

## IT 기반의 파일 설계 시스템 개발

### Development of IT-based pile design system

유충식<sup>1)</sup>, Chungsik Yoo, 김선빈<sup>2)</sup>, Sunbin Kim, 이주탁<sup>3)</sup>, Jootak Lee, 송기용<sup>4)</sup>, Kiyong Song, 김기욱<sup>5)</sup>, Kiwook Kim

1) 성균관대학교 건설환경시스템공학과 교수, Professor, Dept. of Civil & Envir. Engrg, Sungkyunkwan Univ.

2) 성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil & Envir. Engrg, Sungkyunkwan Univ.

3) 성균관대학교 건설환경시스템공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil & Envir. Engrg, Sungkyunkwan Univ.

4) 이엑스티 주식회사 대표이사, President, EXT Korea Co., Ltd.

5) 이엑스티 주식회사 기술연구소장, Head manager, EXT Korea Co., Ltd.

**SYNOPSIS** : This paper concerns the development of a IT-based pile design system within the framework of geographic information system(GIS). The system is aimed at expediting a routine pile design works such as determination of pile length and stability analysis of the selected pile. The detailed system development process and functions of sub modules are provided in this paper.

**Key words** : IT-based system, geographic information system, pile design

## 1. 서 론

산업화의 가속 및 경제 성장과 더불어 근래 들어서는 고층빌딩 및 아파트 등의 수요가 많아 이러한 구조물을 지지하는 파일기초가 활발히 적용되고 있으며, 이러한 파일기초의 사용물량은 주택건설 수요와 서해안 개발 등 대규모 사회기반시설의 확충으로 인해 앞으로도 꾸준히 증가할 것으로 예상된다. 파일기초는 일반적으로 대심도가 아닌 경우 기성콘크리트말뚝(PHC 파일)을 주로 사용하며, PHC 파일 설계시에는 파일이 시공되는 지반의 특성과 파일길이, 제원, 시공법 등을 고려하여 설계지지력을 결정한다. 설계지지력은 우선적으로 이론식이나 경험식에 의한 방법으로 산정하게 되는데 지반의 변화 정도가 심하고 사용물량이 많은 경우에는 상대적으로 많은 시간과 비용이 초래하게 되는 문제가 있다.

이러한 맥락에서 본 연구에서는 PHC 파일을 대상으로 한 설계자동화 시스템을 개발하였으며, 본 논문에서는 이와 관련된 내용을 다루었다. 파일 설계 시스템은 공간자료의 관리 및 분석에 용이한 GIS(Geographic Information System, GIS)의 장점을 활용하여 개발하였으며, 파일 설계시 필요한 각종 지반정보의 가시화 및 설계지지력 산정이 용이하도록 하였다. 또한 그 결과를 가시화하여 설계자로 하여금 설계가 용이하도록 기능을 갖추었다. 이와같이 개발된 시스템은 실제 현장에 적용함으로써 적용성을 확인하였다.

## 2. IT 기반의 파일설계 자동화 시스템

### 2.1 시스템 개요

본 시스템은 다양한 지반조건에 대해서 설계자로 하여금 파일설계를 가능하게 한 시스템으로서 시스

템 내에서 대상현장의 지층정보와 기본 파일정보에 대한 입력을 하여 파일 설계시 요구되는 절성토량 및 파일길이 항목을 자동선정 하고 선정된 결과에 대해 지지력 검토 및 파일 건전도 평가, 파일기초 침하량 검토가 수행될 수 있도록 구축되어 있다. 또한 GIS를 이용함으로써 사용자 중심의 Graphic User Interface(GUI)를 극대화하여 입력 및 연산, 출력 과정이 한 시스템 상에서 통합으로 운용될 수 있도록 시스템을 구축하였다.

한편, 본 시스템은 지리정보와 속성정보의 공간분석이 가능하도록 ESRI사에서 개발한 ArcGIS Software 를 기본 플랫폼으로 하였으며, ArcGIS v9.2 환경에서 Visual Basic Application(VBA)를 활용하여 서버모듈을 구축하였다. 그림 1은 본 연구에서 개발한 파일설계 시스템의 전체적인 구조도를 나타내고 있다.

