



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년01월19일
(11) 등록번호 10-1808127
(24) 등록일자 2017년12월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06Q 50/26 (2012.01) G06F 17/00 (2006.01)
G06Q 50/10 (2012.01)
(52) CPC특허분류
G06Q 50/26 (2013.01)
G06F 17/00 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0164131
(22) 출원일자 2016년12월05일
심사청구일자 2016년12월05일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020130000037 A
KR100982448 B1
KR1020160132232 A

(73) 특허권자
한국지질자원연구원
대전광역시 유성구 과학로 124 (가정동, 한국지질자원연구원)
(72) 발명자
류동우
대전광역시 서구 청사로 148 매그놀리아 1407호
염병우
대전시 유성구 엑스포로 448 506동 704호
(74) 대리인
특허법인임앤정

전체 청구항 수 : 총 23 항

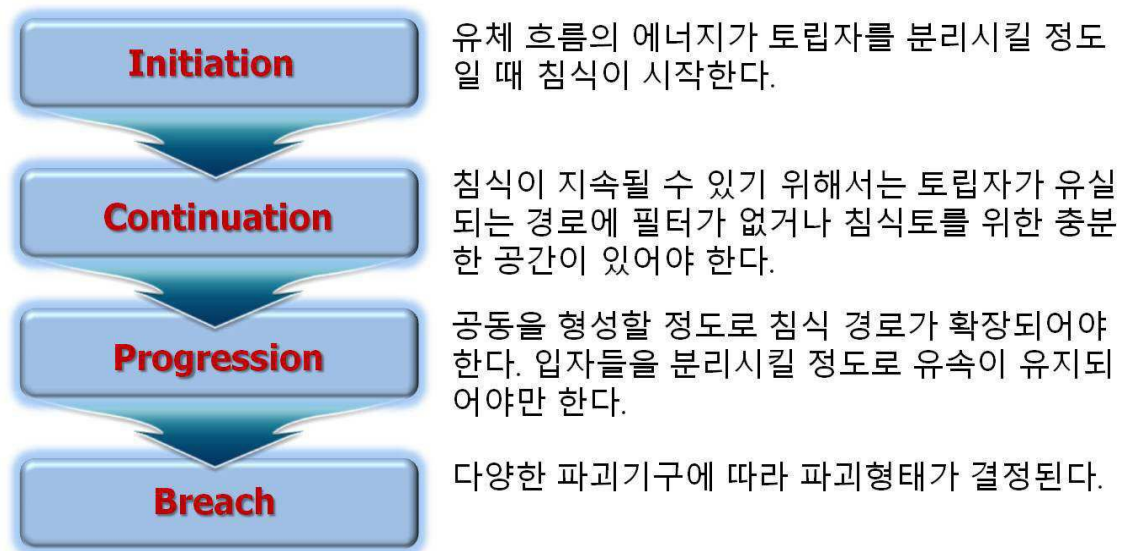
심사관 : 배혜정

(54) 발명의 명칭 도심지 지반함몰 위험도 평가방법

(57) 요약

본 발명은 도심지 지반함몰 위험도를 평가하기 위한 방법에 관한 것이다. 본 발명에서는 지반함몰을 지반환경인자와 사회기반시설인자에 의한 것으로 규정하고, 이들에 대한 데이터와 실제 지반함몰이 발생한 데이터를 획득한다. 획득된 데이터를 이용하여 평가지역 전체에 대하여 지반함몰 위험도를 평가하기 위한 방법을 제공한다. 실제 데이터를 이용하여 평가지역 전체의 위험도를 추정하기 때문에 신뢰도가 높다는 이점이 있다. 또한 지반함몰 위험도를 평가하기 위한 실제 측정과정을 가급적 배제하고 기존에 축적된 데이터를 활용함으로써 경제적이다. 본 발명에 의해 지반함몰 위험도에 대한 체계 확립과, 이 체계에 근거한 실천적 방안이 도출되기를 기대한다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

G06Q 50/10 (2015.01)

(72) 발명자

방은석

대전광역시 유성구 가정로 43 107동 204호 (신성동, 삼성한올아파트)

이흥진

대전광역시 중구 목중로 69 302동 1603호 (중촌동, 주공아파트3단지)

정병주

대전시 유성구 노은로 353 302동 602호

정승원

대전광역시 유성구 과학로 124 한국지질자원연구원 제2연구동 304호

이인환

대전광역시 유성구 엑스포로 448 109동 1304호 (전민동, 엑스포아파트)

최창호

경기도 고양시 일산서구 킨텍스로 410, 711동 801호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711041367

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 국가과학기술연구회

연구사업명 한국지질자원연구원 연구 운영비지원

연구과제명 사물 인터넷 기반 도시 지하 매설물 모니터링 및 관리시스템 기술 개발

기 여 율 1/1

주관기관 한국지질자원연구원

연구기간 2016.01.01 ~ 2016.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

하기의 과정을 수행할 수 있는 소프트웨어가 장착되어 있는 컴퓨터에 의하여 수행되는 것이며, 특정 지역의 지반함몰 위험도를 평가하기 위한 방법으로서,

- (a) 지반함몰을 유발하는 지반환경인자와 사회기반시설인자의 각 세부 항목들을 특정하는 단계;
- (b) 평가지역의 복수의 지점에서 상기 세부 항목에 대한 실측값을 획득하는 단계;
- (c) 상기 평가지역 전체를 복수의 셀로 구획하는 격자망을 형성하고 상기 실측값이 획득된 지점들과 상기 격자망의 셀들을 상호 대응시켜 상기 실측값들을 상기 셀의 세부 항목 데이터로 전환하는 단계;
- (d) 상기 복수의 셀의 세부 항목 데이터를 기초로 통계학적 기법을 이용하여 상기 실측값이 획득되지 않은 상기 격자망의 셀들에 대하여 추정값을 형성함으로써 상기 격자망의 셀에 대한 세부 항목 데이터들을 보완하는 단계;
- (e) 상기 평가지역에서 실제 지반함몰 이벤트가 일어난 지점과 횟수에 대한 이벤트 정보를 획득하고, 지반함몰 이벤트가 일어난 지점과 상기 격자망의 셀을 상호 대응시켜 상기 셀의 이벤트 발생 데이터로 전환하는 단계;
- (f) 상기 복수의 셀의 이벤트 발생 데이터를 기초로 통계학적 기법을 이용하여 상기 이벤트 정보가 획득되지 않은 상기 격자망의 셀들에 대하여 추정값을 형성함으로써 상기 격자망의 셀에 대한 이벤트 발생 데이터들을 보완하는 단계;
- (g) 상기 셀별 이벤트 발생 데이터를 해로 하고, 상기 셀별 세부 항목 데이터를 입력값으로 하되 상기 세부 항목 데이터에 대한 가중치를 미지수로 설정하여, 수학적 기법인 가중치 선형 또는 비선형 결합모델을 이용하여 상기 격자망의 전체 셀에 적용되는 상기 세부 항목들에 대한 각각의 가중치를 결정함으로써 상기 세부 항목에 대한 가중치가 결합된 결정함수를 도출하는 단계;
- (h) 상기 격자망의 각 셀별로 상기 세부 항목 데이터를 상기 결정함수에 입력하여 상기 격자망의 각 셀들에 대한 지반함몰 위험도를 평가하는 단계;를 포함하여 이루어진 것을 특징으로 하는 지반함몰 위험도 평가방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 지반환경인자의 세부 항목은 표토층을 이루는 토사의 입도분포와, 표토층의 두께를 포함하는 것을 특징으로 하는 지반함몰 위험도 평가방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 지반환경인자의 세부 항목은 표토층의 다짐도와 지하수의 수위 조건 및 강우침투량 중 적어도 하나를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 지반함몰 위험도 평가방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 사회기반시설인자의 세부 항목은 상수도관의 설치기간을 포함하는 것을 특징으로 하는 지반함몰 위험도 평가방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 사회기반시설인자의 세부 항목은 하수관로의 설치기간을 포함하는 것을 특징으로 하는 지반함몰 위험도 평가방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 사회기반시설인자의 세부 항목은 도시철도의 시공법과 용수량 중 적어도 어느 하나를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 지반함몰 위험도 평가방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 (g)단계에서는

상기 지반환경인자의 세부 항목만을 이용하여 상기 지반환경인자에 대한 제1결정함수를 도출하는 것을 특징으로 하는 지반함몰 위험도 평가방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 (g)단계에서는

상기 사회기반시설인자의 세부 항목만을 이용하여 상기 사회기반시설인자에 대한 제2결정함수를 도출하는 것을 특징으로 하는 지반함몰 위험도 평가방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 (g)단계는,

상기 지반환경인자의 세부 항목만을 이용하여 상기 지반환경인자에 대한 제1결정함수를 도출하는 단계와,

상기 사회기반시설인자의 세부 항목만을 이용하여 상기 사회기반시설인자에 대한 제2결정함수를 도출하는 단계 및

상기 이벤트 발생 데이터를 해로 하고, 상기 제1결정함수와 제2결정함수의 값을 입력값으로 하되 상기 제1결정함수와 제2결정함수에 대한 가중치를 미지수로 설정하여, 수학적 기법인 가중치 선형 또는 비선형 결합모델을 이용하여 상기 제1결정함수와 제2결정함수에 대한 각각의 가중치를 결정함으로써 상기 제1결정함수와 제2결정함수에 대한 가중치가 결합된 최종 지반함몰 위험도에 대한 제3결정함수를 도출하는 단계를 포함하여 이루어진 것을 특징으로 하는 지반함몰 위험도 평가방법.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 (g)단계에서 결정함수를 도출할 때 복수의 셀에 대해서는 가중치 선형 또는 비선형 결합모델에서 배제한 후,

상기 결정함수가 도출된 후, 상기 배제된 셀에 대하여 결정함수의 해를 도출한 후, 상기 해를 해당 셀의 이벤트 발생 데이터와 비교하여 상기 결정함수의 신뢰도를 평가하는 것을 특징으로 하는 지반함몰 위험도 평가방법.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 세부 항목 데이터는 기설정된 평가기준에 따라 등급화하는 것을 특징으로 하는 지반함몰 위험도 평가방법.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 이벤트 발생 데이터는 기설정된 평가기준에 따라 등급화하는 것을 특징으로 하는 지반함몰 위험도 평가방법.

청구항 13

제1항에 있어서,

상기 사회기반시설인자는 상수관로 및 하수관로를 포함하며,

상기 (c)단계에서 상기 실측값들을 상기 셀의 세부 항목 데이터값(C_j)로 전환함에 있어서,

$$C_j = \frac{\sum_{i=1}^N Length_i \times k_i}{A_j} \quad \dots \text{수식}$$

(여기서, C는 해당 셀에서 지반함몰 유발인자로서의 상수관로 및 하수관로의 데이터값이며, j는 각 셀에 부여된 고유 번호이고, i는 해당 셀을 지나거나 또는 복수의 상수관로 또는 하수관로의 등급의 식별번호이며, Length_i는 각 등급의 상수관로 또는 하수관로가 해당 셀을 지나가는 길이이고, k_i는 각 등급의 점수이며, A는 해당 셀의 넓이다)

상기 수식을 이용하는 것을 특징으로 하는 지반함몰 위험도 평가방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 C값을 구간별로 나누어 등급화하고, 상기 셀에 대한 세부 항목 데이터값을 등급으로 나타내는 것을 특징으로 하는 지반함몰 위험도 평가방법.

청구항 15

제1항에 있어서,

상기 사회기반시설인자는 도시철도를 포함하며,

상기 (c)단계에서 상기 실측값들을 상기 셀의 세부 항목 데이터값(C_j)로 전환함에 있어서,

$$C_j = \frac{\sum_{i=1}^N Area_i \times k_i}{A_j} \quad \dots \text{수식}$$

(여기서, C는 해당 셀에서 지반함몰 유발인자로서의 도시철도의 데이터값이며, j는 각 셀에 부여된 고유 번호이고, i는 해당 셀을 지나거나 또는 복수의 도시철도의 등급의 식별번호이며, Area_i는 각 등급의 도시철도가 해당 셀에서 차지하는 면적이고, k_i는 각 등급의 점수이며, A는 해당 셀의 넓이다)

상기 수식을 이용하는 것을 특징으로 하는 지반함몰 위험도 평가방법.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 C값을 구간별로 나누어 등급화하고, 상기 셀에 대한 세부 항목 데이터값을 등급으로 나타내는 것을 특징으로 하는 지반함몰 위험도 평가방법.

