

GIS 기법을 이용한 연약 지반 시공 관리 시스템의 개발

Development of Integrated Management System Based on GIS on Soft Ground

천 성 호¹ Chun, Sung-Ho

우 상 인² Woo, Sang-Inn

정 충 기³ Chung, Choong-Ki

최 인 곁⁴ Choi, In-Gul

Abstract

In the practice of preloading method for soft ground improvement, field engineers need information of ground properties, construction works and field monitoring on ground behaviors of the site. So, integrating all these informations into one database can provide more efficient way for managing and utilizing the data for construction management. In this study, integrated system for construction management of ground improvement sites under preloading is developed. The developed system consists of database (DB) and application program. The database contains all collected data in a construction site and processed data in the system with their geographic information. All informations in the database are standardized from the result of data characterization. Application program performs various functions on managing and utilizing information in the database; pre- and post- data processing with graphic visualization of output, spatial data interpolation, and prediction of ground behavior using field measuring data. And by providing integrating informations and predictions over entire project area with comprehensible visual displays, the applicability and effectiveness of the developed system for construction management were confirmed.

요 지

연약 지반 개량을 위한 선행 재하 공법 시행 시, 시공 관리를 위해서는 현장 자료가 체계적으로 활용될 필요가 있다. 현장 자료의 체계적 활용을 위해서는 자료를 표준화하고 정보화하여 데이터베이스를 구축하고, 이를 활용하는 시스템을 구축하여야 한다. 본 연구에서는 선행 재하 공법이 적용된 연약지반 개량 현장에 대한 통합 시공관리시스템을 개발 하였다. 개발 시스템은 데이터베이스와 사용자 프로그램으로 구성된다. 데이터베이스는 현장에서 수집된 모든 정보 및 시스템에서 처리된 정보를 보관, 관리하며, 이러한 정보들은 위치 정보와 연계되어 있다. 또한 데이터베이스 내 모든 정보는 각각의 특성에 따라 표준화된 형태로 관리된다. 사용자 프로그램은 데이터베이스에 있는 정보를 관리 및 활용하기 위한 데이터베이스 내 정보의 입-출력 기능, 공간 보간 기능, 현장 계측 정보를 이용한 침하 예측 기능을 수행한다. 개발 시스템의 현장 적용 결과, 본 시스템은 데이터베이스 내 정보를 전체 현장에 대해 종합적으로 제공하였으며, 이로부터 시스템의 현장 적용성 및 효율성을 확인하였다.

Keywords : Construction management, GIS, Information system, Management system, Soft ground

1 정회원, 서울대학교 지구환경시스템공학부 박사과정 (Member, Graduate Student, Dept. of Civil, Urban and Geosystem Engrg., Seoul National Univ., caocao@snu.ac.kr, 교신저자)

2 정회원, 서울대학교 지구환경시스템공학부 석사과정 (Member, Graduate Student, Dept. of Civil, Urban and Geosystem Engrg., Seoul National Univ.)

3 정회원, 서울대학교 지구환경시스템공학부 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil, Urban and Geosystem Engrg., Seoul National Univ.)

4 정회원, (주)유신코퍼레이션 지반공학부 (Member, Director of Geotechnical Division, Yooshin Engrg. Corporation)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2008년 1월 31일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

1. 서론

대규모 연약 점성토 지반과 관련된 건설 공사에서 설계 시 예측한 지반 거동은 지반의 불균질성, 해석 방법의 한계 그리고 시공 조건의 가변성 등으로 인하여 실제 거동과 많은 차이를 보인다. 이를 보완하기 위해 국내외 대부분의 현장에서는 현장 계측을 수행하여 실제 지반 거동을 정량적으로 파악하고 있으며, 실측된 지반 거동을 바탕으로 설계의 신뢰성 및 시공 안정성을 검증하고, 필요 시 역해석에 의한 재설계를 수행하여 시공 관리를 시행함으로써 시공의 안정성 및 경제성을 도모하고 있다.

최근에는 자동 계측 장비를 이용한 실시간 계측 그리고 계측된 결과를 활용한 향후 침하량 예측 등이 가능한 계측관리시스템들이 개발되어 이용되고 있다. 그러나, 기존 계측관리시스템들은 주로 자동계측자료의 저장 및 원시적 형태의 가시화만을 지원하며, 시공 관리에 필요한 지반 조사 및 시공 정보에 대한 종합적 시공관리시스템은 전무한 실정이다.

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

본 연구에서는 자료 활용을 극대화할 수 있는 GIS 기반 정보화의 장점을 이용하여, 연약지반의 시공 관리를 효율적으로 할 수 있는 통합 시공관리시스템을 개발하였다. 개발 시스템은 시공 관리의 근간인 지반조사 자료와 공사에 따른 지반거동 계측 자료 그리고 시공에 대한 자료를 정보화한 데이터베이스를 기반으로, 계측 결과를 이용한 침하 예측 기법, 지구통계학적 자료 보간 기법의 적용과 그래픽 처리 등을 통한 자료의 가시화 기능을 활용하여 자료의 호환 및 활용을 극대화한다.

2. 개발 시스템의 특성

GIS는 자료 정보화를 통하여 공간 정보를 다양한 목적에 따라, 데이터베이스에 저장하고 속성 정보들을 연계하여 관리, 처리 및 분석한 후, 효율적으로 제공할 수 있는 정보 관리시스템이다. GIS 기반 정보화의 장점을

이용한 개발 시스템은 연약 지반의 지반조사 자료, 계측 자료 및 시공 자료를 위치 자료와 함께 연계하여 정보화한 데이터베이스와, 데이터베이스를 기반으로 정보 입출력, 침하 예측 및 지구통계학적 보간 기능을 수행하는 사용자 프로그램으로 구성된다. 사용자 프로그램에서 얻어지는 결과는 다시 시스템의 데이터베이스에 저장된다.

