



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2018년12월06일  
(11) 등록번호 10-1926304  
(24) 등록일자 2018년11월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G01V 1/16 (2006.01) G01V 1/00 (2006.01)  
G01V 1/30 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
G01V 1/168 (2013.01)  
G01V 1/008 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2018-0058842  
(22) 출원일자 2018년05월24일  
심사청구일자 2018년05월24일  
(56) 선행기술조사문헌  
KR1020170061315 A  
KR1020160024232 A  
김한샘. Integrated Earthquake Hazard Assessment System with Geotechnical Spatial Grid. 서울대학교 박사학위논문. 2014년 8월. 300쪽  
이보영, 황범식, 김한샘, 조완제. 이상치 분석을 통한 3차원 지반정보 정밀도 향상 방안. 한국지반환경공학회논문집. 제19권 제2호. 2018년 2월. 23-35쪽

(73) 특허권자  
한국지질자원연구원  
대전광역시 유성구 과학로 124 (가정동, 한국지질자원연구원)  
(72) 발명자  
김한샘  
서울특별시 양천구 목동동로 10, 1119동 905호  
선창국  
대전광역시 유성구 도안동로 523, 208동 2002호  
조형익  
대전광역시 유성구 온천로 60, 716호  
(74) 대리인  
정상규

전체 청구항 수 : 총 6 항

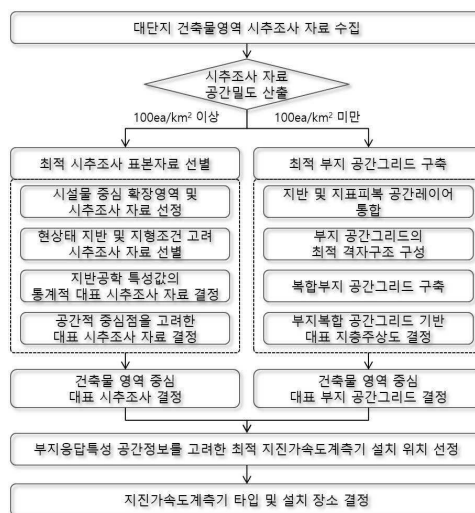
심사관 : 권민정

**(54) 발명의 명칭 건축물 영역에 대한 대표 시추조사 자료 선정 방법**

**(57) 요약**

본 발명은 건축물 영역에 대한 대표 시추조사 자료 선정 방법에 관한 것으로, (c-1) 건축물 영역의 공간적 중심점을 기준으로 해당 건축물 영역을 포함하는 확장 영역을 설정하는 단계; (c-2) 상기 확장 영역을 포함하며 점차적으로 증가하는 다수의 확장 영역 후보군을 설정하는 단계; (c-3) 상기 확장 영역과 다수의 확장 영역 후보군에 (뒷면에 계속)

**대표도 - 도2**



대하여 각각 시추조사 자료를 수집하는 단계; (c-4) 상기 확장 영역과 다수의 확장 영역 후보군 중 공간적 상관도가 높은 영역을 대상 건축물 영역으로 결정하기 위해 상기 확장 영역과 다수의 확장 영역 후보군 각각에 대하여 하나의 지반공학적 특성값을 공간보간하고, 예측된 특성값과 측정된 특성값 간의 잔차를 계산하여 평균제곱근오차(RMSE, Root Mean Squared Errors)가 가장 작게 평가되는 영역을 대상 건축물 영역으로 결정하는 단계; (c-5) 상기 대상 건축물 영역의 시추조사 자료 중 시추날짜와 시추표고에 따른 이상치를 제거하는 단계; (c-6) 이상치가 제거된 시추조사 자료 중 지반공학적 특성값을 기준으로 통계적 대표 시추조사 표본자료를 선정하는 단계; 및 (c-7) 상기 대표 시추조사 표본자료 중 건축물 영역의 공간적 중심점을 기준으로 최근접한 시추조사 자료를 대표 시추조사 자료로 선정하는 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 한다.

(52) CPC특허분류

*G01V 1/30* (2013.01)

*G01V 2210/142* (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711072733

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국지질자원연구원

연구사업명 한국지질자원연구원연구운영비지원(R&D)(주요사업비)

연구과제명 Geo-Data 통합 기반 지진원 정밀분석 및 지진재해 대응 기술 개발

기 여 율 1/1

주관기관 한국지질자원연구원

연구기간 2018.01.01 ~ 2018.12.31

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

건축물 영역의 확장 영역에 대하여 시추조사 자료를 수집하고, 수집된 시추조사 자료를 시간, 지형, 통계 및 공간적 기준으로 하여 건축물 영역 중심의 대표 시추조사 자료를 선정하는 건축물 영역에 대한 대표 시추조사 자료 선정 방법으로서,

(c-1) 건축물 영역의 공간적 중심점을 기준으로 해당 건축물 영역을 포함하는 확장 영역을 설정하는 단계;

(c-2) 상기 확장 영역을 포함하며 점차적으로 증가하는 다수의 확장 영역 후보군을 설정하는 단계;

(c-3) 상기 확장 영역과 다수의 확장 영역 후보군에 대하여 각각 시추조사 자료를 수집하는 단계;

(c-4) 상기 확장 영역과 다수의 확장 영역 후보군 중 공간적 상관도가 높은 영역을 대상 건축물 영역으로 결정하기 위해 상기 확장 영역과 다수의 확장 영역 후보군 각각에 대하여 하나의 지반공학적 특성값을 공간보간하고, 예측된 특성값과 측정된 특성값 간의 잔차를 계산하여 평균제곱근오차(RMSE, Root Mean Squared Errors)가 가장 작게 평가되는 영역을 대상 건축물 영역으로 결정하는 단계;

(c-5) 상기 대상 건축물 영역의 시추조사 자료 중 시추날짜와 시추표고에 따른 이상치를 제거하는 단계;

(c-6) 이상치가 제거된 시추조사 자료 중 지반공학적 특성값을 기준으로 통계적 대표 시추조사 표본자료를 선정하는 단계; 및

(c-7) 상기 대표 시추조사 표본자료 중 건축물 영역의 공간적 중심점을 기준으로 최근접한 시추조사 자료를 대표 시추조사 자료로 선정하는 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 하는 건축물 영역에 대한 대표 시추조사 자료 선정 방법.

#### 청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 (c-3) 단계에서,

확장 영역 후보군은 적어도 7개 이상 설정되며, 확장 영역 후보군 간 간격은 건축물 영역 면적의 제곱근인 것을 특징으로 하는 건축물 영역에 대한 대표 시추조사 자료 선정 방법.

#### 청구항 3

삭제

#### 청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 지반공학적 특성값은 층별 두께 또는 표준관입시험 N값 인 것을 특징으로 하는 건축물 영역에 대한 대표 시추조사 자료 선정 방법.

#### 청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 (c-5) 단계는,

(c-5-1) 상기 대상 건축물 영역의 시추조사 자료 중 시추날짜를 시계열 정렬하여 시추날짜가 오래된 하위 10%에 해당하는 자료를 이상치로 정의하여 제거하는 단계; 및

(c-5-2) 상기 대상 건축물 영역의 시추조사 자료 중 수치표고모델을 기준으로 지표고 오차를 상호 비교하여 오차가 많은 상위 10%에 해당하는 자료를 이상치로 정의하여 제거하는 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 하는 건축물 영역에 대한 대표 시추조사 자료 선정 방법.

### 청구항 6

제 1항에 있어서,

상기 (c-6) 단계는,

지반공학적 특성값을 층별 두께로 하며,

(c-6-1) 이상치가 제거된 시추조사 자료에서 기반암 상부의 지층들을 대상으로 각 두께에 따른 확률분포 함수를 도출하는 단계;

(c-6-2) 층별 두께의 확률분포 함수 상 95% 이상의 신뢰구간을 갖는 표본집단에 대한 평균값, 중앙값, 최빈값을 계산하는 단계;

(c-6-3) 계산된 평균값, 중앙값, 최빈값의 지표를 토대로 시추조사 자료별로 측정된 지층 두께와 상호 비교 오차를 계산하는 단계; 및

(c-6-4) 상호 비교 오차의 계산 결과, 두께 결정 지표에 따른 오차의 확률분포상 하위 10% 이내에 해당하는 지층으로 구성된 시추조사 자료를 대표 시추조사 표본자료로 선정하는 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 하는 건축물 영역에 대한 대표 시추조사 자료 선정 방법.

### 청구항 7

제 1항 또는 제 5항에 있어서,

상기 (c-6) 단계는,

지반공학적 특성값을 표준관입시험 N값으로 하며,

(c-6-5) 이상치가 제거된 시추조사 자료에서 표준관입시험 N값의 평균값을 층별 대표 N값으로 정의하는 단계;

(c-6-6) 층별 대표 N값의 확률분포 함수 상 95% 이상의 신뢰구간을 갖는 표본집단에 대한 평균값, 중앙값, 최빈값을 계산하는 단계;

(c-6-7) 계산된 평균값, 중앙값, 최빈값의 지표를 토대로 시추조사 자료별로 층별 대표 N값에 따른 상호 비교 오차를 계산하는 단계;

(c-6-8) 상호 비교 오차의 계산 결과, N값 결정 지표에 따른 오차의 확률분포상 하위 10% 이내에 해당하는 층별 대표 N값을 갖는 시추조사 자료를 대표 시추조사 표본자료로 선정하는 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 하는 건축물 영역에 대한 대표 시추조사 자료 선정 방법.

### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001]

본 발명은 건축물 영역에 대한 대표 시추조사 자료 선정 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 지진 발생시 심각한 피해를 야기하는 대규모 주택단지나 산업시설이 포함되는 건축물 영역에 대해 합리적이고 효율적인 지진가 속도계측기의 설치 위치를 선정할 수 있도록 부지응답 취약면에서 해당 건축물 영역을 대표할 수 있는 시추조사 자료를 합리적으로 선정하는 건축물 영역에 대한 대표 시추조사 자료 선정 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

- [0002] 최근 국가기반시설물을 대상으로 지진발생 시 지진경보 및 지진재해 대응의 효율성 및 신속성을 확보하고자 자유장, 구조물 영역에서의 지진가속도 계측기의 설치와 이와 연계한 통합관측망의 구축 필요성이 대두되고 있다.
- [0003] 특히 제도적으로 국가기반시설물에 지진가속도계측기 설치를 의무화함으로써 적합한 위치와 규격의 지진가속도계를 설치함으로써 시설물별 최대지반가속도(peak ground acceleration; PGA) 단위로 지진동 수준을 정량적으로 파악하고 있으며, 향후에는 대략적인 지진피해규모 파악을 위한 진도단위의 평가를 시도하고 있다.
- [0004] 시설물(건축물 포함)에 설치되는 지진가속도계측기는 크게 자유장 타입(지진가속도 계측 대상 시설물의 지반운동을 대표할 수 있는 건축물이나 구조물 등 일반적인 시설물이 없는 지표면), 시추공 타입(지표면에서 기반암까지 시추하여 기반암의 지진가속도를 계측할 수 있도록 설치된 지진가속도계), 구조물 타입(구조물의 지진거동특성의 영향을 평가하기 위해 최하층, 최상층, 또는 중간층에 설치된 지진가속도계)으로 분류된다.
- [0005] 또한 단일 구조물을 대상으로 자유장 관측소와 구조물 관측소의 가속도 계측결과를 상호 활용함으로써 지진안전성 지표 기준의 신속한 구조물 안전성 평가 기술 개발이 활발히 진행되고 있다.
- [0006] 그러나 이와 같은 시설물 지진가속도계측기 설치 및 관측망 운영은 단일 시설물을 대상으로 진행되며, 다수의, 그리고 다양한 종류의 시설물로 구성된 대단위 건축물영역을 대상으로 한 최적의 지진가속도계측기 설치 위치선정의 가이드라인은 미흡하다. 또한 시설영역의 부지효과를 고려한 계측위치 선정과 지반지진공학적 최적의 자유장 조건(기반암 또는 암반노두)의 결정 또한 필요하다.
- [0007] 또한 최적의 지진가속도계측기 설치 위치선정을 위해서는 부지응답 취약면에서 해당 건축물 영역을 대표할 수 있는 시추조사 자료를 합리적으로 선정하는 것이 무엇보다 중요하다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

- [0008] 본 발명은 상술한 문제점들을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 그 목적은 지진 발생시 심각한 피해를 야기하는 대규모 주택단지나 산업시설이 포함되는 건축물 영역에 대해 합리적이고 효율적인 지진가속도계측기의 설치 위치를 선정할 수 있도록 부지응답 취약면에서 해당 건축물 영역을 대표할 수 있는 시추조사 자료를 합리적으로 선정하는 건축물 영역에 대한 대표 시추조사 자료 선정 방법을 제공하는데 있다.

