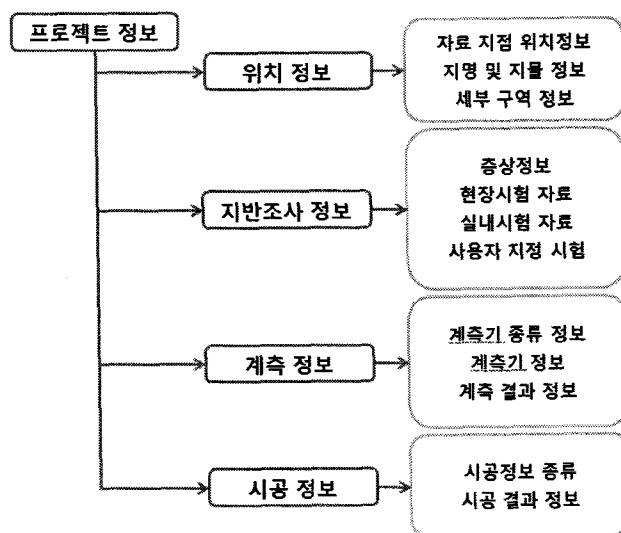


그림 3. 개발 시스템의 개괄적인 데이터베이스 구조

### 3.3 메인 모듈

메인 모듈은 사용자 프로그램의 실행 시 처음 나타나는 모듈로서 궤도의 연장을 따라 지반조사, 계측, 시공정보의 위치와 지반의 층상구조 그리고 주요 지형지물과 지명을 나타낸다. 또한 시추조사를 한 지점의 경우 시추주상도를 표시하였으며, 지표면 침하판이나 원지반 침하계로부터 계측된 침하정보를 이용하여 현재 발생된 침하량을 선형으로 표시한다.

### 3.3 자료 입력 모듈

데이터베이스를 기반으로 운용되는 개발 시스템은, 사용자 프로그램에서 활용하는 각종 정보를 자료 표준안에 맞추어 데이터베이스에 입력하여야 한다. 입력 모듈은 위치 정보, 지반조사 정보, 계측 정보, 시공 정보를 표준안에 맞추어 데이터베이스로 입력하거나, 입력된 정보를 수정하는 기능을 제공한다.

위치 정보를 기초로 운용되는 본 시스템의 특성상 속성 정보들의 입력 이전에 반드시 위치 정보를 입력하여야 한다.

### 3.4 자료 출력 모듈

데이터베이스에 입력 및 저장된 정보는 사용자가 이해하고 활용하기 쉽게 처리되어 제공되어야 한다. 자료의 출력 방법은 데이터베이스의 각 속성 정보에 따라 차이가 있으나, 표를 이용한 수치적 정보 형식과 그래프 형식으로 나눌 수 있다. 표 형식은 자료의 입력 및 수정 그리고 호환 및 활용에 쓰이는 기본 자료 형식이며, 그래프 형식은 사용자가 수집된 자료의 의미를 쉽게 이해하기 위해 사용된다. 또한 그래프 형식은 두 값의 관계성을 파악하는데 효과적이다.

출력 모듈은 속성 정보 및 출력 방법의 특징을 고려하여 구축하였다. 모든 속성 정보는 표 형식으로 출력할 수 있으며, 저장된 자료의 효율적 전달을 위한 그래프 형식을 제공한다.

## 4. 시스템 적용 사례

### 4.1 시스템 적용 현장

개발 시스템의 적용 현장은 고속철도 2단계 시공현장으로 서울을 기점으로 하여 고속철도 궤도를 따라 연장 281.100km에서 340.084km 중 토공구간이다. 이 공구에서는 콘크리트 궤도 시공을 위한 성토이후 지속적인 침하계측이 진행 중이다. 계측기로는 지표면 침하관이 00개소, 원지반 침하계가 00개소 매설되었고, 이후 지속적으로 지반 거동을 계측 중이다. 현장의 지반조사는 구간 중 총 00개소에서 이루어졌다. 시공기간 중 성토고 측정은 원지반 침하계 매설 지점에서 측정되었으며, 총 00지점에서 성토고가 측정되었다.