청구항 17

하기의 과정을 수행할 수 있는 소프트웨어가 장착되어 있는 컴퓨터에 의하여 수행되는 것이며, 특정 지역의 지반함몰 위험도를 평가하기 위한 방법으로서,

- (a)지반함몰을 유발하는 지반환경인자의 각 세부 항목들을 특정하는 단계;
- (b)평가지역의 복수의 지점에서 상기 세부 항목에 대한 실측값을 획득하는 단계;
- (c)상기 평가지역 전체를 복수의 셀로 구획하는 격자망을 형성하고 상기 실측값이 획득된 지점들과 상기 격자망의 셀들을 상호 대응시켜 상기 실측값들을 상기 셀의 세부 항목 데이터로 전환하는 단계;
- (d)상기 복수의 셀의 세부 항목 데이터를 기초로 통계학적 기법을 이용하여 상기 실측값이 획득되지 않은 상기 격자망의 셀들에 대하여 추정값을 형성함으로써 상기 격자망의 셀에 대한 세부 항목 데이터들을 보완하는 단계;
- (e)상기 평가지역에서 실제 지반함몰 이벤트가 일어난 지점과 횟수에 대한 이벤트 정보를 획득하고, 지반함몰 이벤트가 일어난 지점과 상기 격자망의 셀을 상호 대응시켜 상기 포인트의 이벤트 발생 데이터로 전환하는 단계;
- (f)상기 복수의 셀의 이벤트 발생 데이터를 기초로 통계학적 기법을 이용하여 상기 이벤트 정보가 획득되지 않은 상기 격자망의 셀들에 대하여 추정값을 형성함으로써 상기 격자망의 셀에 대한 이벤트 발생 데이터들을 보완하는 단계;
- (g)상기 셀별 이벤트 발생 데이터를 해로 하고, 상기 셀별 세부 항목 데이터를 입력값으로 하되 상기 세부 항목 데이터에 대한 가중치를 미지수로 설정하여, 수학적 기법인 가중치 선형 또는 비선형 결합모델을 이용하여 상기 격자망의 전체 셀에 적용되는 상기 세부 항목들에 대한 각각의 가중치를 결정함으로써 상기 세부 항목에 대한 가중치가 결합된 결정함수를 도출하는 단계; 및
- (h)상기 격자망의 각 셀별로 상기 세부 항목 데이터를 상기 결정함수에 입력하여 상기 격자망의 각 셀들에 대한 지반함몰 위험도를 평가하는 단계;를 포함하여 이루어진 것을 특징으로 하는 지반함몰 위험도 평가방법.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 지반환경인자의 세부 항목은 표토층을 이루는 토사의 입도분포와, 표토층의 두께를 포함하는 것을 특징으로 하는 지반함몰 위험도 평가방법.

청구항 19

제17항에 있어서,

상기 지반환경인자의 세부 항목은 표토층의 다짐도와 지하수의 수위 조건 및 강우침투량 중 적어도 하나를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 지반함몰 위험도 평가방법.

청구항 20

제17항에 있어서,

상기 (g)단계에서 결정함수를 도출할 때 복수의 셀에 대해서는 가중치 선형 또는 비선형 결합모델에서 배제된 후,

상기 결정함수가 도출된 후, 상기 배제된 셀에 대하여 결정함수의 해를 도출한 후, 상기 해를 해당 셀의 이벤트 발생 데이터와 비교하여 상기 결정함수의 신뢰도를 평가하는 것을 특징으로 하는 지반함몰 위험도 평가방법.

청구항 21

제17항에 있어서,

상기 세부 항목 데이터 및 이벤트 발생 데이터는 기설정된 평가기준에 따라 등급화하는 것을 특징으로 하는 지반함몰 위험도 평가방법.

청구항 22

제17항에 있어서,

상기 평가지역은 하수도관로가 지나가는 영역, 상수도관이 지나가는 영역 및 도시철도가 지나가는 영역 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 지반함몰 위험도 평가방법.

청구항 23

제1항 내지 제22항 중 어느 한 항에 기재된 방법을 컴퓨터 상에서 구현할 수 있는 프로그램이 기록되어 있는 기록매체.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 도심지에서 지반함몰의 위험도를 등급화하여 평가하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 2014년도에 발생한 석촌 지하차도에서의 도로함몰 사건 및 거대 지하공동 발견을 계기로 도심지에서의 지반함몰 문제가 이슈로 떠올랐다. 국민들의 관심과 불안감도 고조되었으며, 국가에서는 대책마련을 위해 다방면으로 노력하고 있다.

[0003] 그러나 도심지에서의 도로함몰은 그동안 크게 이슈화가 되지 않았을 뿐이지 오래전부터 발생해 왔던 문제였다. 도 1의 그래프에 나타난 바와 같이, 2010년부터 2015년까지 6년 동안 서울에서만 크고 작은 지반함몰 사건이 3656건 발생하였다.

[0004] 도심지 지반함몰에 대한 체계적 접근이 필요하다. 먼저 지반함몰 위험도에 대한 평가체계(SRI, Subsidence Risk Index)가 확립되어야 하며, 일관된 평가체계에 근거하여 지역별로 위험도를 평가하여야 한다. 평가체계에서 위험지역 또는 관심지역으로 분류된 곳에 대해서는 일상감시(survey), 상시감시(실시간 지속적 모니터링)가 이루어져야 하며, 상시감시에서 이상징후가 발견된 지역에서는 확인 감시(집중적인 조사)가 이루어져야 한다.

[0005] 요약하면, SRI 평가체계 확립 및 일상감시, 상시감시 및 확인감시로 이어지는 일련의 시스템 또는 프로세스가 마련되어야 한다.

[0006] 가장 먼저 필요한 것은 SRI 평가체계의 확립이다. 평가체계가 확립되어야 일관된 기준을 가지고 지반함몰 위험도에 대한 지역별 평가가 가능해지고, 평가를 통해 실천적 방안(일상감시, 상시감시, 확인감시)이 뒤따를 수 있기 때문이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 상기한 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 지반함몰의 위험도 평가체계를 확립하고 이에 기초하여 지역의 위험도를 평가하는 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0008] 한편, 본 발명의 명시되지 않은 또 다른 목적들은 하기의 상세한 설명 및 그 효과로부터 용이하게 추론할 수 있는 범위 내에서 추가적으로 고려될 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 이와 같은 과제를 달성하기 위한 본 발명에 따른 지반함몰 위험도를 평가하기 위한 방법은,

[0010] (a)지반함몰을 유발하는 지반환경인자와 사회기반시설인자의 각 세부 항목들을 특징하는 단계;

- [0011] (b)평가지역의 복수의 지점에서 상기 세부 항목에 대한 실측값을 획득하는 단계;
- [0012] (c)상기 평가지역 전체를 복수의 셀(단위 영역)로 구획하는 격자망을 형성하고 상기 실측값이 획득된 지점들과 상기 격자망의 셀들을 상호 대응시켜 상기 실측값들을 상기 셀의 세부 항목 데이터로 전환하는 단계;
- [0013] (d)상기 복수의 셀의 세부 항목 데이터를 기초로 통계학적 기법을 이용하여 상기 실측값이 획득되지 않은 상기 격자망의 셀들에 대하여 추정값을 형성함으로써 상기 격자망의 셀에 대한 세부 항목 데이터들을 보완하는 단계;
- [0014] (e)상기 평가지역에서 실제 지반함몰 이벤트가 일어난 지점과 횡수에 대한 이벤트 정보를 획득하고, 지반함몰 이벤트가 일어난 지점과 상기 격자망의 셀을 상호 대응시켜 상기 셀의 이벤트 발생 데이터로 전환하는 단계;
- [0015] (f)상기 복수의 셀의 이벤트 발생 데이터를 기초로 통계학적 기법을 이용하여 상기 이벤트 정보가 획득되지 않은 상기 격자망의 셀들에 대하여 추정값을 형성함으로써 상기 격자망의 셀에 대한 이벤트 발생 데이터들을 보완하는 단계;
- [0016] (g)상기 셀별 이벤트 발생 데이터를 해로 하고, 상기 셀별 세부 항목 데이터를 입력값으로 하되 상기 세부 항목 데이터에 대한 가중치를 미지수로 설정하여, 수학적 기법인 가중치 선형 또는 비선형 결합모델을 이용하여 상기 격자망의 전체 셀에 적용되는 상기 세부 항목들에 대한 각각의 가중치를 결정함으로써 상기 세부 항목에 대한 가중치가 결합된 결정함수를 도출하는 단계;
- [0017] (h)상기 격자망의 각 셀별로 상기 세부 항목 데이터를 상기 결정함수에 입력하여 상기 격자망의 각 셀들에 대한 지반함몰 위험도를 평가하는 단계;를 포함하여 이루어진 것에 특징이 있다.
- [0018] 본 발명에 따르면, 상기 지반환경인자의 세부 항목은 표토층을 이루는 토사의 입도분포와, 표토층의 두께를 필수적으로 포함하며, 표토층의 다짐도와 지하수의 수위 조건 및 강우침투량 중 적어도 하나를 보충적으로 더 포함할 수 있다.
- [0019] 또한 본 발명에 따르면, 상기 사회기반시설인자의 세부 항목은 상수도관의 시공연한, 하수관로의 시공연한, 도시철도의 시공법과 용수량 중 적어도 하나를 포함한다.
- [0020] 본 발명의 일 실시예에서, 상기 (g)단계는 상기 지반환경인자의 세부 항목만을 이용하여 상기 지반환경인자에 대한 제1결정함수를 도출하는 단계와,
- [0021] 상기 사회기반시설인자의 세부 항목만을 이용하여 상기 사회기반시설인자에 대한 제2결정함수를 도출하는 단계 및
- [0022] 상기 이벤트 발생 데이터를 해로 하고, 상기 제1결정함수와 제2결정함수의 값을 입력값으로 하되 상기 제1결정함수와 제2결정함수에 대한 가중치를 미지수로 설정하여, 수학적 기법인 가중치 선형 또는 비선형 결합모델을 이용하여 상기 제1결정함수와 제2결정함수에 대한 각각의 가중치를 결정함으로써 상기 제1결정함수와 제2결정함수에 대한 가중치가 결합된 최종 지반함몰 위험도에 대한 제3결정함수를 도출하는 단계를 포함한다.
- [0023] 본 발명의 일 실시예에서, 상기 (g)단계에서 결정함수를 도출할 때 복수의 셀에 대해서는 가중치 선형 또는 비선형 결합모델에서 배제하고, 상기 결정함수가 도출된 후 상기 배제된 셀에 대하여 결정함수의 해를 도출한 후, 상기 해를 해당 셀의 실제 이벤트 발생 데이터와 비교하여 상기 결정함수의 신뢰도를 평가하는 것이 바람직하다.
- [0024] 본 발명의 일 실시예에서 상기 세부 항목 데이터 및 이벤트 발생 데이터는 기설정된 평가기준에 따라 등급화할 수 있다.
- [0025] 한편, 본 발명의 또 다른 실시예에서는 사회기반시설인자를 배제하고 지반환경인자만을 고려하여 상기의 과정을 동일하게 거쳐 지반함몰 위험도를 평가할 수 있다. 예컨대, 하수도관로를 평가지역으로 선정하고, 하수도관로가 지나가는 지역 전체에 대해서 지반환경인자와 이벤트 발생 데이터만을 이용하여 결정함수를 도출한 후 위험도를 평가할 수도 있다.
- [0026] 위와 같은 실시예에 따른 지반함몰 위험도 평가방법은 아래와 같다.
- [0027] 도시철도, 상수관 및 하수관로 등 유체의 흐름과 연관된 사회기반시설이 지나가는 영역에 대한 지반함몰 위험도를 평가하기 위한 방법으로서,

- [0028] (a)지반함몰을 유발하는 지반환경인자의 각 세부 항목들을 특정하는 단계;
- [0029] (b)평가지역의 복수의 지점에서 상기 세부 항목에 대한 실측값을 획득하는 단계;
- [0030] (c)상기 평가지역 전체를 복수의 셀로 구획하는 격자망을 형성하고 상기 실측값이 획득된 지점들과 상기 격자망의 셀들을 상호 대응시켜 상기 실측값들을 상기 셀의 세부 항목 데이터로 전환하는 단계;
- [0031] (d)상기 복수의 셀의 세부 항목 데이터를 기초로 통계학적 기법을 이용하여 상기 실측값이 획득되지 않은 상기 격자망의 셀들에 대하여 추정값을 형성함으로써 상기 격자망의 셀에 대한 세부 항목 데이터들을 보완하는 단계;
- [0032] (e)상기 평가지역에서 실제 지반함몰 이벤트가 일어난 지점과 횡수에 대한 이벤트 정보를 획득하고, 지반함몰 이벤트가 일어난 지점과 상기 격자망의 셀을 상호 대응시켜 상기 셀의 이벤트 발생 데이터로 전환하는 단계;
- [0033] (f)상기 복수의 셀의 이벤트 발생 데이터를 기초로 통계학적 기법을 이용하여 상기 이벤트 정보가 획득되지 않은 상기 격자망의 셀들에 대하여 추정값을 형성함으로써 상기 격자망의 셀에 대한 이벤트 발생 데이터들을 보완하는 단계;
- [0034] (g)상기 셀별 이벤트 발생 데이터를 해로 하고, 상기 셀별 세부 항목 데이터를 입력값으로 하되 상기 세부 항목 데이터에 대한 가중치를 미지수로 설정하여, 수학적 기법인 가중치 선형 또는 비선형 결합모델을 이용하여 상기 격자망의 전체 셀에 적용되는 상기 세부 항목들에 대한 각각의 가중치를 결정함으로써 상기 세부 항목에 대한 가중치가 결합된 결정함수를 도출하는 단계;
- [0035] (h)상기 격자망의 각 셀별로 상기 세부 항목 데이터를 상기 결정함수에 입력하여 상기 격자망의 각 셀들에 대한 지반함몰 위험도를 평가하는 단계;를 포함하여 이루어진 것에 특징이 있다.