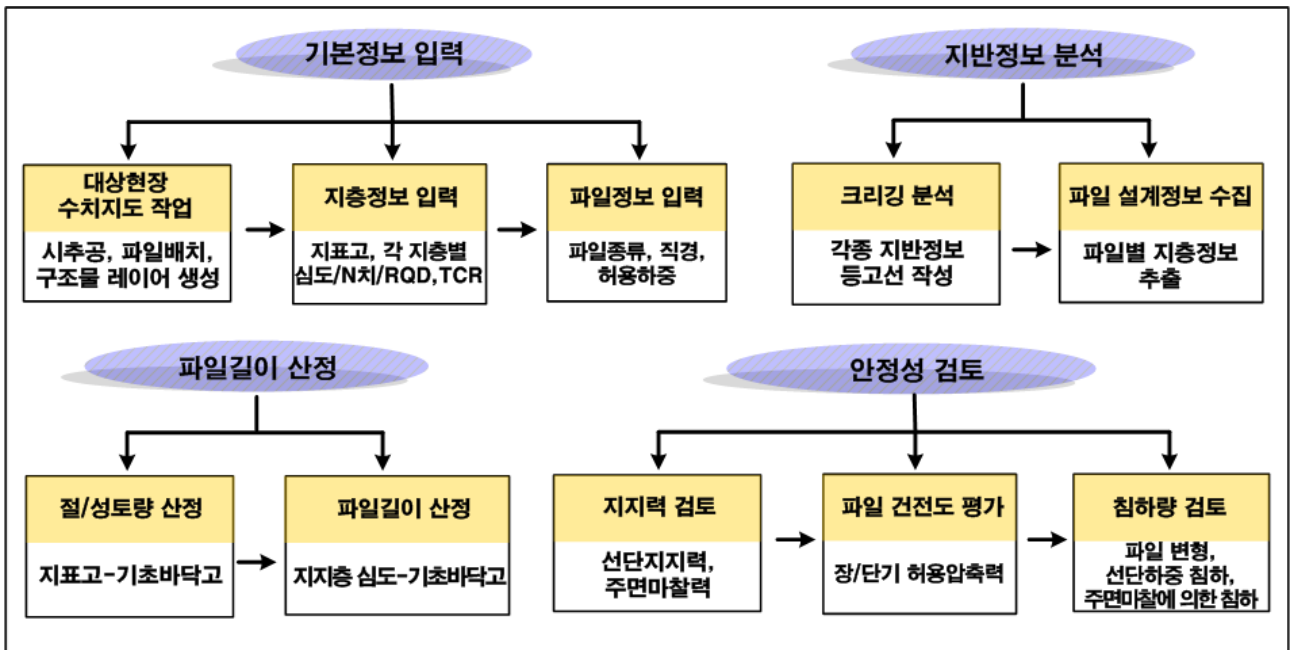


그림 1. 시스템 구조도

## 2.2 개발 시스템 모듈 구성

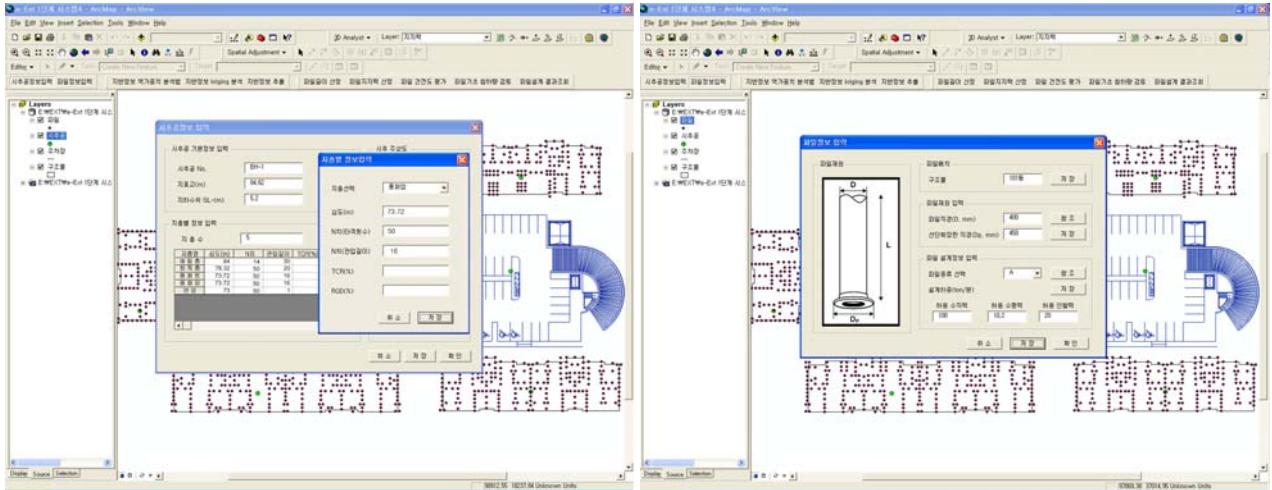
현재까지 개발된 본 시스템은 그림 1에서 제시한 바와 같이 크게 4개의 모듈로서 기본입력모듈과 지반정보 분석모듈, 파일길이 산정모듈, 안정성 검토모듈로 구성되어 있다. 입력모듈에서는 대상현장의 수치지도에서 추출한 시추공, 파일, 구조물 레이어에 지층정보로서 지표고와 각 지층별 심도 및 N치, RQD, TCR을 입력할 수 있도록 하였으며, 파일 정보로서 파일종류(A~F종)와 직경 및 허용하중 등의 입력이 가능하다. 이와같이 입력된 정보를 토대로 지반정보 분석모듈에서는 각종 지반정보에 대한 전체 영역에 대한 등고선을 작성하고, 작성된 등고선으로부터 임의 파일위치에서의 파일설계를 위한 지층정보를 추출하여 파일 속성정보에 저장되도록 하였다.