### 4.2 시스템 적용

정보 표준안에 따라 데이터베이스를 설정한 후, 사용자 프로그램을 네트워크상으로 데이터베이스에 연결하여, 자료 입력을 수행하였다. 사용자 프로그램은 기본 화면에서 각 기능을 수행하며, 그림 4는 적용 현장의 위치 정보 및 속성 정보를 입력한 후 나타낸 메인 모듈의 화면이다.

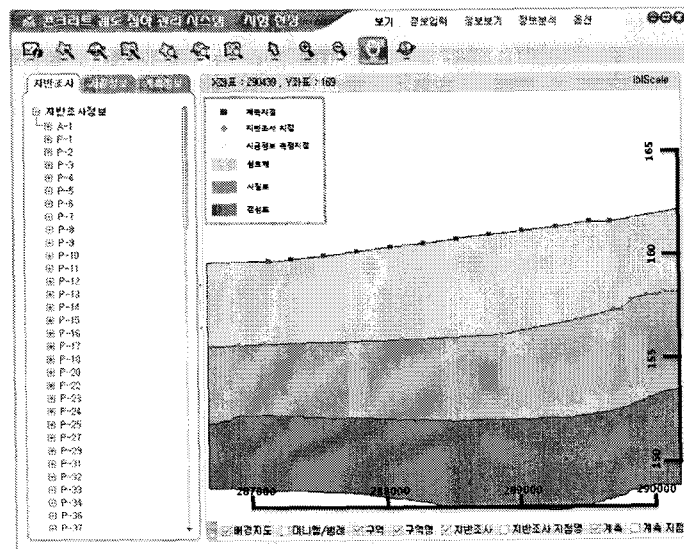


그림 4. 사용자 프로그램의 메인 모듈

메인 모듈에서는 궤도의 선형을 따라서 층상구조 및 계측, 지반조사, 시공정보 지점의 위치가 그림 4와 같이 이차원 단면도 형태로 표현된다. 사용자는 상단의 메뉴를 이용하거나 표시된 지점을 직접 선택하여 자료의 검색, 수정이 가능하다. 또한 확대, 축소, 이동과 같은 기본적인 기능을 이용해서 사용자는 원하는 지역을 빠르고 쉽게 검색할 수 있도록 하였다.

입력 모듈을 이용하여 현장의 자료, 즉 위치 자료, 지반조사 자료, 계측 자료, 시공 자료를 정보 표준안에 따라 데이터베이스에 입력하고 수정할 수 있으며, 직접 입력 및 수정하거나 사용자가 표준안에 맞게 구성한 Excel 파일을 이용하여 일괄 처리할 수 있다(그림5).

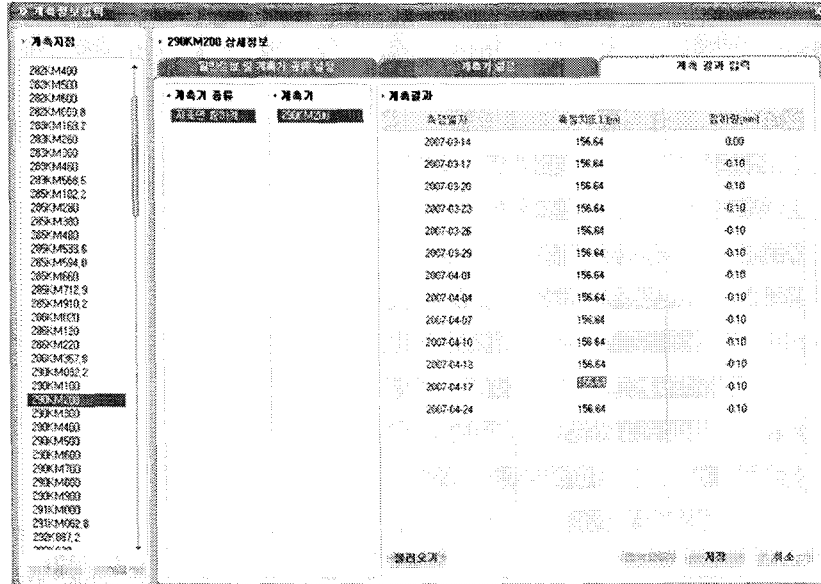


그림 5. 사용자 프로그램의 계측 자료 입력 화면

출력 모듈은 현장에 대한 평면도를 제공하여 자료의 입력 및 수정과 입력된 정보 조회 시 편의성을 도모하고, 평면도 상에서 입력된 각 속성 정보를 특성에 따라 표와 그래프 형식으로 출력한다(그림 6). <평면도 또는 단면도는?>