**과제의 해결 수단**

- [0009] 본 발명에 따르면, 건축물 영역의 확장 영역에 대하여 시추조사 자료를 수집하고, 수집된 시추조사 자료를 시간, 지형, 통계 및 공간적 기준으로 하여 건축물 영역 중심의 대표 시추조사 자료를 선정하는 건축물 영역에 대한 대표 시추조사 자료 선정 방법으로서, (c-1) 건축물 영역의 공간적 중심점을 기준으로 해당 건축물 영역을 포함하는 확장 영역을 설정하는 단계; (c-2) 상기 확장 영역을 포함하며 점차적으로 증가하는 다수의 확장 영역 후보군을 설정하는 단계; (c-3) 상기 확장 영역과 다수의 확장 영역 후보군에 대하여 각각 시추조사 자료를 수집하는 단계; (c-4) 상기 확장 영역과 다수의 확장 영역 후보군 중 공간적 상관도가 높은 영역을 대상 건축물 영역으로 결정하기 위해 상기 확장 영역과 다수의 확장 영역 후보군 각각에 대하여 하나의 지반공학적 특성값을 공간보간하고, 예측된 특성값과 측정된 특성값 간의 간차를 계산하여 평균제곱근오차(RMSE, Root Mean Squared Errors)가 가장 작게 평가되는 영역을 대상 건축물 영역으로 결정하는 단계; (c-5) 상기 대상 건축물 영역의 시추조사 자료 중 시추날짜와 시추표고에 따른 이상치를 제거하는 단계; (c-6) 이상치가 제거된 시추조사 자료 중 지반공학적 특성값을 기준으로 통계적 대표 시추조사 표본자료를 선정하는 단계; 및 (c-7) 상기 대표 시추조사 표본자료 중 건축물 영역의 공간적 중심점을 기준으로 최근접한 시추조사 자료를 대표 시추조사 자료로 선정하는 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0010] 바람직하게는, 상기 (c-3) 단계에서, 확장 영역 후보군은 적어도 7개 이상 설정되며, 확장 영역 후보군 간 간격은 건축물 영역 면적의 제곱근인 것을 특징으로 한다.
- [0011] 삭제
- [0012] 바람직하게는, 상기 지반공학적 특성값은 층별 두께 또는 표준관입시험 N값 인 것을 특징으로 한다.

[0013] 바람직하게는, 상기 (c-5) 단계는, (c-5-1) 상기 대상 건축물 영역의 시추조사 자료 중 시추날짜를 시계열 정렬하여 시추날짜가 오래된 하위 10%에 해당하는 자료를 이상치로 정의하여 제거하는 단계; 및 (c-5-2) 상기 대상 건축물 영역의 시추조사 자료 중 수치표고모형을 기준으로 지표고 오차를 상호 비교하여 오차가 많은 상위 10%에 해당하는 자료를 이상치로 정의하여 제거하는 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0014] 바람직하게는, 상기 (c-6) 단계는, 지반공학적 특성값을 층별 두께로 하며, (c-6-1) 이상치가 제거된 시추조사 자료에서 기반암 상부의 지층들을 대상으로 각 두께에 따른 확률분포 함수를 도출하는 단계; (c-6-2) 층별 두께의 확률분포 함수 상 95% 이상의 신뢰구간을 갖는 표본집단에 대한 평균값, 중앙값, 최빈값을 계산하는 단계; (c-6-3) 계산된 평균값, 중앙값, 최빈값의 지표를 토대로 시추조사 자료별로 측정된 지층 두께와 상호 비교 오차를 계산하는 단계; 및 (c-6-4) 상호 비교 오차의 계산 결과, 두께 결정 지표에 따른 오차의 확률분포상 하위 10% 이내에 해당하는 지층으로 구성된 시추조사 자료를 대표 시추조사 표본자료로 선정하는 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0015] 바람직하게는, 상기 (c-6) 단계는, 지반공학적 특성값을 표준관입시험 N값으로 하며, (c-6-5) 이상치가 제거된 시추조사 자료에서 표준관입시험 N값의 평균값을 층별 대표 N값으로 정의하는 단계; (c-6-6) 층별 대표 N값의 확률분포 함수 상 95% 이상의 신뢰구간을 갖는 표본집단에 대한 평균값, 중앙값, 최빈값을 계산하는 단계; (c-6-7) 계산된 평균값, 중앙값, 최빈값의 지표를 토대로 시추조사 자료별로 층별 대표 N값에 따른 상호 비교 오차를 계산하는 단계; (c-6-8) 상호 비교 오차의 계산 결과, N값 결정 지표에 따른 오차의 확률분포상 하위 10% 이내에 해당하는 층별 대표 N값을 갖는 시추조사 자료를 대표 시추조사 표본자료로 선정하는 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 한다.

**발명의 효과**

[0016] 본 발명에 따르면, 지진 발생시 심각한 피해를 야기하는 대규모 주택단지나 산업시설이 포함되는 건축물 영역에 대해 합리적이고 효율적인 지진가속도계측기의 설치 위치를 선정할 수 있도록 부지응답 취약면에서 해당 건축물 영역을 대표할 수 있는 시추조사 자료를 합리적으로 선정할 수 있게 되는 효과가 있다.

**도면의 간단한 설명**

[0017] 도 1은 본 발명에 따른 건축물 영역에 대한 지진가속도계측기의 최적 설치위치 선정 방법이 구동되는 위치선정 시스템을 나타내는 블록도.

도 2는 본 발명에 따른 건축물 영역에 대한 지진가속도계측기의 최적 설치위치 선정 방법을 설명하기 위한 흐름도.

도 3은 본 발명에 따른 건축물 영역에 대한 지진가속도계측기의 설치를 위한 단일 건축물별 영향반경 고려 대표 시추조사 자료 결정 및 설치 가능지역 결정 과정을 설명하기 위한 도면.

도 4는 본 발명에 따른 최적 부지 공간그리드 구축을 통한 건축물 그룹의 대표 부지 공간 그리드 구축 과정을 설명하기 위한 도면.

도 5는 본 발명에 따른 부지응답특성 공간정보를 고려한 최적 지진가속도계측기 설치 위치 선정 과정을 설명하기 위한 도면.

도 6은 본 발명에 따른 시설물 중심의 대상 확장영역 후보군 및 교차검증 기반 확장영역 선정 과정을 설명하기 위한 도면.

도 7은 본 발명에 따른 시추날짜 및 수치표고 기준의 시추조사 자료의 이상치 선정과 최적화 과정을 설명하기 위한 도면.

도 8은 본 발명에 따른 층별 두께 및 표준관입시험 N값에 따른 평균값, 중앙값, 최빈값 기준의 대표 시추조사 자료 선정 과정을 설명하기 위한 도면.

도 9는 본 발명에 따른 시설영역의 공간적 중심점을 고려한 시추조사 자료 결정 과정을 설명하기 위한 도면.

도 10은 본 발명에 따른 시추주상도 및 지표피복 공간레이어의 표준화 및 공간중첩을 통한 통합 과정을 설명하기 위한 도면.

도 11은 본 발명에 따른 시추조사 자료의 층별 두께 대상의 교차검증 결과를 기준으로 한 최적 격자구조(격자크

기) 결정 과정을 설명하기 위한 도면.

도 12는 본 발명에 따른 지질도의 공간그리드 변환 과정을 설명하기 위한 도면.

도 13은 본 발명에 따른 부지복합 공간그리드 기반의 시설영역 대표 지층주상도 결정 과정을 설명하기 위한 도면.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0018] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 각 도면을 설명하면서 유사한 참조부호를 유사한 구성요소에 대해 사용하였다.
- [0019] 제1, 제2, A, B 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다. 및/또는 이라는 용어는 복수의 관련된 기재된 항목들의 조합 또는 복수의 관련된 기재된 항목들 중의 어느 항목을 포함한다.
- [0020] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다.
- [0021] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0022] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0023] 이하, 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.
- [0024] 먼저 도 1은 본 발명에 따른 건축물 영역에 대한 지진가속도계측기의 최적 설치위치 선정 방법이 구동되는 위치 선정 시스템(100)을 나타내는 블록도이다.
- [0025] 상기 위치선정 시스템(100)은 외부로부터 건축물 영역에 대한 다수의 시추조사 자료와 지표피복 자료를 수집하고 이를 자료를 분석하여 부지응답특성 공간정보를 고려한 최적 지진가속도계측기의 설치 위치를 결정하게 된다.
- [0026] 상기 위치선정 시스템(100)은 외부 인터페이스부(110), 자료 수집부(130), 자료 밀도 산출부(140), 제 1 처리부(150), 제 2 처리부(160), 위치 결정부(171), 타입 결정부(172), 장소 결정부(173), 자료 관리부(180) 및 상기 각 부 구성을 제어할 수 있는 제어부(120)를 포함하여 구성될 수 있다.
- [0027] 여기에서 상기 위치선정 시스템(100)은 통상적인 시스템 구성 요소로서, URL(Uniform Resource Locator)에 근거하여 웹페이지를 불러오고, 이를 HTML(Hyper-Text Markup Language) 코드 해석하여 모니터에 디스플레이하는 웹 브라우저(browser) 프로그램 및 컴퓨터 시스템을 전체적으로 관리, 제어하는 운영 체제(OS : Operating System) 프로그램을 포함한다.
- [0028] 상기 외부 인터페이스부(110)는 외부로부터 건축물 영역에 대한 다수의 시추조사 자료와 지표피복 자료를 수신하게 된다.
- [0029] 상기 자료 수집부(130)는 상기 외부 인터페이스부(110)를 통해 수신된 건축물 영역에 대한 다수의 시추조사 자

료와 지표피복 자료를 수집하며, 수집된 자료를 상기 자료 관리부(180)에 저장관리하게 된다.

- [0030] 상기 자료 밀도 산출부(140)는 상기 자료 수집부(130)를 통해 수집된 자료 중 시추조사 자료를 이용해 상기 건축물 영역 내 공간밀도를 산출하게 된다. 이렇게 산출된 공간밀도값을 통해 후술되는 제 1 처리부(150) 및 제 2 처리부(160)가 선택적으로 구동될 것이다.
- [0031] 상기 제 1 처리부(150)는 상기 자료 밀도 산출부(140)에서 산출된 공간밀도가 기준치 이상이면 구동되며, 상기 건축물 영역의 확장 영역에 대하여 시추조사 자료를 수집하고, 수집된 시추조사 자료를 시간, 지형, 통계 및 공간적 기준으로 하여 건축물 영역 중심의 대표 시추조사 자료를 결정하게 된다.
- [0032] 상기 제 2 처리부(160)는 상기 자료 밀도 산출부(140)에서 산출된 공간밀도가 기준치 미만이면 구동되며, 상기 건축물 영역의 시추조사 자료와 지표피복 자료를 크리깅을 통해 공간보간하여 지반정보의 공간레이어를 구성하고 이 공간레이어의 검증을 통해 통합된 격자크기를 구성하며, 통합된 격자크기를 갖는 지반 부지복합 공간그리드를 구축해 건축물 영역 중심의 대표 지층 주상도를 결정하게 된다.
- [0033] 상기 위치 결정부(171)는 상기 제 1 처리부(150)의 대표 시추조사 자료 또는 상기 제 2 처리부(160)의 대표 지층 주상도를 통해 선별된 부지주기값으로 지진가속도계측기의 설치 위치를 선정하게 된다.
- [0034] 상기 타입 결정부(172)와 상기 장소 결정부(173)는 상기 위치 결정부(171)에서 선정된 지진가속도계측기의 설치 위치를 기준으로 주변 건축물과의 관계에 따라 지진가속도계측기의 설치 타입 및 설치 장소를 결정하게 된다.
- [0035] 이제 도 2를 참조하여 본 발명에 따른 건축물 영역에 대한 지진가속도계측기의 최적 설치위치 선정 방법을 설명한다.
- [0036] 대규모 산업시설 또는 주택단지의 경우, 시공과정에서의 절토, 성토를 통해 소규모 영역 내에서도 지형(지표고) 및 구성 지층의 지역적 변동성이 심각하며 이에 따른 건축물 인접 영역 지표층의 종류 및 구성이 상이하다.
- [0037] 이에 따라 지진발생 시 심각한 피해를 야기하는 대규모 주택단지나 지자체 도심부를 대상으로 합리적인 지진가속도계측기 설치 위치 결정을 위한 우선순위 설정 방법(가이드라인)을 수립하였다.
- [0038] 특히 이러한 대규모 건축물영역에서는 부지지반의 공간적 불균질성과 지형효과(topographical effect)에 따른 부지응답특성의 급격한 지역성을 고려하여 지진가속도계측기의 최적 설치위치를 선정할 필요가 있으며, 이를 위해 대상영역을 대표하는 시추조사 자료를 선정하거나 최적 부지 공간그리드를 구축함으로써 지반정보를 결정한다.
- [0039] 뿐만 아니라 대규모 건축물영역에서는 규모, 공간형상, 용도, 구조공학적 취약성이 상이한 시설물들이 불균일하게 분포하고 있기 때문에 구조물의 3차원 공간분포 특성에 따라 대상영역을 대표하는 지반정보를 결정하고 부지응답 취약지반조건을 고려한 자유장 및 구조물 가속도계측기의 대표 설치위치를 결정한다.
- [0040] 특히 건축물 저면의 지반구조물(기초구조물: 얕은기초, 깊은기초)이 관입된 지반 상태가 상이하며, 일반적으로 기반암에 위치하고 있다. 이를 고려하여 건축물 1층 또는 지하주차장을 포함한 지하층 저면을 대상으로 3차원 공간상 입체적인 구조물 가속도계측기 설치의 적합성을 검토할 필요가 있다.
- [0041] 본 발명에 따른 건축물 영역에 대한 지진가속도계측기의 최적 설치위치 선정 방법을 전체적으로 요약하면 다음과 같다.
- [0042] 지진가속도계측기의 설치 및 운영의 경제적 제약조건으로 인해 대단위 건축물영역의 모든 건축물 마다 지진가속도계측기를 설치 운용할 수 없기 때문에 단지별로 1개 또는 2개(set)의 대표 지진가속도계측기를 설치할 필요가 있다.
- [0043] 단지영역의 기반암 심도, 부지주기 등의 부지응답특성(부지분류)을 고려한 취약영역을 선정하며, 주택단지의 지반운동을 대표할 수 있는 장소로서 부지응답 취약영역을 대상으로 한 지진가속도계측기의 보수적 위치 선정방법을 수립한다.
- [0044] 부지응답 취약영역을 결정하는 방법은 크게 두 가지이며, 먼저 대표 시추조사 자료의 결정 방법과 최적 부지 공간그리드 구축 방법을 통해 취약위치의 지반주상도를 먼저 확보한다.
- [0045] 대표 지반정보는 지층 주상도, 표준관입시험(Standard Penetration Test; SPT) N값 주상도 정보(또한 N값과 전단파속도와와의 상관관계를 통한 전단파속도 주상도 정보)이다.
- [0046] 이 때 상부 건축물 인접 영역에 자유장 지진가속도계측기가 설치될 경우 지진파의 간섭성 또는 노이즈 발생이



우려되며 이에 따라 자유장 계측에 간섭을 유발하는 건축물의 수평 공간(X, Y좌표) 영향 반경을 설정하고, 영역 내 시추조사 또는 공간그리드 대표 지반정보 선정 시에 제외한다.