발명의 효과

- [0036] 본 발명에서는 지반함몰의 위험도를 지반환경인자와 사회기반시설인자의 위험도를 조합하여 결정하였다. 다양한 케이스의 지반함몰 과정을 분석해 보면, 위 2가지 인자들은 실제 지반함몰을 발생시키는 유력한 요소로서 인자 선정의 합리성이 인정될 수 있을 것이다. 이에 따라 본 발명은 지반함몰 위험도를 신뢰성 있게 평가하는 기반이 될 수 있을 것으로 사료된다.
- [0037] 또한 본 발명은 지반함몰의 위험인자를 정의하고 등급화하는데 그치지 않고, 실제 지반함몰 이벤트 데이터를 이용하여 각 인자들이 지반함몰에 미치는 영향을 결정함수의 가중치를 통해 구체화하였다. 이는 지반함몰이 지역별로 다른 양상으로 나타날 수 있다는 점을 고려한 것으로서, 해당 지역에서 각 지반함몰 인자들의 실제 영향도를 파악하여 구체화함으로써 지반함몰 위험도에 대한 신뢰성을 높일 수 있다.
- [0038] 이러한 평가방법에 따라 해당 지역의 위험도를 분류하면, 지반함몰에 대한 모니터링시 지역별로 어느 정도의 주의와 관심을 기울여야 하는지를 구분할 수 있는 척도로 작용할 것이다. 즉, 지역별로 등급평가를 통해 상시 모니터링의 빈도나 강도를 결정하여 수행할 수 있는 실천적 지침을 마련할 수 있을 것으로 기대된다.
- [0039] 또한 위 평가방법은 해당 기관별로 특화시켜 사용할 수 있다. 예컨대 도시철도공사나 수자원공사 등에서는 해당 기관의 관심항목들을 중심으로 위험도를 평가하여 상하수도 관로나 도시철도와 관련하여 지반함몰 위험도를 평가할 수도 있을 것으로 기대된다. 즉 본 발명은 각 인자들의 선택을 통해 다양한 기관에 맞게 특화시켜 사용할 수 있어 활용범위가 넓은 것으로 기대된다.
- [0040] 무엇보다도 본 발명에 따른 위험도 평가를 수행함에 있어서 새롭게 실험이나 측정을 통한 데이터 수집을 최소화함으로써 경제성을 보장할 수 있다는 이점이 있다. 물론 원전 설치지역 등과 같이 특별한 주의가 요구되는 지역에서는 주변 지역에 대한 실측을 수행하여 모든 데이터를 새롭게 수집함으로써 위험도 평가에 대한 정교함과 신뢰성을 배가시킬 수 있을 것이다.
- [0041] 한편, 여기에서 명시적으로 언급되지 않은 효과라 하더라도, 본 발명의 기술적 특징에 의해 기대되는 이하의 명세서에서 기재된 효과 및 그 잠정적인 효과는 본 발명의 명세서에 기재된 것과 같이 취급됨을 첨언한다.

도면의 간단한 설명

- [0042] 도 1은 최근 6년간 서울 지역에 발생한 지반함몰 사건을 나타낸 표이다.

- 도 2는 최근 도심지 지반함몰 사건을 발생원인별로 분석한 모식도이다.
 - 도 3은 본 발명의 제1실시예에 따른 도심지 지반함몰 위험도 평가방법의 개략적 플로우 차트이다.
 - 도 4는 댐의 내부 침식과정을 설명하기 위한 플로우 차트이다.
 - 도 5는 댐에서 토립자 유실로 인해 발생하는 침식 및 파괴 현상들을 포화대 및 불포화대에 따라 (a) 내지 (f)와 같이 6가지로 분류하여 나타낸 도면이다.
 - 도 6은 도 5에 도시된 6가지의 댐의 침식 형태를 도심지 지하매설물과 관련한 지반함몰 현상과 대응시켜 정리한 표이다.
 - 도 7은 내적 안정성을 평가하기 위한 다양한 기준을 정리한 표이다.
 - 도 8은 내적 안정성 평가를 위한 Kenney-Lau 접근법을 설명하기 위한 그래프이다.
 - 도 9는 격자망을 통해 셀을 구획하는 것을 예시적으로 나타낸 도면이다.
 - 도 10은 도 9의 격자망에서 3개의 셀을 선택하여 보여주는 도면이다.
 - 도 11은 도 10에서 하수관로에 대한 등급 또는 점수를 부여하는 과정을 예시적으로 보여주는 도면이다.
 - 도 12는 도시철도에 대한 등급 또는 점수를 부여하는 과정을 예시적으로 보여주는 도면이다.
 - 도 13은 평가지역을 격자망으로 형성한 예에 대한 모식도이다.
- ※ 첨부된 도면은 본 발명의 기술사상에 대한 이해를 위하여 참조로서 예시된 것임을 밝히며, 그것에 의해 본 발명의 권리범위가 제한되지는 아니한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0043] 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지기능에 대하여 이 분야의 기술자에게 자명한 사항으로서 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 상세한 설명을 생략한다.
- [0044] 본 발명은 도심지 지반함몰 위험도를 평가하는 방법을 제공하고자 한다. 이하 첨부된 도면을 참고하여 본 발명에 대하여 더욱 상세히 설명한다.
- [0045] 도 3은 본 발명의 제1실시예에 따른 도심지 지반함몰 위험도 평가방법의 개략적 플로우 차트이다.
- [0046] 먼저 지반함몰에 대하여 정의한다. 본 발명에서 '지반함몰'은 인구 또는 사회시설이 밀집된 영역에서 토립자(토양 입자)의 유실로 인하여 지하공동이 발생되고 점차 확장된 후 붕괴되는 현상을 의미한다. 이른바 싱크홀(sinkhole)과는 개념적으로 구분한다. 싱크홀은 주로 석회암층에서 지하수가 흐를 때, 석회암이 지하수에 화학적으로 용해되어 공동이 발생, 확장, 붕괴되는 현상을 말한다. 싱크홀은 도심지 지반함몰에 비하여 규모가 매우 커서 이목을 집중시키지만, 특수한 지반조건이 전제되어야 하는 바, 인구밀집 지역에서는 거의 일어나지 않는다. 즉, 싱크홀은 지질학적 관심의 대상이 될지언정 인간의 삶에 직접적 위해로 작용하지는 않는다. 이에 본 발명에서는 인구 및 시설 밀집지역에서 나타나는 "지반함몰"에 한정하여 위험도를 평가하는 방법을 제공한다.
- [0047] 본 발명에서는 지반함몰의 위험도를 평가하기 위하여 먼저 지반함몰 위험도 지수(SRI, Subsidence Risk Index)를 정의하고, 이 위험도 지수에 기초하여 해당 지역의 지반함몰 위험도를 평가하는 방법을 제공한다.
- [0048] 먼저 위험도 지수를 정의한다. 즉 지반함몰을 발생시키는 원인을 규정하고, 위험의 정도를 규정한다.
- [0049] 지반함몰의 현상은 매우 다양하며, 실제 발생한 다양한 지반함몰 케이스들을 구체적으로 분석하면 다양한 요소와 원인들이 복합적으로 작용한다는 것을 알 수 있다. 그러나 지반함몰은 지하에 공동이 발생하고 점차 공동이 상방으로 확장되어 나타나는 것이며, 이 과정에서 토사의 유실이라는 물리적 현상을 필연적으로 동반한다. 따라서 지반함몰은 토립자의 유실에 기인한 것으로 규정하는 것이 타당하다. 토립자 유실의 원인은 다양하지만 현상적으로는 토립자의 유실을 수반할 수 밖에 없다는 것이다. 그렇다면 토립자의 유실이 일어날 수 있는 물리적 조건을 살펴보아야 한다. 첫 째 지반이 약해서 토립자가 쉽게 분리될 수 있는 상태에 있어야 한다. 둘째 토립자를 이동시킬 수 있는 유체의 흐름이 있어야 한다. 본 연구진은 지반함몰의 조건을 위 2가지 요소로 정리하였으며, 이를 지반환경인자와 사회기반시설인자로 명명하였다.

- [0050] 지반환경인자는 지반함몰이 일어날 수 있는 지질, 환경적 조건을 의미한다. 예컨대 표토층을 이루는 토사가 입자간 결합력이 떨어지는 경우 토립자의 유실이 쉽게 일어난다. 또는 지반이 풍화암으로 이루어져 연약하고, 표토층을 이루는 토사가 다짐이 덜 되어 있는 경우에도 토립자의 유실이 쉽게 일어날 수 있다. 즉 지반환경인자는 지질학적 관점에서 지반 환경을 토립자의 유실 가능성을 기준으로 규정한 것이다.
- [0051] 사회기반시설인자는 앞에서 언급한 유체의 흐름과 관련된 것이다. 지반환경조건이 양호하지 못한 경우라고 해도 토립자를 유실시킬 수 있는 유체의 흐름이 없다면 토립자 유실은 발생하지 않는다. 예컨대, 도 2를 참고하면, 노후화된 상하수도 관로에 구멍이 생기고 토립자가 이 구멍을 통해 하수관로로 유입된다. 토립자는 상하수도를 따라 이동하고 위의 과정이 계속적으로 일어난다. 결국 지하에 공동이 생기고 이 공동은 점차 상부로 확장된 후 최종적으로 도로가 함몰된다. 지하에서의 유체의 흐름은 크게 2가지이다. 하나는 지하수이며, 다른 하나는 유체와 관련된 지하매설물(사회기반시설)이다. 이들 중에서 지반함몰을 일으키는 실질적인 요인은 토목공사의 부실 시공이나, 하수관로의 노후화 등 사회기반시설과 관련된 것이다. 지하수와 같은 자연적 현상에 의하여 토립자가 유실되는 경우는 드물다. 지하수가 문제되는 경우는 지하수 자체의 흐름보다는 지하수의 개발과정에서의 부실문제이다. 결국 토립자 유실을 불러일으키는 유체의 흐름은 사회기반시설(지하매설물)에 기인한 것이다.
- [0052] 따라서 본 발명에서 사회기반시설인자는 토립자의 유실을 불러올 수 있는 유체의 흐름을 수반하는 시설물, 즉 지하매설물들을 규정한 것이다.
- [0053] 지반환경인자와 사회기반시설인자는 함께 작용할 때 지반함몰이 일어날 수 있다. 지반환경조건이 양호하지 않은 경우라도, 상하수도나 도시철도 등 사회기반시설이 설치되지 않아서 유체의 흐름이 없는 지역에서는 지반함몰의 가능성이 적다. 거꾸로, 사회기반시설이 설치된 영역이지만 지반환경조건이 양호하면 지반함몰의 가능성은 적다.
- [0054] 정리하면, '토립자의 유실로 인한 지하공동의 발생, 확장 및 붕괴'로 정의되는 지반함몰은 지반환경인자와 사회기반시설인자가 필요충분조건으로 작용할 때 나타난다.
- [0055] 이하에서는 지반환경인자와 사회기반시설인자에 대하여 각각 설명한다.
- [0056] 본 발명에서는 표토층의 입도분포와 표토층의 두께를 핵심적 지반환경인자라고 파악하였다. 보충적으로는 토사의 다짐도와 지하수 조건을 꼽을 수 있다. 즉 2개의 핵심인자와 2개의 보충인자의 상태가 지반함몰의 발생위험과 밀접하게 연동되는 것으로 파악하였다.
- [0057] 가장 핵심적 인자는 표토층의 입도분포이다. 앞에서도 언급했지만 본 발명에서는 지반함몰을 토립자 유실에 의한 것으로 정의한다. 그리고 토립자 유실은 댐(dam)이나 제방(embankment) 분야에서 많은 선행 연구들이 있었다. 선행연구에 따르면 댐에서의 내부침식 단계는 도 4에 도시된 바와 같으며 토립자를 이송할 수 있는 충분한 유체 운동에너지와 침식도가 이동하여 쌓일 수 있는 별도의 공간 등이 전제되어야 한다.
- [0058] 본 발명의 연구진은 댐 또는 제방에서의 토립자 유실로 인한 내부침식(internal erosion) 개념이 토립자 유실로 인한 지하 공동 발생 양상과 거의 동일하다는 것을 발견하였다. 댐에서 토립자 유실로 인해 발생하는 침식 및 파괴 현상들은 포화대 및 불포화대에 따라 도 5에 도시된 6가지로 분류할 수 있다. 참고로 위 6가지의 형태를 도심지 지하매설물과 관련한 지반함몰 현상과 대응시키면 도 6의 표와 같이 정리할 수 있다.
- [0059] 댐 및 제방 연구에서는 댐 내부로 유입된 침투수로 인한 흙의 유실을 방지하면서 빨리 물을 배출시킬 목적으로 설치하는 필터(배수층, 코어의 양측에 설치됨)의 설계를 위하여 토양의 입도분포에 기초한 내적 안정성(internal stability) 개념을 제안하였다. 내적 안정성이란 입도분포 및 입자의 배열에 따른 입자의 이동 용이성을 평가하는 기준이다. 본 발명에서는 내적 안정성 개념을 지반함몰 분야로 포섭하였다. 내적 안정성을 판단 및 평가하기 위한 기준은 여러 학자에 의하여 제시되었으며, 도 7의 표에 정리하였다.
- [0060] Itomina(1957)는 입경가적곡선의 중량 통과율 10% 입경(D_{10})과 이것에 대한 중량 통과율 60% 입경(D_{60})의 비로 정의되는 흙의 균등계수(coefficient of uniformity)인 $C_u (= D_{60}/D_{10})$ 를 이용하여 모래질 자갈에 대한 내적 안정성 판단기준을 제시한 바 있다. 또한, Kezdi(1969)는 모든 흙에 적용할 수 있는 기준으로 조립질 부분에서 중량 통과율 15%의 입경(D_{15c})과 세립질 부분에서 중량 통과율 85%의 입경(D_{85f})의 비를 이용하여 이 값의 최대값 $(D_{15c}/D_{85f})_{max}$ 를 기준으로 사용하는 것을 제안하였다. 반면, Kenny와 Lau(1985)는 필터실험(filtration test 혹은 seepage test)을 통해 검증한 결과로서, 임의의 입경(D)의 중량 통과율 F와 입경 D와 4D사이의 중량 통과율 H를 인자로 하여 최소값 $(H/F)_{min}$ 을 기준으로 제시하였다. 이는 H-F 형상 곡선에서 원점을 지나고 이 곡선과 교차하

는 최소 기울기로 안정성 지수를 정의하는 방식이다(도 8 참고). 즉, Kenny-Lau법은 입경 L의 중량 통과율 입자들에 비해 입경 L와 4L사이의 입자들의 양이 충분한지를 판단함으로써 입경가적곡선으로부터 잠재적 분급 불안정(grading instability)을 평가하는 방식이다. 또한 Li와 Fannin(2008)은 Kenny-Lau법을 입경 D의 중량 통과율 F가 15보다 작을 때 Kenny-Lau법을 적용하고, $F > 15$ 일 경우 $H \geq 15$ 를 기준으로 제시하였다.