2.1 GIS(지리정보 시스템)

GIS는 공간적으로 분포하는 모든 유형의 정보를 효율적으로 취득하여 저장, 갱신, 관리, 분석 및 출력 등이 가능하도록 조직화된 컴퓨터 하드웨어, 소프트웨어, 지리 자료 및 인력 등의 집합체이다. 따라서 GIS는 컴퓨터를 이용하여 어느 지역에 대한 제반 공간요소의 위치 정보(geographic information)와 속성 정보(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 구축하고, 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 공간적 개념이 포함되지 않은 자료를 의미한다. 속성 정보와 위치 정보는 상호 조회하거나 통합할 수 있도록 공통 항목에 의해 연계된다.

GIS가 안정적이고 효율적으로 운용되기 위해서는 최적의 공간 정보 데이터베이스 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 개발 시스템의 구성 요소

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 SQL DB 서버에 구축되었다.

그림 2에 제시된 바와 같이 개발 시스템은 데이터베이스를 기반으로 운용되며, 1) 현장 자료를 자료 표준안에 따라 입력하고 수정하는 입력 모듈과 2) 입력된 침하 정보를 이용하여 시간에 따른 침하를 예측하는 침하 예측 모듈, 3) 크리깅을 이용하여 지점 자료를 보간하여

전체 대상 영역의 공간정보를 얻도록 하는 공간 보간 모듈 그리고 4) 수집된 모든 정보를 디지털 수치, 그리고 그래프, 평면도, 단면도 등으로 가시화하여 나타내는 출력 모듈로 구분된다. 입력 모듈에서는 수집된 모든 원자료를 자료 표준안에 따라 시스템의 데이터베이스에 저장하고, 저장된 정보를 수정한다. 침하 예측 모듈과 공간 보간 모듈에서는 원자료를 이용하여 각각 지반의 침하 거동을 예측하고, 공간 보간하여 대상 전체 영역에 대한 정보를 생성하며, 두 모듈에서 가공된 자료들은 다시 데이터베이스에 저장된다. 출력 모듈에서는 데이터베이스에 저장된 자료를 사용자가 손쉽게, 이해하기 쉽게 그래프, 평면도, 단면도 등으로 가시화하거나, 도표의 형태로 정보를 제공한다.

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

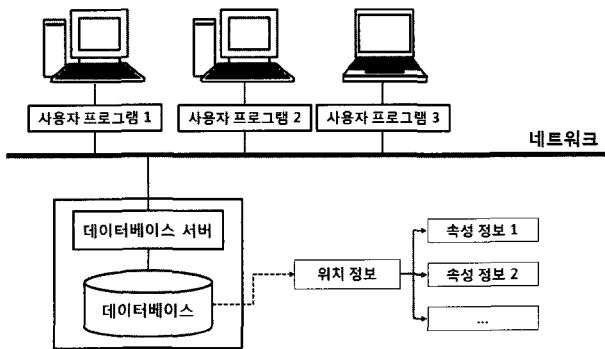


그림 1. 시스템 구성

2.2.1 데이터베이스

데이터베이스의 설계는 연약지반 현장뿐만 아니라 다양한 건설 현장의 자료를 분석하여 진행하였다. 시스템에서 활용하는 정보는 크게 위치 정보, 지반조사 정보, 시공 정보, 계측 정보 등의 현장에서 제공되는 원자료로 구성되는 1차 정보와 침하 예측 모듈과 공간 보간 모듈과 같이 원자료를 가공하여 얻어지는 2차 정보, 즉 가공 자료로 구분되며, 모든 정보에 표준화 작업을 수행

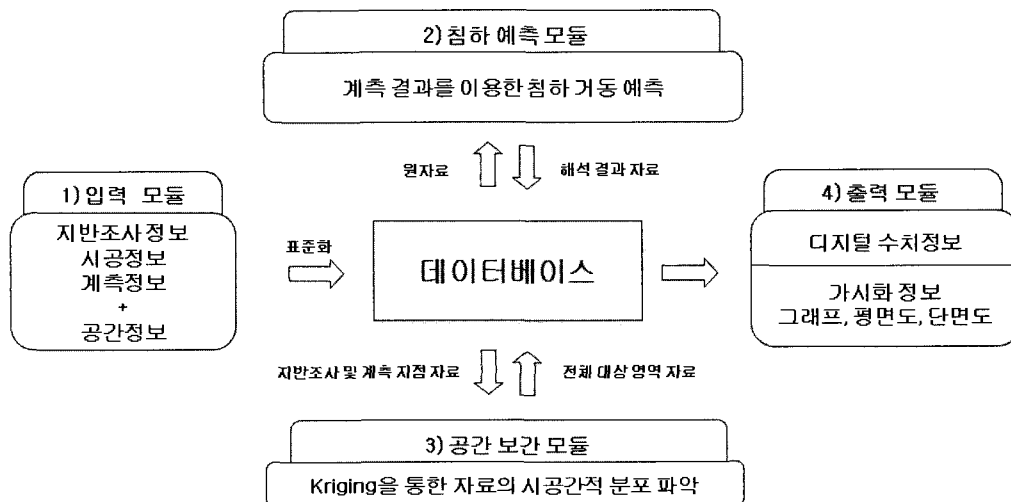


그림 2. 시스템의 세부 구성 및 정보 연계

하여 데이터베이스를 설계하였다.