- [0047] 최종적으로 대상 대단지 건축물영역 대표 지반정보의 지형, 지층, 전단파속도 주상도 정보를 결정하며 이를 통해 지표 또는 지반 조건에 따라 지진계 타입(지표형, 시추공형)을 선정한다.
- [0048] 본 발명은 도 2의 대단지 건축물영역 지진가속도계측기 최적 설치위치 선정 과정에 따라 자료 수집부(130)를 통해 대단지 건축물영역의 시추조사 자료를 수집하고, 최적 지반주상도 결정을 위한 방법론을 시추조사 자료 공간 밀도를 기준으로 선정한다. 이에 따라 다수(> 100ea/km<sup>2</sup>)의 시추조사 자료가 분포한 경우 최적 시추조사 표본자료를 선별하고, 소수(< 100ea/km<sup>2</sup>)의 시추조사 자료가 분포한 경우 최적 부지 공간그리드를 구축한다. 이후 건축물 영역 중심의 대표 주상정보를 결정한 후, 부지응답특성(부지주기) 공간정보를 분석하고 이를 통해 지진재해(부지효과에 따른 지진파 에너지 증폭 현상)의 보수적인 관점의 최적 지진가속도계측기 설치 위치를 선정한다. 이후 설치 위치에 따른 지진가속도계측기 타입 및 설치 장소를 결정한다.
- [0049] 다음으로 상기 자료 밀도 산출부(140)을 통해 이루어지는 시추조사 자료 공간밀도 기반의 최적 지반주상도(시추조사, 부지 공간그리드) 선정 방법 결정 과정에 대해 설명하면 다음과 같다.
- [0050] 대단지 주거영역, 산업시설 등과 같은 건축물영역은 건축설계, 시공 단계에서 부지특성 파악 및 설계지반정수 산정을 위한 공간 집중적인 시추조사가 필수적으로 수행된다.
- [0051] 특히, 도심지 재생사업 및 재건축을 목적으로 개발되는 대단지 주거영역 부지에는 기존의 시추조사 자료도 함께 분포한다.
- [0052] 이와 같은 다수의 시추조사 자료를 수집하고 이를 토대로 최적의 지반주상도(시추조사 표본자료, 부지 공간그리드) 선정을 위한 의사결정 방법을 제안한다.
- [0053] 대상영역 내 시추조사 자료의 기준 공간밀도(예: 단위영역당 시추조사 자료 개수가 100ea/km<sup>2</sup>)를 기준으로 일정 기준치 이상인 경우(다수의 시추조사 자료가 사용될 경우)는 대표 시추조사 자료 결정 방법을 이용하며, 반면에 기준치 미만인 경우(소수의 시추조사 자료가 사용될 경우)는 부지 공간그리드 구축 방법을 선택하여 대표 지층 주상정보를 추출한다(도 2 참조).
- [0054] 대표 시추조사 자료 결정 방법과 부지 공간그리드 구축 방법을 이원화하여 적용함으로써 다양한 지형, 지반특성의 변동성을 고려한 대단지 건축물영역에 대해 최적의 지진가속도계측기 설치 위치를 결정한다.
- [0055] 즉, 부지응답특성 평가를 위한 대표 지층 주상정보를 선정하기 위해서 사용되는 시추조사 자료의 정량적 개수와 공간적 분포 특성을 고려하여 앞서 기술한 대표 시추조사 자료 및 부지 공간그리드 구축 방법을 선별적으로 적용한다.
- [0056] 다음으로 상기 제 1 처리부(150)를 통해 이루어지는 대단지 건축물영역의 지역적 대표 시추조사 자료 선정을 통한 대표 지반 공간정보 파악 과정에 대해 설명하면 다음과 같다.
- [0057] 대규모 주택단지의 최적 지진가속도계측기 설치 위치 선정을 위해 지형 및 지반정보를 토대로 먼저 건축물 그룹의 입체적 공간분포를 고려한 대표 시추조사 자료 선정 방법을 활용한 부지응답특성을 공간모델링한다.
- [0058] 대규모 주택단지를 포함한 광역 건축물영역에서 건설공사에 수반되는 지반의 공학적인 특성을 규명하기 위해 수행되는 시추조사 자료는 예비조사, 본조사 및 보완조사 등의 단계별 순서로 진행되며, 모든 단계별 시추조사 자료를 수집한다.
- [0059] 먼저, 대단지 건축물영역을 포괄하는 대상 확장영역과 영역 내 시추조사 자료를 선정하기 위해서 확장영역 후보군별 시추조사 자료를 토대로 순차적으로 교차검증(cross-validation) 기법 기반의 오차(Root Mean Square Error; RMSE) 검증을 수행한다.
- [0060] 이를 통해 상대적으로 오차가 작은 확장영역을 선정함으로써 공간적 상관도가 높은 시추조사 자료를 대표 지반정보 선정을 위한 대상 자료로 정의한다.
- [0061] 또한 대단지 건축물 영역은 성토, 절토 등의 시공과정에서 3차원 공간상 입체적인 부지조건을 갖기 때문에, 대단지 건축물영역의 현상태의 지반 및 지형조건을 고려하기 위해서, 설계 및 시공단계에서의 시추조사 자료, 설계지층단면, 라이다(LiDAR) 측량을 통한 수치표고모델(digital elevation model; DEM) 및 수치지도 등을 수집

하고 선정된 확장영역 공간범위를 기준으로 추출함으로써 수치적 지형공간 정보와 지반조사 정보를 확보한다.

- [0062] 이 때 현재상태의 부지조건을 파악하고자 시공완료 시기의 시추조사 자료를 선별하기 위해서 시추주상도 상의 시추날짜를 최신순으로 시계열 정렬하였을 경우, 하위 10%(상대적으로 예전의 시추조사 자료)에 해당하는 자료를 시간적 이상치로 정의하고 시추조사 표본 자료에서 제외시킨다.
- [0063] 또한 현재의 정밀한 지형특성을 반영한 시추조사 자료를 선정하고자, 시추주상도 상의 지표고와 해당위치의 수치표고모델과의 오차의 표본집단 중 상위 10%인 자료를 지형적 이상치로 정의하고 대표 시추조사 선정과정에서 제외시킨다.
- [0064] 끝으로 시간적, 지형적 이상치가 제외된 시추조사 표본자료의 속성정보 중 지층(통일분류법 기반의 지층분류) 두께, 기반암심도, 표준관입시험 N값을 지반공학적 지표로 정의하며, 이를 기준으로 통계적 대푯값(평균값, 중앙값, 최빈값)을 평가한다.
- [0065] 이를 토대로 각 지반공학적 지표별로 3종류의 대푯값간의 오차를 연산하고 확률분포상 상위 10%에 해당하는 자료를 통계적 이상치로 정의하고 대표 시추조사 자료 선정과정에서 제외시킨다.
- [0066] 대규모 주택단지를 대상으로 선정된 확장영역 내의 시추조사 표본자료를 시간적, 지형적, 통계적 이상치를 제외하고 최적화하며, 3차원 공간좌표계(X, Y, Z 좌표평면)를 기준으로 공간모델링함으로써 단지 내 건축물 그룹과의 위치적 상호 상관관계를 파악한다.
- [0067] 이를 위해 대규모 주택단지의 구조물대장을 수집함으로써 건축물 그룹별 3차원 공간위치와 시추조사 자료의 지층정보 기반으로 단일 건축물별 최하층 저면부의 지층구성 및 기반암 위치, 그리고 이와 결부되는 기초구조물의 종류를 파악한다.
- [0068] 먼저, 도 3에 도시된 바와 같이 입면도상 다양한 공간형상을 갖는 단일 건축물별 평면형상(X, Y 좌표평면)의 중심점을 기준으로 원형의 영향범위를 선정하고, 각 영향범위별로 시추조사 표본자료를 군집화 한다.
- [0069] 이와 동시에 자유장에 설치되는 지진가속도계측기의 경우 시설물과의 상호작용에 의한 영향을 받지 않도록 시설물로부터 충분히 떨어진 곳에 설치해야 하며, 만약 자유장 관측소가 미설치된 경우에는 반경 2km 이내의 인접지역 내 설치된 암반 자유장 계측자료를 활용할 수 있다.
- [0070] 이에 따라 단일 건축물별로 평면형상의 중심점과 평면 비정형성을 고려하기 위해서 건축물의 중심점에 따라 전체영역을 포괄하는 원형의 영향범위를 설정하고, 건축물 중심점과 장축방향의 최장 이격거리(d)를 기준으로 몇 배수의 이격거리(예: 최대 3~5배일 경우; 3d~5d)를 영향범위로 정의한다. 이 때 영향범위는 반드시 건축물 평면영역을 포함해야 한다. 이를 통해 최대 영향 범위 내 시추조사 자료를 결정한다.
- [0071] 또한 시설물의 상호작용이 미치는 범위를 설정하기 위해 건축물 중심점과 장축방향의 최장 이격거리(d)를 기준으로 영향범위보다 작은 몇 배수의 이격거리(예: 최대 1~2배일 경우; 1d~1.5d)를 제외범위로 정의한다. 이 때 제외범위는 반드시 건축물 평면영역을 포함해야 한다.
- [0072] 최종적으로 단일 건축물과 인접한 자유장 가속도계측기 설치 위치결정을 위해 제외범위를 배제한 영향범위를 단일 건축물별 최적의 자유장 가속도 계측기 설치 가능지역(도넛의 평면형상)으로 선정하며, 이 범위 내 시추조사 자료를 표본집단 중에서 추출함으로써 대표 시추조사 자료로 결정한다.
- [0073] 선정된 대표 시추조사 자료의 속성값 중 측정된 층별 두께와 함께 표준관입시험 N값을 층별로 평균값을 연산하여 사용한다.
- [0074] 다음으로 상기 제 2 처리부(160)를 통해 이루어지는 최적 부지 공간그리드 구축 기반 건축물 그룹의 대표 지반공간정보 파악 과정에 대해 설명하면 다음과 같다.
- [0075] 부지고유의 공간그리드 구축을 위해서는 앞서 수집된 시추조사 자료와 수치표고모델을 활용하되, 시간적, 지형적, 통계적 이상치가 제거된 지역적 대표 시추조사 표본자료를 대상으로 한다.
- [0076] 공간그리드 구축을 위해 정규크리깅(ordinary kriging) 방법을 사용하며, 상대적으로 공간적 상관도가 높은 공간그리드를 구축하기 위해 다양한 격자 크기의 후보군을 선정하여 후보군에 따른 교차검증 기반의 예측 오차(RMSE)를 검증한다.
- [0077] 예측오차가 작게(공간적 상관도가 높게) 평가된 격자크기를 선정하며, 이를 통해 지형 정보(수치표고모델 기반 지표고 정보 사용), 층별 두께, 층별 평균 표준관입시험 N값을 공간보간함으로써 각 격자별 지층주상 정보를 도

출한다.

- [0078] 앞서 기술된 건축물 영역 가속도계측기 설치를 위한 대표 시추조사 자료 결정 과정과 동일하게 단일 건축물 중심의 영향범위, 제외범위를 설정하며, 공간영역 내 부지 공간그리드 정보를 추출한다.
- [0079] 이를 통해 도 4와 같이 단위 건축물마다 3차원 공간상 원통형의 공간모델링된 부지 공간그리드를 구축하며, 각 그리드의 셀별로 지층 종류, 두께, 표준관입시험 N값이 저장된다.
- [0080] 다음으로 상기 위치 결정부(171)를 통해 이루어지는 부지응답특성 공간정보를 고려한 최적 지진가속도계측기 설치 위치 선정 과정에 대해 설명하면 다음과 같다.
- [0081] 지진으로 인한 재난은 지반운동의 증폭과 관련된 이러한 부지효과의 차이로 인해 흔히 견고한 토사나 암반지역에 비해 연약한 토사 두껍게 분포한 지역을 중심으로 두드러지게 나타난다. 일반적으로 지진 피해가 발생한 대도시 지역 내 재해정도의 공간적 분포경향은 주거 및 산업의 밀집도나 구조물 지진취약도와 더불어 근본적으로 지반의 지진민감도인 부지효과와 직접 관련이 있다. 이러한 부지 효과는 지역고유의 국부적인 지질 및 지반 특성에 따라 공간적 변동성이 있으므로 지반특성정보 공간시스템 구축을 통한 부지응답 평가는 지역적 지진 방재를 위한 가장 기초적이고 중요한 사항이라고 할 수 있다.
- [0082] 부지효과를 평가하기 위한 방법으로 지반의 전단강성, 층후, 공유주기 등의 지진응답특성을 경험적인 상관관계를 통해 연산하며, 이 과정에서 부지효과 큰(지진재해 가능성이 높은), 즉, 지진대응 차원에서 보수적인 지진파계측을 고려할 수 있다. 이 경우, 대단위 건축물 영역의 보수적 관점의 지진대응을 위해서 부지효과에 따른 지진계측 가속도 측정이 필요하며 이를 통해 예비적인 수준의 지진동, 진도 평가가 가능하다.
- [0083] 이를 위한 부지응답특성(부지효과 포함)을 고려하고자 대표 시추조사 또는 부지 공간그리드를 기반으로 부지주기를 평가하고, 부지주기가 최대값인 영역을 중심으로 지진가속도계측기 설치 위치를 선정한다.
- [0084] 결정된 대표 부지 주상정보를 토대로 표준관입시험 N값은 기존 선행연구자들에 의해 제안된 전단파속도와 N값과의 상관관계식(수학식 1)을 통해 층별 전단파속도의 주상정보로 변환한다.