[0061] 이와 같이 토립자의 입도 분포 특성은 내적 안정성에 큰 영향을 미친다. 따라서, 지반 내 토립자 유실로 인한 지하공동 발생 가능성을 평가하는 인자로서 토립자의 입도 분포(또는 입도분포에 따른 내적 안정성 기준)를 활용할 수 있다.

[0062] 위의 기준들을 살펴보면, 입자의 크기가 다양한 경우 입자 사이의 공극이 작아지므로 내적 안정성을 높게 평가하며, 역으로 입자 크기가 일정한 경우 공극이 커지므로 내적 안정성을 낮게 평가하는 것을 알 수 있다.

[0063] 본 발명에서는 토양 입도분포를 지반함몰의 지반환경인자 중 하나로 규정하였다. 따라서 토양 입도분포에 따라 그 값이 결정되는 내적 안정성 평가기준들 중 어느 하나를 판단기준으로 삼을 수 있다. 물론 평가기준은 새롭게 제시할 수도 있고, 기존의 연구들을 조합할 수도 있다. 아래의 [표 1]에는 흙의 균등계수(Cu) 값을 기준으로 3개의 등급(안정, 보통, 불안정)으로 분류하거나, 또는 $(D_{15c}/D_{85f})_{max}$ 를 기준으로 하여 안정과 불안정의 2가지 등급으로 분류하거나 또는 $(H/F)_{min}$ 을 기준으로 안정과 불안정의 2가지 등급으로 구분한 예를 나타내었다.

[표 1] 내적 안정성 평가 기준 및 등급화(예시)

인자 구분		기준		등급
지반 환경 인자 (I)	입도	(1)	$C_U \leq 10$: internally stable $10 \leq C_U \leq 20$: transitional $C_U \geq 20$: internally unstable	● 안정 ● 보통 ● 불안정
		(2)	$(D_{15c}/D_{85f})_{max} \leq 4$: internally stable	● 안정
		(3)	$(H/F)_{min} \geq 1.0$: internally stable	● 불안정

[0065] 다만, 이러한 평가기준과 등급은 예시일 뿐이다. 등급화를 수행하지 않고 Cu값을 그대로 사용할 수도 있다. 이에 대해서는 뒤에서 다시 설명하기로 한다.

[0067] 지반환경인자의 두 번째 인자는 표토층의 두께이다. 일반적으로 지반은 토사로 이루어진 표토층 하부에 기반암이 놓이는데, 지반함몰은 표토층에서 일어난다. 표토층이 두꺼우면 지반함몰도 깊고 크게 일어날 가능성이 높다. 따라서 표토층의 두께를 지반환경인자로 포섭할 필요가 있다. 표토층의 두께의 기준은 예컨대 2m보다 낮으면 안정, 2~4m 사이이면 보통, 4m보다 두꺼우면 불안정으로 3등급으로 구분할 수 있다. 물론 이러한 기준 역시 조정가능하며, 입도분포와 마찬가지로 등급화를 수행하지 않고 실제 두께(m)를 그대로 사용할 수 있다. 마찬가지로 이하에서 설명하는 인자들도 기준과 등급에 대해서 예시를 들지만, 이들은 절대적인 것이 아니며 등급화를 하지 않을 수 있다.

[0068] 세 번째 영향인자는 다짐도이다.

[0069] 도심지 지하 매설물의 복토 후 지반의 안정성을 높여주기 위해 다짐을 실시하는데, 다짐 불량은 국부적 지반함몰의 주요 원인이 되기 때문이다.

[0070] 다짐의 원리는 토양 입자 사이의 간극 속에 있는 물을 적당히 관리하고 공기를 제거하여 그 강도를 높이는데 있다. 흙입자의 단위체적당 중량(건조단위중량)이 증가할수록 다짐도가 높다고 할 수 있으나, 완전 건조된 흙은 오히려 다짐이 잘 이루어지지 않는다. 따라서 적절한 함수비를 갖도록 해줘야 하는데 이를 최적함수비(OMC)라 한다. 최적 함수비에서 최대 건조단위중량이 발생하며, 가장 다짐이 잘 되는 상태가 된다.

[0071] 다짐도는 다짐의 시공정도를 규정하는 척도로서 시험실 최대 건조밀도에 대한 현장건조밀도의 비로 규정된다. 다짐도의 판정방법은 아래와 같이 다양하다.

[0072] 1) 건조밀도로 판정하는 방법 (노체 90%이상, 노상 95%이상이면 합격)

[0073] 2) 포화도나 공기 공극률로 판정하는 방법 (포화도 기준으로 85%~95%)

[0074] 3) 강도로 판정하는 방법 (CBP, PBT 시험의 K값, 안정된 지반에 적용)

- [0075] 4)상대밀도로 판정하는 방법 (비점성 사질토 지반에 적합, 지방서 기준 이상)
- [0076] 5)변형량으로 판정 (프루프롤링이나 벤켈만 시험으로 평가, 지방서 기준 이상)
- [0077] 6)다짐기종 및 다짐횟수로 판정하는 방법 (규정횟수 이상 다지면 합격)

[0078] 본 발명에서는 위의 1)~6)의 기준을 이용하여, 다짐도를 안정/불안정의 2등급 또는 3등급으로 분류할 수 있다. 또한 위의 조건들을 조합하거나, 새로운 조건을 부여하여 등급화할 수 있다. 다만 다짐도를 지반함몰의 위험인자로 포섭하는데 있어서 한 가지 문제점이 있다. 뒤에서 다시 설명하겠지만, 본 발명에서는 각각의 위험도 인자들에 대한 데이터를 새롭게 측정하기 보다는 기존에 축적된 데이터를 활용하고자 한다. 그런데 기존 지하 매설물 공사 후 일반적으로 다짐도 기준을 충족하는 것으로 판단하여 보고되기 때문에, 다짐도를 지반침하위험도 지수의 인자로 활용하는데 있어서 한계가 있다. 즉, 기존 지반조사자료, 지질자료, 지하매설물 시공자료 등 기존 DB에 기록되어 있는 다짐도는 현실적으로 신뢰성을 보장하기 어렵다. 따라서 DB가 신뢰할 수 있는 경우를 제외하고는, 다짐도는 대상지역이 선정된 이후 추가적인 다짐도 평가 수행 결과를 토대로 고려해야 하는 인자로 분류할 수 있다.

[0079] 마지막 지반환경인자는 지하수에 관한 것으로서, 불포화대와 포화대로 나누어 분류하며, 불포화대에서는 강우 침투량에 따라, 포화대에서는 최고 지하수위기준에 따라 등급화한다. 지하수 유동은 토립자 유실에 직접적 영향을 미칠 수 있는데, 불포화대와 포화대에 따라서 그 영향의 크기를 평가하는 기준은 다소 차이가 있을 수 있다. 즉, 지하 매설물의 종류에 따라 지하수를 고려하는 접근법을 달리해야 한다.

[0080] 지하 매설물 중 상수도 및 하수관로는 일반적으로 지하수면 위에 위치하기 때문에 강수에 의한 침투량(infiltration)이 주요한 인자가 될 수 있다. 불포화대에서는 강수강도와 포장체의 특성을 고려하여 침투량을 기준으로 등급화를 수행한다. 다만 불포화대의 침투량 평가는 입도 및 다짐도와도 관련이 있기 때문에 매우 복잡한 과정을 필요로 한다. 따라서, 지역별 침투량 산정을 등급화하기 위해 몇 가지 단순화된 기준 혹은 범주를 구성하여 적용할 필요가 있다. 이를 위해 최대 강수강도 기준으로 비포장지역, 보도블록포장지역, 아스팔트 및 콘크리트 지역 등에 따라 침투량 등급을 3등급 정도로 구분하여 적용할 수 있다.

[0081] 그리고 지하수 포화대의 경우 최고 지하수위 기준($F_{gw} = H_{gw} - h_t$)에 따라 예컨대 3개의 등급으로 등급화할 수 있다. 여기서, H_{gw} 는 지하수의 수위(해수면 기준)이고, h_t 는 지반고이다.

[0082] 예컨대 도시 철도가 지나가는 지역의 경우, 지하수위 위에 위치하는 정거장이나 개착식(open cut) 노선 구간과, 지하수위 아래에 위치하는 암반 내 터널식 구간으로 구분하여 포화대에서 지하수 유동을 고려해야 한다. 이는 지하구조물 주변 지하수 유동 현상에 차이가 날 수 있기 때문이다. 따라서, 도시 철도 구간에서 지하수 인자의 등급 산정 기준은 도시 철도 시공방식(개착식과 터널식)에 따라 나눈 후, 인근 연중 최고 지하수위와 구조물의 상단부 표고 차이를 토대로 지역별로 등급화할 수 있다. 즉, 지하수위와 도시 철도 시설의 천정부 사이의 높이 차이(에너지의 크기)에 따라 3개 등급으로 나눌 수 있다.

[0083]

[0084] 사회기반시설인자에 대하여 설명한다.

[0085] 본 발명에서는 사회기반시설인자를 상수도, 하수관로 및 도시철도(지하철)의 3가지로 규정하였다. 위에서도 설명하였지만 이들은 모두 토사를 이동시킬 수 있는 유체의 유동과 관련된 지하매설물들이다. 그리고 등급 기준은 아래의 [표 2]와 같이 설정할 수 있다. 이러한 등급 기준은 하나의 예시일 뿐이며 조건에 따라 변경될 수 있다.

[0086] [표 2] 사회기반시설인자의 등급화(예시)

인자 구분		기준		등급
사회 기반 시설 인자 (II)	상수도	시공연한	시공 1년 미만, 30~40년, 40~50년, 50년 이상	3등급
	하수관로	시공연한	시공 1년 미만, 30~40년, 40~50년, 50년 이상	3등급
	도시철도	시공법	개착식, 터널식	2개 인자 조합 2,3 등급
		용수량	구간별 용수량에 따른 등급	

[0087]

[0088] 상수도와 하수도의 경우 시공연한을 기준으로 하여 노후도를 따져서 등급화할 수 있다. 구체적인 연한 기준은 상하수도 관로의 재질 등에 따라 다르게 설정할 수 있다. 사회기반시설인자에서도 제시되는 기준과 등급화는 하나의 예시일 뿐이며, 등급화를 수행하지 않고 실제값(예컨대 노후화 년수 등)을 수도 있다.

[0089] 상수도 하수도 와 관련하여 보다 구체적인 예를 설명하기로 한다. 뒤에서 보다 상세하게 설명하겠지만, 본 발명에서는 도 9에 도시된 바와 같이 조사가 필요한 사이트를 격자로 구획하여 복수의 셀(cell)로 특정한다. 그리고 실측 데이터가 확보된 지점을 격자상의 셀과 대응시킨다. 그리고 해당 셀을 지나가는 하수관로의 등급을 해당 셀의 하수관로 등급으로 결정한다. 그러나 구체적으로 어떻게 상하수도 관로의 등급을 결정할지에 대해서 여러 가지 상황이 발생할 수 있다.

[0090] 도 10에는 서로 인접한 3개의 격자상의 셀(N1, N2, N3)이 도시되어 있다. 그리고 이 셀들을 지나는 하수관로가 빨간색과 파란색으로 나타나 있다. 빨간색은 50년 이상 노후화된 하수관로이고, 파란색은 5년 미만의 신규 하수관로이다. 하나의 셀에도 복수의 하수관로가 겹쳐서 지나갈 수 있다. 그리고 하나의 관로만 지나가더라도 각 셀을 지나는 하수관로의 길이가 서로 다를 수 있다. 복수의 셀에 대해서 등급이 동일한 하수관로가 지나가는데 그 길이가 다른 경우 해당 셀들에 동일한 등급을 부여하는 것도 본 발명에서는 배제하지 않는다. 그러나 보다 정교한 방법이 요청될 수 있다. 더욱이 등급이 다른 복수의 하수관로가 지나가는 경우에는 무엇으로 등급을 결정할지에 대해서도 의문이 있을 수 있다.