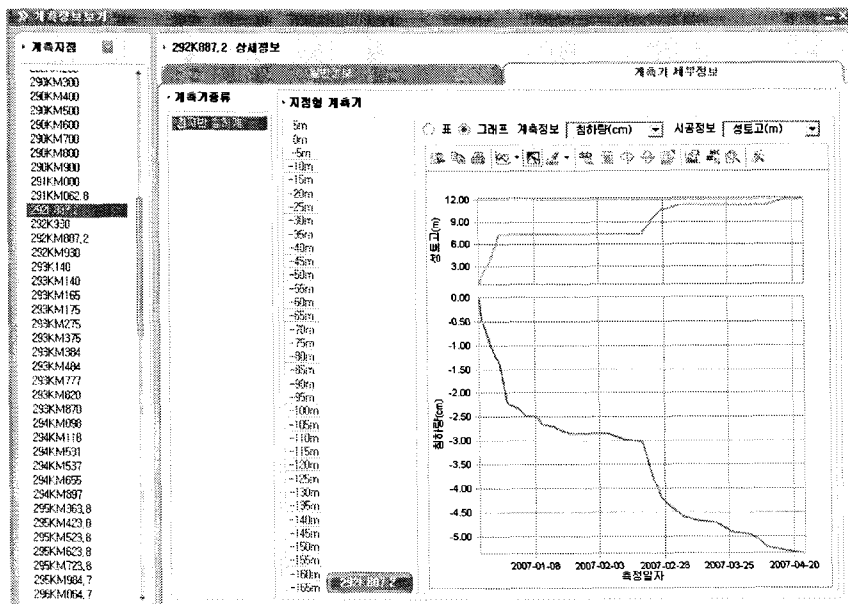


그림 6. 사용자 프로그램의 계측 정보 출력 모듈

## 5. 요약 및 결론

자료 활용을 극대화할 수 있는 GIS 기반 정보화의 장점을 이용하여, 콘크리트 궤도의 시공 및 유지 관리를 위한 침하관리 통합 시스템을 개발하였으며, 개발 내용 및 특징은 다음과 같다.

- 1) 콘크리트 궤도의 침하관리에 관련된 지반조사, 계측, 시공 정보를 위치정보와 유기적으로 연계하여 선별 표준화하고, 통합된 데이터베이스 및 입력 시스템을 구축하였다.
- 2) 정보화된 모든 속성 정보들을 각 정보의 특징에 따라 메인 모듈에서 이차원 단면도로 표현하였으며, 표 형식과 그래프 형식으로 나타낼 수 있는 출력 시스템을 구현하였다.
- 3) 개발 시스템을 실제 현장에 적용하였으며, 시스템의 각 기능을 이용하여 현장 자료를 데이터베이스에 저장하고, 궤도의 연장에 따라 단면에 대한 속성 정보의 공간적 분포 특성 및 상관관계를 쉽게 파악할 수 있었다. 즉, 개발 시스템은 침하 현황 및 원인 분석을 위해 단면에 따른 다양한 자료 분포를 신속하고 효율적으로 제공한다.

### 감사의 글

본 연구는 2006년 한국철도기술연구원 “철도토공구간 장기침하 예측기법 및 관리 분석 프로그램 구축”에 의해 수행된 것으로 본 연구를 지원해주신 한국철도기술연구원에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. Chun, S.H., Woo, S.I., Chun, C.K., Choi, I.G. (2007), "Integrated Construction Management System for Soft Ground Improvement by Preloading", 7th International Symposium on Field Measurement in Geomechanics, Boston, CD.
2. 천성호, 이상인, 정충기, 최인걸 (2007), "GIS 기법을 이용한 연약 지반 시공 관리 시스템의 개발", 지반 공학회논문집 제23권 7호, pp.37-46.
2. 최봉문, 김향집, 서동조 (1999), 도시정보와 GIS, 도서출판 대왕사, 서울, pp.99-179.
3. 한병원, 박재성, 이대형, 이재준, 김성욱 (2006), "GIS 및 지구통계학을 이용한 실시간 통합계측관리 프로그램 개발", 2006 봄 학술 발표회, 한국지반공학회, pp.1046-1053.