**수학식 1**

[0085] 
$$V_s = 65.64N^{0.407}$$

- [0086] 확보된 지층 주상정보를 대상으로 부지응답특성을 평가하기 위해 추출된 시추조사 자료 또는 부지 공간그리드별로, 공간그리드별로, 층별 두께(D), 층별 전단파속도( $V_s$ )를 토대로 부지주기(수학식 2)를 분석한다.

**수학식 2**

[0087] 
$$T_G = 4 \sum_{i=1}^n \frac{D_i}{V_{Si}}$$

- [0088] 부지주기는 지진 시 부지의 공진 주기를 나타내는 지반지진공학 특성 지표로서 각 부지의 기반암 상부 지층들의 두께와 연산된 전단파속도를 토대로 계산되며, 이러한 부지주기는 기반암 심도가 깊어질수록 커지게 되고 이로 인해 주로 부지주기 부근 지반운동 성분들이 크게 증폭될 수 있다.
- [0089] 도 5와 같이 단일 건축물별로 대표 시추조사 자료 또는 최적 부지 공간그리드가 선정된 경우, 계산된 부지주기를 토대로 부지응답에 따른 취약영역을 선정하기 위해서 부지주기기 최댓값(보수적 지진재해 대응 관점)인 지층 주상도를 결정할 필요가 있으며, 이를 위해 대표 시추조사 자료 또는 공간그리드 중 부지주기가 확률분포로부터 상위 10%인 자료를 선정한다.
- [0090] 이때 건축물 단지를 대표하는 1개 또는 2개(set)의 지진가속도계측기를 설치하기 위해서는 최적의 위치 결정이 필요하며 이를 위해 전체 대상영역 중심점을 공간적 대표성을 갖는 장소로 고려한다.

- [0091] 이에 따라 선정된 최적 지층주상도(부지주기 결과 포함)를 기준으로 비정형의 건축물 단지영역의 중심점과 최인접한 시추조사 자료 또는 부지 공간그리드를 선정한다.
- [0092] 만약 대상 건축물 단지의 중요도 또는 기관 차원의 의사결정에 따라 2개 이상이 지진가속도계측기 설치 가능하다면, 대상영역을 2개 또는 그 이상의 권역으로 분할함으로써 권역별 공간 중심점과 최인접한 지층주상도를 선정하며, 이를 대상영역의 지반운동을 대표하는 장소로 판단한다.
- [0093] 다음으로 상기 타입 결정부(172) 및 장소 결정부(173)을 통해 이루어지는 부지응답특성에 따른 지진가속도계측기 타입 및 설치 장소 결정 과정을 설명하면 다음과 같다.
- [0094] 선정된 단일(또는 2개) 지진가속도계측기 설치 위치(부지)를 기준으로 지진가속도계측기 타입과 설치심도를 결정한다.
- [0095] 선정된 설치 위치를 중심으로 최인접한 동일 부지 내에 2동 이상의 건축물이 있을 경우 부지 내에서 가장 높은 건축물 또는 피해발생 시 가장 큰 영향을 끼치는 건축물에 지진가속도계를 설치한다.
- [0096] 선정된 설치 위치를 중심으로 자유장 계측기를 설치하되, 선정된 위치가 도로포장, 옥외구조물 등으로 피복되어 설치가 어려운 경우, 최인접한 단일 건축물의 최하층 바닥에 자유장 계측기를 설치한다.
- [0097] 또한 부지응답특성이 취약한 지역으로 선정된 설치 장소가 20m 이상의 기반암심도를 갖는다면, 지표면 자유장 계측과 함께 시추공지진가속도계를 이용하여 기반암의 지진가속도를 계측한다.
- [0098] 이제 상술한 대단지 건축물영역의 지역적 대표 시추조사 자료 선정을 통한 대표 지반 공간정보 파악 과정에 대해 좀더 구체적으로 설명하면 다음과 같다.
- [0099] 기존의 빈번한 대규모 토목 및 건설 사업에 따라 국토 전반에 걸쳐 다수의 지반조사 자료의 축적이 계속되고 있으며, 다양한 목적과 시기에 따라 수행된 지반조사 자료의 통계분석 과정을 통해 지반공학적 특성 값을 도출하고 설계정수 산정이 이루어지고 있다.
- [0100] 최근 도심지를 중심으로 도시재생 차원의 대규모 재개발 사업과 함께 도심도 지하터널 등의 지하공간 개발 사업이 활발히 계획, 진행되고 있으며, 이에 따라 지반의 층상, 습윤도, 조밀도, 강성, 암반 풍화도 등의 전반적인 지반특성값 파악을 위해 시추조사가 필수적으로 수행된다.
- [0101] 토목사업 대상영역에서의 신규 시추조사를 통한 지반특성 파악은 전체 시공측면에서 경제적, 시간적 소요의 부담이 크기 때문에 기존의 시추조사 자료의 추가 확보가 필요하다.
- [0102] 이에 따라 인접영역까지 포괄하는 확장영역에서의 기존 시추조사 자료를 확충하여 활용함으로써 신뢰도 높은 지반공학적 특성값 결정을 위한 입력정보 모집단의 표본수를 추가 확보할 수 있다.
- [0103] 공학적 측면에서 관심을 갖게 되는 영역은 작게는 단일 주거 건축물 영역부터 복잡한 형상을 갖는 대단위 건축물이나 시설물 영역, 중대단위 주거 또는 시설물 단지 영역, 대규모 시설물이나 산업 생산 영역 등 면적과 대상 시설물 종류에 있어서 매우 다양하다. 사용자의 수요나 대상 목적에 따라 다를 수는 있지만 지하 지반조건의 위치에 따른 변동성이 클 수 있다 할지라도 실용적 효율성 측면에서는 주로 관심 영역에 대해 대표적인 단일 지반조건을 필요로 하거나 제한적이 수량의 지반 조건을 토대로 의사결정이나 설계를 진행해 오고 있다. 이러한 대표 지반조건 도출 및 선정은 시설물 영역에 대한 설계나 성능평가 목적으로 뿐만 아니라 시설물이 위치하지 않은 택지에 대해서도 사전 분석 목적으로 적용될 수 있다. 특히, 전통적인 지반공학 관점의 설계나 성능평가 뿐만 아니라 지진공학 관점의 대표 지반 조건 도출 및 이를 이용한 동적 응답 해석의 대상 지반조건으로 직접 활용될 수 있다.
- [0104] 시공이전의 원지반 또는 시공 중 공정 확인 목적으로 수행된 시추조사는 성토, 절토, 지반개량 등의 토공사를 통해 조성된 시공완료된 현상태 지형 및 지반조건을 파악하는데 적합하지 않기 때문에 현재의 시공단면에 최적화된 시추조사 주상도를 선택할 필요가 있다.
- [0105] 동일 영역 내의 시추조사 자료도 지반공학적 지역특이성에 따라 넓은 범위의 지반특성값의 변동성을 갖으며, 합리적인 지반설계정수 산정을 위해서는 먼저 통계적 경향성을 벗어나는 시추조사 자료를 이상치로 정의하고 분석 대상 시추조사 자료에서 제외한다.
- [0106] 결과적으로 표본 시추조사 자료 중 지반특성값의 통계적 대표성을 갖는 단일 시추조사 자료(주상도)를 선정할 필요가 있다.

- [0107] 일정한 광역 대상영역의 지반조사 자료를 수집함에 있어 도로, 철도 및 대단지 건물 영역을 중심으로 토목공사가 수행됨에 따라 시추조사 자료의 확보가 가능하며, 이러한 자료는 비정형화된 대상영역 내에서 대부분 선형 또는 균집화된 형태의 불균일한 공간분포의 특성을 갖는다.
- [0108] 이에 따라 대상영역 내 시추조사 자료 균집의 공간적 중심점을 고려함으로써 대표 시추조사 자료를 선정할 필요가 있다.
- [0109] 도 2와 같이 대상 구조물 부지의 체계적 지반설계정수 산정을 위해서는 현상태 지반조건을 고려한 최신의 시추조사 자료를 선별한 후, 통계적으로 대푯값을 갖는 표본 시추조사 자료를 선정하고, 끝으로 공간 경향성 분석을 통해 대상 부지의 대표 시추조사 자료(주상도)를 선정하는 방법을 수립하였다.
- [0110] 다음으로 시설물 중심의 대상 확장영역 및 시추조사 자료 선정 과정에 대해 구체적으로 설명하면 다음과 같다.
- [0111] 대상 시설 영역일 수 있는 관심영역과 그 관심영역을 포괄하는 더 넓은 범위인 확장영역의 기존 시추조사 자료를 수집함에 있어 지층 및 지반의 공간적 연속성을 고려하여 대상시설물 부지의 지반공학적 특성값을 반영할 수 있도록 최적의 인접영역(확장영역)을 설정하여 영역 내 시추조사 자료를 수집하여야 한다.
- [0112] 관심영역의 형상은 비정형의 다각형일 수 있는데 이러한 형상을 등가 면적의 원이나 타원으로 환산할 수 있으며, 그에 따라 확장영역도 원형 또는 타원형으로 고려될 수 있다. 뿐만 아니라 보다 직관적인 측면에서 관심영역과 확장영역을 사각형 형상으로도 이상화하여 적용할 수 있다.
- [0113] 도 6과 같이 시추조사 자료 수집을 위해 시설영역의 공간적 중심점을 기준으로 원형의 영향반경을 갖는 확장영역을 정의하고 시설영역을 포함하도록 한다.
- [0114] 이 때 최적의 영향반경을 결정하기 위해서 영향반경을 일정한 간격으로 점차적으로 증가시키면서 다수의 확장영역 후보군을 설정하며, 각각의 확장영역별로 시추조사 자료를 수집한다. 확장영역 후보군은 최소 7개 이상의 영역을 선정하며, 후보 간 간격은 대상 시설영역 면적 제곱근(루트값)의 0.1배를 기준으로 한다.
- [0115] 대상영역 내 시추조사 자료를 토대로 일정한 경향성을 갖는 지반공학적 특성값을 결정하고 위해서는 동일 영역 내 시추조사 자료간의 통계적 상관도 외에 공간적 상관도가 높아야한다. 즉 공간적으로 인접한 자료 간 유사한 속성을 가져야 한다.
- [0116] 이에 따라 각 확장영역별 시추조사 자료의 공간적 상관성 및 민감도를 분석하고자 지구통계학 기법 중 교차검증(cross-validation) 기법을 활용하여 확장영역별로 잔차를 검증함으로써 공간적 상관도를 평가한다.
- [0117] 교차검증은 시추조사 자료 중 어느 하나의 자료를 제외하고 지반공학적 특성값(층별 두께, 표준관입시험 N값)을 공간보간함으로써 예측된 특성값과 측정된 특성값 간의 잔차를 계산한다. 모든 시추조사 자료를 대상으로 순차적으로 잔차를 도출한다.
- [0118] 이 때 각 확장영역별 교차검증 결과에 따른 상관도를 평가하는 지표로서 RMSE(root mean squared errors; 평균 제곱근오차)를 계산하며, RMSE가 가장 작게 평가되었을 경우, 높은 공간적 상관도를 갖는다.
- [0119] RMSE가 가장 작은 확장영역을 대상 시설영역으로 결정하며, 영역 내 시추조사 자료를 대상 시추조사 자료로 선정한다.
- [0120] 다음으로 현상태 지반 및 지형조건을 고려한 시추조사 자료 선별 과정을 구체적으로 설명하면 다음과 같다.
- [0121] 선정된 대상 확장영역 내 시추조사 자료를 바탕으로 현상태 지반 및 지형조건을 고려한 통계적 대표성을 갖는 공간영역 중심의 대표 시추조사 자료를 선별한다.
- [0122] 기존 시추조사 자료 중 현재 조성된 시공완료 상태의 지반조건이 반영된 시추조사를 선별하기 위해서는 시추주상도 상의 시추날짜와 시추표고 정보를 기준으로 현재 시점과 지표고를 상호 비교함으로써 최신의, 그리고 현재 지형조건과 유사한 시추조사 자료를 선별한다.
- [0123] 도심지를 중심으로 굴착, 성토 등의 토공사가 빈번히 수행됨에 따라 시공이전 원지반 상태(자연상태)의 지표고, 경사도 등의 지형조건이 시간에 따른 변동성을 갖고 있다.
- [0124] 이와 함께 지반개량 및 지반치환 등의 시공에 따라 기반암 상부 토사 역시 시간에 따른 변동성을 갖고 있기 때문에 도 7과 같이 시추주상도를 토대로 시추날짜와 지표고 조건을 토대로 시추조사 자료 모집단을 정렬하여 일정한 기준 부합하지 않는 자료를 표본집단 선정에서 제외한다.