[0091] 본 발명에서는 위와 같은 다양한 상황에 대해 모두 적용할 수 있도록 아래의 수식을 이용한다. 아래의 수식을 이용하여 각 셀에 대한 하수관로 및 상수관로에 대한 점수(또는 등급)을 결정할 수 있다.

$$C_j = \frac{\sum_{i=1}^N Length_i \times k_i}{A_j}$$

[0092] ... 수식

[0093] 여기서, C는 해당 셀에서 지반함물 유발인자로서의 하수관로의 최종적 점수 또는 등급이다. j는 각 셀(포인트)에 부여된 번호로서, 전체 셀마다 고유 번호가 부여된다. i는 해당 셀을 지나는 하나 또는 복수의 하수관로의 등급의 식별번호이다. 예컨대 특정 셀에 1등급 하수도관과, 3등급 하수도관이 각각 지나간다면, i=1,3으로 2개가 된다. 1,3,4등급 하수관로가 지나간다면 i는 1,3,4로 3개가 된다. Length_i는 각 등급의 하수관로가 해당 셀을 지나가는 길이이다. k_i는 각 등급의 점수이다. A는 해당 셀의 넓이이다. 예컨대, 도 10에서 N2 셀에 대해서 본다면, 각각 3등급으로 분류되는 붉은색 하수관로가 2개(i=3)이고, 1등급으로 분류되는 파란색 하수관로가 1개(i=1)이다. 즉 위 식에서 i=1,3이 된다. 즉, i는 해당 셀을 지나는 하수관로의 등급의 개수가 된다. 그리고 Length_i는 N2 셀을 지나는 하수관로의 총 길이이며, 예컨대, Length₃이라면, 3등급 하수관로 2개의 N2 셀 내에서의 길이의 합이고, Length₁은 1등급 관로의 길이이다. N2 셀 내에서 2등급 관로는 없으므로 Length₂는 0이 된다. 결국 C는 해당 셀에서 각 등급의 하수관로의 길이에 해당 등급의 점수(k)를 곱한 후, 이들을 모두 더하고, 해당 셀의 면적으로 나눈 값이 된다. 이렇게 하면 각 셀마다 C값(점수)가 나오게 되고, 전체 셀들에서 보면 C값은 연속된 값을 나타내게 된다. 이 값들을 해당 셀의 값으로 할 수도 있고, 앞에서 언급한 것처럼 등급화를 수행한다면, 연속된 점수 범위에서 일정 구간별로 등급을 나누어 등급화된 점수를 부여할 수도 있을 것이다.

[0094] 위 수식을 적용한 실제 사례에 대해서 설명한다. 도 11에는 도 10에 도시된 3개의 셀이 나타나 있다. 그런데, 파란색으로 표시된 하수관로의 경우 5년 이하의 신규 관로이기 때문에 지반함물을 유발하지 않을 것으로 예상된다. 이러한 경우에는 i=1에 대해서 k=0을 부여한다. 결국 도 11에 도시된 바와 같이 파란색 라인이 제거되고, 3등급 관로인 붉은색 라인만을 고려하여 3개의 셀에서의 C값이 결정될 수 있다. 지반함물에 대한 복수의 인자들이 있고, 각 사이트마다 상황이 다를 수 있다. 원자력발전소와 같이 지반함물에 대한 리스크가 큰 지역이라면 모든 위험인자들을 하나하나 모두 고려해야 하는 경우도 있다. 이 경우에는 모든 경우를 고려한다. 그러나 도 11에 나타난 것처럼, 일부의 경우들은 해당 셀에서 가장 크게 영향을 미치는 인자만 고려해도 충분한 경우가 있다. 이런 경우라면 데이터 처리 및 가공을 수월하게 하기 위하여 k값을 조절할 수 있다. 위 수식을 통해 간단한 케이스와 복잡한 케이스를 모두 고려할 수 있다. 위의 수식은 하수관로 이외에 상수관로에 대해서도 동일하게 적용할 수 있을 것이다.

[0095] 도시철도의 경우 시공법에 대한 기준과 용수량에 대한 기준을 개별적으로 등급화할 수도 있고, 이들을 조합하여 하나의 등급체계로 설정할 수 있다. 시공방법에 있어서 개착식이 터널식에 비하여 지반함몰의 위험도가 더 크다. 그리고 지하철 역사의 경우 지반함몰 위험도가 가장 크다. 또한 용수량은 많을수록 위험도가 올라간다. 즉, 도시철도의 경우 터널 굴착방식(지하철 역사 포함)을 기준으로 등급화할 수 있다.

[0096] 또한 도시철도의 경우에도 위에서 설명한 상하수도 관로와 같이 보다 정교하게 점수를 부여할 필요가 있으며, 위의 수식을 그대로 사용할 수 있다. 다만 위의 수식을 적용할 때, $Length_i$ 를 대신하여 $Area_i$ 를 적용한다. 상수관, 하수관의 경우 관로이므로 길이만 고려하면 되지만, 도시철도의 경우 면적을 고려해야 한다. 도 12에 예시를 나타내었다. 도 12를 참고하면 3개의 셀에서 주황색 사각형은 도시철도 정거장(역사)이고, 붉은색으로 표시된 것은 개착식 굴착구간이다. 초록색으로 표시된 것은 터널식 굴착구간이다. 지반함몰 유발인자의 위험도의 관점에서 역사는 3등급으로 가장 낮고, 개착식 구간은 2등급이고, 터널 굴착구간은 가장 안전한 1등급으로 분류할 수 있다. 그리고 각 구간은 면적으로 나타낼 수 있다. k값을 부여하면 앞에서와 마찬가지로 정교하게 값을 구할 수 있다. 값이 구해지면 이 값을 그대로 사용할 수도 있고, 연속된 값들을 구간별로 나누어 등급으로 지정할 수도 있다.

[0097] 이상에서 설명한 바와 같이, 사회기반시설인자들은 각각 2등급, 3등급 또는 보다 세분화된 등급체계를 적용할 수도 있으며, 등급 체계를 적용하지 않고 C값을 그대로 적용할 수도 있다.

[0098] 사회기반시설인자로는 위 3가지 이외에도 유체의 흐름과 관련된 인자들, 예컨대 터파기 시공을 한 경우가 추가적으로 고려될 수도 있다.

[0099] 지반환경인자와 사회기반시설인자를 모두 종합하여 나타내면 [표 3]과 같다.

[0100] [표 3] 지반환경인자와 사회기반시설인자 기준표(예시)

인자 구분		기준		등급	
지반 환경 인자 (I)	입도	(1)	$C_V \leq 10$: internally stable $10 \leq C_V \leq 20$: transitional $C_V \geq 20$: internally unstable	지반환경인자 3개 사회기반인자 3개 총 6개 인자에 대하여 각각 등급화 (2,3개 등급)	
		(2)	$(D_{15c}/D_{85f})_{max} \leq 4$: internally stable		
		(3)	$(H/F)_{min} \geq 1.0$: internally stable		
	다짐도	90~95%, 90%미만			
지하수	불포화대	포장체 특성을 반영한 최대강우시침투량 등급			
	포화대	최고 지하수위기준 $F_{gw} = H_{gw} - h_t$			
사회 기반 시설 인자 (II)	상수도	시공연한	시공 1년 미만, 30~40년, 40~50년, 50년 이상		
	하수관로	시공연한	시공 1년 미만, 30~40년, 40~50년, 50년 이상		
	도시철도	시공법	개착식, 터널식		
		용수량	구간별 용수량에 따른 등급		

[0101]

[0102] 지금까지, 지반함몰을 유발하는 지반함몰 유발인자를 지반환경인자와 사회기반시설인자 2가지로 분류하고, 각각에 대한 세부 인자들을 규정하였다.

[0103] 지반함몰 유발인자를 규정한 후에는 각각의 영향인자에 대한 해당 사이트 내 실측값을 수집한다. 해당 사이트의 도로망, 지하철도망, 상하수도망에 대한 위치정보 데이터를 수집한다. 예컨대 서울 지역의 지반함몰 위험도를 평가하기 위해서는 서울의 사회기반시설망과, 각 지역의 지반함몰 유발인자 데이터(입도, 다짐도, 지하수, 상수도, 하수관로, 도시철도)를 수집한다. 앞에서는 언급하지 않았지만 본 발명에서 지반함몰 유발인자를 규정함에 있어서 새롭게 실험이나 측정을 수행해서 데이터를 얻어야 하는 인자들은 특별한 경우가 아니라면 배제하는 것이 바람직하다. 위 데이터들은 지방자치단체, 정부 또는 공기업 등 관련 기관에 DB로 보관되어 있다. 경제성을 보장하기 위함이다. 데이터 수집 지역은 특히 사회기반시설인자가 포함된 영역을 중심으로 하되, 그 주변지역이나 전 지역을 대상으로 넓힐 수도 있다.

[0104] 지반함몰 유발인자에 대한 데이터 수집이 완료되면 지반함몰 유발인자별로 데이터의 단위와 체계를 일치시키는 전처리가 필요하다. 예컨대 표층두께에 대하여 미터, 밀리미터, 인치 등 다양한 단위가 부여될 수 있으므로, 이

들을 모두 하나의 단위로 일치시킨다. 단위를 일치시키는 것은 간단하지만, 서로 다른 기준이 적용된 경우는 문제가 된다. 예컨대 입도분포에 대하여 균등계수(Cu)를 적용한 데이터와, $(D_{15C}/D_{85f})_{max}$ 를 적용한 데이터가 있을 수 있다. 이런 경우 상관성을 고려하여 하나의 체계로 일원화해야 한다. 정해진 어느 하나의 체계와 단위로 일원화가 어려운 경우라면 무차원화하거나 또는 등급화를 도입하여 통일시킬 수도 있다. 각 인자별로 체계와 단위를 일치시키는 전처리가 완료되면 해당 인자별 기초 데이터가 준비된 상태가 된다.

- [0105] 이제 이 복수의 포인트 데이터를 이용하여 해당 사이트 전체에 대한 데이터를 추정한다. 먼저 해당 사이트를 격자화하여 구획한다. 도 13에는 서울시 송파구를 해당 사이트로 하여 격자화한 모식도이다. 물론 실제 격자의 수는 도시된 것보다 훨씬 조밀하게 짜인다. 도 13에 도시된 격자망은 $18 \times 18 = 324$ 의 셀로 이루어진다. 각 셀에는 고유번호(위 수식에서 j 로 표현)가 매겨진다. 도 13에서 붉은색으로 표시한 지점은 실측 데이터가 존재하는 곳이다. 실측된 포인트 데이터의 위치정보와 격자망의 위치정보를 이용하여 이들을 상호 매칭시킨다. 즉 해당 셀에 포인트 데이터가 있는 경우, 그 실측 포인트 데이터를 해당 셀의 세부항목 값으로 결정한다. 예컨대, 특정 지점에서의 하수관로가 15년된 곳이고, 15년은 2등급으로 규정되어 있다면, 이 특정 지점이 포함되어 있는 해당 셀의 사회기반시설인자로서의 하수관로 항목의 등급은 2등급으로 결정된다. 실측 데이터가 없는 미지의 셀들에 대해서는 위 포인트 데이터를 토대로, 예컨대 보간법과 같은 통계학적, 수치해석적 기법을 통해 해당 항목의 등급을 추정한다.
- [0106] 이미 알고 있는 포인트 데이터를 이용하여 격자망의 다른 셀의 데이터값을 추정하는 통계학적 기법(쿤투어링 등)은 다양하다. 즉, 그리딩(griding)과 같은 공간 보간법을 적용하여 같은 값을 서로 연결시키는 지도인 등치선도(isometric map)를 작성하는 것으로 이해할 수도 있다.
- [0107] 즉 해당 사이트 전체에 대해서 각 셀별로 개별 지반함몰 유발인자마다 값이 매겨진다. 또한, 특정한 경우에는 해당 사이트 전체가 아니라 사이트 내 도로망, 상하수도관망, 도시철도 관망과 같이 지반함몰의 위험도와 피해가 큰 영역을 따라서 미지의 셀에 대해 값을 추정할 수도 있을 것이다. 위의 도로망이나 관망에 대해서는 위치정보 데이터가 수집되어 있으므로, 이 위치정보 데이터와 유발인자별 포인트 데이터를 매칭시키면 가능하다.
- [0108] 해당 사이트 내 격자망의 모든 셀에 대해서 지반함몰 유발인자별로 특정된 값들은 최소값과 최대값 사이에서 연속적인 값을 갖는다. 추후 이 값을 그대로 사용할 수도 있고, 앞에서 언급한대로 개별 지반함몰 유발인자별로 2-5 단계로 등급화를 수행할 수도 있다. 위와 같은 과정을 거침에 따라, 해당 사이트의 모든 셀에서 지반함몰 유발인자별로 동일한 체계와 단위를 가지고 데이터화 된다.
- [0109] 이제 해당 사이트 내에서 지반함몰이 실제 발생한 데이터를 수집한다. 이를 이벤트 데이터라 한다. 이벤트 데이터 역시 정부, 지방자치단체 등의 기관에 데이터베이스화된 것을 사용한다. 서울 시내에 지반함몰 이벤트만 해도 6년간 4,000번에 이른다.
- [0110] 그리고 실제 이벤트가 발생한 지점과 격자망의 셀들을 위치정보를 이용하여 상호 대응시킨다. 이를 통해 해당 사이트의 격자망의 셀별로 지반함몰 이벤트가 일어난 정도(이벤트 발생밀도라 한다)가 카운트된다. 예컨대 이벤트 발생 개수만으로 카운트할 수도 있으며, 기간별 발생 개수로 카운트할 수도 있으며, 또 다른 기준을 제시할 수도 있다. 중요한 점은 각 셀에 대해서 이벤트 발생밀도를 단일한 체계와 단위로 정리하여 데이터화 한다.
- [0111] 이벤트 데이터가 확정되면 앞에서와 마찬가지로 미지의 셀에 대해서도 통계학적, 수치해석적 방법을 이용하여 값을 추정한다. 이를 통해 해당 사이트 전체에서 이벤트의 상대 발생밀도가 특정된다. 이벤트 상대밀도가 특정되면 이 값도 최소값과 최대값 사이에서 연속적 값을 갖는다. 추후 이 값을 그대로 사용할 수도 있고 2~5개의 등급으로 나누어 간소화할 수도 있다.
- [0112] 이상의 과정을 거쳐, 해당 사이트의 전체 셀에 대하여 지반함몰 유발인자별로 값이 모두 정해져 데이터화 되고, 지반함몰 이벤트 발생밀도에 대해서도 데이터화 된다.
- [0113] 이제 각 지반함몰 유발인자를 변수로 하여 최종적인 위험도를 평가하기 위한 함수를 도출한다. 이를 위험도 결정함수라 한다. 위험도 결정함수를 도출하는 방법 중 먼저 제1실시예를 설명한다.
- [0114] 지반환경인자만을 먼저 고려한다. 지반환경인자는 토립자의 입도분포, 표층두께를 필수 요소로 포함하고, 다짐도와 지하수 조건을 선택 요소로 포함하고 있다. 이들 중에서 입도분포와 표층두께가 가장 중요한 요소라고 하였고 나머지 2개 요소는 선택요소라고 하였다. 어떤 사이트에서는 입도분포와 표층두께가 지반함몰 발생에 결정적 요소로 작용하는 반면, 다른 사이트에서는 입도분포와 다짐도가 더 중요하게 작용할 수도 있다. 또는 선택요소인 다짐도와 지하수 조건이 특정 사이트에서는 더 결정적인 요소로 작용할 수 있다. 이는 지역 조건에 따라