파일길이 산정모듈에서는 먼저 지표고와 기초바닥고 정보를 토대로 절토량과 성토량을 산정할 수 있도록 하였으며, 파일길이는 지지층 심도와 기초바닥고와의 관계를 통해 산정되도록 구현하였다. 안정성 검토모듈에서는 이와같이 선정된 결과에 대한 지지력 검토 및 파일건전도 평가, 침하량 검토를 할 수 있도록 하였다. 다음의 각 절에서는 개별모듈에 대한 세부기능 및 모듈 구성안에 대하여 기술하였다.

### 2.2.1 기본입력모듈

본 모듈은 파일설계를 위해 대상 현장의 지반/암반에 대한 정보와 파일정보를 입력하는 모듈로서 현

장에서 확보한 시추공 정보와 적용될 파일에 대한 정보를 입력하도록 하고 있다. 각각의 시추공과 파일 정보는 그림 2에서 보이는 바와 같이 ArcMap 상에서 입력할 feature를 먼저 선택한 후 해당정보를 입력할 수 있도록 하였는데 파일의 경우 동일 속성정보를 갖는 feature가 많으므로 다중 선택하여 입력이 가능하도록 구현하였다. 이와같이 입력한 정보는 ArcGIS상의 각 레이어별 속성 table에 저장되어 공간분석이 가능하다.



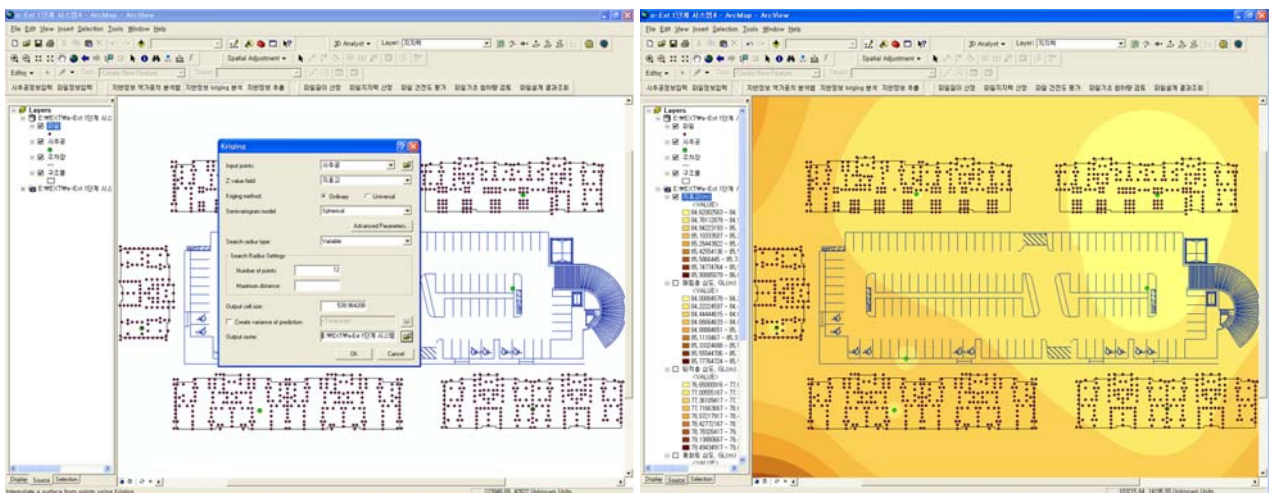
(a) 지층정보 입력(시추공)