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. 이후 2차 정보인 침하 예측 및 공간 분석 결과를 표준화하고 위치 정보에 연계하여 진행하였다. 그림 3은 개발 시스템의 개괄적인 데이터베이스 구조이다.

위치 정보는 절대적 3차원 좌표, 즉 절대 XYZ 좌표를 사용하며, 자료 지점 위치 정보는 일반 측량 및 GPS 측량에 의해 획득할 수 있다. 대규모 현장의 경우 전체 현장을 세부 구역으로 구분하여 관리하는 것이 일반적이고 편리하다는 점을 감안하여, 세부 구역에 대한 위치 정보를 포함시켰다. 현장의 지형 및 구조물에 대한 위치 정보는 실제 측량 및 GPS 측량에 의해 획득할 수 있으나, 수치지도를 활용하는 것이 효율적이므로, 이를 시스템 상에 바로 접목할 수 있도록 하였다.

지반조사 정보는 시추 조사 시 획득한 시추 정보, 현장에서 수행되는 표준관입시험, 콘관입시험, 현장베인 시험과 같은 현장 시험 정보, 현장에서 채취한 시료에 대해 수행된 기본 물성 시험, 압밀 시험, 투수 시험, 강도 시험 등의 실내 시험 정보로 구성하였다. 시공 정보는 성토체 종류 등의 상황 정보와 시간에 따른 성토고 또는 지반고의 변화로 대변되는 시공 상세 정보로 세분

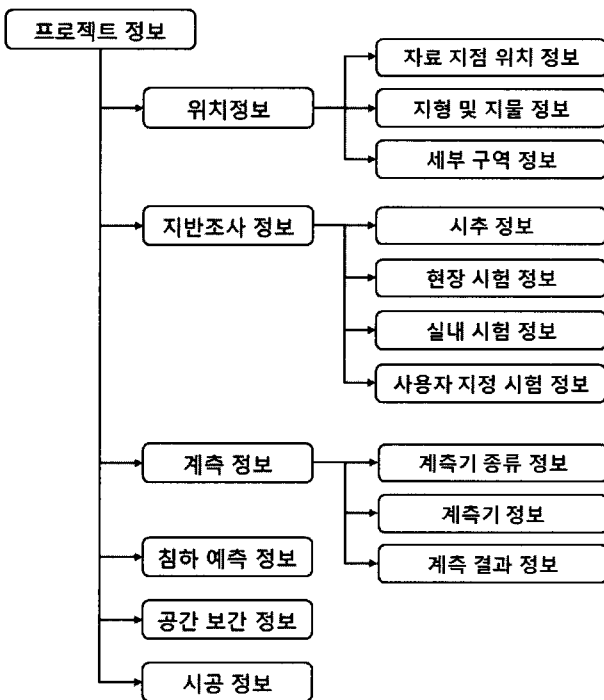


그림 3. 개발 시스템의 개괄적인 데이터베이스 구조

된다. 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.

2.2.2 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.

2.2.3 침하 예측 모듈

해석 간편화를 위한 가정 조건들을 토대로 개발한 점성토의 이론적인 침하량 산정 방법은 실제 지반의 불균질성, 지반 변수들의 불확실성, 다차원적인 압밀 특성 등으로 실제 관측되는 침하량과 크게 차이가 날 수 있다. 따라서 침하 계측 결과를 활용한 반경험적 침하 예측 방법들이 제안되었으며, 이러한 방법들에는 쌍곡선법 (Tan 등, 1991), Hoshino법(星埜和, 1962), \sqrt{s} 법(정성교 등, 1998), $LosS$ 법(유한규 등, 2000), Asaoka 법(Asaoka, 1978), Monden 법(Monden, 1963) 등이 있다. 이러한 방법들은 그림 4의 쌍곡선법 적용 예와 같이 제안된 각 식에 맞추어 시간-침하 곡선을 변형하고, 각 방법의 계

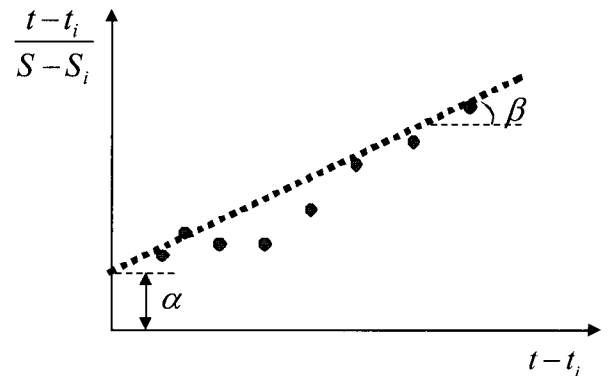


그림 4. 쌍곡선법의 적용 예

표 1. 계측기반 침하 예측 방법(김홍택 등, 2002; 조성민, 1998)

방법	시간-침하 관계식($S(t)$)	최종 침하량(S_f)	특징
쌍곡선법	$S_i + \frac{t-t_i}{\alpha + \beta(t-t_i)}$	$S_i + \frac{1}{\beta}$	· 경험식 · 2차 압축 고려
Hoshino법	$S_i + \sqrt{\frac{t-t_i}{\alpha + \beta(t-t_i)}}$	$S_i + \frac{1}{\sqrt{\beta}}$	· 경험식 · 2차 압축 미고려
\sqrt{S} 법	$S_i + \left(\frac{t-t_i}{\alpha + \beta(t-t_i)}\right)^2$	$S_i + \frac{1}{\beta^2}$	· 경험식
LogS 법	$S_i + 10^{\frac{t-t_i}{\alpha + \beta(t-t_i)}}$	$S_i + 10^{\frac{1}{\beta}}$	· 경험식
Asaoka법	$S_i + \beta_1^{\Delta t} \left(S_1 - \frac{\beta_0}{1-\beta_1} \right) + \frac{\beta_0}{1-\beta_1}$	$S_i + \frac{\beta_0}{1-\beta_1}$	· 압밀이론에 기초한 반경험식 · 2차 압축 미고려
Monden법	$S_f(1-e^{-\alpha t})$	$\frac{S_p}{U_p}$	· 압밀이론에 기초한 반경험식 · 계산 과정이 복잡함