- [0125] 대상 시추조사 자료 모집단의 시추날짜를 최신순으로 시계열 정렬하였을 경우, 하위 10%에 해당하는 자료를 이상치로 정의하고 시추조사 표본 자료에서 제외시킨다.
- [0126] 시계열에 따라 10%의 이상치가 제외되어 최적화된 시추조사 표본 자료를 대상으로 시추표고와 현재의 정밀한 지형특성(지표고 포함)을 반영한 수치표고모델(Digital Elevation Model; DEM)을 기준으로 각 시추조사 지점마다의 지표고 오차를 상호 비교한다.
- [0127] 수치표고모델은 불규칙한 지형 기록을 3차원 좌표 형태로 구축하며 시추조사 자료는 3차원 좌표공간상 2차원 주상도 형태의 공간데이터로 구축된다.
- [0128] 수치표고모델은 일정한 격자(Cell)로 구성되며, 대상영역의 모든 시추조사 지점을 기준으로 수치표고모델의 격자 지표고와 시추표고 간의 오차를 비교하여 오차의 표본집단이 상위 10%에 해당하는 자료를 이상치로 정의하고 대표 지반조사 자료 결정에서 제외시킨다.
- [0129] 시추날짜와 시추표고에 따른 이상치를 제거함으로써 현상태의 시공완료 지반조건을 고려한 대표 시추조사 자료 결정을 위한 표본집단으로 설정한다.
- [0130] 다음으로 지반공학 특성값의 통계적 경향성을 고려한 대표 시추조사 자료 결정 과정을 구체적으로 설명하면 다음과 같다.
- [0131] 설계지반정수 산정을 위한 시추주상도 기반의 대표 지반공학 특성값은 지층 종류(매립토, 퇴적토, 풍화잔류토, 풍화암) 및 두께와 표준관입시험(Standard Penetration Test; SPT)의 N값이 있다.
- [0132] 시추주상도 상 일반적으로 정의되는 대표 지층 종류에 따라 매립토(fill), 퇴적토(deposited soil), 풍화잔류토(weathered residual soil), 풍화암(weathered rock), 그리고 연암 또는 그 이상 경도의 암반을 포함하는 기반암(bed rock)의 총 5 종류로 일반화하여 구분할 수 있다. 그렇다 할지라도 매립토, 퇴적토, 풍화잔류토 등은 일반적인 현장 시추조사 과정이나 실내 시험과 분석에서 통일분류법(Unified Soil Classification System, USCS), 지질층서 분류 등에 따라 세분화하여 표현되거나 제시될 수 있으며, 풍화암이나 기반암은 암반(암석) 종류나 색상, 파쇄 정도 등에 따라 세분화 될 수 있다. 또한, 기반암은 그 경도에 따라 연암, 보통암, 경암, 극경암 등으로 구분하여 제시될 수 있다. 이러한 세분화된 지층 구성들은 일반화된 5 종류 지층들의 세분화된 조건으로 반영하여 적용 기법의 대상 지층들의 수만 확대하는 관점에서 동일하게 고려할 수 있다.
- [0133] 대체적으로 지반은 지질학적 형성 과정에 따라 각 지층이 깊이에 따라 특정 순서로 분포하게 되는데, 하부에서부터 기반암, 풍화암, 풍화잔류토, 퇴적토 그리고 매립토의 순서가 일반적이다. 기반암의 풍화 작용에 의해 풍화암과 풍화잔류토가 발달하게 되고, 퇴적토의 경우 외부 토사의 유입 퇴적작용 그리고 매립토의 경우 인의적인 토목시공에 의해 형성된다.
- [0134] 이러한 각 지층의 생성 및 발달 과정은 지역적 특이성을 갖고 있으며 동일 영역 내에서도 공간적 변동성을 갖는다.
- [0135] 또한 특정 지층의 유무 또는 지층별 두께는 지반 강성을 판단하는데 지배적인 요소이며, 준설 매립 등의 토공사에서 표준 시공단면을 설정함으로써 설계 지반정수 산정과 내진설계 해석의 입력변수 등의 중요 변수로 이용된다.
- [0136] 대상영역 내 다수의 시추조사 자료 표본집단의 기반암 상부 층상 종류에 따라 다양한 두께분포를 갖으며 지반공학 특성값의 통계적 경향성을 대표하는 설계지반정수 산정을 위해 대표 지층 주상도를 갖는 단일 시추조사 자료를 선정한다.
- [0137] 이를 위해 도 8과 같이 먼저 기반암 상부의 4종류의 지층(매립토, 퇴적토, 풍화잔류토, 풍화암)을 대상으로 각 두께에 따른 확률분포 함수를 도출한다.
- [0138] 각 층별 두께의 확률분포 함수를 바탕으로 신뢰도 수준 95% 이상의 신뢰구간을 갖는 표본 집단에 대한 평균값, 중앙값, 최빈값을 계산하며, 이를 층별 대표단면 두께 결정을 위한 지표로 정의한다.
- [0139] 각 4종류의 지층에 따라 3종류(평균값, 중앙값, 최빈값)의 두께 결정 지표를 기준으로 대상 시추조사 자료별로 측정된 지층 두께와 상호 비교함으로써, 시추조사 자료별로, 또한 4 종류의 지층에 따른 3종류의 두께 결정 지표와의 비교 오차를 계산한다.
- [0140] 이에 따라 3 종류의 두께 결정 지표와의 비교 오차의 확률분포상 각 지표별로 하위 10% 이내에 해당하는 지층으

로 구성된 시추조사 자료를 선정한다. 오차의 확률분포상 하위 10% 이내의 시추조사 자료는 시추조사 표본자료의 두께에 대한 경향성을 대표하는 것으로 간주한다. 즉, 결정된 시추조사 표본자료의 주상도를 표준 지층 단면도로 정의한다.

- [0141] 결과적으로 3 종류의 두께 결정 지표를 기준으로 각각 층별 두께의 대표성을 갖는 하위 10% 이내의 시추조사 표본자료를 선정하기 때문에 각 지표별로 선정된 시추조사 자료 표본집단의 일부 자료는 중복될 수 있다.
- [0142] 또한 표준관입시험 N값에 대해서도 앞선 층별 두께의 대표성을 갖는 표본 집단을 선정한 절차와 동일하게 적용하되, 표준관입시험 절차상 지표면을 기준으로 심도방향으로 1.0m 또는 1.5m 간격으로 시험이 적용됨에 따라 층별 대표 N값을 선행적으로 결정하여야 한다.
- [0143] 표준관입시험은 흙의 연경, 상대밀도 등을 알기 위한 N값을 측정하는 관입시험 방법으로 기존 경험 자료가 많고 시험이 간단하여 보편적으로 사용되고 있다.
- [0144] 이에 층별로 측정된 단일 또는 다수의 표준관입시험 N값의 평균값을 층별 대표 N값으로 간주하여 정의한다.
- [0145] 층별 대표 N값의 확률분포 함수 상 95% 이상의 신뢰구간을 갖는 표본집단에 대한 평균값, 중앙값, 최빈값 계산하며, 위 결정 지표를 토대로 시추조사 자료별로 층별 대표 N값에 따른 상호 비교 오차를 계산한다.
- [0146] 이에 따라 3종류의 N값 결정 지표에 따른 오차의 확률분포상 하위 10% 이내에 해당하는 층별 대표 N값을 갖는 시추조사 자료를 대표 시추조사 표본자료로 선정한다.
- [0147] 결과적으로 층별 두께, 표준관입시험 N값에 따른 3 종류 지표 기준의 대표 시추조사 표본자료 집단을 선정한다.
- [0148] 층별 두께, 표준관입시험 N값 외에 기타 지반특성값 변수를 추가 고려할 경우, 앞서 설명한 통계적 지표 기준의 대표 시추조사 자료 선정 방법을 기반으로 비교 오차 계산을 통해 시추조사 표본자료로 선정한다.
- [0149] 다음으로 대상 시설영역의 공간적 중심점을 고려한 대표 시추조사 자료 결정 과정을 도 9를 참조하여 구체적으로 설명하면 다음과 같다.
- [0150] 지반공학 특성값의 통계적 경향성을 고려한 대표 시추조사 표본자료 집단을 바탕으로 공간적 중심점을 고려한 대표 시추조사 자료를 결정한다.
- [0151] 대상 시설물의 고전적인 관점의 정적설계 뿐만 아니라 동적 해석이 수반될 수 있는 내진 설계나 내진 성능평가를 위해서도 대상영역 내 지층 주상도, 표준관입시험 N값 등의 대표적 지반특성값을 입력데이터로 사용하며, 이를 위해 대표 시추조사 자료 선정이 필수적이다.
- [0152] 이와 같은 목적에 따라 통계적 대표성을 갖는 시추조사 표본자료를 토대로 2차원 공간분포(X, Y 좌표 기준)를 구현하며, 이를 기준으로 대상영역 또는 대상구조물의 공간 중심점과 최근접한 시추조사 자료를 선정한다.
- [0153] 공간적 중심점과의 최근접한 시추조사 자료는 대상 영역 내 시추조사 자료 중에서 현상태 지반 및 지형조건이 고려되며, 지반공학 특성값의 통계적 대표성을 갖는 대표 시추조사로 판단하여 지진계측시 설치 또는 내진설계시의 입력 지반조건으로 사용하도록 한다.
- [0154] 이제 상술한 최적 부지 공간그리드 구축 기반 건축물 그룹의 대표 지반 공간정보 파악 과정에 대해 좀더 구체적으로 설명하면 다음과 같다.
- [0155] 일반적으로 구조물 건설을 목적으로 지반조사를 시행하는 경우, 시추조사가 널리 이용된다. 시추조사는 채취된 시료를 확인함으로써 확실하고 구체적인 지반정보를 제공하지만 제한된 지점의 지반정보만 제공하기 때문에 전체 대상 부지의 층상 분포를 파악하는 데는 어려움이 있다.
- [0156] 이에 따라 2차원 또는 3차원 공간좌표 상 연속적인 부지특성을 파악하기 위해서는 시추조사 자료를 기초한 지구통계학적 최적 부지 공간그리드 구축이 필수적이다.
- [0157] 특히, 시설영역의 합리적인 부지응답특성 파악을 위해서는 시추조사 자료로 대표되는 지반 자료와 함께 수치지도, 수치표고모델, 지질도, 토지피복도, 위성영상 등의 다양한 지표피복 자료를 동일 공간좌표계를 기준으로 중첩함으로써 통합 부지정보로 구축 활용한다.
- [0158] 시추조사 자료의 경우 2차원 공간좌표상 지점형태의 형상으로 표현되며, 전체 대상영역의 연속적인 부지정보를 파악하기 위해서는 공간보간 기법 기반의 지반정보 공간레이어의 구성이 필요하다.
- [0159] 공간보간을 통해 영역화된 시추조사 자료 역시 일정한 공간격자 크기의 수치모델링이 필요하며, 최적의 격자구

조(단위 격자크기)를 결정하기 위해 교차검증 기반의 정밀도 오차 검증을 수행한다.

- [0160] 시추조사 자료 기준의 공간그리드를 기반으로 지표피복 공간레이어 역시 동일한 격자크기를 갖는 공간그리드로 변환, 구축한다.
- [0161] 지표피복 공간레이어의 경우, 수치표고모델과 같이 Cell 단위의 공간격자 형태나 수치지도, 지질도와 같이 비정형 폴리곤(다각형) 형태로 구성되며, 대상영역의 지반공학적 특성값의 정량적 분포를 파악하기 위해서는 격자 형태의 공간레이어 구성이 필요하다.
- [0162] 비정형 폴리곤 형태의 지표피복 공간레이어는 지구통계학 기법을 통해 격자 형태의 공간레이어로 변환하거나, 투영하도록 한다.
- [0163] 이에 따라 3차원 공간상 지반정보 공간그리드와 지표피복 공간그리드와의 공간중첩을 통한 복합부지 공간그리드를 구축한다.
- [0164] 지반정보 공간그리드의 경우 공간보간 과정에서 시설영역의 일정 격자마다 지반공학적 특성값(층별 두께, 표준관입시험 N값 등)의 통계적 대푯값(평균값, 최솟값, 최댓값)을 결정하며, 내진설계 및 내진해석 시에 공학적 판단에 따라 공간그리드별 대푯값을 취사선택한다.
- [0165] 최종적으로 일정 공간그리드의 격자별로 복합적 지표피복 정보와 지반공학적 특성값 정보를 확보함으로써 시설영역의 지진가속도계측기의 최적 위치 선정 및 내진해석 시의 대상영역의 부지응답특성의 정량적 공간분포 특성을 파악할 수 있다.
- [0166] 이에 따라 도 2와 같이 먼저 시추조사를 포함한 지표피복 공간레이어를 통합하며, 지구통계학적 신뢰도 검증 기법을 통해 최적 격자구조를 구성한다. 이후 동일 격자구조를 토대로 시추조사와 각 지표피복 정보를 공간그리드 정보로 구축하며, 표준관입시험 N값 기반의 지반의 강성에 따른 대표 지층주상도를 결정한다.
- [0167] 다음으로 지반 및 지표피복 공간레이어의 통합 과정을 구체적으로 설명하면 다음과 같다.
- [0168] 대상영역 내에서 동일 공간좌표계를 공유하는 시추조사 자료와 수치지도, 수치지표고모델(digital elevation model; DEM), 지질도, 토지피복도, 위성영상 등의 다양한 지표피복 자료를 수집한다.
- [0169] 시추조사 자료는 명확하고 확실한 지반정보를 제공하지만 좌표공간상 지점마다 수행되기 때문에 현장 전체의 지반특성 파악이 어렵다. 이를 극복하고자 지구통계학적 방법인 크리깅(kriging)을 이용하여 층별 두께에 따른 공간보간을 수행함으로써 지반정보의 공간레이어를 구성한다.
- [0170] 크리깅(Kriging)에서 한 미지점에 대한 기존 자료점의 가중치는 기존 자료점의 분산 분포로부터 계산되는데 이때 사용되는 값은 예측하려는 지점의 기존 자료점에 대한 분산의 절대적인 크기가 아니고 기존 자료점으로부터의 예측하려는 지점사이의 분산의 상대적인 변화량과 분산의 최대값이다. 또한, 크리깅(kriging)에서는 기존 자료점들이 서로 다른 개개의 분산 분포를 가지지 않고 예측하고자 하는 한 영역 내의 기존 자료점들은 모두 같은 분산 분포를 가지게 된다. 한 영역 내에서 기존 자료점들의 분산 분포는 하나의 함수 형태로 나타낼 수 있으며 이를 분산 함수라 한다. 다시 말해, 각 기존 자료점은 불확실성(혹은 신뢰도)와 관련되는 각각의 분산 함수를 가지며 분산 함수는 예측 시 기존 자료점으로부터 거리에 따른 분산의 변화량을 결정하고 가중치를 계산하는데 사용된다. 크리깅(Kriging)에서는 이러한 분산 함수를 베리오그램(variogram)이라 한다. 베리오그램의 형태는 경험적으로 결정되어 있으며 linear, spherical, exponential, Gaussian 등이 제시되어 있다. 각각의 베리오그램 곡선은 기지점에서 최소값을 가지며 기지점으로부터 멀어질수록 증가하며 또한 일정거리 이상 떨어진 후로는 항상 최대값을 가지게 된다. 즉, 기지점으로부터 일정거리 이상 떨어진 미지점들은 기지점들의 영향을 받지 않게 된다. 기지점으로부터 영향을 받는 거리를 유효거리( $\alpha$ ) 혹은 영향범위라 한다. 결정된 베리오그램 모델링을 통해 미지 영역의 자료들을 보간하는 크리깅에는 여러 방법들이 있으며, 정규 크리깅(ordinary kriging)이 보편적으로 활용된다. 정규 크리깅이란 모집단의 평균은 사전에 알 수 없고 일정하다는 전체하에 공간상 위치와 해당 변수의 관계를 결정하는 베리오그램을 통해 미지점의 해당 값을 추정하는 방법으로서 최적의 선형 불편견 추정자(best linear unbiased estimator)로 알려져 있다. 정규 크리깅을 적용하여 공간 지층 분포를 구축하였으며