(b) 파일정보 입력(파일)

그림 2. 지층정보 및 파일정보입력

### 2.2.2 지반정보 분석모듈

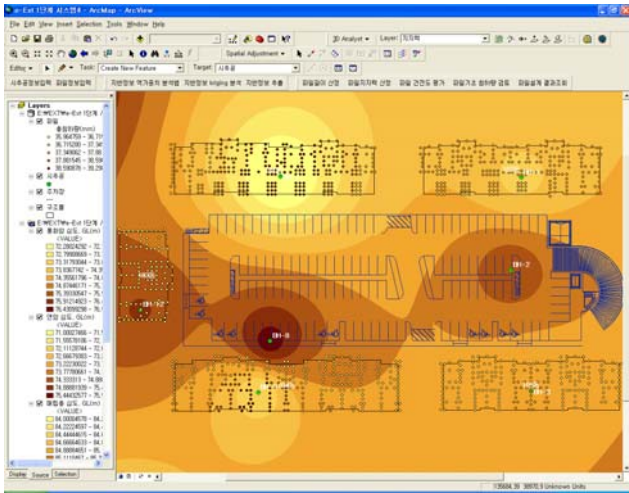
본 모듈에서는 앞서 입력된 시추공 정보를 이용하여 대상 현장의 지질특성에 대한 공간분석을 수행할 수 있도록 기능이 구현되어 있다. 즉, 파일 설계시 필요한 각종 지반정보인 지표고과 지층별 심도, N치 등의 정보를 추출하기 위하여 시추공 정보로부터 먼저 전체 현장에 대한 속성값을 등고선으로 나타내며, 작성된 등고선으로부터 각각의 파일 위치에서의 지반정보를 추출하여 파일 속성 table에 저장되도록 하였다. 이와같은 과정은 그림 3에서 보여주고 있다.



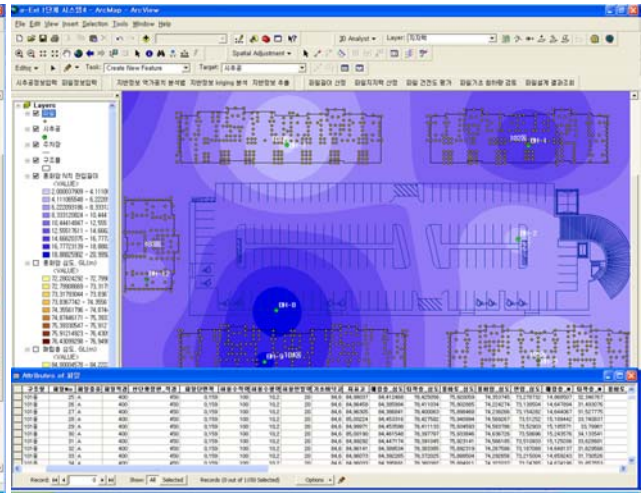
(a) 지반정보 분석항목 선택

(b) 지표고

그림 3. 지반정보 분석모듈(계속)



(c) 심도(풍화암)



(d) 50회 타격시 관입깊이(풍화암)

그림 3. 지반정보 분석모델

### 2.2.3 절성토량 및 파일길이 산정모델

본 모듈은 파일설계의 일부로서 지반정보 분석모델을 통해 수집한 개별 파일의 지층정보와 기초바닥고 정보를 이용하여 대상현장의 절성토량과 파일길이를 자동으로 산정할 수 있도록 구현되어 있다. 절성토량의 경우 식 (1)을 이용하였으며, 파일 관입깊이는 식 (2)를 적용하였다.

$$\text{절/성토량} = \text{지표고} - \text{기초바닥고} \quad (1)$$

여기서, 절토량 : (-), 성토량(+)

$$\text{파일길이} = \text{기초바닥고} - \text{지지기반심도} \quad (2)$$

여기서, 지지기반은 N치가 50 이상이며, 50회 타격시 관입깊이가 10mm 이내인 지층을 의미한다.