달라질 수 있다. 입도분포와 표층두께를 필수요소로 규정한 것은 이 2개의 요소는 지반함몰 유발인자로서 반드시 고려할 요소라는 의미이지, 이들이 언제나 가장 결정적인 요소라는 의미는 아니다. 그렇다면 해당 지역의 결정함수를 도출할 때 각 요소에 대한 가중치가 달라져야 한다.

[0115] 가중치를 결정하기 위하여 앞에서 해당 지역의 모든 셀에 대하여 지반환경인자별로 데이터화를 한 것이며, 마찬가지로 지반함몰 이벤트 발생밀도에 대하여 모든 셀에 대하여 데이터를 한 것이다.

[0116] 결정함수를 도출하는 방법은 가중치 선형 결합모델(Weighted Linear Combined Model) 또는 비선형 결합모델(Weighted Non-Linear Combined Model) 을 사용할 수 있다. 가중치 선형 결합모델을 예로 든다.

[0117] $Y_1 = W_1X_{11} + W_2X_{21} + W_3X_{31} \dots W_nX_{n1} : (1\text{번 셀})$

[0118] $Y_2 = W_1X_{12} + W_2X_{22} + W_3X_{32} \dots W_nX_{n2} : (2\text{번 셀})$

[0119] $Y_3 = W_1X_{13} + W_2X_{23} + W_3X_{33} \dots W_nX_{n3} : (3\text{번 셀})$

[0120] …….

[0121] $Y_n = W_1X_{1n} + W_2X_{2n} + W_3X_{3n} \dots W_nX_{nn} : (n\text{번 셀})$

[0122] 위의 가중치 선형 결합모델의 셀별 결정함수들에서 Y는 이벤트 발생밀도이며, 하첨자는 포인트를 나타낸다. 그리고 $X_1, X_2, X_3 \dots X_n$ 은 개별 지반환경인자이다. 예컨대 X_1 은 토립자의 입도분포 항이고, X_2 는 표층두께 항이고, X_3 는 다짐도에 대한 항이다. 그리고 X의 두번째 하첨자는 해당 셀의 번호를 나타낸다.

[0123] 앞에서 설명한 데이터화를 통해 위 가중치 선형 결합모델에서 셀별 Y값(이벤트 발생밀도), $X_1, X_2, X_3 \dots X_n$ 값도 알고 있다.

[0124] 모르는 값은 각 항의 계수인 $W_1, W_2, W_3 \dots W_n$ 이다. 이 계수가 가중치이다. 즉, 이벤트 발생밀도라는 값은 각 지반환경인자의 값에 가중치를 부여한 형태이다. 각 셀별로 위와 같은 함수를 만들어서 분석하면 모든 셀에 대해서 가장 근사한 해(Y값)를 형성하는 계수(가중치)를 도출할 수 있다. 지반함몰과 연결시켜 말하면, 어떤 지반환경인자에 얼마만큼의 가중치를 부여하는 경우 해당 사이트 전체에 걸쳐 실제 이벤트 발생밀도와 유사하게 대응시킬 수 있는지를 결정하는 것이다. 셀의 개수가 많으면 많을수록 결정함수는 더욱 정교하게 만들어질 수 있다.

[0125] 여기서, 각 지반환경인자에 대한 X값과 지반함몰 이벤트 발생밀도에 대한 Y값은 최소값과 최대값 사이의 연속된 값(실제값)을 입력할 수 있다. 또는 이 값들을 위에서 언급한 기준에 따라 등급화하여 등급값을 입력할 수도 있다. 실제값을 입력하는 경우 현실을 보다 잘 반영하여 가중치가 정교하게 도출될 수 있지만 데이터의 아노말리가 많이 포함된 경우 오히려 신뢰성을 잃을 수 있고 복잡해질 수 있다. 역으로 등급화된 값을 사용하면 간소하지만 가중치의 정교함이 떨어질 수 있다. 이는 데이터의 양과 사이트의 조건에 따라 선택적으로 적용할 수 있다.

[0126] 상기한 바와 같이, 결정함수의 지반환경인자별 가중치($W_1, W_2, W_3 \dots W_n$)가 도출되면 지반환경인자에 대한 위험도 결정함수가 만들어진다. 최종적으로 만들어진 지반환경인자 결정함수는 아래와 같다.

[0127] $Y = W_1X_1 + W_2X_2 + W_3X_3 \dots W_nX_{n1} : \text{지반환경인자에 대한 제1결정함수}$

[0128] 최종적으로 만들어진 결정함수에서는 가중치(W) 상수가 되고 X값은 입력값이 되며, Y는 이벤트 발생밀도로서 해가 된다. 결국 특정 셀에서의 X값들을 입력하면 그 해로서 Y값이 구해지게 되며, 이 Y값은 해당 셀의 지반환경인자에 따른 위험도가 된다.

[0129] 사회기반시설인자에 대해서도 위와 동일한 과정을 거친다. 가중치를 도출하여 사회기반시설인자에 대한 위험도 결정함수를 만들 수 있다. 예컨대, 사회기반시설인자에 대한 결정함수에서는 P는 이벤트 발생밀도(Y와 동일)이며, 상수도 요소(Q_1)에 대한 가중치(A_1), 하수관로 요소(Q_2)에 대한 가중치(A_2), 도시철도 요소(Q_3)에 대한 가중치(A_3)가 각각 결정될 것이고, 이들이 아래와 같이 하나의 결정함수로 도출될 것이다. 참고로, 여기서의 Q값을 앞에서 사회기반시설인자의 세부 항목에 대해서 수식을 설명할 때에는 C값으로 설명하였다. 즉 앞에서 설명한 C값과 여기서의 Q값은 동일한 개념이다.

- [0130] $P = A_1Q_1 + A_2Q_2 + A_3Q_3 \cdots A_nQ_n$: 사회기반시설인자에 대한 제2결정함수
- [0131] 앞에서와 마찬가지로, 최종적으로 만들어진 결정함수에서는 가중치(A) 상수가 되고 Q값은 입력값이 되며, P는 이벤트 발생밀도로서 해가 된다. 결국 특정 셀에서의 Q값들을 입력하면 그 해로서 R값이 구해지게 되며, 이 P값은 해당 셀의 지반환경인자에 따른 위험도가 된다.
- [0132] 지반환경인자에 대한 제1결정함수와 사회기반시설인자에 대한 제2결정함수가 정해지면, 이 2개의 값을 이용하여 최종적인 제3결정함수를 도출한다. 결국 제3결정함수(SR)는 지반환경인자에 따른 위험도(Y)와 사회기반시설인자에 따른 위험도(P)의 가중치를 결정하는 것이다. 따라서 아래의 식과 같이 항도 2개만 존재한다.
- [0133] $SR_1 = MY_1 + NP_1 \cdots \cdots$ 1번 셀
- [0134] $SR_2 = MY_2 + NP_2 \cdots \cdots$ 2번 셀
- [0135] $SR_3 = MY_3 + NP_3 \cdots \cdots$ 3번 셀
- [0136] $\cdots \cdots$
- [0137] $SR_n = MY_n + NP_n \cdots \cdots$ n번 셀
- [0138] 위의 제1결정함수에 의해서 셀별로 Y값을 구하고, 마찬가지로 제2결정함수에 의해서 셀별로 P값을 구하여 데이터화하고, 이 값들을 제3결정함수에 입력하여 지반환경인자 위험도값의 가중치인 M값과, 사회기반시설인자 위험도값의 가중치인 N값을 도출한다. 최종적으로 만들어지는 지반함물 위험도 결정함수는 아래와 같다.
- [0139] $SR = MY + NP \cdots \cdots$ 제3결정함수
- [0140] 마찬가지로, 최종 결정함수에서는 가중치 M과 N은 상수가 되고 Y와 P는 입력값이 되며, SR은 이벤트 발생밀도로서 해가 된다. 결국 특정 셀에서의 Y값과 P값을 입력하면 그 해로서 SR값이 구해지게 되며, 이 SR값은 해당 셀에서의 최종적 지반함물 위험도가 된다. 최종적으로 구해지는 지반함물 위험도도 실제값을 직접 사용할 수도 있으며, 위험, 보통, 안전 등으로 등급화하여 등급값을 사용할 수 있다.
- [0141] 지금까지 설명한 제1실시예에서는 지반환경인자의 위험도에 대한 제1결정함수와, 사회기반시설인자의 위험도에 대한 제2결정함수를 먼저 도출한 후, 이들을 조합하여 최종적인 제3결정함수를 도출하였다.
- [0142] 그러나 제2실시예에서는 지반환경인자와 사회기반시설인자에 대한 가중치를 따로따로 구하지 않고 모든 항들을 하나의 함수로 만들어서 한 번에 최종 결정함수를 구할 수 있다. 결정해야 하는 가중치의 개수가 많기 때문에 정교함이 떨어질 수 있어 바람직하지는 않다. 또한 지반환경인자와 사회기반시설인자는 서로 다른 측면이기 때문에 이들을 하나의 평면에서 고려하는 것도 불합리할 수 있다.
- [0143] 그러나 고려해야 할 지반환경인자와 사회기반시설인자의 개수가 적은 경우에는 한 번에 최종 결정함수를 도출하는 것이 신뢰성과 함께 간편성을 확보할 수 있다는 점에서 바람직하다.
- [0144] 마지막으로 결정함수들에 대한 신뢰도 평가를 수행할 수 있다. 위 결정함수를 도출할 때 이벤트 발생밀도에 대한 데이터(Y, P, SR)를 사용하여 가중치를 결정하였다. 결국 실제 이벤트 발생밀도가 가중치 결정에 반영되었다는 의미이다. 이렇게 도출된 결정함수의 신뢰성을 평가하기 위해서는 가중치를 도출하는 과정에서 사용하지 않은 셀에 대해서 실제값과 결정함수의 값을 상호 비교해보면 된다. 가중치 도출과정에 반영되지 않은 셀에서 각각 X값과 Q값을 입력하여 제1결정함수값(Y)와 제2결정함수값(P) 및 제3결정함수값(SR)을 구하고, 이 값들을 실제 이벤트 발생밀도와 대비하여 보면 제1결정함수, 제2결정함수 및 제3결정함수의 정확성을 판단해 볼 수 있다.
- [0145] 위 신뢰도 평가과정을 거친 후 실제값과 결정함수의 값의 이격도가 심한 경우 가중치를 일정 범위 내에서 다시 조정할 수 있을 것이다.
- [0146] 이상에서 설명한 바와 같이 본 발명에서는 지반함물의 위험도를 지반환경인자와 사회기반시설인자의 위험도를 조합하여 결정하였다. 다양한 케이스의 지반함물 과정을 분석해 보면, 위 2가지 인자들은 실제 지반함물을 발생시키는 유력한 요소로서 인자 선정의 합리성이 인정될 수 있을 것이다. 이에 따라 본 발명은 지반함물 위험도를 신뢰성 있게 평가하는 기반이 될 수 있을 것으로 사료된다.
- [0147] 또한 본 발명은 지반함물의 위험인자를 정의하는데 그치지 않고, 실제 지반함물 이벤트 데이터를 이용하여 각 인자들이 지반함물에 미치는 영향을 결정함수의 가중치를 통해 구체화하였다.