일반적인 정규 크리깅은 다음의 수학적 식 3 및 4와 같다. 여기서,  $\lambda_{\alpha}^{(OK)}, \lambda_{\beta}^{(OK)}$  는 가중치이며,  $\mu(u)$  는 라그랑지(Lagrange) 계수이다.



수학식 3

$$Z^*_{OK}(u) = \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha}^{(OK)}(u) Z(u_{\alpha})$$

[0171]

수학식 4

$$\left[ \begin{array}{l} \sum_{\beta=1}^n \lambda_{\beta}^{(OK)}(u) C(u_{\beta} - u_{\alpha}) + \mu(u) = C(u - u_{\alpha}), \alpha = 1, \dots, n \\ \sum_{\beta=1}^n \lambda_{\beta}^{(OK)}(u) = 1 \end{array} \right]$$

[0172]

[0173] 지표피복 자료는 정밀도에 따라 다양한 축척 및 영역의 범위를 갖고 있으며, 대상영역의 크기에 따라 수집 가능한 자료별 정밀도는 상이하다.

[0174] 예컨대, 지질도의 경우 정밀도 수준에 따라 대축척부터 소축척의 지질도를 1:50,000, 1:250,000, 1:500,000의 순서로 확보 가능하지만, 일부 영역에 대해서는 1:50,000의 고정밀 지질도는 조사되지 않는다. 또한 폴리곤(다각형) 형태의 지질학적 경계와 선형의 단층선구조로 구성된다.

[0175] 수치표고모델은 지표고 정보가 일정 크기의 격자에 저장되며, 격자구조 방식, 높이가 같은 지점을 연속적으로 연결하여 만든 등고선에 의한 방식, 단층에 의한 프로파일 방식, 그리고 불규칙한 삼각형에 의한 TIN(triangulated irregular network; 불규칙 삼각망) 방식 등이 있다.

[0176] 토지피복도는 인공위성이 촬영한 영상을 이용하여 지표면의 상태를 표현한 지도로서 숲, 초지, 콘크리트 포장과 같은 지표면의 물리적 상황을 폴리곤 형태로 분류한다.

[0177] 대상영역의 수집 가능한 고정밀 지표피복 자료를 확보하며, 대상영역의 면적 및 형상에 따라 연속적인 지표피복 자료를 추출하여 사용한다.

[0178] 이 때 시추조사 자료의 지표고 정보는 시추시기와 현재(시공완료 이후)의 지형조건을 반영하지 못하기 때문에 지표피복 자료 중 수치표고모델 또는 수치지도의 표고 정보를 대체하여 사용한다. 즉, 시추조사 자료와 동일 지점에서의 지표피복 기반 표고정보를 기준으로 시추조사 자료의 상부 지층부터 심도방향으로 두께정보 중첩함으로써 시추조사 자료를 표준화한다.

[0179] 최종적으로 도 10과 같이 3차원 공간에서 지표면으로부터 심도방향으로 주상도 형태의 시추조사 자료와 지표면에 중첩된 형태의 다중 공간레이어로서 지표피복 자료를 통합한다.

[0180] 다음으로 부지 공간그리드의 최적 격자구조 구성 과정을 구체적으로 설명하면 다음과 같다.

[0181] 시추조사 자료를 기준으로 공간보간 기법 중 가장 범용적으로 활용되는 크리깅을 적용하며, 그 결과 시추조사 자료 기반의 지반공학특성값의 연속적인 2차원 공간분포를 구축한다.

[0182] 크리깅 기법 중 크리깅 추정식이 편향되지 않는 조건이 추가되어 높은 신뢰도의 공간보간이 가능하며, 지반공학분야에서 널리 사용되는 정규 크리깅을 사용한다.

[0183] 기존 시추조사 자료의 불확실성과 관련된 분산 함수를 가지며 분산 함수는 예측 시 기존 자료로부터 거리에 따른 분산의 변화량을 결정하고 가중치를 계산하는데 사용되며, 크리깅에서는 이러한 분산 함수를 베리오그램으로 정의한다.

[0184] 시추조사 자료의 다양한 속성정보 중 공간좌표(X, Y 좌표) 기준의 대표층(매립토, 퇴적토, 풍화잔류토, 풍화암)의 두께 정보를 대상으로 정규크리깅을 적용하여 연산하며, 대상영역을 기준으로 4개의 동일한 공간보간 영역으로 정의한다.

[0185] 4 종류의 대표 지층은 지반공학 분야에서 보편적으로 구분되어 활용되며, 층별 두께에 따라 지점별 지반공학적

강성 및 액상화 재해 등의 지반동적 특성이 결정된다. 그렇다 할지라도 매립토, 퇴적토, 풍화잔류토 등은 일반적인 현장 시추조사 과정이나 실내 시험과 분석에서 통일분류법(Unified Soil Classification System, USCS), 지질층서 분류 등에 따라 세분화하여 표현되거나 제시될 수 있으며, 풍화암이나 기반암은 암반(암석) 종류나 색상, 파쇄 정도 등에 따라 세분화 될 수 있다. 또한, 기반암은 그 정도에 따라 연암, 보통암, 경암, 극경암 등으로 구분하여 제시될 수 있다. 이러한 세분화된 지층 구성들은 일반화된 5 종류 지층들의 세분화된 조건으로 반영하여 적용 기법의 대상 지층들의 수만 확대하는 관점에서 동일하게 고려할 수 있다.

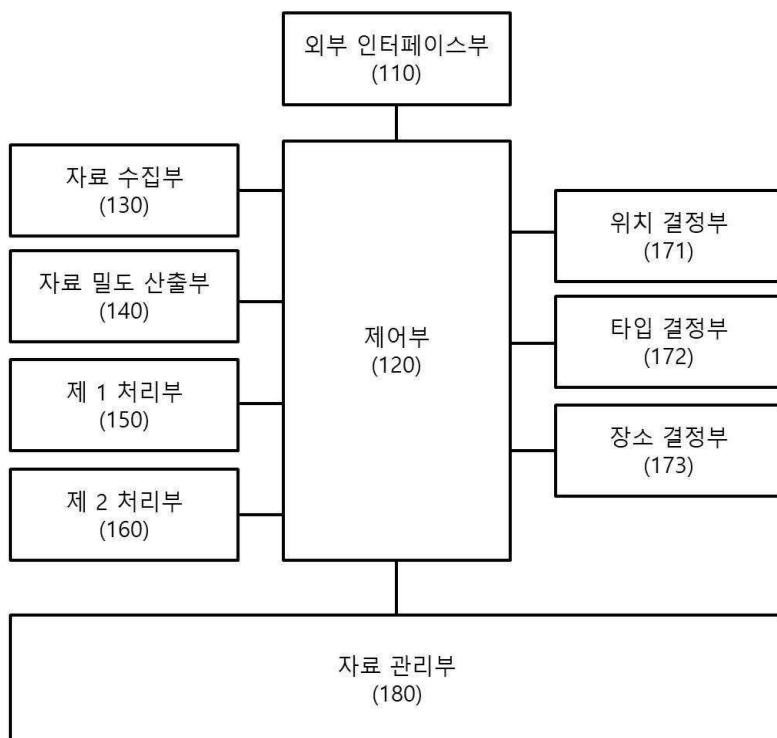
- [0186] 이 때 공간보간에 따른 결과는 격자구조의 수치모델로 표출되며, 최적의 격자 크기를 결정하기 위해 다양한 격자 크기 후보군을 대상으로 교차검증(cross validation) 기반의 오차검증을 수행한다.
- [0187] 도 11과 같이 격자크기를 달리하여 공간보간 예측을 수행하며, 특정 격자크기에 따른 보간 예측결과의 정밀도(혹은 신뢰도)를 확인하기 위해서 교차검증을 수행한다. 격자 크기의 후보군은 최소 7개 이상으로 하며 5m, 10m, 20m, 30m, 50m, 70m, 100m의 격자 크기에 따른 후보군을 대상으로 교차검증을 수행한다.
- [0188] 교차검증 방법은 시추조사 자료 중 어느 하나의 자료를 제외하고 지반공학적 특성값(층별 두께, 표준관입시험 N값)을 공간보간함으로써 예측된 특성값과 측정된 특성값 간의 잔차를 계산한다. 모든 시추조사 자료를 대상으로 순차적으로 잔차를 도출한다.
- [0189] 이 때 각 격자크기별 연산 조건을 바탕으로 교차검증 결과에 따른 상관도를 평가하는 지표로서 RMSE(root mean squared errors; 평균제곱근오차)를 계산하며, RMSE가 가장 작게 평가되었을 경우, 높은 공간적 상관도를 갖는다.
- [0190] RMSE가 가장 작은 격자크기(혹은 격자구성)를 적용한 공간보간 조건을 최적의 격자크기로 결정하며, 그 결과 일정 대상영역내 동일한 크기, 공간좌표를 갖는 격자구조로 선정하여 이를 기준으로 다중의 지표피복 공간레이어를 동일한 격자 크기를 갖는 격자구조로 변환한다.
- [0191] 또한 결정된 격자구조를 토대로 층별 두께 정보가 각 격자마다 저장됨으로써 지반 공간그리드를 구축한다.
- [0192] 다음으로 부지복합 공간그리드 구축 과정을 구체적으로 구체적으로 설명하면 다음과 같다.
- [0193] 비정형 폴리곤 형태의 지표피복 공간레이어 중 수치지도와 같이 지표고 또는 경사 정보를 저장하는 폴리곤 또는 선형의 자료는 TIN(triangulated irregular network; 불규칙 삼각망)로 변환하며, 이를 다시 격자형태의 수치표고모델로 변환하여 지표고 공간그리드로 사용한다.
- [0194] 지층 공간자료 재생성을 위해서는 지표고 공간그리드를 기준으로 앞서 구축된 지반 공간그리드의 층별 두께 격자정보를 심도방향으로 중첩함으로써 상대적 층별 경계의 공간그리드를 결정한다.
- [0195] 또한 표준관입시험 N값에 대해서도 결정된 최적 격자구조를 기준으로 공간보간을 통해 단위 격자별, 층별 N값을 저장한다.
- [0196] 표준관입시험 절차상 지표면을 기준으로 심도방향으로 1m 또는 1.5m 간격으로 시험이 적용됨에 따라 층별 대표 N값을 선행적으로 결정하여야 한다.
- [0197] 표준관입시험은 흙의 연경, 상대밀도 등을 알기 위한 N값을 측정하는 관입시험 방법으로 기존 경험 자료가 많고 시험이 간단하여 보편적으로 사용되고 있다.
- [0198] 이에 층별로 측정된 단일 또는 다수의 표준관입시험 N값의 평균값을 층별 대표 N값으로 간주하여 정의한다.
- [0199] 결과적으로 층별 경계, 표준관입시험 N값에 따른 지반 공간그리드를 결정한다.
- [0200] 또한 지질도 및 토지피복도는 공간레이어는 개별 폴리곤 또는 선형의 공간객체에 저장되며, 특정 영역 내 지질 정보, 단층정보 또는 토지피복 정보의 정량적 공간분포를 파악하기 위해 격자구조로 변환한다.
- [0201] 도 12와 같이 변환방법은 앞서 결정된 부지 공간그리드의 최적 격자구조를 기준으로 동일영역의 지표피복 공간레이어(지질도, 토지피복도 등)를 공간중첩하여 투영변환함으로써, 각 격자마다 투영된 지질, 단층, 토지피복 정보를 저장한다.
- [0202] 예컨대, 지질도의 경우 지질 경계 폴리곤을 중심으로 폐합되어 분포하는 공간그리드 격자는 해당 지질경계 속성(예: 퇴적암류)으로 저장하도록 하며, 단층 선구조와 같은 선형 형태의 공간레이어는 격자구조와의 교차점과 최인접한 공간그리드를 단층 선구조 속성으로 저장하도록 한다.