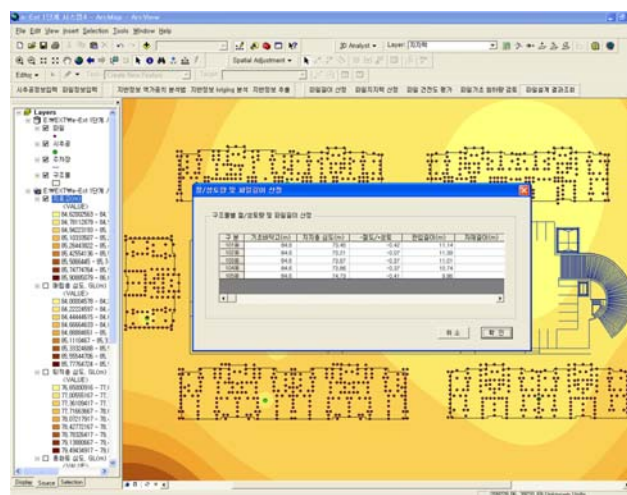


그림 4. 절성토량 및 파일길이 산정모델

## 2.2.4 지지력 평가모듈

현재까지 개발된 본 시스템을 이용하여 파일을 설계하는 경우 검토 가능항목은 지지력 산정식을 이용한 지지력과 지지력 산정에 따른 파일 건전도(축방향 허용수직 압축력) 확인이다. 각각의 검토항목은 다음의 과정을 통하여 구현되도록 하였다.

먼저 지지력 산정식은 기 입력된 각 지층의 N치를 이용한 산정이 가능하도록 선단지지력은 식 (3)을 이용하였으며, 주변마찰력은 식 (4)와 (5) 중 작은 값이 채택되도록 하였다.

$$Q_p = 20 \times N \times A_p \quad (3)$$

여기서  $Q_p$  : 선단지지력,  $N$  : N치,  $A_p$  : 파일선단면적

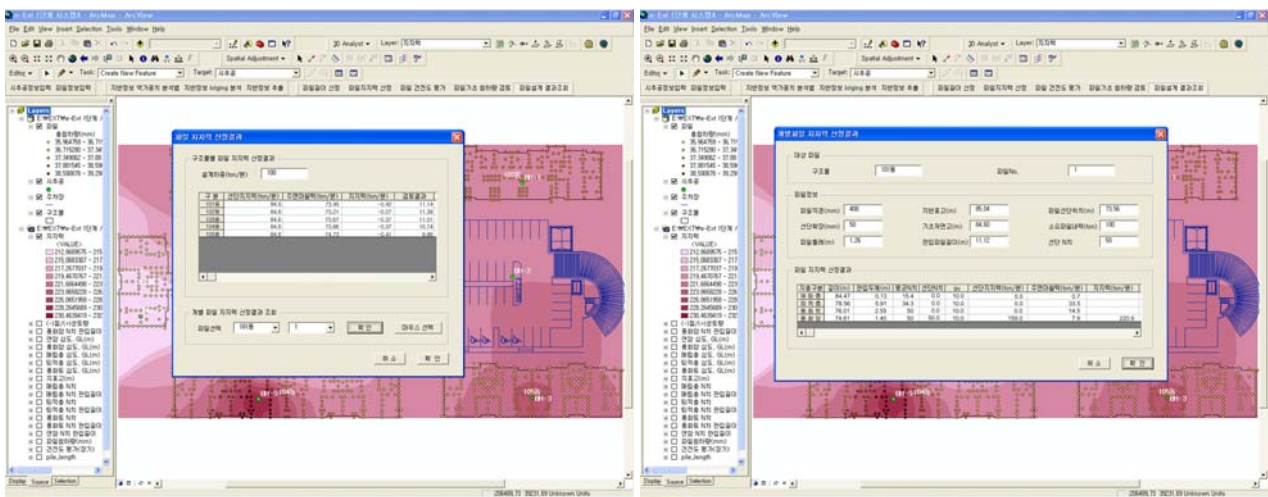
$$Q_s = 1/2 \times q_u \times L_c \times \psi \quad (4)$$

여기서  $Q_s$  : 주변마찰력,  $q_u$  : 일축압축강도( $q_u = 1.25N \leq 10$ ),  $L_c$  : 파일길이,  $\psi$  : 파일둘레

$$Q_s = 1/5 \times N \times L_c \times \psi \quad (5)$$

여기서  $Q_s$  : 주변마찰력,  $L_c$  : 파일길이,  $\psi$  : 파일둘레길이

그림 5는 이와 같은 방법으로 구현되도록 한 지지력 검토모듈을 보여준다. 그림 5(a)는 구조물별 파일의 최소값 기준으로 정리된 지지력 산정결과를 보여주고 있으며, 그림 5(b)는 개별 파일에 대한 지지력 산정결과를 제시하고 있다.