- [0148] 지반함몰은 지역별로 다른 양상으로 나타날 수 있다는 점을 고려한 것으로서, 해당 지역에서 지반함몰 인자들의 영향도를 실제적으로 파악하여 구체화하였다.
- [0149] 본 발명을 통해 특정 지역의 지반함몰 위험도를 실제적으로 평가할 수 있을 것으로 사료된다. 이러한 평가방법은 지반함몰에 대한 모니터링시 주의와 관심 정도를 구분할 수 있는 척도가 된다. 종래기술란에서 설명하였듯이, 지역별로 등급평가를 통해 상시 모니터링의 빈도나 강도를 결정하여 수행할 수 있는 실천적 지침을 마련할 수 있을 것으로 기대된다.
- [0150] 또한 위 평가방법은 해당 기관별로 특화시켜 사용할 수 있다. 예컨대 도시철도공사나 수자원공사 등에서는 해당 기관의 관심항목들을 중심으로 위험도를 평가하여 상하수도관로나 도시철도와 관련하여 지반함몰 위험도를 평가할 수도 있을 것으로 기대된다.
- [0151] 즉 본 발명은 각 인자들의 선택을 통해 다양한 기관에 맞게 특화시켜 사용할 수 있어 활용범위가 넓은 것으로 기대된다.
- [0152] 무엇보다도 본 발명에 따른 위험도 평가를 수행함에 있어서 새롭게 실험이나 측정을 통해 데이터를 수집하지 않으므로 경제성을 보장할 수 있다는 이점이 있다. 물론 원전 설치지역 등과 같이 특별한 주의가 요구되는 지역에서는 주변 지역에 대한 실측을 수행하여 모든 데이터를 새롭게 수집함으로써 위험도 평가에 대한 정교함과 신뢰성을 배가시킬 수 있을 것이다.
- [0153] 지금까지는 지반함몰 위험도를 평가하기 위하여 지반환경인자와 사회기반시설인자를 모두 고려하는 방법을 설명하였다. 그러나 본 발명은 위 2가지 인자를 모두 고려하는 형태에만 한정되는 것은 아니며 지반환경인자만을 고려하는 형태도 포함한다.
- [0154] 이 경우에는 사회기반시설인자와 연관된 과정들이 모두 생략되어 간단하다. 즉 사회기반시설인자의 세부 항목을 규정하고, 평가지역에 대한 실측값을 취득한 후 데이터화하고, 실측값을 이용하여 평가지역 격자망의 미지의 포인트에 대한 추정값을 구하는 과정은 물론 제2결정함수를 구하고 이를 다시 제3결정함수를 도출하는데 이용하는 과정이 모두 배제된다.
- [0155] 즉, 앞의 실시예에서 사회기반시설인자를 배제하여 과정을 수행하면 된다. 결정함수는 제1결정함수가 지반함몰 위험도에 대한 최종 결정함수가 된다. 본 실시예는 예컨대 하수도관을 관장하는 기관에서 하수도관의 노후도 등을 고려하지 않고 하수도관이 지나는 전체 영역에 대해서 지반환경인자만을 고려하여 지반함몰 위험도를 평가하여 관리하고자 하는 경우에 유용할 수 있다. 두 번째 실시예는 첫 번째 실시예에서 일부 구성을 삭제한 것이므로 자세한 설명은 생략하기로 한다.
- [0156] 마찬가지로, 지반환경인자를 모두 배제하고 사회기반시설인자만을 이용하여 위험도를 구할 수도 있다. 위에서 제1결정함수를 도출하기까지의 전 과정을 생략하고 제2결정함수를 도출하는 과정만 수행하면 된다.
- [0157] 한편, 본 발명은 대부분 컴퓨터상에서 구현된다는 특징이 있다. 이를 위하여 본 발명에서는 상기한 방법을 컴퓨터에서 구현할 수 있는 프로그램이 기록된 기록매체를 제공한다. 위 프로그램에서는 평가지역에 대한 지리정보(위치), 사회기반시설에 대한 위치정보등이 입력되고, 평가지역에 대하여 구획을 통해 격자망을 형성한다.
- [0158] 실측값(세부항목과 이벤트 발생)이 얻어진 지점과 평가지역의 격자망의 셀들을 상호 대응시킬 수 있다. 평가 지역내 지점의 실측값을 입력하면 격자망의 셀에 대한 데이터로 전환하여 저장한다.
- [0159] 통계학적, 수치해석학적 기법(보간법)이 구현되어 있어 실측값 데이터를 입력하면 추정값을 산출할 수 있다.
- [0160] 또한 가중치 선형/비선형 결합모델이 구현되어 있어 위 실측값과 추정값을 이용하여 가중치를 산정하여 결정함수를 도출해 낸다.
- [0161] 최종적으로 결정함수가 도출되면 평가지역의 격자망의 모든 셀에 대하여 데이터를 입력하여 지반함몰 위험도를 산출하며, 등급화하여 디스플레이 한다.
- [0162] 본 발명은 컴퓨터를 통해 구현가능하므로, 사용자는 평가지역과 그 내부의 사회기반시설에 대한 지리, 위치정보를 입력하고, 평가지역의 복수의 지점에 대한 자료(실측값, 시공연한에 대한 정보, 이벤트 발생 지점 및 횟수)를 획득하여 입력해주면 된다. 수학적, 통계학적 프로그램들에 대해서는 조정 및 변경이 가능하므로 해당 지역에 적합한 수학, 통계적 프로그램을 입력할 수 있다.

[0163] 본 발명을 통해 최근 이슈화되고 있는 도심지 지반함몰에 대한 체계적 재해 방지 대책이 수립되기를 기대한다.

[0164] 본 발명의 보호범위가 이상에서 명시적으로 설명한 실시예의 기재와 표현에 제한되는 것은 아니다. 또한, 본 발명이 속하는 기술분야에서 자명한 변경이나 치환으로 말미암아 본 발명이 보호범위가 제한될 수도 없음을 다시 한 번 첨언한다.