* S_i : 초기 침하량, t_i : 침하량 S_i 에서 경과시간, S_1 : Asaoka법의 첫 시간 간격에서 침하량, Δt : Asaoka법의 시간 간격, $\alpha, \beta, \beta_0, \beta_1$: 계수, S_p : 현재 침하량, U_p : 현재 압밀도

수를 결정하여 시간에 따른 침하량을 예측한다. 표 1에 는 침하 예측 방법들의 시간에 따른 침하량 및 최종 침하량 관계식 그리고 특징 등이 제시되어 있다.

침하 예측 모듈은 쌍곡선법, Hoshino법, \sqrt{S} 법, LogS 법, Asaoka법, Monden법을 한 지점의 침하 예측 결과에 대하여 동시에 적용할 수 있으며, 각 방법에 대한 세부적인 사용자 설정이 가능하다.

2.2.4 공간 보간 모듈

매우 광범위한 면적을 대상으로 하는 연약지반 현상은 제한된 수의 특정 위치에 대한 지반 조사와 현장 계측을 통하여 설계 및 시공 관리가 이루어진다. 따라서 지점 형태로 정보가 나타나기 때문에 전체 영역의 지반 특성 및 거동을 한 눈에 파악하기가 어렵고, 조사된 위치 이외에는 제시된 자료가 없는 만큼 주관적 판단에 따른 해석의 오류가 발생할 소지가 있다. 따라서 대상 현상의 효율적 시공 관리를 위해서는 지점 형태의 자료들을 전체 영역의 공간적 자료로 보간하는 작업이 필수적이다.

지점 형태로 존재하는 불연속 분포 자료를 보간, 연속화 하기 위한 방법인 공간 자료 보간 기법에는 단순 산술 평균법(simple average method), 삼각형법(triangular method), 거리 반비례법(inverse weighted distance method) 등과 같은 단순 수학적 방법이 적용될 수 있으나, 대상 영역 내의 전체 자료를 수학적 또는 통계학으로 처리하기에는 한계가 있다(김인기 등, 1993). 반면 지구통계학적 기법인 크리깅(kriging)은 수학적 방법과 통계학적 방법이 결합된

형태이며, 기지 자료간의 상관관계, 기지 자료와 예측될 지점 값의 상관관계, 기지 자료의 경향성 등을 반영할 수 있어서 넓은 영역의 공간적 보간에 매우 효과적이다.

크리깅은 대상 영역 내 모든 기지 자료들의 거리에 따른 변화 특성을 베리오그램(variogram)을 이용하여 정량화 및 수식화하여 대상 영역의 자료를 보간한다. 즉 거리에 따라 개별 자료의 영향력이 변화하는 양상을 기지 자료를 토대로 분석하여 베리오그램을 설정한 후, 대상 영역 내 미지점들의 값을 주위 기지점들의 값과 베리오그램으로부터 산정되는 거리에 따른 가중치를 이용하여 보간한다. 미지 영역의 자료들을 기지 자료들의 가중 선형조합으로 예측하는 크리깅에는 여러 방법들이 있으며, 본 연구에서는 가장 널리 사용되는 ordinary kriging을 사용하였다. Ordinary kriging은 예측 대상 지점에 대한 기지 자료들의 총 영향 가중치의 합을 1로 한정하여 아래 식 (1)과 같이 그 값을 결정함으로써, 기지점들의 미지점에 대한 방향성과 기지점들의 밀집 분포를 고려할 수 있다.

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^k \lambda_i Z(x_i), \quad \sum_{i=1}^k \lambda_i = 1 \quad (1)$$

식 (1)에서 $Z(x_0)$ 는 예측값, $Z(x_i)$ 는 i 번째 기지점이 가지는 가중치, 그리고 λ_i 는 i 번째 기지점의 값이다.

크리깅은 식 (2)로부터 구한 기지 자료의 반베리오그램(semi-variogram)을 그림 5와 같이 이론적 베리오그램에 curve-fitting하여 구한 최적의 이론적 베리오그램을 사용

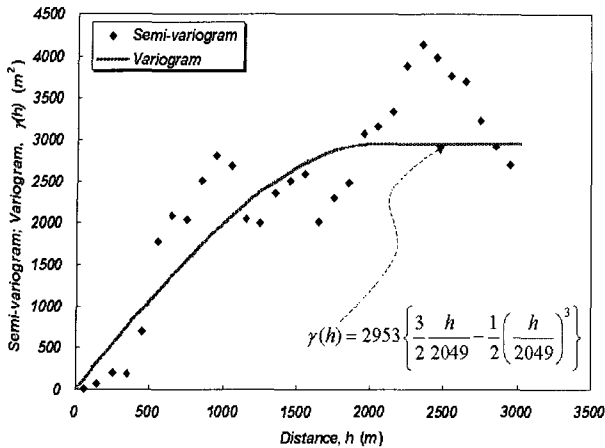


그림 5. 반베리오그램의 Curve-fitting

한다. 이론적 베리오그램에는 구형 모델(spherical model), 지수 모델(exponential model), 가우스 모델(gaussian model), 선형 모델(linear model) 등이 있다.