(a) 구조물별 종합 결과

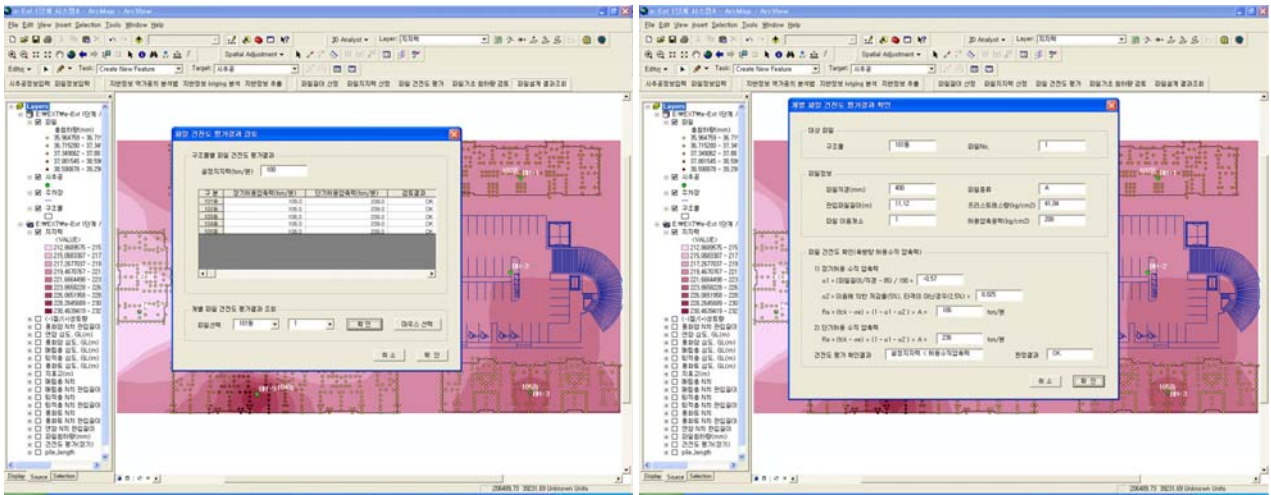
(b) 개별 파일 지지력 산정결과

그림 5. 지지력 검토모듈

지지력 산정에 따른 파일 건전도 확인은 파일의 장/단기 허용 수직압축력을 산정하여 설계지지력을 비교할 수 있도록 하였다. 파일의 장/단기 허용수직압축력 산정식은 식 (6)을 적용한 것이며, 해당 모듈은 그림 6에서 보여주고 있다.

$$R_a = (f_{ck} - \sigma_e) \times (1 - \alpha_1 - \alpha_2) \times A \quad (6)$$

여기서,  $R_a$  : 파일의 허용수직 압축력,  $f_{ck}$  : 파일 압축응력,  $\sigma_e$  : 유효프리스트레스량,  $A$  : 파일 단면적  
 $\alpha_1$  : 길이 지름비에 의한 저감율[( $L/D-85$ )%],  $\alpha_2$  : 이음에 의한 저감율(매입 2.5%, 타격 5%)