- [0203] 토지피복도의 경우 지질도의 지질 경계 폴리곤과 동일한 방법으로 토지피복 종류 폴리곤 내에 포함된 공간그리드를 해당 토지피복 속성으로 저장하도록 한다.
- [0204] 최종적으로 지표고, 지층 경계의 심도(혹은 층별 두께), 층별 표준관입시험 N값, 지표면상 지질, 단층 선구조, 토지피복 정보가 포함된 부지복합 공간그리드를 구축한다.
- [0205] 다음으로 공간그리드 기반 부지응답특성 공간구역화를 위한 대표 지층주상도 결정 과정을 도 13을 참조하여 설명하면 다음과 같다.
- [0206] 시설영역의 내진해석 및 내진설계 또는 최적의 지진가속도계측기 설치 위치 선정을 위한 대표 지층주상도를 결정하기 위해서 앞서 구축한 부지복합 공간그리드 기반의 지반공학적 특성값의 대푯값을 결정한다.
- [0207] 이를 위해 대상 시설물이 점유하는 공간그리드의 격자를 추출하고, 해당 격자별로 저장된 층별 두께와 표준관입시험 N값의 평균값, 최솟값, 최댓값의 통계적 대푯값을 연산한다.
- [0208] 일반적으로 보수적인 내진해석 및 설계를 위해서는 상대적으로 지층두께를 두껍게, 그리고 층별 표준관입시험 N값은 작게 평가함으로써 이에 따른 부지효과의 증대를 유도하게 되며, 이에 따라 시설물 영역에서의 층별 두께의 최댓값 연산을 통해 결정된 층별 두께 및 N값을 지층주상도로 사용한다.
- [0209] 다만 실무적 목적에 따라 층별 두께 및 표준관입시험 N값의 대푯값을 취사선택하여 해석에 활용할 수 있도록 한다.
- [0210] 또한 다중 지표피복 공간그리드 정보 역시 시설영역에 따른 대표 특성값 결정을 위해 최빈값을 연산함으로써 대표 지질, 토지피복 정보를 결정한다.
- [0211] 본 발명은 도면에 도시된 일부 실시 예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 등록 청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