도면

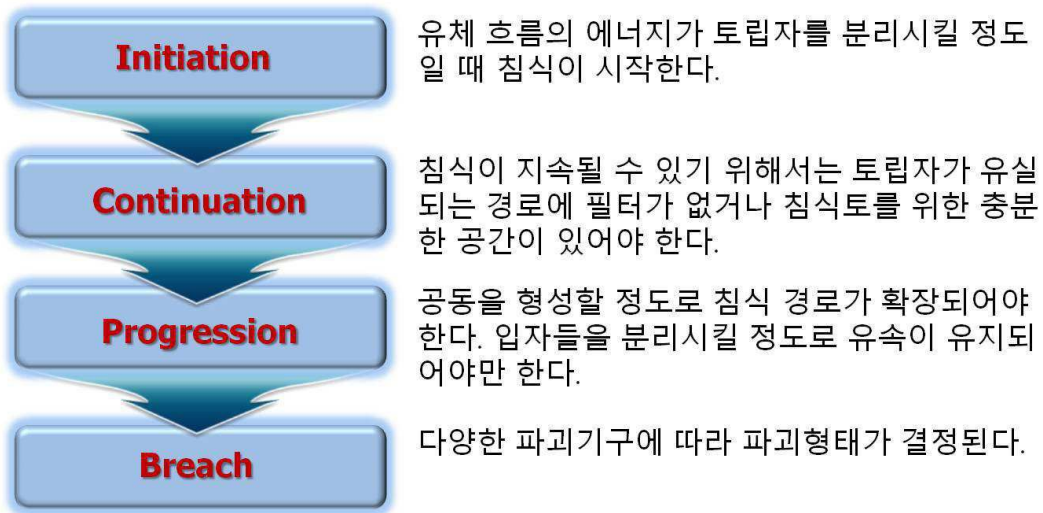
도면1



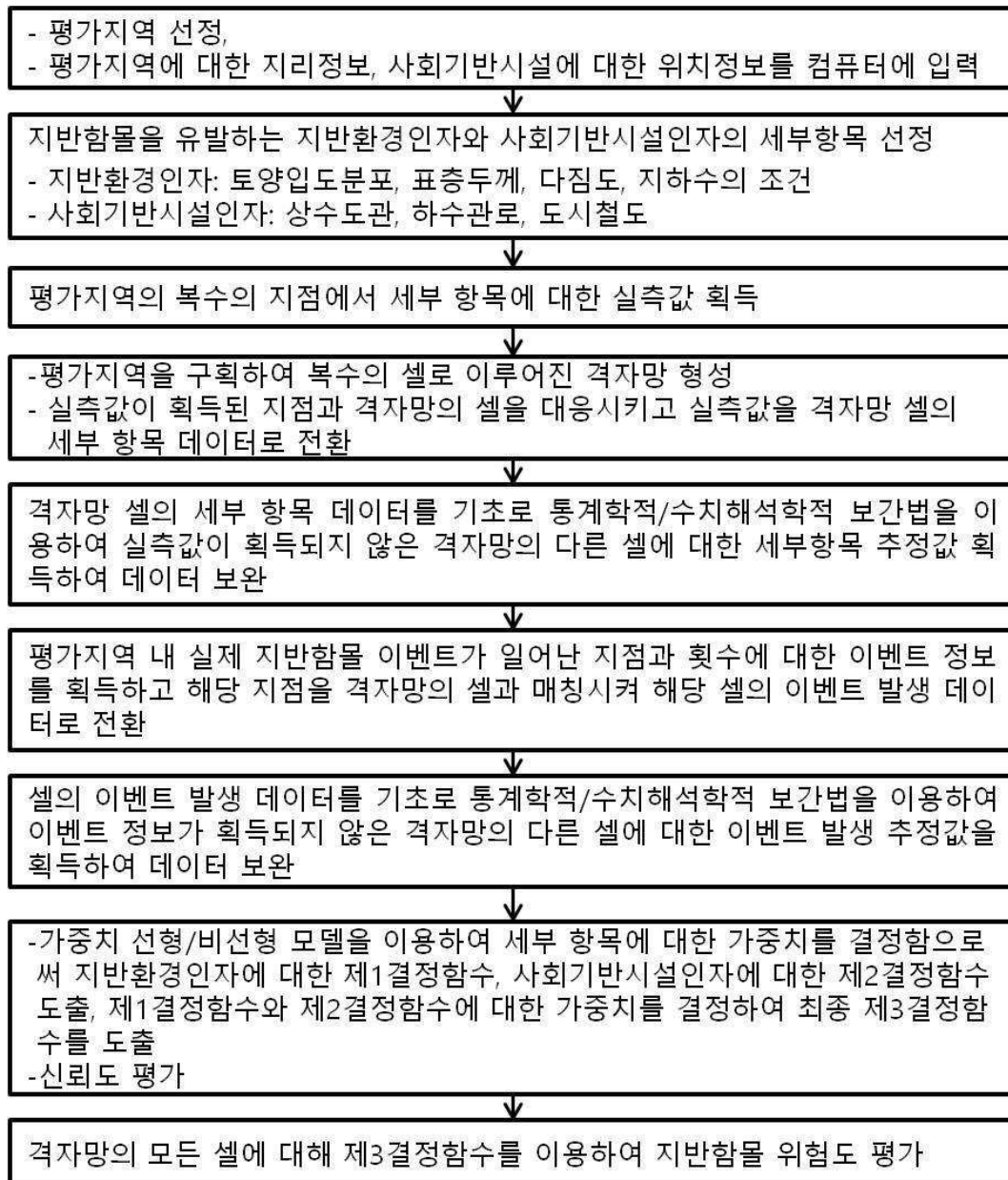
도면2



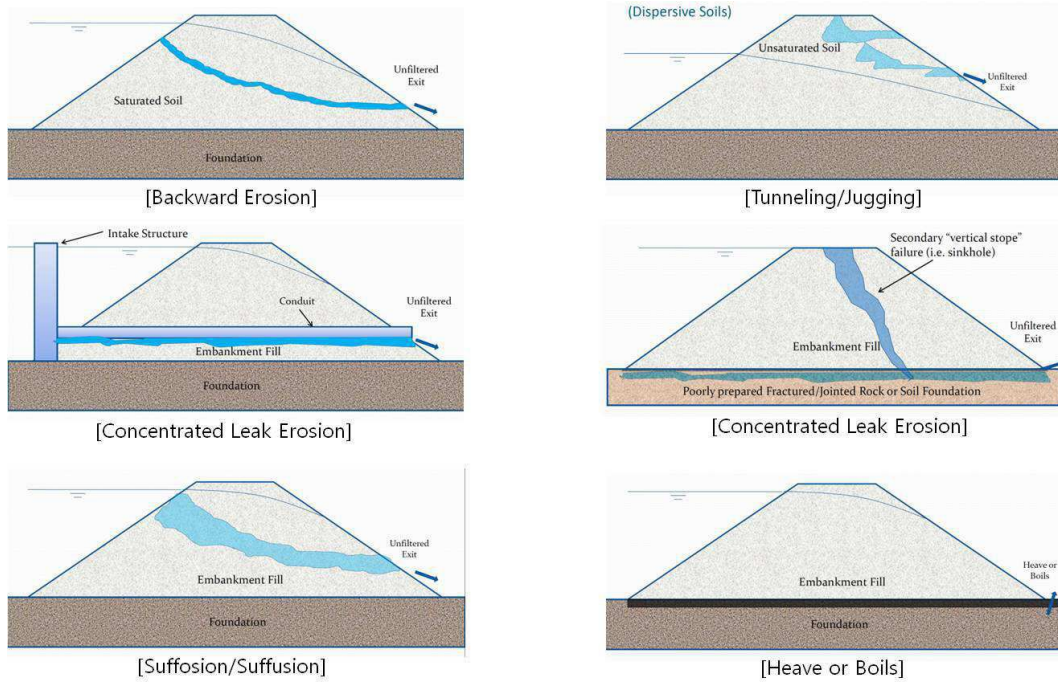
도면3



도면4



도면5



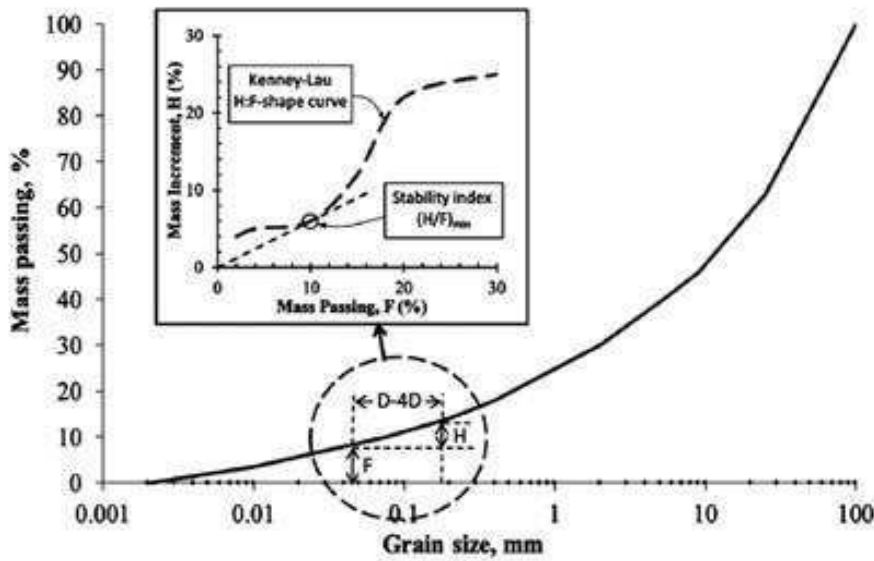
도면6

지하매설물	설명	유사현상
상수관	시공불량으로 인한 관로 배면 공간으로 인한 공동발생	Tunneling/Jugging (불포화대) Concentrated leak Erosion (포화대)
	상수관로 파손에 의한 지반붕괴	Boiling/Heave
하수관로	시공불량으로 인한 관로 배면 공간으로 인한 공동발생	Tunneling/Jugging (불포화대) Concentrated leak erosion (포화대)
	하수관로 균열에 의한 공동 발생 및 이동	Gravity vs. Seepage Velocity
도시철도	(터널식) 숏크리트 등의 파손으로 Filtering효과 손실	Concentrated leak erosion
	(개착식) 토목부직포 등의 손상으로 Filtering효과 손실	Suffusion/Suffosion (포화대)
터파기	가시설물 불량으로 인한 인근 지반함몰	Tunneling/Jugging (불포화대) Suffusion/Suffosion (포화대)

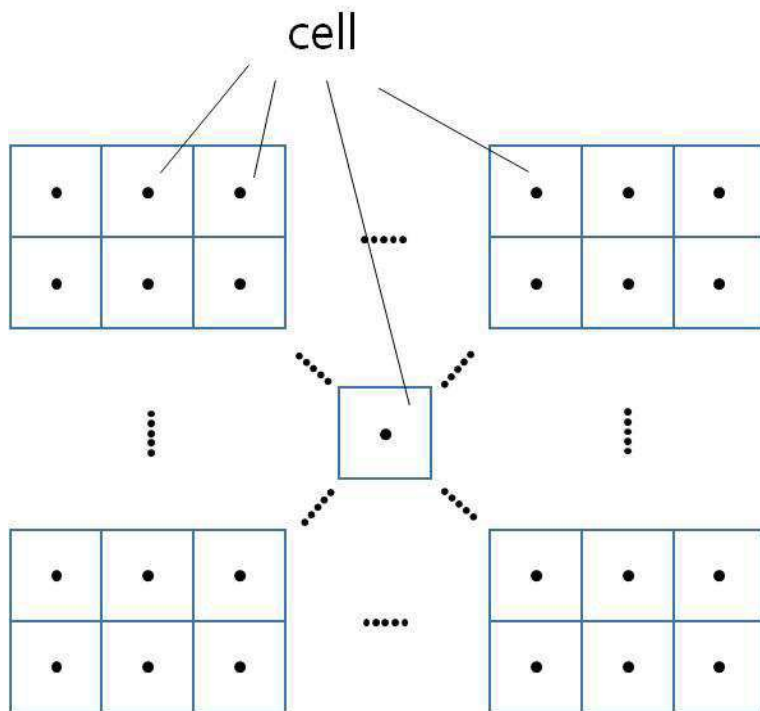
도면7

Material description	Geometric criteria	Applications	References
Sandy gravel	$C_U \leq 10$: internally stable $10 \leq C_U \leq 20$: transitional $C_U \geq 20$: internally unstable	GEO (1993), USDA(1994), USSD (2011)	Istomina (1957)
All Soils	$(D_{15c}/D_{85f})_{\max} \leq 4$: internally stable	USSD (2011)	Kezdi (1969)
Granular soils	$(H/F)_{\min} \geq 1.0$: internally stable	GEO (1993), CDA (2007), ICOLD (1994)	Kenney and Lau (1985)
Cohesionless and graded soils	$0.76 \log(h'') + 1 < h' < 1.68 \log(h'') + 1$: internally stable		Burenkova (1993)
Well-grained soils	$30/\log(D_{90}/D_{60}) < 80$, or $30/\log(D_{90}/D_{60}) < 80$ and $15/\log(D_{20}/D_5) > 22$: internally stable		Wan and Fell (2008)
Granular soils	$F < 15$, $(H/F)_{\min} \geq 1.0$: internally stable For $F > 15$, $H \geq 15$; internally stable		Li and Fannin (2008)

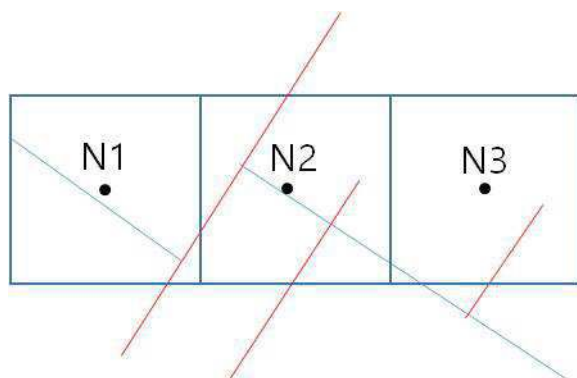
도면8



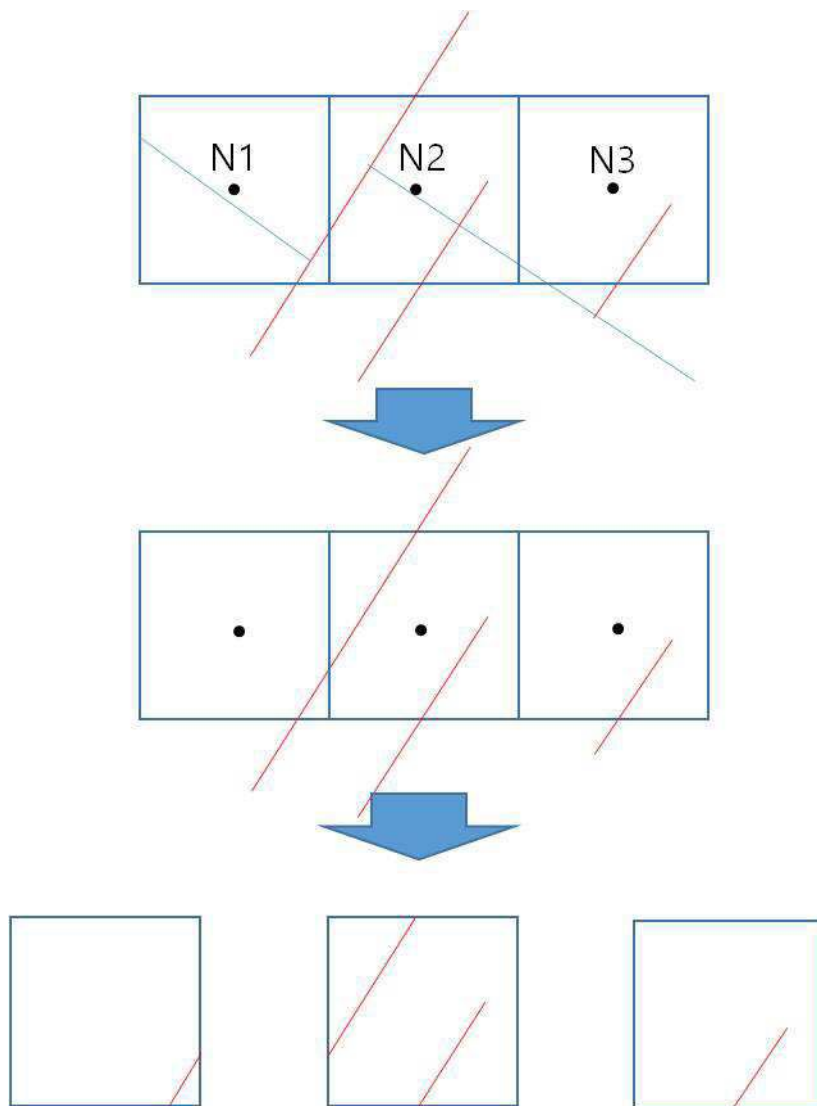
도면9



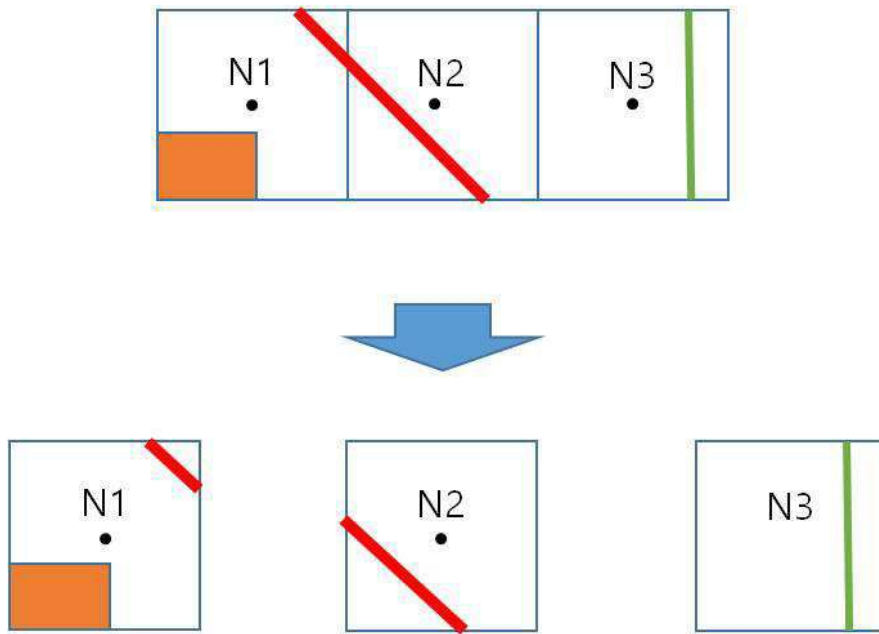
도면10



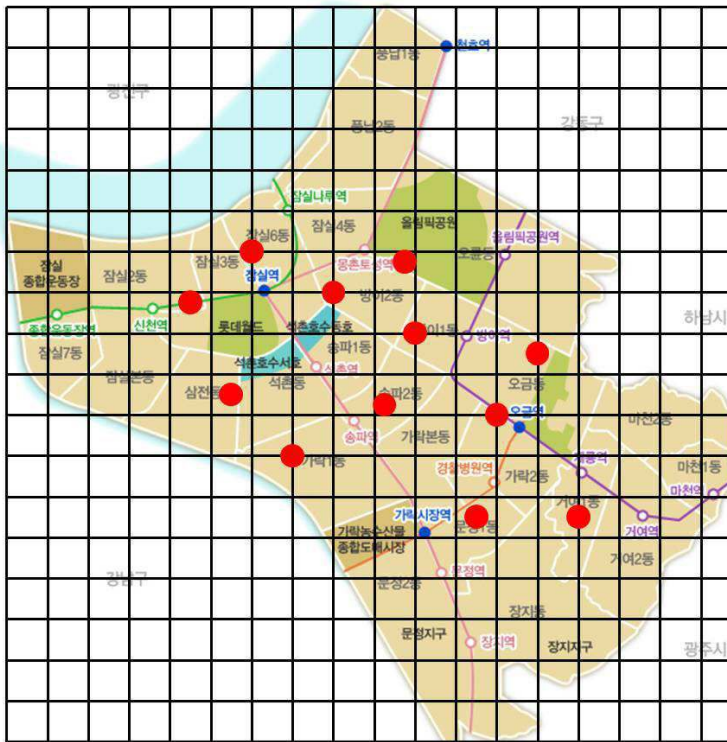
도면11



도면12



도면13



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 21항

【변경전】

특징으로

【변경후】

특징으로 하는

【식권보정 2】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 12항

【변경전】

특징으로

【변경후】

특징으로 하는