(a) 구조물별 종합 결과

(b) 개별 파일 건전도평가 결과

그림 6. 파일 건전도평가 모듈

### 3. 적용 예

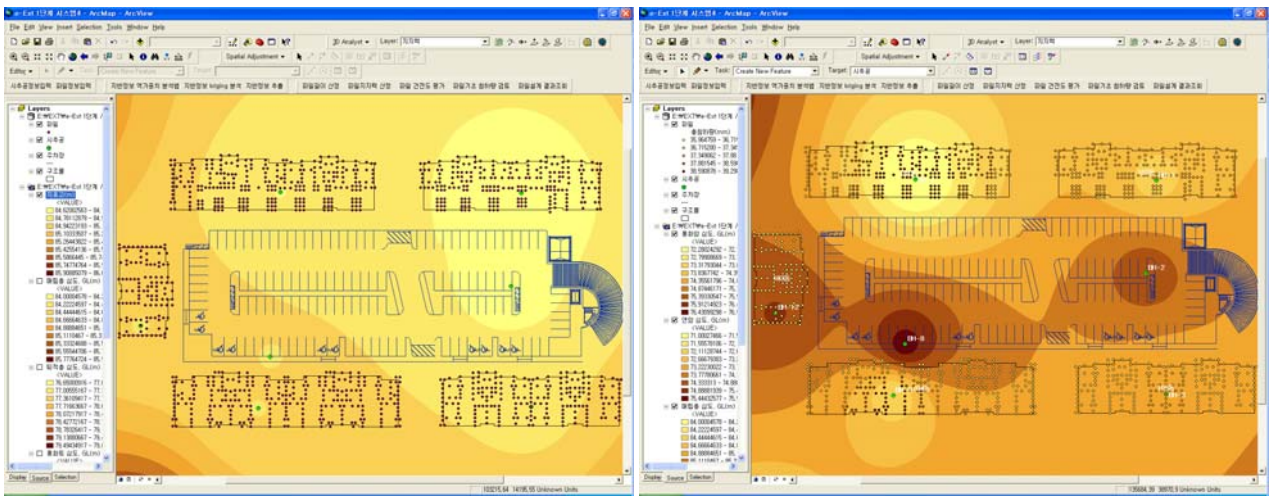
#### 3.1 대상 현장 및 시공조건

본 연구에서 개발한 시스템의 현장 적용성 확인을 위해 ○○ 아파트 현장을 대상으로 적용성 검토를 수행하였다. 대상 현장의 구조물 및 파일 배치도는 그림 7에 나타내고 있으며, 당 현장에는 본당 설계 하중이 100ton인 직경 400mm의 기성 PHC(A종) 파일을 적용하는 조건에 대한 검토를 하였다.



그림 7. 대상현장의 수치지도

먼저 대상현장의 시추공 정보를 이용하여 대상현장의 지반조건에 대한 분석을 수행한 결과 지표고는 해발 84~86m 범위로 비교적 평탄한 조건이며, 지지층 지반인 풍화암층은 72~76m 범위에서 분포하는 것으로 나타나 파일길이는 대체로 10m 내외에서 추정할 수 있다.