$$2\gamma(h) = E\left[(Z(x) - Z(x+h))^2\right] \quad (2)$$

크리깅은 전체 영역 혹은 원하는 영역을 격자 형태로 세분화하고, 2차원 절대 좌표를 지닌 자료의 속성값을 이용하여 각 격자의 값을 예측하므로, 위치 정보와 연계 가능한 지점 자료의 모든 속성값을 전체 영역에 대해 구축할 수 있다. 공간 보간 모듈은 복잡한 크리깅을 사용자의 편의성을 고려하여 시스템에 구현하였으며, 지점 정보인 지층 정보, 성토 정보, 침하 정보, 침하 예측 정보 등을 보간한다.

2.2.5 출력 모듈

데이터베이스에 입력·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 혹은 평면도(또는 단면도)의 그림 형식으로 나눌 수 있다. 표 형식은 자료의 입력 및 수정 그리고 호환 및 활용에 쓰이는 기본 자료 형식이며, 그림 형식은 사용자가 수집된 자료의 의미를 쉽게 이해하기 위해 사용된다. 그림 형식 중 그래프는 두 값의 관계성을 파악하는데 효과적이며, 평면도(또는 단면도)는 속성 정보의 공간 배치 및 공간 보간 정보의 전달에 최적의 환경을 제공한다.

출력 모듈은 속성 정보 및 출력 방법의 특징을 고려하여 구축하였다. 1차 및 2차 정보의 모든 속성 정보는 표 형식으로 출력할 수 있으며, 자료 간의 상호 관련성

및 경향성을 파악하기 위해 1차 정보를 그래프 형식으로 제공한다. 또한, 속성 정보의 전체적 또는 세부적 분포 현황과 경향을 쉽게 파악할 수 있도록 공간 보간 정보 및 1차 정보를 전체 대상 영역 또는 관심 영역에 대해 평면도와 단면도 형식으로 가시화한다.

3. 시스템 적용 사례

3.1 시스템 적용 현장

개발 시스템의 적용 현장은 부산의 OO현장으로 총면적은 3,083,454m²이며, 준설매립 후 토사에 의한 선행 재하공법이 진행 중이다. 지표면 침하판을 비롯한 계측기들을 선행재하공법 시착과 함께 총 174개소에 설치하고, 이후 지속적으로 지반 거동을 계측 중이다. 현장의 지반조사는 총 71개소에서 이루어졌으며, 지반조사 결과 준설토와 원지반 점성토로 구성되는 연약 점성토 지반의 두께는 평균 47m이다.

3.2 시스템 적용

정보 표준안에 따라 데이터베이스 및 데이터베이스 시스템을 설정한 후, 사용자 프로그램을 네트워크상으로 데이터베이스에 연결하여, 자료 입출력, 침하 예측, 공간 보간 기능을 수행하였다. 사용자 프로그램은 기본 화면에서 각 기능을 수행하며, 그림 6은 적용 현장의 위치 정보 및 속성 정보를 입력한 후 나타낸 기본 화면이다.

입력 모듈을 이용하여 현장의 자료, 즉 위치 자료, 지반조사 자료, 계측 자료, 시공 자료를 정보 표준안에 따라 데이터베이스에 입력하고 수정하였다. 입력 모듈에서 현장 자료를 직접 입력 및 수정하거나, 사용자가 표준안에 맞게 구성한 Excel 파일을 이용하여 일괄 처리할 수 있다.

입력된 모든 침하 계측 정보에 침하 예측 모듈을 자동 실행하고, 정확도가 낮은 자동 예측 결과는 그림 7과 같이 세부 설정하여 재예측하였다. 침하 예측 모듈은 구현된 침하 방법들의 침하 예측 결과 중 최적의 결과를 사용자가 객관적으로 선정하거나, 자동 예측 시 시스템이 자동 선택할 수 있도록, 각 방법에 의한 침하 예측 곡선과 침하 계측 결과의 관련성을 통계적 상관계수로 제공한다.

공간 보간 모듈을 이용하여 지반조사 정보 중 층상 정보(지층의 두께, 지층의 해발 고도), 침하 계측 정보, 시공 정보(성토고, 지표고 등) 등의 1차 정보와, 침하 예