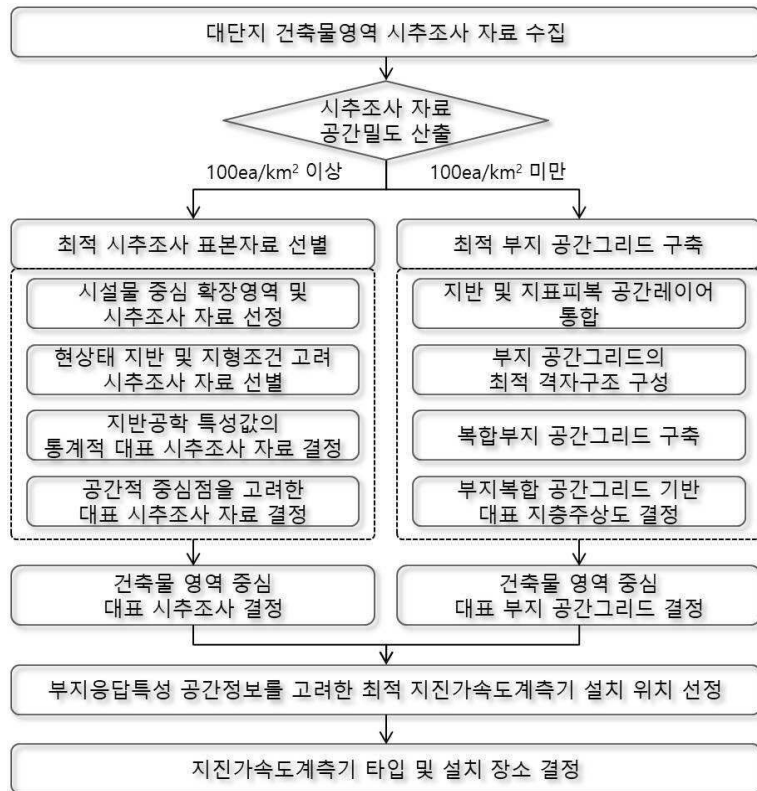
**도면**

**도면1**

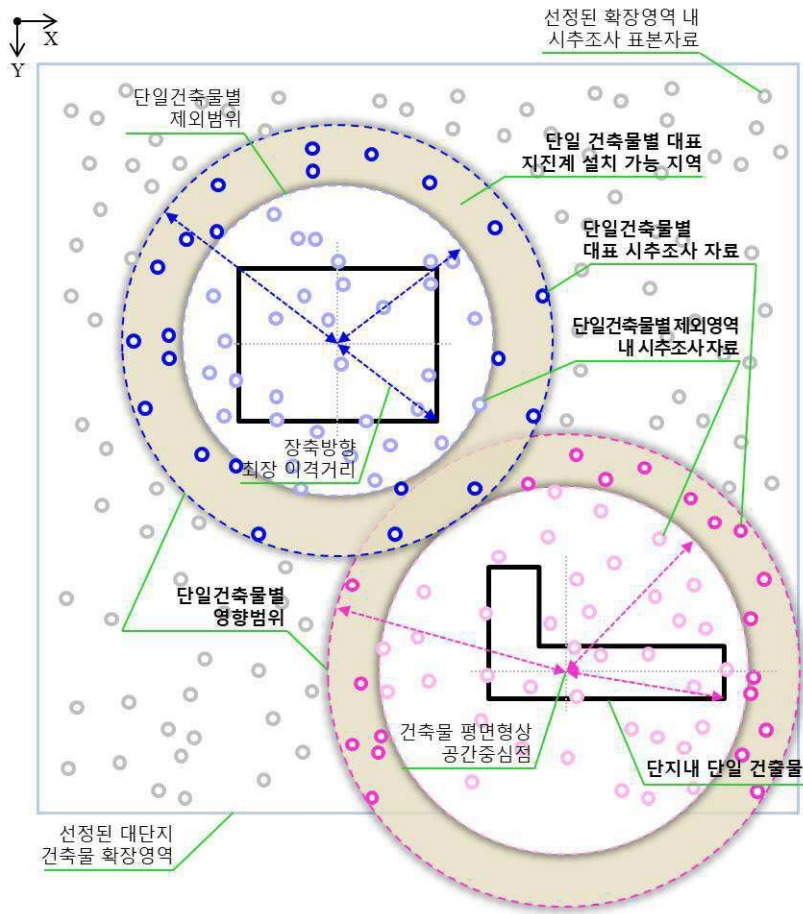
100



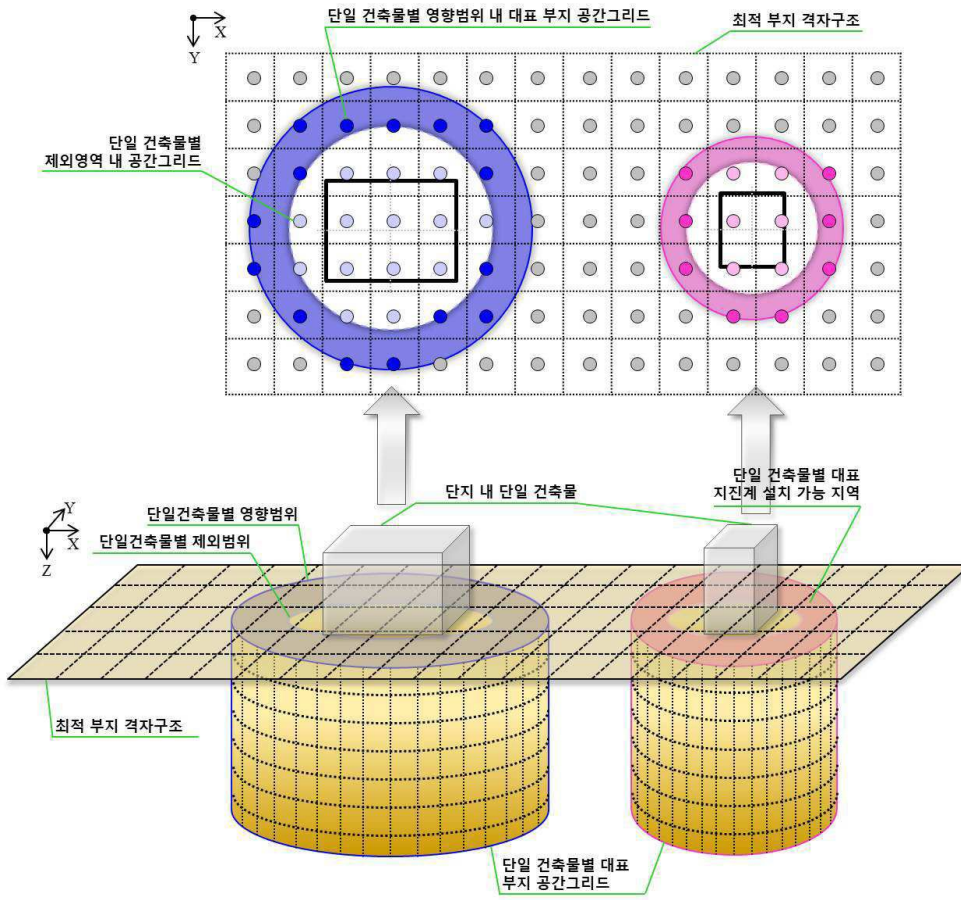
도면2



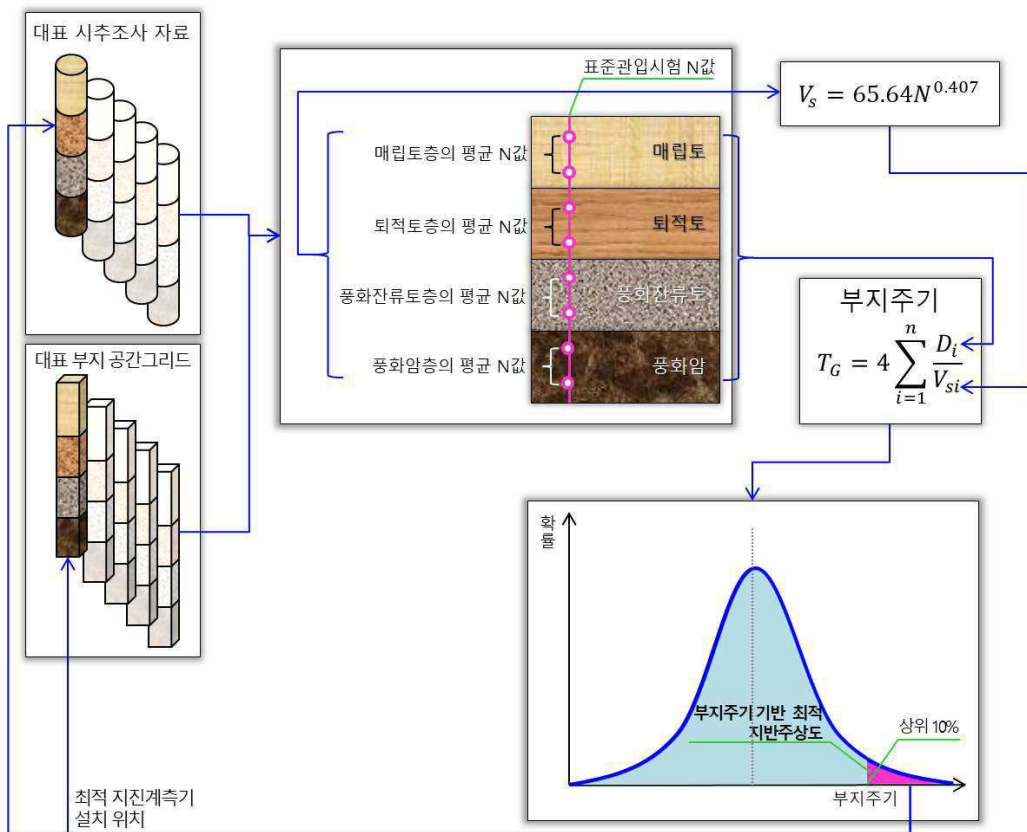
도면3



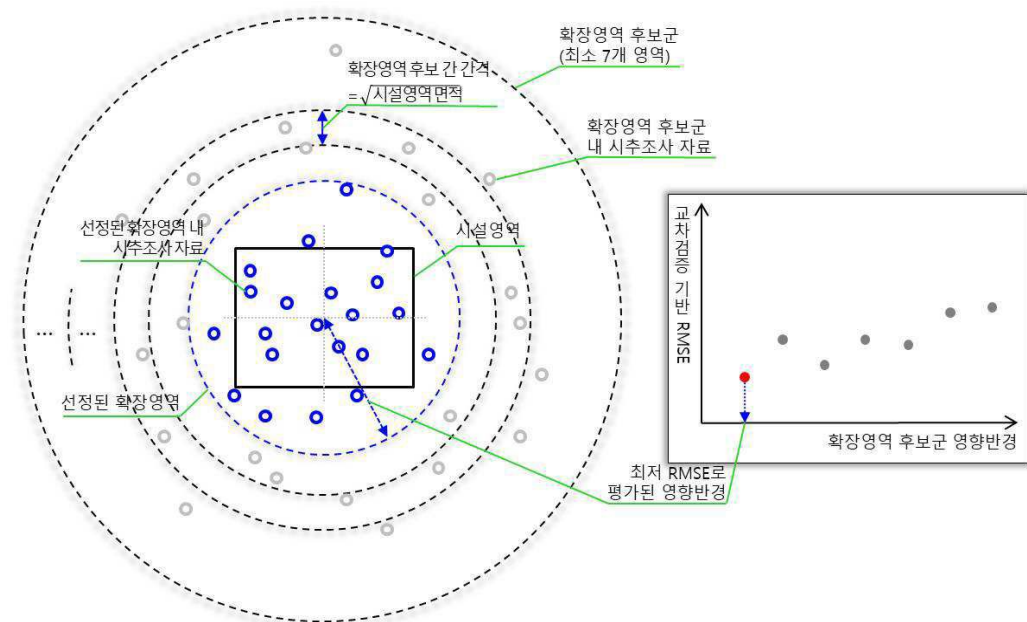
도면4



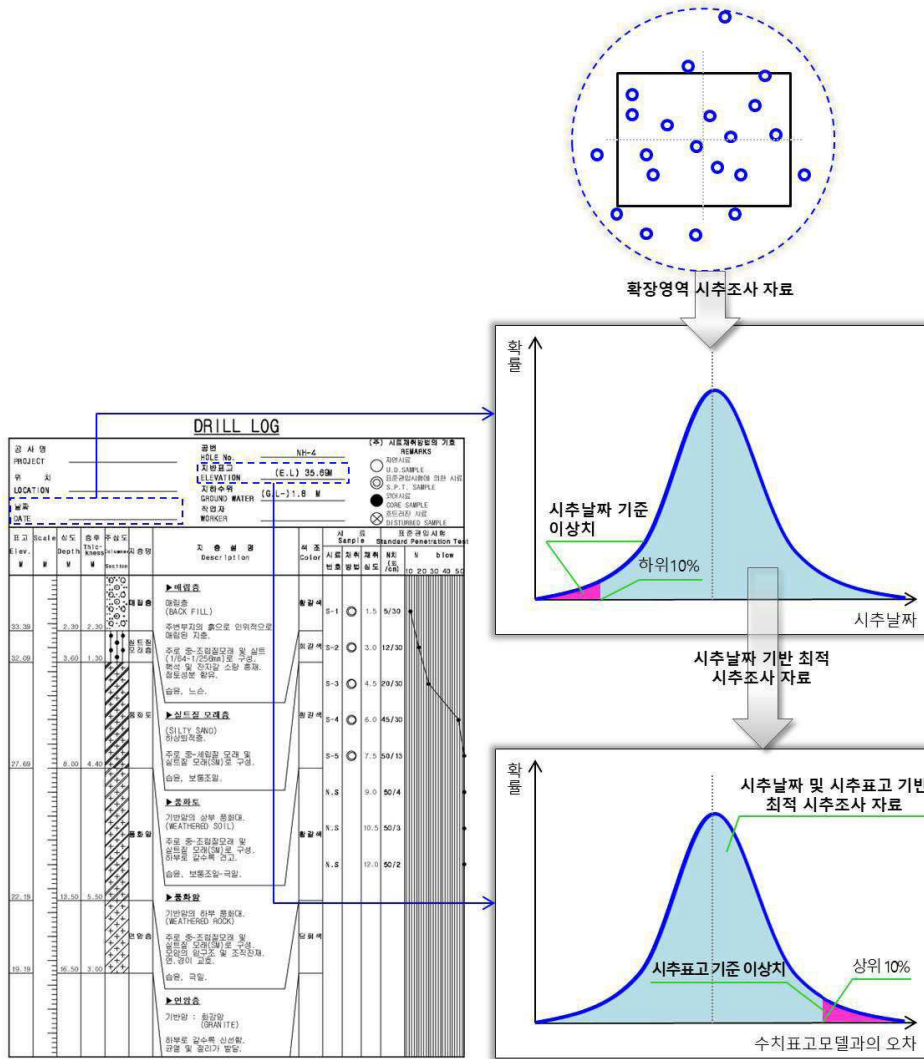
도면5



도면6

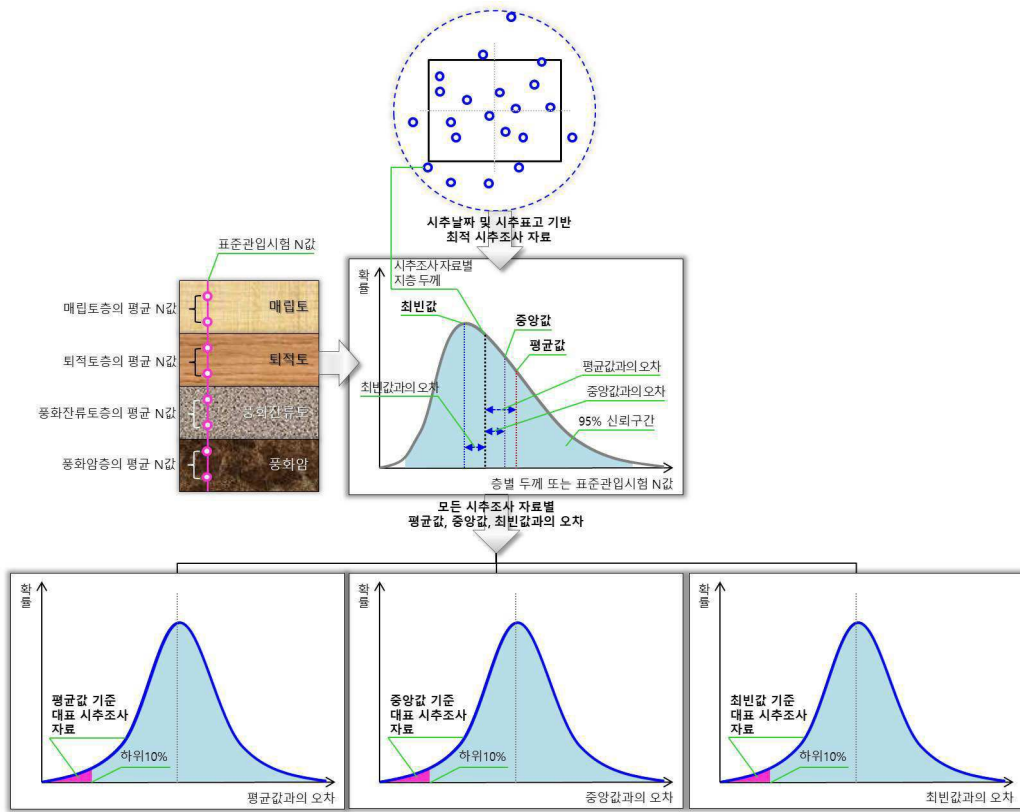


도면7

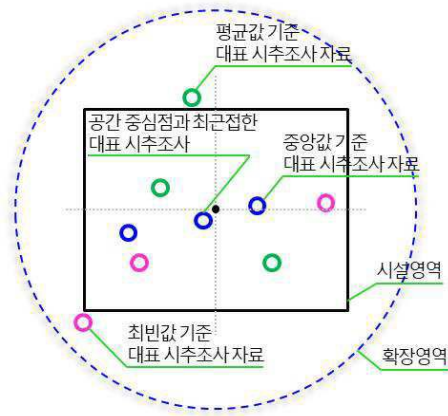




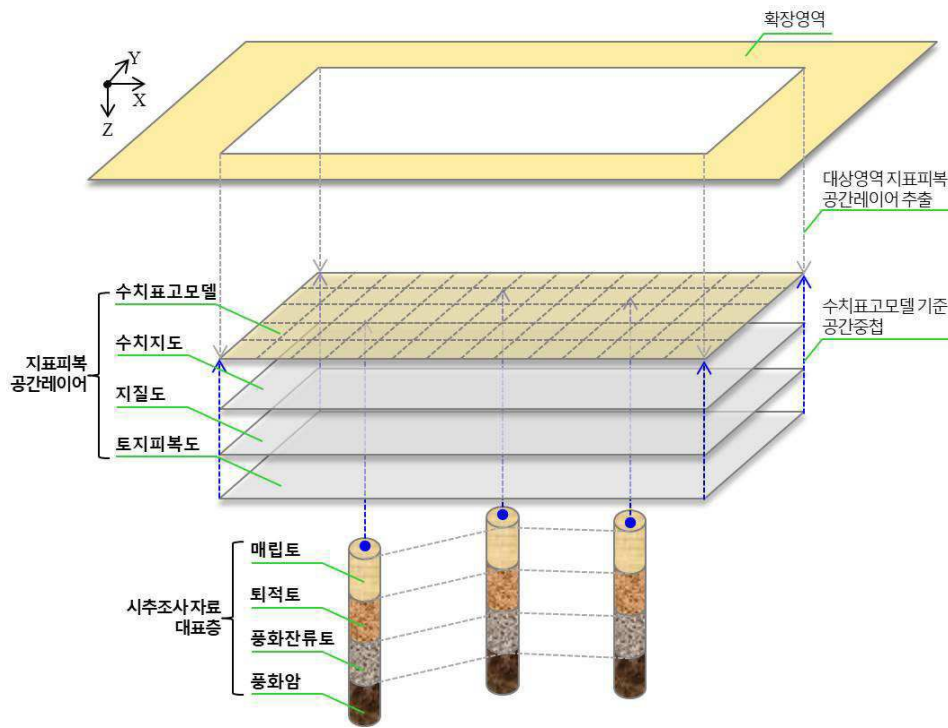
도면8



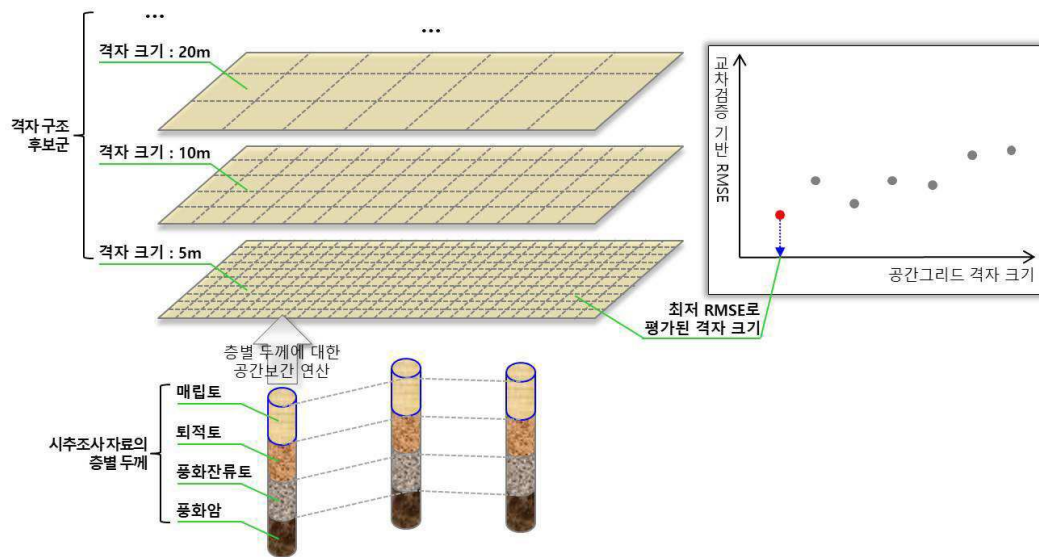
도면9



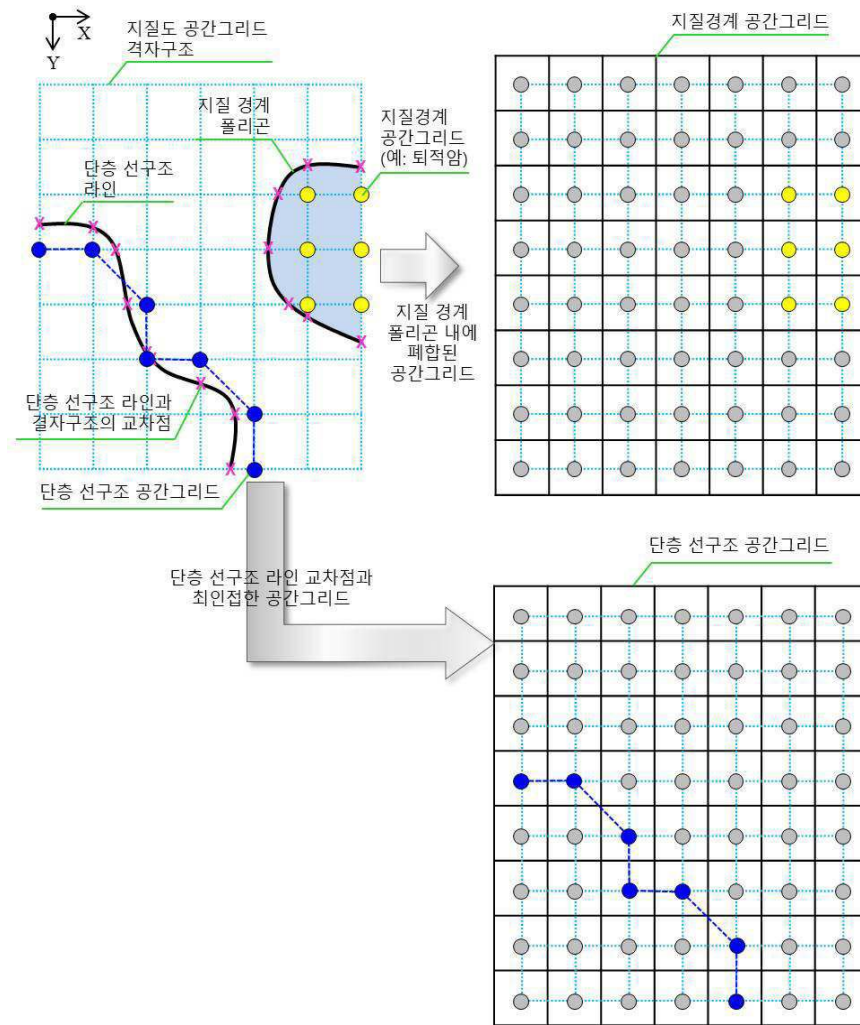
도면10



도면11



도면12



도면13