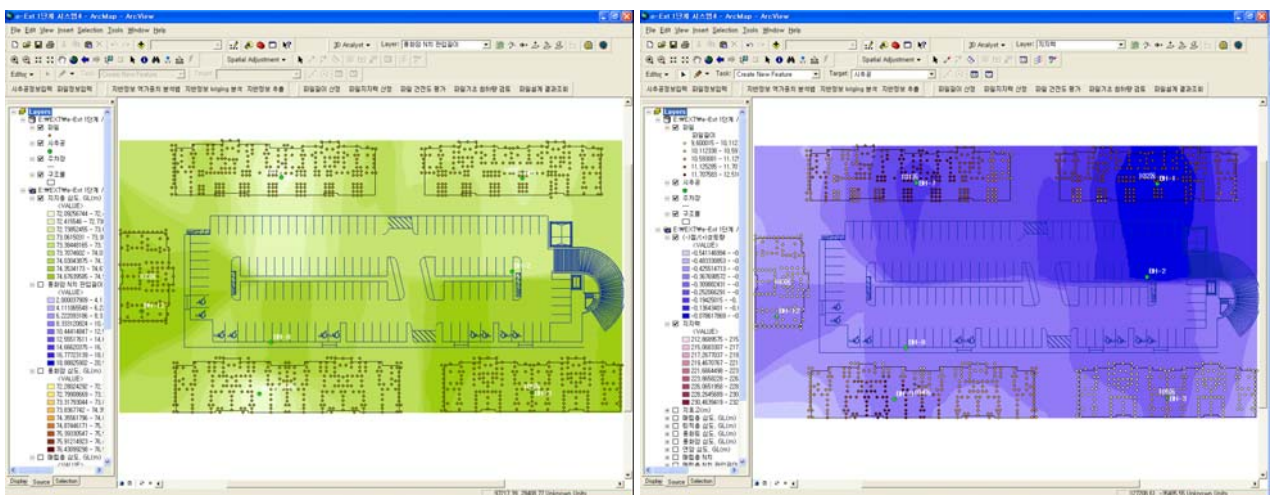
(a) 지표고

(b) 풍화암 심도

그림 8. 대상 현장의 지반조건 분석

### 3.2 파일설계

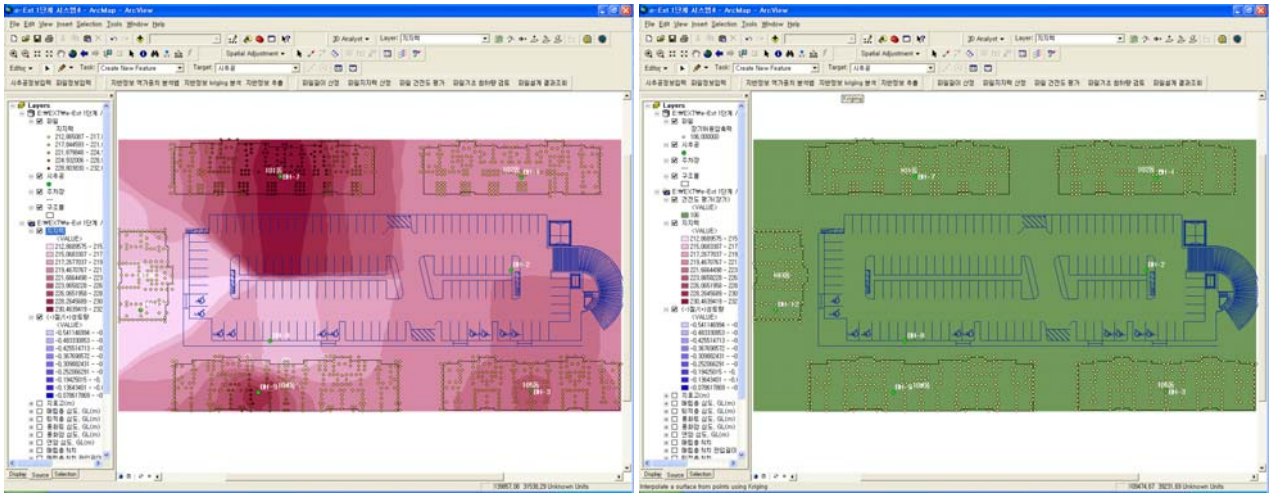
보다 면밀한 검토를 위해 앞서 기술한 과정으로 본 시스템을 이용하여 파일설계를 수행한 결과 절토량 및 파일길이는 그림 9(b)와 같이 산정이 되어 절토량은 구간에 따라 0~0.54m 범위로 산정되었으며, 파일길이는 9.6~12.5m 범위로 적용 가능한 것으로 분석되었다. 이에 대한 지지력 산정결과 그림 9(c)에 나타난 바와 같이 모든 파일에서 212~232ton/본 범위로 나타나 설계하중 100ton/본을 웃돌아 지지력을 충분히 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 지지력 산정에 따른 파일 건전도를 확인한 결과 그림 9(d)와 같이 단기허용압축력 뿐만 아니라 장기허용압축력 또한 106ton/본으로 설계하중 보다 큰 수치로 나타나 안정성을 확보하는 것으로 나타났다.



(a) 지지층 심도

(b) 절성토량 및 파일길이

그림 9. 현장 적용 결과(계속)



(c) 파일 지지력

(d) 파일 건진도 평가

그림 9. 현장 적용 결과

#### 4. 결론

본 논문에서는 정보기술(IT)을 이용한 파일기초 설계 시스템 개발에 관한 내용을 다루었다. 토목분야에서 활발히 적용되고 있는 대표적인 정보기술인 지리정보시스템(GIS)을 이용하여 ArcGIS v9.2 환경에서 Visual Basic Application(VBA)를 활용하여 서브모듈을 구축함으로써 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 현장 수치지도와 시추공 정보를 토대로 지반분석을 수행함으로써 보다 과학적이고 효율적인 파일설계가 가능하며, 그 결과를 다양한 방법으로 가시화 할 수 있어 설계자가 파일 설계 결과에 대한 식별을 매우 용이하게 할 수 있다는 장점이 있다. 현장 적용성 검토결과 이에 대한 효율성을 확인하였으며, 보다 복잡한 지반조건에서도 공간분석이 용이하여 적용성이 클 것으로 기대된다.

#### 감사의글

본 연구는 이엑스티(주)의 연구비 지원과 공동연구에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 건설교통부 (2003). 구조물 기초설계기준
2. 박종배, 김정수, 정형식 (2003), "SIP공법의 지지력 특성에 관한 연구", 한국지반공학회 논문집, 제19권, 제1호, pp. 51-60.
2. 유충식, 김주미, 김선빈, 정혜영 (2006), "GIS-ANN 기반의 도심지 터널 설계/시공 위험도 평가", 대한토목학회 논문집, 제26권, 제1C호, pp. 63-72.
3. 유충식, 김주미, 김진하 (2005), "정보기술(IT)의 터널설계 분야에의 적용사례", 한국터널공학회 정기학술발표회 논문집, pp. 105-116.
4. 이명환, 홍헌성, 조찬환, 이장덕, 이원제, 전영석 (1995). 매입 말뚝공법의 지지력 특성, 95 가을 학술발표회 논문집, 한국지반공학회, pp.I-1~I-10.
5. 조찬환, 이명환, 홍헌성, 엄재경, (1997). 매입말뚝의 하중-침하량 곡선의 특성 및 분석기법 연구, 97 봄학술발표회 논문집, 한국지반공학회, pp. 39~46