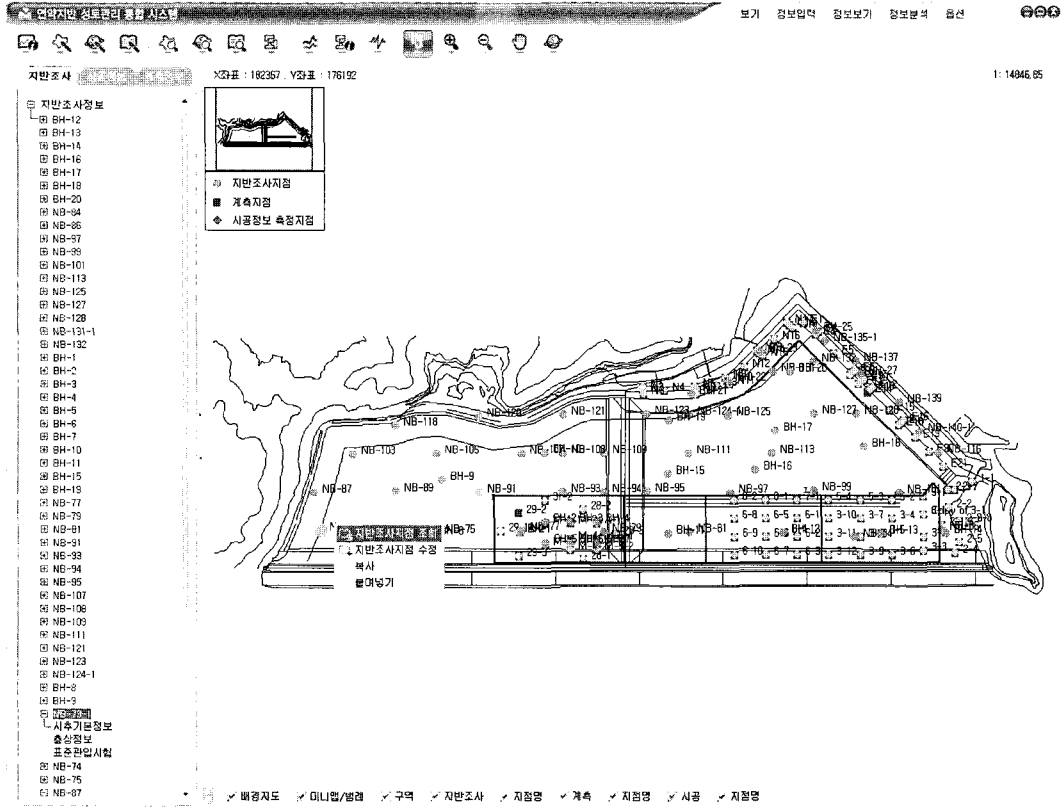


그림 6. 사용자 프로그램의 기본 화면 예

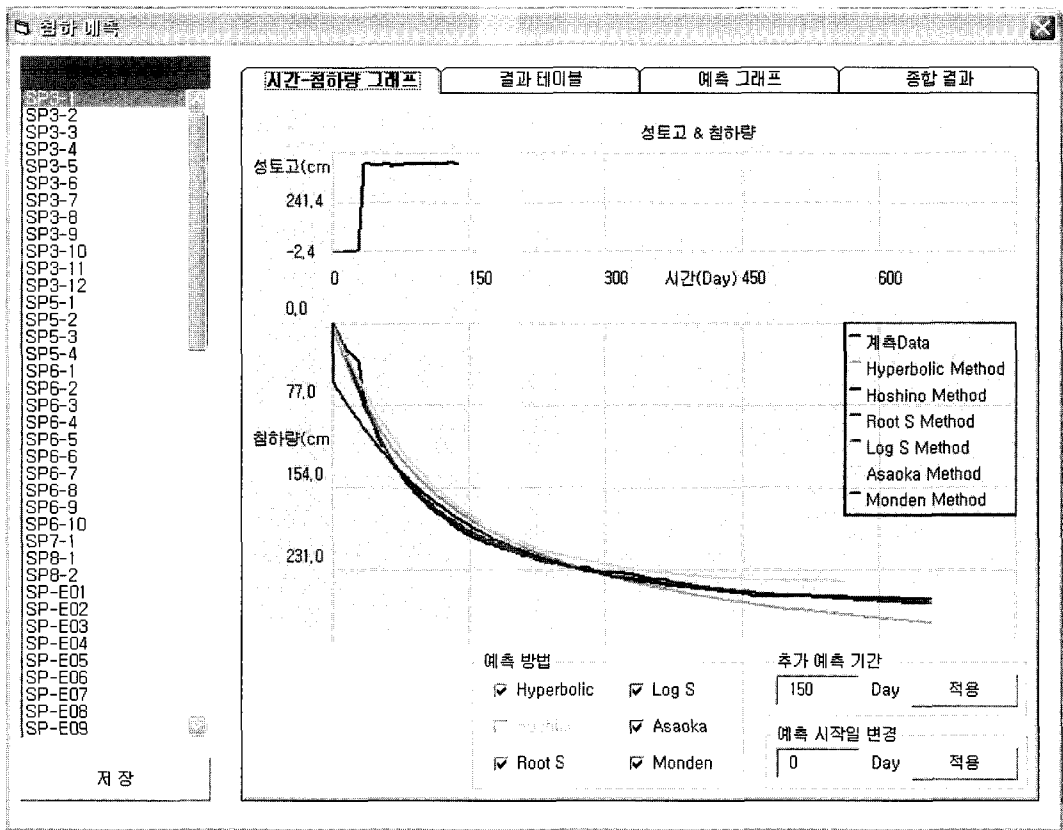


그림 7. 침하 예측 모듈 적용 예

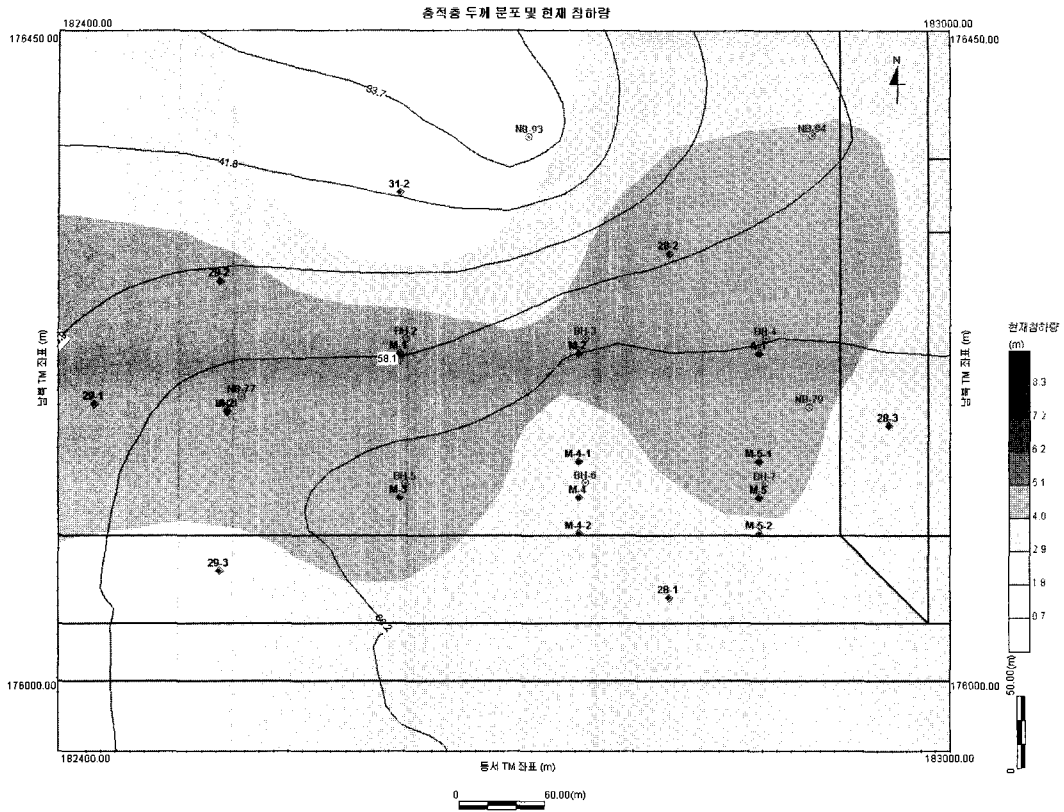


그림 8. 2차원 평면도 예

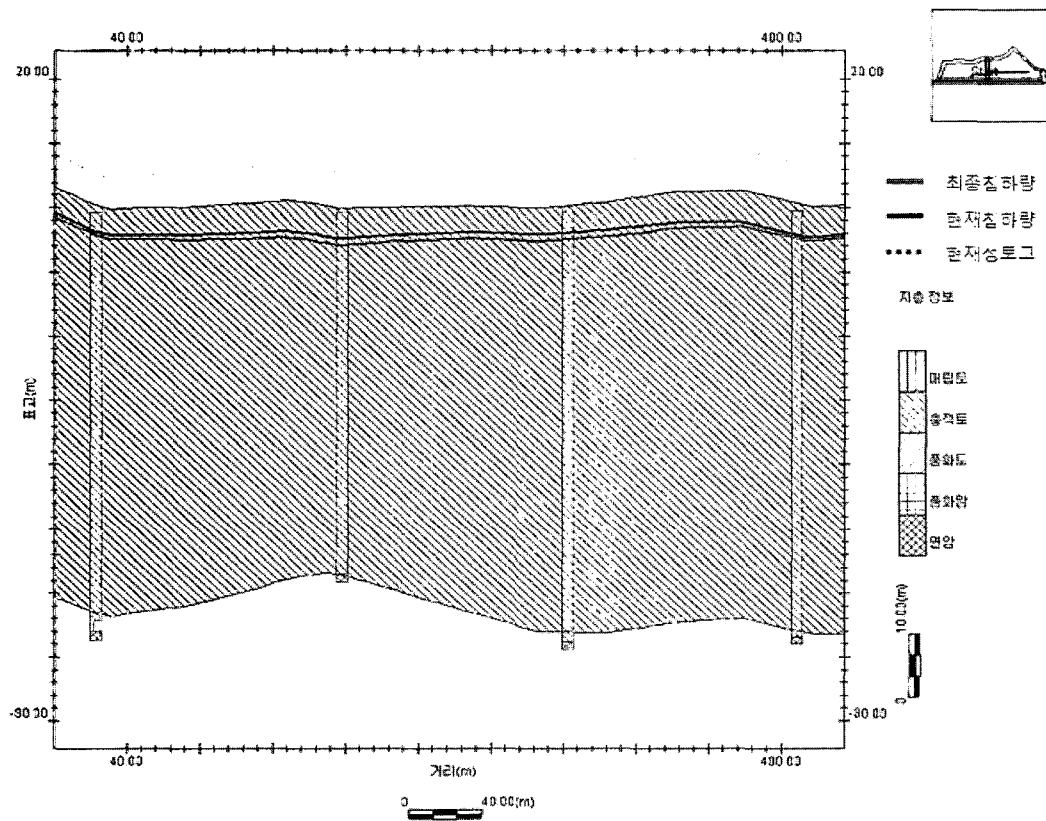


그림 9. 2차원 단면도 예

측 정보(최종 침하량, 현재 압밀도 등)를 전체 영역 또는 세부 영역에 대해 보간하였다. 공간 보간 모듈은 사용자의 편의를 도모하기 위해 영역의 세분화, 베리오그램 모델 산정 등과 같은 복잡한 크리깅 과정을 자동화하였으며, 필요 시 각 과정에 대한 사용자의 세부 설정 또한 가능하다.

출력 모듈은 그림 6에서와 같이 현장에 대한 평면도를 제공하여 자료의 입력 및 수정과 1차 정보 조회 시 편의성을 도모하고, 평면도 상에서 1차 정보의 각 속성 정보를 특성에 따라 표와 그래프 형식으로 출력한다. 또한 1차 정보와 더불어 공간 보간 정보를 전체 영역 또는 세부 영역에 대해 2차원 평면도(그림 8) 및 2차원 단면도(그림 9)로 가시화하여 현장에 대한 종합적인 정보를 제공한다. 2차원 평면도에서는 보간한 속성 정보들을 등고선 형태로 중첩하여 조회할 수 있었으며, 2차원 평면도 상에서 원하는 선형을 지정하고 2차원 단면도를 구성하여, 특정 선형에 따른 단면적 속성 분포를 확인할 수 있었다.

그림 8과 그림 9는 개발 시스템을 이용하여, 적용 현장의 일정 세부 영역에 대해 구성한 2차원 평면도와 2차원 단면도이다. 그림 8에서 채움 등고선은 현재 침하량으로 색이 짙을수록 침하량이 크며, 연약층 두께는 선형 등고선으로 우하단으로 갈수록 두께가 두껍다. 그림 8과 같이 2차원 평면도를 이용하여 현재 침하량과 연약층 두께를 비롯한 보간한 속성 정보를 공간적으로 중첩하여 확인함으로써, 속성 정보의 공간적 상관관계를 쉽게 파악할 수 있다. 그림 9는 그림 8의 2차원 평면도에서 임의의 선형을 선택하여 시추 정보, 층상 분포, 침하 분포, 성토고 등을 함께 도시한 것으로, 단면에 따른 각 정보의 분포 및 상관관계를 쉽게 파악할 수 있다.

4. 요약 및 결론

자료 활용을 극대화할 수 있는 GIS 기반 정보화의 장점을 이용하여, 연약지반의 시공 관리를 효율적으로 할 수 있는 통합 시공관리시스템을 개발하였으며, 개발 내용 및 특징은 다음과 같다.

(1) 연약 지반 시공관리에 관련된 모든 자료, 즉 지반조사, 계측, 시공 정보 등의 자료들을 위치 정보와 유기적으로 연계하여 선별 표준화하고, 통합된 데이터베이스 및 입력 기능을 구축하였다.

- (2) 현장 성토관리의 중요 요소인 계측 결과를 이용한 침하 예측 방법들을 시스템에 구현하였다. 예측 기법의 신뢰성을 검증하기 위한 방법 제공과 함께 침하 예측 결과를 데이터베이스에 자동 저장, 시스템 내에서 유기적으로 활용할 수 있도록 하였다.
- (3) 지구통계학적 보간 기법을 이용하여 조사, 계측, 해석된 모든 자료들을 지점에서 전체 대상 영역으로 보간하는 기능을 편의성을 고려하여 시스템에 구현하고, 보간 결과를 시스템 내에서 활용할 수 있도록 하였다.
- (4) 정보화된 모든 속성 정보들을 각 정보의 특징에 따라 표 형식으로 그리고 그래프나 평면도, 단면도 등의 그래픽 형태로 나타낼 수 있는 출력 기능을 구현하였다.
- (5) 개발 시스템을 실제 현장에 적용하였으며, 시스템의 각 기능을 이용하여 현장 자료를 데이터베이스에 저장하고, 침하 예측 및 보간하여 2차원 평면도와 단면도를 구성함으로써 영역 또는 단면에 대한 속성 정보의 공간적 분포 특성 및 상관관계를 쉽게 파악할 수 있었으며, 이를 통해 시스템의 적용성을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 2006년 한국건설교통기술평가원 건설핵심연구개발사업(05건설핵심C11)에 의해 수행된 것으로 본 연구를 지원해주신 한국건설교통기술평가원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 김인기, 성원모, 정문영 (1993), "수정된 Kriging법을 응용한 다목적 지구통계모델의 개발 및 타당성 검토", *대한광산지질학회지*, 제26권, 제2호, pp.207-215.
2. 김홍택, 이혁진, 김영웅, 김진홍, 김홍식 (2002), "GIS 기법을 이용한 대규모 매립지반의 장기침하 예측", *한국지반공학회논문집*, 제18권, 제2호, pp.107-121.
3. 유한규, 김종희 (2000), "A Study on the Prediction of Long-term Settlement by the Modified Hyperbolic Method", *한국지반공학회논문집*, 제16권, 제3호, pp.163-172.
4. 정성교, 최관희, 최호광, 조기영 (1998), "압밀해석을 위한 \sqrt{s} - 예측기법", *한국지반공학회논문집*, 제14권, 제2호, pp.41-52.
5. 조성민 (1998), *국내 연약 점성토 지반의 성토 재하시 변형 특성 분석*, 박사학위논문, 서울대학교, pp.26-32.
6. 최봉문, 김향집, 서동조 (1999), *도시정보와 GIS*, 대왕사, 서울, pp.99-179.

7. 한명원, 박재성, 이대형, 이재준, 김성욱 (2006), "GIS 및 지구통계학을 이용한 실시간 통합계측관리 프로그램 개발", *2006 분 학 술 발표회 논문집*, 한국지반공학회, pp.1046-1053.
8. 星埜和 (1962), "最近における基礎の諸問題", *土木學會誌*, 제47권, 제7호, pp.63-67.
9. Asaka, A. (1978), "Observational Procedure of Settlement Prediction", *Soils and Foundations*, Vol.18, No.4, pp.87-101.
10. Monden, H. (1963), "A New Time Fitting Method for the Settlement Analysis of Foundation on Soft Clays", *Memoir Fac. eng.*, Hiroshima University, Vol.12, No.1, pp.21.
11. Tan, T. S., Inoue, T., and Lee, S.L. (1991), "Hyperbolic Method for Consolidation Analysis", *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol.117, No.11, pp.1723-1737.

(접수일자 2007. 5. 9, 심사완료일 2007. 7. 23)